

# 低次元金属・超伝導体の超異方性強磁場効果

## — 強磁場極限域の超伝導状態 —

石黒武彦 京都大学大学院理学研究科 教授

### 研究の概要

近年著しい発展を遂げつつある超伝導体など電子機能性物質の多くは低次元的な性質を有している。即ち、結晶の方位に応じて著しく異なった特性を示す。低次元的な電子系に磁場をかけると、その特性は磁場方位により著しく異なる。磁場には電子系を低次元化させる働きがあるため、それが物質本来の低次元的な金属・超伝導性と相乗すると、電子系に対する超異方的な磁場環境が実現される。

本研究では、高い精度で強い磁場を低次元軸に合わせたときに見られる極限的な異方性環境下での現象を超異方性強磁場効果 (Exact Angle Effect : ぴったり角度効果) と名付けて、このときに実現される金属・超伝導体に関わる量子効果・電子現象・電磁現象に着目し、低次元機能性の解明と探索また応用への基礎づくりに関する研究を進める共に、こうしたことに関わりあう低次元新物質の開発研究を進めてきた。

本研究の内容は

- (1) 有機導体の強磁場極限域における超伝導状態の研究
- (2) 準二次元ルテニウム酸化物のスピントリプル超伝導の研究
- (3) 層状超伝導体の磁束状態と磁場中相図の研究
- (4) 新低次元物質の開発

のように大別される。(1)に付いて石黒が、(2)に付いて前野が発表講演する。(3)、(4)に付いて補足すると、(3)では、酸化物  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$  および有機化合物  $(\text{BEDT-TTF})_2\text{Cu}(\text{NCS})_2$  などの代表的な層状超伝導体において、高周波磁場に対する帯磁率に関する測定、並びに本研究において開発した電磁波・超音波相互変換法によりジョセフソン磁束のダイナミクスを実験的に明らかにすると共に、層状超伝導体の磁場中相図の基本的な理論を構築し、これを現実の磁束特性の解明・予見に応用した。(4)では Ru 酸化物を中心に新しいモット転移系、パイロクロア構造物質を開発すると共に、有機陰イオンを用いた導電性錯体、自己凝縮能を持った BEDO-TTF 分子を持った錯体、新分子を合成し新しい導電性錯体を開発した。

## — 有機導体の強磁場極限域における超伝導状態の研究 —

有機超伝導体は低次元的な性質が着目された最初の物質系であるが、純良質の結晶が得られるために、特に超異方性強磁場効果の研究には適した系になっている。層状構造を持つ超伝導体では超伝導面に平行に磁場を掛けることにより、磁気軌道効果による超伝導破壊を抑え、超伝導に対する常磁性スピンの効果が支配的な

領域を実現し、超伝導の本性にかかわる磁氣的性質を捉えることが出来る。

本研究では、高い  $T_c$  を持つと共に特異な金属・非金属転移現象を示すことで強い関心が向けられている有機導体  $(ET)_2Cu[N(CN)_2]X$  ( $X=Cl, Br, I$ ) を含む主要な有機超伝導体を中心に、磁場が面に平行に掛けられ臨界磁場  $H_{c2}$  が最大値をとる場合に関して、全温度域にわたる磁場相図を明らかにした。特に、低温極限近傍で見られる強磁場極限域での超伝導の挙動を明らかにすることに重点をおいて研究をすすめた。実験は電気伝導度測定、磁化測定、磁化率測定、比熱測定、熱伝導測定などにより進め、 $(ET)_2Cu[N(CN)_2]Cl$  並びに  $(ET)_2Cu[N(CN)_2]I$  が圧力下で超伝導となることを考慮し、 $H_{c2}$  の圧力依存性についても明らかにした。図1には圧力下の  $(ET)_2Cu[N(CN)_2]Cl$  で  $H_{c2}$  が磁場と層面のなす角度に依存して変化する様子を示し、図2には  $H_{c2}$  の温度依存性の代表例を示す。 $H_{c2}(T)$  が当初の予想を越えて多様な振る舞いをする事、低温極限での  $H_{c2}$  が弱結合下の BCS 模型で導かれるスピン常磁性により決まる限界値より高くなっていることが明らかにされた。

また、 $(BETS)_2GaCl_4$  について、面に平行に掛けられた磁場下の超伝導状態を明らかにするため、電気伝導度並びに熱伝導度の測定を通して上部臨界磁場を明らかにする研究を進める間に1964年に理論的に指摘されたFFLO状態(秩序変数が空間的に振動している状態)が実現していることを突き止めるに至った。更に、新超伝導体  $(BDA-TTP)_2SbF_6$  が異方的な電子対を有すること明らかにした。従来の有機超伝導体とは異なる構造を持つもので見出されたものであるためその特性解明に関心を向けている。

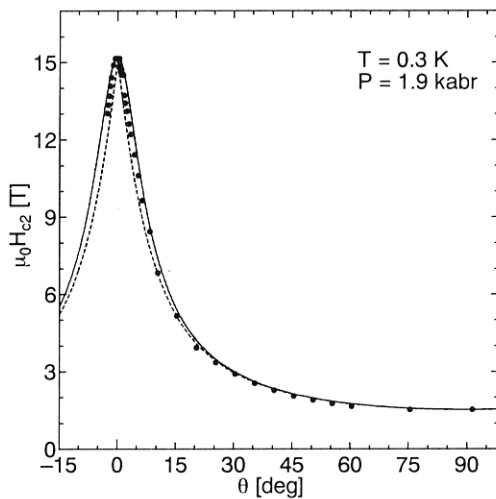


図1 (上)  $(ET)_2Cu[N(CN)_2]Cl$  (1.9kbar) における上部臨界磁場が磁場の超伝導面からの傾き角  $\theta$  と共に変化する様子。

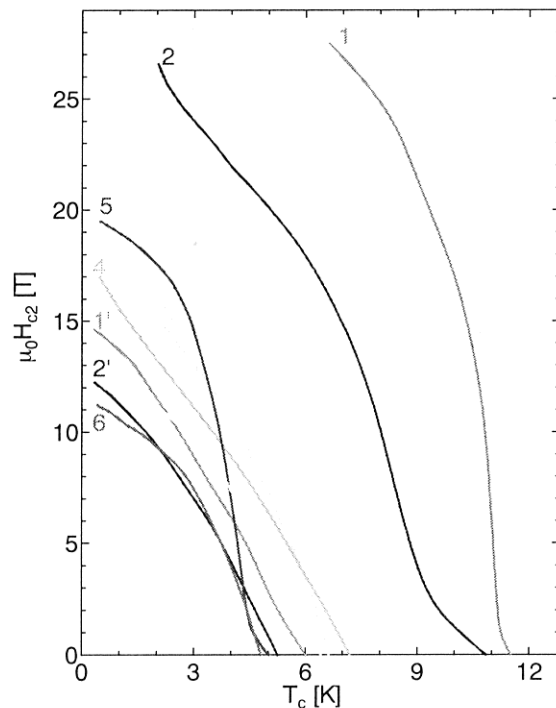


図2 (右) 面平行磁場下の上部臨界磁場の温度依存性。1 :  $(ET)_2Cu[N(CN)_2]Br$  (CNRS,Grenoble 強磁場研究所で測定), 1' :  $(ET)_2Cu[N(CN)_2]Br$  1.9kbar 下, 2 :  $(ET)_2Cu(NCS)_2$  (東大物性研究所で測定), 2' :  $(ET)_2Cu(NCS)_2$  1.5kbar 下, 3 :  $(ET)_2Cu[N(CN)_2]I$  1.2kbar 下, 4 :  $(ET)_2Cu[N(CN)_2]Cl$  1.9kbar 下, 5 :  $(ET)_4Hg_{2.89}Br_8$ , 6 :  $(BETS)_2GaCl_4$ , 7 :  $(BDA-TTP)_2SbF_6$ 。