

電子間相互作用による金属-絶縁体転移と超伝導に関する新しい視点

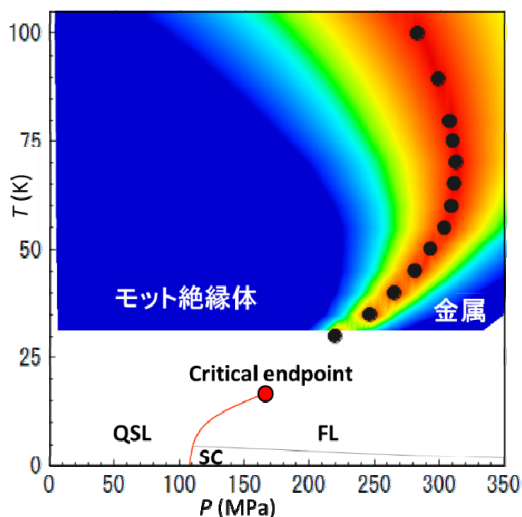
(東京大学) 鹿野田一司

New Perspective on the Interaction-Driven
Metal-Insulator Transition and Superconductivity

(Univ. of Tokyo) Kazushi Kanoda

【序】分子性物質では、電子間クーロン相互作用が電子物性に決定的な影響を与えることが少なくない。バンド充填が $1/2$ の場合の金属絶縁体転移（モット転移）がその典型例で、多くのモット絶縁体が見い出され、加圧により金属へとモット転移することが示されている。これまでは、金属か絶縁体かという 2 択的な描像で理解されてきたが、気体-液体転移における超臨界流体のように金属とも絶縁体ともつかない電子状態はあり得るのか？また、モット絶縁体を金属化するもうひとつの方法は、電子あるいはホールのドーピングであるが、分子性伝導体ではバンド幅が狭いことに起因して、銅酸化物などで成功した異種イオンの部分置換はランダムネスの影響が大きく、安定な金属化やその電子状態の解明、超伝導の発現までに至っていない。本講演ではこの 2 つの問題に関連した実験結果を報告する。

【実験】最初の問題「金属と絶縁体の狭間の電子状態」を実験的に調べるには、圧力を低温でほぼ連続的に変化させながらモット転移を観測する必要がある。我々は、常圧でモット絶縁体である $\kappa\text{-(ET)}_2\text{Cu}_2(\text{CN})_3$, $\kappa\text{-(ET)}_2\text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]\text{Br}$, $\text{EtMe}_3\text{Sb}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$ の 3 つの物質の絶縁体から金属への変化を、ヘリウムガス圧下で電気抵抗を測定することにより詳細に調べた。第 2 の問題「モット絶縁体のドーピング」については、絶縁層に不定比の Hg を含む $\kappa\text{-(ET)}_4\text{Hg}_{2.89}\text{Br}_8$ を取り上げた。Hg は欠損しているのではなく ET とは不整合な格子を作っていることから、ランダムネスがある程度抑えられて、ホールが 11% ドープされた系であると見なせる。実際、この物質はオンサイトクーロンエネルギー U とバンド幅 W の比 U/W が、上記モット絶縁体より大きいにもかかわらず金属となっている。この物質の金属状態と超伝導状態を圧力下の電気抵抗測定により調べた。

図 1 $\kappa\text{-(ET)}_2\text{Cu}_2(\text{CN})_3$ の温度-圧力相図

【結果と考察】図 1 に面内電気抵抗の測定を基に描いた $\kappa\text{-(ET)}_2\text{Cu}_2(\text{CN})_3$ の相図を示す[1]。圧力の連続掃引はヘリウムが固化しない範囲、すなわち図で色付きの 30K 以

上に限られる。1次の金属-絶縁体転移（赤線）は18K付近で臨界終点を迎える。それ以上の温度域で電気抵抗の振る舞いを詳細に調べた結果、量子臨界スケーリングが成り立っていることが分かった。これは、臨界終点よりある程度高い温度では、金属相と絶縁体相が量子力学的に揺らいでいることを意味する。水の超臨界流体と類似の状態であるが、量子力学的に揺らいでいる点異なる。図1の黒い点の連なりが絶縁体から金属へのクロスオーバー曲線（Widom line）で、抵抗率 $\rho(T, P)$ をこの曲線上の同温度での値で規格化し、その対数をカラープロットしたものが図1である。赤、緑、淡青の領域が量子臨界領域である。他の2つの物質、 $\kappa\text{-(ET)}_2\text{Cu[N(CN)}_2\text{]Br}$, $\text{EtMe}_3\text{Sb[Pd(dmit)}_2\text{)]}_2$ も同様な振る舞いを示すことから、量子臨界的振る舞いは物質に依らない共通な振る舞いであることがわかった。量子臨界状態はモット転移に限るものではないと考えられる。

図2に示したものは、電気抵抗の振る舞いを元に得られた $\kappa\text{-(ET)}_4\text{Hg}_{2.89}\text{Br}_8$ の相図である [2]。ドーピング系であることを反映して全圧力領域で金属、そして低温で超伝導となる。低温では、0.5 GPa 付近に T_c の最大を持つ超伝導ドームが現れ、この圧力がフェルミ液体と非フェルミ液体を分けている。0.5GPa を境にホール係数が大きく変化することから、この圧力を境に、低圧ではドーピングされたホールが伝導を担うのに対し、高圧では電子の2重占有が許されることで全電子が伝導に寄与していると考えられる。超伝導の振る舞いにも、低圧と高圧とで違いが現れる。すなわち、圧力の印加によって BEC から BCS 的なものへとクロスオーバーすることが示唆されている。

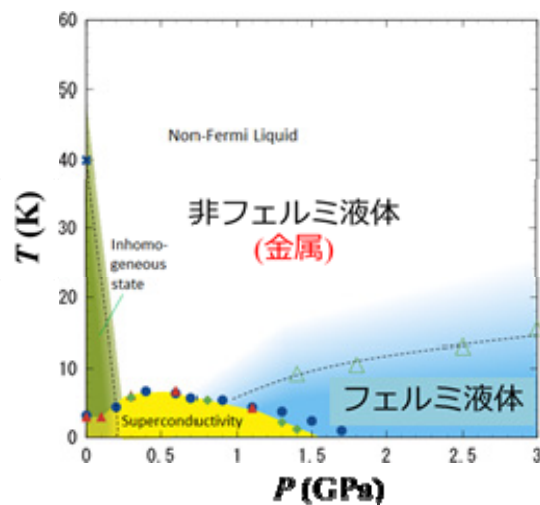


図2 $\kappa\text{-(ET)}_4\text{Hg}_{2.89}\text{Br}_8$ の温度-圧力相図

講演では、他に、スピン液体[3]や電荷ガラス[4]など分子性物質に発現する新規な電子相を紹介し、物性物理学における分子性導体の立ち位置について言及したい。

尚、本講演は、古川哲也*1、大池広志*2、井深純、浦井瑞紀、鈴木 悠司、宮川和也（以上東大）、加藤礼三（理研）、佐々木孝彦、斉藤みく、井口 敏（以上東北大）、伊藤美穂、谷口弘三（以上埼玉大）の諸氏との共同研究に基づくものである。*1現在 東京理科大、*2現在 理研

[1] T. Furukawa, *et al.*, *Nature Phys.* 11 (2015) 221. [2] H. Oike, *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* 114 (2015) 067002. [3] T. Furukawa *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* (2015) in press. [4] F. Kagawa *et al.*, *Nature Phys.* 9 (2013) 419; T. Sato *et al.*, *Phys. Rev B*.89 (2014)121102; *J. Phys. Soc. Jpn.*.83 (2014) 083602.