

審査の結果の要旨

氏名 古川 哲也

本論文は、擬二次元有機伝導体 $\kappa(\text{ET})_2\text{X}$ における擬ギャップ現象とモット転移の量子臨界性に関する実験的研究を報告している。具体的には、擬ギャップ現象と電子相関の関連を明らかにするために行われた圧力下の核磁気共鳴 (NMR) 実験の結果と、モット転移のクロスオーバー領域で測定された電気抵抗のスケーリング解析の詳細が述べられている。

序章では、 $\kappa(\text{ET})_2\text{X}$ 系がその単純なバンド構造とバンド幅制御の容易さからモット物理学を研究する上で理想的な系のひとつであることが述べられ、その基本的な物性が紹介されている。特に、モット物理学に関連して特に興味深い現象として、バンド幅制御モット転移近傍での擬ギャップ現象とモット転移の臨界現象に関する先行研究がまとめられている。前者は、NMR 緩和率の温度依存性において、超伝導転移温度よりも十分高温からスピン励起が抑制される振る舞いとして特徴付けられること、また NMR 緩和率の磁場依存性から擬ギャップが超伝導と何らかの関連を持つこと等が述べられている。臨界現象については、過去に行われたモット転移臨界終点近傍での臨界性に関する研究と、有限温度に臨界点を持つモット転移においても量子性が現れることを示唆する動的平均場近似による理論研究が紹介されている。これらを踏まえて、申請者は、 $\kappa(\text{dET})_2\text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]\text{Br}$ の加圧下の ^{13}C -NMR 測定を行い、これまで明らかでなかった擬ギャップ現象と電子相関の関係について調べることを本研究の一つ目の目的とすること、そしてバンド幅制御型モット転移の量子臨界現象を $\kappa(\text{ET})_2\text{Cu}_2(\text{CN})_3$ と $\kappa(\text{ET})_2\text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]\text{Cl}$ という幾何学的フラストレーションの異なる物質において電気抵抗のスケーリングによって検証することを、二つ目の目的とすることが述べられている。

第 2 章では、本研究における実験方法の詳細、すなわち、試料、加圧装置、電気抵抗および NMR の測定系の構成と、 ^{13}C -NMR データの解析方法が記されている。

第 3 章は、 $\kappa(\text{dET})_2\text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]\text{Br}$ に対して行われた加圧下の ^{13}C -NMR の結果を報告している。まず NMR 緩和率 $1/T_1$ を温度 T で割った $1/T_1 T$ の温度依存性に見られる特異なスピン励起の抑制が加圧とともに系統的に消失していく様子が示され、モット転移近傍で顕著であった擬ギャップ現象がモット境界から離れるにつれて小さくなることを見出されている。また、 $1/T_1 T$ と比較してナイトシフトが顕著な圧力依存性を示さないことから、モット転移に近づくにつれて増大する反強磁性ゆらぎが $1/T_1 T$ の変化を引き起こしていると考えられている。次に、このモット転移の近傍で特異的に増大する反強磁性ゆらぎが、反強磁性モット絶縁体で安定化される (π, π) の波数を持つ整合反強磁性秩序のゆらぎである可能性が、関連する実験・理論の研究を総合的に考慮することにより論じられている。最後に、擬ギャップ現象が、モット転移近傍で増大した (π, π) の反強磁性ゆらぎが位相コヒーレンスのない前駆的な超伝導電子対の形成によって抑制される現象であるとするモデルが

提案されている。

第 4 章では、バンド幅制御モット転移の高温におけるクロスオーバー現象を、幾何学的フラストレーションの強い $\kappa(\text{ET})_2\text{Cu}_2(\text{CN})_3$ と、弱い $\kappa(\text{ET})_2\text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]\text{Cl}$ に対して電気抵抗測定によって調べ、そのスケーリング解析から理論研究で示唆された量子臨界性を検証した結果が報告されている。両物質で、モット転移の臨界温度よりも高温の温度 T 、圧力 P 領域における電気抵抗 $R(T,P)$ が、量子臨界性を反映するスケーリング関係式 $R(P,T)/R_c(T) = f[c(P - P_c(T))^{\nu} T^{-(1/\nu)}$] に従うことが示されている (c は定数、 $P_c(T)$ は金属絶縁体のクロスオーバー圧力、 $R_c(T)$ は $P_c(T)$ 上の抵抗値、 ν はスケーリングの指数)。フラストレーションの効果が、相図の形状やスケーリング指数 $\nu = 0.60 \pm 0.05$ ($\kappa(\text{ET})_2\text{Cu}_2(\text{CN})_3$)、 0.50 ± 0.05 ($\kappa(\text{ET})_2\text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]\text{Cl}$) の違いに反映されている可能性が指摘されている。また、得られた関数形、スケーリング指数、相図の形状が、先行する動的平均場近似による理論研究の結果とよい一致を示すことも述べられている。

第 5 章は本論文をまとめている。

以上を総合すると、申請者は本研究において、擬二次元有機伝導体 $\kappa(\text{ET})_2\text{X}$ における擬ギャップ現象がモット転移近傍で顕著になる現象であることを示した。また、 $\kappa(\text{ET})_2\text{X}$ のバンド幅制御モット転移における高温クロスオーバー領域の電気抵抗が量子スケーリングで解析できることを初めて示した。これらの結果は、モット転移近傍で生じる非自明な電子相の理解およびモット転移の量子臨界性の解明という強相関物理学の根幹に関わる問題に対して新たな知見を与えており、物性物理学および物理工学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。