

【基盤研究(S)】

理工系 (数物系科学)



研究課題名 分子性強相関電子系における量子液体の探索と理解

理化学研究所・加藤分子物性研究室・主任研究員

かとう れいぞう
加藤 礼三

研究課題番号：16H06346 研究者番号：80169531

研究分野：数物系科学

キーワード：分子性固体・有機導体、強相関系、超伝導

【研究の背景・目的】

固体中における電子間クーロン相互作用が物性に本質的な影響を与える強相関電子系の科学は、1970年代後半から凝縮系物理の基礎学理および（デバイス物理等の）応用の両面において大きく発展してきた。しかしながら、期待される学理の深さや応用展開の多様性から見れば未だ極めて不満足な状態にある。

多様な自由度が拮抗する強相関電子系では、電子は、固相のような長距離秩序も気相のような完全な一様性も持たない特殊な秩序状態である「量子液体」相を形成する。量子液体相は、高温超伝導体の RVB や分数量子ホール効果のように、強相関電子系の特徴を最も良く表すものであり、基礎学理とデバイス応用の両面から重要である。

本研究では、分子系の特徴である、単純明快な電子構造、柔らかな結晶格子、低キャリア密度、化学修飾による可制御性等を最大限に活かして、分子性強相関電子系における 3 つのタイプの量子液体、1) 量子スピン液体、2) 多層ディラック電子系の分数量子ホール液体、3) 電場誘起モット転移近傍の非フェルミ液体について、その探索と理解を目指す。

【研究の方法】

1) 量子スピン液体 (QSL)

金属錯体分子から成る量子スピン液体候補物質 $\text{EtMe}_3\text{Sb}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$ および周辺物質は、三角格子を有するモット系である。本系の特徴は、対カチオン部位の化学修飾・重水素化・混晶化や圧力印加によって、QSL 相と競合する多様な周辺電子相（反強磁性相、電荷秩序相、Valence bond 秩序相、金属相等）を含む相図上において電子状態を精密に制御することが可能な点にある。本研究では、これらの周辺電子相の特異な性格を ESR、NMR、低温 X 線構造解析、振動分光、第一原理計算、モデル計算等によって解析し、これを手がかりに QSL の本質を理解する。

2) 多層ディラック電子系の分数量子ホール液体

分子性導体 $\alpha\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{I}_3$ は、加圧下で多層ディラック電子系となる。接触帯電法でこの多層ディラック電子系へ正孔を注入し、低温・高磁場下で電子相関による多層分数量子ホール効果の観測を行い、その性格を明らかにする。

また、HOMO バンドと LUMO バンドが共に伝導に関与する典型的なマルチバンド系である、単一成分子性導体を用いて、新奇のディラック電子系を

開発する。

3) 電場誘起モット転移近傍の非フェルミ液体
薄片単結晶を用いた電界効果トランジスタ (FET) におけるフィリング制御モット転移・超伝導転移を対象として、転移温度・最適ドーピング濃度・擬ギャップの有無・フェルミ面形状の電子ドープ/正孔ドープ対称性等を、様々なデバイス技術を用いて明らかにし、非フェルミ液体と超伝導相を探索するとともに、第一原理計算やモデル計算を用いてその解釈を試みる。

【期待される成果と意義】

物質合成・デバイス作製・物性評価を一貫的に行う、化学と物理学との強固な連携体制を構築し、分子性 π 電子系の特長が最も発揮される 3 種の「量子液体」の探索と理解を通じて、強相関電子系の基礎学理と将来の分子エレクトロニクスの基本原理を明確にする。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- "Development of π -Electron Systems Based on $[\text{M}(\text{dmit})_2]$ (M= Ni and Pd; dmit: 1,3-dithiole-2-thione-4,5-dithiolate) Anion Radicals", R. Kato, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **87**, 355-374 (2014).
- "Quantum Hall Effect in Multilayered Massless Dirac Fermion Systems with Tilted Cones", N. Tajima, T. Yamauchi, T. Yamaguchi, M. Suda, Y. Kawasugi, H. M. Yamamoto, R. Kato, Y. Nishio, and K. Kajita, *Phys. Rev. B*, **88**, 075315/1-6 (2013).
- "A Strained Organic Field-Effect Transistor with a Gate-Tunable Superconducting Channel", H. M. Yamamoto, M. Nakano, M. Suda, Y. Iwasa, M. Kawasaki, and R. Kato, *Nature Commun.*, **4**, 2379/1-7 (2013).

【研究期間と研究経費】

平成 28 年度 - 32 年度 142,600 千円

【ホームページ等】

<http://www.riken.go.jp/lab-www/molecule/>