



研究課題名 有機スピン三角格子を基盤とする複合電子機能の開発研究

名城大学・総合研究所・教授 さいとう ぐんじ
齋藤 軍治

研究分野: 化学

キーワード: 電気・磁氣的機能、結晶構造、有機電子材料・素子

【研究の背景・目的】

有機スピン三角格子物質 $\kappa(\text{ET})_2\text{Cu}_2(\text{CN})_3$ において研究代表者が初めて実証した量子スピン液体は、極低温までスピンの波動性が保持された新規量子状態であり、複数の電子相 (Mott 絶縁相、金属相、超伝導相) と微妙なエネルギーバランスで拮抗している。量子スピン液体を発現させるスピン三角格子において、トランスファー積分 t の大きさや異方性 (t/t' ; 図1参照) は構成分子の選択や集合体の設計によって制御可能であり、周辺電子相の探索を包含した系統的な物質開発は喫緊の課題である。本研究では、有機化学の力を駆使してスピン三角格子を計画的に開発し、有機物の特徴 (柔軟な格子・電子状態) を最大限に利用した圧力印加による t や t/t' の制御、電界や光によるキャリア注入を行い、新規量子スピン液体の創生ならびに超伝導やスイッチング現象などの複合電子機能の探索を目的とする。

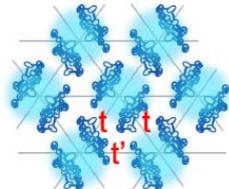


図1 $\kappa(\text{ET})_2\text{X}$ における ET 分子配列。水色円は $(\text{ET})_2^{•+}$ 二量体を示す。

【研究の方法】

これまで蓄積してきた知見に基づいた分子設計・選択を行い、 $S=1/2$ スピンを有する分子ユニット (TTF 系ではダイマー陽イオンラジカル、 C_{60} 系ではモノマー陰イオンラジカル) から構成されるスピン三角格子を新たに開発する (文献1)。電子系の局在性や対称性、すなわち分子ユニット間のトランスファー積分の大きさ・異方性やバンド充填率の化学的な制御方法を確立する。一軸性歪や静水圧によりスピン幾何異方性やバンド幅を調整し、電子状態の連続的な制御を行う。量子スピン液体相と周辺電子相の境界を集中的に解明して温度-圧力相図を導出するとともに、フラストレーションに由来する特異な圧力誘起超伝導相の探索やその機構解明を行う。また、電界や光によるキャリア注入を行い、量子スピン液体を出発点とした電子状態の制御、ならびに外場誘起金属・絶縁体転移や超伝導相の探索を行う。電界によるキャリア注入では、FET 挙動の高性能化に適したイオン液体の開発を行う。さらに、主に光をプローブとして、電子・格子の励起状態の非平衡ダイナミクスを、広範なエネルギーおよび時間スケール (フェムト秒~ミリ秒) にわたり明らかにする。

【期待される成果と意義】

物性科学の長年の課題である量子スピン液体の解明には、新規量子スピン液体系の探索とその包括的な理解が必須である。研究代表者らによる発見以降、7種の新物質 (有機物1種、無機物6種) が報告されているが、超伝導相が隣接するのは $\kappa(\text{ET})_2\text{Cu}_2(\text{CN})_3$ のみであり、本研究は物性科学における重要課題である量子スピン液体と超伝導の相関関係の導出を目指した、量子スピン液体の本質に迫る先導的かつ独創的な課題である。さらに、超伝導相などの電子相との拮抗を利用して、基礎・応用両面において重要な微小な外的摂動による電子物性の制御を目指す。化学的および物理的 (温度・圧力・電場・電界・光・磁場など) な制御によりスピン三角格子系を系統的に探索することにより、フラストレーションが絡んだ新たな量子スピン系の開拓や新原理デバイスの構築を推進し、斬新で高度な物質材料科学の礎を与える。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

1. G. Saito and Y. Yoshida “Development of Conductive Organic Molecular Assemblies: Organic Metals, Superconductors and Exotic Functional Materials” *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **80**, 1-137 (2007).
2. D. V. Konarev, S. S. Khasanov, A. Otsuka, M. Maesato, G. Saito, and R. N. Lyubovskaya, “A Two-Dimensional Organic Metal Based on Fullerene” *Angew. Chem. Int. Ed.*, **49**, 4829-4832 (2010).
3. Y. Shimizu, H. Kasahara, T. Furuta, K. Miyagawa, K. Kanoda, M. Maesato, and G. Saito “Pressure-Induced Superconductivity and Mott Transition in Spin-Liquid $\kappa(\text{ET})_2\text{Cu}_2(\text{CN})_3$ Probed by ^{13}C NMR” *Phys. Rev.*, **B81**, 224508/1-5 (2010).

【研究期間と研究経費】

平成23年度-27年度
188,400千円

【ホームページ等】

準備中