研究紹介　　齋藤　軍治

研究テーマ　有機超伝導体、量子スピン液体の研究

研究目的　スピン三角格子を形成する有機導電錯体 κ-$(ET)_2X$（ET: BEDT-TTF 分子の略、図 1a、X : 陰イオン）は、電子相関とスピンフラストレーションの大きさに依存して、絶縁相と金属相および超伝導相が競合する。高温でモット絶縁体である κ-$(ET)_2X$ は、低温で反強磁性相や量子スピン液体相に変化し、それらは、金属・超伝導相に隣接する。本研究では、幾何的スピンフラストレーション格子を持つ系の開拓、電子相関やスピンフラストレーションの大きさの制御、それらが示す電子物性の解明を目的とする。

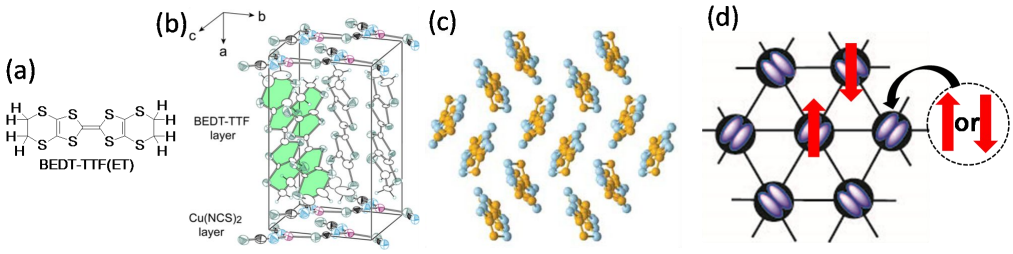

図 1 . (a) BEDT-TTF (ET) 分子。(b) 最初の 10K 級有機超伝導体κ-$(ET)_2Cu(NCS)_2$ の結晶構造。緑色の ET 分子が 2 量体(1 個のスピン)を形成する。(c) 結晶構造を a 軸方向から見た ET 分子の配列。(d) ET 分子を楕円系で示すと、2 量体中の 1 スピン（赤矢印）は黒円に位置し、スピン三角格子を形成する。

研究方法

１）量子スピン液体・有機超伝導体の設計と作成　1975 年に理論予測され、長年探索されていた新奇スピン･電子相である量子スピン液体を我々は 2003 年に見出した。その後、他の研究グループにより、有機物で 2 種、無機物で 8 種が開発されている。我々は別個に 2 種開発し(2013)、総計 13 種が世に出たが、超伝導相に隣接する系は我々が開発した系のみである。これまでの研究から、遍歴電子相に隣接する量子スピン液体物質の設計指針を提案した。この指針に沿って、遍歴電子相に隣接する新規量子スピン液体を開発する。特に、超伝導臨界温度(Tc)向上のためのパラメータを、物質開発を通して探る。

２）量子スピン液体系の物性測定　良質単結晶を用い、量子スピン液体の結晶構造解析、EPR や SQUID による磁化率、固体 NMR、一軸歪圧測定での超伝導測定、熱物性測定などを行う。

３）量子スピン液体相近傍の超伝導相などの探索　三角スピン格子は、物質パラメータ(オンサイトクーロン反発エネルギー、バンド幅、スピン三角格子異方性)の制御により、超伝導相、金属相、反強磁性相、量子スピン液体相（以上の相は、これまでに開発済）の他、120°spiral スピン格子、collinear スピン格子が存在すると理論予測されている。しかし、これらスピン系を有機物で開発した例はない。これらのスピン系は、量子スピン液体、金属、超伝導相の近辺に位置すると考えている。このスピン格子相を開発する。また、これまでに見出した有機超伝導体の超伝導対称性を、重水素置換 ET 分子（既に作成済）から作成した錯体単結晶を用いて決定する。これらは、以下の第４項のまとめにとり重要なテーマである。

４）総合的な物質探索図の作成　個々の分子の電子状態や構造、さらに構成要素同士の結合様式や集合体としての電子状態や高次構造と、上記諸機能との相関を解明し、運動量空間と実空間双方からの分子設計指針や集合体設計指針を導出する。それらの指針を含む物質探索図・相図を提案し、新規電子機能物質（超伝導体、量子スピン液体、磁性体、相転移系など）を開発する。

期待される成果　１）遍歴電子相(金属・超伝導相)に隣接する量子スピン液体相の開発により、これらの相を支配する物質パラメータの本質を決定する。2)電子相−構造の相関図を基により幅広い種々の絶縁相（バンド絶縁体、モット絶縁体、電荷分離系、CDW 相、SDW 相など）の物質パラメータに摂動を与え、金属・超伝導相を誘起する設計指針を得る（または、それらの相間を自由自在に移動する物質科学手法を開発する)。３）超伝導体の開発は、基礎、応用を含め社会的インパクトの大きい研究課題である。超伝導機構の解明、新規超伝導体の開発、Tc の向上、さらに加工性を含めた超電導材料の開発は固体科学や材料科学分野における最重要課題の一つであり、学術深化に大きな意義を持つ。