



# Motome group

求研究室では、物質の示す多彩な性質とそれらの発現機構を、量子力学と統計力学に基づいた現代的な理論手法を駆使して解き明かすことを目的とした研究を行っています。特に興味をもって研究しているのは、固体中を運動する電子が主役を演じる様々な相転移やそれらにまつわる新奇な物性です。実際のモノに密接に関わる研究から、これらの多彩な性質に対する統一的で普遍的な理解を得ることが研究の目標です。

## 強相関量子系に理論で挑む

### 量子の世界で電子が見せる多彩な振る舞いを読み解き 新しい物質科学の世界を切り拓く

#### ■ 主な研究対象

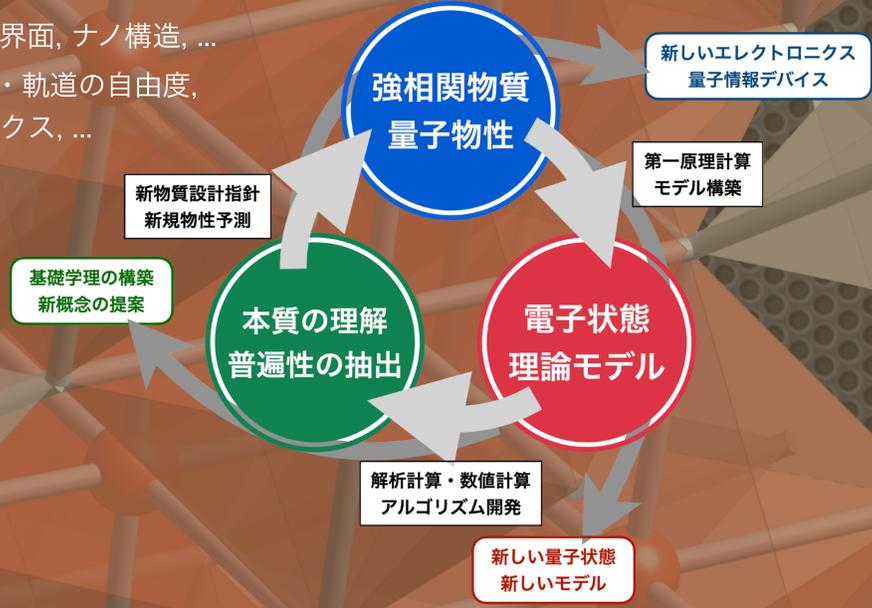
- 物質：強相関電子系 (遷移金属化合物, 希土類化合物, 分子性導体, ...), 表面・界面, ナノ構造, ...
- 現象：電子相関, 金属絶縁体転移, 磁性, 臨界現象, 量子揺らぎ, 電荷・スピン・軌道の自由度, 幾何学的フラストレーション, スピン液体, トポロジー, 自己組織化, ダイナミクス, ...

#### ■ 主な研究テーマ

- 電子のもつ電荷・スピン・軌道の自由度の競合と協調による多彩な現象
- 電子相関とスピン軌道相互作用の協奏による新しい量子現象
- 幾何学的フラストレーションや特異なトポロジーがもたらす奇妙な物性
- 強い揺らぎのもとで現れる高次相関, 新しい励起構造・ダイナミクス
- 表面・界面, 乱れが絡んだナノスケールの新しい現象
- 新しい数値計算アルゴリズムの開発や改良, etc.

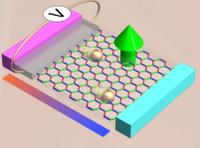
#### ■ 特に最近興味を持って取り組んでいるテーマ

- 量子スピン液体：Kitaevモデル, スピンの分数化, マヨラナフェルミオン, 量子計算への応用
- トポロジカル磁性体：スキルミオン, ヘッジホッグ, ホップフィオン, 磁性ワイル半金属, 創発電磁現象, 非平衡ダイナミクス
- 電荷・スピン・軌道交差物性：スピン軌道結合金属・絶縁体, 非相反・非対角・非線形応答, 交替磁性体 (altermagnet)
- 機械学習による物性研究：多体波動関数表現, 逆問題解法, 物理リザーバー計算



#### ● スピン流によるKitaev量子スピン液体におけるマヨラナ粒子の探索

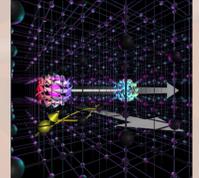
量子スピン液体では、スピン励起が異なる準粒子に分裂する現象が見られます。Kitaevスピン液体では、スピン励起がマヨラナ粒子に分裂しますが、その検出は困難です。本研究では、熱勾配によってスピン流が生成される可能性を調べ、マヨラナ粒子が角運動量を持たないにも関わらずスピン流が生成されることを発見しました。また、Kitaev型相互作用の符号によってスピン流の方向が変化することも確認しました。これにより、量子スピン液体の新たな検出方法を提案し、スピントロニクスへの新しい可能性を示しました。



Y. Kato, J. Nasu, M. Sato, T. Okubo, T. Misawa, and Y. Motome, Phys. Rev. X 15, 011050 (2025)

#### ● トポロジカル磁気トロンを電流で自在に駆動する

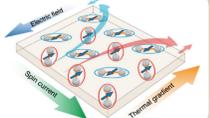
磁気スキルミオンは特異なスピン構造により多彩な量子輸送現象を生み出します。スキルミオン紐が切れると両端に磁気ヘッジホッグを伴った磁気トロンという構造になります。本研究では磁気トロン結晶の電流印加時のダイナミクスを調べました。その結果、磁気トロン結晶は電流に沿って駆動されるだけでなく、ホール運動も示し、電流と磁場の強さに応じてホール角が自在に制御できることが分かりました。この特性は磁気トロン構造に起因し、スピントロニクスに新たな方向性を示します。



K. Shimizu, S. Okumura, Y. Kato, and Y. Motome, Commun. Phys. 8, 69 (2025)

#### ● 交替磁性体におけるスピン軌道相互作用を必要としないスピン流生成

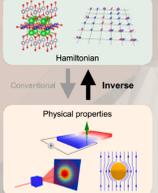
現代の電子機器は電流で動作していますが、スピン流に置き換えることでエネルギー損失の少ない省エネルギー機器が実現できます。本研究では、有機化合物の分子配向パターンを利用し、スピン軌道相互作用を必要としない新しいスピン流生成機構を発見しました。この機構は従来の方法に匹敵する効率を持ち、様々な物質への応用が期待されます。本成果は現在爆発的に研究が進む交替磁性体の発見のさきがけの一つです。



M. Naka, S. Hayami, H. Kusunose, Y. Yanagi, Y. Motome, and H. Seo, Nat. Commun. 10, 4305 (2019) [Editors' Highlights] M. Naka, Y. Motome, and H. Seo, npj Spintronics 3, 1 (2025) [Review], 他多数

#### ● 自動微分を用いた狙った性質を持つハミルトニアン逆設計

誤差逆伝搬法に基づいた自動微分は、大量の変数を最適化するための強力な手法であり、ニューラルネットワークをはじめ幅広い計算に応用可能です。本研究では、自動微分を用いてハミルトニアンの変数を最適化し、新しいハミルトニアンを設計するフレームワークを構築しました。これにより、巨大な量子異常ホール効果や太陽光による大きな起電力を示すハミルトニアンを自動的に得ることができました。この手法は、未知の物質や指導原理の発見に寄与することが期待されます。



K. Inui and Y. Motome, Commun. Phys. 6, 37 (2023) K. Inui and Y. Motome, Phys. Rev. Research 6, 033080 (2024)

## 物質科学の新しい地平へ

物理としての純粋な面白さを追求することはもちろんのこと、強相関の物理に基づいた将来のエレクトロニクスや量子情報といった応用に役立つ可能性を秘めた基礎学理の確立も目指しています。現実の物質に密接に寄りそった研究を進め、各物質の個性を系統的に理解することを通じて、強相関電子系に現れる量子多体問題の普遍性を解明していくことが研究の目標です。さらに、そうした理解を通じて、新物質のデザインや新物性の予測を行うことにより、物質科学の新しい地平を切り拓くことも目指しています。