

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料
〔平成28年度研究進捗評価用〕

平成25年度採択分
平成28年3月15日現在

化学制御 Chirality が拓く新しい磁性

Toward a New Class Magnetism by Chemically-controlled Chirality

課題番号：25220803

井上 克也 (INOUE KATSUYA)

広島大学・大学院理学研究科・教授



研究の概要

右手と左手の関係のような、キラリティと呼ばれる関係の電子スピン構造を持つ磁性体、キラル磁性体に関する基礎研究（物質創成、新規物性開発、機能開発）および応用展開への道筋を明らかにするための研究を化学者と物理学者の連携によって総合的に理解し、集中的に進めています。

研究分野：機能物性化学

キーワード：キラル磁性、スピントロニクス、スピン位相、マルチフェロイクス

1. 研究開始当初の背景

天然に産出する磁鉄鉱の強磁性は、人類が最も早く知った物性の一つです。右手と左手の関係に代表される掌性（Chirality、キラリティ）も哲学や科学の問題として非常に古くから考えてこられた形に関する問題です。本研究の目的は、掌性を持つ磁性体に関する科学原理を明らかにすることです。

科学的には 1884 年にケルビン卿が chirality の概念を提唱し、その後 19 世紀前半のアラゴからパスツールへと受け継がれ、結晶・分子の chirality と自然光学活性の研究が合流して進展してきました。しかし、ともに光の偏光面が回転する現象であり、M. ファラデーが見出した磁気光学効果との関係が明らかにされたのは、20 世紀後半になって、chirality と磁場の協奏効果として磁気不斉二色性 (MChD) が量子論的に予言されたのが初めてです。このように、100 年以上に渡って連綿と続く chirality 研究の歴史の中で、底流にある「化学と物理」、「構造 chirality と磁気 chirality」といった対概念を包摂統合する研究の流れを創るため、2006 年度より本研究計画代表者を中心とする化学・物理研究者の連携によって 2 つの基盤研究 (A) を実施してきました。

2. 研究の目的

Chiral 磁気構造では、スピンの巻き方が定まるため、らせんピッチが巨視的な秩序パラメータとなりえます。このため、スピンの位相を巨視化することができます。本研究計画ではこれを新たな視点とし、「結晶と磁性の

chirality」研究の第二段階として《スピンの位相をマクロスケールで制御する》研究の流れを確立します。また、物質科学との関係ではスピン自由度の情報を伝える技術《スピントロニクス》が、現在活発な研究分野となっていますが、Chiral 磁性結晶は、新しいスピントロニクス研究の舞台を提供します。

3. 研究の方法

本研究は、スピン位相のマクロ制御による機能性材料の創製を目指す新しい試みです。研究計画では、化学（井上（広島大学）・菊地（首都大学東京）・美藤（九州工業大学））と物理（秋光（青山学院大学・平成 27 年度より広島大学特任教授）・岸根（放送大学）・戸川（大阪府立大学）・鳥養（山梨大学）・松浦（東京大学）・萩原（大阪大学））の連携をさらに深め、この分野を大きく発展させます。具体的な研究内容を以下に示します。

- (1) 分子性・無機 chiral 磁性体の物質設計・制御戦略の確立
- (2) 結晶・磁気 chirality の定量化
- (3) 電場・磁場・応力を外部パラメータとする chirality のコントロール
- (4) 新たなスピントロニクス分野の開拓

4. これまでの成果

・分子性磁性体での自然分晶の発現機構を明らかにする道筋を見出しました。
・右手系または左手系だけの構造を持つ CsCuCl₃, および CrNb₃S₆ 単結晶の成長に成功しました。
・右手系または左手系だけの構造を持つ B2

O型キラル磁性体である FeGe 単結晶の合成に成功しました。

・様々な分子性キラル磁性体、無機キラル磁性体の磁気構造を中性子線回折を用いたサテライトの観測、ローレンツ TEM を用いた電子線小角回折のサテライトの観測に成功しました。

・交流電場、交流磁場、超音波、角運動量を持つ光であるボルテックスビームでらせんピッチの制御や、動的 Chirality を誘導することを想定した研究を行う過程で無機、分子性キラル磁性体共通に巨大非線形交流磁化率応答が発見しました。この発現機構について研究を進めています。非線形誘電率についても測定装置開発研究を進めており、平成 27 年度内に装置の立ち上げを終える予定です。超音波の影響についてはすでに実験事実として報告済みですが、今後さらに研究を進めていきます。

・キラル磁性体におけるキラルスピソリトン格子状態で離散的磁気抵抗効果、離散的磁化ステップが実証されました。離散的磁気抵抗効果、離散的磁化ステップのどちらも次世代の技術革新を支えるものと考えています。

・新学術領域研究（研究領域提案型）「超低速ミュオン」（平成 23～27 年度）において、平成 28 年 2 月 21 日に初の超低速ミュオン発生に成功しました（近日中に記者発表予定）。これにより、深さ方向に nm 分解能を持つ物質内部スピン状態のイメージングに一步を踏み出しました。本研究では、マクロスケールで制御された Chiral 磁性体の深さ方向のスピン位相の実空間観測とその時間空間相関の解明のために、超低速ミュオン顕微鏡本体に搭載する mSR 用三軸分光器を開発しました。三軸分光器は互いに直角をなす方向に配置したシンチレーションファイバー（2mm 角型、長さ 100mm）アレイ、マルチピクセルフォトカウンタ（MPPC）アレイ、FPGA 基盤からなる最先端の粒子線検出器です。これらの専用装置を、J-PARC のミュオン施設に建設しました。

5. 今後の計画

・新規キラル分子性および無機キラル磁性体の開発を進めていきます。

・超低速ミュオン顕微鏡を用いた、深さ方向に nm 分解能を持つ物質内部スピン状態のイメージングを用い、マクロスケールで制御された Chiral 磁性体の深さ方向のスピン位相の実空間観測とその時間空間相関の解明を行います。

・キラル磁性体のキラルスピソリトン格子状態の離散的磁気抵抗効果、離散的磁化ステップの次段階として情報転送やスピン起電力を生み出す機能、DM 起源非相反マグノン伝搬などの実証実験を進めていきます。

・角運動量を持つ光であるボルテックスビームとキラル磁性体中のキラルスピン構造との相互作用を明らかにします。

6. これまでの発表論文等（受賞等も含む）

・平成 26 年度から、広島大学内に本基盤研究メンバー全員と関係者をメンバーとして広島大学インキュベーション研究拠点「キラル物性研究拠点」が設置されました。

・平成 27 年度から、JSPS 研究拠点形成事業（A 研究拠点形成型）「スピンキラリティを軸にした先端材料コンソーシアム」が採択され、本基盤研究メンバーを含む国際共同研究チーム（広島大学、自然科学研究機構分子科学研究所、グラスゴー大学（英）、ウラル連邦大学（露）、モナッシュ大学（豪）、リヨン大学（仏）、ネール研究所（仏）、ザラゴザ大学（スペイン））が組織されました。

・“Progressive Transformation between Two Magnetic Ground States for One Crystal Structure of a Chiral Molecular Magnet”
L. Li, S. Nishihara, K. Inoue, M. Kurmoo, Inorg. Chem., in press. (雑誌表紙に選定)

・“Discrete Change in Magnetization by Chiral Soliton Lattice Formation in Chiral Magnet $\text{Cr}_{1/3}\text{NbS}_2$ ”, K. Tsuruta, M. Masaki, Y. Kousaka, J. Akimitsu, J. Kishine, Y. Togawa, H. Ohsumi, K. Inoue, J. Phys. Soc. Jpn, 85, 013707 (2016).

・“Magnetic Soliton Confinement and Discretization Effects Arising from Macroscopic Coherence in a Chiral Spin Soliton Lattice”, Y. Togawa, T. Koyama, Y. Nishimori, S. McVitie, D. McGrouther, R. L. Stamps, Y. Kousaka, J. Akimitsu, S. Nishihara, K. Inoue, I. G. Bostrem, V. E. Sinitsyn, A. S. Ovchinnikov, J. Kishine, Phys. Rev. B, 92, 220412(R) (2015) editors' suggestion

・“Study of magnetic domain dynamics using nonlinear magnetic responses: Magnetic diagnostics of the itinerant magnet MnP ”
M. Mito, H. Matsui, K. Tsuruta, H. Deguchi, J. Kishine, K. Inoue, Y. Kousaka, S. Yano, Y. Nakao, J. Akimitsu, J. Phys. Soc. Jpn, 84, 104707 (2015)

・“Investigation of structural changes in chiral magnet $\text{Cr}_{1/3}\text{NbS}_2$ under application of pressure”, M. Mito, T. Tajiri, K. Tsuruta, H. Deguchi, J. Kishine, K. Inoue, Y. Kousaka, Y. Nakao and J. Akimitsu, J. Appl. Phys., 117, 183904 (2015).

ホームページ等

<http://home.hiroshima-u.ac.jp/kotai/KibanS/t005/t005/index.html>