

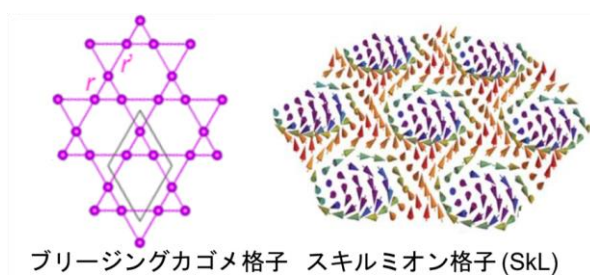
永長 直人

東京大学大学院工学系研究科
教授

ナノスピン構造を用いた電子量子位相制御

§ 1. 研究成果の概要

磁性体中のナノスケールスピン構造に由来する実効的な電磁場「創発電磁場」の機能開拓を推進するために、まず適切な物質開発と理論を中心とした基礎学理の確立を行うことが必要である。そのために、2018 年度においては、まず多数のスピンが渦状に配列したスキルミオンというナノメートルサイズ磁気構造のスケールをさらに小さくするための物質を探索した。なぜなら、創発電磁場の大きさが磁気構造のスケールに逆比例するという関係があり、より小さな構造が大きな効果をもたらすからである。そのために従来のスキルミオン形成の機構であるスピン・軌道相互作用に代



ブリージングカゴメ格子 スキルミオン格子 (SKL)
図1: $Gd_3Ru_4Al_{12}$ におけるブリージングカゴメ格子と観測されたスキルミオン格子状態の模式図。

$Gd_3Ru_4Al_{12}$ において、スキルミオン格子(図1右)および関連した様々な短周期スピン構造(らせん構造やコニカル構造、ファン構造など)が温度や磁場といった外部環境を変化すると現れることを、共鳴 X 線散乱法により明らかにした。理論的には、ブリージングカゴメ格子上的電子状態を解析し、広いパラメーター領域で、無磁場で量子化する異常ホール状

化合物に着目し、特にスピン間相互作用が競合する「磁気フラストレーション」をもたらすような結晶格子の物質を探索した。具体的には ブリージングカゴメ格子(図1左)を有する希土類化合物

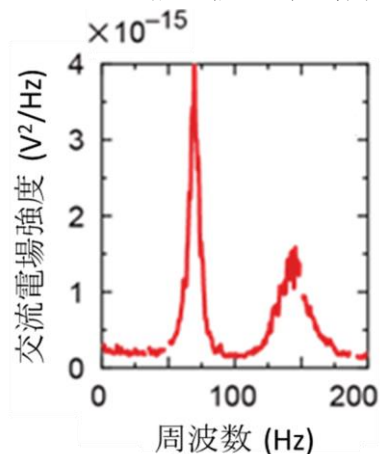


図2: 交流創発電場のスペクトル

態などの興味深いトポロジカル状態が現れることを見出した。

創発電磁現象の研究としては、スキルミオン格子状態において創発磁場が電場で加速された伝導電子の進行方向を曲げる大きな「トポロジカルホール効果」を実験的に観測した。また収束イオンビーム(FIB)法を用いて試料をマイクロメートルサイズまで微細化することで、直流電流によってスキルミオンが駆動されたときに生じる交流の創発電場を観測することに成功した(図2)。図に示したデータはおよそ 1.0×10^9 A/m² の電流密度で得られたもので、およそ 70 ヘルツとその倍波である 140 ヘルツの交流電場が観測されている。さらに、印加する直流電流の値を増やすとその周波数は連続的に高周波側にシフトし、直流電流の大きさによって、創発電場の発振周波数が制御可能であることを示している。このような伝導電子とねじれたスピン構造の運動を介して生じる電場は、巻き線を使わないインダクター機能を可能にする新しい基礎学理を与える。直流電流下でのスキルミオンの運動の理論研究では、数値シミュレーションにより創発電場の発振周波数が、微小デバイスの電流端子端面の条件に強く依存することを見出した。また、有限膜厚の薄膜試料のスキルミオンは面直方向の変形を持つストリングとして振る舞うが、その動的な相図構造を明らかにし、スキルミオンの破断現象のダイナミクスを明らかにするとともに、デバイス作成の際に最適な膜厚が存在することを明らかにした。

【代表的な原著論文】

例. Taro Kagaku and Hanako Senryaku, “Core Research for Evolutionary Science and Technology”, Journal of JST, vol. 1, No. 1, pp.1-10, 2018

Keita Hamamoto, Takamori Park, Hiroaki Ishizuka, and Naoto Nagaosa, “Scaling theory of a quantum ratchet”, Phys. Rev. B 99, 064307(2019).

W. Koshibae and N. Nagaosa, “Dynamics of skyrmion in disordered chiral magnet of thin film form”, Scientific Reports Vol. 9, 5111, 2019

Max Hirschberger, Taro Nakajima, Shang Gao, Licong Peng, Akiko Kikkawa, Takashi Kurumaji, Markus Kriener, Yuichi Yamasaki, Hajime Sagayama, Hironori Nakao, Kazuki Ohishi, Kazuhisa Kakurai, Yasujiro Taguchi, Xiuzhen Yu, Taka-hisa Arima, and Yoshinori Tokura, “Skyrmion phase and competing magnetic orders on a breathing kagome lattice”, Submitted.

§ 2. 研究実施体制

(1) 永長グループ(東京大学)

- ① 研究代表者:永長 直人(東京大学工学系研究科 教授/理化学研究所創発物性科学研究センター 副センター長)
- ② 研究項目
 - ・ナノスピン構造生成と電子位相制御の理論

(2) 十倉グループ(東京大学)

- ① 主たる共同研究者:十倉 好紀 (東京大学工学系研究科 教授/理化学研究所創発物性科学研究センター センター長)
- ② 研究項目
 - ・ナノスピン構造物質創製と磁気構造観察

(3) 賀川グループ(東京大学)

- ① 主たる共同研究者:賀川 史敬 (東京大学工学系研究科 准教授)
- ② 研究項目
 - ・動的創発電磁場の検出とその機能開拓