

ヘリカル磁性体の磁気スキルミオン格子の低エネルギー有効ラグランジアン

反転対称性を破った構造をもつ磁性体ではスピン間にジャロシンスキー-守谷相互作用相互作用が生じ、磁化のらせん構造が現れる。この相互作用をもつヘリカル強磁性体では、ある温度と磁場の領域で磁化が渦をもつ磁気渦が三角格子を組んだスキルミオン（スカームイオンとも呼ばれる）格子状態が実現されることが知られている。個々の渦は中心の磁化が磁場方向（あるいは反対向き）を向き、その外側では渦を巻き、渦の周辺部では中心部と逆向きを向いた構造をもっている。中心から周辺部までの磁化構造は磁化ベクトルの向きの空間（球面）をちょうど半分だけ覆っており、1960年頃ハドロンを記述するために Skyrme によって提案されたモデルと幾何学的に同等なため（磁気）スキルミオンとよばれている。周辺部の磁化の向きを固定すればこの構造は幾何学的に安定である。ヘリカル磁性体中のスキルミオンの格子間隔は、物質にも依存するが 10–100 nm 程度である。スキルミオン格子状態は薄膜強磁性体で現れることが 1970 年代には知られていたが、その起源は磁気異方性と磁気双極子相互作用であり（当時はこの渦構造は磁気バブルとよばれていた）、ヘリカル磁性体とは異なる。また磁気バブルの格子状態をミクロな立場から記述する試みはされなかった。現在では高度な計測技術により渦の構造の直接顕微鏡観察や、交流磁場応答や電流応答の観測が可能であり、ヘリカル磁性体におけるスキルミオンは幾何学的に安定な複合粒子として改めて興味を持たれている。金属の場合は磁化構造を電流により駆動することも可能であるが、スキルミオン格子は磁壁など他の磁化構造と比べて何桁も小さい電流密度で動かすことができるという特徴があり、その観点からも注目されている。最近の実験的研究では日本のグループの活躍が目覚ましい。

スキルミオン格子は3回対称性をもつが、この構造が安定化する1つの要因として、磁化 M に対する自由エネルギーのうち M について3次の項が重要なはたらきをしていることが、3回対称性をもつ結晶との類推から明らかにされており、またこの3次の項は、ギンツブルグ-ランダウ自由エネルギーの M^4 の項から磁場により誘起されること、更に、スキルミオン格子状態は3つのらせんの重ね合わせで記述されることは知られていた。したがってその励起は3つのらせんに対してのゆ

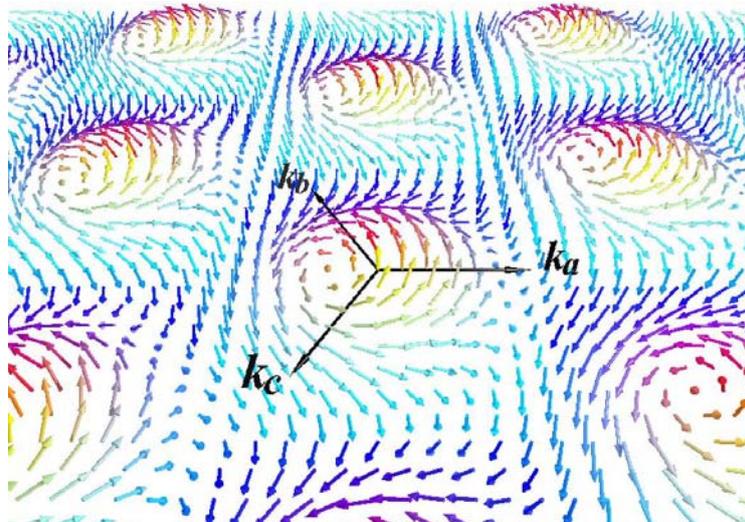


図1. スキルミオン格子状態。3つの方向 k_a , k_b , k_c に向いた3つのらせん構造の重ね合わせで記述される。

らぎで表すことができ、最終的にはスキルミオン格子の格子振動を表すフォノンに帰着すること、またこのフォノンはスキルミオンのもつ幾何学的位相から生じる有効磁場を感じるため幾何学的ホール効果などの特徴的な振る舞いを示すこと等が、解析的議論と数値シミュレーションによって精力的に調べられ、現象の概略は理解されていた。一方で、スキルミオン格子の励起がもとのスピン自由度の変数とどう結びついているのかは明らかにされておらず、スキルミオン格子の挙動をミクロなスピンのモデルから記述する枠組みは欠如していた。

最近、理化学研究所創発物性科学研究センター(CEMS)と東京理科大学の研究グループは、ヘリカル磁性体のハミルトニアンに基づいてスキルミオン格子状態を3つのらせん構造の重ね合わせとして記述し、それらの励起に対応する集団座標に注目してスキルミオン格子の低エネルギー励起を表す自由度を同定、有効ラグランジアンを導出した。低エネルギー励起を記述する変数は3つのらせん構造のもつ3つの位相のうち2つの独立な線型結合フェーズン（位相粒子）であることが示された。したがってスキルミオン格子の励起は磁場中のウィグナー結晶や電荷密度波のそれと本質的に同じである。この結果は、日本物理学会が発行する英文誌 *Journal of Physical Society of Japan (JPSJ)* の2014年10月号に掲載された。

この解析によりスキルミオン格子の励起について従来考えられていた筋書きの正しさが確かめられた。同時に、これまで認識されていなかったスキルミオンのもつ幾何学的位相を遮蔽する効果をもつ揺らぎのモードが発見され、このモードが励起の磁場や温度依存性に影響を与えることが指摘された。長波長近似という1つの明確な近似の範囲内でのミクロな理論的考察に基づき有効ラグランジアンを導出し正しい励起を見出した点で、本論文は極めて重要である。

原論文

[Phasons and Excitations in Skyrmion Lattice](#)

[Gen Tatara and Hidetoshi Fukuyama: J. Phys. Soc. Jpn. **83** \(2014\) 104711](#)

問合せ先： 多々良 源（理化学研究所 創発物性科学研究センター(CEMS)）