

## 磁気スキルミオンとモノポールの織りなす創発的電磁現象

高嶋 梨菜 〈京都大学大学院理学研究科〉

藤本 聡 〈大阪大学大学院基礎工学研究科〉

磁性体で発見された渦糸状スピン構造のスキルミオンは、連続変形ではつづせない安定な構造をもち、粒子や弦のような独特のダイナミクスを示すことから、基礎物性として興味深いだけでなく、磁気記憶デバイスなど応用上の研究の展開も期待されている。また、このスキルミオンは伝導電子に有効的な「磁束」として作用することも知られており、トポロジカルホール効果として観測されるなど、スキルミオンとの結合で生じる伝導現象についても関心を集めている。

最近、スキルミオンが格子状に配列した相をもつ金属磁性体  $\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{Si}$  において、スキルミオンの合体ダイナミクスが報告された。磁場中で磁性体を冷却することにより、スキルミオンの準安定状態が実現されるが、この状態で磁場を下げたときに、スキルミオンが合体して数を減らす様子が観察されている。さらに数値計算に基づき、合体点で有効「磁場」の湧き出しを与えるモノポール構造の生成が示された。

このモノポールの生成消滅を伴う「磁束」の合体・分裂過程は、通常の電磁現象では見られない際立ったものである。さて、本稿では、このスキルミオンの合体過程をもたらす新奇な伝導現象、電磁現象に関する最近の研究を紹介する。特にこの研究では伝導電子に働く効果として、スキルミオンとの相互作用に加えて、相対論的なスピ

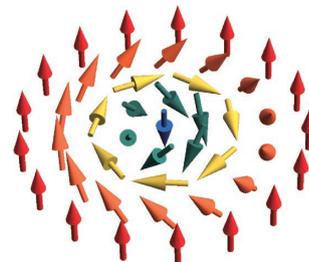
ン軌道相互作用に注目する。すなわち、 $\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{Si}$  におけるスキルミオンの実現には Dzyaloshinskii-守谷 (DM) 相互作用が不可欠であるが、この系の DM 相互作用は結晶の空間反転対称性の破れとスピン軌道相互作用に由来している。他方、 $\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{Si}$  は、伝導電子が磁性も担う遍歴磁性体であることから、伝導現象にも空間反転対称性の破れに起因するスピン軌道相互作用が重要な役割を果たすと考えられる。

スキルミオンやモノポールのようなトポロジカルに非自明なスピン構造は、ベリー曲率の効果により、伝導電子に対して有効的な「磁場」を生み出し、それらのダイナミクスは、有効的な「電場」を生み出す。さらに反転対称性の破れに起因するスピン軌道相互作用が存在すると、上記の実空間における非自明な構造に加えて、波数空間にもトポロジカルに非自明な構造をもつことになる。この2つの非自明な構造の絡み合いが、磁気スキルミオン-モノポール系の物理に新しい色彩を加える。たとえば、空間移動するモノポールが、有効的な磁荷に加えて、電荷をもつような振る舞いを示すことが分かった。つまり、あたかもダイオンのようにふるまうのである。

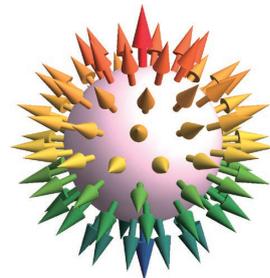
このような伝導電子の豊かな構造とスキルミオン特有のダイナミクスを組み合わせることで、今後も多様な現象が見つかることが期待されている。

## —Keywords—

**スキルミオン：**  
三成分の単位ベクトルで定義される渦状の構造。連続変形では取りのぞけない「トポロジカル構造」の一種である。古くから多くの理論で用いられてきたが、近年、キラル磁性体中で、電子スピンのスキルミオン構造を形成していることが観測された。



**モノポール：**  
三成分の単位ベクトルで定義される、点欠陥のまわりのトポロジカル構造。簡単な例は、下図のような放射状の構造をもつ。スキルミオンが生み出す有効「磁場」の湧き出し点(有効「磁気」モノポール)は、電子スピンのモノポールを形成する。



**ベリー曲率：**  
量子状態の「ねじれ」を特徴づける量の一つ。例えば、自由電子のベリー曲率はゼロだが、電子がスキルミオンと結合すると、そのねじれた実空間スピン配置により、ベリー曲率は有限の値を取る。このベリー曲率は、伝導電子に作用する有効磁場に対応し、トポロジカルホール効果を引き起こす。