

走査型磁気顕微鏡による 遍歴軌道磁化の直接観測

下澤 雅明 / 東京大学 物性研究所 助教



しもざわ・まさあき

1985 年長野県生まれ。2014 年 京都大学大学院博士後期課程修了。2014 年より現職。

トポロジーに起因した「ベリー位相」は、異常ホール効果を含む様々な物理現象と密接に関係していることが分かってきています。そのような中、2005 年頃には磁化という基本物理量にベリー位相がもたらす効果が理論的に研究され始めました [1,2]。膨大な理論研究の結果、ベリー曲率に起因したエッジ電流が軌道磁化を生み出すことが提唱されましたが、実際に観測した報告例は存在していません。この遍歴的な軌道磁化を観測するためには時間反転対称性の破れた系が必要ですが、通常の強磁性体では、スピン磁化成分が圧倒的に大きいいため、エッジ電流による軌道磁化を直接観測することは困難でした。

最近我々は、走査型ホール素子顕微鏡を用いてベリー曲率に起因した表面電流（遍歴軌道磁化）がカイラル反強磁性体 Mn_3Sn [3] に存在することを観測することに成功しました。本研究のポイントは、(i) Mn_3Sn の磁化の大きさが $10^{-3} \mu_B$ 程度と強磁性体に比べて桁違いに小さいにも関わらず、ベリー曲率に起因した異常ホール効果の大きさが強磁性体と同程度であることと、(ii) 遍歴的な軌道磁化とスピン磁化が異なる空間分布を示すこと、の 2 つです。図に、 Mn_3Sn および通常の強磁性体であるコバルトの表面上を微小ホールセンサで走査し、試料表面に対して垂直な磁場成分を 1 次元スキャンした結果を示します。 Mn_3Sn の場合、コバルトの磁化分布とは大きく異なっており、試料中心付近で磁場勾配が逆転する傾向が観測されました。この結果は、軌道磁化とスピン磁化が互いに逆方向を向いていることを示しており、第一原理計算による理論と一致しています。また、先行研究から予想されていた通り、軌道磁化成分が低温で急激に増大することも確認できました。さらに、磁場依存性、磁化異方性、試料形状依存性などを測定した結果、軌道磁化が存在すると考えた場合と矛盾しない結果が得られています。これらの結果は、ベリー位相由来の（遍歴的な）軌道磁化の存在を直接的に示すもので、「トポロジカル」と「磁性」という応用分野で重要な 2 つのキーワードを繋げる大きな手がかりになっていると考えております。今後は、このような遍歴軌道磁化が超伝導に及ぼす影響を解明することを目指します。

- [1] D Xiao et al., Phys. Rev. Lett. **95**, 137204 (2005).
- [2] T. Thonhauser et al., Phys. Rev. Lett. **95**, 137205 (2005).
- [3] S. Nakatsuji et al., Nature **527**, 212 (2015).

WEB 非公開

図：(a) 実験配置の概略。試料表面上で微小ホールセンサを走査し、表面に垂直な磁場成分について 1 次元スキャンを行います。(b) Mn_3Sn の 1 次元スキャンの結果。通常期待される磁場分布とは異なり、試料中心付近の勾配が逆向き（負）になっています。(c) 強磁性体のコバルト（参照試料）の結果。通常のスピン磁化から期待される通り、中心付近の勾配は正となっています。