

# 反強磁性由来の巨大な異常ホール効果を示す新規物質

小手川 恒 (神戸大学大学院理学研究科 kotegawa@crystal.kobe-u.ac.jp)

鈴木 通人 (大阪公立大学大学院工学研究科 mts@omu.ac.jp)

物質の性質や応答現象が対称性に支配されることは古くから知られており、**異常ホール効果**も例外ではない。長い間、異常ホール効果は強磁性体特有の応答現象であり、その発生には大きな磁化が必要だと考えられてきた。しかし、近年の研究により、異常ホール効果の発生に必要な要素は磁化ではなく「強磁性と同じ**対称性の破れ**」であることが明らかとなってきた。Mn<sub>3</sub>Snにおける巨大異常ホール効果の発見がそれを明示したと言ってよいだろう。Mn<sub>3</sub>Snは主成分である反強磁性構造に加えて微弱な自発磁化を持つ磁性体である。その反強磁性構造が対称性の観点で強磁性と等価であるため、「強磁性と同じ対称性の破れ」を引き起こし、大きな異常ホール効果を生み出す。

2015年のMn<sub>3</sub>Snの異常ホール効果の発見以降9年程が経過するが、類似の物質、特に大きな応答を示す物質の報告は現在でも少ない。そのような中で、我々はNbMnP、Ce<sub>2</sub>CuGe<sub>6</sub>で反強磁性由来の異常ホール効果が発現することを発見した。Mn<sub>3</sub>Sn並み、もしくはそれ以上に異常ホール伝導度が大きく、また、Ce<sub>2</sub>CuGe<sub>6</sub>においてCeが磁性を担うf電子系に拡張された。特にこの2つの物質では純良結晶を得られるという利点がある。純良な結晶を利用することで、反強磁性由来の異常ホール効果の詳細な機構を実験的に探ることが可能となった。

異常ホール効果の機構にはバンド間遷移に起因する**内因性機構**と不純物散乱に起因する**外因性機構**が存在する。この2つの機構は試料の純良性に対する依存性が異なることが知られている。磁性体のバンド構造

にのみ依存する内因性機構の特徴として、異常ホール伝導度が散逸に依らないことが挙げられる。つまり、異常ホール伝導度が試料の純良性に依らない。対して、外因性の場合には異常ホール伝導度が散乱で抑制されるため、低純度領域では消失し、高純度領域になるほど異常ホール伝導度が増大する。実験的にこれらを判別するためには散乱頻度の少ない状況を作る純良結晶が不可欠である。強磁性体には十分な実験例があり、現在では多くの遍歴強磁性体の異常ホール効果は内因性が主体であると理解されている。

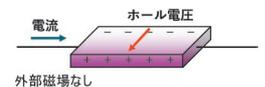
反強磁性由来の異常ホール効果を示す物質にはこの純良結晶が欠けていたが、NbMnPやCe<sub>2</sub>CuGe<sub>6</sub>の登場でそれが可能となった。遍歴磁性体であるNbMnPでは内因性機構が主体であることが分かった。理論計算から、NbMnPのフェルミエネルギー付近のバンド構造が波数空間の比較的広い領域で大きな**ベリー曲率**を生み、巨大な異常ホール伝導度が実現していることも明らかになった。それに対して、局在磁性的なCe<sub>2</sub>CuGe<sub>6</sub>では内因性と外因性の両方の寄与が存在し、大きな異常ホール伝導度には外因性の寄与が大きいと考えられる。これは反強磁性構造の下で外因性機構が顕在化した初のケースと言える。

今回、反強磁性構造であっても強磁性並みの大きな異常ホール伝導度が実現することが遍歴磁性体と局在磁性体の両方で観測された。また、異常ホール効果の外因性機構が物質に依存して大きく現れることも明らかとなり、この研究領域に物質系の広がりがもたらす新しい展開が期待される。

## 用語解説

### 異常ホール効果：

物質に電流を流すと電流に垂直に起電力が生じる効果。外部磁場が無くても発生する。スピン-軌道結合に起因するため、ローレンツ力を起源とする正常ホール効果とは質的に異なる。



### 対称性の破れ：

物性物理学では相転移などにより物質の対称性が低下することを指す。磁性体では秩序化する磁気構造により失われる対称性が異なる。

### 内因性機構：

電流演算子のバンド間行列要素に起源を持つ異常ホール効果の機構。近年、波数空間のベリー曲率を用いて再構築され、その理解が大きく進展している。また、第一原理計算を通して異常ホール伝導度の定量評価が可能になっている。

### 外因性機構：

スピンの依存した散乱が起源となる異常ホール効果の機構。スキュー散乱などの機構が知られている。

### ベリー曲率：

固体の一電子波動関数の位相変化に関連した量。波数空間においてエネルギーバンドに付随するベクトル量と見なせ、仮想磁場とも呼ばれる。