

# 反強磁性が生み出す散逸のない異常ホール伝導

## [1] 要旨

長い間、強磁性特有の現象だと思われてきた異常ホール効果は、最近になって反強磁性を主体とする物質でも観測されている。この現象にブレイクスルーをもたらした  $\text{Mn}_3\text{Sn}$  や  $\text{NbMnP}$  などがこれに該当し、それらの磁気構造の反強磁性成分が強磁性と同じ磁気点群に属することが鍵となっている。その異常ホール効果の機構として波数空間のベリー曲率が散逸に依らない異常ホール伝導度を与える内因性の機構が有力視されていた。今回、 $\text{NbMnP}$  の純良単結晶の作製が可能となり、異常ホール効果の試料依存性を調べることにより、散逸に依らない異常ホール伝導度が確認された。本研究により反強磁性由来の異常ホール効果が内因性の機構で生じている実験的確認が得られたと言える。

## [2] 本文

自発的に磁化が生じる強磁性体は多様な用途で応用されており、古くから「磁化」の大きさや制御性に着眼点が置かれてきた。近年、強磁性体で生じる異常ホール効果の機構が再検討され、ベリー曲率と呼ばれる、量子論的描像から得られる電子状態の幾何学的性質に由来する現象として理解できることが分かってきた。これは内因性の機構と呼ばれ、異常ホール効果は「磁化」という巨視的な量では無く電子状態の「対称性の破れ」によって生じているという認識を与えることになった。その流れの中で、2015年に「強磁性と同じ磁気点群に属する反強磁性成分」が主要な  $\text{Mn}_3\text{Sn}$  において巨大な異常ホール効果が発見され、注目を集めている。磁化がほぼ無い反強磁性主体の物質であっても大きな強磁性的応答が生じることは応用的にも利用価値がある。この機構が内因性機構である場合には、散逸に依らない異常ホール伝導度が得られることが期待される。ところが、これまで発見されている異常ホール効果を示す反強磁性的物質では純良単結晶を作製することが困難であり、異常ホール伝導度の散逸に対する依存性を詳しく調べる事が出来なかった。

最近、神戸大学大学院理学研究科物理学専攻のメンバーを中心とする研究グループは、異常ホール効果が生じる反強磁性的物質  $\text{NbMnP}$  の単結晶試料の大幅な純良化に成功した。得られた高純度試料の異常ホール伝導度を調べることによって、反強磁性由来の異常ホール効果が電子状態の幾何学的性質によって生じていることを実験的に明らかにした。この成果は JPSJ の 2024 年 6 月号に掲載された。

印加された電場中の電子は電子状態の幾何学的性質であるベリー曲率を感じることで、あたかも磁場が存在するかのように横方向への異常速度を得る。このとき、横伝導の大きさを表す異常ホール伝導度は、物質固有のベリー曲率の分布によって決まる。この内因性の異常ホール効果は不純物散乱の影響を受けないため、試料の純良度依存性を調べることによって、スキュー散乱と呼ばれる不純物散乱から生じる外因性の異常ホール効果と実験的に区別することができる。具体的には内因性の異常ホール伝導度  $\sigma_H$  は電気伝導度  $\sigma$  に依存しないのに対して、スキュー散乱による異常ホール効果は  $\sigma_H \propto \sigma$  のように電気伝導度、つまり純良度に依存する振る舞いを示す。これらの依存性を幅広い電気伝導度領域で調べるためには、十分に純良な試料が必要であるが、これまで知られていた反強磁性的物質ではこれを検証できるような純良試料の作製が困難であった。

本研究では  $\text{NbMnP}$  に対して試料作製方法を見直すことによって、従来の値に対して 20 倍以上の

大きな電気伝導度を示す高純度試料の作製が可能となった。NbMnP の高純度試料においても異常ホール効果が観測され、図 1 に示すように異常ホール伝導度  $\sigma_H$  が電気伝導度によらず、ほぼ一定となる振る舞いを示した。このことから、本研究は反強磁性に由来した異常ホール効果が内因性機構で生じていることを実験的に確認した好例と言え、多くの研究者から注目を集めている。NbMnP では、同様に強磁性的な応答である異常ネルンスト効果（温度勾配に対して横方向の電場が生じる効果）が生じることも期待される。これは熱電効果として応用的にも期待されている効果であるが、不純物散乱がどのように影響するのか未解明な部分も多い。関連する現象の更なる理解のため、高純度試料が得られる NbMnP の特徴を活かした今後の研究の展開が期待される。

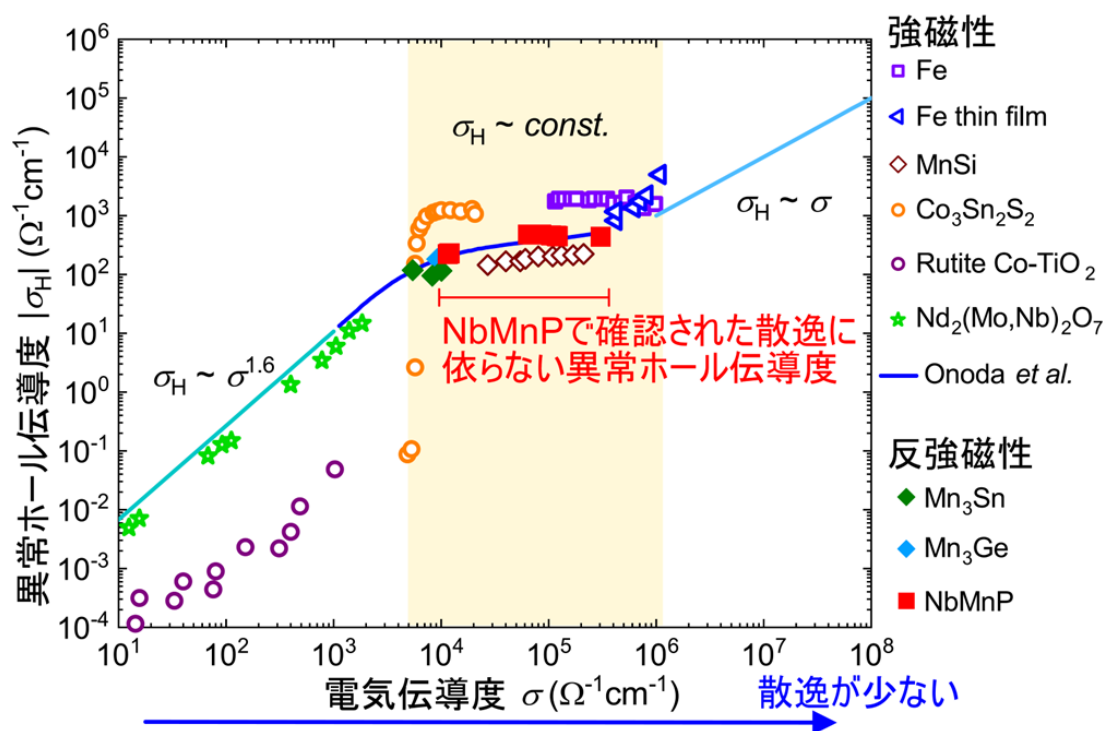


図 1. 異常ホール伝導度の電気伝導度依存性。NbMnP において、反強磁性的物質として初めて、散逸にほとんど依存しない異常ホール伝導度が観測された。

原論文（2024年5月10日公開済）

Intrinsic Anomalous Hall Effect Arising from Antiferromagnetism as Revealed by High-Quality NbMnP  
 Y. Arai, J. Hayashi, K. Takeda, H. Tou, H. Sugawara, and H. Kotegawa, J. Phys. Soc. Jpn. **93**, 063702 (2024).

<情報提供：新井祐樹（神戸大学理学研究科）、小手川恒（神戸大学理学研究科）>