

磁性体におけるトポロジーと機能性

東京大学 物性研究所 中辻 知

近年、電子構造の持つトポロジカルな性質に大きな関心が集まっている。グラフェン、トポロジカル絶縁体、ワイル半金属などの研究により、様々な電子機能の発見があった。但し、これまで確立された例は電子相関が弱い系に限られており、強相関電子系における電子構造のトポロジカルな性質の解明は、次の重要な課題である。実際、トポロジカル近藤絶縁体やパイロクロア型イリジウム酸化物におけるワイル半金属の提案など、理論的には多くの進展があった [1]。一方で、その強い電子間相互作用ゆえにバンド幅は狭く電子の寿命は短いなど、強相関電子系のディラック点やワイル点などの光電子分光による直接観察は多くの場合簡単ではなく、その実験的確立には時間を要しているのが現状である。

一方、我々は強相関物質の機能性からそのトポロジカルな起源の可能性を探るという試みを行ってきた。注目してきた代表的な物性はホール効果である。異常ホール効果は通常強磁性体で現れるが、磁化の存在しない状況でも出現するためには、電子構造に非自明なトポロジカルな異常が必要である。その最初の例は $\text{Pr}_2\text{Ir}_2\text{O}_7$ におけるスピン液体状態での自発的なホール効果である [2,3]。Pr の 4f 電子がスピニアイス状態を形成する温度 (~1.5 K) 以下で、強磁性体と同程度の大きなホール伝導度がゼロ磁場、ゼロ磁化の状態で見られる。最近の単結晶薄膜の結果は、基板による歪の存在下でその出現する温度が一桁以上上がり、30 K 以上になることを示している [4]。これは ARPES の直接観察の結果 [5]、常磁性状態が Luttinger semimetal であること [1,5] を考えると、理論的に予想されるワイル半金属の状態と符合する [4,5]。二つの目の例は、反強磁性体における異常ホール効果である。最近の Mn_3Sn や Mn_3Ge における異常ホール効果の研究から、室温以上で 100 T 級のベリー曲率がこれらの物質の波数空間に存在すること、また、それが 10 mT 程度の外部磁場で制御可能であることをわかってきた [6,7]。これら反強磁性体もワイル金属としての理論提案がなされている [8]。最後に、これらのトポロジカル磁性体における新しい機能として巨大なベリー曲率を利用した熱電、磁気光学、創発的電磁気学についても議論したい。

[1] N.P. Armitage, E.J. Mele, and A. Vishwanath, arXiv:1705.01111

[2] S. Nakatsuji et al., Phys. Rev. Lett. **96**, 087204 (2006).

[3] Y. Machida, S. Nakatsuji, S. Onoda, T. Tayama, and T. Sakakibara, Nature **463**, 210 (2009).

[4] T. Ohtsuki, Z. Tian, A. Endo, M. Halim, S. Katsumoto, Y. Kohama, K. Kindo, S. Nakatsuji, and M. Lippmaa, preprint (2017).

[5] T. Kondo et al., Nature Communications **6**, 10042 (2015).

[6] S. Nakatsuji, N. Kiyohara and T. Higo, Nature **527**, 212 (2015).

[7] N. Kiyohara, T. Tomita, S. Nakatsuji, Phys. Rev. Applied **5**, 064009 (2016).

[8] H. Yang et al., New J. Phys. **19**, 015008 (2017).