



## マグノン系トポロジカル相とその不変量

赤城 裕 / 東京大学 理学研究科 助教

あかぎ・ゆたか

大きな成功を収めたフェルミオン自由度に起因したトポロジカル物性の研究はボゾン系にも波及しています。中でも興味深いのが、磁性体における基礎的な準粒子であるマグノンです。電荷をもたないマグノンのトポロジカル熱ホール効果が理論的に提案され [1]、すぐに  $\text{Lu}_2\text{V}_2\text{O}_7$  で観測されたことで注目を集めました [2]。一方、昨今のトポロジカル物性に関する研究の爆発的広がりは、クラス AII のフェルミオン系トポロジカル絶縁体の提案が発端でしたが、ここで本質的な役割を果たす時間反転対称性に由来する Kramers の定理は、直接ボゾン系には適用できないことから、ボゾン系トポロジカル相の研究のほとんどは時間反転対称性を持たない系での議論に留まっていました。

そこで私達は、Kramers 対の存在を保証する有効的な時間反転演算子を導入し、フェルミオン系におけるクラス AII に対応する 2, 3 次元 Z2 トポロジカルマグノン系の具体的模型 (スピン Sz 非保存) とそれらを特徴付ける Z2 トポロジカル不変量を提案しました [3,4]。さらに、これらの系におけるトポロジカル不変量の値とエッジ状態の有無の整合性 (bulk-edge 対応) も確認しました。ボゾン系には特有の数学的性質 (非エルミート性) があるため、これらの不変量はフェルミオン系とは異なった表式のベリー接続 / 曲率を用いて表現されるという特徴があります。

また、トポロジカル相は乱れに強いとされていますが、系に乱れがあると波数が定義できないため、相を特徴付けるトポロジカル不変量を定めることは自明ではありません。そこで私は、非可換幾何の手法 [5-7] を用いて、乱れのあるマグノン系トポロジカル相の不変量を定義しました。ここでは、ボゾン系における “フェルミ” 射影演算子を

2014 年東京大学工学系研究科物理工学専攻博士課程修了 (求研究室)。沖縄科学技術大学院大学 Postdoctoral Scholar (Shannon 研究室) を経て 2015 年より現職。趣味は美術鑑賞、動物観察、筋トレなど。つい最近、子育てが新たな趣味に追加されました。

導入することで上記の手法を拡張しました。そして、数値的な検証も行なうことで、乱れのあるマグノン系トポロジカル相を特徴付けることに成功しました [8]。他にも、私達は機械学習を用いた乱れのあるトポロジカル相の同定法も開発しております [9]。これは、乱れない極限のみのデータで学習したニューラルネットワークを用いる手法であり、bulk-edge 対応のあるフェルミオン系 / ボゾン系 (対称性、次元に依らず) で適用可能な汎用的手法です。

- [1] H. Katsura, N. Nagaosa, and P. A. Lee, Phys. Rev. Lett. **104**, 066403 (2010).
- [2] Y. Onose et al., Science. **329**, 297 (2010).
- [3] H. Kondo, Y. Akagi, and H. Katsura, Phys. Rev. B **99**, 041110(R) (2019).
- [4] H. Kondo, Y. Akagi, and H. Katsura, Phys. Rev. B **100**, 144401 (2019). [Editors' Suggestion]
- [5] J. E. Avron, R. Seiler, and B. Simon, J. Func. Anal. **120**, 220 (1994).
- [6] Y. Akagi, H. Katsura, and T. Koma, J. Phys. Soc. Jpn. **86**, 123710 (2017).
- [7] H. Katsura and T. Koma, J. Math. Phys. **59**, 031903 (2018).
- [8] Y. Akagi, in preparation.
- [9] N. Yoshioka, Y. Akagi, and H. Katsura, Phys. Rev. B **97**, 205110 (2018).