

トポロジカル材料科学と革新的機能創出
2019 年度採択研究者

2020 年度 年次報告書

那須 讓治

横浜国立大学 大学院工学研究院
准教授

量子トポロジカル磁性体のもつ素励起の時空間的制御

§ 1. 研究成果の概要

本研究では、トポロジカルな特徴を有する量子磁性体の代表例として、Kitaev型の量子スピン液体に注目し、そこで現れるマヨラナフェルミオンやエニオンといった特殊な素励起の観測、制御方法の解明を目指して研究を行っている。特に今年度は、マヨラナフェルミオンに由来する輸送特性に注目し、そのスピン輸送や乱れの効果に対する研究を推進してきた。Kitaev量子スピン液体のスピン輸送に関しては、片方の端にパルス磁場を印可した場合の輸送特性を時間依存平均場近似法によって計算を行った。その結果、バルクには磁気モーメントが励起しないにも関わらずもう片方の端にスピン変調が伝わることが分かった。また、このスピン輸送は、両端の間の距離に対して冪的な減衰を示すことがわかり、これは長距離のスピン輸送が可能であることを意味する。この結果は、ギャップレスのマヨラナフェルミオンがスピン輸送を担っていることに由来している。また、量子スピン液体に対する乱れの効果に関しては、磁気相互作用の大きさのランダムネスと不純物効果の2種類に対して、モンテカルロ法を用いてその類似点や相違点に関して網羅的に調べた。特に、マヨラナフェルミオンのトポロジカルな性質に由来した熱ホール効果に関しては、磁気相互作用の大きさにランダムネスを導入した場合、その量子化は比較的堅牢なのに対して、スピンを非磁性サイトに置換する不純物を導入すると、熱ホール係数の量子化はすぐに消失することが分かった。この違いはフラックスと呼ばれる別の素励起の揺らぎが大きく影響していると考えられる。すなわち磁気相互作用に乱れに比べて、不純物効果はフラックス励起に大きな揺らぎを生じさせるため、マヨラナフェルミオン系のトポロジカルな性質も不安定化すると考えられる。

【代表的な原著論文情報】

- 1) T. Minakawa, Y. Murakami, A. Koga, and J. Nasu, “Majorana-Mediated Spin Transport in Kitaev Quantum Spin Liquids”, Phys. Rev. Lett. 125, 047204 (2020).
- 2) J. Nasu and Y. Motome, “Thermodynamic and transport properties in disordered Kitaev models”, Phys. Rev. B 102, 054437 (2020).