

## 量子スピン液体で発現する創発準粒子のトポロジカル特性の安定性とその制御

那須 譲治 / 横浜国立大学 大学院工学研究院 准教授

極低温まで磁気秩序を示さない量子スピン液体においては、その強い量子多体効果によって特殊な統計性を有する創発準粒子が生じることが示唆されています。特に、量子スピン液体を基底状態に持つKitaevモデルでは、スピンの分数化により現れる準粒子励起として、マヨラナ粒子と創発 $Z_2$ 渦がその低エネルギー励起を担います。磁場を印可すると、マヨラナバンドがトポロジカルに非自明な構造をとります。この状態においては、 $Z_2$ 渦励起にマヨラナゼロモードが束縛され、それが非可換エニオンとして振る舞うことで、量子計算への繋がりも見いだされています。この理論予想の中で、近年、Kitaev候補物質 $\alpha$ - $\text{RuCl}_3$ で観測された熱ホール係数の半量子化は、非可換エニオンの存在を強く示唆するものとして注目を集めています [1]。

本研究では、Kitaev量子スピン液体がもつ創発準粒子のトポロジカル特性を調べるため、特に磁場効果に焦点を絞り研究を行ってきました。磁気相互作用が強磁性的なKitaevモデルに磁場を印可すると、低磁場では量子スピン液体状態が保持されますが、高磁場領域ではそれが破壊され、強制強磁性状態となります。一方で反強磁性Kitaevモデルにおいては、それらの間に中間相が存在することが分かりました [2]。低磁場量子スピン液体相と中間相の間は、マヨラナバンドのトポロジカルな性質が変化する相転移であることを見いだしました。

さらに、その研究の延長として、磁場が時間変動する非平衡ダイナミクスの研究も進めています。その中でもKitaev量子スピン液体に対して印可した磁場を急にゼロにする磁場クエンチによる磁化ダイナミクスを調べました [3]。磁化の実時間ダ



なす・じょうじ

1983年生まれ 山形県出身。  
2006年東北大学理学部卒業。  
2011年 東北大学 博士(理学)取得。その後、東北大学大学院理学研究科助教、日本学術振興会特別研究員、東京工業大学理学院助教を経て、2018年12月より現職。

イナミクスをエネルギー分解すると、初期時刻では、高エネルギーの重みが大いだが、それは急速に減衰し、その代わりに時間経過とともに低エネルギーの重みが増大していくことが分かりました。解析の結果、高エネルギーのものはマヨラナ準粒子に対応し、低エネルギーのものは $Z_2$ 渦励起に対応するものです。この結果は、スピンの分数化して生じた2種類の準粒子励起を時間ドメインで分解して観測できることを示唆しています。

これに加えて、最近では量子スピン液体におけるスピン輸送の研究も始めました [4]。磁気モーメントの出現なしにマヨラナ準粒子がスピン励起を輸送できることが分かってきましたので、これが実験的に観測できることを期待しています。

[1] Y. Kasahara et al., Nature **559**, 227 (2018).

[2] J. Nasu et al., Phys. Rev. B **98**, 060416(R) (2018).

[3] J. Nasu, and Y. Motome, Phys. Rev. Research **1**, 033007 (2019).

[4] T. Minakawa et al., arXiv:1912.10599.