

トポロジカル材料科学と革新的機能創出
2020年度採択研究代表者

2022年度
年次報告書

山本 慧

日本原子力研究開発機構 先端基礎研究センター
副主任研究員

非相反表面波:材料科学に使えるアノマリー

研究成果の概要

昨年度に Kitaev 鎖や電磁場あるいは音波を記述する方程式とそれらに現れる境界モードを連続体モデルを用いて調べたことで、それらのトポロジカルな特徴付けには連続体特有の技術的困難が伴っていることが明らかになってきた。通常のアノマリーを特徴付ける指数定理が使えるような形に方程式を持っていくことはできるものの、閉多様体上で考える素粒子論の場合とは異なり、固体物理の離散的なモデルと対応づけるためには熱力学極限を取った後の無限体積の連続体で物理を考えることが必要になる。この問題に対する解決策を探る中で、非コンパクト多様体に指数定理を拡張する枠組みとしての **Coarse Geometry** と呼ばれる数学的手法に行き当たった。物理学に現れる数学的モデルを **Coarse Space** として考えると、それが離散か連続か、有限体積か無限体積かによらず **Atiyah-Singer** の指数の一般化と考えられるような代数トポロジーを定義することができる。この観点から離散無限体積の Chern 絶縁体と連続有限体積のカイラルアノマリーを統一的に議論することができ、かつそれらの連続無限体積における対応物として **Coarse Index** が特徴付ける境界ディラック作用素を取ることができることを明らかにした。しかし現状二つ大きな疑問が残っている。第一に、連続無限体積におけるバルクエッジ対応がどのような形を取るかが理解できていない。第二に、物理に即応用可能な数学的側の例はほとんど複素係数の場合であるが、本研究の対象である古典的波動や超流動では実係数の場合が必要になる。次年度にこれらの課題に取り組んでいきたい。並行して取り組んでいる材料科学への応用については、これまで継続して行ってきた表面音波とスピン波の結合に関して、新たにラブ波と呼ばれる横波表面波が示す特徴的な磁場角度依存性を実験・理論両面で明らかにした²⁾。また関連した新たな方向性として、マクロな磁性体磁化のダイナミクスにおける非線形・非平衡揺らぎと連続極限の関係を探り始めている¹⁾。

【代表的な原著論文情報】

- 1) “Nonlinear Magnon Polaritons”, *Physical Review Letters*, vol. 130, 046703, 2023
- 2) “Hybridized Propagation of Spin Waves and Surface Acoustic Waves in a Multiferroic-Ferromagnetic Heterostructure”, *Physical Review Applied*, vol. 19, 024046, 2023