

トポロジカル材料科学と革新的機能創出
2020 年度採択研究者

2021 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

§ 1. 研究成果の概要

前年度の表面音波とトポロジーの関係を調べるための技術的障害に関する知見を踏まえ、今年度は連続体モデルにおけるハミルトニアンの特徴付けに向けて、主に二つの課題に取り組んだ。第一に、連続体モデルでヒルベルト空間が実構造を持つ場合に既知のトポロジカル相、特に Kitaev 鎖を特徴付けるバルクトポロジカル不変量は何か、その物理的解釈と境界マヨラナモードとの対応を調べた。この試みは大部分期待通りに進み、ジョセフソン接合に現れるアンドレーエフ束縛状態がバルクトポロジカル不変量と直接関わっていることを明らかにし、複数の具体例に関してはバルクトポロジカル不変量の値と半直線モデルにおけるハミルトニアンの自己共役拡大で得られる境界モードの有無の間の対応を確かめることができた。しかし一般のハミルトニアンに対してバルクエッジ対応を証明するためにはジョセフソン接合の不連続性を数学的に精密化する必要があり、現在この問題に取り組んでいる。第二に、電磁波や音波のような古典的な波動方程式を素粒子物理におけるアノマリーの特徴付けに用いられる指数定理を直接適用可能な形に書き換えることに成功した。これによって電磁波や音波のゼロ周波数固有モードはトポロジカルに安定であることがわかった上に、偏微分方程式の境界条件とトポロジーの関係が数学的に厳密な形で定式化されている例を手にすることができた。これらの進捗はまだ断片的であると考えており、連続体モデルにおけるトポロジカル相の一般的な特徴付けを達成するための技術的な精密化と理論の全体像の把握ができるまでにはまだ時間が必要である。並行して行っている表面音波を用いた新機能材料の開拓については、前年度に得た表面音波との混成による磁気マイクロ波信号の長距離伝搬に関する結果を論文にまとめて発表した¹⁾。また表面音波とスピン波の結合係数を、解析的な公式が導出できる範囲で可能な限り一般性を確保して計算し、実験データへの応用例と合わせて論文として出版した²⁾。

【代表的な原著論文情報】

- 1) “Long decay length of magnon-polarons in $\text{BiFeO}_3/\text{La}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ heterostructures”, *Nature Communications*, vol. 12, No. 7258, 2021
- 2) “Interaction between surface acoustic waves and spin waves in a ferromagnetic thin film”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 545, No. 1, 168672, 2022