

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

2021 年度 年次報告書
------------------

井手上 敏也

東京大学 大学院工学系研究科  
助教

ファンデルワールス結晶の対称性制御とトポロジカル非線形輸送

## § 1. 研究成果の概要

ファンデルワールス結晶ナノ試料における、対称性の破れを反映した非線形輸送現象の研究を推進した。特に、3回回転対称性を有する空間反転対称性の破れた超伝導体である $\text{PbTaSe}_2$ において、外部磁場の印加や磁気秩序の発現といった条件を必要としない新しい整流現象を発見し、その微視的機構に関して知見を深めた。

空間反転対称性の破れた物質で生じる物質固有の整流性は、物質中の特異な電子状態や電子バンドの幾何学的性質、素励起の特徴的ダイナミクス等を反映した輸送特性であり、これまで主に外部磁場を印加した非磁性物質や磁気秩序が発現する磁性体のような時間反転対称性が破れた物質で報告がされていた。本研究では、空間反転対称性の破れた超伝導体である $\text{PbTaSe}_2$ の常伝導相と超伝導相の両方において、そのような時間反転対称性の破れが無い場合でも整流現象が生じることを見出した。非線形伝導の電流方位依存性や電流値依存性を複数の試料で調べ、さらに空間反転対称性を有する類似物質と比較を行うことで、観測された整流性が結晶の3回回転対称性を反映していることを確認した。また、3回回転対称性を持つ超伝導体中での量子渦-反量子渦の非対称運動を理論的に考察し、超伝導相で観測された整流性の温度依存性や整流性の大きさが半定量的に説明できることを明らかにした。

以上の結果は、結晶中で時間反転対称性の破れを必要としない整流現象が生じ得ることを明らかにした初めての報告であり、今後、様々な空間反転対称性の破れた結晶における時間反転対称下整流現象の観測と機構解明、普遍性の検証が望まれる。また本研究成果は、超伝導ダイオードの新しい原理を提示するものであり、対称性を基軸とした固体中の新機能実現への有用な知見になると期待される。

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) “Giant second harmonic transport under time-reversal symmetry in a trigonal superconductor”, Nature Communications, **13**, 1659 (2022).