

村上研究室

対称性とトポロジーに基づく新物性現象の探索と理解

- 固体中の電子
- 光学・電磁現象
(光、スピン波、弾性波など)

トポロジーなどの数学的構造に基づく理論構築
→ 新奇物性現象の予言

紙と鉛筆で新しい現象を予言する

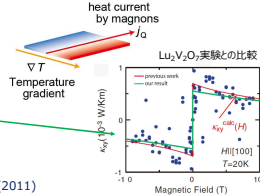
以下は大学院生の修士論文・博士論文研究からいくつかの研究を紹介します

マグノン熱ホール効果の公式

マグノン熱ホール伝導率の標準公式の確立 ($j_{xy} = \kappa_{xy} (VT)$),

$$\kappa_{xy} = -\frac{k_B^2 T}{hV} \sum_{n,k} c_2(\rho(\varepsilon_{nk})) \left[\frac{\Omega_{nk}^2}{k} \right]$$
$$c_2(\rho) = \int_0^\rho \left[\log \left(\frac{1+t}{t} \right) \right]^2 dt = (1+\rho) \left[\log \left(\frac{1+\rho}{\rho} \right) \right] - (\log \rho)^2 - 2\text{Li}_2(-\rho)$$

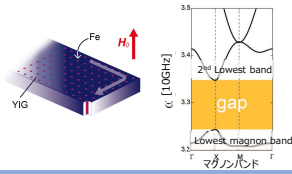
Matsumoto, Murakami, Phys. Rev. Lett. 106, 197202 (2011)



トポロジカルマグノニック結晶

強磁性体の人工周期構造でトポロジカルなバンドを実現できる
← 双極子相互作用がチャーン数を非自明にする

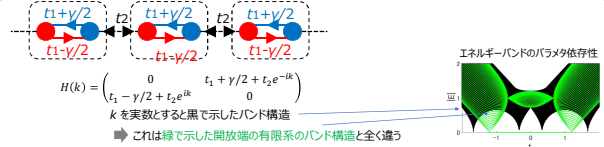
Shindou, Ohe, Matsumoto, Murakami, Saitoh, Phys. Rev. B87, 174402 (2013)



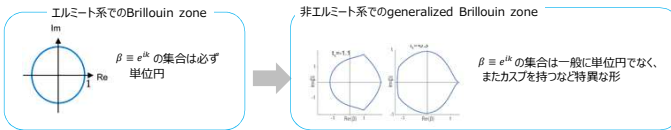
非エルミート系のブロッホバンド理論

Yokomizo, Murakami, Phys. Rev. Lett. 123, 066404 (2019).

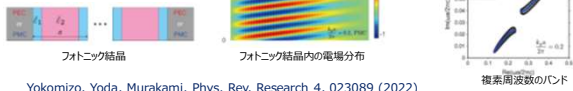
非エルミート系では、開放境界条件下でのエネルギースペクトルが、従来のバンド理論では正しく記述できない



エルミート系では実数としての波数kを、ある複素数の集合(generalized Brillouin zone, GBZ)とすることでバンド構造を記述できることを示し、GBZの構築方法を確立した。



非エルミートフォニック結晶へ応用



Yokomizo, Yoda, Murakami, Phys. Rev. Research 4, 023089 (2022)

研究室の構成など

2024年2月～

学生：博士課程 2人 (D2,D1)、修士課程 5人 (M2×2 (うち1名は海外交流学生), M1×3)
スタッフ：教授、技術補佐員、ポスドク 1名、

卒業・修了 (2007年～現在、東京科学大)：博士17人、修士33人、学士34人

博士論文リスト

令和6年度	Theory of electric polarization and spin magnetization in inhomogeneous crystals
令和5年度	Theory of Conversion of Chiral Phonons into Electrons and Magnons 手島精一記念賞 (博士論文賞) 受賞
令和4年度	Interplay between topological surface states in topological semimetals (トポロジカル半金属におけるトポロジカル表面状態間の相互作用) Bulk-boundary correspondence of first- and second-order topological insulators and their effects on the crystal shapes (1次および2次トポロジカル絶縁体のバルク・境界対応とその結晶形状への影響) (1年短縮修了) Classification of topology changes of nodal lines in PT-symmetric nodal-line semimetals (PT対称なノードライン半金属におけるノードラインのトポロジー変化の分類) Non-Bloch Band Theory of Non-Hermitian Systems (非エルミート系におけるブロッホバンド理論) (半年短縮修了)、Springer Theses受賞、手島精一記念賞 (博士論文賞) 受賞、井上学術奨励賞受賞 Second-order bulk-boundary correspondence in topological crystalline insulators (トポロジカル結晶絶縁体における2次のバルク・境界対応) Glide-symmetric Z2 Magnetic Topological Crystalline Insulators Springer Theses 受賞、手島精一記念賞 (博士論文賞) 受賞
令和2年度	Theory of Generation and Conversion of Phonon Angular Momentum (フォノン角運動量の生成と変換の理論) Springer Theses 受賞、手島精一記念賞 (博士論文賞) 受賞
平成30年度	Topological phase transitions of topological semimetals and gapless superconductors (トポロジカル半金属およびギャップレス超伝導体のトポロジカル相転移)
平成29年度	Theory of Berry curvature of magnons in ferromagnets
平成28年度	Symmetry and topology in electronic band structures of spin-orbit-coupled surfaces and multilayers (スピン軌道相互作用を持つ表面系・積層系の電子バンド構造における対称性とトポロジー)
平成27年度	One-dimensional description of fractional quantum Hall state and related spin chains
平成26年度	Theory of Plasmonic Band Structures and Plasmonic Dirac Cones
平成25年度	Theory of thermal Hall effect of magnons due to Berry curvature (ベリ曲率によるマグノンの熱ホール効果の理論) (3か月短縮修了)
平成24年度	Theory of singular transport of Dirac Fermions (ディラック電子の特異な輸送現象) Topological states on surfaces and interfaces Springer Theses受賞

研究指導方針

- モデルの計算から物質に即した計算まで幅広く扱う
→ 何度も面談を行って、学生の興味と能力に合わせたテーマを選ぶ。
- 早い段階で研究に入り、分野の勉強はその研究を通じて行う。
- 学会発表(日本物理学会、アメリカ物理学会、種々の研究会)や論文執筆を重視 (英語含む)

→ 新しいテーマにチャレンジして、できれば修士課程で学会発表・論文執筆をできるように

PI紹介

村上 修一 (教授)

1996-2007 東京大学工学系研究科物理工学専攻 助手 (永長研)
2007-2011 東京工業大学理工学系研究科物理工学専攻 准教授
2011-2025.3 同教授
2025.4- 東京大学工学系研究科物理工学専攻 教授

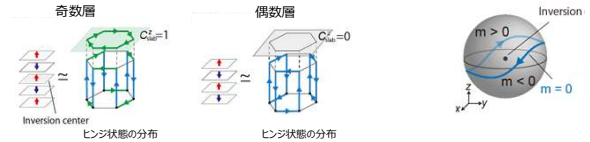
代表的業績：

- 内因性スピンホール効果の予言(2003)
- ワイル半金属の提案(2006)
- ピスマス2層薄膜のトポロジカル絶縁体予言(2006)
- マグノン熱ホール伝導率の標準公式導出(2011)
- トポロジカルマグノニック結晶の提案(2013)
- トポロジカルエレクトロニクス効果の提案(2018)
- フォノンの熱エーデルシュタイン効果(2018)
- 非エルミート系のブロッホバンド理論(2018) など



高次トポロジカル絶縁体のヒンジ状態

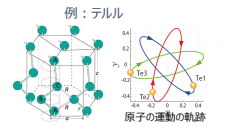
高次トポロジカル絶縁体のヒンジ状態の現れ方は層数の偶奇に依存することを示した (例：EuIn2As2)



Takahashi, Tanaka and Murakami, Phys. Rev. Research 2, 013300 (2020)
Tanaka, Takahashi, Murakami, Phys. Rev. B 101, 115120 (2020)
Tanaka, Takahashi, Zhang, Murakami, Phys. Rev. Research 2, 043274 (2020)

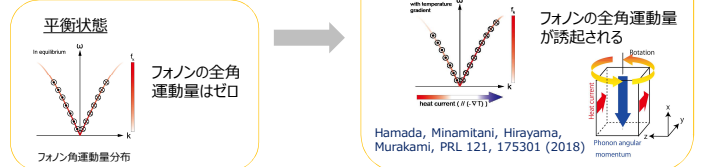
カイラルフォンの新物性

対称性の低い結晶では、フォノンは原子核の回転運動を伴い角運動量を持つ「カイラルフォノン」



熱流によるフォノン角運動量生成

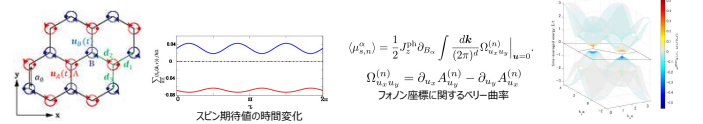
非磁性の結晶に熱流を流すとカイラルフォノンが誘起されることを理論予言 → 実験で実証



カイラルフォノンによるスピン磁化誘起

Hamada, Murakami, Phys. Rev. Research 2, 023275 (2020)
Yao, Murakami, preprint (2025)

カイラルフォノンがあると、動的に電子系を変調し、それによりスピン磁化がnonzeroになることを示した。
→ カイラルフォノンは電子に対して有効磁場として作用



修士論文リスト

令和6年度	Theory of fractionally quantized corner charges in three-dimensional crystal shapes (3次元の結晶形状の角に現れる量子化された分断電荷の理論) (優秀修士論文賞) 表面弾性波と静電波の磁気双極子相互作用による結合 トポロジカルノードライン半金属における圧電効果による時間発展
令和5年度	Theoretical study of chirality-dependent shift current in spiral magnets (らせん磁性におけるカイラリティ依存のシフトカレントの理論研究)
令和4年度	Electric polarization jump caused by monopole charges of two-dimensional Weyl semimetals (二次元Weyl半金属の単極子に起因する電気分極のジャンプ) (半年短縮修了) 全てのlayer group の高対称点における2次元トポロジカル相転移の系統的理論研究
令和3年度	Theory of fractionally quantized hinge and corner charges in three-dimensional insulators (三次元絶縁体における分断に量子化したヒンジおよびコーナー電荷の理論) 対称性の破れた系におけるフォノン角運動量の理論 Magnetic quadrupole moments produced by topological chiral hinge states and their contribution to the magnetoelectric effect (優秀修士論文賞)
令和2年度	Theory of chiral hinge states in higher-order topological insulators (高次トポロジカル絶縁体におけるカイラルヒンジ状態の理論) トポロジカル絶縁体における軌道エーデルシュタイン磁化
令和元年度	Current-induced orbital magnetization in metals without inversion symmetry (空間反転対称性のない金属での電流誘起軌道磁化) (優秀修士論文賞) Valley Semiconductor and Weyl Semimetal Without Inversion Symmetry in Three Dimensions (3次元における空間反転対称性の破れたバレー半導体とワイル半金属)
平成30年度	Anomalous dielectric response in insulators with n Zak phase (n Zak位相を有する絶縁体に生じる異常誘電分極) 表面弾性波のトポロジカルなバンド構造 ノードライン半金属におけるノードラインの形状変化とリンクの形成理論
平成29年度	Spinless hofstadter nodal-line semimetals (スピンレス系における、砂時計型/バンド構造による線ノード半金属) Topological phases in Weyl semimetal multilayers (積層ワイル半金属のトポロジカル相)
平成28年度	Weyl Semimetals and Z2 Topological Crystalline Insulators in Spinless and Bosonic Systems with Glide Symmetry
平成27年度	Physics of superlattices of nodal-line semimetals トポロジカル絶縁体のエッジ状態・表面状態のスピン構造 Coupling between spin current and phonon via spin-rotation coupling
平成26年度	Current-induced spin and orbital magnetizations in chiral crystals Weyl semimetals without inversion symmetry
平成25年度	Bound states in graphenes by a one-dimensional potential well グラフェンの結晶対称性低下に伴う新奇応答
平成24年度	Novel spin properties of non-Rashba-type surface states with low symmetries 2次元トポロジカル絶縁体におけるラッシュ型状態の解析
平成23年度	Rashba系におけるスピントルクの理論的研究 トポロジカル絶縁体表面状態の電場応答
平成22年度	マグノンの軌道角運動量と熱ホール効果 トポロジカル絶縁体の表面状態侵入長
平成21年度	量子スピンホール系における熱電効果の研究

メッセージ

研究室訪問や個別の面談 大歓迎です(zoomもok)
工学部 6号館 215, 217号室
メール：murakami@ap.t.u-tokyo.ac.jp
ホームページ：(異動のため工事中)