

VII-1. 量子物性理論

教授：初貝 安弘 (Yasuhiro Hatsugai)
助教：吉田 恒也 (Tsuneya Yoshida)
助教：溝口 知成 (Tomonari Mizoguchi)
大学院生：7名 (博士2名，修士5名)
卒論学生：3名

1 トポロジカル相におけるバルク・エッジ対応の普遍性について

この数年、我々は、物性物理学において急速に進展しつつあるトポロジカル物質の特性であるエッジ状態と呼ばれる系の境界や不純物近傍に局在する状態とバルクのトポロジカル相との普遍的な関係である「バルクエッジ対応」に関する研究を進めている。

このバルクエッジ対応の概念は量子ホール効果での発見以来、多くの量子系において確認されてきたものであるが、21世紀の発見としては、この概念、現象は量子系に限らず古典電磁場（フォトニック系）や古典力学系などより広範囲に存在することが分かってきた。

一般に古典力学の粒子描像に対して量子力学は波動性を特徴とすると通常理解されているが、量子論においてもいわゆる局在状態（束縛状態）は粒子的な特徴を持ち、無限系において規格化できない（広がった）散乱状態とは明確に区別され、この局在状態はある種の古典的な自由度と考えることができる。よって、バルク・エッジ対応とはある種の波動－粒子の対応、量子－古典対応とも考えられるのである。

以下関連した研究に関する本年度の結果を述べる。

1.1 3次元のフォトニック結晶におけるワイル点と対応するエッジ状態の研究。[1]

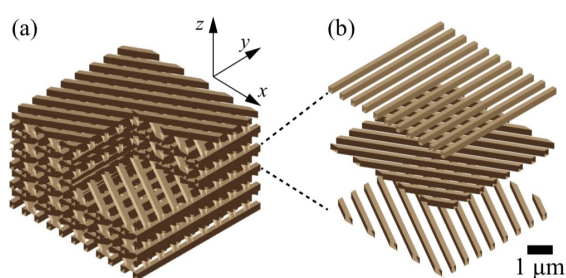


図 1: ワイル点を持つ3次元ウッドパイル構造をつくるフォトニック結晶 [1]

電子系以外のトポロジカル相が多くに興味を集めているがその一つの例として、周期構造を持つ誘電体中の古典電磁場とトポロジカル相に着目した研究をおこなった。東京大学の岩本グループ他との共同研究により、ウッドパイル構造とよばれる具体的な3次元のフォトニック結晶に対して、ワイル点とよばれる分散の特異点を数値的に確認し、そのトポロジカルな安定性を確認するとともに、付随するセクションチャーン数とよばれる波数依存のトポロジカル数と対応するエッジ状態の存在を整合的に理解することに成功した。

1.2 機械学習を用いた高次トポロジカル相の研究 [2]

トポロジカル相においてはバルクエッジ対応とよばれる基本原理により，系に境界があるとき特徴的な局在状態が系の境界に存在する。従って2次元系においては電子分布を画像化すると系の境界に特徴的な像があらわれる。この特徴的な振る舞いを理論的基礎として，近年大きな注目を集めている機械学習を用いて画像認識することでトポロジカル相の相分類を行った。

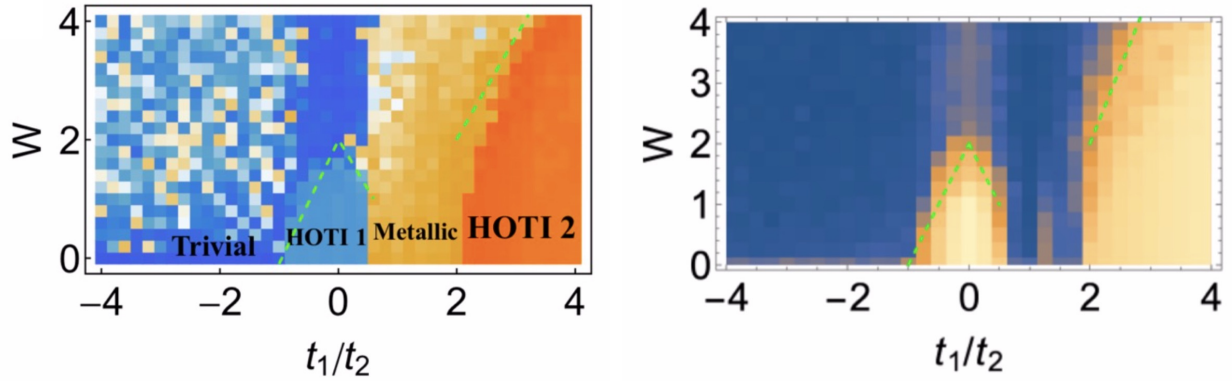


図 2: (左) 機械学習による高次のトポロジカル相の相図。(右) 標準的な手法による同じ系の相図。比較することで機械学習の手法が整合的な結果を与えることが確認できる [2]

1.3 古典スピン液体の境界効果

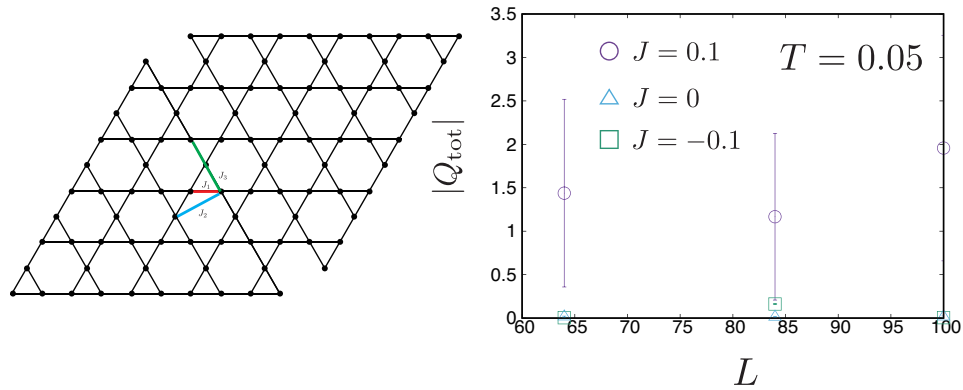


図 3: (左) カゴメ格子 J_1 - J_2 - J_3 イジング模型。(右) 境界のある系でのチャージ蓄積。

トポロジカル相におけるバルク・エッジ対応は，電子系を超えて様々な系で現れることが明らかとなっている。本年は，そのような一例として，古典スピン液体，中でもカゴメ格子やパイクロア格子などの「頂点共有型」構造をもつ格子上的イジング模型に着目した。このような模型では三角形または四面体のクラスタごとに定義された「保存チャージ」を用いることで，状態を見通しよく記述することができる。保存チャージは格子版の「ガウスの法則」を満たし，バルクのチャージと境界のフラックスが関連づけられるため，系の境界を考えることで顕著な性質が現れる可能性がある。しかし，これまでの研究では，境界の効果については明らかになっていない。

本年は、カゴメ格子 J_1 - J_2 - J_3 イジング模型を、境界のある系で解析した。ここで、 J_1 , J_2 , J_3 はそれぞれ最近接、次近接、次々近接、相互作用を表し、特に J_2 と J_3 は保存チャージ間の相互作用を与える。本模型に対し、モンテカルロ法を用いて低温でのスピン状態を解析した結果、 J_2, J_3 正のとき、バルクに有限の全チャージが蓄積されることを明らかにした。さらに、「ガウスの法則」を通じたバルク・エッジ対応の帰結として、チャージの蓄積が端スピンの有効模型 (ダイマー化 ANNNI 模型) のスピン相関の観点から理解できることを明らかにした。

1.4 キタエフスピン液体の端磁化

量子スピン液体の代表的な模型であるキタエフハニカム模型は、ヨルダン・ウィグナー変換でスピン演算子をマヨラナフェルミオンで書き換えることにより、ボゴリユボフ・ドゥジャン型の自由フェルミオン模型と等価になる。さらに興味深いことに、得られたボゴリユボフ・ドゥジャン型ハミルトニアンは BDI クラスに属し、非自明な巻きつき数を持つために、端にマヨラナ平坦バンドが現れることが知られている。これは量子スピン系におけるバルク・エッジ対応の発現の例といえる。一方、このマヨラナ平坦バンドが観測量としてどのように現れるかは、未解明の問題であった。

本年は、マヨラナ端状態に起因する磁化を求める定式化を確立した。具体的には、バルクバンドがギャップを持つ A 相において、まず、波数空間表示で、端のマヨラナ平坦バンドの波動関数を構成し、次に、それらをワニエ基底に変換し、端磁化を計算した。その結果、微弱的な外部磁場を印加して、端磁化を誘起できることがわかった。

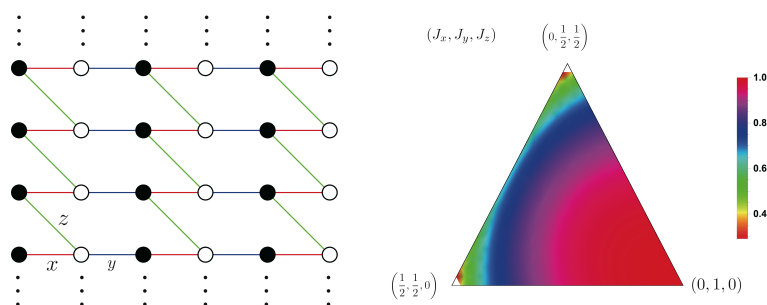


図 4: (左) キタエフハニカム模型。(右) A 相における端磁化のパラメーター依存性。

2 対称性の高い 1 次元鎖ならびに 2 次元カゴメ格子上の量子スピン系における量子相転移と量子化ベリー位相の研究 [3] [5]

対称性の保護するトポロジカル相の典型例として一次元の対称性の高い量子スピン系をとりあげ、この系でのバルクのトポロジカル数である Z_N ベリー位相を数値的に計算した。その際ベリー位相を定義するパラメーター空間 (Synthetic Brillouin zone) 内での経路の対称性が重要な役割を果たすことを指摘し demonstrate した。また、この物理量を用いることで量子相転移が有限のシステムサイズにおいても極めてシャープにとらえられることを実証した [3]。

また、同様な手法は、2 次元のカゴメ格子上の量子ハイゼンベルグ磁性体に対しても適用可能であり、本年度は、系の対称性を用いて Z_3 ベリー位相を定義することで既存の研究に比して極めて少数系においても相境界がシャープに決定できることを示した [5]。

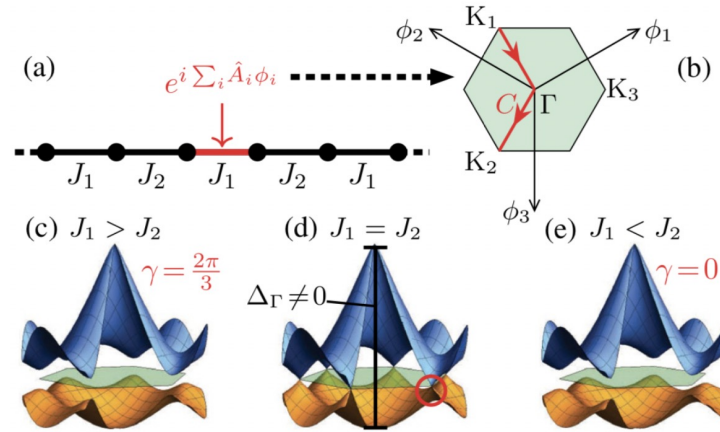


図 5: (a) (b) 対称性で護られたベリー位相を定義するゲージ変換の概念図。(c) パラメーター空間でのエネルギーと対応する量子化ベリー位相

3 積分を用いないトポロジカル数の計算手法と新しいトポロジカル数の提案について [6] [7]

トポロジカル物質の研究には、ベリー接続を用いた積分量で定義するトポロジカル数と呼ばれる整数の数値計算が必須であるが、物理系が十分に大きい場合、境界条件が定義するトポロジカル数の計算には数値積分が不要であることを、数値的研究を用いて demonstrate し、また理論的な考察との関連も実証した [6]。また、エンタングルメントベリー位相とよぶ新しい量子数を定義することで四重極相など高次のトポロジカル相における相分類の手法を提案するとともに、その数値的な有効性を示した [7]。今後その有効性を多様な模型において実証して行く。

4 非エルミート系におけるトポロジカル現象 [8, 9]

従来トポロジカルな現象はエルミートな行列に対し議論がなされてきた。一方で、物理現象を記述する行列は必ずしもエルミートであることが保証されているわけではない。例えば、散逸のある系や、準粒子を記述するグリーン関数などは非エルミートな行列の典型例である。非エルミート系におけるトポロジカルな性質の研究はごく最近始まったばかりであり、理論の整備が急務となっている。

本研究では特に、非エルミート系においてみられるバルクのトポロジカル縮退に焦点を当て系統的に研究を行った [8, 9]。(i) まず、散逸のない強相関係においてエクセプションナルポイントの発現を数値シミュレーションにより実証し [9]、さらに、これまで考えられていなかった対称性の効果を考慮することで、エクセプションナルリング、エクセプションナルサーフェスという新奇なバルクトポロジカル縮退の存在を発見した [8](図 6 参照)。(ii) さらにニュートン方程式に従うメカニカル系でもエクセプションナルリング/サーフェスが発現することを理論的に予言し、分類学を構築することで上述のエクセプションナルリング/サーフェスが量子系のみならず古典系でも見られる普遍的な現象であることを明らかにした。

5 強相関トポロジカル系における新奇量子状態 [10–13]

強相関トポロジカル系では電子相関効果により自由電子系では見られなかった異常な振る舞いがみられる。本研究では、(i) 高次のバルクエッジ対応、(ii) トポロジカルポンプ、(iii) 近藤絶縁体 [9-11] の三つの観

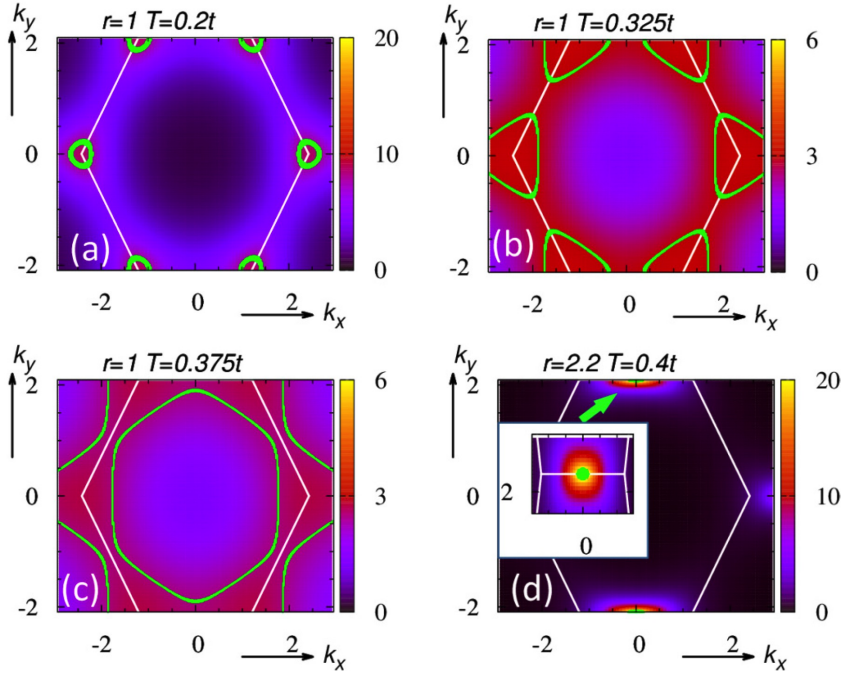


図 6: honeycomb Hubbard model における symmetry-protected exceptional rings (論文 [8] より引用)

点から強相関トポロジカル系を解析した。特に、(i) カゴメハバードモデルを高次のバルクエッジ対応という観点から解析した結果、強相関効果と高次のトポロジカルな性質が融合し、高次トポロジカル・モット絶縁体という新しい量子状態が発現することを解明した。さらに、(ii) トポロジカルポンプにおける解析では新しいトポロジカル相転移のメカニズムを指摘し [10]、(iii) 近藤絶縁体の解析ではホールドープを行っても磁気秩序により、鏡映対称性に保護されたトポロジカル相が生き残る事を明らかにした [11–13]。

6 新奇トポロジカル現象の実現・候補物質の開拓 [14–16]

最近の理論研究の発展により、新奇なトポロジカル現象が理論的に予言されてきたが、理論が先行しており、実験的観測に至っていない現象も存在する。特に、(i) 強相関効果による分類学のリダクションや (ii) グライド対称性に守られたメビウストポロジカル相の発現は理論的に興味深い反面、実験的な実現に関しては十分に議論されていない。本研究では上述の二つの現象に注目し、実験的観測に向けた理論的提案・候補物質の探索に取り組んだ。その結果、(i) エルビウムなどの dipolar フェルミオンを用いた冷却原子系で $Z \rightarrow Z_4$ の分類学のリダクションがみられる事 [14](図 7 参照)、(ii) UCoGe の圧力下の超伝導相でメビウストポロジカル絶縁体が発現することを予言した [15,16]。さらに CeNiSn におけるトポロジカル不変量の体系的な計算も行った [16]。

<論文>

1. S. Takahashi, S. Oono, S. Iwamoto, Y. Hatsugai, and Y. Arakawa, "Circularly Polarized Topological Edge States Derived from Optical Weyl Points in Semiconductor-Based Chiral Woodpile Photonic Crystals", J. Phys. Soc. Jpn. 87, 123401(1-5) (2018), DOI:10.7566/JPSJ.87.123401
2. Hiromu Araki, Tomonari Mizoguchi, and Yasuhiro Hatsugai, "Phase diagram of disordered higher-order topological insulator: A machine learning study", Phys. Rev. B 99, 085406 (1-8) (2019), DOI:10.1103/PhysRevB.99.085406

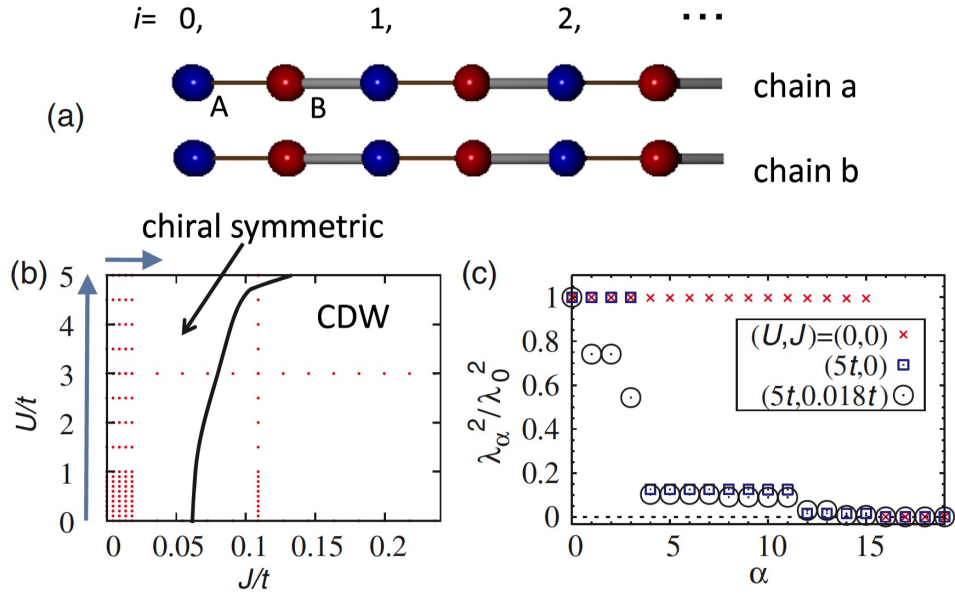


図 7: 分類学のリダクション ($Z \rightarrow Z_4$) を示す一次元冷却原子系のスケッチ及び、密度行列繰り込み群による数値データ (論文 [14] より引用)

3. Toshikaze Kariyado, Takahiro Morimoto, and Yasuhiro Hatsugai, "ZN Berry Phases in Symmetry Protected Topological Phases", Phys. Rev. Lett. 120, 247202(1-5) (2018), DOI:10.1103/PhysRevLett.120.247202
4. Yuta Takahashi, Toshikaze Kariyado, and Yasuhiro Hatsugai, "Weyl points of mechanical diamond", Phys. Rev. B 99 024102(1-8) (2019), DOI:10.1103/PhysRevB.99.024102
5. Tohru Kawarabayashi, Kota Ishii, and Yasuhiro Hatsugai, "Fractionally Quantized Berry's Phase in an Anisotropic Magnet on the Kagome Lattice", J. Phys. Soc. Jpn. 88 45001 (2019), DOI:10.7566/JPSJ.88.045001, (arXiv:1806.10767)
6. Koji Kudo, Haruki Watanabe, Toshikaze Kariyado, and Yasuhiro Hatsugai, "Many-Body Chern Number without Integration", Phys. Rev. Lett. 122 146601 (1-5) (2019), DOI:10.1103/PhysRevLett.122.146601
7. T. Fukui and Y. Hatsugai, "Entanglement polarization for the topological quadrupole phase", Phys. Rev. B 98, 035147 (1-13) (2018), DOI:10.1103/PhysRevB.98.035147
8. T. Yoshida, R. Peters, N. Kawakami, and Y. Hatsugai, "Symmetry-protected exceptional rings in two-dimensional correlated systems with chiral symmetry", Phys. Rev. B 99 121101(R) (2019), DOI:10.1103/PhysRevB.99.121101, (arXiv: 1810.06297).
9. T. Yoshida, R. Peters, and N. Kawakami, "Non-Hermitian perspective of the band structure in heavy-fermion systems", Phys. Rev. B 98, 035141 (2018), DOI:10.1103/PhysRevB.98.035141, (arXiv:1805.01172).
10. M. Nakagawa, T. Yoshida, R. Peters, and N. Kawakami, "Breakdown of topological Thouless pumping in the strongly interacting regime", Phys. Rev. B 98, 115147 (2018), DOI:10.1103/PhysRevB.98.115147, (arXiv:arXiv:1802.09780).

11. K. Kimura, T. Yoshida, N. Kawakami, "Topological properties of magnetically ordered heavy-fermion systems in the presence of mirror symmetry", J. Phys. Soc. Jpn. 87, 084705 (2018), DOI:10.7566/JPSJ.87.084705, (arXiv:1804.01027).
12. R. Peters, T. Yoshida, N. Kawakami, "Magnetic states in a three-dimensional topological Kondo insulator", Phys. Rev. B 98, 075104 (2018), DOI:10.1103/PhysRevB.98.075104, (arXiv:1804.04802).
13. R. Peters, T. Yoshida, and N. Kawakami "Quantum oscillations in strongly correlated topological Kondo insulators", (arXiv:1901.05099)
14. T. Yoshida, I. Danshita, R. Peters, N. Kawakami, "Reduction of topological Z classification in cold atomic systems", Phys. Rev. Lett. 121, 025301 (2018), DOI:10.1103/PhysRevLett.121.025301, (arXiv:1711.09538).
15. A. Daido, T. Yoshida, and Y. Yanase, "Z₄ Topological Superconductivity in UCoGe", Phys. Rev. Lett. 122, 227001 (2019). DOI:10.1103/PhysRevLett.122.227001, (arXiv:1803.07786)
16. T. Yoshida, A. Daido, N. Kawakami, and Y. Yanase, "Efficient method to compute Z₄ indices with glide symmetry and applications to the Moebius materials CeNiSn and UCoGe", Phys. Rev. B 99, 235105, DOI:10.1103/PhysRevB.99.235105, (arXiv:1810.10841).
17. T. Mizoguchi, L. D. C. Jaubert, R. Moessner, and M. Udagawa, "Magnetic clustering, half-moons, and shadow pinch points as signals of a proximate Coulomb phase in frustrated Heisenberg magnets", Phys. Rev. B 98 144446 (2018), DOI:10.1103/PhysRevB.98.144446, (arXiv:1806.08534)
18. T. Mizoguchi and M. Udagawa, "Flat-band engineering in tight-binding models: Beyond the nearest-neighbor hopping", Phys. Rev. B 99 235118 (2019), DOI:10.1103/PhysRevB.99.235118, (arXiv:1810.10830)
19. T. Mizoguchi and T. Koma, "Majorana edge magnetization in the Kitaev honeycomb model", Phys. Rev. B 99 184418 (2019), DOI:10.1103/PhysRevB.99.184418, (arXiv:1811.10895)

<主催:国際会議>

1. "Variety and universality of bulk-edge correspondence in topological phases: From solid state physics to transdisciplinary concepts" (BEC2018X), December 9-13, 2018, University of Tsukuba, Bunko School Building, Tokyo Campus, Bunkyo-ku, Tokyo

<講演:国際会議>

1. (招待講演) 1. Yasuhiro Hatsugai, "Bulk-edge corresponding : another look at", Progress in the mathematics of topological states of matter (WPI-AIMR, Tohoku University), Aug. 13-17, 2018.
2. (招待講演) Yasuhiro Hatsugai, "Bulk-edge corresponding revisited", Recent progress in mathematics of topological insulators (ETH Zürich), Sep. 3-7, 2018.
3. (招待講演) Yasuhiro Hatsugai, "Corner states of Kagome lattice & related", Trends in Theory of Correlated Materials (TTCM) 2018 (Geneve Univ), Oct. 8-10, 2018.

4. (招待講演) Yasuhiro Hatsugai, “Welcome! Bulk-edge correspondence in topological phases”, International workshop: Variety and universality of bulk-edge correspondence in topological phases: From solid state physics to transdisciplinary concepts (BEC2018X), Dec. 9-13, 2018.
5. (招待講演) Yasuhiro Hatsugai, “Potential applications of topological phases”, “JSPS/EPSRC C2C meeting”, October 29-31 (2018), Tohoku Univ. Sendai
6. (招待講演) Tsuneya Yoshida, “Symmetry-protected exceptional rings in two-dimensional correlated systems”, Variety and universality of bulk-edge correspondence in topological phases: From solid state physics to transdisciplinary concepts (BEC2018X) /2018-12-9–12-13 University of Tsukuba, Bunkyo campus, Tokyo, Japan
7. (招待講演) T. Mizoguchi, International workshop “Designing flat-band models by using the molecular-orbital representation”, “Variety and universality of bulk-edge correspondence in topological phases: From solid state physics to transdisciplinary concepts” [BEC2018X], 2018-12-10–2018-12-13 (Tokyo, Japan)
8. (ポスター発表) S. Fubasami and Y. Hatsugai, “Topological order parameters of J1-J2 Heisenberg chains of $S=1, 2$ and 3 ”, International Conference on Magnetism July 15-20, 2018 (ICM2018), 2018.
9. (ポスター発表) Tohru Kawarabayashi, Kota Ishii, Yasuhiro Hatsugai, “Topological order in quantum phases in anisotropic Kagome magnets”, the 23rd international conference on High Magnetic Fields in Semiconductor Physics, July 22-27, 2018.
10. (ポスター発表) Tohru Kawarabayashi, Hideo Aoki, Yasuhiro Hatsugai, “Topologically Protected Doubling of Tilted Dirac Fermions in Two Dimensions”, the 34th international conference on the Physics of Semiconductors, July 29-Aug.3, 2018.
11. (ポスター発表) Shuhei Fujisawa, Yasuhiro Hatsugai, Tohru Kawarabayashi, “Robust $n=0$ Landau levels of Dirac particles in an non-abelian gauge fields”, International workshop Variety and universality of bulk-edge correspondence in topological phases: from solid state physics to transdisciplinary concepts (BEC2018X), Dec. 9-13, 2018.
12. (ポスター発表) K. Kudo and Y. Hatsugai, Many-body Chern number matrix in fractional quantum Hall effect of graphene”, International Workshop on SYMMETRY & TOPOLOGY in Condensed-Matter physics, June 19-21, 2018.
13. (ポスター発表) K. Kudo and Y. Hatsugai, Halperin 331 state of the FQH system of the $n=0$ Landau band of graphene”, The 23rd International Conference on High Magnetic Fields in Semiconductor Physics, July 22-27, 2018.
14. (ポスター発表) K. Kudo, H. Watanabe, T. Kariyado and Y. Hatsugai, “Exponential accuracy of many-body Chern number without integration”, Bulk-Edge Correspondence 2018X (BEC2018X), Dec.9-13, 2018.
15. (口頭発表) K. Kudo, H. Watanabe, T. Kariyado and Y. Hatsugai, “One-plaquette Chern number: Many-body Chern number without integration”, APS March Meeting, March 4-8, 2019.
16. (ポスター発表) Hiromu Araki, Tomonari Mizoguchi, Yasuhiro Hatsugai, “ Z_3 Berry phases for the Kagome higher order topological insulator model”, Trends in Theory of Correlated Materials 2018 (TTCM2018), Oct. 8-10, 2018.

17. (ポスター発表) Hiromu Araki, Tomonari Mizoguchi, Yasuhiro Hatsugai, "Detection of higher order topological phase in a disordered breathing Kagome model by using machine learning", APS March Meeting 2019, March 4-8, 2019..
18. (ポスター発表) H. Araki, T. Fukui, and Y. Hatsugai", "Entanglement Chern Number for Topological Insulators without Inversion Symmetry from First Principles Calculations", 34th International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS2018), July 29-Aug.3, 2018.
19. (ポスター発表) H. Araki, T. Fukui, and Y. Hatsugai, "Topological phase of the strained HgTe from the entanglement Hamiltonians and the first-principles calculations", 23rd International Conference on High Magnetic Fields in Semiconductor Physics (HMF23), July 22-27, 2018.
20. (ポスター発表) H. Araki, T. Mizoguchi, and Y. Hatsugai, "Z3 Berry phases for the Kagome higher order topological insulator model", Trends in Theory of Correlated Materials 2018 (TTCM2018), Oct.8-10, 2018.
21. (ポスター発表) H. Araki, T. Mizoguchi, and Y. Hatsugai, "Detection of higher order topological phase in a disordered breathing Kagome model by using machine learning", APS March Meeting 2019, March 4-8, 2019.
22. (口頭発表) Tsuneya Yoshida, "Testbeds of topological classification for correlated systems" Symmetry and Topology in Condensed-Matter Physics/2018-06-19-06-21 University of Tokyo, Bunkyo campus, Japan
23. (口頭発表) Tsuneya Yoshida, R. Peters, N. Kawakami, and Y. Hatsugai "Symmetry-protected exceptional rings in two-dimensional correlated systems" APS March Meeting 2019 /2019-03-04-03-08, Boston Convention and Exhibition Center (BCEC), Boston, USA
24. (ポスター発表) Tsuneya Yoshida, "Ultracold dipolar fermions as an experimental platform for the reduction of topological classification" International Conference on Magnetism (ICM2018)/2018-07-15-07-20 Moscone Center, Sanfransisco, USA
25. (ポスター発表) Tsuneya Yoshida, R. Peters, Y. Hatsugai, and N. Kawakami "Non-Hermitian perspective on strongly correlated Dirac electrons" Trends in Theory of Correlated Materials (TTCM2018)/2018-10-08-10-10, Uni Dufour, Geneva, Swiss
26. (口頭発表) T. Mizoguchi, L. Jaubert, R. Moessner, and M. Udagawa, "Magnetic clustering in frustrated Heisenberg magnets", APS March Meeting 2019, 2019-03-04-2019-03-08 (Boston, USA)
27. (ポスター発表) T. Mizoguchi and Y. Hatsugai, "Effects of boundary on a kagome Ising model with magnetic-charge interaction", APS March Meeting 2019, 2019-03-04-2019-03-08 (Boston, USA)
28. (ポスター発表) T. Mizoguchi, and T. Koma, "Majorana edge magnetization in the Kitaev honeycomb model", Topological Phases and Functionality of Correlated Electron Systems (TPFC2019), 2019-02-18-2019-02-20 (Kashiwa, Japan)
29. (ポスター発表) T. Mizoguchi, and Y. Hatsugai, "Bulk-boundary correspondence in a kagome classical spin liquid", Trends in Theory of Correlated Materials (TTCM2018), 2018-10-08-2018-10-10 (Geneva, Switzerland)
30. (ポスター発表) T. Mizoguchi, L. D. C. Jaubert, and M. Udagawa, "Topological Clustering in Frustrated Magnets", International Conference on Magnetism (ICM 2018), 2018-07-16-2018-07-20 (San Francisco, USA)

<講演:国内会議>

1. (招待講演) Y. Hatsugai, "Short-range entangled states and bulk-edge correspondence: Symmetry protection and Z_N Berry phases", Seminar (July 17, 2018), 九州大学セミナー
2. (招待講演) Y. Hatsugai, 「トポロジカル相におけるベリー接続とバルク・エッジ対応」 早稲田大学セミナー (武田京三郎研究室) July 27, (2018)
3. (招待講演) Yasuhiro Hatsugai, "Topological phases :a new point of view", NWTDF, Tohoku Univ. March 2-3, 2019
4. (招待講演) Yasuhiro Hatsugai, "Topological phases to bulk-edge correspondence", NTT Basic Laboratory Seminar, Jan. 15, 2019.
5. (招待講演) 初貝安弘 「バルクエッジ対応の普遍性」, Topological Materials Science, The 4-th Annual Meeting (Nagoya Univ.), Jan. 22-24, 2019.
6. (招待講演) 吉田恒也, "強相関揺らぎが誘起する非エルミート物性" 非平衡・非エルミート系の新奇量子現象/2018-11-30-12-01 京都大学基礎物理学研究所、京都
7. (招待講演) 吉田恒也, "準粒子ダンピングに起因する例外点の研究" 第八回"強相関電子系理論の最前線"/2019-02-04-02-06 レクトーレ熱海桃山、静岡
8. (シンポジウム講演) 吉田恒也, "強相関効果が誘起する非エルミートトポロジカル物性" 日本物理学会年次大会 2019/2019-03-14-03-17, 九州大学伊都キャンパス, 福岡
9. (口頭発表) 河原林透, 青木秀夫, 初貝安弘 「格子上の傾いたディラック電子のダブリングと一般化されたカイラル対称性」 日本物理学会年次大会 2019/09-09-09-12, 同志社大学京田辺キャンパス, 京都
10. (口頭発表) 藤澤周平, 初貝安弘, 河原林透 「非可換ゲージ場中のディラック粒子系における $n=0$ ランダウ準位のランダムネスに対する安定性」 日本物理学会年次大会 2019/2019-03-14-03-17, 九州大学伊都キャンパス, 福岡
11. (口頭発表) 高橋 駿、大野 修平, 初貝 安弘、荒川 泰彦、岩本 敏 「異なるカイラリティを有する半導体三次元フォトリック結晶の界面におけるトポロジカルエッジ状態の検討」 第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 東京工業大学, 大岡山キャンパス 3/9-12 (2019)
12. (口頭発表) 玉置 爽真, 高橋 駿, 山下 兼一, 山口 拓也, 上田 哲也, 初貝 安弘, 荒川 泰彦, 岩本 敏 「全誘電体三次元カイラルフォトリック結晶におけるマイクロ波領域トポロジカルエッジ状態の観測」 第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 東京工業大学, 大岡山キャンパス 3/9-12 (2019)
13. (口頭発表) 工藤耕司, 渡辺悠樹, 苅宿俊風, 初貝安弘 「多体チャーン数の収束性について」, 日本物理学会年次大会 2019/09-09-09-12, 同志社大学京田辺キャンパス, 京都
14. (口頭発表) 工藤耕司, 吉田恒也, 初貝安弘 「カゴメ格子上の高次トポロジカル絶縁体における電子相関」 日本物理学会年次大会 2019/2019-03-14-03-17, 九州大学伊都キャンパス, 福岡
15. (口頭発表) 荒木広夢, 溝口知成, 初貝安弘 「機械学習による乱れたカゴメ高次トポロジカル絶縁体の相の決定」 日本物理学会年次大会 2019/2019-03-14-03-17, 九州大学伊都キャンパス, 福岡
16. (口頭発表) 溝口知成, 初貝安弘 「カゴメ古典スピン液体における境界の効果」 日本物理学会 2018 年秋季大会, 2018.

17. (口頭発表) 荒木広夢, 溝口知成, 初貝安弘「カゴメ格子上のコーナー状態とベリー位相」, 日本物理学会年次大会 2018/09-09-09-12, 同志社大学京田辺キャンパス, 京都
18. (口頭発表) 福井隆裕, 初貝安弘「トポロジカル四重極相へのエンタングルメント・ベリー位相の応用」日本物理学会年次大会 2018/09-09-09-12, 同志社大学京田辺キャンパス, 京都
19. (口頭発表) 溝口知成, 宇田川将文, 初貝安弘 「フラットバンド模型の「分子軌道」による表現とその応用」日本物理学会年次大会 2019/2019-03-14-03-17, 九州大学伊都キャンパス, 福岡
20. (口頭発表) 荒木広夢, 福井隆裕, 初貝安弘, "Topological phase of the strained HgTe from the entanglement Hamiltonians", 科研費基盤研究 S(17H06138) Informal Workshop/2018-05-19-2018-05-20, 筑波大学, つくば
21. (口頭発表) 工藤耕司, 初貝安弘, "Fractional quantum Hall effect of graphene and Chern number matrix", 科研費基盤研究 S(17H06138) Informal Workshop/2018-05-19-2018-05-20, 筑波大学, つくば
22. (口頭発表) 吉田恒也, 大同暁人, 川上則雄, 柳瀬陽一, "格子ブリルアンゾーンにおけるメビウストポロジカル相の特徴付け〜Fukui-Hatsugai-Suzuki 公式の拡張〜" 日本物理学会年次大会 2019/2019-03-14-03-17, 九州大学伊都キャンパス, 福岡
23. (口頭発表) 吉田恒也, ピータースロバート, 川上則雄 "強相関ディラック電子系における 非エルミート物性" 日本物理学会年次大会 2018/09-09-09-12, 同志社大学京田辺キャンパス, 京都
24. (口頭発表) 溝口知成, 宇田川将文, 初貝安弘, 「フラットバンド模型の「分子軌道」による表現とその応用」, 日本物理学会第 74 回年次大会 /2019-03-14-2018-03-17, 九州大, 福岡
25. (口頭発表) 徳宿邦夫, 溝口知成, 宇田川将文, 「フラストレート格子上のモノポール相互作用による磁化プラトの形成」, 日本物理学会第 74 回年次大会 /2019-03-14-2018-03-17, 九州大, 福岡
26. (口頭発表) 溝口知成, 初貝安弘, 「カゴメ古典スピン液体における境界の効果」, 日本物理学会 2018 年次大会 /2018-09-09-2018-09-12, 同志社大学, 京都
27. (口頭発表) 溝口知成, 高麗徹, 「キタエフハニカム模型におけるマヨラナエッジ状態の磁化」, 日本物理学会 2018 年次大会 /2018-09-09-2018-09-12, 同志社大学, 京都
28. (口頭発表) 徳宿邦夫, 溝口知成, 宇田川将文, 「ガウス則を用いたフラストレートスピン系の磁化過程解析と古典スピン液体形成」, 日本物理学会 2018 年次大会 /2018-09-09-2018-09-12, 同志社大学, 京都
29. (口頭発表) 溝口知成, 「フラストレート磁性体におけるスピンのクラスタ化の理論」, スピン系物理の最前線/2018-10-31-2018-11-02, 京都大学, 京都
30. (口頭発表) 溝口知成, "Effect of boundary on hexamer classical spin liquid on a kagome lattice", "Variety and universality of bulk-edge correspondence in topological phases: From solid state physics to transdisciplinary concepts" Informal Workshop/2018-05-19-2018-05-20, 筑波大学, つくば

<受賞>

1. 2018 年 4 月 10 日: 初貝 安弘 平成 30 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰, 科学技術賞(研究部門)「トポロジカル相でのバルクエッジ対応の研究」
2. 2019 年 2 月 18 日: 初貝 安弘 2018 BEST FACULTY MEMBER, Univ. Tsukuba

＜外部委員等＞

1. 初貝安弘, 東北大学特任教授 (客員) (国際集積エレクトロニクス研究開発センター)
2. Y. Hatsugai, "Progress of Theoretical and Experimental Physics", Editorial Board

＜集中講義＞

1. 初貝安弘, 九州大学集中講義「トポロジカル相の発見とその展開」 2018 年 7 月 17 日～7 月 19 日

＜卒業論文＞

1. 若尾 洋正: Spring-mass 模型でのトポロジカル相における Berry 位相
2. 岡 聖司: 密度行列繰り込み群による一次元トポロジカル相の研究
3. 伊藤 慧美: 拡張 ANNNI 模型の相関関数

＜修士論文＞

1. 文挾彰太「J1-J2 整数スピン鎖における逐次相転移の Z2 ベリー位相による特徴づけ」(数理物質科学研究科物理学専攻, 修士論文, 2018.3)
2. 西沢 駿「密度行列くりこみ群を用いた 1 次元トポロジカルポンピングの研究」(数理物質科学研究科物理学専攻, 修士論文, 2018.3)
3. 鈴木仙里「メカニカルグラフェンの回転対称性に護られたトポロジカル相」(数理物質科学研究科物理学専攻, 修士論文, 2018.3)

＜大学院・卒業研究学生＞

博士 2 年. 荒木 広夢 (Hiromu Araki)

博士 1 年. 工藤 耕司 (Koji Kudo)

修士 2 年. 文挾 彰太 (Shota Fubasami), 西澤 駿 (Shun Nishizawa), 鈴木 仙里 (Senri Suzuki)

修士 2 年. 栗原 春香 (Haruka Kurihara), 磯部 拓磨 (Takuma Isobe)

卒業研究. 若尾 洋正 (Hiromasa Wakao), 伊藤 慧美 (Satomi Ito), 岡 聖司 (Seiji Oka)

＜外部資金＞

1. 科学研究費 基盤研究 (S)「トポロジカル相でのバルク・エッジ対応の多様性と普遍性：固体物理を越えて分野横断へ」(2017-05-31 – 2022-03-31) 研究課題番号：17H06138 (研究代表者：初貝安弘)
総額：205,140 千円 (直接経費：157,800 千円、間接経費：47,340 千円)
2018 年度：50,700 千円 (直接経費：39,000 千円、間接経費：11,700 千円)
2. 科学研究費 挑戦的萌芽研究「四元数のトポロジカル相での意義の解明への挑戦：多体問題と時間反転の破れ」(2016 年度～2018 年度) 研究課題番号：26247064 (研究代表者：初貝安弘)
総額：3,510 千円 (直接経費：2,700 千円、間接経費：810 千円)
2018 年度：1,040 千円 (直接経費：800 千円、間接経費：240 千円)
3. 科学研究費 研究活動スタート支援「強相関ダイナミクスが誘起する非エルミート・トポロジカル物性」(2018-09-01 – 2020-03-31) 研究課題番号：18H05842 (研究代表者：吉田恒也) 総額：2,660 千円 (直接経費：2,300 千円、間接経費：360 千円) 2018 年度：1,560 千円 (直接経費：1,200 千円、間接経費：360 千円)