

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 9 月 13 日現在

機関番号：14301

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2017～2021

課題番号：17H06462

研究課題名（和文）ブレンとソリトンの量子異常が導くトポロジカル物質

研究課題名（英文）Study of Topological Materials lead by quantum anomalies, branes and solitons

研究代表者

橋本 幸士（Hashimoto, Koji）

京都大学・理学研究科・教授

研究者番号：80345074

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 68,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、物理学諸分野における、トポロジカル物質にまつわる数理の融合研究をおこなった。まず、ホログラフィー原理において物質の応答関数から高次元時空を創発させる逆問題を解いた。ニューラルネットワークを離散幾何学的時空と見做す方法を開発し、機械学習・離散幾何学・物質と重力理論の融合分野を創成した。また、高次トポロジカル物質の起源として5次元のワイル物質を提案した。また物性基礎論においては、量子異常に基づくLieb-Schultz-Mattis型定理の理論をSU(N)対称性に拡張した。多様なトポロジカルソリトンを拡張し、ブレンワールドと融合、またカイラル運動論と高次対称性理論を提唱拡大した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、数学と物質科学、そして物理学の諸分野という広大に広がる遠い分野を連結し、新しい融合分野を創成する試みを多数行い、そのいくつかは成功した。例として、離散幾何学を時空に適用したネットワークをニューラルネットワークと見做し機械学習を行うことで、物質の物性から創発する時空を機械が生成するメカニズムを提案し、これが、物理学と機械学習を融合する一分野として創成した。このように、数学的な共通性や現象としての類似性から創発する融合分野は、既存の分野の問題を解決し、新しい概念を出現させる。本研究は非常に多様な研究成果を生んだが、その中でも、融合数理分野の創出は特に意義がある。

研究成果の概要（英文）：This research is a mathematical fusion study of topological matter in various fields of physics. First, we solved the inverse problem of generating a higher dimensional space-time from the response function of matter in the holography principle. We developed a method to regard a neural network as a discrete geometric space-time, and created a unified field of machine learning, discrete geometry, matter, and gravity theory. We also proposed 5-dimensional Weyl matter as the origin of higher-order topological matter. In condensed matter theory, we extended the Lieb-Schultz-Mattis type theorem based on quantum anomalies to SU(N) symmetry. We extended various topological solitons, merged them with brane worlds, and proposed and extended chiral kinetics and higher-order symmetry theory.

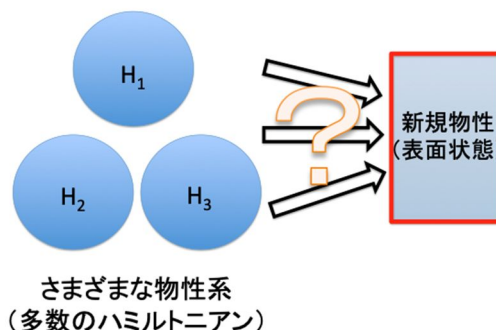
研究分野：素粒子論

キーワード：機械学習 量子異常 ブラックホール トポロジカルソリトン 高次対称性 離散対称性 高次トポロジカル物質

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

近年急速に研究の進展が認められるトポロジカル物質は、表面状態として通常の2次元系としては実現できない新奇な電子状態を実現でき、新たなデバイス材料としても注目を集めてきた。トポロジカル物質の特質として、材料開発が理論予想に先導されてきたという歴史的特徴がある。相互作用の無いハミルトニアン of トポロジカル物質の数学的分類は、離散的対称性の有無から K 理論で完了し (A. Schnyder et.al : Phys.Rev. B78 (2008), A. Kitaev : AIP Conf. Proc. 1134 (2009) 22) それに基づき様々なトポロジカル物質が発見された。



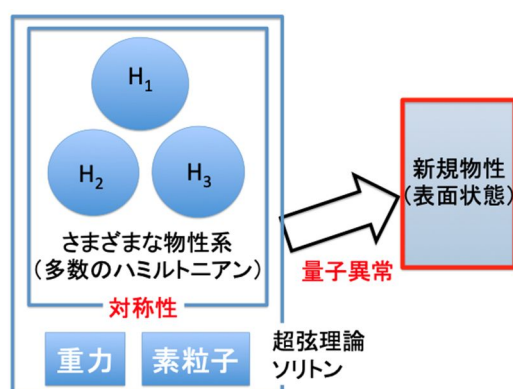
一方で、一般に相互作用が入った場合には、理論的分類が難航しており (上図を参照) 現時点では、具体的な模型に基づいたトポロジカル相転移などが理論的に議論されている段階である。また、可能な境界状態の分類に関する研究は無い。この問題は、トポロジカル物質の背後にある統一的原理が判明していないことに依っている。トポロジカル物質の背後には、さまざまな対称性と量子異常が潜んでいることが知られており、原理解明への切り口になることが予想される。

本研究計画代表者・分担者は、今までに、理論物理学 / 数理物理学で研究分野を超えて議論することにより様々な問題の解決にあたってきた (例として、研究代表者が超弦理論を物質科学に応用した研究がある)。超弦理論、物性理論、非平衡統計力学、素粒子論、一般相対性理論、ハドロン物理学、などが、トポロジーや双対性によってつながり、ゲージ重力対応や量子異常を通じてお互いの概念が行き来し合う研究を行ってきた。トポロジカル物質は、物性物理学とは切りはなれて独自に発展してきた超弦理論の数理 / 素粒子論 / 重力理論の概念を広く応用できると期待されることから、本計画研究の立案となっている。

- ・ トポロジカル物質の新奇表面状態には、スピントロニクスなどの応用が待たれている
- ・ 相互作用の無いバルクハミルトニアンのトポロジカル物質は数学的分類が完了した
- ・ 一般に相互作用のある場合の分類が難航している
- ・ トポロジカル物質の背後にある統一的原理が判明していない
- ・ 量子異常が関与しており、超弦理論の数理 / 素粒子 / 重力との広大な接点がある

2. 研究の目的

物性系はさまざまな対称性で支配され、それらが量子異常を示す際にトポロジカル物質が現れることが示唆されているが、個々の場合に依じた研究を統合することは困難である。一方、素粒子論における大統一理論や、さらに一般座標変換不変性を持つ重力理論を内包した超弦理論は、これらの離散対称性と連続局所対称性を多く含み、それが弦の双対性や場の理論の双対性で統合された形で理解が進んでいる。特に、重力を含んだ理論の量子異常の重要性は超弦理論では当然のものであると認識されている一方で、一般座標変換の離散部分群についての考察は、物性物理学に大きな進展をもたらす可能性が高い。



量子異常がどのように部分系から全体系に流れるか、といった研究は、アノマリーインフローと呼ばれ、超弦理論のみならず、ハドロン物理学や素粒子物理学でも古くから考察されて来た。

本計画研究では、超弦理論やソリトン理論で蓄積されている、量子異常とトポロジカルソリトンの技術を、一般の物質に拡大適用することで、新しい物質相の開拓と研究を行う。超弦理論とトポロジカル物質の関係を、D プレーンやソリトンの形と新奇物質のバンド分散の一致性関係から洗い出し、離散幾何上の量子異常の部分流入による物質の統一的理解を得ることを目指す。

- ・ 超弦理論とトポロジカル物質の関係の解明、境界状態の分類と体系化
- ・ D プレーンの形とトポロジカル物質のバンド分散の一致性定理

- ・ 量子異常の局所流入の一般論の構築による、新奇物性の開拓
- ・ A01-1, A01-3 班との協働による、新規物性実験の提案と実現

3. 研究の方法

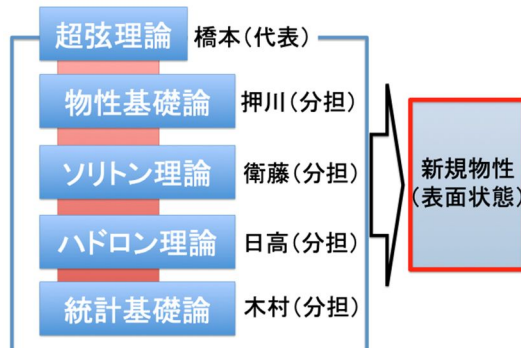
本研究は、対称性を尊重した連続極限の場の理論を、多様な数理的手法で解析し、離散原子模型にユニバーサルに現れる可能な表面状態を分類、応用する。

物性において要求される対称性は多種の離散対称性と、内部空間や座標空間の連続対称性の結合となっている。量子異常はそれらの状況で発生し、新奇表面状態につながっている。

一方で、対称性は素粒子論と超弦理論の根幹をなし、破れに伴う一般論からソリトン理論が発生し、ソリトン基礎励起は、物性基礎論やハドロン物理学で主要な役割を占めてきた。ソリトン励起を含めた統計性は、統計物理学の主要対象であるだけでなく、場の量子論の厳密解析などで大きな役割を果たし、近年の局所化による厳密計算や、量子異常の等価性(トーフット条件)に基づいた理論双対性に展開されている。

本研究計画ではまず、量子異常に関連する物理の各分野で活躍する研究者を結集し、量子異常を巡る現代物理学の各論を融合し基礎的な相互理解を図る。ソリトン理論における量子異常と量子化されたソリトンの量子数の関係、QCD や類似理論における量子異常のマッチング条件、スキームの量子異常、プレーンの存在による量子異常のキャンセル機構、統計性に起因する厳密分配関数の表現と、量子異常の分配の関係、といった、各物理学で基礎となる量子異常関連現象が、お互いにどのように関連しているのかを具体的に明らかにし、それら概念の相互輸出入を行う。

特にトポロジカル物質の量子異常機構との類似性を念頭に置いて研究し、表面状態の発生と、各分野の量子異常やそこに現れる表面状態との関連を研究し、表面状態の新たな分類を試行する。



4. 研究成果

本研究は、素粒子、物性基礎、ソリトン、原子核ハドロンのそれぞれにおける、トポロジカル物質にまつわる数理の研究の進展に焦点を当て、トポロジカル相とその分類や拡張、素粒子論や超弦理論との関係を探るため、次のような研究を実施した。それぞれの物理学諸分野とトポロジカル物性との関連に着目しながら、研究成果を以下のようにまとめる。

(1) 素粒子論分野とのつながりにおけるトポロジカル物質と離散幾何学の研究成果

ホログラフィー原理で発生する創発時空を、物質のスピン配列から生まれた深層ニューラルネットワークと考える方法を探求し、QCD に双対な時空をニューラルネット上で創発させることに成功した。離散幾何学的時空と機械学習、物質科学を融合する研究を進め、QCD におけるカイラル凝縮のデータから離散幾何としてのニューラルネットワークが決定されるアルゴリズムを提唱し用いることで、物質科学と離散幾何学の架橋の基盤を構築した。特に、深層ボルツマンマシンと呼ばれるニューラルネットワークがホログラフィック原理の重力側の物質場の経路積分とみなせる形式を提案した。さらに、物質に双対な重力時空を再構築するため、離散幾何学の手法を応用した機械学習のニューラル常微分方程式を用い、創発時空を発見するプロトコルを開発した。また、とくに物質側を QCD 物質とした場合に、Wilson loop や計算複雑性などを用いることで創発時空を再構築する公式を提案した。これにより、特に創発時空上のブラックホールの内側までも再構築することが可能となった。これらの観点をまとめ、物理学と機械学習に関する英文著書を発表した。

トポロジカル物質については、高次トポロジカル物質の一般的な起源について研究し、連続極限での高次トポロジカル物質の起源が、5次元空間のワイル物質のハミルトニアンに起因することを突き止めた。また、ブラックホールに似たタイプ2と呼ばれるワイル物質の表面状態について研究し、表面における境界条件によって、あたかもブラックホールの地平線から外に出る方向への伝播が表面状態は可能であることを発見した。

トポロジカル物質の重力理論との関係、とくにホログラフィー原理について知見を深めるため、ブラックホールの情報喪失問題について、holography から示唆される island と呼ばれる効果を漸近平坦なブラックホールの場合に応用した。また、薄い球殻の重力崩壊によって形成され

たブラックホールが蒸発する時空の構造を解析的に調べた。

また、AdS/CFT 対応の研究においては、ホログラフィック QCD において原子核の状態を記述する行列模型を、量子ホール効果の模型で用いられる手法を応用することで解析した。また、holography を用いて導出された核子の行列模型を用いて原子核の結合エネルギーを計算し、この模型において核子数密度の飽和則、結合エネルギーの飽和則、魔法数という 3 つの重要な性質を再現することに成功した。また、量子情報理論における加法性予想について、ブラックホール近傍の輻射場の状態において成立することを示した。

さらに、素粒子論との関係としては、超対称ゲージ理論の真空構造に創発する量子代数的構造、およびその可積分構造の解明を試み、特に non-simply-laced 型の 簍ゲージ理論の構成、対応する量子可積分系との関係を明らかにした。超弦理論との関係に関しては、ホログラフィー原理を用いて周期外場下のディラック絶縁体の相図の解析を行い、外場に適切な周期を与えると容易に相転移が起きることを示した。また、その手法を応用し、時間依存する新しいブラックホール解の構築に成功した。

(2) 物性基礎論におけるトポロジカル物質についての研究成果

近年注目を集めているトポロジカル物質相を特徴付ける際に有効な手法である場の量子論の基礎的な側面について研究を行い、特に真空・基底状態に創発的に現れる量子代数構造を明らかにした。

また電子相関によるトポロジカル相への影響を格子ゲージ理論に基づいた数値計算により調べ、自発的対称性の破れと同様の機構によりトポロジカル相が縮小されることを明らかにした。

電気分極の一般論を整備し、これを活用したトポロジカル相の定式化を進めた。また、境界のある共形場理論を応用し、不純物近傍における朝永・ラッティンジャー流体の相関関数を解析的に求め、密度行列くりこみ群による数値計算で検証した。

物性物理との融合研究においては、量子異常に基づく Lieb-Schultz-Mattis 型定理の理論を $SU(N)$ 対称性に拡張し、対称性が拡大する場合に適用できる新規の制約を導いた。

また数理物理との架橋においては、超群ゲージ対称性を持つ場の量子論 (超群ゲージ理論) の研究を行い、超対称局所化による分配関数の厳密な評価、対応する量子可積分構造の解明、位相的弦理論による構成、などの成果を得た。

トポロジカル物質への応用においては、ワイル半金属の一般的な表面状態の性質について研究し、特に II 型ワイル半金属をブラックホールの性質を再現するモデルとみなした場合の表面状態の振る舞いについて調べた。

(3) トポロジカルソリトンと場の量子論、物性物理学の研究成果

素粒子論と物性論におけるトポロジカルソリトン上に現れるギャップレス状態について研究を行った。素粒子論においてはブレンワールド模型の枠組みで、特にスピン 1 をもつギャップレスなゲージ粒子の生成機構を明らかにし、かつ大統一理論を実現するモデルの構成を行なった。また冷却原子気体のボーズ凝縮系で構成されるトポロジカルソリトンのダイナミクスを調べ QCD の閉じ込め現象との類似性を数値シミュレーションにより明らかにした。

次に、位相的ソリトンによるブレンワールドの構成について、長年の課題であったゼロ質量ゲージ場の局在問題をヒッグス場の凝縮によって自然に説明した。またヒッグス 2 重項が 2 つ存在するような拡張標準模型において新しいトポロジカルに安定な状態を発見し、モデルに対する新しい制限が出ることを指摘した。

ソリトンによるブレンワールドの構成の課題であったゲージ場の局在を物性系エッジモードと同様にトポロジカルに説明できることを示し、更に高次元へ拡張した。また拡張標準模型に位相的磁気単極子が存在する事を示した。

また、高次元時空中の BPS ドメインウォールジャンクションとそのネットワークの厳密解の構成に成功し、また新しいトポロジカルチャージを発見した。また拡張ヒッグス模型における南部モノポール解の構成と、多成分 BEC 系の量子渦分子と QCD の閉じ込めの関連について明らかにした。

超高密度状態において最も基本的なカイラル非アーベリアン量子渦を発見した。また 6 次元時空 $SU(5)$ 理論において非アーベリアン量子渦が GUT とブレンワールド宇宙論を自然に融合することを示した。また拡張ヒッグス模型においてソリトン分極が Z-string を安定化することを示した。

(4) ハドロン物理学のトポロジーと物質との関係についての研究成果

量子異常の効果を取り入れた運動論の場の量子論からの導出とその応用についての研究を行

なった。特に散逸に起因した伝導度や粘性への量子異常の効果を調べ、新しいタイプの輸送現象の存在を明らかにした。また、カイラル運動論を出発点として有効場の理論を構築した。(1+d)次元時空における有効場の理論は、時間(1次元)、空間(d次元)、運動量空間(d次元)の合計(1+2d)次元空間上のChern-Simons理論を用いて表されることを示した。この理論に現れるゲージ場で有効場の作用を微分することにより様々な量子輸送現象を表すことができることがわかった。

また、カイラルな粒子に対する運動論であるカイラル運動論を用いて、量子異常に関係した輸送現象を調べた。特に粒子間の衝突に起因した散逸輸送について、温度勾配と電場に垂直に流れるカレントや磁場に並行なシェアフローがある場合にその磁場に垂直に流れるカレントなど新しい輸送現象が存在することがわかった。

ハドロ物理との架橋においては、カイラル運動論を質量を持つ粒子の運動論に拡張した。衝突項を含まない場合の理論が完成し、さらにそれを衝突項を含む理論にまで拡張することができた。

また、高次対称性が自発的に破れる場合に現れる南部ゴールドストーンモードについて、有効場の理論を用いて、対称性の破れと、南部ゴールドストーンモードの数の関係について明らかにした。

場の数理的側面についての研究においては、場の理論に現れる高次対称性や高次群を及びそのアノマリーについて調べた。アクシオンと電磁場が結合する系において、3群の構造があることを理論的に示し、さらにその't Hooftアノマリーを明らかにした。

また、対称性の一般化として高次群による拡張を行なった。アクシオンを含む電磁気学において3群の構造があることを2020年度の研究で明らかにしたがそれを超伝導体へ拡張することで、さらに4群の構造が現れることを発見した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計51件（うち査読付論文 51件 / うち国際共著 24件 / うちオープンアクセス 27件）

1. 著者名 Yao Yuan, Hsieh Chang-Tse, Oshikawa Masaki	4. 巻 123
2. 論文標題 Anomaly Matching and Symmetry-Protected Critical Phases in SU(N) Spin Systems in 1+1 Dimensions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevLett.123.180201	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Lu Yuan-Ming, Ran Ying, Oshikawa Masaki	4. 巻 413
2. 論文標題 Filling-enforced constraint on the quantized Hall conductivity on a periodic lattice	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Annals of Physics	6. 最初と最後の頁 168060 - 168060
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.aop.2019.168060	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Lee Jongjun M., Geng Chenhua, Park Jae Whan, Oshikawa Masaki, Lee Sung-Sik, Yeom Han Woong, Cho Gil Young	4. 巻 124
2. 論文標題 Stable Flatbands, Topology, and Superconductivity of Magic Honeycomb Networks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevLett.124.137002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Kobayashi Michikazu, Eto Minoru, Nitta Muneto	4. 巻 123
2. 論文標題 Berezinskii-Kosterlitz-Thouless Transition of Two-Component Bose Mixtures with Intercomponent Josephson Coupling	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevLett.123.075303	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Arai Masato, Blaschke Filip, Eto Minoru, Sakai Norisuke	4. 巻 100
2. 論文標題 Massless bosons on domain walls: Jackiw-Rebbi-like mechanism for bosonic fields	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.100.095014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Eto Minoru, Hamada Yu, Kurachi Masafumi, Nitta Muneto	4. 巻 802
2. 論文標題 Topological Nambu monopole in two Higgs doublet models	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 135220 ~ 135220
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2020.135220	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hongo Masaru, Hidaka Yoshimasa	4. 巻 2
2. 論文標題 Anomaly-Induced Transport Phenomena from Imaginary-Time Formalism	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Particles	6. 最初と最後の頁 261 ~ 280
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/particles2020018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hattori Koichi, Hidaka Yoshimasa, Yang Di-Lun	4. 巻 100
2. 論文標題 Axial kinetic theory and spin transport for fermions with arbitrary mass	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.100.096011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Abe Yuya, Fukushima Kenji, Hidaka Yoshimasa, Matsueda Hiroaki, Murase Koichi, Sasaki Shoichi	4. 巻 2020
2. 論文標題 Image-processing the topological charge density in the $\mathbb{C}P^{N-1}$ model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptz134	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hidaka Yoshimasa, Hirono Yuji, Nitta Muneto, Tanizaki Yuya, Yokokura Ryo	4. 巻 100
2. 論文標題 Topological order in the color-flavor locked phase of a (3+1)-dimensional U(N) gauge-Higgs system	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.100.125016	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hidaka Yoshimasa, Nitta Muneto, Yokokura Ryo	4. 巻 803
2. 論文標題 Emergent discrete 3-form symmetry and domain walls	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 135290 ~ 135290
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2020.135290	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kimura Taro	4. 巻 110
2. 論文標題 Integrating over quiver variety and BPS/CFT correspondence	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Letters in Mathematical Physics	6. 最初と最後の頁 1237 ~ 1255
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11005-020-01261-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Chen Heng-Yu, Kimura Taro, Lee Norton	4. 巻 2020
2. 論文標題 Quantum elliptic Calogero-Moser systems from gauge origami	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP02(2020)108	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Kimura Taro, Zhu Rui-Dong	4. 巻 2019
2. 論文標題 Web construction of ABCDEFG and affine quiver gauge theories	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP09(2019)025	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Kimura Taro, Sugimoto Yuji	4. 巻 2019
2. 論文標題 Quantum mirror curve of periodic chain geometry	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP04(2019)147	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ho Pei-Ming, Matsuo Yoshinori	4. 巻 2019
2. 論文標題 Trapping horizon and negative energy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP06(2019)057	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hashimoto Koji, Matsuo Yoshinori, Morita Takeshi	4. 巻 2019
2. 論文標題 Nuclear states and spectra in holographic QCD	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP12(2019)001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ho Pei-Ming, Matsuo Yoshinori, Yang Shu-Jung	4. 巻 37
2. 論文標題 Asymptotic states of black holes in KMY model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Classical and Quantum Gravity	6. 最初と最後の頁 035002 ~ 035002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6382/ab5c94	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Akutagawa Tetsuya, Hashimoto Koji, Murata Keiju, Ota Toshihiro	4. 巻 100
2. 論文標題 Chaos of QCD string from holography	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.100.046009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hashimoto Koji, Sasaki Wataru, Sumimoto Takayuki	4. 巻 2019
2. 論文標題 1/N correction in holographic Wilson loop from quantum gravity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP12(2019)138	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hashimoto Koji, Kinoshita Shunichiro, Murata Keiju	4. 巻 123
2. 論文標題 Einstein Rings in Holography	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.123.031602	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Lo Chung-Yu, Fukusumi Yoshiki, Oshikawa Masaki, Kao Ying-Jer, Chen Pochung	4. 巻 99
2. 論文標題 Crossover of correlation functions near a quantum impurity in a Tomonaga-Luttinger liquid	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 121103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.121103	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Arai Masato, Blaschke Filip, Eto Minoru, Sakai Norisuke	4. 巻 2018
2. 論文標題 Localized non-Abelian gauge fields in non-compact extra dimensions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 063B02
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/pty057	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Arai Masato, Blaschke Filip, Eto Minoru, Sakai Norisuke	4. 巻 2018
2. 論文標題 Localization of the Standard Model via the Higgs mechanism and a finite electroweak monopole from non-compact five dimensions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 083B04
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/pty083	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Eto Minoru, Kurachi Masafumi, Nitta Muneto	4. 巻 785
2. 論文標題 Constraints on two Higgs doublet models from domain walls	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 447 ~ 453
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2018.09.002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Eto Minoru, Fujimori Toshiaki, Nitta Muneto	4. 巻 2018
2. 論文標題 Domain wall and three dimensional duality	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP06(2018)035	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Eto Minoru, Kurachi Masafumi, Nitta Muneto	4. 巻 2018
2. 論文標題 Non-Abelian strings and domain walls in two Higgs doublet models	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 195
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP08(2018)195	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hidaka Yoshimasa, Yang Di-Lun	4. 巻 98
2. 論文標題 Nonequilibrium chiral magnetic/vortical effects in viscous fluids	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 16012
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.98.016012	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Kimura Taro, Ozaki Sho	4. 巻 99
2. 論文標題 Conformal field theory analysis of the QCD Kondo effect	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 14040
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.99.014040	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Chen Heng-Yu, Kimura Taro	4. 巻 2018
2. 論文標題 Quantum integrability from non-simply laced quiver gauge theory	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 165
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP06(2018)165	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Taro Kimura, Vasily Pestun	4. 巻 108
2. 論文標題 Fractional quiver W-algebras	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Letters in Mathematical Physics	6. 最初と最後の頁 2425-2451
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11005-018-1087-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ishii Takaaki, Murata Keiju	4. 巻 36
2. 論文標題 Black resonators and geons in AdS5	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Classical and Quantum Gravity	6. 最初と最後の頁 125011 ~ 125011
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6382/ab1d76	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ishii Takaaki, Murata Keiju	4. 巻 98
2. 論文標題 Floquet superconductor in holography	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 0.126005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.98.126005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kinoshita Shunichiro, Murata Keiju, Oka Takashi	4. 巻 2018
2. 論文標題 Holographic Floquet states II: Floquet condensation of vector mesons in nonequilibrium phase diagram	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP06(2018)096	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Akutagawa Tetsuya, Hashimoto Koji, Miyazaki Takeshi, Ota Toshihiro	4. 巻 2018
2. 論文標題 Phase diagram of QCD chaos in linear sigma models and holography	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 063B01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/pty055	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hashimoto Koji, Iizuka Norihiro, Sugishita Sotaro	4. 巻 98
2. 論文標題 Thoughts on holographic complexity and its basis dependence	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 46002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.98.046002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hashimoto Koji, Sugishita Sotaro, Tanaka Akinori, Tomiya Akio	4. 巻 98
2. 論文標題 Deep learning and holographic QCD	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 106014
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.98.106014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hashimoto Koji, Kinoshita Shunichiro, Murata Keiju	4. 巻 101
2. 論文標題 Imaging black holes through the AdS/CFT correspondence	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 66018
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.101.066018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hashimoto Koji, Matsuo Yoshinori, Morita Takeshi	4. 巻 2019
2. 論文標題 Nuclear states and spectra in holographic QCD	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP12(2019)001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hashimoto Koji	4. 巻 99
2. 論文標題 AdS/CFT correspondence as a deep Boltzmann machine	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 106017
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.99.106017	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kimura Taro, Pestun Vasily	4. 巻 108
2. 論文標題 Quiver W-algebras	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Letters in Mathematical Physics	6. 最初と最後の頁 1351 ~ 1381
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11005-018-1072-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kimura Taro, Pestun Vasily	4. 巻 108
2. 論文標題 Quiver elliptic W-algebras	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Letters in Mathematical Physics	6. 最初と最後の頁 1383 ~ 1405
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11005-018-1073-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kimura Taro, Ozaki Sho	4. 巻 86
2. 論文標題 Fermi/Non-Fermi Mixing in SU(N) Kondo Effect	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 084703 ~ 084703
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.86.084703	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kimura Taro, Mori Hironori, Sugimoto Yuji	4. 巻 2018
2. 論文標題 Refined geometric transition and qq-characters	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP01(2018)025	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Arai Masato, Blaschke Filip, Eto Minoru, Sakai Norisuke	4. 巻 96
2. 論文標題 Grand unified brane world scenario	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 115033
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.96.115033	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Eto Minoru, Nitta Muneto	4. 巻 97
2. 論文標題 Confinement of half-quantized vortices in coherently coupled Bose-Einstein condensates: Simulating quark confinement in a QCD-like theory	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 23613
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.97.023613	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hayata Tomoya, Hidaka Yoshimasa	4. 巻 2017
2. 論文標題 Kinetic theory and anomalous transports in the presence of nonabelian phase-space Berry curvatures	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 97
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptx097	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hidaka Yoshimasa, Pu Shi, Yang Di-Lun	4. 巻 97
2. 論文標題 Nonlinear responses of chiral fluids from kinetic theory	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 16004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.97.016004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hashimoto Koji, Iizuka Norihiro, Sugishita Sotaro	4. 巻 96
2. 論文標題 Time evolution of complexity in Abelian gauge theories	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 126001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.96.126001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hashimoto Koji, Sugishita Sotaro, Tanaka Akinori, Tomiya Akio	4. 巻 98
2. 論文標題 Deep learning and the AdS/CFT correspondence	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 46019
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.98.046019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hashimoto Koji, Murata Keiju, Tanahashi Norihiro	4. 巻 98
2. 論文標題 Chaos of Wilson loop from string motion near black hole horizon	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 86007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.98.086007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計100件 (うち招待講演 66件 / うち国際学会 72件)

1. 発表者名 Masaki Oshikawa
2. 発表標題 Flat Bands in Honeycomb Network
3. 学会等名 Novel Phases of Quantum Matter, International Center for Theoretical Sciences, Bangalore, India (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年 ~ 2020年

1. 発表者名 Masaki Oshikawa
2. 発表標題 Flat Bands in Honeycomb Network
3. 学会等名 KITP Program "Topological Quantum Matter: Concepts and Realizations", Kavli Institute for Theoretical Physics, UC Santa Barbara (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Oshikawa
2. 発表標題 Junction of Quantum Wires
3. 学会等名 Japan-Netherlands Quantum Conference, Theater De Veste, Delft, Netherlands (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Oshikawa
2. 発表標題 Polarization in Quantum Many-Body Systems
3. 学会等名 Computational Approaches to Quantum Many-body Problems, ISSP, University of Tokyo, Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Oshikawa
2. 発表標題 Universal Gap Scaling in Finite Quantum Ising Chains
3. 学会等名 Computational Approaches to Quantum Many-body Problems, ISSP, University of Tokyo, Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Oshikawa
2. 発表標題 Quantum Quench and f-Sum Rules on Linear and Non-linear Conductivities
3. 学会等名 Aspen Summer Workshop 2019: Realizations and Applications of Quantum Coherence in Non- Equilibrium Systems, Aspen Center for Physics, Aspen, CO, USA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Oshikawa
2. 発表標題 Sum Rules for Linear and Non-Linear Conductivities
3. 学会等名 Amsterdam Summer Workshop on Low-D Quantum Condensed Matter 2019, University of Amsterdam, Netherlands (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Oshikawa
2. 発表標題 Universal Gap Scaling in Finite Quantum Ising Chains
3. 学会等名 Workshop Low-dimensional emergent phenomena in correlated systems and topological quantum matter, Tbilisi, Georgia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Oshikawa
2. 発表標題 Gauge Invariance, Polarization, and Conductivity
3. 学会等名 CMSA Program Topological Aspects of Condensed Matter, Harvard Center for Mathematical Sciences and Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Minoru Eto
2. 発表標題 Topological Z-strings and magnetic monopoles in two Higgs doublet models
3. 学会等名 Topological solitons, nonperturbative gauge dynamics and confinement 2 (Pisa University) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Minoru Eto
2. 発表標題 Gapless states on topological defects
3. 学会等名 Material Research Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Minoru Eto
2. 発表標題 All exact solutions of BPS domain wall networks in CPN models
3. 学会等名 CPN model: recent developments and future directions (Keio University) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Minoru Eto
2. 発表標題 Magnetic monopoles
3. 学会等名 山形大学 理工学研究セミナー (山形大学 米沢キャンパス)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Minoru Eto
2. 発表標題 ドメインウォール・ドメインウォール ジャンクションについて
3. 学会等名 トポロジカル表面状態、ソリトンとブレン、指数定理
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 日高義将
2. 発表標題 量子異常と異常熱輸送
3. 学会等名 研究会「トポロジカル表面状態、ソリトンとブレン、指数定理」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshimasa Hidaka
2. 発表標題 QCD phase diagram and the possibility of topological phases
3. 学会等名 KEK Theory workshop 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taro Kimura
2. 発表標題 Integrating over quiver variety and BPS/CFT correspondence
3. 学会等名 Journee de l'equipe GADT (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Taro Kimura
2. 発表標題 Free field realization in BPS/CFT
3. 学会等名 BPS/CFT Correspondence (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taro Kimura
2. 発表標題 Super instanton counting and localization
3. 学会等名 Strings, Branes and Gauge Theories (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshinori Matsuo
2. 発表標題 Nuclear states and spectra in holographic QCD
3. 学会等名 Holographic QCD (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshinori Matsuo
2. 発表標題 Edge states, Weyl semimetals and black hole analogue
3. 学会等名 Progress in the Mathematics of Topological States of Matter (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshinori Matsuo
2. 発表標題 Nuclear states and spectra in holographic QCD
3. 学会等名 Strings and Fields 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松尾 善典
2. 発表標題 Nuclear states and spectra in holographic QCD
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshinori Matsuo
2. 発表標題 Nuclear states and spectra in holographic QCD
3. 学会等名 KEK Theory Workshop 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshinori Matsuo
2. 発表標題 Nuclear states and spectra in holographic QCD
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松尾 善典
2. 発表標題 Escape from black holes in materials: Type II Weyl semimetals and generic edge states
3. 学会等名 トポロジカル表面状態、ソリトンとブレーン、指数定理
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Koji Hashimoto
2. 発表標題 Neural network as a discrete geometry for materials through holographic principle
3. 学会等名 第 23 回大阪大学産研国際シンポジウム “Scientific and Industrial Research for Space Age” (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Koji Hashimoto
2. 発表標題 Deep Learning and AdS/CFT
3. 学会等名 International workshop “Strings, Geometry, and Data Science” (Simons center for geometry and physics, Stony Brook, New York (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Koji Hashimoto
2. 発表標題 Neural network as a discrete geometry for materials through holographic principle
3. 学会等名 International conference “MATERIALS RESEARCH MEETING 2019” (Yokohama Symposia, Yokohama (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koji Hashimoto
2. 発表標題 Deep Learning and holographic QCD
3. 学会等名 International workshop “NCTS-Kyoto University Joint Meeting on Recent Advances in String and Quantum Field Theory 2019” (National Center for Theoretical Sciences (NCTS), Shinchu, (招待講演) (国際学会))
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koji Hashimoto
2. 発表標題 Boundary conditions of Weyl semimetals and edge-of-edge states
3. 学会等名 International long term program “Topological Quantum Matter: From Low-Temperature Physics to Non-Equilibrium Dynamics” NORDITA, Stockholm (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koji Hashimoto
2. 発表標題 Deep Learning and holographic QCD
3. 学会等名 International workshop “Holographic QCD” (Stockholm) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koji Hashimoto
2. 発表標題 Holography, matter and deep learning
3. 学会等名 Microsoft workshop “Physics Meets ML” (Microsoft Research, Seattle) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 橋本幸士
2. 発表標題 深層ボルツマンマシンと AdS/CFT
3. 学会等名 日本物理学会 2019 年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Oshikawa
2. 発表標題 Polarization in Quantum Many-Body Systems
3. 学会等名 Entanglement in Strongly Correlated Systems, Centro de Ciencias de Benasque “Pedro Pascual” (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Oshikawa
2. 発表標題 Universal gap scaling of finite Ising/Kitaev chains
3. 学会等名 Aspen Winter Conference 2019: New Approaches to Strongly Correlated Quantum Systems, Aspen Center for Physics, Aspen, CO, USA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Oshikawa
2. 発表標題 Universal Gap scaling in finite Ising/Kitaev chain
3. 学会等名 Workshop on Recent Developments on Chiral Matter and Topology, National Taiwan University, Taipei, Taiwan2 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaki Oshikawa
2. 発表標題 Anomaly and Symmetry-Protected Topological Phases
3. 学会等名 WPC Theoretical Symposium 2018, Wolfgang-Pauli Centre, DESY Hamburg, Germany (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaki Oshikawa
2. 発表標題 Polarization in Insulators and Conductors
3. 学会等名 Trends in Theory of Correlated Materials 2018, University of Geneva, Switzerland (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaki Oshikawa
2. 発表標題 Polarization in Many-Body Systems
3. 学会等名 Topological phases in condensed matter and cold atom systems, IESC Cargese, France (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaki Oshikawa
2. 発表標題 Anomaly and Symmetry-Protected Critical Phases
3. 学会等名 Perspectives in Topological Phases: From Condensed Matter to High-Energy Physics, International Center for Interdisciplinary Science and Education, Quy Nhon, Vietnam (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaki Oshikawa
2. 発表標題 Symmetry and Topology in Gapless Critical Phases
3. 学会等名 Symmetry and Topology in Condensed Matter Physics, University of Tokyo, Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaki Oshikawa
2. 発表標題 Polarization in Quantum Many-Body Systems
3. 学会等名 Topological phases of matter: from the quantum Hall effect to spin liquids, IPHT CEA Saclay (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaki Oshikawa
2. 発表標題 Gauge Invariance and Stability of ν -flux Critical Phases
3. 学会等名 673rd Wilhelm und Else Heraeus-Seminar "Trends in Quantum Magnetism", Physikzentrum Bad Honnef, Germany (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaki Oshikawa
2. 発表標題 Polarization in Quantum Many-Body Systems
3. 学会等名 "Quantum Paths" Programme, Erwin-Schrodinger Institute, Vienna, Austria (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Minoru Eto
2. 発表標題 Localization of the Standard Model via Higgs mechanism and a finite electroweak monopole from non-compact five dimensions
3. 学会等名 Corfu summer institute: Workshop on the Standard Model and Beyond (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Minoru Eto
2. 発表標題 Localization of the Standard Model via Higgs mechanism on domain walls
3. 学会等名 Miami 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Minoru Eto
2. 発表標題 トポロジカルソリトンによるダイナミカルなブレーンワールドの構成
3. 学会等名 素粒子物理学の進展2018 (京都大学基礎物理学研究所) (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Minoru Eto
2. 発表標題 トポロジカルソリトンによるダイナミカルなブレーンワールドの構成
3. 学会等名 ブレーンとソリトンの量子異常が導くトポロジカル物質 (大阪大学)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Minoru Eto
2. 発表標題 Electroweak strings in two Higgs doublet model revisited
3. 学会等名 日本物理学会 第 74 回年次大会 (九州大学)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 日高義将
2. 発表標題 Chiral kinetic theory with quark mass
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshimasa Hidaka
2. 発表標題 Particle Productions from Chiral Matter
3. 学会等名 Workshop on Recent Development in Chiral Matter and Topology, National Taiwan University, Taipei, Taiwan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshimasa Hidaka
2. 発表標題 Chiral kinetic theory and magnetic effect
3. 学会等名 The 7th Asian Triangle Heavy-Ion Conference, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui, China (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshimasa Hidaka
2. 発表標題 Virtual photon polarization in the presence of vorticity
3. 学会等名 5th Joint Meeting of the APS Division of Nuclear Physics and the Physical Society of Japan, Hilton Waikoloa Village Waikoloa, HI, USA (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Taro Kimura
2. 発表標題 Geometry of quiver W-algebra
3. 学会等名 Representation theory, gauge theory and integrable systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taro Kimura
2. 発表標題 A super random partition model
3. 学会等名 Spectra of Random Operators and Related Topics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taro Kimura
2. 発表標題 Introduction to W-algebras
3. 学会等名 Introduction to W-algebras (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Taro Kimura
2. 発表標題 Quantum algebras from quiver gauge theory
3. 学会等名 Geometric Correspondences of Gauge Theories (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Taro Kimura
2. 発表標題 Topological order is higher-form SSB
3. 学会等名 Progress in the Mathematics of Topological States of Matter (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keiju Murata
2. 発表標題 Imaging black holes through AdS/CFT
3. 学会等名 International Workshop on "Theoretical Particle Physics 2018" (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keiju Murata
2. 発表標題 Imaging black holes through AdS/CFT
3. 学会等名 Dynamics in Strong Gravity Universe (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keiju Murata
2. 発表標題 Holographic Floquet state ~Oscillatory Electric Field in Holography~
3. 学会等名 Holography and Extreme Chromodynamics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keiju Murata
2. 発表標題 Oscillatory Electric Field in Holography
3. 学会等名 15th workshop on Non-Perturbative QCD (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keiju Murata
2. 発表標題 Floquet superconductor in holography
3. 学会等名 International Molecule Program on Floquet Theory : Fundamentals and Applications (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keiju Murata
2. 発表標題 Black resonators and geons in AdS5
3. 学会等名 日本物理学会2019年春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keiju Murata
2. 発表標題 Imaging black holes through AdS/CFT
3. 学会等名 ブレーンとソリトンの量子異常が導くトポジカル物質
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keiju Murata
2. 発表標題 Black resonators and geons in AdS5
3. 学会等名 第20回特異点研究会『特異点と時空、および関連する物理』
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koji Hashimoto
2. 発表標題 ADS/CFT in time-dependent external field
3. 学会等名 International Molecule Program on Floquet Theory Fundamentals and Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 橋本幸士
2. 発表標題 素粒子の質量について
3. 学会等名 日本質量分析学会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koji Hashimoto
2. 発表標題 Deep Learning and AdS/CFT
3. 学会等名 Deep Learning and physics 2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koji Hashimoto
2. 発表標題 Deep Learning and AdS/CFT
3. 学会等名 15th Workshop on Non-Perturbative Quantum Chromodynamics, Institut d'Astrophysique de Paris (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koji Hashimoto
2. 発表標題 Deep Learning and AdS/CFT
3. 学会等名 Tsinghua Workshop on Machine Learning in Geometry and Physics 2018, Tsinghua Sanya International Mathematics Forum, China (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koji Hashimoto
2. 発表標題 Deep Learning and holographic QCD
3. 学会等名 Strings and Fields 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koji Hashimoto
2. 発表標題 Deep Learning and holographic QCD
3. 学会等名 APCTP focus week “Holography and Geometry of Quantum Entanglement” Hanyang University, Korea (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koji Hashimoto
2. 発表標題 Deep Learning and AdS/CFT
3. 学会等名 Quantum Gravity meets Lattice QFT, ECT, Trento, Italy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 橋本幸士
2. 発表標題 超弦理論における時空創発と深層学習
3. 学会等名 岡数学研究所・第17回岡シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koji Hashimoto
2. 発表標題 Deep Learning and holographic QCD
3. 学会等名 Workshop “Machine learning landscape”, International Centre for theoretical physics in Trieste, Italy
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Kimura
2. 発表標題 Non-simply-laced quiver gauge theory from Omega-background
3. 学会等名 Strings and Fields 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Kimura
2. 発表標題 Double quantization of Seiberg-Witten geometry and quiver W-algebras
3. 学会等名 East Asia Joint Workshop on Fields and Strings 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Kimura
2. 発表標題 Multiple functions in Quantum Field Theory
3. 学会等名 多重三角関数とその一般化/Multiple trigonometric functions and their generalizations (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Kimura
2. 発表標題 Quiver gauge theory and quiver W-algebra
3. 学会等名 日本数学会2018年度年会/MSJ Spring Meeting 2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Kimura
2. 発表標題 Fractional quiver gauge theory
3. 学会等名 Localization Techniques in Quantum Field Theories (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Minoru Eto
2. 発表標題 Geometric Higgs Mechanism and Soliton World Scenario
3. 学会等名 Topological Solitons, Nonperturbative Gauge Dynamics and Confinement (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Minoru Eto
2. 発表標題 GUT and Brane world on domain walls
3. 学会等名 Workshop on Solitons, Gauge Fields, and the Integrability: Methods and Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Minoru Eto
2. 発表標題 Localization of gauge fields on topological defects
3. 学会等名 Miami 2017: A topical conference on elementary particles, astrophysics, and cosmology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Minoru Eto
2. 発表標題 2ヒッグスダブルレット模型における非アーベリアン宇宙組1：解の構成と性質
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshimasa Hidaka
2. 発表標題 Chiral kinetic equation with a collision term and anomalous transport from quantum field theory
3. 学会等名 Phases of Quantum Chromodynamics (QCD) and Beam Energy Scan Program with Heavy Ion Collisions (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshimasa Hidaka
2. 発表標題 非平衡場の理論と対称性
3. 学会等名 非平衡物理の最前線 - 素粒子・宇宙から物性まで -
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshimasa Hidaka
2. 発表標題 Nonequilibrium field theory and symmetry
3. 学会等名 RIKEN-Osaka-OIST Joint Workshop 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaki Oshikawa
2. 発表標題 Orbital Angular Momentum and Current Distribution in Two Dimensional Chiral Superfluids
3. 学会等名 NORDITA Workshop Multicomponent and Strongly Correlated Superconductors (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masaki Oshikawa
2. 発表標題 Ground state of the S=1/2 Kagome antiferromagnet
3. 学会等名 Junjiro Kanamori Memorial International Symposium New Horizon of Magnetism - (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masaki Oshikawa
2. 発表標題 Symmetry-protected critical phases and global anomaly
3. 学会等名 Croucher Advanced Institute Topology in Condensed Matter and High-Energy Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 押川正毅
2. 発表標題 「Haldane現象からの理論的展開」
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会シンポジウム「Haldane現象とその展開」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 押川正毅
2. 発表標題 「トポロジカル相としての量子スピン液体とKitaev模型」
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会シンポジウム「Kitaevスピン液体とマヨラナ粒子：理論と実験を両輪とした最近の発展と展望」（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koji Hashimoto
2. 発表標題 Quantum information and black hole
3. 学会等名 APCTP focus week “ ” Geometry and holography for quantum criticality”（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 橋本幸士
2. 発表標題 場の理論のカオスとブラックホール
3. 学会等名 京都大学基礎物理学研究所研究会「熱場の量子論」（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 橋本幸士
2. 発表標題 カオス、クォーク、ブラックホール-AdS/CFT対応による新たな創発時空の特徴づけについて
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Koji Hashimoto
2. 発表標題 Complexity and AdS/CFT: quantum othello game
3. 学会等名 NCTS (Taiwan national center for theoretical sciences) annual meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Koji Hashimoto
2. 発表標題 Deep learning, black holes and chaos
3. 学会等名 RIKEN-Osaka-OIST Joint Workshop 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 橋本幸士
2. 発表標題 深層学習とAdS/CFT
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 田中 章詞、富谷 昭夫、橋本 幸士	4. 発行年 2019年
2. 出版社 講談社	5. 総ページ数 300
3. 書名 ディープラーニングと物理学 原理がわかる、応用ができる	

1. 著者名 橋本 幸士、大槻 東巳、真野 智裕、斎藤 弘樹、藤田 浩之、安藤 康伸、永井 佑紀、青木 健一、藤田 達大、小林 玉青、大関 真之、久良 尚任、福嶋 健二、村瀬 功一、船井 正太郎、柏浩司、富谷 昭夫	4. 発行年 2019年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 212
3. 書名 物理学者，機械学習を使う	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	日高 義将 (Hidaka Yoshimasa) (00425604)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授 (82118)	
研究分担者	押川 正毅 (Oshikawa Masaki) (50262043)	東京大学・物性研究所・教授 (12601)	
研究分担者	衛藤 稔 (Eto Minoru) (50595361)	山形大学・理学部・教授 (11501)	
研究分担者	木村 太郎 (Kimura Taro) (90760794)	慶應義塾大学・自然科学研究教育センター(日吉)・訪問講師 (32612)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計1件

国際研究集会 Deep Learning and Physics 2019	開催年 2019年～2019年
--	--------------------

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
米国	Ohio State Univ	Boston College	Univ. of California, Santa Barbara	他1機関
韓国	POSTECH	IBS Pohang		
カナダ	McMaster University	Perimeter Institute		
フランス	Universite Bourgogne Franche-Comte			
その他の国・地域	National Tsing Hua University	National Taiwan University	National Center for Theoretical Sciences	
チェコ	Silesian University in Opava	Czech Technical University in Prague		
フランス	IHES			
オランダ	Utrecht University			
ドイツ	Max Planck Institute			