

令和 2 年 5 月 10 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15K04871

研究課題名(和文)物理学が拓く位相的K理論の新展開

研究課題名(英文)New development of topological K-theory pioneered by physics

研究代表者

五味 清紀 (Gomi, Kiyonori)

東京工業大学・理学院・教授

研究者番号：00543109

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文)：固体物理学におけるトポロジカル絶縁体の理論的予言および実験的確認以降、位相的K理論がトポロジカル絶縁体の分類に有効であることが認識されてきた。本研究では、そうした分類に必要なねじれ同変K理論の数学的性質を明らかにし、実際に計算をすることで結晶対称性を持つトポロジカル絶縁体の分類へ応用した。また、こうした応用に関連して、ある種の構造を付与されたベクトル束の不変量や、位相的K理論の計算に有用である位相的T双対の一般化等についても研究をし、成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

当研究の成果として、トポロジカル絶縁体という現実の物質の分類のために、位相的K理論という純粋数学で以前から研究されてきた道具が有効に活用できることを示したことが挙げられる。これには、新奇な性質を持つ物質の存在を具体的に示唆できるという意義に加えて、純粋数学という基礎研究で培われた概念が、思いもよらない応用を持つ一例を与えたという意義がある。

研究成果の概要(英文)：Since theoretical predictions and experimental confirmations of topological insulators in condensed matter physics, topological K-theory has been recognized as effective of their classifications. In this research, I clarified mathematical nature of twisted equivariant K-theory necessary for such classifications, and applied it to the classifications of topological insulators subject to crystalline symmetry through actual computations. Related to this application, I also investigated and got some results above invariants of vector bundles equipped with certain structures as well as topological T-duality useful for computations of topological K-theory.

研究分野：位相幾何学

キーワード：位相的K理論 トポロジカル絶縁体 ベクトル束 特性類

1 研究開始当初の背景

位相的 K 理論の物理学における応用として、1990 年台後半には弦理論における D ブレーンチャージの分類への応用が知られていた。2010 年前後に、トポロジカル絶縁体の分類において位相的 K 理論が有効であることが認識され、特に、Freed と Moore の論文によって、その応用の一般的な枠組みが提示された。しかしながら、その具体的な応用であって、従来から知られていたものを越えるものは殆どない、というのが研究開始当初の状況であった。また、Freed と Moore の論文では、従来知られていたねじれ同変 K 理論を拡張するものが導入されていたが、その一般的な性質も数学的には未整備なままであった。

2 研究の目的

本研究の目的は、上で触れたような最近の物理学への応用の中で見えてきた位相的 K 理論およびそれに関連する幾何学の新しい側面を、組織的に研究して発展させることであった。より具体的には、まず、複雑な対称性がある場合の位相的 K 理論の一般論を構築することであった。その上で、そのような K 理論の要素を実現する幾何学的対象やそれらの不変量の導入、そのような K 理論の間の位相的 T 双対性や関連する指数定理の定式化と証明、およびそれらの数学的・物理学的応用を与えることが目的であった。

3 研究の方法

主に、標準的な数学の研究方法である：既存の結果を踏まえ、目的のためにクリアすべき問題を明確にし、それを試行錯誤して解決して行く。その際、共同研究者との協力により、目的が達成されることもある。また、そうした中で、研究開始時には想像だにできなかった、新たな問題が見つかることがある。そういった問題は、往々にして数学を深める。

ただし、本研究では、物理学への応用をあらかじめ視野に入れていたため、物理学者からもたらされた数学的な課題を解くことがしばしば含まれる。

4 研究成果

以下、得られた研究成果を、おおまかに三つに分けて概説する。

4.1 Freed-Moore の K 理論の理論的整備と応用

既に述べたように、Freed と Moore によって導入された新たなねじれを持つ同変 K 理論は、様々な対称性を持つトポロジカル絶縁体の分類への応用できるものの、その理論的な側面が未整備であった。この理論的な整備を行ったことは、研究成果である [6]。具体的には、Fredholm 作用素の族を用いて、この同変ねじれ K 理論を定式化し、それが適当に拡張した一般コホモロジー理論の公理を満たし、周期 8 の Bott 周期性を持ち、Thom 同型定理が成り立つことを証明した。また、Karoubi

による位相的 K 理論の定式化の一般化によってもこのねじれ同変 K 理論が定義できることを示した. この定式化が, トポロジカル絶縁体の分類には重要である.

この具体的な応用として, 塩崎謙氏と佐藤昌利氏との共同研究において, 2次元結晶群の対称性を持つ複素クラスのトポロジカル絶縁体を, K 理論を応用して分類した [11]. 数学的には, 2次元結晶群の格子の Pontryagin 双対への点群作用について同変な (ねじれ) 複素 K 理論を決定した. 引き続いた共同研究においては, 3次元結晶群の対称性を持つ複素クラスのトポロジカル絶縁体の分類のため, 3次元結晶群の格子の Pontryagin 双対への点群作用について同変な (ねじれ) 複素 K 理論に対し, その Atiyah-Hirzebruch スペクトル系列の E_∞ 項を決定した [10].

こうした結晶群の Pontryagin 双対の, 点群作用について同変な K 理論は, 結晶群の非共形性に伴うねじれを持つ. 数学的な観点から, そうしたねじれの分類を, 特に2次元結晶群の場合に行った. 結果として, 非共形性や射影表現のコサイクルから決まるねじれ以外のねじれが存在しうることを明らかにした [7].

上で述べた2次元結晶群の対称性を持つトポロジカル絶縁体の K 理論を用いた分類から, 特に非共形な結晶群 pg を対称性を持つ場合, 巡回群 $\mathbb{Z}/2$ で分類されるトポロジカル絶縁体があることがわかってきた. こうした巡回群で分類されるトポロジカル絶縁体は, 時間反転対称性など, 反複素線形な対称性が必要であると思われるようである. しかし, 上で述べたトポロジカル絶縁体は, そういった対称性を必要しない点で, 以前より知られていたものと一線を画している. この $\mathbb{Z}/2$ で分類されるトポロジカル絶縁体に対するバルク境界対応を, K 理論の Gysin 準同型を通して数学的に定式化した. これは Guo Chuan Thiang 氏との共同研究の成果である [8].

また, 不定値内積を持つ Hilbert 空間に作用するハミルトニアンによって記述されるトポロジカル絶縁体の分類に応用できる位相的 K 理論を, Giuseppe De Nittis 氏との共同研究において導入した [4]. この K 理論は, ある種のフォトニック結晶のトポロジカル相の分類を動機とする. この K 理論を導入するにあたり, ハミルトニアンの固有値の実数性と, 対角化可能性を保証するための対称性を仮定している. この仮定のもとで, 我々が導入した K 理論は, Freed-Moore 型のねじれを持つねじれ同変 K 理論の特別な場合になることを証明した.

4.2 “四元数” ベクトル束の特性類の研究

先立つ研究において, “四元数” ベクトル束の特性類として, FKMM 不変量と呼ばれるものを, Giuseppe De Nittis 氏との共同研究において導入していた. この不変量は, 量子スピン Hall 系と呼ばれる代表的なトポロジカル絶縁体の分類に用いられる不変量の一般化となっており, ある局所系を係数とする相対 Borel 同変コホモロジーの元として定義される. Giuseppe De Nittis 氏との引き続いた研究においては, FKMM 不変量の微分幾何学的な側面や低次元における完全不変量としての側面などを明らかにした [2, 3]. その応用として, Giuseppe De Nittis 氏と Massimo Moscolari 氏との共同研究において, 非可換磁場ポテンシャルを持つ Landau ハミルトニアンのトポロジカル相の分類へ FKMM 不変量を応用した [5].

また, FKMM 不変量は, Weyl 半金属の分類にも応用されている. これは Guo Chuan Thiang 氏と佐藤浩二氏との共同研究の成果である [13]. この研究で FKMM

不変量を応用するため、相対 Borel 同変ホモロジーに対する Poincaré 双対を確立した。

“四元数”ベクトル束は、量子スピン Hall 系、すなわち、クラス AII のトポロジカル絶縁体の分類に応用されるベクトル束の概念である。クラス AIII のトポロジカル絶縁体の分類に応用するベクトル束として、Giuseppe De Nittis 氏との共同研究で、カイラルベクトル束という概念を導入し、低次元における分類を行った [1]。

トポロジカル絶縁体も Weyl 半金属も、格子上の平行移動不変な量子力学系として記述すると、そのハミルトニアン情報は運動量空間上で定義された Hermite 行列値関数に集約される。こうした Hermite 行列値関数の特性類や不変量を、行列が特異になる点がなす部分多様体の周りの情報を用いて記述する研究を行い、一定の成果を得た。

また、トポロジカル絶縁体よりも一般的な、多体粒子の相互作用系のトポロジカル相の分類において、これまで数学の文脈では使われてこなかったスピン構造の変種が登場する。こうした構造が存在するための必要十分条件を、特性類を使って与えた。この結果は、塩崎謙氏、Hassan Shapourian 氏、笠真生氏との共著論文 [12] の付録として収録されている。

4.3 位相的 T 双対の研究

位相的 T 双対は、弦理論における T 双対を起源とし、今日では様々な一般化が知られている。そうした一般化の一つとして、結晶群の点群が作用するトーラスのねじれ同変 K 理論に対する位相的 T 双対を確立した。これは Guo Chuan Thiang 氏との共同研究の成果である [9]。この位相的 T 双対は、3次元結晶群の対称性を持つ複素クラスのトポロジカル絶縁体を分類するねじれ K 理論の決定に応用することができる。すなわち、この K 理論に対する Atiyah-Hirzebruch スペクトル系列の E_∞ 項はわかっていたが [10]、 K 理論そのものを決定する拡大問題は一般に手付かずであった。この拡大問題を解くために、位相的 T 双対を応用することができる。

上で述べた位相的 T 双対の証明には、結晶群について既に確立されている Baum-Connes 予想を応用している。そのため、位相的 T 双対を実現するねじれ同変 K 理論の同型が具体的ではなかった。Guo Chuan Thiang 氏と窪田陽介氏との共同研究において、この同型写像が、Fourier-向井型の変換として実現できることを示した。

また、従来知られていた位相的 T 双対においては、ねじれ K 理論のねじれは 3 次の整数係数コホモロジーのみを考えるものが殆どである。ねじれとして、1 次の $\mathbb{Z}/2$ 係数コホモロジーを含む場合、少なくとも円周束に対しては、従来とほぼ同様の位相的 T 双対が成立することを示した。

References

- [1] G. De Nittis and K. Gomi, *Chiral vector bundles*. *Mathematische Zeitschrift*. 290 (2018), no. 3-4, 775-830.

- [2] G. De Nittis and K. Gomi, *The cohomological nature of the Fu-Kane-Mele invariant*. Journal of Geometry and Physics. 124 (2018), 124-164.
- [3] G. De Nittis and K. Gomi, *The FKMM-invariant in low dimension*. Letters in Mathematical Physics. 108 (2018), no. 5, 1225-1277.
- [4] G. De Nittis and K. Gomi, *On the K-theoretic classification of dynamically stable systems*. Reviews in Mathematical Physics. Vol. 31, No. 01, 1950003 (2019)
- [5] G. De Nittis, K. Gomi and M. Moscolari, *The Geometry of (non-Abelian) Landau levels*. Journal of Geometry and Physics. Volume 152, June 2020, 103649
- [6] K. Gomi, *Freed-Moore K-theory*. arXiv:1705.09134.
- [7] K. Gomi, *Twists on the torus equivariant under the 2-dimensional crystallographic point groups*. SIGMA. Symmetry, Integrability and Geometry. Methods and Applications. 13 (2017), 014, 38 pages.
- [8] G. C. Thiang and K. Gomi, *Crystallographic bulk-edge correspondence: glide reflections and twisted mod 2 indices*. Letters in Mathematical Physics. 109 (2019), no. 4, 857-904.
- [9] G. C. Thiang and K. Gomi, *Crystallographic T-duality*. Journal of Geometry and Physics. 139 (2019), 50-77.
- [10] K. Shiozaki, M. Sato and K. Gomi, *Atiyah-Hirzebruch Spectral Sequence in Band Topology: General Formalism and Topological Invariants for 230 Space Groups*. arXiv:1802.06694.
- [11] K. Shiozaki, M. Sato and K. Gomi, *Topological Crystalline Materials - General Formulation, Module Structure, and Wallpaper Groups-*. Physical Review B 95, 235425 (2017)
- [12] K. Shiozaki, H. Shapourian, K. Gomi and S. Ryu, *Many-body topological invariants for fermionic short-range entangled topological phases protected by antiunitary symmetries*. Physical Review B 98, 035151 (2018)
- [13] G. C. Thiang, K. Sato and K. Gomi, *Fu-Kane-Mele monopoles in semimetals*. Nuclear Physics. B 923 (2017), 107–125.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18件 / うち国際共著 16件 / うちオープンアクセス 3件）

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Giuseppe De Nittis, Kiyonori Gomi | 4. 巻 31 |
| 2. 論文標題 On the K-theoretic classification of dynamically stable systems | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Reviews in Mathematical 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) https://doi.org/10.1142/S0129055X1950003X | 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 Kiyonori Gomi, Guo Chuan Thiang | 4. 巻 109 |
| 2. 論文標題 Crystallographic bulk-edge correspondence: glide reflections and twisted mod 2 indices | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Letters in Mathematical Physics | 6. 最初と最後の頁 857-904 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/s11005-018-1129-1 | 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 Kiyonori Gomi, Guo Chuan Thiang | 4. 巻 139 |
| 2. 論文標題 Crystallographic T-duality | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Geometry and Physics | 6. 最初と最後の頁 50-77 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.geomphys.2019.01.002 | 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 Giuseppe De Nittis, Kiyonori Gomi, Massimo Moscolari | 4. 巻 152 |
| 2. 論文標題 The Geometry of (non-Abelian) Landau levels | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Geometry and 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) https://doi.org/10.1016/j.geomphys.2020.103649 | 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 Ken Shiozaki, Hassan Shapourian, Kiyonori Gomi, Shinsei Ryu | 4. 巻 98 |
| 2. 論文標題 Many-body topological invariants for fermionic short-range entangled topological phases protected by antiunitary symmetries | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 PHYSICAL REVIEW B | 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) https://doi.org/10.1103/PhysRevB.98.035151 | 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 Giuseppe De Nittis, Kiyonori Gomi | 4. 巻 290 |
| 2. 論文標題 Chiral vector bundles | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Mathematische Zeitschrift | 6. 最初と最後の頁 775-830 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/s00209-018-2041-1 | 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 Giuseppe De Nittis, Kiyonori Gomi | 4. 巻 108 |
| 2. 論文標題 The FKMM-invariant in low dimension | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Letters in Mathematical Physics | 6. 最初と最後の頁 1225-1277 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/s11005-017-1029-9 | 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 Ken Shiozaki, Masatoshi Sato, Kiyonori Gomi | 4. 巻 95 |
| 2. 論文標題 Topological Crystalline Materials -General Formulation, Module Structure, and Wallpaper Groups- | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review B | 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/PhysRevB.95.235425 | 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 Guo Chuan Thiang, Koji Sato and Kiyonori Gomi | 4. 巻 923 |
| 2. 論文標題 Fu-Kane-Mele monopoles in semimetals | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Nuclear Physics. B | 6. 最初と最後の頁 107-125 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nuclphysb.2017.07.018 | 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 Guseppe De Nittis, Kiyonori Gomi | 4. 巻 124 |
| 2. 論文標題 The cohomological nature of the Fu-Kane-Mele invariant | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Geometry and Physics | 6. 最初と最後の頁 124-164 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.geomphys.2017.10.007 | 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 Guseppe De Nittis, Kiyonori Gomi | 4. 巻 印刷中 |
| 2. 論文標題 The FKMM-invariant in low dimension | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Letters in Mathematical 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/s11005-017-1029-9 | 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 Guseppe De Nittis, Kiyonori Gomi | 4. 巻 印刷中 |
| 2. 論文標題 Chiral vector bundles | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Mathematische Zeitschrift | 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/s00209-018-2041-1 | 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 Kiyonori Gomi | 4. 巻 13 |
| 2. 論文標題 Twists on the torus equivariant under the 2-dimensional crystallographic point groups | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 SIGMA. Symmetry, Integrability and Geometry. Methods and Applications. | 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) https://doi.org/10.3842/SIGMA.2017.014 | 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 Giuseppe De Nittis, Kiyonori Gomi | 4. 巻 印刷中 |
| 2. 論文標題 Differential geometric invariants for time-reversal symmetric Bloch-bundles: the "Real" case | 5. 発行年 2016年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Mathematical Physics | 6. 最初と最後の頁 印刷中 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 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 Ken Shiozaki, Masatoshi Sato, Kiyonori Gomi | 4. 巻 印刷中 |
| 2. 論文標題 Topology of nonsymmorphic crystalline insulators and superconductors | 5. 発行年 2016年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review B | 6. 最初と最後の頁 印刷中 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 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 Giuseppe De Nittis, Kiyonori Gomi, Massimo Moscolari | 4. 巻 152 |
| 2. 論文標題 The Geometry of (non-Abelian) Landau levels | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Geometry and 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) https://doi.org/10.1016/j.geomphys.2020.103649 | 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 Kiyonori Gomi, Guo Chuan Thiang | 4. 巻 109 |
| 2. 論文標題 Crystallographic bulk-edge correspondence: glide reflections and twisted mod 2 indices | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Letters in Mathematical Physics | 6. 最初と最後の頁 857-904 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/s11005-018-1129-1 | 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 Kiyonori Gomi, Guo Chuan Thiang | 4. 巻 139 |
| 2. 論文標題 Crystallographic T-duality | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Geometry and Physics | 6. 最初と最後の頁 50-77 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.geomphys.2019.01.002 | 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 |

[学会発表] 計24件 (うち招待講演 24件 / うち国際学会 10件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kiyonori Gomi |
| 2. 発表標題 K-theory of C-symmetric gapped pseudo-Hermitian operators |
| 3. 学会等名 Topological Phenomena in Non-Hermitian and Non-Equilibrium Systems, Tohoku University (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 Kiyonori Gomi |
| 2. 発表標題 Crystallographic T-duality |
| 3. 学会等名 東工大トポロジーセミナー (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Kiyonori Gomi |
| 2. 発表標題 Introduction to twisted K-theory |
| 3. 学会等名 関西ゲージ理論セミナー, 京都大学 (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名 Kiyonori Gomi |
| 2. 発表標題 トポロジカル絶縁体と位相的K理論 |
| 3. 学会等名 作用素論セミナー, 京都大学 (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kiyonori Gomi |
| 2. 発表標題 Band topology and submanifolds of matrices |
| 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 Kiyonori Gomi |
| 2. 発表標題 Band topology and submanifolds of matrices |
| 3. 学会等名 Recent progress in mathematics of topological insulators (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kiyonori Gomi |
| 2. 発表標題 バンド理論におけるトポロジー |
| 3. 学会等名 応用特異点論ラボ セミナー, 北海道大学 (招待講演) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 Kiyonori Gomi |
| 2. 発表標題 Crystallographic T-duality |
| 3. 学会等名 幾何学コロキウム, 北海道大学 (招待講演) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kiyonori Gomi |
| 2. 発表標題 Crystallographic T-duality |
| 3. 学会等名 量子化の幾何学@慶応 ONE-DAY MEETING, 慶応大学 (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名 Kiyonori Gomi |
| 2. 発表標題 トポロジストのためのトポロジカル絶縁体入門 |
| 3. 学会等名 日本数学会2019年度年会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Kiyonori Gomi |
| 2. 発表標題 K-theory, gapped quantum system and C-symmetric indefinite metric space |
| 3. 学会等名 The AMS Sectional Meeting, Special Session on Topological Mathematical Physics, Indiana University, Bloomington, USA (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kiyonori Gomi |
| 2. 発表標題 Bott periodicity and Thom isomorphism in Freed-Moore K-theory |
| 3. 学会等名 トポロジー金曜セミナー, 九州大学 (招待講演) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kiyonori Gomi |
| 2. 発表標題 トポロジカル相の分類とコホモロジー理論 |
| 3. 学会等名 今週の物理 (物質基礎科学セミナー), 信州大学 (招待講演) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kiyonori Gomi |
| 2. 発表標題 Bott periodicity and Thom isomorphism in Freed-Moore K-theory |
| 3. 学会等名 Gauge theory and higher geometry, The University of Adelaide, Australia (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 Kiyonori Gomi |
| 2. 発表標題 位相的結晶絶縁体とK理論, I, II, III |
| 3. 学会等名 トポロジカル相についての数学的研究 (招待講演) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kiyonori Gomi |
| 2. 発表標題 Atiyah-Hirzebruch Spectral Sequence in Band Topology |
| 3. 学会等名 Mini-workshop on Topological States and Non-commutative Geometry , Tohoku University, Japan (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kiyonori Gomi |
| 2. 発表標題 Topological crystalline insulators and K-theory. I,II. |
| 3. 学会等名 Topology & Condensed Matter , National Tsing Hua University, Taiwan (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kiyonori Gomi |
| 2. 発表標題 K-theory, gapped quantum system and C-symmetric indefinite metric space |
| 3. 学会等名 量子化の幾何学2016 (招待講演) |
| 4. 発表年 2016年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kiyonori Gomi |
| 2. 発表標題 K-theory, gapped quantum system and C-symmetric indefinite metric space |
| 3. 学会等名 下呂幾何学研究集会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2016年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Kiyonori Gomi |
| 2. 発表標題 K-theory, gapped quantum system and C-symmetric indefinite metric space |
| 3. 学会等名 The second Australia-Japan Geometry, Analysis and their Applications (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Kiyonori Gomi |
| 2. 発表標題 Classifications of some twisted equivariant bundles |
| 3. 学会等名 The second Australia-Japan Geometry, Analysis and their Applications (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kiyonori Gomi |
| 2. 発表標題 K-theory of the torus equivariant under the 2-dimensional crystallographic point groups |
| 3. 学会等名 Australia-Japan Geometry, Analysis and their Applications (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2015年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Kiyonori Gomi |
| 2. 発表標題 Topological T-duality for "Real" circle bundle |
| 3. 学会等名 トポロジー火曜セミナー (招待講演) |
| 4. 発表年 2015年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kiyonori Gomi |
| 2. 発表標題 K-theory of the torus equivariant under the 2-dimensional crystallographic point groups |
| 3. 学会等名 幾何学セミナー (招待講演) |
| 4. 発表年 2015年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|--|
| Kiyonori Gomi's Website http://math.shinshu-u.ac.jp/~kgomi/ |
|--|

| | | |
|---------------------------|-----------------------|----|
| 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 |