

令和 4 年 5 月 24 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H04837

研究課題名(和文)場の量子論の正しい数学的枠組みの探索

研究課題名(英文) Search for a/the correct framework(s) of quantum field theories

研究代表者

立川 裕二 (Tachikawa, Yuji)

東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・教授

研究者番号：10639587

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,600,000円

研究成果の概要(和文)：当初の計画では、二次元場の理論の頂点演算子による定式化から出発し、さらに高次元の場の量子論の定式化を追求する予定であったが、その方針はうまくいかなかった。そのため、場の量子論の対称性およびその量子異常の概念を数学的に一般的に定式化および研究するという方針に切り替え、幸いこちらの方向性は順調に進んだ。例えば、これまでは対称性操作は可逆なものばかり考えられていたが、非可逆なものを考えてもよいことを指摘した Bhardwaj との 2018 年の共著論文はその後ゆっくりと注目を集め、非可逆対称性は世界の色々な人に研究されるようになり、特に今年(2022年)になって関連論文が多数発表されている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

場の量子論は我々を構成している素粒子の従う法則であるのみならず、超伝導や量子ホール効果などの物性理論においても基礎的であり、理論からの予測は実験とも良く合うことが知られている。しかしながら、場の量子論は数学的にきちんと理解されていない。例えていえば、古代エジプト人はピタゴラスの定理を實際上知っていて、ピラミッドを造れたが、ユークリッド幾何という定式化を知らなかったような状況である。ユークリッド幾何が古代ギリシャ以後の科学の進展に果たしたように、場の量子論を数学的に整備することは、人類の科学の長期的な理解に資すると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Originally, I planned to start from the known formulation of two-dimensional quantum field theory using vertex operator algebras, and generalize it to higher-dimensional quantum field theories. Unfortunately this direction did not proceed as expected, and I decided to concentrate my efforts on generalizing and studying the concept of the symmetry and anomaly of quantum field theory. Luckily this direction was more successful. For example, in a paper from 2018 coauthored with Bhardwaj, I pointed out that symmetry operations, which were usually taken to be always invertible, can be generalized to non-invertible operations. This observation has slowly been taken up by researchers worldwide, and in particular, many papers studying this point further have appeared as preprints this year (2022).

研究分野：数理論理

キーワード：場の量子論 数学的定式化

1. 研究開始当初の背景

場の量子論は、電磁場をはじめとして、空間方向と時間方向に広がった「場」を量子力学的にあつかう枠組みであって、物理学においては、物質を構成する素粒子を記述する所謂標準模型は場の理論の最たるものであるし、物性理論においても、超伝導体や量子ホール効果などの低エネルギーでの振舞いを記述するのに重要な役割を果たす。場の量子論の計算手法はおおよそ確立しており、計算結果は実験による計測と非常によくあうことも知られている。

しかしながら、場の量子論は数学的にきちんと定式化されていない。これは、たとえていえば、古代エジプトにおいて人々は幾何学を経験的に知っており、ピラミッドなどの建造物をつくることができていたが、その理論的背景を明らかにするには古代ギリシアにおけるユークリッド幾何の確立をまたなければならなかったことに似ている。

ユークリッド幾何がその後の科学の発展において基礎的な役割を果たしたように、場の量子論のきちんとした数学的定式化は今後の数学および関連分野の発展に大きな役割を果たすと思われる。実際、これまでも、場の量子論の一部の側面を数学的に定式化することから、数学の豊かな分野が生まれるということが何度もあった。そのため、場の量子論の定式化を、全体といわずともこれまでなされていない部分に関してさらに進めることは意義がある。

2. 研究の目的

一言で言えば、場の量子論の枠組みをさらに整備するのが目的である。

- (1) 場の量子論でこれまで主に研究されてきたのは時空の点に存在する点的な演算子であり、またそれらのなす代数である。二次元の共形場理論とよばれる特殊なタイプの場の量子論に関しては、この代数は頂点作用素代数としてきちんと定式化されている。この定式化を高次元に拡張することが目的のひとつだった。
- (2) 点的な演算子以外にも、時空の中の線、面などに存在する線的、面的な演算子も場の量子論には存在する。線的な演算子の中ではウィルソン線演算子というものがこれまでもよく研究されているが、線演算子の一般論は追究されてこなかった。これを調べるのも目的のひとつだった。
- (3) 特に、それらの線的、面的演算子の中でも、線や面の連続変形のもとで理論への作用が不変であるようなトポロジカルな演算子は、有限群対称性の作用の拡張と考えることができる。そのため、(2) の目標の一部として、場の量子論の有限群対称性の概念を拡張してゆくということが考えられる。この研究課題の数年間の研究の結果、この (3) が特に有望であることがわかり、この側面に研究を注力することとなった。

3. 研究の方法

研究代表者は主に素粒子論の立場から場の量子論の研究を行ってきたが、場の量子論の定式化の追究のためには、さらに広い観点から場の量子論を捉える必要がある。

特に、上記目的(3)に関しては、物理の中では物性理論でのトポロジカル物性の研究において種々の知見が得られていた。また、これまで理論物理においてはほとんど使われていなかった、代数トポロジーとよばれる数学の分野も重要になることがわかった。そのため、物性理論および代数トポロジーの研究者との共同研究を行った。

また、研究の過程で、コンピュータによる数値計算により予想を確認することも必要になった。そのため、所属研究所の保有する強力なコンピュータクラスターを使用することも行った。

4. 研究成果

主要なもののみ述べる。

- (1) 二次元の場の量子論におけるトポロジカルな線的演算子の一般論を Bhardwaj との共著の論文 [1] において 2018 年に発表した。トポロジカルな線的演算子達のなす代数構造は、有限群対称性の拡張と考えることができ、数学的には、今世紀になって詳細に調べられるよ

うになった fusion category (日本語の定まった訳は存在しないが、融合圏というのが適当であろう) で記述されることを指摘した。この事実は、一部の数理物理学者には知られていたが、二次元の位相的場の理論および有理共形場理論においてのみ考えられており、もっと一般の二次元の量子論において意義があることを指摘した。我々の指摘は徐々に世界の研究者の間に浸透しており、2021年、2022年になって関連論文が多数発表されている。

- (2) 場の量子論においては、ある対称性が与えられた場合にそれを「ゲージ化する」という操作が重要である。たとえば電磁場は $U(1)$ 対称性をゲージ化したものである。単著論文 [2] においては、二次元の場の理論において、有限群対称性をゲージ化することに伴い生じる新奇な数理的現象について議論した。非常に簡単な考察に基づく短い論文ではあるが、それまで指摘されていなかった現象であり、この科研費の補助での研究で出版された論文のなかでは一番よく引用されている。
- (3) 場の量子論の対称性とその量子異常の一般的理解には、代数トポロジーという数学の分野が必要かつ有効であることがわかった。それをういた論文をいくつか発表している。例えば、李と大森との共著 [3] では、八十年代から知られている Wess-Zumino-Witten 項と呼ばれるハドロンの物理において重要なトポロジカルな項が、非自明なトポロジーをもつ時空においてどのように記述されるべきかを、スピン同境界という代数トポロジーの観点から調べた。
- (4) また、このような対称性と量子異常の理解の進展を、既知の場の理論、弦理論や超対称場の理論において応用することも行った。謝と米倉との共著 [4] では、通常の電磁気学において知られている、電気力と磁気力をいれかえる双対性変換が、量子力学的に考察する際にも微妙な点を調べた。また、Kaidi と Parra-Martinez との共著 [5] では、摂動的開弦理論で Type 0 と呼ばれて知られていたものが、弦の世界面上にトポロジカル超伝導体を考えることで八種類あることを示した。この二つは Physical Review Letters に掲載されている。また、李と大森との共著 [6] では、二十五年ほど前に Intriligator と Seiberg によって発見された超対称双対性のもとで、線的演算子のもつ対称性がどのように対応しているかを詳細に明らかにした。
- (5) また、[1] で議論したような新しい一般化された対称性を既存の理論の中で見出すのみならず、真にあたらしい物理系において実現することも重要である。その第一歩として、数値的にそのような系をコンピュータクラスタを用いて調べたのが Huang, Lin, 大森, 手塚との共著の [7] である。これは Physical Review Letters の査読を通過し印刷中である。

[1] L. Bhardwaj and Y. Tachikawa, **On finite symmetries and their gauging in two dimensions**, Journal of High Energy Physics, 03(2018)189

[2] Y. Tachikawa, **On gauging finite subgroups**, SciPost Physics, 8 (2020) 015

[3] Y. Lee, K. Ohmori and Y. Tachikawa, **Revisiting Wess-Zumino-Witten terms**, SciPost Physics, 10 (2021) 061

[4] C.T. Hsieh, Y. Tachikawa and K. Yonekura, **On the anomaly of the electromagnetic duality of the Maxwell theory**, Physical Review Letters, 123 (2019) 161601

[5] J. Kaidi, J. Parra-Martinez and Y. Tachikawa, **GSO projections via SPT phases**, Physical Review Letters, 124 (2020) 121601

[6] Y. Lee, K. Ohmori and Y. Tachikawa, **Matching higher symmetries across Intriligator-Seiberg duality**, Journal of High Energy Physics, 10(2021)114

[7] T.Z. Huang, Y.H. Lin, K. Ohmori, Y. Tachikawa and M. Tezuka, **Numerical evidence for a Haagerup conformal field theory**, accepted by Physical Review Letters, 印刷中

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計31件（うち査読付論文 31件 / うち国際共著 15件 / うちオープンアクセス 31件）

1. 著者名 Kaidi Justin, Parra-Martinez Julio, Tachikawa Yuji, Debray Arun	4. 巻 9
2. 論文標題 Topological superconductors on superstring worldsheets	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 SciPost Physics	6. 最初と最後の頁 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21468/SciPostPhys.9.1.010	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 Hsieh Chang-Tse, Nakayama Yu, Tachikawa Yuji	4. 巻 126
2. 論文標題 Fermionic Minimal Models	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 195701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.126.195701	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 Hsieh Chang-Tse, Tachikawa Yuji, Yonekura Kazuya	4. 巻 391
2. 論文標題 Anomaly Inflow and p-Form Gauge Theories	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Communications in Mathematical Physics	6. 最初と最後の頁 495 ~ 608
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00220-022-04333-w	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 Bergman Oren, Tachikawa Yuji, Zafrir Gabi	4. 巻 2020
2. 論文標題 Generalized symmetries and holography in ABJM-type theories	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 77
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP07(2020)077	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 Ogata Yoshiko, Tachikawa Yuji, Tasaki Hal	4. 巻 385
2. 論文標題 General Lieb-Schultz-Mattis Type Theorems for Quantum Spin Chains	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Communications in Mathematical Physics	6. 最初と最後の頁 79 ~ 99
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00220-021-04116-9	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 Hosseini Seyed Morteza, Hristov Kiril, Tachikawa Yuji, Zaffaroni Alberto	4. 巻 2020
2. 論文標題 Anomalies, black strings and the charged Cardy formula	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP09(2020)167	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 Lee Yasunori, Ohmori Kantaro, Tachikawa Yuji	4. 巻 10
2. 論文標題 Revisiting Wess-Zumino-Witten terms	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 SciPost Physics	6. 最初と最後の頁 61
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21468/SciPostPhys.10.3.061	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 Giacomelli Simone, Martone Mario, Tachikawa Yuji, Zafrir Gabi	4. 巻 2021
2. 論文標題 More on $N=2$ S-folds	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 54
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP01(2021)054	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 Bhardwaj Lakshya, Lee Yasunori, Tachikawa Yuji	4. 巻 2020
2. 論文標題 SL(2, Z) action on QFTs with Z2 symmetry and the Brown-Kervaire invariants	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 141
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP11(2020)141	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 Lee Yasunori, Tachikawa Yuji	4. 巻 2021
2. 論文標題 Some comments on 6D global gauge anomalies	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 08B103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptab015	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 Fukusumi Yoshiki, Tachikawa Yuji, Zheng Yunqin	4. 巻 11
2. 論文標題 Fermionization and boundary states in 1+1 dimensions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 SciPost Physics	6. 最初と最後の頁 82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21468/SciPostPhys.11.4.082	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 Tachikawa Yuji	4. 巻 2022
2. 論文標題 Topological modular forms and the absence of a heterotic global anomaly	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 04A107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptab060	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 Lee Yasunori, Ohmori Kantaro, Tachikawa Yuji	4. 巻 2021
2. 論文標題 Matching higher symmetries across Intriligator-Seiberg duality	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP10(2021)114	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 Tzu-Chen Huang, Ying-Hsuan Lin, Kantaro Ohmori, Yuji Tachikawa, and Masaki Tezuka	4. 巻 -
2. 論文標題 Numerical evidence for a Haagerup conformal field theory	5. 発行年 2022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) 10.48550/arXiv.2110.03008	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 Kobayashi Ryohei, Ohmori Kantaro, Tachikawa Yuji	4. 巻 11
2. 論文標題 On gapped boundaries for SPT phases beyond group cohomology	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 131
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP11(2019)131	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 Hsieh Chang-Tse, Tachikawa Yuji, Yonekura Kazuya	4. 巻 123
2. 論文標題 Anomaly of the Electromagnetic Duality of Maxwell Theory	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 161601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.123.161601	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 Tachikawa Yuji, Zafrir Gabi	4. 巻 12
2. 論文標題 Reflection groups and 3d N = 6 SCFTs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP12(2019)176	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 Kaidi Justin, Parra-Martinez Julio, Tachikawa Yuji	4. 巻 124
2. 論文標題 Classification of String Theories via Topological Phases	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 121601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.124.121601	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 Tachikawa Yuji, Wang Yifan, Zafrir Gabi	4. 巻 6
2. 論文標題 Comments on the twisted punctures of Aeven class S theory	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 163
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP06(2018)163	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 Lee Yasunori, Tachikawa Yuji	4. 巻 7
2. 論文標題 A study of time reversal symmetry of abelian anyons	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP07(2018)090	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 Tachikawa Yuji, Yonekura Kazuya	4. 巻 7
2. 論文標題 Why are fractional charges of orientifolds compatible with Dirac quantization?	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 SciPost Physics	6. 最初と最後の頁 58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21468/SciPostPhys.7.5.058	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 Bhardwaj Lakshya, Morrison David R., Tachikawa Yuji, Tomasiello Alessandro	4. 巻 8
2. 論文標題 The frozen phase of F-theory	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 138
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP08(2018)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 該当する

1. 著者名 Ohmori Kantaro, Tachikawa Yuji, Zafrir Gabi	4. 巻 4
2. 論文標題 Compactifications of 6d $N=(1,0)$ SCFTs with non-trivial Stiefel-Whitney classes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP04(2019)006	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 Go Mocho, Tachikawa Yuji	4. 巻 6
2. 論文標題 autoboot: a generator of bootstrap equations with global symmetry	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP06(2019)084	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 Bhardwaj Lakshya, Tachikawa Yuji	4. 巻 2018
2. 論文標題 On finite symmetries and their gauging in two dimensions	5. 発行年 2018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/JHEP03(2018)189	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 Gang Dongmin, Tachikawa Yuji, Yonekura Kazuya	4. 巻 96
2. 論文標題 Smallest 3d hyperbolic manifolds via simple 3d theories	5. 発行年 2017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.96.061701	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 Sakata Yusuke, Schneider Robin, Tachikawa Yuji, Yamaura Takemasa	4. 巻 2017
2. 論文標題 On hydrogen-like bound states in $N = 4$ super Yang-Mills	5. 発行年 2017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(2017)015	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 Mekareeya Noppadol, Ohmori Kantaro, Tachikawa Yuji, Zafirir Gabi	4. 巻 2017
2. 論文標題 E8 instantons on type-A ALE spaces and supersymmetric field theories	5. 発行年 2017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(2017)144	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 Tachikawa Yuji	4. 巻 2017
2. 論文標題 Anomalies involving the space of couplings and the Zamolodchikov metric	5. 発行年 2017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(2017)140	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 Garcia-Etxebarria Inaki, Hayashi Hirotaka, Ohmori Kantaro, Tachikawa Yuji, Yonekura Kazuya	4. 巻 2017
2. 論文標題 8d gauge anomalies and the topological Green-Schwarz mechanism	5. 発行年 2017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/JHEP11(2017)177	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 Seiberg Nathan, Tachikawa Yuji, Yonekura Kazuya	4. 巻 2018
2. 論文標題 Anomalies of duality groups and extended conformal manifolds	5. 発行年 2018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/pty069	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

〔学会発表〕 計6件(うち招待講演 6件/うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Yuji Tachikawa
2. 発表標題 On global anomalies of heterotic string theories
3. 学会等名 Strings 2021, ICTP-SAIFR, Brazil, June 29, 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuji Tachikawa
2. 発表標題 Matching higher symmetries across Intriligator-Seiberg duality
3. 学会等名 Strings in Seoul, KIAS, September 3, 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuji Tachikawa
2. 発表標題 Numerical Evidence for a Haagerup CFT
3. 学会等名 "Theoretical studies of topological phases of matter", 基礎物理学研究所、2021/10/19 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuji Tachikawa
2. 発表標題 Lecture on anomalies and topological phases
3. 学会等名 Theoretical Advanced Study Institute (TASI) at University of Colorado, Boulder (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 立川裕二
2. 発表標題 場の量子論の場の量子論による場の量子論のための数学
3. 学会等名 日本数学会2018年度秋季総合分科会総合講演 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuji Tachikawa
2. 発表標題 Time-reversal anomaly of 2+1d topological phases
3. 学会等名 Strings 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Lecture on anomalies and topological phases https://member.ipmu.jp/yuji.tachikawa/lectures/2019-top-anom/ Lectures on topological phases for mathematicians https://member.ipmu.jp/yuji.tachikawa/lectures/2020-top-anom/ Transparencies and video recordings https://member.ipmu.jp/yuji.tachikawa/transp-videos.html
--

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

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0件

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	University of California, Los Angeles	University of Texas, Austin	State University of New York	他2機関
イスラエル	Technion			
ブルガリア	Institute for Nuclear Research			
英国	Oxford University			
カナダ	Perimeter Institute			

共同研究相手国	相手方研究機関			
韓国	ソウル大学			
イタリア	ミラノ・ピッコカ大			