様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　５ 年　 ４ 月　 ４ 日現在

機関番号：３４４１９
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2019～2022
課題番号：１９Ｋ０３８１７

研究課題名（和文）量子異常・リサージェンス・格子理論を組み合わせた非摂動解析

研究課題名（英文）Nonperturbative analysis based on quantum anomaly, resurgence theory and lattice field theory

研究代表者
三角　樹弘（Misumi, Tatsuhiro）

近畿大学・理工学部・准教授

研究者番号：８０７１５１５２

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　3,400,000円

研究成果の概要（和文）：リサージェンス，量子異常マッチング，格子理論という非摂動的解析手法を用いて，漸近自由な場の量子論の非摂動的性質を調べた．(1)2次元場の量子論を中心とする非超対称な理論においてリサージェンス構造の解明に成功し，閉じ込めなどの非摂動現象に深く関係する赤外リノマロン不定虚部の相殺構造を示した．(2)量子異常マッチングを適用することでZNツイストコンパクト化によって場の量子論の真空構造が安定化されることを示した．(3)格子数値計算により2次元ZNシグマ模型の真空構造がコンパクト化に対して強固であること，そしてそれが分数インスタントンやバイオンによって引き起こされていることを示した．

研究成果の学術的意義や社会的意義
場の量子論の真空構造は，素粒子とその相互作用によるこの自然界の創発を理解する上で最も重要なピースである．本研究は，比較的新しい解析手法を組み合わせることで，場の量子論の真空に関するいくつかの問題の解明に重要な貢献をした．特に，赤外リノマロン不定虚部の相殺構造の解明，相転移現象のリサージェンス理論による理解，ZN真空の安定性の示唆，という3つの結果は，今後の場の量子論研究において重要な位置を占めると考えられる．新たな数学的手法を用いた本研究は，代数解析学と理論物理学の融合分野と捉えることも可能であり，そのような新領域の創始という意味でも意義のある研究だったと言える．

研究成果の概要（英文）：We applied resurgence theory, anomaly matching, and lattice simulation to asymptotically-free quantum field theory in order to investigate its non-perturbative properties. (1)We have shown the resurgent structure of non-SUSY QFT including 2D QFT and found out how the IR-renormalon ambiguity, who is believed to be related to confinement, is cancelled. (2)We found stabilization of the vacuum structure of ZN-twisted compactified QFT by use of 't Hooft anomaly matching. (3)We have shown the robustness of the vacuum structure of 2D ZN-twisted sigma model by lattice simulation, and found that the robustness is caused by bion and fractional-instanton configurations.

研究分野：場の量子論，素粒子論

キーワード：リサージェンス理論　格子場の理論　量子異常マッチング　リノマロン　複素古典解　真空の連続性　ZN対称性　不定虚部相殺構造

※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。

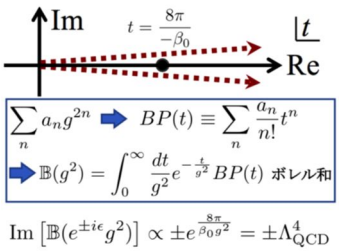
様　式　C－１９、F－１９－１、Z－１９（共通）

１．研究開始当初の背景

素粒子や物性系を記述する場の量子論の定式化・解析法は主に摂動論に基づいている．しかし量子色力学(QCD)など漸近自由性を持つ理論においては,「閉じ込め」のような非摂動現象の理解に非摂動的定式化が不可欠である．ここではこの問題に挑むため，以下の 2 点に注目した．

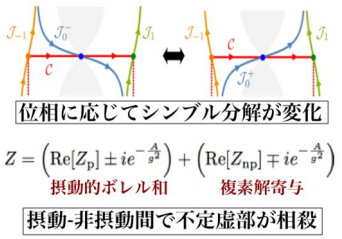
・QCD における閉じ込めとは、高エネルギーで(ほぼ)無質量のクォーク ・ グルーオンが，低エネルギーでは有質量の複合粒子を構成し，クォークを単独では取り出せない事を指す．次元の低い 2+1 次元理論では,磁荷 monopole の凝縮によって閉じ込めが起こる [Polyakov(82)]。一方，現実の 3+1 次元 QCD では，格子計算を用いても閉じ込め機構の理解は未だ困難である．

・場の量子論の摂動論を高次まで行うと，級数が階乗的に大きくなり一般の結合定数での物理を扱えない．しかし摂動級数から階乗部分を除いて級数和(ボレル変換)を取り，新たなパラメタについて積分すればば「ボレル和」と呼ばれる有限な量が得られる[右図参照]．しかし QCD などの漸近自由性を持つ理論ではボレル変換が正実軸上に特異点を持ち，ボレル和を得る際の積分経路に不定性が生じるため，符号が定まらない虚部がボレル和に表れる．赤外リノマロンと呼ばれるこの不定虚部は QCD の力学的スケールを含むため，何らかの非摂動的効果の反映であると考えられていた[‘t Hooft(77)]．本研究を始める前の時点で，以下の 2 つのトピックに注目していた．



・リサージェンス構造に基づく非摂動解析

コンパクト時空における低次元場の理論のリノマロンは「複素解」の非摂動寄与に対応することが示されていた [Behtash,et.al.,PRL116,011601][Fujimori,et.al.PRD94,105002]：というのも，経路積分を複素領域に拡張し，複素固定点（複素解）に付随する最急降下経路（シンブル）の和に経路を分解すると，その分解のされ方が不連続に変化する(ストークス現象)[右図参照]．そこでは各シンブル寄与に不定虚部が生じるが，積分の一意性のためシンブル間で必ず相殺が起こる．つまり摂動的ボレル和と複素解寄与は異なるシンブル寄与に対応し，その間でリノマロン不定虚部が相殺すると解釈できる．この構造はリサージェンス構造と呼ばれ， QCD に類似する 2 次元 CPN−1 模型では，分数インスタントンと呼ばれるソリトンの対（バイオン）が複素距離を隔てて共存する「複素バイオン解」がリノマロンを相殺する.一方，コンパクト化時空上の 4 次元 ゲージ理論ではバイオン凝縮による閉じ込め現象が起こり，背景にはリサージェンス構造の存在が推定される [Unsal,PRL100,032005]．



・量子異常マッチングに基づく相構造への制限

場の理論が持つ対称性をゲージ化する際に現れるトフーフト量子異常は繰り込み群不変であり，紫外領域での量子異常が赤外領域で導出できなければ，即 その対称性の自発的破れが結論できる（量子異常マッチング).近年，ループ演算子の位相回転変換に 付随する高次形式対称性（一般化対称性）にも，トポロジカル作用を用いたゲージ化手法により，量子異常マッチングが適用された [Kapustin,Thorngren, PRL112,231602]．例えば，SU(N)ゲージ理論が 持つ 1 形式 ZN 対称性 （閉じ込めの指標） をゲージ化した結果，CP 対称性が破れる混合トフーフト量 子異常が発見され，閉じ込めと CP に関する相構造が理解された[Gaiotto,et.al. JHEP 05(2017)091]．最近この手法がコンパクト化時空上の QCD 型理論にも応用され相構造や連続性が議論されてい

る.

２．研究の目的

本研究は，非超対称ゲージ理論の新たな解析法としてリサージェンス理論・ 量子異常マッチング・格子数値計算を組合せた手法を提案し，ゲージ理論において，リサージェンス理論が有効な弱結合領域での非摂動寄与の解明，量子異常マッチングによる相構造の推定，格子計算による弱結合-強結合領域の連続性の解明，を行うことを目的としていた．これによりコンパクト化理論で物理的に重要な非摂動寄与の正体を理解し，さらに強結合領域との連続性を示すことでゲージ理論の非摂動的理解を進展させることを目指した.

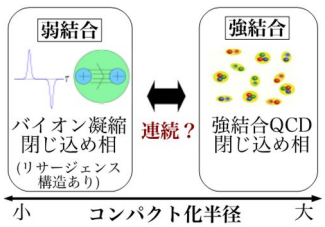
具体的には以下の 3 つ目標を設定して研究を行った.

(1)2 次元ゲージ理論やシグマ模型において，リノマロン不定虚部の相殺する非摂動的寄与を同定するとともに具体的なリサージェンス構造を解明する． また 4 次元ゲージ理論もしくはそれをコンパクト化した行列模型において複素古典解とその役割を調べる.

(2)これらの理論において 1 形式 ZN 対称性・カイラルフレーバー対称性などを用いて関する混合量子異常マッチングにより相構造を推定し，上記のリサージェンス構造がコンパクト化半径が大きい強結合領域でも存在するかを解明する.

(3)これらの理論において格子数値計算によって弱結合-強結合閉じ込め相の連続性とバイオン配位の重要性を示す.

これにより弱結合領域で閉じ込めにも関わる非摂動寄与の正体を理解するとともに，さらにその構造が 非コンパクト時空上のゲージ理論でも存在するか否かを調べた[右図参照].



３．研究の方法

ここでは本研究で具体的に採用した研究方法について説明する.

(1)リサージェンス理論に基づく非摂動解析

・T4 上でツイスト境界条件を全方向に課した 4 次元ゲージ理論を格子化した理論は，ラージ N-トフーフト極限でツイスト江口川合（TEK）行列模型に帰着すると予想されている．一方リノマロンとバイオン配位もこの極限で残存する．そこで複素化 TEK 模型の複素固定点を求め，それに付随するシンブル積分とリノマロンとの比較を行った.

・T3×R 上で 2 方向にツイスト境界条件を課した 4 次元ゲージ理論は 2 次元 ZN ツイスト CPN 模型に帰着すると考えられている．そこで，この模型を含む 2 次元シグマ模型(O(N)模型，CPN 模型)をらラージ N 極限で調べ，そのリサージェンス構造特にリノマロン不定虚部の相殺構造を調べた.

・ラージ N 極限の場の量子論においてしばしば相転移現象が見られるが，このような模型のリサージェンス構造を調べることで，相転移次数とボレル特異点の関係を明確にできる可能性がある．そこで，本研究では 3 次元 N=4 超対称 U(1)ゲージ理論やその他のトイモデルを用いて上記の関係を調べる研究を行った.

・場の量子論のリサージェンス構造を理解するためには，量子力学系のリサージェンス構造の理解が不可欠である．そこで，トポロジカル量子力学(1 次元 Chern-Simons 理論)のリサージェンス構造を調べ，複素化した理論のシンブル分解と厳密結果との関係の解明を目指した.

・Exact-WKB 法は WKB 法をボレル和を用いて拡張した手法であり，厳密な量子化条件を与えるなど量子力学系において重要な手法である．ここでは，二重井戸型系を含む複数井戸型系に Exact-

WKB 法を適用し，リサージェンス構造の完全な理解を目指した．また，S1 上の量子力学，超対称量子力学にもこの手法を適用し，これらの理論における厳密量子化条件の導出を目指した．

(2)量子異常に基づく相構造解析

・2 次元 U(1)ゲージ場+フェルミオンの理論はシュインガー模型と呼ばれるが，フェルミオン場が複数入った場合にはその相構造が複雑になることが知られている．そこで，本研究ではこの理論において，量子異常マッチングと半古典近似を用いた計算を組み合わせ相構造を理解するとともに，ZN ツイスト境界条件により真空が安定化されるか否かを調べた．特に，複数フェルミオンの場合には R2 上で理論が共形場理論になることが知られており，果たして ZN コンパクト化によってどのようにその真空が 1 次元系まで維持されるのかに注目した．

・フラッグシグマ模型はフラッグ対称性と呼ばれる特殊な対称性を持つシグマ模型であるが，その相構造，特に ZN コンパクト化された場合の相構造はいまだ理解されていない．そこで本研究では，ZN コンパクト化されたフラッグシグマ模型において，量子異常マッチングと分数インスタントンに基づく半古典近似を用いた解析を行い，その相構造と ZN 真空の連続性の解明を目指した．

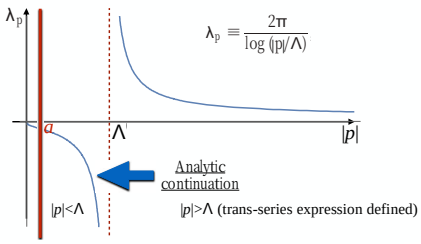
(3)格子数値計算による連続性の解明

R1×S1 上の CPN 模型に注目し，ZN 境界条件による真空構造の連続性を格子シミュレーションで示すことを目指した．N=3,5,10,20 の場合に格子点を(200,8)(400,12)として ZN コンパクト化された系でのゲージ配位を生成した．ZN 対称性の秩序変数であるポリャコフループの分散プロットと期待値の温度依存性(コンパクト化半径依存性)を調べることで，ZN 対称な真空がコンパクト化の過程で維持されるか否かを調べた．また特定の配位に注目し，分数インスタントン配位，バイオン配位の存在とその物理的寄与について解明を目指した．

４．研究成果

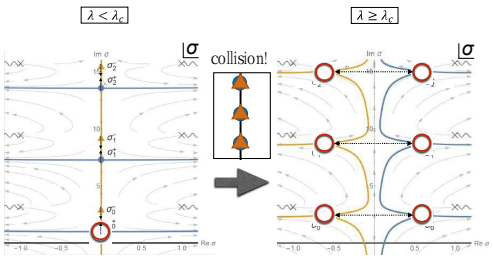
(1)リサージェンス理論に基づく非摂動解析

・2 次元シグマ模型(O(N)模型，CPN 模型)をラージ N 極限で調べ，リノマロン不定虚部の相殺が複数の非摂動的セクターによって引き起こされていること，そしてその相殺構造が二項係数型になっていることが判明した．これは本研究課題の重要な目標である場の理論のリサージェンス構造の解明に繋がる大きな成果であった[右図参照]．



$\bar{n}\backslash l$	0	1	2	3	4	5	6	7	⋯
0	−1	0	2	0	−1	0	0	0	⋯
1	1	−2	−1	4	−1	−2	1	0	⋯
⋮									

・ラージ N 極限の場の量子論のリサージェンス構造を調べることで，場の量子論の相転移現象を理解する手法を編み出した．このような理論においては，理論のパラメータを動かした際に摂動的ボレル変換に現れる特異点が衝突・散乱を行う現象こそが相転移現象を意味すること，その衝突の際の特異点の数や散乱する際の角度から相転移の次数まで理解できることを証明した[右図参照]．これはリサージェンス理論の応用における最も重要な成果の一つと言える．

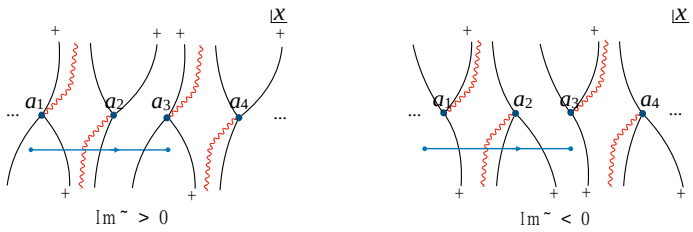


・トポロジカル量子力学(1 次元 Chern-Simons 理論)において全ての複素固定点を導出し，それに基づくシンブル寄与を足し合わせることで不定虚部が相殺された物理量を計算した．その結果，それらが完全に厳密結果一致することを示した．この結果は，量子理論において近似を一切

用いることなく，シンブル分解が厳密結果を与えること，そしてリサージェンス構造が存在しており不定虚部が完全に相殺されること，を示した初めての例であった．

・Exact-WKB 法を二重井戸型系を含む複数井戸型系に適用し，半古典的な計算でのみ知られていたリサージェンス構造を完全に解明した．さらに，超弦理論などさまざまな場面で重要な役割を果たす S1 上の量子力学にもこの手法を適用し，リサージェンス構造の解明とともに厳密な量子化条件の導出を行った[右図]．

最終的に，これらの理論において，摂動的寄与と非摂動寄与のリサージェンス構造を完全に明確にした形で物理量を書き下すことに成功した．

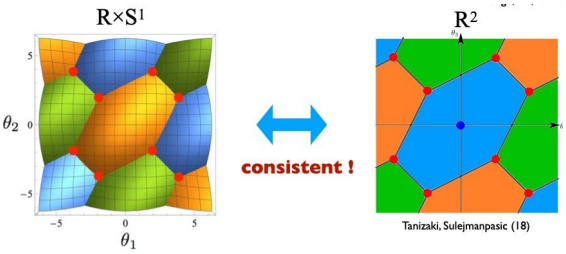


(2)量子異常に基づく相構造解析

・2 次元シュインガー模型において，量子異常マッチングと半古典近似を用いた計算を組み合わせることで， ZN ツイスト境界条件によりコンパクト化に際しても ZN 真空が維持されることを示した．特に，R2 上で理論が共形場理論になる場合には，コンパクト化理論の物理量があたかも共形場理論の存在を知っているかのように振る舞うことを示した．

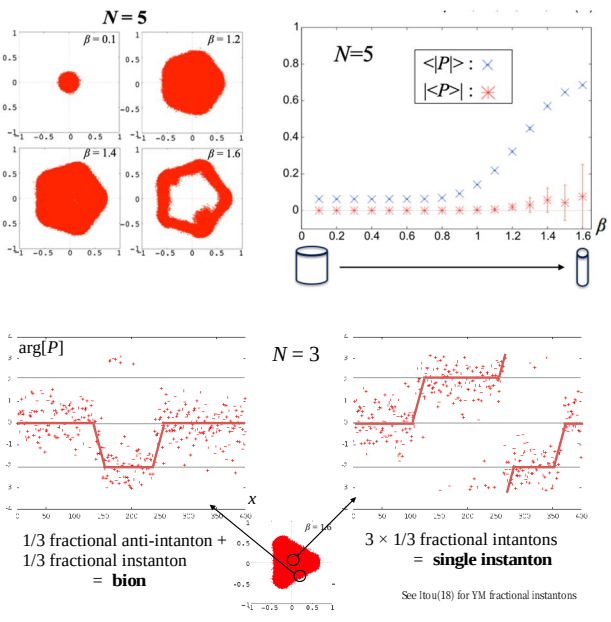
・ZN コンパクト化されたフラッグシグマ模型において，量子異常マッチングと分数インスタントンに基づく半古典近似を用いた解析を行い，その相構造と ZN 真空の連続性を示した．特に，すでに得られていた R2 上の相構造が特に R×S 上の半古典近似により得られることが示された．

R2 上での真空構造と RxS1 上での真空構造がスムーズにつながることを確かめた[右図参照]．その過程でこの模型において始めた分数インスタントン解の導出に成功した．



(3)格子数値計算による連続性の解明

ZN 境界条件を課した R1×S1 上の CPN 模型において， N=3,5,10,20 の場合に格子点を (200,8)(400,12) として格子シミュレーションを実行した．ZN 対称性の秩序変数であるポリャコフループの分散プロットと期待値のコンパクト化半径依存性[右図参照]から，ZN 境界条件により ZN 真空が強固になることを示した．配位には分数インスタントン配位，バイオン配位が含まれ，それらの寄与により ZN 真空が安定化されていることが示された[右図参照]．この計算は格子計算によって 2 次元シグマ模型の ZN 真空の連続性が示唆された最初の結果であった．



５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計15件（うち査読付論文　15件／うち国際共著　8件／うちオープンアクセス　12件）

１．著者名 Nishimura Hiromichi、Fujimori Toshiaki、Misumi Tatsuhiro、Nitta Muneto、Sakai Norisuke	４．巻 2022
２．論文標題 Resurgence and semiclassical expansion in two-dimensional large-N sigma models	５．発行年 2022年
３．雑誌名 Journal of High Energy Physics	６．最初と最後の頁 1-32
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/jhep06(2022)151	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 Kamata Syo、Misumi Tatsuhiro、Sueishi Naohisa、?nsal Mithat	４．巻 107
２．論文標題 Exact WKB analysis for SUSY and quantum deformed potentials: Quantum mechanics with Grassmann fields and Wess-Zumino terms	５．発行年 2023年
３．雑誌名 Physical Review D	６．最初と最後の頁 1-37
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/physrevd.107.045019	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 Yumoto Jun、Misumi Tatsuhiro	４．巻 2022(02)
２．論文標題 Lattice fermions as spectral graphs	５．発行年 2022年
３．雑誌名 Journal of High Energy Physics	６．最初と最後の頁 1-24
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/jhep02(2022)104	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、Fujimori Toshiaki、Misumi Tatsuhiro、Nitta Muneto、Sakai Norisuke	４．巻 104(134403)
２．論文標題 Effective field theory of magnons: Chiral magnets and the Schwinger mechanism	５．発行年 2021年
３．雑誌名 Physical Review B	６．最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/physrevb.104.134403	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 Sueishi Naohisa、Kamata Syo、Misumi Tatsuhiro、Unsal Mithat	4．巻 2021(07)
2．論文標題 Exact-WKB, complete resurgent structure, and mixed anomaly in quantum mechanics on S1	5．発行年 2021年
3．雑誌名 Journal of High Energy Physics	6．最初と最後の頁 1-40
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/jhep07(2021)096	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 Fujimori Toshiaki、Honda Masazumi、Kamata Syo、Misumi Tatsuhiro、Sakai Norisuke、Yoda Takuya	4．巻 2021(103B04)
2．論文標題 Quantum phase transition and resurgence: Lessons from three-dimensional N=4 supersymmetric quantum electrodynamics	5．発行年 2021年
3．雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6．最初と最後の頁 1-47
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/ptep/ptab086	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 Misumi Tatsuhiro、Yumoto Jun	4．巻 102
2．論文標題 Varieties and properties of central-branch Wilson fermions	5．発行年 2020年
3．雑誌名 Physical Review D	6．最初と最後の頁 34516
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevD.102.034516	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 Fujimori Toshiaki、Itou Etsuko、Misumi Tatsuhiro、Nitta Muneto、Sakai Norisuke	4．巻 2020
2．論文標題 Lattice CPN-1 model with ZN twisted boundary condition: bions, adiabatic continuity and pseudo-entropy	5．発行年 2020年
3．雑誌名 Journal of High Energy Physics	6．最初と最後の頁 11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/JHEP08(2020)011	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 Sueishi Naohisa、Kamata Syo、Misumi Tatsuhiro、Unsal Mithat	4．巻 2020
2．論文標題 On exact-WKB analysis, resurgent structure, and quantization conditions	5．発行年 2020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/JHEP12(2020)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 Taya Hidetoshi、Fujimori Toshiaki、Misumi Tatsuhiro、Nitta Muneto、Sakai Norisuke	4．巻 2021
2．論文標題 Exact WKB analysis of the vacuum pair production by time-dependent electric fields	5．発行年 2021年
3．雑誌名 Journal of High Energy 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） 10.1007/jhep03(2021)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 －

1．著者名 Tatsuhiro Misumi, Yuya Tanizaki, Mithat Unsal	4．巻 2019(07)
2．論文標題 Fractional theta angle, 't Hooft anomaly, and quantum instantons in charge-q multi-flavor Schwinger model	5．発行年 2019年
3．雑誌名 Journal of High Energy 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） 10.1007/JHEP07(2019)018	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 Toshiaki Fujimori, Etsuko Itou, Tatsuhiro Misumi, Muneto Nitta, Norisuke Sakai	4．巻 100(09)
2．論文標題 Confinement-deconfinement crossover in the lattice CP^{N-1} model	5．発行年 2019年
3．雑誌名 Physical Review D	6．最初と最後の頁 94506
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevD.100.094506	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 Tatsuhiro Misumi, Yuya Tanizaki	4．巻 2020(03)
2．論文標題 Lattice gauge theory for Haldane conjecture and central-branch Wilson fermion	5．発行年 2020年
3．雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6．最初と最後の頁 033B03
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/ptep/ptaa003	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 Masaru Hongo, Toshiaki Fujimori, Tatsuhiro Misumi, Muneto Nitta, Norisuke Sakai	4．巻 101(10)
2．論文標題 Instantons in chiral magnets	5．発行年 2020年
3．雑誌名 Physical Review B	6．最初と最後の頁 104417
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.101.104417	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 Tatsuhiro Misumi, Toshiaki Fujimori, Etsuko Itou, Muneto Nitta, Norisuke Sakai	4．巻 Lattice2019
2．論文標題 Lattice study on the twisted CP^{N-1} models on R x S^1	5．発行年 2020年
3．雑誌名 Proceedings of Science	6．最初と最後の頁 15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.22323/1.363.0015	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 －

〔学会発表〕　計28件（うち招待講演　16件／うち国際学会　10件）

1．発表者名 三角樹弘
2．発表標題 Resurgence structure in large-N sigma models -how the renormalon ambiguity is cancelled-
3．学会等名 京都大学理学部素粒子論グループセミナー（招待講演）
4．発表年 2022年

１．発表者名
三角樹弘

２．発表標題
格子フェルミオン再考 -グラフ理論と位相不変量の立場から-

３．学会等名
格子上の場の理論と連続空間上の場の理論（招待講演）

４．発表年
2022年

１．発表者名
三角樹弘

２．発表標題
リサージェンス理論入門

３．学会等名
茨城大学理学部集中講義セミナー（招待講演）

４．発表年
2022年

１．発表者名
Tatsuhiro MISUMI

２．発表標題
Lattice fermions as spectral graphs -Toward a new theorem-

３．学会等名
大阪大学素粒子論研究室セミナー（招待講演）

４．発表年
2022年

１．発表者名
Tatsuhiro MISUMI

２．発表標題
Resurgence in QFT -renormalon, phase transition and more-

３．学会等名
Applicable resurgent asymptotics: Summary meeting(AR2W03)（招待講演）（国際学会）

４．発表年
2022年

１．発表者名
Tatsuhiro MISUMI

２．発表標題
New insights into lattice fermions and topology

３．学会等名
Novel Lattice Fermions and their Suitability for High-Performance Computing and Perturbation Theory（招待講演）（国際学会）

４．発表年
2023年

１．発表者名
湯本純，三角樹弘

２．発表標題
グラフ理論に基づいた格子Dirac演算子の新たな解析法とS4上の格子fermion

３．学会等名
日本物理学会

４．発表年
2022年

１．発表者名
Tatsuhiro MISUMI

２．発表標題
Application of resurgence theory to quantum theories

３．学会等名
RIMS online workshop "Exact WKB Analysis, Microlocal Analysis, Painleve Equations and Related Topic"（招待講演）（国際学会）

４．発表年
2021年

１．発表者名
三角樹弘

２．発表標題
S1コンパクト化とトフーフト量子異常

３．学会等名
基研国内モレキュール型研究会「周期駆動系におけるカイラル量子異常」(京都大学基礎物理学研究所)（招待講演）

４．発表年
2021年

１．発表者名
Tatsuhiro MISUMI

２．発表標題
Applications of Resurgence Theory to Quantum Theories: ZN-twist, Exact-WKB and Phase Transition

３．学会等名
Applicable resurgent asymptotics: Summary meeting（ケンブリッジ大学ニュートン研究所）（招待講演）（国際学会）

４．発表年
2021年

１．発表者名
三角樹弘

２．発表標題
リサージェンス理論で挑む量子非摂動現象の解明

３．学会等名
広島大学 第64回(2021年度第２回）Core-Uセミナー（招待講演）

４．発表年
2021年

１．発表者名
Tatsuhiro Misumi

２．発表標題
Resurgence and continuity with ZN-twisted boundary condition

３．学会等名
Resurgence @ KITP 2020, US Santa Barbara, KITP（招待講演）（国際学会）

４．発表年
2020年

１．発表者名
三角樹弘 ， 藤森俊明 ， 伊藤悦子 ， 新田宗土 ， 坂井典佑

２．発表標題
ZNツイスト境界条件CPN-1模型における擬エントロピーの格子数値計算

３．学会等名
日本物理学会 2020秋季大会

４．発表年
2020年

１．発表者名
三角樹弘 ， 湯本純

２．発表標題
格子QCDへの応用に向けたCentral-branch Wilson fermionの研究

３．学会等名
日本物理学会 2020秋季大会

４．発表年
2020年

１．発表者名
Tatsuhiro Misumi

２．発表標題
Opening remarks & Brief introduction to resurgence

３．学会等名
YITP-RIKEN iTHEMS Molecule-type Workshop 2020 Potential Toolkit to Attack Nonperturbative Aspects of QFT -Resurgence and related topics-（国際学会）

４．発表年
2020年

１．発表者名
Tatsuhiro Misumi

２．発表標題
Lattice study on adiabatic continuity in the ZN-twisted CPN-1 model

３．学会等名
Strings & Fields 2020（国際学会）

４．発表年
2020年

１．発表者名
三角樹弘

２．発表標題
リサージェンス理論に基づく非摂動効果の理解

３．学会等名
島根大学素粒子論グループセミナー

４．発表年
2021年

１．発表者名
Tatsuhiro Misumi, Toshiaki Fujimori, Etsuko Itou, Muneto Nitta, Norisuke Sakai

２．発表標題
Lattice study on the twisted CP^{N-1} models on R x S^1

３．学会等名
37th International Symposium on Lattice Field Theory（国際学会）

４．発表年
2019年

１．発表者名
三角樹弘

２．発表標題
RxS1上のCPN-1模型の格子シミュレーション

３．学会等名
離散的手法による場と時空のダイナミクス研究会（招待講演）

４．発表年
2019年

１．発表者名
三角樹弘，藤森俊明，伊藤悦子，新田宗土，坂井典佑

２．発表標題
ツイスト境界条件を課したCPN-1模型の格子シミュレーション

３．学会等名
日本物理学会 2019秋季大会

４．発表年
2019年

１．発表者名
三角樹弘，谷崎佑弥，Mithat Unsal

２．発表標題
Charge-q N flavor Schwinger modelの非摂動的性質

３．学会等名
日本物理学会 2019秋季大会

４．発表年
2019年

１．発表者名
三角樹弘，本郷優，谷崎佑弥

２．発表標題
コンパクト化時空におけるTwisted SU(3)/U(1)^2 flag sigma modelの相構造

３．学会等名
日本物理学会 2019秋季大会

４．発表年
2019年

１．発表者名
三角樹弘

２．発表標題
Symmetry-Protected Topological phaseとそれに関わる物理

３．学会等名
新潟山形地区素粒子論グループ第24回合宿研究会（招待講演）

４．発表年
2019年

１．発表者名
Tatsuhiro Misumi

２．発表標題
Power of ZN-twisted boundary conditions -Resurgence and Continuity-

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
三角樹弘

２．発表標題
量子論におけるリサージェンス構造 -基礎から応用まで-

３．学会等名
第21回特異点と時空，および関連する物理研究会（招待講演）

４．発表年
2019年

１．発表者名
Tatsuhiro Misumi

２．発表標題
't Hooft anomaly matching for CPN-1 and other sigma models

３．学会等名
CPN model workshop: recent developments and future directions（招待講演）（国際学会）

４．発表年
2020年

１．発表者名
湯本純，三角樹弘

２．発表標題
オイラー数が0でない多様体上の格子フェルミオン

３．学会等名
日本物理学会 2020年次大会

４．発表年
2020年

１．発表者名
三角樹弘，谷崎佑弥

２．発表標題
Central-branch Wilson fermion の対称性と量子異常マッチング

３．学会等名
日本物理学会 2020年次大会

４．発表年
2020年

〔図書〕　計1件

１．著者名 三角樹弘 ほか	４．発行年 2020年
２．出版社 サイエンス社	５．総ページ数 100
３．書名 数理科学2020年1月号 特集 量子異常の拡がり ： アノマリーがつなぐ新たな物理	

〔産業財産権〕

〔その他〕

近畿大学理工学部・大学院総合理工学研究科 場の量子論・素粒子論研究室ホームページ
https://www.phys.kindai.ac.jp/laboratory/misumi/
秋田大学理工学部・大学院理工学研究科 理論物理学研究室三角グループホームページ
http://sht.phys.akita-u.ac.jp/misumi/

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
研究協力者	藤森　俊明 (Fujimori Toshiaki) (60773398)	慶應義塾大学・商学部・助教 (32612)	
研究協力者	谷崎　佑弥 (Tanizaki Yuya) (90782102)	京都大学・基礎物理学研究所・助教 (14301)	
研究協力者	伊藤　悦子 (Itou Etsuko) (50432464)	京都大学・基礎物理学研究所・准教授 (14301)	

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	開催年
YITP-RIKEN iTHEMS Molecule-type Workshop 2020 Potential Toolkit to Attack Nonperturbative Aspects of QFT -Resurgence and related topics	2020年～2020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	ノースカロライナ州立大学	ストーニーブルック大学		
ポーランド	National Center ofr Nuclear Research			
米国	イリノイ大学			

共同研究相手国	相手方研究機関			
米国	ノースカロライナ州立大学	イリノイ州立大学		
ポーランド	National Centre for Nuclear Research			
米国	ノースカロライナ州立大学	イリノイ州立大学		