

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 24 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2020

課題番号：16K05138

研究課題名(和文)変形量子化で構成される非可換ケーラー多様体上のゲージ理論の解明

研究課題名(英文)Gauge theory on noncommutative Kähler manifolds constructed by deformation quantization

研究代表者

佐古 彰史 (Sako, Akifumi)

東京理科大学・理学部第二部数学科・教授

研究者番号：00424200

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：非可換ケーラー多様体における変形量子化が局所的なFock表現と対応することを明らかにし、その構成法と翻訳のための辞書の構成に成功した。また、最も簡単な非可換ケーラー多様体である非可換ユークリッド空間(2次元, 4次元, 6次元)において、場の量子論の最も簡単なモデルである、スカラー場の理論(Grosse-Wulkenhaarモデル)をシュウィンガー-ダイソン方程式系として構築し、その強非可換極限で全てのn点関数を厳密に解くことに成功した。さらに、4次元非可換ユークリッド空間上のゲージ理論に現れるインスタントン解が、エルミート多様体上のリッチ平坦な計量に対応することを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

非可換ケーラー多様体上の場の量子論の研究が進展した。場の量子論は、現時点で全ての物理理論を記述する方法であり、その解明は人類全体の発展において最重要な問題である。場の量子論は発散の困難のため数学的に厳密に定義できない場合がほとんどであり、さらに場の量子論の目的であるn点関数は摂動計算で近似解が求められることが通常であり、厳密解が得られることはまれである。非可換空間上の場の理論をもとに行列モデルを構築する事で、n点関数の方程式の組として場の量子論を構築する例を作り、ある極限では厳密にその方程式を解くことに成功した。他にも非可換ケーラー多様体の構成法やゲージ理論と計量の関係の解明に進展があった。

研究成果の概要(英文)：We have shown that deformation quantization on noncommutative Kähler manifolds corresponds to local Fock representations, and have succeeded in constructing a concrete construction method for the Fock representations and the dictionary for translation between the deformation quantizations and Fock representations. In the simplest noncommutative Kähler manifold, the noncommutative Euclidean space (dimensions 2, 4, and 6), the simplest model of field theory, the scalar field theory (Grosse-Wulkenhaar model), is constructed as a system of Schinger-Dyson equations, and all n-point functions are exactly solved in the strong noncommutative limit. We also showed that instanton solutions appearing in gauge theories on the four-dimensional noncommutative Euclidean space correspond to Ricci flat measures on Hermitian manifolds.

研究分野：微分幾何

キーワード：非可換幾何 ケーラー多様体 場の量子論 ゲージ理論 行列モデル

## 1. 研究開始当初の背景

非可換幾何学には、変形量子化を用いる方法がある。C 級関数の形式冪級数の代数に定義される積をスター積と呼ばれる積に変形することで結合的ではあるが非可換にする方法である。変形量子化の利点は、微分幾何学的手法を残したまま非可換幾何を構築できる点であるが、弱点として一般に対象が形式冪級数であることと、スター積の存在が保証されていても具体的表式が得られる計算可能な例が多くなかったことである。

しかし、Karabegov によって導入された変形量子化で非可換ケーラー多様体を構成する方法が発見された【*Karabegov, Commun. Math. Phys.* 180(1996)745】。その方法と多様体の対称性を用い、 $CP^N$  および  $CH^N$  について完全に具体的なスター積を求めることに成功した【*Sako, Suzuki, Umetsu, J. Math. Phys.* 53(2012) 073502】。

また、微分幾何や位相幾何で重要な役割を果たすゲージ理論を、非可換幾何学へと拡張する試みにおいても変形量子化を用いて行われている。多くの物理学者によっても非可換空間上のゲージ理論が研究されており、一つの金字塔として、ADHM 構成法 (Atiyah 等による ADHM データと呼ばれるある代数的データからインスタントンを構成する方法) の非可換  $R^4$  へ拡張がある【*Nekrasov, Schwarz, Commun. Math. Phys.* 198(1998)689】。その構成法を用いたインスタントンの厳密解がいくつか作られ、定性的な解析も進んでいた。例えば、局所的な曲率の積分であるインスタントン数と ADHM 構成法で現れるベクトル空間の次元の一致が示された【*Sako, JHEP04(2003)023.*】

【*Ishikawa, Kuroki, Sako, JHEP08(2002) 028.*】。また変形量子化の立場で、可換な空間におけるインスタントン解から非可換変形した解を構成する方法が発見され、その結果として非可換  $R^4$  上で曲率の積分で定義されるインスタントン数が変形されないことも示された【*Maeda, Sako, J. Geom. Phys.* 58(2008)1784】。このインスタントンを伴う Dirac 作用素に対する指数定理とグリーン関数も構成され、これらを用いて  $N$  が 2 以上の  $U(N)$  ゲージ理論に対して ADHM データと非可換インスタントンとの 1 対 1 対応も証明された

【*Maeda, Sako, J. Math. Phys.* 53(2012) 022303】。ポアソン解に関するも同様な結果が得られている【*Maeda, Sako, J. Geom. Phys.* 58(2008)967】。このように、非可換  $R^n$  ではゲージ理論の解析で大きな成果を挙げていた。

$R^n$  での成功を受け、次に目指すところはより一般の非可換多様体でのゲージ理論である。上述の通り Karabegov の方法によってケーラー多様体の変形量子化の例が多く構成され始め、まさに変形量子化による非可換ケーラー多様体上のゲージ理論を構築し解析することがふさわしい時期であった。実際、非可換な等質ケーラー多様体におけるゲージ理論が構築され【*Maeda, Sako, Suzuki, Umetsu, J. Math. Phys.* 55(2014)092301】、特に  $CP^N$  に限っては新しいソリトン方程式やその非自明解が見つかるなど具体的な成果があがり始めていた。

## 2. 研究の目的

本応募研究の延長線上にある最終目標には、非可換変形された多様体(非可換多様体)のゲージ理論を用いた微分幾何学の確立である。この目標の前段階として、近年研究が進んでいるケーラー多様体の非可換変形に着目し、本研究の目的を「変形量子化で構成される非可換ケ

「ケーラー多様体上のゲージ理論の解明」として、内容別に以下の5段階に目標を設定する。ケーラー多様体の Fock 表現の構成、ゲージ理論を中心とした場の理論の構成とソリトン解の解明、位相的場の理論の分配関数としての位相不変量の構成、局所的なゲージ対称性の破れを相殺する境界補正項の解明、トポロジカル絶縁体との関係の解明。が研究の核となり、微分幾何的テーマの、微分位相幾何的テーマの、物理的応用を見据えたへと発展する。

### 3. 研究の方法

変形量子化の方法で得られた非可換ケーラー多様体上で「Fock 表現を構築 ゲージ理論の構築とソリトンの解明 位相的場の理論 ゲージ対称性の破れの補正 トポロジカル絶縁体へ応用」を行うという目的実行の方法について記述する。については釧路高専の梅津裕志氏との共同研究ですすめた。その結果、変形量子化の利点を生かした通常の微分幾何学的解析が可能になり他の研究への応用がひらけた。これにかんしては、異なるタイプの場の量子論の研究に移行した。Grosse 氏との共同研究を始めたが、当初議論したゲージ理論のソリトン解については、あまり進展がなく、非可換空間上のスカラー場の場の量子論に関する分野での研究に移行した。 についても の流れを受け継ぎ、位相的ではない場の量子論の行列模型での定式化についての研究を深め、大きな進展があった。 に関しては、比較的早い時期に理解が深まったのであるが、結果として先行研究に帰着するものが多く新しい結果には結びつかなかった。 は研究分担者である長谷部氏との共同研究をすすめた。

### 4. 研究成果

ケーラー多様体の変形量子化を用いた非可換ケーラー多様体の構成の観点から述べる。カラベコフの変形量子化を基に FOCK 表現を構成して一般のケーラー多様体に対する局所的な構成法を包括的に提案した論文 (Fock Representations and Deformation Quantization of Kähler Manifolds) を Journal of Mathematical Physics 誌 Advances in Applied Clifford Algebras 誌等に発表した。<sup>1-3</sup> これらは、ケーラー多様体の変形量子化と Fock 表現による非可換ケーラー多様体間の辞書を与えた。

カラベコフの方法でケーラー多様体の変形量子化を具体的に構成することを近年研究してきたが、特に局所対称なケーラー多様体についての研究成果があがり、Noncommutative Deformations of Locally Symmetric Kähler manifolds のタイトルで JOURNAL OF GEOMETRY AND PHYSICS 誌に論文が掲載された。<sup>4-5</sup> 微分方程式から代数的な漸化式に落とし込むことで具体的にスター積を構成する方法を与えた。その中で特にリーマン面に対するスター積の構成に着目して、プロシーディング論文にしたものを Quantization of Locally Symmetric Kähler manifolds というタイトルで発表した。

非可換ケーラー多様体上でのゲージ理論の構成法を包括的にまとめたものを A recipe to construct a gauge theory on a noncommutative Kähler manifold というタイトルで Noncommutative Geometry and Physics 4 に発表した。<sup>6</sup>

次に、非可換空間上の場の量子論に関して述べる。スカラー場の量子論として  $\wedge^3$  模型

の量子論を考え、場の量子論を Fock 表現を用いて行列模型としシュインガ ダイソン方程式系として定義する。ある種の強非可換極限で連続的な空間の場の理論を定義する。この場の理論を完全に解いた（すなわち任意の  $n$  点関数を求めた）。ユークリッド空間上の厳密な場の理論の構成が成功し、さらにそれを完全に解くことに成功した。また通常は難しいミンコフスキー空間の場の量子論の定式化も 4, 6 次元では与えている可能性がある。2 次元の場合について論じたものが、Exact solution of matricial  $\Phi^3_2$  quantum field theory というタイトルで、4 次元、6 次元の場合を The  $\Phi^3_4$  and  $\Phi^3_6$  matricial QFT models have reflection positive two-point function というタイトルでいずれも NUCLEAR PHYSICS B 誌で発表した。<sup>7-8</sup>

非可換空間上のゲージ理論のソリトン解であるインスタントンとケーラー多様体の関係についての研究が "Hermitian-Einstein metrics from noncommutative  $U(1)$  instantons" というタイトルで Journal of Mathematical Physics 誌に論文が掲載された。<sup>9</sup> 非可換ケーラー多様体の最も簡単な例である非可換実 4 次元ベクトル空間上で定義されたゲージ理論に着目し、特に  $U(1)$  ゲージ理論とエルミート多様体のリッチ平坦な計量の関係を考察した。実 4 次元ベクトル空間は複素 2 次元ベクトル空間と同型であり複素構造が入ることは自明であるが、その複素構造から導出されるケーラー形式が閉になるためケーラー構造・ポアソン構造を持つ。またゲージ理論とは残り 3 つの力を記述する理論であり、素粒子実験などでも用いられているほかトポロジーや可積分系との意外な関係もある。その中でも我々が扱った  $U(1)$  ゲージ理論は電磁気学とほぼ同じものであり身近な対象と言える。Yang らによって、非可換  $U(1)$  ゲージ理論のインスタントンと、江口 ハンソン計量やケーラー計量の関係についての議論はすでにあり、それは Seiberg-Witten 変換と呼ばれる可換な空間上のゲージ理論と非可換空間上のゲージ理論の対応関係に新しい解釈を与えるものであった。ただ、それらの関係は明確に断片的な例示と、物理的な直観のもとでの議論であったため、数学的に厳密に何が言えるのか不明であった。そこで、筆者らは Yang による非可換  $U(1)$  ゲージ接続と計量の対応を用いると、非可換  $U(1)$  インスタントンがエルミート多様体のリッチ平坦な計量を構成できることを示した。また、その具体例を実際に多数構成した。

プロジェクトの最終年度には量子化（非可換幾何）の一般化として圏論的な方法を用いたものを提案した。<sup>10-11</sup> 固定されたポアソン代数に対して量子化の圏を、古典極限の構造を備えた  $R$ -加群の圏の部分圏として、定義した。次に、その一般化された量子化の圏として、行列正則化、厳密な意味での変形量子化、前量子化、ポアソン包絡代数を含むものをそれぞれ構成した。さらに、ある条件のもとでは、厳密な意味での変形量子化を含む量子化圏、前量子化を含む量子化圏、行列正則化を含む量子化圏が圏同値になることを示した。一方で、ポアソン包絡代数を含む量子化圏は、それらの量子化圏とは圏同値ではないことも示された。この研究内容は Journal of Mathematical Physics 等に掲載されている。

研究期間を通しての結果をまとめると

一般の非可換ケーラー多様体で、局所的に Fock 表現を構成し、変形量子化に翻訳する辞書を作成した。実際に様々な具体例で Fock 表現を与えた。その貼り合わせについてあきらかにした。局所対称なケーラー多様体に対して、漸化式で変形量子化を構成する方法を与えた。特に複素射影空間、任意の 2 次元曲面のスター積を具体的に与えた。2, 4, 6 次元非可換ユークリッド上  $\Phi^3$  場の量子論に対応する行列模型を強非可換極限で完全に解くことに成功した。すなわち任意の  $n$  点関数を具体的に書き下した。サイバーグ・ウィッテ

ン対応の新解釈としてのゲージ重力対応の数学的な定式化として非可換ユークリッド空間上の  $U(1)$ ゲージ理論のインスタントン解がエルミート多様体のアインシュタイン計量に変換できることを示した。また，具体例を作る公式を与えた。●非可換幾何の構築方法を統一的に記述する方法を提案した。

ということになる。

1. [Akifumi Sako](#) and Hiroshi Umetsu “Twisted Fock Representations of Noncommutative Kähler Manifolds” *Journal of Mathematical Physics* vol.57, 093501 (2016) 093501-1-20
2. [Akifumi Sako](#) and Hiroshi Umetsu “Deformation Quantization of Kähler Manifolds and Their Twisted Fock Representation” *Geometry, Proceedings of the Eighteenth International Conference on Geometry, Integrability and Quantization XVIII*,(2016) 225-240
3. [Akifumi Sako](#) and Hiroshi Umetsu “Fock Representations and Deformation Quantization of Kähler Manifolds” *Advances in Applied Clifford Algebras*, 27 (2017) 2769-2794
4. Kentaro Hara and [Akifumi Sako](#) “Noncommutative Deformations of Locally Symmetric Kähler manifolds” *Journal of Geometry and Physics*, Vol. 114, (2017) 554-569
5. Kentaro Hara and [Akifumi Sako](#) “Quantization of Locally Symmetric Kähler manifolds” *Proceedings of the Nineteenth International Conference on Geometry, Integrability and Quantization*, (Sofia: Avangard Prima, 2018), 122 – 131.
6. [Akifumi Sako](#) “A recipe to construct a gauge theory on a noncommutative Kähler manifold” *Noncommutative Geometry and Physics* 4 (2017) 361-404
7. Harald Grosse, [Akifumi Sako](#) and Raimar Wulkenhaar “Exact solution of matricial  $\Phi^3$  quantum field theory” *Nuclear Physics B*, 925(2017)319-347
8. Harald Grosse, [Akifumi Sako](#) and Raimar Wulkenhaar “The  $\Phi^3$  and  $\Phi^3$  matricial QFT models have reflection positive two-point function” *Nuclear Physics B*, 926(2018)20-48
9. Kentaro Hara, [Akifumi Sako](#) and Hyun Seok Yang “Hermitian-Einstein metrics from non-commutative  $U(1)$  instantons” *Journal of Mathematical Physics* 60,092501 (2019) 092501-1-21
10. Jumpei Gohara, Yuji Hirota and [Akifumi Sako](#) “Categorical perspective on quantization of Poisson algebra” *Journal of Mathematical Physics* vol.61, 073506 (2020) 073506-1-19
11. Jumpei Gohara, Yuji Hirota and [Akifumi Sako](#) “A generalization of the quantization of Poisson manifolds” *Proceedings of the Twenty-First International Conference on Geometry, Integrability and Quantization XXI*, (Sofia: Avangard Prima, 2020)138-148

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 18件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Gohara Jumpei, Marin Drinov Academic Publishing House, Hirota Yuji, Sako Akifumi	4. 巻 21
2. 論文標題 A Generalization of the Quantization of Poisson Manifolds	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geometry Integrability and Quantization	6. 最初と最後の頁 138 ~ 148
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7546/giq-21-2020-138-148	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 Gohara Jumpei, Hirota Yuji, Sako Akifumi	4. 巻 61
2. 論文標題 Categorical perspective on quantization of Poisson algebra	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Mathematical Physics	6. 最初と最後の頁 073506 ~ 073506
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5145262	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 Hasebe Kazuki	4. 巻 956
2. 論文標題 SO(5) Landau models and nested Nambu matrix geometry	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Physics B	6. 最初と最後の頁 115012 ~ 115012
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nuclphysb.2020.115012	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 Hasebe Kazuki	4. 巻 961
2. 論文標題 A unified construction of Skyrme-type non-linear sigma models via the higher dimensional Landau models	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Physics B	6. 最初と最後の頁 115250 ~ 115250
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nuclphysb.2020.115250	査読の有無 無
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 Hara Kentaro, Sako Akifumi, Yang Hyun Seok	4. 巻 60
2. 論文標題 Hermitian-Einstein metrics from noncommutative U(1) instantons	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Mathematical Physics	6. 最初と最後の頁 092501 ~ 092501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5063528	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 Hasebe Kazuki	4. 巻 53
2. 論文標題 $Sp(4; \mathbb{R})$ squeezing for Bloch four-hyperboloid via the non-compact Hopf map	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical	6. 最初と最後の頁 055303 ~ 055303
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1751-8121/ab3cda	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 Hasebe Kazuki	4. 巻 934
2. 論文標題 SO(4) Landau models and matrix geometry	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nuclear Physics B	6. 最初と最後の頁 149 ~ 211
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nuclphysb.2018.06.023	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 Hara Kentaro, Sako Akifumi	4. 巻 114
2. 論文標題 Noncommutative deformations of locally symmetric Kahler manifolds	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Mathematical Physics	6. 最初と最後の頁 554 ~ 569
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.geomphys.2017.01.009	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 Sako Akifumi	4. 巻 4
2. 論文標題 A Recipe To Construct A Gauge Theory On A Noncommutative Kahler Manifold	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Noncommutative Geometry and Physics	6. 最初と最後の頁 361 ~ 404
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 Sako Akifumi、Umetsu Hiroshi	4. 巻 27
2. 論文標題 Fock Representations and Deformation Quantization of Kahler Manifolds	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Advances in Applied Clifford Algebras	6. 最初と最後の頁 2769 ~ 2794
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00006-016-0753-z	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 Hara Kentaro、Sako Akifumi	4. 巻 19
2. 論文標題 Quantization of Locally Symmetric Kahler Manifolds	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Geometry Integrability and Quantization	6. 最初と最後の頁 122 ~ 131
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7546/giq-19-2018-122-131	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 Grosse Harald、Sako Akifumi、Wulkenhaar Raimar	4. 巻 925
2. 論文標題 Exact solution of matricial $\mathbb{Z}_3$ quantum field theory	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 NUCLEAR PHYSICS B	6. 最初と最後の頁 319 ~ 347
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nuclphysb.2017.10.010	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 Grosse Harald, Sako Akifumi, Wulkenhaar Raimar	4. 巻 926
2. 論文標題 The $_4^3$ and $_6^3$ matricial QFT models have reflection positive two-point function	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 NUCLEAR PHYSICS B	6. 最初と最後の頁 20~48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nuclphysb.2017.10.022	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 Akifumi Sako, Hiroshi Umetsu	4. 巻 57
2. 論文標題 Twisted Fock Representations of Noncommutative Kahler Manifolds	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Mathematical Physics	6. 最初と最後の頁 093501(1-20)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4961930	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 Akifumi Sako, Hiroshi Umetsu	4. 巻 XVII
2. 論文標題 Deformation Quantization of Kahler Manifolds and Their Twisted Fock Representation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Geometry, Integrability and Quantization XVII, Proceedings of the Eighteenth International Conference on Geometry, Integrability and Quantization XVIII	6. 最初と最後の頁 225-240
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 Kentaro Hara, Akifumi Sako	4. 巻 114
2. 論文標題 Noncommutative Deformations of Locally Symmetric Kahler manifolds	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Geometry and Physics	6. 最初と最後の頁 554-569
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.geomphys.2017.01.009	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 Kazuki Hasebe	4. 巻 31
2. 論文標題 Relativistic Landau models and generation of fuzzy spheres	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 International Journal of Modern Physics A	6. 最初と最後の頁 1650117(1-55)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0217751X16501177	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 Yonaga Kouki, Hasebe Kazuki, Shibata Naokazu	4. 巻 93
2. 論文標題 Formulation of the relativistic quantum Hall effect and parity anomaly	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 235122(1-9)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.93.235122	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 Kazuki Hasebe	4. 巻 54
2. 論文標題 Spin-entangled squeezed state on a Bloch four-hyperboloid	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical	6. 最初と最後の頁 245303
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1751-8121/abee9c	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23件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 Jumpei Gohara, Yuji Hirota, Akifumi Sako
2. 発表標題 A Generalization of the Quantization of Poisson Manifolds
3. 学会等名 XXIth International Conference on Geometry, Integrability and Quantization (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jumpei Gohara, Yuji Hirota, Akifumi Sako
2. 発表標題 A Generalization of the Quantization of Poisson Manifolds
3. 学会等名 The XXVIth International Conference on Integrable Systems and Quantum symmetries (ISQS-26) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 郷原惇平、佐古彰史
2. 発表標題 幾何学としての量子化の一般化
3. 学会等名 離散的手法による場と時空のダイナミクス2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 郷原惇平、佐古彰史、廣田祐士
2. 発表標題 量子化の一般化のような話題
3. 学会等名 科学基礎論夏のセミナー2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akifumi Sako
2. 発表標題 $\Phi^3$ matrix model and its exact solution
3. 学会等名 4th Bangkok workshop on Discrete Geometry and Statics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akifumi Sako, Hiroshi Umetsu, Kentaro Hara, Hyun Seok Yang
2. 発表標題 Twisted Fock representation of Kähler manifolds and Hermitian-Einstein metrics from noncommutative U(1) instantons
3. 学会等名 HOMOTOPY ALGEBRAS, DEFORMATION THEORY AND QUANTIZATION (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kentaro Hara, Akifumi Sako, Hyun Seok Yang
2. 発表標題 Einstein metrics from NC U(1) instantons
3. 学会等名 GROUP32 (The 32nd International Colloquium on Group Theoretical Methods in Physics) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hasebe Kazuki
2. 発表標題 Non-commutative Geometry and differential topology in higher dimensional Landau models
3. 学会等名 International conference on holography, string theory and discrete approaches in Hanoi (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akifumi Sako
2. 発表標題 $\Lambda^3$ model - from a matrix model to a field theory -
3. 学会等名 The XXVth International Conference on Integrable Systems and Quantum symmetries (ISQS-25) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐古彰史
2. 発表標題 $\Lambda^3$ 行列模型：可解な新しい場の量子論のおもちゃ
3. 学会等名 東京理科大学 4学科合同セミナー（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐古彰史
2. 発表標題 ファイ 3 乗行列模型の解と場の理論
3. 学会等名 仙台高専 特別講義（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akifumi Sako
2. 発表標題 Exact Solution of Noncommutative $\Phi^3$ Model
3. 学会等名 Discrete Approaches to the Dynamics of Fields and Space-Time（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐古彰史
2. 発表標題 公理的場の理論の可能性のある2,4,6次元の可解 $\Phi^3$ 模型
3. 学会等名 科学基礎論夏のセミナー2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akifumi Sako
2. 発表標題 Noncommutative Kahler manifolds -from Karabegov's deformation quantization -
3. 学会等名 Koriyama Geometry and Physics Days 2018 "Noncommutative geometry and related topics" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akifumi Sako
2. 発表標題 Quantum scalar field theories on noncommutative $R^2$ , $R^4$ and $R^6$ as solvable models
3. 学会等名 Koriyama Geometry and Physics Days 2018 "Noncommutative geometry and related topics" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akifumi Sako
2. 発表標題 Noncommutative Kahler manifolds and field theory
3. 学会等名 Seminar fur Mathematische Physik (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Akifumi Sako, Hiroshi Umetsu
2. 発表標題 Deformation Quantization of Kahler Manifolds and Their Twisted Fock Representation
3. 学会等名 XVIIIth International Conference Geometry, Integrability and Quantization (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Akifumi Sako
2. 発表標題 Noncommutative Kahler Manifolds and their Fock representations
3. 学会等名 VI Congress of Mathematicians of Macedonia 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Akifumi Sako
2. 発表標題 Noncommutative Kahler manifolds and field theory
3. 学会等名 Seminar of Division of Theoretical Physics (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Akifumi Sako, Hiroshi Umetsu
2. 発表標題 Fock representations and deformation quantization of Kahler manifolds
3. 学会等名 Alterman Conference on Geometric Algebra and Summer School on Kahler Calculus (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 佐古彰史
2. 発表標題 3 模型の量子論としての定式化への試みとその厳密解
3. 学会等名 多弦数理物理学セミナー (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐古彰史
2. 発表標題 モヤル空間上の 3 模型の強非可換極限におけるN 点関数の厳密解
3. 学会等名 日本物理学会 年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐古彰史
2. 発表標題 3模型の量子論の行列模型を通じた定式化と厳密解
3. 学会等名 日本数学会年会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 前田 吉昭、佐古 彰史	4. 発行年 2020年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 296
3. 書名 非可換微分幾何学の基礎	

〔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	長谷部 一気  (Hasebe Kazuki)  (60435469)	仙台高等専門学校・総合工学科・准教授   (51303)	

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			
韓国	Sogang University			
Austria	Vienna University			
ドイツ	Wilhelms University			