

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 17 日現在

機関番号：13801

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2019

課題番号：15K17643

研究課題名（和文）量子重力とゲージ理論の非摂動効果の探求

研究課題名（英文）Study on non-perturbative effects in gauge theory and quantum gravity

研究代表者

森田 健 (Morita, Takeshi)

静岡大学・理学部・講師

研究者番号：40456752

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、「ブラックホールの量子論的性質」と「量子色力学の熱的な性質」という2つのテーマに関して主に研究した。これら2つは超弦理論の双対性を通して密接に関係し、これらを相補的に研究することで、超弦理論や量子重力の解明を目指した。本研究では特に、ブラックホールと超弦理論の関係や、超弦理論の相転移現象、有限温度における量子色力学の解析方法の確立などの成果が得られた。またブラックホールにおける量子現象とよく似た現象が、重力とは一見関係のないような、カオス系一般でも起こることを示すことに成功した。これらの成果は量子重力を解明していく上で、重要な役割を果たすのではと期待している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

重力を含んだ量子論の構成は、素粒子物理学における最大の課題である。そして量子重力を理解する上で非常に重要であると考えられるのがブラックホールである。本研究ではブラックホールの量子論的な側面に関して解析し、幾つかの新しい結果を得ることができた。また関連して、超弦理論やゲージ理論の熱力学的な性質や、ブラックホールとカオスの新たな関係などを発見した。特にブラックホールとカオスの関係は近年盛んに世界中で研究されているが、本研究で明らかにしたこれらの間の関係は、これまでの既存の研究とは全く異なる方向性を示すもので、この分野の研究に大きな進展をもたらす可能性がある。

研究成果の概要（英文）：In this study, we focus on two main topics: the quantum nature of black holes and the thermal aspects of quantum chromodynamics. These two are closely related through the dualities in superstring theory, and, by studying them in a complementary way, we tried to understand the superstring theory and quantum gravity. Through this study, we found the relationship between black holes and superstring theory, phase transition phenomena in superstring theory, the establishment of a method for analyzing quantum chromodynamics at finite temperatures. In addition, we have found that a phenomenon in chaotic systems, which is similar to the quantum phenomena in black holes. I expect that these results will play an important role in studies of quantum gravity.

研究分野：素粒子論

キーワード：量子重力 超弦理論 ブラックホール 量子色力学 カオス ゲージ理論 超対称性

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 素粒子論におけるもっとも重要な課題は、量子重力の全容の解明である。そのために重要な鍵を握っていると考えられるのがブラックホールである。ブラックホールは一般相対性理論におけるもっとも基本的な解であり、例えば一つの粒子も、古典的にはブラックホール解で記述される。しかし、このように基本的な解であるにもかかわらず、ブラックホール解における量子論の効果は未解明である。特に 1975 年に Hawking によりブラックホール解は量子論的に熱輻射を起こすことが指摘され、この輻射の効果により量子力学の基本原則であるユニタリティーが破綻する可能性がある。もしこれが本当なら量子重力は従来の量子論と大幅に異なる理論となる。そのためブラックホールにおける量子論の解明は非常に重要な問題である。

(2) 自然界には 4 つの力が存在していることが知られている。そのうち 1 つが先に挙げた重力で、残りの 3 つはゲージ理論によって記述される力である。ゲージ理論は、重力に比べれば、量子論的な性質はある程度理解できているが、未解決の問題も多い。特に 3 つの力のうちの 1 つである「強い力」の性質は、一般的に解析が困難である。「強い力」は原子核を構成するクォークの間に働く力であり、量子色力学とも呼ばれるゲージ理論である。しかし、陽子や中性子の質量を、量子色力学に基づき解析的に導出するのは非常に困難で、大型計算機を用いた数値計算が現状では必要である。そのため量子色力学の理解を解析的により深めるためには、何らかの新しい切り口によるアプローチが必要である。

実はゲージ理論と重力理論の間にはある種の双対性があることが超弦理論の研究により、1998 年に Maldacena らによって指摘された。これにより例えば重力の問題をゲージ理論を用いて解析することや、逆にゲージ理論の問題を重力理論の問題として解析することが可能となった。そこで重力理論とゲージ理論を相補的に駆使することで、各々の理論の理解を深めていくことが有力な解析であると考えられている。本研究でも、この双対性を利用することで、上記(1)(2)の問題を中心に研究した。

2. 研究の目的

(1) Hawking により、ブラックホールが量子論的に熱的な蒸発を起こすことが指摘されたため、ブラックホールの背後には熱・統計力学的な構造が存在すると考えられている。しかし、その正体はよくわかっていない。研究背景で触れたように、この熱的な性質の解明は量子重力を理解する上で非常に重要な問題であると考えられている。

近年、超弦理論により、一部のブラックホールに関しては、BPS 粒子と呼ばれる物質の集団運動を通して、その熱的な性質が理解できると考えられるようになった(ここでは「BPS 粒子」という言葉は「D プレーン」や「M プレーン」等の総称として用いている。)。しかし、BPS 粒子はお互いに強く相互作用するため、その解析は一般的に難しく、本当にブラックホールの熱力学的な性質を BPS 粒子で説明できるのかは不明である。本研究の目的の 1 つは、BPS 粒子の解析をすすめることで、本当に BPS 粒子がブラックホールの熱力学的な性質を再現できるのか解明することである。

(2) 研究の背景で述べたように、重力理論を通したゲージ理論の解析が可能である。さらにこれを用いて量子色力学を解析する方法が 2005 年に酒井・杉本によって提唱された。このような解析は、量子色力学の理解を大きくすすめる可能性があるだけでなく、量子色力学と関係した多くの実験データから、重力理論の性質を探ることもつながる。このような進展を目指し、本研究の目的の 1 つとして、重力理論を通した量子色力学の解析をあげた。

(3) ブラックホールが熱的に蒸発する過程をゲージ理論で理解するためには、ゲージ理論の非平衡熱力学を解明する必要があると考えられている。しかし、ゲージ理論のように相互作用する系の非平衡熱力学の解析は非常に困難である。そこで幾つかの簡単な模型を通して、ゲージ理論の非平衡物理を解析し、ゲージ理論の非平衡現象の理解を深めることを本研究の目的の 1 つとした。

3. 研究の方法

(1) 本研究では BPS 粒子の集団運動を解析し、ブラックホールの熱力学的な性質を解明することを目指した。特に研究代表者らの研究グループは、2014 年の研究で、一種類の BPS 粒子の集団運動に関して解析し、予測されるブラックホールの性質を定性的に得ることに成功していた。そこで本研究では次のような応用を行った。

BPS 粒子の種類を複数に増やした系での粒子の集団運動を考えた。これにより一種類の BPS 粒子よりも複雑な状況を研究することが可能になるので、より豊富な結果を得ることが期待できる。また一部の系は、超弦理論を用いた解析がなされているので、その結果との比較も行った。

BPS 粒子の集団を様々な状況下に置くことで、その相転移現象を調べた。このような解析を通して、BPS 粒子系の熱力学的な性質をより深く理解することにつながると考えられる。

(2) 本研究では量子色力学の次のような性質を超弦理論や重力理論を用いて解析した。

量子色力学の有限温度の性質の解明は、初期宇宙や中性子星、原子核物理などで重要であるが、その解析方法は確立していない。研究代表者らの研究グループは2011年に、有限温度における量子色力学を重力を用いて解析する方法を提唱したが、その方法にはクオークの扱いに関して問題点があった。そこで本研究では虚数化学ポテンシャルという量に注目して、この問題点の解決ができないか研究した。

量子色力学では、インスタントンと呼ばれるソリトン解が重要な役割を果たすと考えられている。そこで本研究では、インスタントンの性質を重力を用いて解析した。特に研究代表者らの研究グループはの研究により、有限温度における量子色力学の解析方法を確立していたため、それをインスタントンの解析に応用した。

量子色力学の1つの大きな目標は、陽子や中性子などの原子核を再現することである。2010年に橋本・飯塚・Yiによって、超弦理論に基づく、原子核の低エネルギー有効理論が提唱された。本研究ではこの低エネルギー有効理論を解析することで、原子核のスペクトラムなどを計算し、実験データと比較した。

(3) ブラックホールの蒸発現象を理解するためにゲージ理論の非平衡物理に関して研究を行った。特に1行列模型と呼ばれる最もシンプルなゲージ理論に注目し、その時間発展問題を調べた。この模型は可積分性を持つため厳密な計算が可能である。そこでこの模型に適切な初期条件を与えたときに、どのように熱平衡化が起こるのか解析した。そして、様々な物理量の緩和過程やエントロピー生成などを議論した。

(4) その他：以下の研究は、当初研究目的にあげていなかったが、他の関連研究の進展などに応じて行った。

超弦理論においては、Mブレーンと呼ばれる物体が基本的な構成要素であるという予測がある(M理論)。しかしMブレーンは、当初、作用すら理解されておらず、2008年にAharonyらによって、ようやく低エネルギー有効理論が提唱されたことによりその研究が進展し始めた。さらにその後の研究で、この低エネルギー有効理論は3次元チャン・サイモン型行列模型と呼ばれるある種のゲージ理論に帰着することが示された。研究代表者らの研究グループはゲージ理論の解析に精通していたので、このチャン・サイモン型行列模型の研究に取り組むことで、M理論の解明を試みた。

ブラックホールの蒸発現象や非平衡現象に関連して、近年、カオスとブラックホールの関係が盛んに研究されるようになった。そこで研究代表者もブラックホールの熱的な性質を理解するためにカオスの研究を行った。

4. 研究成果

(1) BPS粒子の集団運動とブラックホールの熱力学の研究

複数種のBPS粒子がある系の集団運動の解析に成功し、予測されるブラックホールの性質を正しく再現できることを解明した。またこの研究の結果は既存の超弦理論の解析とも整合性を持つものであった。

BPS粒子の集団運動を解析することで、相転移現象を解明し、その相図を得ることに成功した。図1が結果の一部で、系の温度や体積などを変えることで、BPS粒子が様々な相転移を起こすことを示している。これによりBPS粒子の豊富な熱力学的な性質を明らかにすることが出来た。さらに、これらの性質と、既知のブラックホールの熱力学的な性質を比較することで、BPS粒子の持つ熱力学が、確かにブラックホールの熱力学的な性質と定性的に一致することを示した。これは、ブラックホールの熱力学的な性質の背後に、BPS粒子の集団運動があるという予想に対する強い証拠を与える。

本研究は研究 共に BPS 粒子系における大きな進展であり、ブラックホールの熱力学的な性質の起源を理解する上で非常に価値が高いものである。しかし、まだ BPS 粒子系が厳密にブラックホールの熱力学を再現できるのかはわかっていないので、今後は BPS 粒子系に対する厳密計算を実現することで、両者の厳密な一致を証明することが目標となる。さらにそれができれば、ブラックホールの量子論的な性質を BPS 粒子で解析することで、量子重力のユニタリティーの問題が解明できると期待している。

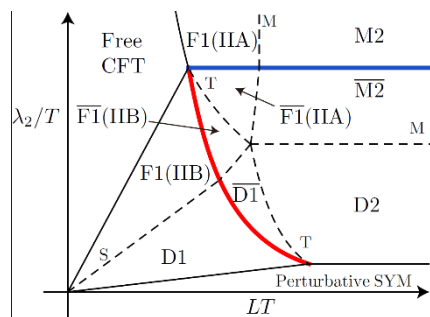


図 1. BPS 粒子系の相図 系の温度や体積を変えることで様々な相転移(実線)が起きる。

(2) 超弦理論に基づく量子色力学の研究

本研究は順調に進み、有限温度における量子色力学を重力で解析する方法の確立に成功した。先に触れたように量子色力学の有限温度の性質は素粒子論だけでなく、宇宙論や原子核理論においても重要なので、本研究の価値は非常に高い。また本研究の副産物として、量子色力学の虚数化学ポテンシャル依存性も解明した。

今後は、本研究によって確立された方法を用いて、有限温度の量子色力学の解析をすすめ、その性質が解明されていくことが期待される。また虚数化学ポテンシャルは有限密度の量子色力学の解析において非常に重要である。有限密度における量子色力学の解析は、数値解析を用いても難しい領域であることが知られているので、本研究で、その解析方法が確立したことの意義は大きい。

本研究は順調に進み、量子色力学におけるインスタントンが、有限温度でどのような性質を持つのか解明できた。特に興味深いことに、インスタントンが高温でこれまで知られていなかったある種の相転移現象を起こすことを発見した。高温におけるインスタントンの性質は、特に宇宙論におけるアクシオンと関係していることが知られており、本研究はそれらへの応用が期待される。

本研究では、超弦理論に基づき原子核の解析を行った。特に核子が1個と2個の系について詳細に調べ、既存の実験と整合性のあるエネルギースペクトラムなどを得ることに成功した。また原子核の魔法数を導出する方法も提唱した。量子色力学に基づき、複数の核子のスペクトラムを導出することは、数値解析でも難しい領域なので、本研究の価値は高い。今後は近似の精度を上げたり、核子数を増やして解析することで、原子核の性質を解明していければと考えている。

(3) ゲージ理論の非平衡現象の研究

本研究で解析した1行列模型は可積分性を持つ。可積分系は一般化ギブス統計と呼ばれる特殊な統計に従って、熱平衡化するという予測がある。本研究では1行列模型も、確かに一般化ギブス統計に従って熱平衡化を起こすことを示した。特にこの熱平衡化が通常の指数関数的な熱的緩和でなく、ベキ則に従って緩和を起こすことを示した(図2)。またエントロピー生成などについても解析的に導出することに成功した。これらの非平衡現象は、通常解析が非常に困難なため、今回の研究のように、熱平衡化現象を解析的に理解できたことは価値がある。

超弦理論では、様々な状況で可積分性を持つことが知られている。そのため、今回の研究結果を応用することで、超弦理論の非平衡現象の解析が可能になると考えられる。このような解析はこれまでほとんど行われてこなかったので、そのような解析の可能性を示した、本研究の価値は高い。

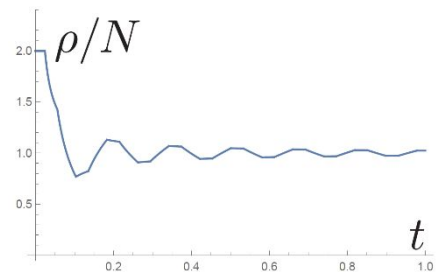


図 2. 固有値密度の緩和。横軸が時間で縦軸がある位置での固有値密度。時間が経つにつれ、密度が一定値に緩和していく。

(4) その他の研究(当初研究目的になかったもの)

本研究ではMブレーンの性質を解明するために、チャン・サイモン型行列模型の解析を行った。特に本研究では、この行列模型の新しい非摂動解を見つけることに成功した。このような解はMブレーンのこれまで知られていなかった新しい状態の存在を示唆するものである。実は本研究の以前は、Mブレーンの状態として、基底状態しか見つかっていなかった。それに対して本研究で見つけた状態は、おそらくMブレーンの励起状態に対応しており、そのような励起状態は、Mブレーンのダイナミクスを理解する上で非常に重要なものだと考えられる。

しかし、Mブレーンのダイナミクスは未知の部分が多く、今後は、本研究をさらに進めることで、MブレーンやM理論の全容を解明していくことが課題である。

本研究では、ブラックホールとカオスの関係について調べた。そしてカオスとブラックホールの間に見られる、興味深い関係の発見に成功した。先に述べたようにブラックホールは量子論的に熱放射を起こす。これと一致する量子論的な熱現象が古典カオス系を量子化することでも得られることを本研究では見つけた。この量子論的な熱現象は、重力と関わらず、カオス系一般に起こりうる現象で、非常に幅広い系で観測される可能性がある。このような新しい量子現象を見つけたことは非常に価値が高いと考えられる。今後は、この熱現象の実験的な観測や、様々な系への応用などが期待されている。また本研究はブラックホールの熱現象を理解する上でも重要な役割を果たす可能性がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件／うち国際共著 5件／うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Koji Hashimoto, Yoshinori Matsuo, Takeshi Morita	4. 巻 12
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 Morita Takeshi, Sugiyama Kento	4. 巻 2018
2. 論文標題 Toward the construction of the general multi-cut solutions in Chern-Simons matrix models	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 168
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/JHEP08(2018)168	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 Kulkarni Manas, Mandal Gautam, Morita Takeshi	4. 巻 98
2. 論文標題 Quantum quench and thermalization of one-dimensional Fermi gas via phase-space hydrodynamics	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 43610
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevA.98.043610	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 Morita Takeshi	4. 巻 122
2. 論文標題 Thermal Emission from Semiclassical Dynamical Systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 101603
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevLett.122.101603	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 Takeshi Morita, Kento Sugiyama	4. 巻 929
2. 論文標題 Multi-cut solutions in Chern Simons matrix models	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nuclear Physics B	6. 最初と最後の頁 1-20
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.nuclphysb.2018.01.028	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 Takeshi Morita, Shotaro Shiba	4. 巻 747
2. 論文標題 Microstates of D1-D5(-P) black holes as interacting D-branes	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 164-168
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2015.05.069	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 Takeshi Morita, Shotaro Shiba, Toby Wiseman, Benjamin Withers	4. 巻 7
2. 論文標題 Moduli dynamics as a predictive tool for thermal maximally supersymmetric Yang-Mills at large N	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 JHEP	6. 最初と最後の頁 47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP07(2015)047	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 Masanori Hanada, Yoshinori Matsuo, Takeshi Morita	4. 巻 899
2. 論文標題 Instanton dynamics in finite temperature QCD via holography	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Nuclear Physics B	6. 最初と最後の頁 631-650
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nuclphysb.2015.08.018	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 Takeshi Morita, Shotaro Shiba	4. 巻 1509
2. 論文標題 Thermodynamics of Intersecting Black Branes from Interacting Elementary Branes	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 JHEP	6. 最初と最後の頁 70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP09(2015)070	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 Hiroshi Isono, Gautam Mandal, Takeshi Morita	4. 巻 1512
2. 論文標題 Thermodynamics of QCD from Sakai-Sugimoto Model	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 JHEP	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/JHEP12(2015)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

[学会発表] 計34件(うち招待講演 7件/うち国際学会 7件)

1. 発表者名 森田 健, 杉山健斗
2. 発表標題 ホーキング輻射とブラックホールの内部構造
3. 学会等名 日本物理学会 2020年 年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森田 健, 吉田 大輝
2. 発表標題 Yang-Mills理論を1次元にLarge N reductionした 行列模型の閉じ込め・非閉じ込め相転移の解析
3. 学会等名 日本物理学会 2020年 年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森田 健
2. 発表標題 A possible solution to the black hole puzzle in semi-classical gravity
3. 学会等名 KEK Theory workshop 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 橋本幸士, 松尾善典, 森田健
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 橋本幸士, 松尾善典, 森田健
2. 発表標題 Excitations and interactions of Nuclear states 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 森田 健, 杉山健斗
2. 発表標題 ブラックホール形成とHawking輻射
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 森田 健
2. 発表標題 Hawking radiation from butterfly effect
3. 学会等名 熱場の量子論とその応用
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森田 健
2. 発表標題 Nuclear physics and D-branes in string theory
3. 学会等名 中部夏の学校
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森田 健
2. 発表標題 Hawking radiation from butterfly effect
3. 学会等名 中央大学 セミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森田 健
2. 発表標題 Nuclear physics and D-branes in string theory
3. 学会等名 KEK 理論センター セミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森田 健
2. 発表標題 Thermal emission from semi-classical chaotic systems
3. 学会等名 Strings and Fields 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森田 健
2. 発表標題 Bound on chaos and Acoustic Hawking radiation in free fermi fluid
3. 学会等名 Integrable systems in Mathematics, Condensed Matter and Statistical Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森田 健
2. 発表標題 学部生でもできる流体Hawking輻射の計算
3. 学会等名 中部夏の学校2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森田 健, 杉山健斗
2. 発表標題 Chern-Simons行列模型の一般解の構成とインスタントン
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森田 健
2. 発表標題 行列量子力学における acoustic Hawking radiation
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森田 健, 杉山健斗
2. 発表標題 カスプ型ポテンシャルを持った行列模型の相転移現象
3. 学会等名 日本物理学会 2019年年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森田 健
2. 発表標題 Bound on chaos in semi-classical regime
3. 学会等名 日本物理学会 2018年 年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森田 健, 杉山健斗
2. 発表標題 Chern-Simons行列模型における一般解の構成
3. 学会等名 日本物理学会 2018年 年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森田 健
2. 発表標題 Bound on chaos in a semi-classical regime
3. 学会等名 Sugawara Symposium on Fundamental Problems in Theoretical Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森田 健
2. 発表標題 D-braneの位置の量子化
3. 学会等名 中部夏の学校
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森田 健, 杉山健斗
2. 発表標題 ABJM行列模型におけるインスタントン効果
3. 学会等名 日本物理学会 2017年 秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森田 健, 杉山健斗
2. 発表標題 More on Multi-cut Solutions in Chern-Simons Matrix Models
3. 学会等名 日本物理学会 2017年 秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森田 健
2. 発表標題 Equilibration and Generalized Gibbs ensemble in 1d non-relativistic free fermions
3. 学会等名 Quantum Gravity, String Theory and Holography (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森田 健
2. 発表標題 一次元自由fermionのGeneralized Gibbs Ensembleへの熱平衡化と普遍的な緩和時間
3. 学会等名 日本物理学会 2017年 年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森田 健
2. 発表標題 BPS粒子束縛状態としてのブラックホールとその内部構造
3. 学会等名 日本物理学会 2016年 秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 森田 健, 杉山健斗
2. 発表標題 Novel Multi-cut Solutions in Chern-Simons Matrix Models
3. 学会等名 日本物理学会 2017年 年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森田 健
2. 発表標題 Comments on semi-classical solutions in large-N Chern-Simons Matrix Models
3. 学会等名 Progress in Quantum Field Theory and String Theory II (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森田 健
2. 発表標題 低温におけるD0 braneの相転移
3. 学会等名 中部夏の学校
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 森田 健
2. 発表標題 可積分行列量子力学における時間発展: Generalized Gibbs Ensemble, 熱平衡化, dynamical相転移
3. 学会等名 離散的手法による場と時空のダイナミクス2016 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 森田 健, 杉山健斗
2. 発表標題 Novel Instantons in Chern-Simons Matrix Models
3. 学会等名 KEK Theory Workshop 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 森田 健, 花田 政範, 松尾 善典
2. 発表標題 Holographyを用いた有限温度QCDにおけるインスタントンの解析
3. 学会等名 日本物理学会 2015年 秋季大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 森田 健
2. 発表標題 酒井杉本模型を用いた有限温度QCDの解析
3. 学会等名 中部夏の学校
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 森田 健
2. 発表標題 Holographic QCD at finite temperature: Instantons and chiral symmetry restoration
3. 学会等名 Applications of AdS/CFT to QCD and condensed matter physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 森田 健
2. 発表標題 相互作用するブレーン系とブラックホール熱力学
3. 学会等名 日本物理学会 2016年 年次大会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔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
研究協力者	マンダル ゴータム (Mandal Gautam)	タタ研究所・理論物理研究室・教授	
研究協力者	ワイズマン トビー (Wiseman Toby)	インペリアル大学・准教授	
研究協力者	ダス スミット (Das Sumit)	ケンタッキー大学・物理学科・教授	
研究協力者	杉山 健斗 (Sugiyama Kento)	静岡大学・情報科学専攻・学生 (13801)	