

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：32607

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K03952

研究課題名（和文）弦から創発された新しい時空幾何学で探るブラックホール最深部とコクシグル問題

研究課題名（英文）Exploring Black Holes with Stringy Geometries and the Coquecigrue Problem

研究代表者

佐々木 伸 (Sasaki, Shin)

北里大学・理学部・講師

研究者番号：20622509

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、量子重力理論候補である超弦理論が予言するT双対性に注目し、弦の巻きつきに由来する極微の時空構造を理論的に調査した。局所的代数構造から大域構造を構成する数学のコクシグル問題を、その具体例を構築することで明らかにし、これにより弦の巻きつきを表す空間の性質を数学的に表現できるようになった。また、弦が時空に巻き付く効果をT双対性、世界面インスタントン、DFT、シグマ模型などの観点から調査し、ブラックホール時空への弦の巻きつき効果を計算する手法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題の主目的は、極微の時空構造を理解することで、ブラックホールの物理的性質を明らかにすることである。特に本課題では統合的な量子重力理論として信じられている超弦理論が極微の時空構造をどのように記述しているのかを理論的に調査した。関連して、本研究では数学の未解決問題であるコクシグル問題に取り組み、一定の成果を上げた。これにより、極微の時空間を記述する数学的表現を明らかにした。本研究課題で得られた成果により、時空とは何かという根源的な問題への手がかりが得られたと期待する。

研究成果の概要（英文）：In this study, we focus on the T-duality in superstring theory which is a candidate of consistent quantum gravity. We theoretically investigate microscopic spacetime structures originating from string winding effects. We clarified the coquecigrue problem, namely, constructing global structures from local algebraic structures in mathematics, by showing a concrete example of the problem. This allows us to express the nature of the winding geometry of strings in terms of category theory. Based on the fact that black holes are constructed by various branes in superstring theories, we also developed a method to calculate the string winding corrections to black hole spacetimes by exploring the effects of string worldsheet instantons to the brane background spacetimes.

研究分野：超弦理論、場の量子論、重力理論

キーワード：超弦理論 双対性 double field theory

1. 研究開始当初の背景

素粒子間にはたらく基本相互作用として電磁気力、弱い力、強い力、重力が知られている。これらのうち、初めの3つはミクロな領域で整合的である量子力学的な理論体系が確立している。最後に残った重力に関しては、大きなスケールではアインシュタインの一般相対性理論が有効であるが、ミクロなスケールにおいて量子力学と整合的である理論としては、超弦理論がほぼ唯一の候補となっている。

近年になり、AdS/CFT 対応に基づく量子情報理論的進展などから超弦理論による量子重力の研究は大きく発展した。超弦理論は万物の構成要素をミクロな弦として扱う理論であるが、多くの場合、弦の長さを無視した点粒子極限で時空間を扱う。この場合、点粒子がプローブする時空間はアインシュタインの一般相対性理論の拡張である超重力理論に従う。一方、宇宙初期やブラックホール中心部など、時空の極限的環境下では有限長の弦の効果が顕著に現れ、極微の時空構造は点粒子描像のそれから大きく変わってくると期待できる。特に、有限長の弦は時空間に巻き付くことが可能であり、これは未完成である量子重力理論が描く時空の特徴の一つとして現れると期待できる。

T 双対性は弦が有限長を持ち、空間に巻き付くことができるという事実から導かれる。これは弦がプローブする空間の大小のスケールは等価であることを主張する。この事実は弦の Kaluza-Klein (KK) モードと巻きつきモードの対称性として定式化される。したがって、弦の巻きつき効果は超弦理論に現れる T 双対性と密接に関わっていると予想できる。

2. 研究の目的

本研究の主目的は、整合的な量子重力理論として期待される超弦理論において、有限長の弦がプローブする時空構造を調査することで、ブラックホール時空間のミクロスコピックな構造を明らかにすることである。特に、弦が巻き付くことにより起こる時空への影響を理論的に調べ、超弦理論に特有の時空構造を調べる。このような試みは過去様々な観点から調べられてきた。Strominger と Vafa は弦理論に存在するブレーンがコンパクト化された余剰空間に巻き付くことで、ある種のブラックホールのエントロピーの起源を証明した。また、Gregory-Harvey-Moore は、ある時空間に現れる弦の KK モードが T 双対時空間ではどのように現れるかを考察した。そこではリーマン幾何学に立脚した点粒子描像ではなく、弦の巻きつきモードも織り込んだ新たな時空描像が必要なことが示唆された。本研究ではこの考えをより精密化し、有限長の弦が紡ぐ時空の新たな数学的表現も定式化する。

特にブラックホール時空間においては、弦の巻きつきの自由度が量子化された時空間の自由度を担っている可能性があり、ブラックホールエントロピー、ホーキング放射の起源が明らかになると期待できる。このように、ブラックホールの自由度を未知の微小空間構造に求める考えはブラックホールの fuzzball 描像として知られる。本研究では弦の巻きつきによる新たな fuzzball 描像を構築することを一つの目的とする。

3. 研究の方法

近年、Hull と Zwiebach により、弦の KK 運動量とともに弦の巻きつき自由度を幾何学的に織り込んだ T 双対共変重力理論 Double Field Theory (DFT) や、その U 双対版である Exceptional Field Theory (EFT) の定式化が進んだ。DFT は弦の KK モードと巻きつきモードの入れ替えに対する T 双対性を理論の対称性として備えているため、T 双対共変な重力理論とみなせる。これは弦の点粒子極限により従来のアインシュタインの一般相対性理論(超重力理論)を再現するため、有限長の弦の性質を尊重した重力理論と言える。

DFT は弦の運動量の共役に相当する時空座標 x の他に、弦の巻きつき運動量の共役座標 \tilde{x} を含む。これは双対座標と呼ばれる。考えている時空間の次元が倍化されるため、Double Field Theory と呼ばれる。DFT は拘束条件を持つ場の理論であるが、NSNS B 場のゲージ対称性とテンソル場の一般座標変換を T 双対共変に組んだ DFT ゲージ対称性を持つ。この対称性は内部変換と時空の一般座標変換を統合した性質を持ち、その数学的構造は通常の Lie 代数(algebra)では表せない。その構造は一般的に algebroid と呼ばれる。Algebroid は代数構造と幾何構造を兼ね備えた数学的構造である。

本研究ではまず、DFT の局所対称性として与えられる algebroid から理論が定義された倍化空間(doubled space)の大域的情報を構築する。これは数学的には与えられた代数構造から群構造を構築することに対応し、コクシングル問題と呼ばれる。一般的に与えられた algebroid のコクシングル問題を解くことは難しいことが知られている。DFT のコクシングル問題を解くことで、弦の巻きつき自由度を内包した倍化空間の数学的構造がわかるはずである。

次に、DFT の運動方程式を直接解くことで弦の巻きつき自由度を内包していると思われる解を具体的に構築する。これは局所非幾何的ブレーン(locally non-geometric branes)と呼ばれる。

この構造は通常の超重力理論には現れず、DFT に特有の解である。いくつかのブレーンを組み合わせることで低次元のブラックホールを構成できるので、局所非幾何的ブレーンによるブラックホールが弦の巻きつき自由度を含み、ブラックホールの有限のエントロピーを担うのかを考察する。

4. 研究成果

本研究では当初予定していた研究計画に加え、研究結果により派生した様々な関連事項について調査を行った。

(1) DFT ゲージ対称性のコクシグル問題

DFT の微小ゲージ変換の交換子は代数構造を定義する。この代数を定義する C 括弧積は一般に Jacobi 恒等式を満たさないが、metric algebroid とよばれる代数を定義する。 C 括弧積は DFT の拘束条件の下で修正された Jacobi 恒等式を満たし、metric algebroid は Courant algebroid へと還元される。佐々木・池田（立命館大学 研究員）は metric algebroid の積分形として倍化空間に大域的に定義される pre-rackoid を提案した。これは一般的に自己分配則を満たさないプレ圏として定式化できる。DFT において物理的時空間は倍化空間に定義された葉層構造として導入されるが、pre-rackoid は葉間を跨がる移動経路として定義され、自己分配則を満たさない積は経路の連続性として表現された。また、DFT の拘束条件は rackoid の文脈では Yang-Baxter 方程式として再解釈されることを示した。この結果より、metric algebroid のコクシグル問題の一つの回答を与え、巻きつき自由度を備えた倍化空間が内包する自由度と DFT 拘束条件の数学的対応がわかった。

(2) DFT ゲージ対称性と algebroids

DFT ゲージ対称性は B 場のゲージ変換と時空の一般座標変換を T 双対共変な形で融合する。佐々木・森（北里大学 大学院生）は DFT ゲージ対称性の構造を規定する C 括弧積に注目し、この括弧積が定義する可能な代数構造を調べ分類した。 C 括弧積は一般に Jacobi 恒等式を満たさないが、一般的に緩和された DFT 拘束条件の下、pre-Courant algebroid, ante-Courant algebroid, などの代数構造が許容されることを証明した。さらに背景場の導入により、twist された代数構造も可能であることを示した。また、これらの代数が実装される具体的な幾何的枠組みとして倍化空間の para-hermitian 幾何を考え、代数構造を解析した。

(3) 局所非幾何的ブレーンの世界体積理論

本研究課題ではブラックホールの構成要素の一つとして局所非幾何学的対象物 (locally non-geometric objects) を想定している。R5-brane は局所非幾何学的対象物の一つで、超弦理論の T 双対性変換に伴って現れる。R5-brane は双対座標に明示的に依存しているため、従来の超重力理論の解ではないが、DFT 運動方程式の解として具体的に構成できる。佐々木・塩沢（北里大学 学振特別研究員）は R5-brane 解のゼロモードを分類し、DFT を用いることでその世界体積有効理論を構築することに成功した。有効理論は 6 次元 $N=(1,1)$ または $N=(2,0)$ 超対称場の理論として具体的に書き下すことができる。これにより、超弦理論に存在するが、超重力理論では記述できないブレーンの力学を記述できるようになった。

(4) エルミート対称空間超対称非線形シグマ模型への高階微分補正と BPS 条件

佐々木・新田（慶應義塾大学 教授）はエルミート対称空間を標的空間とする超対称非線形シグマ模型への高階微分補正を調べた。特に超対称性を一部保つ BPS 条件について考察した。

(5) 5-brane カレント代数

佐々木・初田（順天堂大学 教授）・矢田（順天堂大学 助教）は type II 弦理論における T 双対変換により関係付けられる 5-brane のカレント代数を構成した。Type IIA, IIB に応じて各ブレーン世界体積に現れる超対称多重項は 6 次元 $N=(2,0)$ テンソル多重項、または $N=(1,1)$ ベクトル多重項となる。 $N=(2,0)$ 理論の代数は、6 次元世界体積の自己双対ゲージ場によって引き起こされる Dirac 括弧によって特徴付けられることを示した。一方、 $N=(1,1)$ 理論の代数は Poisson 括弧によって与えられる。これらの代数を用いて、 U 双対共変倍化空間と 10 次元超対称性の表現の関係を明らかにした。また、タイプ IIA/IIB 超対称性代数のカレントの T 双対遷移規則も考察した。

(6) 倍化空間に局在化した Kaluza-Klein 6 ブレーン

佐々木・木村（大阪電気通信大学 特任准教授）・塩沢は M 理論における局所非幾何学的対象物の一つである双対空間に局在化した Kaluza-Klein (KK) 6-brane を調べた。まず、 $E7(7)$ EFT

倍化空間内で局在化した KK6-brane 解を構成した。これは 11 次元超重力理論の解としては現れないが、M 理論の双対性よりその存在が要請される。この解の物理的意味を理解するため、我々は 11 次元のプロープ M2-brane を考えた。プロープは $N=4$ 超対称線形ゲージシグマ模型で記述される。このゲージ理論における BPS vortex が双対方向に沿ったアイソメトリの破れを引き起こすことを示すことで、我々はこの理論に存在するベクトル場が KK6-brane の双対座標と同一視できることを指摘した。これは局所非幾何的構造が membrane インスタントン効果として解釈できることを意味する。

- (7) Hyperkahler 空間、bi-hypercomplex 空間、一般化幾何学、および T 双対性
弦の巻きつきによる時空への補正は弦の世界面インスタントン効果として捉えることができる。これに関連して、佐々木・木村・塩沢は、2 次元 $N=(2,2)$ シグマ模型における T 双対性、複素構造、および bi-hermitian 構造の包括的な関係を調査した。我々は一般化幾何学および DFT を用いることで bi-hermitian 幾何構造-Kahler 幾何構造間の T 双対性変換公式をあらわに書き下すことに成功した。同様に、 $N=(4,4)$ 理論における bi-hypercomplex 構造と hyperkahler 構造間の関係も発見した。これらは、一般化 hyperkahler 構造の枠内で T 双対性共変な形で表現され、split-bi-quaternion 代数を形成することを示した。また、具体的な例として、KK-monopole (Taub-NUT 空間) の hyperkahler 幾何構造と H-monopole (smear された NS5 プレーン) の bi-hypercomplex 幾何構造との明示的な T 双対性関係を示した。この結果を利用して、これらの幾何学における世界面インスタントン効果に対する T 双対性関係を明らかにした。
- (8) 複素構造、T 双対性、Born シグマ模型における世界面インスタントン
佐々木・木村・塩沢は 2D 次元 Born 幾何学における一般化された複素構造を調べた。Born 構造は巻きつき自由度を内包する倍化空間の幾何構造として機能すると期待されている。我々は時空の Kahler 幾何構造、hyperkahler 幾何構造、bi-hermitian 幾何構造、bi-hypercomplex 幾何構造が倍化空間の一般化 hyperkahler 構造として統一的に実装されることを示した。また、Born 空間を標的空間とする Born シグマ模型は T 双対共変な弦の世界面理論として機能することから、この模型を用いて T 双対性で繋がる異なる時空間の世界面インスタントン効果の関係を調べた。これにより、T 双対変換で現れる弦の巻きつきによる時空間への補正を追跡することが可能になった。
- (9) 高階微分超重力理論における真空構造
佐々木・井上 (北里大学 大学院生) は物質場を含む old minimal 超重力理論の曲率 2 次項を含む高階微分補正とその真空構造を調べた。超対称性と高階微分の整合性から理論には従来には知られていない正エネルギーの準安定真空解が存在することがわかった。
- (10) ゲージ化された DFT, ヘテロティックシグマ模型、カレント代数
佐々木・森 (北里大学 学振特別研究員)・初田・矢田は $O(D, D+n)$ 対称性を持つゲージ化 DFT においてカレント代数とシグマ模型の関連を調べた。 $O(D, D+n)$ ゲージ化 DFT は弦の α' 補正を含むヘテロティック弦理論の T 双対性を明示的に表現する。この理論におけるカレント代数は、背景場の B 場ゲージ変換とヘテロティック超重力理論の非 Abelian ゲージ変換、さらに一般座標変換および局所ローレンツ変換を正しく再現することがわかった。
- (11) 余次元 2 のブレーンのモノドロミーと幾何学
佐々木・木村・塩沢は、type II およびヘテロティック弦理論における、余次元 2 のブレーン背景幾何学をモノドロミーによって分類した。このモノドロミーは時空計量、NSNS B 場、およびゲージ場のゲージ変換、一般座標変換、変換として表現できる。このモノドロミーの性質は T 双対変換によってお互いに移り変わり、各種ブレーンの特徴を表す。我々は DFT の倍化空間を使うことで、このモノドロミーの性質が時空の曲率や複素構造のような幾何学的量にも現れることを示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 Ikeda Noriaki, Sasaki Shin	4. 巻 396
2. 論文標題 Integration of Double Field Theory Algebroids and Pre-rackoid in Doubled Geometry	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Springer Proceedings in Mathematics & Statistics	6. 最初と最後の頁 471 ~ 476
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-19-4751-3_44	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 Mori Haruka, Sasaki Shin, Shiozawa Kenta	4. 巻 396
2. 論文標題 Doubled Aspects of Algebroids and Gauge Symmetry in Double Field Theory	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Springer Proceedings in Mathematics & Statistics	6. 最初と最後の頁 477 ~ 483
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-19-4751-3_45	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 Hatsuda Machiko, Mori Haruka, Sasaki Shin, Yata Masaya	4. 巻 2023
2. 論文標題 Gauged double field theory, current algebras and heterotic sigma models	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP05(2023)220	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 Kimura Tetsuji, Sasaki Shin, Shiozawa Kenta	4. 巻 849
2. 論文標題 On geometries and monodromies for branes of codimension two	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 138425 ~ 138425
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2023.138425	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 Mori Haruka, Sasaki Shin	4. 巻 2667
2. 論文標題 Tripled Structures of Algebroids in Gauged Double Field Theory	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012015 ~ 012015
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2667/1/012015	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 Kimura Tetsuji, Sasaki Shin, Shiozawa Kenta	4. 巻 2667
2. 論文標題 Complex Structures, T-duality and Worldsheet Instantons in Born Sigma Models	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012066 ~ 012066
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2667/1/012066	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 Kimura Tetsuji, Sasaki Shin, Shiozawa Kenta	4. 巻 2667
2. 論文標題 T-duality relations between hyperkahler and bi-hypercomplex structures	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012012 ~ 012012
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2667/1/012012	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 Kimura Tetsuji, Sasaki Shin, Shiozawa Kenta	4. 巻 981
2. 論文標題 Hyperkahler, bi-hypercomplex, generalized hyperkahler structures and T-duality	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nuclear Physics B	6. 最初と最後の頁 115873 ~ 115873
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nuclphysb.2022.115873	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 Kimura Tetsuji, Sasaki Shin, Shiozawa Kenta	4. 巻 2022
2. 論文標題 Complex structures, T-duality and worldsheet instantons in Born 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 1~39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP06(2022)119	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 Inoue Atsuki, Sasaki Shin	4. 巻 82
2. 論文標題 Vacua by derivative corrections in N=1 supergravity with matter multiplets	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 1~6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-022-11137-8	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 Kimura Tetsuji, Sasaki Shin, Shiozawa Kenta	4. 巻 2021
2. 論文標題 Localized Kaluza-Klein 6-brane	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 1-25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP10(2021)113	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 Hatsuda Machiko, Sasaki Shin, Yata Masaya	4. 巻 2021
2. 論文標題 Five-brane current algebras in type II string theories	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 1-29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP03(2021)298	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 Nitta Muneto, Sasaki Shin	4. 巻 103
2. 論文標題 Higher derivative supersymmetric nonlinear sigma models on Hermitian symmetric spaces and BPS states therein	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 1-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.103.025001	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 Shiozawa Kenta, Sasaki Shin	4. 巻 2021
2. 論文標題 World-volume effective theories of locally non-geometric branes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 1-41
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP01(2021)013	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 Mori Haruka, Sasaki Shin	4. 巻 61
2. 論文標題 More on doubled aspects of algebroids in double field theory	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Mathematical Physics	6. 最初と最後の頁 123504 ~ 123504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0024418	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 Ikeda Noriaki, Sasaki Shin	4. 巻 62
2. 論文標題 Global aspects of doubled geometry and pre-rackoid	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Mathematical Physics	6. 最初と最後の頁 032306 ~ 032306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0020127	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26件(うち招待講演 1件/うち国際学会 11件)

1. 発表者名 初田真知子, 佐々木伸, 矢田雅哉
2. 発表標題 Heterotic DFTにおけるスピンコネクションとゲージ群の統一表現
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tetsuji Kimura, Shin Sasaki and Kenta Shiozawa
2. 発表標題 Born Sigma Models and Worldsheet Instantons in T-fold
3. 学会等名 International Seminar-Type Online Workshop on Topological Solitons (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 木村哲士, 佐々木伸, 塩沢健太
2. 発表標題 T-duality, complex structures and instantons
3. 学会等名 場の理論と弦理論の数理的側面(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Haruka Mori and Shin Sasaki
2. 発表標題 Doubled Structures of Algebroids in Gauged Double Field Theory
3. 学会等名 Noncommutative and Generalized Geometry in String theory, Gauge theory and Related Physical Models (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Haruka Mori and Shin Sasaki
2. 発表標題 Doubled Structures of Algebroids in Gauged Double Field Theory
3. 学会等名 Quantum Gravity, Strings and the Swampland (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐々木伸, 塩沢健太
2. 発表標題 複素構造のT双対性変換とT-fold上の世界面インスタントン
3. 学会等名 場の理論と弦理論2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tetsuji Kimura, Shin Sasaki and Kenta Shiozawa
2. 発表標題 Complex Structures, T-duality and Worldsheet Instantons in Born Sigma Models
3. 学会等名 The XII. International Symposium on Quantum Theory and Symmetries (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Haruka Mori, Shin Sasaki
2. 発表標題 Doubled Structures of Algebroids in Gauged Double Field Theory
3. 学会等名 The XII. International Symposium on Quantum Theory and Symmetries (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tetsuji Kimura, Shin Sasaki and Kenta Shiozawa
2. 発表標題 T-duality relations between hyperkahler and bi-hypercomplex structures
3. 学会等名 The XII. International Symposium on Quantum Theory and Symmetries (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tetsuji Kimura, Shin Sasaki and Kenta Shiozawa
2. 発表標題 Complex Structures, T-duality and Worldsheet Instantons in Born Sigma Models
3. 学会等名 ATCTP-CQJeST workshop Gravity beyond Riemannian Paradigm (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上敦貴, 佐々木伸
2. 発表標題 物質場が結合した4次元N=1超重力理論における高階微分補正と真空構造
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 初田真知子, 森遥, 佐々木伸, 矢田雅哉
2. 発表標題 Gauge group representation in Heterotic DFT
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Haruka Mori and Shin Sasaki
2. 発表標題 Doubled aspects of algebroids and gauge symmetry in double field theory
3. 学会等名 XIV. International Workshop LIE THEORY AND ITS APPLICATIONS (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Noriaki Ikeda and Shin Sasaki
2. 発表標題 Integration of DFT algebroids and pre-rackoid in doubled geometry
3. 学会等名 XIV. International Workshop LIE THEORY AND ITS APPLICATIONS IN PHYSICS (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 新田宗土、佐々木伸
2. 発表標題 Higher Derivative Supersymmetric Nonlinear Sigma Models on Hermitian Symmetric Spaces, and BPS States Therein
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村哲士、佐々木伸、塩沢健太
2. 発表標題 Doubled Geometry, Generalized Kahler Structures and Worldsheet Instantons in Born Sigma Model
3. 学会等名 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木村哲士、佐々木伸、塩沢健太
2. 発表標題 Localized Kaluza-Klein 6-brane
3. 学会等名 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 初田真知子、森遥、佐々木伸、矢田雅哉
2. 発表標題 Heterotic DFTにおけるカレント代数の導出
3. 学会等名 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森遥、佐々木伸
2. 発表標題 GDFTに基づく heterotic gauged supergravityの α' 補正
3. 学会等名 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森遥、佐々木伸
2. 発表標題 DFT algebroidにおけるPoissonおよびdouble構造
3. 学会等名 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池田憲明、佐々木伸
2. 発表標題 Global Aspects of Doubled Geometry and Pre-rackoid
3. 学会等名 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 初田真知子、佐々木伸、矢田雅哉
2. 発表標題 双対関係を利用したII型超弦理論における5-ブレーンカレント代数の構築
3. 学会等名 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shin Sasaki, Kenta Shiozawa
2. 発表標題 World-volume Effective Theories of Locally Non-geometric Branes
3. 学会等名 YITP workshop Strings and Fields 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Noriaki Ikeda, Shin Sasaki
2. 発表標題 Geometry of double field theory and (pre-)rackoid
3. 学会等名 YITP workshop Strings and Fields 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 新田宗土、佐々木伸
2. 発表標題 超対称CPnおよびSkyrme-Faddeev模型と高階微分ゲージ理論
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐々木伸、塩沢健太
2. 発表標題 Locally non-geometric braneの世界体積有効理論の構築
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2020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 分担者	木村 哲士 (Kimura Tetsuji) (20447882)	大阪電気通信大学・共通教育機構・特任准教授 (34412)	

	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	塩沢 健太 (Shiozawa Kenta)		
研究 協力者	森 遥 (Mori Haruka)		

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
---------	---------