

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 4 月 13 日現在

機関番号：32607

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14294

研究課題名(和文) ミクロな領域で有効である新規な重力理論によるプランクスケール時空構造の究明

研究課題名(英文) Study of Planck scale space-times via an effective gravity theory in the microscopic regime

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) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)： 統合的な量子重力理論の一つとして、超弦理論が知られている。本研究の目的は、超弦理論に基づく新規な重力理論「Double Field Theory (DFT)」を用いて、プランクスケールでの時空構造を、弦理論のT双対性を通して調査することである。本研究では、(1) ヘテロティック弦理論における非幾何構造の解析、(2) 弦の巻きつき補正を含むDFT古典解の構成と世界面インスタントンの関係、(3) 世界面インスタントン計算に必要なゲージ化線形シグマ模型の構築、(4) DFTにおけるdoubled geometryに現れる亜代数構造の解析、に関して研究を行い、論文を発表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

万物をプランク長程度の弦で説明する超弦理論では時空間を有限長の弦でプローブする。そのため、超弦理論では、アインシュタインの相対性理論とは異なった観点から時空間を扱っている。そのもっとも顕著な例が弦の「巻きつき(winding)」に由来する、従来の時空構造の修正である。本研究では超弦理論に立脚する新しい重力理論「Double Field Theory (DFT)」を具体的に解くことで、時空間への弦の「巻きつき」による効果を調査した。この結果により、超弦理論に特有の時空構造の一旦が明らかになり、従来のアインシュタイン理論では扱えない、プランクスケールの時空描像の理解が進んだ。

研究成果の概要(英文)： It is widely believed that the most promising candidate of consistent quantum gravity is string theory. In string theory, space-time is probed by a string with finite length. The nature of space-time is, therefore, expected to be quite different from that of Einstein's general relativity.

The purpose of this proposal is to study a characteristic nature of string space-time geometry via the recently formulated double field theory (DFT). The followings are the results in this proposal. (1) We have found five-brane geometries in heterotic theories that inherit the effects of winding strings in compact space-times. (2) We have found new classical solutions to DFT that encompass string winding effects. The winding corrections to space-times are interpreted as worldsheet instanton effects. (3) We have constructed new gauged linear sigma models which is necessary to calculate the worldsheet instantons. (4) We have studied a nature of algebroids that appear in the doubled geometry of DFT.

研究分野：超弦理論

キーワード：Double Field Theory 超弦理論 Worldsheet instantons Algebroid

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

整合的な量子重力理論の候補として超弦理論が知られている。巨視的な時空間を支配するアインシュタインの一般相対性理論とは異なり、超弦理論では有限長の弦をプローブとして時空間を探る。弦理論に存在する多くの時空間構造は、弦の長さを無視する点粒子極限(超重力近似)で調べられてきた。一方、1990年代から2000年代前半にかけて、フラックスコンパクト化の観点から、超弦理論には超重力理論近似だけでは説明のつかない非幾何的(non-geometric)構造が現れることがわかってきた。このような構造は、有限長である弦の巻きつき(winding)に由来する対称性(T 双対性とよばれる)が起因であることが知られている。

研究代表者と共同研究者は、弦の世界面理論としてゲージ化線形シグマ模型を考え、その量子効果(インスタントン効果)が時空間の非幾何的構造を引き起こすことを示した。これより、非幾何的構造は、アインシュタインの古典的時空間への弦理論補正として考えることができる。

弦の巻きつきに由来する非幾何的構造は、アインシュタイン理論では説明できない。超弦理論に特有の時空間構造を探るため、T 双対性を理論の対称性として持つ重力理論が必要である。2009年、Hull および Zwiebach は、弦の重心位置 $x$ と共に、弦の巻きつき運動量のフーリエ双対である $\tilde{x}$ 座標を考え、 $(x, \tilde{x})$ で張られる幾何構造を考案した。これを doubled geometry と呼ぶ。T 双対性は doubled geometry の対称性として表現される。この doubled geometry 上で定義された T 双対性を明白に保つ重力理論を「Double Field Theory (DFT)」と呼ぶ。DFT は 2009年に考案されたあと、2010年代中頃にかけてその理論的整備が進み、様々な物理的応用が議論されるようになった。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、従来のアインシュタインの重力理論には現れない、弦理論に特有の時空間、特に非幾何構造を理論的に調査し、ミクロスケールでの時空間構造の一端を解明することである。特に、以下の4つの項目を重点的に調査する。

- (1) 非幾何学的時空間構造に関する多くの先行研究が、理論的に比較的単純である type II 理論をベースとしている。整合的な5つの超弦理論はU 双対性を通じて物理的に等価であるため、ヘテロティック理論や、type I 理論にも非幾何学的構造が存在するはずだが、その構造は明らかではない。本研究ではヘテロティック理論および、type I 理論の非幾何構造を調べることで、超弦理論全体における弦の巻きつき効果の全容を明らかにする。
- (2) 弦の巻きつき効果を含んだ非幾何的構造は、原理上アインシュタイン理論では解析できない。本研究では、超弦理論に基づく新規な重力理論「Double Field Theory (DFT)」を用いることで、弦の巻きつき効果を内包した種々の非幾何的解を構成し、その物理的性質を調べる。
- (3) DFT は弦の巻きつきに由来する多数の非幾何構造をその解として含んでいると思われる。本研究では、弦の世界面理論の観点から、このようなDFT 解が一般相対性理論に現れる時空間解とどのように関係するのかを調査する。
- (4) 従来の重力理論であるアインシュタインの一般相対性理論では、リーマン幾何学を拠り所にして重力を空間構造として理解した。本研究では弦理論に現れる非幾何構造の背後にある「幾何学」を、主に数学的観点から調査し、DFT の doubled geometry の幾何構造を明らかにする。

### 3. 研究の方法

- (1) ヘテロティック弦理論の非幾何構造を調べるため、まず、ヘテロティック超重力理論における古典解の T 双対軌道を調査した。ヘテロティック超重力理論は閉弦および開弦のセクターから成り、 $\alpha'$ 補正を含む。そのため、T 双対変換自身も補正を受ける。本研究では研究代表者等による先行研究を土台にし、 $\alpha'$ 補正を受けた T 双対変換公式を用いることで、ヘテロティック5 ブレーンの T 双対軌道を書き下し、ここにどのような非幾何構造が現れるかを調べる。
- (2) 超重力理論では大局的非幾何的構造(globally non-geometric object)は扱うことができるが、局所的非幾何構造(locally non-geometric object)は扱えない。このような非幾何構造を扱うためには、本質的に弦の巻きつき自由度を含んだ DFT が必要になる。本研究では、まず DFT の古典解として扱いやすい5 ブレーン解を構成し、その具体的な性質を調査する。
- (3) DFT に現れる非幾何構造は、弦の世界面理論から見ると、ある種の量子効果を表していると思われる。本研究では、まず5 ブレーンを標的空間とする弦のシグマ模型を再現するゲージ化線形シグマ模型(gauged linear sigma model)を構成し、そのゲージ理論インスタントン効果を調べることで、標的空間への弦の巻きつきの効果を調べる。
- (4) 先行研究により、DFT の doubled geometry として2D次元の para-Hermitian 多様体が知られている。DFT のゲージ対称性の代数構造として Jacobi 恒等式を満たさない Courant 括弧により支配される Courant 亜代数(algebroid)が知られている。本研究では Courant 亜代数および、その拡張である Vaisman により考案された metric 亜代数が para-Hermitian 多様体上でどのように実現されるか調査し、その構成法を調べる。

#### 4. 研究成果

本研究では、(1) ヘテロティック弦理論における gauge type 5-brane 幾何学の構成、(2) 弦の巻きつき補正を含む DFT 古典解の構成と世界面インスタントンの関係、(3) 世界面インスタントン計算に必要なゲージ化線形シグマ模型の構築、(4) DFT における doubled geometry に現れる亜代数構造の解析、に関して研究を行い、論文を発表した。以下、各項目の詳細を記載する。

- (1) Type II 理論とは異なり、ヘテロティック弦理論における 5-brane 解は、開弦の寄与により、(i) Symmetric type, (ii) Neutral type, (iii) Gauge type に分類される。申請者等の先行研究[Sasaki-Yata, JHEP11(2016)064]により、(i)および(ii)のタイプは弦理論の $\alpha'$ 補正を取り入れた T 双対変換によって、T-fold と呼ばれる非幾何的構造を許容することがわかった。一方、(iii)に関して、解を支配する調和関数に smearing と呼ばれる手順を施して作った解は dilaton 場が時空のある領域で複素になり、ill-defined であった。本研究では、開弦セクターである non-Abelian ゲージ場の BPS 条件から codimension 2 の自己双対方程式を抽出し、系統的解構成法である Nahm 構成法を用いて smearing を用いない解の再構成を試みた。開弦(ゲージ場)セクターは Ward の monopole chain と呼ばれる構造で与えられることがわかり、このゲージ場の解を用いることで、閉弦(重力)セクターの dilaton 場は実数となり、well-defined な解となることが示された。このようにして得られた geometry は幾何的となり、モノドロミーは自明であることが明らかになった。
- (2) R-brane など、局所非幾何的オブジェクト(locally non-geometric object)は NS5-brane 等、超重力理論のよく知られた解から isometry なしの形式的 T 双対変換により得られることがわかっている。DFT は形式的 T 双対性を理論の対称性として含む。我々は、type II 理論における NS5-brane を起点とする T 双対変換軌道に注目し、DFT の運動方程式を直接解くことで、codimension 1,2,3,4 の NS5, KK5, 5(22), 5(23), 5(24)-brane 解を導出した。このうち、codimension 2 の NS5, KK5, 5(22)解は超重力理論の解としても成立しているが、5(23)解は R-brane として局所非幾何的である。さらに、5(24)-brane は smear することで space-time filling brane へと還元する解である。NS5 を除く超重力理論解も、一般に codimension 4 のものは調和関数が双対座標 $\tilde{x}$ に依存せざるを得ず、局所非幾何的性質を示す。我々はまた、これら局所非幾何的性質を示す解の調和関数を Poisson 再和で書き直すことで“インスタントン部分”を抜き出した。特に、5(22)-brane 解へのインスタントン補正は、torus の独立な cycle に巻きつく基本弦から現れることを示した。これは研究代表者等の先行研究[Kimura-Sasaki, JHEP08(2013)126]と整合的であり、[Okuyama, JHEP08(2005)089]で議論された disk instanton の拡張となっている。さらに、このインスタントンがある種のゲージ化線形シグマ模型(gauged linear sigma model, GLSM)より現れることを示した。
- (3) 上記(2)で議論されたインスタントン補正は、弦の世界面理論の観点から見ると、世界面 $S^2$ から時空の 2-cycle  $S^2$ への写像、すなわち、世界面インスタントンとして理解できる。特定の時空を標的空間とする世界面理論(非線形シグマ模型, NLSM)のインスタントン効果は、ゲージ場を含む GLSM のゲージインスタントンとして記述できる。本研究では、(2)で議論された解のうち、codimension 2 のもの、具体的には $U(1)^2$  isometry を持つ NS5, KK5, 5(22)-brane 解を標的空間とする NLSM を IR 極限に持つ GLSM を構成した。この理論は NS5, KK5, 5(22)-brane をある意味 T 双対共変に含み(semi-doubled と呼ぶ)、共変的な IR NLSM を再現する。また、8 SUSY のうち、4 SUSY 部分だけを明白に保つ。本研究では、この GLSM を用いて、codimension 2 の 5(22)-brane へのインスタントン補正を議論した。上記(2)で議論した disk instanton の拡張が適用可能であるパラメータ領域にて、GLSM の BPS 条件を書き下した。これは 2 次元の $U(1) \times U(1)$  Abelian-Higgs 模型の vortex 方程式として理解できる。この解は 2 つの整数パラメータで分類され、5(22)-brane の $U(1)^2$  isometry を破ることが明らかになった。また、ここで得られる整数で分類されるインスタントン部分は、上記(2)で Poisson 再和により書き直した DFT 解と一致することを示した。
- (4) DFT は時空計量の一般座標変換および NSNS B 場のゲージ変換に由来するゲージ対称性を持つ。このゲージ対称性を支配する代数は Lie 代数とは異なり、Jacobi 恒等式を満たさない C 括弧構造で記述される。一方、DFT の理論構成に必要な 2D 次元空間は $(x, \tilde{x})$ の座標構造を許容する para-Hermitian 多様体で構成することができる。Vaisman の議論[J.Math.Phys.53(2012)033509]によると、para-Hermitian 多様体の接束には C 括弧を伴う代数構造として metric (Vaisman) algebroid が自然に誘起される。この構造は pre-DFT algebroid として[Chatzistavrakidis-Jonke-Khoo-Szabo, JHEP07(2018)015]で議論されていたものと同じである。我々は C 括弧により定義される Vaisman (pre-DFT) algebroid が 2 つの Lie algebroid の直和構造から構成されることを示し、DFT の物理的条件である strong constraint が、2 つの Lie algebroid の整合性条件に他ならないことを証明した。この条件下で、上記の構成法は Liu-Weinstein-Xu による Drinfeld double による Courant algebroid の構成[J.Differential Geom.45(1997)547]に落ち着き、物理的条件下では C 括弧は Courant 括弧と一致することが示された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Mori Haruka, Sasaki Shin, Shiozawa Kenta	4. 巻 61
2. 論文標題 Doubled aspects of Vaisman algebroid and gauge symmetry 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 013505 ~ 013505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5108783	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 Sven Bjarke Gudnason, Muneto Nitta, Shin Sasaki, Ryo Yokokura	4. 巻 99
2. 論文標題 Supersymmetry breaking and ghost Goldstino in modulated vacua	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.99.045012	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 Sven Bjarke Gudnason, Muneto Nitta, Shin Sasaki, Ryo Yokokura	4. 巻 99
2. 論文標題 Temporally, spatially, or lightlike modulated vacua in Lorentz invariant theories	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 1-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.99.045011	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 Tetsuji Kimura, Shin Sasaki, Kenta Shiozawa	4. 巻 12
2. 論文標題 Semi-doubled gauged linear sigma model for five-branes of codimension two	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 095 (1-49)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP12(2018)095	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 Tetsuji Kimura, Shin Sasaki, Kenta Shiozawa	4. 巻 7
2. 論文標題 Worldsheet instanton corrections to five-branes and waves in double field theory	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 001 (1-35)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP07(2018)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 -

1. 著者名 Sasaki Shin, Yata Masaya	4. 巻 10
2. 論文標題 Gauge five-brane solutions of co-dimension two in heterotic supergravity	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 214 (1-24)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP10(2017)214	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, Yokokura Ryo	4. 巻 96
2. 論文標題 Supersymmetry breaking in spatially modulated vacua	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 105022 (1-13)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.96.105022	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 Nitta Muneto, Sasaki Shin, Yokokura Ryo	4. 巻 78
2. 論文標題 Spatially modulated vacua in a Lorentz-invariant scalar field theory	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 754 (1-10)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-018-6235-9	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 -

[学会発表] 計22件(うち招待講演 6件/うち国際学会 12件)

1. 発表者名 Tetsuji Kimura, Shin Sasaki, Kenta Shiozawa
2. 発表標題 Worldsheet Instanton Corrections to Five-branes and Waves in Double Field Theory
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 Shin Sasaki
2. 発表標題 Groupoids, Algebroids and Drinfel'd Double in DFT Geometry
3. 学会等名 Holography, String Theory, and Discrete Approaches in Danang (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shin Sasaki
2. 発表標題 Groupoids, Algebroids and Drinfel'd Double in Double Field Theory
3. 学会等名 Poisson geometry and related topics -- Poisson幾何とその周辺 -- (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Haruka Mori, Shin Sasaki, Kenta Shiozawa
2. 発表標題 Doubled Aspects of Vaisman Algebroid and Gauge Symmetry in Double Field Theory
3. 学会等名 YITP workshop Strings and Fields 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Haruka Mori, Shin Sasaki, Kenta Shiozawa
2. 発表標題 Para-Hermitian Geometry and Doubled Aspects of Vaisman Algebroid
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 Haruka Mori, Shin Sasaki, Kenta Shiozawa
2. 発表標題 Vaisman algebroid and doubled structure of gauge symmetry in double field theory
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 Testuji Kimura, Shin Sasaki, Kenta Shiozawa
2. 発表標題 Worldsheet Instanton Corrections to Five-branes and Waves in Double Field Theory
3. 学会等名 OIST workshop Quantum and Gravity in Okinawa 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Haruka Mori, Shin Sasaki, Kenta Shiozawa
2. 発表標題 Space-time foliations, doubled aspects of Vaisman algebroid and gauge symmetry in double field theory
3. 学会等名 OIST workshop Quantum and Gravity in Okinawa 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Haruka Mori, Shin Sasaki, Kenta Shiozawa
2. 発表標題 Doubled Aspects of Vaisman Algebroid in Para-Hermitian Geometry
3. 学会等名 大阪府立大ワークショップ Recent Developments in Mathematical Physics (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Haruka Mori, Shin Sasaki, Kenta Shiozawa
2. 発表標題 Manin Triples for Lie Algebroid Pairs
3. 学会等名 大阪府立大ワークショップ Recent Developments in Mathematical Physics (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shin Sasaki, Kenta Shiozawa
2. 発表標題 Worldvolume Theory of Winding Corrected Five-branes in Double Field Theory
3. 学会等名 A topical conference on elementary particles, astrophysics, and cosmology with special sessions on machine learning and quantum computing (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Gudnason Sven Bjarke, 新田宗土, 佐々木伸, 横倉諒
2. 発表標題 Temporally, Spatially or Light-like Modulated Vacua in Lorentz Invariant Theories
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 森遥, 佐々木伸, 塩沢健太
2. 発表標題 Doubled aspects of metric algebroid and gauge symmetry in double field theory
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森遥, 佐々木伸, 塩沢健太
2. 発表標題 Double Field Theoryにおけるゲージ対称性とLie垂代数対によるVaisman垂代数の構成
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuji Kimura, Shin Sasaki, Kenta Shiozawa
2. 発表標題 String Instanton Corrections to Five-brane Geometries
3. 学会等名 International Conference on Holography, String Theory and Discrete Approaches in Hanoi (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tetsuji Kimura, Shin Sasaki, Kenta Shiozawa
2. 発表標題 Worldsheet Instanton Corrections to Five-branes and Waves in Double Field Theory
3. 学会等名 Strings and Fields 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tetsuji Kimura, Shin Sasaki, Kenta Shiozawa
2. 発表標題 Worldsheet instanton corrections to five-branes and waves in double field theory
3. 学会等名 String Math 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tetsuji Kimura, Shin Sasaki, Kenta Shiozawa
2. 発表標題 Worldsheet instanton corrections to five-branes and waves in double field theory
3. 学会等名 Workshop on solitons, gauge fields and the duality: Methods and Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Muneto Nitta, Shin Sasaki, Ryo Yokokura
2. 発表標題 Spatially Modulated (Meta-stable) Vacua in Supersymmetric Theories
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 Shin Sasaki, Masaya Yata
2. 発表標題 Exotic Five-branes of Codimension Two in Heterotic Supergravity
3. 学会等名 東京工業大学素粒子理論研究室セミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shin Sasaki, Kenta Shiozawa
2. 発表標題 Winding Localization of 5-brane solutions in Double Field Theory
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shin Sasaki, Masaya Yata
2. 発表標題 T-duality chains of five-branes in Heterotic Supergravity
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<a href="https://www.kitasato-u.ac.jp/sci/resea/buturi/hisenkei/sasaki/works.html">https://www.kitasato-u.ac.jp/sci/resea/buturi/hisenkei/sasaki/works.html</a>
---

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	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)	

## 6. 研究組織（つづき）

	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	矢田 雅哉  (Yata Masaya)	順天堂大学・医学部一般教育研究室（物理学）・助教  (32620)	