

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2012

課題番号：20540247

研究課題名（和文） D-ブレーンと閉じた弦の場の理論

研究課題名（英文） D-branes and closed string field theory

研究代表者

石橋 延幸 (ISHIBASHI NOBUYUKI)

筑波大学・数理物質系・教授

研究者番号：70211729

研究成果の概要（和文）：超弦理論の非摂動的な定式化を与える弦の場の理論について以下のような研究を行った。

1. 光円錐ゲージの超弦の場の理論の場合に、コンタクト項の問題に対処するため、次元正則化の方法を提案した。この方法により正しく tree 振幅を計算できることを示した。
2. Witten 型の超弦の場の理論についても次元正則化の方法が使えることを示した。
3. Witten 型の開弦の場の理論の古典解に対して、エネルギーが gauge invariant observable の一種として書けることを示した。

研究成果の概要（英文）：I have done research on string field theory which gives a nonperturbative definition of string theory. The specific topic includes

1. We have proposed the dimensional regularization method to deal with the contact term problem of light-cone gauge superstring field theory. We have shown that the string field theory can reproduce the tree amplitudes correctly.
2. We have shown that the dimensional regularization can be considered for Witten type string field theory.
3. We have shown that the energy for classical solutions in Witten's open string field theory can be written in terms of a gauge invariant observable.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	700,000	210,000	910,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：素粒子理論

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：超弦理論、弦の場の理論、D-ブレーン

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 超弦理論は重力を含む統一理論の最も有望な候補であるが、この理論を用いて素粒子のモデルを作るためにはこの理論の非摂動的な性質を研究することが必要である。

(2) 弦の場の理論は弦理論の非摂動的定式化のひとつである。弦の場の理論では、弦の理論が非常に簡単な作用から出発して記述することが出来、定量的にも最も信頼できる

ものであると考えられる。

(3) しかし、弦の場の理論には一般的にコンタクトタームの問題と呼ばれる問題があり、これまで超弦の場の理論は使い物にならないと考えられてきた。コンタクト項の問題とは、超弦の場の理論の相互作用項に世界面上の超対称カレントが存在するために、摂動計算をすると tree 振幅でさえ発散してしまうという問題である。このため、弦の場の理論を定義するためにはこの発散を正則化しなければならないのであるが、一般にこの正則化によって、弦の場の理論の作用に非常に複雑なカウンタータームをつけなければ第一量子化で得られている結果を再現できなくなる。つまり、元の作用が単純な形であっても、実際には複雑なカウンタータームのついた作用を扱う必要があり、とても使い物にならないというわけである。

(4) Witten 型の弦の場の理論については、modified cubic 作用や Berkovits による作用など、作用の形を変えることによってコンタクト項の問題に対応できることが知られていた、しかし、light-cone 型の弦の場の理論については対処法が知られていなかった。

## 2. 研究の目的

(1) この研究では弦の場の理論を用いてこの理論のソリトン解である D-ブレーンを記述することを目指す。

(2) (1) の目的のために、上記の弦の場の理論のコンタクトタームの問題を解決する。

## 3. 研究の方法

(1) 通常の場合の理論で用いられる次元正則化の方法を光円錐ゲージの弦の場の理論に適用し、コンタクト項の問題を解決する。

(2) 次元正則化の方法を Witten 型の弦の場の理論に拡張する。

(3) その他、弦の場の理論に関する基本的な問題を研究する。

## 4. 研究成果

(1) 光円錐ゲージの弦の場の理論における次元正則化:次元正則化では時空の次元をずらしてしまうため、一見、超弦理論のような時空の次元について制限がある理論には適用できないように見える。しかし、光円錐ゲージの理論はゲージを固定した理論であるため、時空の次元を臨界次元からずらした理論はローレンツ対称性がないこと

を除けば何の問題もなく定義できる。我々はまず、時空の次元をずらすことによって、tree振幅の発散が正則化できることを示した。

発散が正則化されても、次元を本来の次元に解析接続する際に振幅に発散が現れると、これを相殺するためにカウンタータームを作用につけてやる必要が出てくる。正則化がゲージ対称性等の対称性を保っていると、カウンタータームの形が制限される。我々は、まず光円錐ゲージにおける次元正則化は高い対称性を保っており、少なくとも(NS, NS)セクターの tree 振幅を計算する際には、作用にカウンタータームをつけなくても欲しい結果をもたらすことを示した。

次に、これらの結果を外線が R セクターを含む場合について拡張した。R セクターを扱うためには克服すべきいくつかの問題がある。まず、R セクターは世界面上のスピン場に対応しているため、我々が提案している次元正則化に対応する世界面上の理論におけるスピン場を定義する必要がある。また、通常の次元正則化を超弦の場合に適用すると、フェルミオンを含まない理論になるという問題もある。これらの問題を解決し、我々の方法により tree 振幅はカウンターターム無しに第一量子化の結果を再現することが出来ることを示した。

(2) Witten 型の弦の場の理論における次元正則化:我々は次元正則化の方法が、Witten 型の弦の場の理論に適用できることを示した。Witten 型の弦の場の理論の場合、quadratic differential と呼ばれる自由度を世界面上の場として導入することにより、ゲージ不変性を保った次元正則化を実現することが出来る。

(3) Witten 型の開弦の場の理論の古典解の観測量の間の関係:Witten 型の開弦の場の理論については、近年の研究によって様々な非自明な古典解が作られている。これらの古典解の物理的性質を探るには、エネルギーと gauge invariant observable と呼ばれる観測量を計算することが一般的である。我々は、この2種類の観測量の間の関係を研究し、エネルギーはある gauge invariant observable と一致するというを示した。一般にエネルギーの計算は gauge invariant observable の計算に比べて格段に難しいので、この結果は様々な古典解の解析をする際に非常に有用な結果である。また、我々はこの結果を様々な古典解に応用した。BMT 解と呼ばれる解については、我々の結果を用いればエネルギーが lump 解のそれと一致することを示すことができる。また、Murata-Schnabl 解と呼ば

れる解については、我々の結果を用いて、gauge invariant observable の計算の際に用いられた正則化の方法を用いてエネルギーを計算することができる。これらの計算はそれぞれの解の物理的性質を理解するのに役立つ。

(4) 弦の場の理論を用いた D-ブレーンの記述：これまでの研究で、 $Osp$  不変なボゾン弦の場の理論を用いて D-ブレーンに対応すると考えられる状態が得られていた。我々はこの状態を用いて開弦の 1 ループ振幅にあたる量を計算し、この量が通常の方法で計算された結果と一致することを見た。これはわれわれの構築した状態が D-ブレーンに対応しているという更なる証拠を与える。

また、D-ブレーンの著しい性質として、複数枚の D-ブレーンが存在する場合、D-ブレーン上の場は行列になることが知られている。我々は、我々の構築した D-ブレーン状態においてこの行列の自由度がどのように現れるかを示した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 11 件)

つくばリポジトリ

<https://www.tulips.tsukuba.ac.jp/dspace>

にて公開

- ① Takayuki Baba, Nobuyuki Ishibashi, Energy from the gauge invariant observables, JHEP, 査読有, 1204, 2013, 50  
DOI: [10.1007/JHEP04\(2013\)050](https://doi.org/10.1007/JHEP04(2013)050)
- ② Nobuyuki Ishibashi, Koichi Murakami, Spacetime Fermions in Light-cone Gauge Superstring Field Theory and Dimensional Regularization, JHEP, 査読有, 1107, 2011, 90  
DOI: [10.1007/JHEP07\(2011\)090](https://doi.org/10.1007/JHEP07(2011)090)
- ③ Nobuyuki Ishibashi, Koichi Murakami, Light-cone Gauge String Field Theory and Dimensional Regularization, Progress of Theoretical Physics Supplement, 査読無, 188, 2011, 9-18  
DOI: [10.1143/PTPS.188.9](https://doi.org/10.1143/PTPS.188.9)
- ④ Nobuyuki Ishibashi and Koichi Murakami, “Light-cone Gauge NSR Strings in Noncritical Dimensions II – Ramond sector”, JHEP, 査読有, 1101, 2011 008  
DOI: [10.1007/JHEP01\(2011\)008](https://doi.org/10.1007/JHEP01(2011)008)
- ⑤ Yutaka Baba, Nobuyuki Ishibashi and Koichi Murakami, “Light-cone Gauge NSR Strings in Noncritical Dimensions”, JHEP, 査読有, 1001, 2010, 119  
DOI: [10.1007/JHEP01\(2010\)119](https://doi.org/10.1007/JHEP01(2010)119)

- ⑥ Yutaka Baba, Nobuyuki Ishibashi and Koichi Murakami, “Light-cone Gauge String Field Theory in Noncritical Dimensions”, JHEP, 査読有, 0912, 2009, 010  
DOI: [10.1088/1126-6708/2009/12/010](https://doi.org/10.1088/1126-6708/2009/12/010)
- ⑦ Yutaka Baba, Nobuyuki Ishibashi and Koichi Murakami, D-brane States and Annulus Amplitudes in  $Osp$  Invariant Closed String Field Theory, JHEP, 査読有, 0807, 2008, 046  
DOI: [10.1088/1126-6708/2008/07/046](https://doi.org/10.1088/1126-6708/2008/07/046)
- ⑧ Nobuyuki Ishibashi, Yutaka Baba and Koichi Murakami, D-branes and Closed String Field Theory, International Journal of Physics, 査読有, A23, 2008, 2220-2228  
DOI: [10.1142/S0217751X0804086X](https://doi.org/10.1142/S0217751X0804086X)

[学会発表] (計 5 件)

- ① Nobuyuki Ishibashi, Energy from the gauge invariant observables, String Field Theory and Related Topics V, SFT2012, 2012 年 10 月 31 日, The Israel Institute for Advanced Studies, Hebrew University of Jerusalem, (イスラエル)
- ② Nobuyuki Ishibashi, Dimensional regularization of Witten’s OSFT, String Field Theory 2011, 2011 年 9 月 20 日, プラハ (チェコ共和国)
- ③ Nobuyuki Ishibashi, “Light-cone Gauge Superstring Field Theory and Dimensional Regularization”, String field theory and related aspects at Kyoto Yukawa Institute, 2010 年 10 月 18 日, 京都
- ④ Nobuyuki Ishibashi, “Light-cone Gauge String Field Theory in Noncritical Dimensions”, APCTP Focus Program on Current Trends in String Field Theory at APCTP, 2009 年 12 月 7 日, ソウル (大韓民国)

[図書] (計 1 件)

- ① 石橋延幸、村上公一、サイエンス社、弦の場の理論、2012、174

[その他]

ホームページ等

<http://www.het.ph.tsukuba.ac.jp/~ishibashi/index.html>

- ## 6. 研究組織
- (1) 研究代表者

石橋 延幸 (ISHIBASHI NOBUYUKI)  
筑波大学・数理物質系・教授  
研究者番号：70211729