

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30日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008年～2012年

課題番号：20540253

研究課題名（和文）弦理論の非摂動的定式化を用いたDブレーンとブラックホールの解析

研究課題名（英文）Analysis of D-brane and Black hole by nonperturbative formulation of string theory

研究代表者 松尾 泰（Yutaka Matsuo）

東京大学・大学院理学系研究科・准教授

研究者番号：50202320

研究成果の概要（和文）：超弦理論の非摂動的な側面を研究するため、M理論に集中し、複数枚ブレーンが重なった場合の理論構築を行った。またM理論から導かれる重要な性質として4次元超対称ゲージ理論と2次元の重力理論との対応関係を確立した。

研究成果の概要（英文）：In order to clarify the nonperturbative properties of superstring theory, we focused on M theory, in particular, we construct the theory which describe multiple M-branes. We also established the correspondence between 4D super Yang-Mills theory and 2D gravity theory as an important consequence of M theory.

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：数物系科学

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、M理論、双対性、Dブレーン、超対称ゲージ理論、量子重力、ブラックホール

1. 研究開始当初の背景

M理論は、超弦理論の非摂動的な性質を記述するとされる理論体系であるが、いくつかの部分的结果は知られていたものの、ブレーンの定式化については2007年くらいまでめぼしい発展がなかった。

研究開始の直前、M理論の2次元のブレーンに関する著しい結果がイギリスの科学者たちを中心にして提案された。その研究は、研究課題として取り上げている弦理論の非摂動的定式化の理解に大きな進展を与えるものとなった。我々は以前より研究を行って

いた南部括弧式の研究を応用することにした。

2. 研究の目的

重力理論の量子化、特にブラックホールの近傍の強重力下における物理学や、強結合4次元ゲージ理論の性質を解明するためには、双対性と呼ばれる弦理論の非摂動的な性質の解明が必要である。

この研究ではM理論に含まれる2種類のブレーン（2次元と5次元）の定式化を行い、Dブレーン上に定義されるゲージ理論の非摂

動的な性質やブラックホールのエントロピー法則を導出することを主な目的とする。

3. 研究の方法

理論的な研究であるので、共同研究者達との議論を通じた問題意識の共有や、アイデアのねん出などが中心となる。そこから導かれるさまざまな理論構築に対して、数理的な解析を行い、双対性などの性質の厳密な数学的証明を与える。補助的にコンピューターの数式処理プログラムなどを用いて、予想される結果の検証なども並行して行う。

4. 研究成果

(1) M理論の2次元ブレーンの定式化

2007年に Bagger と Lambert により与えられた M理論の2次元ブレーンの定式化(BL 模型と呼ばれる)はそれまでの M理論の研究を大きく発展される契機となった。それまで、南部括弧式を用いた研究を行った私たちのグループは、その手法を BL 模型に適応し、さまざまな新しいモデルを発見することに成功した。特に Lorentz 型計量を持つ Lie 3 代数を用いたモデルは任意のゲージ群を M理論の2次元ブレーン上に導入することができた最初の例となり、大きな反響を得た。また、無限次元の南部括弧式を用いたモデルでは M理論の5次元のブレーンを2次元ブレーンから直接導くことを可能とした唯一のモデルであり、その後の世界的な研究の契機を与えることになった。

(2) エントロピー側の導出

我々は(1)で得られた結果をさらに精密化を行い M理論から導かれる双対性についていくつかの重要な帰結を導いた。まず、M理論の2次元ブレーンの持つエントロピー法則は、通常の行列のもつ自由度の2乗でスケールせず3/2乗でスケールすることが知られていたが、これは M理論の非摂動的な性質を持って顕著に表す性質の一つでありブラックホールの熱力学的な性質を表している。我々は南部括弧式の性質を調べることにより、ブレーンの枚数と内部自由度の対応関係が実際に3/2乗でふるまうことを簡単な解析を用いて導くことに成功した。

(3) 双対性の導出

またいろいろな次元のゲージ理論に現れる双対性の性質を M理論の2次元のブレーンを用いて系統的に導くことに成功した。双対性は強結合理論と弱結合理論の対応関係を表す S 双対性と、同じ理論の内部の双対性を表す T 双対性がある。M理論の観点からはこの二つの双対性は統合されて U 双対性と呼ばれ

るより大きな構造を持つ対応関係に拡張されることが予想されていたが、我々の研究によりその対応関係を明白に示すことができた。

(4) M理論の5次元ブレーンの定式化

2次元ブレーンの性質は我々の研究とそれに続いた研究により明らかになったが、5次元のブレーンの性質は明らかではなかった。我々のグループは5次元ブレーン上で定義される自己双対2形式場の定式化に挑んでいる。まず、5次元のブレーンを定義する空間の一方をコンパクト化し、コンパクト空間の場の性質を修正すると、相互作用を持つゲージ理論の定義が可能となることを示した。さらに、新しい数学的な概念である非可換 gerbe との関連を明らかにした。非可換 gerbe は物理的にみると位相的な理論や自由場にしか適用できないことが、我々の定式化はそれを一部修正して相互作用を行うゲージ対称な理論構築を行った最初の例となった。今のところ我々の手法では超対称性をうまく導入することができないので、現在はその部分を解明するべく研究を推進している。

(5) 4次元ゲージ理論と2次元重力の対応関係

5次元のブレーンに関連してはその空間次元のうち2方向をコンパクト化すると、4次元ゲージ理論の非摂動的な性質を導くことができると予想されていたが、具体的な対応関係としてゲージ理論の分配関数と2次元重力理論の相関関数が一致するという対応関係が注目を受けた。

我々のグループはこの対応関係を厳密に証明することを目指している。特に $W(1+\infty)$ 代数と呼ばれる無限次元対称性を用いた対応関係の証明を行った。この手法は理論のパラメータが自己双対な場合に限り適用できるものであった。

さらに我々は上記の対称性を非線形な対称性に拡張することに成功し、その対称性を用いて4次元理論と2次元量子重力の対応関係をより一般的なパラメータ領域に対して厳密に明らかにした。

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 17 件)

- ① Shoichi Kanno, Yutaka Matsuo, Hong Zhang, Virasoro constraint for Nekrasov instanton partition function, JHEP 1210 (2012) 097, DOI: 10.1007/JHEP10(2012)097

- ② Shoichi Kanno, Yutaka Matsuo, Shotaro Shiba, $W(1+\infty)$ algebra as a symmetry behind AGT relation, Phys. Rev. D84 (2011) 026007, DOI: 10.1103/PhysRevD.84.026007
- ③ Pei-Ming Ho, Kuo-Wei Huang, Yutaka Matsuo, A Non-Abelian Self-Dual Gauge Theory in 5+1 Dimensions, JHEP 1107 (2011) 021, DOI: 10.1007/JHEP07(2011)021
- ④ Shoichi Kanno, Yutaka Matsuo, Shotaro Shiba, Yuji Tachikawa, N=2 gauge theories and degenerate fields of Toda theory, Phys. Rev. D81 (2010) 046004, DOI: 10.1103/PhysRevD.81.046004
- ⑤ Pei-Ming Ho, Yutaka Matsuo, Shotaro Shiba, Lorentzian Lie (3-)algebra and toroidal compactification of M/string theory, JHEP 0903 (2009) 045, DOI: 10.1088/1126-6708/2009/03/045
- ⑥ Chong-Sun Chu, Pei-Ming Ho, Yutaka Matsuo, Shotaro Shiba, Truncated Nambu-Poisson Bracket and Entropy Formula for Multiple Membranes, JHEP 0808 (2008) 076, DOI: 10.1088/1126-6708/2008/08/076
- ⑦ Pei-Ming Ho, Yosuke Imamura, Yutaka Matsuo, Shotaro Shiba, M5-brane in three-form flux and multiple M2-branes, JHEP 0808 (2008) 014, DOI: 10.1088/1126-6708/2008/08/014
- ⑧ Pei-Ming Ho, Yosuke Imamura, Yutaka Matsuo, M2 to D2 revisited, JHEP 0807 (2008) 003, DOI: 10.1088/1126-6708/2008/07/003
- ⑨ Pei-Ming Ho, Yutaka Matsuo, M5 from M2, JHEP 0806 (2008) 105 DOI: 10.1088/1126-6708/2008/06/105

[学会発表] (計 7 件)

- ① Yutaka Matsuo, Mathematics and Applications of Branes in String and M-theor, 06 March, 2012, Cambridge University, "A Non-Abelian Self-Dual Gauge Theory in 5+1 Dimensions"
- ② Yutaka Matsuo, "Selberg integral and SU(N) AGT conjecture", November 30th, 2011, Invited by Prof. Chaiho Rim, Sogang University (Seoul)
- ③ Yutaka Matsuo, "A nonabelian self-dual gauge theory in 5+1

dimensions", February 17th, 2012, Tokyo-Yonsei Joint workshop, Yonsei University (Seoul)

- ④ Yutaka Matsuo, Perspectives in Deformation Quantization and Noncommutative Geometry 12 November, 2010, Kyoto University, Application of Nambu bracket to M-theory
- ⑤ Yutaka Matsuo, Quantum Theory and Symmetries 6, 21 July, 2009 Kentucky University, Lorentzian Lie 3-algebra and toroidal compactification of M theory
- ⑥ Yutaka Matsuo, JPS meeting, 22 September, 2008, Yamagata University, Nambu Bracket as a new gauge symmetry in M-theory
- ⑦ Yutaka Matsuo, Progress of String theory and Quantum field theory, 7, December, 2007, Osaka City University, Long open string and non-singlet sector in Matrix quantum mechanics

[その他]
ホームページ等

<http://www-hep.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~matsumo/>

- 6. 研究組織
- (1) 研究代表者
松尾 泰 (YUTAKA MATSUO)
東京大学・大学院理学系研究科・准教授
研究者番号：50202320
- (2) 研究分担者
()

研究者番号：

(3) 連携研究者
()

研究者番号：