

平成 23年 6月 16日現在

機関番号：13601
研究種目：若手研究 (B)
研究期間：2007~2010
課題番号：19740135
研究課題名 (和文) 超弦理論における時空の出現

研究課題名 (英文) Emergence of spacetime in superstring theory

研究代表者
奥山 和美 (OKUYAMA KAZUMI)
信州大学・理学部・助教
研究者番号：70447720

研究成果の概要 (和文) : 超弦理論における時空の出現を理解するために様々な角度から研究を行った。(1) $1/\cosh$ 型のポテンシャルがあるスカラー場と重力の系に対して、インスタントン解を構成した。(2) N 枚の M5 ブレーンが $T(2)\times K3$ に巻きついている場合に、BPS 状態の数え上げを重力側の BTZ ブラックホールの足し上げと解釈できることを示した。(3) $R(8)/Z(k)$ オービフォールド特異点を持つハイパーケーラー多様体を記述する線形シグマモデルを構成した。(4) コニフォールド上の位相的弦理論に現れる D ブレーンの波動関数に、 q 変形された振動子代数が作用することを発見した。(5) $N=4$ 超対称ゲージ理論の $1/2$ BPS ウィルソンループに双対な世界面を、 $AdS(5)$ の大域的な座標を用いて解析した。(6) 籐ゲージ理論の古典解として、ファジーな del Pezzo 曲面に巻きついた D ブレーンを構成した。

研究成果の概要 (英文): I have studied the emergence of spacetime in string theory from various viewpoints. (1) I constructed an instanton solution in a system of gravity coupled to a scalar field with the $1/\cosh$ type potential. (2) I showed that the BPS state counting on the N M5-branes wrapped on $T(2)\times K3$ can be interpreted as a sum over BTZ blackholes on the dual gravity side. (3) I constructed a linear sigma model for the hyperKähler manifold with $R(8)/Z(k)$ orbifold singularity. (4) I found that the q -deformed oscillators act on the wavefunction of D -branes in the topological string on conifold. (5) I analyzed the global AdS picture of the worldsheet which is dual to a $1/2$ BPS Wilson loop in $N=4$ super Yang-Mills. (6) I constructed D -branes wrapped on fuzzy del Pezzo surfaces as classical solutions in a quiver gauge theory.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	500,000	0	500,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
総計	2,000,000	450,000	245,000

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・超対称ゲージ理論

1. 研究開始当初の背景

超弦理論は重力を含む統一理論として最も有力な候補のひとつであるが、いまのところその非摂動的な定式化は得られておらず、未完成の理論である。特に、重力の量子論がどのように超弦理論で実現されているかは、閉弦のモードとして摂動的に重力子が含まれているという以上には基本的な原理が知られていなかった。しかし、90年代以降の超弦理論の発展において、開弦と閉弦の双対性に起源をもつホログラフィー原理が基本的な役割を果たすことが認識された。その中でも $AdS(5) \times S(5)$ 上の type IIB 理論と 4次元 $N=4$ 超対称ゲージ理論のあいだの AdS/CFT 対応は、ホログラフィー原理についての理解を進めるための有力な実験場として研究されてきた。私は、その中でも特に、超対称性を半分保つようなセクターの性質を行列模型によって調べることを行っており、そのような方向から超弦理論における時空の量子化への知見を得ることを目標として研究を進めてきた。

2. 研究の目的

上のような研究の背景のもとに、本研究では超弦理論における時空の出現(emergence)の機構を解明することが最大の目的である。特に、超弦理論において

どのように量子重力が実現されているか、また開弦と閉弦の双対性がどのように重力理論のホログラフィーと関係しているかを明らかにすることが、この研究の重要な目的である。また、超弦理論の世界面の理論は本質的に弦の結合定数が小さい場合にのみ有効な摂動展開による近似計算であり、弦の結合定数が小さくない場合の超弦理論および時空の性質は、素朴な時空描像から大きく変更されると考えられる。そのような弦の非摂動的な状況では、時空の座標が非可換になる場合があることが知られているが、一般の状況での弦の非摂動的な性質はあまりよくわかっていない。そこで、この研究では、超弦理論の非摂動的な定式化を目標にして、Dブレーンから見た時空の非可換性について研究する。また、そのような非可換な時空の構造から、素粒子の現象論的なパラメータ、特に湯川結合定数の階層性を導くことを目標にする。

3. 研究の方法

Dブレーンおよび AdS/CFT 対応の研究の発展に伴い、超弦理論においては時空は基本的なものではなく、長距離の物理を記述するのに有効な近似的な概念であるとの考え方が有力になってきた。これ

を検証するために、この研究では特に超弦理論の一部を記述するための行列模型と時空描像の関係を調べる。特に、AdS/CFT 対応における超対称性を保つセクターの演算子や、超対称性を保つ性質を持つウィルソンループは、行列模型を用いて厳密に調べることが可能であり、少なくともそのような対称性の高いセクターに限れば、ホログラフィーや超弦理論においてどのように重力が量子化されているかを詳細に調べることが可能になる。このような可解なセクターにおける性質から、超弦理論における量子的な重力の何らかの一般的な性質を抽出することを目指す。更に、Dブレーンの座標が行列で表されることから生じる非可換な時空の構造を利用して、超弦理論から素粒子現象論の重要な問題、例えば湯川結合の階層性を導くことを行う。

4. 研究成果

(1) 下記の論文①では、台湾精華大学の古内一之氏との共同研究で、非コンパクトなカラビ・ヤウ空間を走査する Dブレーンの上に現れる簾ゲージ理論の古典解として、非可換な del Pezzo 曲面と呼ばれる 4次元サイクルに巻きついたブレーンを構成した。これは F理論を用いた大統一理論における4次元サイクルに巻きついた7ブレーンの構成に応用が考えられる。F理論による GUT では、ブレーンの交差から湯川結合が生じるが、非可換なサイクルの交差を考えることにより、通常の可換な場合に知られている湯川結合の階層性を出す場合の困難 (No-go 定理) を回避することができる可能性がある。より一般には、非可換な余剰次元を用いて湯川結合の階層性を導くというモデルを考えることは現象論的にも非常に興味深い問題であり、我々のファジーな del Pezzo 曲面の構成はそのような方向への大きな一歩であると考えている。また、この古典解の構成法は数学的には Beilinson quiver と呼ばれるものであり、

数理解物理的な側面からも興味深いものである。

(2) 最近になって、 $N=4$ 超対称ゲージ理論の BPS ウィルソンループの期待値がガウス型行列模型で表されることが示され、BPS ウィルソンループへの関心が再び高まっている。下記の論文②では、ウィルソンループのホログラフィック双対である AdS 上の弦の世界面をグローバル座標を用いて再考した。弦の世界面はグローバルな時間座標が一定の面上に乗っており、ゲージ理論の動径量子化の見方とうまく対応していることを示した。

(3) 3次元球面上のチャーン・サイモン理論はコニフォールド上のトポロジカル弦と等価であるが、これは \log 正規型の行列模型としても表すことができる。論文③では、この行列模型に付随する直交多項式が Dブレーンの波動関数としての意味を持ち、その関数の上に q 変形された生成消滅演算子が作用することを発見した。

(4) 最近 Aharony らによって、 $R(8)/Z(k)$ 背景中の M2ブレーン上の理論が提唱され注目を集めている。そこで論文④では、 $R(8)/Z(k)$ 型のオービフォールド特異点を持つハイパーケーラー多様体を記述する 2次元線型シグマ模型を構成し、そのモジュライ空間を解析した。

(5) ヘテロティック弦の世界面上の共形場理論は弦が 1 本の場合にはよく知られているが、 N 本重なった場合にはよくわかっていない。論文⑤では、ヘテロティック弦と $K3$ 曲面に巻きついた M5ブレーンの対応を使って、 N 本のヘテロティック弦にホログラフィック双対な AdS(3) 上の弦理論の楕円種数を計算し、BTZ ブラックホールの足し上げとの関係を議論した。

(6) 超弦理論には無数の準安定な真空が存在すると考えられており、それらの真空の間のインスタントンによるトンネル現象を考えることが重要である。論文⑥

では、開弦のタキオンに特有な $1/\cosh$ 型のポテンシャルがある場合に、薄い壁の近似を使うことなく厳密なインスタントン解を構成した。

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 6 件)

- ① 奥山和美、古内一之、D-branes Wrapped on Fuzzy del Pezzo Surfaces, JHEP, 1101, 043, 2011, 査読有
- ② 奥山和美、Global AdS Picture of $1/2$ BPS Wilson Loops, JHEP, 1001, 096, 2010, 査読有
- ③ 奥山和美、q-Deformed Oscillators and D-branes on Conifold, Phys. Lett. B673, 232-236, 2009, 査読有
- ④ 奥山和美、Linear Sigma Models for the R^8/Z_k Orbifold, Phys. Lett. B668, 153-158, 2008, 査読有
- ⑤ 奥山和美、N=4 SYM on $K3$ and AdS(3)/CFT(2) Correspondence, JHEP 0802, 036, 2008, 査読有
- ⑥ 奥山和美、Instanton solution in tachyon cosmology, Phys. Lett. B658, 241-243, 2008 査読有

[その他]

ホームページ等

<http://azusa.shinshu-u.ac.jp/~kazumi/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

奥山 和美 (OKUYAMA KAZUMI)

信州大学・理学部・助教

研究者番号：70447720

