

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2007～2010

課題番号：19740125

研究課題名(和文) 超弦理論の非摂動的効果・D ブレーンと場の理論のソリトンの研究

研究課題名(英文) Study of D-branes (non-perturbative effects in superstring theory) and solitons in field theories

研究代表者

橋本 幸士 (Hashimoto Koji)

独立行政法人理化学研究所・川合理論物理学研究室・専任研究員

研究者番号：80345074

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：ソリトン、弦理論、ゲージ・重力対応、D ブレーン、強結合

### 1. 研究計画の概要

超弦理論における D ブレーンは、超弦理論の摂動論を超えた物体であり、超弦理論の定義の問題と直結した重要な研究対象である。一方、場の理論においてソリトンは非摂動的な物体であり、場の理論の真空構造やトポロジカルに安定化された重い励起として重要な意味を持っている。ソリトンと D ブレーンとの関係は密接であり、ある状況では超弦理論の低エネルギーにおけるソリトンとして D ブレーンは認識される。本研究では、D ブレーンとソリトンの間の関係を、特にゲージ・重力対応 (AdS/CFT 対応) の強結合 QCD への応用 (ホログラフィック QCD) において精査することにより、明らかにすることにある。D ブレーンが、通常場の理論のソリトンの言葉でより感銘に理解できれば、超弦理論の場の理論的記述を得るという目標に対してある一定のアプローチを提供することになり、素粒子論の基本的課題に直結する。また、超弦理論の応用という観点からも、様々な場の理論を超弦理論の D ブレーンから見直し新たな超弦理論的計算・見方を与えることで、大きな発展を見込むことが出来る。本研究課題はその二つの観点から、包括的に研究を進めることを目標としている。

### 2. 研究の進捗状況

平成 19 年度には、宇宙ひもと呼ばれるソリトンの様々な性質を D ブレーンの計算から明らかにする研究成果を発表した。また、AdS/CFT 対応を QCD に応用する際に困難となっていた、クォーク質量項の導入について、D ブレーンとソリトンの立場から考察し、導入方法を提案した。さらに、平成 20 年度、には、当面の目標である、AdS/CFT 対応の

QCD への応用とそこに現れるバリオン状態 (D ブレーンで構成される) と場の理論のインスタントンの関係がほぼ明らかになった。この成果は 3 編の論文として査読つき学術誌に出版した。そこでは、D ブレーンとソリトンに基づいた定式化により、核子の荷電半径や磁気モーメント、遠距離・近距離核力、そして重い原子核の巨大共鳴について、具体的に実験と比較できる数値が計算された。結果は実験で知られていた諸量を上手く再現しており、ホログラフィック QCD の大きな成果と考えられる。平成 22 年度には、高密度 QCD で実現されていると期待されている「カラー・フレーバー結合相」を D ブレーンとそのソリトン表現で実現することを試み、ある近似においてではあるが、実際にその相がエネルギー的に好まれる傾向にあることを示した。また、ホログラフィック QCD におけるバリオンのソリトンの表現を用いることで、クォーク質量がバリオンの質量にどのように影響するかを計算し、実際に格子 QCD の数値計算シミュレーションとほぼ矛盾が無い結論を得るに至った。これは、格子ゲージ理論の直接検証とも言える成果である。これらの研究は全て、D ブレーンと場の理論のソリトンとの関連に根付いている研究である。

### 3. 現在までの達成度

区分：①当初の計画以上に進展している。本成果は核子の性質のうち基本的なものが D ブレーンとソリトンの記述を融合させることによってきちんと QCD から再現されることを示している。この結果をより深いレベルでの D ブレーンとソリトンの関係に応用する最終段階があり、その意味で、研究の 7 割

が達成できていると考える。半分を超えていると判断する理由は、既によい成果について査読つき雑誌に出版を行い、広く研究業界や他の研究者に研究成果を還元している段階にあるからである。また、多くの国際研究会にて本成果について研究発表を行っているからである。

#### 4. 今後の研究の推進方策

今後の方策は二種類に分かれている。第一に、当研究成果を基にして、D ブレーンとソリトンの関係について、深く掘り下げ、超弦理論の非摂動的側面について理解を深めること、第二に、本応用はDブレーンとソリトンといってもややソリトンよりに比重を置いており、D ブレーンよりに比重を置くと新しい核子多体系の記述が可能になるためその方向で研究を進め新しい原子核の記述方法を模索すること、である。この第二の方向に関しては、現在までの超弦理論のDブレーンに関する様々なテクニックが応用でき、それが直接的に原子核系、特に少数多体系や重い原子核、に応用が可能であるため、大きな成果が期待できる。QCD から出発した核子多体系の有効記述は少なく、さまざまな原子核現象模型との関係も精査するべきである。精査の結果、D ブレーンについて新しい知見が得られることを目指し、研究を行う。

#### 5. 代表的な研究成果

(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 9 件)

(1) Koji Hashimoto, Tadakatsu Sakai, Shigeki Sugimoto, “Nuclear Force from String Theory” Prog. Theor. Phys., 査読有, 122 (2009) 427-476.

(2) Koji Hashimoto, “Holographic Nuclei” Prog. Theor. Phys., 査読有, 121 (2009) 241-251.

(3) Koji Hashimoto, Tadakatsu Sakai, Shigeki Sugimoto, “Holographic Baryons : Static Properties and From Factors from Gauge/String Duality” Prog. Theor. Phys., 査読有, 120 (2008) 1093-1137.

[学会発表] (計 12 件)

(1) Koji Hashimoto, “Nuclear force from string theory,” Workshop “Fundamental Aspects of Superstring theory,” 2009 年 5 月 9 日, Kavli Institute for theoretical Physics (Santa Barbara, アメリカ)

(2) Koji Hashimoto, “Nuclear Force from String Theory,” 10-th international conference on hypernuclear and strange particle physics (Hyp-X), 2009 年 9 月 16 日, J-PARC 東海村

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年月日 :  
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
取得年月日 :  
国内外の別 :

[その他]