

氏 名	橋 本 幸 士
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2167 号
学位授与の日付	平成 12 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻
学位論文題目	New Solitons from Brane Configurations (ブレーンの配位による新しいソリトンの研究)

論文調査委員	(主 査) 教 授 九 後 太 一	教 授 川 合 光	助教授 畑 浩 之
--------	----------------------	-----------	-----------

論 文 内 容 の 要 旨

弦理論のこの5年間の発展には目を見張るものがある。それは主に、D-brane (Dirichlet 膜) と呼ばれる、多次元に広がった、弦理論の低エネルギー有効理論の古典解、の解析に基づいている。これは、弦理論に存在すると思われる非摂動論的対称性である双対性 (duality) において、中心的役割を果たすということが分かってきた。また、その発展に加えて、弦理論の摂動論の描像では D-brane 上には gauge 理論が乗っているということから、通常の場合の理論を弦理論の言葉で解析することが可能になってきた。この方向での発展は、場の理論において今までわかってきたことを幾何学的に意味を与え再現するというだけに留まらず、今や、場の理論において知られていなかった物理的現象を予言するところまで来ている。

申請者は、申請論文において、この「弦理論による場の理論の物理的現象の予言」を研究した。そこで取り上げた内容は、色々な場の理論における古典的配位 (ソリトン) の存在や性質を弦理論における D-brane の複合的配位から予言し、その予言を場の理論からのあらわな解析から検証する、ということである。ここで用いられたソリトンは、

- (i) $N = 4$ 超対称 Yang-Mills 理論における $1/4$ BPS ダイオン
- (ii) 非可換空間上の超対称 Yang-Mills 理論におけるモノポール

の二つである。これら二つは、歴史的にどちらも、まず弦理論の D-brane の配位からその存在が予言され、次に直接場の理論において場の配位が求められたものである。申請者は参考論文2, 3で、(i) の場の理論のあらわな解をはじめて構成した。また、申請者は、参考論文7で (ii) に対応する D-brane の配位を構成しその存在と性質を予言し、その後参考論文8で、具体的に場の理論から解を構成してその予言を確かめた。

(i) (ii) はどちらも、弦理論では D3-brane と呼ばれる4次元的に広がった物体の上に実現されるものである。D-string と呼ばれる弦状の D-brane がいくつかの平行な D3-brane をつないでいるとき、この brane の配位は、D3-brane 上の場の理論ではモノポールとして見える。これはエネルギーや磁荷を見ることによりわかる。また (p, q) -string が D-string の代わりに存在すれば、それは場の理論ではよく知られた (p, q) ダイオンとなる。

様々な (p, q) 電荷を持つ string を用いて、string network という安定な超対称配位を作ることができる。この network の端がたくさん平行な D3-brane の上に乗っている時、この配位は D3-brane 上の超対称性を $1/4$ 保つため、場の理論では安定なソリトンに対応すると考えられる。(i) はこのソリトンである。弦理論からこのソリトンの持つ電荷やエネルギーなどが予言された。参考論文2, 3では、初めてこのソリトンをあらわに構成し、その電荷や超対称性、エネルギーが弦理論の予言どおりになっていることを確認した。

また非可換空間上の gauge 理論は、弦理論の双対性を使うと、定数の NS-NS B 場が存在する時の D3-brane 上の gauge 理論と等価であることが知られている。この等価性を用いて、参考論文7では、非可換空間上の超対称 Yang-Mills 理論のモノポール (ii) に対応する D-brane の配位を考察した。この考察から、(ii) は通常のモノポールと同じ質量を持ち、同じように $1/2$ BPS 状態であることが予言された。また、モノポールがダイポール構造を持つことが新たに予言された。この予言の際には、主論文における brane の傾きの考察が本質的であった。この予言を受けて、参考論文8では非可換空間上の超

対称 Yang-Mills 理論の運動方程式をあらわに解いて、モノポール解を構成した。この得られた解は、通常のモノポールと同じ質量を持ち、また弦理論から予言されたダイポール構造を持つことが確かめられた。

以上の二つの例から、申請者は申請論文において場の理論の古典解に対する D-brane のアプローチの有用性を主張している。

論文審査の結果の要旨

弦の理論は、重力を含む全ての素粒子の究極統一理論の候補として活発な研究がなされてきたが、近年、それが通常の場の理論の非摂動的解析や新しい現象を予言するのにも極めて強力な手段を与えるものであるということが認識されてきた。そこでは、D-brane (Dirichlet 膜) と呼ばれる、多次元に広がった、弦理論の低エネルギー有効理論の古典解、が中心的役割を果たす。弦理論の描像では Dp -brane 上には $p+1$ 次元の Yang-Mills 理論が乗っている、通常の $p+1$ 次元時空の場の理論を弦理論の言葉で解析するということが可能になる。これは、今や、場の理論において従来わかってきたことに幾何学的な再解釈を与え再現するというだけに留まらず、場の理論において知られていなかった物理的現象を予言するところまで来ている。

申請論文は、この「弦理論による場の理論の物理的現象の予言」について、申請者のこれまでの多くのオリジナルな寄与を中心に総合的に解説したものである。そこで取り上げられている内容は、色々な場の理論における古典的配位 (ソリトン) の存在や性質を弦理論における D-brane の複合的配位から予言し、その予言を場の理論からのあらわな解析から検証する、というものである。ここで用いられたソリトンは、

(i) $N=4$ 超対称 Yang-Mills 理論における $1/4$ BPS ダイオン

(ii) 非可換空間上の超対称 Yang-Mills 理論におけるモノポール

の二つである。これら二つは、歴史的にどちらも、まず弦理論の D-brane の配位からその存在が予言され、次に直接場の理論において場の配位が求められたものである。

申請者は参考論文2, 3で、(i) の場の理論のあらわな解をはじめて構成した。また、申請者は、参考論文7で (ii) に対応する D-brane の配位を構成しその存在と性質を予言し、その後参考論文8で、具体的に場の理論から解を構成してその予言を確かめた。

(i) (ii) はどちらも、弦理論では $D3$ -brane と呼ばれる4次元的に広がった物体の上に実現される。D-string と呼ばれる弦状の D-brane がいくつかの平行な $D3$ -brane をつないでいるとき、この brane の配位は、 $D3$ -brane 上の場の理論ではモノポールとして見える。これはエネルギーや磁荷を見ることによりわかる。また (p, q) -string が D-string の代わりに存在すれば、それは場の理論ではよく知られた (p, q) ダイオンとなる。

様々な (p, q) 電荷を持つ string を用いて、string network という安定な超対称配位を作ることができる。この network の端がたくさんの平行な $D3$ -brane の上に乗っている時、この配位は $D3$ -brane 上の超対称性を $1/4$ 保つため、場の理論では安定なソリトンに対応すると考えられる。(i) はこのソリトンである。弦理論からこのソリトンの持つ電荷やエネルギーなどが予言された。申請者は参考論文2, 3で、初めてこのソリトンをあらわに構成し、その電荷や超対称性、エネルギーが弦理論の予言どおりになっていることを確認した。

また非可換空間上の gauge 理論は、弦理論の双対性を使うと、定数の NS-NS B 場が存在する時の $D3$ -brane 上の gauge 理論と等価であることが知られている。この等価性を用いて、参考論文7では、非可換空間上の超対称 Yang-Mills 理論のモノポール (ii) に対応する D-brane の配位を考察した。この考察から、(ii) は通常のモノポールと同じ質量を持ち、同じように $1/2$ BPS 状態であることが予言された。また、モノポールがダイポール構造を持つことが新たに予言された。この予言の際には、主論文における brane の傾きの考察が本質的であった。この予言を受けて、申請者は参考論文8で非可換空間上の超対称 Yang-Mills 理論の運動方程式をあらわに解き、モノポール解を構成することに成功した。この得られた解は、通常のモノポールと同じ質量を持ち、また弦理論から予言されたダイポール構造を持つことを確かめている。

以上の二つの例は、場の理論の古典解に対する D-brane のアプローチが極めて強力で有用であることを具体的に示した申請者のオリジナルで重要な業績である。よって、本申請論文は博士 (理学) の学位論文として価値あるものと認める。

平成12年1月19日、主論文および参考論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野について口頭試問した結果、合格と認めた。