

氏名	みち した よう じ 道 下 洋 二
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2294 号
学位授与の日付	平 成 13 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	D0-branes in $SO(32) \times SO(32)$ open type 0 string theory ($SO(32) \times SO(32)$ 開弦タイプ0理論における D0 膜)
論文調査委員	(主 査) 教 授 九 後 太 一 教 授 川 合 光 教 授 二 宮 正 夫

論 文 内 容 の 要 旨

超弦理論のこの数年間の発展、特に双対性などの非摂動的性質の解明においては D-brane (Dirichlet 膜) と呼ばれる多次元の膜の力学を知ることが非常に重要であった。初期の研究において考えられてきたのは主に超対称性を持った D-brane であったが、最近になって超対称性を持たない場合の D-brane にも重要な物理的情報が隠されていることが分かってきた。それらを調べるときに重要になるのはタキオン凝縮という現象である。従来はタキオンが現れる理論は矛盾した理論であるとして退けられていたが、D-brane の文脈においてはそれは単にその D-brane が不安定であることを示しているだけで、タキオン凝縮によって安定な状態に移行すると考えられる。このことが認識されてから、弦理論自体が超対称性を持たない場合なども考察されるようになった。D-brane 上のタキオンのみならず閉弦からくるタキオンも同様に凝縮して安定な真空に移行すると期待できるからである。また D-brane 上に非可換性が現れる場合はタキオン凝縮の解析が単純化されることが知られており、その方向からの研究も進んでいる。

申請者は主論文において超対称性を持たない弦理論のひとつであるタイプ0理論について、予言されている S 双対性をタキオン凝縮の技術を用いて検証した。双対性の従来の検証では超対称性を用いることがほとんどであったが、超対称性を持たないタイプ0理論ではそれは不可能である。そこで超対称性と関係なく安定であるものに着目した。開弦タイプ0理論はボソンの弦理論をコンパクト化したものと S 双対であると予想されているが、そのボソンの弦理論の摂動的スペクトルの中にはゲージ群のスピノル表現になっている状態があり、その中のもっとも軽いものは安定であるので、強結合領域でもこれに対応する状態が存在するはずである。S 双対の予想が正しければ、この領域は開弦タイプ0理論の摂動的領域である。したがってゲージ群のスピノル表現の状態が存在するはずである。主論文では、この状態が、タキオン凝縮によって作られる非超対称的 D0-brane (0次元 D-brane) の状態として実際に存在することを示し、その境界状態や共形場理論による記述について論じている。またゲージ群のスピノル表現状態以外にも多くの非超対称的 D-brane があることを明らかにしている。

タキオン凝縮や非超対称 D-brane については超対称性がある弦理論においてもまだまだ解明すべき点は多い。参考論文 1 では特に非超対称 D-brane がもたらす超重力理論の有効作用への補正について論じている。タイプ I 弦理論には非超対称かつ安定な D0-brane が現れるが、この D0-brane がインスタント的な配位をとることによって有効作用に対して非摂動的な補正を与える。この補正が一般には超対称な D-brane よりは高次の補正であることを指摘し、具体例として S^1 コンパクト化の場合についてこの補正を D-brane の有効作用を利用して求めている。

また定数の 2 形式の場合がある場合は D-brane 上に非可換性が現れ、非可換場の理論との関連で興味深い対象であるが、同時に、タキオン凝縮との関連においても重要な対象である。この場合 D-brane の上に次元の低い D-brane が端を持つとき、安定な状態になるためには次元の低い D-brane は斜めにならなければならないことが知られている。その傾きの角度は 2 形式場の大きさによって決まる。11次元の M 理論は 1 次元コンパクト化することによって弦理論となるので、この斜め

の配位に対応するM理論の配位があるはずである。申請者は参考論文2において実際にこの配位をM5-brane(5次元膜)上の有効理論の古典解として構成している。この解はM5-braneにM2-brane(2次元膜)が斜めに終わっている配位と解釈される。また1次元コンパクト化することによって以前に構成されていた弦理論における古典解と一致することを確かめている。

論文審査の結果の要旨

この数年間の超弦理論のめざましい発展,特にその双対性などの非摂動論的性質の解明,においては,D-brane(Dirichlet膜)と呼ばれる多次元の膜の力学を知ることが非常に重要な役割を果たしてきた。初期の研究においては主に超対称性を持ったD-braneのみが考察されてきたが,最近になって超対称性を持たない場合のD-braneにも重要な物理的情報が隠されていることが分かってきた。そこで重要になるのはタキオン凝縮という現象である。従来はタキオンが現れる理論は矛盾した理論であるとして退けられてきたが,D-braneの文脈からは,それは単にそのD-braneの不安定性を示しているだけで,タキオン凝縮によって安定な状態に移行するものと考えられる。このことが認識されてから,弦理論自体が超対称性を持たない場合なども考察されるようになった。またD-brane上に非可換性が現れる場合はタキオン凝縮の解析が単純化されることが知られており,その方向からの研究も進んでいる。

超対称性を持たない弦理論のひとつである開弦のタイプ0理論は,ボゾンの弦理論をコンパクト化したものとS双対であると予想されている。申請者は主論文において,このタイプ0理論について予言されているS双対性をタキオン凝縮の技術を用いて検証した。双対性の従来の検証では超対称性の存在をフルに利用することがほとんどであったが,超対称性を持たないタイプ0理論ではそれは不可能である。そこで申請者は超対称性と関係なく安定であるものに着目した。一方のボゾンの弦理論の摂動論的スペクトルの中にはゲージ群のスピンル表現になっている状態があり,その中のもっとも軽いものは安定であるので,強結合領域でもこれに対応する状態が存在するはずである。S双対の予想が正しければ,この領域は他方の開弦タイプ0理論の摂動論的領域である。したがってゲージ群のスピンル表現の状態が存在するはずである。主論文では,この状態が実際に存在することを示すことに成功した。すなわち,共形場理論における境界状態などの方法を駆使して,それがタキオン凝縮によって作られる非超対称的D0-brane(0次元D-brane)の状態であることを証明した。またゲージ群のスピンル表現状態以外にも多くの非超対称的D-braneがあることも明らかにしている。

タキオン凝縮や非超対称D-braneについては超対称性がある弦理論においてもまだまだ解明すべき点は多い。参考論文1では申請者は,非超対称D-braneがもたらす超重力理論の有効作用への補正について論じている。タイプI弦理論には非超対称かつ安定なD0-braneが現れるが,このD0-braneがインスタント的な配位をとることによって有効作用に対して非摂動論的な補正を与える。この補正が一般には超対称なD-braneよりは高次の補正であることを指摘し,具体例として S^1 コンパクト化の場合についてD-braneの有効作用を利用してこの補正を求めている。

また定数の2形式場がある場合はD-brane上に非可換性が現れ,非可換場の理論との関連で興味深い対象であるが,同時に,タキオン凝縮との関連においても重要な対象である。この場合D-braneの上に次元の低いD-braneが端を持つとき,安定な状態になるためには次元の低いD-braneは斜めにならなければならないことが知られている。その傾きの角度は2形式場の大きさによって決まる。11次元のM理論は1次元コンパクト化することによって弦理論となるので,この斜めの配位に対応するM理論の配位があるはずである。申請者は参考論文2において実際にこの配位をM5-brane(5次元膜)上の有効理論の古典解として構成した。この解はM5-braneにM2-brane(2次元膜)が斜めに終わっている配位と解釈できるものである。また1次元コンパクト化することによって以前に構成されていた弦理論における古典解と一致することも確かめている。

以上の仕事は,弦理論の,超対称性とは独立な非摂動論的ダイナミックスの解明に向けての,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13年1月16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。