

氏 名	村 上 公 一
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2032 号
学位授与の日付	平成 11 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	Supermembraneを用いたMatrix Theoryの解析 (超膜を用いた行列理論の解析) (主査)
論文調査委員	教 授 二 宮 正 夫 教 授 九 後 太 一 教 授 堀 内 和

論 文 内 容 の 要 旨

超弦理論は、電・弱・強及び重力という4つの基本的な相互作用とすべての素粒子の存在形態を統一的に記述・説明する統一理論の最有力候補として、精力的に研究が進められてきた。超弦理論には多数の真空を記述する古典解があることが知られており、そのため摂動論的には弦の量子論としてあまりに多数のものが可能となっている。またこれまでのところ、超弦理論にはtype I, type II A, type II B, SO(32) ヘテロティック及び $E_8 \times E_8$ ヘテロティックの5種類の形式が知られている。

近年の超弦理論の進展の契機となったstring dualityの発見によって、摂動論的にこれまで全く異なる超共形場理論として定義されていた5種類の超弦理論が、互いに関係していることが明らかになった。その結果、これら5つの超弦理論を統一的に記述する理論がその背後に存在すると考えられるようになってきている。またstring dualityの非常に重要な帰結は、type II A string理論の強結合極限が、もともと超弦理論が定義されている10次元よりひとつ高い11次元の理論となっているということである。この11次元理論はM-theoryと呼ばれており、現段階では確定的な定義は与えられていないが、M-theoryの存在を仮定すると、string dualityや弦理論に存在する諸々のextended objectを統一的に扱うことが出来る。この為M-theoryは上に述べた超弦理論の"統一理論"の候補と考えられている。

このM-theoryをいかに定義するかという問題に関して、Banks-Fischler-Shenker-Susskind (BFSS) らは、 $N \times N$ 行列を力学変数とする超対称性量子力学の $N \rightarrow \infty$ 極限がinfinite momentum frame (IMF) のM-theoryを記述しているというMatrix theoryを提案した。このBFSS Matrix theoryは11次元supergravitonの散乱を再規し、またM-theoryに含まれていると考えられているsupermembraneを記述する $N \rightarrow \infty$ 極限を持つなど、M-theoryと呼ぶにふさわしい性質を備えていることが知られている。その反面、IMFを用いたり10次元理論から出発してその作用を構成しているために、 X^{11} (もしくは X^-)座標が定義されておらず、longitudinal方向の情報をどのように引き出せばよいのかがよく分からない。またこの理論のSU(2,2)代数を計算すると、M-theoryに含まれる2-braneと5-braneの電荷を各々導くが、5-braneに関してはlongitudinal 5-braneのみが現れて、transverse 5-braneが登場しないことが知られている。これはBFSS Matrix theoryが11次元Lorentz対称性を尊重していないことを意味してしまい、問題である。これらの問題を考察しようというのがこの論文の目的である。

BFSS Matrix theory は、de Wit-Hoppe-Nicolai (dWHN) が与えた光円錐ゲージsuper-membrane理論を行列正則化したものと形式的に見做すことができる。dWHN supermembrane理論は11次元共変な作用を出発点として構成されているので、この理論においては X^- 座標の具体的な表式が与えられており、従ってlongitudinal方向の情報を引き出すことが可能となる。この論文ではBFSS Matrix theoryとdWHN supermembrane理論との対応関係に注目し、上述のBFSS Matrix theoryで問題となっている点に関して、dWHN supermembraneを用いて解析を行なった。具体的には、dWHN supermembrane理論の11次元Lorentz対称性と超対称性の検証を行ない、更にBPS状態とM 5-braneがこの理論で記述できるかという問題について解析した。この解析を通じて、BFSS Matrix theory のこれらの問題について各々示唆を得た。

Lorentz対称性に関しては、de Wit-Marquard-Nicolaiによって始められたdWHN supermembraneのLorentz生成子間の交換関係の計算を最後まで遂行して、これらが実際にLorentz代数を成すことを示した。

超対称性に関する解析として、dWHN supermembraneのSUSY代数においては、transverse 5-braneのみならずlongitudinal 5-braneの電荷もゼロになることにより、Lorentz対称性の問題が解決されることを指摘した。またtransverse 2-braneとlongitudinal 2-braneの表式が共変な形にまとまることを示し、SUSY代数をLorentz不変な形に書き下した。更にこの理論の超対称性を半分保存するBPS条件と1/4保存するBPS条件を求め、これらの条件を満たすBPS configurationを各々与えた。このとき、BFSS Matrix theoryではその対応物を書き下すことができない、membrane世界体積上のharmonicベクトルに付随するarea-preserving diffeomorphism拘束条件が重要な役割を果たすことを示した。

M 5-braneに関しては、これに端を持つopen supermembraneを考え、このopen supermembraneを行列正則化することにより、 $O(N)$ 群をゲージ群とするMatrix theoryを得た。このMatrix theoryの作用は、6次元の $N=1$ vector multipletが2階の対称表現に属するhypermultipletと結合した超対称性理論を、1次元にdimensional reductionしたものと見做せることを指摘した。

論文審査の結果の要旨

申請者は、最近Banks-Fischler-Shenker-Susskind (BFSS) によって提唱された、行列形式の超対称性量子力学によって5種類の超弦理論を統一する理論に注目した。このBFSS Matrix theoryは11次元supergravitonの散乱を再現し、またM-theoryに含まれていると考えられているsupermembraneを記述する $N \rightarrow \infty$ 極限を持つなど、M-theoryと呼ぶにふさわしい性質を備えていることが知られている。その反面、IMFを用いたり10次元理論から出発してその作用を構成しているために、 X^1 (もしくは X^-) 座標が定義されておらず、longitudinal方向の情報をどのように引き出せばよいのかがよく分からない。またこの理論のSUSY代数を計算すると、M-theoryに含まれる2-braneと5-braneの電荷を各々導くが、5-braneに関してはlongitudinal 5-braneのみが現れて、transverse 5-braneが登場しないことが知られている。これはBFSS Matrix theoryが11次元Lorentz対称性を尊重していないことを意味してしまい、問題である。これらの問題を考察しようというのがこの論文の目的である。

BFSS Matrix theoryは、de Wit-Hoppe-Nicolai (dWHN) が与えた光円錐ゲージsupermembrane理論を行列正則化したものと形式的に見做すことができる。dWHN supermembrane理論は11次元共変な作用を出発点として構成されているので、この理論においては X 座標の具体的な表式が与えられており、従ってlongitudinal方向の情報を引き出すことが可能となる。この論文ではBFSS Matrix theoryとdWHN supermembrane理論との対応関係に注目し、上述のBFSS Matrix theoryで問題となっている点に関して、dWHN supermembraneを用いて解析を行なった。具体的には、dWHN supermembrane理論の11次元Lorentz対称性と超対称性の検証を行ない、更にBPS状態とM 5-braneがこの理論で記述できるかという問題について解析した。この解析を通じて、BFSS Matrix theoryのこれらの問題について各々示唆を得た。

Lorentz対称性に関しては、de Wit-Marquard-Nicolaiによって始められたdWHN supermembraneのLorentz生成子間の交換関係の計算を最後まで遂行して、これらが実際にLorentz代数を成すことを示した。

超対称性に関する解析として、dWHN supermembraneのSUSY代数においては、transverse 5-braneのみならずlongitudinal 5-braneの電荷もゼロになることにより、Lorentz対称性の問題が解決されることを指摘した。またtransverse 2-braneとlongitudinal 2-braneの表式が共変な形にまとまることを示し、SUSY代数をLorentz不変な形に書き下した。更にこの理論の超対称性を半分保存するBPS条件と1/4保存するBPS条件を求め、これらの条件を満たすBPS configurationを各々与えた。このとき、BFSS Matrix theoryではその対応物を書き下すことができない、membrane世界体積上のharmonicベクトルに付随するarea-preserving diffeomorphism拘束条件が重要な役割を果たすことを示した。

M 5-braneに関しては、これに端を持つopen supermembraneを考え、このopen supermembraneを行列正則化することにより、 $O(N)$ 群をゲージ群とするMatrix theoryを得た。このMatrix theoryの作用は、6次元の $N=1$ vector multipletが2階の対称表現に属するhypermultipletと結合した超対称性理論を、1次元にdimensional reductionしたものと見做せることを指摘した。

以上のような解析によって申請者はsupermembraneにおいて11次元でのローレンツ対称性と超対称性が成立することを検証し、ついで、この理論においてBPS状態とM 5-braneが記述できることを示した。このような申請者らの解析によって、これまで不明であったBFSS Matrix theory におけるこれらの問題点の解明に重要な寄与をした。よって本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。

主論文及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。