

氏名(本籍)	あめ みや よし てる 雨 宮 嘉 照 (山 梨 県)
学位の種類	博 士 (理 学)
学位記番号	博 甲 第 3643 号
学位授与年月日	平成 17 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
審査研究科	数理解物質科学研究科
学位論文題目	Noncommutativity of Fermionic Coordinates in Superstring Theory (超弦理論におけるフェルミオニック座標の非可換性)
主査	筑波大学教授 理学博士 青木 慎也
副査	筑波大学教授 理学博士 石橋 延幸
副査	筑波大学教授 理学博士 金谷 和至
副査	筑波大学助教授 理学博士 吉江 友照

論 文 の 内 容 の 要 旨

超弦理論は重力を含む全ての相互作用の統一理論の候補として活発に研究されてきた。しかし、この理論を使って現実の素粒子を記述するモデルを作るためには、この理論の現在知られている定式化は不十分である。実際、この理論には、素粒子の標準モデルを含むような無数の真空があり、これらのうちのどの真空が選ばれるかを議論するにはこの理論を非摂動的に取り扱わなければならない。この理論の定式化として現在知られているものは、弦を理論の基本的自由度として考えて作る摂動論であり、上記のような非摂動効果を取り扱うことは出来ない。

超弦理論を非摂動的に定式化するために提案されている方法として、行列モデルがある。このモデルでは、弦の代わりに行列を基本的自由度として理論を構築し、上記の非摂動効果を取り入れた定式化になっていると考えられている。超弦理論の定式化としてさまざまな行列モデルが提案されており、特に最近超行列と呼ばれる行列を使ったモデルが注目されている。超行列を使うと、理論のもつ超対称性を行列の自由度に取り込むことができるため、より対称性の高いモデルが出来る。しかし、超行列モデルの提案はいくつかあり、どのモデルがよいかという点を含めてまだよく分かっていないことが多い。

本論文では、この超行列を使ったモデルを、超弦理論の立場から研究した。行列モデルは超弦理論に現れる D-ブレーンと呼ばれるソリトン解を記述するモデルであると考えられる。D-ブレーンは、空間的に広がったソリトン解であり、さまざまな次元に広がったものが存在するが、実は、高い次元の D-ブレーンは低い次元の D-ブレーン無限個の配位として表すことが出来る。従って、一番低い次元の D-ブレーンが基本的であると考えて、これらを記述する理論を作ったものが行列モデルである。本論文では、超行列モデルについて手がかりを得ることを目的として、高い次元の D-ブレーンが低い次元の D-ブレーン無限個の配位として表されるという現象を、超弦理論のハイブリッド形式と呼ばれる定式化を使って解析した。

ハイブリッド形式とは、時空の超対称性の一部が明白になる超弦理論の定式化である。これを使うと、D-ブレーンの存在は時空の超対称性を自発的に破るため、D-ブレーンの集団座標は超空間の座標となる。D-ブレーンが複数個あるときはこの座標が行列になり、この行列が行列モデルに現れる行列である。従って、ハイブリッド形式で D-ブレーンを考えると、その集団座標はフェルミオニックな自由度を含んだ超行列

になる。この論文では、タイプ IIB 超弦理論において D-インスタントン無限個の配位に対応する境界状態と呼ばれる状態をハイブリッド形式を用いて構築した。D-インスタントン無限個の配位はインスタントンの超空間における座標に対応する行列で表されるのであるが、それらにフェルミオニックな座標を加え、これらの間にある交換関係を課してやると、自己双対な B 場中の D3-ブレーンを表しえることを見出した。

これらの結果の確認として、自己双対な B 場中の D3-ブレーンに対応する開弦の理論を量子化し、上記の交換関係を導き出すことが出来ることを示した。また、グラヴィフォトン場と B 場がある場合の D3-ブレーンに対応する開弦の理論の量子化も行い、フェルミオニックな座標に非可換性が現れることも示した。

上記の結果において重要であったのは、通常ゲージ自由度として考慮されないフェルミオニックな座標を加え、それらと超空間の座標との間に非自明な反交換関係を設定したことであり、これなしには高次元の D-ブレーンを表すことは出来なかった。従って、超行列模型を作る際には、このようなフェルミオニックな自由度を考慮に入れなければならないことが結論された。

審 査 の 結 果 の 要 旨

本研究の最も独創的な点は、通常考慮されないフェルミオニックな座標を加えて解析を行った点である。ハイブリッド形式を使ってこの論文にあるような研究を行えば、超空間の座標に対応する自由度が非可換になるのであろうことは容易に予想がつくのであるが、この論文の結果が示すように、更にフェルミオニックな自由度を加えない限りうまくいかない。この自由度を導入するというのは雨宮氏の独創的なアイデアであり、高く評価できるものである。また、この結果は超行列模型を作る際の指針として非常に有用な結果であるといえる。

雨宮氏は更に、ハイブリッド形式において開いた弦の量子化を行うことにより、フェルミオニックな座標の非可換性を再導出した。ハイブリッド形式における開いた弦の理論の研究は、境界状態の構成を含めて、雨宮氏の研究によって初めて行われたものであり、これまでなされなかった種類の研究を初めて行ったという点で評価できる。

よって、著者は博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。