

## 論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 鳥居 真吾

超弦理論は、重力を含む統合的かつ統一的な量子理論の最も有力な候補として精力的に研究されてきたが、弦の無限個の励起モードに対応する無限個の場が現れるため、ゆたかではあるが非常に複雑な構造を持っている。特に理論の基底状態等を解明するのに不可欠である非摂動的な取り扱いについては未だ満足な定式化が得られていないが、一つの候補として「弦の場の理論」と呼ばれる定式化があり、特に開弦の場の理論に関しては近年非摂動的な基底状態を表す厳密な古典解が構成されるなど、興味深い進展が見られている。しかしながら、こうした開弦の場のみを基本力学変数とする理論が量子論的に整合な理論であるかどうかは重要な未解決の問題である。これを調べるには、まず摂動的にこの理論を量子化してその性質を調べるのが不可欠であるが、弦の場の理論の持つ無限に入り組んだゲージ対称性のために、非自明で緻密な解析を必要とする。本論文は、こうした背景のもとで、後述するひとつの有望な超対称な開弦の場の理論について解析を行い、これまで知られていなかったこの理論のゲージ対称性の構造の詳細な解明を行うとともに、それに基づくゲージ固定の方法を考案し、それを用いて伝播関数の構成に成功した。この結果は、相関関数の量子的な計算をする上で基礎となるものであり、将来的に有用である。

本論文は第 1 部から第 5 部併せて 14 の章、および 6 つの補遺から構成されている。以下その概略を述べながら、本論文の審査の要旨を述べる。

第 1 部(第 1 章～第 3 章)、第 2 部(第 4 章～第 5 章)はレビューであり、ボゾンの開弦の場の理論のゲージ対称性の構造とそのゲージ固定の方法、およびその上で理論を構成するヒルベルト空間の大きさが異なる二つのタイプの超開弦の場の理論の定式化について述べている。このうち大きなヒルベルト空間を用いる **Wess-Zumino-Witten(WZW)** 型と呼ばれる比較的新しい定式化は、見かけは従来の小さなヒルベルト空間を用いる **cubic** 型と呼ばれる定式化より複雑だが、**cubic** 型の欠点である特異性の困難を解消していると考えられる有望な理論であり、本論文の考察の主な対象となる。

第 3 部(第 6 章～11 章)がこの論文の要となる部分であり、これまで明らかにされていなかった **WZW** 型の超開弦の場の理論の複雑なゲージ対称性の構造の理解とそのゲージ固定の方法を、いわゆる **Neveu-Schwarz (NS)** セクターと呼ばれるボゾンの励起を記述する理論のセクターにおいて、相互作用を無視した自由場の近似において確立している。この解析で明らかになったことは、従来の小さなヒルベルト空間の上で展開

される理論と比較して、無限のゲージ対称性の階層自体がいわば倍に拡張されており、そのゲージ固定に際して導入される無限個のゴースト場の系列もまた非自明な構造を伴って倍加されるという事実である。論文提出者は **Batalin-Vilkovisky** 形式と呼ばれる手法を用いて、かなり広いクラスのゲージ固定条件に対応するゲージ固定された作用を系統的に構成し、それを用いて伝播関数を計算することに成功した。

第4部(第12章なみ第14章)では、前章の方法を相互作用をいれた場合に拡張する試みを行っている。相互作用を入れると、無限に入り組んだゲージ対称性の構造と相互作用を含んだ運動方程式とが絡んでくるという新しい現象が現れるので、この拡張は非常に非自明である。論文提出者は、理論の持つ離散的な対称性によってゲージ固定された作用の形が制限されることを利用して、弦の場について3次のオーダーまでのゲージ固定された作用を導出することに成功した。これは将来的に相関関数を計算するにあたって不可欠になる情報の一部を与えている。

最終第5部は結果のまとめおよび今後の課題の考察にあてられており、また補遺において計算および証明の技術的な詳細が述べられている。

以上のように、本論文は、開いた超弦の場の理論の量子的整合性という重要な未解決問題を研究する際に基礎となる、理論の無限に入り組んだゲージ対称性の構造の解明とその固定の仕方の考察を、**Wess-Zumino-Witten** 型と呼ばれる有望な理論について、詳細に行ったもので、高度な専門知識と緻密な考察を駆使して、新しい有用な結果を得ており、高く評価される。

なお、本論文で得られた結果は、論文提出者による単名の論文によるものの他に、第3部の結果の一部については、**Michael Kroyter**、大川祐司、**Martin Schnabl**、および **Barton Zwiebach** の各氏との共同研究に基づいている。この部分に関しても、論文提出者が主体となって分析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断される。よって、本審査委員会は博士(学術)の学位を授与するにふさわしいものと認定する。