

# 論文審査の結果の要旨

氏名

大森 一樹

超弦理論は、重力を含めた相互作用の統一理論へ向けてほとんど唯一の手掛かりとみなされ、様々な観点から研究されてきたが、ここ 10 年位ほどの間に起こった新展開により統一理論としての超弦理論の内容の深さがますます認識されてきた。特にそれまではほとんどわかっていなかった超弦理論の非摂動的な側面について飛躍的な進展がなされつつあることが最近の重要な成果である。このような発展にあって鍵になる役割を果たしているのは、D ブレーンと呼ばれる弦理論の新しい自由度である。D ブレーンは、摂動的な弦理論の描像では、開弦の端点によって記述されるが、弦理論特有の自己完結的性質により、弦とは異なった力学的実体とみなせる。D ブレーンは、弦のラモン-ラモン (RR) セクターの基底状態であるゲージ場に関する保存チャージを有する場合には安定に存在できるが、そのような安定な D ブレーンの他に様々な不安定な D ブレーンも存在する。弦理論で無数に可能な摂動的な真空状態の間の相互関係や、その間で起こりえる相互転移の力学を調べるには、不安定 D ブレーンの摂動論を越えた精密な取り扱いが必要になる。従って、不安定 D ブレーンの性質の解明を通じて従来の弦理論の摂動論の枠内の定式を越えたより根本的な定式化への道を探る方向へつながる可能性がある。

本論文では、そうした可能性を念頭におき、不安定 D ブレーンのもとでのタキオン場の凝縮、およびタキオン凝縮した真空からの安定 D ブレーン解の構成などの問題を、非摂動的定式化に向けて伝統的手法である弦の場の理論 (string field theory) により分析したものである。従来の研究の多くはボゾン弦の場合に限られていたが、本論文では弦の世界面上のフェルミオン自由度を含む場合への拡張を試みたところに大きな特徴がある。フェルミオンを含む超弦の場の理論自体は、実はまだ完全に満足なものとして標準的に確立されたものは存在しない状況と言えるが、本論文ではその方向で提案されている 3 つの代表的なアプローチそれぞれについて分析を遂行し、それぞれのアプローチの利点および問題点を明らかにした上で、タキオン凝縮に関して現時点で可能な具体的分析を詳細に行った。超弦場の理論自体の構造についてもいくつかの興味深い新知見を得ているだけでなく、今後さらに議論を進めるのに有用な新提案を行っている。

次に各章の概要を述べる。序論である第 1 章ではまず本論文の動機を最近の弦理論の発展と関係させて簡潔に論じ、以下の各章の内容を要約し全体のなかでの位置付けを適切に与えている。

第 2 章は、超弦への拡張を念頭におき、ボゾン弦の場合について従来まで成された不安定 D ブレーンの崩壊とそれに伴うタキオン凝縮の弦の場理論による取り扱いについてまと

めている。また、タキオン凝縮した後の真空から弦の場の理論を定式化する方法である VSFT (Vacuum String Field Theory) の概要がまとめられている。

第3章と第4章で超弦の場の理論の取り扱いを論じている。まず、第3章で、超弦の場の理論として最初に提案された Witten の理論について論じている。この理論は時空超対称性を具体的に構成できるなど形式的な利点があるが、提案直後から指摘されている接触項による発散の難点がある。これは弦の世界面上での超対称性を取り入れた RNS 形式において弦の相互作用を記述するときに picture changing operator と呼ばれる局所演算子の挿入が必要になることに起因している。Witten 理論の問題を解決する方法としては、二つの方向が提案されている。一つは弦場の表示法を変更して接触項を回避する方法であり、もう一つはより根本的に picture changing を全く必要としないような新しい超弦の取り扱いを提案したものである。両者ともにそれぞれ異なった点で未解決の問題を抱えてるが、本論文では両者に対して level truncation による数値的手法でソリトン解を分析した。

具体的には、まず前者の方法の場合に数値的に得られた有効ポテンシャルからソリトン解を具体的に構成し、そのエネルギー密度を計算し理論的な値とよく合致する結果を得た。次に、後者の方法による場の理論についても同様な方法で解析を行い、level truncation のいくつかの近似のオーダーでソリトン解を求め、エネルギー密度を計算し合理的な結果が得られることを示した。さらに、両者の方法の関係について、作用原理は大きく隔たった構造をしているが、実は、運動方程式および拘束条件を合わせた on-shell の理論構造に関しては、変数の読み替えをすると両者のあいだに単純な写像関係を想定できるという合理的かつ興味深い指摘を行っている。

続いて第4章では、第2章でボゾン弦の場合に概要がまとめられている VSFT の方法を超弦へ拡張する試みが論じられている。ボゾン弦の場合には、弦場の作用の自由項を弦の世界面の ghost 変数のみを用いて与えるやり方が提案されておりその有効性を示す数多くの結果が得られている。そこで、本章では同様なやり方で超弦の作用原理が可能かどうかを調べ、ボゾンの場合と同様に ghost 変数だけの自由項を含むゲージ不変な作用を与え、level truncation 法により有効作用の数値的解析を行った。近似のオーダーが低いところでは、期待される形を備えた有効ポテンシャルが得られるが、近似を高めるとこれまでの計算の範囲では、ポテンシャルのミニマムが存在しないという問題があることを見出した。この結果は、近似のオーダーあるいはゲージ固定など計算の技術的な問題なのか、それとも超弦の場合の ghost 自由項にもとづく VSFT の不適切さを表しているのかは本論文では未解決の課題として今後に残されている。しかし、超弦の VSFT について本論文ほど具体的な分析をした研究は他になく有用な結果と言えよう。終章の第5章では、以上の結果の要約が与えられた後に本論文の解析で浮かび上がった問題点にもとづき今後の課題について簡潔に論じられている。

以上のように、本論文は超弦の場の理論に基づき、不安定 D ブレーン、およびタキオン凝縮、また安定 D ブレーン解の構成などに関して詳細な解析を行い、いくつかの有用な新

知見や今後に役立つ考察などを与え、博士論文として十分な内容を備えている。

よって、審査委員会は全員一致で本論文が博士（理学）の学位を授与するのにふさわしいものであると判定した。