

氏 名	藤 田 麻 沙 子
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2990 号
学位授与の日付	平 成 18 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	Rolling Tachyon Solution in String Field Theories (弦の場の理論における Rolling Tachyon 解の解析)

論文調査委員	(主 査) 教 授 畑 浩 之 教 授 川 合 光 教 授 二 宮 正 夫
--------	--

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、弦理論における不安定なディリクレ膜 (D-brane) の時間発展について、弦の場の理論を用いた研究を行ったものである。

Bosonic な弦理論における D-brane 上の励起であるところの開弦にはタキオンモードが存在し、D-brane が存在する真空は不安定である。それゆえ D-brane 上のタキオン場が運動方程式に従って時間発展し、不安定真空は安定な真空へ崩壊すると考えられる。この現象を表す古典解は、タキオン場が有効ポテンシャルの上を転がり落ちる様子から、rolling tachyon 解と呼ばれている。

Rolling tachyon 解は従来の弦理論で扱うことは難しかったが、2002年に rolling tachyon 解に対応する二次元共形場の理論が提唱され、その性質が詳しく調べられてきた。その結果、古典極限においては、タキオン場は無限の未来で安定な真空に近づき、その間エネルギーは一定、圧力はゼロに近づき、その結果圧力ゼロのガスのような物体 (tachyon matter) になることが分かった。

Rolling tachyon 解や tachyon matter は宇宙論への応用や、Liouville 理論の新しい解釈など、様々な興味深い物理に発展しているが、二次元共形場の理論では閉弦の放出や反跳などの量子的な効果を考えることが難しい。そこで本論文では、弦理論の第二量子化の理論である「弦の場の理論」による rolling tachyon 解の解析を二つの方法で行っている。

まず第一は、「Cubic 型弦の場の理論 (CSFT)」と呼ばれる弦の場の理論における時間依存古典解の構成とその性質の解析である。CSFT は D-brane が存在する不安定な真空周りの理論であり、無限個の成分場を含む理論であるが、申請者は質量の小さい成分場のみを考え運動方程式を導き、場を $\cosh (nx^0)$ で展開し、その展開係数の振る舞いを数値的および解析的に調べた。その結果得られた解は、振動しながら無限に発散するプロファイルを持つことが分かったが、これは無限の未来で安定な真空に近づく rolling tachyon 解のプロファイルとしては望ましいものではない。全ての成分場と全てのモードを考慮した正確な方程式を考えることができれば、安定な真空に近づく解が得られる可能性は残されているが、本論文は CSFT による rolling tachyon 解の解析に一石を投じたものである。

第二の解析は、安定な真空周りの弦の場の理論である「真空型弦の場の理論 (VSFT)」において時間依存する古典解を構成しその性質を調べたものである。VSFT は、その運動方程式が CSFT に比べ簡単な形になっているため、無限個の成分場を含む閉じた解を構成することができる。本論文では、二次元共形場の理論を参考にし、まず一つの空間方向を半径 R にコンパクト化し、ある種の弦場の無限積を利用することによって空間依存した解を構成した。目的の時間依存解は、この空間方向を逆 Wick 回転することによって得られ、それを解析的および数値的に調べた。特に、この解は円周上のクーロン統計系と解釈出来、モンテカルロ法による解析も行った。その結果、無限の未来で収束する解を得るためには解の持つ free parameter をゼロにする極限を取らなければならないことや、また、共形場の理論における臨界半径 $R=(\alpha')^{1/2}$ は VSFT の古典解においても特別な点 (相転移点) であること等が分かった。

論文審査の結果の要旨

弦理論は標準模型に含まれる三つの力と重力を含む統一理論の有力な候補である。しかし、弦理論が真に究極理論たり得るかを明らかにするためには、その非摂動論的性質を理解することが必要であり、これは現在の素粒子理論の重要な課題である。

さて、弦理論の非摂動論的現象の一つが、不安定な D-brane の崩壊である。90年代末に提唱された Sen の予想と、弦の場の理論による Sen の予想の証明によって、不安定な D-brane が存在する弦理論が持つ安定な古典解の性質が理解されるようになった。それは、弦理論には不安定な真空の他に D-brane が消滅した安定な真空が存在し、タキオン場が真空期待値を持つことで安定な真空に崩壊する、というものである。このとき考えられていたのは全て時間に依存しない安定な古典解の性質であった。その後2000年代に入り、時間に依存する古典解の性質が注目されるようになった。それが rolling tachyon 解である。Rolling tachyon 解の解析は弦理論の時間依存するダイナミクスの理解を与えるという点で大変重要である。これまでに二次元共形場の理論、有効場の理論などを用いて解析され、宇宙論への応用や、非臨界弦の理論の再解釈、開弦 - 閉弦の双対性など、様々な物理に発展している。しかし、二次元共形場の理論や有効場の理論では、閉弦の放出や反跳などの量子効果を調べるのが難しく、rolling tachyon 解の安定性などについては理解が進んでいなかった。

本論文は上記の問題を理解するために、弦の場の理論において rolling tachyon 解を構成し解析することを試みた。弦の場の理論は弦理論の第二量子化の理論であり、原理的には解の安定性や量子効果を調べるのが可能であるからである。

まず「Cubic 型弦の場の理論 (CSFT)」による解析では、質量の大きい場を無視し、モード展開によって時間依存する古典解を構成した。得られた解は rolling tachyon 解として望ましいプロファイルを持つものではなかったが、CSFT における解の構造を明らかにし問題を投げかけた点で評価に値する。

第二の「真空型弦の場の理論 (VSFT)」による解析では、形式的ではあるが厳密古典解を構成し、更に、その性質を解析的およびモンテカルロ・シミュレーションで調べた。その結果、無限の未来で収束する解であるためには、解の持つパラメーターをゼロに近づけなければならないこと、また、共形場の理論における臨界半径 $R=(\alpha')^{1/2}$ は VSFT の古典解においても(統計力学的に)特別な点であるらしいこと等が分かった。種々の解析はまだ多くの課題を残しているが、VSFT における時間依存解の先駆的研究として注目に値する。

以上のように、本論文は弦の場の理論における rolling tachyon 解に対して非常に興味深い解析を与えており、博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。