

氏 名	こ げつ ひさし 古 結 尚
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2980 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	Analyses of Various Aspects of Tachyon Condensation (タキオン凝縮のさまざまな側面の解析)

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

弦理論は量子重力理論や統一理論の最も有望な候補の一つである。弦理論の基本要素は開弦、閉弦、そして開弦の端がつく D ブレインである。弦理論にはさまざまな真空が存在し、その中のいくつかの真空の周りの揺らぎにはタキオンモードが存在している。ボソニックな開弦理論は開弦と空間 (25次元) を埋める D25 ブレインで構成されており、タキオンモードを含む不安定な真空の周りの理論であって、安定な真空の周りの理論に遷移すると考えられている。この遷移の過程はタキオン凝縮と呼ばれ、弦理論における大変興味深い現象である。開弦理論におけるタキオン凝縮の主な主張は以下の二点である。

- D ブレインの張力は不安定な真空と安定な真空のエネルギー密度の差に等しい。
- タキオン凝縮後の非摂動的真空には開弦の物理モードが存在しない。

このタキオン凝縮の予想に対して、主論文は二つのアプローチによる解析を行い、大変興味深い結果を引き出している。第一は Vacuum String Field Theory (VSFT) と呼ばれる弦の場の理論による解析であり、第二のアプローチは共型不変性を持った無質量境界 sine-Gordon モデルによる解析である。

弦の場の理論は弦の第二量子化理論であり、質量殻から外れた現象であるタキオン凝縮の直接的な解析に対して非常に有用な定式化である。本論文で扱う VSFT はタキオン凝縮後の非摂動的な真空の周りの弦理論を記述するものとして提唱されており、その作用は不安定真空周りの弦の場の理論である Cubic String Field Theory (CSFT) の運動項の BRST 電荷をゴースト座標のみで構成される冪零の電荷に置き換えることによって得られる。この VSFT においては凝縮前の不安定真空を表すと期待される古典解が求められている。不安定真空では開弦の物理状態が存在するはずなので、この古典解周りの揺らぎとして開弦の物理的状态が再現される必要がある。本論文では、まず、VSFT の古典解周りの揺らぎに関して、以下のような解析を行った。

1. 高レベルの質量状態についての解析：単純な解析を行うと、開弦の有質量状態のタワーは再現されず、全状態が無質量になるという問題があった。これは、弦を左右半分に射影する (無限次元) 演算子の固有値が 1 あるいは 0 であることに起因する。本論文では、しかるべき正則化の元での数値解析により、この演算子が固有値 1/2 を持つことで期待される有質量状態のタワーが現れることを確認した。

2. 無質量ベクトル状態のゲージ構造の解析：開弦の無質量ベクトル状態は光子に対応し、従って、VSFT からでも対応したゲージ変換が再現される必要があるが、これもまた単純な解析では再現できない。本論文では、このゲージ変換が $\infty \times 0$ という形で有限に実現することを適当な正則化を用いた解析で示した。

本論文では更に無質量境界 sine-Gordon モデルの一般化を行っている。このモデルは局所的な D ブレインの列を表すものとしてしばしば用いられてきたものである。ここでは特に、境界に現れる演算子の定義に対して精密化を行うことによ

て、作用に現れる裸の結合定数と境界状態に現れる繰り込まれた結合定数との関係式を厳密に再現することに成功している。

論文審査の結果の要旨

弦理論は量子重力理論や統一理論の最も有望な候補の一つである。しかし、実際に弦理論が現実世界を記述する理論であるかどうかを解明するためには、摂動論を越えた解析、すなわち、弦理論の非摂動論的解析が必要であり、これは素粒子論の最重要課題の一つである。本論文は、弦の場の理論という定式化を用いて、タキオン凝縮という非摂動論的現象の解析を行ったものであり、上記の課題への弦の場の理論を用いた重要な第一歩と考えられる。

タキオン凝縮とは、タキオンモードが存在する不安定真空周り開弦理論が、より安定な別の真空周りの理論に遷移する現象である。本論文では、最も簡単な系として、ボソニック開弦理論を考えているが、これは25次元空間を埋め尽くすソリトンの物体である D25 ブレインと、それに端を持つ開弦からなる理論と見なせる。この開弦にはタキオンモードが存在するが、それは D25 ブレインが不安定であることを意味し、D25 ブレインが消滅することがタキオン凝縮である。タキオン凝縮後は開弦が端を置くことが出来るブレインが存在しないため、開弦の物理的自由度が全く存在しない純閉弦理論が実現すると考えられている。

本論文では、弦理論の非摂動論的定式化の候補である弦の場の理論、特に D ブレインが消滅した安定真空周りの理論を記述すると考えられている Vacuum String Field Theory (VSFT) と呼ばれる弦の場の理論に関する解析を行っている。即ち、VSFT には D25 ブレインを表すと期待される古典解が知られているが、本論文では VSFT をこの古典解周りで解析し、通常のボソニック開弦理論を再現するかどうかを調べた。具体的には次の二つの重要な結果を得ている：

1. 高レベルの質量状態についての解析：単純な解析を行うと、開弦の有質量状態のタワーは再現されず、全状態が無質量になるという問題があった。これは、弦を左右半分に射影する（無限次元）演算子の固有値が1あるいは0であることに起因する。本論文では、しかるべき正則化の元での数値解析により、この演算子が固有値1/2を持つことで期待される有質量状態のタワーが現れることを確認した。

2. 無質量ベクトル状態のゲージ構造の解析：開弦の無質量ベクトル状態は光子に対応し、従って、VSFT からでも対応したゲージ変換が再現される必要があるが、これもまた単純な解析では再現できない。本論文では、このゲージ変換が $\infty \times 0$ という形で有限に実現することを適当な正則化を用いた解析で示した。

本論文では更に無質量境界 sine-Gordon モデルの一般化を行っている。このモデルは局所的な D ブレインの列を表すものとしてしばしば用いられてきたものである。ここでは特に、境界に現れる演算子の定義に対して精密化を行うことによって、作用に現れる裸の結合定数と境界状態に現れる繰り込まれた結合定数との関係式を厳密に再現することに成功している。

以上のように、本論文ではタキオン凝縮に関連した Vacuum String Field Theory の諸性質等に関して非常に重要な結果を導き出している。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。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。