

学 位 審 査 報 告 書

(ふ り が な) 氏 名	こうりき まいこ 高力 麻衣子
学位 (専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学位授与の日付	平成 年 月 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) Gauge Fixing of Modified Cubic Open Superstring Field Theory (Modified Cubic 型の開いた超弦の場の理論におけるゲージ固定)	
論 文 調 査 委 員	(主査) 國友 浩 准教授 九後 太一 教授 青山 秀明 教授

理 学 研 究 科

(続紙 1)

京都大学	博士（ 理学 ）	氏名	高力 麻衣子
論文題目	Gauge Fixing of Modified Cubic Open Superstring Field Theory （Modified Cubic 型の開いた超弦の場の理論におけるゲージ固定）		
（論文内容の要旨）			
開弦の場の理論は、様々な古典解が解析的に求められるなど、主にボソン弦の分野で近年大きく発展してきた。一方、超対称性を持つ超弦の場の理論の場合、ボソン弦ほどには研究が進んでいない。特にゲージ固定については、ほとんど議論されていないのが現状である。この点を踏まえて本博士論文は、超弦の場の理論の一つである Modified cubic 型と呼ばれる理論を取り上げ、最も一般的な手法である Batalin-Vilkovisky（BV）形式を適用することで、相互作用まで含めた理論のゲージ固定を初めて厳密に議論し、BV 方程式を満たすマスター作用、及び BRST 不変なゲージ固定された作用を求めることに成功している。 超弦の Fock 空間はゴースト数の他に描像（picture）という量子数を持っており、その選び方には任意性がある。この任意性は物理的な振幅等の観測量には影響を与えないが、場の理論のように非物理的な領域まで拡張しようとするとその限りではなく、どの描像を選ぶかに依存して、異なる場の理論が得られる。例えば Witten による最初の試みでは（- 1）-picture の Neveu-Schwarz（NS）場と（- 1/2）-picture の Ramond（R）場を用いた超弦の場の理論（cubic super string field theory（CSSFT））が提案された。これは最も自然な picture の選び方であるが、描像変換演算子（picture-changing operator（PC0））の衝突に由来する発散が存在し、素朴には成り立つ作用のゲージ不変性などが厳密な意味では定義できないという問題を持っている。この困難を克服するものとして提唱されたのが本論文で取り上げている modified CSSFT である。この理論では NS 場として 0-picture の場を採用し、理論に現れる PC0 の構造を変更することで CSSFT に存在した発散の問題を巧妙に避けることに成功している。しかしその代償として、CSSFT では非常に簡単な形をしていた NS 場の運動項に描像数（- 2）を持つ PC0 が現れる。この演算子が非自明なカーネルを持つことから、BRST 演算子に付随するゲージ対称性に加えて余分なゲージ対称性を持ち、これがゲージ固定をより複雑にしている。 実はこの余分なゲージ対称性は CSSFT の R 場のセクターに既に存在し、これを正しく考慮して初めて矛盾のないゲージ固定された作用が導かれることが知られていた。そこで本論文では、まず相互作用のない R 場について BV 形式を適用し、ゲージ不変な作用から、形はそのまま、場に対するゴースト数の制限を取り去ることで BV 方程式を満たすマスター作用が得られることを証明し、そこで反場を零としたものが、確かにこれまでゲージ固定された作用とされていた結果を再現することを示している。 次に同様の方法を NS 場についても適用し、最終的には NS 場と R 場の両者を含んだ相互作用まで含む全体の理論について、厳密にゲージ固定を行っている。この最後の部分は BV 形式を適用することで初めて可能となるものである。その結果、自由 R 場の場合と同様、ゲージ不変な作用と同じ形で、場のゴースト数の制限を取り去ったものが BV 方程式を満たすマスター作用となる。但し、具体的に展開する方法では伝搬関数が露な形で計算できないため、相補的な方法として非局所的な射影演算子を用いる方法を提案し、具体的な伝搬関数を求めている。			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は Modified Cubic (MC) 型の超弦の場の理論におけるゲージ固定について論じたものである。MC 型の超弦の場の理論の作用は、通常のゲージ対称性の他に余分なゲージ対称性の下で不変となっている。これは作用に(逆)picture changing (PC) 演算子が挿入されているせいで、この余分な対称性が理論のゲージ固定を複雑なものにしている。このため、理論が提案されて以来 20 年余、ゲージ固定に着いてきちんとした議論がなされていなかった。それに対して本論文は、BV 形式という理論的に確立した枠組みを用いて、正しくゲージ固定を遂行することに成功した。つまり、出発点としてゲージ不変な作用から始めて BV 作用と呼ばれるマスター方程式を満たす作用を求め、そこに含まれる反場の自由度を消去することによって BRST 不変なゲージ固定された作用を求めている。

MC 型の超弦の場の理論、特にその NS 場については、上記の余分なゲージ対称性がより複雑なため、これまで BV 形式を用いた正統なゲージ固定はなされていなかった。本論文では、まずゴースト座標の関係するモードに関して具体的に展開した NS 場が最も簡単な形になるように、余分なゲージ対称性を固定するのが鍵となる。このおかげで、これまで理論的な裏付けなしに信じられていた作用、即ちゲージ不変なものと同じ形で、場に対するゴースト数の制限をなくした作用、が確かに BV マスター方程式を満たす BV マスター作用となっていることを示すことに成功している。更に、BRST 変換の構造を詳しく調べることにより、反場の自由度を正しく同定、消去することには成功しているが、具体的な展開を用いた分、ゲージ固定された作用の表式が複雑になり、残念ながら具体的な伝搬関数を求めるには至らなかった。そこで本論文では、二つのゲージ自由度の消去に対して射影演算子を用いた相補的な方法を提案している。ここで BV 形式の議論は、ゲージ自由度の消去とは独立で、これら消去の方法にはよらないことに注意しておく。この方法を用いることにより、伝搬関数が閉じた形で求められている。

このように本論文は、MC 型の超弦理論におけるゲージ固定の問題と言う、これまで正面から議論されてこなかった難問に果敢に取り組み、BV 形式という確立した正統的な方法を用いて、世界で始めて満足のいく解答を与えた点で、高く評価されるべきものである。

以上の理由から、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、平成 24 年 1 月 17 日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った。その結果合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降