

氏 名	たか はし とも ひこ 高 橋 智 彦
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 1797 号
学位授与の日付	平 成 9 年 3 月 24 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 第 二 専 攻
学位論文題目	OSp Symmetric Approach to String Field Theories (弦の場の理論への OSp 対称性に基づくアプローチ)

	(主 査)			
論文調査委員	教 授 九 後 太 一	教 授 益 川 敏 英	教 授 堀 内 昶	

論 文 内 容 の 要 旨

近年、弦理論の非摂動的な振る舞いに関して、特に双対性 (duality) について多くのことが解明され、D-brane を伴った様々な弦理論が双対変換によって互いに網の目上に結び付いていると考えられるに至っている。一方、弦の場の理論は弦理論の非摂動効果を取り扱い得る強力な方法である、としばしば言われてきた。実際、 $\alpha = p_+$ HIKKO (畑, 伊藤, 九後, 国友, 小川) の弦の場の理論では、T-双対変換がゲージ変換として理解できることが示されていた。しかし、完全にローレンツ共変でゲージ不変な形の弦の場の理論は、未だ満足すべき定式化がなされていない。唯一、光円錐ゲージの弦の場の理論だけは正しい理論的枠組みを与えていると見なされており、ゲージ不変な弦の場の理論を構成する一つの方法として、この光円錐ゲージの理論に基づく方法が考えられている。HIKKO 理論, $\alpha = p_+$ HIKKO 理論, Covariantized light-cone 理論などがこの方法により構成されている。

申請者は、最近の弦理論の非摂動効果に関する進展を弦の場の理論によって取り扱うための準備として、光円錐ゲージの理論に基づく (申請者が OSp symmetric approach と呼ぶ) 上記のゲージ不変な弦の場の理論に関連する三つの問題を論じている。

最初に、公表論文のテーマであるハーモニクゲージでの弦理論の第一量子化に関して議論している。この理論はユニタリー変換によって $OSp(1,1|2)$ 弦の場の理論と繋がっていることが知られているものである。ところが、「ハーモニクゲージでは弦理論の量子異常が定義できず、臨界次元が不定である」という主張があった。この主張に対して申請者は、BRS 対称性からゼロとなるべき中西-Lautrap 場の 2 点関数を計算し、それが臨界次元の 26 次元以外ではゼロにならないことを示した。この結果は 26 次元以外では BRS 対称性にアノマリーが存在することを意味し、したがって、ハーモニクゲージで臨界次元に不定性があることを明確に否定し、以前の矛盾を解消するものである。さらに、この 2 点関数から Ward-Takahashi 恒等式を満足するように有効作用を求め、2 点関数の BRS アノマリーが有効作用におけるコンフォーマルアノマリーに他ならないという結果を得ている。したがって、コンフォーマルアノマ

リーも26次元でのみ相殺することになり、臨界次元がハーモニクゲージでも明確に定義できると結論している。また、ハーモニクゲージではゴースト数のアノマリーが存在しないという従来の結果を再確認し、この結果がFP共役変換に対する不変性から自然に理解できることも指摘している。

次に、Covariantized light-cone 理論において問題点とされていた $OSp(1,1|2)$ 対称なゼロモード波動関数の規格化について考察している。これは従来、ゼロモード部分の波動関数を規格化するためには、弦の長さのパラメータ α を複素数に拡張しなければならない、と考えられていたが、一方、弦の相互作用 vertex は、 α に関して解析関数でないので複素数への拡張が well-defined でない、ということで問題であった。申請者は、一般化された Schrödinger 表示を用いることを提案し、そうすれば α を実数に限ったままゼロモード波動関数が規格化できる、ということを初めて指摘している。

第三に、申請者は、閉弦と開弦が相互作用する開・閉弦混合系の弦の場の理論の構成に関する考察を行っている。そこでは、まず、系の低エネルギー有効理論である Born-Infeld 作用の分析から、弦の場の理論が持つべきゲージ対称性について推察している。さらに、このゲージ対称性と非線型シグマ模型のコンフォーマル不変性との類似を議論し、曲った時空での BRS 演算子を用いた弦の場の理論を構成すれば自動的にゲージ対称性が実現できるとの予想を与えている。

論文審査の結果の要旨

弦の理論は、重力を含む全ての素粒子の究極統一理論の候補として活発な研究が行われてきた。近年、その非摂動的なダイナミクスに関して、特に双対性 (duality) について多くのことが解明され、D-brane (ディリクレ膜) を伴った様々な弦理論が双対変換によって互いに網の目上に結び付いていると考えられるに至っている。この双対性を、弦の多体問題と非摂動効果を取り扱い得る弦の場の理論から統一的に議論し直すことは、さらに新しい知見を得るためにもきわめて重要である。事実、ある弦の場の理論では、T-双対性がゲージ不変性として理解できることが示されている。しかし残念なことに、完全にローレンツ共変でゲージ不変な形の弦の場の理論は、未だ満足すべき定式化がなされていない。唯一、光円錐ゲージの弦の場の理論だけは正しい理論的枠組みを与えていると見なされており、ゲージ不変な弦の場の理論を構成する一つの方法として、この光円錐ゲージの理論に基づく方法が考えられている。HIKKO (畑, 伊藤, 九後, 国友, 小川) 理論, $\alpha = p_+$ HIKKO 理論, Covariantized light-cone 理論などがこの方法に基づき構成されているゲージ不変な弦の場の理論である。

申請者は、本申請論文では、最近の弦理論の非摂動効果に関する進展を弦の場の理論によって取り扱うための準備として、申請者が OSp symmetric approach と呼んでいる上記のゲージ不変な弦の場の理論に関連した三つの問題を論じている。

まず第一は、公表論文のテーマであるハーモニクゲージでの弦理論の第一量子化に関する問題である。この理論はユニタリ変換によって $OSp(1,1|2)$ 弦の場の理論と繋がっていることが知られているが、「ハーモニクゲージでは弦理論の量子異常が定義できず、臨界次元は不定である」という主張をする一部の物理学者があった。この主張に対して申請者は、BRS 対称性からゼロとなるべき中西-Lautrap 場の2点関数を計算し、それが臨界次元の26次元以外ではゼロにならないことを示した。この結果は26次元以

外では BRS 対称性にアノマリーが存在することを意味し、したがって、ハーモニックゲージで臨界次元に不定性があるという主張を明確に否定し、以前の矛盾を解消するものである。さらに、この2点関数から Ward-Takahashi 恒等式を満足するように有効作用を求め、2点関数の BRS アノマリーが有効作用におけるコンフォーマルアノマリーに他ならない事を示した。したがって、コンフォーマルアノマリーも26次元でのみ相殺することになり、この事は、臨界次元がハーモニックゲージでも厳然として存在することを議論の余地なく示したものと言うことができる。

第二は、Covariantized light-cone 理論における $OSp(1,1|2)$ 対称なゼロモード波動関数の規格化の問題である。従来、ゼロモード部分の波動関数を規格化するためには、弦の長さのパラメータ α を複素数に拡張しなければならない、と考えられていたが、一方、弦の相互作用 vertex は、 α に関して解析関数でないので複素数への拡張が well-defined でない、ということがあり、Covariantized light-cone 理論の一つの困難な問題であった。申請者は、ゼロモード部分の波動関数に対して一般化された Schrödinger 表示を用いることを提案し、そうすれば α を実数に保ったままゼロモード波動関数が規格化可能になることを初めて指摘し、この困難を解消することに成功したものである。

第三に、申請者は、閉弦と開弦が相互作用する開・閉弦混合系の弦の場の理論の構成に関する考察を行っている。そこでは、まず、系の低いエネルギー有効理論である Born-Infeld 作用の分析から、弦の場の理論が持つべきゲージ対称性について推量し、さらに、このゲージ対称性と非線型シグマ模型のコンフォーマル不変性との類似に着目して、曲った時空での BRS 演算子を用いた弦の場の理論を構成すれば自動的にゲージ対称性が実現できるとの予想を与えている。最後の予想部分は現在研究継続中のものであり、未だ確証されていないとはいえ、十分な根拠を提示しており非常に説得力のあるものとなっている。

以上弦の場の理論の三点にわたる申請者の仕事は、それぞれ明確な結果や興味ある結果を導いており、今後のゲージ不変な弦の場の理論の構築にとって重要な役割を果たすと思われる。よって、本申請論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。

主論文および参考論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野について口頭試問した結果、合格と認めた。