

学位審査報告書

(ふりがな) 氏名	(むらた まさき) 村田 仁樹
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) No-Ghost Theorem and Gauge Fixing Problem in Open Superstring Field Theory (超対称開弦の場の理論におけるゴースト非存在定理とゲージ 固定問題)	
論文調査委員	(主査) 九後 太一 教授 國廣 悌二 教授 國友 浩 准教授

理学研究科

(続紙 1)

京都大学	博士 (理 学)	氏名	村田 仁樹
論文題目	No-Ghost Theorem and Gauge Fixing Problem in Open Superstring Field Theory		
(論文内容の要旨)			
<p>重力を含む統一理論の有力候補として弦理論があるが、実際に弦理論から現実の四次元時空上の素粒子標準模型などを導くためには、弦理論を非摂動的に定式化する必要がある。弦の場の理論 (String Field Theory、以下 SFT) は、弦理論を最も直接的に非摂動的に定式化するものである。近年、M. Schnablにより D ブレインが消えた状態を表す厳密解が発見され、それ以来場の古典解の性質については色々調べられてきた。さらに、超対称性を持った超対称開弦の場の理論 (Open Superstring Field Theory、以下 OSSFT) についても古典論としての性質は近年盛んに調べられてきている。しかしながら、量子論についてはゲージ固定処方すら明らかにされていない。</p> <p>弦場は、超弦の世界面理論の量子状態を基底として展開される。超弦の量子状態は picture という量子数をもつが、OSSFT の力学変数である弦場にどの picture 数を割り当てるかには任意性がある。これまでに、様々な picture をもつ超弦場に基づいていくつかの OSSFT が提案されてきた。最初に提唱された OSSFT では、ボソン部分の Neveu-Schwarz (NS) 弦場が -1 の picture、フェルミオン部分の Ramond (R) 弦場が $-1/2$ の picture の、natural picture と呼ばれるものに基づいていた。ところが、この理論では、摂動計算などで picture 変換演算子がぶつかって発散が生じるという困難があった。</p> <p>その後、“改良型 OSSFT” が、この困難を回避するものとして提案された。この理論においては、R 弦場は同じ $-1/2$ picture を持つが、NS 弦場は 0 picture を持つ。申請者は、この改良型 OSSFT の量子論の定式化へ向けて、この理論における「ゴースト非存在定理」と「ゲージ固定」の2つのテーマの研究を行った。</p> <p>「ゴースト非存在定理」とは、物理的状態に負ノルム状態が無いという定理である。Kato-Ogawa はボソンの弦理論において Kugo-Ojima の補助条件の解として物理的状態を構築し、ゴースト非存在定理を示した。超弦理論においても、NS 超弦では -1 picture、R 超弦では $-1/2$ picture のそれぞれの場合に同様の証明がなされた。一方、改良型 OSSFT の NS 超弦が持つ picture 数 0 の物理的状態については明確には理解されておらず、ゴースト非存在定理も証明されていなかった。そこで申請者は国友浩、高力麻衣子とともに 0 picture の NS 超弦の物理的状態について調べた。0 picture NS 超弦のヒルベルト空間における自然な内積を定義し、Kato-Ogawa の手法を応用することで物理的状態が半正定値ノルムを持つことを示し、ゴースト非存在定理を証明した。さらに、通常用いられる -1 picture の物理的状態と 0 picture のそれらとの間に一対一の対応関係があることを明らかにした。</p> <p>OSSFT はある種のゲージ理論である。一般にゲージ理論を量子化するためにはまず初めにゲージを固定する必要があるが、上述のように OSSFT においてはこれが未だ出来ていない。OSSFT では作用に picture 変換演算子が存在し、これが非自明な核を持つことから、通常の (いわゆる Q_B) ゲージ対称性の他に“新しいゲージ対称性”が存在する。Kugo-Terao は R 部分について、核部分を落とす射影演算子を構成し、“射影さ</p>			

れた場”を用いることで、この“新しいゲージ対称性”を固定した。残るゲージ対称性は元々の Q_B ゲージ対称性のみである。

そこで申請者は、 Q_B ゲージを固定する手法として、Batalin-Vilkoviski (BV) 形式を用いた。運動項のみを考えれば、作用は R 部分と NS 部分とに分かれる。まずR 部分に関して、運動項を“射影された場”で書き直すと、元々あった picture 変換演算子をより簡単なもの書き換えられる。これを利用して申請者はBV 方程式を満たすゲージ固定作用を見いだした。次にNS 場に対して、従来のものより好ましい性質を持つ新しい射影演算子を提唱し、それが射影演算子の性質を持つことを証明した上で、作用をこの射影された場で書き直した。この“射影された場”の構造はかなり複雑であり、そのためNS部分を実際にBV 方程式を満たすことは未だ出来ていない。しかし、その将来の証明に有用な様々な恒等式や考察を与えている。また、運動項でBV方程式が一旦示されれば相互作用項を含めても自動的に成り立つことを証明した。

(論文審査の結果の要旨)

重力を含む統一理論の候補として弦理論が有力であるが、弦理論を非摂動的に定式化する方法として弦の場の理論 (String Field Theory、SFT)がある。特に超対称性を持った超対称開弦の場の理論 (Open Superstring Field Theory、OSSFT)は、古典論としての性質は近年盛んに調べられてきているが、量子論についてはゲージ固定処方もわかっていない。

超弦の量子状態は picture という量子数をもつが、OSSFT の力学変数である弦場にどの picture 数を割り当てるかには任意性がある。最初に提唱された OSSFT は、ボソン部分の Neveu-Schwarz (NS) 弦場が -1 の picture、フェルミオン部分の Ramond (R) 弦場が $-1/2$ の picture の、いわゆる natural picture と呼ばれるものに基づいていた。ところが、この理論では、散乱振幅の計算に「picture 変換演算子の衝突による発散」が生じるという困難があった。その後、この困難を回避するため、NS 弦場の picture を 0 picture に変更した、“改良型 OSSFT”が提案された。

申請者は、この改良型 OSSFT の量子論の定式化を目標として、この理論における「ゴースト非存在定理」と「ゲージ固定」の2つのテーマの研究を行った。「ゴースト非存在定理」とは、物理的状态に負ノルム状態が無いという定理である。Natural picture の NS 超弦や R 超弦の場合には、それぞれゴースト非存在定理が証明されていたが、改良型 OSSFT の 0 picture の NS 超弦の物理的状态についてはこれまで明確に理解されておらず、ゴースト非存在定理も証明されていなかった。そこで申請者は国友浩、高力麻衣子とともに 0 picture の NS 超弦の物理的状态について調べた。0 picture NS 超弦のヒルベルト空間における自然な内積を定義し、物理的状态が半正定値ノルムを持つことを示し、ゴースト非存在定理を証明することに成功した。さらに、通常用いられる -1 picture の物理的状态と 0 picture のそれらとの間に一対一の対応関係があることも明らかにした。

次に申請者は改良型 OSSFT のゲージ固定の問題に進んだ。OSSFT では作用に picture 変換演算子が存在し、これが非自明な核を持つことから、通常の Q_B ゲージ対称性の他に“新しいゲージ対称性”が存在することも考慮する必要がある。申請者は、 Q_B ゲージを固定する手法として Batalin-Vilkoviski (BV) 形式を用いた。運動項のみを考えれば、作用は R 部分と NS 部分とに分かれる。まず R 部分に関して、運動項を“射影された場”で書き直して元々あった picture 変換演算子をより簡単なもの書き換える先行研究の結果を利用して、申請者は BV 方程式を満たすゲージ固定作用を見い出した。次に NS 場に対して、従来のものより好ましい性質を持つ新しい射影演算子を提唱し、それが射影演算子の性質を持つことを証明した上で、作用をこの射影された場で書き直した。この“射影された場”の構造はかなり複雑であり、そのため NS 部分が実際に BV 方程式を満たすことには未だ成功していない。しかし、将来の証明に有用と思われる様々な恒等式や考察を与えている。また、運動項で BV 方程式が一旦示されれば相互作用項を含めても自動的に成り立つことを証明した。

以上のように申請者の論文は、超対称開弦の場の理論、特にその量子論にとって基礎的な、オリジナルで重要な業績である。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。

平成 23 年 1 月 18 日、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。