別紙４

| 報告番号 | ※　　　　第　　　　号 |
|---|---|

# 主　論　文　の　要　旨

論 文 題 目　From the Berkovits Formulation to the Witten Formulation in Open Superstring Field Theory
（開いた超弦の場の理論の Berkovits の定式化と Witten の定式化の関係）

氏　　　名　飯森　悠樹

## 論　文　内　容　の　要　旨

素粒子論の最重要課題の１つは、重力を含むすべての力の統一理論を構築することである。その最有力候補として注目されているのが、素粒子を点粒子ではなく弦だと仮定する弦理論である。しかしながら、この理論は摂動論的にしか定義されていないという難点を持つ。「弦の場の理論」は弦理論の非摂動論的定式化に向けたアプローチの１つであり、現在に至るまで盛んに研究されてきた。

弦の場の理論は、弦の時空座標を引数に持つ「弦の場」を基本自由度とする、第２量子化されたゲージ理論として定式化される。超対称性を持つ「開いた超弦の場の理論」は Witten により提唱された。この理論は３次の相互作用項のみを持つが、散乱振幅が tree level でも発散することが知られている。一方、Berkovits によって提案された開いた超弦の場の理論は、無限個の相互作用項を持ち、発散の問題がないことが議論されている。この２つの理論の関係性を理論の持つゲージ対称性に着目して議論するのが、本論文の主な目的である。

本論文は３部から成り、主な結果は第３部で述べられている。第１部では超対称性を持たない「開いたボソン弦の場の理論」を用いて弦の場の理論の基礎を説明した。まず、作用やゲージ対称性等の理論の構造を議論し、次に散乱振幅の計算方法をレビューした。散乱振幅の計算においては、まずは振幅の外線運動量が質量殻上である on-shell 振幅を解析し、弦理論の振幅が再現されることを確かめた。また、振幅のゲージ不変性についても議論した。次に外線運動量が質量殻外である off-shell 振幅を考察し、on-shell 振幅の計算との違いを復習した。

第２部では開いた超弦の場の理論について説明した。まずは Witten による定式化を議論し、４点 tree 振幅が発散することを確認した。この散乱振幅の発散に対し Wendt は適切な相殺項を導入したが、この相殺項についても説明した。次に Berkovits による定式化について説明し、その４点 tree 振幅を解析した。散乱振幅が発散せず、また、高次の相互作用項の寄与により弦理論の振幅が正しく再現されることを確認した。以上のこと

に加え第２部ではWitten型の理論の改良版として知られるmodified cubic formulationについても簡単に説明した。

第３部では副論文に基づきWitten型の定式化とBerkovits型の定式化の関係性を議論した。Berkovits の定式化における弦の場の状態空間は Witten の定式化における弦の場のものよりも大きく、関連して、Berkovits の理論は Witten の理論よりも大きなゲージ対称性を持つ。両定式化を関係づけるため、Berkovits の理論の余分なゲージ自由度に対するゲージ固定を行った。ゲージ固定条件は１つのパラメータ$\lambda$でラベルされている。特異な極限$\lambda\to0$ の下で 3 次の相互作用項は Witten 型のものに帰着し、$\lambda$の値が有限の時はWitten型の発散の問題は起こらないことを示した。この事は上記のゲージ条件を課したBerkoivtsの定式化がWittenの定式化の正則化と見なせることを示唆している。この考えを検証するため、上記のゲージ条件の下on-shell４点tree振幅を詳細に解析した。４次の相互作用項は極限$\lambda\to0$ の下で発散するが、この発散項が Witten 型の理論の発散をちょうど打ち消し、相殺項としての役割を果たすことを示した。また、Berkovitsの理論を用いたWittenの理論の正則化とWendtによる正則化の方法の関係性を議論し、前者から後者の構造が再現されることを示した。

また上記のゲージ条件を用いて、off-shell 4 点 tree 散乱振幅も評価した。弦の場の理論では off-shell 振幅を計算することができるが、通常のゲージ理論と同様、その結果はゲージ条件の選び方に依存する。質量殻条件を外した 4 点 off-shell 散乱振幅が極限$\lambda\to0$ の下で有限になるかどうかは非自明であり、具体的な計算により確かめる必要がある。具体的計算により、上に述べた手続きで得られた 4 点の相殺項が、確かに 4 点off-shell散乱振幅を有限にすることを示した。また、off-shell散乱振幅ではon-shell振幅では０になる項からの非自明な寄与があり、極限$\lambda\to0$ の下でそれらの項がどのような形を取るか解析し、その形を同定した。