

## 論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 後藤 桂佑

弦理論あるいは超弦理論の非摂動的定式化は、素粒子論における長年の課題の一つであるが、その最も自然なアプローチは、弦の場の理論である。フェルミ粒子を含まないボース弦の場合に、弦の場の理論が構成されて以来 30 年ほどが経つが、フェルミ粒子を含み超対称性を持つ超弦理論の場合は、数々の先行研究による試みにもかかわらず、長い間完全な定式化には成功していなかった。その困難の原因は様々な要因が絡んでいるが、特にラモンセクターと呼ばれる部分状態空間の取り扱いが極めて難しいことにあった。つまりフェルミ粒子を記述する弦の場を含んだ作用を書き下すことが難しいのである。

しかしながら、この数年大きな進展があり、いよいよラモンセクターを含む完全な定式化へ向けての機運が高まってきた。特に開いた超弦の場の理論に対しては、ごく最近全てのセクターを含む作用が提唱されるに至った（国友-大川, 2015）。

本学位申請論文は、このような状況の中で、超弦理論の一種であるヘテロ型超弦理論に対してラモンセクターすなわちフェルミオンの弦の場を含む作用の構成を試み、フェルミオン場の 4 次までのゲージ不変な作用を決定することに成功したものである。

ヘテロ型超弦理論は、閉じた弦の理論であり、理論全体の状態空間は、その一次元の周期的な弦の上を左回りに回る基準モードと右回りに回る基準モードによる状態空間の直積で、一方はボース弦と同様な状態空間、もう一方はフェルミオンのモードも含む状態空間となっており、その中のフェルミオンのモードの境界条件の違いによって、ヌボー・シュワルツセクターとラモンセクターとに直和分解される。ラモンセクターは時空の意味でのフェルミ粒子の場の自由度を記述し、ヌボー・シュワルツセクターは時空の意味でのボース粒子の場の自由度を記述している。その両者の間に超対称性が実現される理論としてヘテロ型超弦理論は定義される。

弦の場の理論は、各セクターに対する「弦の場」を自由度とする場の理論で、通常の粒子の場で見ると無限個の場の自由度を一気に扱うことに対応しており、その構成は極めて非自明である。ヘテロ型も含め、超弦理論のヌボー・シュワルツセクターのみの場合に関しては、ある程度良い候補が提唱されていたが、ラモンセクターを含む場合に成功した例は知られていなかった。

弦の場の理論の作用を構成するには、場の中の（一般に多体の）積を定義し、それに基づいてゲージ変換を構成し、ゲージ変換の下で不変な作用を決定することが必要である。そしてゲージ不変性が実現されるためには、ゲージ変換で混ざり合う各積の間に一定の関係が必要である。その積に対する（一般には無限個の）関係式群を総合的に扱う代数構造があり  $A_\infty$  代数（開いた弦）あるいは  $L_\infty$  代数（閉じた弦）と呼ばれる。

本研究においては、この  $L_\infty$  代数を満たす積の集合を構成することが課されたタスクとなる。学位申請者は、まずラモンセクターの場を一つも含まない項について、申請者と松永博昭氏との以前の共同研究で得られた双対 WZW 型作用を用意し出発点とした。この形式は  $L_\infty$  代数と相性が良く、ラモンセクターを取り入れていく際にゲージ不変性を各次数で確認しながら決定していくのに都合が良い。その上で、ラモンセクターの場の 2 次の項、及び 4 次の項について、先行研究によって得られた技術を幾つか組み合わせることでその候補を見つけ、実際にゲージ不変であることを示した。

ただし、先行研究とは状況が異なる点があり、例えば国友-大川の開いた超弦の場の理論においては、2 体積が結合律を満たすためにラモンセクターの場は 4 次までで閉じる。しかし、閉じた弦であるヘテロ型超弦の場合は、4 次では閉じず、さらに高次の項が必要になる。本論文においては、高次項の決定までは至らなかったが、ヌボー・シュワルツセクターの場に関しては全次数を含み、ラモンセクターの場に関しては 2 次と 4 次である項を完全に決定した。これをステップとして高次の項を決定していくことが今後の課題である。いずれにせよ、ヘテロ型超弦理論の場の理論の構成という長年の難問に対して、実現への道筋をつけた意義は大きい。

なお、本論文の主要な部分は、国友浩氏との共同研究に基づくものであるが、申請者が主体となって研究を行ったものであると認められる。以上により、本論文提出者に対し博士（学術）の学位を授与できると認める。