

# 論文の内容の要旨

## 論文題目

Construction of heterotic string field theory  
including the Ramond sector

( Ramond セクターを含む  
ヘテロティック弦の場の理論の構成 )

氏名

後藤 桂佑

弦理論は、場の理論での扱いが難しい重力相互作用を自然に含む理論で、自然界の相互作用の統一理論の候補として現在研究されている理論である。弦理論は重力だけでなく非常に多くの物理を含む。例えば各種ブレーンの物理やそれに伴う双対性などは弦理論の非摂動的な物理であり、現代物理において非常に重要な役割を担っている。含む物理の豊富さに加え理論が内包する数学的な構造の豊富さゆえに、弦理論は物理的・数学的に重要性が認識され、現在も完全な理解を目指して研究の対象となっている。弦理論の一つの良く知られた定式化は弦の軌跡である世界面を第一量子化した弦の量子力学であるが、この定式化は指定した背景時空の周りの摂動論であり、先に述べたような非摂動現象を直接扱う事には適していない。弦理論の非摂動的な物理の理解のためには背景に依存しない非摂動的な定式化が重要であるが、これは未だ完成しておらず、ひとつの大きな課題であると言える。

弦の場の理論は、弦の物理を弦の場についての作用によって記述する、弦理論の非摂動的な定式化を目指す弦の第二量子化のアプローチである。弦の場の理論の作用は、点粒子の場の理論と同様、ゲージ対称性を指導原理に構成される。特に弦の場の理論のゲージ対称性は弦の第一量子化の結果の再現や弦理論の整合性とも深く関係する、あるいは関係すると期待されるものであり、ゆえにゲージ対称な弦の場の理論の作用の構成は、弦理論の定式化を与える事に加

え、弦理論の構造の理解においても大きな意味を持つものである。弦には超対称性の無いボソン弦と超対称性を持つ超弦とがあり、それぞれに開いた弦と閉じた弦があるが、本博士論文では超対称性を持つ閉弦の一種であるヘテロティック弦について、その完全な作用の構成に向けて、ゲージ対称な作用の摂動的な構成を行った。

ボソン弦、および超弦理論のボソンを記述するセクターについては、開弦・閉弦ともに作用が構成されており、作用が典型的に持つ代数的な性質が良く理解されている。ボソン弦の場の理論の作用は、開弦・閉弦に対してそれぞれ  $A_\infty$  代数・ $L_\infty$  代数と呼ばれる構造を有する多弦積を用いて構成されている。この構造はゲージ対称性を保証するだけでなく、リーマン面のモジュライ空間の分割という構造から自然に従うものであり、弦の第一量子化の散乱振幅の再現や弦理論の整合性とも深く関係する事が知られている。超弦の場の理論はボソンを記述するセクターに限定しても古典的には閉じた議論が可能であるが、そのセクターについてはボソン弦と同様に、 $A_\infty$  代数や  $L_\infty$  代数の構造を持つ作用が構成された。それによってゲージ対称性を実現する構造の理解が進み、弦の第一量子化の tree レベルの散乱振幅が再現されることが示された。更に、開弦については、以前より知られていた Wess-Zumino-Witten (WZW) 型と呼ばれる、 $A_\infty$  代数や  $L_\infty$  代数とは（見かけ上は）異なる構造によってゲージ対称性を実現されている理論との関係も理解された。

開いた超弦については、フェルミオンを記述するセクターも含めた完全な作用が構成された。開いた超弦はボソンを記述する Neveu-Schwarz セクターとフェルミオンを記述する Ramond セクターから成るが、Neveu-Schwarz セクターの作用として  $A_\infty$  型の作用と WZW 型の作用の両方の利点を有する形の作用を用い、それに Ramond セクターの運動項および相互作用項を加える事で、ゲージ対称性をもつ作用が構成された。

超対称性を持つ閉弦の一種であるヘテロティック弦は開いた超弦と同様にボソンを記述する Neveu-Schwarz セクターとフェルミオンを記述する Ramond セクターから成るが、閉弦の場合は作用の構成に用いる多弦積の代数構造が開弦に比べて複雑であるために、開弦の作用の構成のヘテロティック弦への拡張は単純ではない。本博士論文では、幾つかの構造の良い多弦積を導入し、この拡張を行う。なお、ヘテロティック弦についてはそれまでの研究において、運動方程式や拘束条件付きの作用は構成されていた。また、直近の進展として、余分な自由場を含む形で作用の構成がなされ、その文脈においては量子化も議論されている。

本博士論文では、Ramond セクターを含むヘテロティック弦の場の理論の作用を、Ramond セクターの弦の場の次数について摂動的に四次まで、Neveu-Schwarz セクターの弦の場については全次数で構成した。まずは出発点とする Neveu-Schwarz セクターの作用を、開弦の場合の先行研究を鑑みた上で、Ramond セクターを含めるために相性の良い形で新しく構成した。特にその作用は  $L_\infty$  型の作用と等価で、そのゲージ対称性は WZW 型の作用に類似した構造で実現される。このような Neveu-Schwarz セクターの作用から出発すると、近年構成された開弦の完全な作用は Ramond セクターの弦の場については二次の作用であったが、ヘテロティック弦の作用の Ramond セクターの弦の場について二次の部分に対してその自然な拡張が可能とな

る。それに従って具体的な構成を行うとともに、この次数においてゲージ対称性が実現される構造についても、開弦の場合の理解に基き議論を行った。

閉弦に特徴的な多弦積の構造の複雑さに起因し、Ramond セクターの弦の場についてより高次のゲージ対称性のためには Ramond セクターの弦の場についてより高次の相互作用項が必要となる。本博士論文では Ramond セクター弦の場について四次の部分において、適切な代数構造を持つ多弦積を導入し、それを用いてゲージ対称な作用が構成できる事を示し、そして実際にその構成を行った。最後に、本論文中で構成した Ramond セクターの弦の場について四次までの運動方程式とゲージ変換の間に、高次、そして全次数への応用を示唆する関係式が成り立つ事を述べる。