論文審査の結果の要旨

氏名　藤 博之

自然界の統一理論の最有力候補である超弦理論における重要な課題のひとつとして、超弦の多体系及びその相互作用の記述の問題がある。もともと弦理論は一本の弦を量子力学的に扱ういわゆる「第一量子化」の立場から発展してきたものであり、そこでの多体系の相互作用は質量殻条件を満たす外線の状態を表す「頂点作用素」と呼ばれる作用素を弦の描く世界面上に挿入するという若干人為的な方法で摂動論的に記述される。後に、より本質的な多体系の記述として、弦自体の場を基本とする「弦の場の理論」が考案され、幾つかの問題の取り扱いにおいて成功を納めているが、無限個の場を同時に取り扱うことに伴う曖昧さ及び超対称性の記述の困難等があり、とりわけ閉弦の場の理論はボゾン弦に限っても未だ満足の行く定式化は得られていない。

一方、近年弦理論の「双対性」の解明の飛躍的な発展の流れの中で、様々な種類の超弦理論を１１次元で定義される「M理論」の視点から統一的に記述する可能性が指摘され、このアイデアの具体的モデルとして、その作用が$0+1$次元の$U(N)$超対称ヤン・ミルズ理論で表されるM理論の「行列模型」が提唱されて幾つかの成功を納めてきた。さらにこの模型をU-双対変換を用いて写像すると$1+1$次元上の「行列弦」模型が得られるが、この模型は低エネルギー極限において、対称積空間$S^N\mathbf{R}^8$上の共形場理論に帰着し、弦の多体系を記述する新しい方法を与えることがDijkgraaf等によってボゾニックな閉弦理論について示された。

本論文は、この対称積空間を用いた弦の多体系の取り扱いを、初めて超対称性を持つ開弦理論の場合に系統的に拡張し、その性質を詳細に調べたものである。論文は11章から構成されている：第1章の序論、第2章の閉弦の場合の定式化のレビューの後、第3章から第6章でボゾニックな開弦理論を展開し、第7章から第10章で超対称な開弦理論の定式化を行っている。結果と今後の課題は第11章にまとめられている。

この方法の根底にある物理的描像は、まずN個の単位となる基本的な短い弦 (short string bit) からなる対称化された多体系の配位空間考え、それらの満たす境界条件を対称

群の働きによる同一視を系統的に考慮に入れることにより、string bit の連なりとして N のオーダーの様々な長さの弦 (long strings) からなるヒルベルト空間を構成するというものである。この構成法が弦の正しい励起スペクトルを与えることを見るには、系の分配関数を計算することが必要であるが、超対称な開弦の場合には、開弦の端で許される境界条件が２種類あることに加えて、フェルミオンのスピン構造に伴う分類が不可欠であり、これらと対称群の既約な作用を組み合わせて初めて分配関数に寄与する状態とその重みを正しく決めることができる。この計算はボゾニックな閉弦の場合に比して格段に厄介であり工夫を凝らした注意深い考察を必要とするが、論文提出者はこうして得られた long string の多体系の分配関数がトーラス、メビウスの帯、さらにはクラインの壺、のいずれのトポロジーの場合にも、予想されるものと一致することを示すことに成功した。

さらに、この方法の利点として、次の二つの性質が自然に得られることが示された。ひとつには、対称群の作用による開弦のつなぎ合わせ方から自然に開弦と閉弦の二種類が同時に得られることである。もう一つは、「第一量子化」の方法と異なり、個々の外線に対応する頂点作用素の構成なしに、弦の相互作用が弦の端の入れ替えを表すツイスト作用素のみで記述されることである。論文提出者はその例として、具体的に開弦のタキオンモードの散乱振幅をこの方法で $N \to \infty$ 極限において再現することができることを示した。この計算においては、long string の張力を一定に保ち、その長さをいわゆる light-cone 形式での縦運動量の大きさと同定する、（すなわち全体の長さ（運動量）が保存するプロセスのみに限る）という要請を外から持ち込む必要があることはこの理論形式の若干の難点であるが、開弦を要素的な string bit からその相互作用も含めて矛盾なく構成できることを示したことは意義深い結果であると言える。

以上述べたように、本論文は、開いた超弦の多体系を扱う手法を詳細な計算と共に初めて展開したという意味で、高く評価される。尚、本論文の一部は松尾泰氏との共同研究に基づくが、その部分に関しても論文提出者が十分な寄与をしたことを確認した。よって審査員一同博士 (理学) の学位を与えるに十分なものと認める。