

論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 相阪有理

本論文は6章からなる。第1章は本論文の概説であり、第2章以降の内容を手短にまとめている。第2章と第3章はこれまでの研究のレビューであり、内容としては第2章では従来の超弦理論における共变的な量子化の難点を取り扱い、第3章では本論文の中心テーマであるピュアスピノル形式を取り扱っている。つづく第4章と第5章が本論文の中心となる論文提出者が行った研究を書いている部分である。第4章では本来のピュアスピノル形式と同等な拡張されたピュアスピノル形式 (EPS 定式化) について説明がなされ、第5章では従来の定式化である Green-Schwarz 定式化からピュアスピノル形式を導くことが可能であることを示している。第6章は簡単なまとめと今後の展望および課題についてふれている。

超弦理論は重力の量子化と素粒子の統一理論に向けて最も有望視される理論であり、また長い間活発に研究され続けているが、その定式化には未だにいくつか不明な点が残っている。時空の超対称性を保つ量子化もその最も有名な未解決な問題であり、これまでに多くの試みがなされてきたが、完全に満足できる結論にはいまだに至っていなかった。超対称性は弦理論が意味のある理論であるためにはなくてはならない対称性であり、共变的な量子化は弦理論の整合性の根幹に関わる大問題である。例えば RR 背景がゼロでない場合には共变的な量子化無しには系の取り扱い自体が不可能である。

これまで超対称性をあからさまに含む定式化は Green と Schwarz が定義した作用に基づいて研究がなされてきた。この作用は超対称性に関連する重要な局所的な対称性としてカップ対称性を含むが、それが共变的な量子化を阻む主要な原因であった。つまりその対称性のうち半分は第一種拘束条件、もう半分は第二種拘束条件であり、量子化を行うためにはそれらを共変性を保ったまま分離する必要がある。しかしこれは実際には不可能であった。

この問題について大きなブレイクスルーを起こしたのは、数年前に Berkovits により提唱されたピュアスピノル定式化である。彼は通常の Green と Schwarz のスピノル変数以外にピュアスピノル条件を満たすゴースト場を導入し、一種の BRST 条件を課すことにより超ポアンカレ対称性を保った形で量子化が可能であることを示したのである。実際 BRST 条件を満たす状態は通常の超弦のスペクトルと一致することが示され、相関関数やループ振幅についても予想される答えが導かれることが示されてきた。

ただこの Berkovits の定式化についてもいくつか不満足な点が残っていた。それは

- 1) 実際にピュアスピノルのゴーストで計算を行うためには、元々の16成分からピュアスピノル条件を解いて独立な11成分に自由度を落とす必要がある。これらは自由場に帰着し実際の計算が

可能となるが、一方で条件を解くときに共変性を破ってしまう。

- 2) 定式化が天下一りに与えられており、その物理的・数学的な起源がよくわからない。特に弦理論において本質的な役割を果たす共形対称性があからさまな形で BRST 演算子の中に含まれていない。

これらの問題について考察し改良を加えたのが本論文でなされた仕事である。

まず第4章ではピュアスピノル形式にいくつかゴースト場を加え、ピュアスピノル条件を天下一りに要請するのではなく、作用から導かれる自然な拘束条件として与えるような定式化(拡張されたピュアスピノル形式、あるいは EPS 形式)を定義している。この定式化では余分な場を導入するものの、ホモロジー的摂動論の議論を援用することにより元々の PS 形式と同じ物理的な自由度があることが示される。この定式化を行うメリットはいくつか存在しているが、その一つは上であげた共形対称性を生成する Virasoro 場、あるいはそれに関連する b ゴーストをあからさまに構成することが可能となった点である。また PS 形式、RNS 形式、Green-Schwarz 形式などと EPS 形式の同等性は相似変換をあからさまに与えることによって非常に直接的に示されている。

次に第5章では PS 形式が Green-Schwarz 形式からどのように「導かれるか」という点についての具体的な議論を展開し、PS 形式の由来を明らかにしている。基本的なアイデアとしては Green-Schwarz 形式におけるフェルミオンの自由度をまず2倍に増やしそれを打ち消すような隠れたゲージ対称性を導入しておく。次にカッパ対称性を光円錐ゲージをフェルミオンの自由度にだけ適応すること(semi lightcone gauge と呼ばれる)により拘束条件を解き量子化を行う。このようにして得られる BRST チャージはピュアスピノル形式のものと近い形になり、変形を加えるとピュアスピノル形式そのものになることが示される。本論文では議論をまず超粒子に対して Brink-Schwarz 形式を PS 形式に帰着する議論を行うことにより論理の骨子を示す事から始め、超弦の場合への拡張を行って粒子の場合には出てこないいくつかの問題について考察を行っている。

以上のように本論文ではピュアスピノル形式のいくつかの不満であった点を解決しており、弦理論の超対称で共変な定式化において基本的な寄与を与えている。今のところ平坦な時空における定式化のレベルであるが、今後より物理的な RR 背景中の弦理論や、 b 場が導入された事によるより自然な相関関数の定義や高次摂動振幅の計算などで応用されることが期待できる。この意味で本論文の弦理論における価値は明らかである。

なお、本論文の内容は、風間洋一教授との共同研究であるが、論文の提出者が主体となって解析を行った点が多く、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

よって本論文は博士(学術)の学位請求論文として合格と認められた。