

論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 村松哲行

本論文は7章からなり、第一章は導入と本論文の概説、第二章は背景となっているM理論、行列模型、D-particle 散乱などについての基本的な知識をまとめている。第三章から第六章までが本論文の中心をなす部分であり、超対称性による D-particle 散乱の力学系の解析が述べられている。第七章では結論が述べられている。

M理論とは五種類ある矛盾がない超弦理論を極限として包括する、重力を含んだ統一理論として有力視されている体系である。ただ今のところそれが11次元で定義され、超対称性を持ち Membrane (膜) 理論と関連しているといった、漠然とした特徴付けは存在しているが、作用がどのように与えられているか、量子化がどのように行われるのかなどといった、具体的な定義が今のところはっきりしていない。そのような中であって行列模型は特定のゲージ固定を仮定しているという欠点は持つものの、定量的な議論が可能な数少ない定式化になっている。

この模型を通じてD-particleと呼ばれる弦模型のソリトンの散乱問題が定量的に議論可能であり、超重力理論との比較を通じてM理論に対する理解が進展してきた。問題は作用や力学変数が異なっているにもかかわらず、行列模型と超重力理論がなぜ矛盾のない結果を与えるのかという問いであり、重力理論と非可換ゲージ理論の双対性という弦理論の根本的な課題とも深く関わる重要なテーマになっている。

本論文では超対称性というM理論の対称性に注目し、対称性に対する不変性のみから、どの程度 D-particle の有効作用が制限を受けるのかということについての包括的な研究である。

本論文ではまず第3章で行列模型の定義とそれが持つ基本的な対称性(超対称性、ゲージ対称性、SO(9)不変性、CPT 不変性など)を列挙している。超対称性は本論文の根幹をなす対称性であるが、その他の対称性も有効作用を決定する上で補佐的な役割を果たす。次にこの模型で D-particle の散乱問題を取り扱うときの基本的な設定、重力のソースとなる粒子とそれをプローブとして計測する D-particle がなす系のラグランジアンと、これまでこの系を解析する際行われてきた Eikonal 近似についての解説がなされている。本論文では「微分展開」(Derivative expansion)という展開法を用いて理論を近似していく。これは D-particle の固有時間に関する微分に 1、fermion の自由度について 1/2 という値を与えて有効作用をこの値について低い方から決定していくという考え方である。本論文では4次までの計算があからさまに議論されている。

4章では3章で与えた設定の元に 1-loop までの量子補正を入れた微分展開の4次までの D-particle 散乱の有効作用を具体的に計算しその超対称性に対する不変性を議論している。これまでに他のグループによって4次までの有効作用のうちボゾンだけで書かれている部分について

は計算されていたが、本論文ではフェルミオンが入った項も含めて完全に決定している。この計算は大規模なものであって数式処理などのコンピュータプログラムを用いて膨大な数の項の処理がおこなわれている。次に超対称性の変換則(Ward 恒等式)を決定しているが、この変換則自身の中に量子補正が入っており非自明な相関関数の計算を含むものである。最後に 1-loop、微分展開4次までの有効作用にたいして、こうして得られた超対称性の変換則を施し、有効作用の不変性を確認している。

第5章では逆に超対称性のみから有効作用がどこまで決定可能であるのかという問いに対して答えを与えている。具体的には第4章で決定した超対称変換を用いて、この変換に対する不変性を持つ作用が 1-loop、微分展開4次のレベルで、第4章で与えた有効作用が唯一の解であることを証明している。またさらに一般に超対称変換が与えられたとして(ただしその初項が第4章で与えた超対称変換の初項と一致しているとする)、超対称性に対する不変な作用が微分展開の各次数でユニークに決定されていくことを証明している。ただしこの議論を行うためには超対称変換自身を別の方法で決定する必要があり、その意味では議論が完結していない。

第6章では、この議論の不満足であった点を解決するため超対称変換自身がどこまで代数的な枠組みのみから定まるのかという問題に取り組んでいる。そのため議論の出発点では作用関数などの具体形を仮定せず、一般的な超対称変換の形を仮定する。この状況で場の再定義などを用いて超対称変換の形を単純化していくことが可能である。本論文では上で述べた近似の範囲内で超対称変換の一般形が実は4章で与えた超対称変換に帰結することを証明している。

以上の議論により、D-particle の散乱問題においては、超対称性が決定的な役割を果たすことが、詳細に明らかにされた。M理論における超対称性の果たす大きな役割を示したという点で、高く評価すべき仕事である。

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。