

|         |   |
|---------|---|
| 氏名(本籍)  | さいとうたかし<br>齋藤卓(栃木県)   |
| 学位の種類   | 博士(理学)  |
| 学位記番号   | 博甲第4903号  |
| 学位授与年月日 | 平成21年3月25日  |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第1項該当  |
| 審査研究科   | 数理物質科学研究科   |
| 学位論文題目  | <b>Study of Higher Spin Gauge Theory using Matrix Models</b><br>(行列模型を用いた高いスピンの持つ場の理論の研究) |
| 主査      | 筑波大学教授 理学博士 金谷和至  |
| 副査      | 筑波大学教授 理学博士 石橋延幸  |
| 副査      | 筑波大学准教授 理学博士 吉江友照   |
| 副査      | 筑波大学准教授 理学博士 藏増嘉伸   |

### 論文の内容の要旨

素粒子理論の基礎となる場の量子論では、粒子はその質量とスピンによって分類される。原理的にはスピンは半整数であればどのような値でも取りえるはずだが、実際に自然界で見つかっている素粒子のスピンは2以下である。素粒子の標準模型に現れる粒子のスピンは全て1以下であり、重力を担う重力子のみがスピン2を持っている。

この事実は、スピンの2より大きい粒子の理論を作ろうとすると、古典場の理論を作るのでさえ非常に難しいという事実に呼応している。質量がなくスピンの大きい粒子に対応する場の理論を作ろうとすると、自由場の理論は構成できるが、相互作用のある理論を作ろうとすると困難が生ずる。ひとつの問題は、スピンの2より大きい粒子の理論を重力場と結合させようとするゲージ対称性を破ってしまうという問題で、Aragone-Deser問題と呼ばれている。もうひとつの問題は、スピンの高い粒子同士の相互作用を作ろうとすると、やはりゲージ対称性を保つのが難しくなるという問題で、自己相互作用の問題と呼ばれている。

齋藤氏の研究は、行列模型と呼ばれるアプローチを用いることによって、これらの問題を解決する方法を探ろうというものである。行列模型とは弦理論を記述するために提案された模型であり、力学変数として場の代わりに行列を用いるものである。行列として無限次の行列を考え、それらが時空上の微分演算子を現しているという仮定をすると、行列模型の運動方程式がアインシュタイン方程式に一致することが花田・川合・木村によって示されている。行列が高次の微分演算子を表していると仮定すると、行列模型を用いて高いスピンの場の方程式を導き出せるのではないかと期待される。

高いスピンを持つ場の理論にまつわる問題は、いずれもゲージ対称性を保つのが困難であるという点に原因がある。一方、行列模型には $U(N)$ 対称性と呼ばれる対称性があり、上記の方法で行列から場の方程式を出す場合には、この対称性が場のゲージ対称性になる。したがって、行列模型を用いて高いスピンの場の理論を構築する際にはゲージ対称性は明白に保たれているため、この理論のまつわる問題は解決されているはずなのである。

逆に、行列模型において問題になるのは、この模型に高いスピンの場がどのように含まれているかという

点になる。行列模型にはさまざまなスピンを持つ無限個の場が含まれており、その中には物理的には意味のない補助場のようなものが無数にある。これらの中から物理的に意味のある高いスピンの場の自由度を取り出すにはどうすればよいかわからなければ、この模型を使って高いスピンの場の理論の問題を解決することはできない。

齋藤氏の研究成果は、行列模型の中に高いスピンの場の理論がどのように埋め込まれているかを示したことである。具体的には、行列模型に含まれる場に拘束条件をおき、更に  $U(N)$  対称性の一部を固定することによって、行列模型の運動方程式の自由場極限から高いスピンを持つ自由ボゾン場の方程式を導き出すことができることを示した。

行列模型を用いてフェルミオンを含む場の理論を作るためには、超対称行列模型を考えなければならない。この理論は超対称性を持つ高いスピンの場の理論に対応しているはずである。超対称性をもつ場合の理論は超場形式と呼ばれる方法によって定式化されるが、高いスピンを持った場の理論の場合、この超場形式さえ満足なものできていない状況にある。齋藤氏は、まずスピン 3 と  $5/2$  の超対称多重項に対応する場の理論の超場形式を構築した。超場形式においても多数の補助場が現れるため、これらを捨てて物理的に有用な自由度を選び出すための拘束条件及びゲージ条件を見出した。その結果を用いて超対称な高いスピンを持つ場の理論が超対称行列模型の中にどのように含まれているかを示した。

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

齋藤氏の研究は、古くからある難問に新しいアプローチを用いて挑戦したものである。行列模型の方法は、これまで用いられてきた超場等の方法に非常によく似ているが、これまでになかった新しい要素を含んでいる。これを用いることによって、高いスピンの場の理論に新たな視点と発展をもたらした。高いスピンの場の理論は、古くからの問題であるために長い間研究している専門家が多く存在しているが、それらの人々からも齋藤氏の研究は新しいアプローチをもたらしたものとして引用されており、高く評価できると考える。

よって、著者は博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。