

氏 名	あずま 東 武 大
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	理博第2740号
学位授与の日付	平成16年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
研究科・専攻	理学研究科物理学・宇宙物理学専攻
学位論文題目	Matrix models and the gravitational interaction (行列模型と重力相互作用について)

論文調査委員 (主査) 教授 川合 光 教授 二宮 正夫 教授 中村 卓史

論文内容の要旨

超弦理論は現在、重力相互作用をも含めた自然界の全ての相互作用を記述する究極の理論の最有力候補として揺るぎない地位を占めている。1980年代前半において、重力のエネルギーの無限大発散がないことが発見されるとともに、10次元時空のうち6次元をコンパクト化することによって、4次元の標準模型を再現する見通しが立った。しかしながら、超弦理論は4次元にコンパクト化する際に、無限個の真空が存在するため、どれが本当の真空であるのかについて全く予言能力を持ち合わせていない。こうした問題点を克服するために、現在超弦理論の研究は、摂動論に依存しない構成的定義を必要とする段階に来ている。

1990年代後半において、超弦理論の構成的定義について大きな進展が見られた。超弦理論の非摂動論的定式化の候補として、 $N \times N$ のエルミート行列によって理論を記述する行列模型が提唱された。その中で特に成功した試みの一つに、石橋延幸・川合光・北沢良久・土屋麻人によって提唱されたIIB行列模型がある。IIB行列模型は、10次元の $N=1$ super Yang-Mills理論を0次元に落とすことで定義された作用である。またこれは、IIB型超弦理論のGreen-Schwarz作用のPoisson bracketを行列の交換子に置き換える行列正則化によっても得ることができる。この意味で、IIB行列模型は、IIB型の超弦理論と密接に結び付いた概念である。また、時空の座標はボゾンの $N \times N$ 行列である A_μ の固有値であるとして解釈されている。

行列模型が重力相互作用をも統一的に記述するための究極の理論であるためには、行列模型と重力相互作用の関係についての理解を深めることが不可欠である。IIB行列模型についてはこれまでに、極大な $N=2$ 超対称性や、一般座標変換不変性の解釈など、重力相互作用との関連で様々な興味深い事実が発見されてきた。その一方で、重力相互作用との関連を深めるためには、まだ解決していかなばならない問題が存在する。申請者の研究では、特に以下の観点について重力相互作用との関連を追求した。

- (i) 局所ローレンツ対称性を持つような行列模型の定式化。
- (ii) 行列模型によって、曲がった時空をいかに見やすい形で記述するか。

前者の問題については、ローレンツ対称性とゲージ対称性をリー環として混ぜる非常に大きい対称性をもった理論を考察した。時空の座標は行列の固有値として解釈されるので、このように対称性を混ぜるという発想は、時空の座標に依存したローレンツ対称性を考えるうえで本質的なものである。後者の問題については、質量項あるはChern-Simons項を付け加えることで、運動方程式の解として始めからファジー球面などの曲がった空間を持つような行列模型を考察した。また、曲がった空間の古典解の配位の安定性については、モンテカルロシミュレーションによる議論を行なった。

論文審査の結果の要旨

申請論文“Matrix models and the gravitational interaction”は、申請者がこれまで行ってきた行列模型と重力相互作用

用の関連について解説を行なったものである。

重力相互作用ををも含めた全ての自然界の相互作用を統一的に記述する「究極の理論」を構築することは、素粒子理論物理学の中で最も重要な課題である。そして、超弦理論の構成的定義としての行列模型と重力相互作用の関連について考察することは、こうした「究極の理論」への糸口として重要な意義を持つ問題提起である。

申請者は、局所ローレンツ不変性を持つ行列模型を構築するうえで、ゲージ対称性とローレンツ対称性を混ぜた対称性の行列模型を提唱した。局所ローレンツ不変性は、重力の理論における最も基本的な要素の一つであり、こうした性質を持つような行列模型を定式化することは重力相互作用との関連の上で、非常に根源的な問題であると考えられる。申請者はこの視点のもとで、スーパーリー環に基づく行列模型について議論を行なうとともに、極大な $N=2$ の超対称性を持ち低エネルギーの極限で10次元の IIB 型超重力理論に帰着するような行列模型の定式化の試みについて議論した。こうした新しい行列模型の定式化は、国内外の研究の中でも例を見ることの少ない独自の要素であり、従来の研究とは一線を画するものである。

また、申請者は行列模型が曲がった空間の背景時空を持つ可能性について考察を行なった。曲がった時空は、一般相対論における本質的な要素であり、行列模型の文脈でこうした問題を考察することは非常に興味深い問題である。申請者は、 $osp(1|32, R)$ スーパーリー環に基づく行列模型について、この点に関する考察を行なった。結果として、 $S^2 \times S^2 \times S^2$ ファジー球面及び S^8 ファジー球面の古典解をもつことが明らかになった。特に後者の S^8 ファジー球面は数学的に難しいことから従来の研究であまり議論されることのなかったものである。こうした古典解について考察したことは、曲がった時空を行列模型で実現する上で重要な成果である。申請者はモンテカルロシミュレーションによってボゾニックな作用についてファジー球面の安定性について議論を行なった。この業績は、曲がった空間の安定性の深い理解のみならず、ゲージ群の dynamical な生成の機構などを明らかにするうえで重要な糸口を与えるものである。

以上の成果は、素粒子理論物理学の発展において重要な役割を果たしたものであり、申請者の独自の業績である。よって本申請論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認めた。

申請論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野について口頭試問をした結果、合格と認めた。