

氏名	もり た たけし 森 田 健
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2994 号
学位授与の日付	平成 18 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 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	Supersymmetry and Large-N Reduction (超対称性とラージ N リダクションの関係について)
論文調査委員	(主 査) 教授 川 合 光 教授 畑 浩 之 教授 二 宮 正 夫

論 文 内 容 の 要 旨

行列理論はゲージ理論や弦理論の非摂動的な側面を理解する上で重要な役割を果たしているが、この論文では超対称性に注目して行列理論とゲージ理論の等価性について研究している。

本論文はこの研究の基礎となるレビュー部分と、申請者による新しい発見の部分から成る。レビュー部分ではゲージ理論の large-N 極限と非可換空間上のゲージ理論について紹介している。U(N) ゲージ理論において、ゲージ群のランク N を無限大にとる極限のことを large-N 極限と呼ぶ。この極限をとったゲージ理論では、場の空間依存性が無視出来るという著しい性質を持つ。これにより空間依存性がなくなったゲージ場は行列とみなせる。このようにして得られた行列理論は large-N reduced model と呼ばれる。

この large-N reduced model は非可換空間上のゲージ理論と密接な関係を持つことが知られている。Large-N reduced model において適当な古典解のまわりで行列を展開することで、非可換空間上の U(k) ゲージ理論を得られることが知られている。この k は有限の自然数で、どのような古典解を考えるかによって決まる。

このような large-N reduction に関する研究を超対称性理論に拡張したのが本研究である。超対称性理論とは超空間と呼ばれる空間上で定義された理論であるが、本研究では、超空間を非可換化することで超対称性理論を行列理論によって記述することを可能にした。特に、非可換性として特殊なものをとることで、行列理論の古典解として非可換超空間上の理論が得られることを示した。また、本論文では非可換超空間上での場の理論の定式化の一般論についても議論している。

この理論の具体例として、Dijkgraaf-Vafa 理論と large-N reduced model の関係について議論している。Dijkgraaf-Vafa 理論とは超対称性ゲージ理論の F-term と呼ばれる部分が、ある行列理論と等価になるという理論である。この Dijkgraaf-Vafa 理論が large-N reduction で理解出来ることをこの研究で示した。先に述べたように非可換超空間上のゲージ理論と行列理論は large-N reduction で関係している。この非可換性を 0 にする極限を考えることで可換空間上での対応を議論できる。そしてこの極限でもある種の対応があることを示し、この対応が Dijkgraaf-Vafa 理論で議論されている対応であることを示した。

また、Dijkgraaf-Vafa 理論の様々な応用についても議論している。まず Dijkgraaf-Vafa 理論を用いることで Veneziano-Yankielowicz potential と呼ばれる N=1 super Yang-Mills 理論の potential が、N=4 super Yang-Mills 理論から再現出来ることを示している。N=4 super Yang-Mills 理論とは、N=1 super Yang-Mills 理論に物質場が結合した理論である。そのためこの物質場に手で質量項を加え、さらにその質量を無限大にする極限で N=1 super Yang-Mills 理論が得られることが期待される。このことを実際に示すことに成功した。つぎに、N=2 super Yang-Mills 理論の低エネルギー有効理論を行列理論を用いて計算し、得られた結果が Seiberg-Witten 理論により予測されるものと完全に一致することを示した。また、graviphoton と呼ばれる背景場による超対称性ゲージ理論の補正が行列理論における 1/N 補正に対応することも示している。

論文審査の結果の要旨

超弦理論の非摂動的な側面を理解することが弦理論の研究における最も重要な課題である。これに対してゲージ理論や行列理論を用いることで解決出来るのではないかという議論が成されてきている。特にこの2つの理論はいくつかの特殊な状況で等価性が成り立つことが知られている。このような等価性の背後には超弦理論の非摂動的性質が寄与している可能性があり、盛んに研究されてきた。申請者は行列理論とゲージ理論の等価性を超対称性を持った理論へ応用する研究を行った。

この研究ではまず超対称性ゲージ理論を非可換空間上で考え、その理論とある極限で等価な行列理論を構築することを行っている。このとき超対称性ゲージ理論の超対称性変換とゲージ変換は行列理論の内部対称性として統一されている。このように行列理論の内部対称性として超対称性を実現する研究は以前からあったが、今回の研究のように場の理論として有用な系に関してきちんと実現できたものはなかった。

次にこの研究の Dijkgraaf-Vafa 理論に対する応用を行っている。これはそれまで理解されていなかった Dijkgraaf-Vafa 理論の起源を説明する研究である。この研究を利用すると、それまできちんと証明できていなかった理論に対しても Dijkgraaf-Vafa 理論の等価性が成立することが示せる。さらに超対称性ゲージ理論における graviphoton 背景場の寄与が行列理論の $1/N$ 補正に対応することもこの研究で示している。Graviphoton は重力子の superpartner なので、この結果は行列理論における重力理論の記述に応用できる可能性がある。

これらに加えて Dijkgraaf-Vafa 理論の応用として $N=1$ super Yang-Mills 理論と $N=4$ super Yang-Mills 理論の関係や $N=2$ super Yang-Mills 理論に関する研究を行っている。こういった研究により超対称性ゲージ理論の非摂動的な側面の理解を深めることを助けている。特に、前者では Dijkgraaf-Vafa 理論における行列理論の経路積分の不定性の問題にも関わる重要な結果を出している。

またこの研究では非可換超空間という通常と異なる空間を利用している。しかし、一般に非可換超空間上での場の理論の定式化はきちんと行われていない。そこで、それに関して研究を行い、いくつかの場合に関しては矛盾なく場の理論が定式化できることを示している。このような非可換超空間上での場の理論は超弦理論の低エネルギー領域で実現される可能性が示唆されており、行列理論との関連だけでなく、場の理論や現象論的にも重要になる可能性がある。

このように申請者は超対称性ゲージ理論と行列理論の等価性の研究を中心に様々な新しい結果を出すことに成功しており、本論文は博士（理学）の学位論文として価値のあるものと認める。また、主論文および参考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した結果、合格と認めた。