

論文審査の結果の要旨

氏名 野崎 真利

いわゆる超弦理論は、重力を含めた相互作用の統一理論へ向けてほとんど唯一の手掛かりとみなされ、様々な観点から研究されてきた。特にここ5-6年ほどのあいだに、超弦理論の捉え方自体に関してそれまでとは質的に異なった新しい段階に達しつつあると思わせるような数々の新知見が得られている。なかでももっとも目覚ましい発見として、摂動論的に可能な10次元時空における5種類の理論が、次元が一つ上がった11次元時空におけるある理論の存在を想定することにより実は一つの理論の異なった実現として理解できることが判明したことである。

この展開のなかで、これまでの弦理論ではその意味が正しく認識されていなかった弦理論の非摂動的な励起状態であるDブレーンが不可欠な重要な役割を果たしている。Dブレーンとは、弦の端点が住むことができる様々な次元の時空領域で、それ自身が運動しエネルギーを持つ物理的実体とみなされる。弦の量子力学である2次元の共形場理論の立場からは、Dブレーンに直交する方向に関して弦の世界面の境界に設定したDirichlet型の境界条件を設定した弦の力学により扱えるためにDブレーンと呼称されている。本提出論文の目的は、このDブレーンの曲がった空間における性質をいくつかの典型的な曲がった空間の弦理論の場合について詳細に研究することにある。曲がった空間での弦理論としては、SU(2) Wess-Zumino-Witten (WZW) 模型、Gepner 模型、風間・鈴木模型の3つをとりあげている。また、いずれの場合も、Dブレーンをclosed stringの観点から定式化するboundary state形式の立場から調べている。

まず、序章としての第1章で、本論文の背景、また曲がった空間のDブレーンを研究する意義を論じた後、第2章では、この論文で取り扱う弦理論の構成要素である有理共形場理論(rational conformal field theory)におけるboundary stateに関する予備知識を簡潔にレビューしている。特に、boundary stateの基底としての石橋状態、またboundary stateが満たすべき条件として最も重要なCardy条件が提示されている。

続いて、SU(2) Wess-Zumino-Witten 模型を取り扱う第3章が本論文の最も中心的な内容を含む。WZW 模型でこれまで構成されているboundary stateは、chiral 流れ代数の同型対応に基づいて構成されているが、本論文ではこのうち最も単純な内部自己同型対応に基づいた状態だけを取り扱う。このboundary stateは、整数 $L = 0, 1, \dots, k$ (k はWZW 模型のレベル数)で番号づけられるある特別のSU(2) 群共役類(conjugacy class)と1対1対応し、群空間において共役類が占める幾何学的描像から、0次元(点)と2次元(球形)のDブレーン、すなわちD0ブレーン($L = 0, k$)とD2ブレーン($L = 1, \dots, k-1$)に対応するもとの解釈されている。第3章の主要な結果として、このとき、D2ブレーンは、複数列のD0ブレーンが結合した一つの複合状態とみなすことができることを示した。平坦空

間においては、適当な RR (Ramond-Ramond) チャージを持つ $D(p)$ ブレーンは $D(p-2)$ ブレーンの複合状態として表現できることは知られていたが、本論文では、そこで用いられる Chan-Paton 因子に関する Wilson ループを導入する方法を群空間に拡張した。複合状態としての幾何学的解釈を厳密に示すことは困難であるが、本論文では群空間の曲率が小さい極限 ($k \rightarrow \infty$) において経路積分を用いて示している。これらの結果を、まずフェルミ自由度を含まない場合に導いた後、さらにフェルミ自由度を含み超対称な場合、また、NS5 ブレーンの背景がある場合への拡張を議論している。特に後者の場合には、超対称性が保たれずタキオンが現れる場合と超対称性が保たれる場合との関係についても考察が行われている。これらの結果は、曲がった空間での D ブレーンの性質、特に $D0$ ブレーンと $D2$ ブレーンの関係およびその時空幾何学的解釈に関して、非常に明確な描像を与えており、今後の研究にも有用な新知見を加えたと評価できる。

次に第 4 章では、10 次元の弦理論から 4 次元時空へのコンパクト化において重要な Calabi-Yau 空間での D ブレーンの性質を調べる目的で、それを $\mathcal{N} = 2$ の超共形代数の最小表現から具体的に構成する Gepner 模型における D ブレーンが議論される。この場合、modular 不変な超共形代数の分類における、いわゆる A 型については、D ブレーン boundary state が具体的に構成されていたが、本論文では、それを拡張して、より一般の ADE 類の場合について行った。さらに、その幾何学的な解釈を D ブレーンの BPS チャージと Calabi-Yau 空間の位相不変量とを、空間の体積が大きい極限で関係つけることにより調べている。

最後に、第 5 章では、 $\mathcal{N} = 2$ 超共形代数の表現の構成としてよく知られている 風間・鈴木模型における D ブレーンを議論する。具体的には、この模型の Landau-Ginzburg 型模型による記述において現れるソリトン古典解と boundary state との関係を探ることによって調べている。いくつかの典型的な例について実際にこの関係が成り立つことをその質量の比較により示している。この関係は以前から様々な観点から予想され議論されていることであるが、具体的な例に基づいてより明示的に示したことが本論文の新しいところである。

なお、本論文の第 3 章は、疋田泰章、菅原祐二、第 4 章は、那珂通博との共同研究に基づいているが、論文提出者が主体的に考察と計算を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断した。

よって、審査委員会は全員一致で本論文が博士 (理学) の学位を授与するのにふさわしいものであると判定した。