

論文審査の結果の要旨

氏名 高柳 博充

超弦理論は、重力を含む自然界のすべての力と物質を統一する理論の最有力候補として精力的に研究されてきたが、特に近年の目覚ましい進展により、理論の摂動的な振る舞いのみならず、その基底状態を始めとする理論の根元的な性質を理解する上で不可欠な非摂動的な振る舞いを調べるのが可能になってきている。この発展において中心的な役割を果たしているのが、ブレーンと呼ばれる拵がりを持った物体である。これらは超弦理論の厳密解であり、古典的極限で超重力理論のソリトンの解と同定される。ブレーンは重力場をはじめとする遠距離場を生み出すダイナミカルな源であるため、それらの場を放出して崩壊したり、またそれらの場を介して他のブレーンと相互作用を行うといった多彩な振る舞いをする。そしてこの動力学を解き明かすことは超弦理論の最も重要な課題の一つになっている。

ブレーンには幾つかの種類があるが、そのうちのDブレーンと呼ばれるものについては多くの研究がなされ、その動力学がかなりの程度にわたってわかってきた。特に、ある種のDブレーン（およびその複合系）にはその上に開弦の不安定なタキオンモードが存在し、それが凝縮を起こすことにより、より次元の低いDブレーンに崩壊したり、完全に消滅したりする現象が起こることが弦理論の手法で明らかにされている。一方、これとは異なるもう一つの重要なブレーンであるNS5ブレーンと呼ばれる物体の性質については、解析がより困難であるためあまり良くわかっていない。

本論文はブレーン間の動力学のこれまでに解析されていない側面を厳密に弦理論に基づいて調べることを目的として、NS5ブレーンとDブレーンからなる系を考え、（より軽い）Dブレーンが重力をはじめとする弦の相互作用によりNS5ブレーンに向かって落ちていく動的な過程を、Dブレーンの「境界状態」を構成する手法により解析したものである。この過程は上に述べたDブレーン系の不安定性とは起源を異にするが、昨年D. Kutasovにより古典的有効作用の枠内で考察され、ブレーン間の距離をDブレーンの崩壊におけるタキオン場の期待値に対応させると、両プロセスを司る有効作用が酷似した形をとること

が見いだされていた。本論文ではこれを厳密に弦理論のレベルで解析することによって、NS5 ブレインに向かって落ちてゆくDブレインの詳しい状態およびそのときに生ずる閉弦の制動放射の様子を克明に理解することに成功している。さらにDブレイン上に一様な電場が存在する場合にも弦理論的に厳密な取り扱いが可能であり、電場の無い場合に比べて放射率が押さえられることが示された。これらの一連の結果は有効作用を越えた純粋に弦理論レベルにおいて、ごく最近開発された超対称リュービル理論の最新の成果をも駆使して得られたものであり、極めて高いレベルでの興味深い結果である。

以下、論文の各章の内容の梗概とそれに対する評価を述べる。第1章の序論では、本研究の動機と背景、および主な結果の要旨が述べられている。第2章から第4章は本研究の背景となる重要な事柄についての解説に充てられている。第2章では、Kutasov の有効作用を用いた解析の説明を行い、さらにそれを電場を持ったDブレインの場合に拡張している。第3章では、後にNS5 ブレイン背景場中のDブレインの境界状態を構成する際に必要な $N = 2$ 超対称リュービル場の基礎事項について説明し、さらに第4章でこの理論における境界状態の構成法についての最新の結果を詳述している。

本研究で得られた新しい成果は第5章から第7章で詳細に展開されている。基本的なアイデアは、第5章で述べられているように、NS5 ブレインに向かって落下していくDブレインの古典軌道をユークリッド空間に解析接続するとヘアピン状のブレインの配位が得られるが、それがNS5 ブレイン背景場中の弦理論的な記述の主要部分をなす $N = 2$ 超対称リュービル理論のある種の境界状態で記述できることを見抜いた点にある。この同定は非常に自然であるとともに、弦理論での厳密な取り扱いを可能にした要となる着想であり、優れている。第6章では、こうして得られた状態を再度ミンコフスキー時空に解析接続することによって、Dブレインの落下の弦理論的な記述が得られることが示されている。ここで用いられている解析接続は通常の運動量空間でのものではなく、時空中でのものであるところに工夫があり、それによって、確かに古典的な軌道上にピークを持つ正しい波動関数が得られている。さらにこの波動関数を用いて、落下の際に放出される閉弦の放射率が計算され、タキオン凝縮による通常のDブレインの崩壊と同様な振る舞いが得られることが示されている。第7章では、これらの考察をDブレイン上に定数電場が存在す

る場合に拡張している。電場の効果を T 双対性を用いてローレンツブーストの効果に読み替えることにより厳密な解析に成功しており、ブーストによる時間の遅延効果のために崩壊率が十分に減少するため放射率が有限になるという物理的に非常に興味深い結果が得られている。

最後の第 8 章では本論文の成果を再度まとめるとともに、それをふまえた将来的な課題について考察されている。

以上述べてきたように、本研究は、超弦理論の非摂動的な性質の解明に不可欠な D ブレインの動的な振る舞いを最新のテクニックを用いて新たな背景場中で考察し、非常に興味深い結果を得ており、博士論文として高く評価できる。

なお、本論文の第 5, 6, 7 章は、中山優、菅原祐二、Kamal L. Panigrahi, および Soo-Jong Rey 各氏との共同研究に基づくが、論文提出者が主体となって立案解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

従って、博士(理学)の学位を授与できると認める。