

論文審査の結果の要旨

氏名 中山 優

本論文は9章及び2つのAppendixからなる。まず第1章で緒言と研究の背景と動機が述べられた後、第2章において2次元ブラックホールの時空的な観点からのレビューが与えられる。ここで超弦理論における厳密なブラックホール解 ($SL(2;R)/U(1)_k$)としての定式化が与えられると同時に、その一般的な熱力学的性質が議論されている。第3章では、可解な共型場理論からの観点による2次元ブラックホールの、Euclid, Lorentz型の計量の両者の場合の記述が与えられ、前者の場合のスペクトルについても述べられる。さらにここでは、 $N=2$ Liouville理論との双対性も議論されている。第4章では、「ブラックホール-弦の相転移」という概念が導入され、他の可解な場合についての相転移現象についても言及される。第5章では、平らな時空上での不安定なD-braneを記述するタキオン凝縮という描像が導入され、「タキオン-ラディオン対応」の性質がレビューされる。第6章においては、Euclid型計量の2次元ブラックホール時空でのD-braneの量子的性質が詳しく調べられ、対応するmini-superspaceの境界状態の波動関数が構築されている。第7章では、前章で得たEuclid型の場合の表式にWick回転を施すことによって、Lorentz型計量の2次元ブラックホール時空でのD-braneの状態を構築し、その量子的性質を議論している。さらに第8章では、2次元ブラックホール中を運動し吸着されるD-brane (ローリングD-brane) の、重要な物理的な性質の一つである閉弦の放射率を求めている。最後の第9章は、本論文の結論と関連する様々な議論とに充てられ、Appendixでは記法並びに種々の公式の説明がなされている。

本論文の寄与は、いくつかの項目にわけて考えることができる。まず1つは、2次元ブラックホール中を運動するD-braneを弦理論の高階の微分展開の意味において厳密に記述する境界状態を構築したことが挙げられる。そしてその際に、正しく規格化可能な境界状態を得るためには、従来の素朴な方法ではなく、積分の収束性を考慮した解析接続を行うことが必要であることを見出したことは、貴重な指摘である。次に、得られた境界状態に基づき、閉弦の放射率を計算することに成功している。この解析において、 $SL(2;R)/U(1)$ cosetモデルのレベル k が重要なパラメーター因子となり、 k の大きな極限では超重力的な近似が良く、弦理論的な補正の必要が無い。 $k>1$ の場合には閉弦の放射率はレベル k に依存せず、冪的な振る舞いをするを明らかにしていることは、本論文の重要な結果である。これは、質量を固定した閉弦の放射率は(k 依存する) Hagedorn 温度によって指数関数的

に抑制されるが、同時に閉弦の状態密度もまたHagedorn 温度によって指数関数的に増加するため、両者が相殺し冪的な振る舞いを示すためである。この冪的な振る舞いはタキオン凝縮の際の放射率と一致し、また電場やディラトンなどの背景にも依存しない。このような意味において、 $k>1$ ではタキオン-ラディオン対応は普遍的 (universal) なものであり、超弦理論の補正を受けないことが示される。

一方、閉弦の放射率は $k=1$ を境にして劇的に変化する。これは、 k に対する解析的な表式が $k=1$ において成立しなくなるためであり、このため閉弦の放射率はHagedorn 温度を示さず全放射率における k 依存性の相殺か起きない。すなわち、この段階でタキオン-ラディオン対応が崩れ、閉弦の放射率をオーダーパラメーターとして2次元ブラックホールが相転移を起こすと考えることができる。この「ブラックホール - 弦の相転移」現象を、2次元ブラックホールに落ち込んでいくD-brane からの閉弦の放射率という観測量を評価することによって初めて厳密に確認したことが、本論文の最も重要な寄与であると評価される。この相転移現象は、ブラックホールの幾何学的な性質が、 $k<1$ において失われ、D-brane が古典的な軌跡を運動する粒子とみなせなくなる現象であると、物理的に解釈される。

さらに加えて、従来の1ループ振幅を閉弦の立場から議論するのではなく、モデュラー変換を援用して開弦の立場から議論を展開する方法を用い、ユニタリティと開弦-閉弦間の双対性が両立することを、実際に上記のローリングD-braneの系に対して検証している。タキオン凝縮の場合と異なって、ローリングD-braneの場合には計量の差違によって結果が異なることが知られているが、本論文の注意深い観察により、Wick 回転を施す際の無限個のpoleの寄与を正しく考慮することによって、初めてユニタリティと開弦-閉弦間の双対性が両立することを証明していることも、評価できる結果である。

以上述べたように、本論文の寄与は「ブラックホール - 弦の相転移」現象の検証に寄与し、かつ多岐に渡るものであり、学位論文として十分な内容を含んでいると判断できる。

なお、本論文の内容は、菅原祐二氏及び Soo-Jong Rey 氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって基本的なアイデアを提出し計算を遂行、さらに分析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、論文提出者に博士（理学）の学位を授与できると認める。