

論文の内容の要旨

論文題目：

Thermodynamic quantities of non-extremal black p -brane and large N D-brane systems

(非極限ブラック p -ブレーンの熱力学量とラージ N D-ブレーン系)

氏名： 大島健一

ブラックホールのエントロピーやホーキング輻射は、古典的重力理論では現れないものであり、そのメカニズムは量子重力理論によって説明されると期待されている。したがって、ブラックホールの輻射や熱力学について研究することは、未だ理論として十分に確立していない量子重力理論の性質を調べるために非常に重要であり、この点で、現在でも盛んに研究が行われている。

量子重力理論の最有力候補である超弦理論においても、ブラックホールのエントロピーや輻射に関する研究が数多くなされている。実際、超対称性を持つある種の極限ブラックホールについては、超弦理論の D-brane によるモデルによって、係数も含め、エントロピーが完全に導出された。これは革新的なことではあったが、超対称性を持つ特別な場合に限られており、ブラックホールや量子重力の理解のためには、より広い種類の一般のブラックホールの熱力学を説明する必要がある。

しかし、超対称性を持たない一般の場合には、弱結合極限で定式化された超弦理論によって強結合領域の重力理論のブラックホールを記述することは困難であり、量子補正などの効果をすべて取り入れなければならないと考えられている。実際、超対称性を持つ extremal black 3-brane に少しだけ質量を加えて超対称性を破った near extremal black 3-brane に対して、D-brane と理想気体によるモデルを適用すると、エントロピーの係数は違ってしまふ。

また、最近になって、超対称性を持たない一般の black p -brane(non-extremal

black p -brane) について、D-brane と反 D-brane によるモデルにエントロピー最大化条件を課して説明しようとする試みもなされた。しかし、各変数のべき乗は合っているものの、さらなる係数の不一致が生じ、弱結合極限のモデルとしての理論的困難や、連続的に near extremal black p -brane に移行しない、などの問題も生じた。

上記に述べたように、そもそも、一般の場合には、ブラックホールの熱力学に対して超弦理論による D-brane モデルを直接的に適用する理論的根拠が薄い、という問題もある。

そこで、本研究では、最初に特定の D-brane モデルを想定するのではなく、まず、係数まで完全に一致した正しいエントロピーと輻射温度を導出する現象論的モデルを探した。non-extremal black p -brane についてのそのモデルは実際に発見され、そのモデルからは、正しい吸収確率も導出される。また、このモデルは連続的に near extremal black p -brane に移行することもできる。

本論文では、ブラックホールの熱力学や D-brane によるエントロピー導出、および、関連する研究に関するレビューを行った上で、本研究で発見された現象論的モデルについて説明する。エントロピー最大化条件を課すと、そのモデルからは、エントロピー、温度、エネルギーなどが係数も含めてすべて正しく得られることを示す。また、そのモデルが、near extremal black p -brane についてのモデルと同様の形をしており、gas の自由度などを置き換えたものとなっている、などのいろいろな特徴について分析した。

次に、そのモデルの妥当性や論拠について検討した。non-extremal black p -brane と near extremal black p -brane の間に幾何学的類似性があることを示し、horizon の近傍では、non-extremal black p -brane は、near extremal black p -brane のパラメータを変えた geometry と一致することを示す。発見された現象論的モデルが、near extremal black p -brane モデルの一部を置き換えることにより得られるという事実は、この幾何学的類似性に対応しており、モデルの妥当性の傍証となる。さらに、massless スカラー場の作用の値を具体的に調べることにより、non-extremal black 3-brane の黒体放射領域では、より踏み込んだ議論が可能となり、このモデルの妥当性を示した。

また、このモデルを利用して、正しい吸収確率 (および greybody factor) が得られる理由も、同様の幾何学的類似性によって説明される。具体的には、black 3-brane 時空における massless スカラー場の運動方程式を考察することによって説明する。

さらに、エントロピー最大化について議論する。本モデルおよび既存の non-extremal black p -brane のモデルにはエントロピー最大化の条件が課されているが、一方、Euclidean action によるブラックホールの自由エネルギーの計算過程において、重力の古典解がエントロピー最大の条件に相当していることを示す。このことは直接的に本モデルのエントロピー最大化と結びつかないが、まったく別の文脈でもブラックホールのエントロピー最大化条件が出てきたことは興味深いことである。また、本モデルの一部の項は、エントロピー最大化条件から正しい温度やエントロピーが導出されることを保証する項となっており、この点もモデル全体の妥当性を示している。

これらの議論により、今まで係数の食い違いや不連続性、あるいは、D-brane モデルとしての理論的問題などが生じていた non-extremal black p -brane の熱力学モデルについて、正しい温度・エントロピー・吸収確率を導出する現象論的モデルを提示し、non-extremal black p -brane の幾何学的性質や、スカラー場の作用と運動方程式、さらに、Euclidean action による自由エネルギーの導出などの点から、そのモデルの妥当性や傍証を示した。