

研究計画

氏名 栗田泰生

「歪んだホライズンを持つ5次元 Kaluza-Klein ブラックホールの熱力学」

2005年、石原・松野により5次元 Einstein-Maxwell 理論の荷電ブラックホール解が発見された。このブラックホール解のホライズンは位相的に S^3 であり、したがって Hopf 束の構造を持つ。具体的には、 S^2 上のツイストされた S^1 ファイバー束である。同様に、この時空の持つ特異点からの距離一定面も、位相的に S^3 であるが、距離に応じて S^1 ファイバーの半径と S^2 底空間の半径の比が一般には異なっており、その意味で「歪んだ」 S^3 である。このブラックホール解は漸近的に平坦ではなく、 S^1 ファイバーのサイズは無限遠方でも有限のとどまる。そのため、ブラックホールの遠方では、有効的に1次元コンパクト化された時空になっている。また S^1 ファイバーがツイストされていることにより、Kaluza-Klein 的に非自明なゲージ場を持つ。特にホライズンを持たない極限で、Kaluza-Klein モノポール解に一致する。これらのことから、このブラックホール解を「歪んだホライズンを持つ Kaluza-Klein ブラックホール」と呼ぶことにする。

ところで、ブラックホールは熱力学的法則に従うことが知られている。2006年に、Cai 等により、このブラックホール解の熱力学的第一法則が調べられた。それによると、相殺項により定義される質量に対して、新たな仕事項の存在が示唆された。Cai 等によると、その仕事項に現れる変数の一つは、ホライズンの歪み具合を特徴付けるパラメータの関数となっている。しかしながら、具体的な仕事項や変数は与えられておらず、熱力学的な定式化は依然、問題として残っている。本研究では、この新たな仕事項を研究し、このブラックホール解に対する熱力学的定式化を研究する。

また、一般相対論にはさまざまな質量の定義が存在するが、このブラックホールは幾つかの質量の値が異なる。具体的には、ハミルトニアンと Abbott-Deser 質量、そして Komar 質量の値が全て異なる。ちなみに、上記の相殺項による質量は Abbott-Deser 質量に一致する。これらの質量が満たす第一法則についても研究する。

そして、それらの熱力学量が明らかにされた後、それぞれの環境に適した自由エネルギーを求めることで、歪んだホライズンを持つブラックホールの熱力学的安定性を調べる。また、このブラックホール解の特異点は点状のものと線状のものが許される。特に線状の解に対してある極限をとると、ブラックストリング解になる。そのようにして得られるブラックストリング解と歪んだホライズンを持つブラックホール解の熱力学的な比較を行う。

また、このブラックホールに対して現れる新たな熱力学量は、ホライズンが歪んでいることと深く関わっていることが予想される。本研究では、新たな熱力学量がどのような幾何学量と対応するのかを研究する。特に、この解にはミスナー紐が存在するが、ミスナー紐との関連に注目する。またそのミスナー紐などの構造は、回転するブラックホールの場合と良く似ている。したがって、回転するブラックホールの場合の状況との対応関係を明らかにする。