

研究成果

ひねられたコンパクトな余剰次元を持つ 5 次元ブラックホール

コンパクトな余剰次元を持つ Kaluza-Klein 時空に漸近する高次元ブラックホール時空は、基礎理論の基本的特徴を理解するのに重要な役目を担うと期待される。我々が現実に観測する世界は巨視的に 4 次元時空なので、余剰次元はコンパクト化されていなければならない。従来の研究では、Kaluza-Klein 時空として、4 次元時空と余剰次元の単なる直積で構成される解が、主に取り上げられてきた。しかし、Kaluza-Klein 時空の可能な位相構造には、まだ自由度が残されており、それ故、我々の世界が様々な位相構造をとりうる可能性を考慮すべきである。

私は、5 次元 Einstein-Maxwell 理論の厳密解として、歪んだ 3 次元球 (squashed S^3) の地平線を持つ静的な Kaluza-Klein ブラックホール時空を構成した [1]。この squashed Kaluza-Klein ブラックホール解は、その地平線近傍において 5 次元的なブラックホール時空として振る舞う。一方、ブラックホールから離れた遠方の時空は、ひねられたコンパクトな余剰次元を伴う有効的に 4 次元な時空になる。私は、このような Kaluza-Klein ブラックホール時空を表す厳密解の構成法が、対称性の高い漸近平坦な既知のブラックホール解に対して広く適用可能であることを示し、回転パラメータを含む squashed Kaluza-Klein ブラックホール時空 [8, 9] や多体 BPS ブラックホール時空 [2, 4, 10]、ディラトン場を含んだ拡張重力理論における squashed Kaluza-Klein ブラックホール時空 [11] を構成した。そして、squashed Kaluza-Klein ブラックホール解を天体の外側の時空に適用することで、円軌道に沿って平行移動するスピンベクトルの向きのずれを考え、余剰次元による補正を計算した [12]。さらに、トンネル効果に基づく 4 次元ブラックホールからのホーキング放射の導出を、5 次元 squashed Kaluza-Klein ブラックホールの場合に拡張した [13]。

回転する多体ブラックホールの合体

5 次元ブラックホールの地平線の位相構造には、3 次元球 S^3 やレンズ空間 S^3/Z_n (n :自然数) がある。それらの位相構造の違いは、時空の漸近的な位相構造の違いと関係している。これらの特徴を議論する為に、正の宇宙項を含む 5 次元 Einstein-Maxwell-Chern-Simons 理論を用いて、回転する多体ブラックホール解を構成した [6]。この解は、非自明な漸近構造を持つ空間上で、位相構造 S^3 の回転ブラックホールが合体して、位相構造 S^3/Z_n の 1 体の回転ブラックホールに変化する過程を表す。そこで、私は、自分の構成したブラックホール解と、自明な漸近構造を持つ空間上で合体する回転ブラックホールを表す解を比較した。その結果、合体後のブラックホールの地平線面積は、角運動量に依存していることが分かった。これら 2 つの場合において、合体後の地平線面積に対する角運動量の依存性の違いは、高次元時空の漸近構造の違いと関係していることが明らかになった。

次に、私は、“Gödel 回転” パラメータを持つ多体 Kaluza-Klein ブラックホール解を構成した [10]。各々のブラックホールは、内側と外側の 2 つの独立なエルゴ領域を持つことができる。私は、それらのエルゴ領域が合体する様子を具体的に示した。そして、5 次元 Einstein-Maxwell-Chern-Simons 理論を用いて、非自明な漸近構造を持つ多体 BPS ブラックホール時空 [3, 7] や、 $S^2 \times S^1$ の位相構造を持つブラックリング時空を構成した [5]。