

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 Kaluza-Klein ブラックホール解

高次元ブラックホール時空は、統一理論へ向けての物理を発展させる鍵として期待されているだけでなく、様々な理論物理の分野から注目されている。私は、我々が現実に観測する世界が巨視的に 4 次元時空であることを踏まえ、ブラックホールから離れた重力の弱い領域において有効的に 4 次元時空と見なせる現実的な高次元時空モデルに興味を持ち研究をしている。特に、そのような性質を持つ高次元時空モデルとして、余剰次元がコンパクト化されている Kaluza-Klein 時空に注目する。

私は、ひねられた余剰次元を導入することで、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 squashed Kaluza-Klein ブラックホール時空を表す厳密解の構成法を、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適用することにより、電荷と回転パラメータを含む squashed Kaluza-Klein ブラックホール時空 [8, 10]、多体 BPS ブラックホール時空 [2, 4, 9]、ディラトン場を含む拡張重力理論における squashed Kaluza-Klein ブラックホール時空 [12]、及びコンパクトな余剰次元の大きさが全時空領域で一定であるような回転する多体 Kaluza-Klein ブラックホール時空 [15, 16] 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の向きのずれを考え、余剰次元による補正を計算した [11]。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 5 次元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において、 S^3 から S^3/Z_n への位相構造の変化を伴う回転ブラックホールの合体を表す。そこで、私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における回転ブラックホールの合体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の面積は角運動量に依存することが分かり、合体後の地平線の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 [9]。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]。