

ブレーン宇宙の考えに基づくと、時空が、サブミリメートル程度の空間的余剰次元を持っている可能性がある。もし、我々の宇宙が、そのようなブレーン宇宙ならば、重力のスケールと他のゲージ場のスケールは、TeV スケールで統一されるので、加速器内において、高次元のミニ・ブラックホールが生成出来ると期待されている。我々は、高次元時空の物理的特徴を明らかにする第一歩として、5次元ブラックホールを考える。5次元時空では、たとえ、時空の4次元部分に対して漸近平坦性が要請されるとしても、余剰次元を伴う時空全体の構造には、様々な可能性が許される。そこで、我々は、非自明な漸近構造を持つ5次元ブラックホール解を研究する。

歪んだ Kaluza-Klein ブラックホール

我々は、5次元 Einstein-Maxwell 理論の解として、歪んだ S^3 の地平線を2つ持ち、静的な、帯電 Kaluza-Klein ブラックホール解を構成した [12]。3次元球 S^3 は、Hopf バンドル、つまり、 S^2 基底空間上の捻られた S^1 バンドル構造と見なされる。この歪んだ Kaluza-Klein ブラックホールにおいて、外側の地平線は、 S^2 の方が S^1 よりも大きく、扁円であるが、内側の地平線は、 S^2 の方が S^1 よりも小さく、扁長である。このブラックホールは、その近傍において5次元的に振る舞い、その遠方は、コンパクトな余剰次元を伴う有効的に4次元な時空となっている。地平線が1つになる場合、この解は、BPS ブラックホール解になり、Taub-NUT 空間上の帯電 Kaluza-Klein ブラックホールを表す。我々は、この BPS ブラックホール解を、multi-centered Gibbons-Hawking 空間上の多体ブラックホール解に拡張した [11]。各々のブラックホールの地平線のトポロジーには、 S^3 だけでなく、それぞれ異なるレンズ空間 $L(n;1) = S^3/Z_n$ (n :自然数) が許される。更に、我々は、正の宇宙項を持つ多体ブラックホール解を構成した [9]。

我々は、これらの静的で歪んだ Kaluza-Klein ブラックホール解を、Chern-Simons 項を含む、5次元 Einstein-Maxwell 系における、角運動量を持つブラックホール解に拡張した [3, 5]。これらの解は、余剰次元方向に回転する、非 BPS な帯電ブラックホールを表し、“Kerr 回転”と“Gödel 回転”を特徴付ける、2種類のパラメータを持つことが出来る。まず、[5]で議論したブラックホール解は、ブラックホール自身の回転に関連する、“Kerr 回転”パラメータを持つ。一方、[3]で議論した、歪んだ Kerr-Gödel ブラックホール解は、“Kerr 回転”と“Gödel 回転”に関連する、2種類の独立なパラメータを持っている。この歪んだ Kerr-Gödel ブラックホールは、2つの独立なエルゴ領域を持つことが出来る。内側のエルゴ領域は、ブラックホールの地平線に接している。外側のエルゴ領域は、内側のエルゴ領域に接することなく、球殻状になっている。更に、これら2つのエルゴ領域は、互いに逆方向に回転出来ることが分かった。

最近、我々は、5次元 Einstein-Maxwell-dilaton 系の解として、ゆっくりと回転する帯電 Kaluza-Klein ブラックホール解を構成した [1]。帯電ブラックホールの磁気回転比は、dilaton 場や非自明な漸近構造により変更される。更に、このブラックホールの磁気回転比は、あらゆる余剰次元サイズに対して、dilaton 結合定数の増加に伴い減少することが分かった。

回転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トポロジーには、 S^3 やレンズ空間 $L(n;1) = S^3/Z_n$ がある。それらの地平線のトポロジーの違いは、時空の漸近構造と関係している。それらの特徴を議論する為に、我々は、Chern-Simons 項と正の宇宙項を含む、5次元 Einstein-Maxwell 系を用いて、Eguchi-Hanson 空間上の回転している多体ブラックホール解を構成した [7]。この解は、2体のブラックホールの場合、非自明な漸近構造を持つ空間上で、地平線トポロジー S^3 の2体の回転ブラックホールが合体して、地平線トポロジー S^3/Z_2 (レンズ空間) の1体の回転ブラックホールに変化する過程を記述している。一方、Klemm-Sabra 解は、2体のブラックホールの場合、自明な漸近構造を持つ空間上で、地平線トポロジー S^3 の2体の回転ブラックホールが合体して、地平線トポロジー S^3 の1体の回転ブラックホールに変化する過程を記述している。そこで、我々は、自分達の構成したブラックホール解と Klemm-Sabra 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と関係していることが明らかになった。

更に、我々は、歪んだ Kerr-Gödel ブラックホール解を、Gödel パラメータを持つ、回転している多体ブラックホール解に拡張した [4]。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出来る。我々は、2体のブラックホールの場合に、これらのエルゴ領域の合体の様子を、様々な形状と共に、具体的に示した。