

ブレン宇宙モデルの考えに基づいて、高次元時空の研究が、数多く成されている。特に、一連の歪んだ Kaluza-Klein ブラックホール解には、まだ知られていないような豊富な特徴があると期待される。そこで、その特徴を明らかにする為の第一歩として、歪んだ Kaluza-Klein ブラックホールの内部構造を議論する。もし、解が、我々の宇宙を記述しているならば、それらのブラックホールの違いを明らかに出来ると期待される。次に、歪んだ Kaluza-Klein ブラックホールを用いた余剰次元の検証を議論する。具体的には、解を、重力源の外側の時空に適用し、その周辺での物理現象の観測結果と比較することで、余剰次元サイズを見積もる。そして、様々な摂動に対する、歪んだ Kerr-Gödel ブラックホールの安定性を議論する。この研究は、どのブラックホール解が高次元時空の議論により適しているかを、明らかにする手掛かりの 1 つとなる。

歪んだ Kaluza-Klein ブラックホールの内部構造

我々は、歪んだ S^3 の地平線を持つ、静的な帯電 Kaluza-Klein ブラックホール解を研究してきた。この解の漸近構造は、遠方において、4 次元 Minkowski 時空上の非自明に捻られた S^1 バンドル構造である。この解は、質量と電荷と余剰次元サイズの 3 種類のパラメーターで特徴付けられる。最近、我々は、曲率特異点の形状で特徴付けられる、2 種類の静的な Kaluza-Klein ブラックホール解を得た。電荷の大きさが、空間的無限遠での S^1 ファイバーの大きさに関係した量より小さい場合、曲率特異点において、全空間は、1 点に収束する。一方、電荷の大きさが、空間的無限遠での S^1 ファイバーの大きさに関係した量より大きい場合、曲率特異点において、全空間は、 S^1 ファイバー方向へ無限に引き伸ばされる。これらの異なる 2 種類の曲率特異点の構造は、時空全体の構造に影響を与えると考えられる。そこで、我々は、これらの特異点を持つ歪んだ Kaluza-Klein ブラックホール時空内における、テスト粒子の測地線運動を考え、それらの内、最内部安定円軌道等の振る舞いと特異点の構造の間の関係を議論する [13]。もし、これらの解が、我々の宇宙にある重力源周辺の時空を記述しているならば、それらのブラックホールの違いを明らかに出来る方法があると期待される。更に、我々は、以上の議論を、他の歪んだ Kaluza-Klein ブラックホール時空の場合に拡張する。

歪んだ Kaluza-Klein ブラックホールを用いた余剰次元の検証

ブレン宇宙モデルにおける興味深い問題の 1 つに、高次元時空内の物理現象に基づいた余剰次元サイズの検証がある。我々は、それらの内、geodesic 効果と一般相対論の古典的検証 (光の湾曲、時間の遅れ、水星の近日点移動) に注目する。ここで、Gravity Probe B 衛星は、時空の歪みに伴う geodesic 効果と地球の自転による frame dragging 効果を観測する。特に、我々は、geodesic 効果に注目する。なぜなら、geodesic 効果は、frame dragging 効果よりも顕著な効果であり、余剰次元の存在に伴う影響がより強く現れると期待されるからである。そこで、我々は、静的な歪んだ Kaluza-Klein ブラックホール解を、コンパクトな天体の外側の時空に適用し、geodesic 効果に現れる余剰次元による補正を計算した [2]。近い将来、たとえ、Gravity Probe B 衛星等による観測結果が、期待される精度で予測値と一致しても、その観測精度は、余剰次元サイズの上限を与え、この時空モデルに対して、制限を加えることが出来る。更に、我々は、同じブラックホール解を、他の重力源の外側の時空に適用し、一般相対論の古典的検証の観測結果と比較することで、余剰次元のサイズを見積もり、それを geodesic 効果から見積もられる余剰次元のサイズと比較する [14]。

歪んだ Kerr-Gödel ブラックホールの安定性

最近、我々は、Chern-Simon 項を含む、5 次元 Einstein-Maxwell 系を用いて、歪んだ Kerr-Gödel ブラックホール解を構成した [3]。この解は、回転している Gross-Perry-Sorkin (GPS) モノポール時空内にある、回転ブラックホールを表している。この回転 GPS モノポール時空は、至るところレギュラーで、球殻状のエルゴ領域を持っている。そこで、回転 GPS モノポール時空の安定性を議論する為の第一歩として、massless スカラー場による摂動を考える [15]。このような摂動に対する時空の安定性の議論では、超放射効果と、余剰次元方向の Kaluza-Klein 運動量による反射壁の出現が重要である。また、我々は、回転 GPS モノポール時空のスカラー場摂動に対する、準固有振幅を議論する。これらの研究は、どのような解が、高次元時空の議論により適しているかを、明らかにする手掛かりの 1 つとなる。更に、以上の議論を、2 つの独立なエルゴ領域を持つ、歪んだ Kerr-Gödel ブラックホール時空の場合に拡張する [16]。