

これまでの研究のまとめ

高次元において、ブラックホール解は4次元におけるよりも遥かに豊富な構造を持つ事がわかっているが、その理解は解析の困難さから進んでいないのが現状である。申請者はこれまで高次元時空における重力の性質を理解するため、解析的アプローチを用いて高次元ブラックホール解を研究した。

高次元重力の次元無限大極限の研究

次元数 D が十分大きいとする近似(Large D 極限)を用いて申請者はこれまで高次元ブラックホールの線形摂動に対する性質を明らかにした。

・高次元球対称ブラックホールの線形ダイナミクスの研究

4次元Schwarzschildブラックホール解の単純な拡張である高次元Schwarzschildブラックホールの線形摂動をLarge D 極限を用いて解析し、その振動モードであるQNMを求めた。高次元における摂動方程式は数値解析が必要であったが、Large D 極限を用いる事で、解析的な取り扱いが可能となった。結果、高次元ブラックホールにおけるQNMは、ホライズン近傍で局所的に振動するdecoupled modeと、ホライズンを離れて遠方とやり取りが可能であるnon-decoupled modeの二種類に分離することが分かった。特に、ホライズン上に局在するdecoupled modeについては $1/D$ について3次までの展開を求めることができ、 D が十分に低い次元においても数値計算の結果を再現できた。

本研究はRoberto Emparan氏、田辺健太郎氏との共同研究であり、Journal of High Energy Physics誌に掲載された。(“Decoupling and non-decoupling dynamics of large D black holes”, R. Emparan, RS, K. Tanabe, JHEP 1407, 113 (2014))

・高次元回転ブラックホールにおける不安定性の研究

高次元回転ブラックホールであるMyers-Perry解の準固有振動(QNM)について、Large D 極限を用いて解析を行った。一般にMyers-Perry解に対する摂動方程式は偏微分方程式となり、次元極大極限においても困難が予想されるため、摂動方程式が常微分方程式となる奇数次元かつ全ての角運動量が等しい場合においてにおいて解析を行った。

結果、摂動方程式はもともと複数の変数が結合した連立ODEとなっているが、次元無限大極限をとることで、0次の方程式においてすべての変数について独立した方程式に分解され、 $1/D$ 展開により解けることがわかった。このことはこの時空が次元極大極限において、球対称なSchwarzschild時空とBoost変換によって同一視できることに帰着できた。

また実際に摂動方程式を解き、いくつかのQNMを求めることができた。その内の一つのモードについては回転パラメータがある閾値を越えた場合に不安定となり、数値計算による不安定性の結果を $1/D$ 程度の誤差で再現することがわかった。

本研究はRoberto Emparan氏、田辺健太郎氏との共同研究であり、Journal of High Energy Physics誌に掲載された。(“Instability of rotating black holes : large D analysis”, R. Emparan, RS, K. Tanabe, JHEP 1406, 106 (2014).)