

これまでの研究成果

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。時空の対称性の低い場合において、解を直接求めることは困難であるため、解析にはなんらかの近似手法を必要とする。申請者は高次元近似を用いた研究を行った。

重力の高次元極限の研究

次元数 D が十分大きいとする近似(高次元極限、高次元近似)を用いて、高次元ブラックホールの形状やその物理についての理論的研究を行った。

高次元ブラックホールのダイナミクスの研究

【高次元有効理論】

高次元極限においてはブラックホールのダイナミクスの記述が単純化され、解析的ないしは準解析的な取り扱いが可能になる。特にブラックホール近傍の緩やかなダイナミクスはホライズン面上に閉じ込められ、ホライズンは有効的な運動方程式に従う仮想的な膜として振る舞う。この性質により、解くべき座標依存性が一つ減り、対称性の低い時空の解析が容易となる。私は共同研究者とともに有効方程式を解くことで、様々な時空解の形状や安定性について数値計算を用いない(用いても常微分方程式を解く程度の)解析的な理解を得た。特に、高次元ブラックストリング解については、臨界次元の存在の導出や、一様ブラックストリングの不安定性の安定終状態が非一様ブラックストリングとなることを有効方程式の動的発展を追って示すなど、高次元極限における非線形的な振る舞いを解明することができた。

【高次元有効理論におけるブロブ近似】

ブラックホールの非線形ダイナミクスは $\mathcal{O}(1/\sqrt{D})$ スケールの波長で記述される。コンパクトなホライズンを持つ場合にはそのような小スケールの物理の扱いは困難であるが、回転軸近傍を \sqrt{D} 倍に拡大することで、「ブロブ」と呼ばれるブラックブレン有効理論上のガウス分布的な解として扱う近似法を発展させた。この近似により、様々な対称性の低い解を解析することができた。また、ブロブ同士の衝突シミュレーションから、高次元におけるブラックホール衝突についての知見が得られた。

高次元極限におけるブラックホールホライズンの位相転移

高次元時空では解空間上、いくつかの時空位相の異なるブラックホール解同士が合流すると考えられているが、合流点上では時空が特異になることが予想され、解析は困難であった。さらにホライズンの変動が大きいため上記の高次元有効理論が適用できなかったが、従来とは異なるスケール仮定を置くことで、高次元極限における位相転移の様子がリッチフロー方程式を用いて記述されることがわかった。特にコンパクト化時空中のブラックストリングとブラックホール解の間の位相転移について既知のリッチフロー解(King-Rosenau解)を用いた解析的な記述を得た。