

学位申請論文公開講演会

日時：2026年2月5日(木) 13:00~

申請者：上原 晃一朗 (QG 研)

場所：物理会議室 (C207)

題目：II型原始揺らぎからのブラックホール形成

主論文の要旨

重力波観測や銀河中心天体の電磁波観測はこの宇宙に無数のブラックホール (BH) が存在することを示唆している。BH は我々の宇宙の進化に深く関わっているとされるが、その起源については未解明の部分が多く残されている。本論文で注目する原始 BH は、初期宇宙の密度揺らぎから星を経由することなく形成される BH で、宇宙に存在する BH の起源の候補として注目されている。

標準的な原始 BH 形成シナリオでは、インフレーションで生成される様々な振幅を持った原始揺らぎのうち、稀に大きいものが重力崩壊を起こし、BH を形成すると考えられている。大振幅揺らぎは球対称形状で近似できることが統計的に示唆されており、球対称揺らぎは振幅に応じて I 型と II 型に大別される。I 型は、揺らぎのピークを中心とする球面の面積が、座標半径の関数として停留点を持たず、単調に増加する揺らぎであり、II 型は停留点を持つものとして定義される。

従来までの研究では主に比較的振幅の小さな I 型ゆらぎが扱われてきたのに対し、数値計算上の技術的制約から、II 型ゆらぎからの原始 BH 形成は十分に検討されてこなかった。I 型の場合、振幅が大きいほど原始 BH の形成質量も増大することが知られているが、II 型については単純なモデルを用いた評価から、振幅を大きくすると BH 質量はむしろ小さくなると予想してきた。本研究では、この II 型ゆらぎの成長と崩壊過程を数値的に解析し、形成質量の初期振幅に対する振る舞いが、初期のゆらぎ形状のモデルに大きく依存することを明らかにした。

本研究ではさらに II 型領域までを含む一般的な状況において原始 BH 形成の動的な振る舞いを精査した。動的な時空における BH 形成は、臨界捕捉面と呼ばれる閉じた 2 次元面の出現によってしばしば特徴づけられる。球対称な場合、臨界捕捉面は球面となり、内・外向きのいずれか、或いは両方に発した光波面に沿った面積増加率（膨張率）がゼロになる面として定義される。時空中での臨界捕捉面の軌跡は 3 次元超曲面となり捕捉地平線と呼ばれる。本研究においては、複数の捕捉地平線が交差する場合があることを確認し、その交差の有無に基づいて、形成される原始 BH をそれぞれ B 型と A 型に分類した。一般には、揺らぎの I/II 型と BH の A/B 型の分類に対応関係はない。しかし、圧力が無視できる状況では、初期ゆらぎの形状モデルに依存せず、両者が等価であることを解析的に示した。

本研究では、顕著に大きな初期振幅を持つ原始揺らぎに対する原始 BH 形成過程を数値的に解析し、形成質量と揺らぎ形状の関係が従来の予想よりも複雑であることを明らかにした。また、捕捉地平線構造の特徴から A/B 型の分類を導入し、圧力が無視できる状況下では I/II 型と等価であることを示した。