

学位申請論文公開講演会

日時：2025 年 2 月 4 日(火) 10:00~

申請者：斎藤 大生 (QG 研)

場所：物理会議室 (C207)

題目：初期物質優勢期に形成される原始ブラックホールのスピンに関する解析

主論文の要旨

宇宙初期には指数関数的な膨張期(インフレーション期)が存在したと考えられる。インフレーションは現在観測されている種々の構造の種となる非一様性(揺らぎ)の生成を予言する。揺らぎの性質を理論的に予測し観測的に制限することは初期宇宙を理解する上で重要である。従来の観測により 1Mpc 程度以上の大きなスケールの揺らぎの性質は理解されているが、より小さなスケールの揺らぎについては未だ明らかでないことが多い。

小スケールの揺らぎに制限を与えうる研究対象の 1 つが、原始ブラックホール(PBH)である。PBH は星の形成を経ずに揺らぎが直接重力崩壊して形成されるブラックホール(BH)である。主論文の目的は、宇宙初期の物質優勢期に形成される PBH が持つスピン(角運動量 L 、質量 M 、光速度 c 、重力定数 G に対して $L/\{GM^2/c\}$ で定義される無次元量)の値を見積もり、PBH 形成量に対するスピンの効果を評価することである。

PBH の最も標準的な形成シナリオは、非常に大きな振幅を持った揺らぎが放射優勢期において重力崩壊するというものである。放射優勢期においては物質場の圧力勾配が重力崩壊の阻害機構となる。また、PBH を生じる振幅の高い揺らぎは典型的には球対称に近く、PBH が持つスピンの典型的な値は 10^{-3} 程度と見積もられている。一方、物質優勢期における PBH 形成では圧力勾配は無視でき、揺らぎの非球対称性の効果が重要となる。従って、PBH 形成の過程も放射優勢期と本質的に異なると考えられている。

主論文では非球対称性の効果を解析的に扱うため、流体素片に張り付いた座標系での線形摂動解を非線形領域に外挿する Zel'dovich 近似を用い、重力崩壊する領域が獲得する角運動量を見積もった。また、初期揺らぎはランダムガウス場と仮定し、密度揺らぎの極大点周りの振幅と空間微分の確率分布を用いてスピンの期待値を評価した。

解析の結果、密度揺らぎの初期振幅が小さいほどスピンの期待値が大きくなり、その典型的な値は $O(1)$ であることがわかった。特に、揺らぎの振幅が十分小さな領域では、BH が定常解として取り得るスピンの上限値である 1 を上回ることを確認した。そこで本研究ではスピンの値が 1 を上回るような場合においては遠心力の効果により PBH 形成が阻害されると仮定し、それに基づいて PBH 形成に必要な揺らぎの振幅に関する閾値を与えた。また、揺らぎの非等方性とスピンによる PBH 形成阻害を比較し、密度揺らぎの標準偏差が 10^{-3} 程度より小さい領域ではスピンの支配的な阻害要因となると結論づけた。さらに、スピン期待値の確率分布を評価し、 $O(1)$ で最大となることを発見した。このことから、物質優勢期の PBH スピンが放射優勢期と比べ $10^2 \sim 10^3$ 倍大きいことが分かった。