

X69a 重力波予測のための初代星まわりのダークマター密度プロファイル

平野信吾^{1,2}, 吉田直紀² (¹ 神奈川大学, ² 東京大学)

連星ブラックホール (BH) を取り囲むダークマター (DM) は、連星合体時に発生する重力波に影響を及ぼす。特に中間質量 BH (IMBH) は高密度の DM を周囲にまとっていると考えられており (DM spike)、将来の重力波観測によって IMBH 周りの DM 密度プロファイルが制限されることで、DM モデルの新たな制限となることが期待されている。IMBH まわりの DM 密度プロファイルを計算するとき、初代星まわりの DM 密度プロファイルを初期条件とすることがある。初代星まわりの DM 密度分布はバリオン (ガス) の重力収縮と共に断熱的に圧縮すると考えられているが、その検証は十分には行われていない。

初代星まわりの DM 密度プロファイルを調べるため、初代星形成過程を再現する宇宙論的シミュレーションにおいて、DM の質量分解能を先行研究の 1/100 倍に高めた数値実験を行った (arXiv:2505.17828)。このときの DM 粒子質量は $3.7 \times 10^{-4} M_{\odot}$ であり、0.02 pc までの DM 密度分布を数値分解可能である。シミュレーションより、DM は 2 段階の重力収縮を行っていることがわかった：(1) まず Kepler 回転となるため収縮が止まり $r \lesssim 3$ pc の等密度 DM コアが形成し、(2) バリオンの重力収縮が進むことで DM が sub-Keplerian 回転になると収縮を再開して ~ 1 pc でカusp状 ($\rho_{\text{dm}} \propto r^{-0.6}$) となる。

本研究では典型的な初代星ハローの DM 密度プロファイルを調べたが、別のシミュレーションと比較すると、内側の勾配はハロー間のばらつきに加え、Lyman-Werner 輻射およびバリオン-DM 相対超音速流の影響によっても変化が見られた。DM 密度プロファイルは単一ではなく形成環境によって多様性を持つことは、DM に由来する重力波の位相ずれ計算において考慮する必要がある。