

U18a マルチスケールを取り入れた畳み込みニューラルネットによる初期密度揺らぎの再構築

中島光一郎, 市来淨與 (名古屋大学), 西澤淳 (岐阜聖徳学園大学), 長谷川賢二 (鈴鹿高専)

観測精度の向上に伴い、線形理論では説明が難しい小スケールの情報を正確に扱うことの重要性が増している。例えば後期宇宙における銀河分布には重力による非線形な密度ゆらぎが含まれている。銀河観測を通じて線形密度ゆらぎに関連するバリオン音響振動などを精密に解析するには、非線形成分を適切に除去する必要がある。この課題に対しては、ゼルドビッチ近似を用いた解析的手法 (e.g., Eisenstein et al., 2007, ApJ) が標準的なアプローチとして用いられてきた。一方で、宇宙論的シミュレーションの進展により、膨大かつ高精度な学習データを活用した機械学習アプローチが近年注目を集めている。

本研究では、Mao et al., 2021, MNRAS によって提案された畳み込みニューラルネットワーク (CNN) モデルの改善可能性を検討した。具体的には、宇宙論的 N 体シミュレーション「Indra」の公開データを用い、一辺 $1 \text{ Gpc } h^{-1}$ の暗黒物質三次元密度分布を対象に、赤方偏移 $z \sim 0$ のスナップショットを入力、 $z \sim 10$ のスナップショットを出力とする学習を行った。Mao らの提案した CNN モデルは、一辺約 $76 \text{ Mpc } h^{-1}$ のサブボックスから中心座標一点の初期密度を推定するものであった。我々はこのモデルを拡張し、複数サイズのサブボックス (マルチスケール) から中心座標の初期密度を推定する CNN モデルを開発した。結果として推定値と正解値のずれを示す損失関数が約 40% 減少した。さらに密度場の統計量を測定し、より高い精度で統計量を復元できることを示した。本発表では、将来の銀河観測等を見据え、本手法の暗黒物質ハロー分布や銀河分布への応用可能性についても議論する。