

P143a 機械学習を用いた初代星形成過程における化学進化のエミュレーション

小野 壮洵 (京都大学), 杉村 和幸 (北海道大学)

初代星とは、宇宙誕生後に形成された最初の世代の星を指す。宇宙は、星の形成と超新星爆発による物質の拡散を繰り返して進化してきたが、その出発点である初代星の形成過程を解明することは、現代天文学の重要な課題の一つである。初代星の形成は、ガスの温度や化学状態に強く依存し、その進化を精密に追うには、多数の化学反応を含む硬い常微分方程式 (ODE) を高精度に解く必要がある。しかし、従来の数値積分に基づく手法では、計算コストや並列化効率に課題があった。そこで本研究では、機械学習による代替手法の可能性を探る。

近年、Branca & Pallottini (2024) は常微分方程式の解の予測に適した構造を持つ DeepONet (Lu et al., 2021) を用い、星間物質における熱・化学進化を再現する手法を提案している。本研究ではそれを基に、より高密度で計算が困難な領域への拡張を試みた。

まず、金属を含まない始原ガス環境における 6 種類の化学種と 18 種の反応を対象とした熱・化学進化モデルを用い、ニューラルネットワークの学習用データセットを作成した。次に、初期条件と時間幅に応じて温度と化学組成の時間発展を予測する DeepONet ベースのエミュレータを構築した。また、時間刻みが小さい場合でも、ネットワークの反復適用による誤差蓄積を抑える補完的手法も導入した。

その結果、従来法と比べて計算精度を保ちつつ 2 倍以上の高速化を実現し、GPU を用いた one-zone 計算では 10 倍以上の高速化を達成した。さらに、時間刻みの細かいシミュレーションにおいても安定した予測が可能であることを確認した。

本講演では、この手法による計算結果を紹介し、今後の流体シミュレーションへの応用についても議論する。