

X39a 大規模並列計算と AI で実現する Star-by-star 銀河シミュレーションの高速化

平島敬也, 森脇可奈, 藤井通子 (東京大学), 平居悠 (東北大学), 斎藤貴之, 牧野淳一郎 (神戸大学), Ulrich steinwandel (CCA), Shirley Ho (CCA/Princeton 大学/NYU)

多階層的な銀河進化を解明するため、大規模シミュレーションを活用した研究がこれまでに数多く行われてきた。銀河進化において、詳細な星形成やフィードバックの影響を正確に計算するには高い質量分解能が求められる。特に、超新星爆発の影響を適切に評価するには、 $\sim 1M_{\odot}$ の分解能が必要である。

スーパーコンピュータの発展 (特に CPU コア数の増加) により、 N 体計算や Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) に基づく手法では、シミュレーションで扱う粒子数が増加し、質量分解能も向上してきた。しかし、従来のコードは階層的独立時間刻み幅法を採用しているため、一部の短いタイムスケールの現象 (例: 超新星爆発) に対して時間刻み幅が極端に短くなり、演算・通信回数が数百倍に増大するというボトルネックが存在している。その結果、現在でも質量分解能が $\sim 1000M_{\odot}$ に留まり、個別の恒星を表現することは困難であり、フィードバック効果はサブグリッドモデルとして取り扱われている。

本研究では、機械学習を活用し、 $\Delta t = 10^5$ 年後の超新星フィードバックによる密度、温度、速度を予測可能なサロゲートモデルを独自に開発した。このモデルを用いることで、短いタイムスケールの現象の直接計算を回避しつつ、矮小銀河のシミュレーションでは星形成史やアウトフロー構造を再現しながら計算速度を約 4 倍に向上させることに成功した。また、このコードは約 6 万 MPI 並列での実行実績を有する。本講演では、超新星フィードバックのサロゲートモデルを導入した銀河シミュレーションの成果を紹介するとともに、天の川銀河規模の star-by-star シミュレーションの開発状況について報告する。