

Z223r 超新星フィードバックのサロゲートモデルを用いた銀河形成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 (Notre Dame 大学/東北大学), 斎藤貴之, 牧野淳一郎 (神戸大学), Shirley Ho (CCA/Princeton 大学/NYU)

銀河形成シミュレーションでは、 N 体/Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法、moving mesh 法、または adaptive mesh refinement などが用いられる。これらの方法では、粒子やメッシュを用いてモデル化し、粒子・メッシュ数が分解能を決定する。コンピュータの発展に伴い、使用される粒子数は増加してきたが、現在のアルゴリズムには、並列化効率の限界があり、結果としてシミュレーションの分解能にも上限が存在する。例えば、重力だけで相互作用する粒子 (ダークマター粒子と星粒子) と、流体力学相互作用する粒子 (SPH 粒子) の 3 種類の粒子を用いる N 体/SPH 法による Zoom-in シミュレーションでも 10^9 個程度の粒子で天の川サイズの銀河を表しており、質量分解能は $10^3 M_{\odot}$ 程度に止まっている (Applebaum et al. 2021).

我々は、 N 体/SPH 法を用いて個々の星まで分解した銀河形成シミュレーションを実行するためのコードの開発を進めている。従来のコードは、階層化独立時間刻み幅法を採用するため、ごく一部のタイムスケールの短い現象 (超新星爆発など) の時間刻み幅だけ短くなり、演算・通信回数が数百倍に増大しボトルネックとなっている。そのため、超新星フィードバックの数値シミュレーションを機械学習で再現する手法 (サロゲートモデル) を開発し、局所的な演算・通信回数増大の防止を試みる。本モデルは、巨大分子雲内で超新星爆発が起こった時刻の周辺領域の物理量の分布を入力とし、 $\Delta t = 10^5$ 年後の物理量の分布を学習・予測する。本講演では、エネルギー保存などの予測精度と機械学習モデルのシミュレーション・コードへの実装の状況について報告する。