

近傍銀河の形成・進化の探求

Formation and evolution of local galaxies

森正夫

筑波大学計算科学研究センター

1. 研究目的

我々の住む銀河はどのように誕生し、進化してきたのか。本研究では、高精度観測データと大規模シミュレーションを組み合わせ、近傍銀河の形成・進化の詳細なモデルを構築し、数値銀河考古学を完成させることを目標とする。また、銀河の形成・進化を通じて、宇宙物理学における最大の謎であるダークマター (DM) の性質および関連する諸問題を詳細に調査することを目的とする。2024 年度も引き続き、天の川銀河やアンドロメダ銀河、近傍の銀河およびそれに付随するダークマターハロー (DMH) が銀河集団という環境の中でどのような歴史を歩み現在に至り、さらに未来にどう進化するかを、 N 体計算および流体の大規模シミュレーションを駆使して調査した。具体的には、銀河衝突、そして現在の標準的な構造形成理論である Cold Dark Matter (CDM) の銀河スケールにおける諸問題、さらにそのような問題をシミュレーションするための高精度計算スキームの開発に焦点を当てて研究を行った。

2. 研究成果の内容

本研究では、超高解像度の宇宙論的 N 体シミュレーションから得たマージツリー・データを包括的かつ詳細に解析した。銀河系型ホストハローに付随するサブハローの力学的進化を明らかにした。より大質量のダークマターハローとは異なり、これらのサブハローは特有の質量進化パターンを示す。すなわち、初期のアクリーション段階に続き、ホストハローの潮汐力によって質量を失う潮汐剥離段階へ移行する。サブハローが最大質量に達する転換点は赤方偏移 $z=1$ 付近であり、小質量サブハローほど早く、大質量サブハローほどゆっくり到達する。解析の結果、サブハローの 80% 以上が質量を失っていることが判明し、潮汐剥離がサブハロー進化において普遍的であることを示した。さらに、シミュレーションから得たサブハロー軌道の離心率と近点距離を導出し、Gaia 衛星が観測した近傍衛星銀河の値と比較した。その結果、冷たいダークマター (CDM) モデルが予測する軌道要素と観測データとの間に顕著な一致が見られ、CDM モデルがダークマターの有力候補であることを強く裏づけた。

3. 学際共同利用プログラムが果たした役割と意義

本研究では、シミュレーションからサブハローの軌道離心率と近点距離を導出し、Gaia 衛星が観測した近傍衛星銀河の値と比較した。これらの軌道要素を高精度で取得するために、大規模なパラメータサーベイを実施した。様々なパラメータ空間を十分な分解能で調査することが求められた。このような膨大なパラメータ空間を扱うため、高い演算性能を持つ Wisteria-O や Cygnus、Pegasus による大規模並列パラメータサーベイが重要な役割を果たした。

4. 今後の展望

我々は、銀河形成・進化におけるバリオンの複雑な流体力学的挙動とダークマターや恒星系における無衝突多体系のダイナミックスをできるだけ正確に取り入れた銀河進化モデルの構築を進めている。そのために、学際共同利用によって開発された Godunov-DISPH 法による流体と N 体のハイブリッド計算を用いた大規模計算を今後は実行する計画である。

5. 成果発表

(1) 学術論文

“Cosmological evolution of dark matter subhaloes under tidal stripping by growing Milky Way-like galaxies”, Kazuno, Yudai; Mori, Masao; Kaneda, Yuka; Otaki, Koki, Publications of the Astronomical Society Japan, 76, L39-L45 (2024)

(2) 学会発表

“Characteristic Mass Scale for the Cusp-Core Transition in Dark Matter Halos”, 森正夫; 金田優香, 日本天文学会 2024 年秋季年会, 2024 年 9 月 11-13 日, 水戸文化会館

(3) その他

使用計算機	使用計算機に ○	配分リソース※		
		当初配分	移行*	追加配分
Cygnus	○	20,160	0	0
Pegasus	○	4,500	0	0
Wisteria/BDEC-01	○	144,000		0
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。 * バジェット移行を行った場合、「+2000」「-1000」のように記入				