

近傍銀河の形成・進化の探究

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だろうか。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。さらに、銀河の形成・進化の研究を通して、宇宙物理学における最大の謎の一つとされているダークマターの性質及びその諸問題について詳細に調査することを目的とする。

2. 研究成果の内容

近傍の銀河やそれに付随するダークマターハローが互いに相互作用し、その中でどのような進化過程を歩むのかという問題に対し、 N 体計算及び流体シミュレーションを駆使して調査した。それらの研究成果の内、ここでは以下の2件について解説する。

(1) 銀河衝突によるアンドロメダ銀河の力学進化

近年の精密観測によりアンドロメダ銀河(M31) 周辺には、ハローの **Andromeda Giant Southern Stream(AGSS)** やディスクの2重リング構造といった銀河衝突の痕跡と見られる構造が発見されており、観測と理論両面から詳細に研究されている。我々は小質量の衛星銀河の衝突により AGSS と2重リング構造の関連性について調べている。M31 のバルジとディスク、衛星銀河を粒子で表現したモデルで衝突の N 体シミュレーションを行った結果、我々の解析結果の予想通り M31 銀河ディスクが完全に破壊されてしまうことを示し、先行研究で主張されているような大質量衛星銀河の衝突モデルでは、観測と矛盾する事を示した。

(2) Dark matter halo に付随する Subhalo の軌道運動と衝突過程

高精度軌道積分法を実装した N 体シミュレーションを用いて、Milky Way サイズの Host 銀河に付随した(Bright、Dark を含む) Subhalo 同士の二体衝突の頻度を、Host銀河が時間進化する系の中で詳細に調べた。その結果、宇宙年齢の間に Subhalo同士の正面衝突が数回以上、また弱い相互作用は少なくとも数千回は生じていることを突き止め、矮小銀河の観測を通して **Dark Satellite** の存在を観測的に見極める可能性を示した。

3. 学際共同利用が果たした役割と意義

これまで学際共同利用として、OFP、Cygnus 等の並列計算機を活用した、大規模並列 N 体シミュレーション及び流体シミュレーションを多数実施した。特に、本研究では銀河衝突やダークマターハローの軌道要素を正確に決めることが求められ、相互作用する天体の初期軌道要素についての合計 6 次元のパラメータ空間を十分な分解能で調べる必要があった。このような膨大なパラメータ空間を扱う為には、高い演算性能を持つ OFP 及び Cygnus による大規模並列パラメータサーベイが、最も強力な手段であって、本研究ではその性能を最大限に発揮することができた。

4. 今後の展望

これまでは重力多体系のみの力学過程を調べる事が多かったが、今後は流体力学を正確に取り入れた銀河進化モデルを構築に着手する。そのために準備していた SPH 法による流体と N 体のハイブリッド計算に、銀河形成の物理過程として星形成や超新星フィードバック、放射冷却等の効果を実装した銀河形成シミュレーションコードがほぼ完成した。今後はこのコードを使って数値実験を行っていく予定である。

5. 成果発表

(1) 学術論文

Otaki, Koki and Mori, Masao, “The formation of dark-matter-deficient galaxies through galaxy collisions”, 2022, Journal of Physics: Conference Series, 2207, 012049(6pp)

(2) 学会発表 (すべて online)

- Mori, Masao, “Evolution of the local galaxies”, 13th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences, CCS International Symposium 2021, 2021, Tsukuba
- Otaki, Koki; Mori, Masao, “Dark matter subhalo collisions and formation of dark-matter-deficient galaxies”, Kashiwa Dark Matter symposium 2021, Kashiwa
- Kaneda, Yuka; Kazuno, Yudai; Otaki, Koki; Mori, Masao, “Evolution of the sub galactic dark matter halos in the cosmological context”, Kashiwa Dark Matter symposium 2021, Kashiwa
- 大滝恒輝; 森正夫, “ダークマター欠乏銀河形成条件の解析”, 銀河・銀河間ガス研究会 2021, 2021
- 大滝恒輝; 森正夫, “銀河衝突によるダークマター欠乏銀河の形成: 金属量依存性について”, 日本天文学会 2021 年秋季年会, 2021

- 数野優大; 森正夫; 大滝恒輝, “低質量ダークマターハローの成長過程 について”, 日本天文学会 2021 年秋季年会, 2021
- 大滝恒輝; 森正夫, “ダークマター欠乏銀河形成の流体力学模型”, 日本流体力学会年会, 2021
- 大滝恒輝; 森正夫, “銀河衝突とガスの熱力学進化”, 日本天文学会 2022 年春季年会, 2022
- 数野優大; 大滝恒輝; 金田優香; 森正夫, “ダークマターサブハローの力学進化過程”, 日本天文学会 2022 年春季年会, 2022
- 金田優香; 数野優大; 大滝恒輝; 森正夫, “ダークマターサブハローの力学進化と近傍銀河・銀河団観測との比較”, 日本天文学会 2022 年春季年会, 2022
- 堀田彩水; 森正夫, “銀河衝突によるアンドロメダ銀河の力学進化”, 日本天文学会 2022 年春季年会, 2022
- 日本天文学会 2022 年春季年会, 2022, “銀河系衛星銀河の潮汐破壊による質量損失と近点距離の関係”, 日本天文学会 2022 年春季年会, 2022
- 大滝恒輝; 森正夫, “The formation of dark-matter-deficient galaxies through dark matter subhalo”, 第 3 4 回理論懇シンポジウム, 2021
- 田中駿次; 森正夫, “銀河系衛星銀河の潮汐破壊による質量損失と近点距離の関係”, 第 3 4 回理論懇シンポジウム, 2021
- 金田優香; 数野優大; 大滝恒輝; 森正夫, “高分解能宇宙論的 N 体シミュレーションにおけるサブハローの進化”, 第 3 4 回理論懇シンポジウム, 2021

使用計算機	使用計算機 に○	配分リソース*	
		当初配分	追加配分
Cygnus	○	170,000	0
Oakforest-PACS	○	12,960	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。			