

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

本研究では、銀河の形成・進化の研究を通して、宇宙物理学最大の謎とされているダークマター(DM)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。ここでは、天の川銀河やアンドロメダ銀河、近傍の銀河や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んで現在に至り、またこれからどのような未来が待ち受けているのかを、N体計算及び流体の大規模シミュレーションを駆使して明らかにしていくことを目的とする。

2. 研究成果の内容

今年度は、カस्प=コア問題やミッシングサテライト問題等に代表される現在の標準的な構造形成理論に対する矛盾にフォーカスして研究を行った。

● カस्प・コア問題

dark matter halo(DMH)の中心質量密度はCDMモデルでは、発散するcusp構造を预言するが、観測的には中心質量密度が一定となるcore構造が多数発見されている。本研究ではこれらこの問題を、DMHとバリオンの力学的相互作用に起因したDMHの中心密度分布の進化過程に関わる問題として捉えて解析を行った。本年度は特に、Oakforest-PACSを用いたN体シミュレーションにより、ガスの振動がランダウ共鳴を介してダークマターハローの中心部分を加熱する加熱効率について詳細な解析をおこない、振動の高倍音モードによるエネルギー輸送がDMHの内側のべきと密接に関連することを示した。

● ミッシングサテライト問題

階層的構造形成論に基づいた宇宙論的N体シミュレーションによると、親銀河DMH中には多数のDMサブハローが存在することが示唆されている。銀河系やアンドロメダ銀河程度の質量の銀河には、数値計算から100から1,000個ものサブハローが得られる一方で、これまでに発見された衛星銀河はせいぜい30から40個と、その数に一桁以上の不一致がありミッシングサテライト問題と呼ばれている。この最大の問題点は電磁波観測では検出できないサブハロー(Dark Satellite)の数と、可視光観測で検出

された衛星銀河の数を比較しているという点である。本年度は局所銀河群で唯一の爆発的星形成矮小銀河の IC10 に着目して研究を行った。IC10 では銀河衝突によって形成されたとおぼしき HI ガスストリームが観測されているが、その可視対応天体が見当たらないという謎が指摘されている。我々は、この HI ストリームが、矮小銀河と Dark Satellite との衝突によって生成され得ることを N 体シミュレーションにいる銀河衝突の数値実験を駆使して示すことに成功した。そして、HI ストリームを再現するための Dark Satellite の質量範囲と軌道パラメータについて一定の制限を付けることができた。

3. 学際共同利用として実施した意義

本研究では衝突するダークマターハロー等の軌道要素を正確に決めることが求められ、相互作用する銀河の初期軌道要素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 による大規模並列パラメータサーベイが、強力な役割を果たしてくれた。さらに我々は複雑な流体力学的効果をできるだけ正確に取り入れた銀河進化モデルを構築する計画であり、そのために、COMA では、Godunov-SPH 法による流体と N 体のハイブリッド計算による大規模計算用のコードテストを行い、将来の計算に向けて重要な知見を得ることができた。

4. 今後の展望

今後は、矮小銀河と Dark Satellite の相互作用に関する初期軌道要素の合計 6 次元のパラメータ空間をより大規模かつ高分解能で調べる必要がある。また、複雑な流体力学効果をできるだけ正確に取り入れた銀河進化モデルを完成する計画である。そのために、流体と N 体のハイブリッド計算を継続的に行っていく予定である。

5. 成果発表

(1) 学術論文

(2) 学会発表

- ダークマターハローのユニバーサルスケーリング関係、日本天文学会 2018 年秋季年会、2018 年 9 月 19 日-21 日、兵庫県立大学 姫路工学キャンパス、森正夫、田沼萌美
- SCF 法によるダークマターハローの cusp-core 遷移過程の解析、日本天文学会 2018 年秋季年会、2018 年 9 月 19 日-22 日、兵庫県立大学 姫路工学キャンパス、加藤一輝、森正夫、扇谷豪、穂積俊輔
- コールドダークマターハロー中の銀河風の線形安定性解析、日本天文学会 2018 年秋季年会、2018 年 9 月 19 日-23 日、兵庫県立大学 姫路工学キャン

パス、永野裕太, 森正夫, 新田伸也

- Dark satellite と矮小銀河の衝突シミュレーション、日本天文学会 2018 年秋季年会、2018 年 9 月 19 日-24 日、兵庫県立大学 姫路工学キャンパス、宮川銀次郎, 森正夫, 三木洋平, 桐原崇亘
- 星形成銀河からのアウトフローの遷音速解析、日本天文学会 2018 年秋季年、2018 年 9 月 19 日-25 日、兵庫県立大学 姫路工学キャンパス、五十嵐朱夏, 森正夫, 新田伸也
- Transonic outflow モデルにおける銀河風の遷音速および常亜音速流の存在可能性、日本天文学会 2019 年春季年会、2019 年 3 月 14 日-17 日、法政大学、永野裕太, 森正夫, 新田伸也
- 星形成銀河からのアウトフローによる質量流束、日本天文学会 2019 年春季年会、2019 年 3 月 14 日-17 日、法政大学、五十嵐朱夏, 森正夫, 新田伸也

(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 | 追加配分 |
| COMA | ○ | 312*32 | |
| Oakforest-PACS | ○ | 10,000 | |
| ※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。 | | | |