

天の川銀河形成シミュレーションで探るダークマターの性質

Dark matter properties probed by simulations of Milky Way-like galaxies

代表者氏名 岡本 崇

所属 北海道大学 理学研究院

1. 研究目的

近年の理論・観測の発展により、平坦・低密度なコールドダークマターモデル (Λ CDM) が標準的な宇宙モデルとして確立した。しかし、これらは全て銀河よりも大きなスケール (> 1 Mpc) での一致であり、ダークマターが銀河よりも小さなスケールでどのような性質をもつのかは、ダークマターの正体を明らかにする上で重要である。

そこで本研究では、宇宙論的銀河形成シミュレーションコードに Loeb & Weiner (2011) による、衝突断面積がダークマター同士の相対速度に依存する self-interactive dark matter (SIDM) を実装し、天の川銀河の衛星銀河の構造が、ダークマターの性質にどのように依存するかを調べることにした。この SIDM モデルは、衝突断面積一定の SIDM と異なり、衝突断面積に強い制限がつく銀河団スケールでは衝突断面積が小さく、CDM として振る舞い、衛星銀河のような矮小銀河スケールで衝突断面積が大きくなり、SIDM としての振る舞いを見せる。

衛星銀河のような矮小銀河のダークマターハローは、その構造がダークマターの性質だけではなく、ガス冷却によるガスの凝集や、超新星爆発等によるガスの膨張の影響を強く受けることが知られている。本研究では、CDM と SIDM で天の川銀河の衛星銀河の光度関数を再現するように銀河形成過程を調整した場合に、それぞれのダークマターの性質の違いは衛星銀河の構造のどこに現れ、それをどのように観測的に検証すれば良いかを明らかにすることを目指す。

2. 研究成果の内容

宇宙論的銀河形成シミュレーションコードに Loeb & Weiner (2011) による、衝突断面積がダークマター同士の相対速度に依存する self-interactive dark matter (SIDM) を実装して、天の川銀河質量銀河形成の宇宙論的シミュレーションを行った。またこの際、銀河形成そのものと、衛星銀河のダークマターハローの構造の両方に大きな影響を与えると考えられている超新星爆発の影響を正しく取り扱うために、超新星爆発による星間ガス加熱の効果を、超新星残骸の高分解能シミュレーションの結果に基づいて、宇宙論的銀河形成シミュレーションコードに実装した。

その結果、銀河形成過程を考慮しないダークマターのみシミュレーションにお

いて、SIDM では衛星銀河ダークマターハロー（サブハロー）中心部の密度が CDM と比べて低くなるため、潮汐力によって破壊されやすく、サブハローの個数が CDM よりも少なくなることが明らかになった。またポテンシャルも浅くなるため、バリオン入りの銀河形成シミュレーションを行うと、同じ初期条件を用いた場合、衛星銀河の光度関数は CDM のそれよりもずっと小さくなり、天の川銀河の衛星銀河光度関数を再現できないことが分かった。SIDM を用いて CDM と同様に観測される衛星銀河光度関数を説明するには

1. SIDM で CDM よりも超新星爆発の加熱効率を小さくする
2. SIDM ではホストとなるダークマターハローに CDM よりも大きなものを選ぶ、の2通りの方法が考えられる。

3. 学際共同利用として実施した意義

銀河形成において最も重要な役割を果たすと考えられている超新星爆発による星間ガス加熱の効果を、超新星残骸の高分解能シミュレーションの結果に基づいて、宇宙論的銀河形成シミュレーションコードに実装した。また、このシミュレーションコードを OfP のような高並列計算でも効率良く実行できるようにチューニングを行った。この結果、超新星爆発の影響に関して、これまでのようにパラメータによる調節を行わずに信頼度の高い計算が行えるようになった。大規模計算のためのコード開発は学際共同利用プログラムでなければ実現しないものであり、これを実施した意義は大きい。

4. 今後の展望

SIDM で天の川銀河の衛星銀河光度関数を再現するために、ホストハローに（天の川銀河のハロー質量の不定性の範囲内で）より重いダークマターハローを用いたシミュレーションと、今回の計算と同じ初期条件で超新星爆発による加熱効率を小さくしたシミュレーションを行う。SIDM でも観測される衛星銀河の光度関数が再現できたら、CDM と SIDM で衛星銀河サブハローの構造にどのような違いが出るかを調べ、観測的に両者を区別する方法を明らかにする。

5. 成果発表

- (1) 学術論文
- (2) 学会発表

Takashi Okamoto, “Structure of dark matter haloes of Milky Way satellite galaxies in SIDM universes”, IAUS 344: Dwarf Galaxies: From the Deep Universe to the Present, Aug 20-24, 2018, Vienna, Austria

Takashi Okamoto, “Combined effects of SIDM and stellar feedback on the structure of dwarf halos”, CCS International Symposium 2018, Oct 15-16, 2018, Tsukuba, Japan

岡本崇「銀河形成シミュレーションにおける超新星フィードバックの新たな実装

方法」日本天文学会 2018 年秋季年会, 9/19-12, 2018, 兵庫県立大学

(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			
Oakforest-PACS	○	30000	
※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。			