

## ダークマターの自己相互作用を考慮した 宇宙の構造形成シミュレーション

蛭子俊大 (千葉大学 融合理工学府 数学情報科学専攻 博士前期課程 2年)

利用カテゴリ    利用カテゴリ XC-B

矮小銀河はサブハローと呼ばれるダークマターの局所密度が高い系に属しているため、その形成過程や進化の研究はダークマターの性質を理解する上で重要であると考えられている。しかし、このような小スケールでは、従来の冷たいダークマター (CDM) モデルに基づく宇宙論的  $N$  体シミュレーションの予測と観測結果との間に幾つか矛盾点が存在する。例えば、観測で見積もられるダークマターハローの密度プロファイルはコア構造を示すのに対して、CDM シミュレーションで得られる密度プロファイルはカスプ構造を示すというカスプ-コア問題がある。また、銀河系周辺で観測された矮小銀河の数は CDM シミュレーションの予測より 1 桁程少ないというミッシングサテライト問題がある。これらの問題を解決するため、自己相互作用するダークマター (SIDM) モデルが提案されてきた。

本研究では、粒子数  $1024^3$ 、ボックスサイズ 8Mpc/h、質量分解能  $4.1 \times 10^4 M_\odot/h$ 、散乱断面積  $\sigma/m = 1\text{cm}^2/\text{g}$  で  $z = 127$  からダークマターの自己相互作用を考慮した宇宙論的  $N$  体シミュレーションを行った。このシミュレーションは、今まで行われてきた SIDM シミュレーションの中でも広範囲かつ高解像度なものである。この結果から、天の川銀河サイズのホストハローとそれに付随する矮小楕円体銀河サイズのサブハローの構造を CDM シミュレーションと比較した。

### 使用するコード

本研究では公開されている超並列宇宙論的  $N$  体シミュレーションコード "GreeM" (Ishiyama et al. 2009) を用いる。このコードでは重力計算のアルゴリズムに TreePM 法を、並列化の領域分割に再帰的多段分割法を用いており、高い並列効率を発揮し、従来の XC30 において 24000 コアまで非常に良いスケールリングが示されている。よって XC-B において使用が想定される XC50 の 500 コア程度においてもその能力を十分に発揮することが可能であり、本研究を行う上で最適のコードである。

GreeM にモンテカルロ法 (Burkert 2000, Kochanek & White 2000) を実装することで、SIDM シミュレーション用のコードを開発した。

### シミュレーション結果

シミュレーションの結果、9つの天の川銀河サイズ ( $0.5 \times 10^{12} M_\odot < M_{\text{vir}} < 4.0 \times 10^{12} M_\odot$ ) のダークマターハローを得た。その中の1つのホストハローを比較した結果を図1に示す。この図から、SIDMでの天の川銀河サイズのダークマターハローにはハローの中心にコアが形成されること、CDMと比較してサブハローの数がわずかに減少すること、ビリアル質量の時間進化はCDMとほぼ同じであることが確認できた。

次に、図1のハローにホストされるサブハロー ( $> 5 \times 10^8 M_\odot$ ) について  $V_{\text{circ}}$  プロファイルと比較した。その結果を図2に示す。この図より、CDMと比較してSIDMのサブハローは、中心ほど  $V_{\text{circ}}$  の減少が大きいことから、中心密度も小さくなっていることが確認できた。

以上のような結果は先行研究 (Robels et al. 2019, Zavala et al. 2019) でも報告されている。今後はより詳細な比較を行うため、 $N = 2048^3$  のさらに高解像度なシミュレーションの実行を行う予定である。また、新たに面密度  $\Sigma_{V_{\text{max}}}$  を用いた比較を検討している。

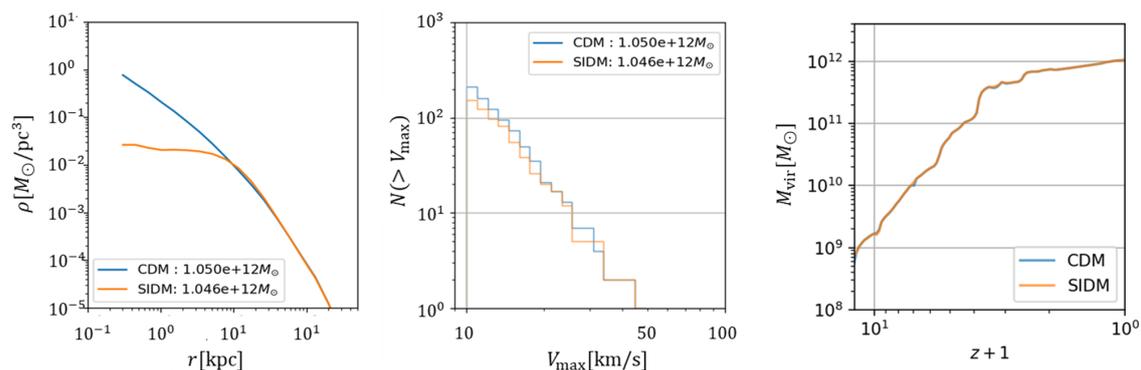


図 1: ホストハローの CDM と SIDM の比較.  $z = 0$  での密度プロファイル (左).  $z = 0$  での  $V_{\text{max}}$  関数 (中央).  $z = 12$  から  $z = 0$  のビリアル質量の時間進化 (右).

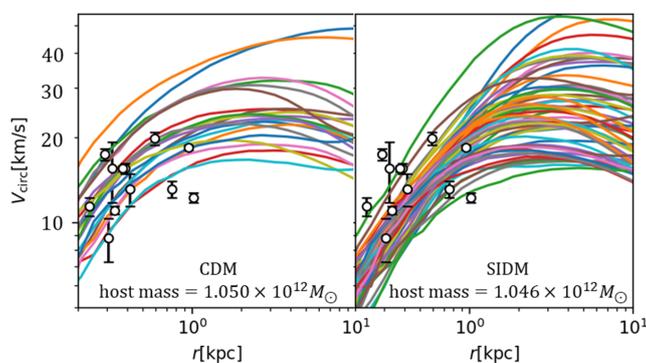


図 2: サブハローの CDM と SIDM の  $V_{\text{circ}}$  プロファイルの比較. エラーバーが付いた点は、天の川銀河に属する矮小楕円体銀河の half-light radius での  $V_{\text{circ}}$  を表す (Wolf et al. 2010).