

## 論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 石山 智明

冷たい暗黒物質 (CDM) モデルは、宇宙の構造形成の標準的なモデルであり、大規模構造や銀河の分布等を非常に良く再現する。しかし、銀河スケール以下では様々な未解決問題が指摘されている。例えば CDM モデルが予言する、銀河のまわりに存在する矮小銀河 (サブハロー) の数が、我々の銀河系内で実際に見つかっている矮小銀河の数の 10 倍以上である、といういわゆる矮小銀河問題がある。また、冷たい暗黒物質の正体は何か、というのも大きな問題である。近年有力な暗黒物質候補と考えられているニュートラリーノのような超対称性粒子の場合には対消滅による 線が検出可能と考えられている。対消滅によるガンマ線のフラックスを予言するためには、もっとも小さなスケールでのダークマターハローの構造を予言することが必要になる。

論文提出者は、これらの小スケールでのダークマターハローの構造について、これまで行われていなかった規模のシミュレーションを行ない、矮小銀河問題と最小スケールダークマターハローについて、従来の定説を覆す結果を得た。これらの成果はダークマターハローの性質、ひいてはダークマターの正体の理解に大きく寄与する重要な結果であると判断した。

第 1 章は序論であり、以上のような研究の背景や従来の研究の問題点をまとめ、本研究の目的と意義を述べている。

第 2 章では、論文提出者が新しく開発した並列  $N$  体シミュレーションコード GreeM について、その実装と性能がまとめられている。GreeM の特徴は、1000 を超える非常に高い並列度まで性能がリニアに向上することである。これは、計算時間自体を空間分割に反映させることによりほぼ完全なロードバランスを実現するもので、論文提出者のアイデアによる新しいアルゴリズムにより実現されており、高く評価した。

第 3 章では、矮小銀河問題についての研究結果がまとめられている。論文提出者は、シミュレーションボックス内で形成された全てのハローについてその構造を調べることによって、従来の研究の問題であったハロー数が限られるという問題とサンプリングバイアスの問題を同時に解決した。この結果、銀河スケールハローではサブハロー数の分散は非常に大きいこと、また、サブハロー数はハローの形成時期と強い相関があり、早期に形成されたハローでは現在のサブハロー数が少なくなる傾向があることを見いだした。我々の銀河系は比較的形成時期が早いものであると考えられており、サブハローが少ないことを定性的には説明できる。また、銀河探索サーベイ SDSS (Sloan Digital Sky Survey) から、速度分散が小さいところでは多数の未発見の矮小銀河があることが示唆されており、今後多数の矮小銀河が発見される可能性があると考えられる。この新しい結果は矮小銀河問題の解決につながる重要なものであると評価した。

第 4 章では、最小スケールダークマターハローの構造についての研究結果がまとめられている。論文提出者は高分解能なシミュレーションを世界で初めて行ない、中心部分の密度プロファイルが半径の  $-1.5$  乗のべき分布になることを見いだした。この密度プロファイルはダークマターハローに対して一般的に仮定される NFW (Navarro-Frenk-White) プロファイルよりも深く、線光度自体が中心に向かって対数的に発散するものである。このために、線光度が従来の見積りより大きく、観測にかかりやすくなると同時に、他の天体の重力による潮汐破壊の影響が殆どなくなることになる。これらの新しい結果は、ダークマターの正体の解明につながる可能性があり、そこに重要な意義を認めた。

以上を要するに、本論文はダークマターハローの構造という重要な研究分野において、今までにない大規模シミュレーションを行い、その結果の考察から新しい知見を得たものであり、その貢献は大きいと判定した。また、これらの研究については論文提出者の主導のもと行われたことを確認した。従って、本審査委員会は博士 (学術) の学位を授与するにふさわしいものと認定する。