平成 21 年度国立天文台天文シミュレーションプロジェクト成果報告書

地球質量ダークマターマイクロハローの形成

石山智明 (国立天文台理論研究部)

利用カテゴリ　XT4A

Cosmogrid Project

オランダのグループと共同で、銀河や矮小銀河サイズのダークマターハロー形成の超大規模高分解能シミュレーションを実行している。モデルは標準的な ΛCDM で、粒子数 2048^3、領域 30Mpc (1 ダークマター粒子あたりの質量は $1.3 \times 10^5 M_\odot$) である。

計算には国立天文台の Cray-XT4 と、オランダの Huygens、イギリスの HECToR、そしてフィンランドの Louhi を用いている。これは 1 台の大型計算機では扱えないほどの大規模高分解能計算だからである。またこの計算は、複数の大型計算機を用いて同時にシミュレーションを行う、異機種混合グリッドコンピューティングの実験にも用いられている。この実験結果は論文が IEEE Computer Journal に既に受理されており、2010 年度中に出版される予定である (Portegies Zwart et al. 2010)。

2009 年度中に計算が $z = 0.21$ まで進んだ。2010 年度中に計算が終了し、銀河や矮小銀河スケールダークマターハローの膨大な無バイアスサンプルが得られる見込みである。

地球質量ダークマターマイクロハローの形成

ダークマター粒子の正体そのものは依然不明である。ひとつの有力な候補として、超対称性粒子、ニュートラリーノが挙げられる。ダークマター粒子として 100GeV ∼ 1TeV の質量を持つニュートラリーノを考えると地球質量程度のマイクロハローが最小のダークマターハローであると考えられている。これは粒子の自由運動によって密度揺らぎが減衰するためであり、これより小さいハローは形成しない。このマイクロハローが現在まで生き残っていると、ダークマター対消滅によるガンマ線の主なソースになるが、生き残るかどうかについては論争があった 。生き残るかどうかは構造、特に中心密度によるが、従来のシミュレーションでは分解能が不足していてはっきりした結論が得られていなかった。

そこで地球質量マイクロハローの構造を高分解能の宇宙論的 N 体シミュレーションを用いて調べた。その結果マイクロハローの密度構造は外側から中心まで -1.5 乗のカスプであることがわかった。これは従来考えられていた -1 乗程度のカスプとは大きく異なる。これらマイクロハローは恒星による近接遭遇を経験しても、中心が $\sim 10^4 \mathrm{M}_\odot \mathrm{pc}^{-3}$ と高密度であるために、銀河系の大部分で、ほとんど破壊されることなく生き残る。ハローの外縁部は削られるが、マイクロハローのガンマ線光度にはほとんど影響しない。

このようなマイクロハローは、銀河全体に銀河ハローのダークマター分布と同じように分布する。結果として、銀河ハロー自身よりも対消滅によるガンマ線光度が大きくなり、ブーストファクターは太陽近傍で約 20、銀河全体で約 1000 にもなる。太陽近傍のマイクロハローは中心部の視角が Fermi の分解能と同程度であるため、大きな固有運動を持った明るい点状のガンマ線源として観測されると考えられる。また銀河中心付近のマイクロハ

ローは、ミリ秒パルサーと近接遭遇をし、摂動を与える。この摂動によるパルサータイミングのずれは 10 年間で、∼5ns と見積もられ、ずれは特徴的な形を持つため、PPTA 等で観測されると考えられる。

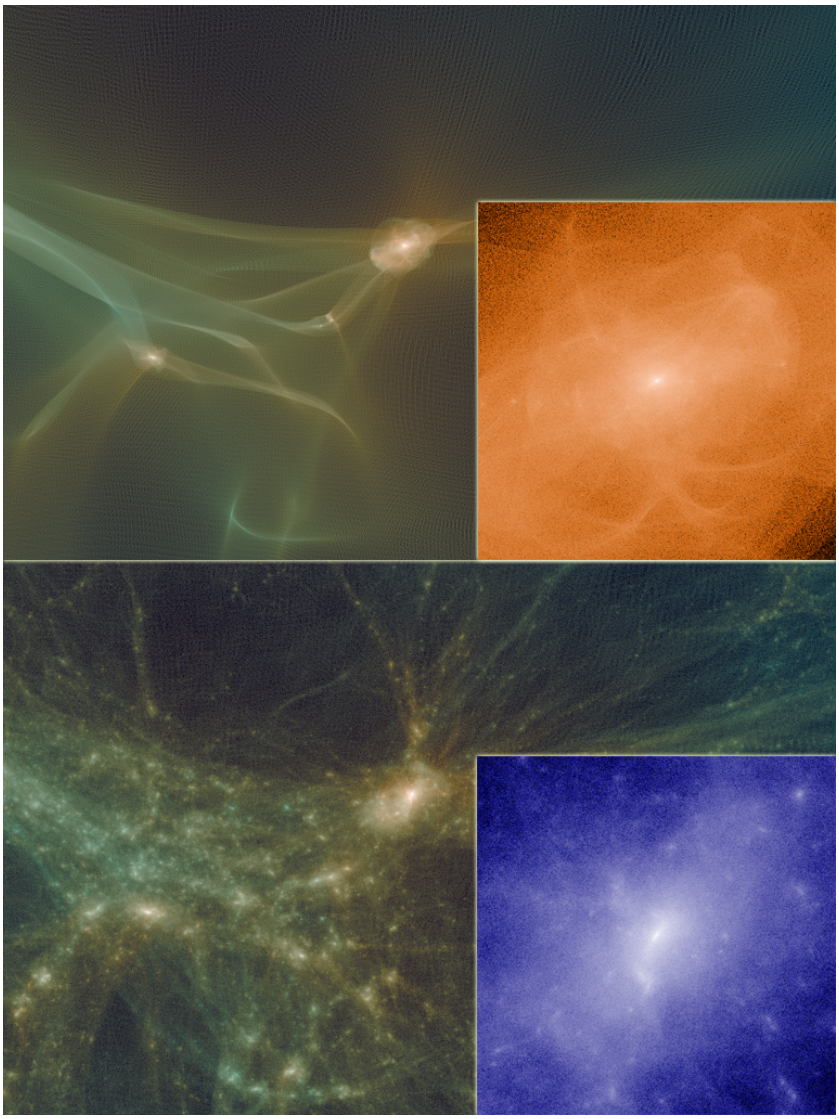

図 1: シミュレーションのスナップショット。上はダークマター粒子の無衝突減衰の効果が含まれていて、下は含まれていないものである。

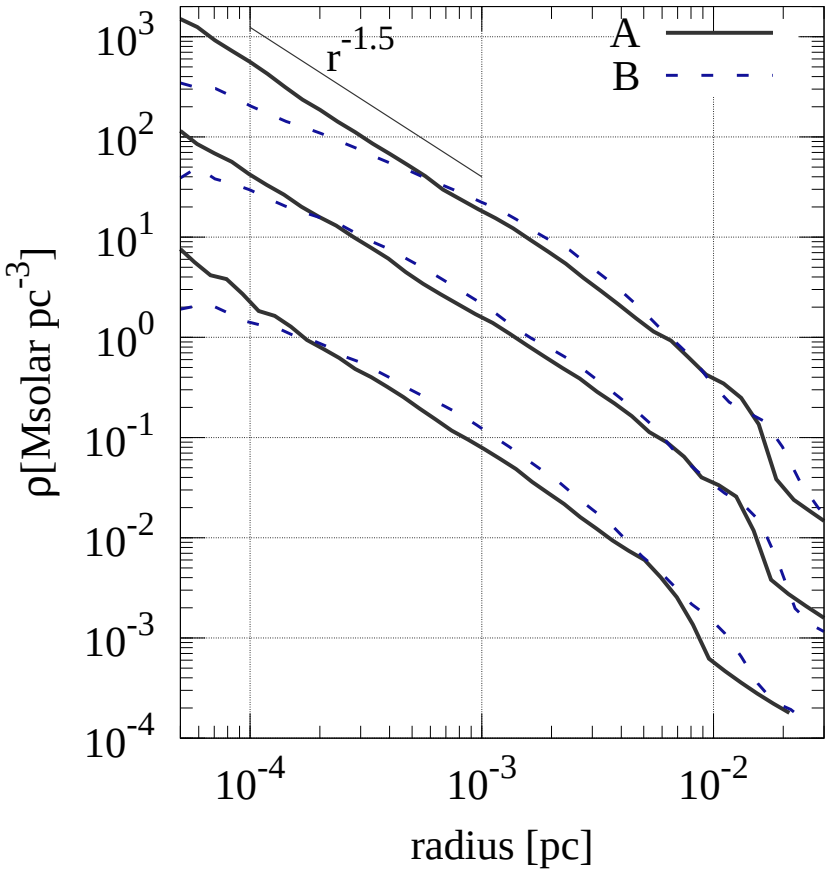

図 2: マイクロハローの密度プロファイル。黒線はダークマター粒子の無衝突減衰の効果が含まれていて、青い破線は含まれていないものである。