“Scalar Field Dark Matter: Helping or Hurting Small-Scale Problems in Cosmology?”

Robles, Bullock & Boylan-Kolchin 2018 arXiv:1807.06018

GAゼミ@20181030 林航平

【アブスト】

ダークマター候補の１つであるscalar field dark matter(SFDM, m~10^{-22}eV)は、そのダークハロー中心で密度の低いコア構造を持つことからCDMの小スケール問題を解決できる特徴を持つ。本研究ではSFDMシミュレーション結果をもとにして、ダークハロー密度プロファイルをハロー質量とSFDM粒子質量の関数としてモデル化した。

このモデルから、質量が~10^{10}Msunのハローは同質量のCDMハローより中心で低密度のコア構造を持つが、~10^{11}Msun以上だとCDMより高密度のコアを持つことがわかった。このモデルを低輝度銀河(LSB)の回転曲線と比較すると、TBTF問題は解決できるがコアカスプ問題を解決することはできない。つまり、より中心のダークマター密度を再現するには、SFDMモデルにおいてもバリオンフィードバックを考慮する必要がある。

【ゴール】

CDM小スケール問題の解決

【オリジナリティ】

SFDMハローの性質をシミュレーション結果をもとにモデル化

【ロジック】

・SFDMの特徴

ダークマターが質量の非常に軽いスカラー粒子とすると、そのド・ブロイ波長が0.1-1kpcと銀河スケールになる。つまりこれより小さい構造が形成されない。

Lya forestやUV光度関数からm>0.8e-22eVと制限されている。

・SFDM密度プロファイル（次ページ参照）

図１は粒子質量が2.5e-22eVでハロー質量が10^{12}Msun(上段)、10^{10}Msun(下段)の場合の、密度プロファイル(左列)とcircular velocity(右列)を示す。ハロー質量が小さいと中心密度が下がりCDMハローより小さな密度のコアを持つが、大きいハロー質量だと中心密度がCDMハローより大きくなってしまう。

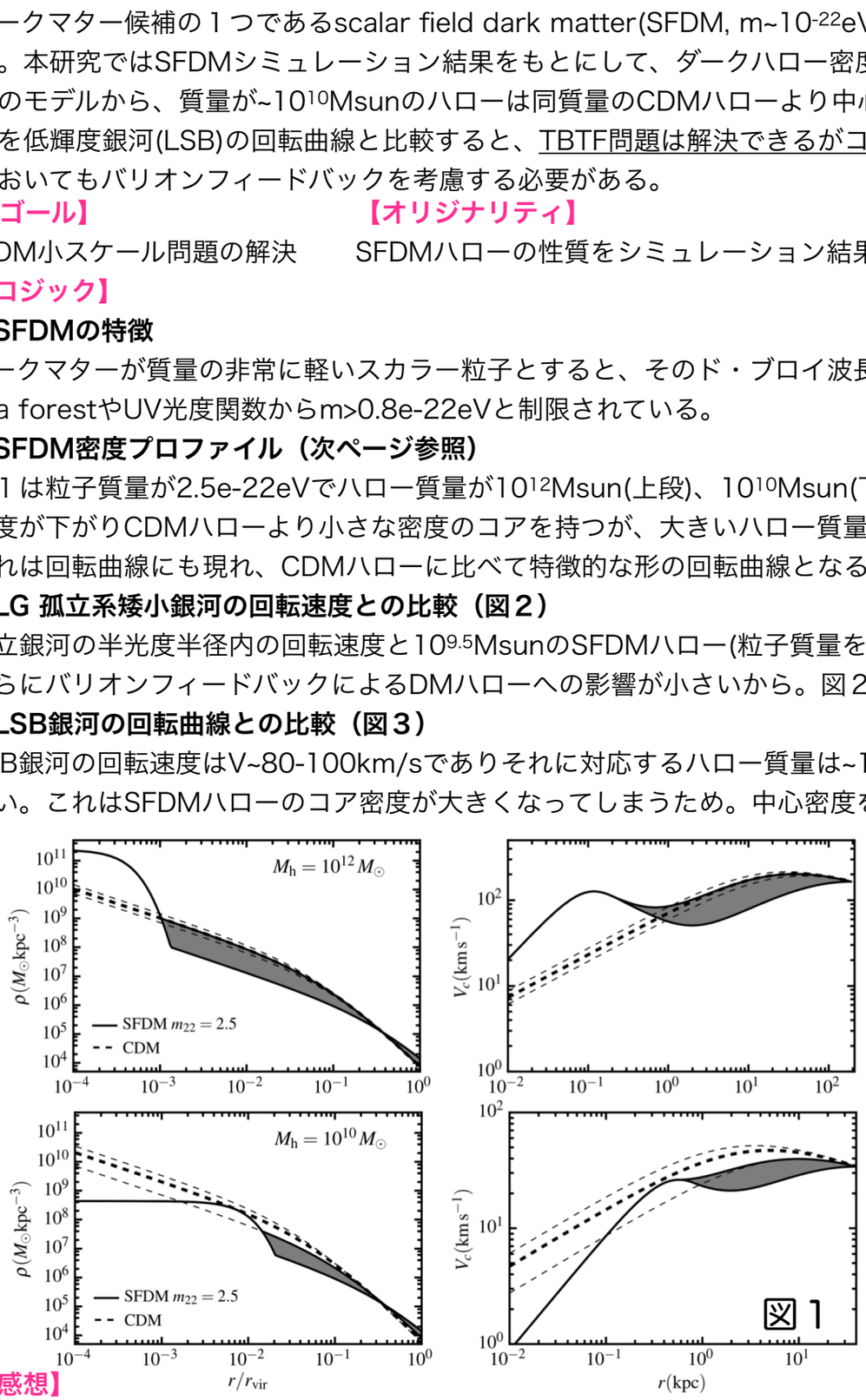
これは回転曲線にも現れ、CDMハローに比べて特徴的な形の回転曲線となる。

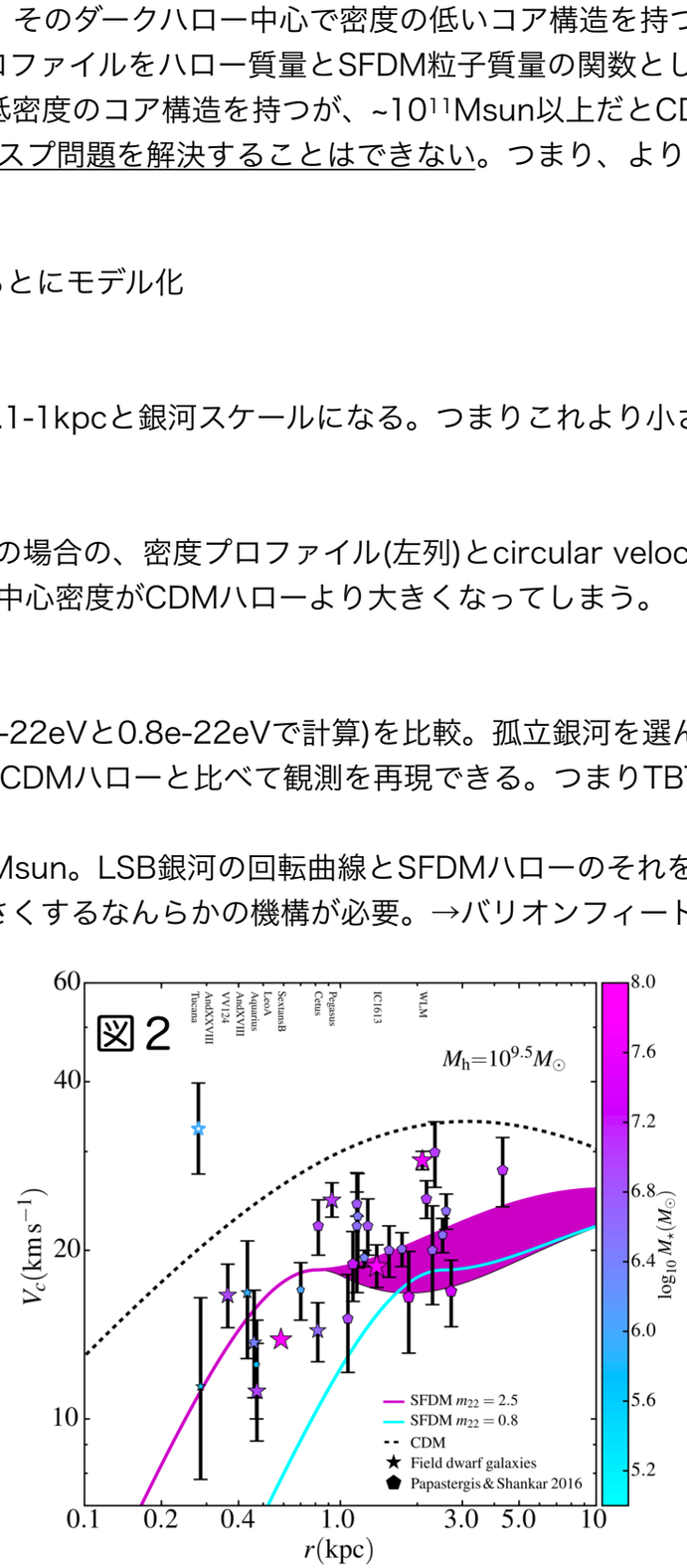
・LG 孤立系矮小銀河の回転速度との比較（図２）

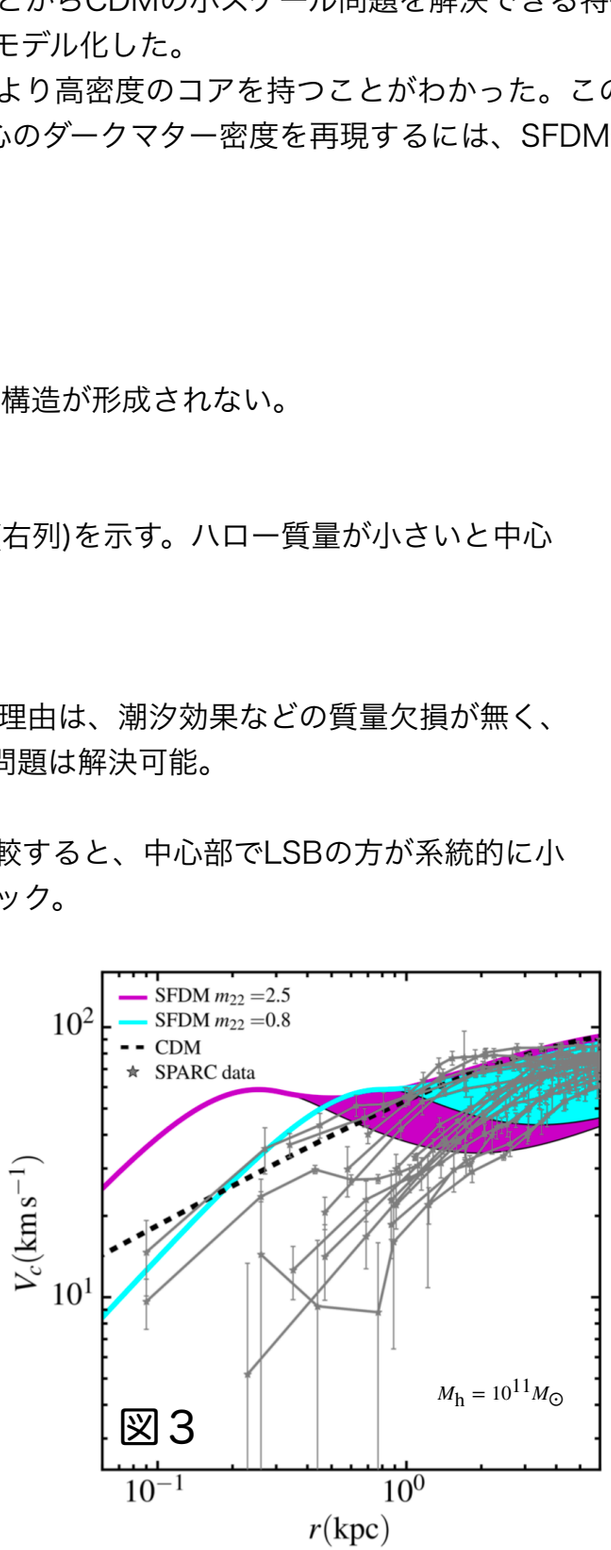
孤立銀河の半光度半径内の回転速度と$10^{9.5}$MsunのSFDMハロー(粒子質量を2.5e-22eVと0.8e-22eVで計算)を比較。孤立銀河を選んだ理由は、潮汐効果などの質量欠損が無く、さらにバリオンフィードバックによるDMハローへの影響が小さいから。図２からCDMハローと比べて観測を再現できる。つまりTBTF問題は解決可能。

・LSB銀河の回転曲線との比較（図３）

LSB銀河の回転速度はV~80-100km/sでありそれに対応するハロー質量は~10^{11}Msun。LSB銀河の回転曲線とSFDMハローのそれを比較すると、中心部でLSBの方が系統的に小さい。これはSFDMハローのコア密度が大きくなってしまうため。中心密度を小さくするなんらかの機構が必要。→バリオンフィードバック。

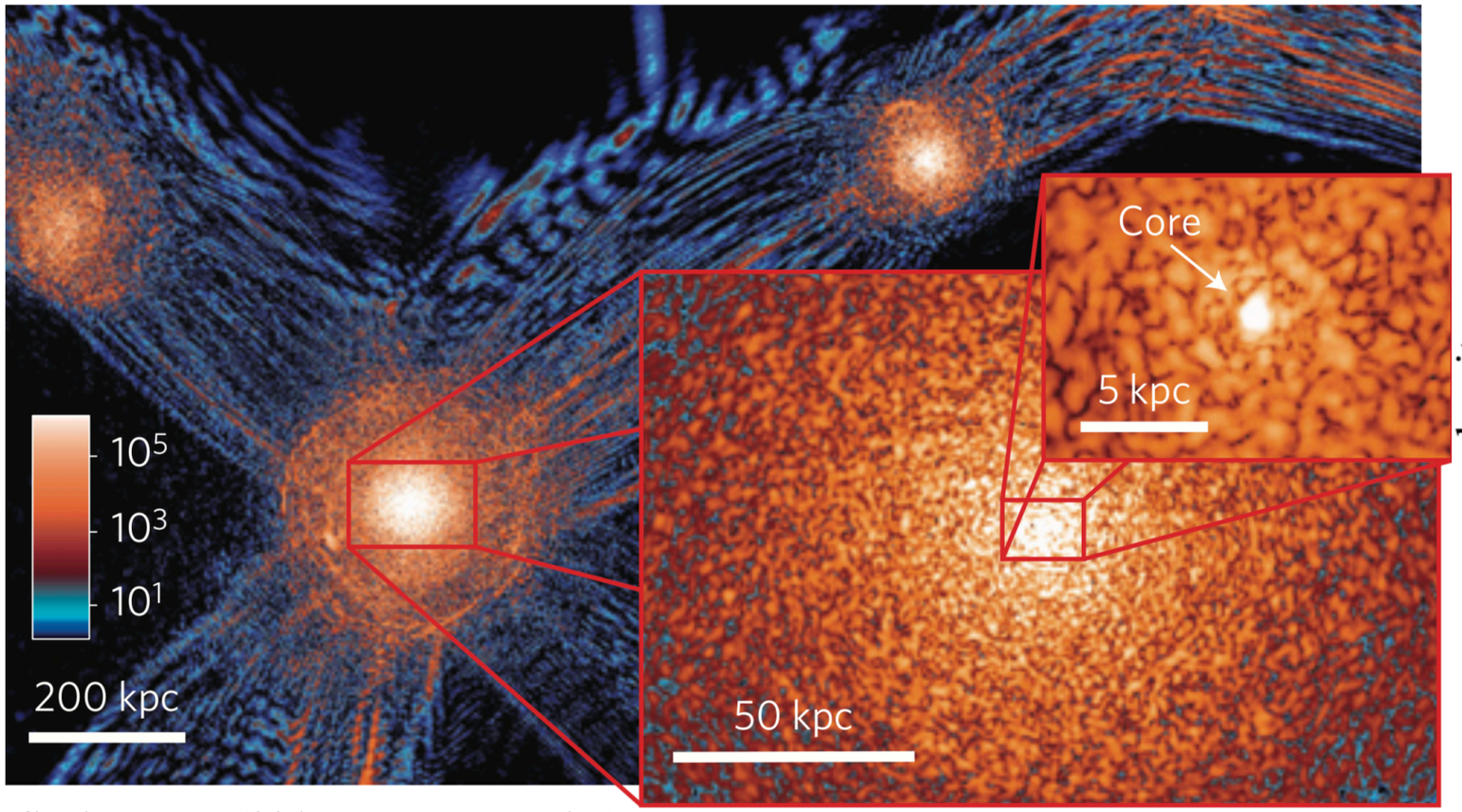


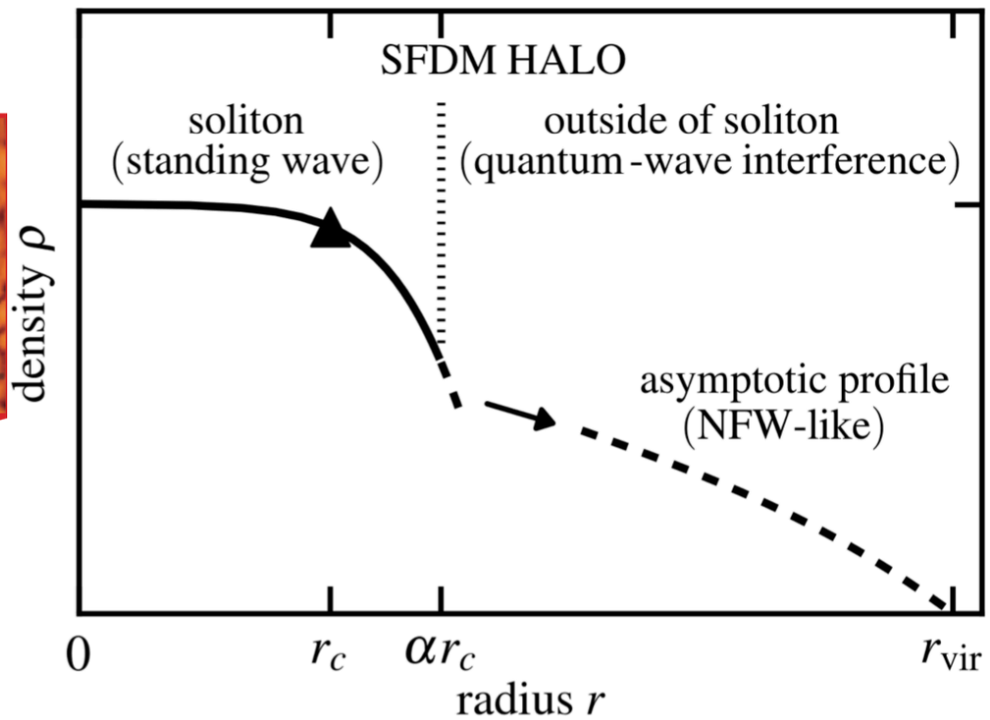




【感想】

- SFDMは最近また注目されているダークマター候補で、銀河系矮小銀河でもいくつか研究が行われている。PFSなどでアップデートしたい。
- シミュレーション結果（宇宙論的ではない）を鵜呑みにした研究。
- できればダークマター理論のみで解決してほしい。





Schive et al. (2014, Nature Physics)

- Schive+2014のシミュレーションから、中心にコア（ソリトン）を持ち、外側はNFW-likeなプロファイルを持つ。コアのプロファイルとスケール密度はシミュレーションから

$$\rho_{sol}(r) = \frac{\rho_c}{[1+0.091(r/r_c)^2]^8} \qquad \rho_c = 1.93\times10^7\left(\frac{m_\psi}{10^{-22}\mathrm{eV}/c^2}\right)\left(\frac{r_c}{1\mathrm{kpc}}\right)^{-4} M_\odot \mathrm{kpc}^{-3}$$

ド・ブロイ波長の定義式からコア半径がハロー質量と粒子質量のみで表現できる。

$$r_c = 1.6\mathrm{kpc}\left(\frac{M_h}{10^9 M_\odot}\right)^{-1/3}\left(\frac{m_\psi}{10^{-22}\mathrm{eV}/c^2}\right)^{-1}$$

つまり、コア構造の特徴はハロー質量と粒子質量のみで表現可能。

- 一方、外側はNFWプロファイルに従う。

$$\rho_{NFW}(r) = \frac{\rho_s}{(r/r_s)(1+r/r_s)^2}$$

内側から外側へのプロファイルに変わる半径は

$\rho_{sol}(r_\alpha) = \rho_{NFW}(r_\alpha) \quad r_\alpha = \alpha r_c$

としており、矮小銀河スケールでα~2とされている。

- よってSFDMの密度プロファイルは

$$\rho(r) = \begin{cases} \rho_{\rm sol}(r) & 0 \le r \le r_\alpha \\ \rho_{\rm NFW}(r) & r_\alpha \le r \le r_{\rm vir} \end{cases}$$

となり、m_ψ, M_h（,α)のみでSFDM密度プロファイルを記述できる。