“A dark matter profile to model diverse feedback-induced core sizes of LCDM haloes” GAゼミ@20200514 林航平

Lazar et al. 2020 arXiv:2004.10817

【アブスト】

高解像度銀河形成シミュレーションFIRE-2を用いて、$4.5 \leq \log_{10} M_*/M_\odot \leq 11.0$の幅広い質量スケールにおけるダークマター密度プロファイルについて調べた。その結果先行研究と同様に$M_*/M_h \simeq 5\times10^{-3}$で最もコアが形成されやすく、これをピークに大質量、小質量銀河ではカスプ構造を持つ。特にclassical dwarfに対応する$M_*/M_h < 5\times10^{-4}$では、0.1kpc以上のコア半径を持つダークハローはなかった。ダークマター密度プロファイルと星質量との関係をより正確に定式化するため、”cored Einasto profile”という新たなfitting formulaを導入し解析を行った。この解析からこのプロファイルのパラメータをM_*/M_hの関数として表し、観測データに適用できる形を示した。

【ゴール】

バリオンの影響を考慮したダークマターハロー構造を理解する

【オリジナリティ】

高解像度シミュレーションを用いて様々な質量スケールでのダークマター密度プロファイルを調べた。
さらに新たなfitting formulaを提案した。

【ロジック】

・**FIRE-2 simulation**:

GADGET-3 baseの高解像度($m_{DM} = 10^2 \sim 10^4$)銀河形成シミュレーション。

T=10-10[10]Kのガス冷却機構、バリオンフィードバック(wind, SNe, AGN)も考慮。

星形成threshold は$n_H \geq 10^3 \mathrm{cm}^{-3}$。$9 \leq \log_{10} M_{halo}/M_\odot \leq 12.0$の54個ダークハローを選び、zoom-inシミュレーションを行った。

・**図1**: DM密度分布スロープ@1-2%Rvirと星-ハロー質量比(M_*/M_h)の関係。黒点がFIRE-2の結果。先行研究と比較しているが、傾向は大きく変わらない一方でclassical dwarfsはカスプ傾向が強くなっている。主な理由はコア半径が1%Rvirよりも内側にあるから。

・**図2**:

DM密度分布に対してcored Einasto profile(ピンク破線)を用いてフィッティングを行った結果。Q_{min}はフィットの良さを表す指標で値が小さいほどよい。カスプからコア構造まで良くフィット出来ている。他のモデル(cored NFW)よりもフィッティングは優れている。

cored Einasto profile: $\log\left[\frac{\rho_{cEin}(r)}{\tilde{\rho}_s}\right] = \frac{2}{\alpha_\varepsilon}\left[\left(\frac{r+r_c}{\tilde{r}_s}\right)^{\alpha_\varepsilon} - 1\right]$

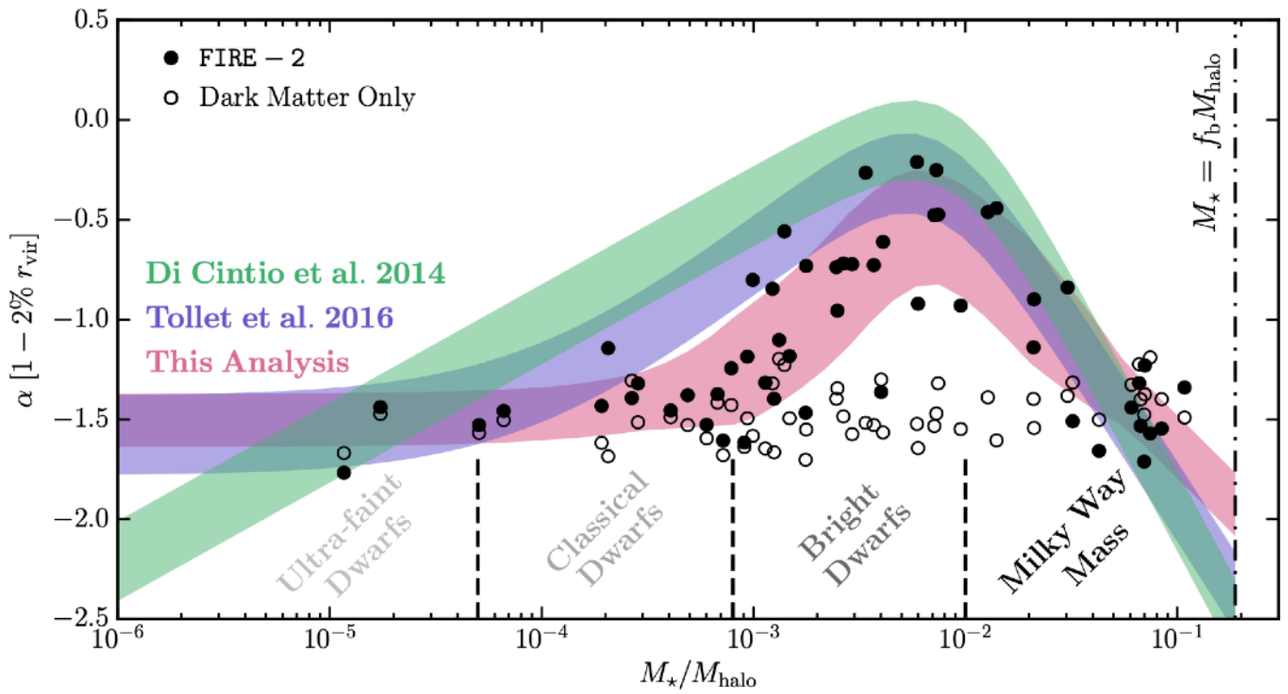
この研究では$\alpha_\varepsilon = 0.16$で固定している。

・**図3**:

cEinastoのパラメータ$(r_c, \tilde{\rho}_s, \tilde{r}_s)$と星-ハロー質量比の関係を調べた図。

図３aではclassical dwarfより小質量側だとコア半径がresolution limitより小さくなっている。つまりカスプを持つと認識されている。図３bはEinasto profileのスケール長さ(r_{-2})と比較。図３cは中心集中度の比較。フィードバックがよく効くところでは、中心集中度も変化している。これらのfitting function図３下に。

図1



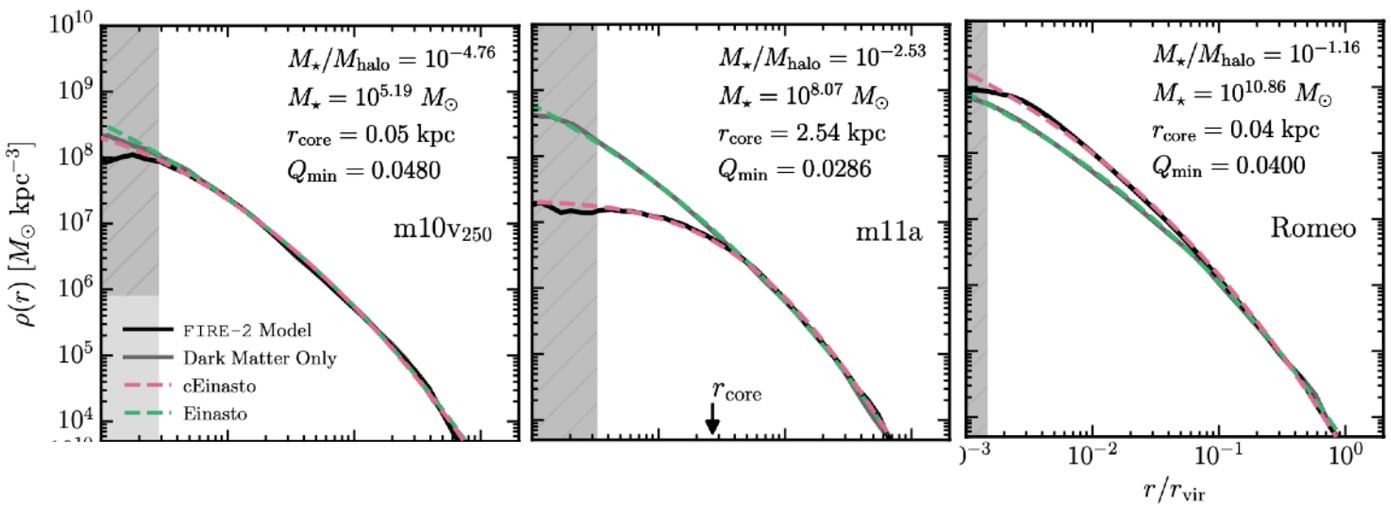


図2

【コメント】

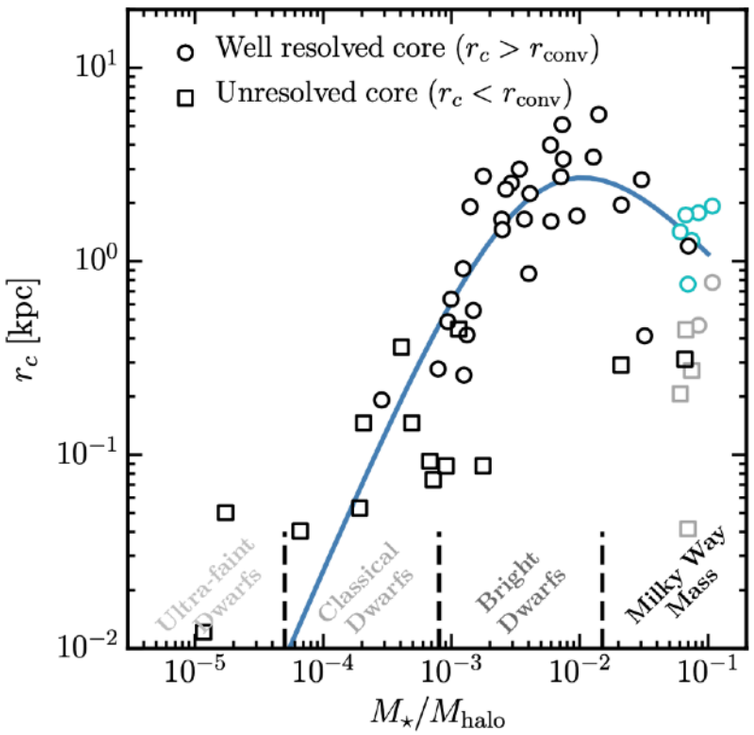
- セールスポイントは、このfitting formulaはLSBやdSphの解析に使えるところ。
- MW-sized haloでは、baryon feedbackとcontractionが同時に起きていて、cored Einastoだけでは他の銀河と比べてフィッティングの良さは劣る。

【感想】

- Feedback prescription (kinetic or thermal?, ISMの物理, etc)の違いは結果にどのくらい影響するのか？
- このシミュレーションであってもdSphs-likeな銀河のコア–カスプを議論するには解像度が十分ではない印象
- 早速このfitting formulaを使ってみたい。

light grey: worse fit
cyan: cEinasto+2 additional params

図3a

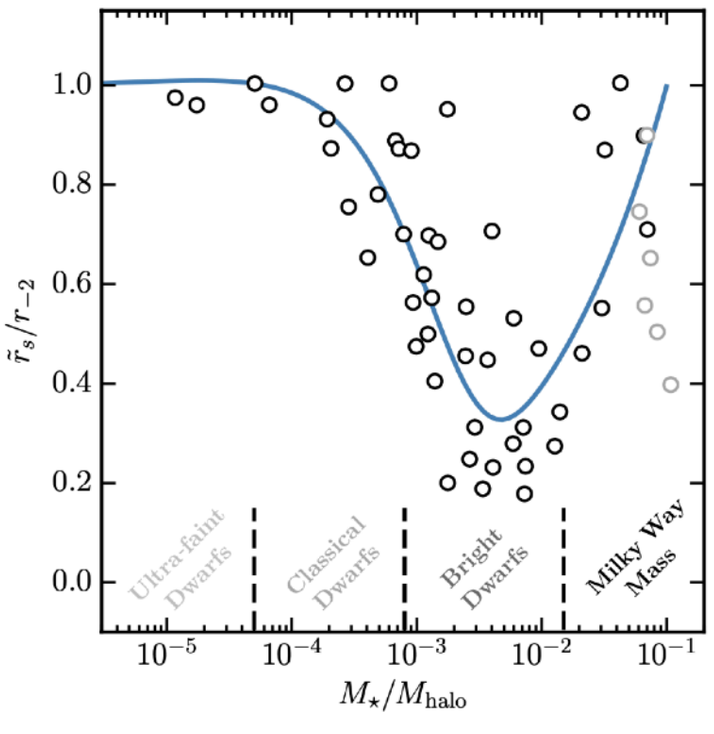


$$r_c = 10^{A_1}\left(A_2 + \frac{x}{x_1^*}\right)^{-\beta_1}\left(\frac{x}{x_2^*}\right)^{\gamma_1} \text{ kpc}$$

$$x = \frac{M_*}{M_{halo}},\ A_1 = 1.21,\ A_2 = 0.71,$$

$$x_1^* = 7.2\times10^{-3},\ x_2^* = 0.011,\ \beta_1 = 2.31, \gamma_1 = 1.55$$

図3b

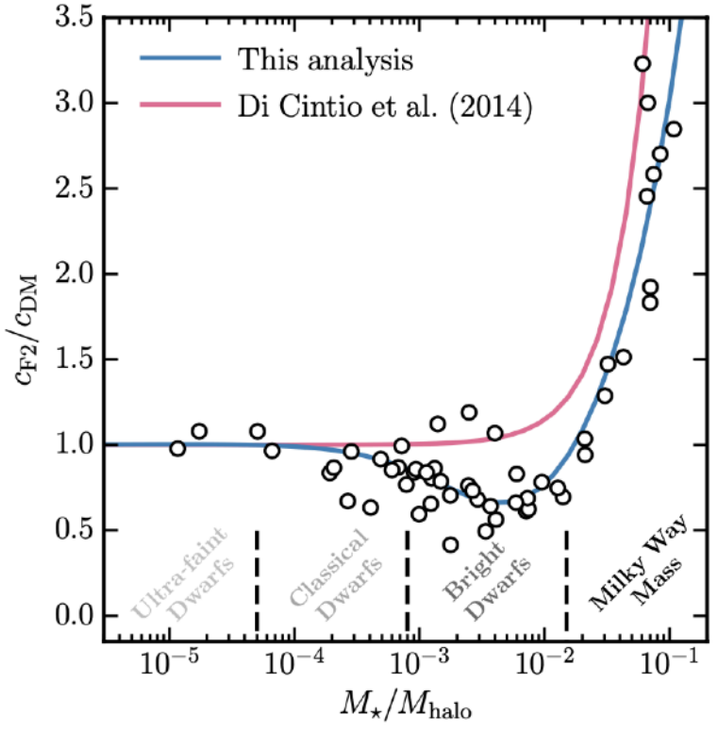


$$[\tilde{r}_s/r_{-2}](x) = \left(1 + \frac{x}{x_3^*}\right)^{-\beta_2} + B\left(\frac{x}{x_4^*}\right)^{\gamma_2}$$

$$B = 1.51,\ \ x_3^* = 0.044,\ x_4^* = 0.28,$$

$$\beta_2 = 31.79,\ \gamma_2 = 0.40$$

図3c



$$[c_{F2}/c_{CDM}](x) = \left(1 + \frac{x}{x_5^*}\right)^{-\beta_3} + C\left(\frac{x}{x_5^*}\right)^{\gamma_3}$$

$$C = 0.374,\ \ x_5^* = 4.28\times10^{-3},$$

$$\beta_3 = 1.80,\ \gamma_3 = 0.66$$

Mass profile:

$$M(<r) = \frac{4\pi\tilde{\rho}_s \exp(2/\alpha_\varepsilon)}{\alpha_\varepsilon}\left(\tilde{\gamma}_{3/\alpha_\varepsilon}[s(0), s(r)] + r_c^2\tilde{\gamma}_{1/\alpha_\varepsilon}[s(0), s(r)] - 2r_c\tilde{\gamma}_{2/\alpha_\varepsilon}[s(0), s(r)]\right)$$

$$\tilde{\gamma}_\beta[x_1, x_2] := \left(\frac{\alpha_\varepsilon \tilde{r}_s^{\,\alpha_\varepsilon}}{2}\right)^\beta \gamma_\beta[x_1, x_2]$$ ($\gamma_\beta[x_1, x_2]$: lower incomplete gamma function)

$$s(r) = \frac{2(r + r_c)^{\alpha_\varepsilon}}{\alpha_\varepsilon \tilde{r}_s^{\,\alpha_\varepsilon}}$$