

The inner structure of haloes in Cold+Warm dark matter models

Maccio et al. 2012 arXiv1202.2858

豊内 大輔 (千葉研究室 M1)
2012/5/30

Abstract

現在、 Λ CDMモデルは宇宙の進化をもっともよく記述するモデルであると考えられており、実際ほとんどの構造形成シミュレーションにほぼ前提条件的に組み込まれている。しかしながら、いくつかの観測事実は Λ CDMモデルが予言する結果と異なっており、この原因を理解することは重要である。

この研究では、 Λ CDMモデルの仮定を崩し、CDM + WDM(CWDM)モデルによる構造形成を議論する。ここでは、特にハローの内部構造に着目し、カスプ問題について言及する。

Introduction

Λ CDMシミュレーションが预言する構造進化

- ◆ **Hierarchical** and **bottom-up** structure formation

→大規模構造、large scaleでのmass functionについて観測結果をよく再現

- ◆ Halo中心部でカスプ状の密度プロファイル(NFW profile)

$$\frac{\rho(r)}{\rho_c} = \frac{\delta_c}{(r/r_s)(1+r/r_s)^2}$$



Introduction(2)

Λ CDMシミュレーションが抱える諸問題

1. ミッシング サテライト問題

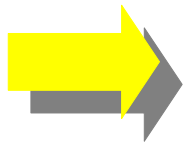
→main halo(MW)に付随するsubhaloの数が少なすぎる

2. カスプ問題

→dark matter halo(矮小銀河 & 円盤銀河)の中心部がシミュレーションで得られる結果ほど'cuspy'でない

3. 角運動量問題

→銀河のバリオン成分（星、ガス）についての角運動量が観測結果に比べ小さすぎる

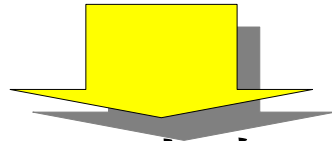


これらの問題を解決するための一つのアイデアとしてCDM+WDMモデルを考えてみる

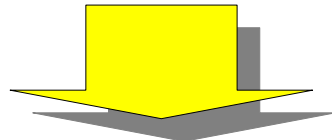
Introduction(3)

CDM+WDM modelの意義

WDM : 宇宙初期の速度大きい



small scaleが出来にくい！！



ミッシングサテライト問題の解決につながるかも！！

[カスプ問題では？]

→直感的にはCDMだけのときより中心部でshallowな構造がつかれそう。

CDM + WDMでやってみようじゃないか！！

Numerical Simulations

〈モデル〉

- 1.CDM 90% + WDM(1keV) 10% (m1 model)
- 2.CDM 50% + WDM(5keV) 50% (m5 model)
- 3.WDM(10keV) 100% (wdm model)

- ◆ $\Omega_m = 0.253$, $\Omega_\Lambda = 0.747$, $n = 0.973$, $h = 0.72$, $\sigma_8 = 0.8$
(WMAP5 : Komatsu et al. 2009)
- ◆ すべてのモデルは同じ (small) free streaming lengthを持ち、その値はlarge scale structureを再現するように決められている (参考 : Boyarsky et al.2009)
→このモデルでは、WDMでもbottom-upに構造形成
(少なくとも今回考えるスケールでは・・・)

Numerical Simulations(2)

〈code〉

PKDGRAV(Stadel 2001)

〈mass scale〉

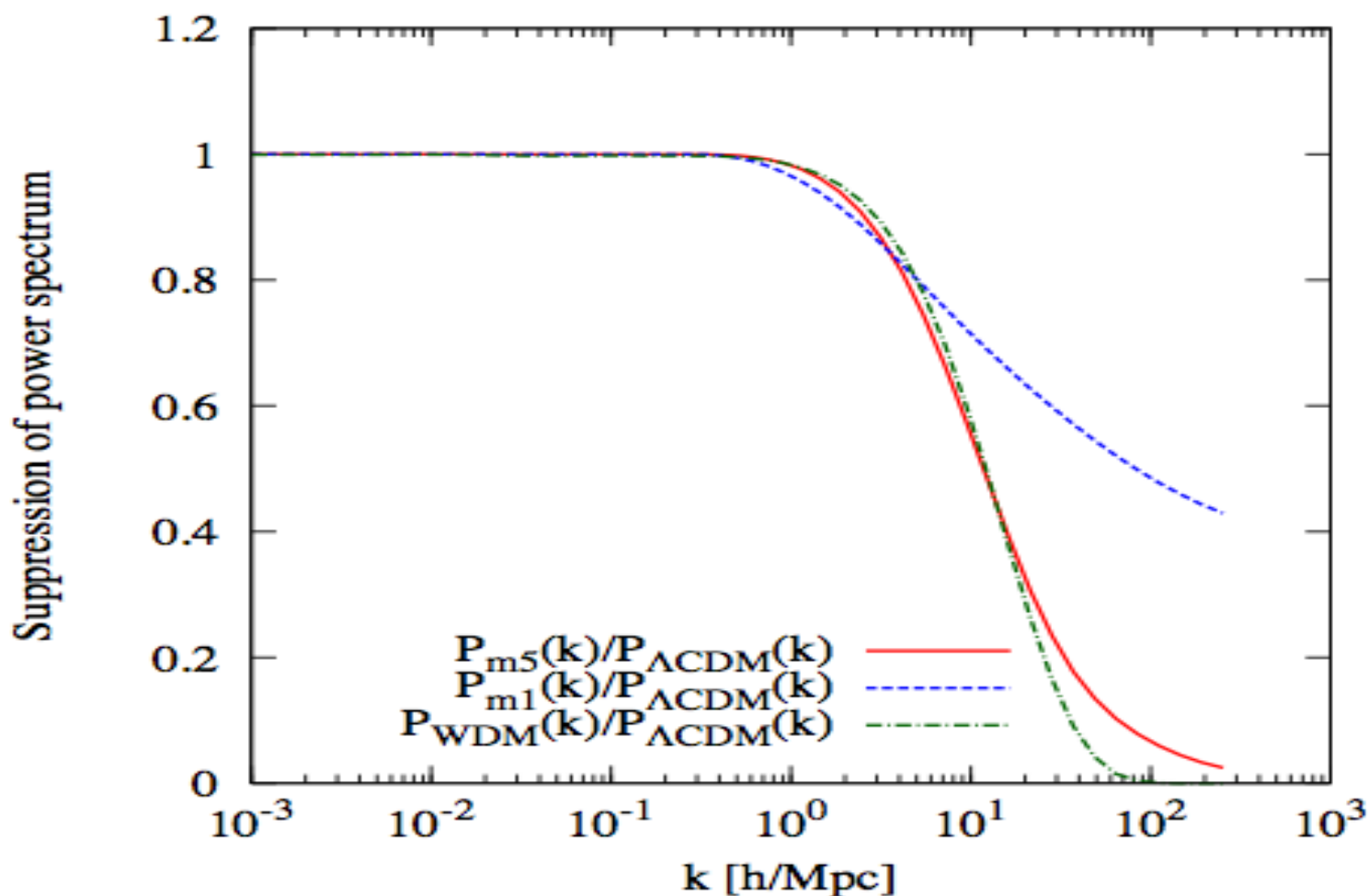
$M \sim 10^{10} - 10^{14} M_{\text{sun}}$

〈simulation parameter〉

Name	Box size [h^{-1} Mpc]	N	part. mass [$h^{-1}M_{\odot}$]	force soft. [h^{-1} kpc]
WDM-20	20	350^3	1.31e7	1.42
WDM-45	45	350^3	1.49e8	3.21
m1-20vel	20	350^3	1.31e7	1.42
m1-20	20	350^3	1.31e7	1.42
m1-45	45	350^3	1.49e8	3.21
m1-90	90	400^3	7.99e8	5.62
m1-180	180	400^3	6.39e9	11.25
m5-20	20	350^3	1.31e7	1.42
m5-45	45	350^3	1.49e8	3.21
m5-90	90	400^3	7.99e8	5.62
m5-180	180	400^3	6.39e9	11.25

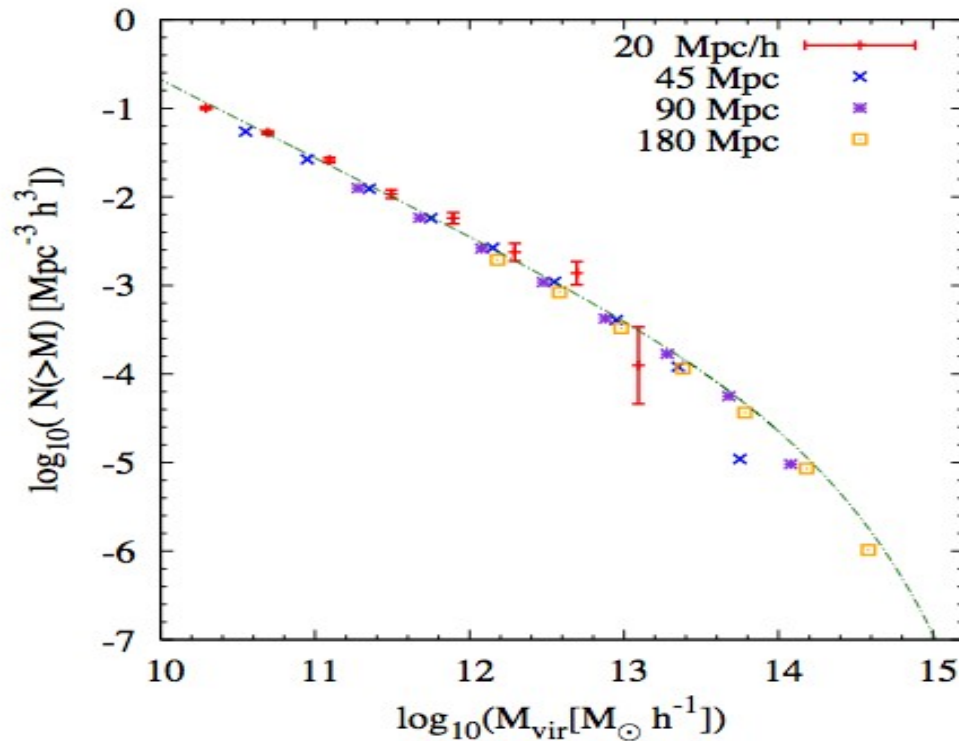
Numerical Simulations(3)

パワースペクトラム比: $P_{\text{model}} / P_{\Lambda\text{CDM}}$

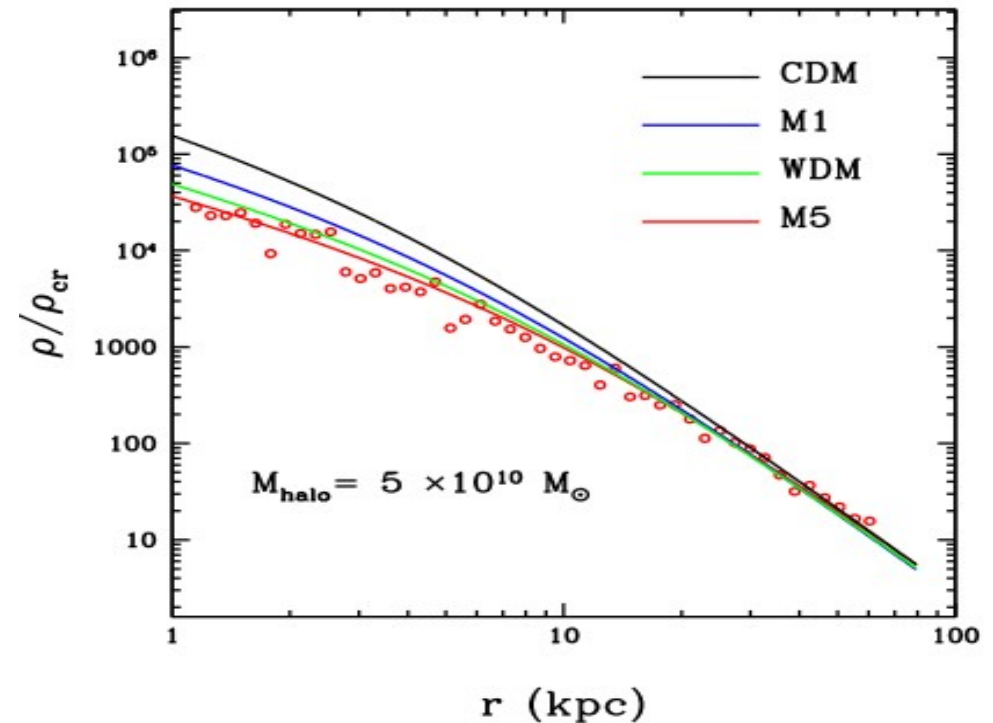


Results

Mass function



Density profile ($\sim$ satellite mass)



→ Mass functionは Λ CDMモデルとよく一致

→ Density profileは Λ CDMモデルより concentrationが落ちる (より中心部をみるには解像度が足りない)

パラメータの定義

〈concentration〉

$$C_{\text{vir}} = r_{\text{vir}} / r_s$$

r_{vir} : $r < r_{\text{vir}}$ の平均密度が臨界密度の200倍

〈shape parameter〉

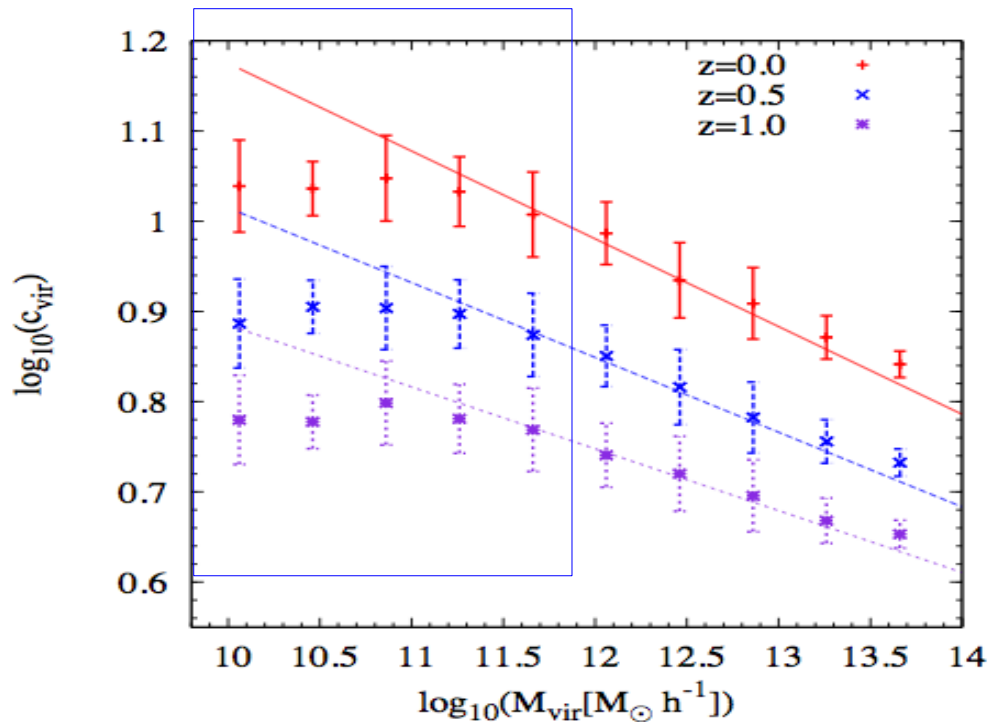
$$s = \frac{a_3}{a_1} = \sqrt{\frac{\sum m_i z_i^2}{\sum m_i x_i^2}} \quad \text{and} \quad p = \frac{a_3}{a_2} = \sqrt{\frac{\sum m_i z_i^2}{\sum m_i y_i^2}}$$

a_i : 楕円体（ハロー）の軸 ($a_1 > a_2 > a_3$)

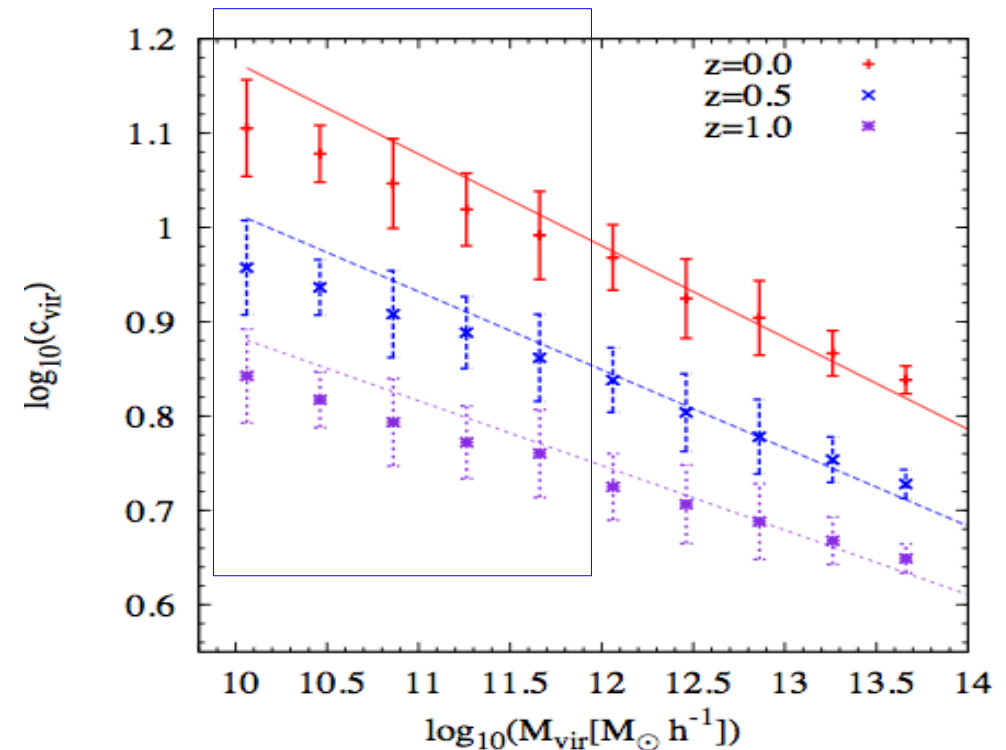
Results(2)

The concentration mass relation

m5 model



m1 model



- 重いほど中心集中度が小さく、軽いほど大きい
- $M < 10^{12} M_{\text{sun}}$ スケールでは CWDM は Λ CDM より中心集中度が低い

Results(2)

The concentration mass relation

〈解釈〉

bottom-upな構造形成

→軽い銀河ほど初期に形成

→初期は宇宙の密度が高く、collapse完了時の中心密度も大きい

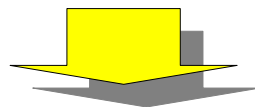
→中心集中度↑↑

軽い & c大



重い & c小

CWDMは Λ CDMに比べ小さなスケールで形成が遅れるはず。

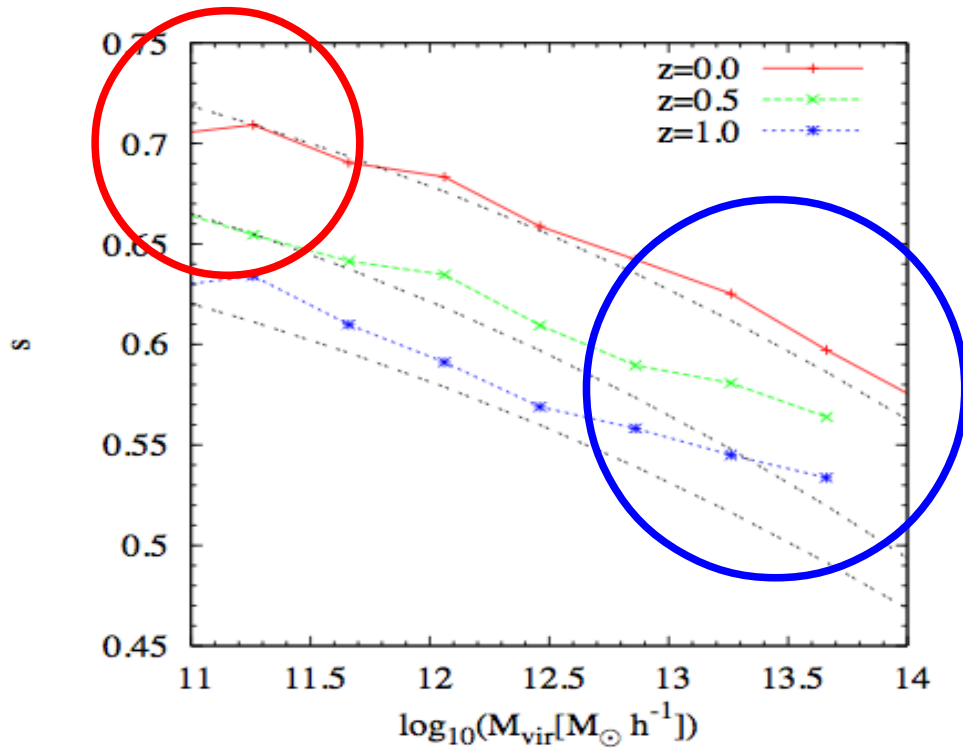


銀河スケールのハローで Λ CDMほど'clumpy'にはならない!!

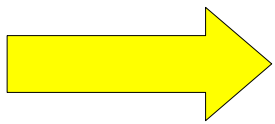
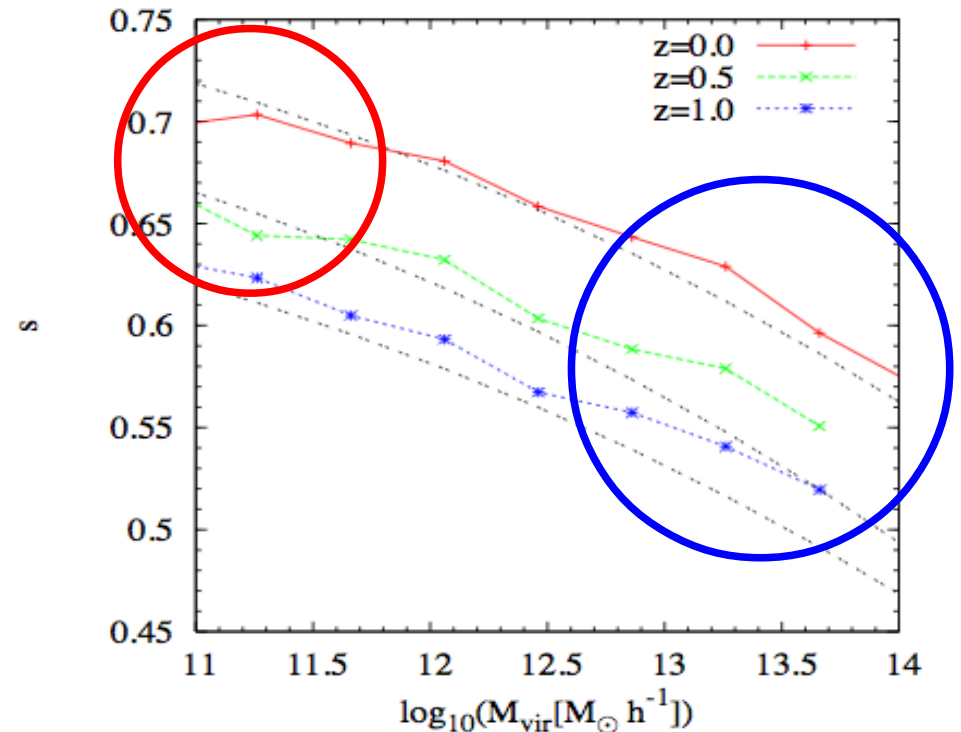
Results(3)

Effects on halo shape

m5 model



m1 model



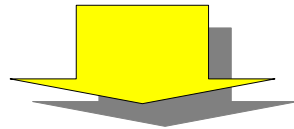
Large scaleで Λ CDMモデルより丸くなっており、逆にsmall scaleで平たくなっている

Results(3)

Effects on halo shape

〈解釈〉

collapse直後のハローは三軸不等で、ビリアライズするうちに球対称に近づく。



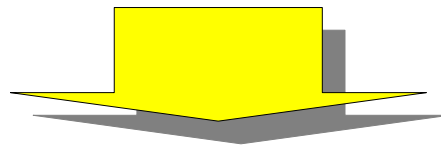
ハローは早く生まれた方が球対称に近づける

CWDMは Λ CDMに比べ大きなスケールは早くつくれるが小さなスケールは形成が遅れる。

Small structure $\rightarrow$ Λ CDMより平たい
Large structure $\rightarrow$ Λ CDMより丸い

Conclusion

- ◆ 今回調べたすべてのモデルで銀河スケールハローの中心集中度は Λ CDMより落ちる (Salucci & Burkert 2000 などの観測からも示唆されている)



銀河スケールではカスプ問題を説明できる(?). しかしながら矮小銀河スケールについてはより高分解能のシミュレーションが必要 (future workでやるらしい)

- ◆ CWDMモデルでつくられるハローは Λ CDMより large scaleで丸くなり、small scaleで平たくなる。