

A new model for the satellites of the Milky Way in the Λ CDM cosmology

A.S.Font et al. 2011 arXive:1103.0024v1

@2011/07/05 第113回雑誌会
小室佑介（千葉研M1）

• Contents

I. Abstract

II. Introduction

III. Simulation model and results

IV. Summary&Comment

I. Abstract

宇宙における構造形成→CDMモデルにおける階層的構造形成

- CDM (Cold Dark Matter)

非相対論的な速度分散（冷たい）を持ち、重力相互作用しかしないようなDM粒子。

- Dark Halo

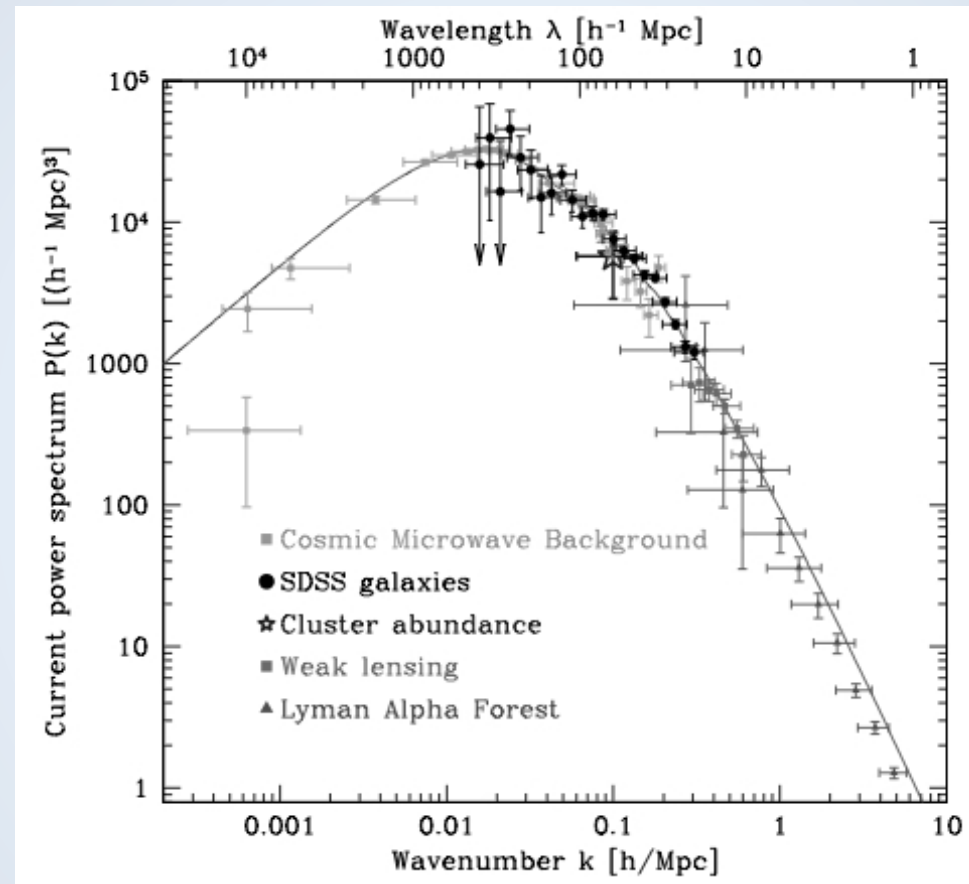
Dark Matterの密度揺らぎが重力崩壊して形成される。

$$\delta(\boldsymbol{x}, t) = \frac{\rho(\boldsymbol{x}, t) - \bar{\rho}(t)}{\bar{\rho}(t)}$$

- 階層的構造形成

CDMモデルでは質量の小さいDark Haloが形成されて重力によって集積・合体を繰り返しながらより質量の大きなDark Haloが形成される

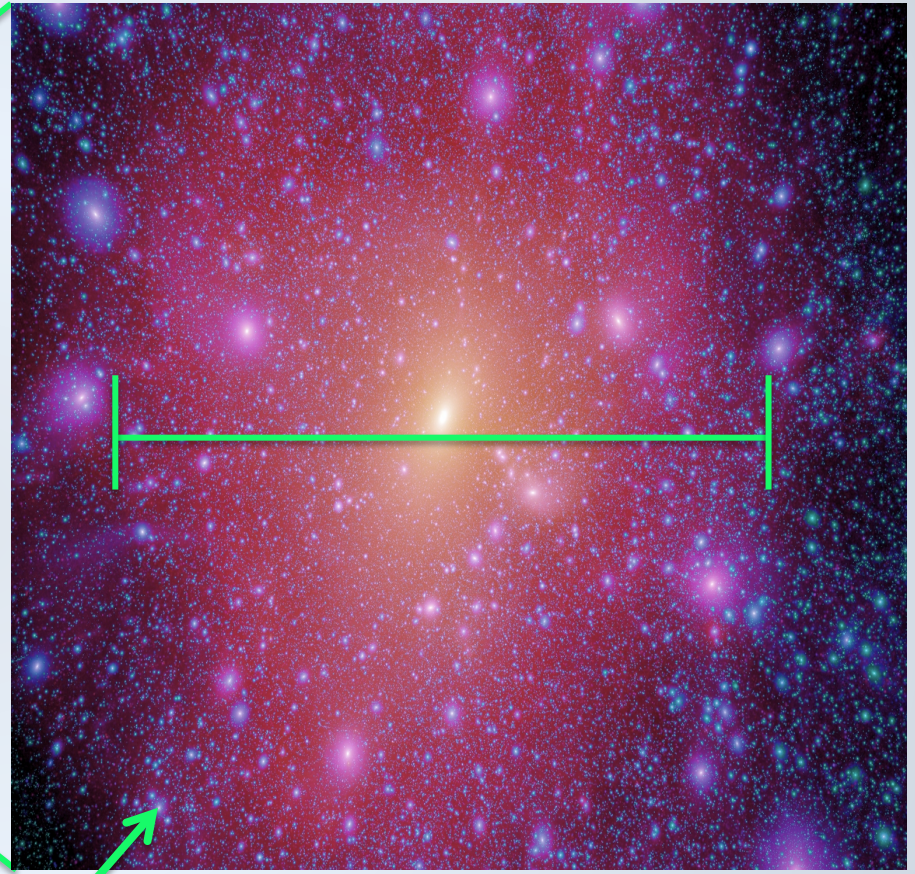
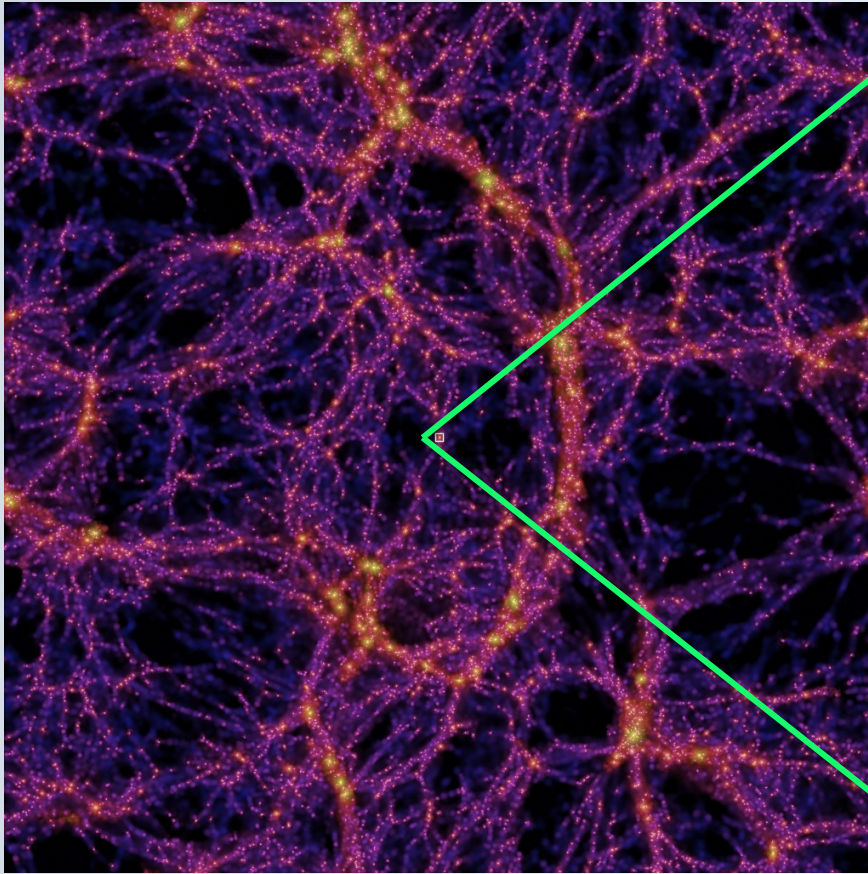
CDMモデルにおける理論と観測結果の一致の例



Tegmark et al.(2004)

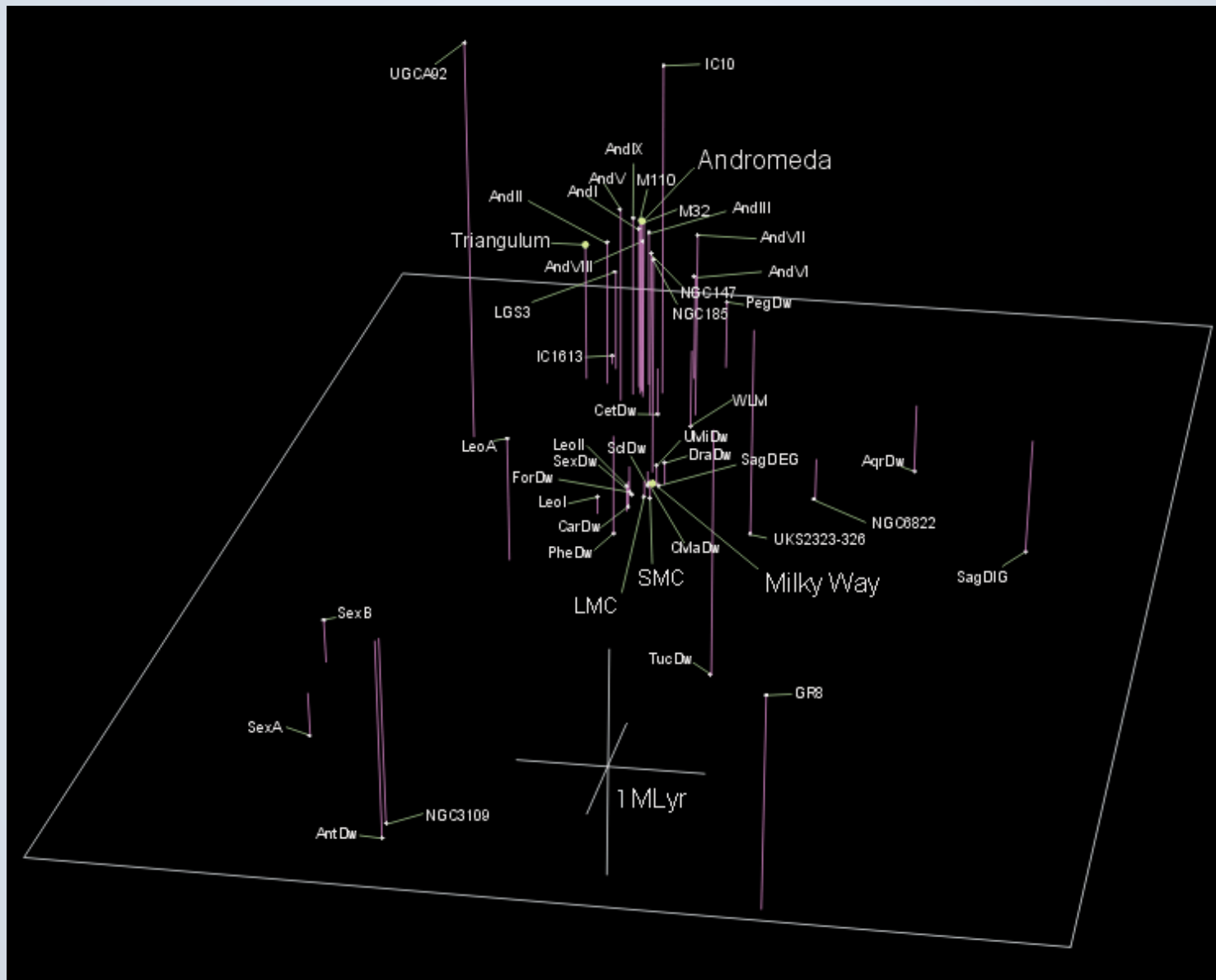
理論曲線と観測値のプロットが一致→CDMモデルは良さそう

$1h^{-1}[\text{Mpc}]$ よりも小さいスケールはどうなってるの？



今回はLocal group ($1h^{-1} [\text{Mpc}]$ のスケール) におけるMW周辺のsatellite galaxyの形成モデルに関するお話をします。

❖ Local Group



Key Words

❖ Dwarf galaxy

- Bバンドの絶対等級が-18等級よりも暗い銀河をDwarf galaxy
- 質量が $10^6 M_{\odot} \sim 10^{10} M_{\odot}$ 程度
- HIガスやHIIガスがほとんど存在せずDark Matter dominantである

❖ Dwarf Irregular galaxies (dIrrs,e.g., LMC&SMC)

- 表面輝度は小さく、ガスはある程度存在していて星形成も行われている

❖ Dwarf Spheroidal galaxies (dSphs,e.g.,Draco&Fornax)

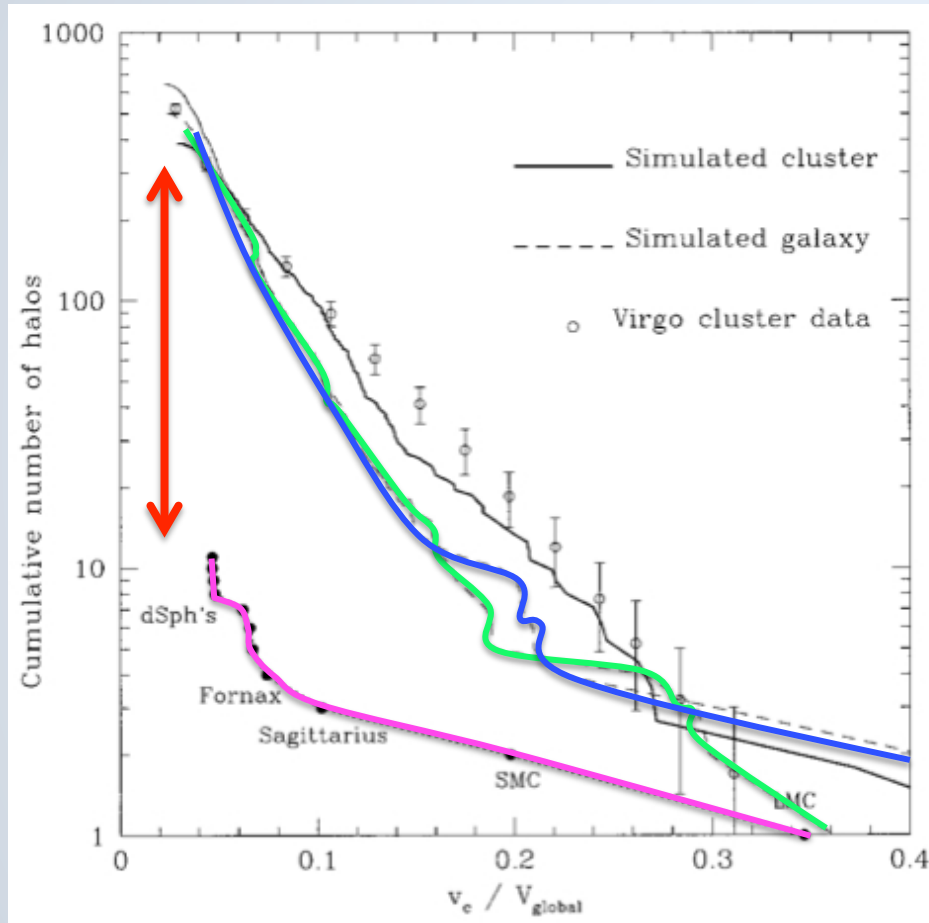
- 表面輝度は小さく、星が楕円体状の分布をしていて星形成は全く行われていないか、僅かに行われている

❖ Dwarf Elliptical galaxies (dEs,e.g.,M32)

- 表面輝度は大きく、ガスが全く無く星形成も行われていない

II. Introduction

Cumulative number of halos



Moore et al.(1999)

- MW-haloに含まれるsatellite
- 現在のsimulated galaxy
- 40億年前のsimulated galaxy

横軸 $v_c = \sqrt{\frac{GM(< R)}{R}}$ の最大値

縦軸 $N(> V_c)$

観測結果とCDMモデルにおけるシミュレーションの結果に明らかな違いが見られる！！

MW-haloで観測されるsatelliteの数 N_{sat}

VS

CDMモデルのN体シミュレーションによるsubstructureの数 N_{sub}



$$N_{\text{sub}} \gg N_{\text{sat}}$$

観測と理論の不一致

なぜMissing Satellite Problemが起こるのか？

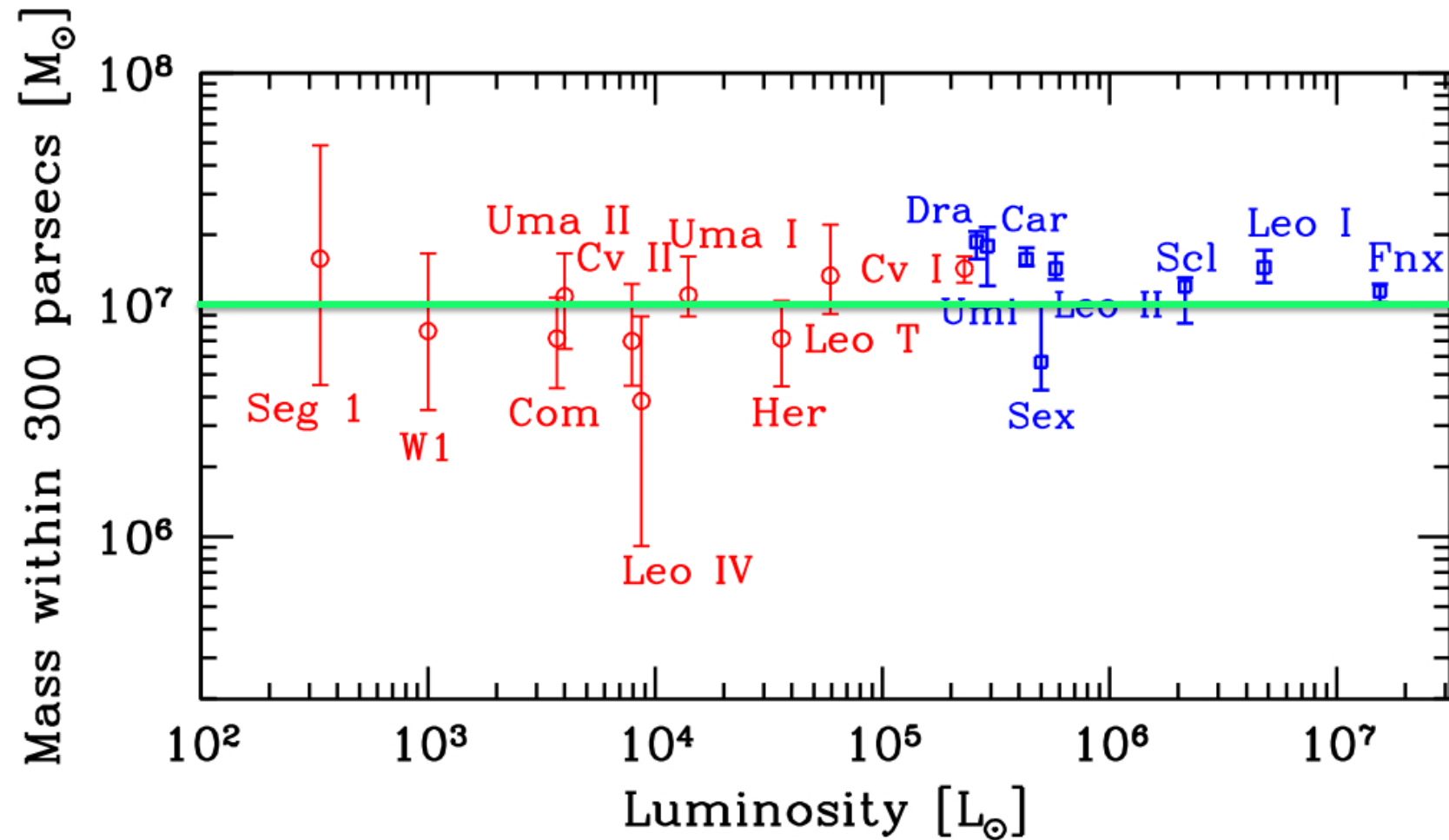
考えられる可能性

暗すぎるsatelliteを未だに検出できていない？ SDSS
のデータを入れたら？

CDMが違う？ 或いはsubstructureが形成されすぎ？

今回紹介する論文のテーマは理論からのアプローチで観測に近づけるか？

Mass to Luminosity relation



Strigari et al.(2008)

Dwarf galaxyの300[pc]以内の質量が光度に依らずほぼ一定

subhaloでの星形成を抑止するためのアイデア

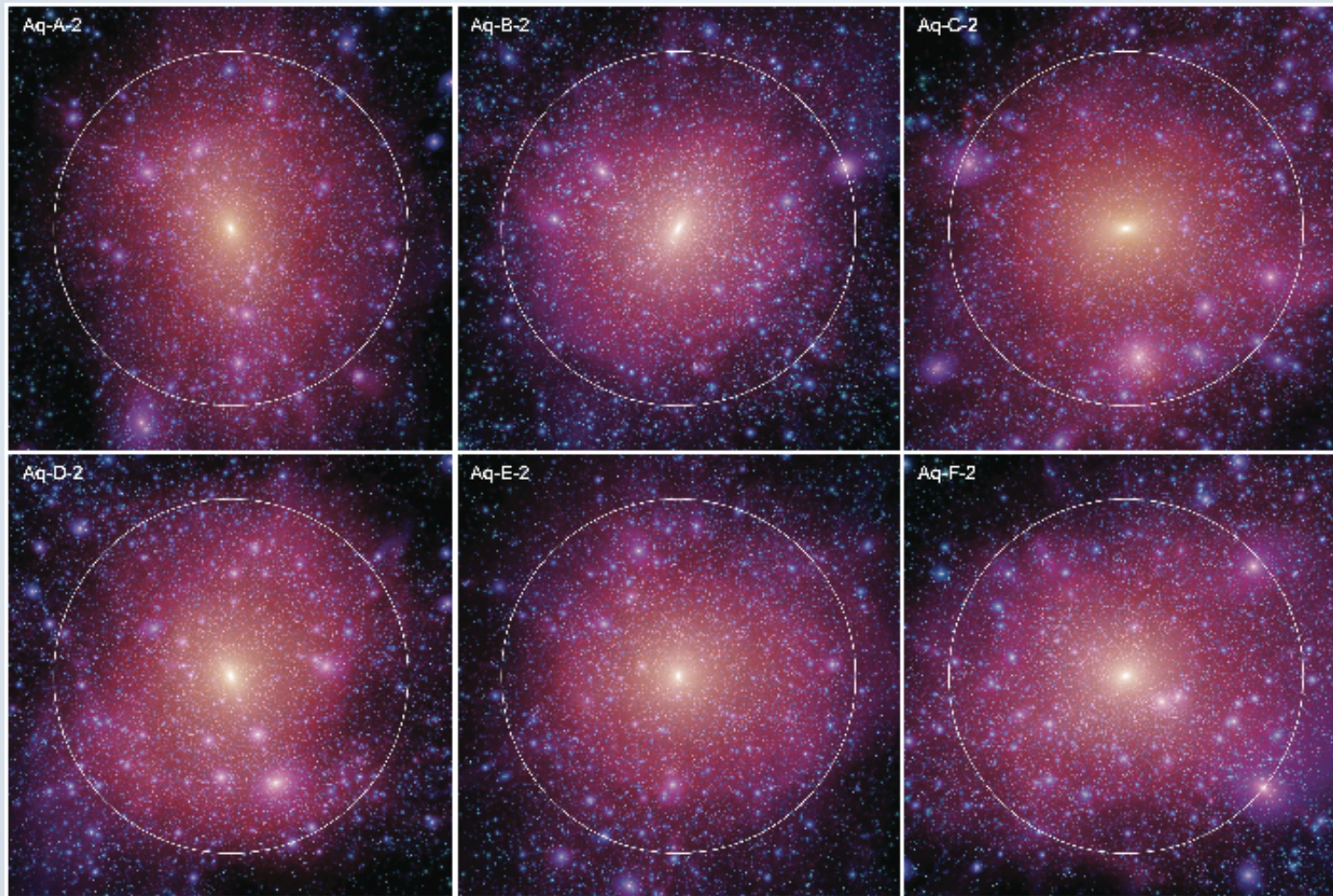
- Reionization (Bullock et al. (2001) 、 Benson et al. (2002))
水素が再電離して ($z \sim 6-10$) それ以降、IGM (銀河間物質) の温度が高く保たれてそれ以下の温度あるいは質量の矮小銀河の形成を抑制
- Stellar feed back (Dekel & Silk (1996))
星形成が起こり超新星爆発によるエネルギーがガスに注入されてガスが流出
- Tidal stripping by host halo (Mayer et al. (2007))
Host halo内を運動するsubstructureがHost galaxyによる潮汐力でガスが剥ぎ取られる

今現在はどの機構もsubhaloでの星形成を抑止するために存在するとして考えるのが主流

観測からどれが主要な機構なのか分かるのだろうか？

III. Simulation model and results

Aquarius-Project



• V.Springel et al.(2008) •

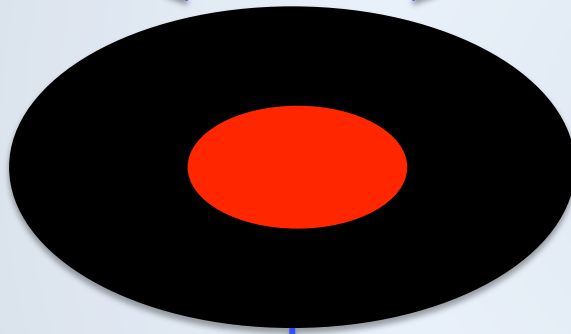
CDMモデルにおける銀河形成



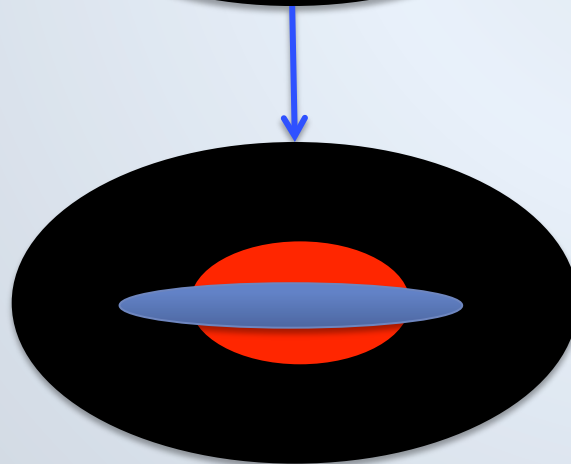
Dark Haloの形成

衝撃波加熱でガスがビリアル温度
まで加熱

Halo同士の合体



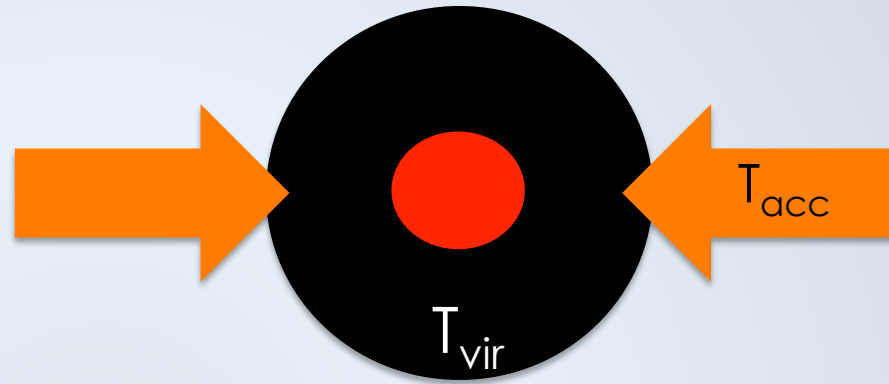
放射冷却によってガス円盤が形成さ
れ、星形成や超新星爆発が起こる



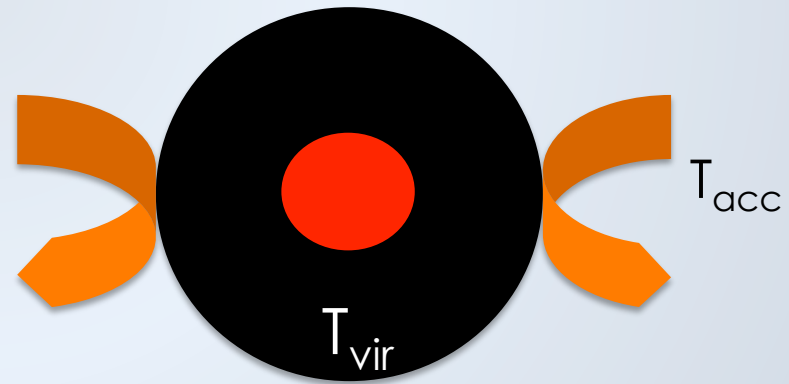
ガスが更に冷却されて新たな円盤
の形成

ガスのHaloへの降着

$$T_{\text{acc}} < T_{\text{vir}}$$

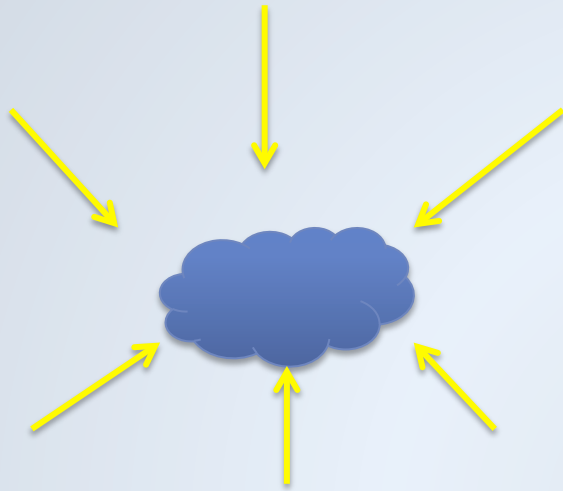


$$T_{\text{acc}} > T_{\text{vir}}$$



$$T_{\text{vir}}(M, z) = \frac{1}{2} \frac{\mu m_p}{k_B} \left(\frac{\Delta_{\text{vir}} \Omega_0}{2} \right)^{\frac{1}{2}} (1+z) (GMH_0)^{\frac{3}{2}}$$

銀河間物質の扱い



Global reionization
背景紫外光によるUV heatingの
みを考える



Local reionization
いずれ銀河になるであろう領域の
ガス雲中での星形成によるUV
heatingのみを考える

Stellar feedback efficiency β

SN feed backの度合いを表すパラメータ

$$\beta = \left(\frac{v_H}{v_{\text{hot}}} \right)^{-\alpha_{\text{hot}}} \quad \text{Bower et al. (2006)}$$

v_H はHaloのcircular velocity、 v_{hot} と α_{hot} はSN feed backをコントロールするパラメーター

- α_{hot} が大きくなると $v_H < v_{\text{hot}}$ のHaloでSN feed backの影響 β が大きくなる

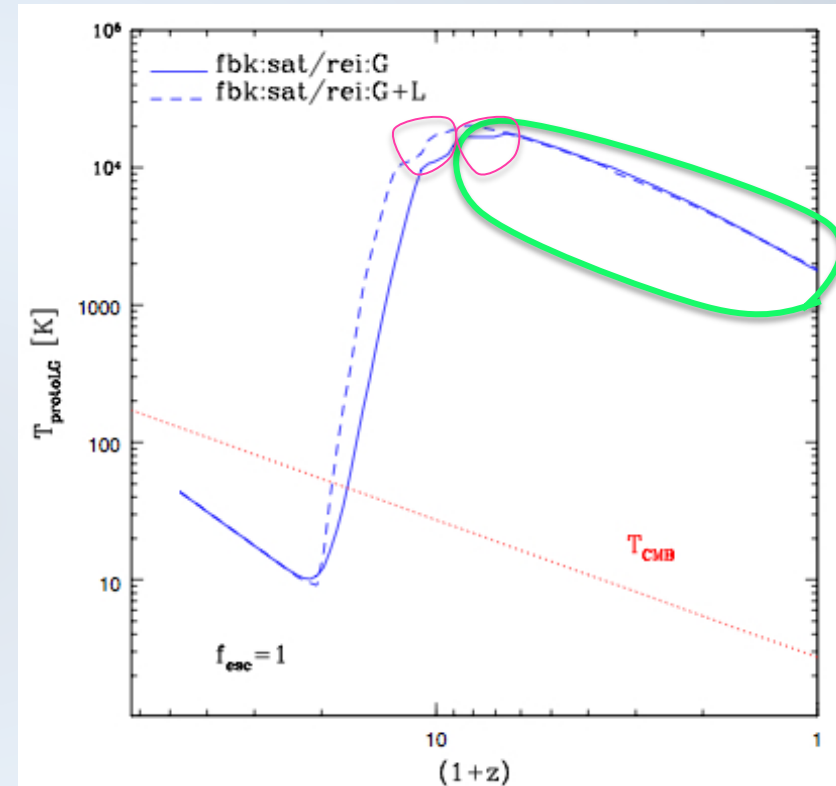
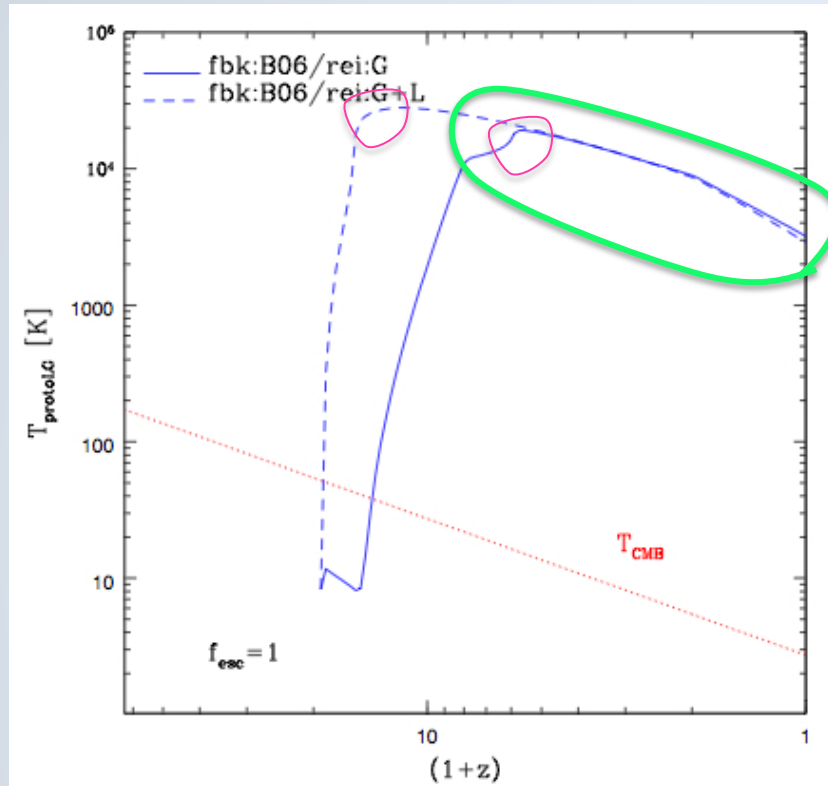
fbk:B06では $\alpha_{\text{hot}}=3.2$ を採用し、SN feed back が $v_H < 485[\text{km/s}]$ のHaloで影響が強くなる設定

fbk:sat では $\alpha_{\text{hot}}=2.5$ を採用し、SN feed back が $v_H \leq 65[\text{km/s}]$ のHaloで影響が強くなり、小さなHaloで β が過剰になる設定

Halo name	$m_p [M_\odot]$	N_{hr}	$M_{200}[M_\odot]$	$r_{200} [\text{kpc}]$	$M_{*,tot}[M_\odot]$ fbk:sat/rei:G+L ($f_{\text{esc}} = 1$)
AqA	1.370×10^4	531,570,000	1.842×10^{12}	245.88	1.085×10^{11}
AqB	6.447×10^3	658,815,010	8.194×10^{11}	187.70	9.179×10^9
AqC	1.399×10^4	612,602,795	1.774×10^{12}	242.82	1.050×10^{11}
AqD	1.397×10^4	391,881,102	1.774×10^{12}	242.85	6.982×10^{10}
AqE	9.593×10^3	465,905,916	1.185×10^{12}	212.28	2.217×10^{10}
AqF	6.776×10^3	414,336,000	1.135×10^{12}	209.21	6.555×10^9

Model	SN feedback efficiency β	Global reionization	Local reionization	Escape fraction
fbk:B06/rei:G	Bower et al(2006)	○	×	1
fbk:B06/rei:G+L	Bower et al(2006)	○	○	1
fbk:sat/rei:G	Saturated	○	×	0.1,0.2,0.5,1
fbk:sat/rei:G+L	Saturated	○	○	0.1,0.2,0.5,1

T_{protoLG} と redshift の関係

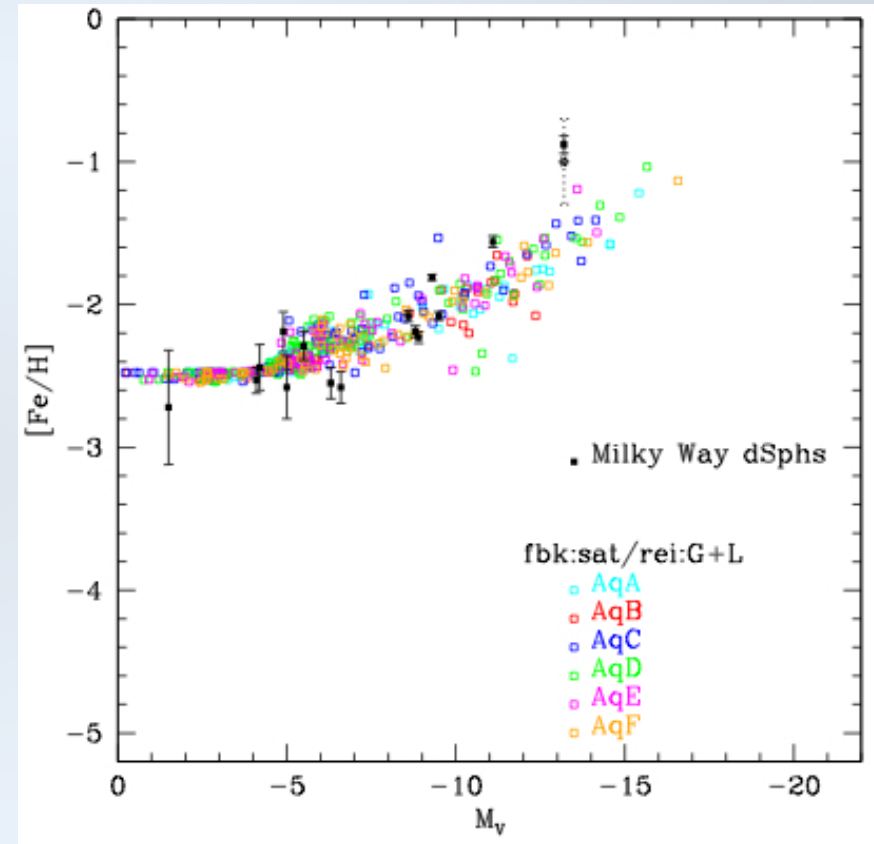
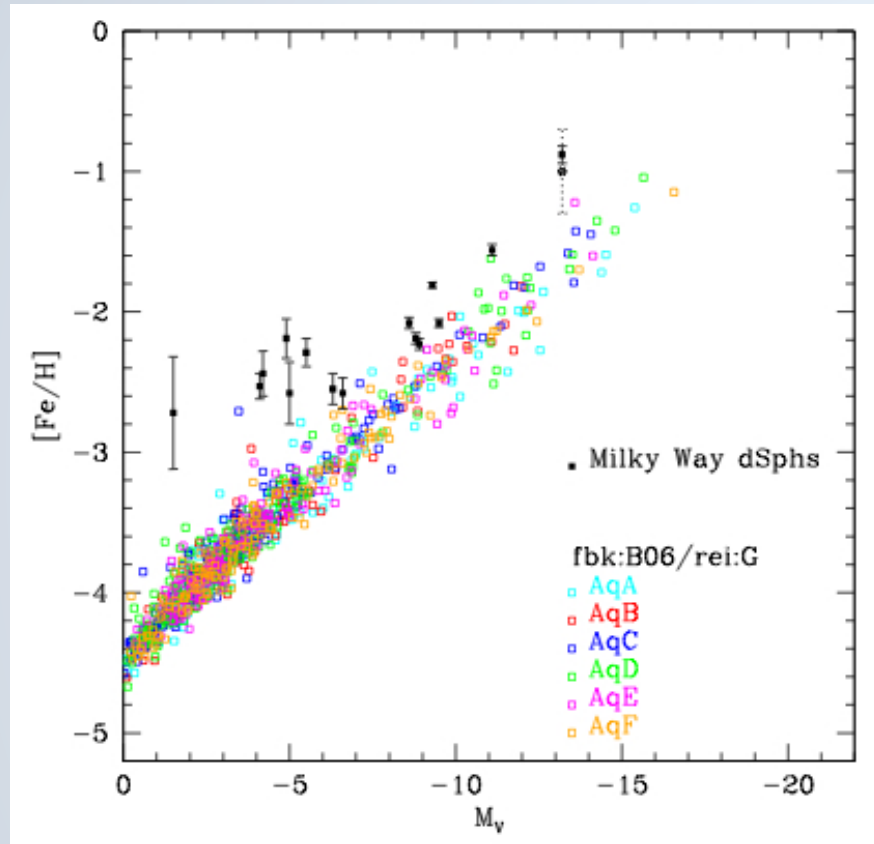


reionizationした後は T_{protoLG} は同じような振る舞いを見せる

reionizationが終わる赤方偏移によってどのように星形成に効いてくるか？

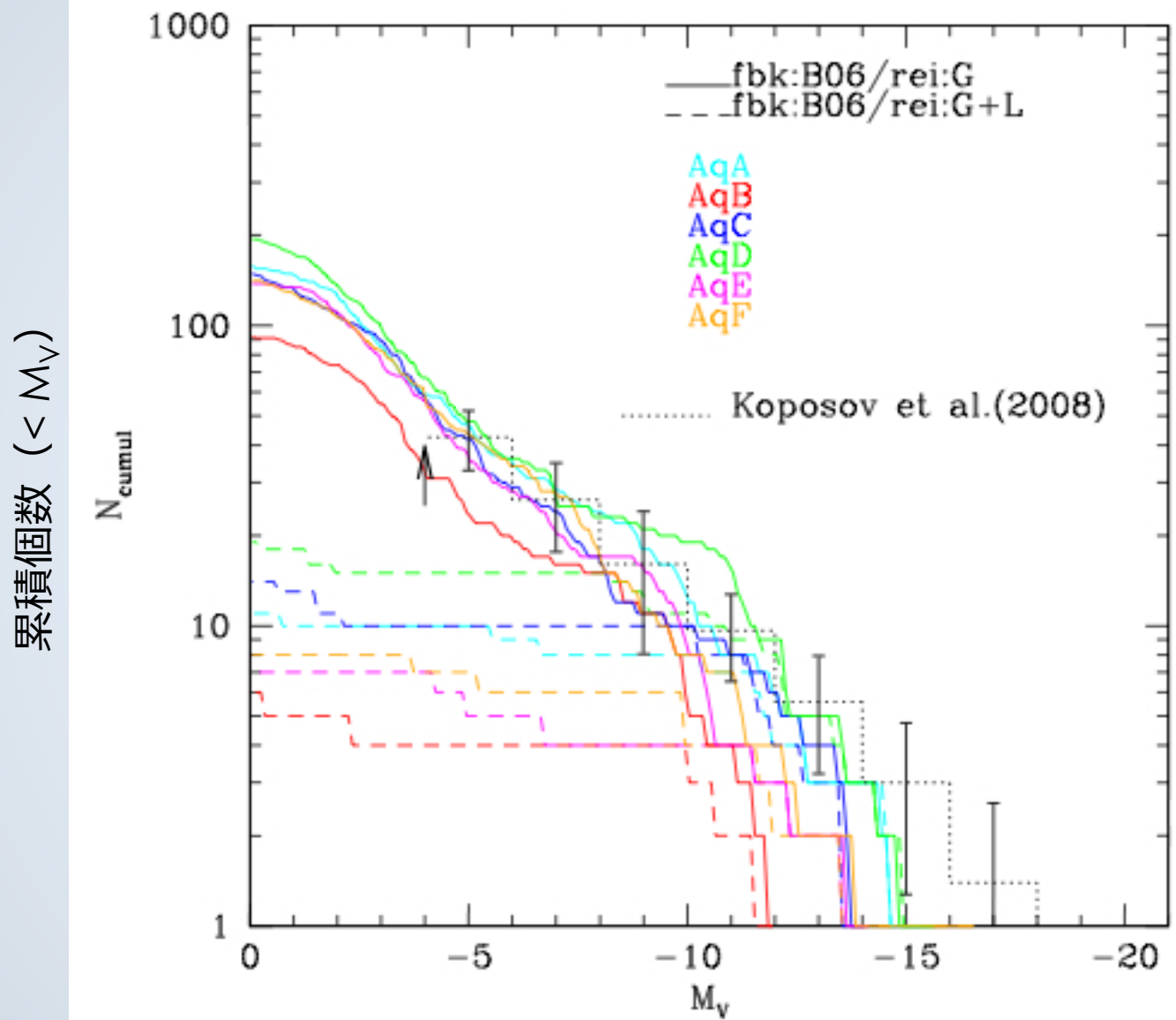
Metallicity

Observational data from Norris et al. (2010)



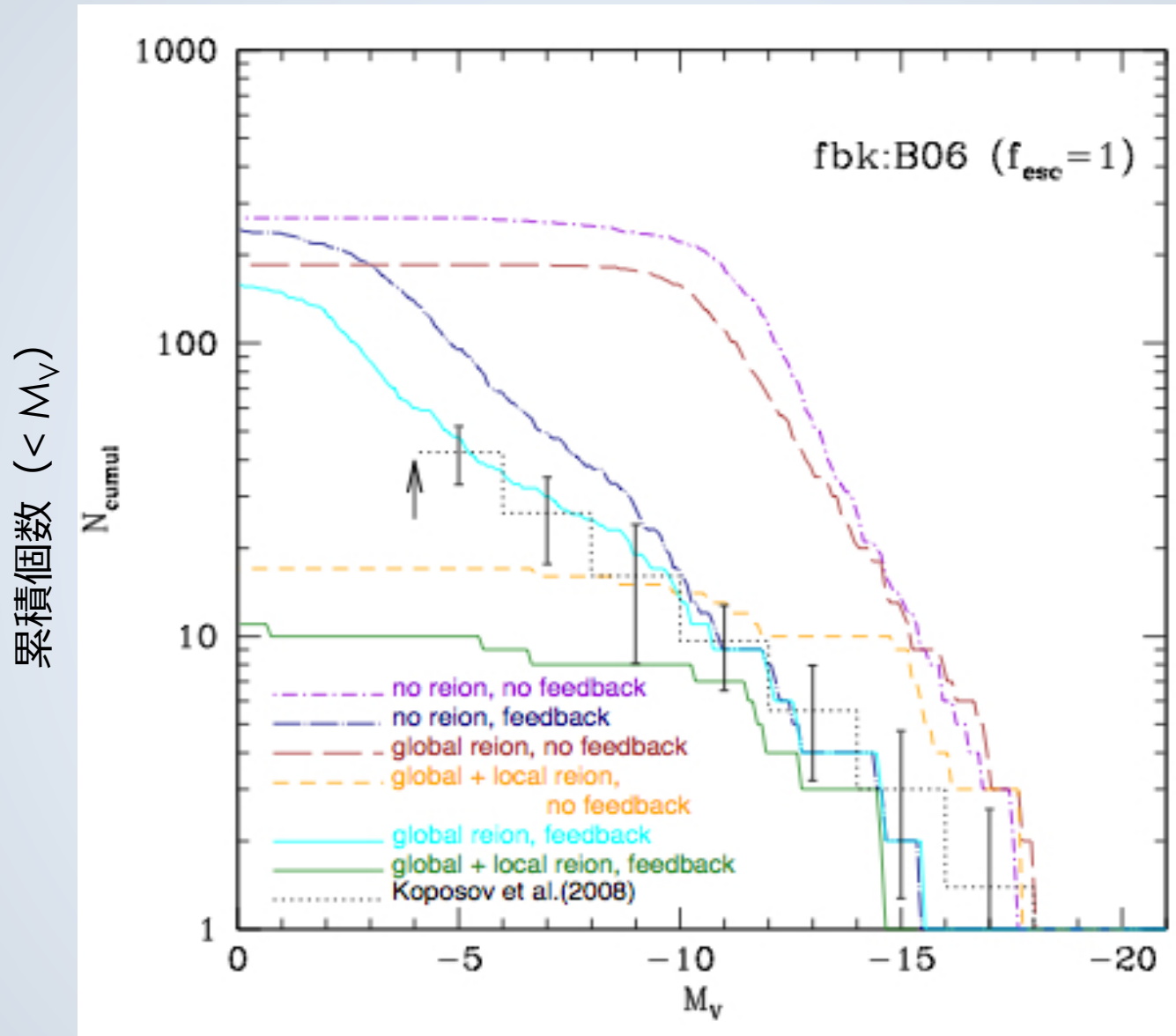
B06/rei:Gよりsat/rei:G+Lのモデルの方が観測されるdSphsのMetallicityを再現できる

Results of fbk:B06



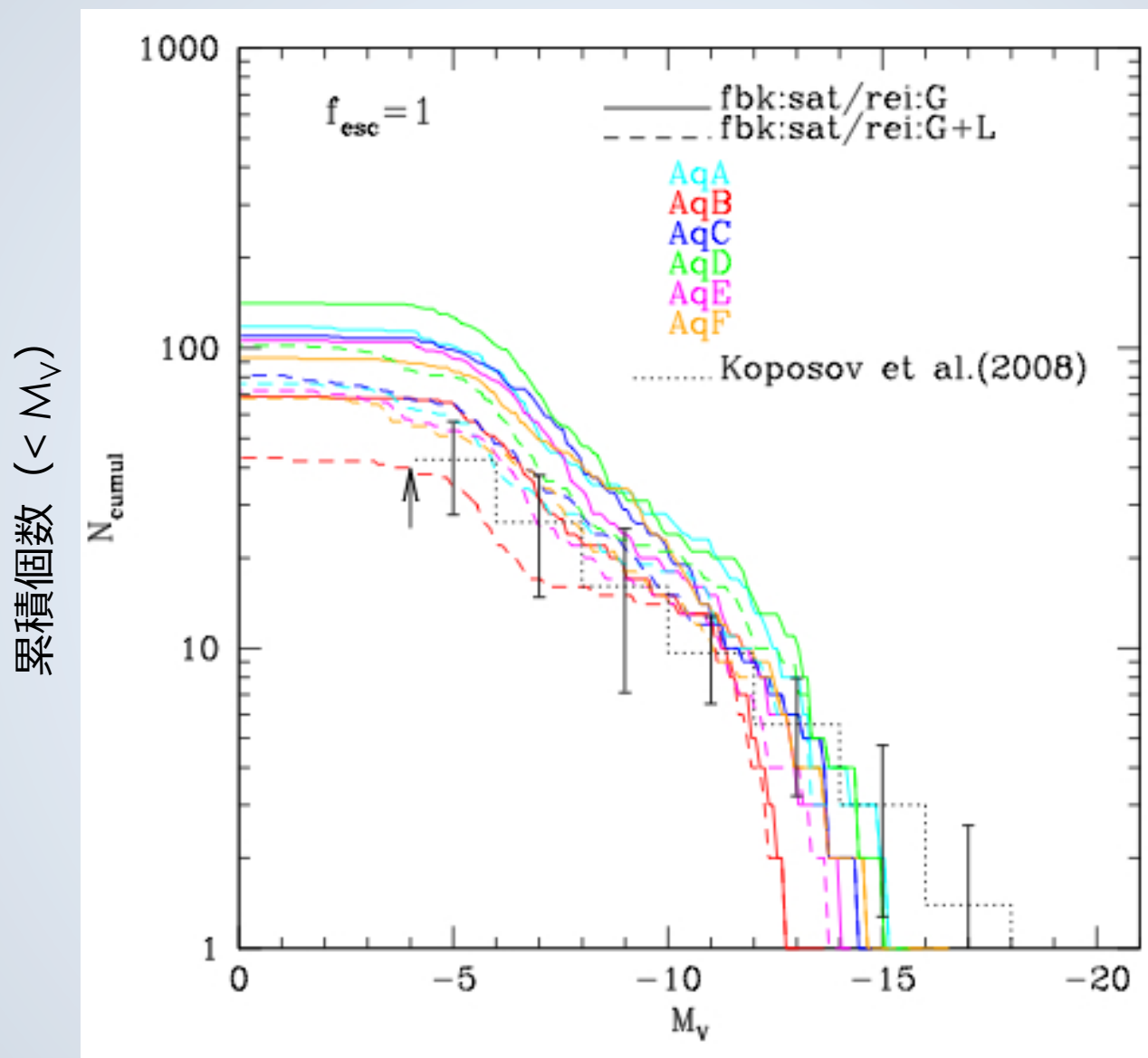
明るさ

fbk:B06 ($f_{\text{esc}}=1$) Aq-A halo

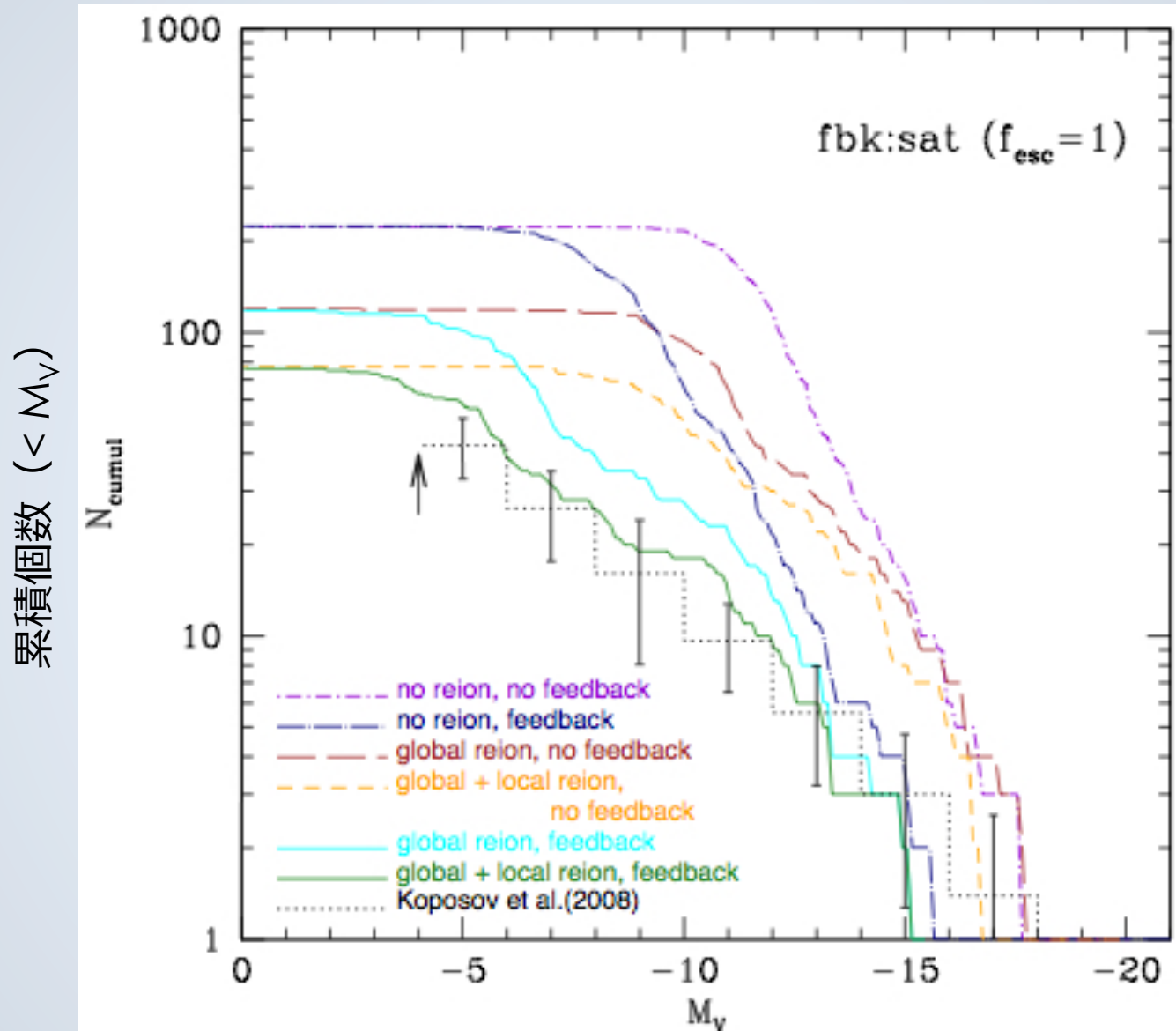


明るさ

Results of fbk:sat

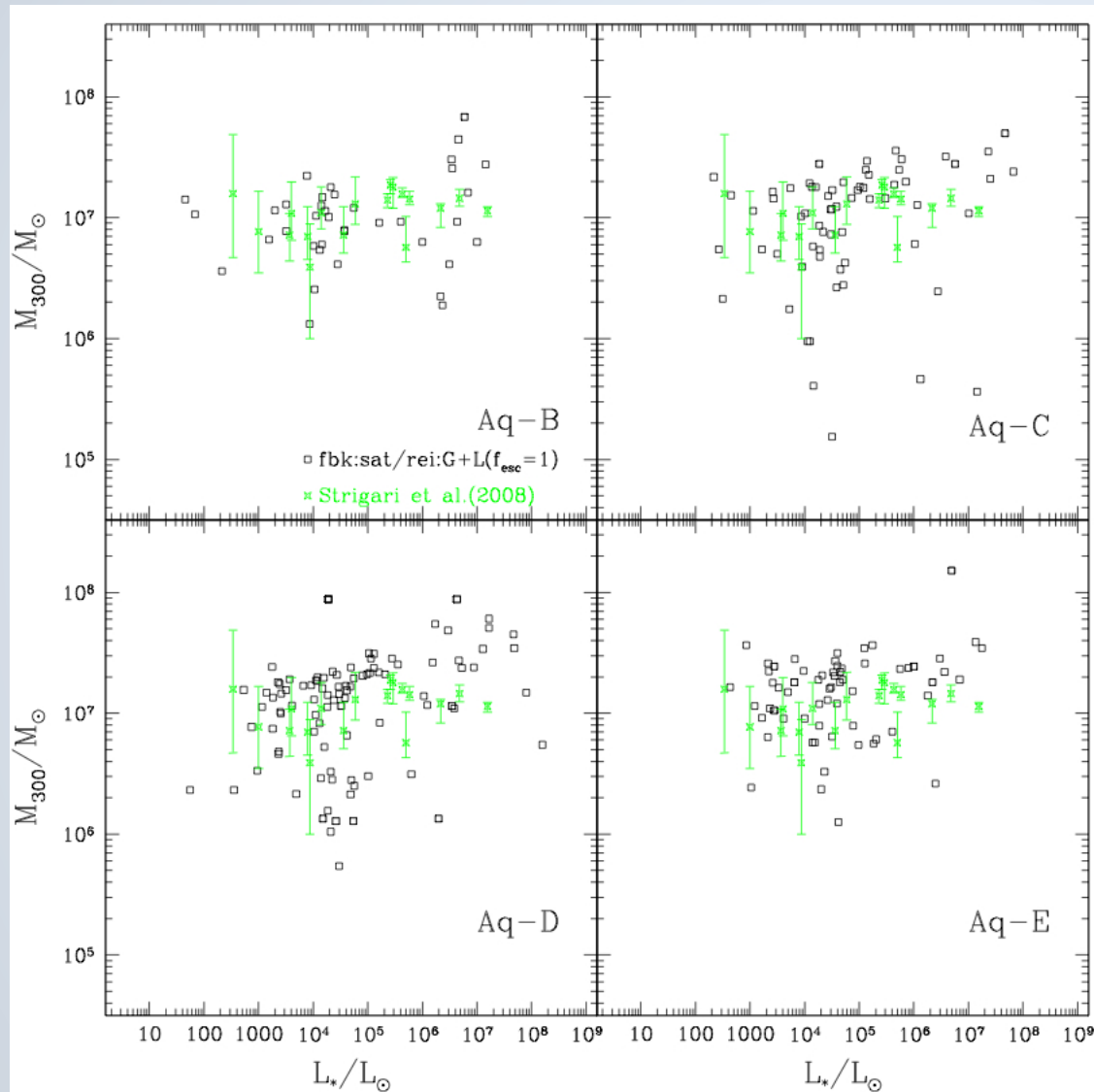


fbk:sat ($f_{\text{esc}}=1$) Aq-A halo



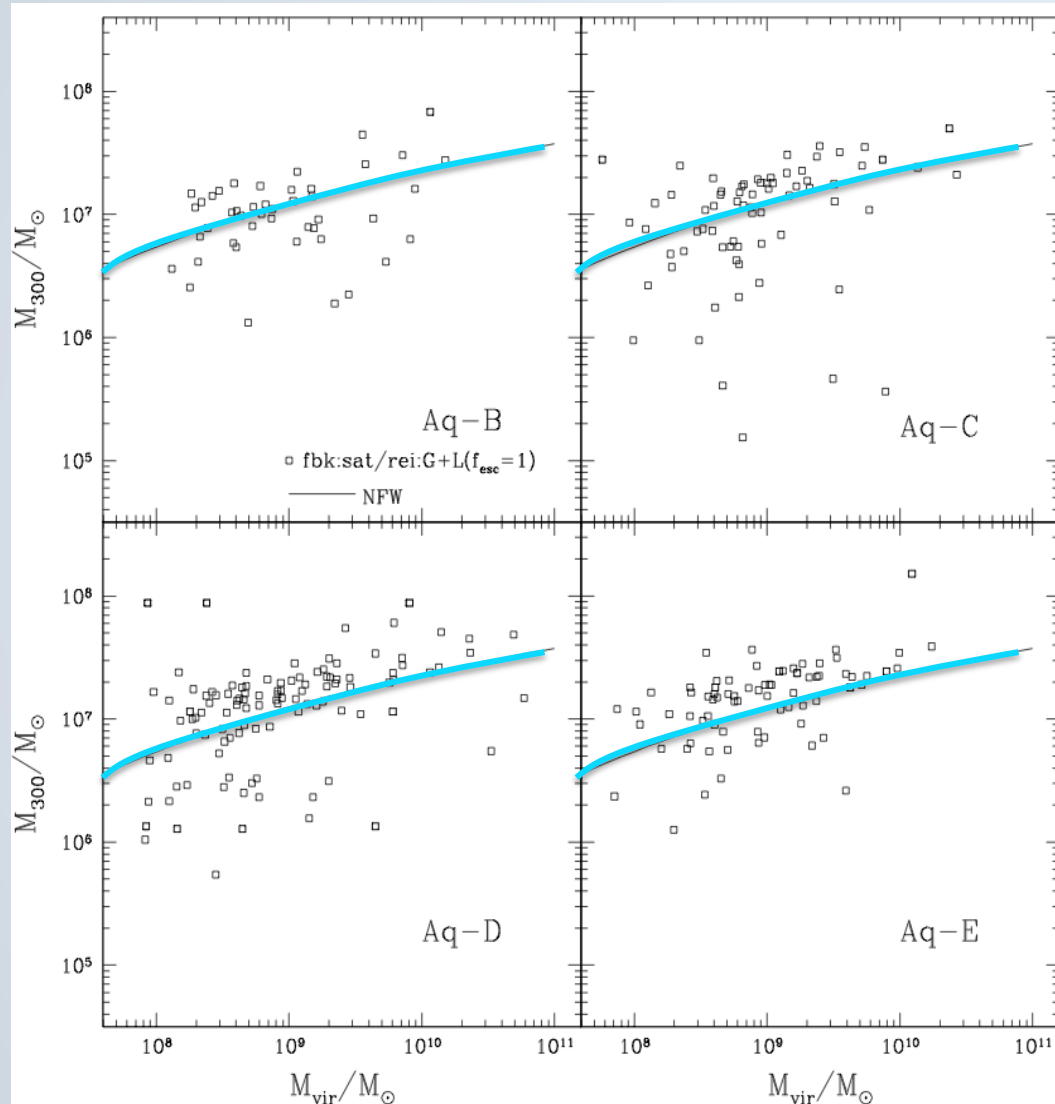
明るさ

$M_{300} - L$ relation



- Satelliteの $M_{300} - L$ relationをほぼ再現できている
- Aq-C、Aq-B、Aq-Dのsimulationは観測値からかなり外れてるsatelliteが存在
- Simulationのresolutionの問題？

$M_{300} - M_{\text{vir}}$ relation



- NFW-Profileから導ける

$$M_{300} \propto M_{\text{vir}}^{\frac{1}{3}}$$

の関係にある程度のバラつきを持ってfitしている

- やはりresolutionの影響が出ている？
- NFW-Profileからの結果にfitするのはHaloスケールではDMの影響が圧倒的に大きいことを反映している

NFW-Profile

$$\rho(r) = \frac{\rho_s}{\left(\frac{r}{r_s}\right) \left(1 + \frac{r}{r_s}\right)^2}$$

IV. Summary & Comment

- 星形成を抑制する過程を組み込んでもDM粒子のみのsimulationで得られる結果を再現する→ハローの形成はDM粒子が主役
- 星形成を抑制するにはSN feedbackとLocal reionizationが重要
→Dark Haloからバリオンを喪失させるため
- 再電離の終わる時期を早めるために $f_{\text{esc}}=1$ という実際の値とはかけ離れた値を用いているがそれはいいのか？
- simulationの結果ではsatelliteの数を減少させることができているが、数値的な効果で減少したものも含まれているのでは？
- satelliteの星形成の抑制を考えているのであれば、星形成率の赤方偏移依存性もあれば見やすいと思う

Thank you very much for your attention
m(_ _)m