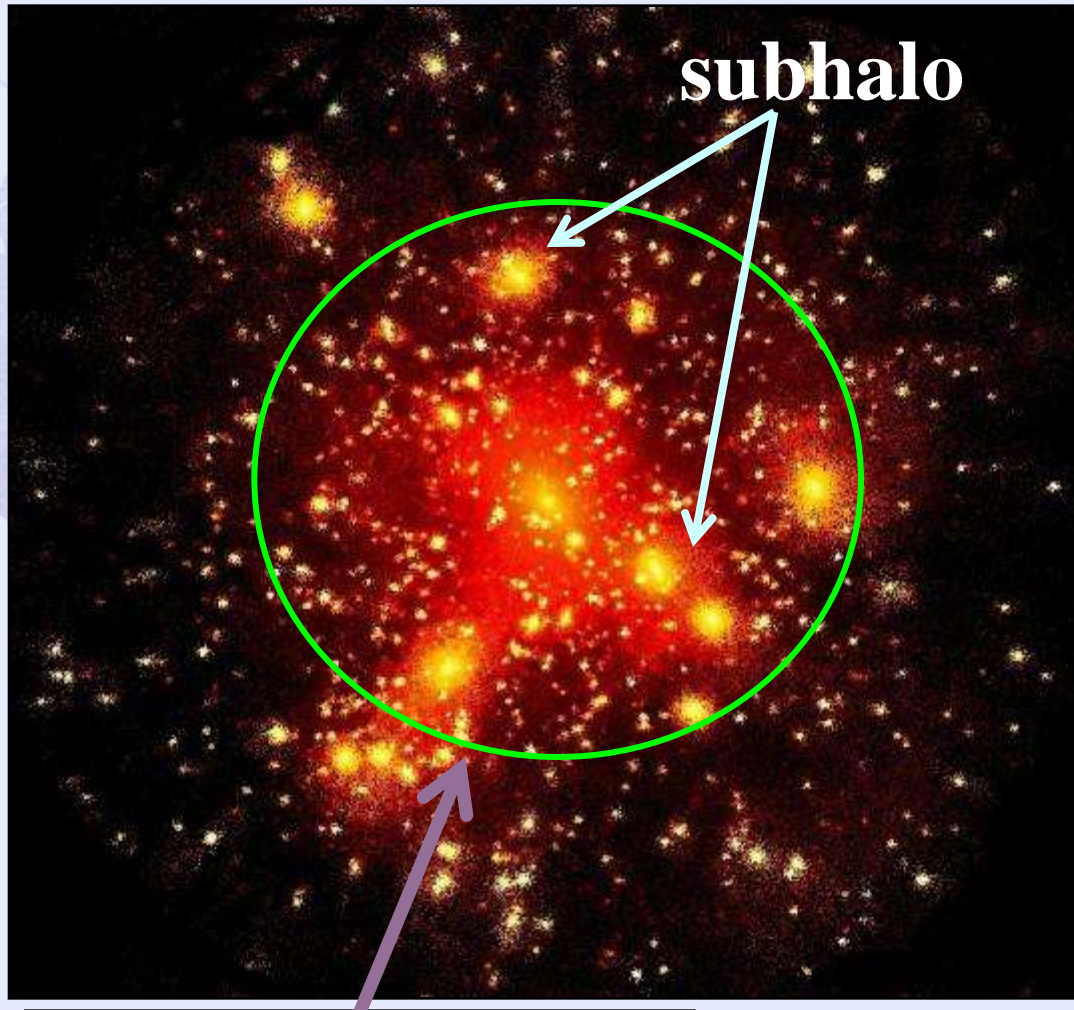


# 銀河円盤の形成における 暗黒物質サブハローの影響

林 寛人、千葉 柁司(東北大学)

# 1. Introduction

## 1.1 冷たい暗黒物質微細構造(CDM-subhalo)



Host haloのvirial半径

(by Moore)

CDMモデルに基づく高分解能なN-body simulationによって、銀河サイズのhaloの中には典型的な質量が $10^{7-8}M_{\text{sun}}$ 程度のsubhaloが多数存在していることがわかっている。

## 1.2 銀河円盤に与える力学的影響

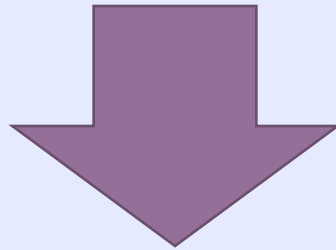
銀河halo中の多数のsubhaloと銀河円盤との力学相互作用により銀河円盤が観測されるような薄い状態になり得なくなる

### 理論的な制限

我々の研究(Hayashi & Chiba 2006)により、銀河円盤の質量の約20%程度のsubhaloが銀河円盤と相互作用すると現在観測されるよりも厚くなってしまうことがわかっている

## 1.3. 銀河円盤のsize変化に与える影響

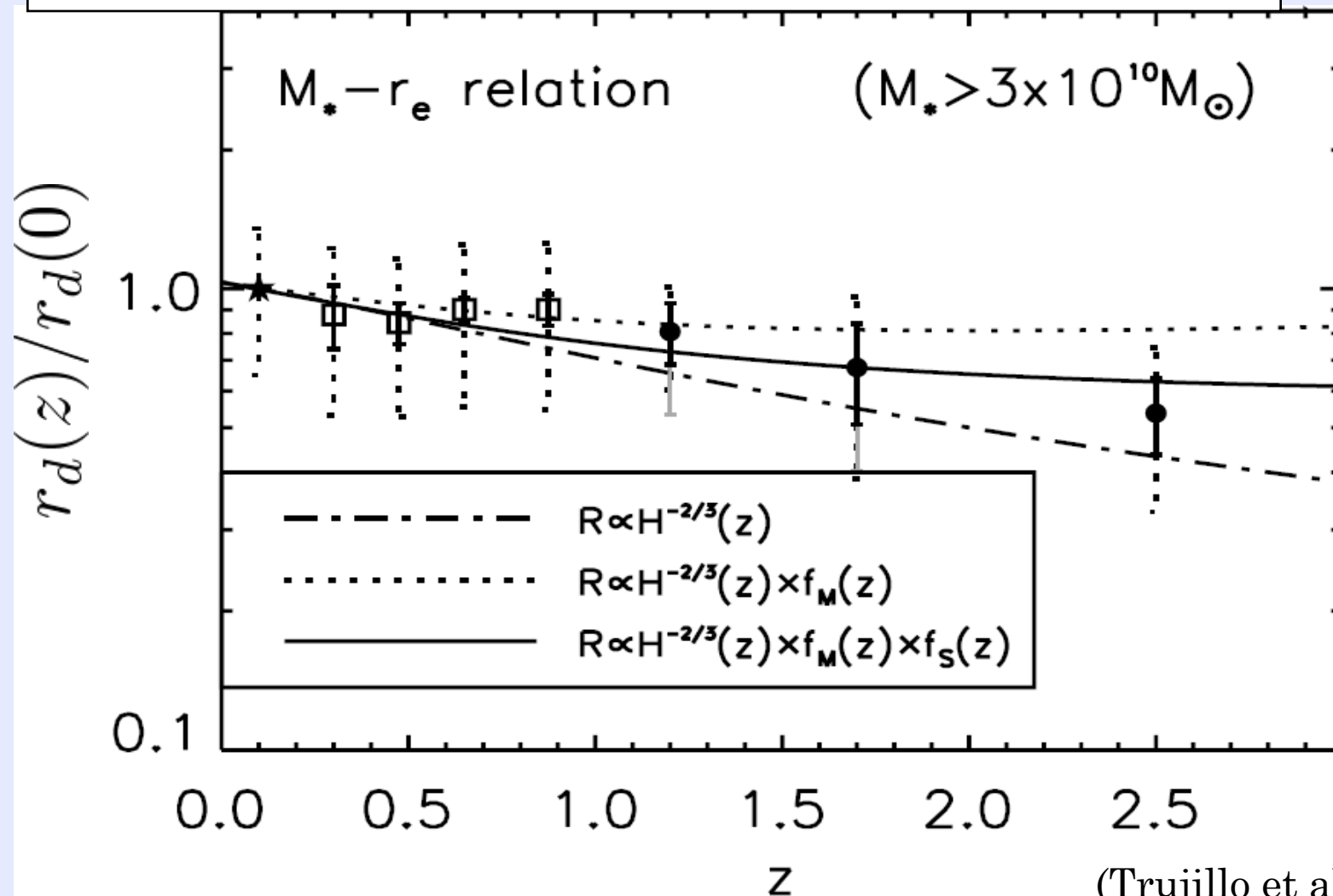
高赤方偏移で大質量のsubhaloのaccretionによって銀河系などの円盤銀河に存在する恒星系円盤が破壊される可能性がある



銀河円盤の大きさの赤方偏移進化が大質量subhalo軌道分布やaccretion redshiftの分布などによって制限されている可能性がある

# 1.4 観測的な銀河円盤の sizeの赤方偏移変化

観測によって得られている銀河円盤のsize evolution



(Trujillo et al. 2006)

## 1.5. 本研究の目的

- ◆ 準解析的にsubhaloの質量変化や軌道変化を計算することで、subhaloによる銀河円盤のsizeに対する制限の赤方偏移進化を求める
- ◆ Subhaloによる銀河円盤の大きさの制限と観測による銀河円盤の大きさの制限を比較することで、subhaloが銀河円盤の進化に与える効果について考察する

## 2. Models

### 2.1. 準解析的な技法の概略

Zentner & Bullock (2003)の技法を用いて計算

- ◆ Haloのmerging history
  - ◆ Extended Press & Schechter theory(EPS)
    - ◆ Somerville & Kolatt (1999, SK99)のアルゴリズム
- ◆ Subhaloの初期条件
  - ◆ 速度はN-body simulationで得られている結果を使用
- ◆ Subhaloの軌道進化
  - ◆ Tidal stripping
  - ◆ Dynamical friction (Chandrasekhar Formula)
    - ◆ Host haloの中心からの距離に比例したcoulomb logarithm
- ◆ Subhaloとhost haloの密度分布
  - ◆ 密度分布はNFW 分布
    - ◆ 集中度 $c$ はBullock et al.(2001)の  $c(M, z)$ の関係

## 2.2. Subhaloの初期条件

- ◆ 初期速度の大きさはN-body simulationの結果得られている binding energy の分布を使用
  - ◆ 初期の軌道のエネルギーを  $R_{\text{circ}} = \eta R_{\text{vir}}$  で円運動をしているエネルギーと等しいとして計算。ここで、 $\eta$ は[0.4,0.75]の範囲の一様乱数

- ◆ 初期の角運動量はorbital circularity

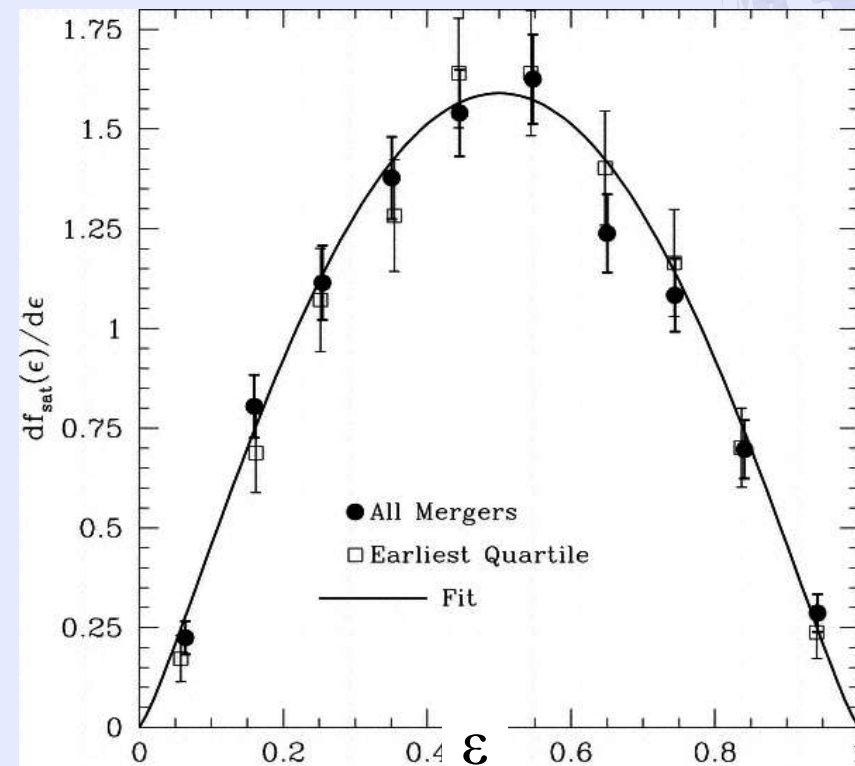
$\epsilon = J/J_{\text{circ}}(E)$  を使用

( $J_{\text{circ}}(E)$ は同じエネルギーで円運動をしている時の角運動量)

- ◆  $\epsilon$ の分布はsimulationから得られているベータ分布を使用。

$$\frac{df_{\text{sat}}(\epsilon)}{d\epsilon} = \frac{\Gamma(2a)}{\Gamma^2(a)} \epsilon^{a-1} (1-\epsilon)^{a-1}$$

$a=2.22$ を用いる。(右図参照)





## 2.3 Subhaloが壊れる条件

### ◆ Tidally disrupted

- ◆ Subhaloの質量が  $M (< r_{\max}^{\text{sat}})$  以下になると 朝夕力によって壊れたと仮定

ここで  $r_{\max}^{\text{sat}} \simeq 2.16 r_s$  で、 $r_s$  は NFW 分布の scale radius

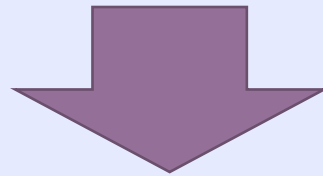
### ◆ Centrally merged

- ◆ Subhaloが中心から  $r_{\max}^{\text{sat}}$  の距離より内側に近づいたら host halo と merging したと仮定

# 3. Result

## 3.1 subhaloにより銀河円盤のsizeの制限を与えるための基本的な考え方

- 銀河円盤の質量を $\sim 10^{11}M_{\text{sun}}$ とすると、 $\sim 10^{10}M_{\text{sun}}$ 以上のsubhaloがdiskと力学相互作用をすると観測されている以上に厚くなる
- このmass scaleのsubhaloの近銀点距離までが銀河円盤のsizeの上限となる



各Merging Treeで、 $[z, z+dz]$ の範囲でこの質量のsubhaloのうちもっとも小さい近銀点距離が、そのMerging Treeでの銀河円盤の大きさの制限となる

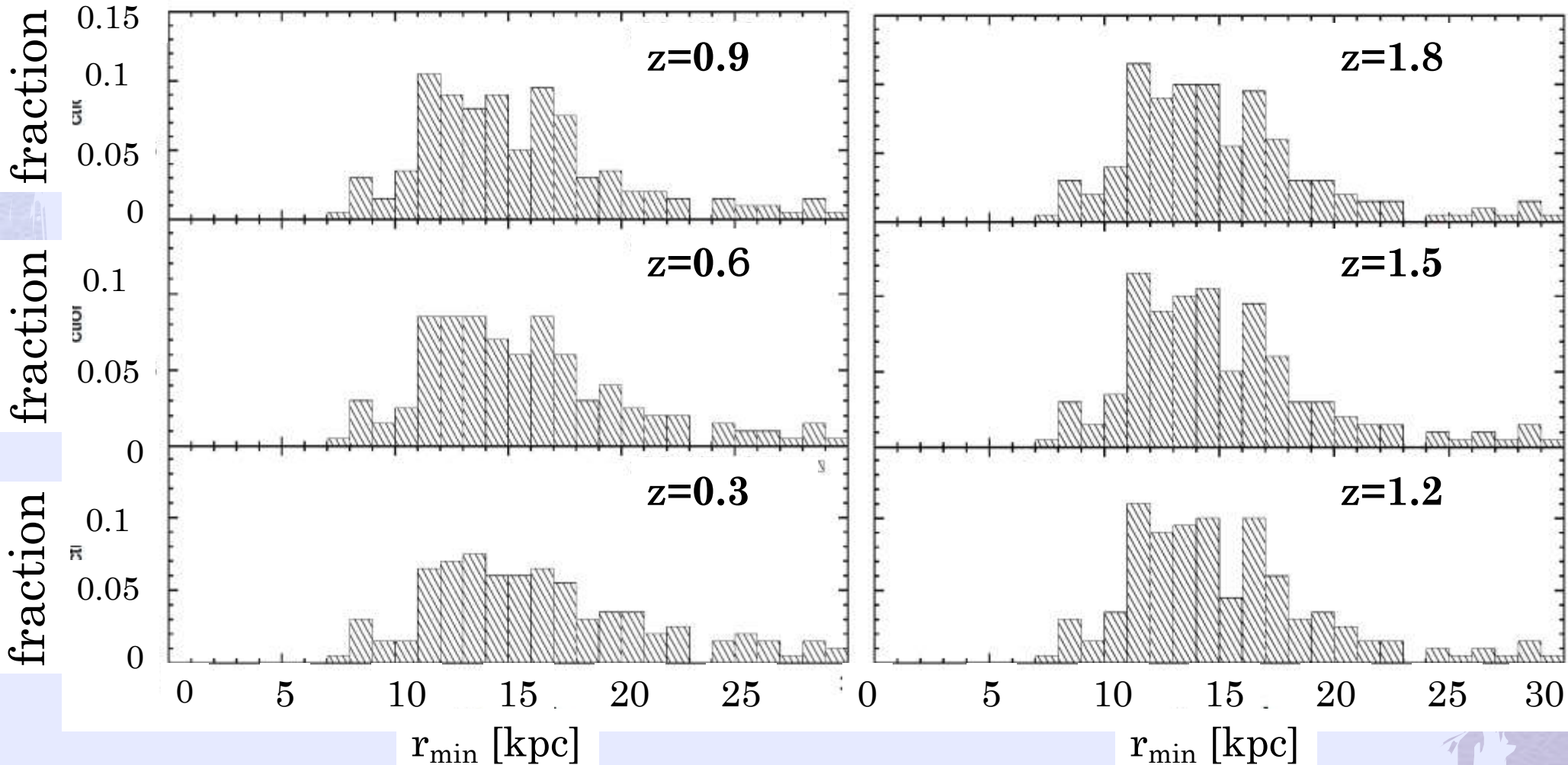
## 3.2 銀河円盤のscale lengthの制限を与える具体的な計算方法

1. 各Merging Treeで $[0, z]$ で質量 $M$ 以上のsubhaloの中で最小の近銀点距離を計算
2. それを、すべてのMerging Treeで平均
3. 2で得られた分布は $[0, z]$ での分布なので累積分布と考えられる。そのため、2で得られ分布を $[z, z+dz]$ の微分分布に変換

ただし、銀河円盤が生き残る場合を考えるため、central mergeするsubhaloに関しては考慮しない

# 3.3 [0,z]での最小の近銀点距離の計算

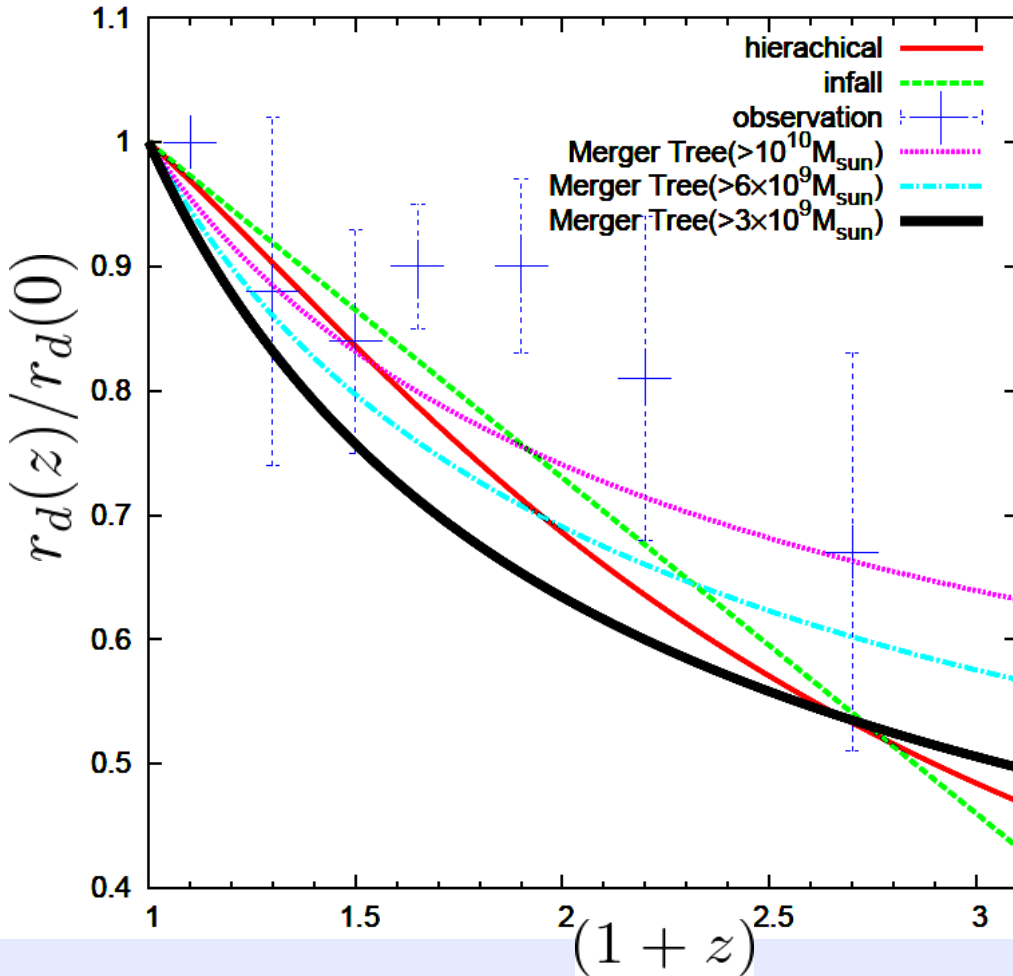
$10^{10}M_{\text{sun}}$ 以上のsubhaloの内が[0,z]で近銀点距離が最小のもの



- 赤方偏移 大  $\rightarrow$  近銀点距離の平均 小 の関係が見られる

# 3.4 銀河円盤の大きさの制限(1)

z=0での銀河円盤のsizeで規格化したsize変化

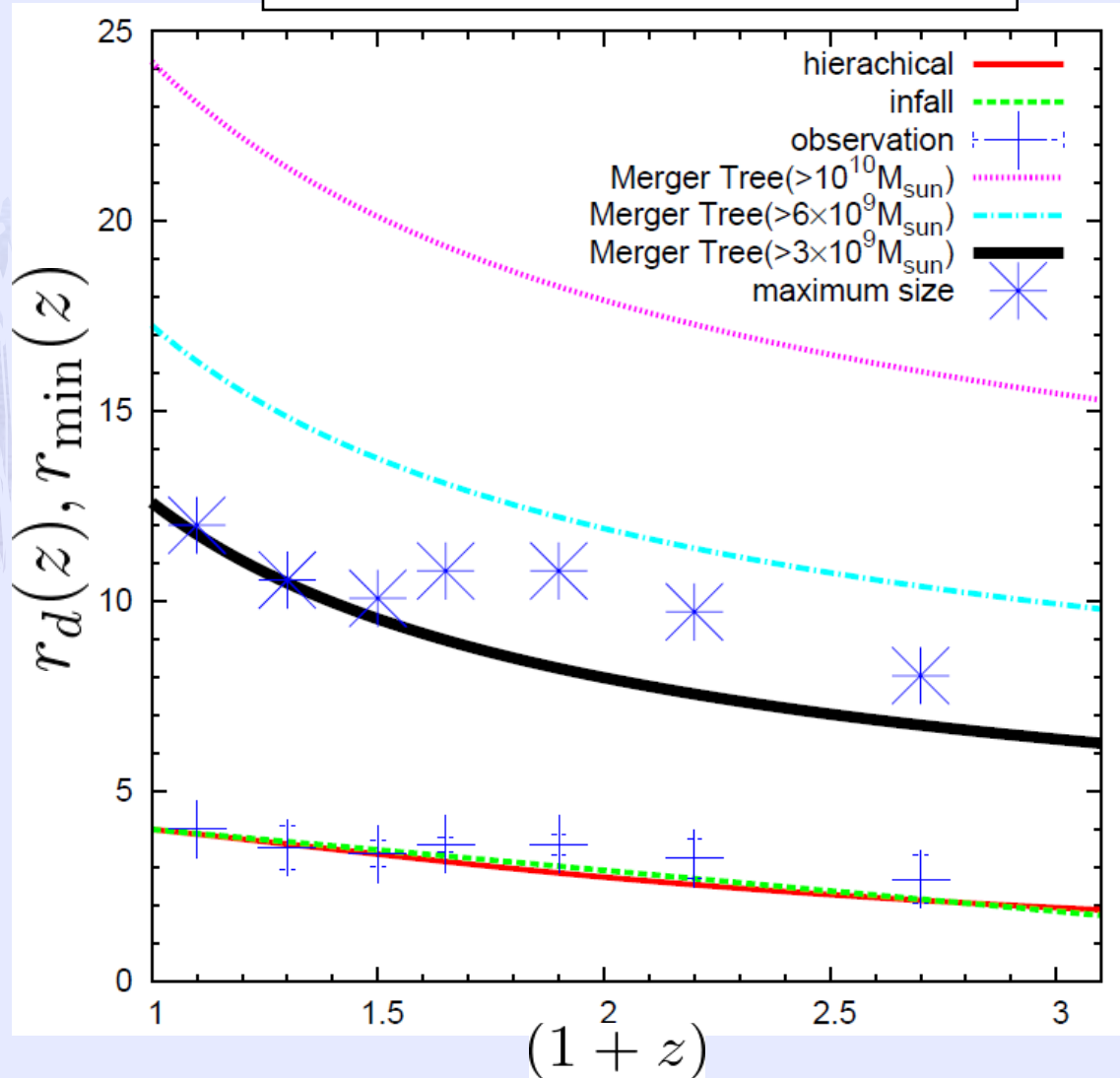


- HierarchicalはMo, Mao & White(1998)の理論モデル
- InfallはBouwens & Silk(2002)の理論モデル
- ObservationはTrujillo et al.(2006)
- ピンクの線はsubhaloの質量が  $>10^{10}M_{\text{sun}}$
- 水色の線はsubhaloの質量が  $>6 \times 10^9 M_{\text{sun}}$
- 黒線はsubhaloの質量が  $>3 \times 10^9 M_{\text{sun}}$

- 線の傾きは質量にはあまり依存しない
- 傾き自体はほぼ理論モデルや観測と一致している

## 3.5 銀河円盤の大きさの制限(2)

### 銀河円盤のsize evolution



- 線の説明は3.2節と同じ
- maximumはsubhaloがdiskに影響を与える最大の半径。ここでは $3r_d$ を仮定。  
( $r_d$ はdisk scale length)

• Subhaloは銀河円盤のsize evolutionに一定の影響を与える

## 4. Conclusion

- ◆ Subhaloが銀河円盤のsize evolutionに一定の影響を与えていることがわかった
- ◆ 特に $\sim 10^{10} M_{\text{sun}}$ 程度の質量の小さな銀河円盤のsize evolutionにsubhaloが強い影響を与える可能性が有ることがわかった