

2021/10/22,23
天体形成研究会

低質量ダークマターサブハローの成長過程

筑波大学 宇宙物理理論研究室
M2 数野 優大

共同研究者：森 正夫, 大滝 恒輝 (筑波大学)

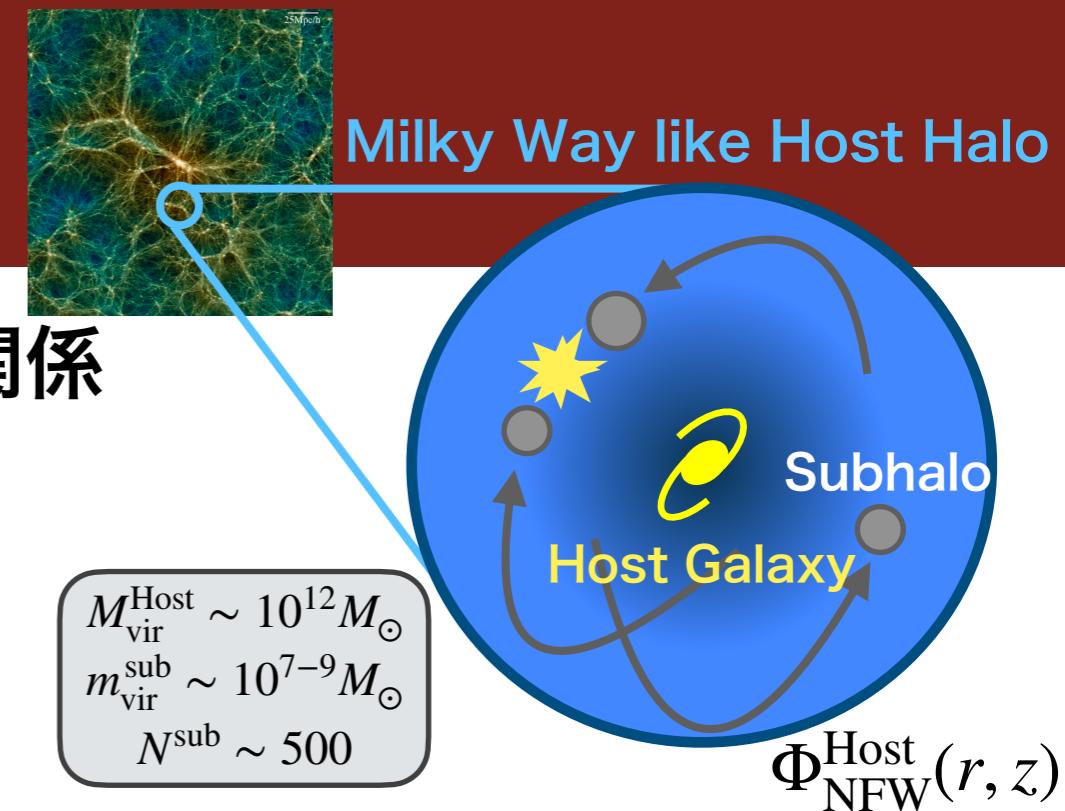
1. Introduction

ダークマターハローの進化と衝突頻度の関係

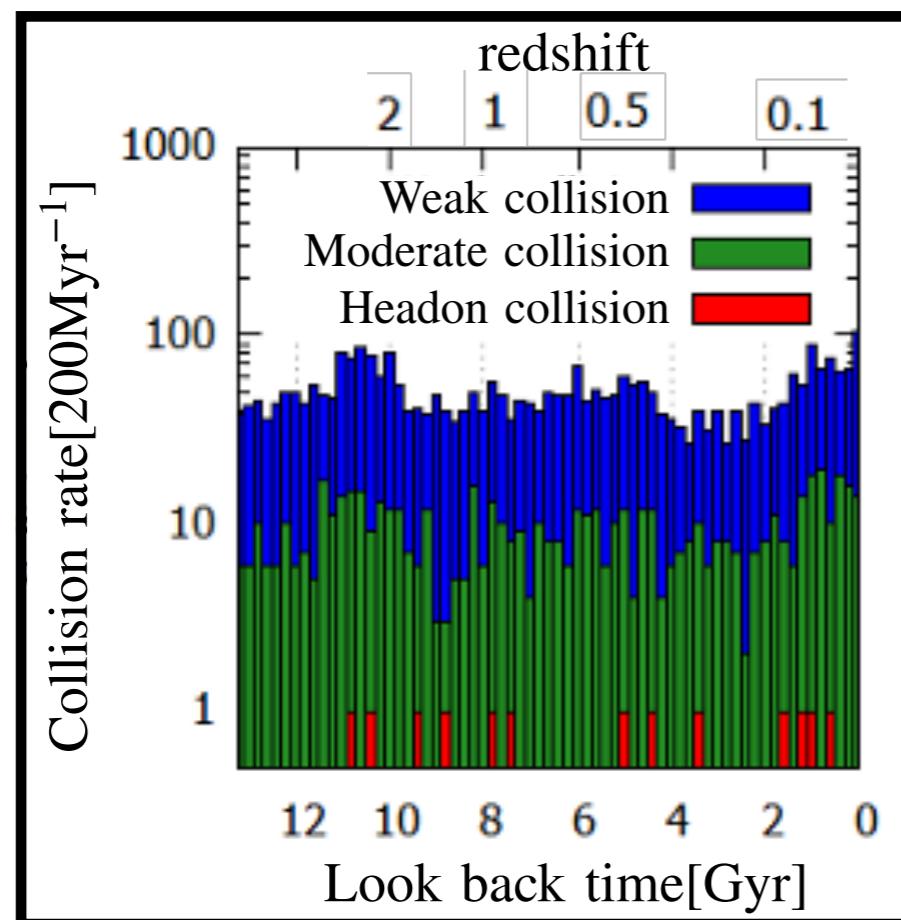
Milky Way ダークマターハローの質量進化関数

$$M_{\text{vir}}^{\text{Host}}(z) = M_{\text{vir}}^{\text{Host}}(0) \cdot \exp(-2a_c z), \quad a_c = 0.34$$

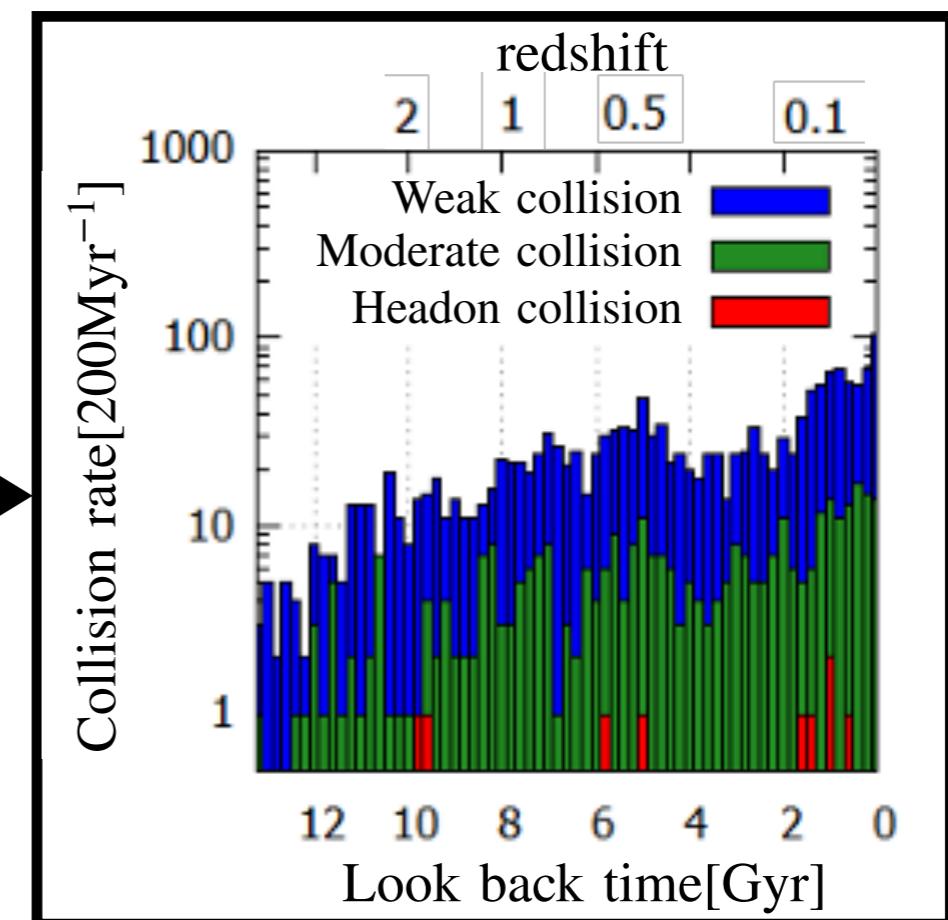
(Wechsler et al. 2002, Miyoshi & Chiba. 2020)



Host halo質量時間進化なし



Host halo質量時間進化あり

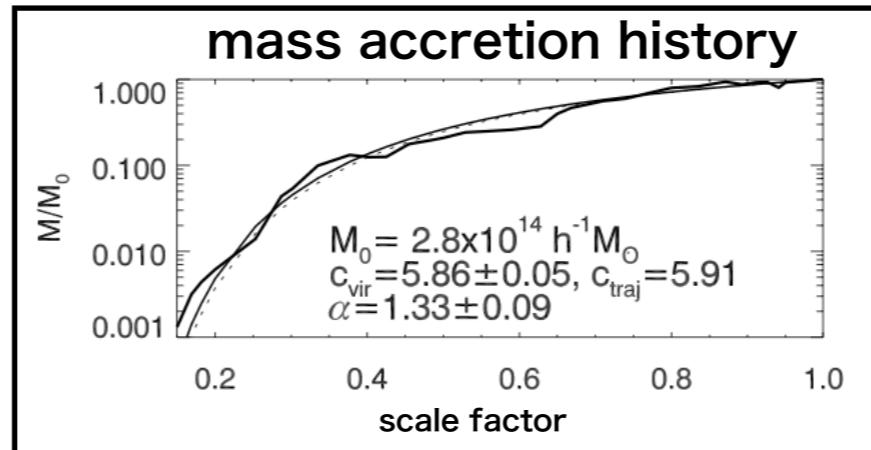


Host haloの時間進化がSubhaloの衝突頻度に大きな影響を与えていていることが判明。

1. Introduction

ダークマター halo の成長に関する先行研究① (Wechsler et al. 2002)

- ◆ 宇宙論的N体シミュレーション(質量分解能 $10^9 M_\odot$)の結果から、個々のダークマター halo の“mass accretion history”を作成。



Wechsler et al. 2002

- ◆ 成長速度を決定する“formation epoch”を定義。

mass accretion historyの探索から、Wechslerらはhalo massとredshiftの間に、

$$M(z) = M_0 \cdot \exp(-\alpha z)$$

が成り立つことを見つけ、このパラメータ α からダークマター halo の進化速度を決定づけるパラメータ(**formation epoch**) a_c を、

「ダークマター halo の質量降着率の幕がある値 S を下回るときのスケールファクター」として定義。つまり、

$$\frac{d \log M}{d \log a} = \frac{\alpha}{a} \quad \therefore \frac{\alpha}{a_c} \equiv S \iff \alpha = S a_c, \quad M(z) = M_0 \cdot \exp(-S a_c z)$$

formation epochは観測時刻に依らず決まる個々のダークマター halo に固有の量。

- ◆ $10^{12-14} M_\odot$ のホストダークマター halo の成長過程について議論。

1. Introduction

ダークマターハローの成長に関する先行研究② (McBride et al. 2009)

◆ Wechsler et al. 2002によるfitting関数を, exponential + power law型へ拡張

• mass accretion history

$$M(z) = M_0(1+z)^\beta \exp(-\gamma z) \quad (\beta \leq 0, \gamma > 0)$$

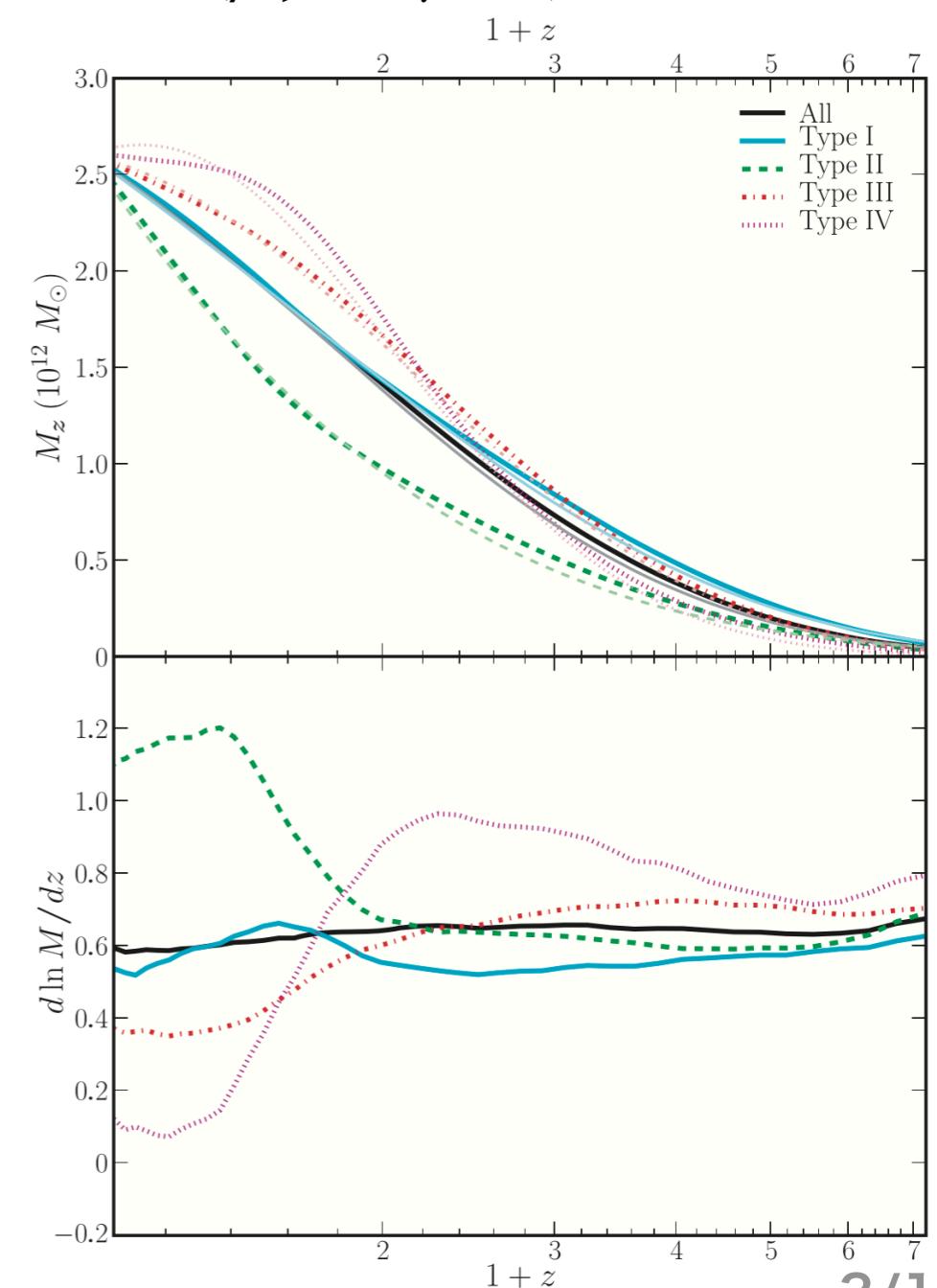
• mass accretion rate

$$\frac{d \ln M(z)}{dz} = \frac{\beta}{1+z} - \gamma$$

◆ Millennium Simulation(Springel et al. 2005)で得られた500,000のサンプルを使って, ダークマターハローをフリーパラメータ(β, γ)をもとに4つに分類分け

Type	Criteria	Characteristics
I	$\beta < 0.35$	Good exponential
II	$\beta - \gamma < -0.45$	Steep late growth
III	$-0.45 < \beta - \gamma < 0$	Shallow late growth
IV	$\beta - \gamma > 0$	Late plateau/decline

◆ $10^{12-14} M_\odot$ のホストダークマターハローの成長過程を, タイプ別に議論.



1. Introduction

ダークマターハローの成長に関する先行研究② (McBride et al. 2009)

◆ Wechsler et al. (2007)

• mass

• mass

宇宙論的N体シミュレーションの質量分解能の制限から、
矮小銀河程度の質量を持ったダークマターサブハローの
成長についてはまだ調べられていない。

◆ Millennium Simulation(Springel et al. 2005)で得られた
500,000のサンプルを使って、ダークマターハローを
分類する

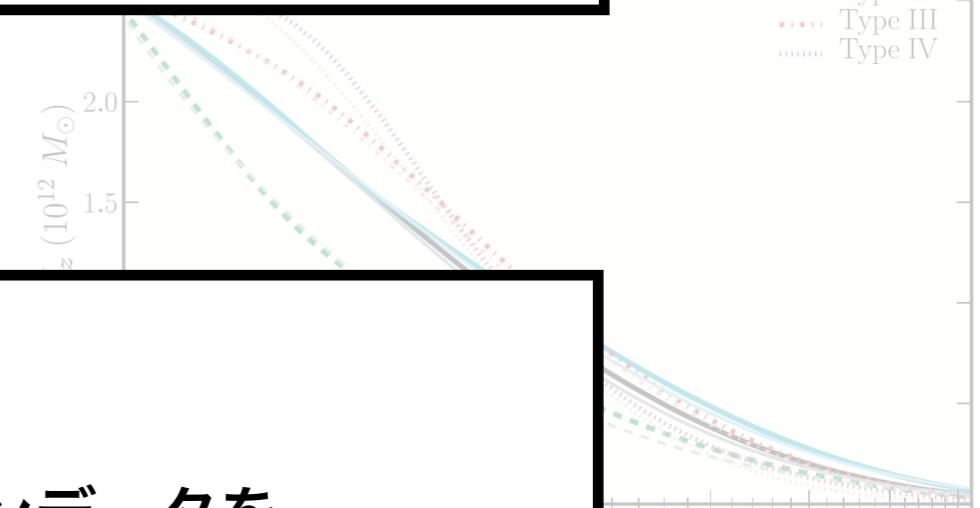
Type

I

II

III

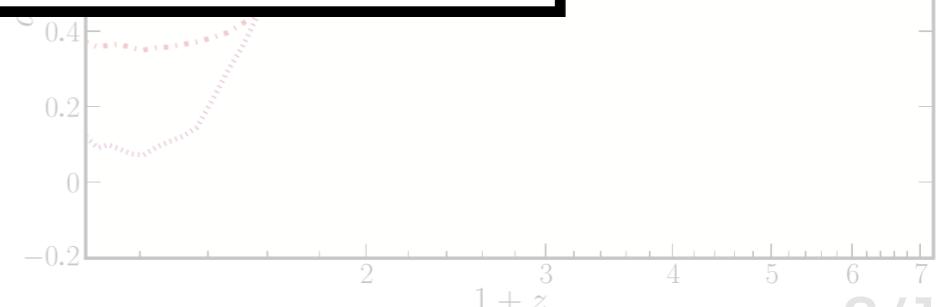
IV



【研究の目的】

最新の宇宙論的N体シミュレーションデータを
用いて先行研究と同様の解析を行い、
低質量ダークマターサブハローの成長過程を調べる。

◆ $10^{12-14} M_\odot$ のホストダークマターハローの成長過程を、
タイプ別に議論。



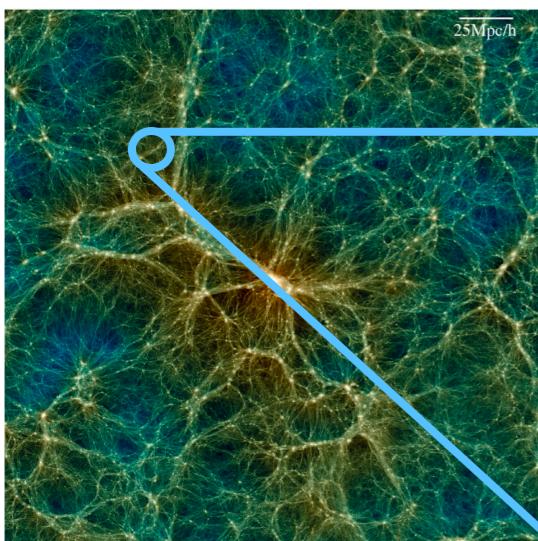
2. Research

Cosmological N-body Simulation

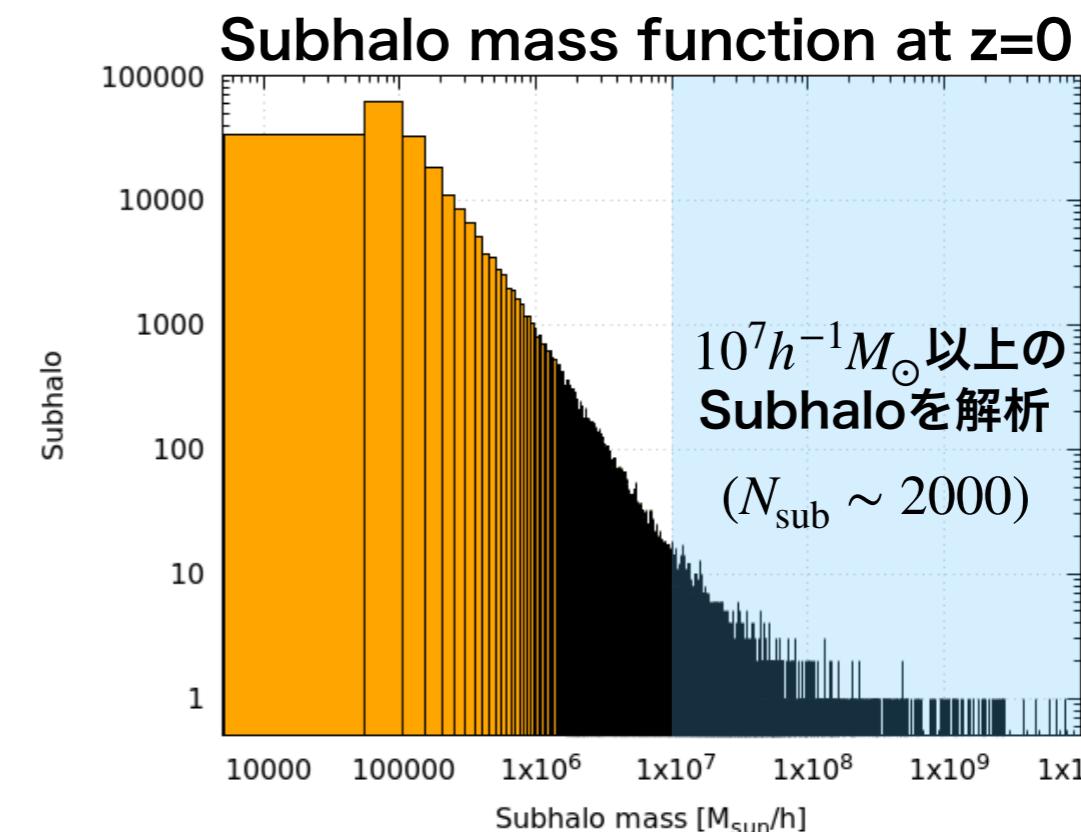
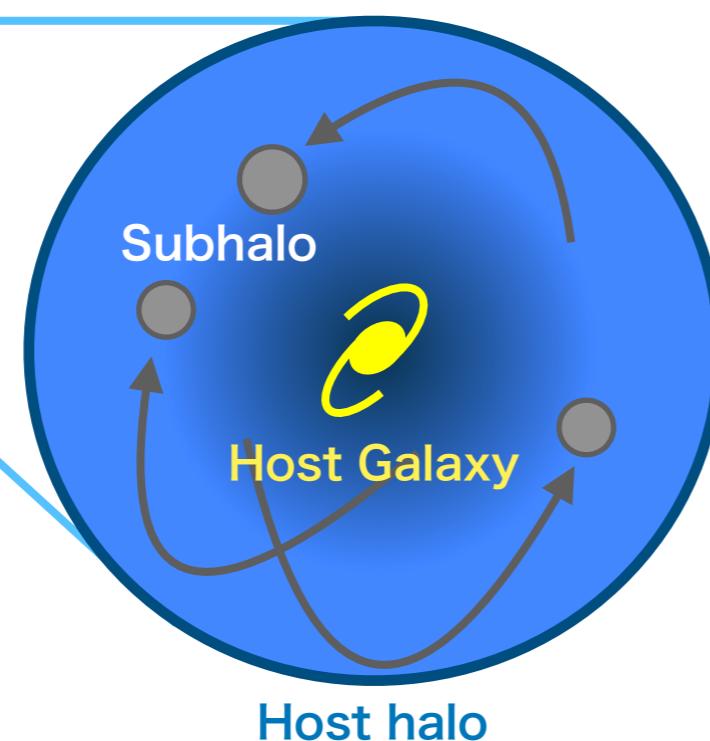
Simulation name	Box length [$h^{-1}\text{Mpc}$]	total number of particles	particle mass [$h^{-1}M_{\odot}$]	merger tree data	reference
Uchu	2000.0	12800^3	3.27×10^8		Ishiyama+2021
Shin-Uchuu	140.0	6400^3	8.97×10^5		Ishiyama+2021
Phi-4096	16.0	4096^3	5.13×10^3	$z = 30 \sim 0$	Ishiyama+2021
(Wechsler+2002)	60.0	256^3	1.1×10^9	$z = 7 \sim 0$	Bullock+2001
(McBride+2009)	500.0	2160^3	8.76×10^8	$z = 6 \sim 0$	Springel+2005

◆ z=0の全シミュレーション領域から,

- MWサイズ($5 \times 10^{11} < M_{\text{vir}}[M_{\odot}] < 3 \times 10^{12}$)のhalo → Host halo
- 各Host haloのビリアル半径の2倍以内に存在するhalo → Subhalo



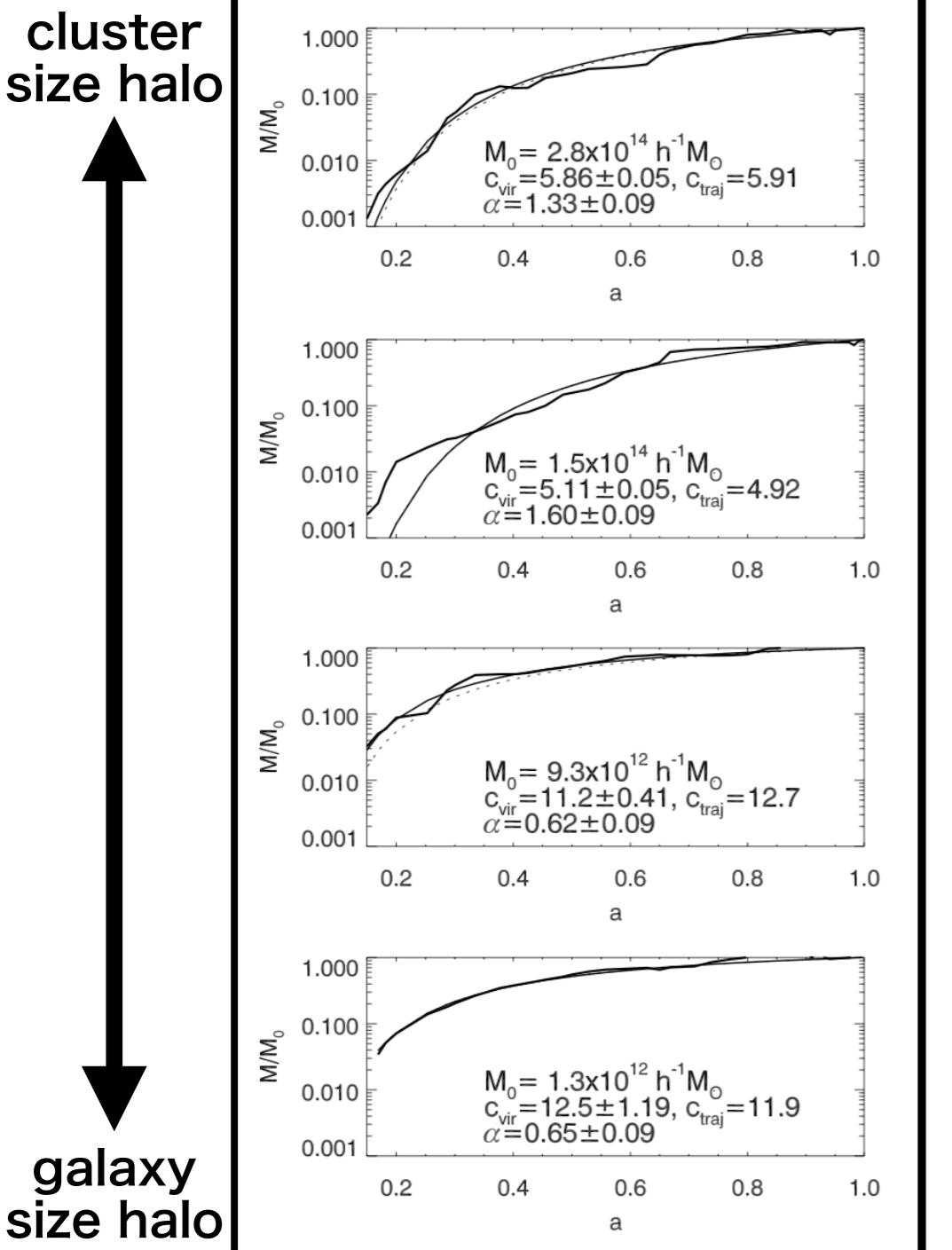
Phi-4096



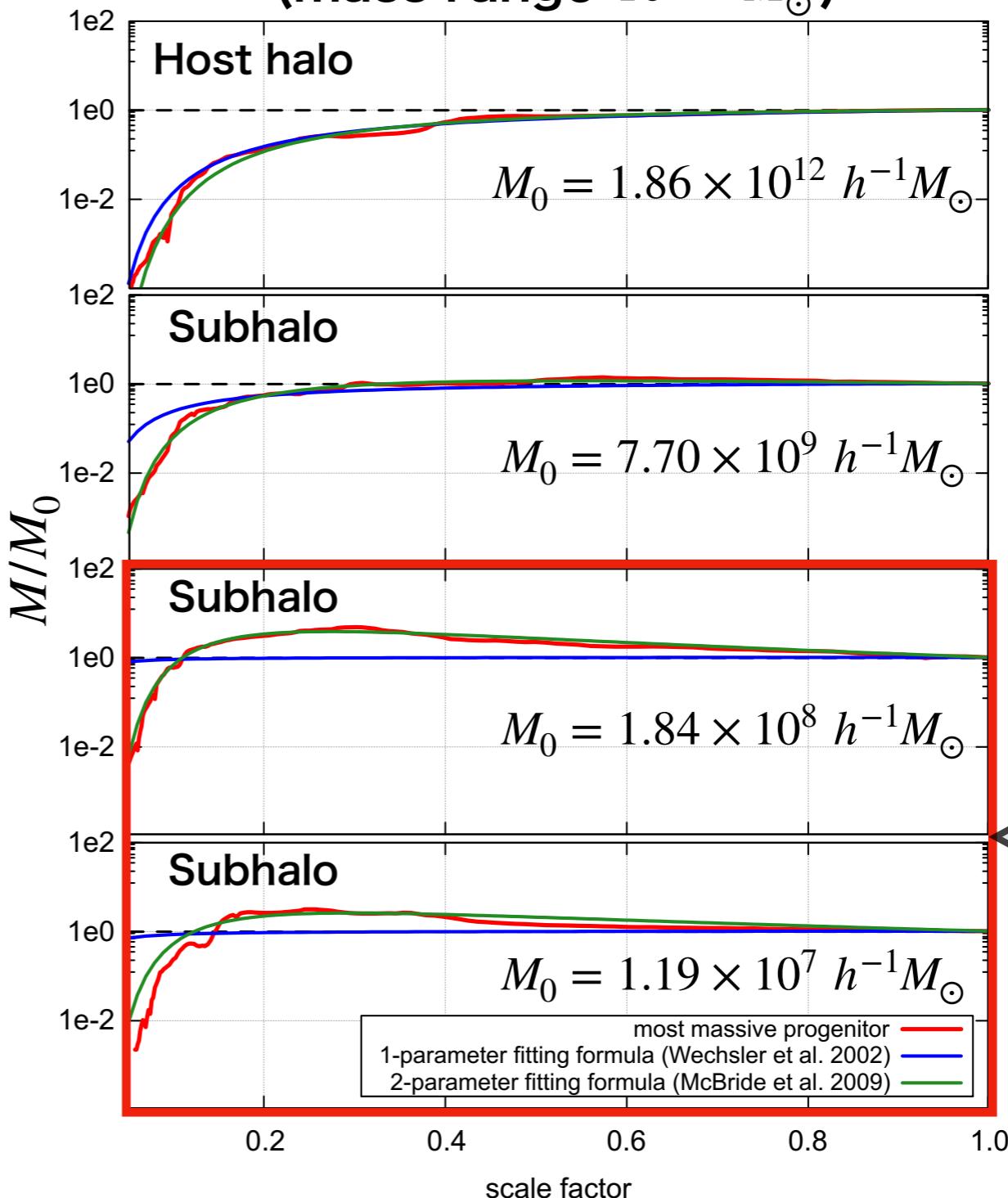
3. Results

mass accretion history

Wechsler et al. 2002
(mass range $10^{12-14} M_{\odot}$)



this work
(mass range $10^{7-10} M_{\odot}$)



fitting formula

$$M(z) = M_0 \exp(-\alpha z)$$

(Wechsler et al. 2002)

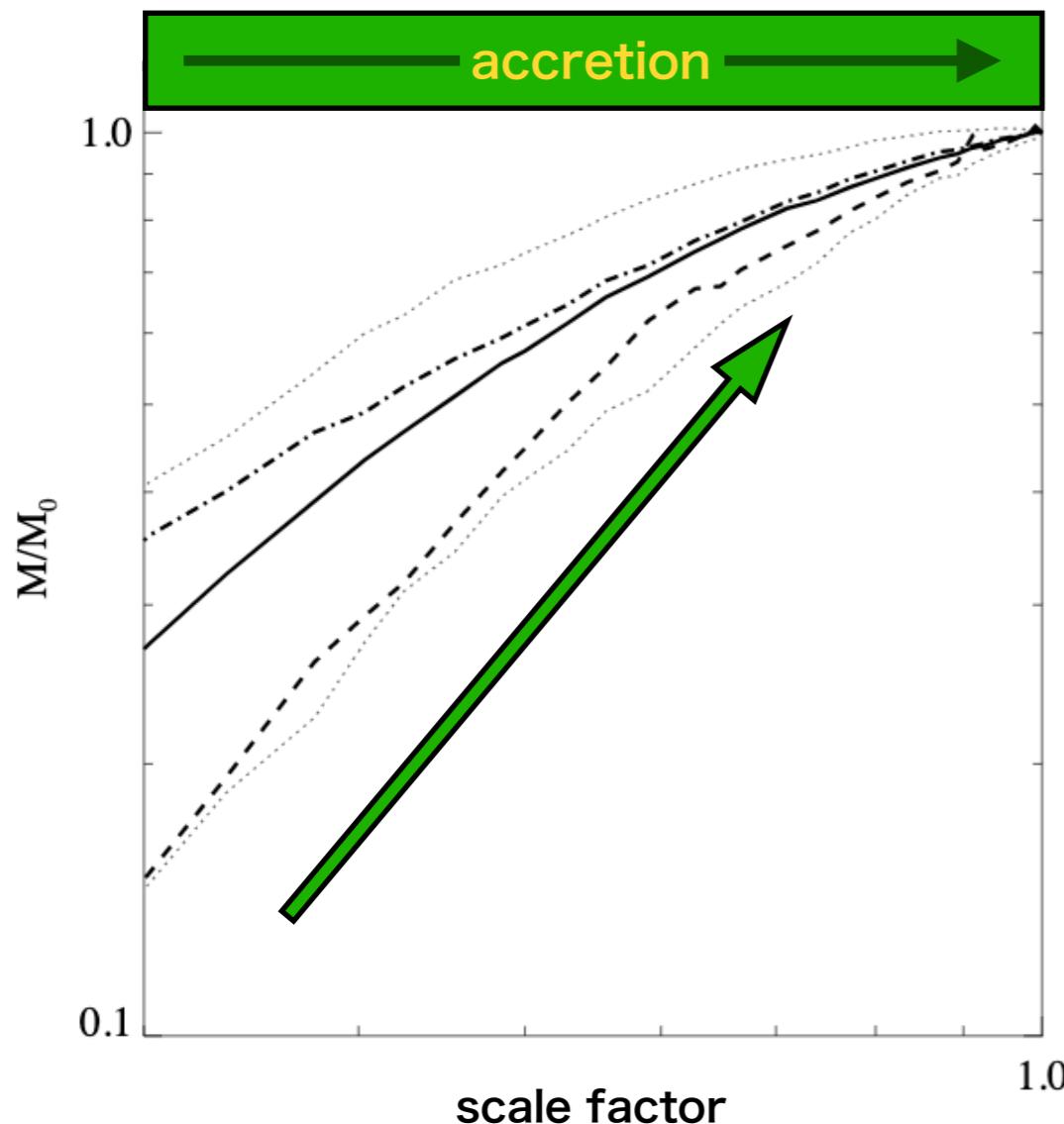
$$M(z) = M_0(1 + z)^{\beta} \exp(-\gamma z)$$

(McBride et al. 2009)

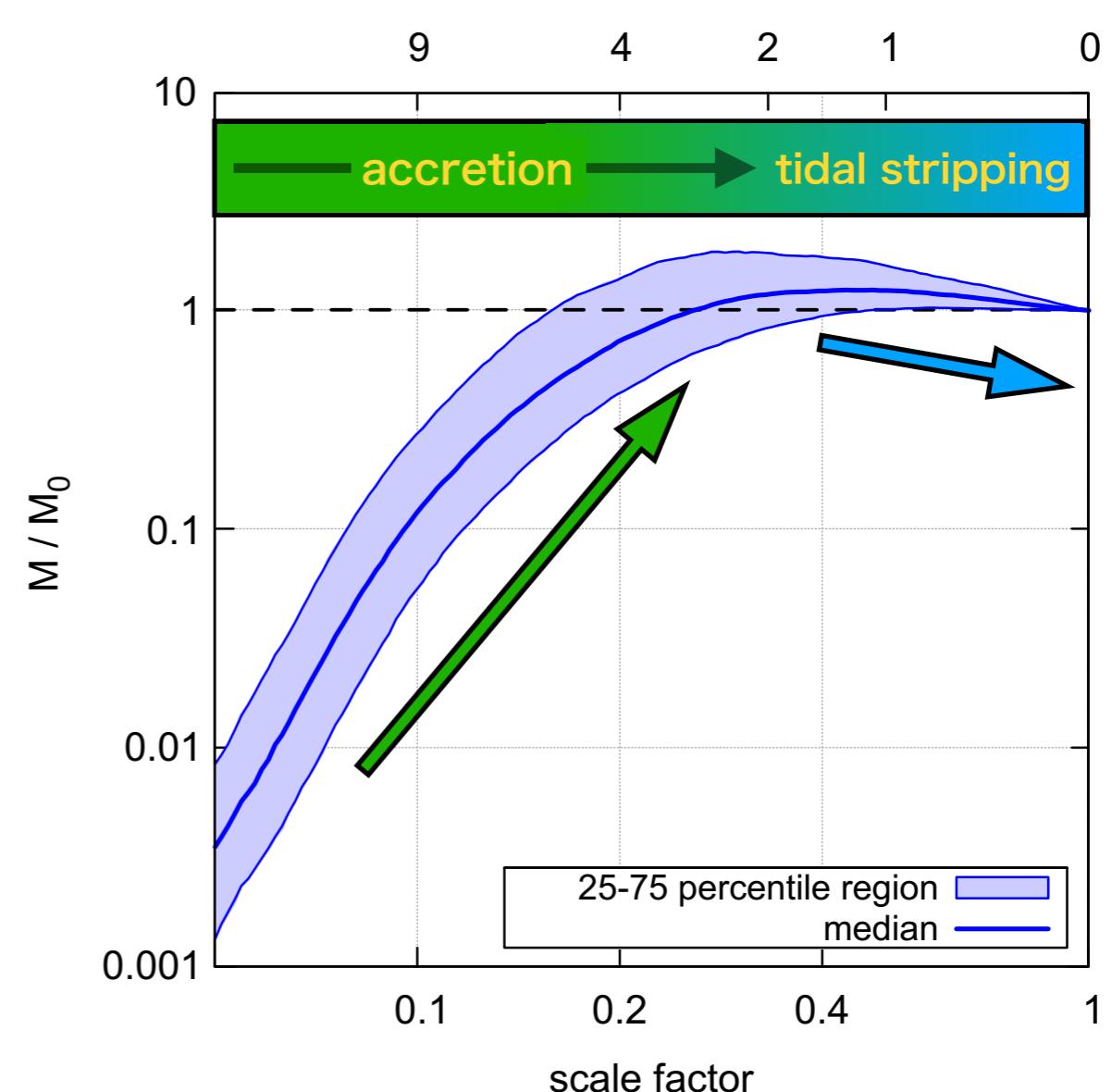
3. Results

mass accretion history

Wechsler et al. 2002
(mass range $10^{12-14} M_{\odot}$)



this work
(mass range $10^{7-10} M_{\odot}$)

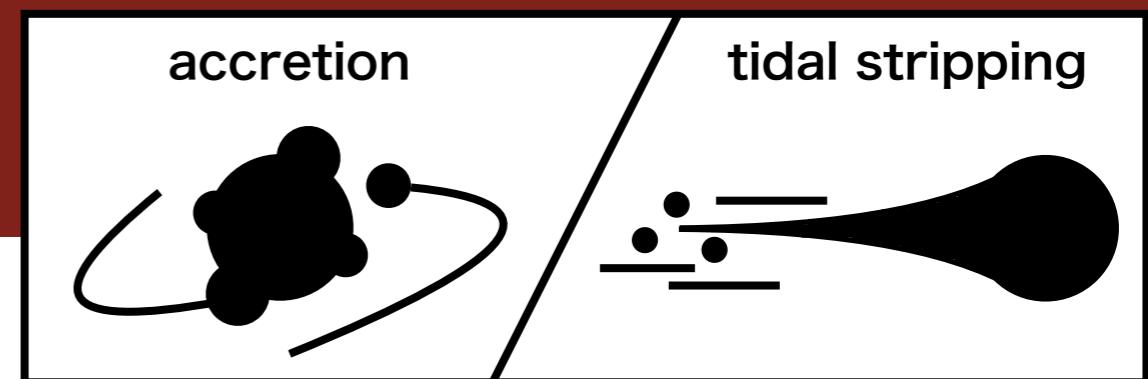
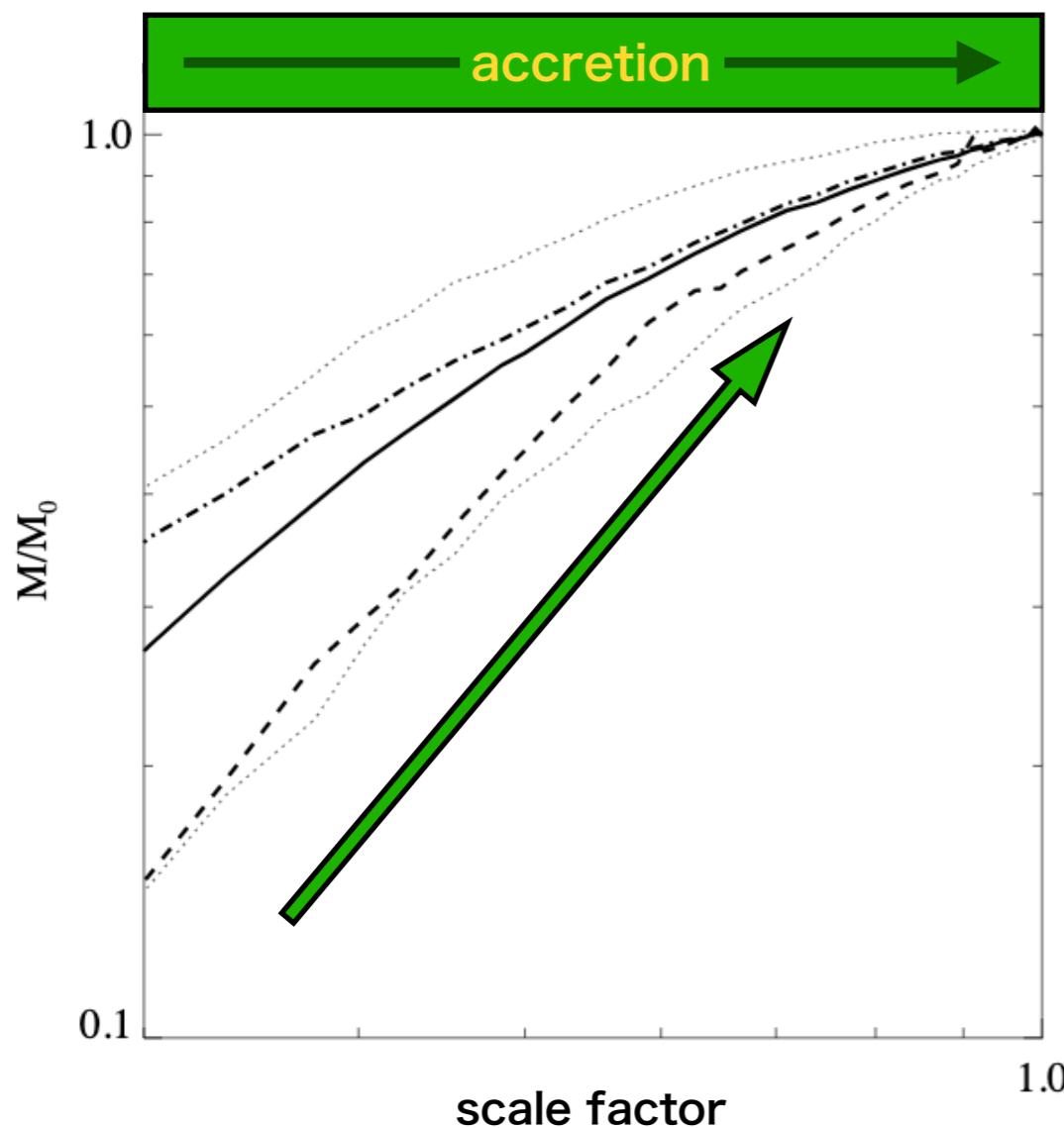


低質量ダークマターハローではHost haloのポテンシャルの進化に伴い、
質量変化率の逆転が生じる。

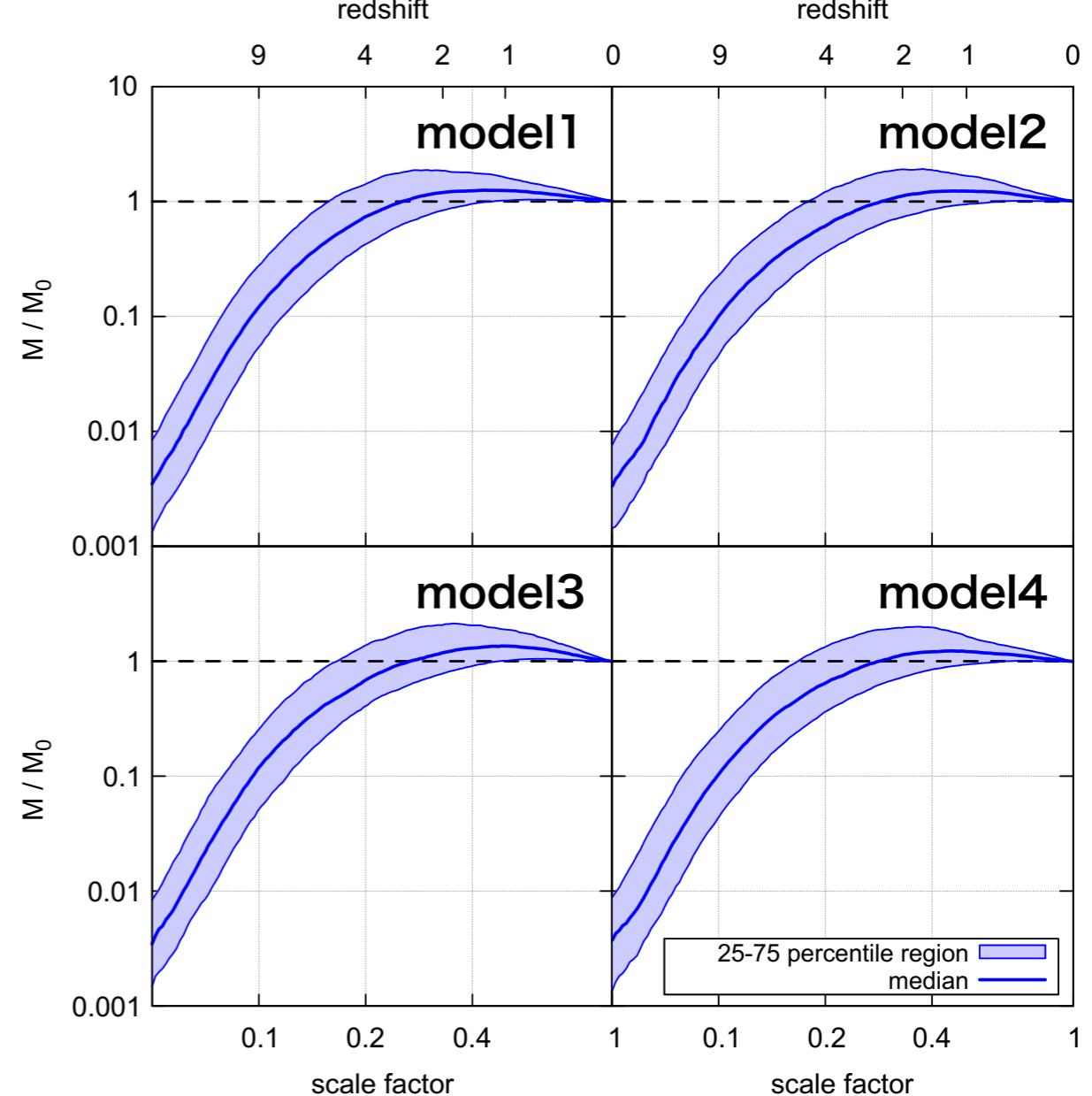
3. Results

mass accretion history

Wechsler et al. 2002
(mass range $10^{12-14} M_{\odot}$)



this work
(mass range $10^{7-10} M_{\odot}$)

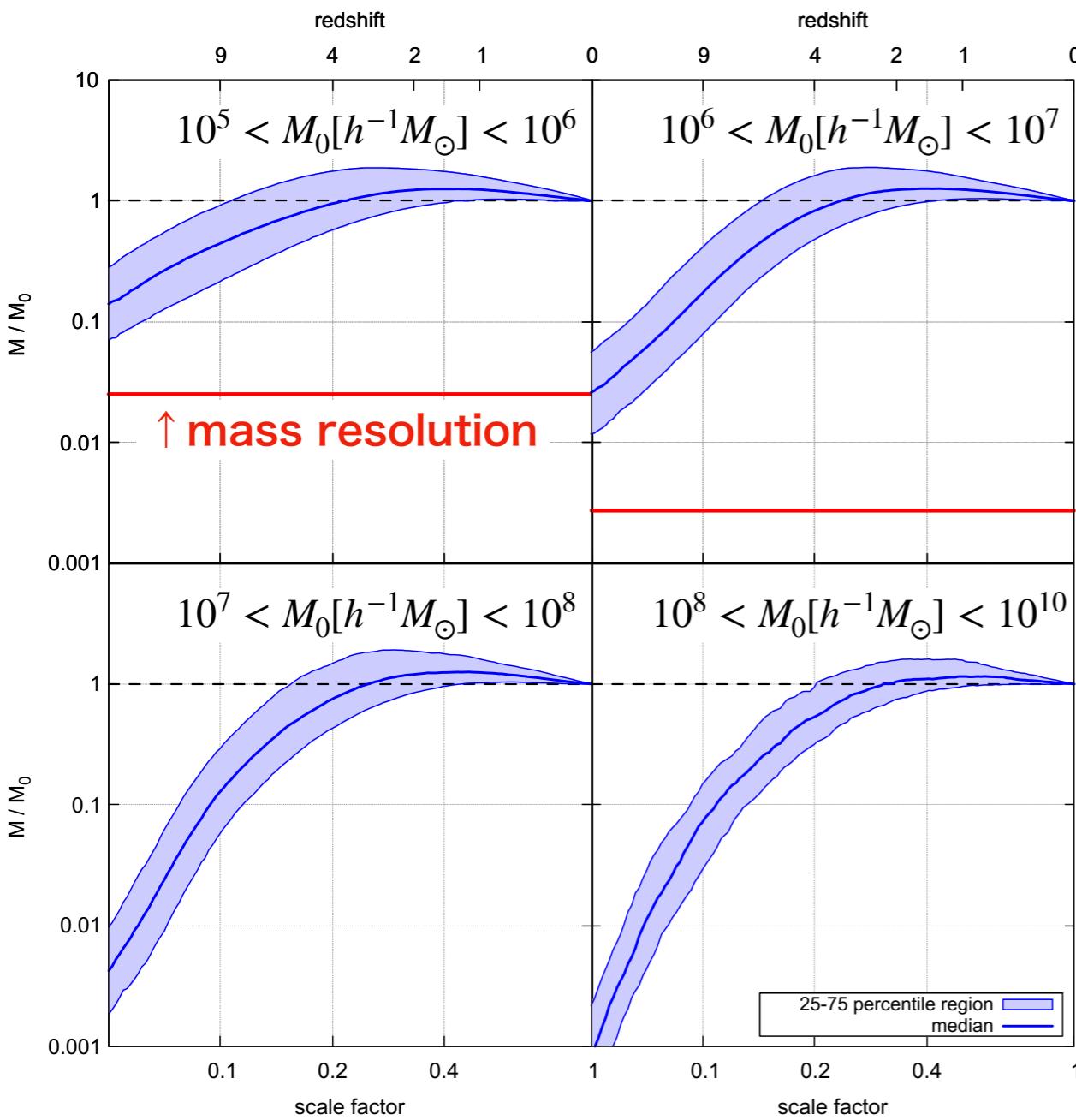


低質量ダークマターハローではHost haloのポテンシャルの進化に伴い、
質量変化率の逆転が生じる。

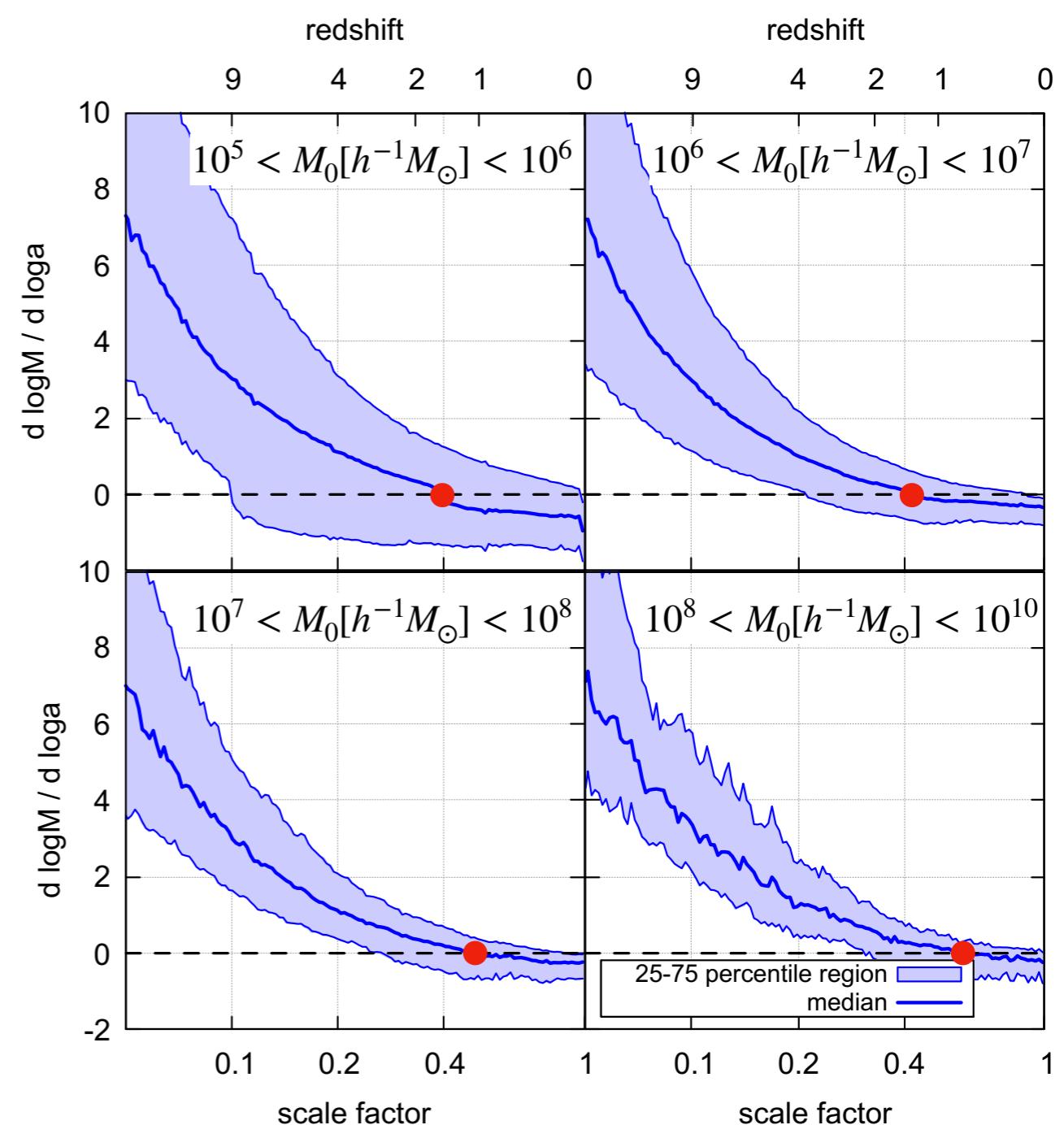
3. Results

mass accretion history

mass accretion history



mass accretion rate



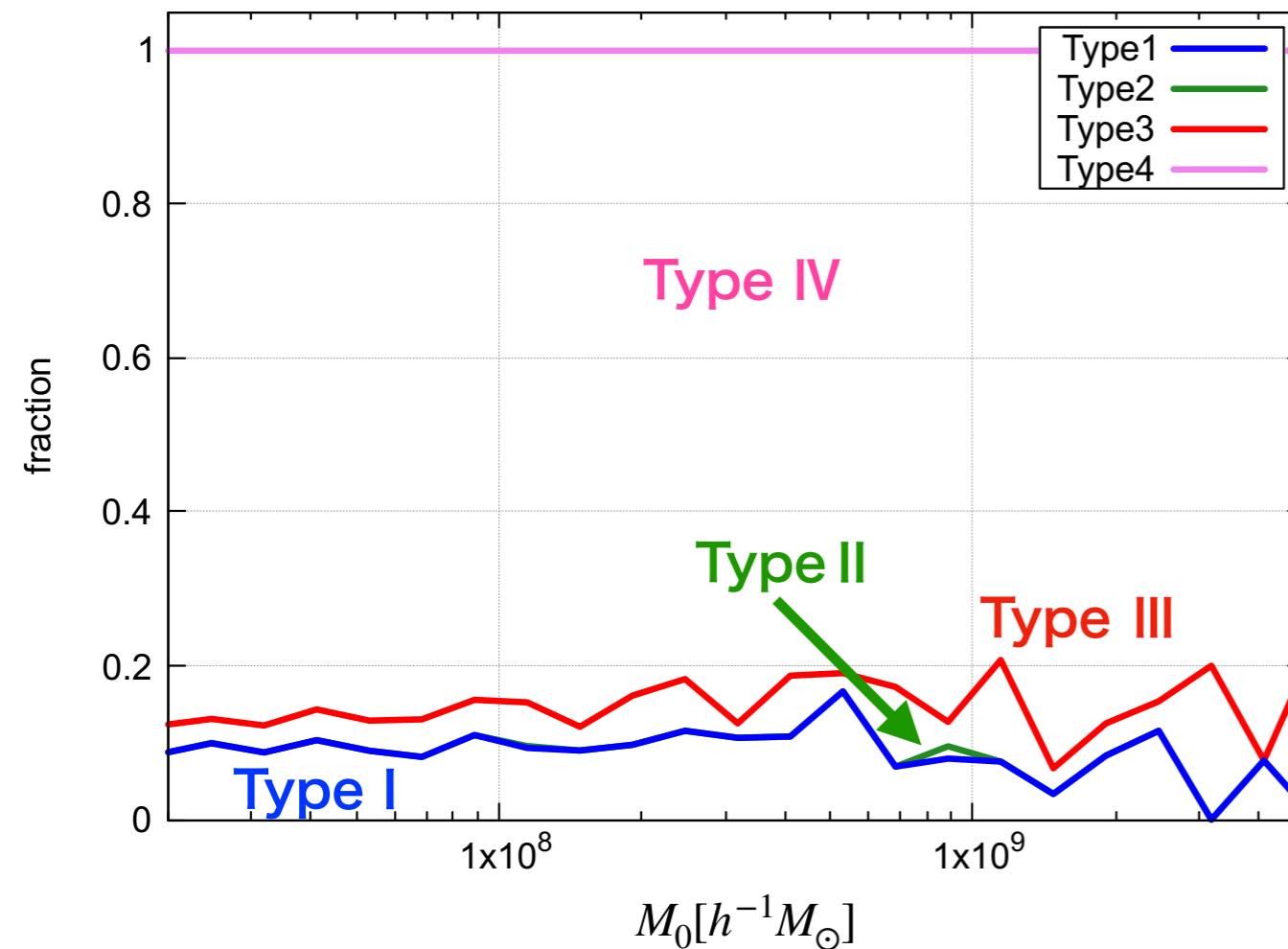
3. Results

成長タイプの質量依存性

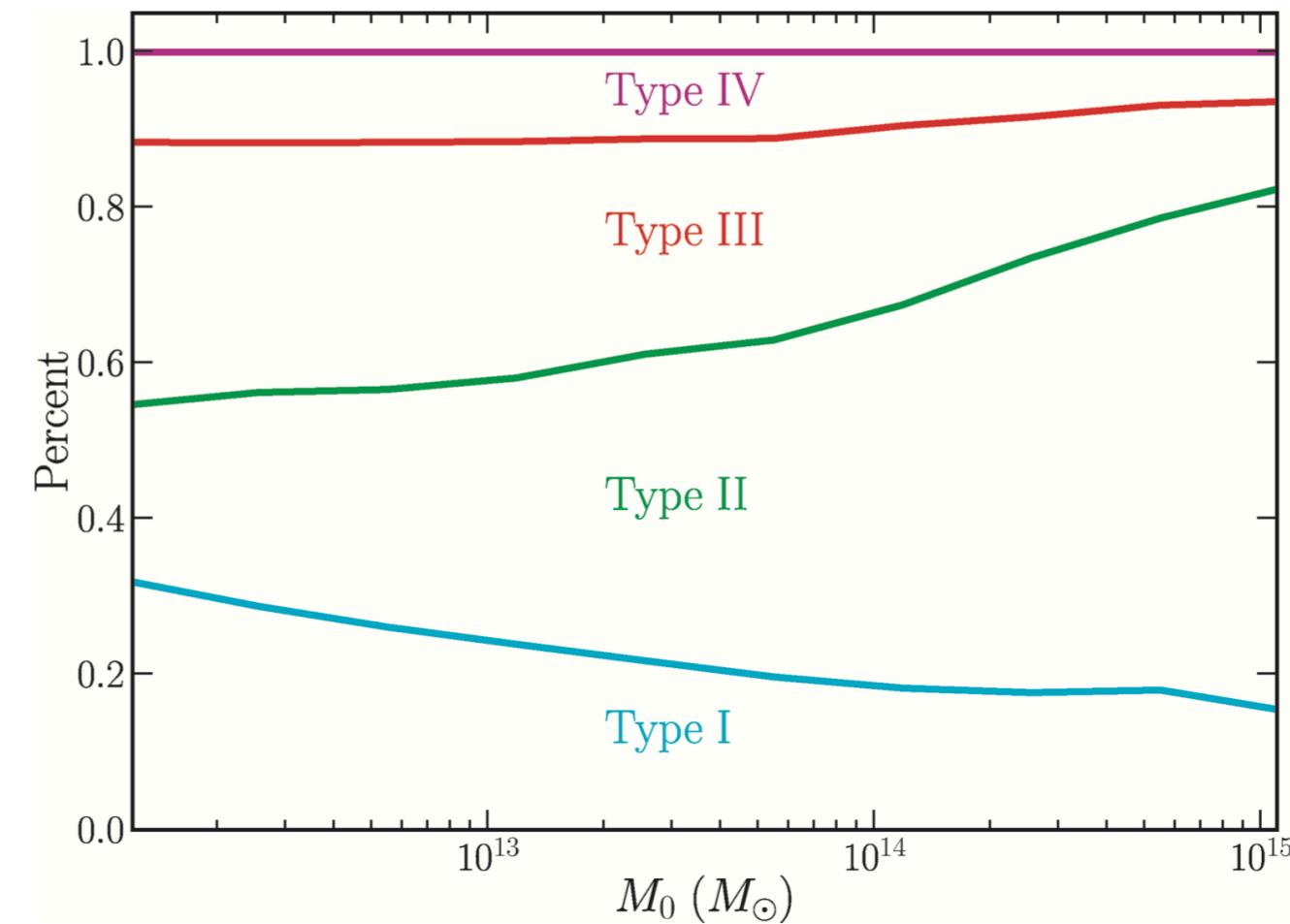
Type	Criteria	Characteristics
I	$\beta < 0.35$	Good exponential
II	$\beta - \gamma < -0.45$	Steep late growth
III	$-0.45 < \beta - \gamma < 0$	Shallow late growth
IV	$\beta - \gamma > 0$	Late plateau/decline

McBride et al. 2009

this work
(mass range $10^{7-10} M_{\odot}$)



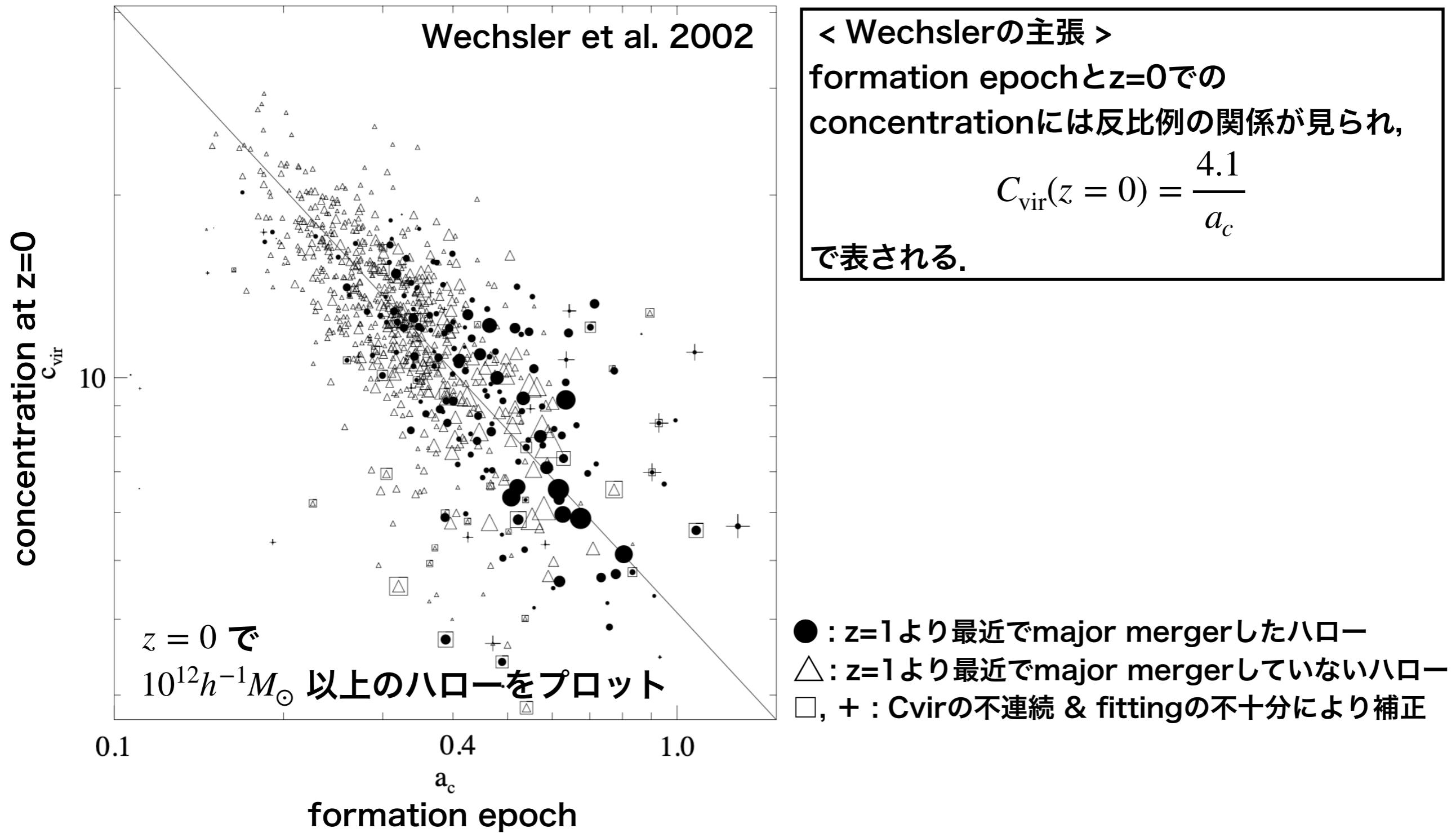
McBride et al. 2009
(mass range $10^{12-14} M_{\odot}$)



McBride et al. 2009によるタイプ分けに従うと、低質量のダークマターハローは Type4が支配的である。一方でType II がほとんど存在していないことは先行研究と矛盾無い。

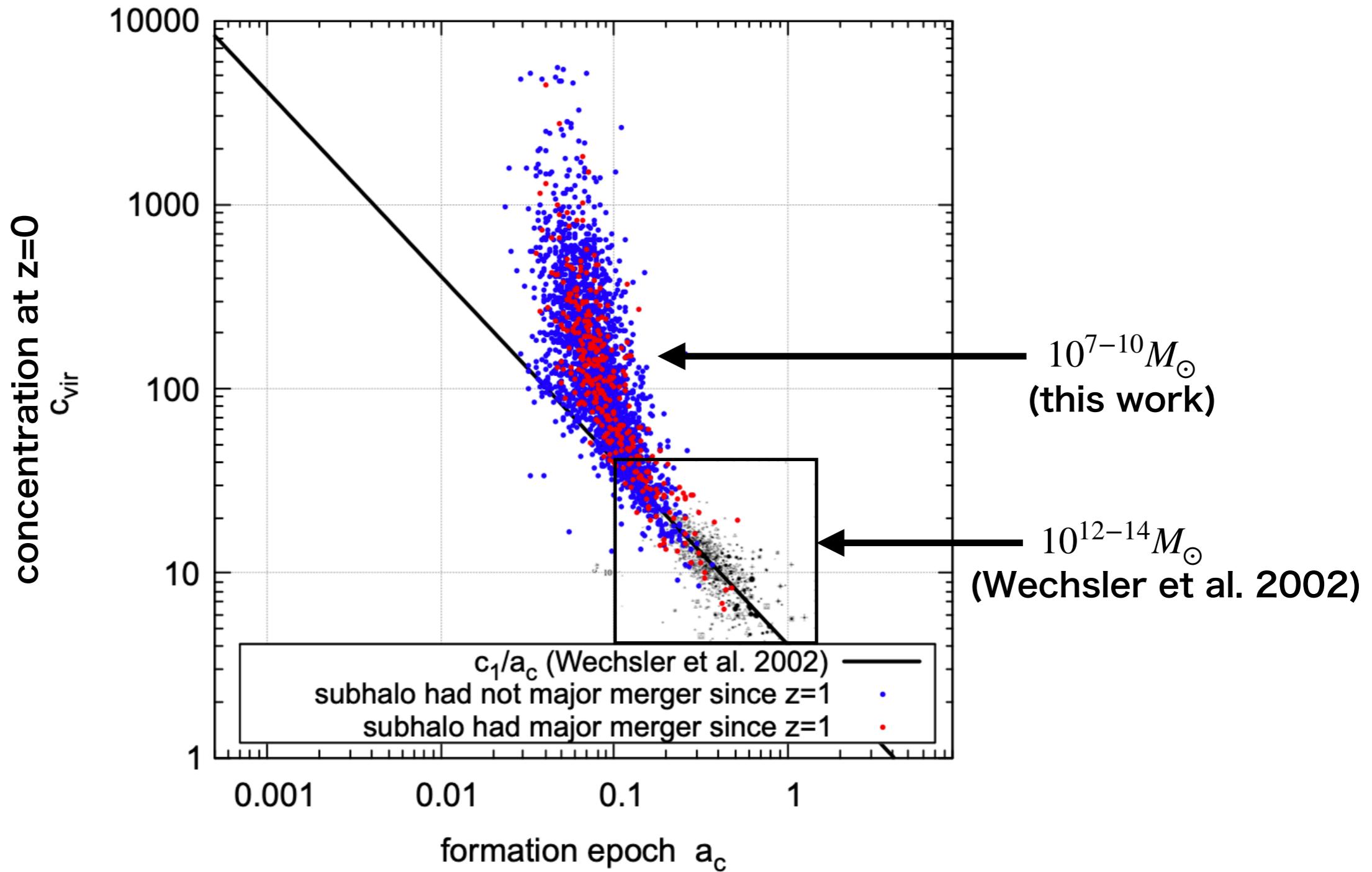
3. Results

ダークマター halo の形状と成長の関係



3. Results

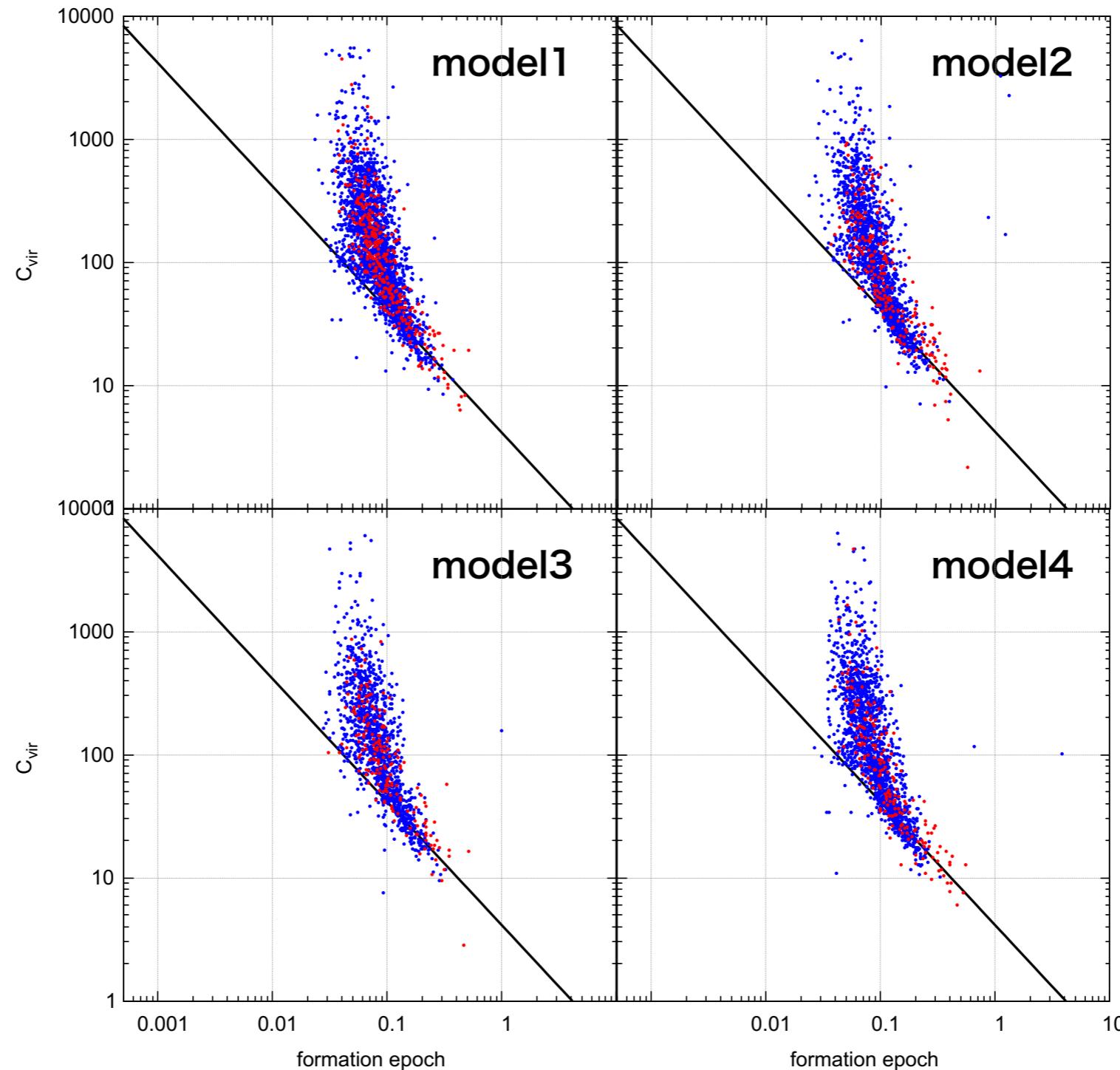
ダークマターハローの形状と成長の関係



低質量ダークマターハローは先行研究とは別の系列へ変化していくことを発見。

3. Results

ダークマターハローの形状と成長の関係



低質量ダークマターハローは先行研究とは別の系列へ変化していくことを発見。

4. Summary

- ◆ 矮小銀河程度の質量を持つ低質量ダークマターハローの成長過程を調べる為, 質量分解能 $10^3 M_\odot$ の高分解能宇宙論的N体シミュレーションを用いて先行研究と同様の解析を行なった.
- ◆ 低質量ダークマターハローのmass accretion historyは先行研究と異なり, $z=1-2$ 付近を境に質量変化率の逆転が生じる. これは低質量ダークマターハローの成長を支配する物理過程がaccretionよりもHost haloの進化に伴うtidal strippingが優勢になるためと考えられる.
- ◆ ダークマターハローの進化速度を決定するformation epochと, 形状を決定するconcentrationの関係は, 先行研究とは別の流れが見られる.