



宇宙論的dry mergerシミュレーションによる銀河団銀河のサイズ進化

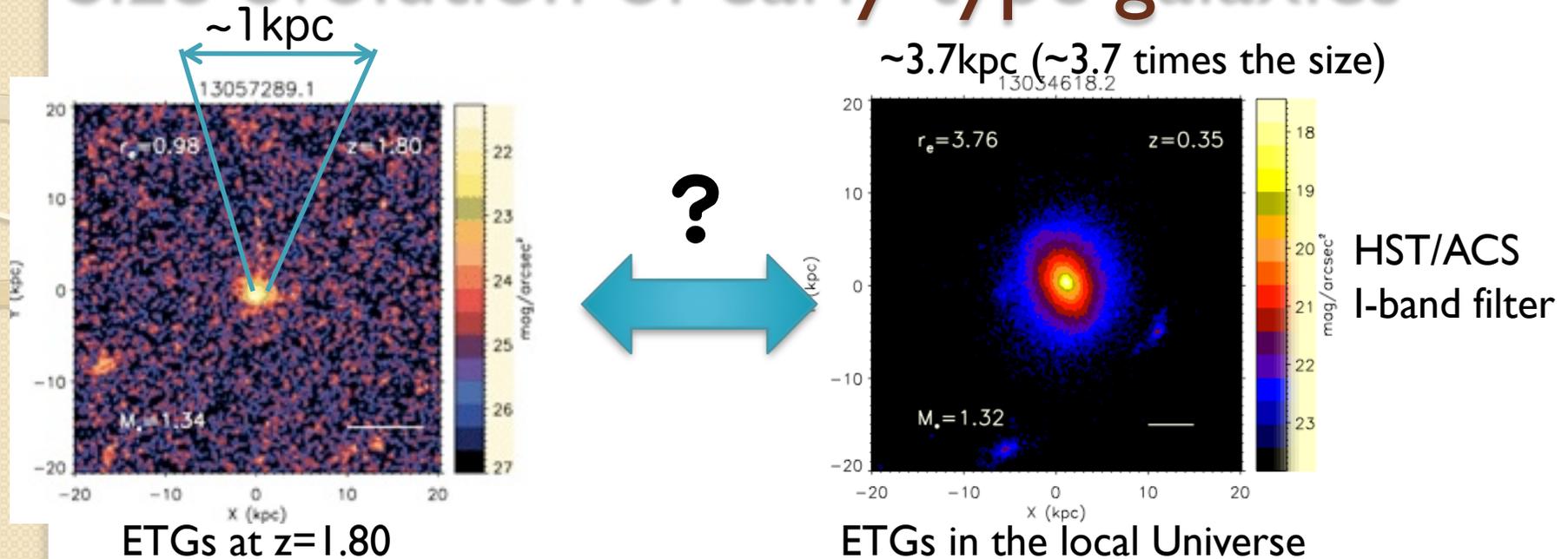
大木平、羽部朝男 (北海道大学)

石山智明 (筑波大学)

Outline

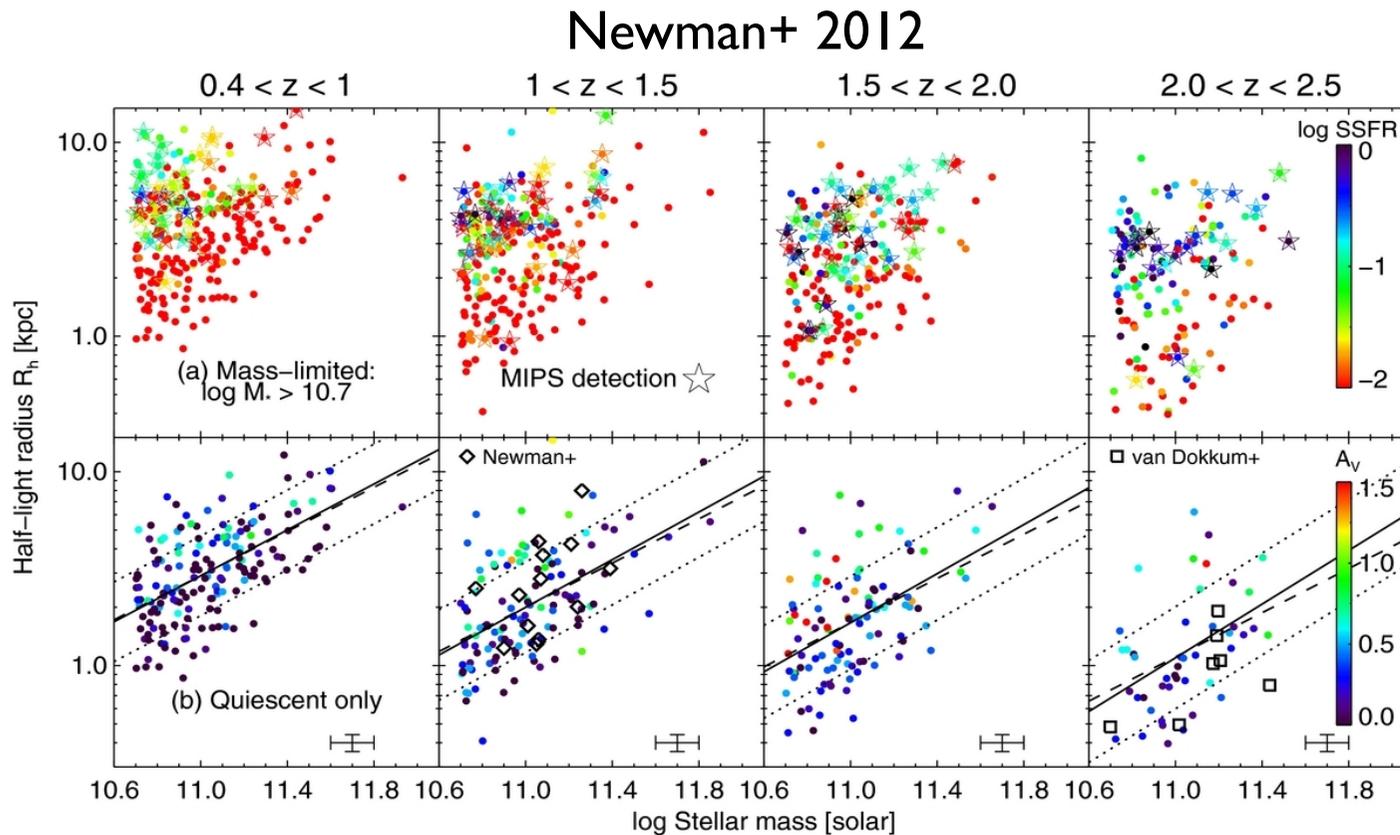
- 早期型銀河のサイズ進化問題
 - Stellar mass-size relation at high redshift
- Dry minor mergerシナリオ
- 本研究の目的
- N体シミュレーション
- 結果
 - Stellar mass-size relation
 - 観測との比較
 - Stellar mass-velocity dispersion
- まとめ

Size evolution of early-type galaxies



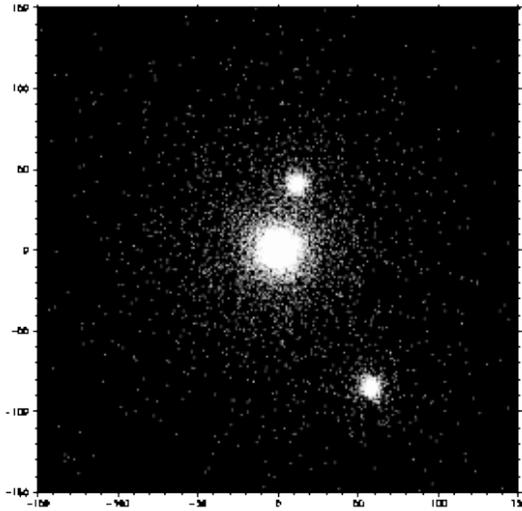
- High- z Early-Type Galaxies (hereafter ETGs)
 - but already massive ($\sim 10^{11} M_{\text{sun}}$)
 - old stellar population
 - Quiescent in star formation activity (gas-poor?)
 - **Compact**
- Compact massive ETGs are very rare in the local Universe (Taylor+ 2010)

Stellar mass-size relation at high-z

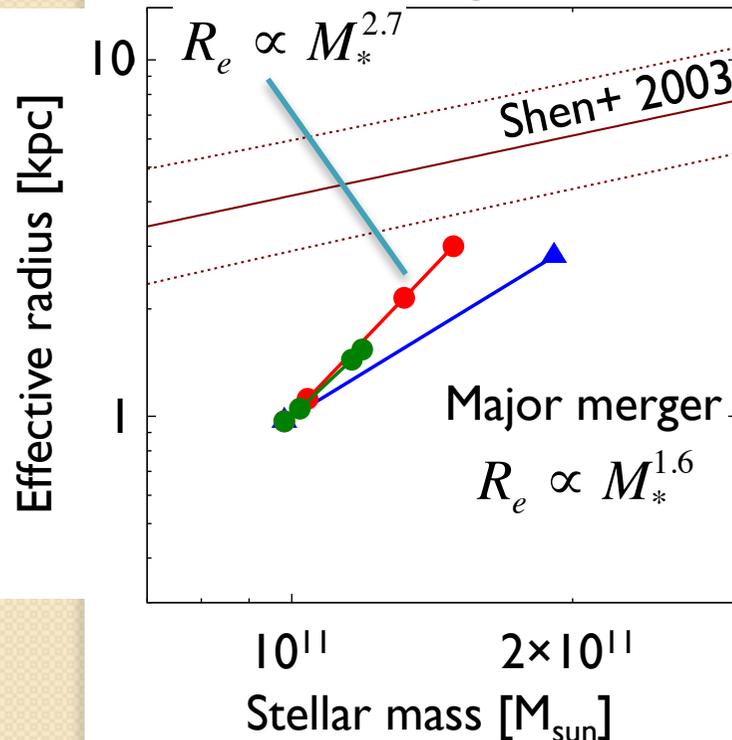


- High-z では、平均的サイズが小さくなるが、mass-size relationのベキはあまり変わらない

Dry minor merger シナリオ



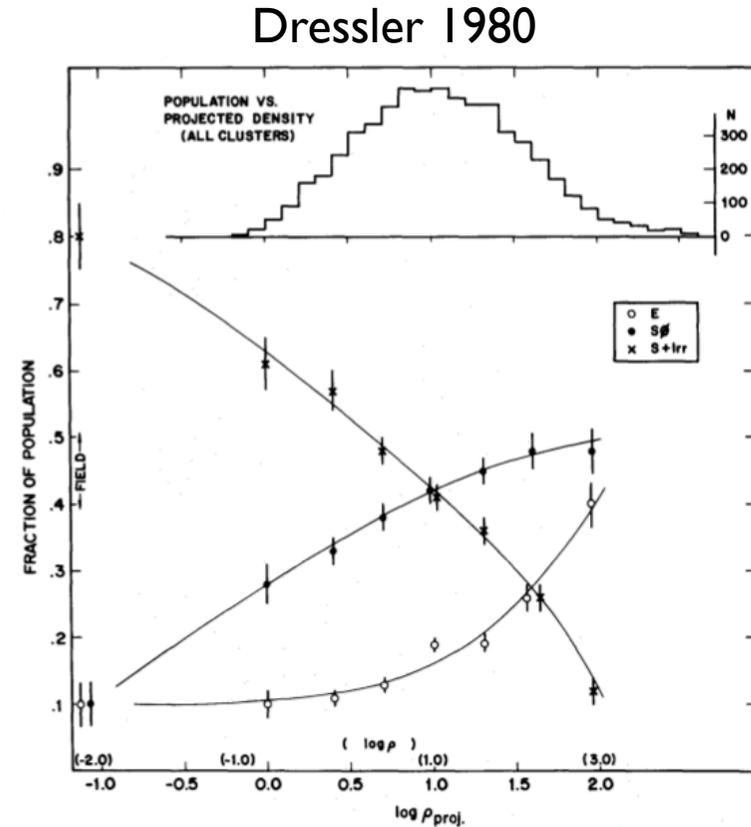
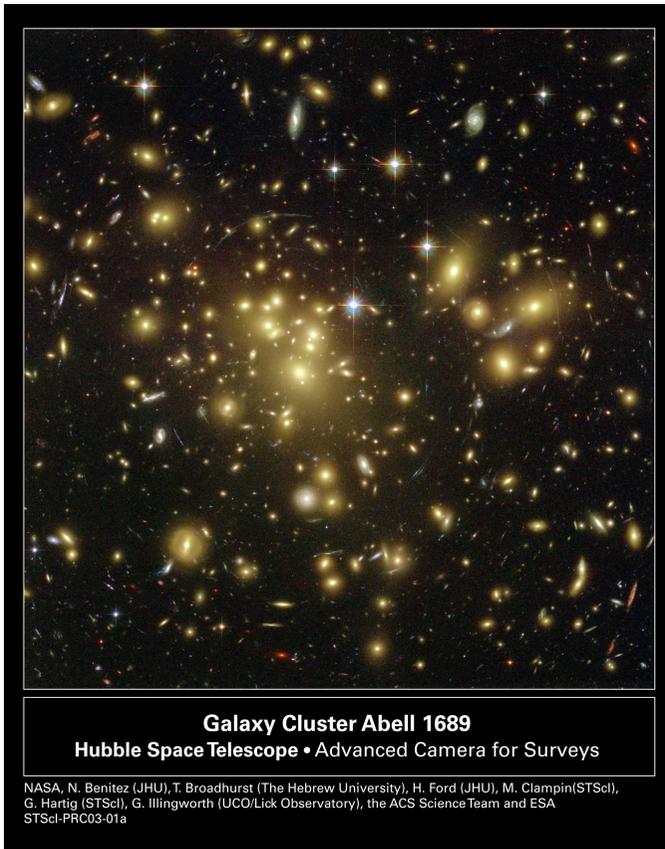
1:10 minor mergers



- dry minor merger シナリオ
 - dry: 新たな星を作らない
 - 高頻度
 - 少ないmass増加で大きなサイズ増加
- 継続的なdry minor merger で高いサイズ増加効率を実現 (MNRAS accepted)
- 問題：
 - Radial orbit merger に限定された結果
- 銀河団領域でのdry mergerの有効性は？

サイズ増加効率: $R_e \propto M_*^\alpha$, $\alpha = \frac{d \ln R_e}{d \ln M_*}$

銀河団領域でdry mergerによるサイズ進化は起こるか

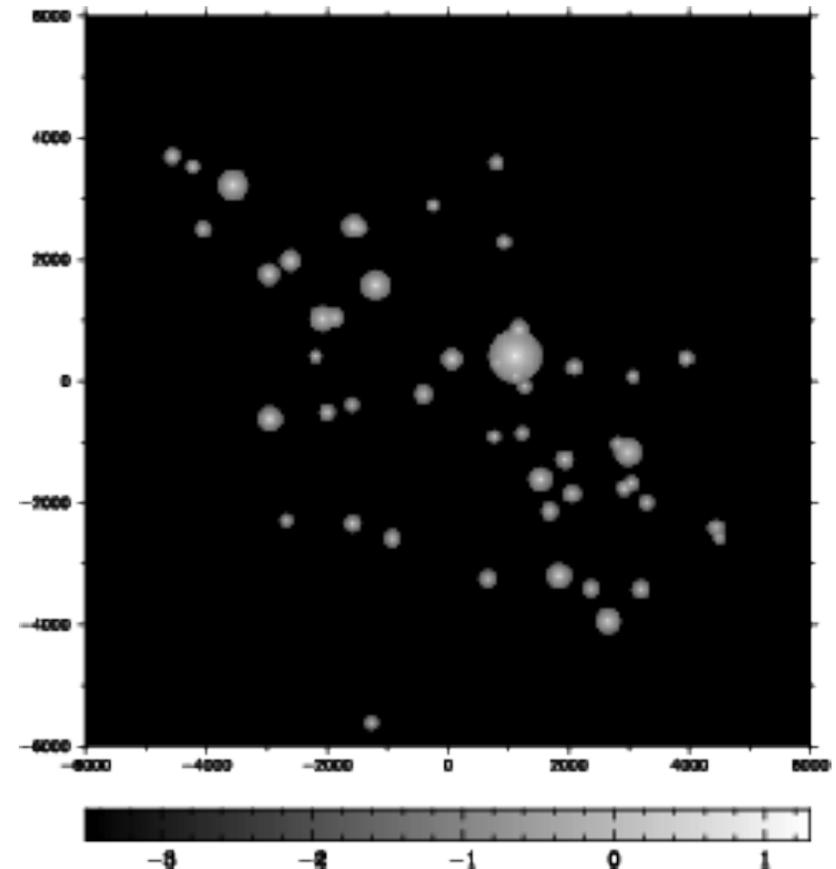
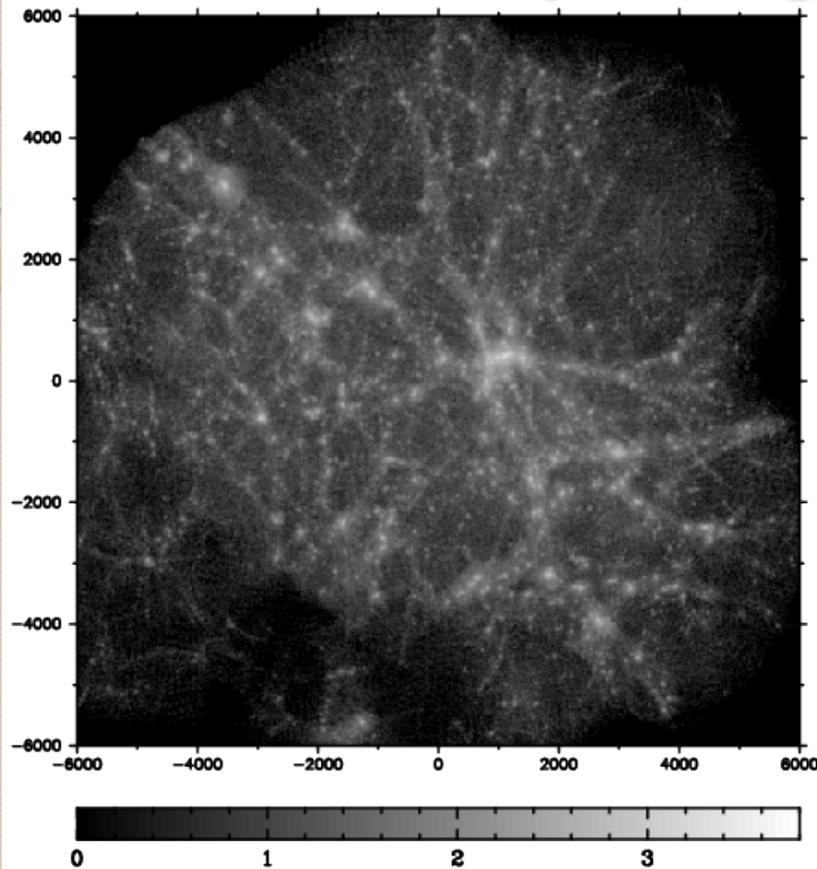


- 形態—密度相関
 - 早期型銀河は高密度領域に多く存在

目的

- 銀河団領域にある早期型銀河は、dry mergerによってサイズを増加させるかを調べる
- 宇宙論的dry mergerシミュレーションを行う
- シミュレーションから得られた銀河の性質(mass, size, velocity dispersion)と、近傍の早期型銀河の相関関係を比較し、dry mergerシナリオを検証

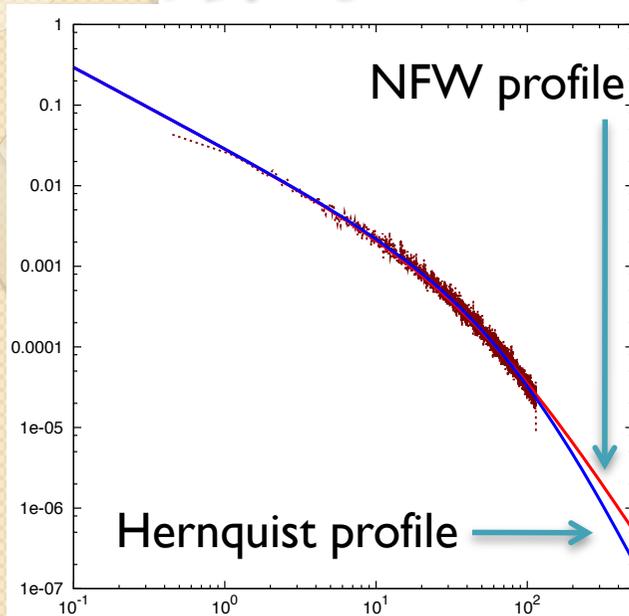
宇宙論的dry mergerシミュレーション



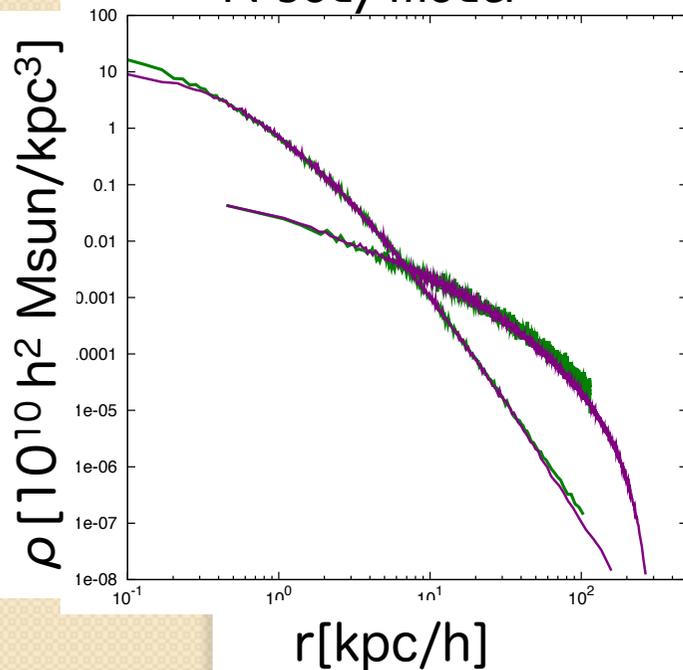
Simulated by Ishiyama

- $z=0$ で $10^{14} M_{\text{sun}}$ の銀河団ハローを形成する領域を抽出
- $z=2.85$ で50個のmassive haloを同定
- 球対称恒星系とダークマターハロー(DMハロー)で作った銀河モデルで置き換える
- その後の進化を $z=0.4$ まで計算

銀河モデル



N-body model



DMハロー

- NFW プロファイル
- $M_{\text{vir}}, r_{\text{vir}}$ は宇宙論的N体シミュレーションから直接得る
- $M_{\text{vir}} - c_{\text{vir}}$ relation (Bullock+2001)を用いて concentration を仮定

恒星系

- Hernquist プロファイル $\rho(r) = \frac{M}{2\pi} \frac{a}{r(r+a)^3}$
- $M_*/M_{\text{halo}} = 0.1$
- サイズは high-z stellar mass-size relation (Newman +2012) を満たすように与える

2成分 (恒星系+DMハロー) Hernquist プロファイルで、銀河モデルを再現

条件

- DMハローの中心のプロファイルがNFW profile と一致するようにする
- ビリアル半径内の質量が、置き換える前と一致するようにする
- DMハローのスケール半径を、DMハローの concentration 再現するように決める

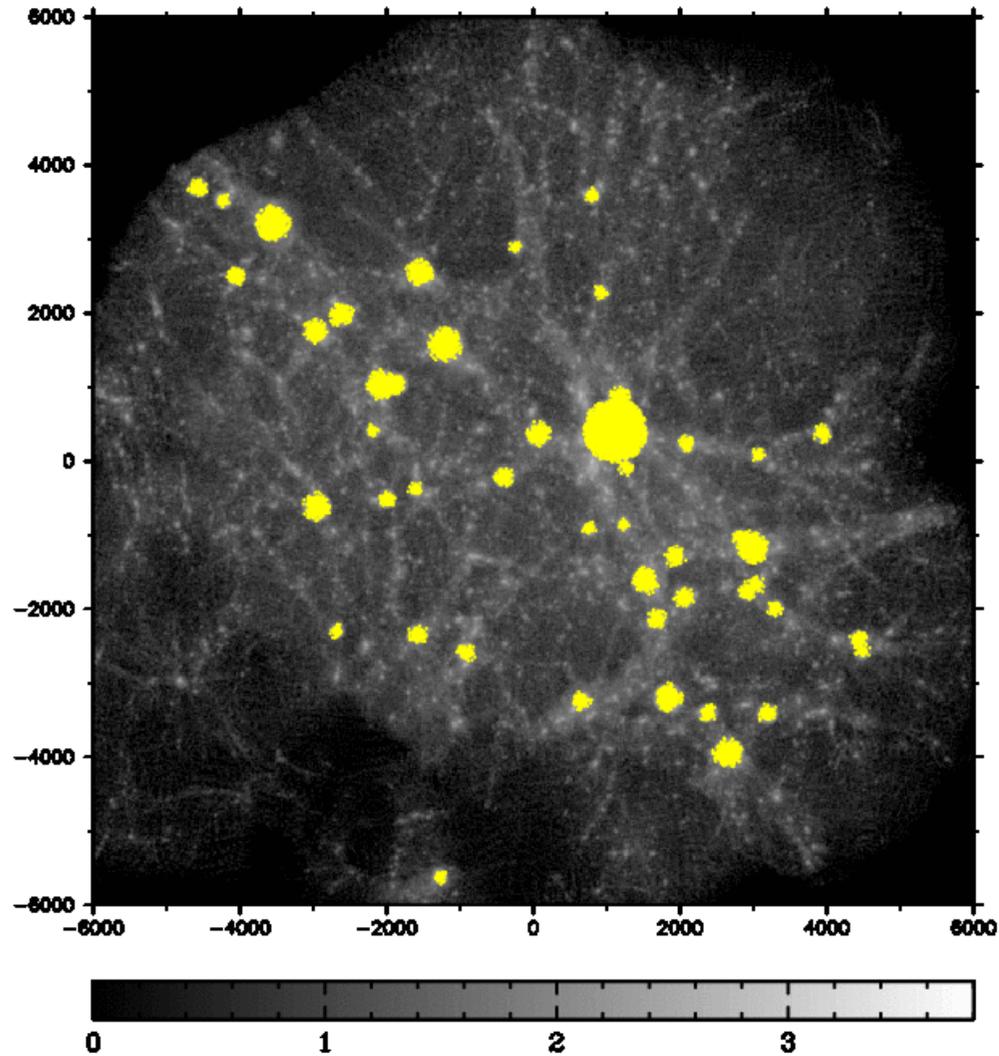
最も massive な銀河はほぼ安定

Parameters of simulations

name	m_{dm} [M_{sun}/h]	m_* [M_{sun}/h]	Softening [kpc/h]	N_{dm}	N_*
Dark matter (not halo)	3.5×10^7	-	0.455	2853645	-
銀河モデル	4.375×10^6	4.375×10^6	0.2275	3835706	426190

- Code: GADGET-2 (Springel 2005)
 - TreePM method

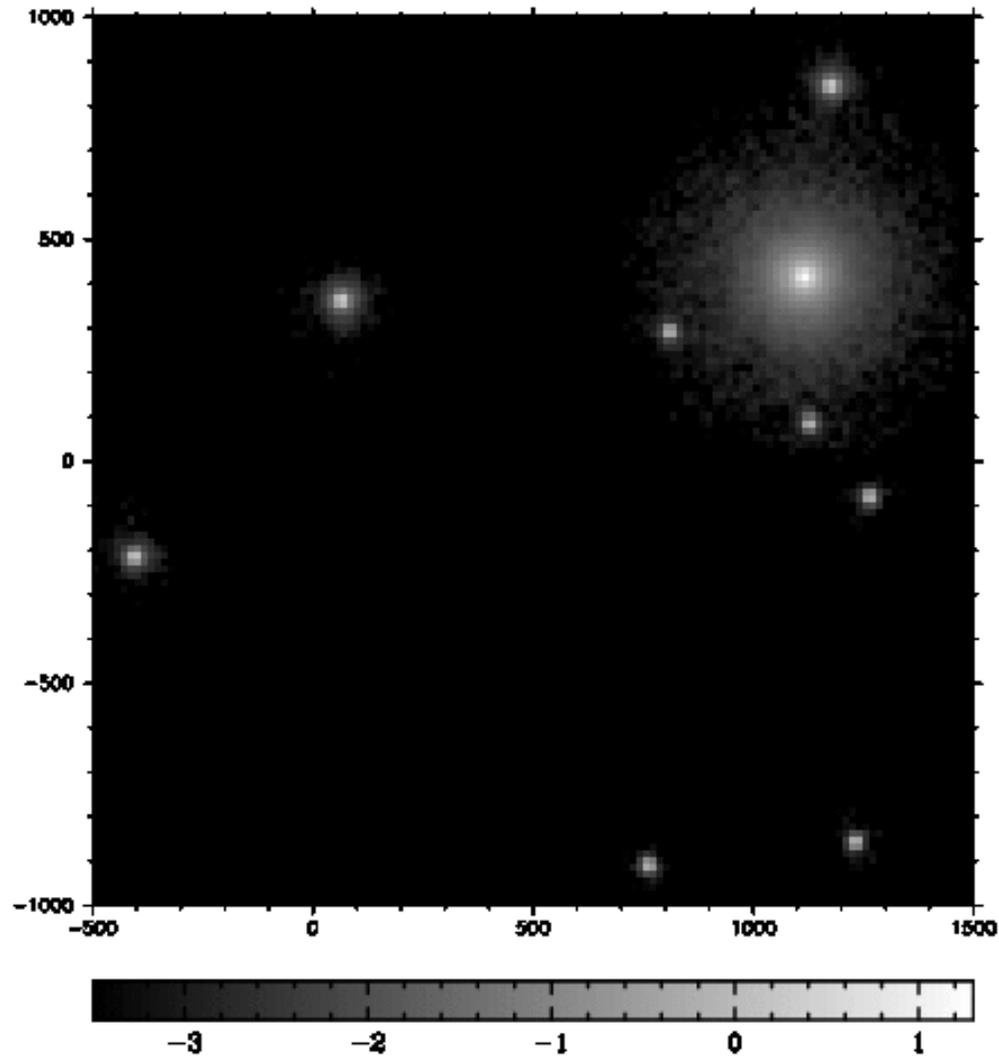
アニメーション



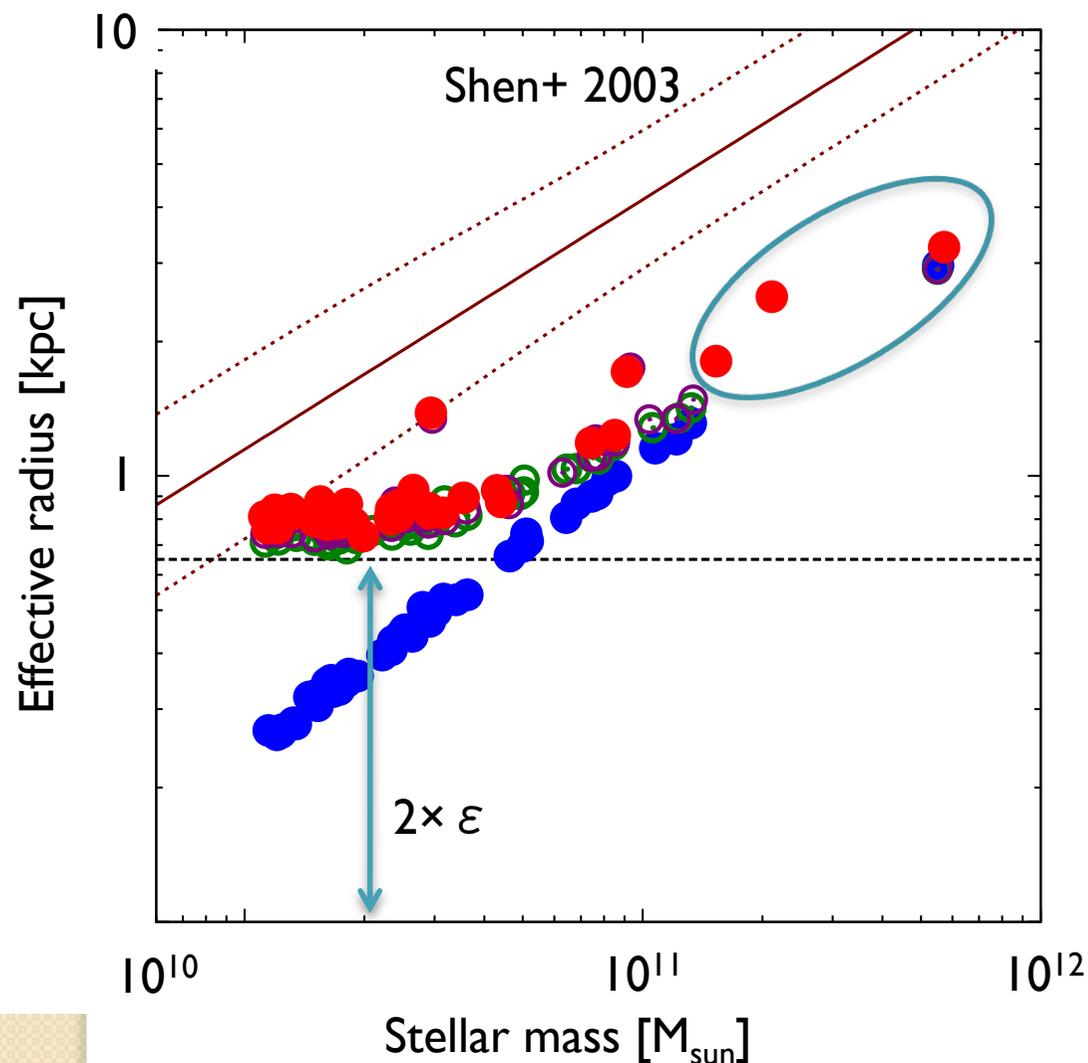
グレー：ダークマター
黄：星粒子

$z=2.8$ から $z=1$ までを表示

最もmassiveな銀河周辺のアニメーション



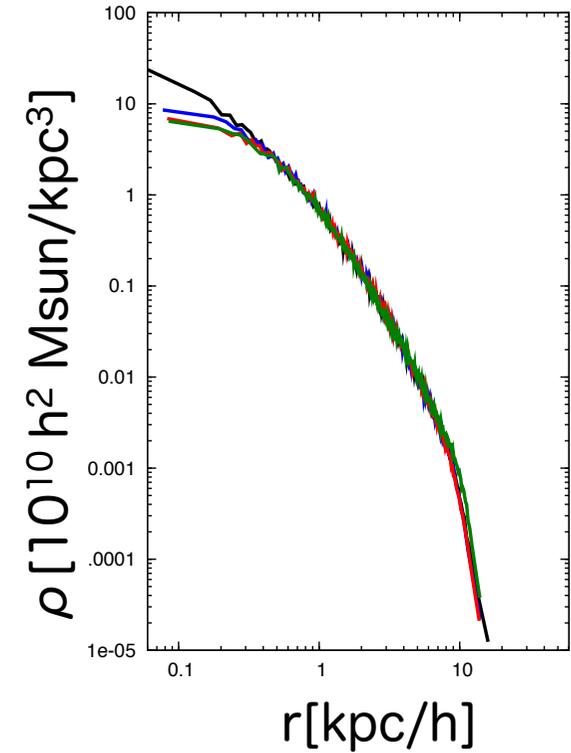
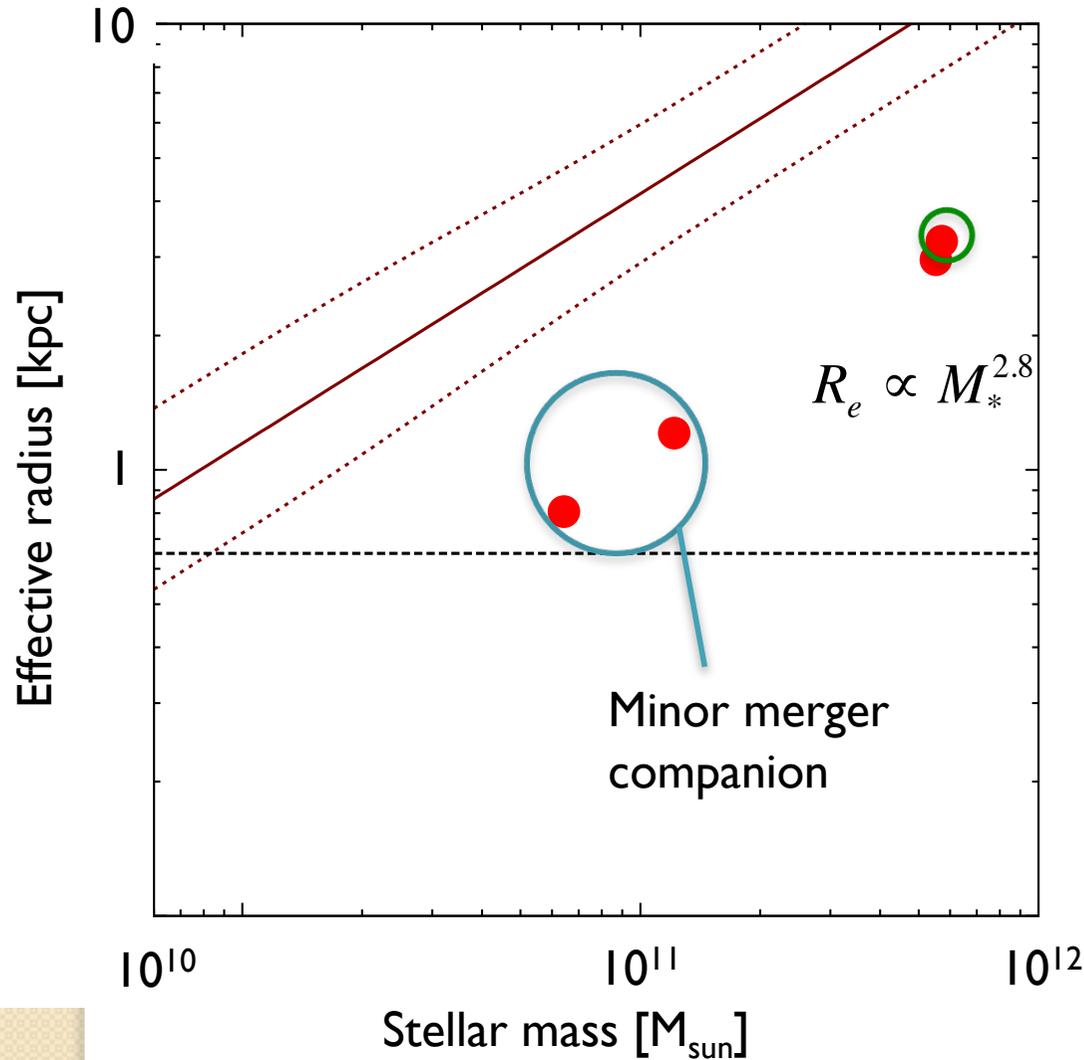
Stellar mass-size relation



青 : $z=2.8$
緑 : $z=2.0$
紫 : $z=1.0$
赤 : $z=0.4$

- Local stellar mass-size relation にはのらない
- Less massive な銀河は softening の影響で人工的に膨張してしまっている
- Massive な3つの銀河について詳しく解析

最も massive な銀河

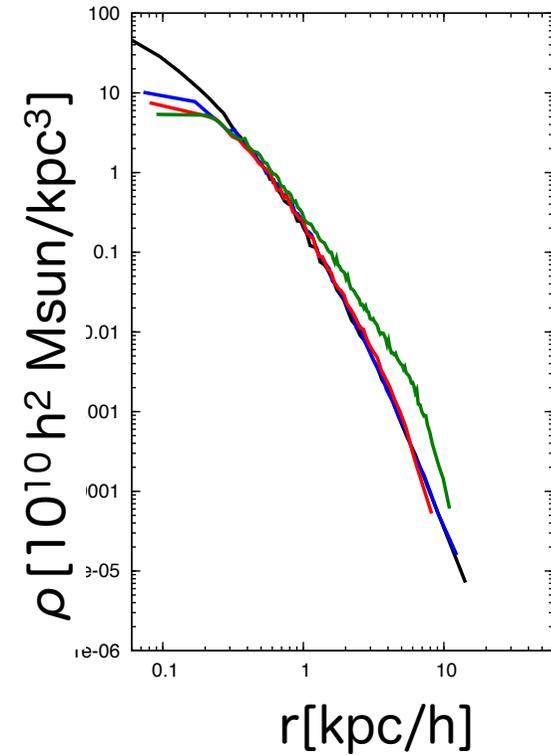
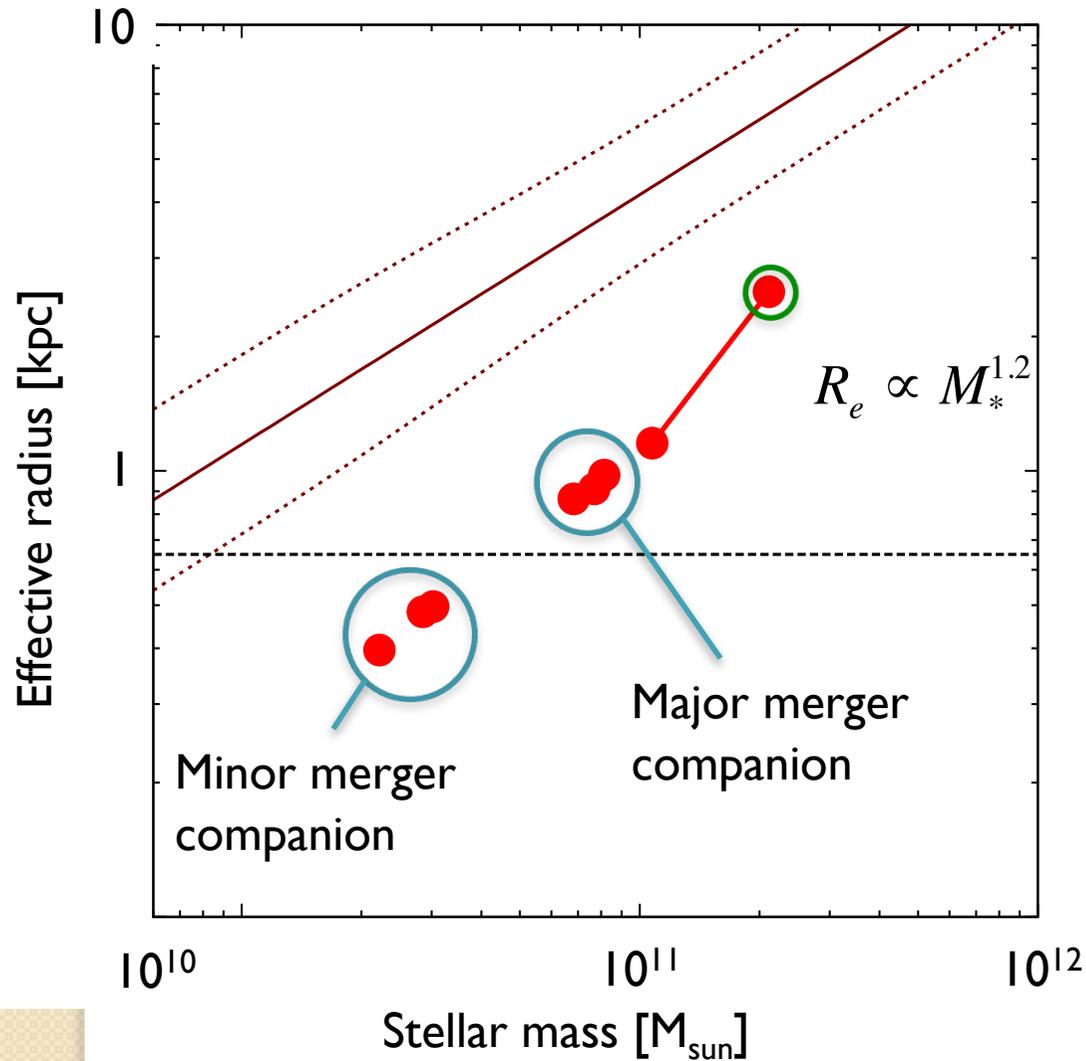


- 高いサイズ増加効率 ~ 2.8
- Dry minor mergerによる効率的なサイズ増加の結果と良く一致
- Mass増加効率が悪い

$$\frac{\Delta M}{\sum M_{\text{sat}}} \cong 0.10$$

- ICL (Intracluster light) への stellar mass供給か

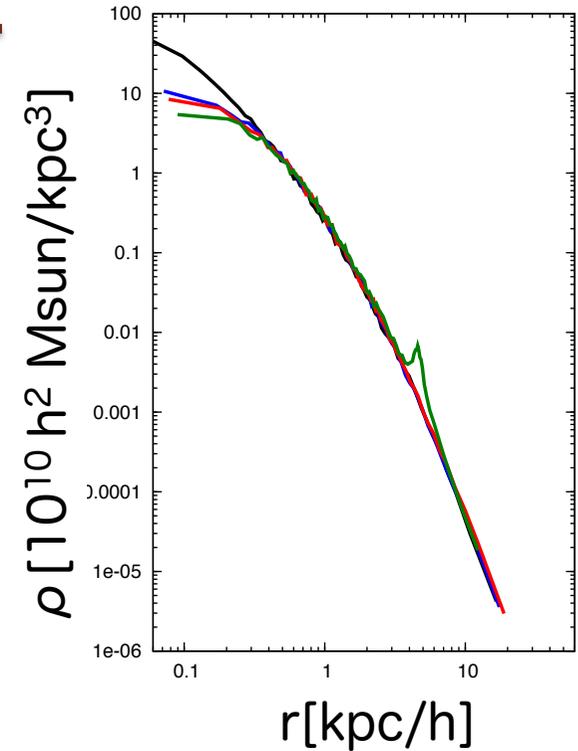
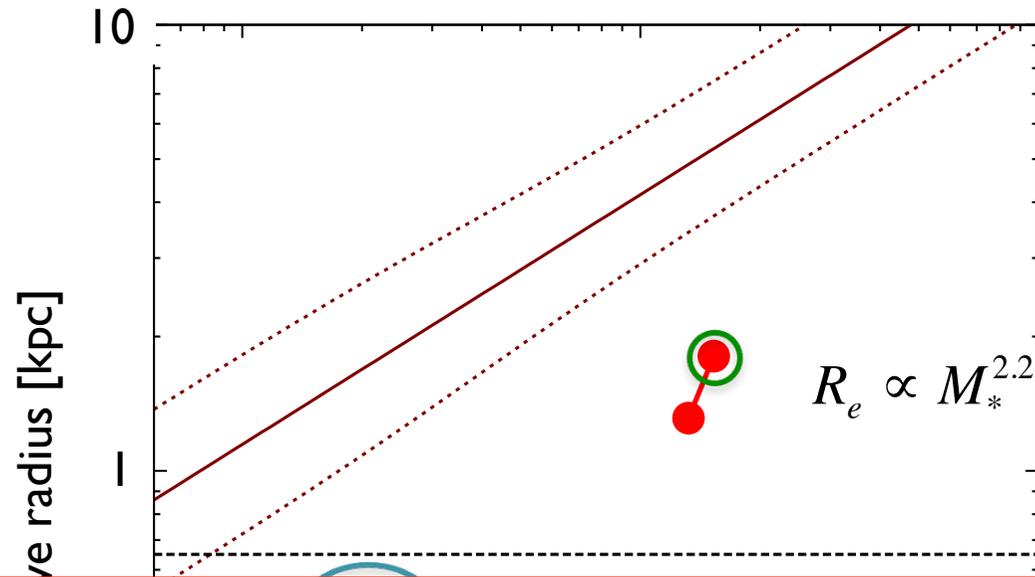
2番目にmassiveな銀河



- 低いサイズ増加効率 ~ 1.2
- Dry major mergerによる成長が支配的なため
- Mass増加効率が悪い

$$\frac{\Delta M}{\sum M_{\text{sat}}} \cong 0.34$$

3番目にmassiveな銀河



サイズ増加されない要因

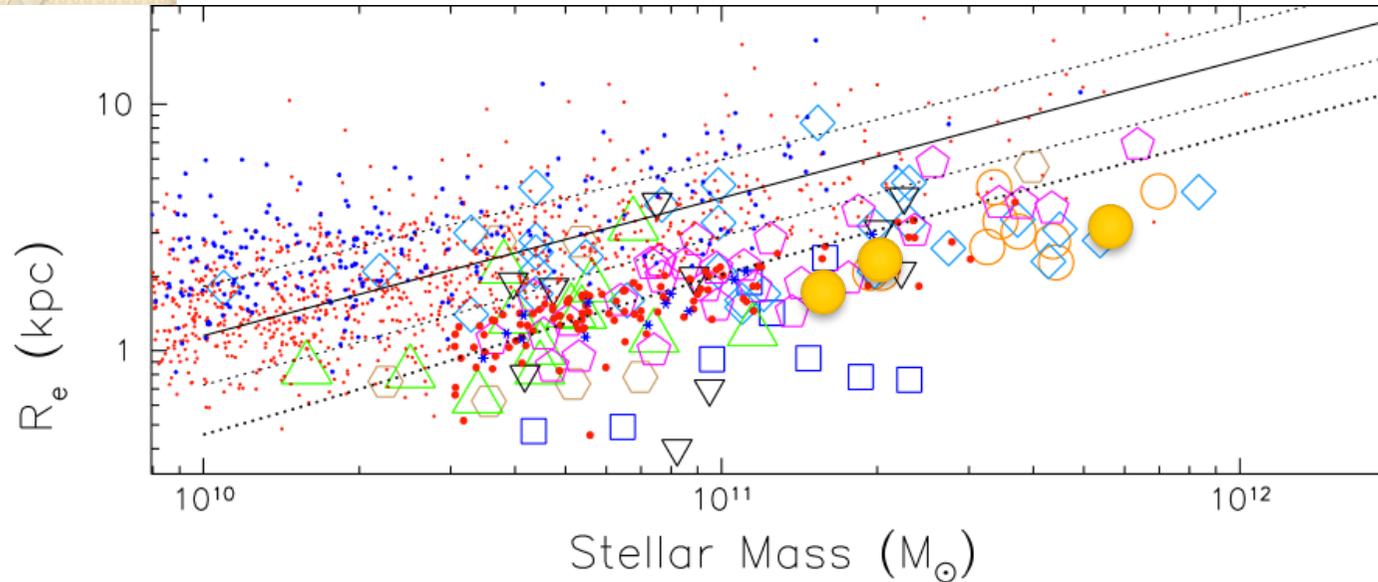
- Merger の数そのものが少ない (mergerが完了しない)
- Mass loss のためmass増加効率が悪い→サイズも増加しない

Stellar mass [M_{sun}]

$\sum M_{\text{sat}} \approx 0.50$

観測との比較

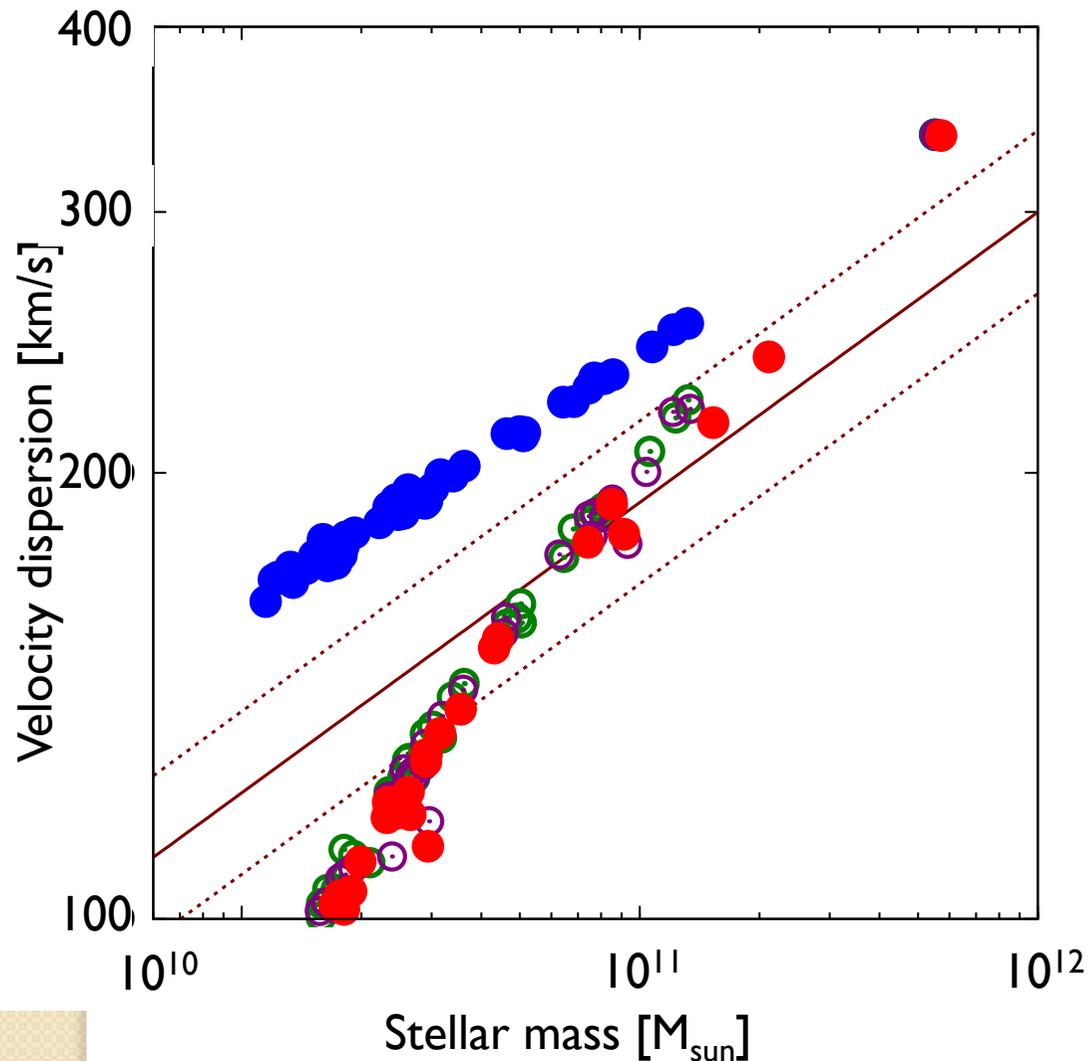
Valentinuzzi et al. 2010



Larger red dots:
superdense early-type
galaxies in the local
clusters ($0.04 < z < 0.07$)

- シミュレーションから得られた3つのmassiveな銀河のmass, sizeは、近傍銀河団に含まれる superdense early-type galaxiesのものと良く一致
- 観測されているコンパクトな早期型銀河も、非効率なサイズ増加のため、近傍までコンパクトなままでのいるのかもしれない

Stellar mass-velocity dispersion relation



- Less massiveな銀河は、Softeningの影響で、速度分散が自動的に下がってしまう
- Massiveな銀河についても、速度分散の減少が人工的なものか、mergerによるものかを判別するのは難しい



よりhigh resolutionのシミュレーションを行って検証！

まとめ

- 宇宙論的dry mergerシミュレーションを行い、銀河団銀河のmass, sizeの進化を追った
- 観測されているhigh-z ($z \sim 2$)のstellar mass-size relationを仮定すると、銀河団銀河のサイズはlocal mass-size relationまで成長しない
- 近傍銀河団内で観測されているコンパクトな早期型銀河は、本シミュレーションのような非効率なサイズ増加を経たものである可能性がある
- 今後はよりhigh resolutionのシミュレーションを行い、今回の結果を確かめたい