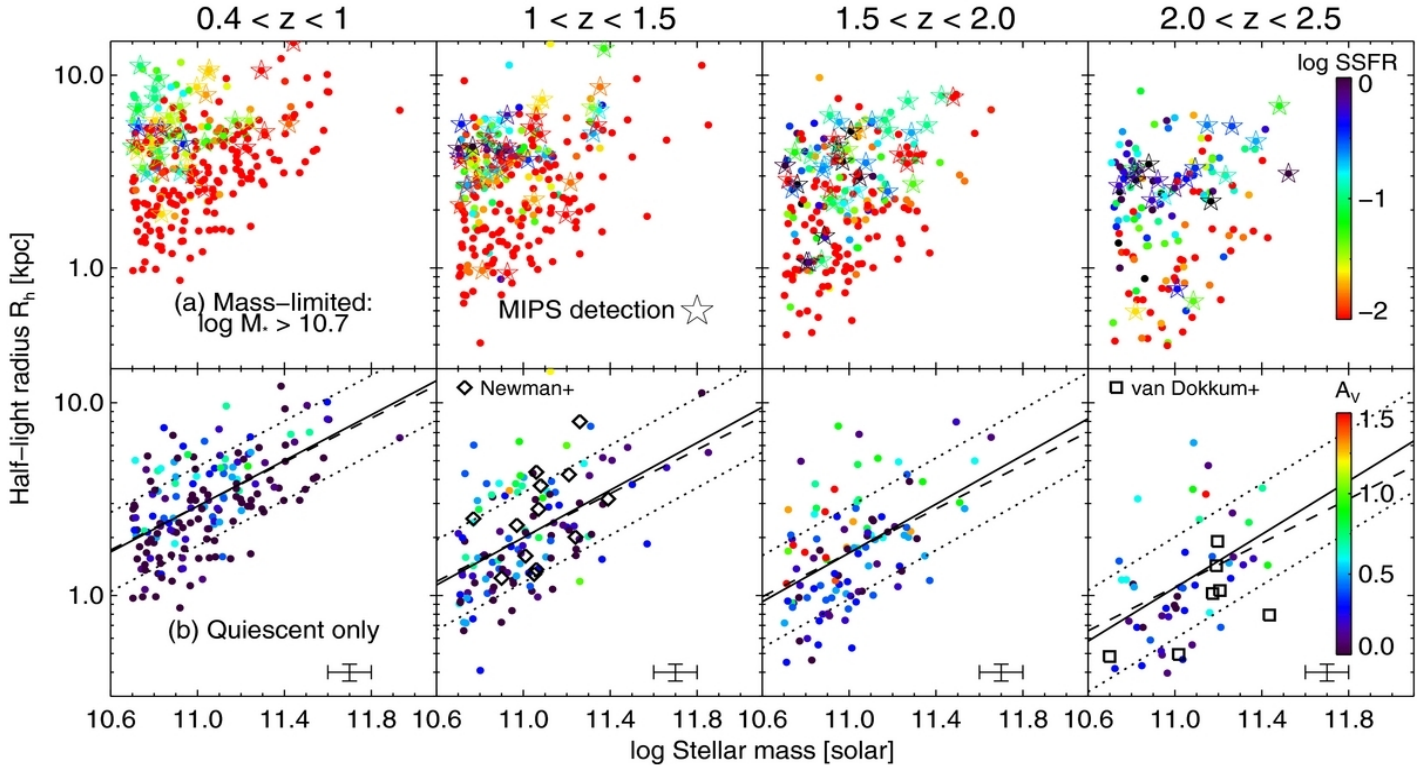
銀河団における大質量銀河のサイズ進化

大木平 (文教大学)
羽部朝男 (北海道大学)
石山智明 (筑波大学)

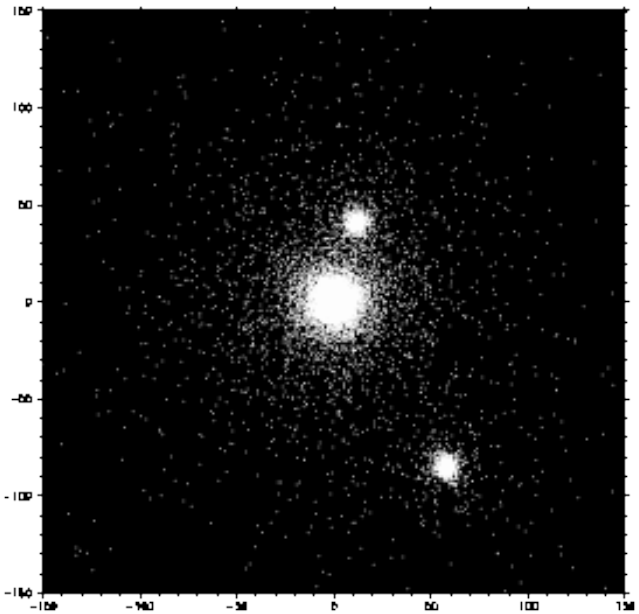
早期型銀河のサイズ進化

- high-z(z~2-3)でも、massiveな早期型銀河がすでに存在
- 平均的サイズは、同質量の近傍の早期型銀河に比べて1/3-1/5

星質量-サイズ関係@high-z, Newman+ 2012



Dry minor merger シナリオ



Sequential
1:10 minor mergers

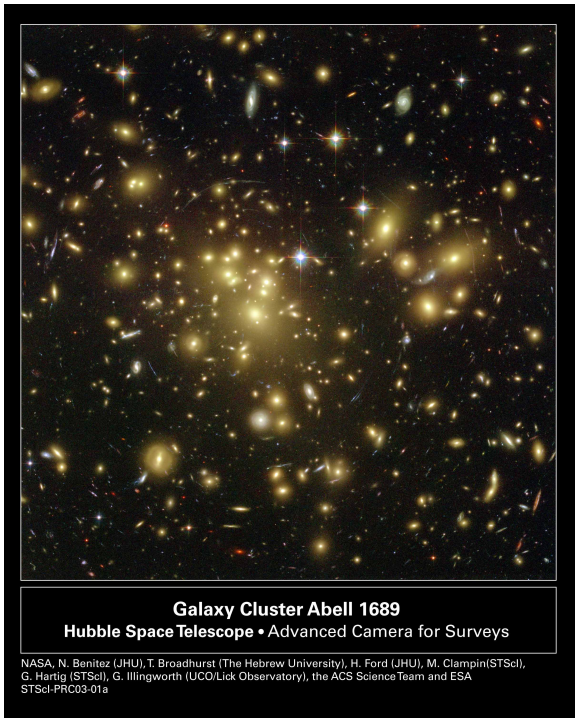
- dry minor merger シナリオ
  - dry: 新たな星を作らない
  - 高頻度
  - mass増加あたりのサイズ増加効率が高い

- 継続的なdry minor mergers で高いサイズ増加効率:
  を実現 (Oogi & Habe 2013, see also Hilz+2013; Bedorf & Portegies Zwart 2013)

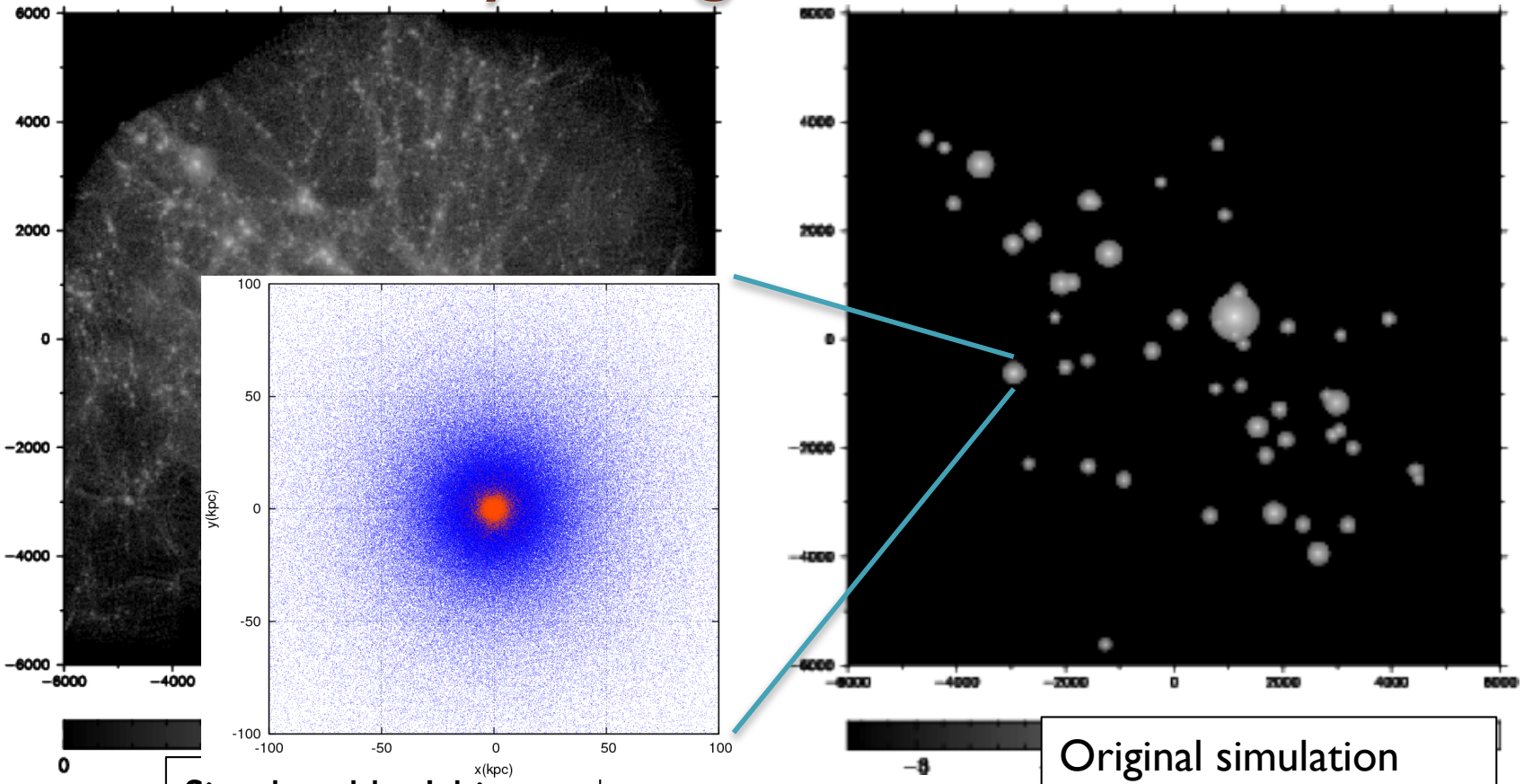
- 仮定:
  - Merger history
  - Merger orbit
  - mass ratios

本研究の内容

- Motivation: dry major/minor merger シナリオは、宇宙論的階層的構造形成史のもとでサイズ進化を説明できるか？
- 銀河団環境において、compact massive galaxies が dry merger によって進化するかを調べた
  - mass, サイズ増加
  - 表面密度プロファイルの変化
- 観測との比較
  - 星質量ーサイズ関係の進化
  - 平均サイズの進化



宇宙論的dry mergerシミュレーション



Simulated by Ishiyama

Original simulation
Boxsize: 171Mpc
粒子数: 1600^3 個
1粒子質量: 5×10^7 M_{sun}
ソフトニング: 2.6kpc

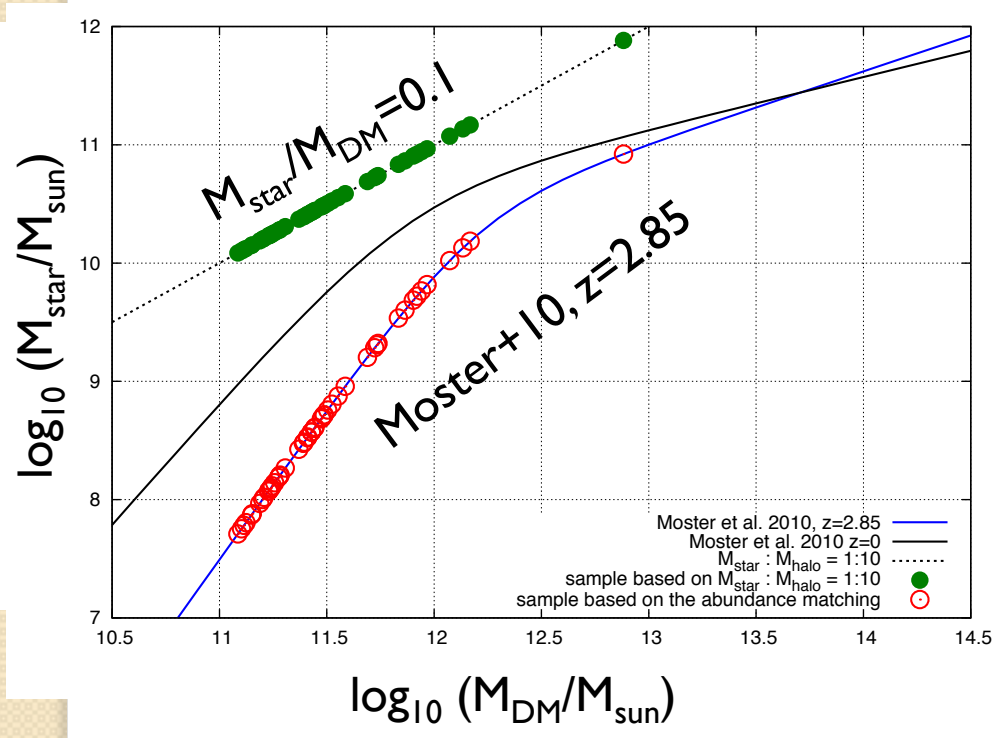
銀河モデル
1粒子質量: 6.25×10^6 M_{sun}
ソフトニング: 325pc

- 大規模宇宙論的N体シミュレーションを行い、z=0で $>10^{14}$ M_{sun} の銀河団ハローを形成する領域９個を抽出
- z=2.85でダークマターハローを同定
- 球対称恒星系とダークマターハローで構成される高解像度の銀河モデルで置き換える
- 個々の領域について、その後の進化をz=0まで計算
- シミュレーションコード: GADGET-2

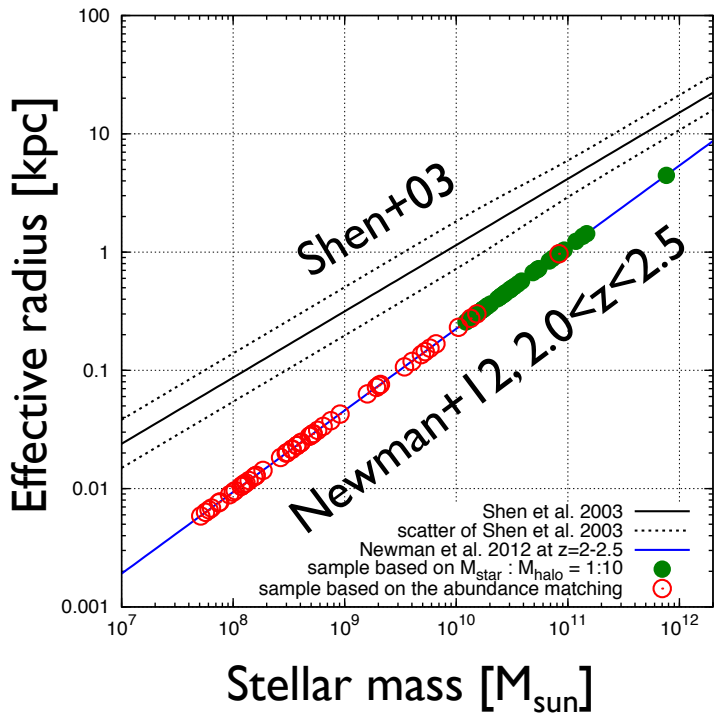
初期条件 –銀河モデル–

- 星質量–ハロー質量関係: Moster+10, @z=2.85
- 星質量–サイズ関係: Newman+12, 2.0<z<2.5

星質量–ハロー質量関係



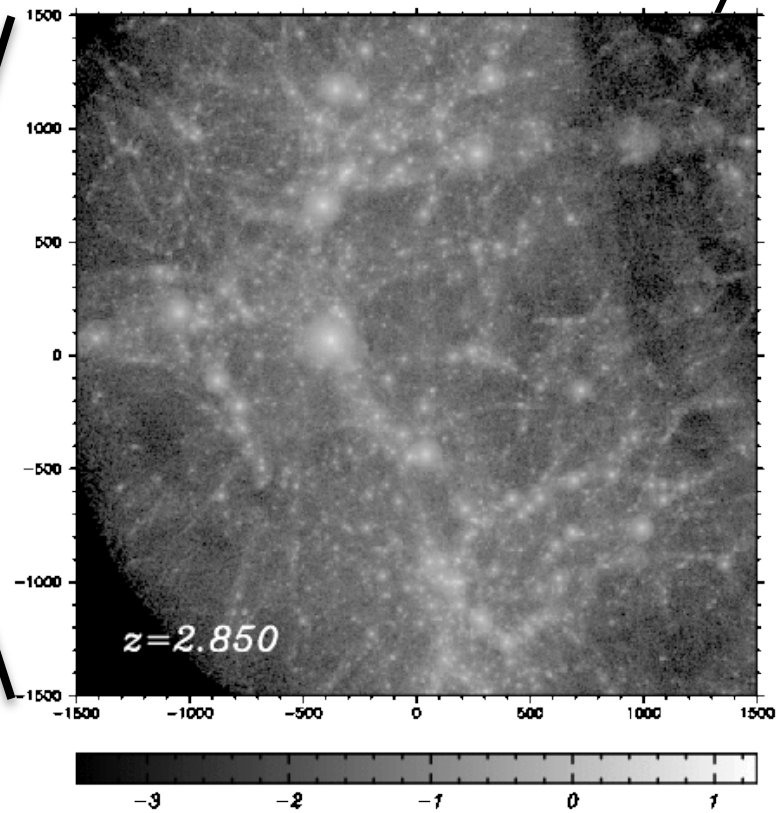
星質量–サイズ関係

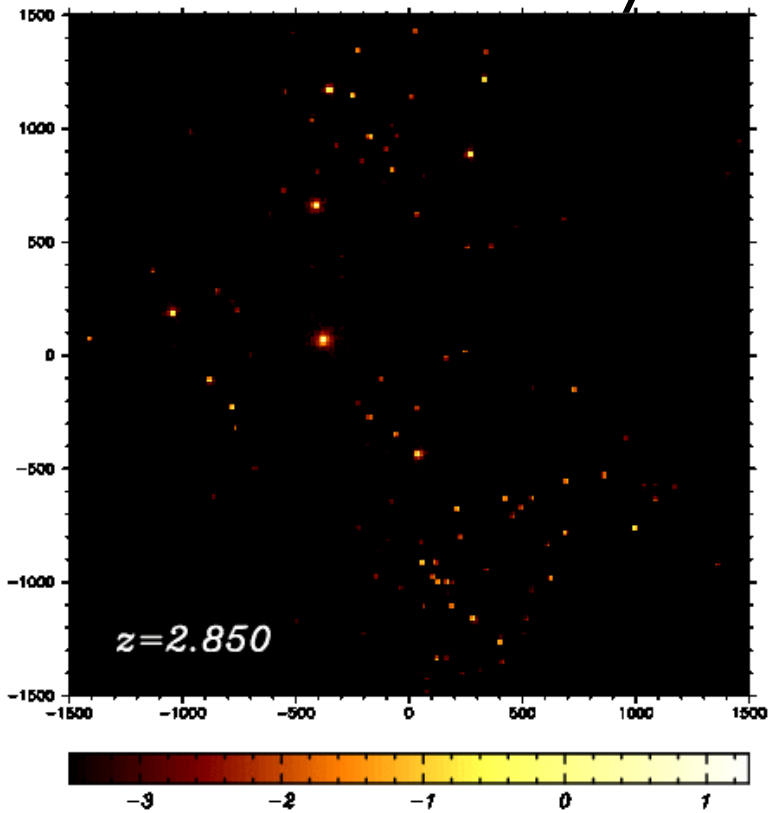


Dark matter surface density

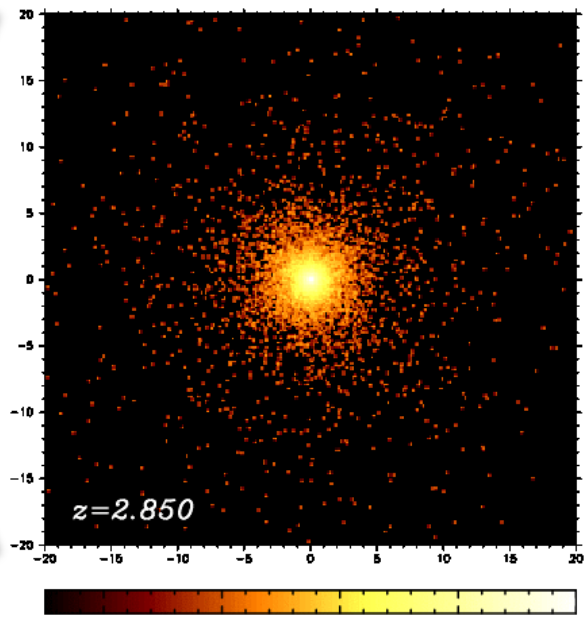
Stellar surface density

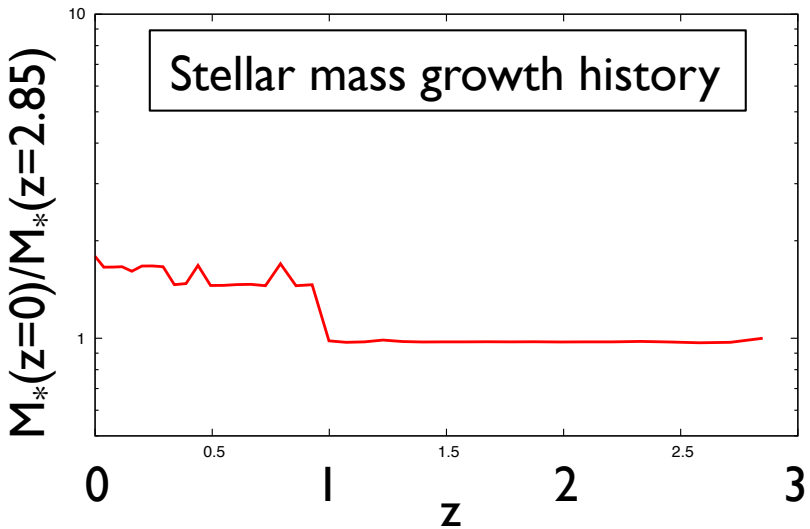
3Mpc/h, physical coordinates





40kpc/h





中心銀河のmass, sizeの増加

Name	$M_{\rm halo}$ $(10^{14} M_\odot)$	$M_*(z=2.85)$ $(10^{10} M_\odot)$	$M_*(z=0)$ $(10^{10} M_\odot)$	$\frac{M_*(z=0)}{M_*(z=2)}$	$\frac{R_e(z=0)}{R_e(z=2)}$	α $(R_e \propto M_*^\alpha)$
H07	4.97	10.7	23.6	2.26	2.86	1.29
H29	2.13	9.37	16.8	1.84	3.00	1.81
H31	2.19	6.44	17.3	2.74	6.58	1.87
H33	2.17	3.61	11.2	3.17	5.61	1.49
H43	2.38	7.80	17.1	2.24	3.98	1.71
H44	1.33	4.12	9.64	2.39	5.20	1.89
H45	1.33	4.58	15.7	3.51	5.69	1.39
H48	1.28	11.0	12.5	1.16	1.52	2.84
H49	1.25	8.19	9.03	1.13	1.39	2.78
avg.				2.27	3.98	1.90

- 中心銀河は z=2 から z=0 までに、dry major/minor merger により平均的に
  - ~2倍のmass増加
  - ~4倍のsize増加
- 観測結果 (van Dokkum et al. 2010) とよく一致

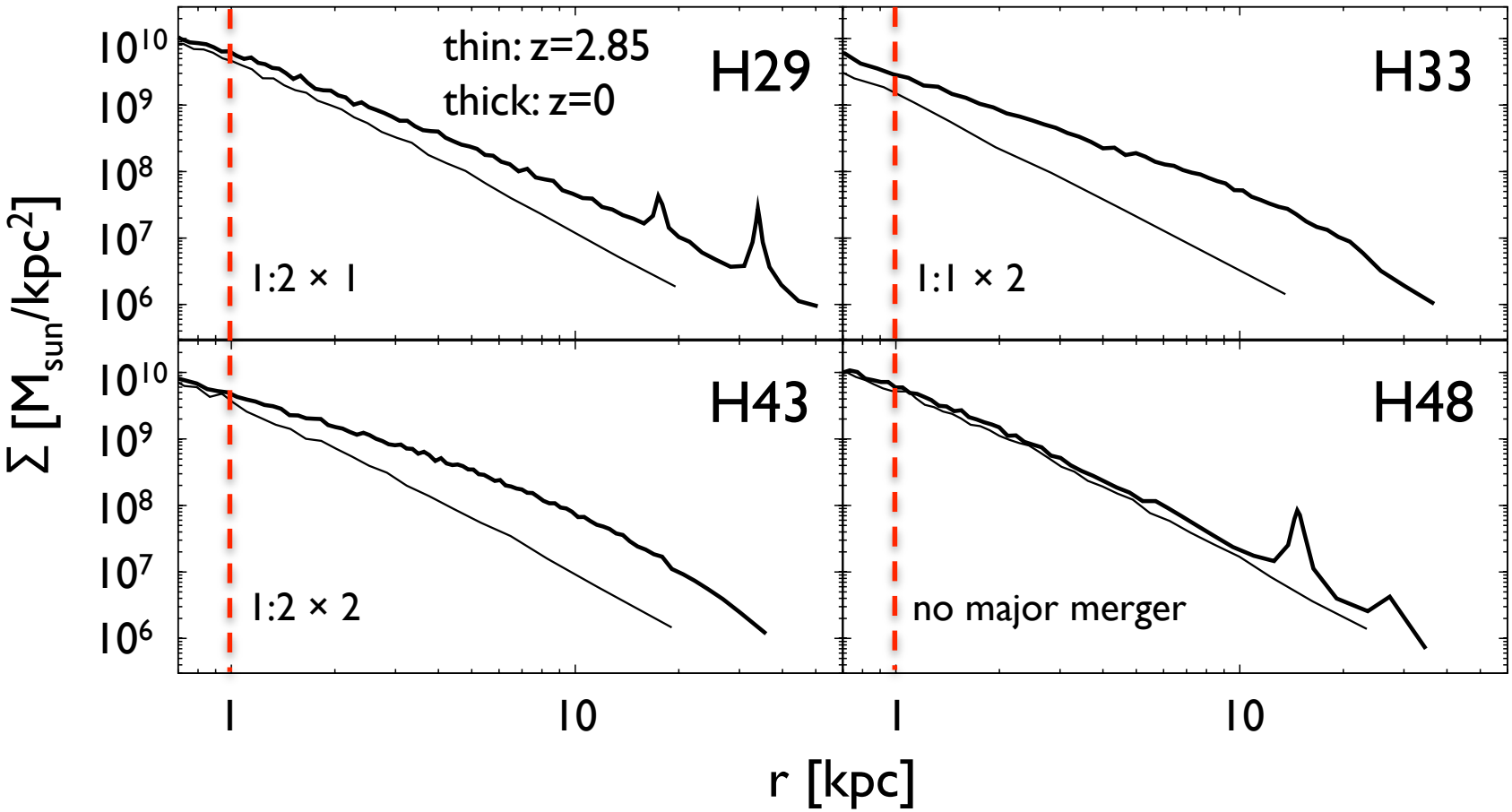
Merger mass ratio

	1:1	1:2	1:3	1:4	f_{major}	f_{minor}
H07	1	0	0	0	0.37	0.18
H29	0	1	0	0	0.26	0.18
H31	0	1	0	1	0.64	0
H33	2	0	0	0	0.61	0
H43	0	2	0	0	0.56	0
H44	0	1	1	0	0.54	0
H45	0	1	1	0	0.71	0
H48	0	0	0	0	0	0.11
H49	0	0	0	0	0	0.093

$$f_{\rm major} = \frac{\Delta M_{\rm major}}{M_*(z=0)}, \quad f_{\rm minor} = \frac{\Delta M_{\rm minor}}{M_*(z=0)} = \frac{M_*(z=0) - M_*(z=2.85) - \Delta M_{\rm major}}{M_*(z=0)}$$

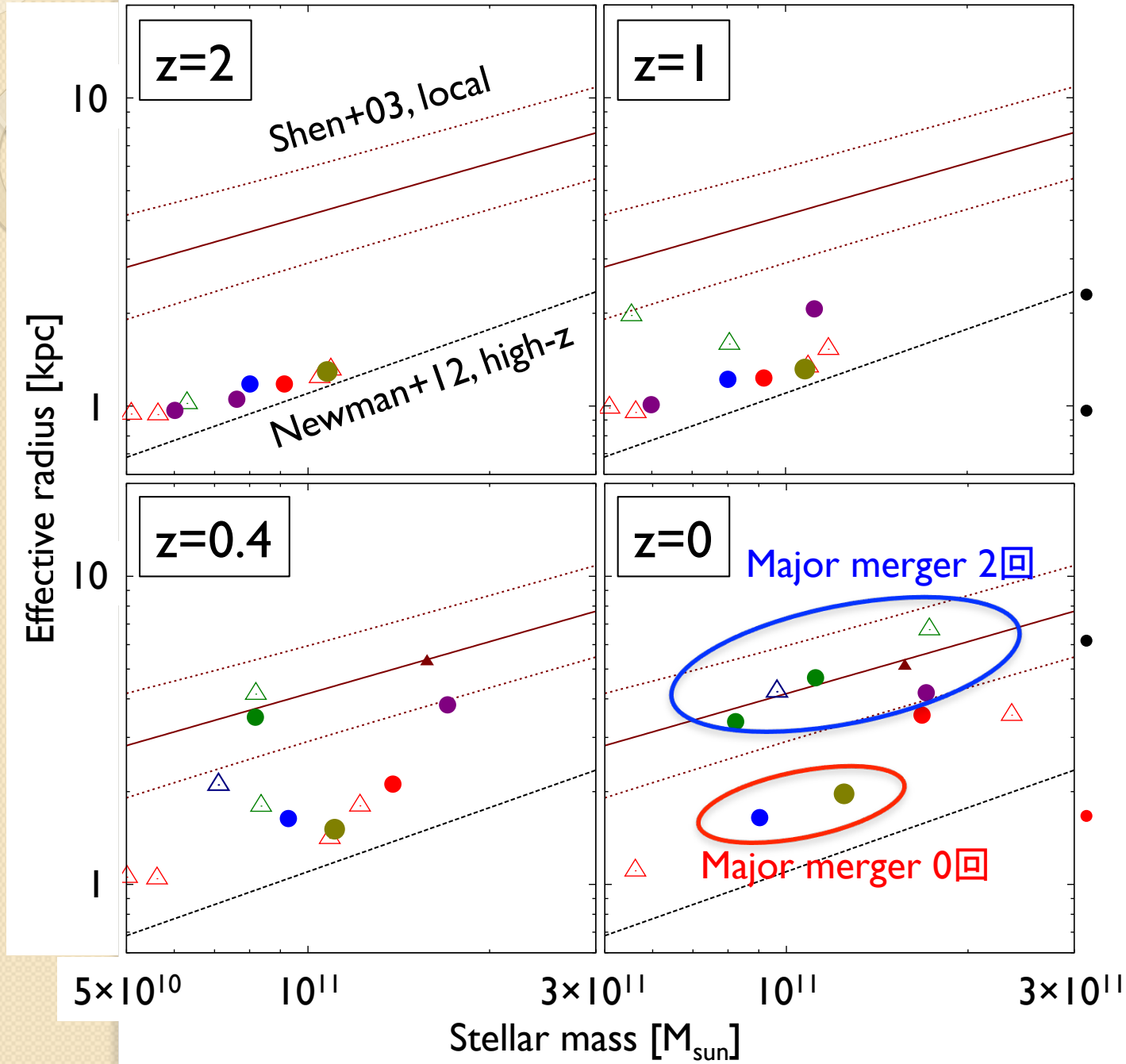
- Dry major merger による mass 増加が支配的

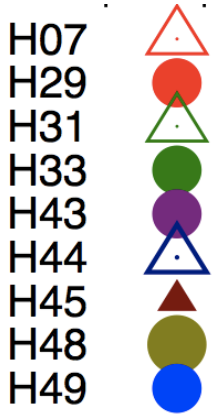
Surface density profiles



- Inside-out growth
- ~1kpc での増加 ← equal mass major merger
- Dry major mergerであっても、質量差があれば表面密度は inside-out 的に成長する

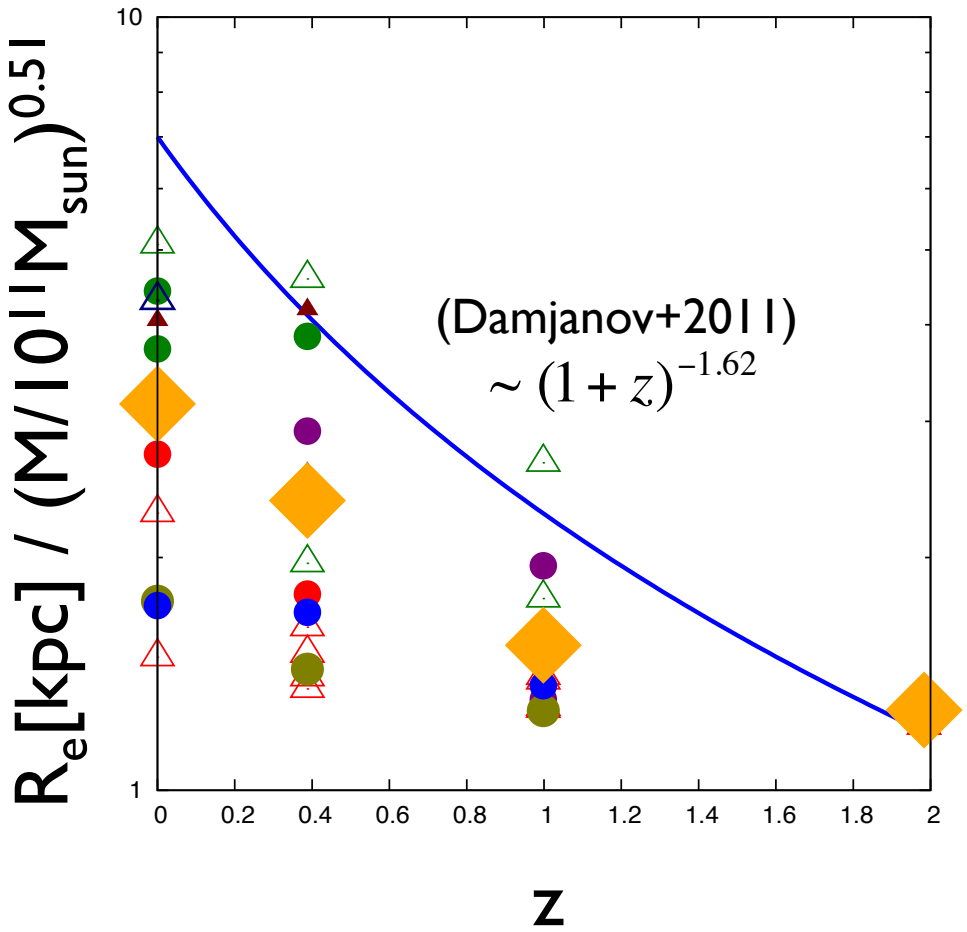
Stellar mass–size relation





- z=0までに多様に進化
- z~0.4から近傍の星質量-サイズ関係にのりはじめる
- 約6割はz=0までに近傍の関係にのる
- Dry major/minor merger は有効なメカニズム

Size evolution

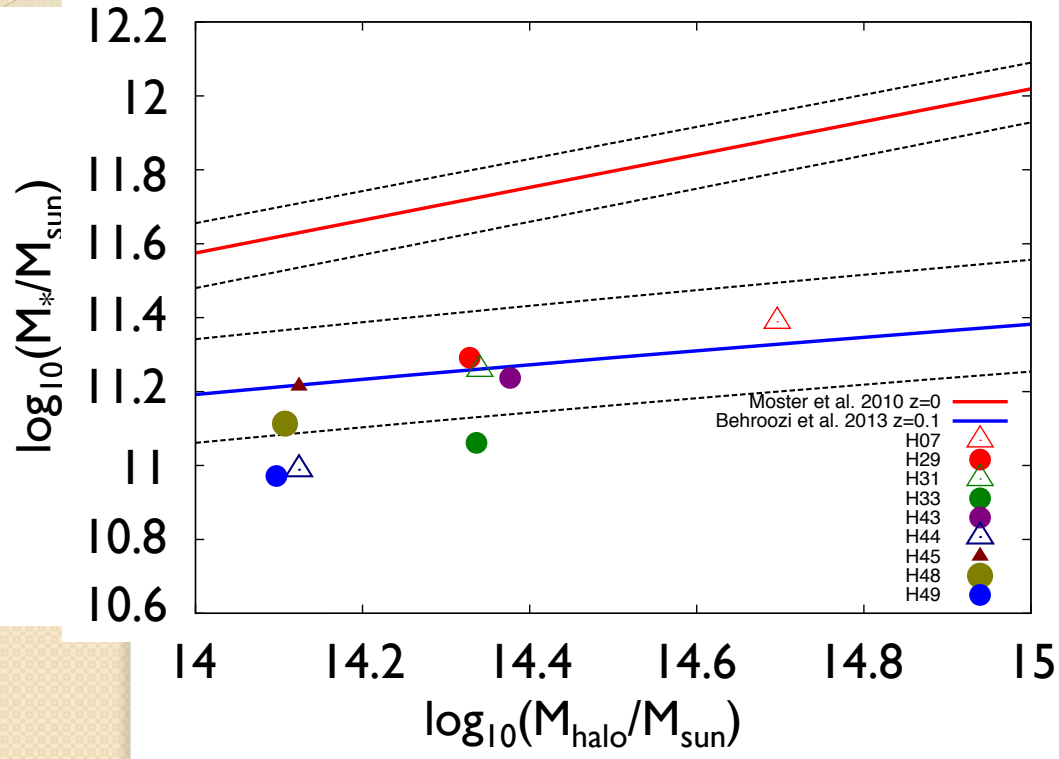


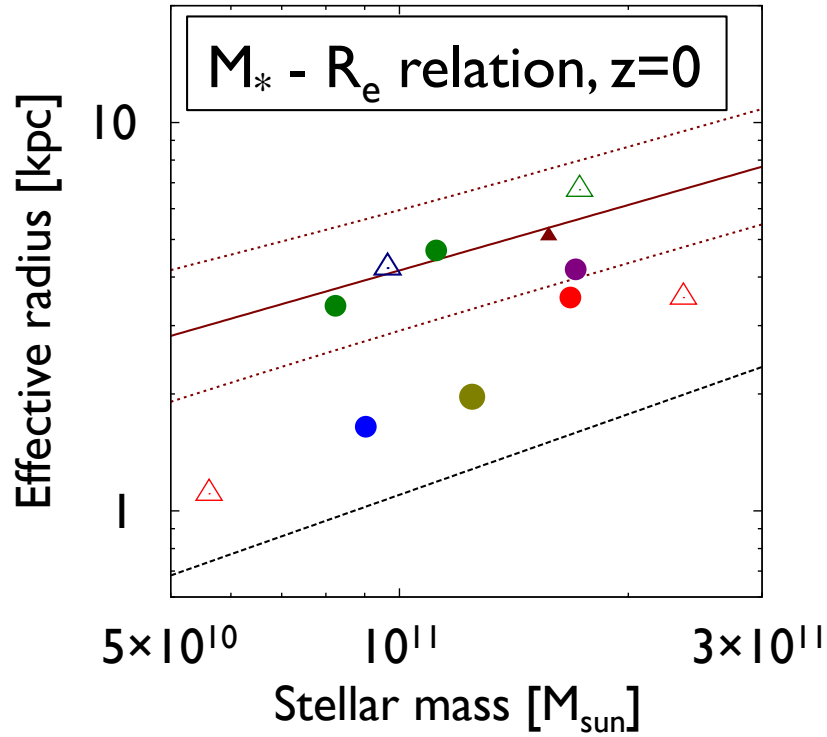
青：観測結果
(Damjanov+ 2011)

オレンジ：シミュレーション結果の平均

- 観測結果よりも穏やかな進化
- →サイズの大きい早期型銀河が新たに出現？
- →他のサイズ進化シナリオが必要？
- →環境によってサイズ進化に違いがある？

Future work
Stellar mass – Halo mass relation





- Old stellar population vs. stellar mass growth
- Massive galaxies の diffuse stellar components の取り扱いに違い？
- Abundance matching の結果が収束していない？

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, サイズ, 表面密度プロファイルの変化を調べた
- 中心銀河は z=2 から z=0 までに、dry major/minor merger により平均的に~2倍のmass増加、~4倍のsize増加
- Mergerによって、表面密度プロファイルの外縁部が成長 (inside-out growth) していくことを示した
- z=2からz=0までに、6割の銀河は dry major/minor mergers によって近傍の星質量–サイズ関係まで成長する
- →dry major/minor merger は有効なメカニズム
- 銀河のなかには、z~2からz=0までに顕著なmass, サイズ増加を起こさないものがある
- 観測される平均的なサイズの進化 (Damjanov+ 2011, ~ $(1+z)^{-1.62}$) よりも穏やかな進化
- 平均サイズのz進化の説明にはdry major/minor merger 以外のメカニズムが必要かもしれない
- Stellar mass – halo mass relation と stellar population を統一的に理解する必要がある