

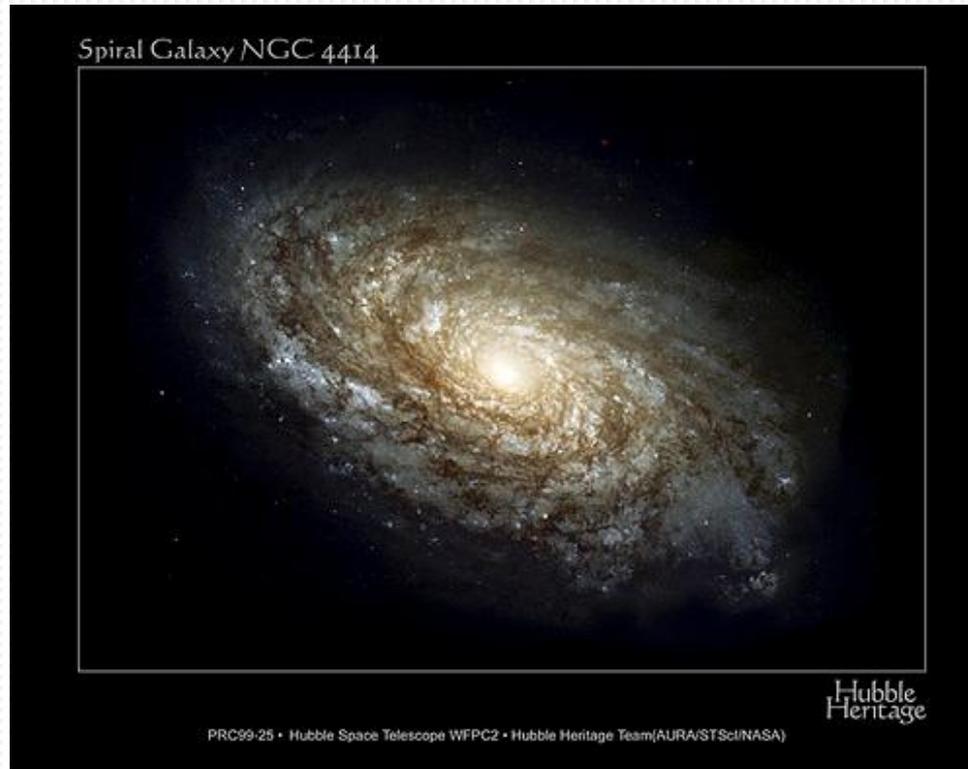
clump cluster/chain galaxyからの円盤とバルジの形成

東北大学 D3 井上 茂樹

2010年度 前期 XT4MD

2010年度 後期 XT4B

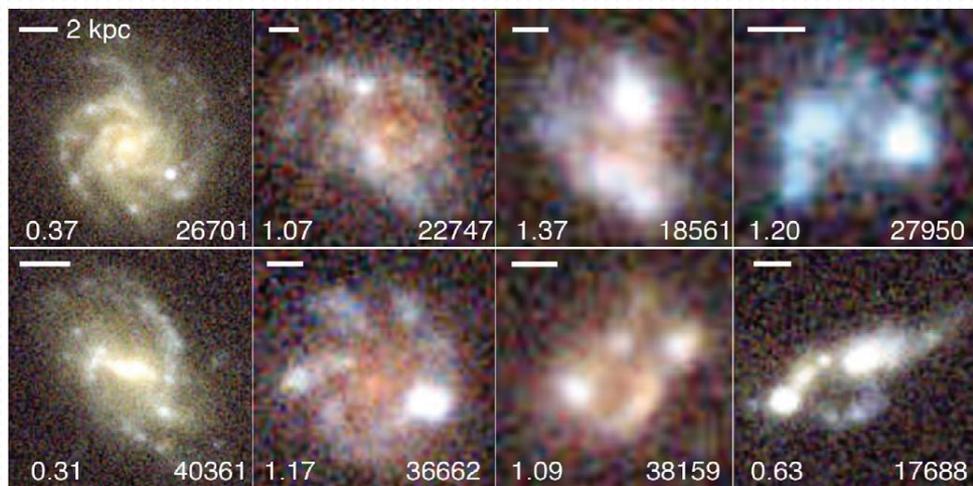
円盤銀河はどのようにして出来るのか？



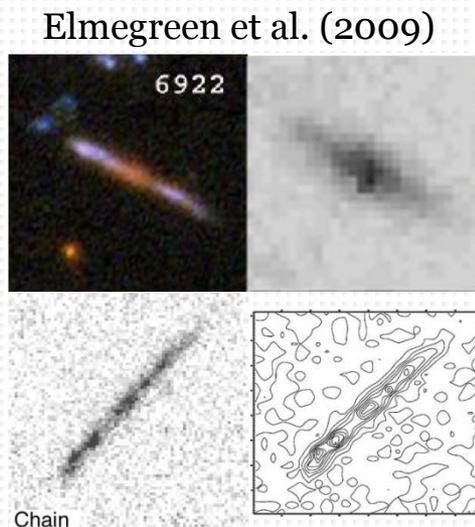
- 近傍宇宙で観測される銀河は非常に整った形状をしている。
 - 円盤 (～10kpc)
 - バルジ (～1kpc)

clump cluster / chain galaxy

- high- z の遠方宇宙 ($z \geq 1$)
 - clump cluster / chain galaxy



Elmegreen et al. (2009)



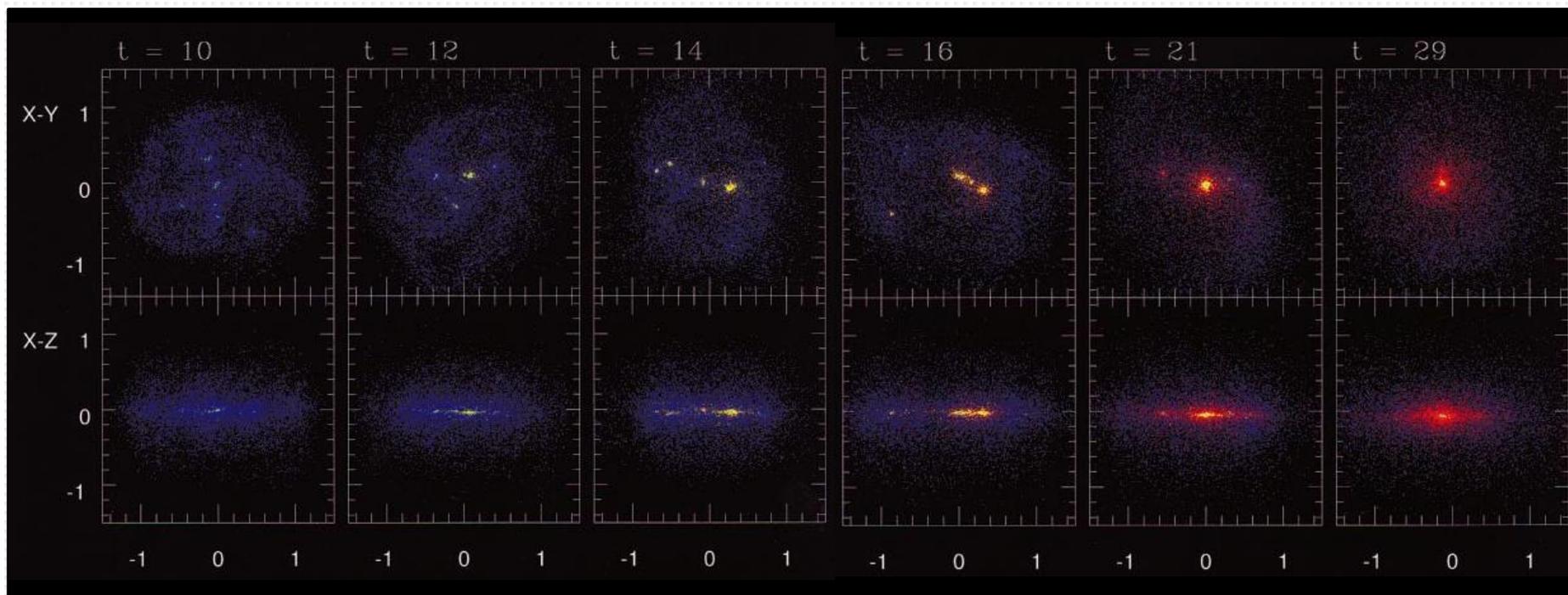
Elmegreen et al. (2004)

- **形成途中の円盤銀河に対応していると考えられている。**
 - 円盤が形成される際に”クランプ”状の星形成。
 - クランプの質量 $10^5 \sim 10^9 M_{\odot}$

- 数値シミュレーションによる実証

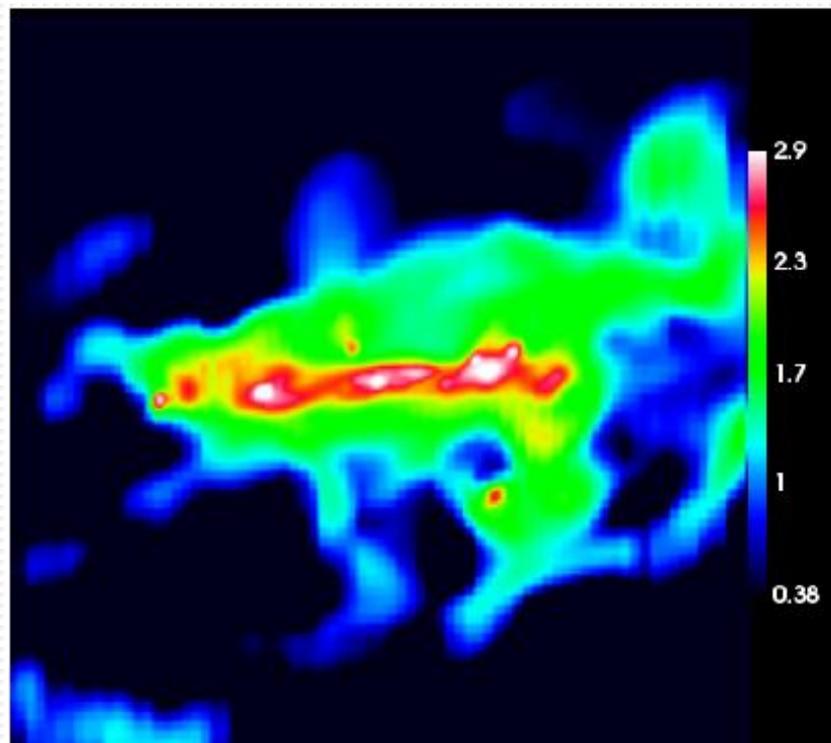
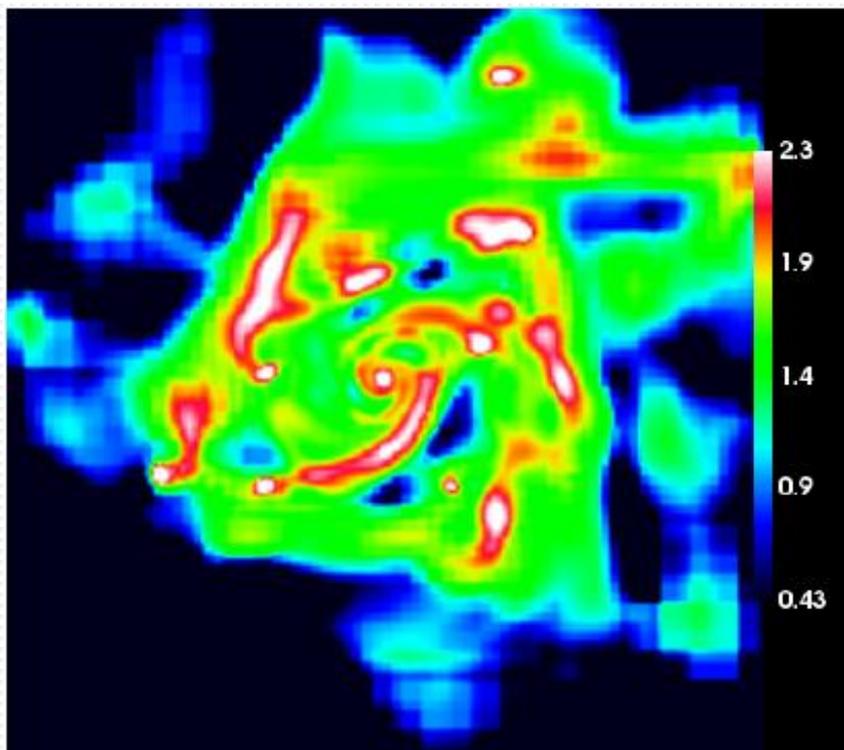
- Noguchi (1998)

- 回転を与えたガス球のコラプス。
 - 複数のクランプが形成され、中心でバルジを作る。



Noguchi (1998)

- 数値シミュレーションによる実証
 - Dekel, Sari & Ceverino (2009) など...
 - 宇宙論的シミュレーション



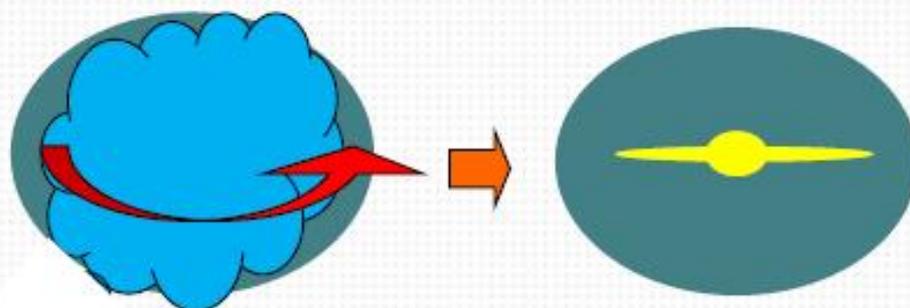
Dekel, Sari & Ceverino (2009)

コラプスモデルでN体/SPHシミュレーション

- 円盤銀河形成のカギは“クランプ”である。
 - クランプの作用に注目し、高解像度N体/SPHシミュレーションを行う。

- NFW profile
- $M_{\text{vir}} = 5 \times 10^{11} M_{\odot}$
- Gas fraction = 0.06
- $N_{\text{DM}} = 1.0 \times 10^7$, $N_{\text{gas}} = 5.0 \times 10^6$
- $\epsilon_{\text{DM}} = 8\text{pc}$, $\epsilon_{\text{gas}} = 2\text{pc}$
- スピンパラメータ $\lambda = 0.1$
- 角運動量 $j \propto r$
- $T(r) = \text{virial temperature}$
- 計算コード ASURA
 - star formation/supernova
- 星形成条件
 - $T < 100\text{K}$,
 - $\rho_{\text{gas}} > 100\text{atm/cc}$
 - $\nabla \cdot v < 0$
- 温度下限値 $T > 20\text{K}$

コラプスモデルでN体/SPHシミュレーション

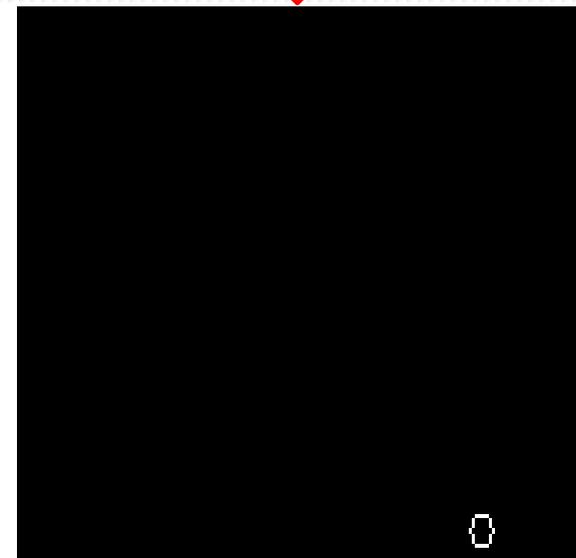
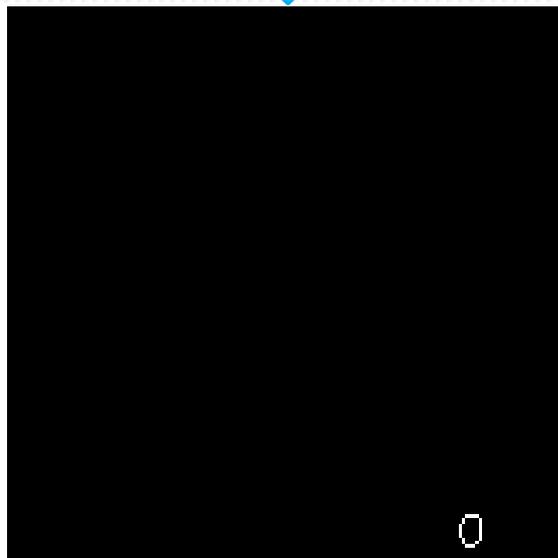
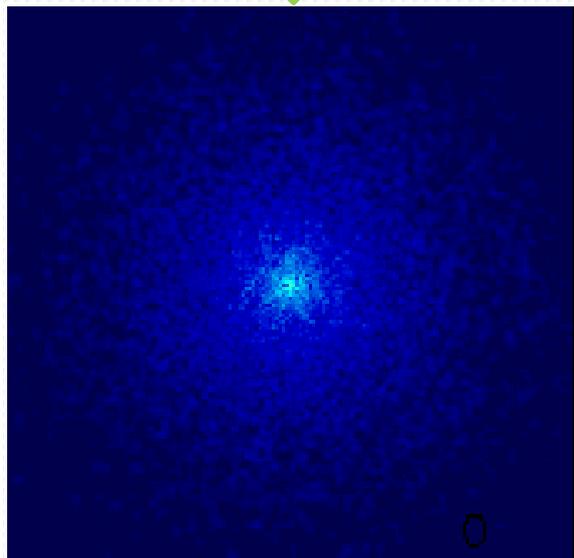


- NFW profile
- $M_{\text{vir}} = 5 \times 10^{11} M_{\odot}$
- Gas fraction = 0.06
- $N_{\text{DM}} = 1.0 \times 10^7$, $N_{\text{gas}} = 5.0 \times 10^6$
- $\epsilon_{\text{DM}} = 8\text{pc}$, $\epsilon_{\text{gas}} = 2\text{pc}$
- スピンパラメータ $\lambda = 0.1$
- 角運動量 $j \propto r$
- $T(r) = \text{virial temperature}$
- 計算コード ASURA
 - star formation/supernova
- 星形成条件
 - $T < 100\text{K}$,
 - $\rho_{\text{gas}} > 100\text{atm/cc}$
 - $\nabla \cdot v < 0$
- 温度下限値 $T > 20\text{K}$

ガス密度

星形成領域

星密度



60 kpc

10^{-3} 10^{-2} 10^{-1} 1 10^1 10^2 10^3 10^4 Number density [$n_H \text{ cm}^{-3}$]



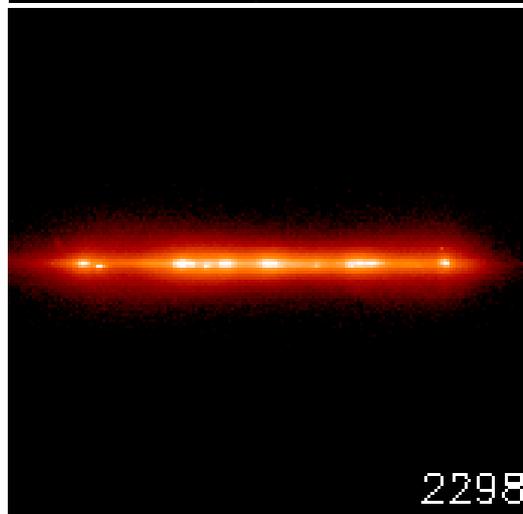
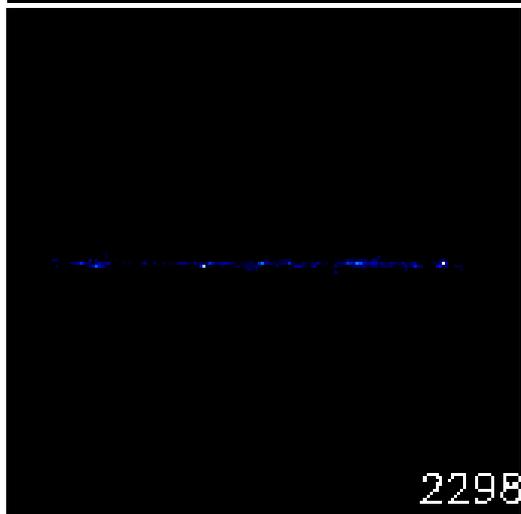
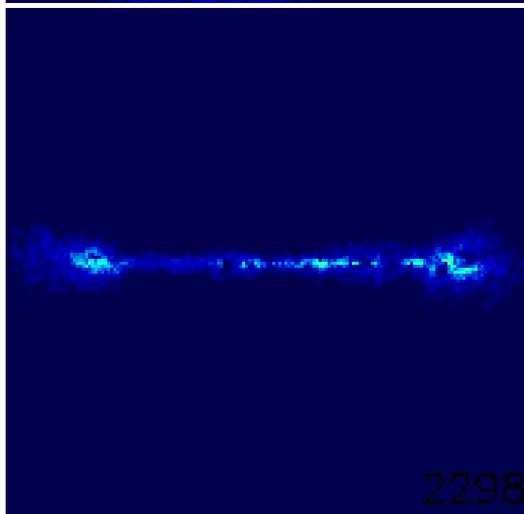
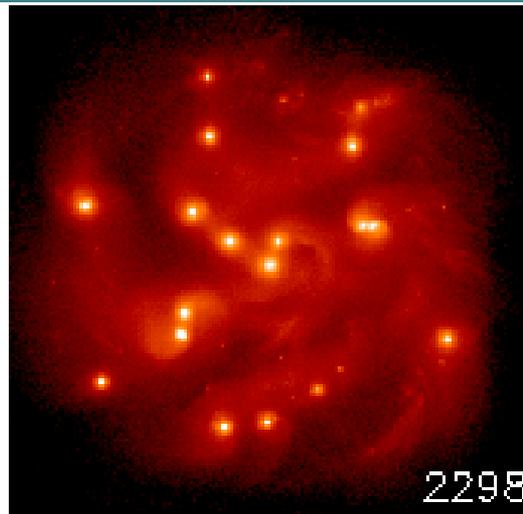
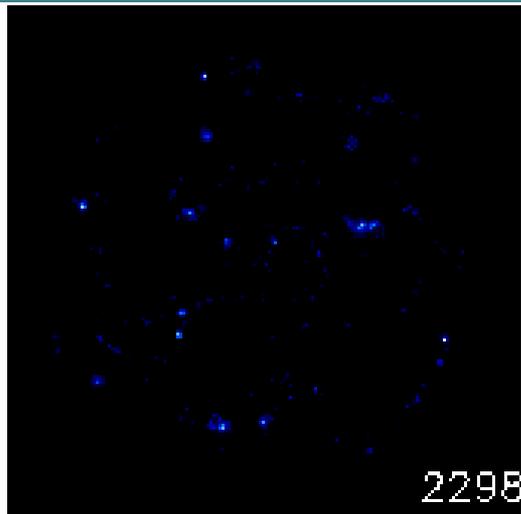
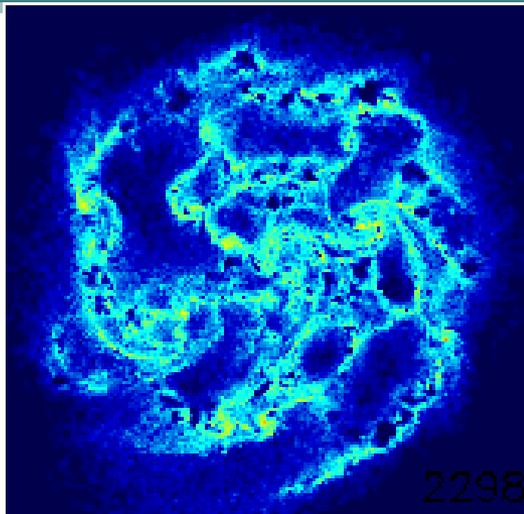
10^1 10^2 10^3 10^4 10^5 10^6 Temperature [K]

10^{-1} 1 10^1 10^2 Surface density [$M_\odot \text{ pc}^{-2}$]



時間 [Myr]

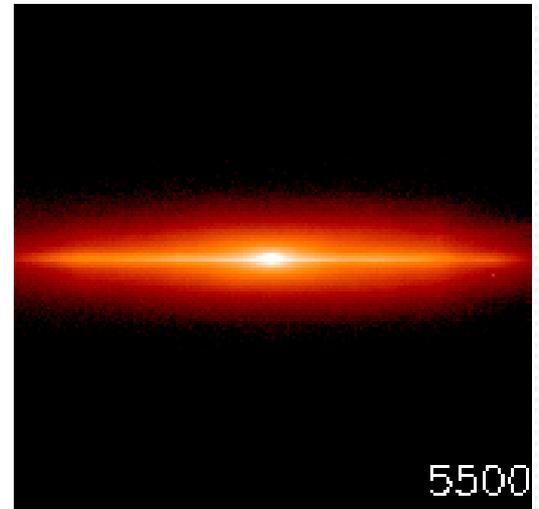
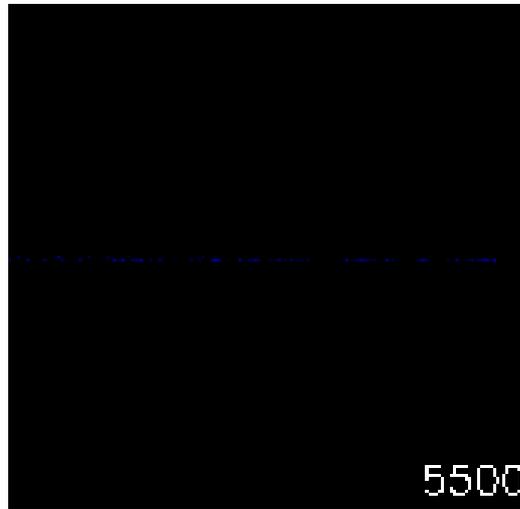
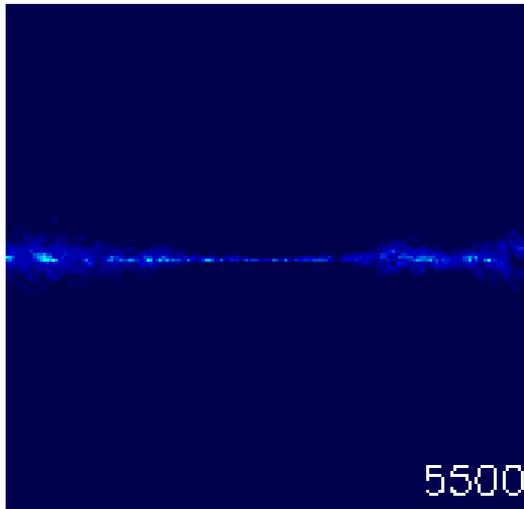
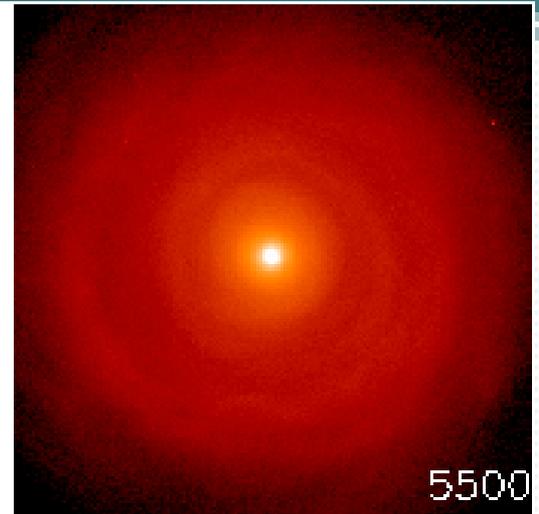
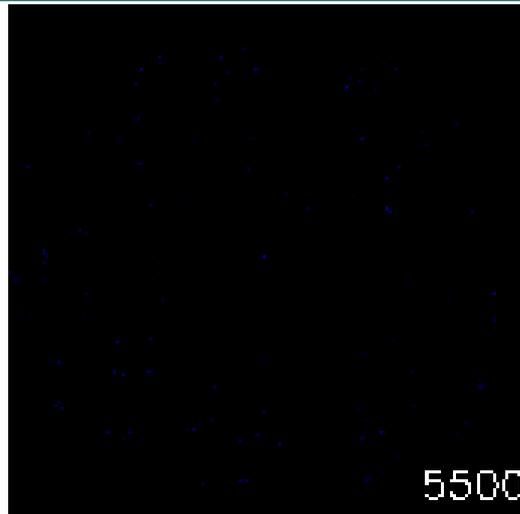
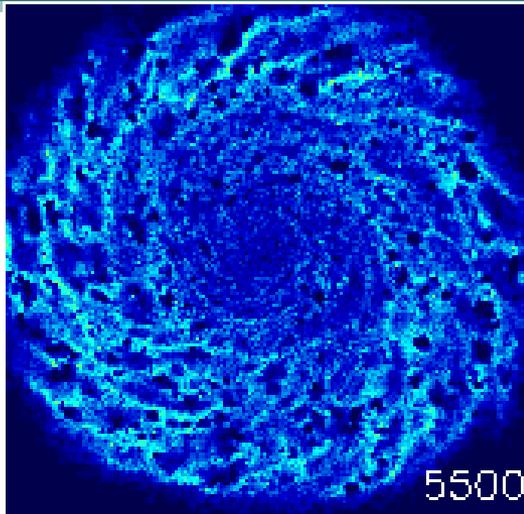




10^{-3} 10^{-2} 10^{-1} 1 10^1 10^2 10^3 10^4 Number density [$n_H \text{ cm}^{-3}$]

10^1 10^2 10^3 10^4 10^5 10^6 Temperature [K]

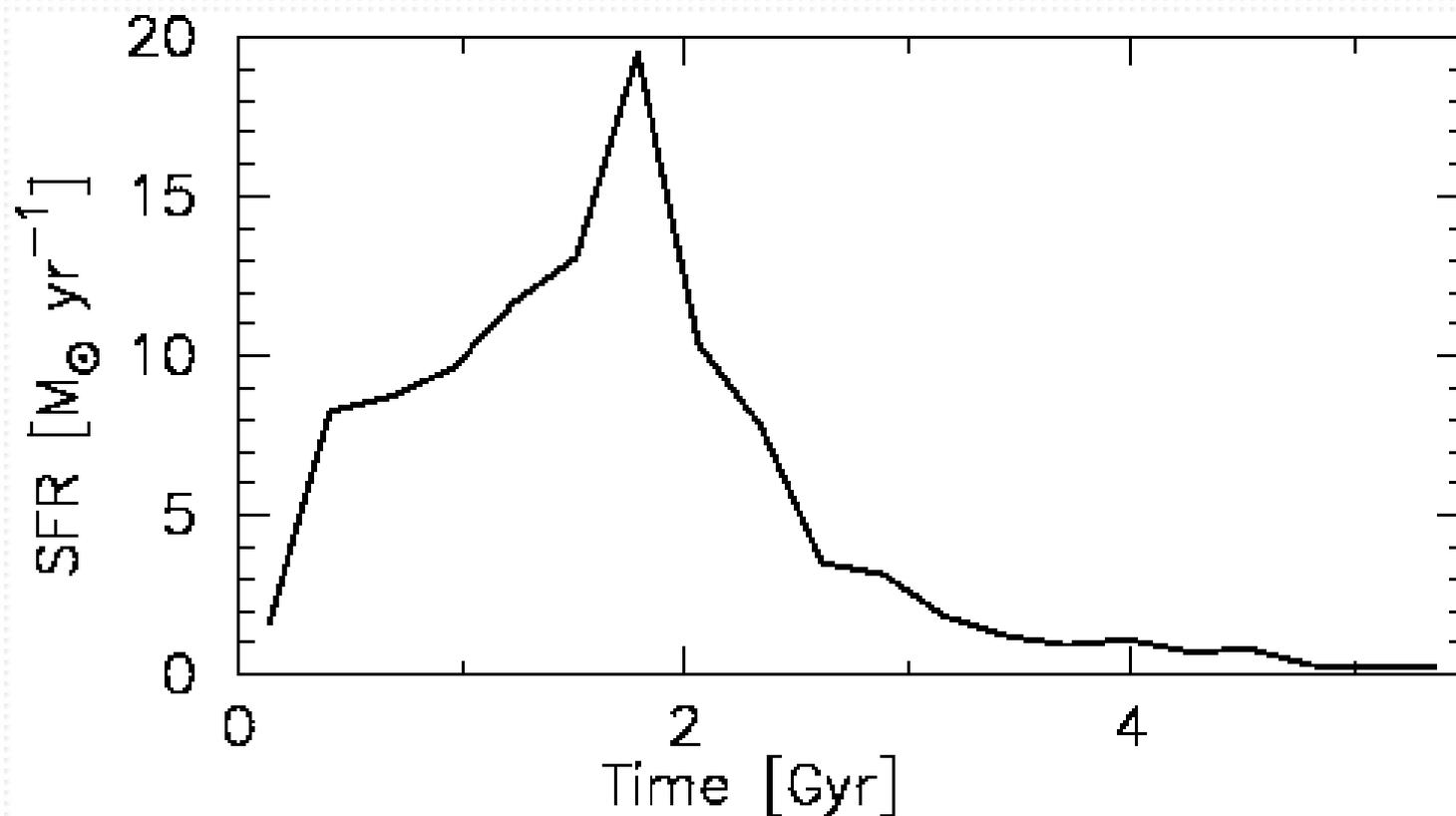
10^{-1} 1 10^1 10^2 Surface density [$M_\odot \text{ pc}^{-2}$]



DM mass = $4.7 \times 10^{11} M_{\odot}$
Gas mass = $5.0 \times 10^9 M_{\odot}$
Stellar mass = $2.5 \times 10^{10} M_{\odot}$

Bulge/Total = 0.18

星形成率



バルジについて

classical bulge or pseudobulge?

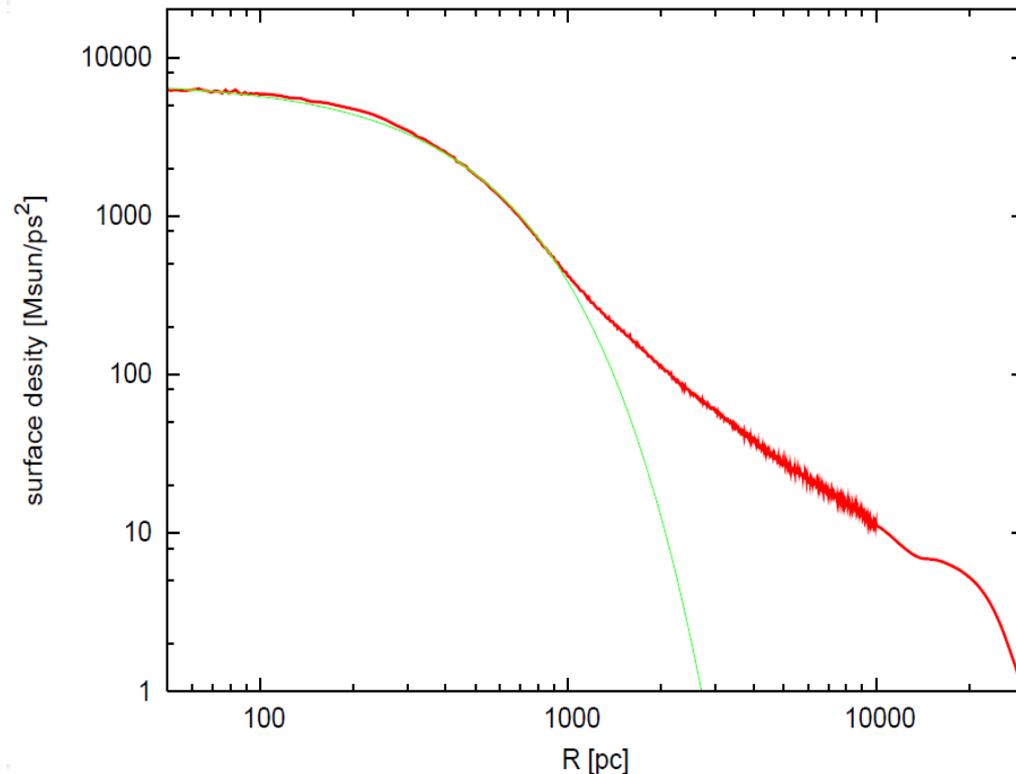
- 銀河のバルジは一般的に2種類に分けられる。
- **classical bulgeか、pseudo bulgeか？**
 - classical bulge
 - 銀河のmergerで形成される。
 - de Vaucouleur 則に従う密度プロファイル。
 - 球形に近い。回転を持たない。
 - 一般的に古い星で構成される。
 - pseudobulge
 - 渦状腕や棒状構造によるガス降着(secular evolution)によって形成。
 - exponential に従う密度プロファイル。
 - 扁平な形状。回転を持つ。
 - 一般的に若い星で構成される。
- **クランプから形成されるバルジはどちらの形成シナリオでもない。**

簡易診断 Sersic profile fit

- 表面輝度プロファイルから簡単にわかる診断法。

$$I(R) = I_0 \exp \left[- (R / R_e)^{1/n} \right]$$

- $n > 2.0 \Rightarrow$ classical bulge
- $n < 2.0 \Rightarrow$ pseudo bulge
- $n = 0.9$
 - 簡易診断では
pseudobulge

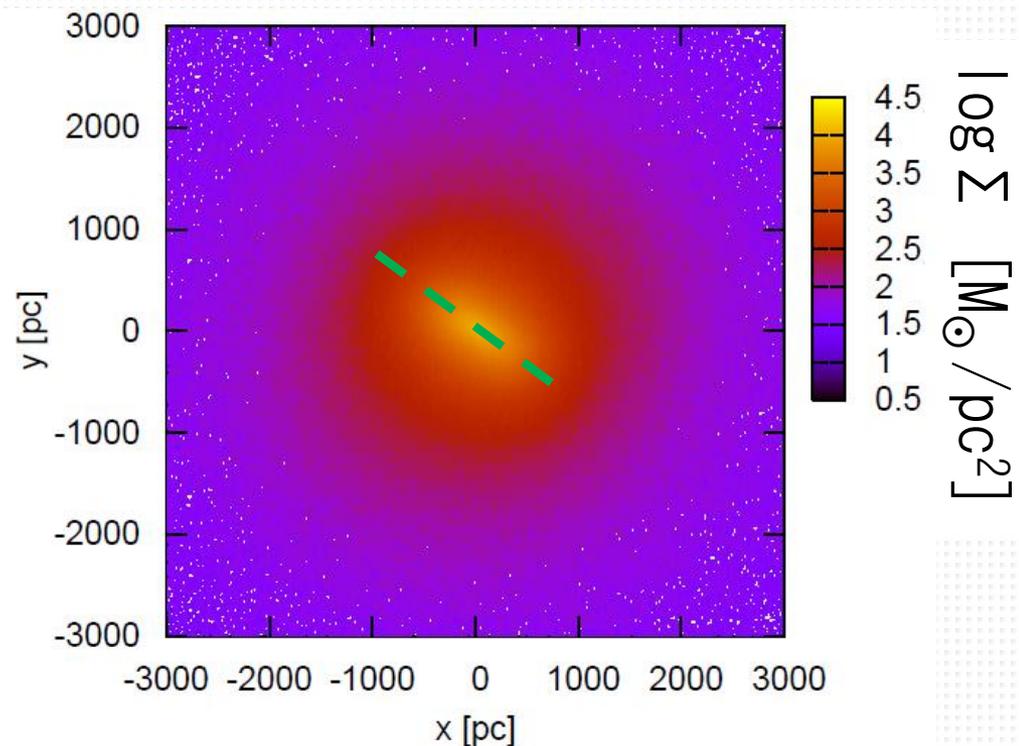


簡易診断 Sersic profile fit

- 表面輝度プロファイルから簡単にわかる診断法。

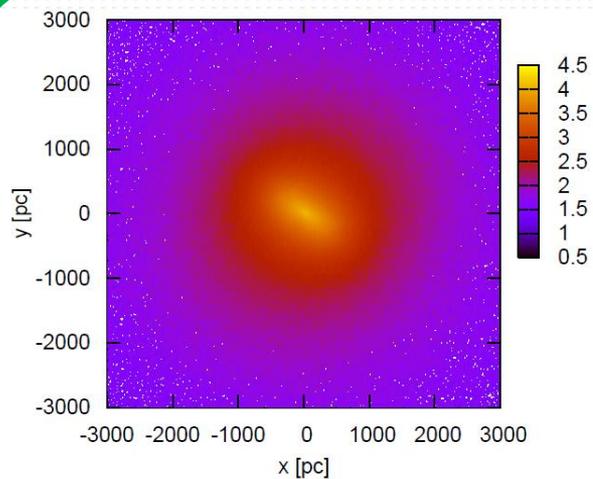
$$I(R) = I_0 \exp \left[- (R / R_e)^{1/n} \right]$$

- $n > 2.0 \Rightarrow$ classical bulge
- $n < 2.0 \Rightarrow$ pseudo bulge
- $n = 0.9$
 - 簡易診断では
pseudobulge
- nuclear bar

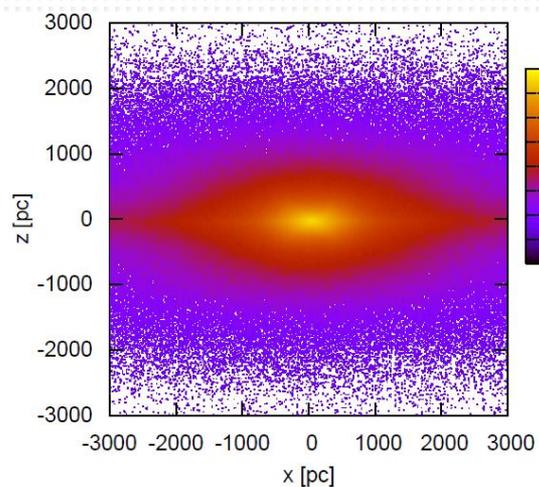


形状と回転

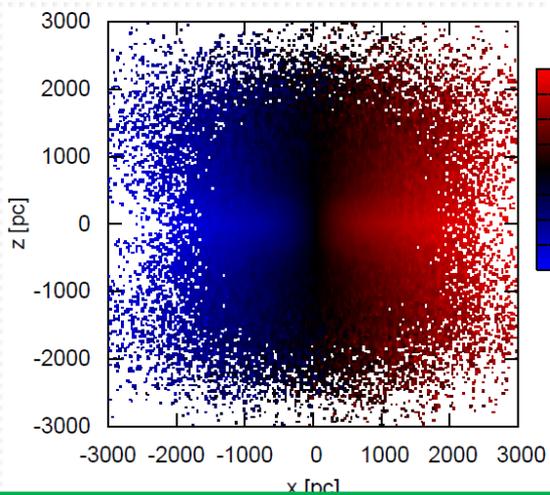
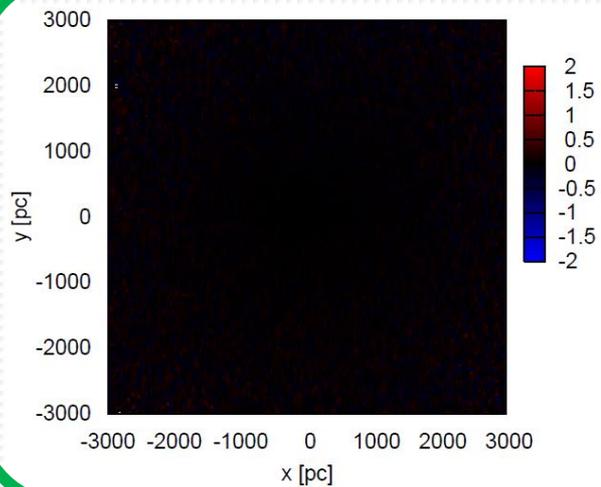
Face-on



Edge-on



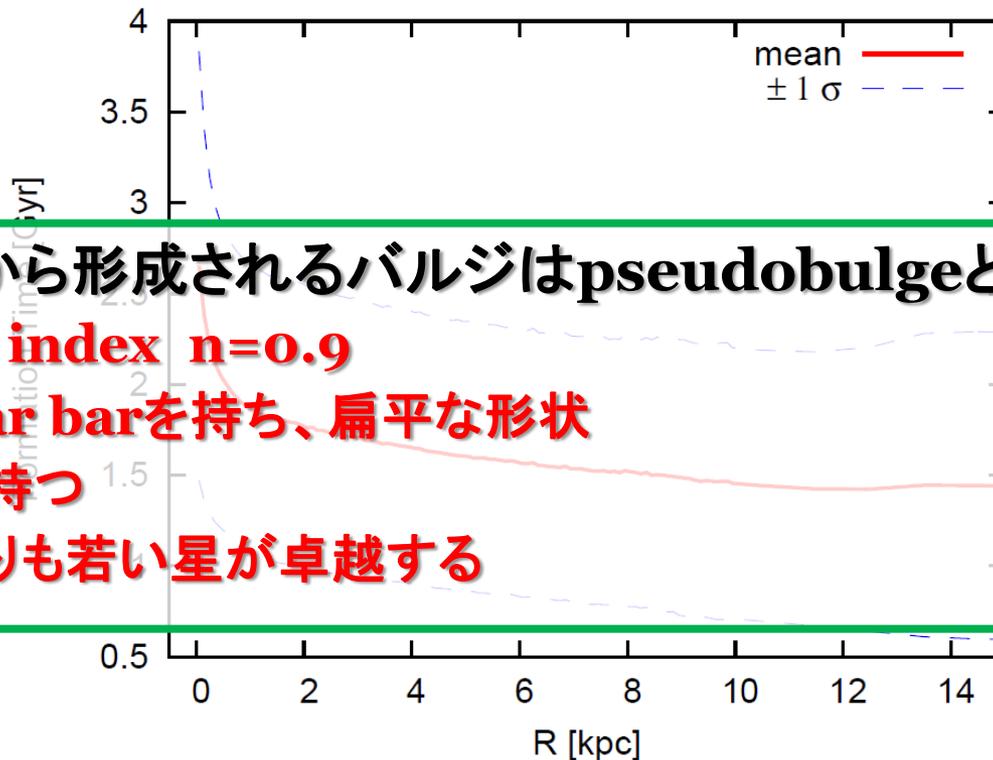
$\log \Sigma$ [M_{\odot} / pc^2]



$\langle v \rangle / \sigma$

星の年齢

- シミュレーション中のバルジには古い星が多い。



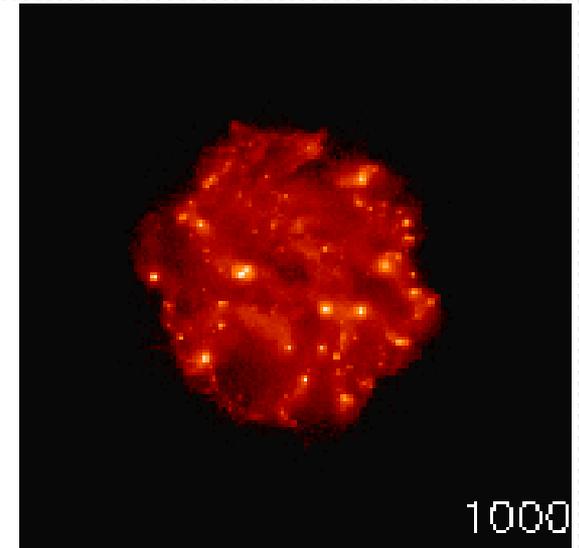
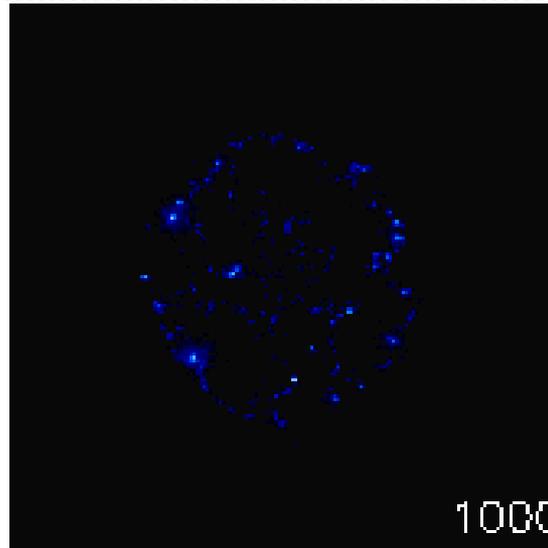
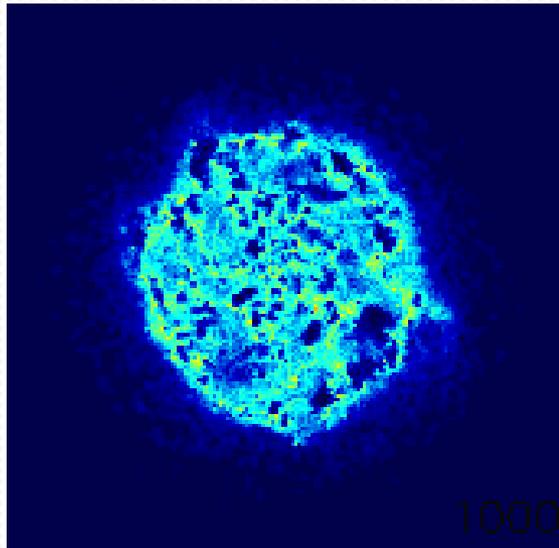
- クランプから形成されるバルジはpseudobulgeとしての性質を持つ。

- **Sersic index $n=0.9$**
- **nuclear barを持ち、扁平な形状**
- **回転を持つ**
- **円盤よりも若い星が卓越する**

- 観測的にもpseudobulgeは円盤よりも若い星。

円盤の形成について

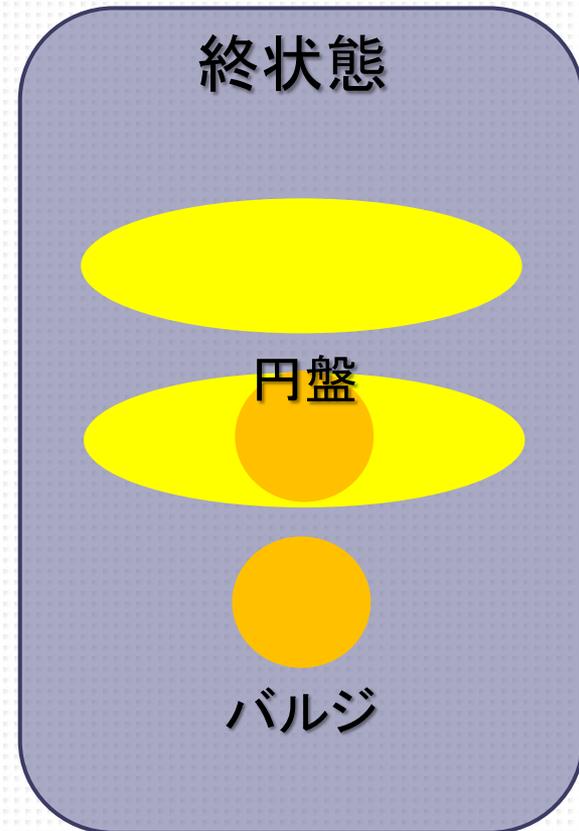
クラumpによる円盤形成



- 星形成はほとんどクラumpの中で起こっているように見える。
 - にもかかわらず、円盤は形成されていく。
- **円盤は、初めから円盤として形成されるのではなく、**
 - **クラumpが星を撒き散らすことで、円盤が形成されていくのでは？**

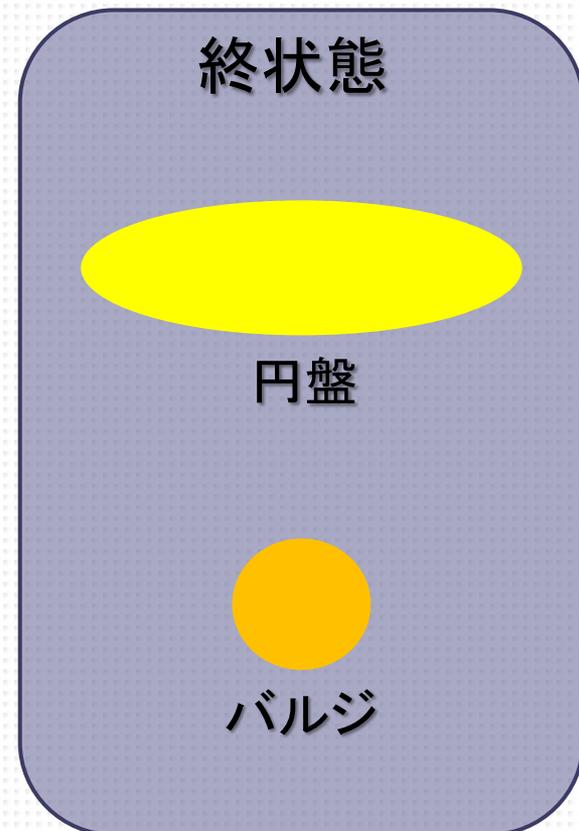
クランプによる円盤形成

- 円盤のクランプ起源である質量の割合
 - 円盤の何割が、クランプからばら撒かれた星で出来ているか？



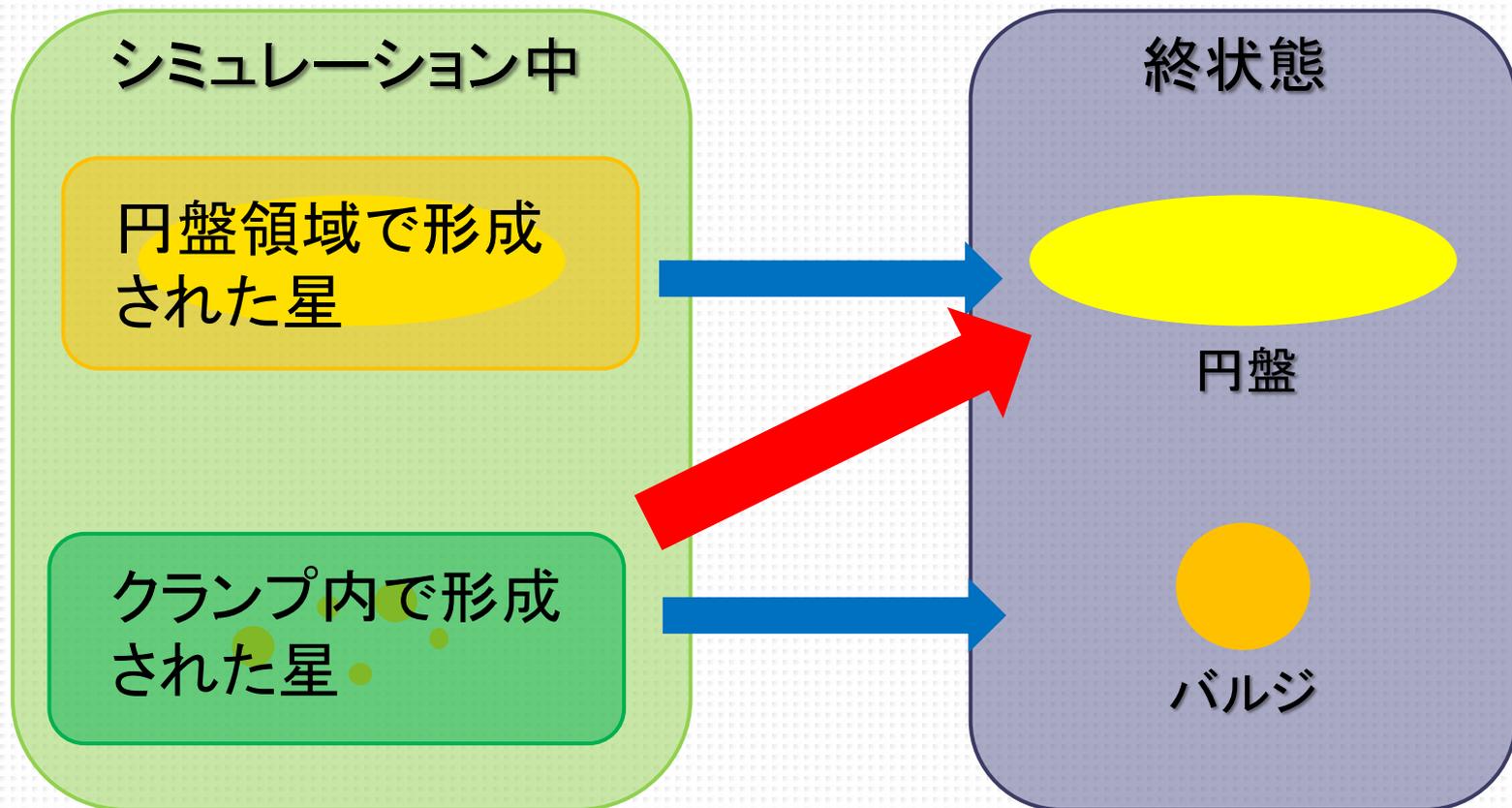
クランプによる円盤形成

- 円盤のクランプ起源である質量の割合
 - 円盤の何割が、クランプからばら撒かれた星で出来ているか？



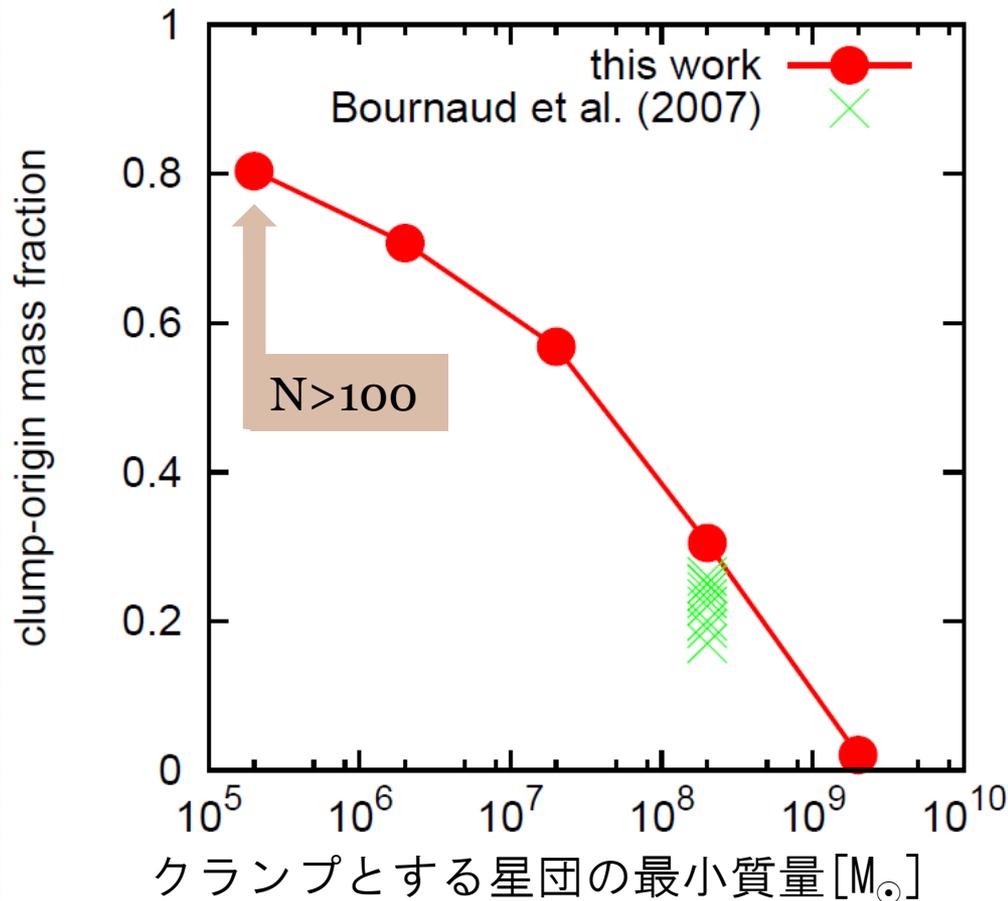
クラumpによる円盤形成

- 円盤のクラump起源である質量の割合
 - 円盤の何割が、クラumpからばら撒かれた星で出来ているか？



クランプによる円盤形成

- 円盤のクランプ起源である質量の割合
 - 円盤の何割が、クランプからばら撒かれた星で出来ているか？



まとめ

- 円盤銀河形成の初期段階において、クランプの形成が生じる。
- 重いクランプは銀河中心まで落ちて、バルジを形成する。
 - クランプ起源で形成されるバルジは、pseudobulgeとしての性質を持つバルジになる。
 - ただし、従来のpseudobulgeの起源とはまったく違うものである。
 - Pseudobulge形成シナリオのもう一つの可能性。
- 銀河円盤は、潮汐破壊などにより、クランプが星をばら撒くことによって作られる。
 - 今回のシミュレーションでは、クランプ($2 \times 10^5 M_{\odot}$ 以上)が円盤全体の約80%を作る。

Bournaud, Elmegreen & Elmegreen(2007)

- クランプから円盤が形成される割合は～20%程度。
 - $2 \times 10^8 M_{\odot}$ 以上をクランプとする。

t=120 Myr

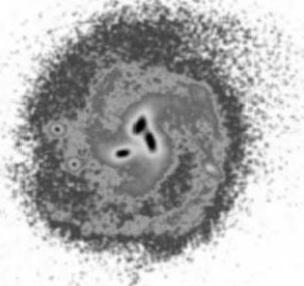


t=200 Myr

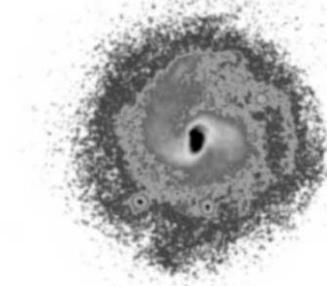


10kpc

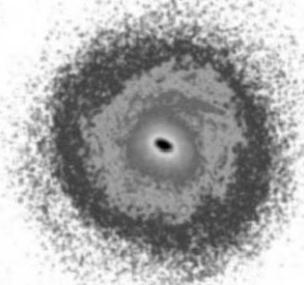
t=400 Myr



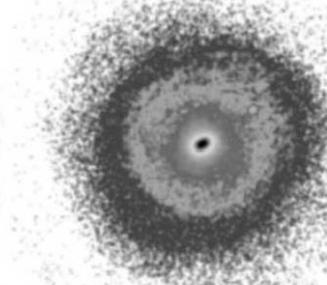
t=650 Myr



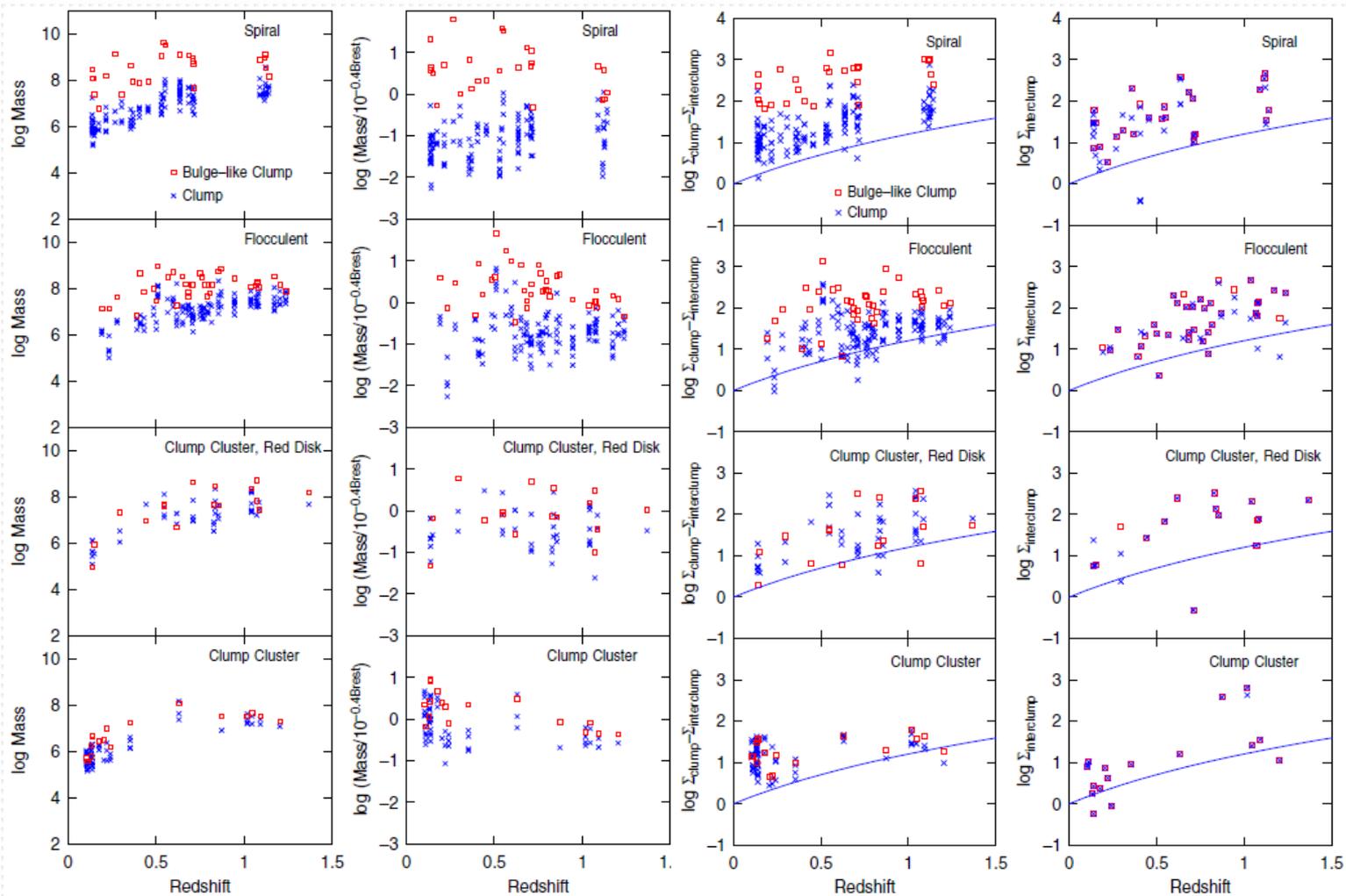
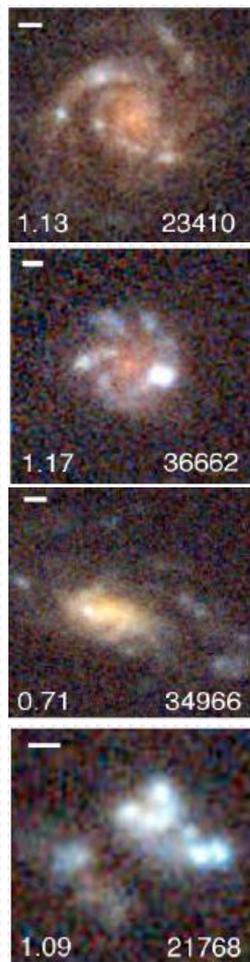
t=850 Myr

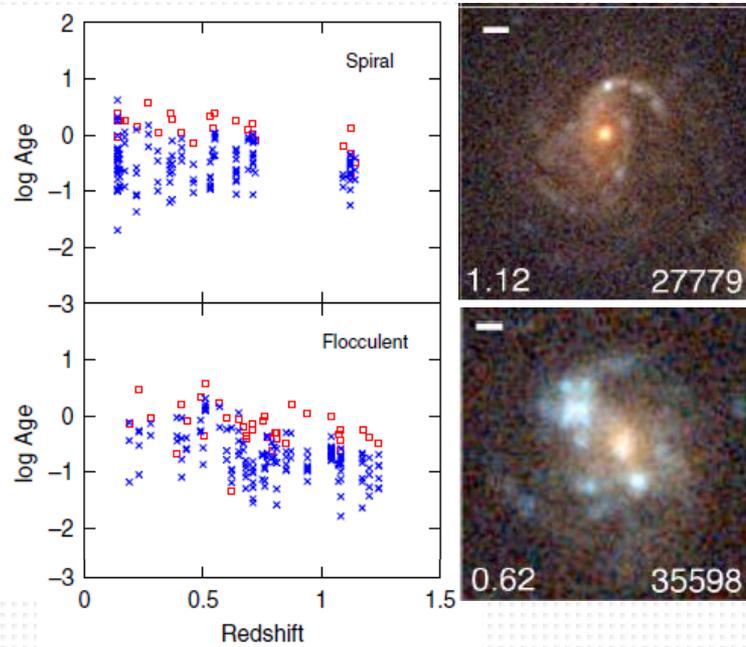


t=1000 Myr



Elmegreen et al. (2009)





Elmegreen et al. (2009)