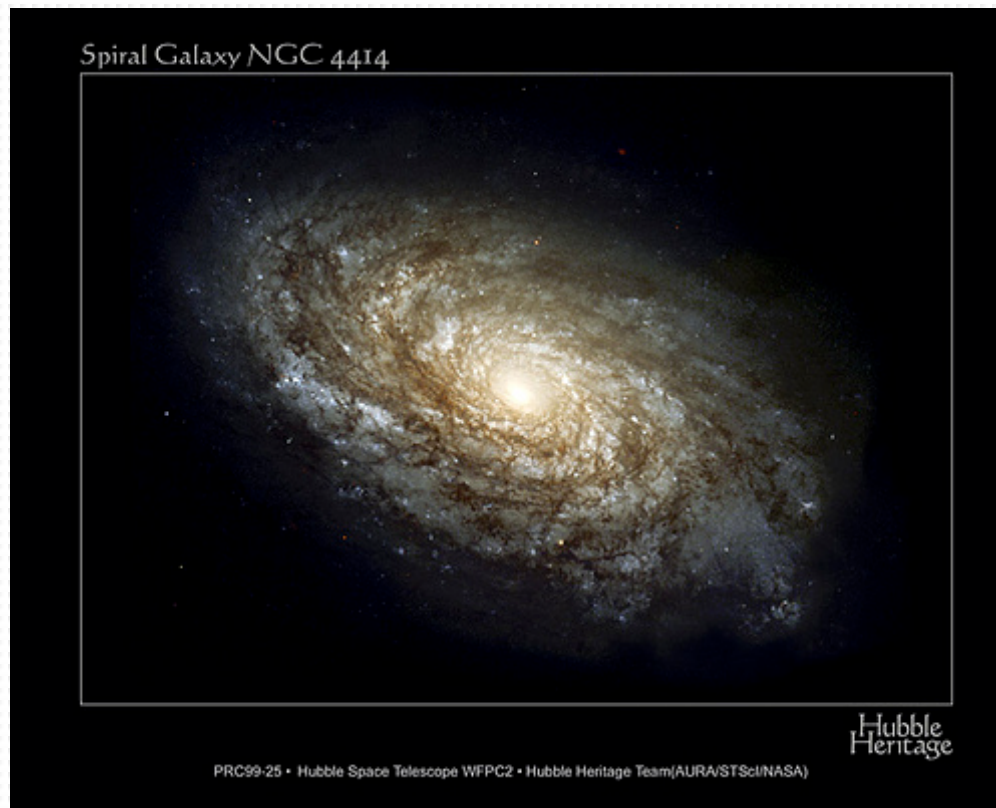


clump cluster/chain galaxyからの円盤とバルジの形成

東北大学 D3 井上 茂樹

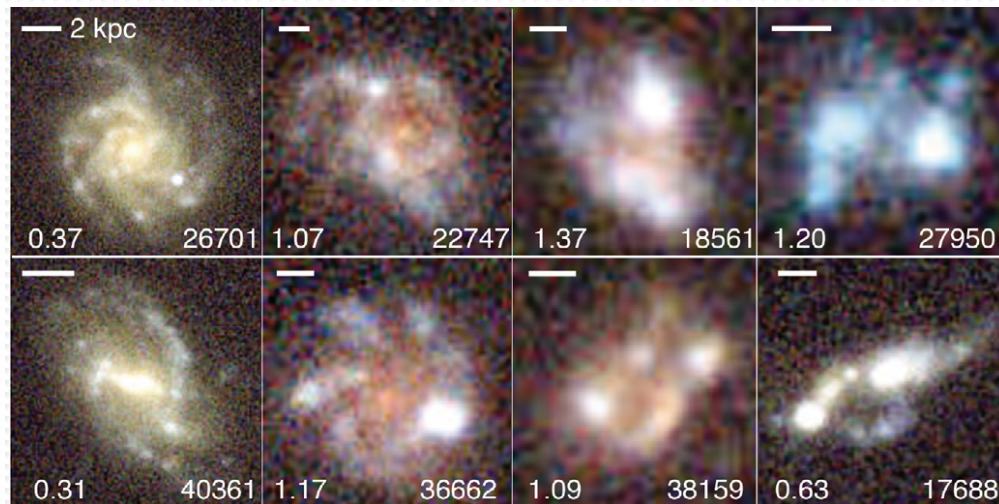
円盤銀河はどのようにして出来るのか？



- 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)

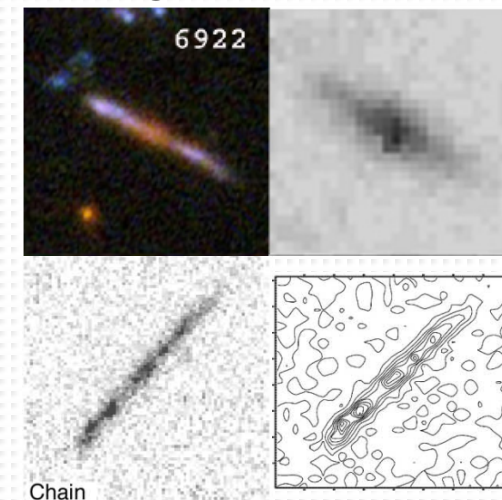
clump cluster / chain galaxy

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



Elmegreen et al. (2009)

Elmegreen et al. (2009)



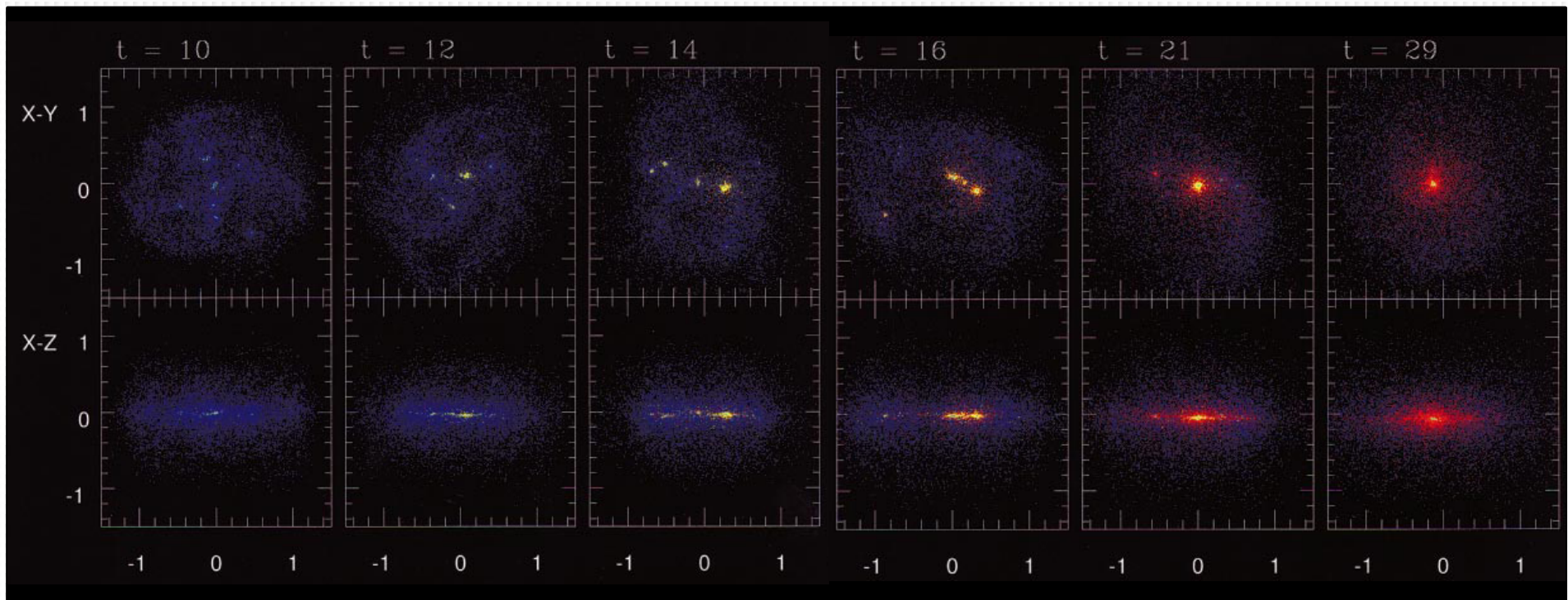
Elmegreen et al. (2004)

- 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。



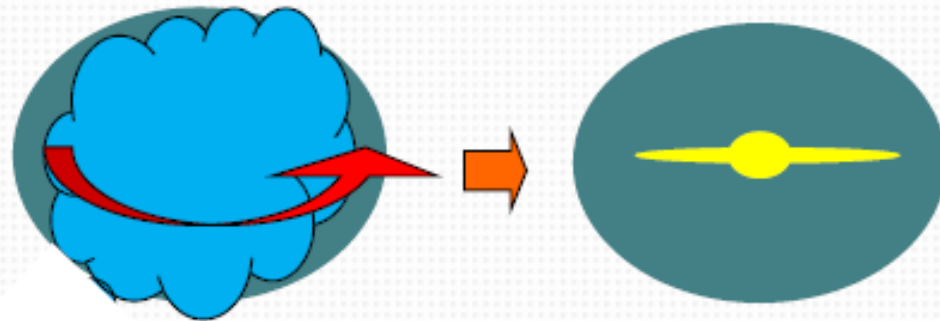
Noguchi (1998)

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 $T > 20\text{K}$

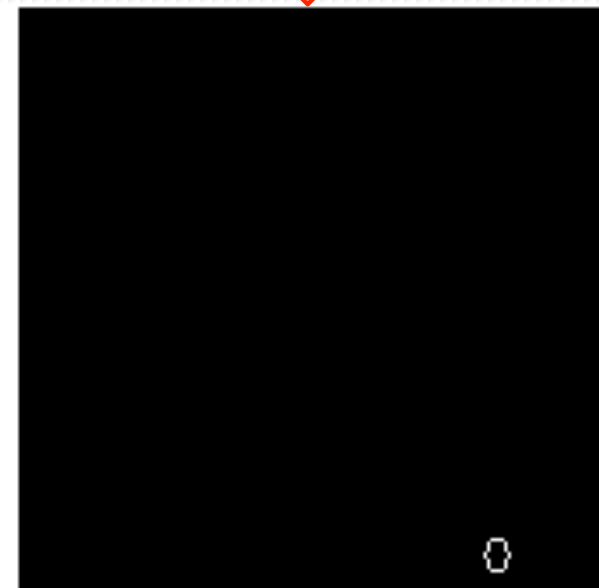
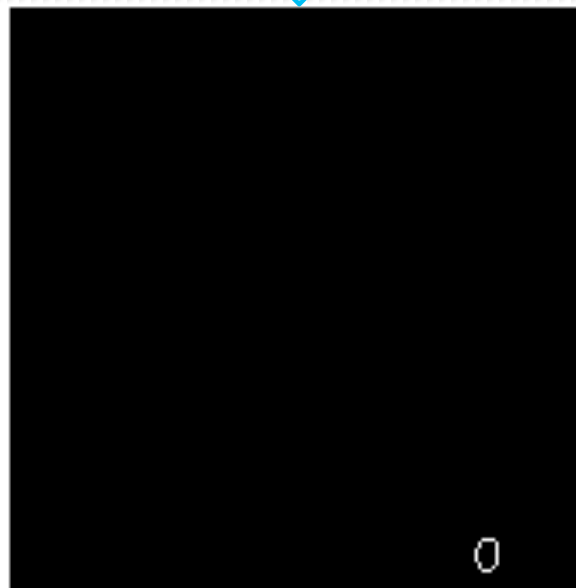
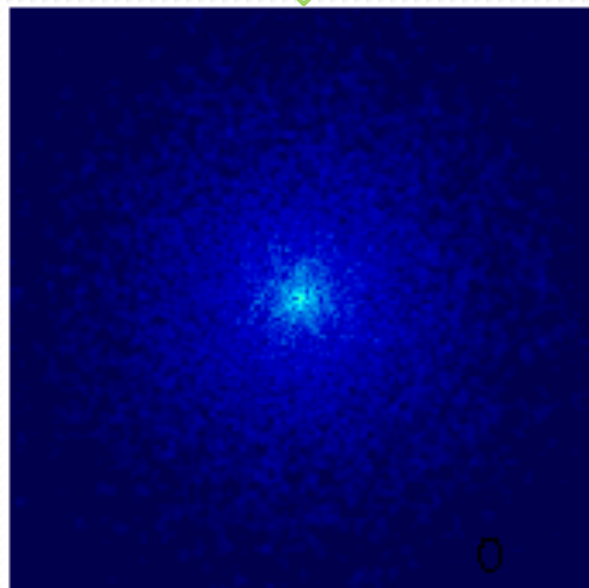
結論

- clump cluster / chain galaxyでは、クランプが円盤とバルジを作る。
 - 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。
 - 円盤銀河の円盤は、クランプが壊されることによって形成される。

ガス密度

星形成領域

星密度



60kpc

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



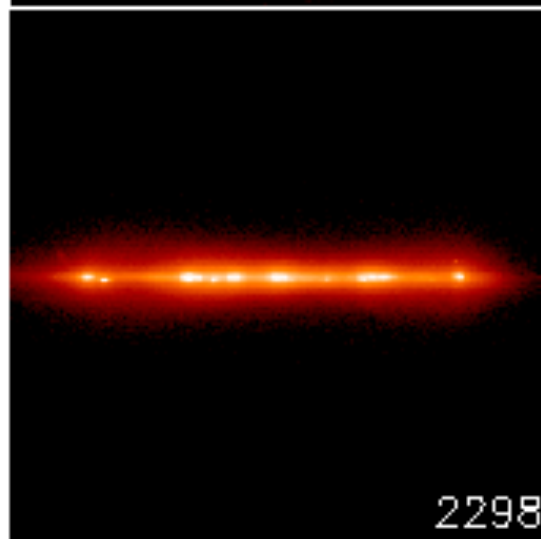
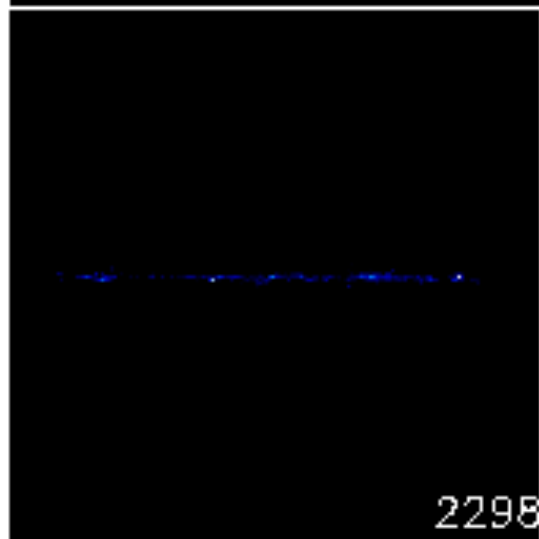
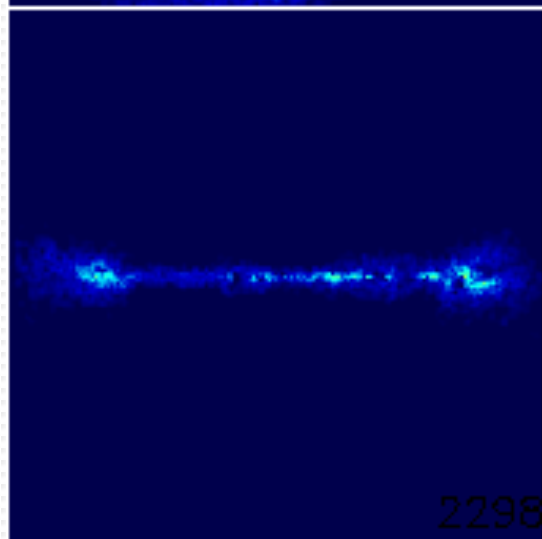
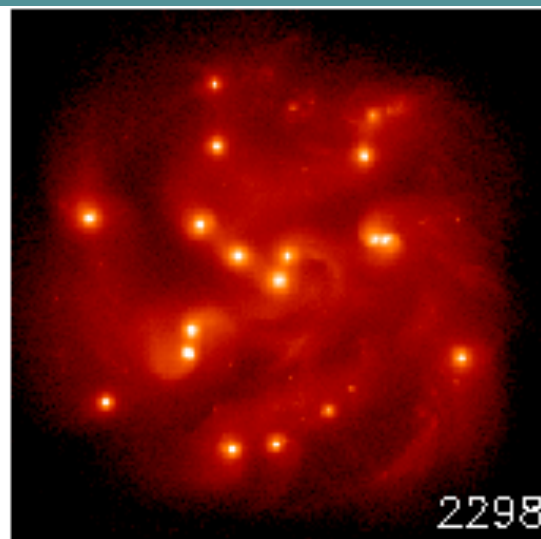
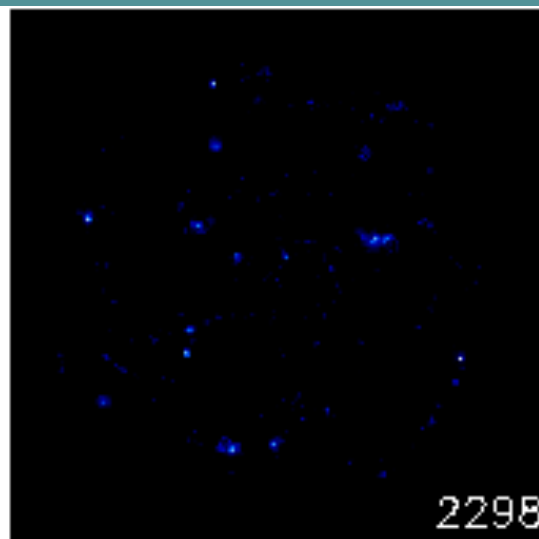
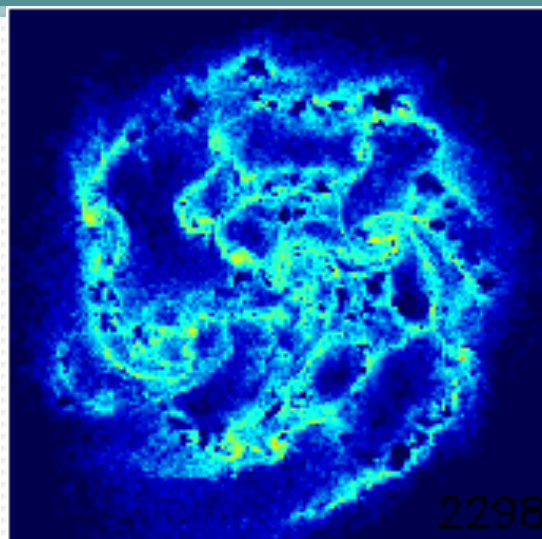
10^1 10^2 10^3 10^4 10^5 10^6 Temperature [K]

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



時間 [Myr]

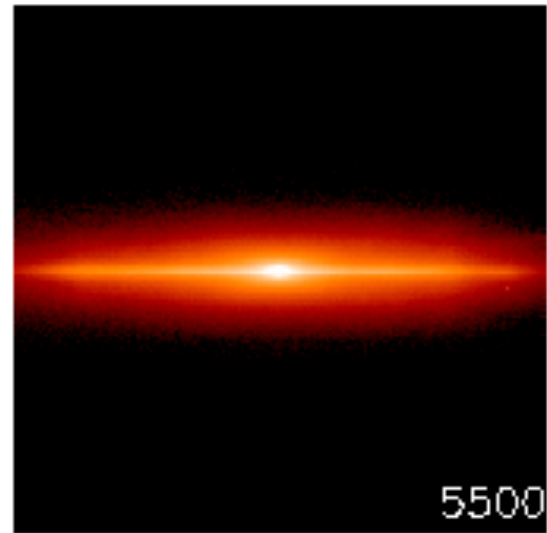
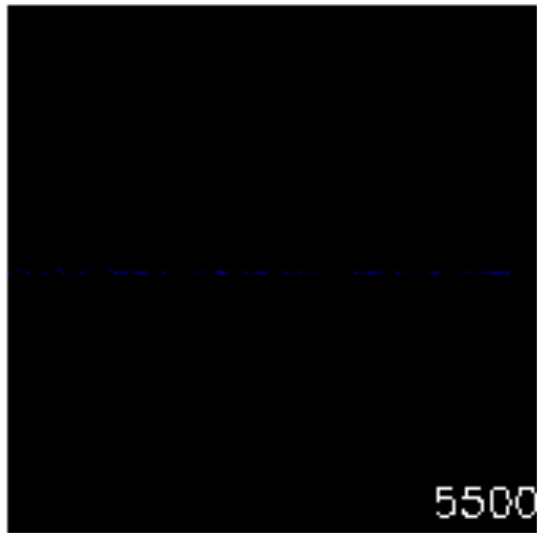
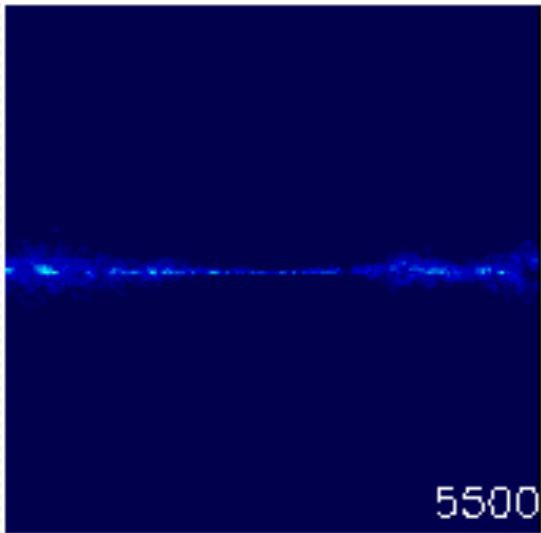
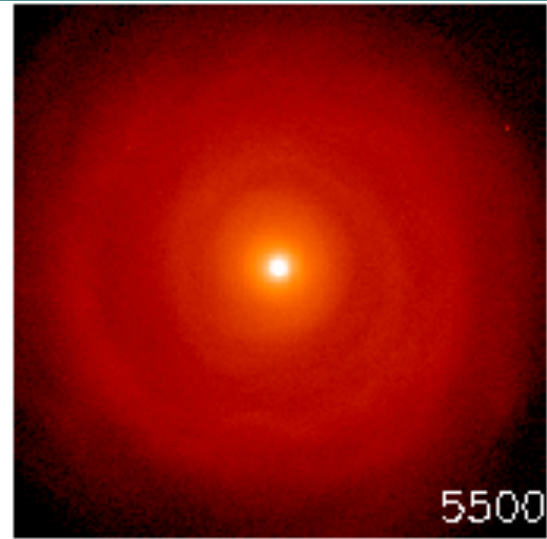
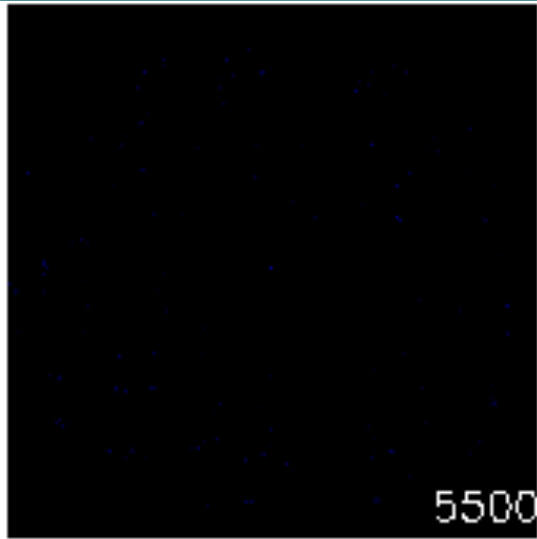
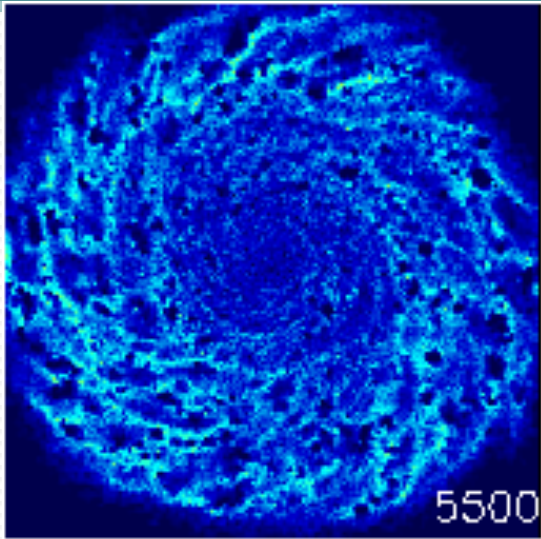




10^{-3} 10^{-2} 10^{-1} 1 10^1 10^2 10^3 10^4 Number density [$n_H \text{ cm}^{-3}$]

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

バルレジについて

classical bulge or pseudobulge?

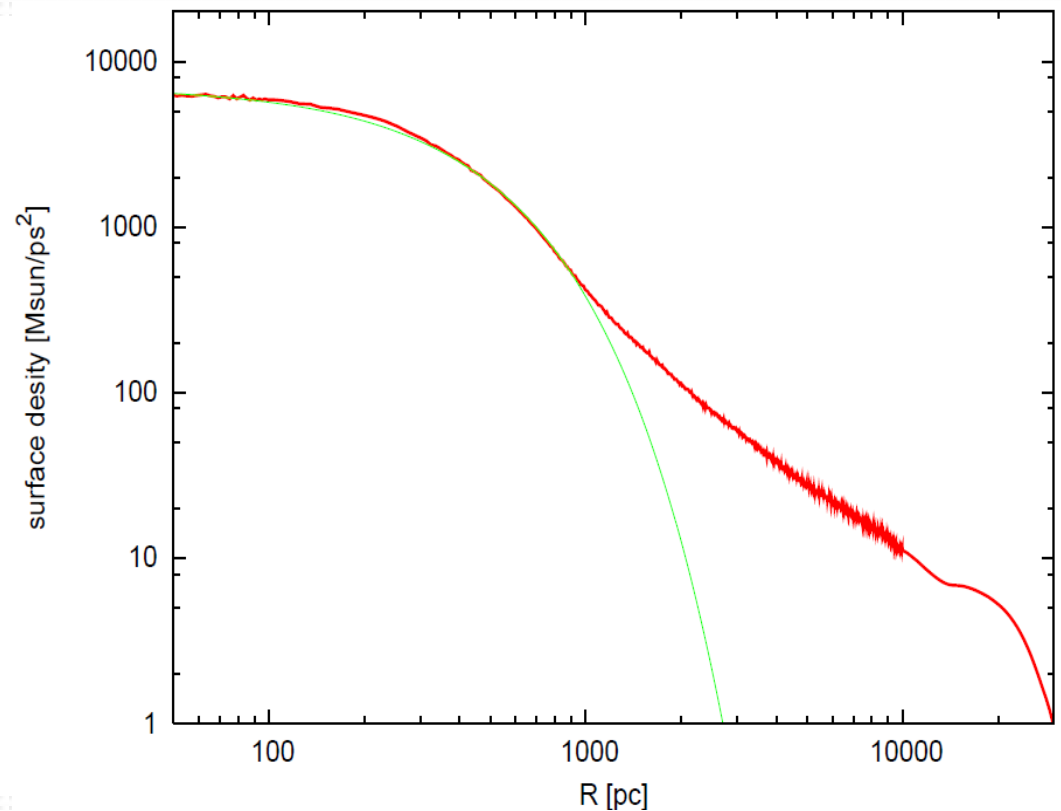
- 銀河のバルジは一般的に2種類に分けられる。
- **classical bulgeか、pseudo bulgeか？**
 - **classical bulge**
 - 銀河のmergerで形成されるものと考えられている。
 - de Vaucouleur 則に従う密度プロファイル。
 - 球形に近い。回転を持たない。
 - **pseudobulge**
 - 渦状腕や棒状構造によるガス降着によって形成されると考えられている。
 - exponential に従う密度プロファイル。
 - 扁平な形状。回転を持つ。
- **クランプから形成されるバルジはどちらの形成シナリオでもない。**
- **クランプから形成されるバルジはどちらの特徴を持つのか？**

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。

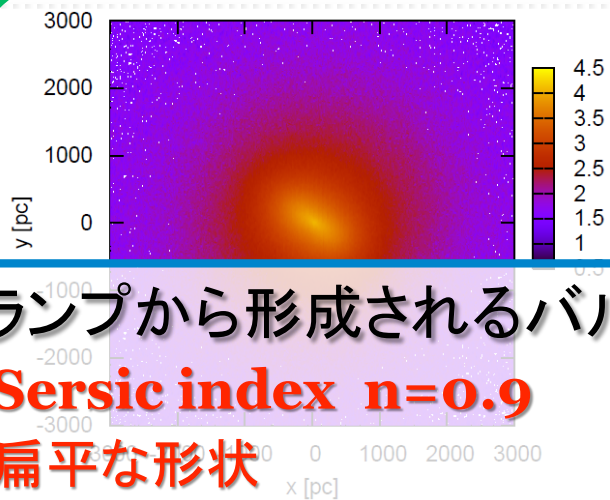
$$I(R) = I_0 \exp\left[-(R/R_e)^{1/n}\right]$$

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

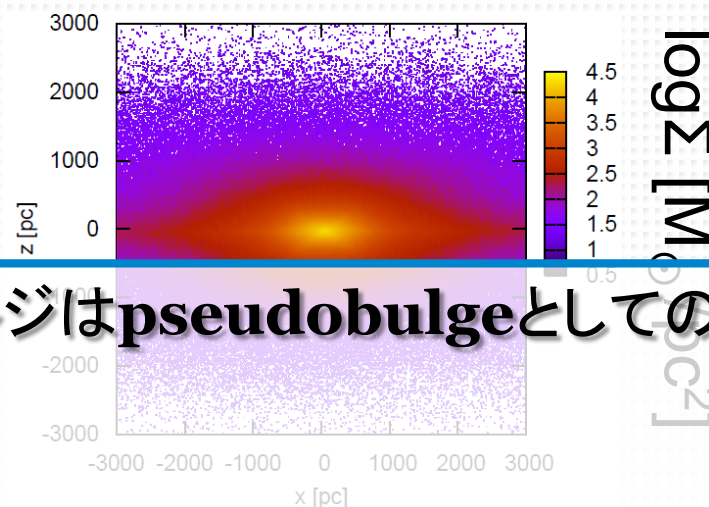


形状と回転

Face-on



Edge-on

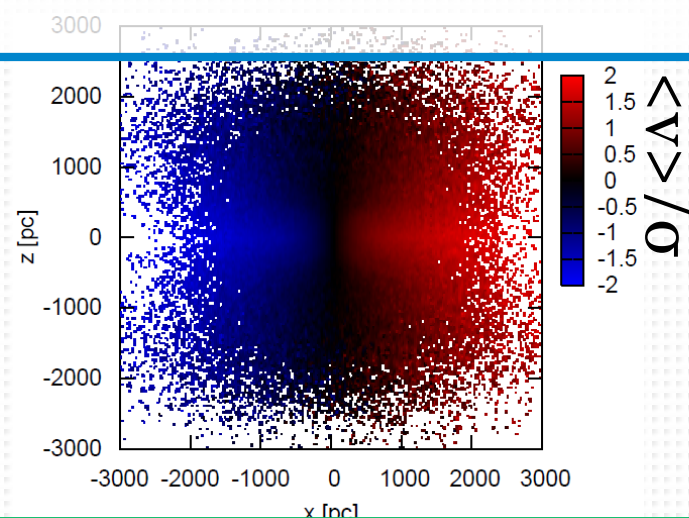
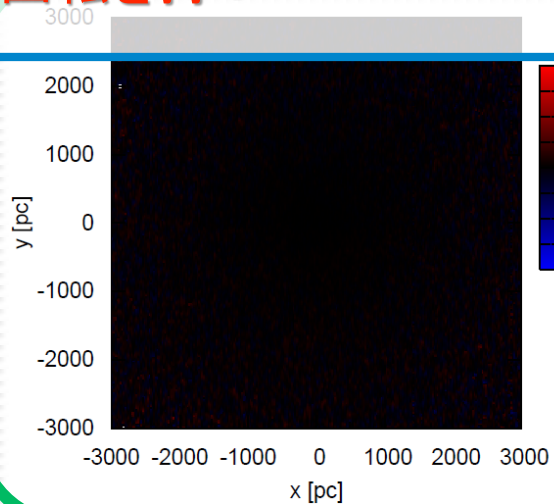


- クランプから形成されるバルジは **pseudobulge** としての性質を持つ。

- **Sersic index $n=0.9$**

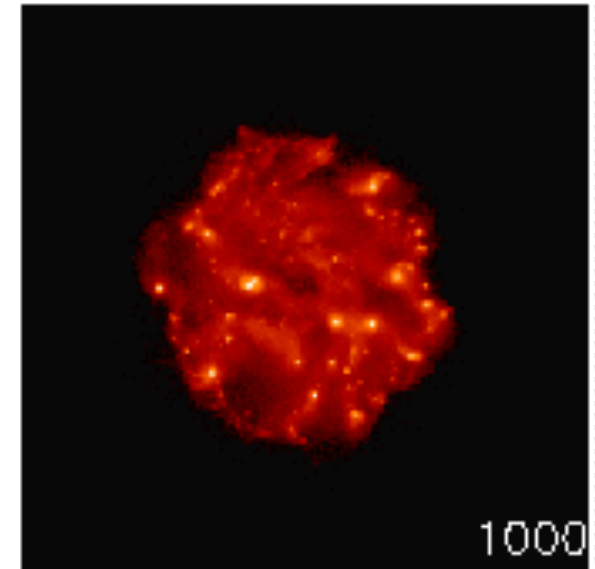
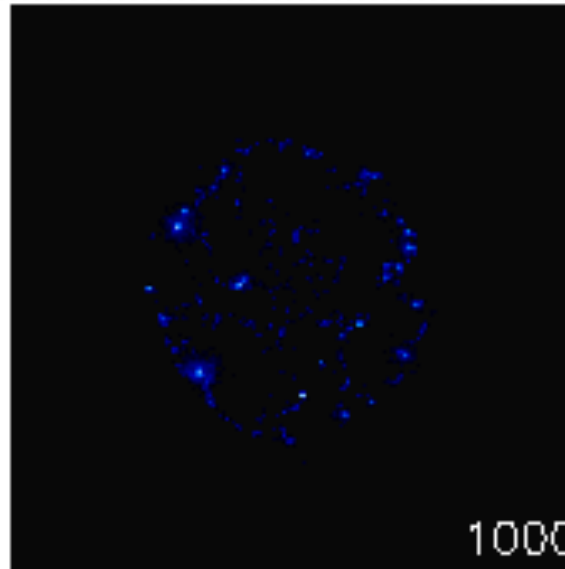
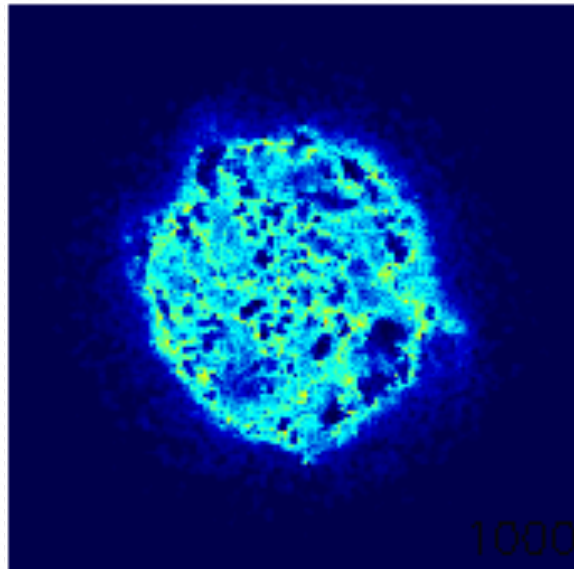
- **扁平な形状**

- **回転を持つ**



円盤の形成について

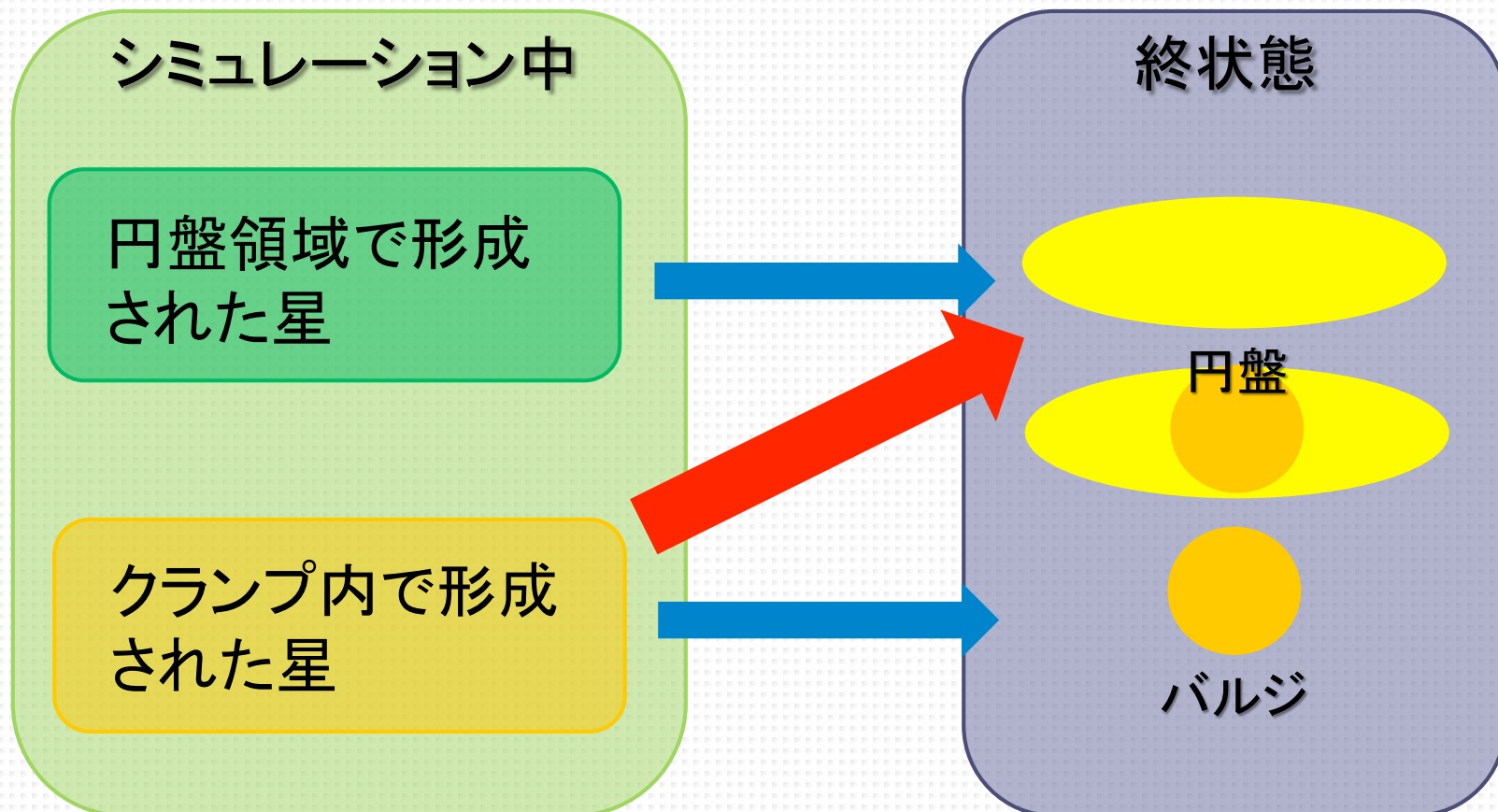
クラumpによる円盤形成



- 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？

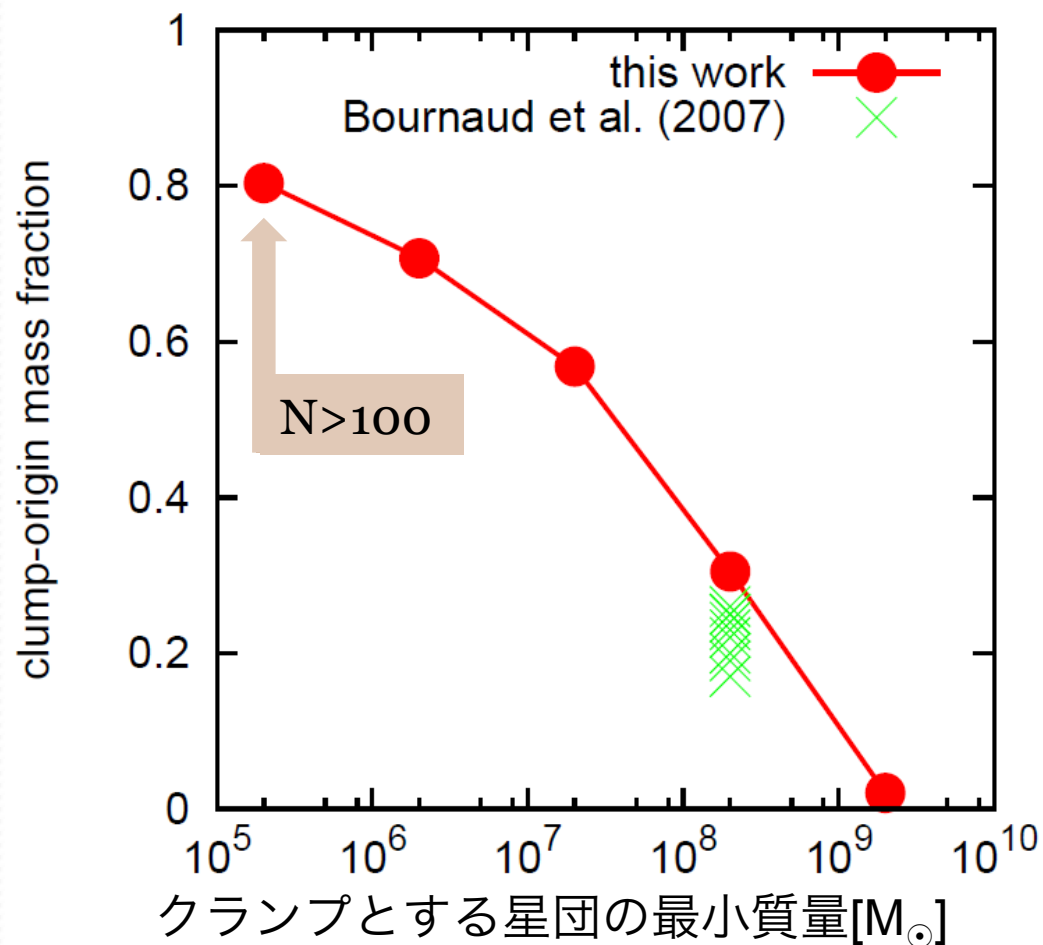
クランプによる円盤形成

- 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？

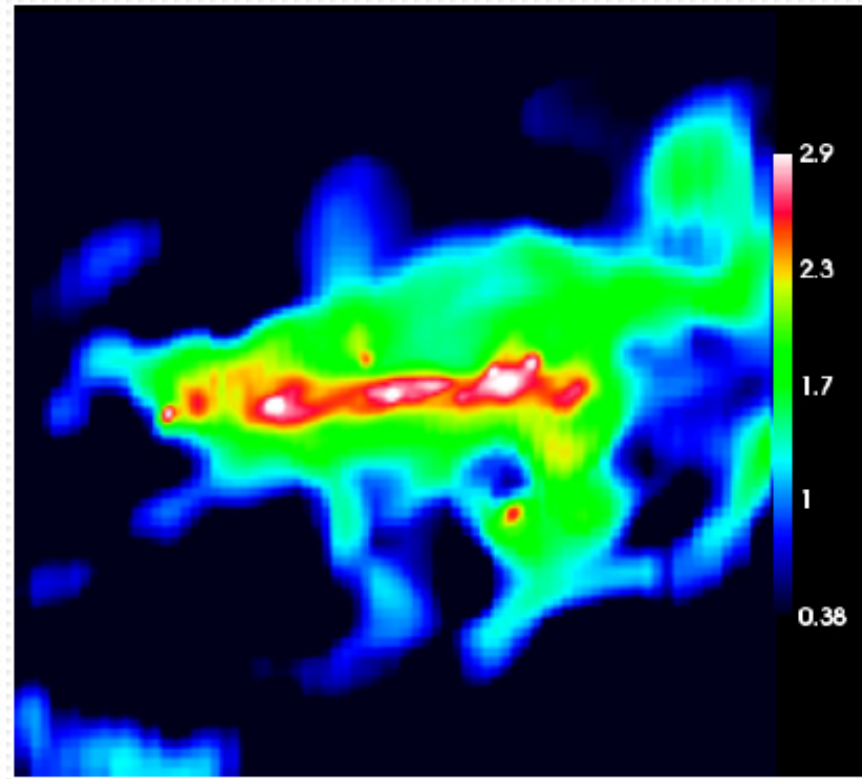
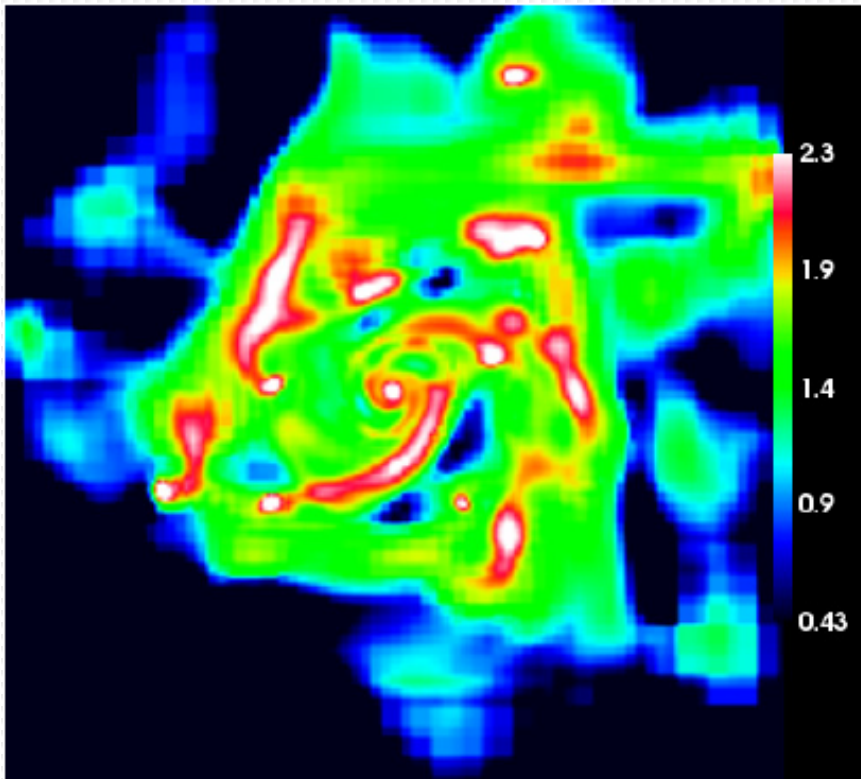


粒子質量 ≈ 2000 M_☉

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。
 - こうした過程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。
 - クランプ($2 \times 10^5 M_{\odot}$ 以上)が、円盤全体の約80%を作る。

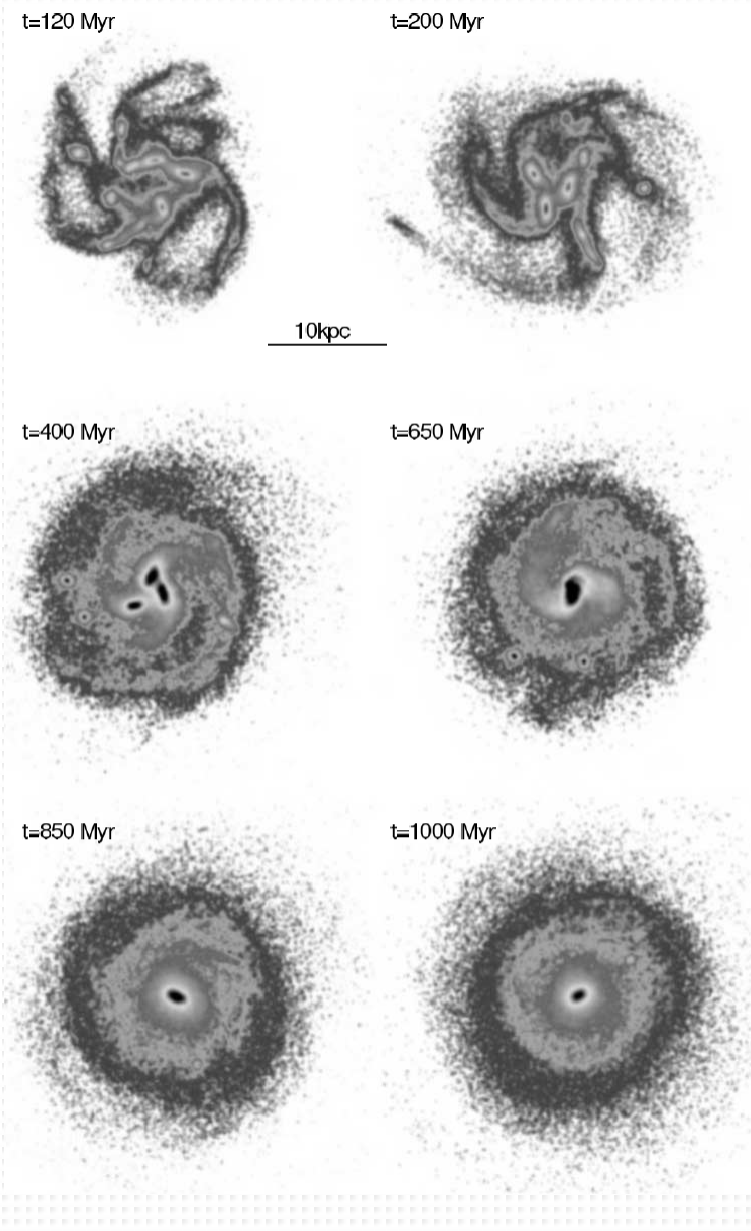
- 数値シミュレーションによる実証
 - Dekel, Sari & Ceverino (2009) など...
 - 宇宙論的シミュレーション



Dekel, Sari & Ceverino (2009)

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。



Elmegreen et al. (2009)

