

マージングと円盤銀河形成

齋藤貴之
(東工大 地球生命研究所)



1. 爆発的星形成

2. 星団形成

- 球状星団やそれより大質量のコンパクトな星団の形成

3. 形態進化

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL

AN INTERNATIONAL REVIEW OF SPECTROSCOPY AND
ASTRONOMICAL PHYSICS

VOLUME 94

NOVEMBER 1941

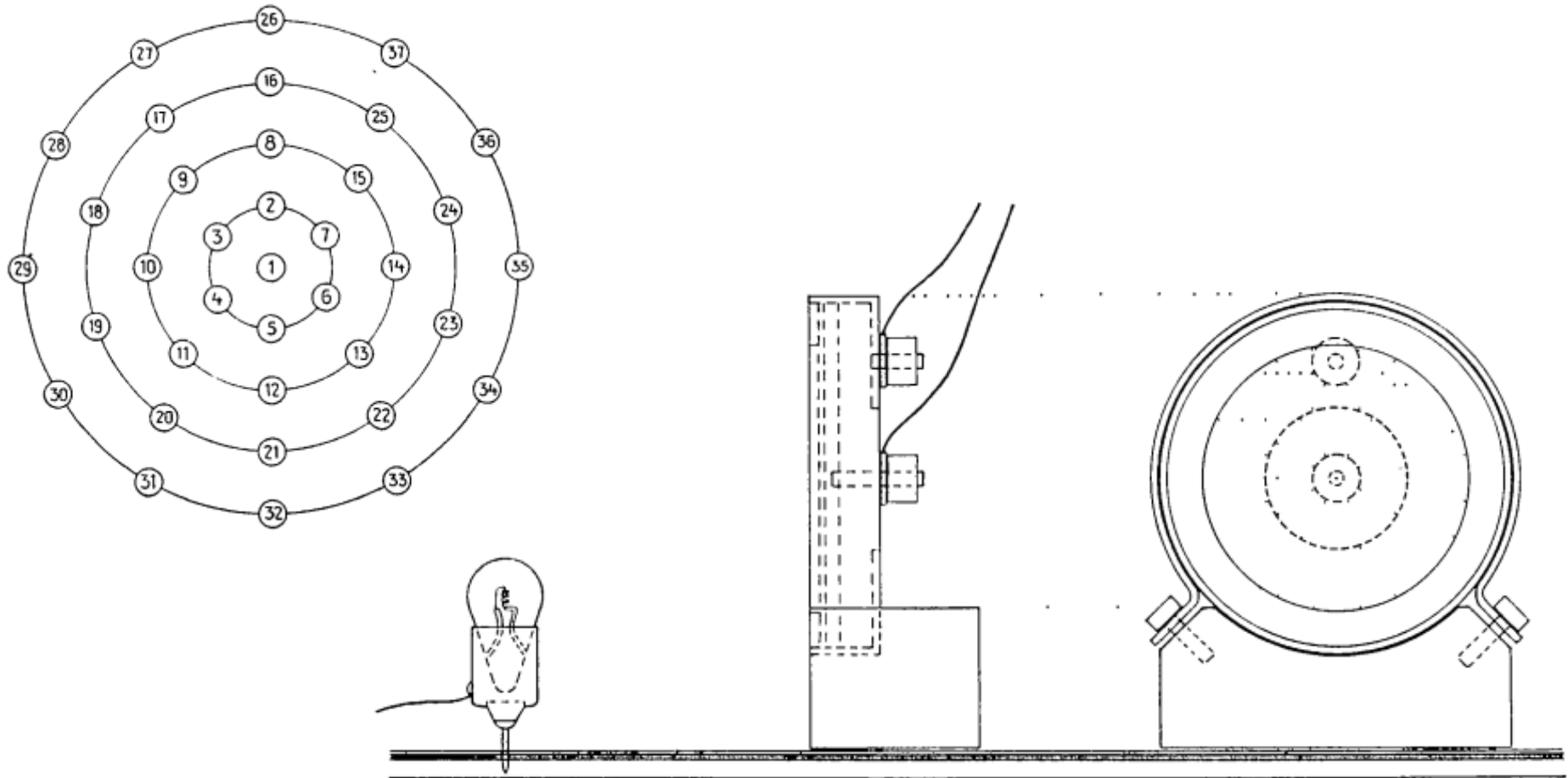
NUMBER 3

ON THE CLUSTERING TENDENCIES AMONG THE NEBULAE

II. A STUDY OF ENCOUNTERS BETWEEN LABORATORY MODELS OF
STELLAR SYSTEMS BY A NEW INTEGRATION PROCEDURE

ERIK HOLMBERG

電球とフォトセルによる $1/r^2$ の評価



$N=37$

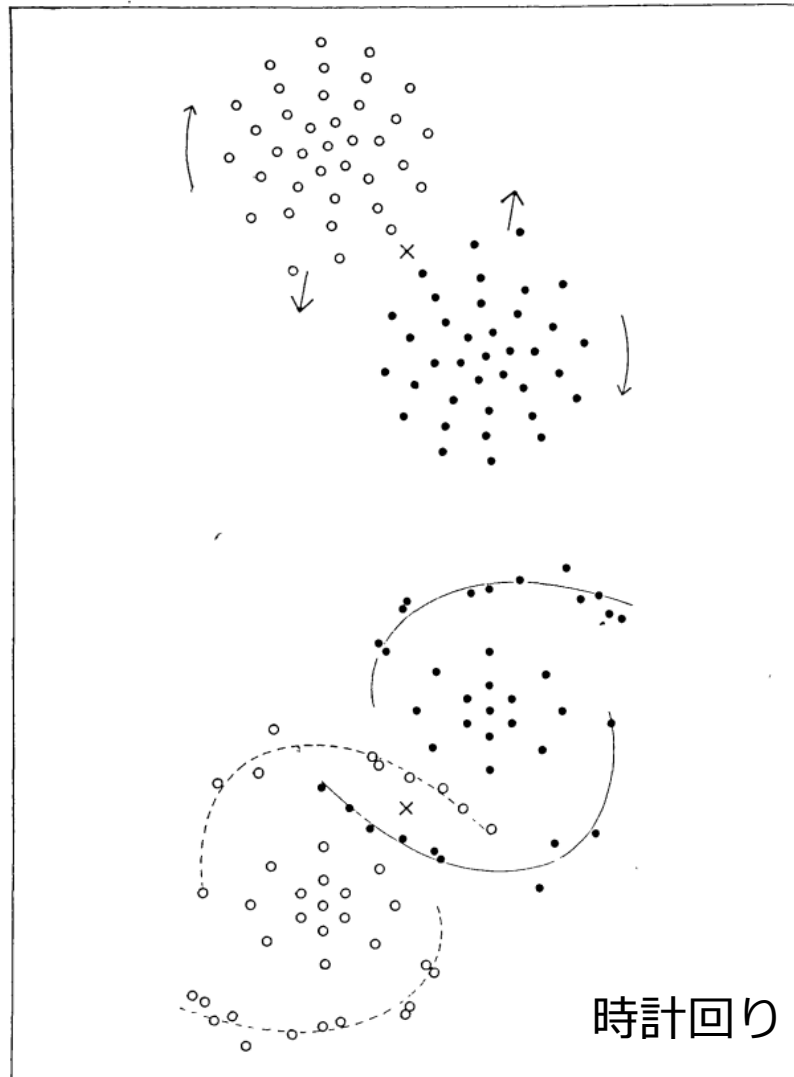


FIG. 4a

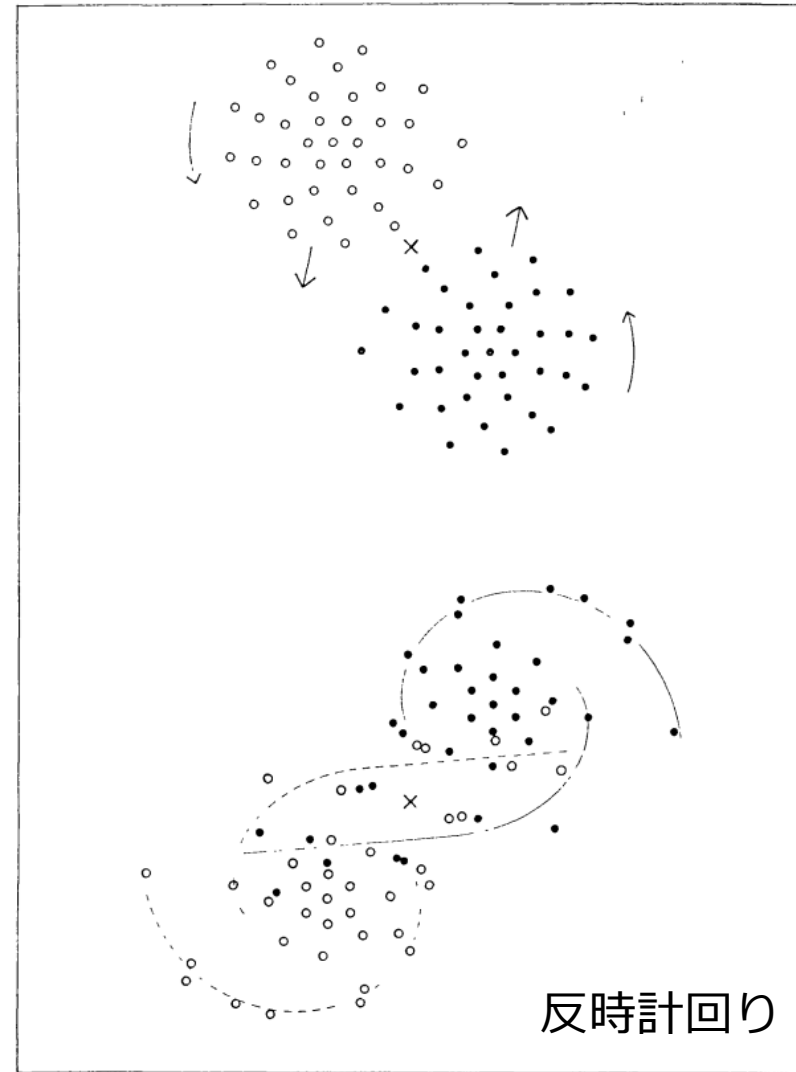
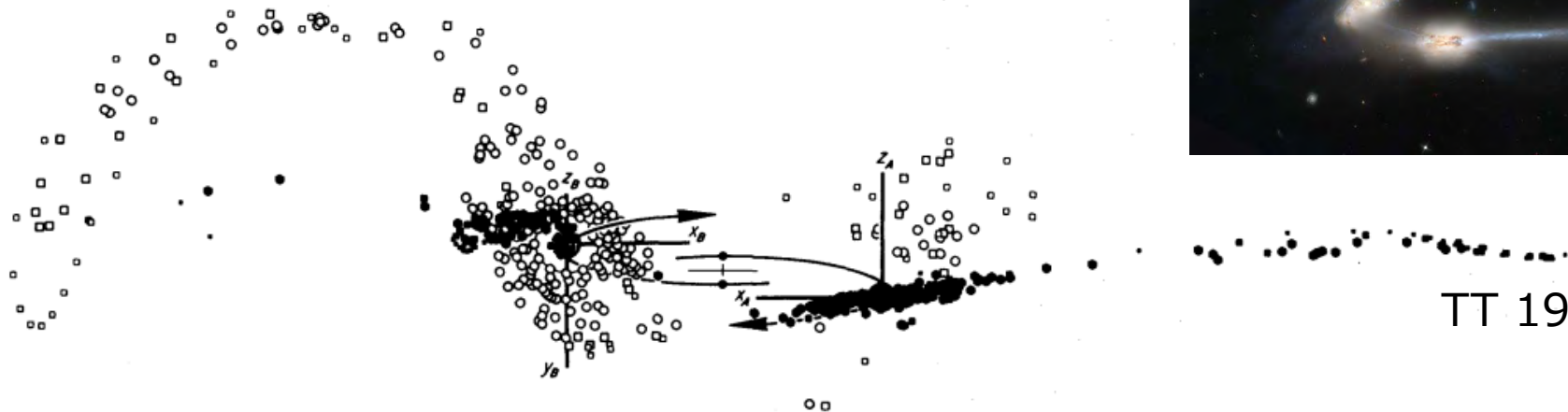


FIG. 4b

- 回転方向で潮汐により引き出される物質量の違いを指摘

Early numerical simulations

- Toomre & Toomre 1972
 - Tidal features
- Toomre 1977
 - 合体仮説



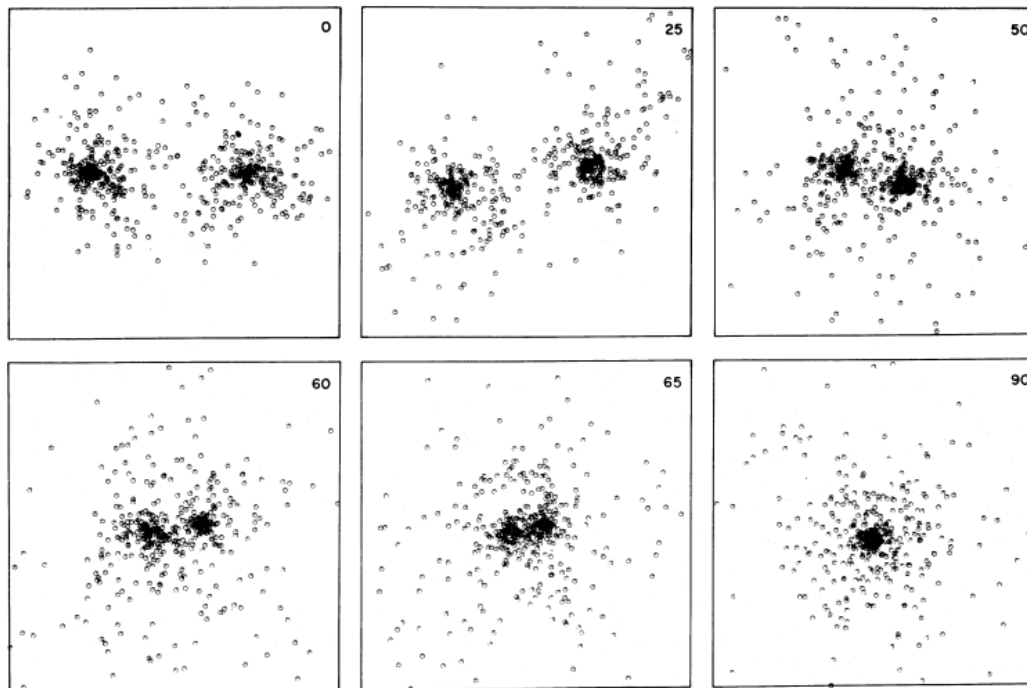
TT 1972



Toomre 1977

Early N-body Simulation

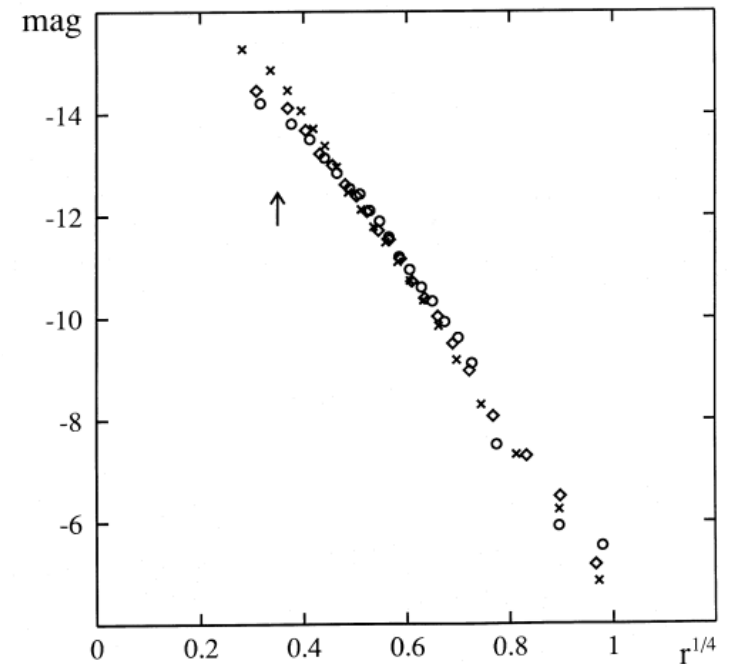
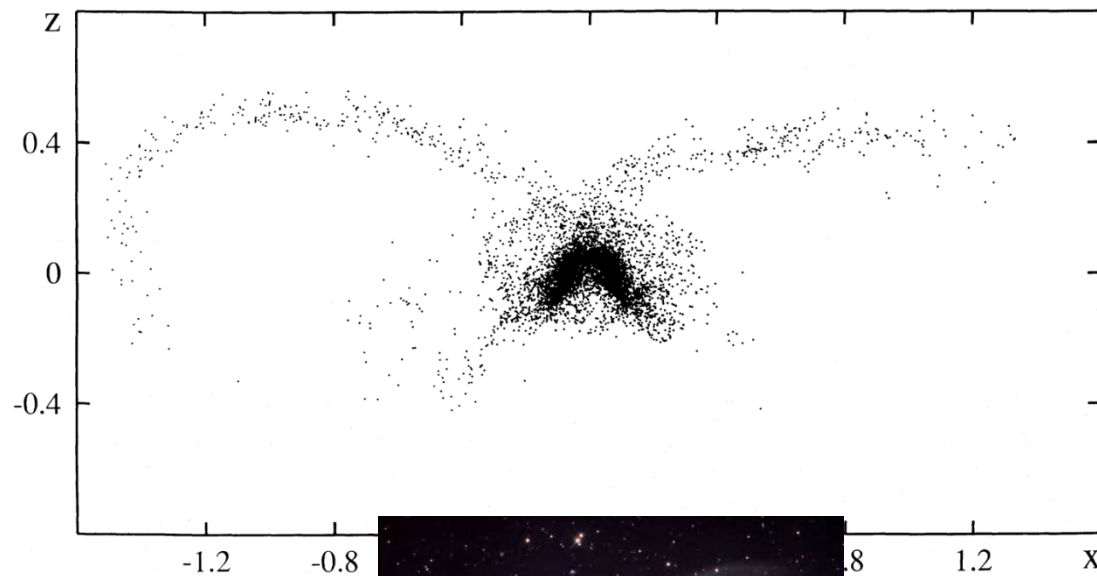
- White 1978, 1979
 - 250質点/銀河のN体シミュレーション
 - orbit decay → 合体(Eに似たもの)
 - de Vaucouleurs 的なプロファイル



White 1978

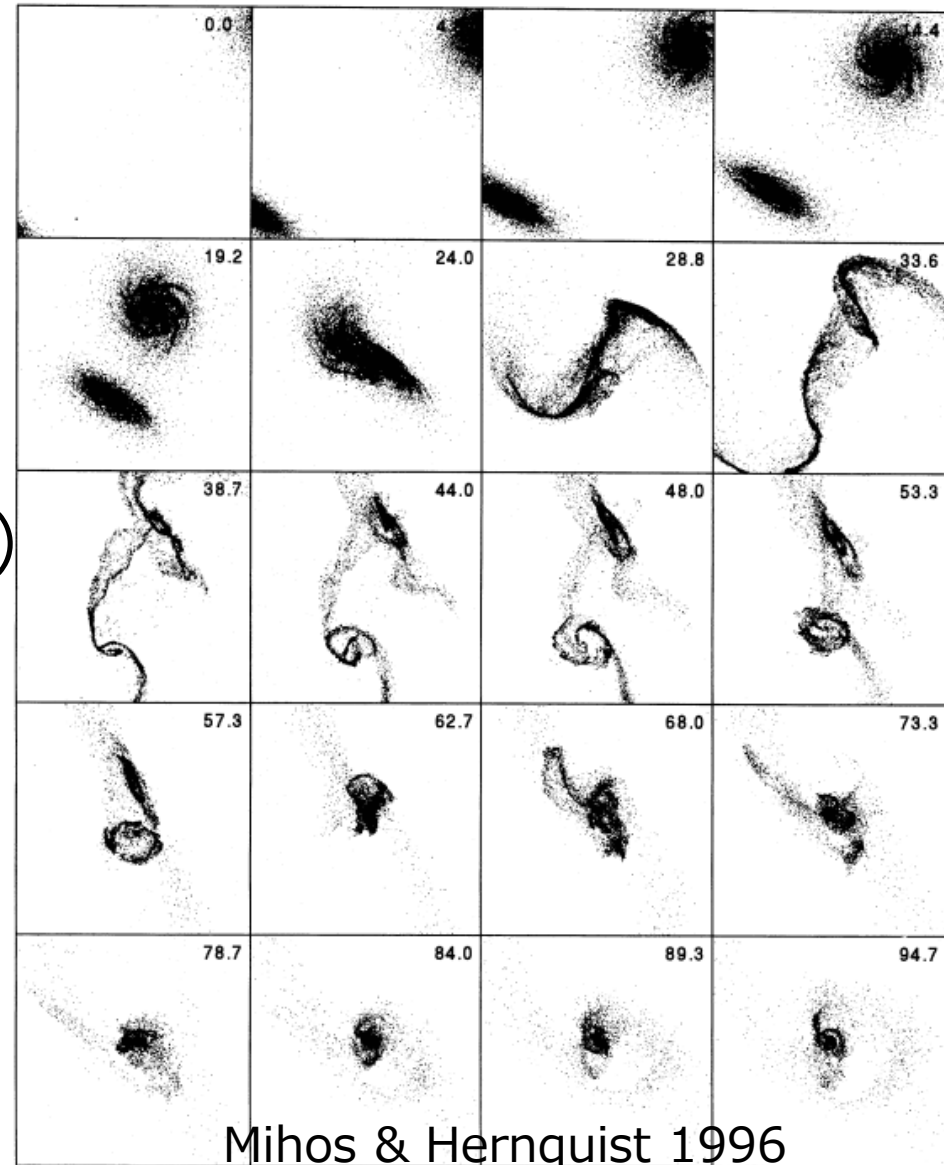
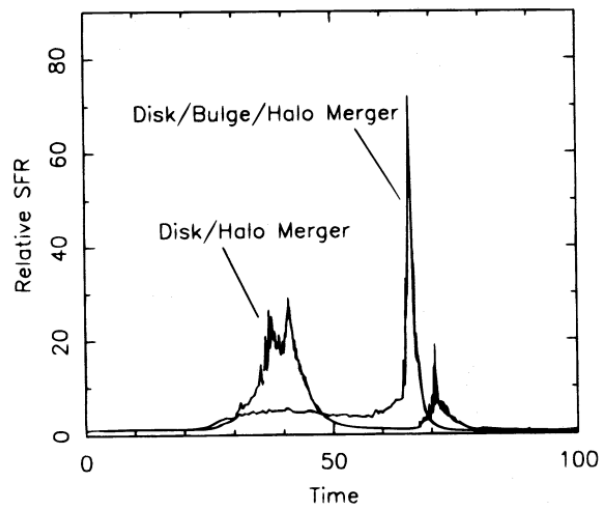
Halo/Disk/Bulge model

- Barnes 1988
 - Tree 法を用いた halo/disk/bulge モデルの N 体計算($N \sim 10^4$)

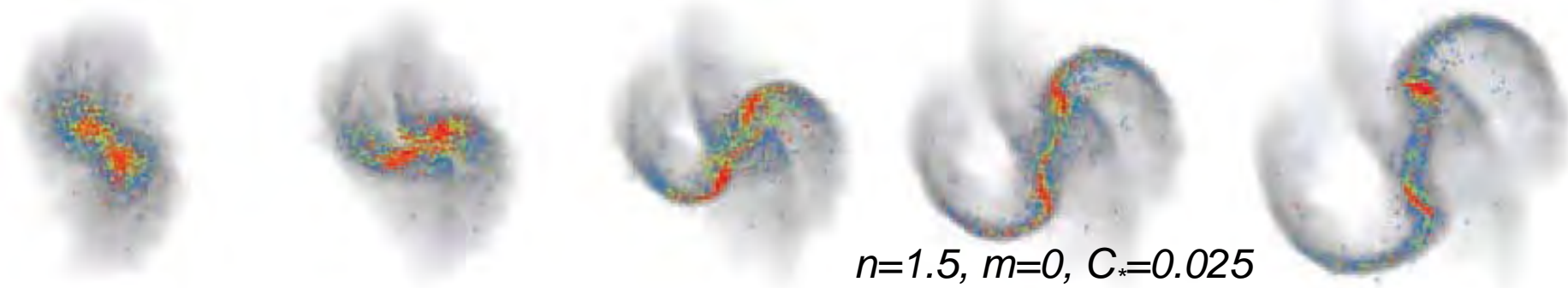


ガス入りシミュレーション

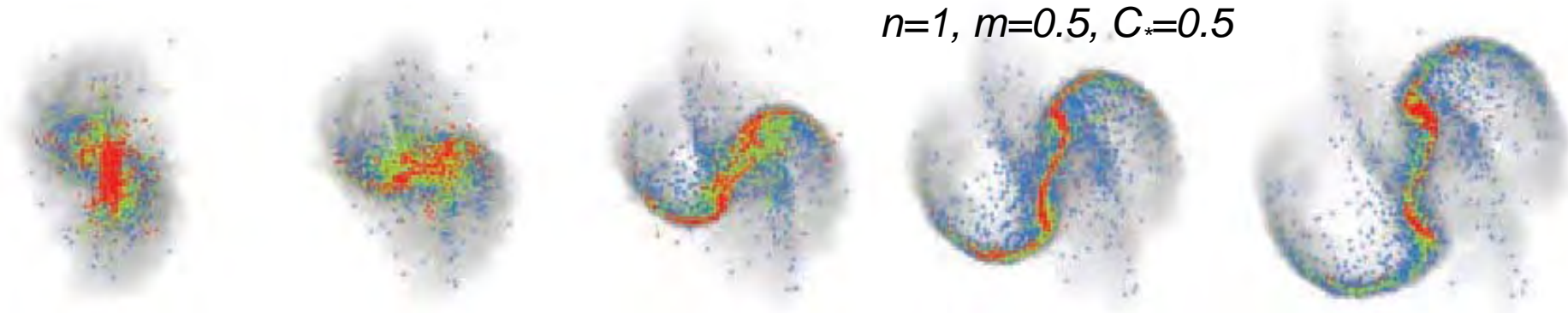
- Gas dynamics + SF
(Mihos & Hernquist 1996)
 - Isothermal ガス
 - $N \sim 10^4$
- ガスは中心核に落下
- Starburst は核で
→ AGN? (Di Matteo+2005)
- Eのようなもの



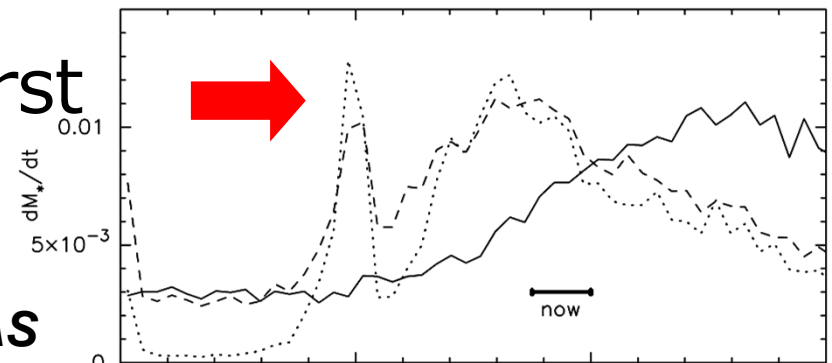
Shock-induced SF model



$$d\rho_*/dt = C_* \rho^n \text{MAX}(dU/dt, 0)^m$$



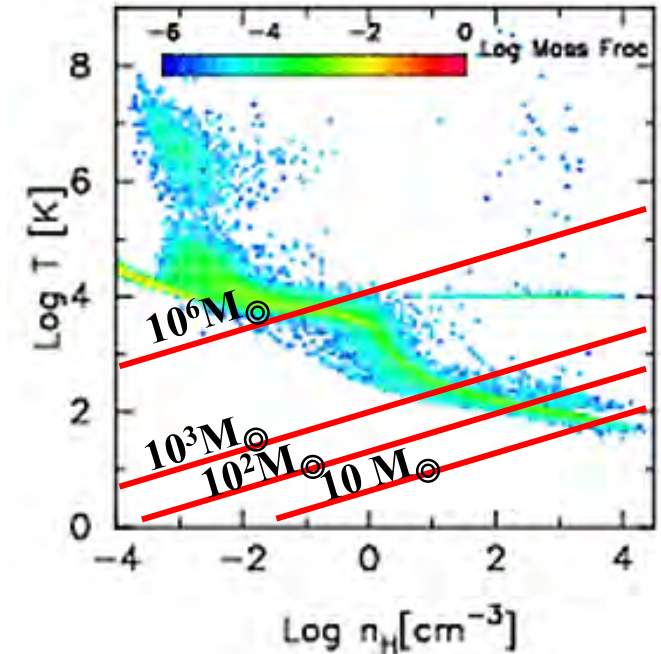
- First encounter での starburst
- 広がった SF regions



Barnes 2004 MNRAS

高分解に基づく ISMの(より)現実的なモデル化

- 質量分解能 > ジーンズ質量
 → in SPH, $N_{nb} \times m_{sph} > M_{Jeans}(\rho, T)$
 - **ガス収縮による分子雲の形成**
 - SFモデルの不定性に結果がよらなくなる(Saitoh+2008)
- 二体加熱による力学的に冷たい天体の破壊を防ぐ



$$\frac{dT}{dt} = \frac{T_h - T_c}{t_{relax}}$$

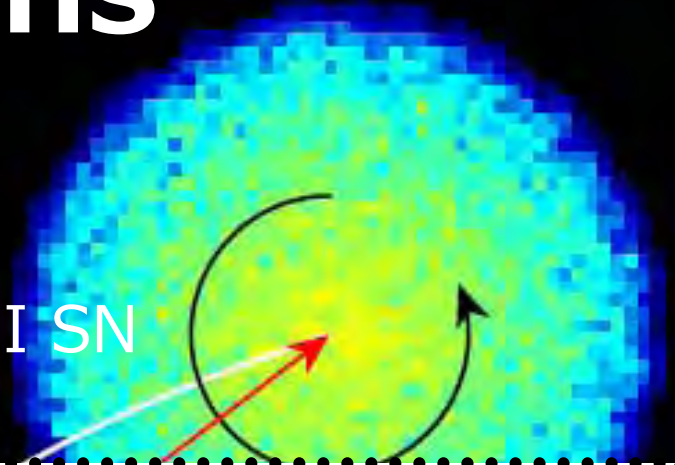
$$t_{relax} \simeq \frac{0.1N}{\log N} t_{cross}$$

$$\frac{dT}{dt} = (T_h - T_c) \frac{\log N}{0.1N t_{cross}}$$

- $T_h = 10^6 \text{ K}, T_c = 10 \text{ K}, t_{cross} = 10^8 \text{ yr},$
 “ $dT/dt \leq 2 \times 10^{-8} \text{ K/yr}$ ”
 → $N \sim 10^7$

Merger simulations

- Two equal mass galaxies ($10^{11}M_{\odot}$)
 - Parabolic orbit
- Gravity, Hydrodynamics, Radiative cooling, FUV, Star formation, TypeII SN
- N-body-SPH code: ASURA



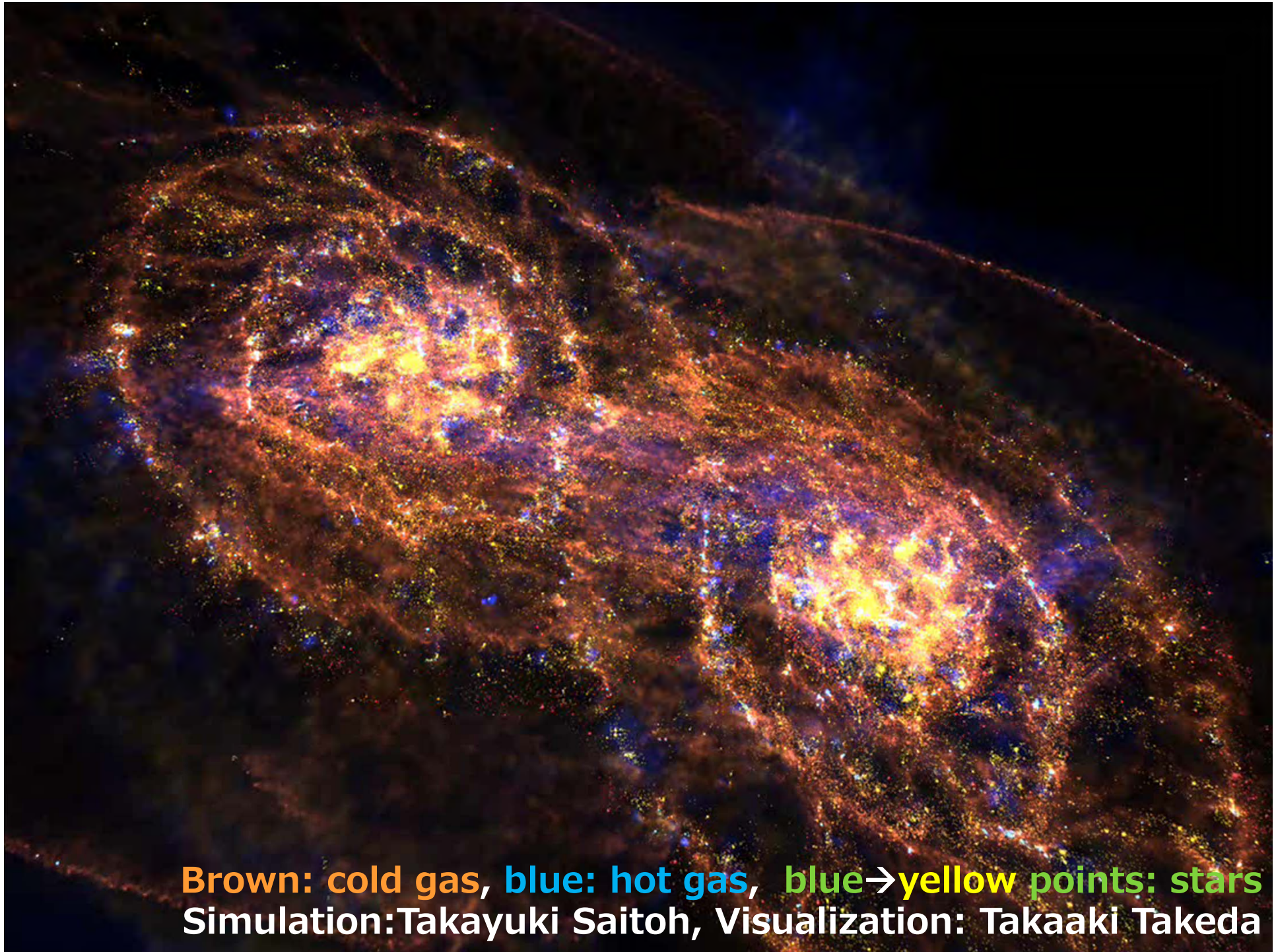
- ISM: a wide temperature range ($10^{1-8}K$), thanks to high mass resolution

- SF : Schmidt law @ $n_H > 100 \text{ cm}^{-3}$
 $T_{th} < 10^4 K, \nabla \cdot v < 0$
 – $d\rho_*/dt = C_* \rho_{gas}/t_{dyn} \propto \rho_{gas}^{1.5}$; $C_* = 0.033$

- SN: 10^{51} ergs/1SN, thermal energy form

See Saitoh et al (2008,2009)

L01	7 420 000	6 965 000	304 494	150 506	$3.0 \times 10^4 M_{\odot}$	1 pc
M01	29 680 000	27 860 000	1 218 344	601 656	$7.6 \times 10^3 M_{\odot}$	1 pc
H01	118 720 000	111 440 000	4 872 798	2 407 202	$1.9 \times 10^3 M_{\odot}$	1 pc

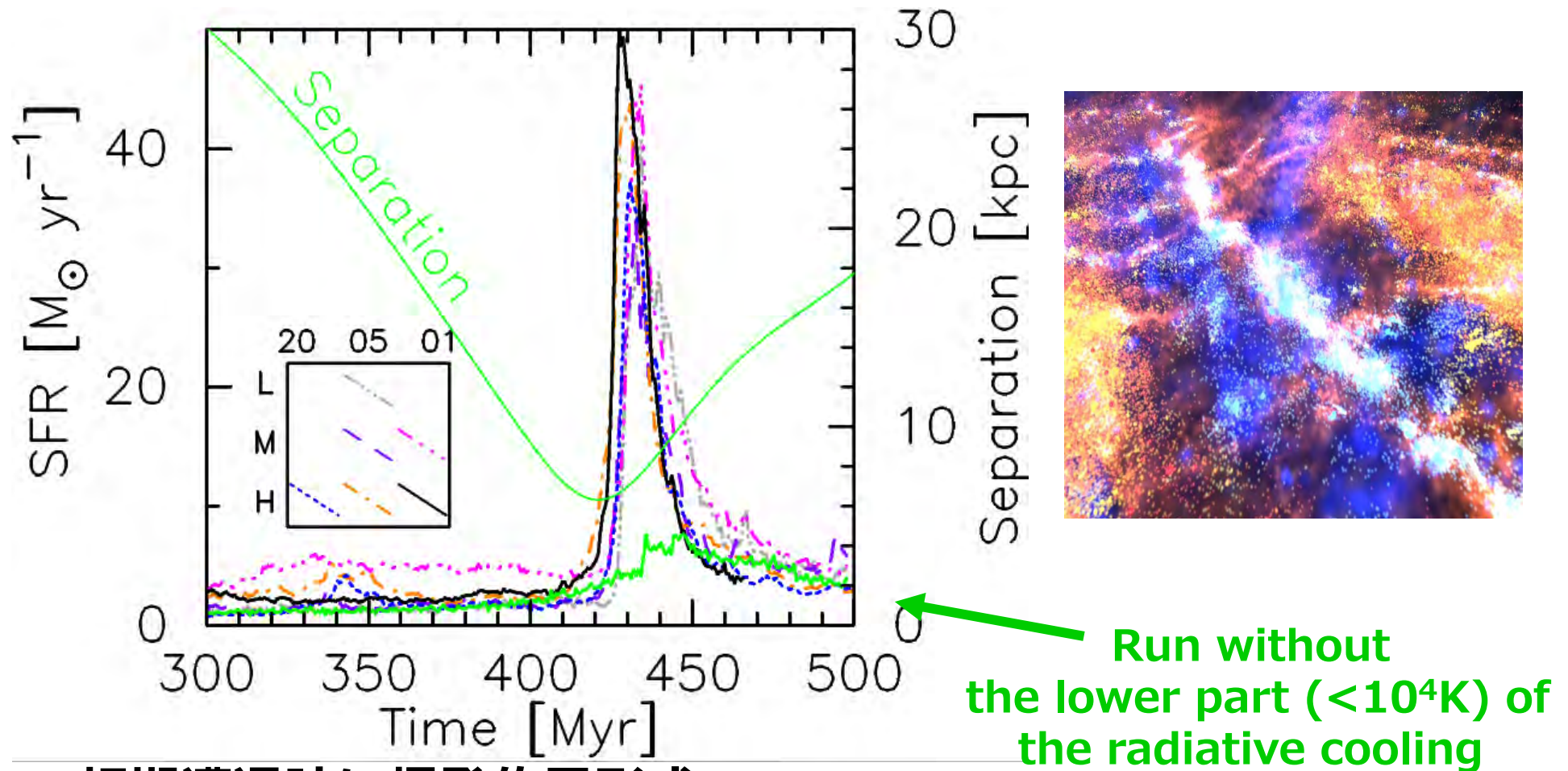


Brown: cold gas, blue: hot gas, blue→yellow points: stars
Simulation: Takayuki Saitoh, Visualization: Takaaki Takeda



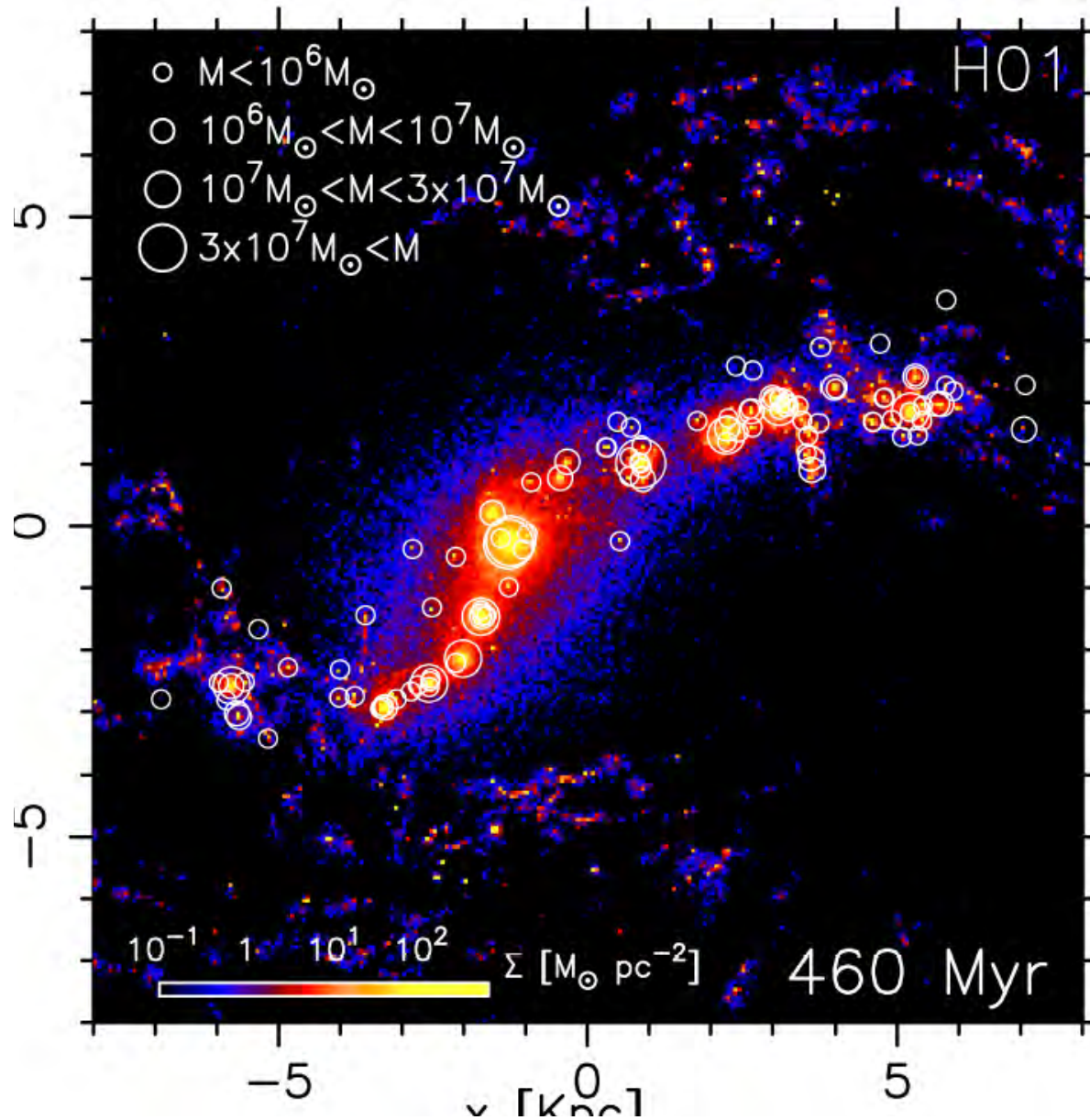
Brown: cold gas, blue: hot gas, blue → yellow points: stars
Simulation: Takayuki Saitoh, Visualization: Takaaki Takeda

“Starburst” at the first encounter



- 初期遭遇時に爆発的星形成
- 急激な終息は TypeII SN のせい
- $T > 10^4\text{K}$ のISMだと爆発的星形成は起きない

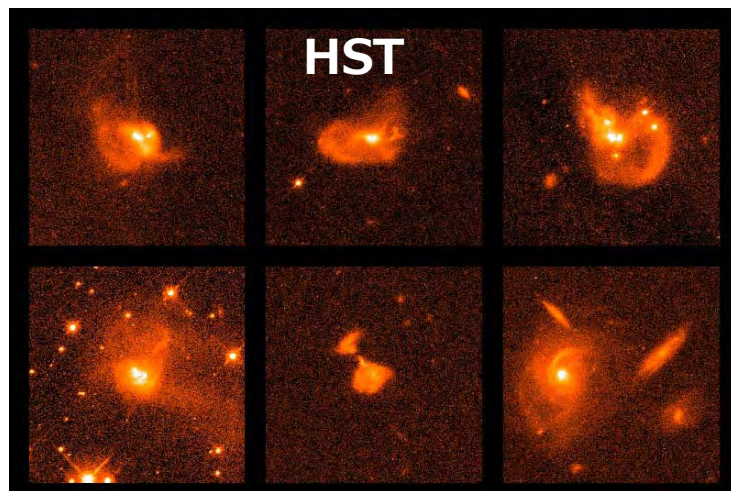
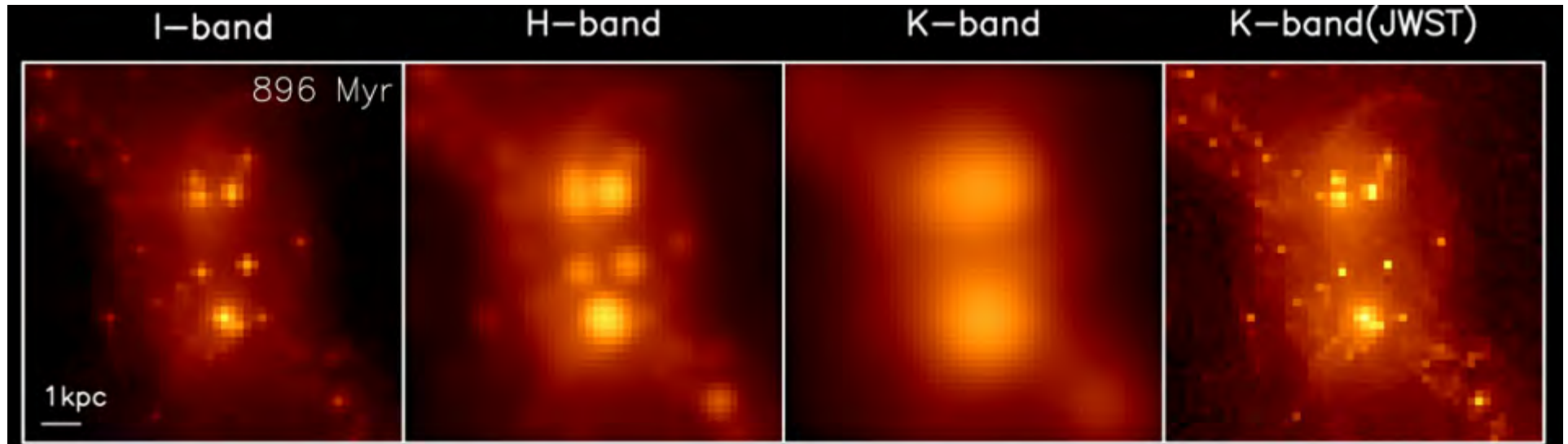
Star clusters



自己重力で拘束された星団: $N > 100$

- Mass $\sim 10^4$ - $8 M_{\odot}$
- No dark matter component
- Size \leq Softening length

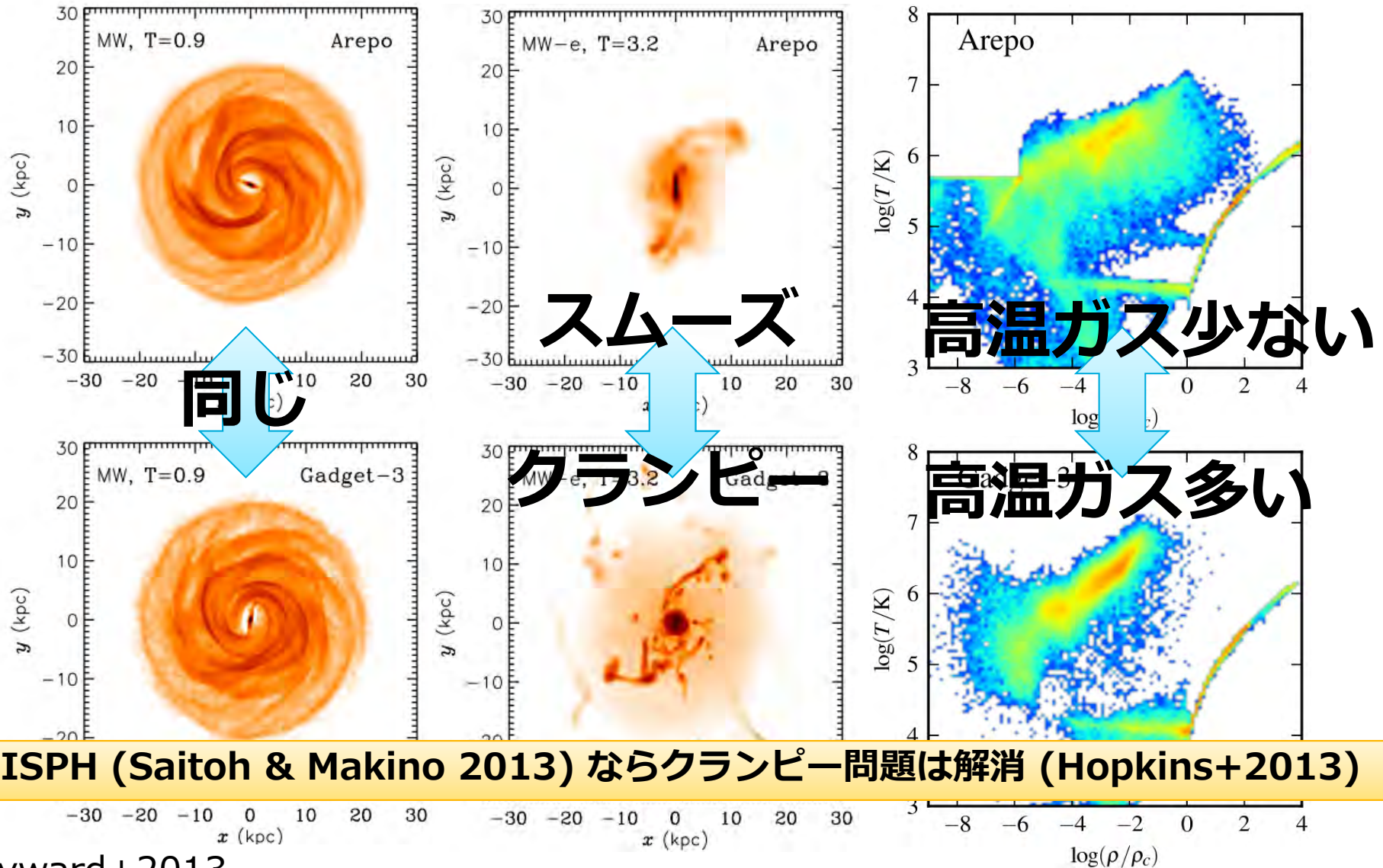
銀河衝突による(U)LIRGs期の構造



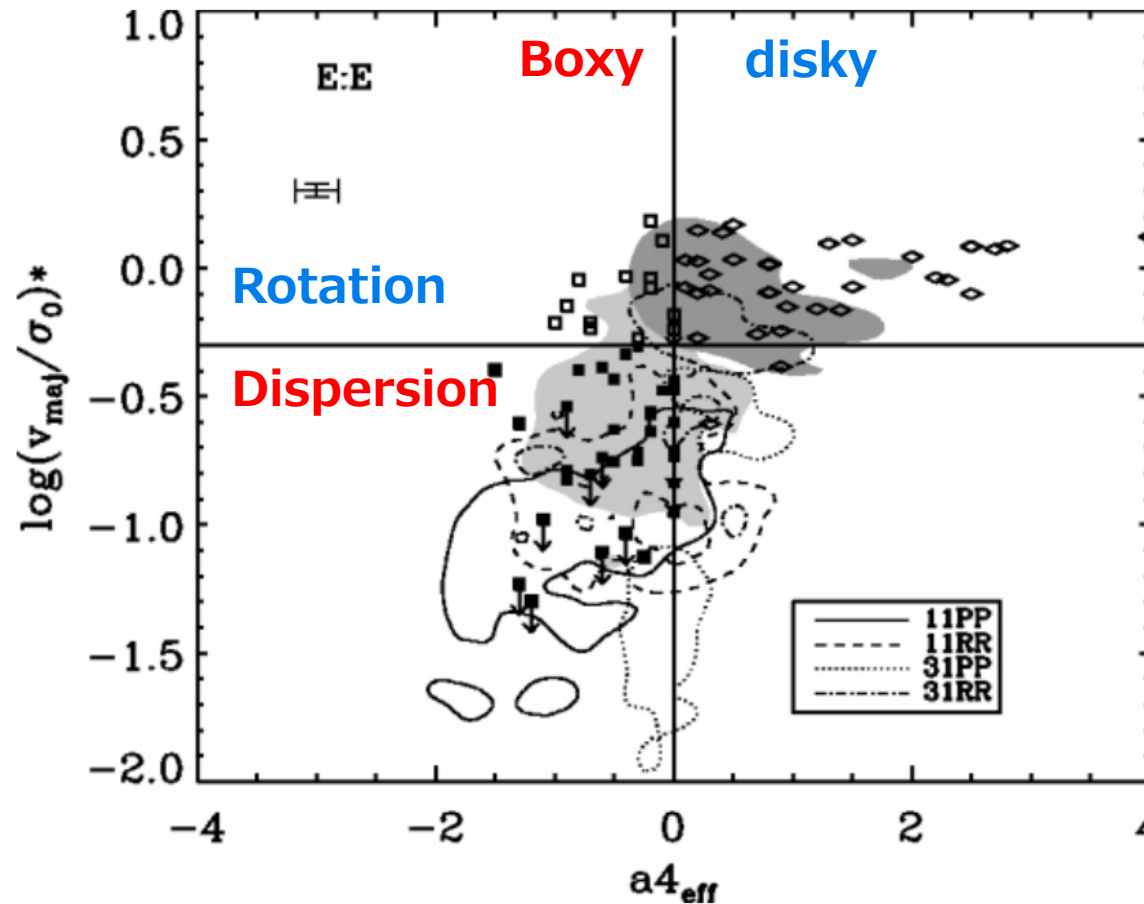
- Multiple cores は、合体時に形成される多数の星団
- != 多重衝突説

Matsui, Saitoh+(2012)

AREPO vs GADGET-3



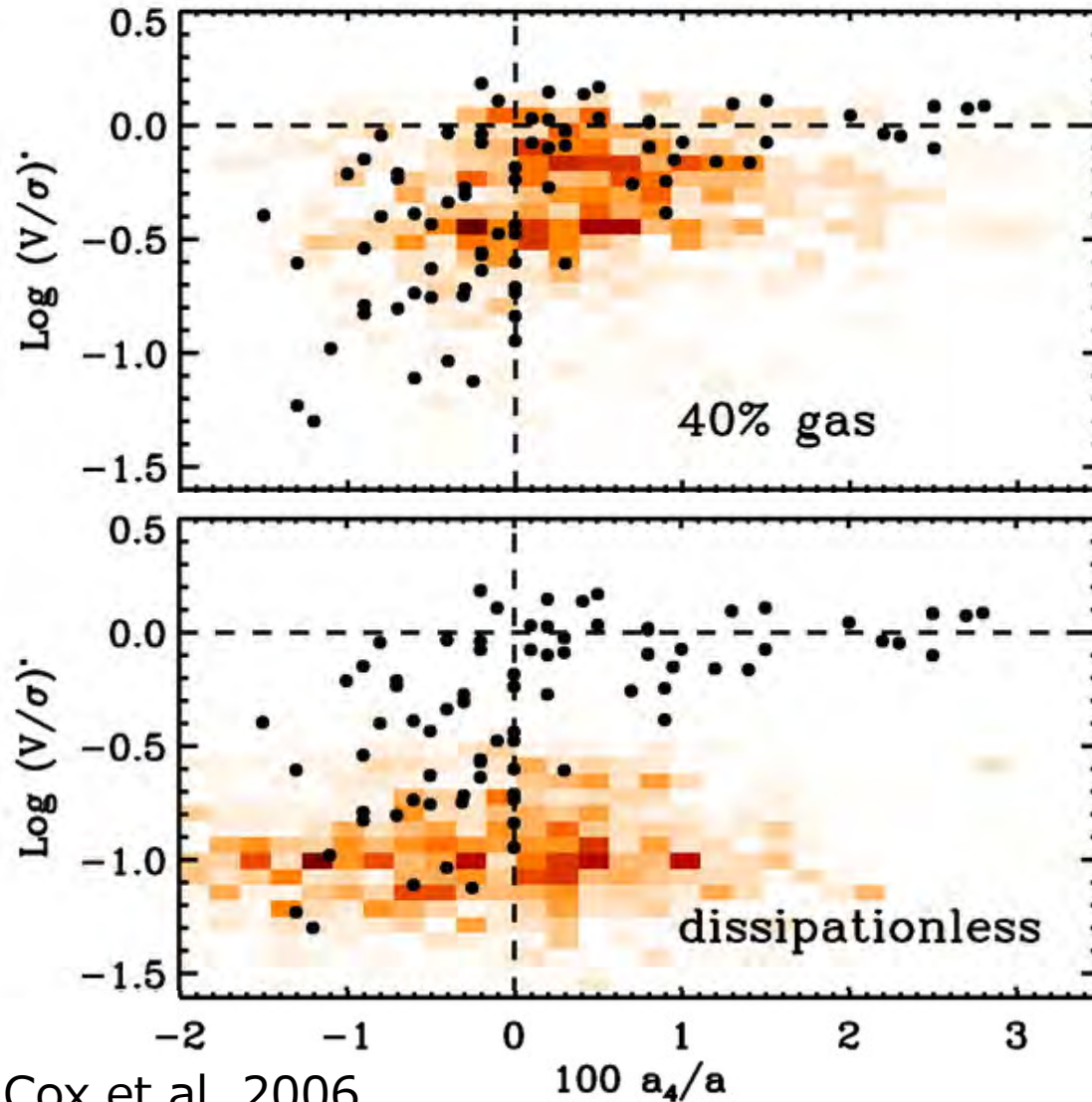
Spiral + Spiral = Elliptical?



- Spiral 同士の合体は、Boxy shape、低回転速度、速度分散サポートシステムを作りづらい
→ Bright Es を説明できない
- E+E が必要かも
※ *N*-body sim.
- $M_* > 6 \times 10^{11} M_\odot$ は E-E がメイン

コンター → 80 % probability regions
 薄い灰 → 1:1 spiral merger
 濃い灰 → 1:3 spiral merger

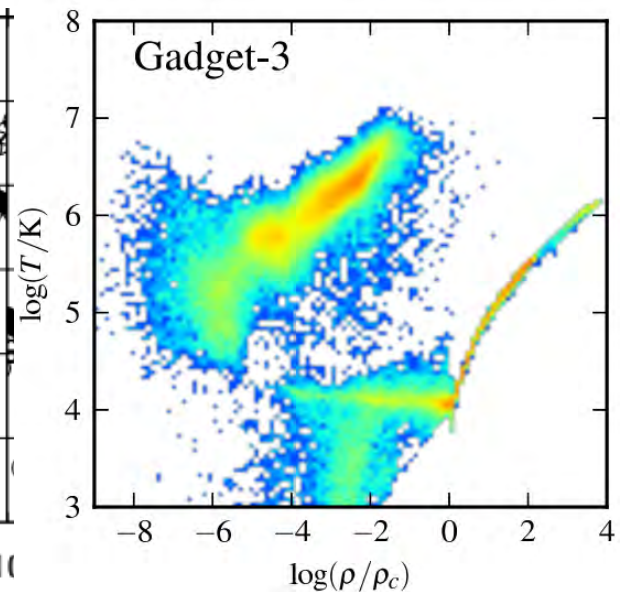
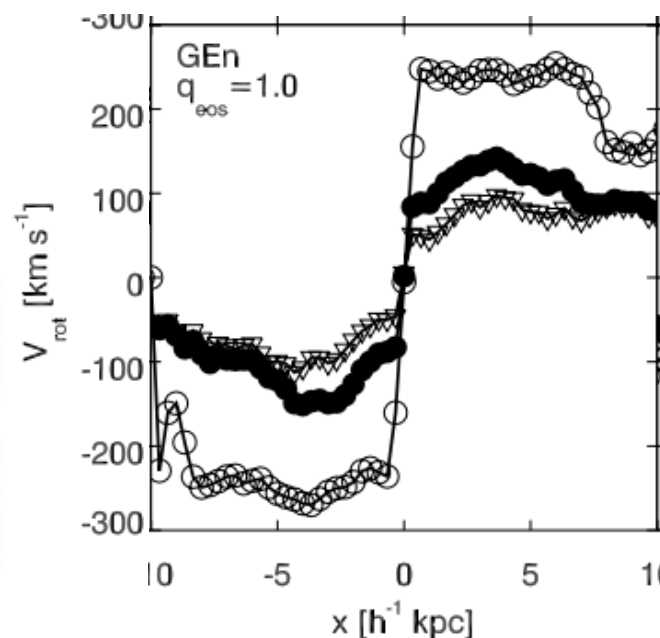
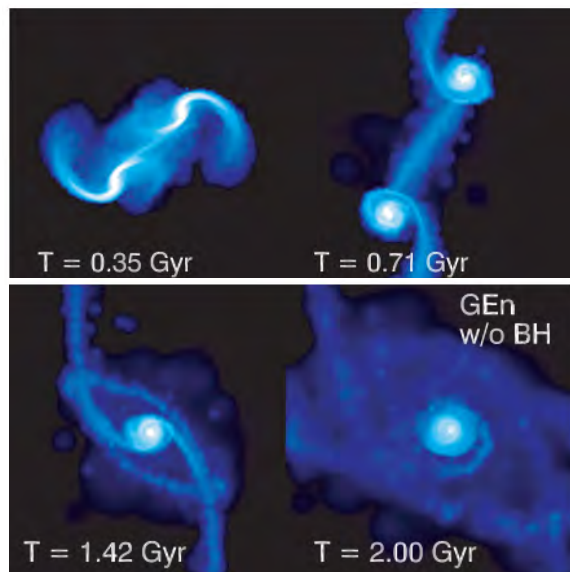
Spiral + Spiral = Elliptical?



- ガスリッチ円盤銀河同士の衝突はやっぱり diskly Es
- EOS の影響は？

Spiral + Spiral = Spiral?

- Stiffer EOS (Springel Hernquist 2003) を用いた Gas rich galaxies の合体
 - Starburst を押さえて、円盤銀河を再生
 - 理屈：堅い状態方程式を採用している場合、merger 後の星形成を FB のエネルギーを使って(乱流化したとして)押さえる→降着して円盤生成
 - モデル“すぎる”かもしれない：Global に乱流化するとは思えない



Hayward+2013

Robertson+2006; see also Springel & Hernquist 2005

Minor merger は？

- サテライトの持ち込むエネルギーが一様等方に分配されると仮定したときのzの増加(Mo, van den Bosch and White 2010; See also Hayashi & Chiba 2006)

$$\frac{\Delta z_d}{z_d}(R = 2R_d) \simeq 1.4 \frac{M_s}{M_d}$$

M_s : サテライト質量
 M_d : 円盤質量

- MW では円盤質量の数パーセントを越えるminor merger は~5Gyr なかっただろう (Toth & Ostriker 1992)

まとめのようなもの

- 銀河衝突シミュレーションのおさらい
 - 実験から数値シミュレーションへ
 - 数値シミュレーションはテスト粒子からN体計算、そしてN体/SPH、AMR、moving meshへ
- S+S は多分 E(disky & rotation)
 - S+S=S の可能性も提示されている
 - EOSに依っていそう