

Shock-induced Starburst and Star Cluster Formation in Colliding Galaxies

Galaxy Collision

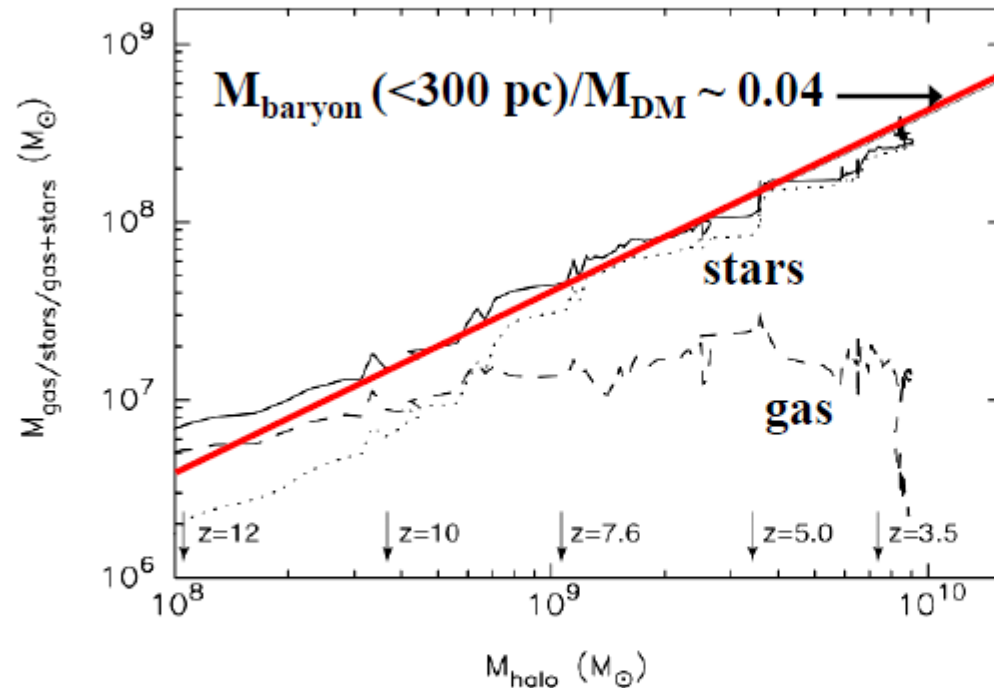
斎藤貴之

可視化：武田隆顕(国立天文台4D2U)

学振特別研究員/国立天文台

松井秀徳、小久保英一郎、富阪幸治、牧野淳一郎(国立天文台)
台坂博(一橋大)、吉田直紀(東京大)、岡本崇(筑波大)、和田桂一(鹿児島大学)

銀河スケール(> 1 kpc)



N-body/SPH

Saitoh & Wada (2004)

Saitoh et al. 2008

Matsui et al. 2009

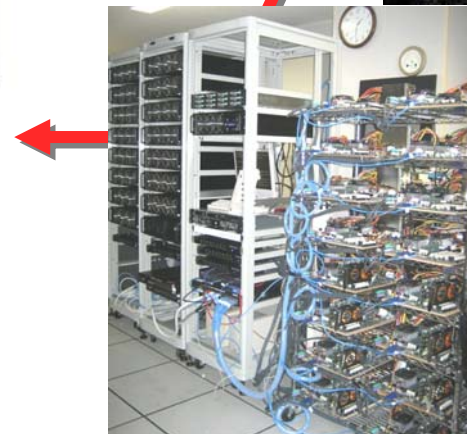
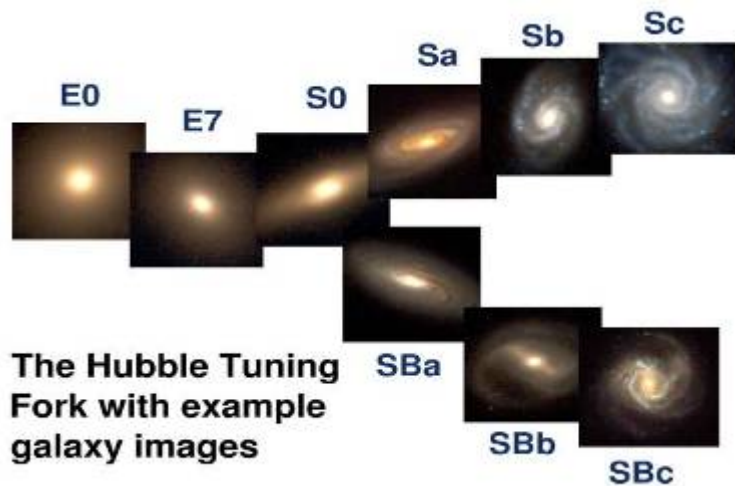
銀河衝突・合体にともなう潮汐力による

銀河中心領域 ($\sim 100 \text{ pc}$) へのガス供給

天の川創成プロジェクト

世界最高精度の理論シミュレーションにより、

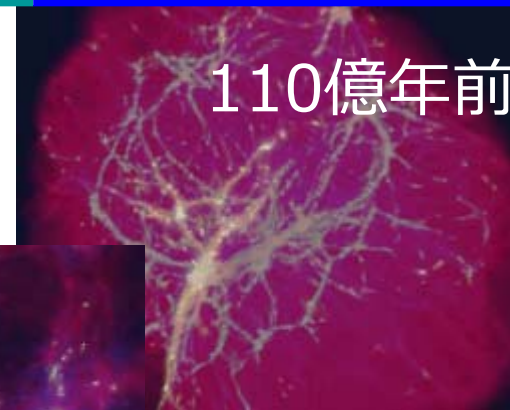
- 1) 天の川銀河の**現在・過去・未来**の姿を示す
 - 天の川銀河の形成進化のプロセスを世界ではじめて示す
- 2) **銀河形態の起源**を探る
- 3) 巨大ブラックホール等、**銀河と共進化する構造の形成過程**の解明



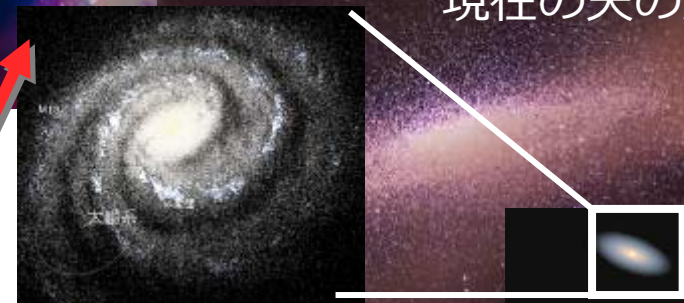
天の川数値解析装置



80億年前



110億年前



現在の天の川

100億年後?
アンドロメダ銀河
との衝突



本日のお話

- 衝突銀河のシミュレーション
 - スターバースト
 - 星団形成
 - 星団形成過程
 - (U)LIRGs
- まとめ

Saitoh et al. 2008

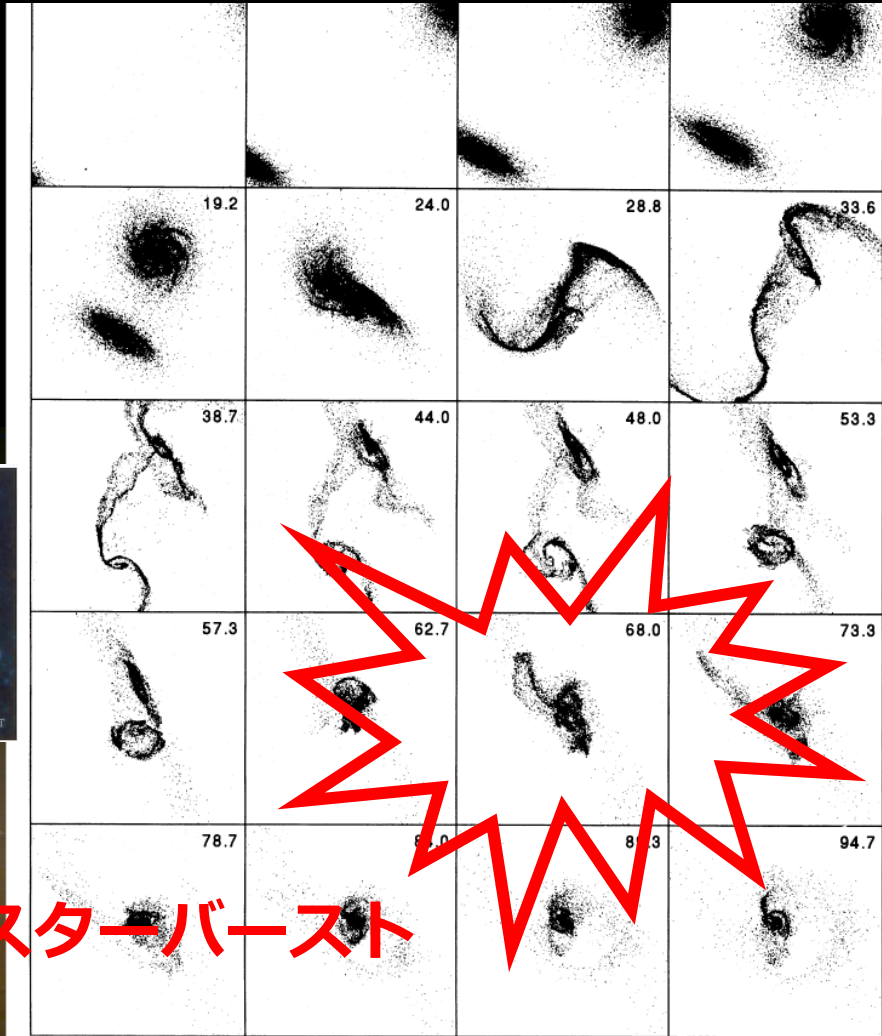
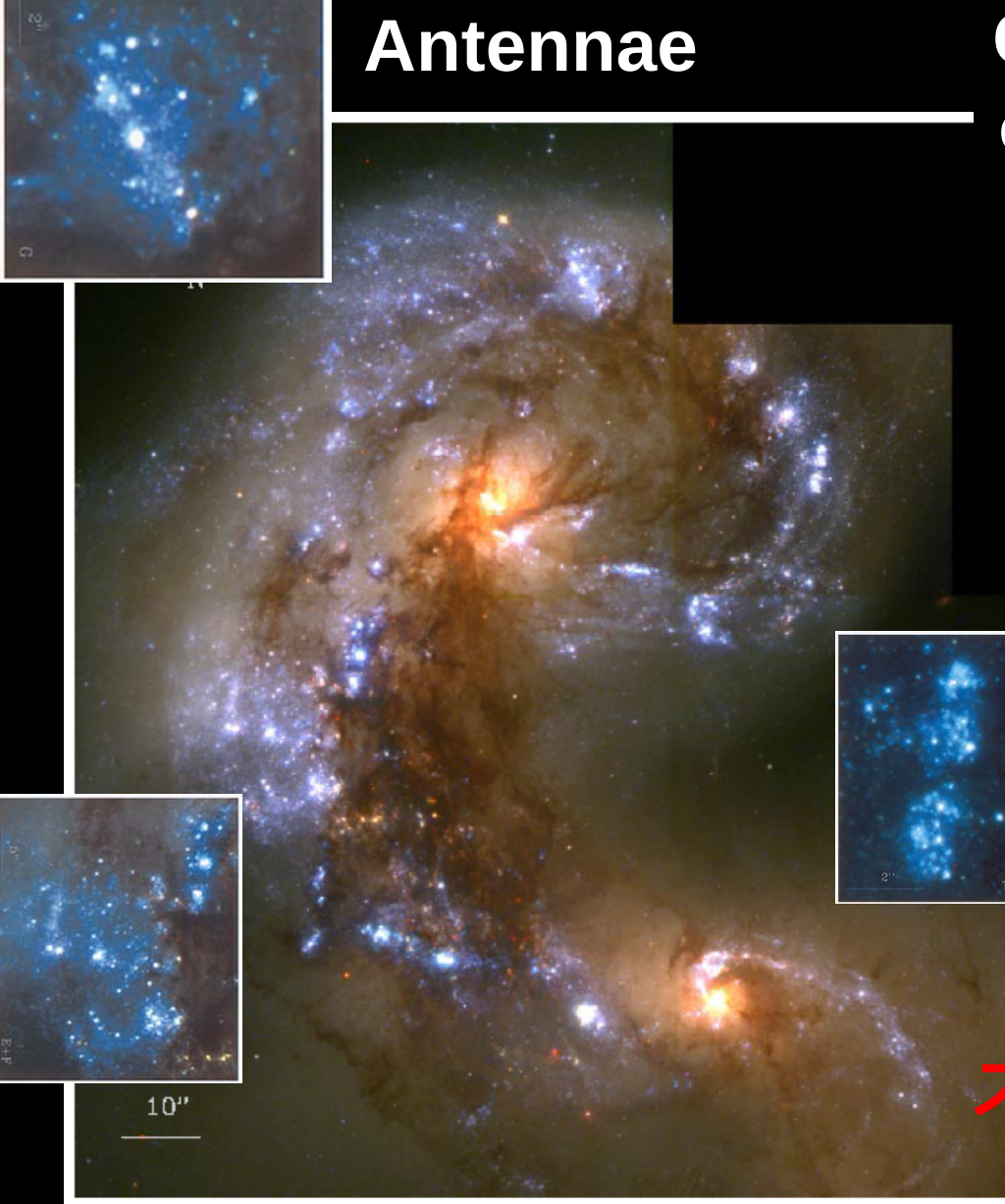
Saitoh et al. 2009

Saitoh et al. in prep.

Matsui et al. in prep. ポスターを見てください

Antennae

Conventional simulations of galaxy-galaxy merging

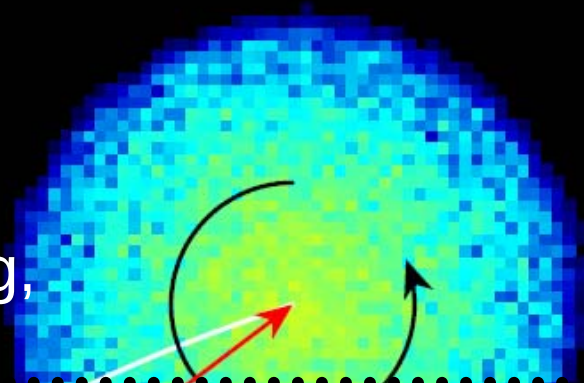


スターバースト

- スターバースト
- 星団形成($10^6-7M_{\odot}$)
- 低分解能計算(一粒子: $10^6M_{\odot}$)
- 合体の最後にスターバースト

Merger simulations

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



- **SF model: Schmidt law @ $n_H > n_{th}$ & $T < T_{th}$**
 - $d\rho_*/dt = C_* \rho_{gas}/t_{dyn} \propto \rho_{gas}^{1.5}$

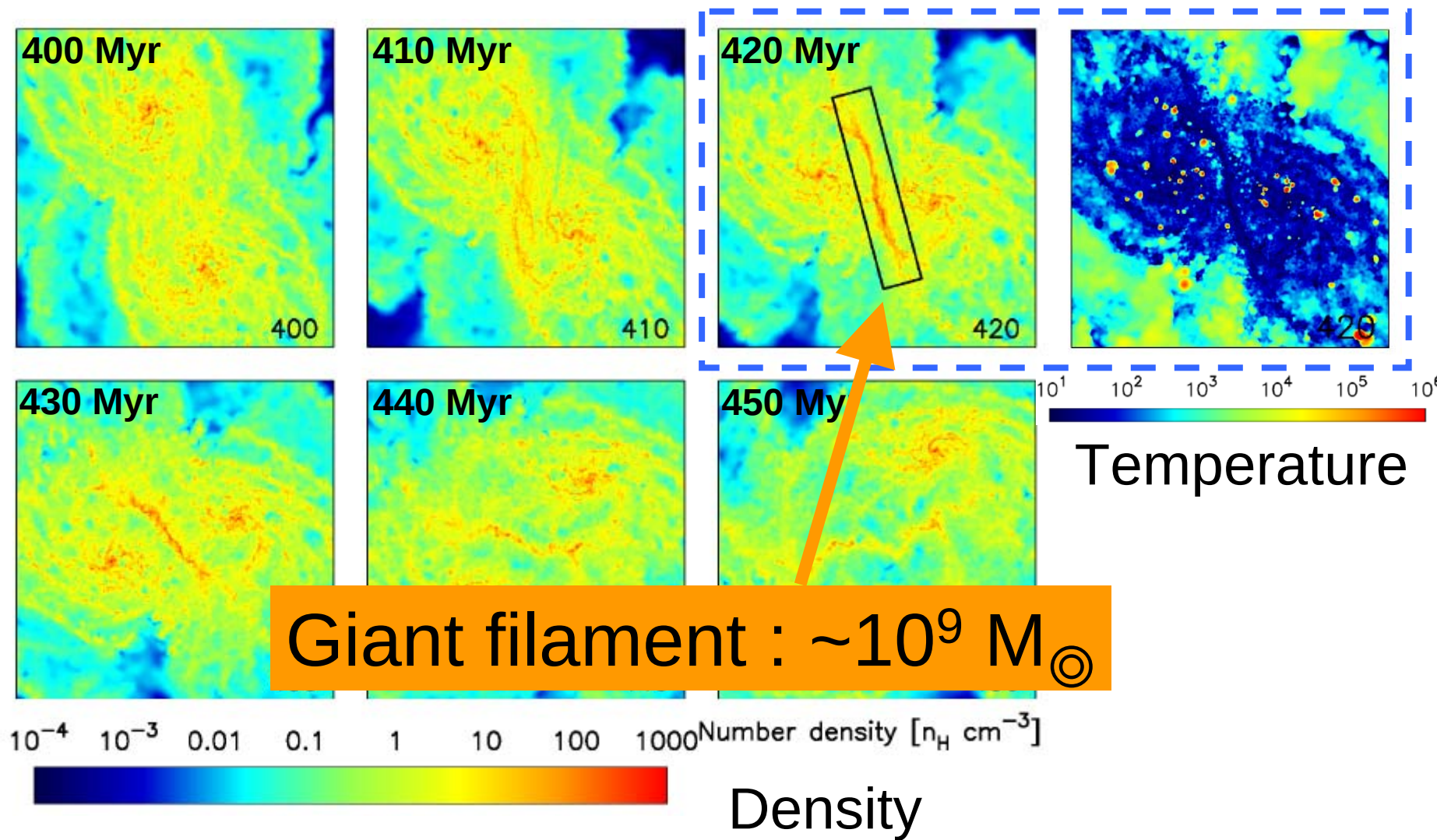
model	T_{cut}	n_{th}	T_{th}	C_*
従来のモデル	10^4 K	$0.1 n_H \text{ cm}^{-3}$	15000 K	0.033
我々のモデル	10 K	$100 n_H \text{ cm}^{-3}$	100 K	0.033

- どちらのモデルも孤立銀河でSK関係を再現できる

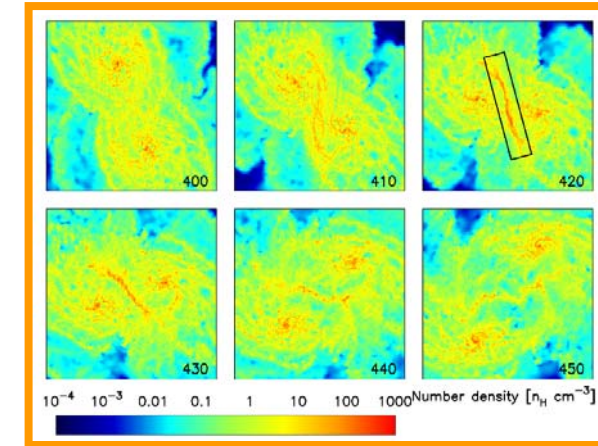
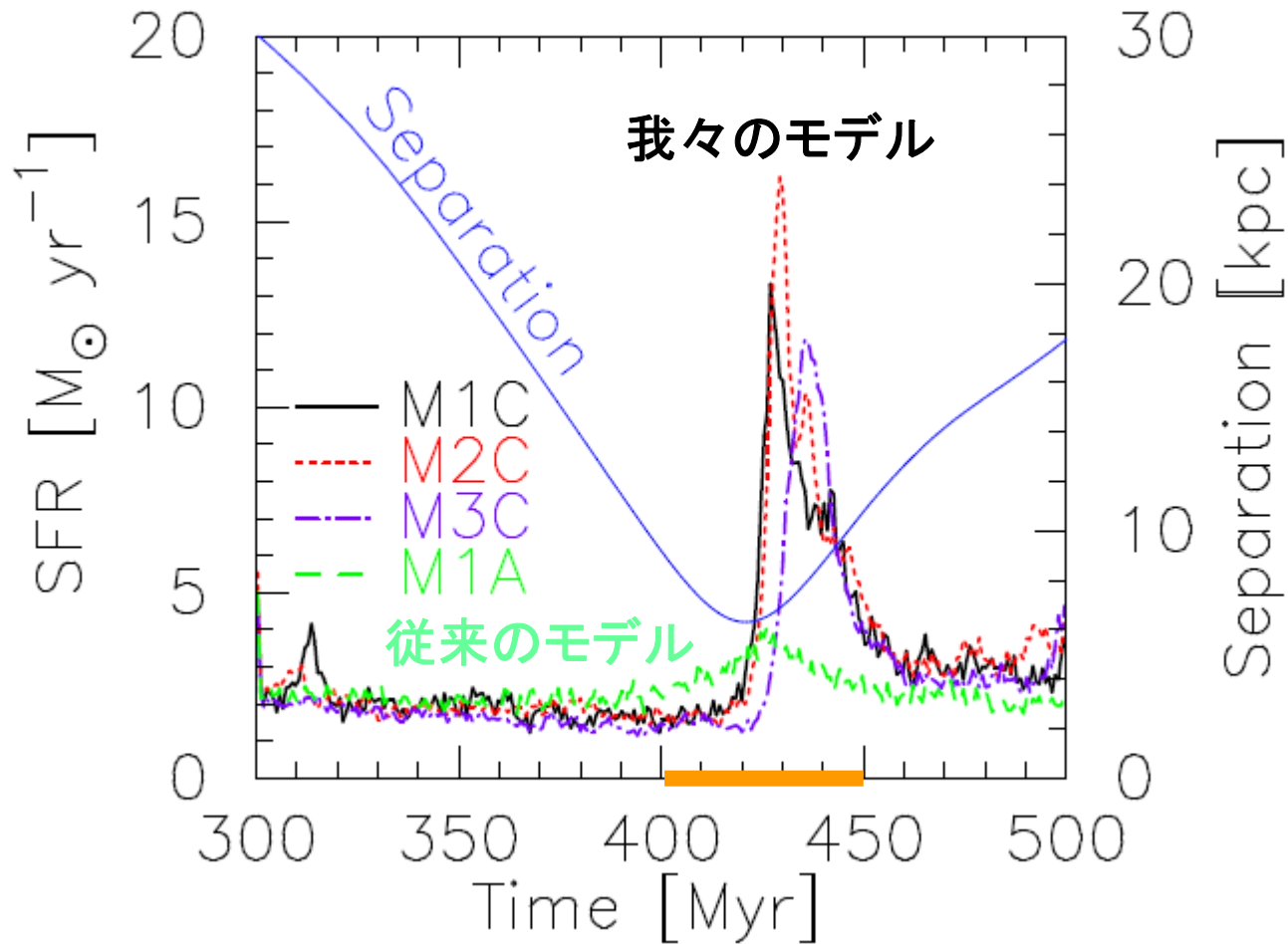


Run	N_{DM}^a	N_{Disk}^b	N_{Gas}^c	m^d
M1	6 930 000	341 896	148 104	$3 \times 10^4 M_{\odot}$
M2	13 860 000	683 678	296 322	$1.5 \times 10^4 M_{\odot}$
M3	27 720 000	1 361 012	598 988	$7.6 \times 10^3 M_{\odot}$

Formation of the giant filament

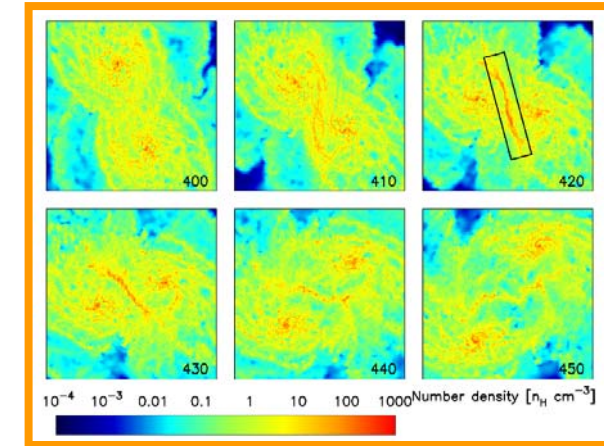
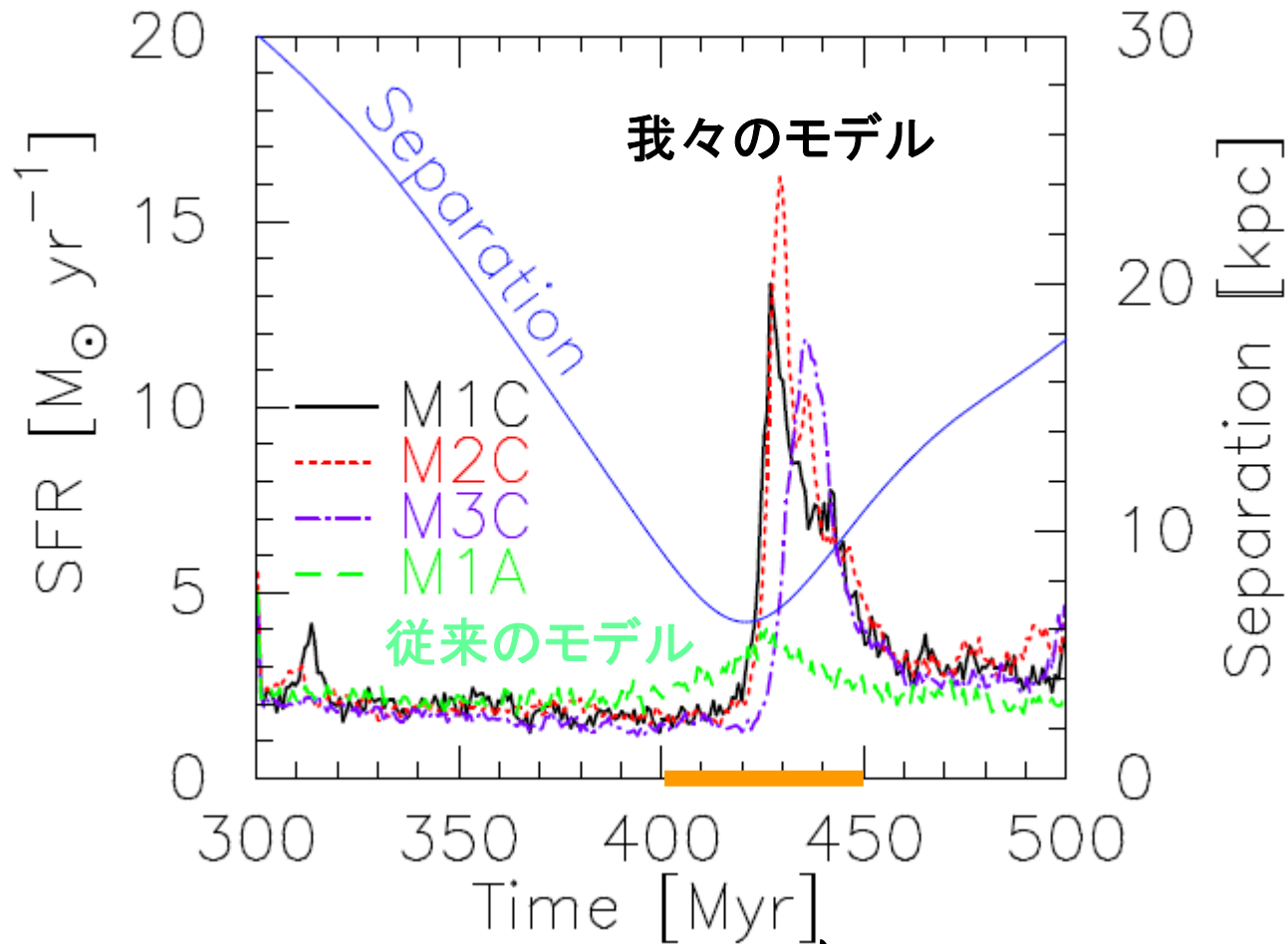


“Starburst” at the first encounter



- 初期遭遇直後にスターバースト
- 従来のシミュレーション ($T_{\text{cut}} = 10^4 \text{ K}$)では現れない

"Starburst" at the first encounter

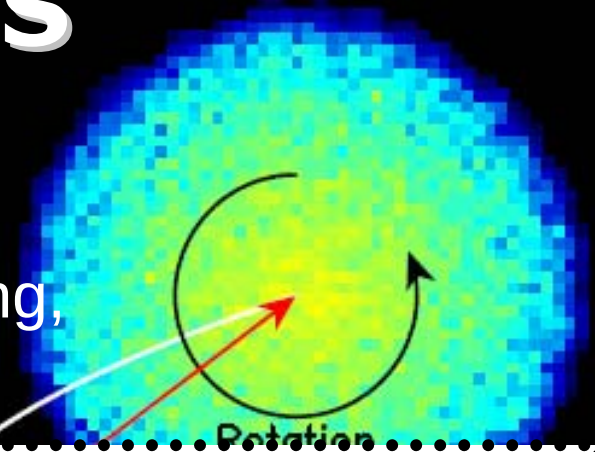


- $p \propto \rho T$
- $dp^*/dt \propto \rho^{1.5}$

Multiphase ISM $\rightarrow$ Starburst

Merger simulations

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



- **ISM: a wide temperature range (10^1 - 8 K), thanks to high mass resolution**
- **SF : Schmidt law@ $n_H > 100 \text{ cm}^{-3}$**
 $T_{th} < 100 \text{ K}, \nabla \cdot \mathbf{v} < 0$
 - $dp_*/dt = C_* \rho_{gas}/t_{dyn} \propto \rho_{gas}^{1.5}$; $C_* = 0.033$
- **SNe: 10^{51} ergs/1SN, thermal energy form**

Rotation

stellar disk

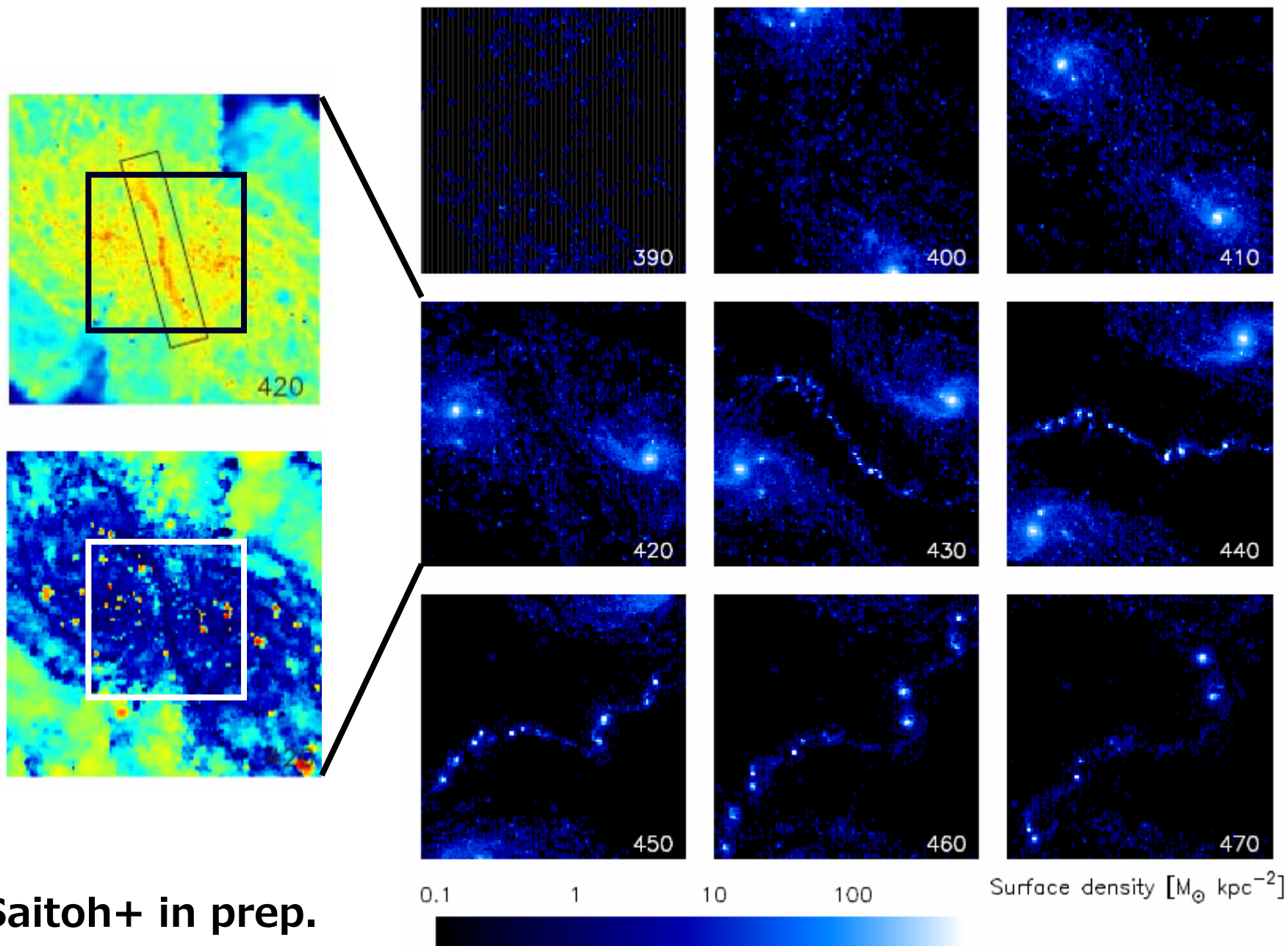
$$M_{gas \text{ disk}} = 1.8 \times 10^9 M_{\odot}$$

Saitoh+2009 in prep.

Resolution	N_{total}^a	N_{DM}^b	N_{Disk}^c	N_{Gas}^d	m^e	ϵ
low	7 420 000	6 965 000	304 494	150 506	$3.0 \times 10^4 M_{\odot}$	20 pc
middle	29 680 000	27 860 000	1 218 344	601 656	$7.6 \times 10^3 M_{\odot}$	5 pc/20 pc
high	118 720 000	111 440 000	4 872 798	2 407 202	$1.9 \times 10^3 M_{\odot}$	20 pc



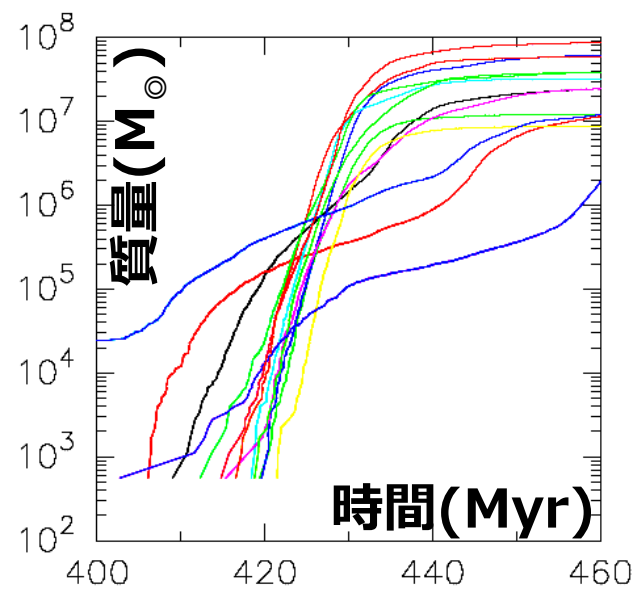
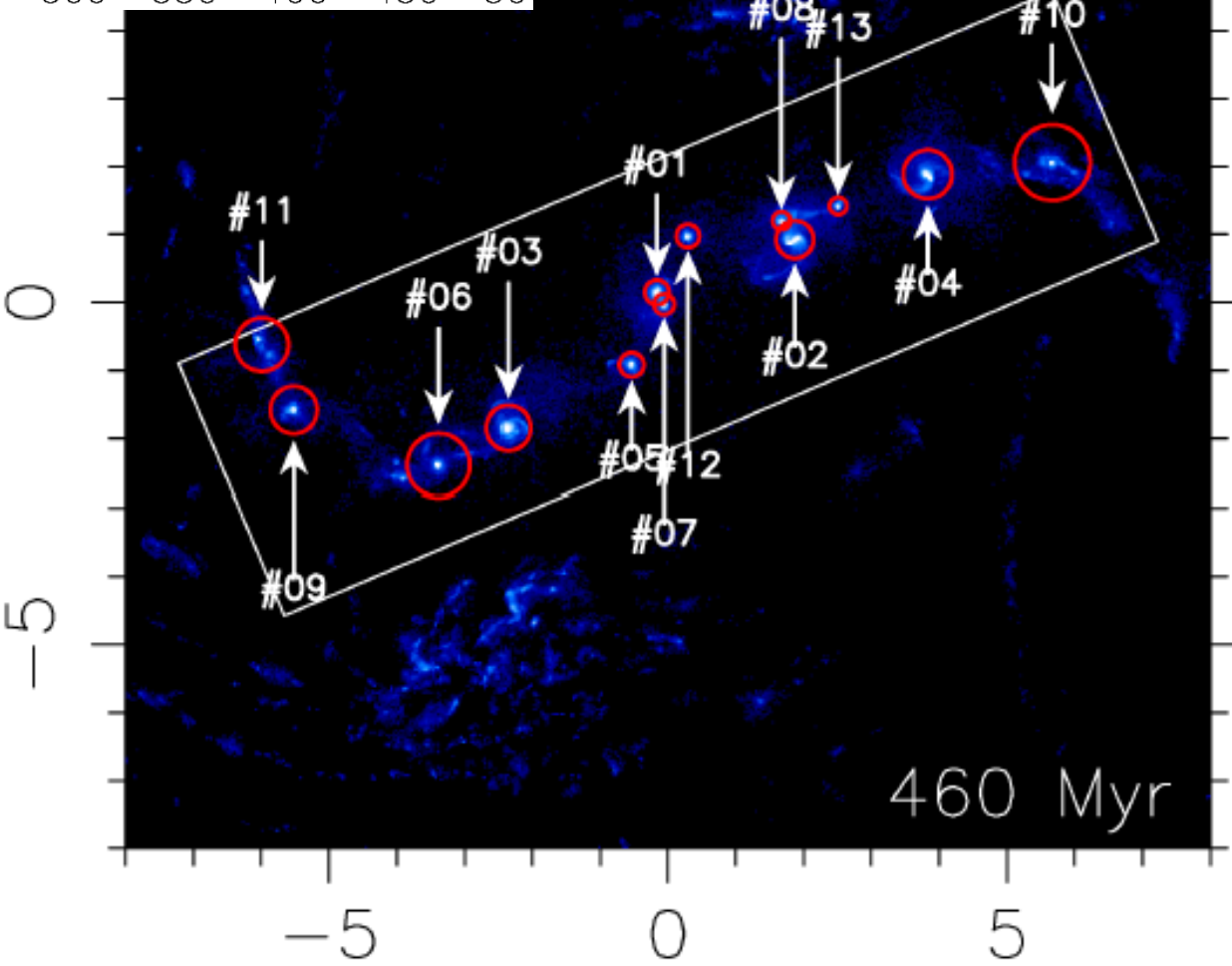
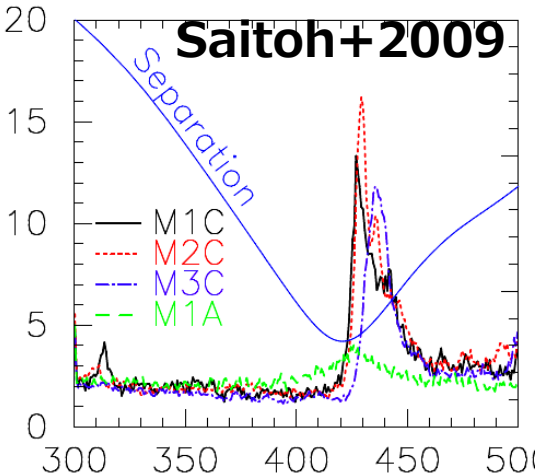
超広域サーベイによる巨大ブラックホール進化の研究：観測と理論の連携



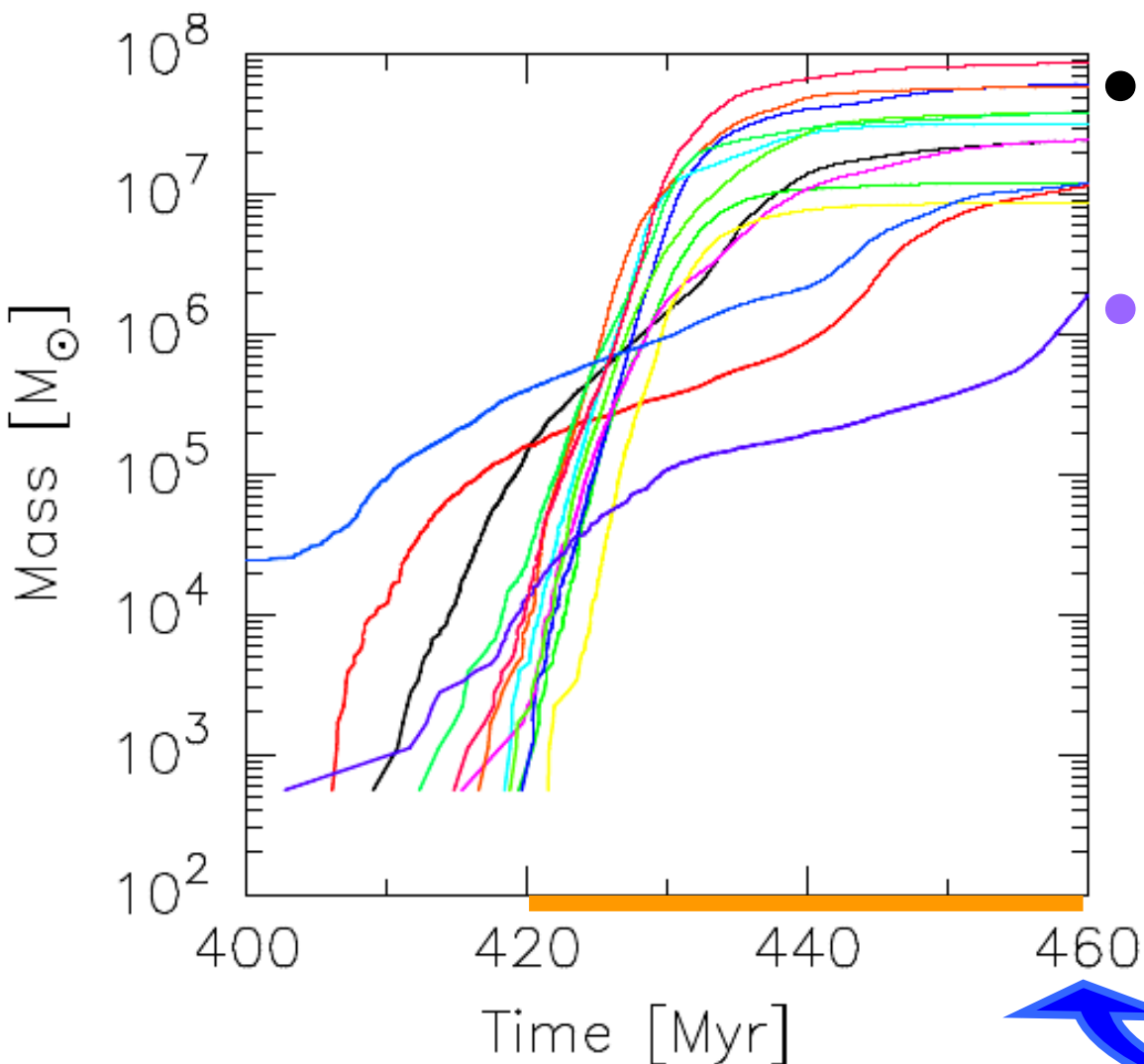
星団

- 全部で13個の自己重力的な塊を検出 → 星団

- 質量 $\sim 10^6\text{--}10^8 M_\odot$
- 暗黒物質/ディスク星を含まない
- 形成時間 $\sim 10^7$ 年

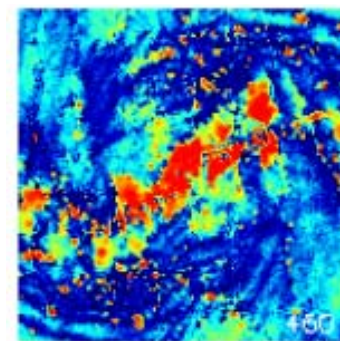
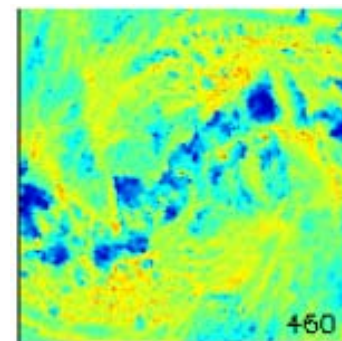


星団の星形成史

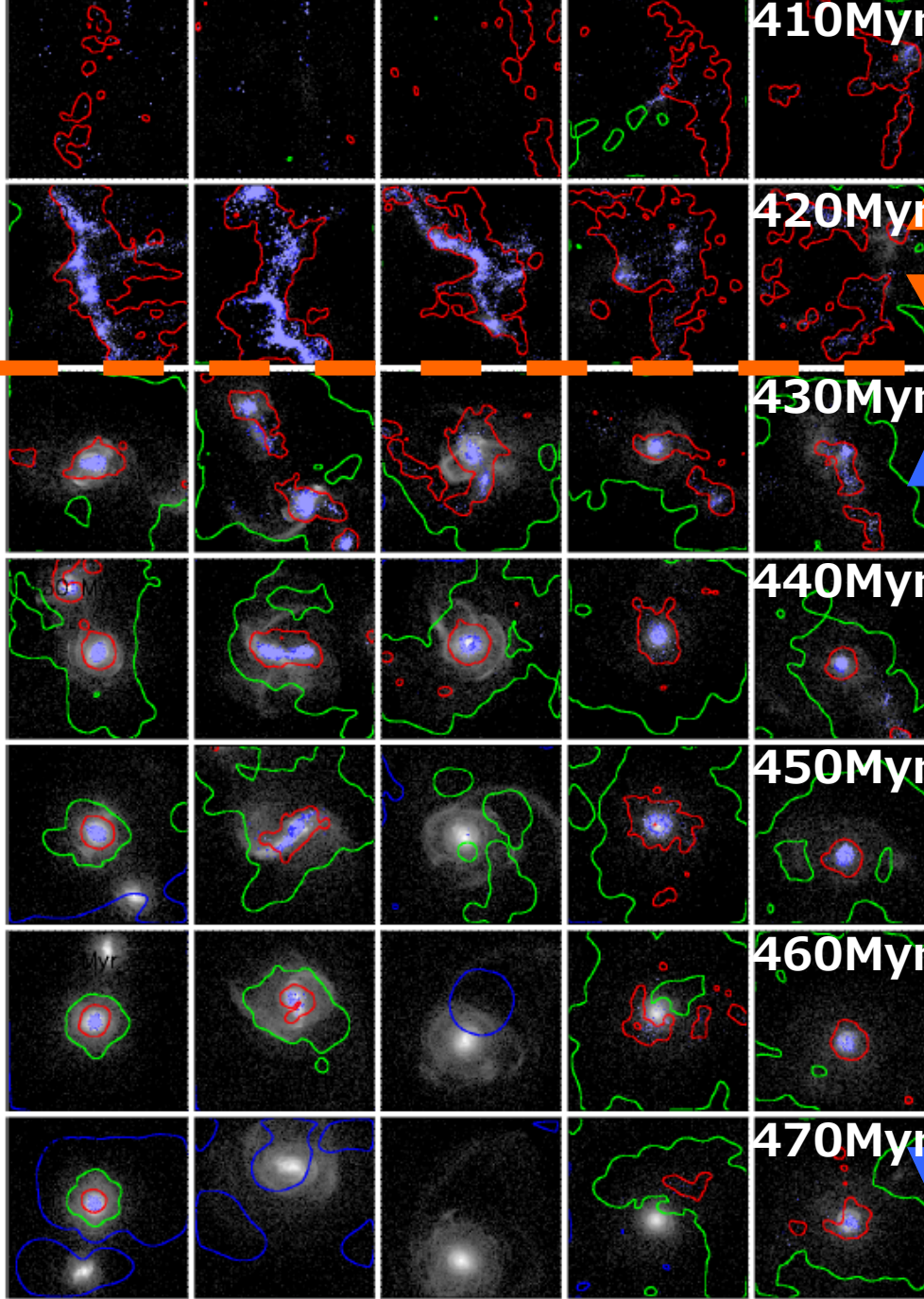


- 典型的な星形成の時間は10Myr
- 急激な星形成の抑制 → 超新星爆発の効果

10^{-4} 10^{-3} 10^{-2} 10^{-1} 1 10^1 10^2 10^3 Number density [$n_H \text{ cm}^{-3}$]
 10^1 10^2 10^3 10^4 10^5 10^6 Temperature [K]



星団 形成過程

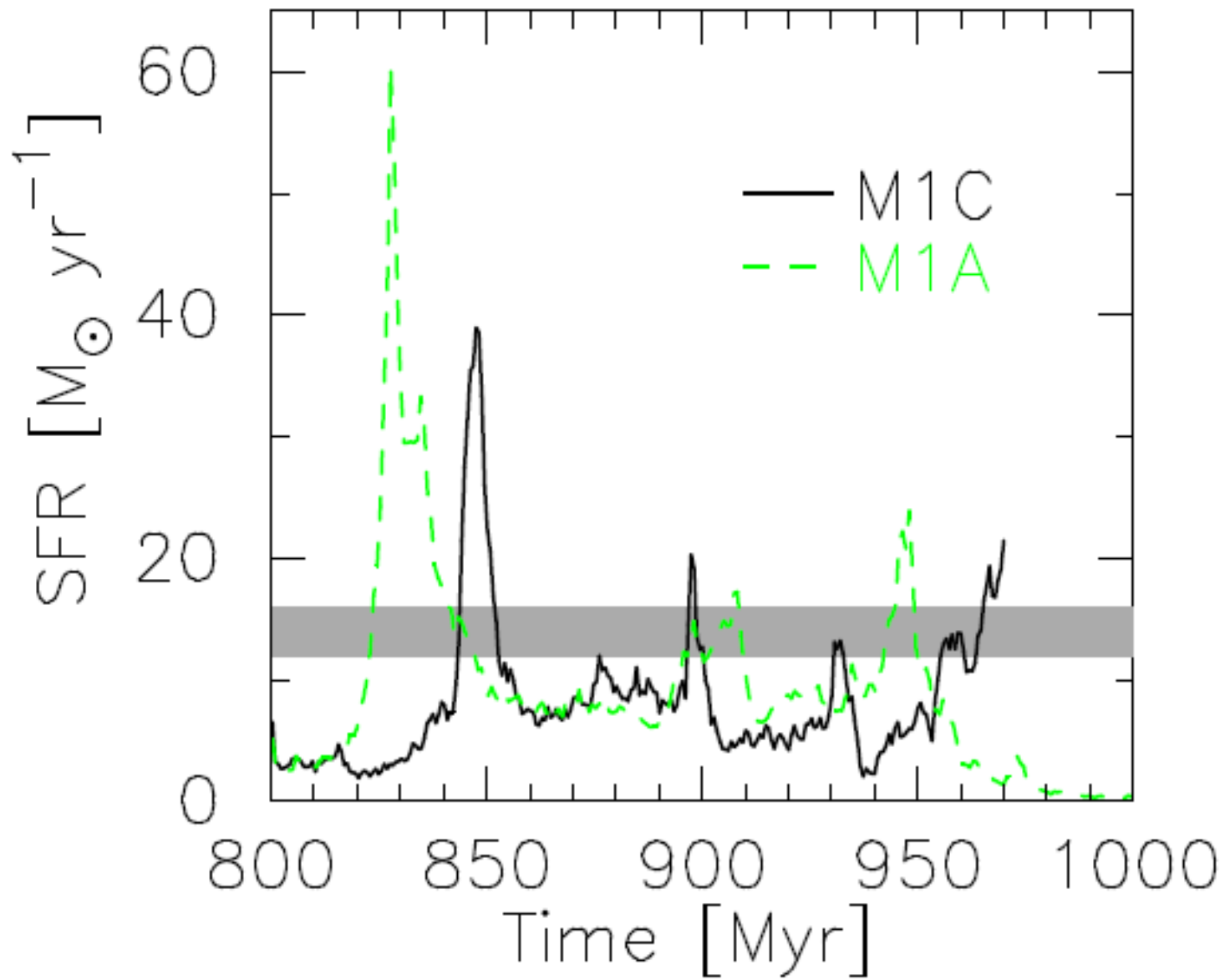


- ショックフィラメントに沿って星形成、重力的に集まり小星団を形成
 - 星形成は420~430 Myr
- 以降、**小星団同士の合体による成長**
 - 母銀河からフィラメントに対する潮汐長 (~1kpc) ぐらいまでが集積

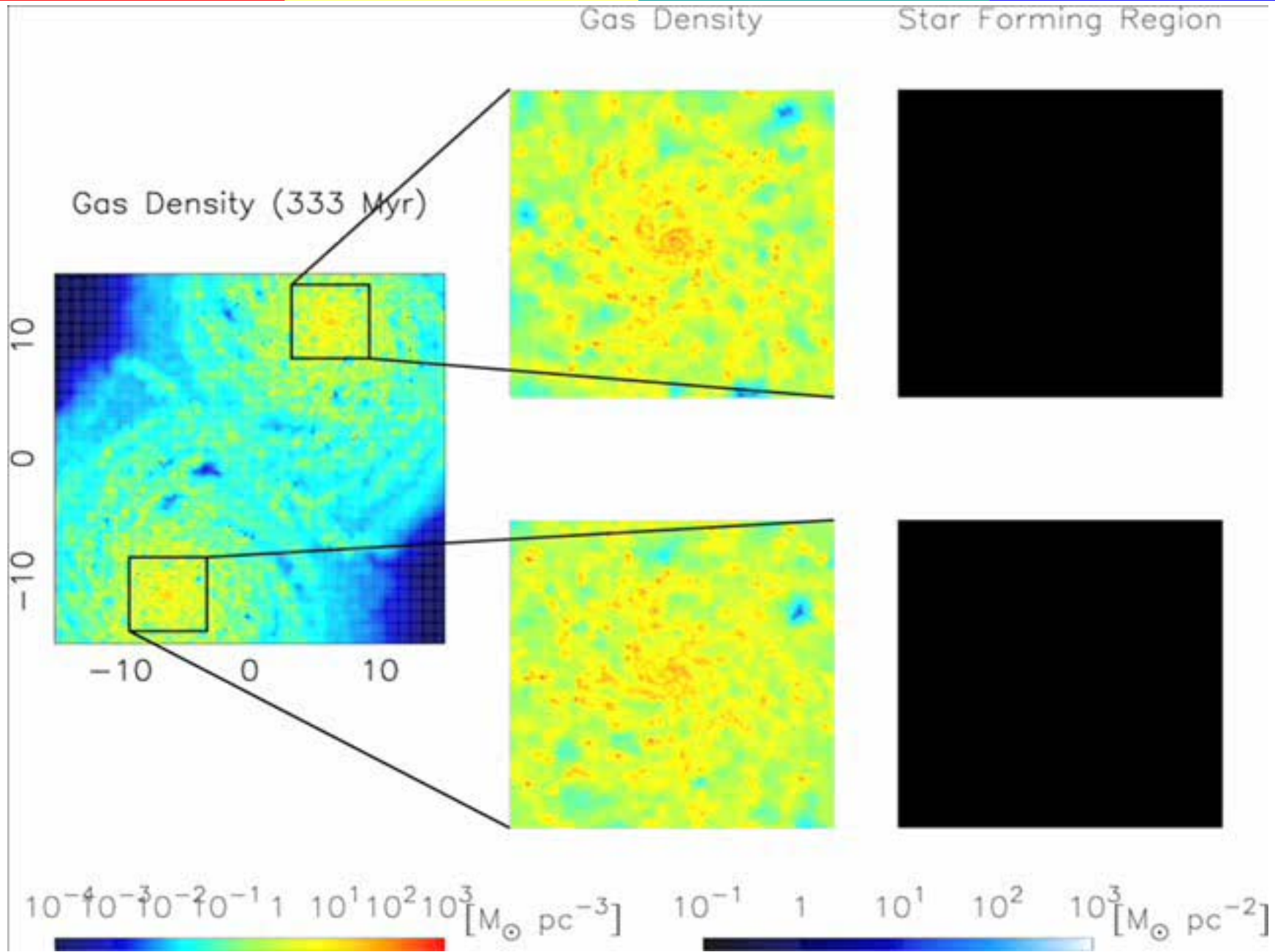
— 100個/cc — 1個/cc — 0.01個/cc

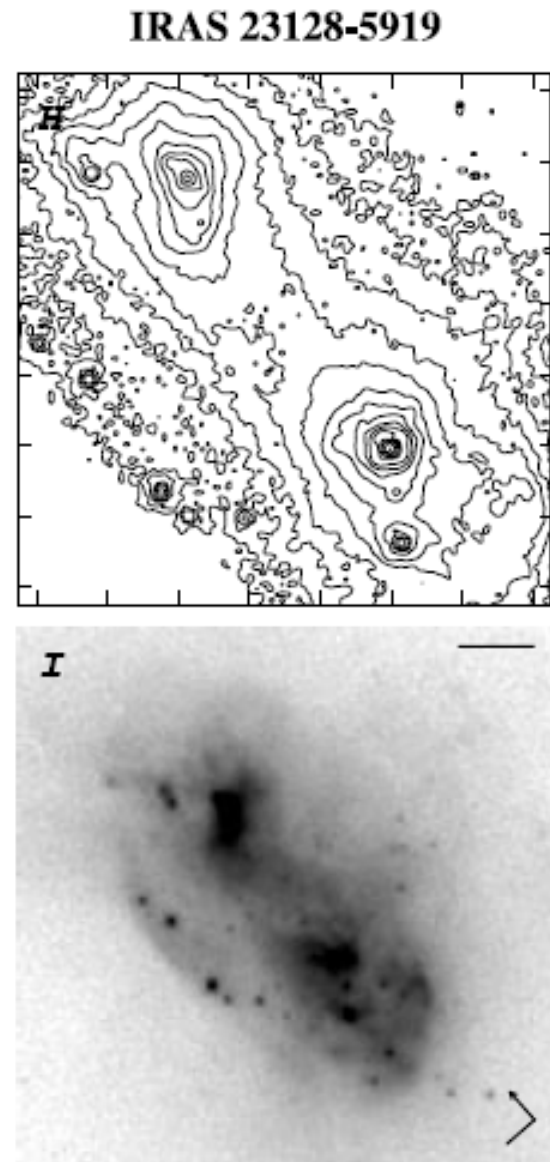
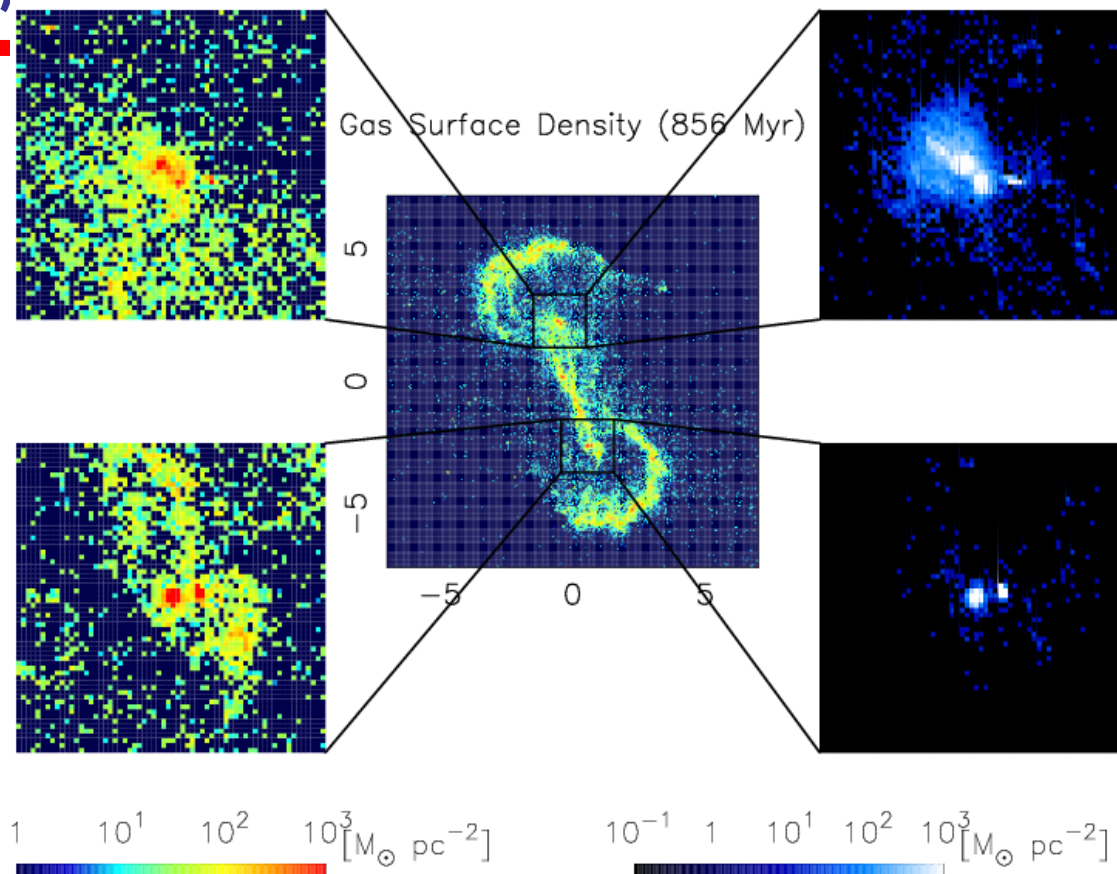
10^1 10^2 10^3 10^4 10^5 Surface density [$M_{\odot} \text{ pc}^{-2}$]

その後 の 進化は？



超広域サーベイによる巨大ブラックホール進化の研究：観測と理論の連携





HST image of ULIRG
Bushouse+2002

Matsui et al. in prep.

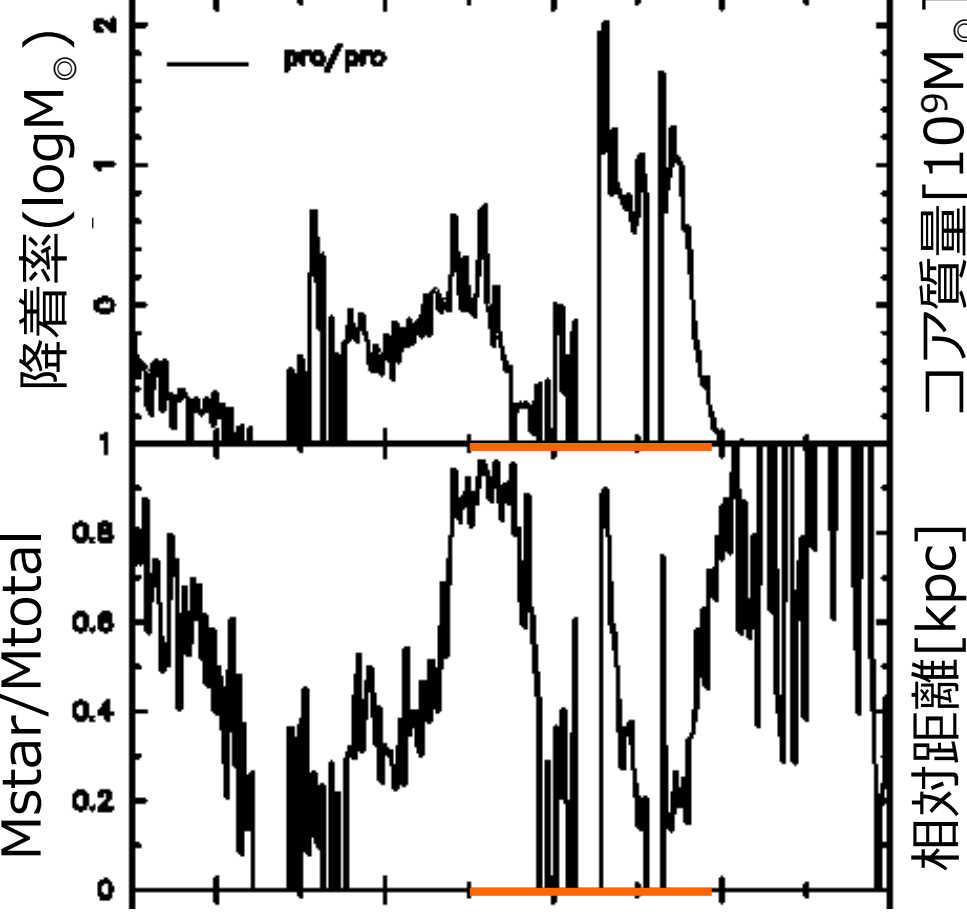
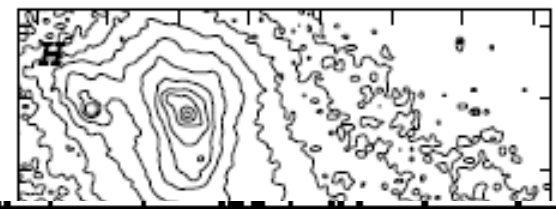
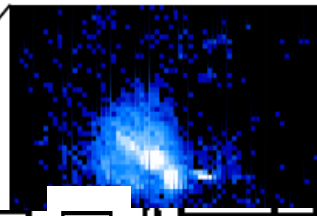
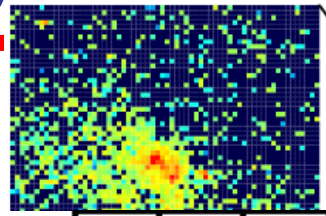
• (U)LIRGs phase

- 多数の星形成領域
- 多数の超高密度大質量星団
 - Softening scale ($\sim 10\text{pc}$)に $>\sim 10^8 M_{\odot}$
 - BH?
- Multiple merger でなくても、ULIRGs 的形状を表現できそう

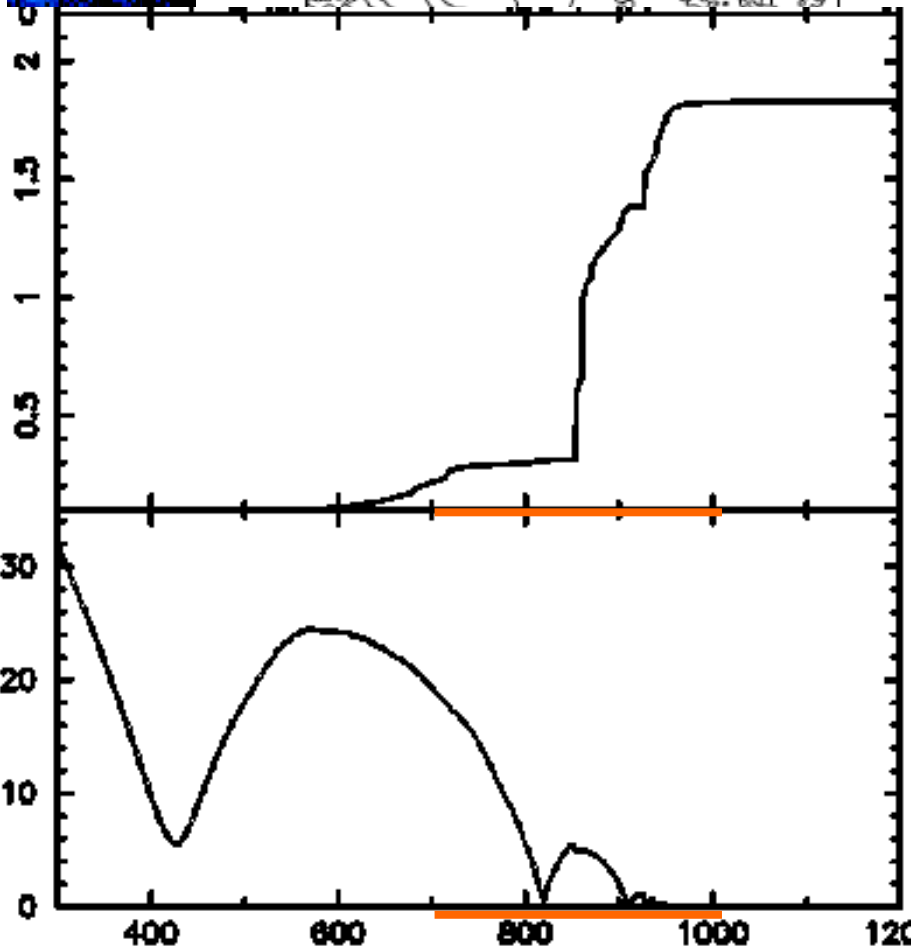
超

研究

IRAS 23128-5919



コア質量 [$10^9 M_{\odot}$]
相対距離 [kpc]

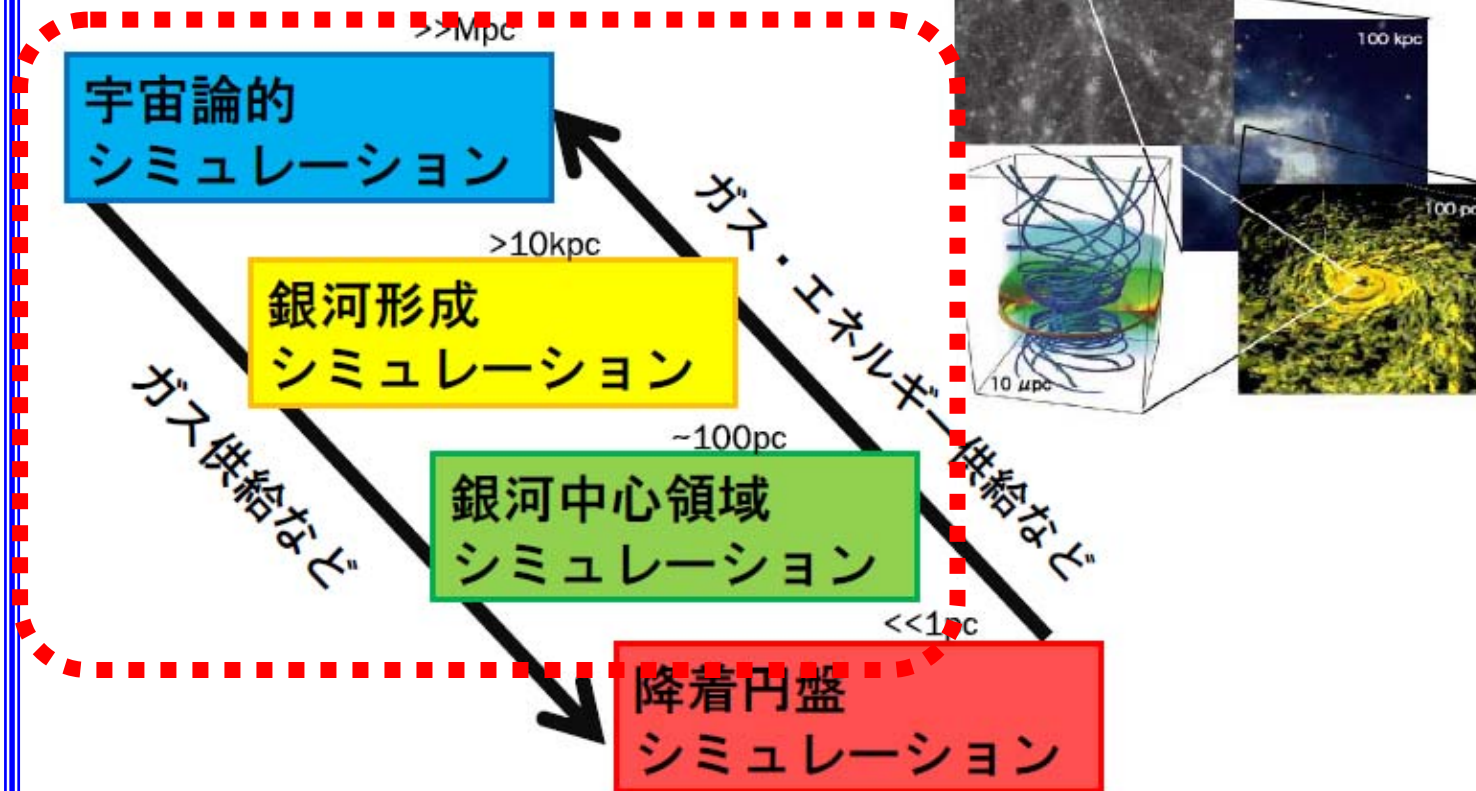


- Softening scale (~ 10 pc) に
- BH?

– Multiple merger でなくても、
ULIRGs 的形状を表現できそう

Matsui et al. in prep.

階層的アプローチ



©大須賀

相互フィードバックを取り入れた研究が必要！

● ASURA に対する新しい実装

1. Sink particle for BH formation/evolution
2. Higher order time integrator for BH dynamics
3. Comoving coordinates for cosmological simulations

まとめ

- シミュレーションは確実に進化している！！
- 超高分解銀河衝突シミュレーションから
 - はじめてショック励起SBをシミュレーションで直接分解、その結果従来とは異なり、初期遭遇時にSBを起こすことを示した
 - 星団形成過程が階層的であることを示唆
!= 従来の星団形成シナリオ: $M_{\text{jeans}} \sim 10^6 M_{\odot}$ を一気に作る
 - ULIRG phase の現象の理解
 - Gas rich merger (!=multiple merger) → many clumps → (BH formation in clumps(?)) → hierarchical core (BH?) merging