

# 宇宙論的流体シミュレーションによる 銀河 Cold flow の研究

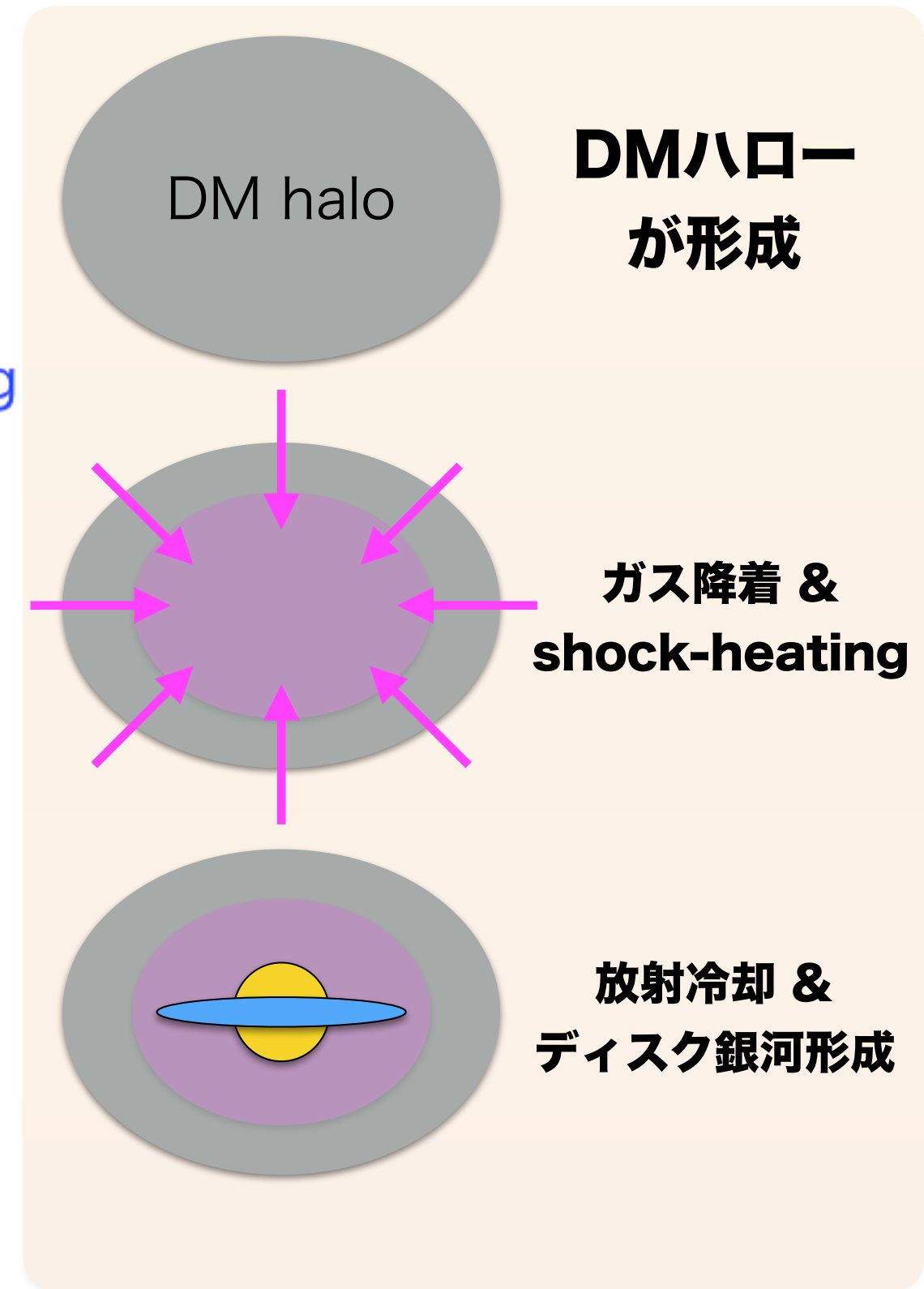
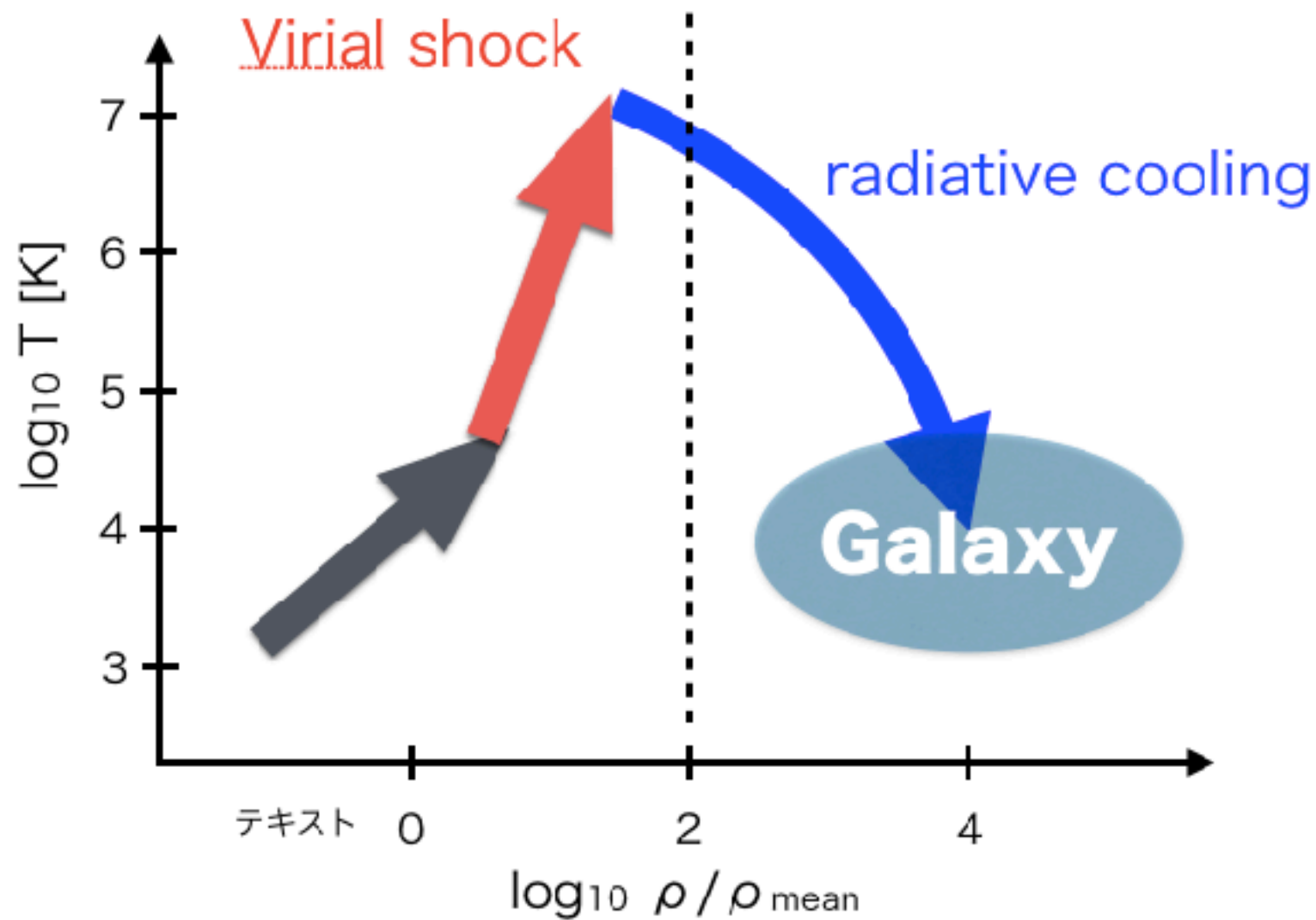
大阪大学理学研究科宇宙地球科学専攻 M2

中村亮介

共同研究者: 長峯健太郎、清水 一紘

# 1st-order Galaxy formation

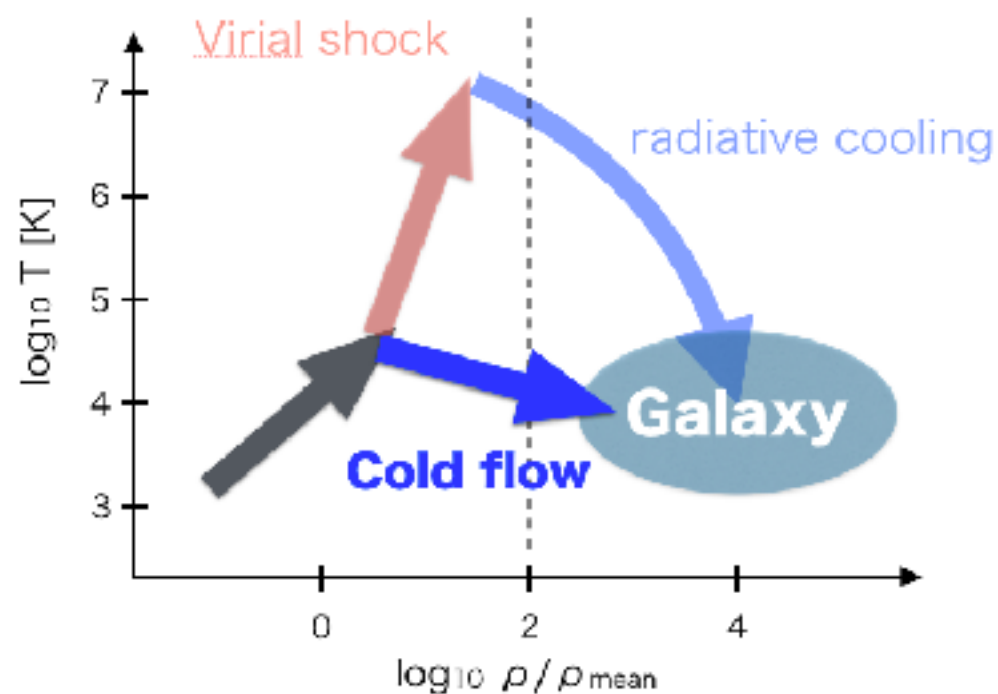
Rees & Ostriker '77, White & Rees '78, Fall & Efstathiou '80, White & Frenk '91, Mo, Mao & White '98



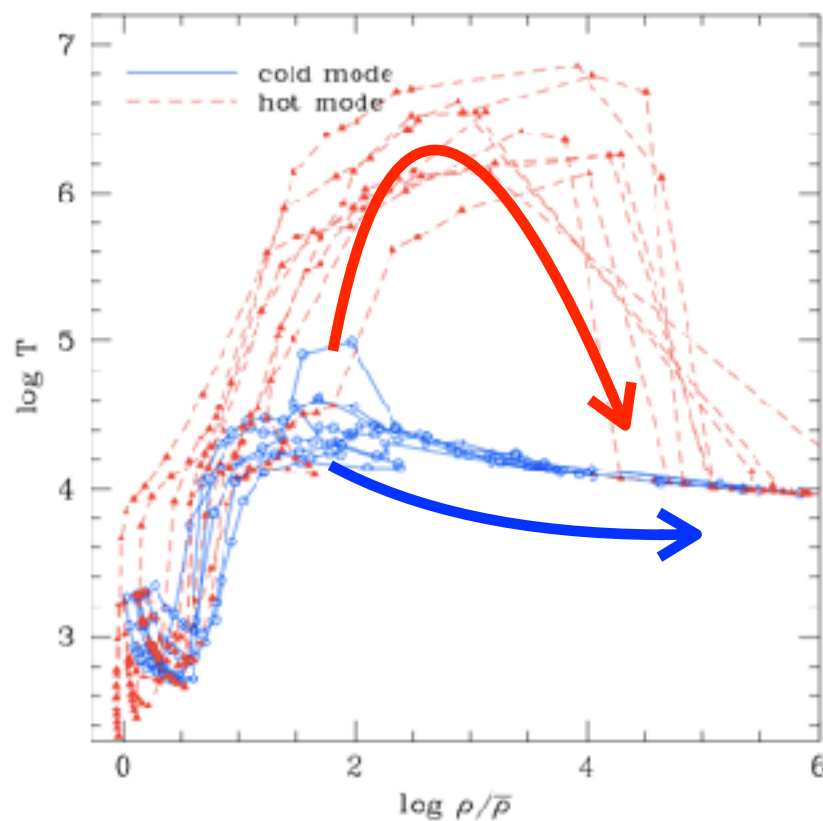


# Galaxy formation with cold flow

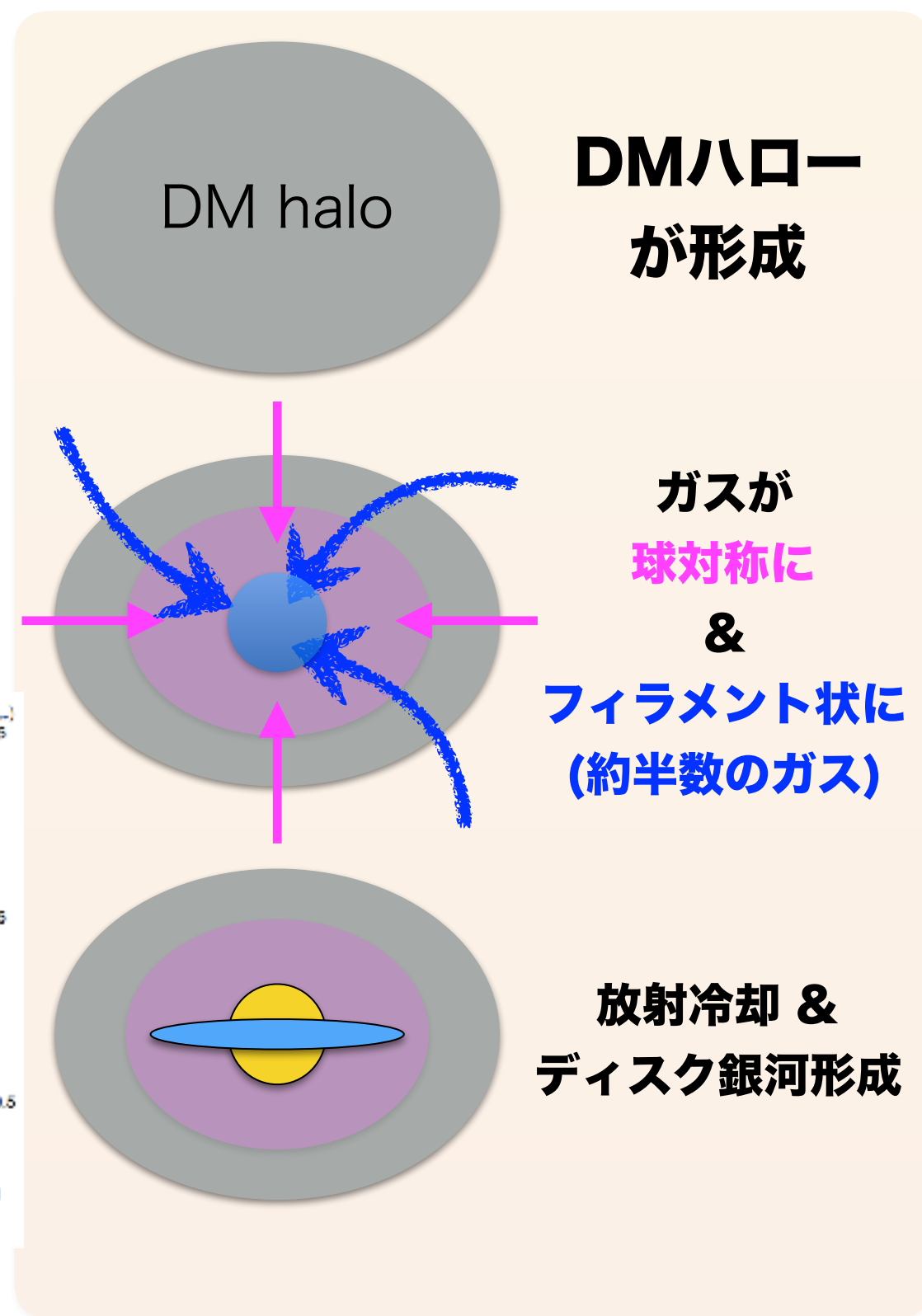
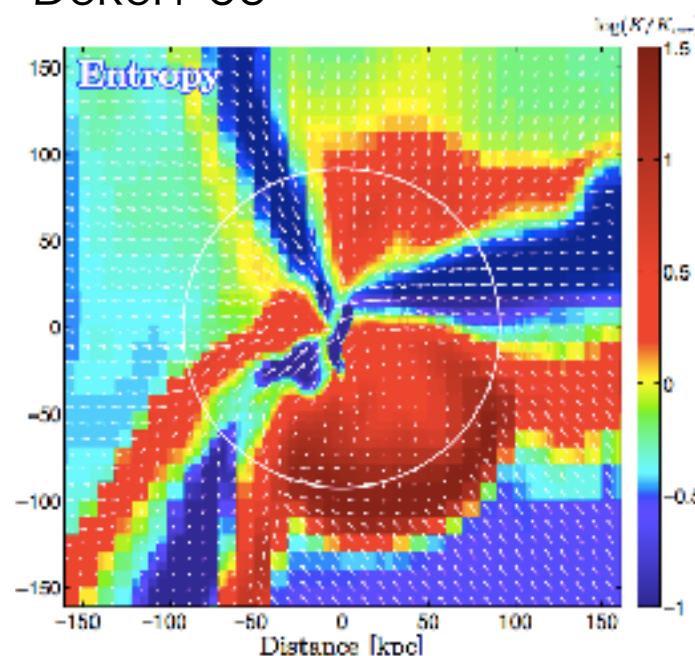
Rees & Ostriker '77, White & Rees '78, Fall & Efstathiou '80, White & Frenk '91, Mo, Mao & White '98



Keres+'05



Dekel+'09



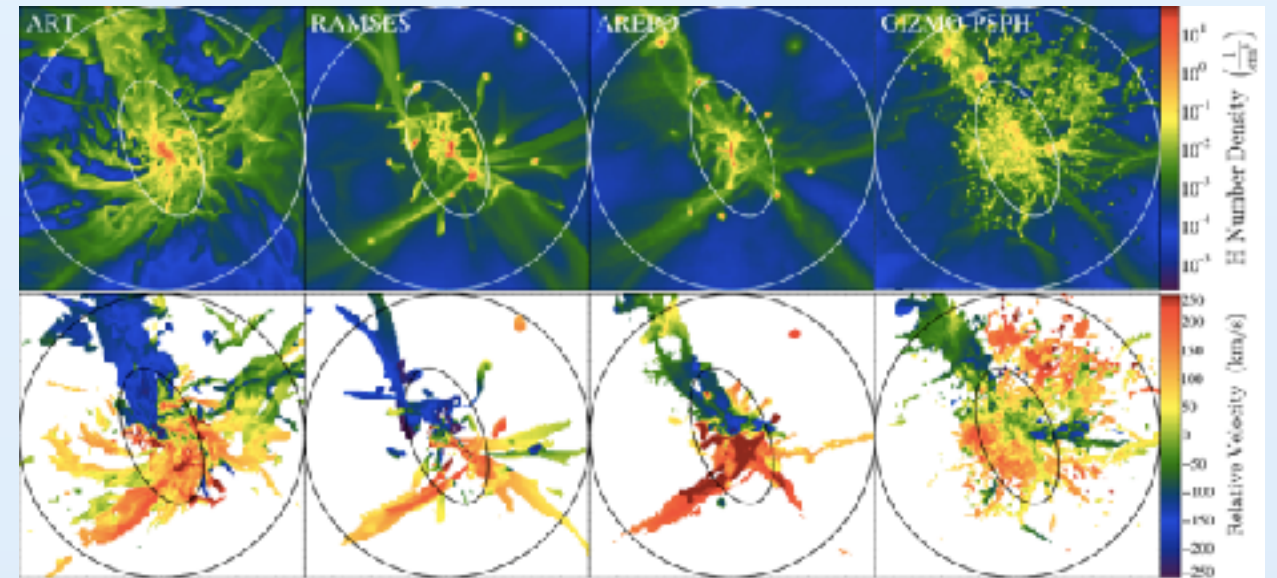
# Role of Cold Flow

## Disk formation

$$\lambda_{cold\ flow} \sim 4 \lambda_{DM}$$

( $\lambda$  is specific angular momentum)

冷たいフィラメント状のガスは効率的に  
各運動量を中心銀河に運び、星形成を行う。



Stewart+ '16

galaxy properties vary between different codes

## Color Bimodality

青い銀河:

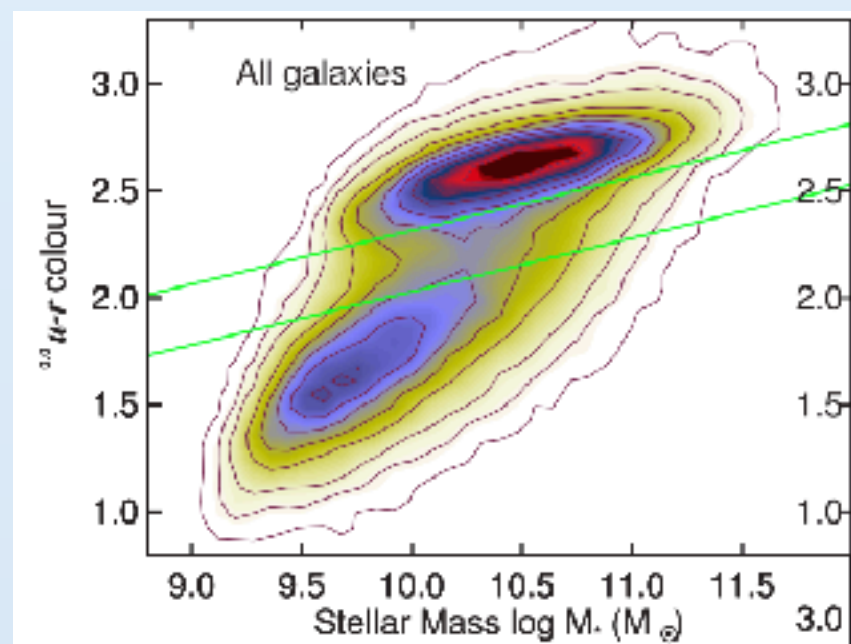
小質量で

星形成が活発なディスク銀河

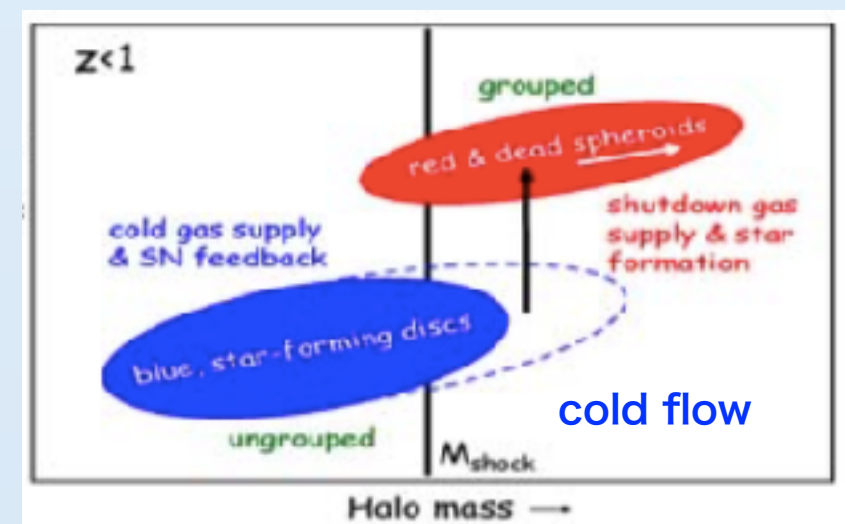
赤い銀河:

大質量で古い星が多い

楕円銀河



Schawinski+ '14



Dekel & Birnboim '06



# Role of Cold Flow

約半数のガスが  
virial shockを経験しない  
→ 銀河形成の描像がより詳細に

**Cold flow 形成の物理 &  
銀河形成において普遍的かどうか  
が未だ不透明**



16

odes



oim '06

# Motivation

銀河に降着するgas は hot mode と cold mode が存在

- ① フィラメント上の**冷えたガス**はどのように集まるのか？  
ジーンズ不安定？、熱的不安定性？
- ② Cold flowは銀河形成全般にどのような影響を与えるのか？  
density-morphology relation etc.



**filamentary cold gasの物理と**  
**cold flow の環境依存性 (Halo質量、周りの密度環境など)**

星形成とfeedbackモデルを実装したGadget 3 (Springel '05)を用いて  
複数のhaloに対して zoom-in simulation を行い  
銀河のmorphology、color bimodality との関連を調べたい。

# 本日のトーク内容

我々の研究グループが改良した  
**Gadget 3 Osaka SN model**  
においても、先行研究と同様に

$10^{12} M_{\text{sun}}$  の halo で Cold flow が形成し、  
ビリアル半径内外に渡って存在することを確認した。  
本日はその進捗について報告する。



# Simulation Set-up

## Gadget3 (SPH, Springel '05)

Radiative cooling, heating, Star formation,  
SN feedback (Osaka SN model; Aoyama+ '17)

## Base

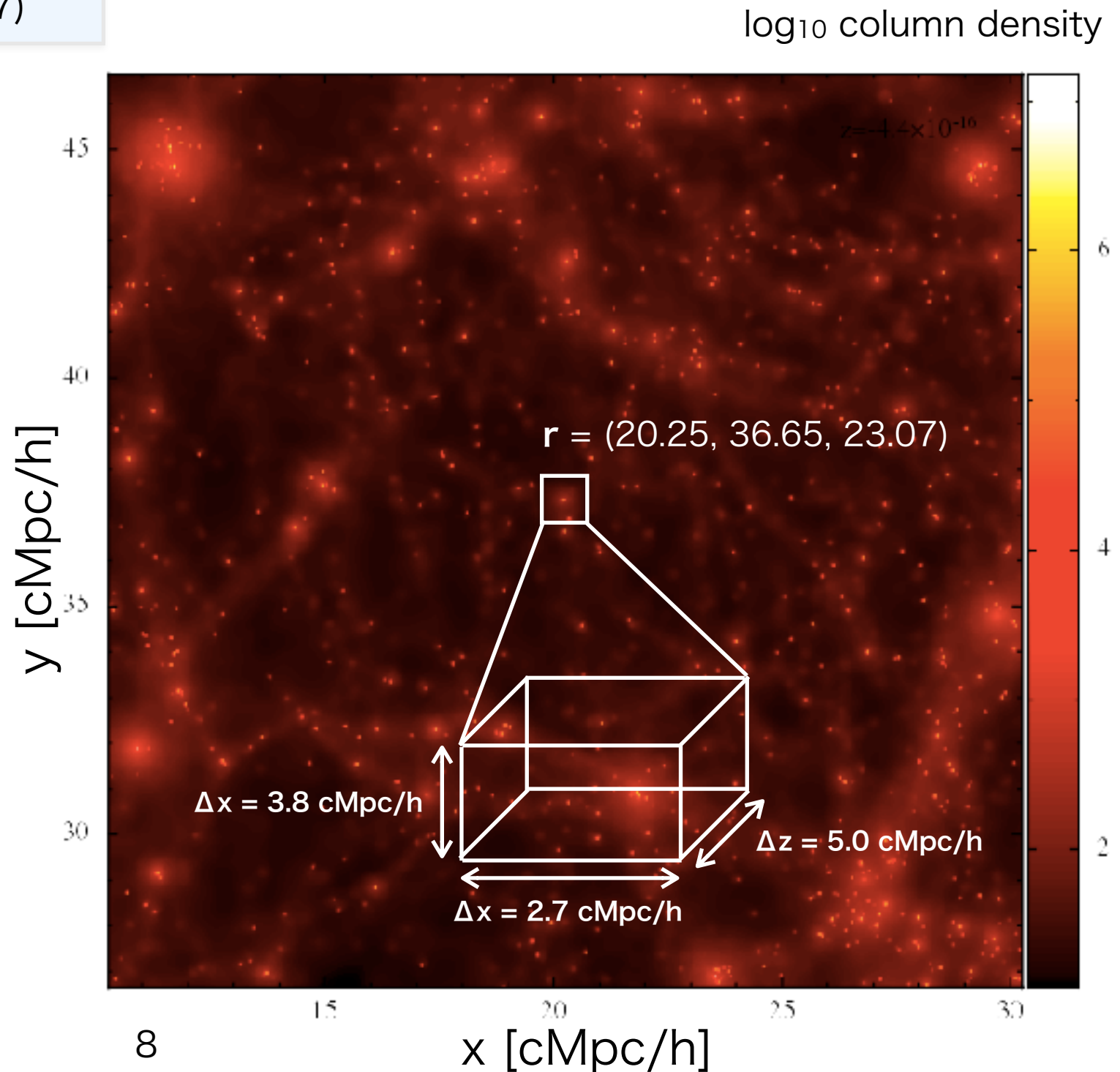
Box size:  $L = 50 \text{ Mpc}/h$   
Base grid:  $N = 128^3$   
 $M_{\text{dm}} \sim 4.0 \times 10^9 M_{\odot}$

## Zoom-in simulation

$N = 2048^3$  (effective)  
 $M_{\text{Halo}} \sim 10^{12} M_{\odot}$  (at  $z=0$ )  
 $\epsilon_{\text{soft}} \sim 800 \text{ pc}$   
 $M_{\text{gas}} \sim 2.0 \times 10^5 M_{\odot}$   
 $M_{\text{dm}} \sim 10^6 M_{\odot}$

## Cosmological parameter

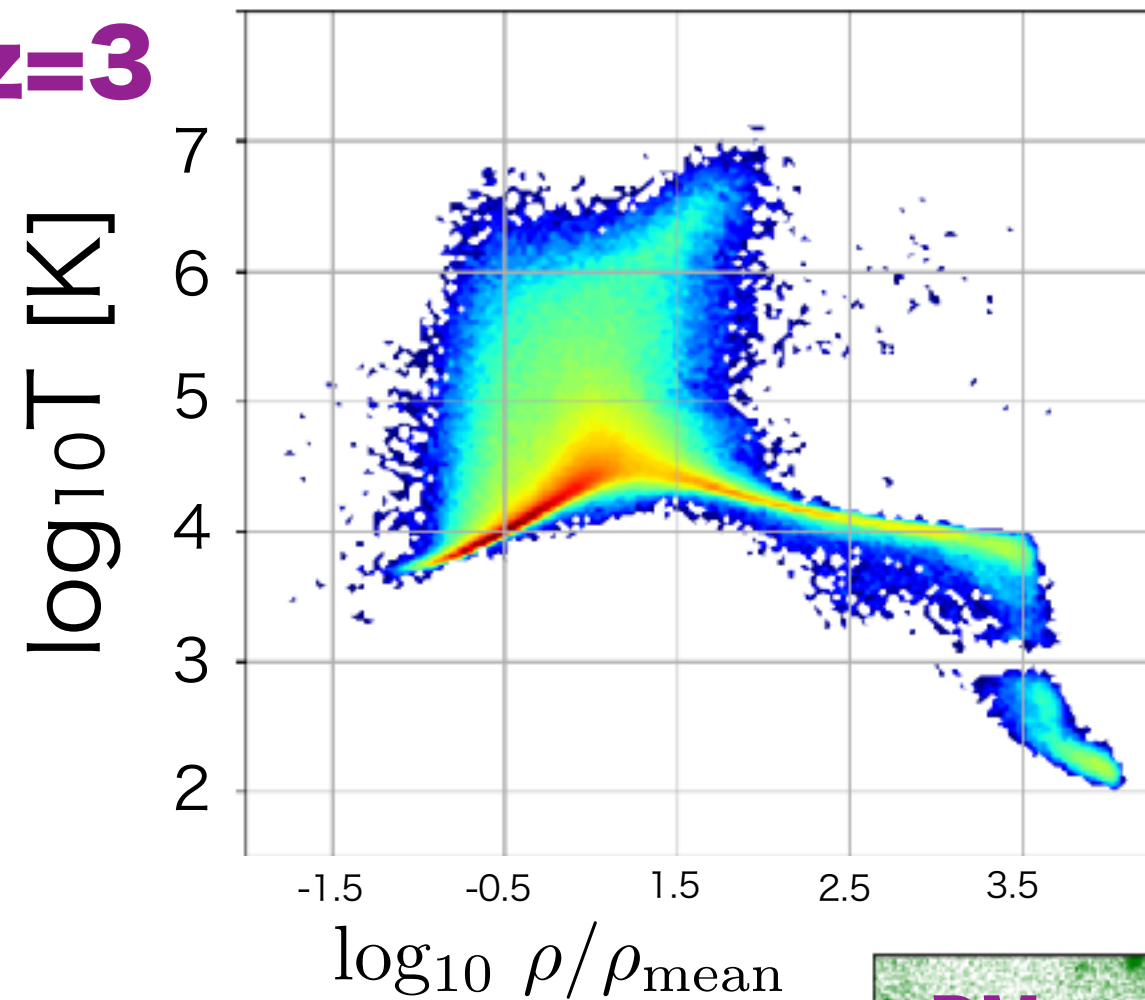
$H_0 = 67.74$   
 $\Omega_m = 0.3089$  (Planck collaboration '15)  
 $\Omega_{\Lambda} = 0.6911$   
 $\Omega_b = 0.04860$   
 $\sigma_8 = 0.8259$





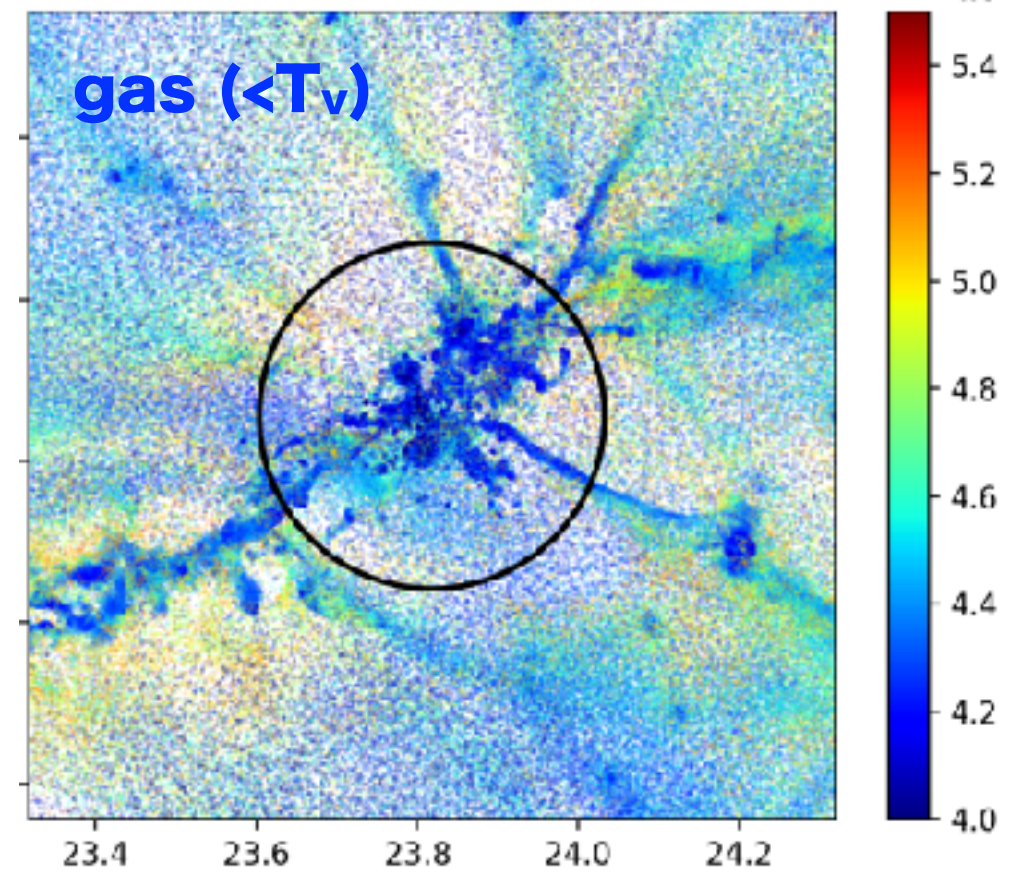
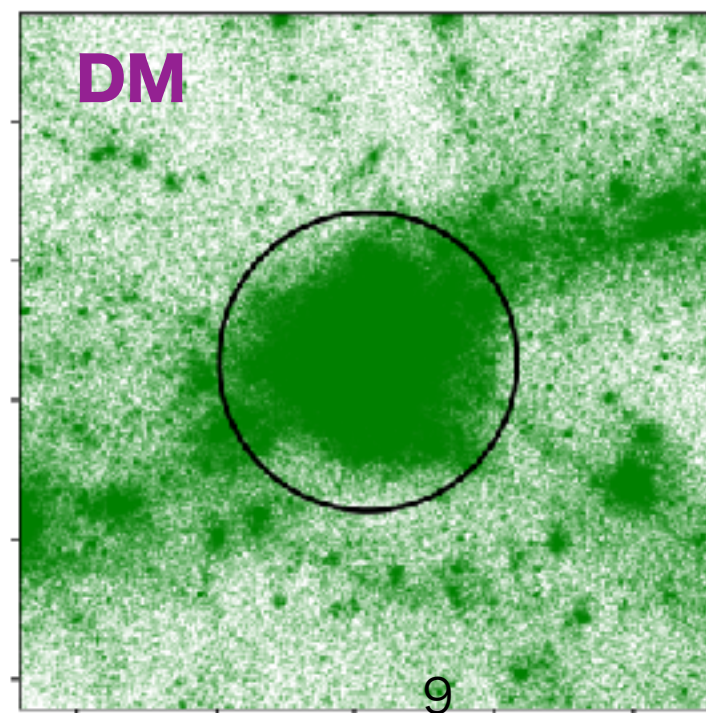
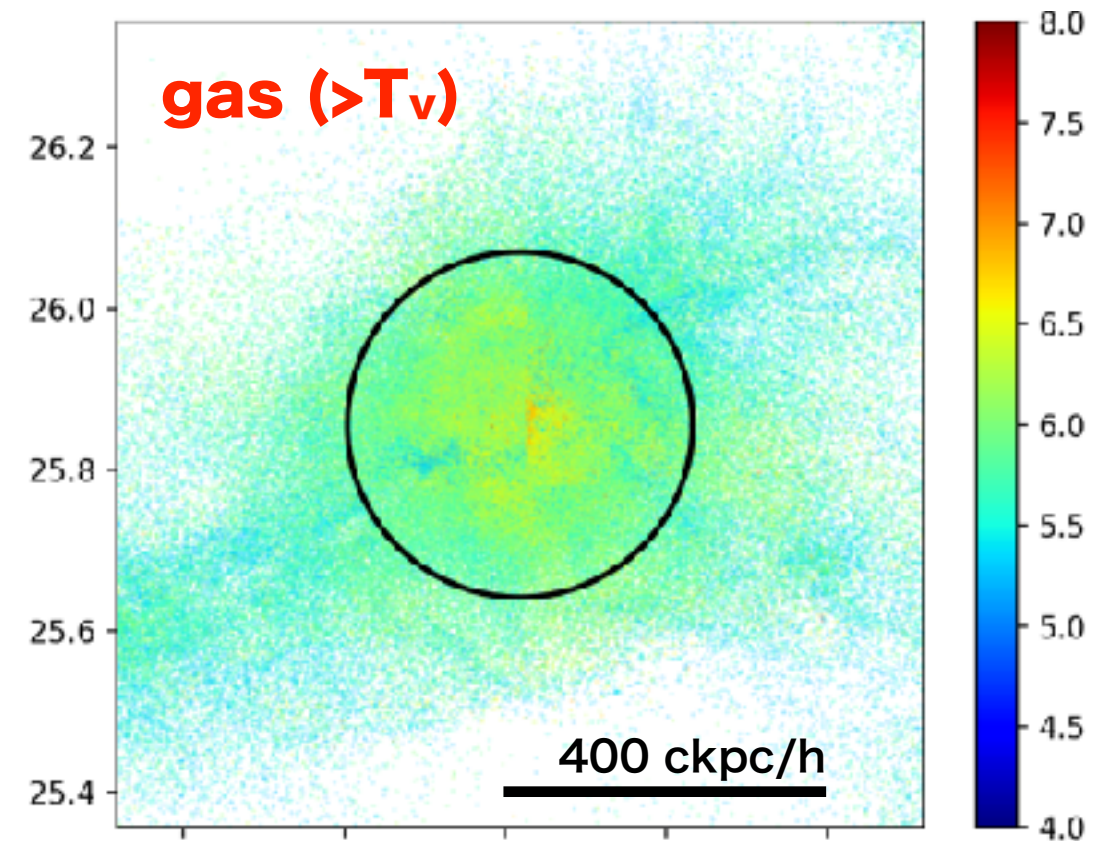
# cold stream penetrating hot medium

**z=3**

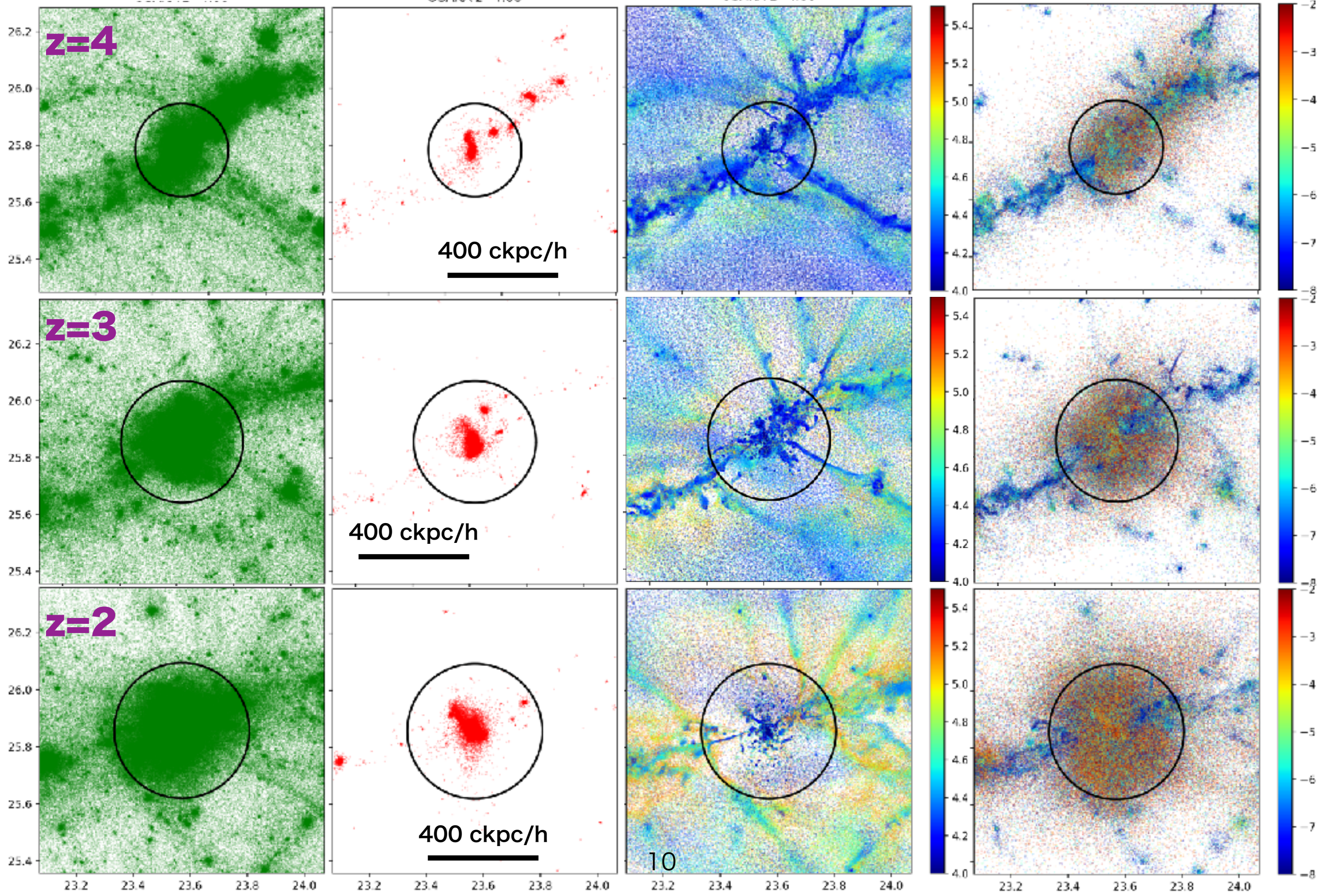


$$E_{\text{int}} = \frac{3}{10} \frac{GM_v}{R_v} \sim \frac{3}{2} \frac{k_B T_v}{m_p}$$

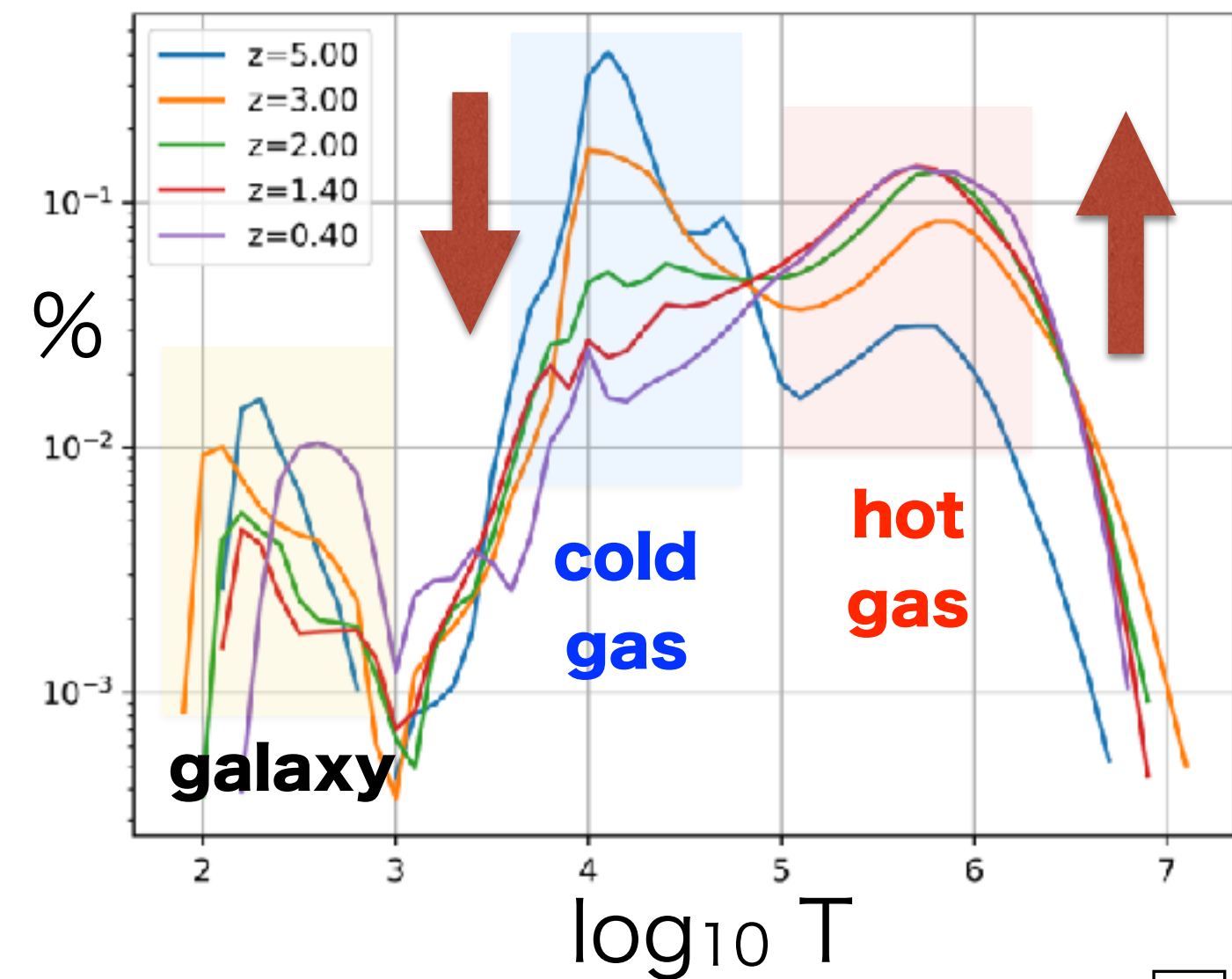
$$\log_{10} T_v \sim 5.2$$





**DM****star****gas ( $\langle T_v \rangle$ )****metallicity** $\log_{10} T$  $\log_{10} Z$ 





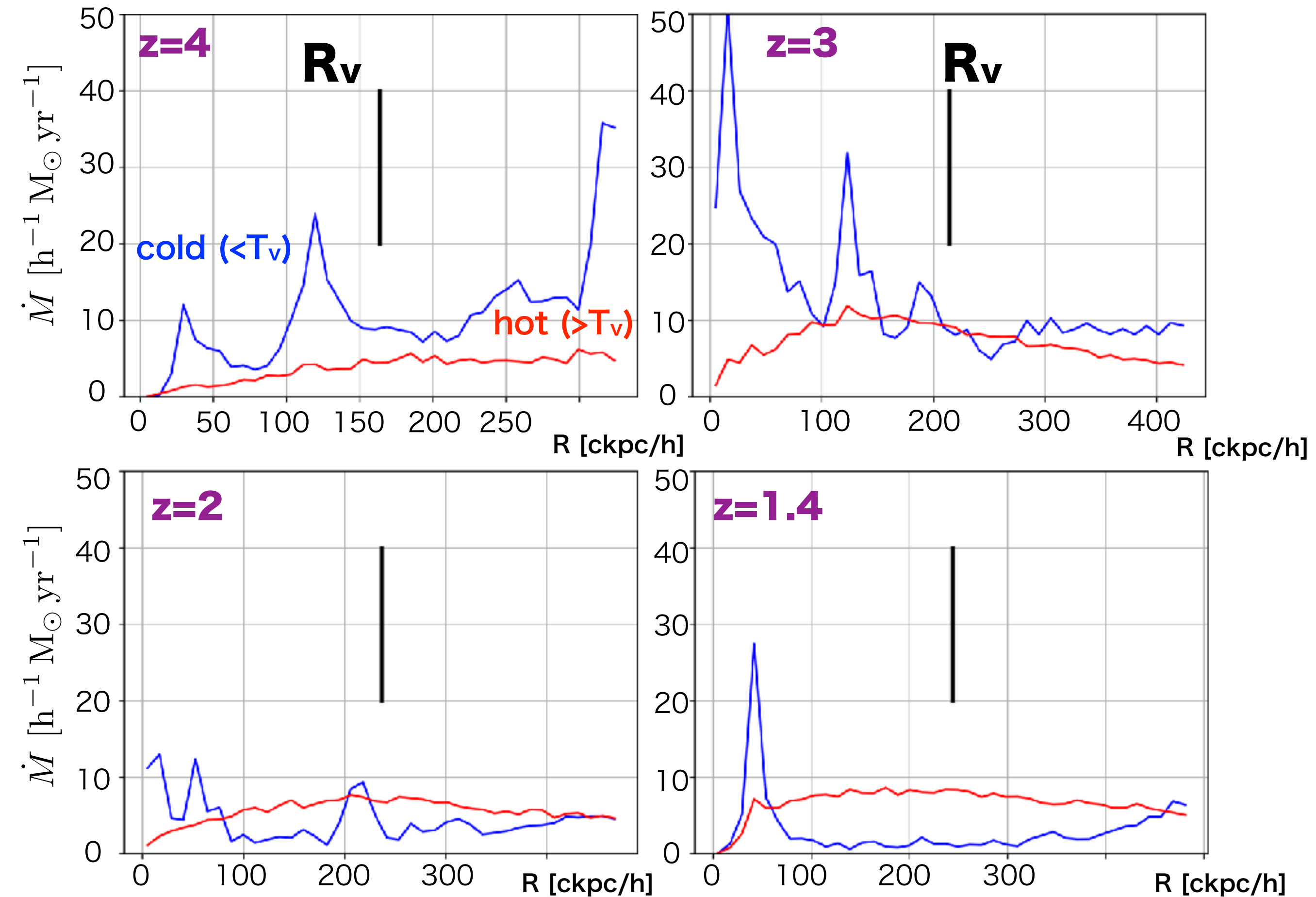
$z=5$  から  $z \sim 0$  にかけて  
 cold gas に対して hot gas  
 の割合が大きくなる。  
 (SN feedback, shock heating  
 による加熱)

系全体のSFRが $z \sim 2$ から  
 小さくなる傾向と  
 コンシステント

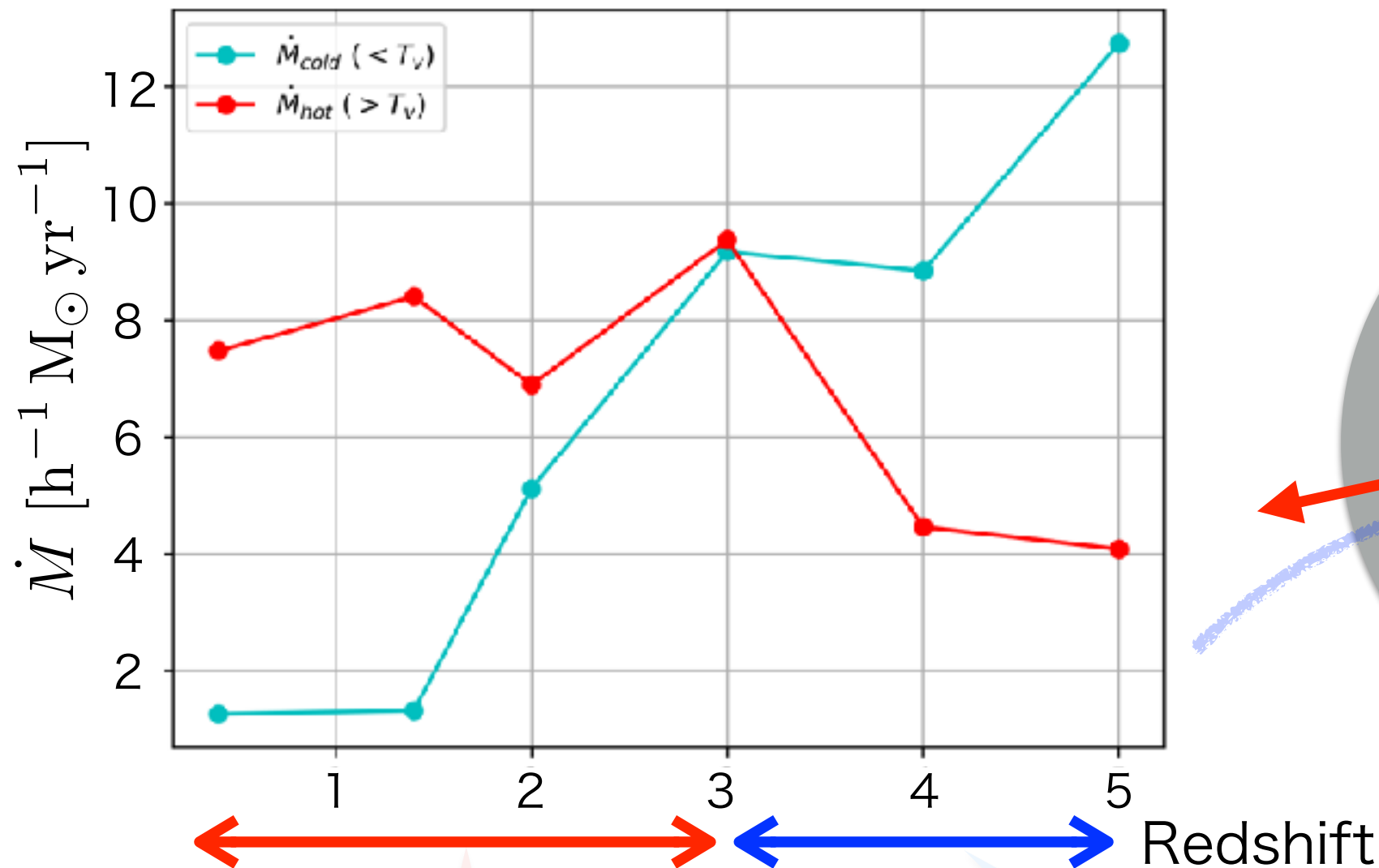




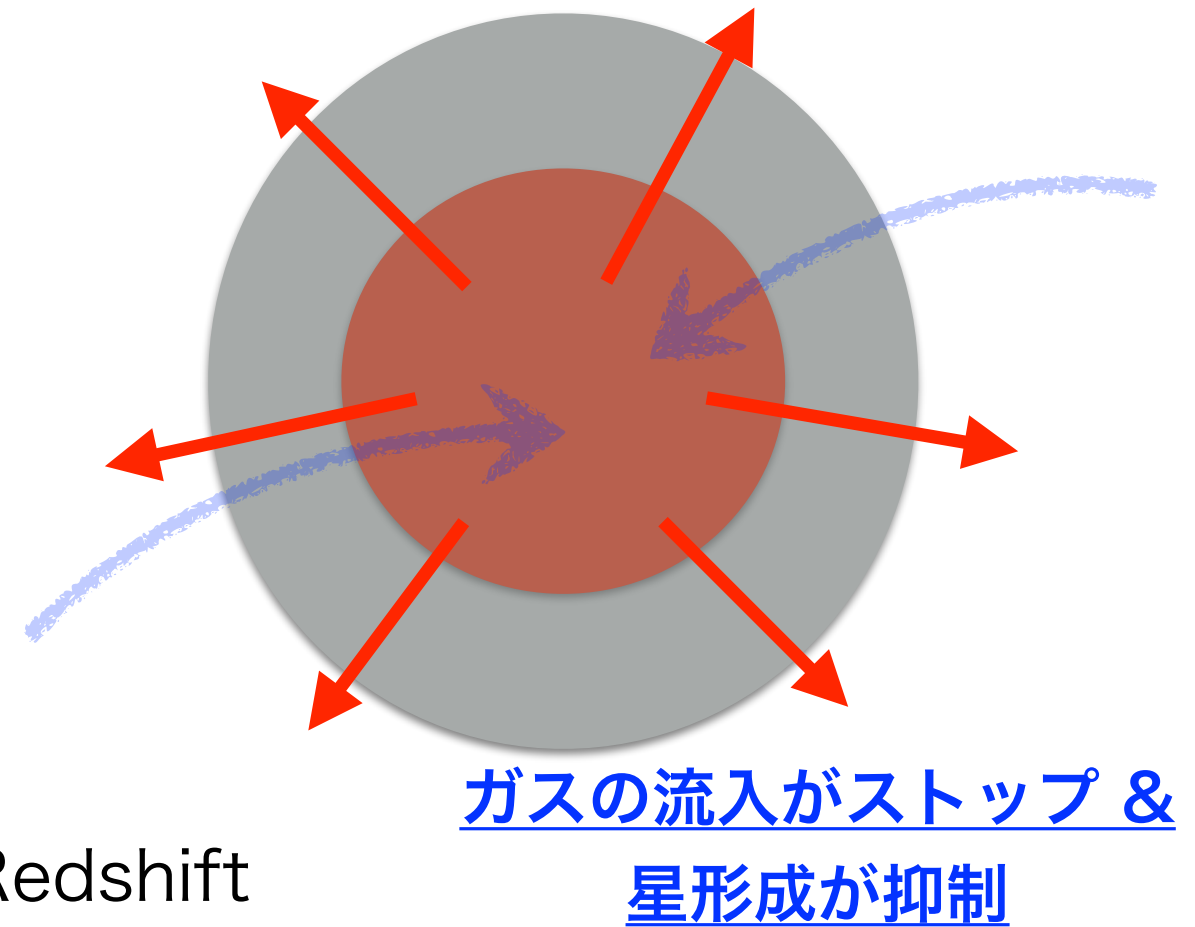
# 銀河中心からの各半径での質量降着率



# Cold & Hot gas の 降着率



shock heating & SN feedback  
などによる加熱



**Heating** (Shock-heatingやSN feedback) が効き、冷たいフィラメント状のガスの流入が止まる。  
同時に、星形成が抑制される。

フィラメント状の冷えたガスが角運動量を銀河中心へ輸送し、それらのガスが効率的に星形成を起こす。

# Summary

- ・ 銀河に降着するガスには **hot mode** と **cold mode** があり、後者はフィラメント状に銀河へ降着する。
- ・ フィラメントは  $z \sim 4$  以前から存在し、 $z \sim 2$  あたりで heating が効き、影響が小さくなる。

## Future works

- ・ フィラメント状になる物理  
（フィラメントの ジーンズ不安定性、熱的不安定性）についての定量的な議論
- ・ 複数の feedback モデルで検証し、その影響について調べる。
- ・ 異なる質量を持つ Halo についても同様の zoom-in を行い、銀河の morphology への影響について考察する。