

# ダストのサイズ分布の進化と ダストにおける水素分子形成を考慮した 銀河の形成と進化のモデル

山澤 大輔（北海道大学）

共同研究者

羽部 朝男（北海道大学）

小笹 隆司（北海道大学）

野沢 貴也（東京大学数物連携宇宙研究機構）

平下 博之（台湾中央研究院）

# 1、INTRODUCTION

銀河の形成と進化

高赤方偏移銀河の形成と進化

ダストのサイズ分布の進化の重要性

# 2、MODEL

① onezone 銀河形成モデル

② ダストのサイズ分布の進化

③ 階層的合体過程

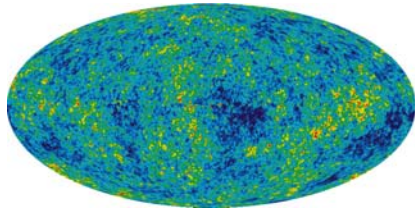
# 3、RESULTS and DISCUSSION

① ダストのサイズ進化 の効果

② ダストのサイズ進化+階層合体過程 の効果

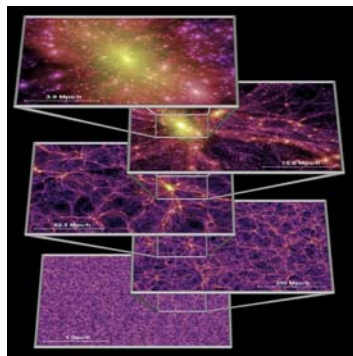
# 4、CONCLUSION and FUTURE WORKS

# 銀河の形成と進化



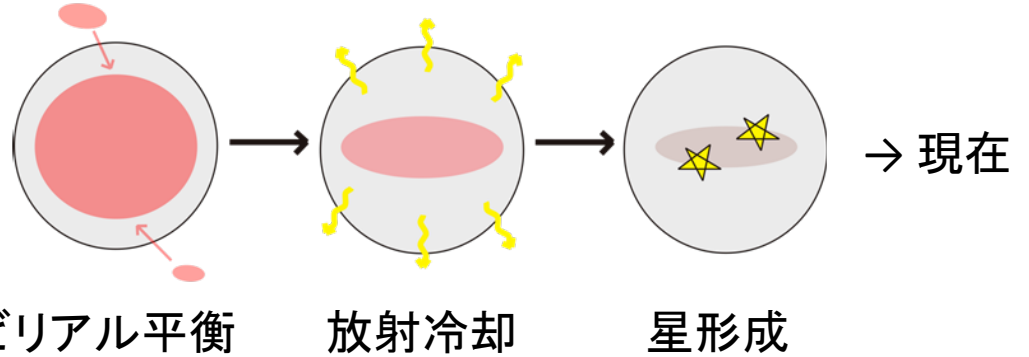
WMAP観測衛星  
(NASA)

- Cold Dark Matter
- 宇宙論的パラメータ

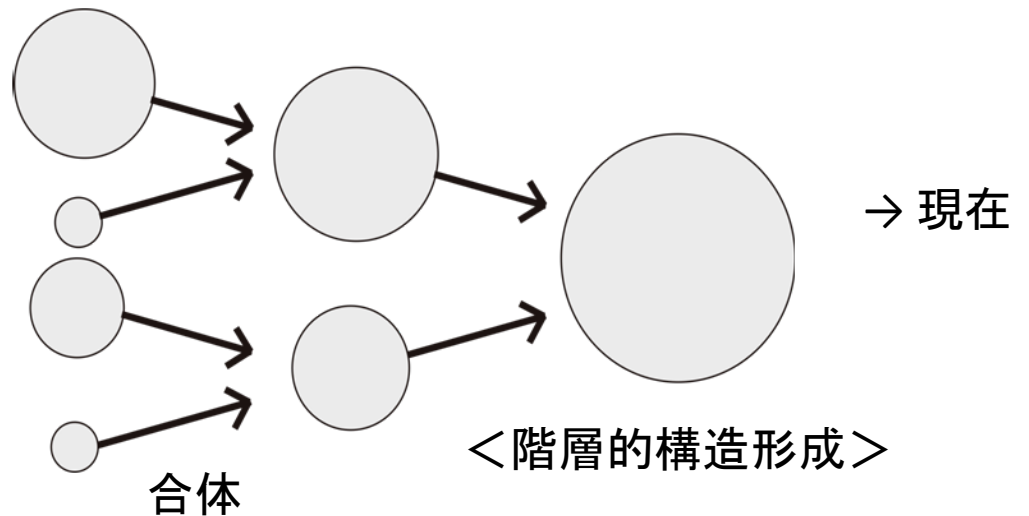


N体シミュレーション  
(Springel et al. (2005))

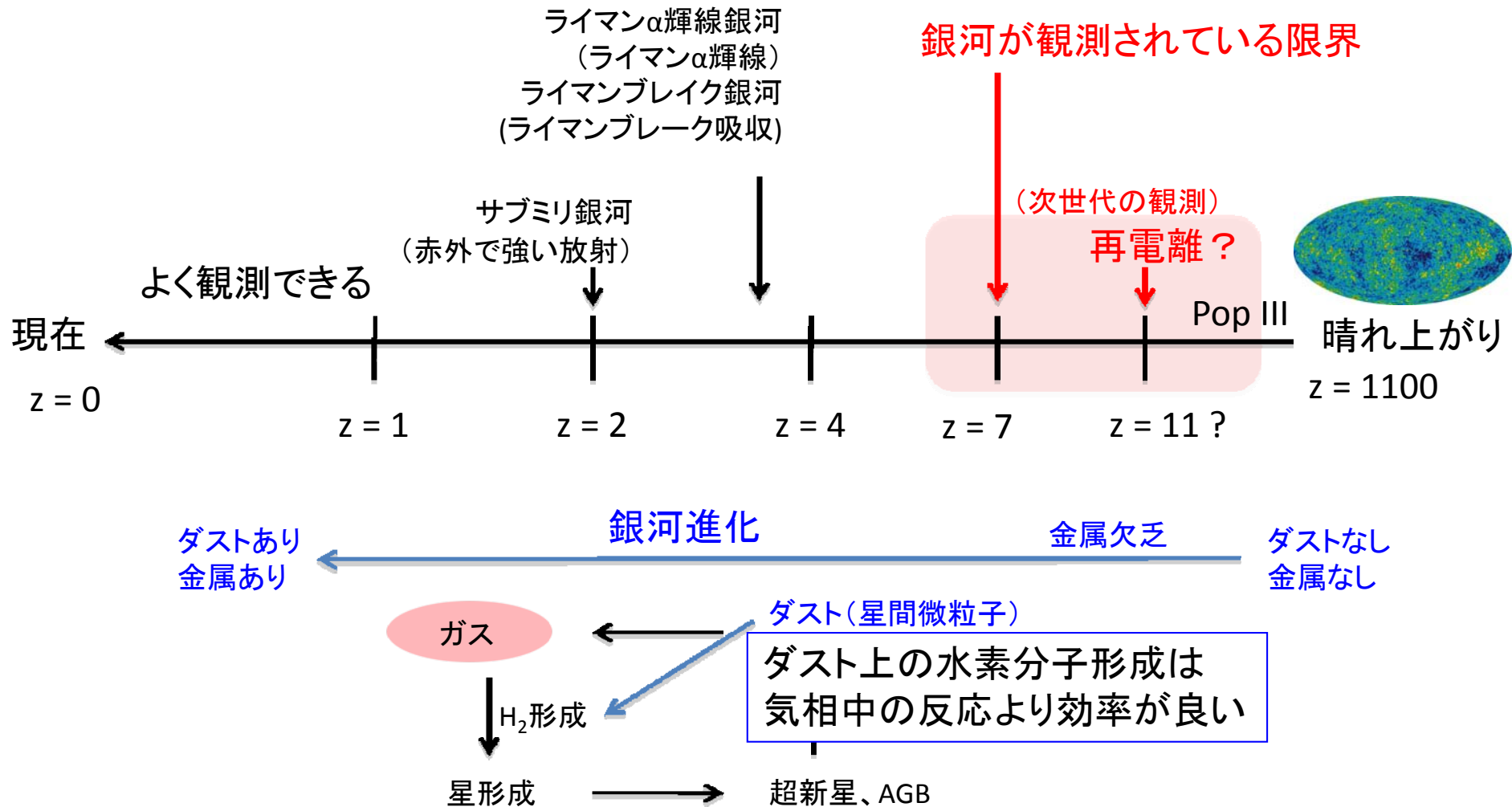
## □ 銀河形成



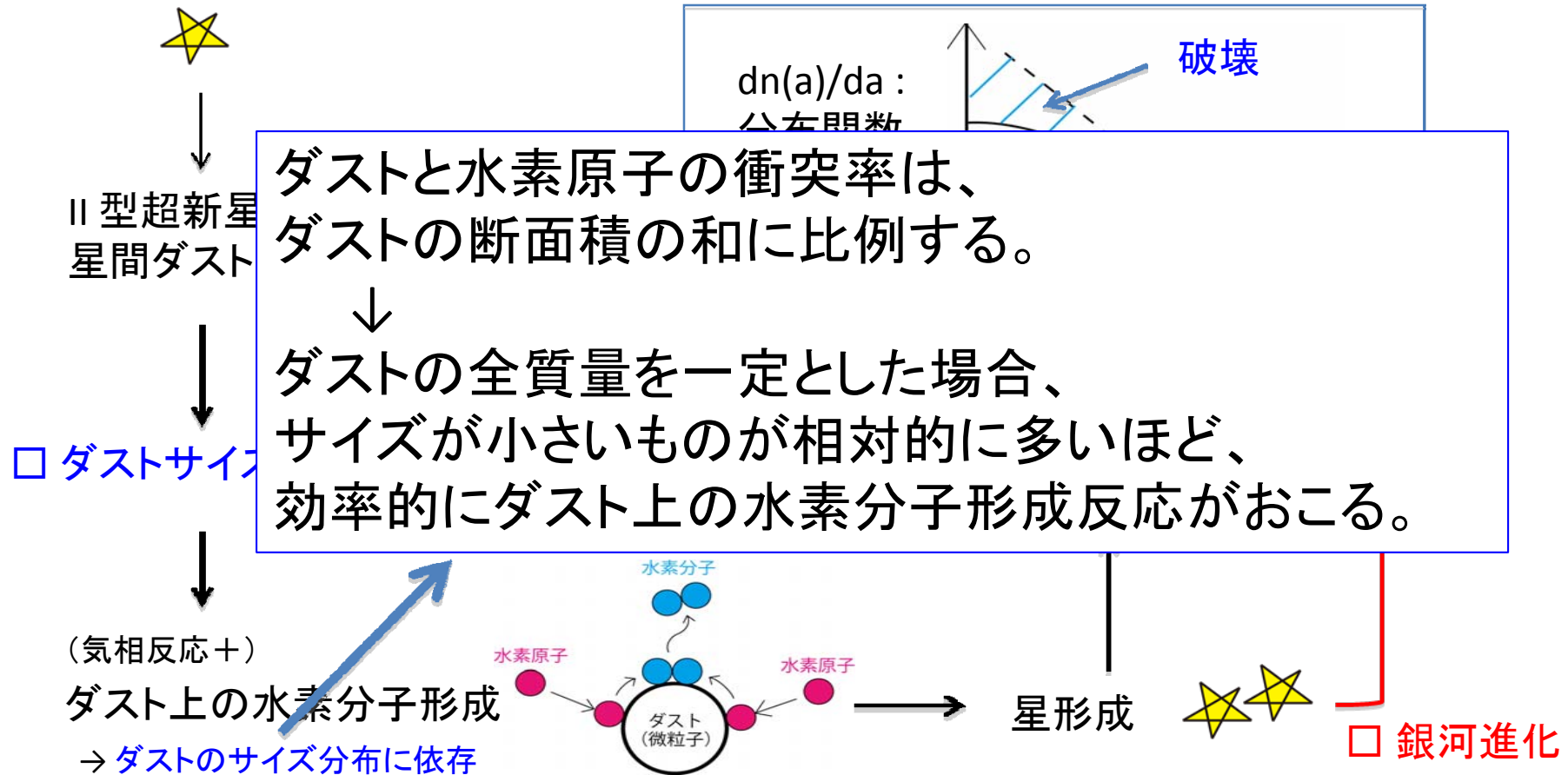
## □ 銀河進化



# 高赤方偏移の銀河の形成と進化



# ダストのサイズ分布の進化の重要性



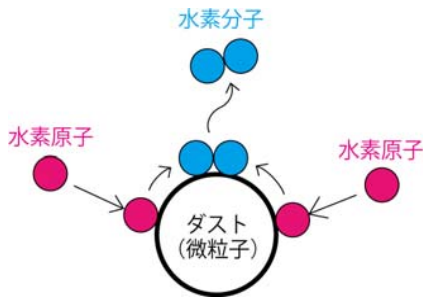
□本研究 ダストのサイズ分布の進化とその進化が銀河に与える影響をモデル化し、高赤方偏移銀河の形成と進化を調べた。

# ① onezone 銀河形成モデル

□ 水素分子形成を考慮した、one zone 銀河形成モデル (Hirashita and Ferrara (2002))  
(ダストのサイズ進化なし、階層的合体過程なし)

- ・ 星形成率:  $SFR = \frac{M_{H_2}}{\tau_{disc}}$
- ・ Salpeter IMF:  $0.1 - 60 M_{sun}$
- ・ 気相における、 $H_2$  形成の化学反応ネットワーク

□ ダストのサイズ分布の進化を考慮した、ダスト上の水素分子形成



$$\left[ \frac{df_{H_2}}{dt} \right]_{dust} = f_0 n_{dust} \pi a^2 \bar{v} S$$

$$= 2R_{dust} \mathcal{D} n_H f_0$$

$$R_{dust} \equiv \frac{3m_H \bar{v} S}{8a\delta}$$

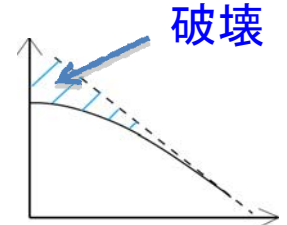
反応係数  $= 1.4 \times 10^{-14} S \left( \frac{T}{100K} \right)^{1/2} \left[ \left( \frac{a}{0.03\mu m} \right)^{-1} \left( \frac{\delta}{2gcm^{-3}} \right)^{-1} \right] cm^3 s^{-1}$

a : grain size

サイズが小さいものが相対的に多いほど、効率的にダスト上の水素分子形成反応がおこる。

## ② ダストのサイズ分布の進化

□ II 型超新星 (SN II) によるダストのサイズ進化



$$\frac{dM_{d,j}(a)}{dt} = \underbrace{m_{d,j}(a)\gamma_{\text{SN}}}_{\text{生成}} - \underbrace{\frac{M_{d,j}(a)}{\tau_{\text{SN},j}(a)}}_{\text{破壊}} - \underbrace{SFR \frac{M_{d,j}(a)}{M_{\text{ISM}}}}_{\text{星になる}}$$

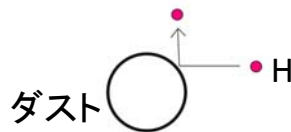
$M_{d,j}(a)$  : dust mass

$a$  : grain size

$j$  : grain species

$$\underbrace{\tau_{\text{SN},j}(a)}_{\text{破壊のタイムスケール}}^{-1} = \epsilon_j(a) \frac{M_{\text{swept}}}{M_{\text{ISM}}} \gamma_{\text{SN}}$$

sputtering



$$\underbrace{\epsilon_j(a)}_{\text{破壊の有効度}} = \frac{M_{d,j}^{\text{dest}}(t = t_{\text{tr}})(a)}{M_{d,j}^{\text{swept}}(t = t_{\text{tr}})(a)}$$

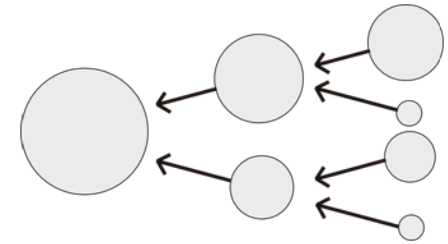
□ II 型超新星 (SN II) による

ダスト生成のサイズ分布 → Nozawa et al. (2007)

星間ダストの破壊有効度 → Nozawa, Kozasa and Habe (2006)

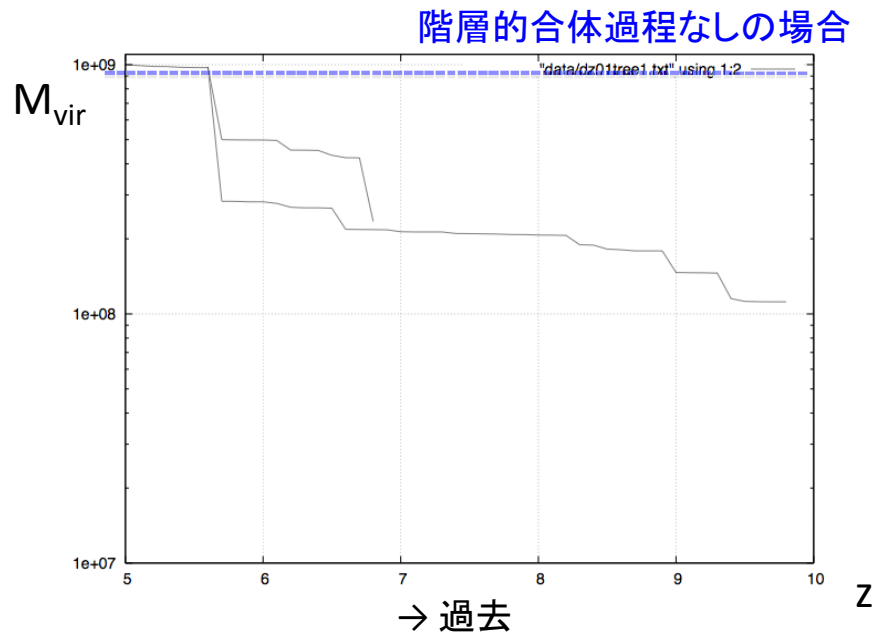
# ③ 階層的合体過程

- extended-Press-Schechter に基づく、merger tree (Somerville and Kolatt 1999)



- $z = 5$  において、 $M_{\text{vir}} = 10^9 M_{\text{sun}}$  の DMハローの  $z = 10$  からの合体過程

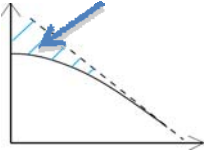
$T_{\text{vir}} = 10000 \text{ K}$  以上のDMハロー



合体時には  
ガスは  $T_{\text{vir}}$  まで加熱される



# ① ダストのサイズ進化の効果



□  $z = 5$  で、 $M_{\text{vir}} = 10^9 M_{\text{sun}}$  のDMハローをもつ銀河 (階層的合体過程なしの場合)

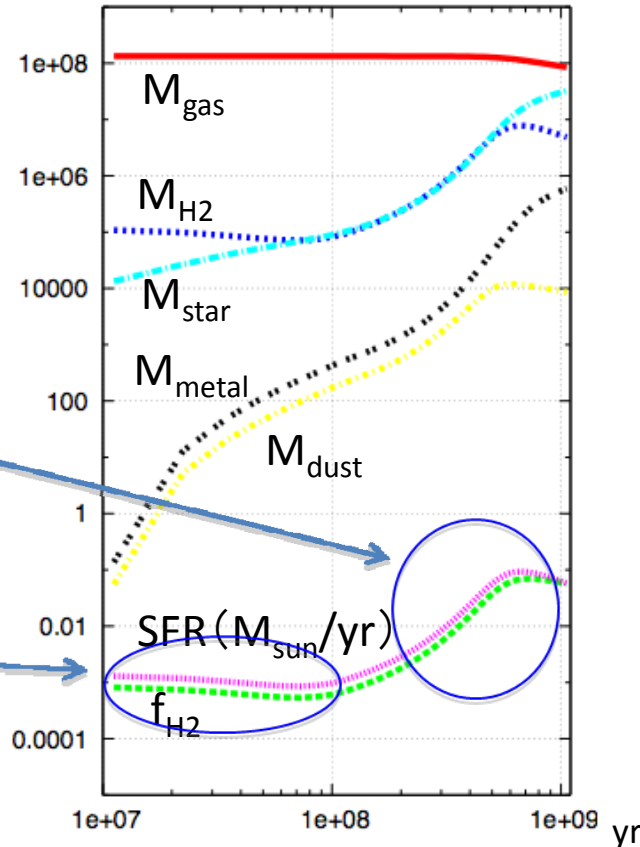
$$SFR = \frac{f_{\text{H}_2} M_{\text{gas}}}{\tau_{\text{disc}}}$$

□ サイズ分布なし ( $a = 0.03 \mu\text{m}$ )

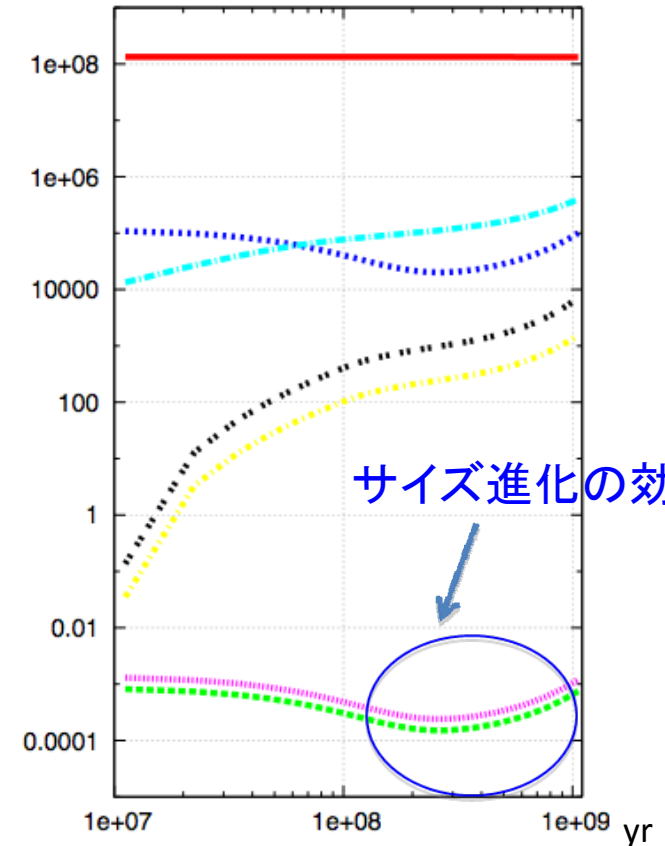
□ サイズ進化モデル

ダスト上の反応

気相反応

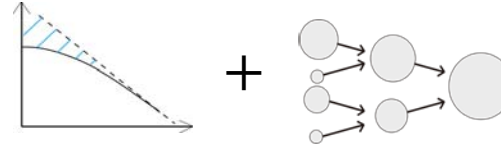


サイズ進化の効果



## ② ダストのサイズ進化 + 階層合体過程の効果

□  $T_{\text{vir}} = 10000 \text{ K}$  の場合



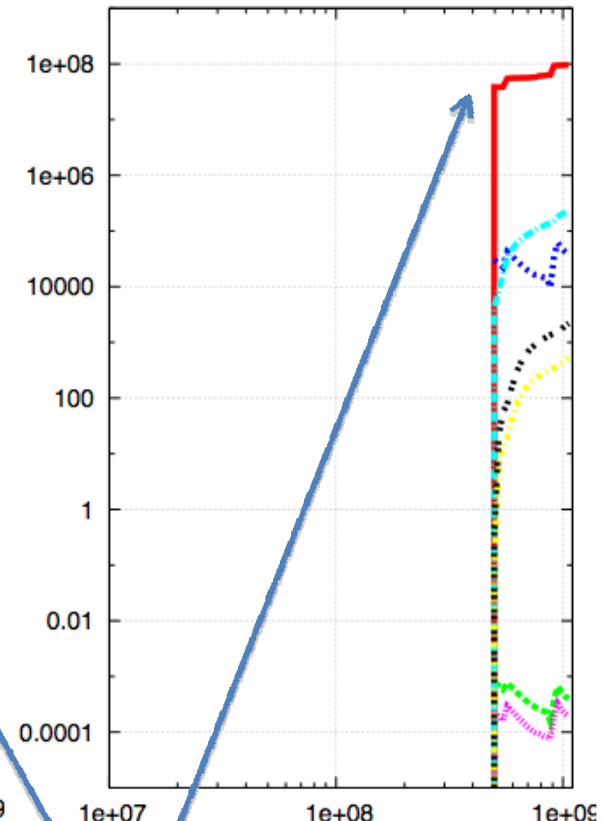
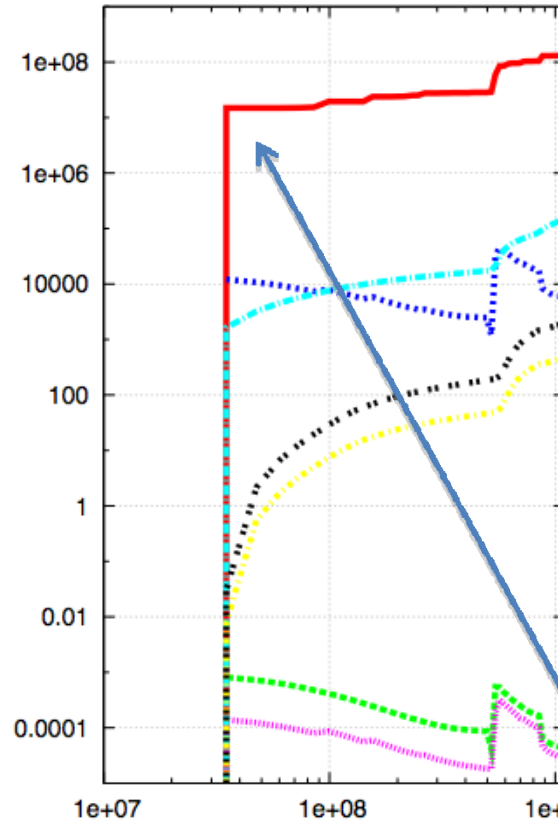
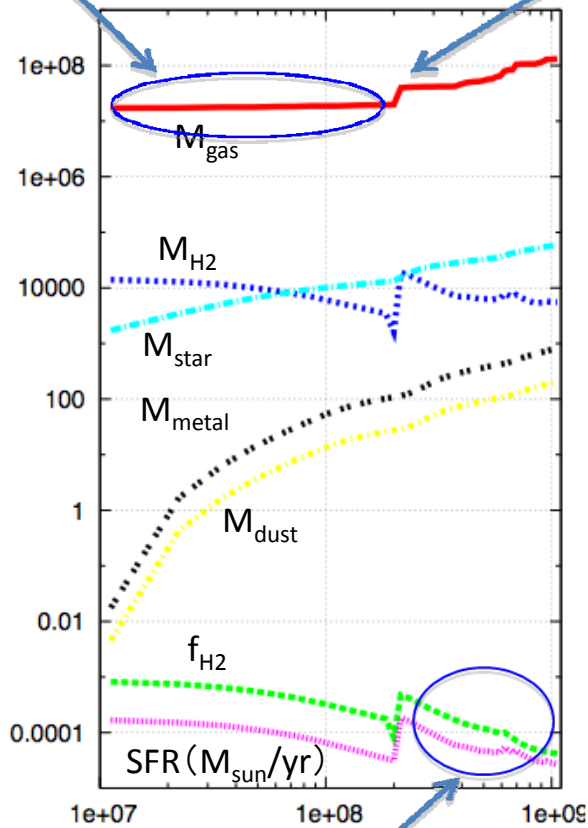
降着

history 1

合体

history 2

history 3



ダスト上の水素分子形成反応は、進んでいない。

$T_{\text{vir}} > 10000 \text{ K}$  以上のDMハローの形成

## CONCLUSION

- ダストのサイズ分布の進化は、ダスト上の水素分子形成反応を大きく抑制する。
- 星形成史から、銀河の合体史が分かる。
- $z=5$  で、 $M_{\text{vir}} = 10^9 M_{\text{sun}}$  のDMハロー中の銀河は、ダスト上の水素分子形成が進んでおらず、星形成率が小さい。

## FUTURE WORKS

- 宇宙再電離の時期 ← Pop III の寄与
- サブミリ銀河、ライマン $\alpha$ 輝線銀河、ライマンブレイク銀河 ← AGB 星のダスト生成
- 星間雲中のメタルの降着による、ダストの成長 ← ISM の多相化

終わり

## 1、INTRODUCTION

銀河の形成と進化  
高赤方偏移銀河の形成と進化  
ダストのサイズ分布の進化の重要性

## 2、MODEL

- ① onezone 銀河形成モデル
- ② ダストのサイズ分布の進化
- ③ 階層的合体過程

## 3、RESULTS and DISCUSSION

- ① ダストのサイズ進化 の効果
- ② ダストのサイズ進化+階層合体過程 の効果

## 4、CONCLUSION and FUTURE WORKS

