

# 銀河のダスト形成史

～銀河年齢とダスト供給源の関係～

浅野 良輔 (名古屋大学)

## 共同研究者

竹内 努 (名古屋大学)

平下 博之 (台湾中央研究院)

井上 昭雄 (大阪産業大学)

# Contents

- introduction

1. ダストの重要性
2. 銀河とダスト
3. AGB星
4. Grain growth in the ISM

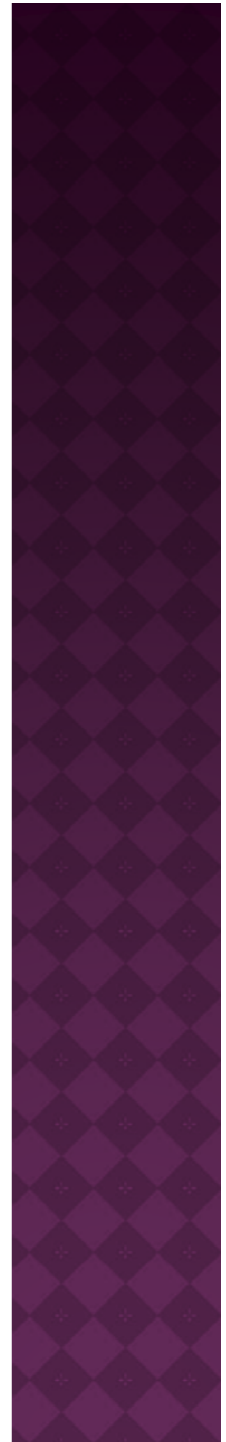
- the model

1. 銀河全体のガス、重元素、ダスト総量進化
2. 超新星によるダスト破壊、ISM中でのダスト成長のタイムスケール

- results & discussions

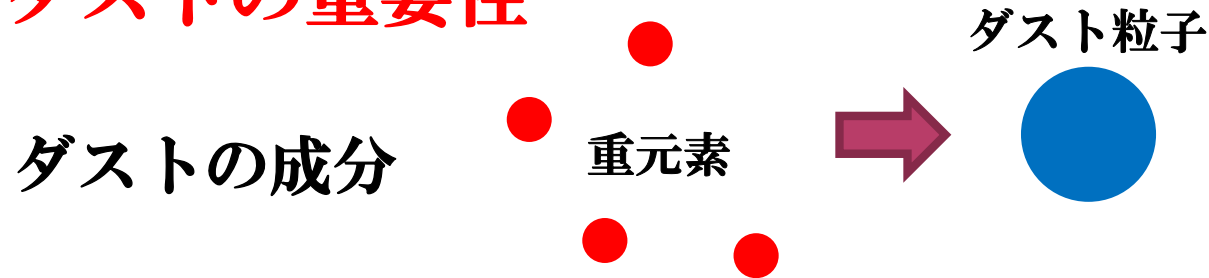
1. AGB vs. SN II
2. Grain growth in the ISM
3. Dust destruction by SN shocks
4. Critical metallicity
5. Comparison with observations

- conclusion



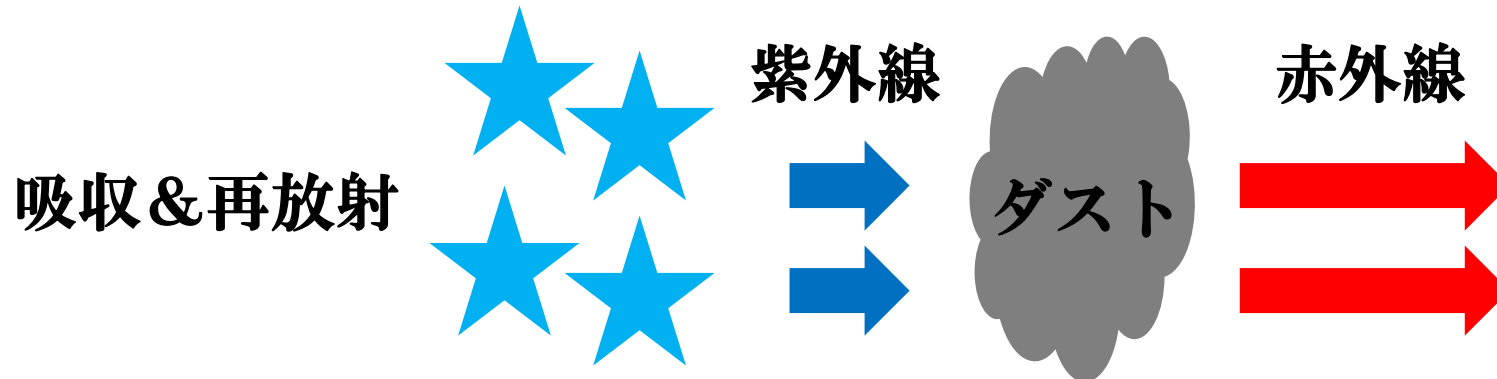
# Introduction

## ダストの重要性



重元素進化を知るための重要な手掛かり

→ 星、銀河の組成や生命の起源

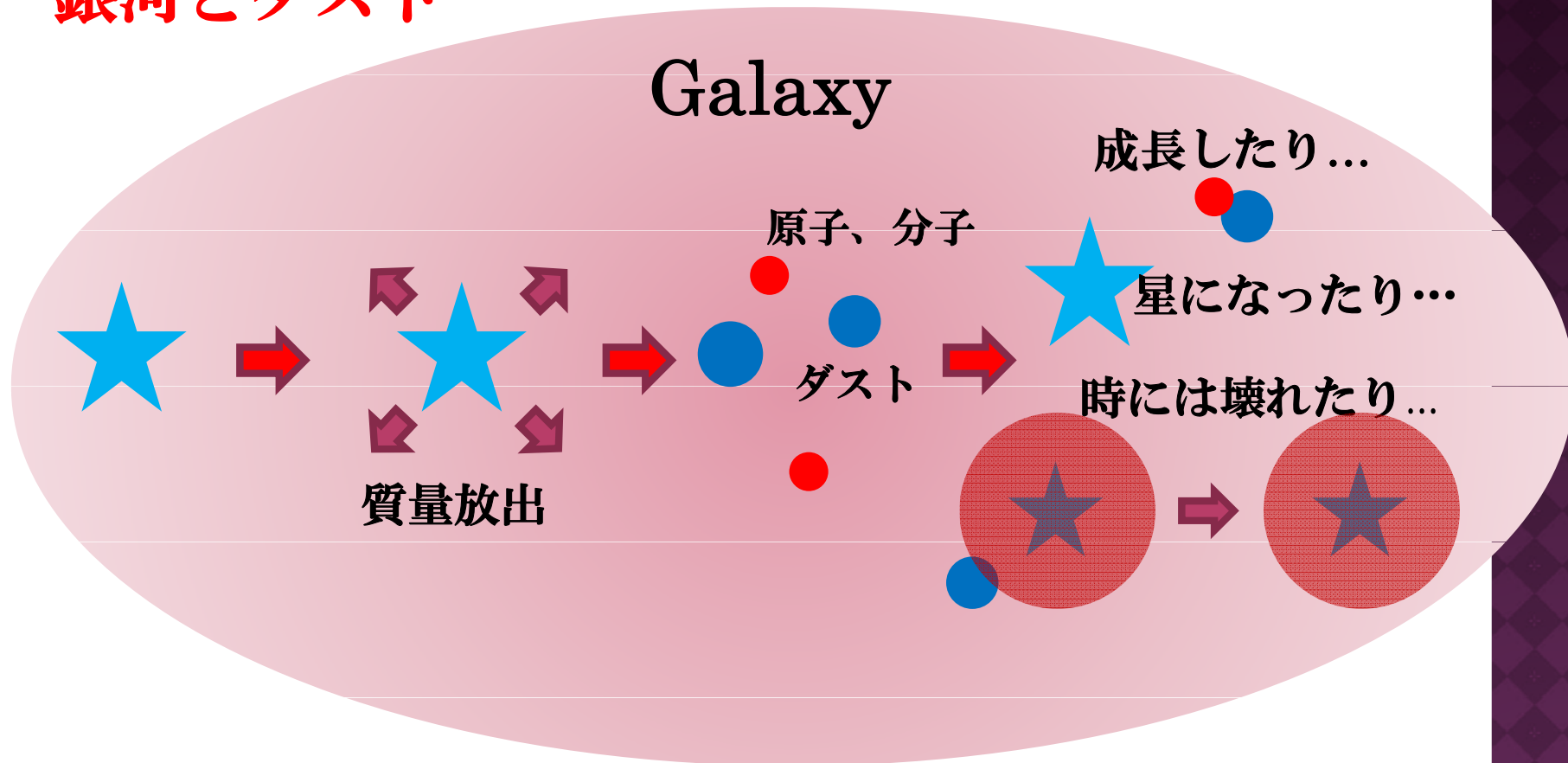


銀河SEDに大きな影響を与える

↶ 観測で得られる情報

# Introduction

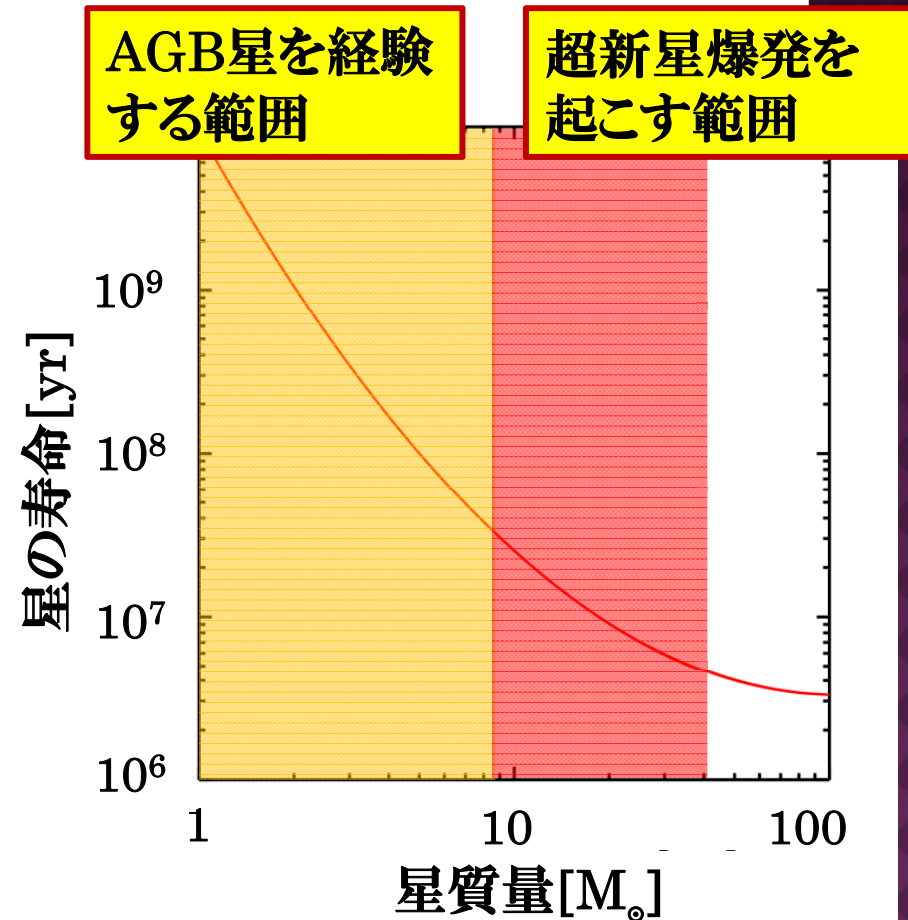
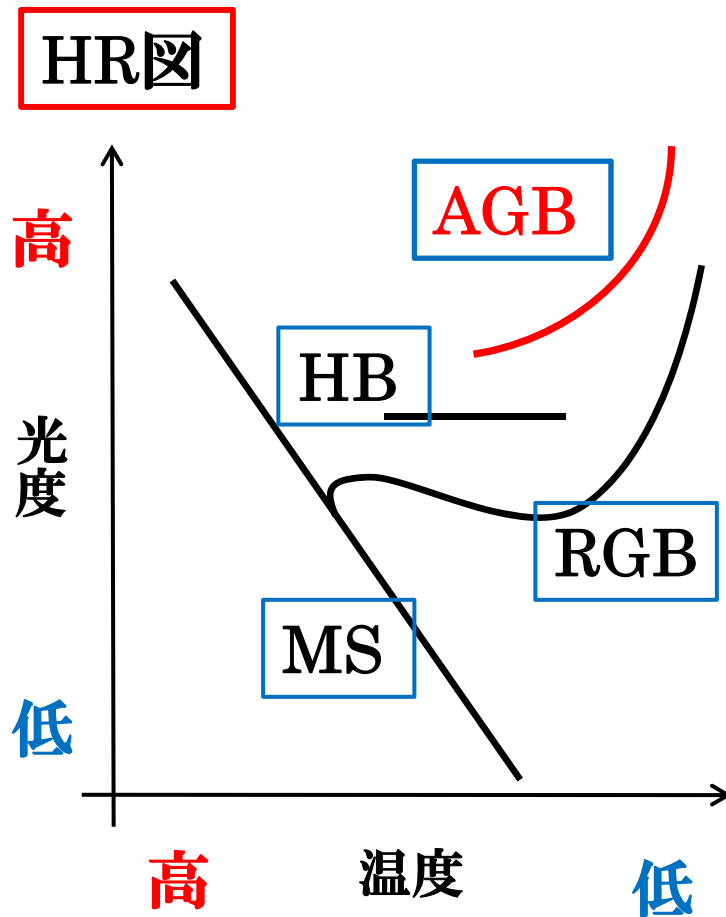
## 銀河とダスト



銀河進化に伴い、ダストも進化していく。

# Introduction

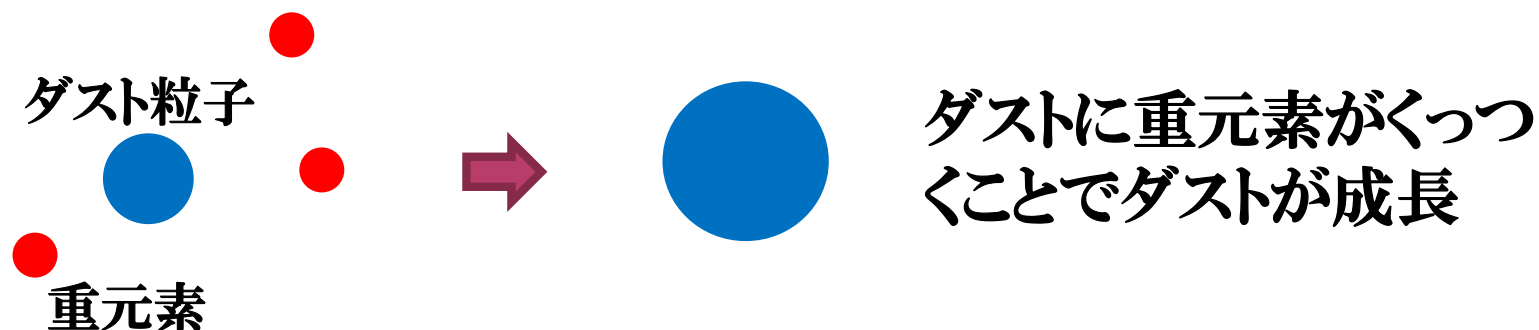
## AGB星(漸近巨星分枝星)とは



# Introduction

## Grain growth in the ISM

In the ISM



この現象はまだまだ**未解決な点が多い**

どんなダストが出来る？ダストの種類による成長度合いは？  
周りの環境の影響は？サイズによる違いは？.....

今回はこれらを近似することで  
ダスト成長の効果を調べた。



# 銀河全体でのガス、重元素、 ダスト総量の進化

$$\text{SFR}(t) = \frac{M_{\text{gas}}(t)}{\tau_{\text{SF}}}$$

Gas

$$\frac{dM_{\text{gas}}(t)}{dt} = -\text{SFR}(t) + \frac{dR(t)}{dt}$$

星からの  
寄与

Metal

$$\frac{dM_Z(t)}{dt} = -Z_{\text{gas}}(t)\text{SFR}(t) + \frac{dY_Z(t)}{dt} + \frac{dR_Z(t)}{dt}$$

星からの  
寄与

冷たい星間雲  
の割合

Dust

$$\frac{dM_d(t)}{dt} = -Z_d(t)\text{SFR}(t) + \frac{dY_d(t)}{dt} - \frac{M_d}{\tau_d} + \eta \frac{M_d(1 - \delta)}{\tau_{\text{acc}}}$$

SNによる破壊

星間雲中  
での成長

# ダスト破壊、ダスト成長のタイムスケール

destruction timescale

$$\tau_{\text{SN}} = \frac{M_{\text{gas}}(t)}{\epsilon m_{\text{swept}} \gamma_{\text{SN}}}$$

$\epsilon$  : ダスト破壊効率

$m_{\text{swept}}$  : SN1個で掃かれる星間  
ガス質量

$\gamma_{\text{SN}}$  : SN発生頻度

(e.g., McKee 1989)

accretion timescale

$$\tau_{\text{acc}} \approx 3.0 \times 10^7 \left( \frac{a}{0.1 \mu\text{m}} \right) \left( \frac{n}{100 \text{ cm}^{-3}} \right)^{-1} \left( \frac{T}{50 \text{ K}} \right)^{-1/2} \left( \frac{Z_{\text{gas}}}{0.02} \right)^{-1} \text{ [yr]}$$

$a$  : 平均ダストサイズ

$n$  : ガスの数密度

$T$  : ガス温度



# AGB vs. SN II

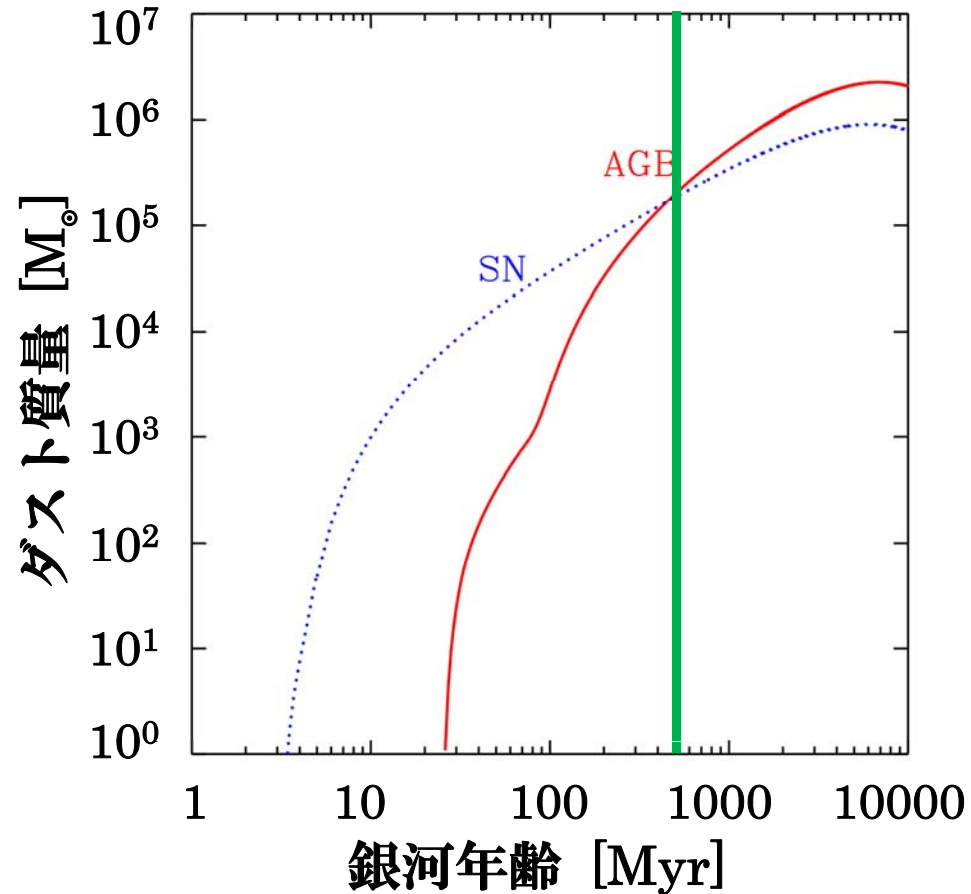
設定：

銀河総バリオン質量： $10^{10} M_{\odot}$

星形成timescale：5 Gyr

without SNshock & grain growth

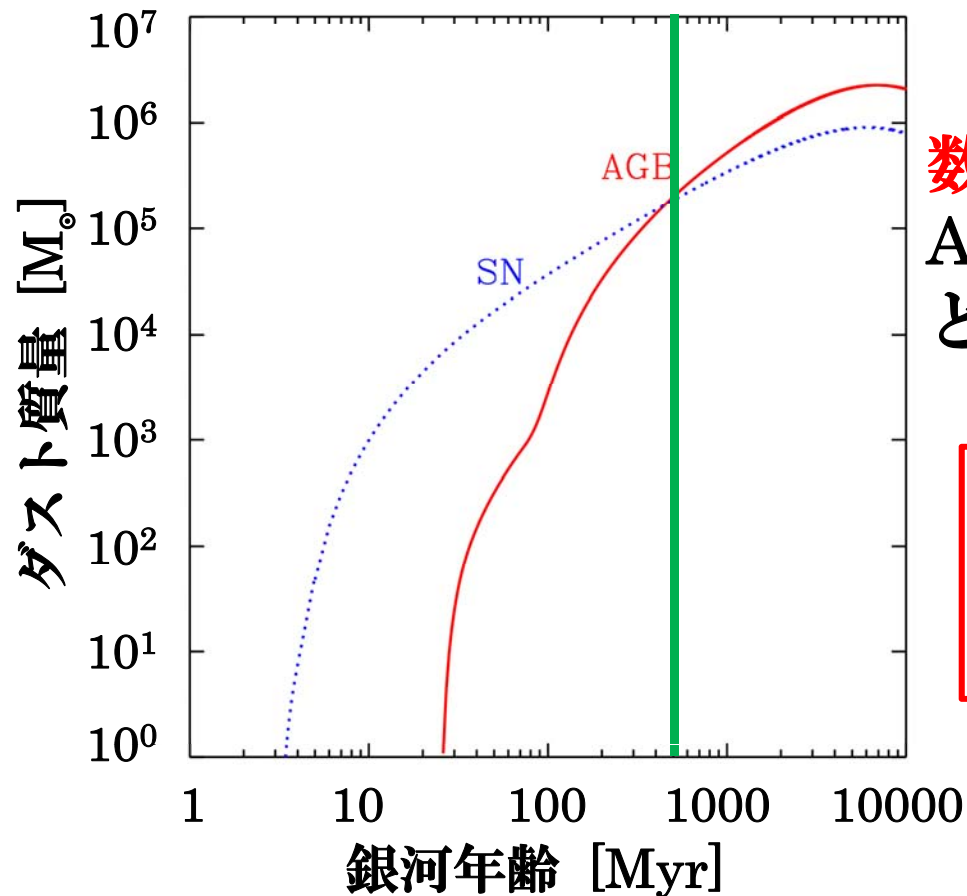
初期の段階ではSNeII  
の寄与が卓越している  
が...



# AGB vs. SN II

設定：  
銀河総バリオン質量： $10^{10} M_{\odot}$   
星形成timescale：5 Gyr  
without SNshock & grain growth

初期の段階ではSNeIIの寄与が卓越しているが...



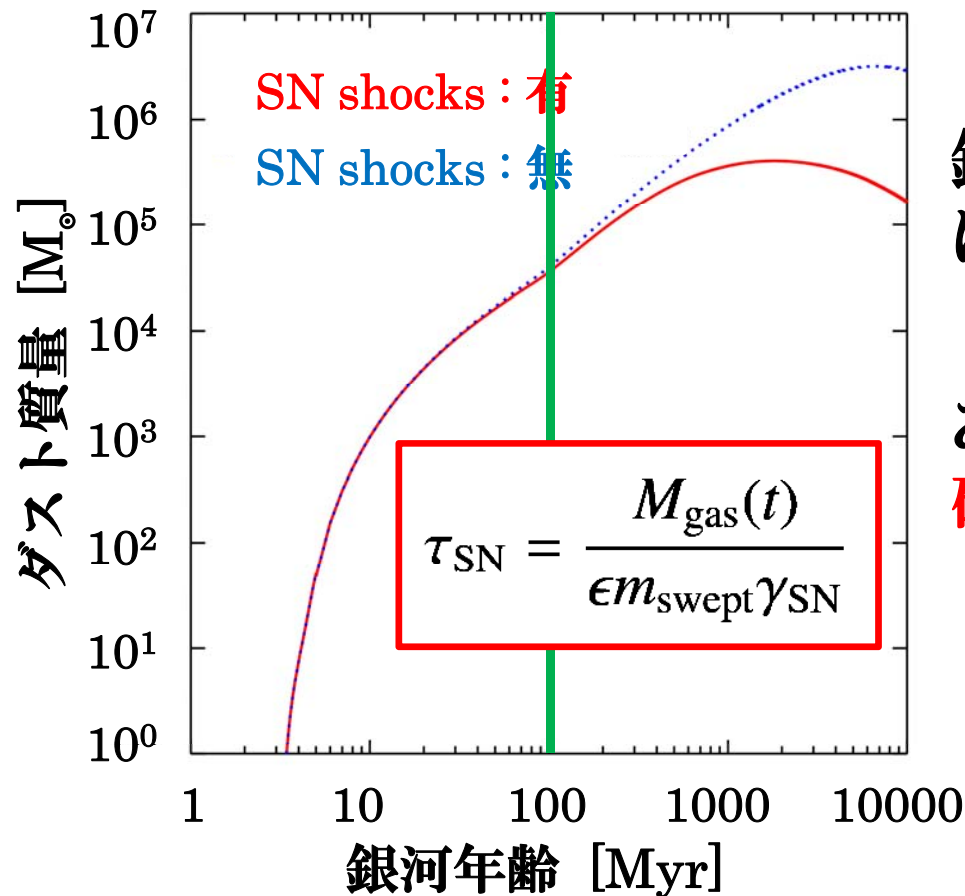
数百Myrを超えてくると、AGB星とSNeIIはほとんど同程度になる。

若い銀河 (数百Myr程度) のダスト進化にもAGB星は重要！

(e.g. Valiante et al. 2009)

# Dust destruction by SN shocks

設定：  
銀河総バリオン質量： $10^{10} M_{\odot}$   
星形成timescale：5 Gyr  
without grain growth



銀河形成初期では、形成された星の数はまだ少ない。



銀河形成初期は超新星による破壊は効かない。

ある程度時間が経つと、破壊が効き始める。

$$\tau_{\text{SN}} \approx 0.1 \tau_{\text{SF}}$$

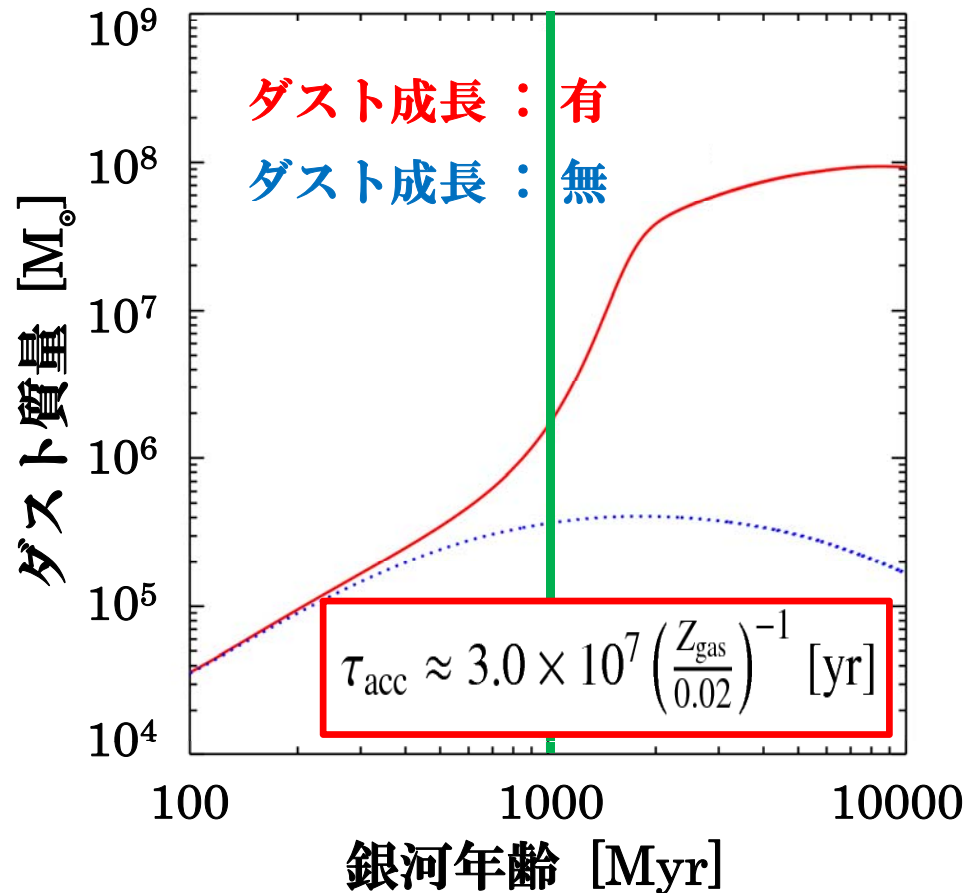
# Grain growth in the ISM

設定：  
銀河総バリオン質量： $10^{10} M_{\odot}$   
星形成timescale：5 Gyr

銀河形成初期の段階  
では、grain growth  
は効かない。



時間が経つと、急激  
に効き始める。



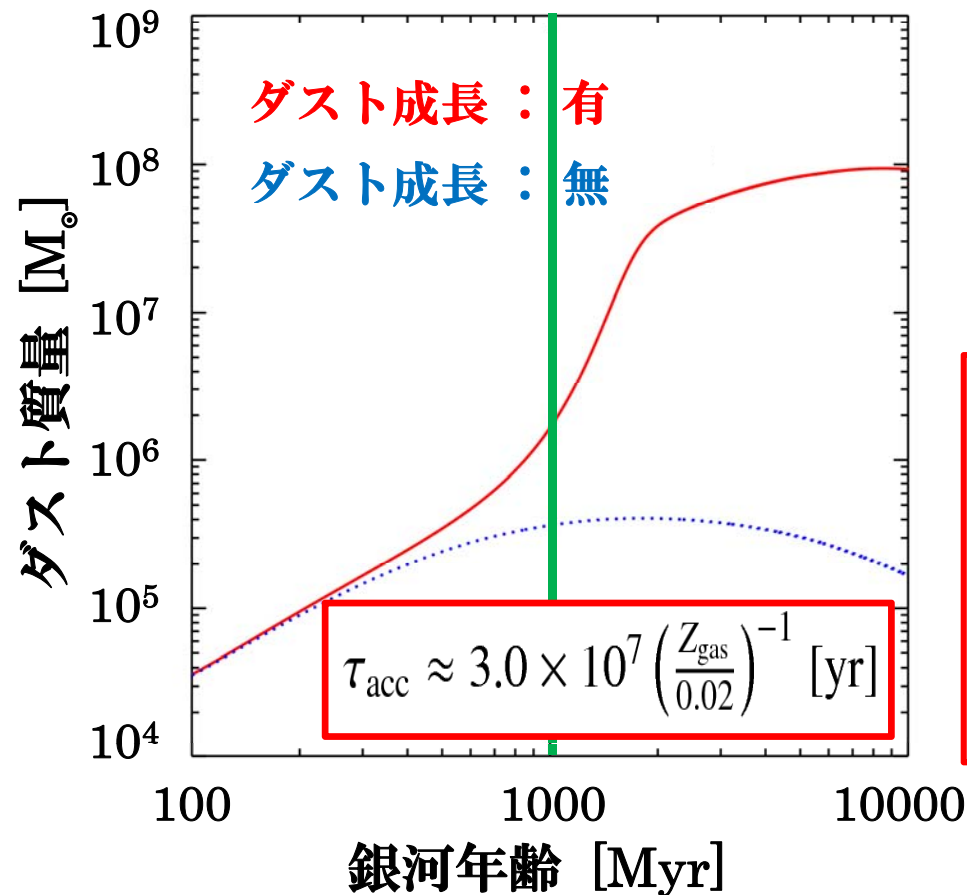
# Grain growth in the ISM

設定：  
銀河総バリオン質量： $10^{10} M_{\odot}$   
星形成timescale：5 Gyr

銀河形成初期の段階  
では、grain growth  
は効かない。



時間が経つと、急激  
に効き始める。



近傍銀河(age >  
1Gyr)に存在するダ  
ストはgrain growth  
によるものが大半を  
占めている。

# Critical metallicity

## Critical metallicity

主なダスト供給源が星(AGB星とSNe II)から  
grain growthに換わる時のmetallicity

$$Z_{\text{growth}} (\gamma=1.0) = Z_{\text{critical}}$$

$$Z_{\text{growth}} = \left[ \frac{\gamma D}{\eta \delta (1 - \delta)} \right]^{\frac{1}{2}} \left( \frac{\tau_{\text{acc},0}}{\tau_{\text{SF}}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$\gamma$ : grain growthの寄与の強さ

$$D : \int m_d(m, Z_{\text{gas}}) \text{IMF}(m) dm$$

$$\tau_{\text{acc},0} = 6.0 \times 10^5 \text{ [yr]}$$

$$\delta : M_d / M_Z$$

$$\frac{dM_d(t)}{dt} = -Z_d(t) \text{SFR}(t) + \frac{dY_d(t)}{dt} - \frac{M_d}{\tau_d} + \eta \frac{M_d(1 - \delta)}{\tau_{\text{acc}}}$$

比較

星からの  
供給

Grain  
growth



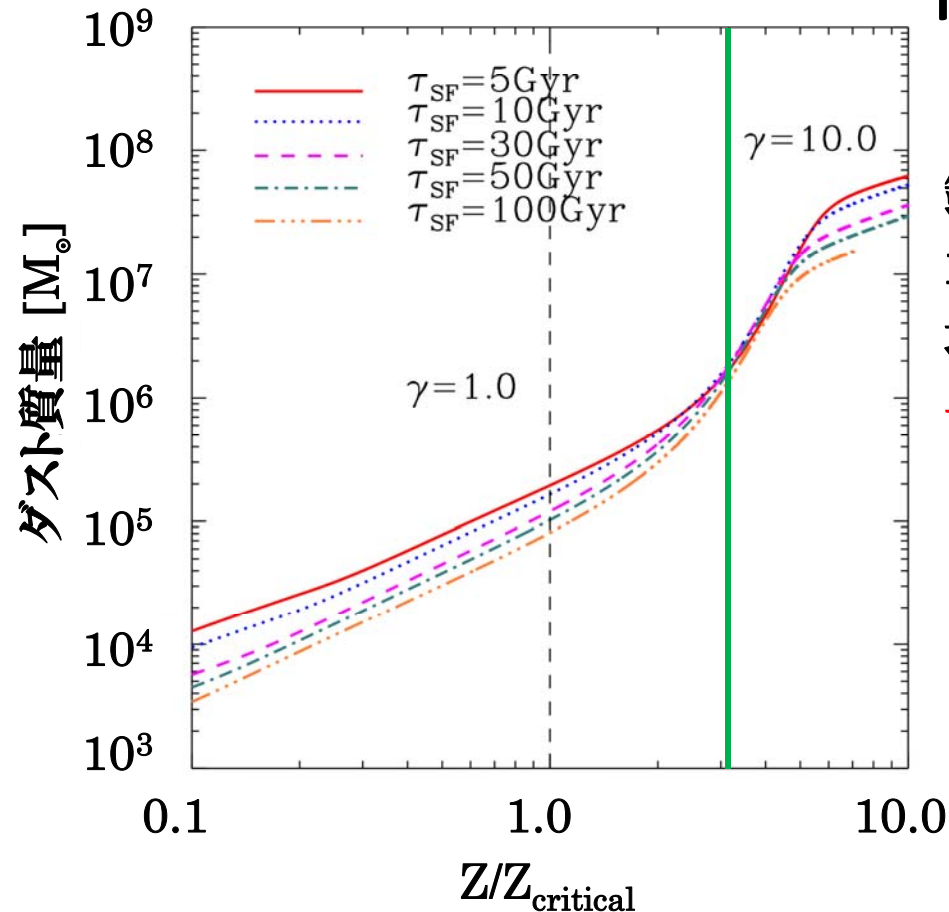
# Critical metallicity

$$Z_{\text{growth}} = \left[ \frac{\gamma D}{\eta \delta (1 - \delta)} \right]^{\frac{1}{2}} \left( \frac{\tau_{\text{acc},0}}{\tau_{\text{SF}}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

設定：

銀河総バリオン質量： $10^{10} M_{\odot}$

$D = 5 \cdot 10^{-4}$ ,  $\delta = 0.05$ ,  $\eta = 1.0$



$\gamma = 10.0$  ( $Z_{\text{growth}} = Z_{\text{effective}}$ )  
付近で収束

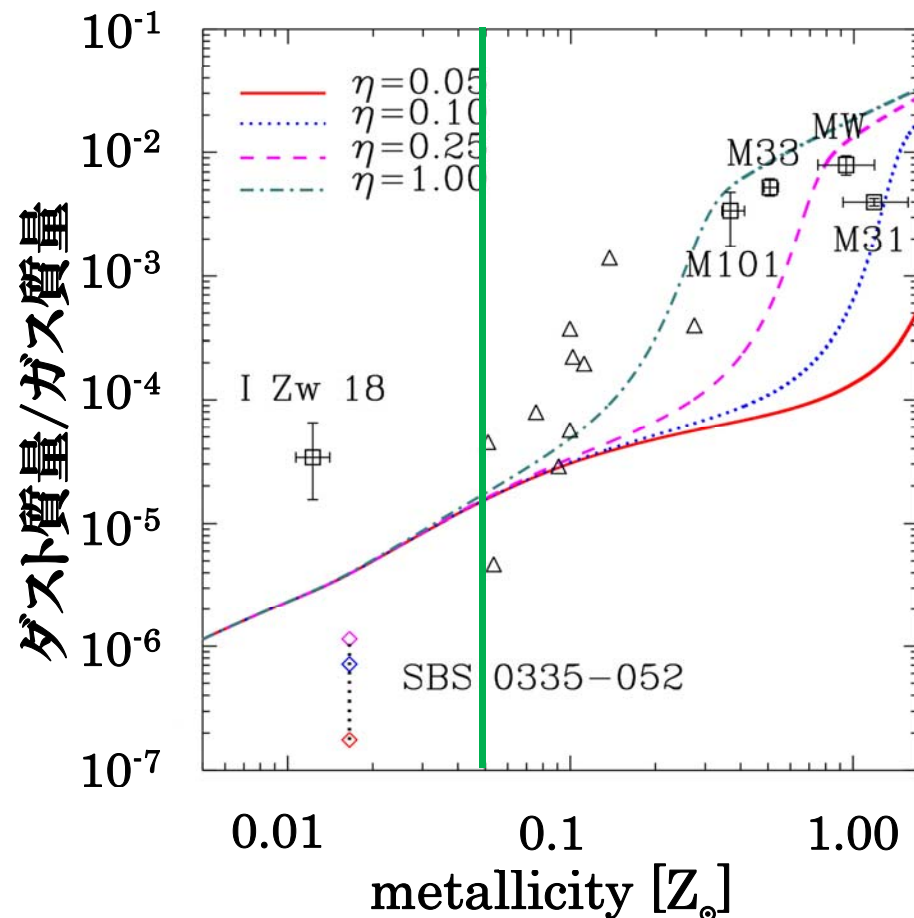


銀河がこれ以上の  
metallicityを持っている  
場合、**grain growth**が  
**十分効果的**になっている。

星形成 timescale [Gyr]	$Z_{\text{critical}} [Z_{\odot}]$	$Z_{\text{effective}} [Z_{\odot}]$
5	0.056	0.177
10	0.040	0.125
50	0.018	0.056

# The nearby model

設定：  
銀河総バリオン質量： $10^{10} M_{\odot}$   
星形成timescale：5Gyr



metallicity  $\approx 0.05 Z_{\odot}$ 。  
までは全て同じ進化



星形成timescale = 5Gyr  
でのcritical metallicity

## データとの比較

grain growthが支配的  
的になっている。

$\eta$ の値が大きい方  
でうまくfit

効率的にgrain  
growthが起こって  
いる。

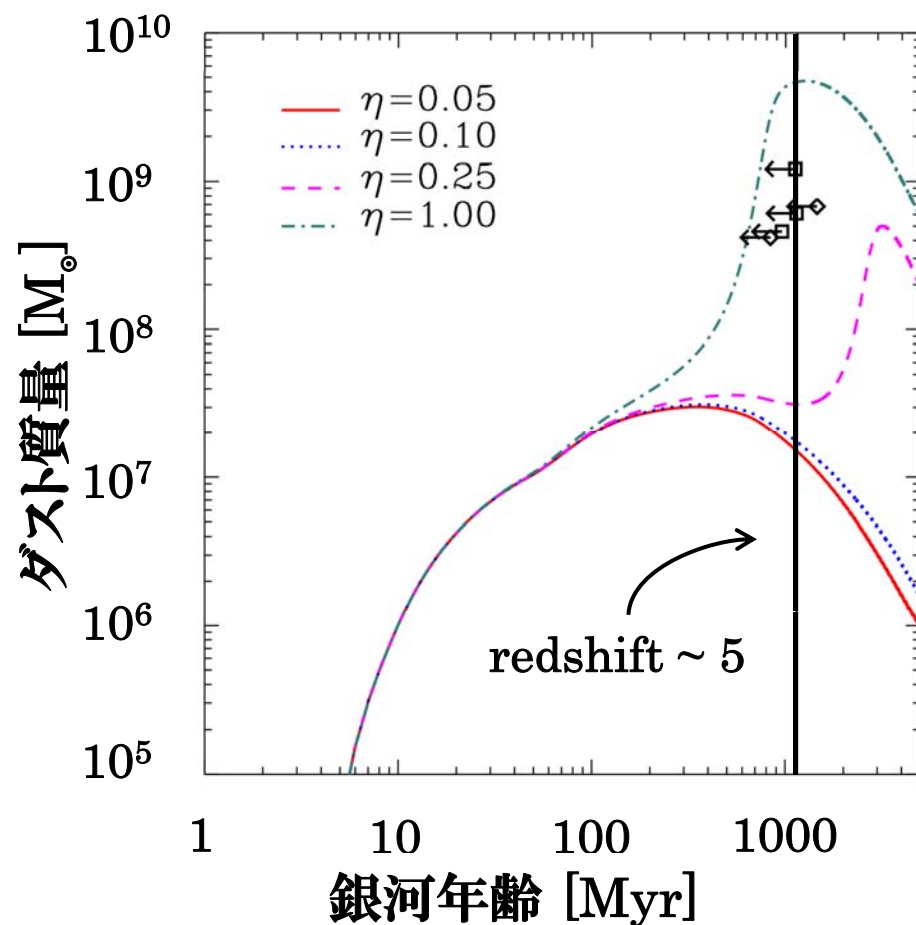
# The distant model

設定：

銀河総バリオン質量： $10^{12} M_{\odot}$

星形成timescale： $0.5 \text{ Gyr}$

データ (QSOs)： $\eta$ の値  
が**大きい**モデルでfit



星のダスト供給のみで  
ダスト質量を説明する  
ことが出来ない

星間雲での**ダスト成**  
**長**が重要

# Conclusion

ダスト形成源の年齢依存性を考慮した銀河進化モデルを構築し、各時代ごとのダスト形成源を調べた。

1. 銀河年齢**数百Myr**以降ではAGB星とSNeIIの寄与が同程度に。 ➡ **銀河形成初期でもAGB星は重要。**

2. 星間雲でのダスト成長が始まると急激にダスト成長の寄与が増大。 ➡ **近傍銀河 (age > 1Gyr) ではダスト成長が支配的**

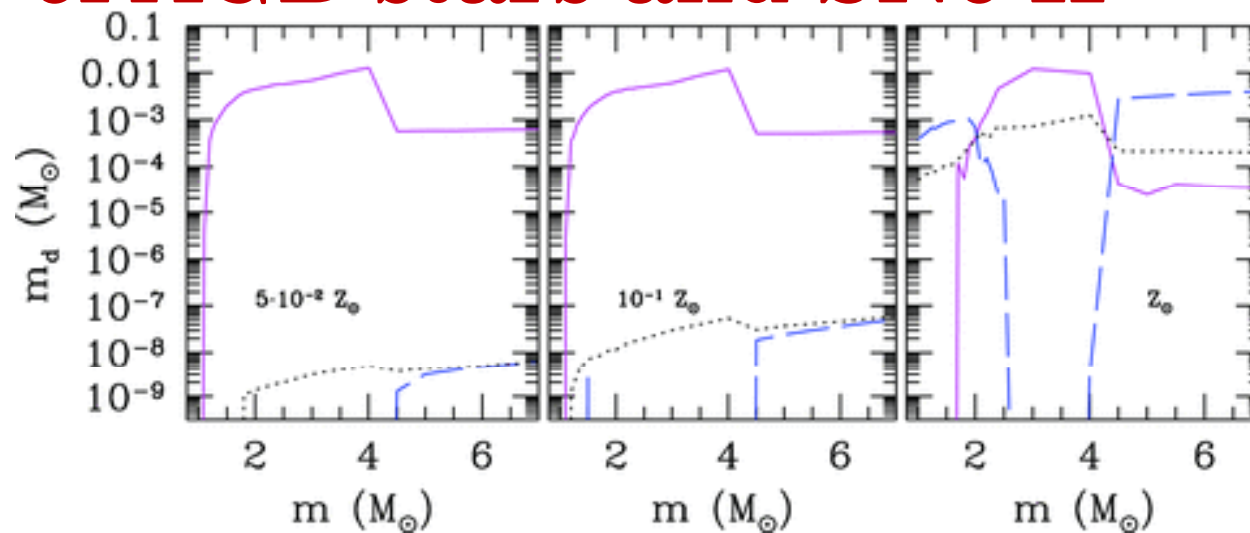
3. ダスト成長が始まるtimescaleは**metallicity**に依存する。

4. 近傍銀河との比較：星間雲でのダスト成長が銀河に存在するダスト量を支配している。

5. 遠方クエーサーとの比較： $z > 5$ の宇宙でもすでに星間雲でのダスト成長が重要になっている。

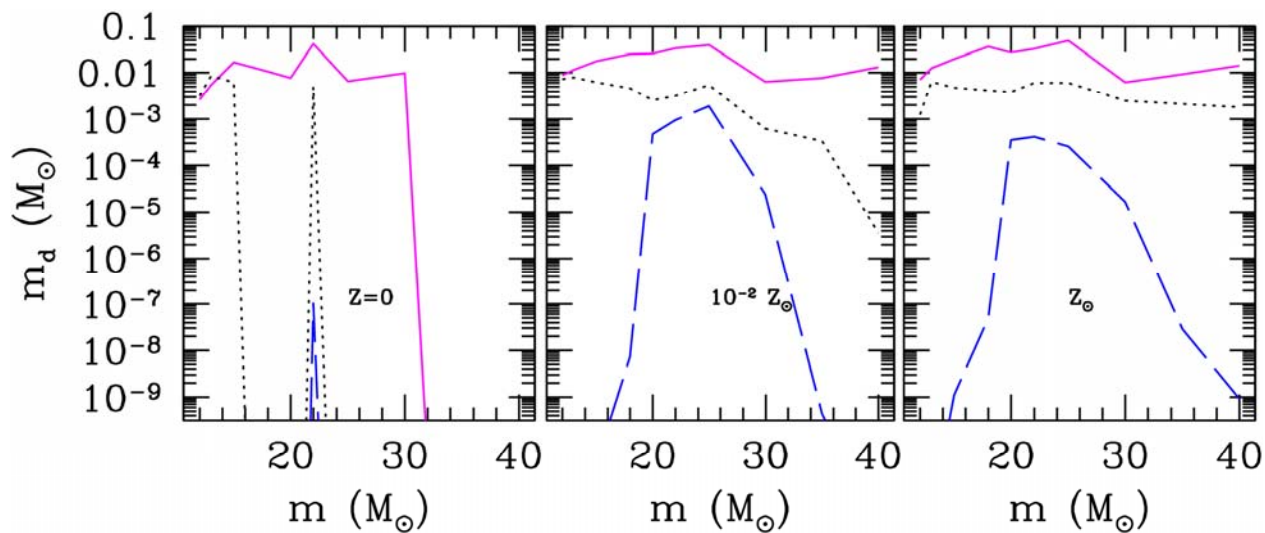
# Yields of AGB stars and SNe II

AGB星



Zhukovska, Gail and Tieloff (2008)

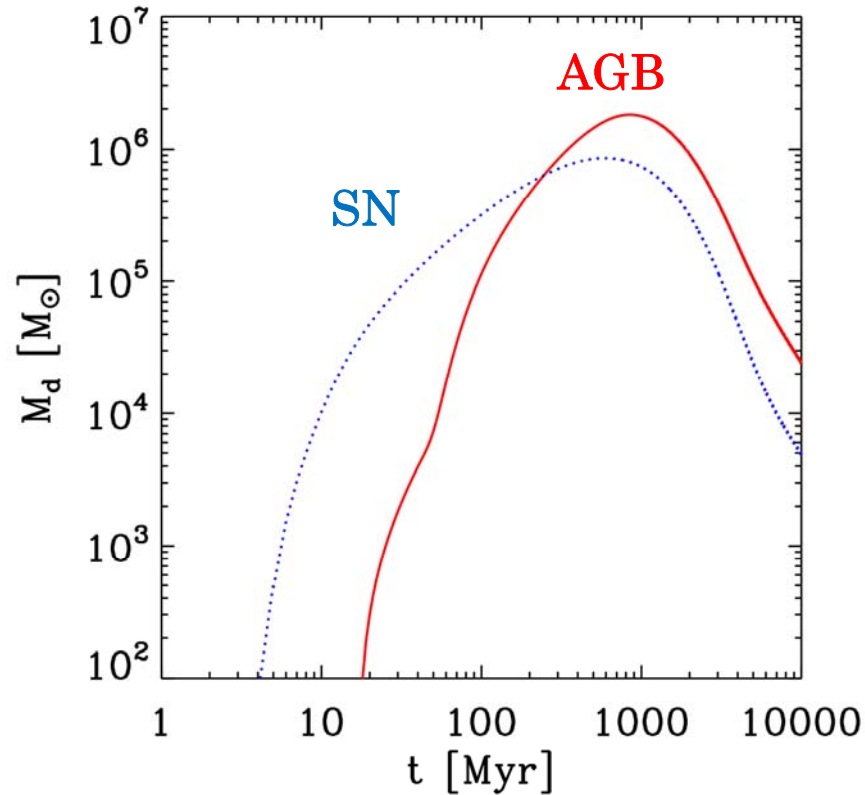
II型超新星



Bianchi and Schneider (2007)

# AGB vs. SN II (other $\tau_{\text{SF}}$ versions)

$\tau_{\text{SF}} = 0.5 \text{ Gyr}$



$\tau_{\text{SF}} = 50 \text{ Gyr}$

