

---第一世代星の進化における質量 降着の効果と進化の最終状態---

大久保 琢也(東京大学・天文学専攻)

共同研究者:

梅田秀之(東京大学・天文学専攻)
野本憲一、吉田直紀(東京大学・数物連携宇宙研究機構)
鶴田幸子(Montana州立大学)

2008.9.8(Mon) 初代星・銀河形成研究会@甲南大学

Supernovae and Chemical evolution of the universe

Big Bang

only H, He (metal-free)

?

第一世代星

Metal?

Massive (top-heavy IMF) ?

O, Mg,
Si, Ca

core-collapse SNe (massive)

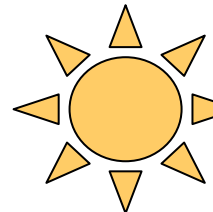
Mn, Fe,
Co, Ni

type Ia SNe (light)

Metal

present

metal-rich universe



Sun



Earth

星の最終運命

← Pop I, Pop II (現在見られる星)

Metal-Free Stars

← First stars?

← Pop III ?

← Pop III.2 ?

massive stars

very-massive stars

(super-massive star)

白色矮星
(SN Ia)

重力崩壊

(SN II/Ib/Ic)

PISN

(星全体が爆発)

※CVMS star

重力崩壊

8

140

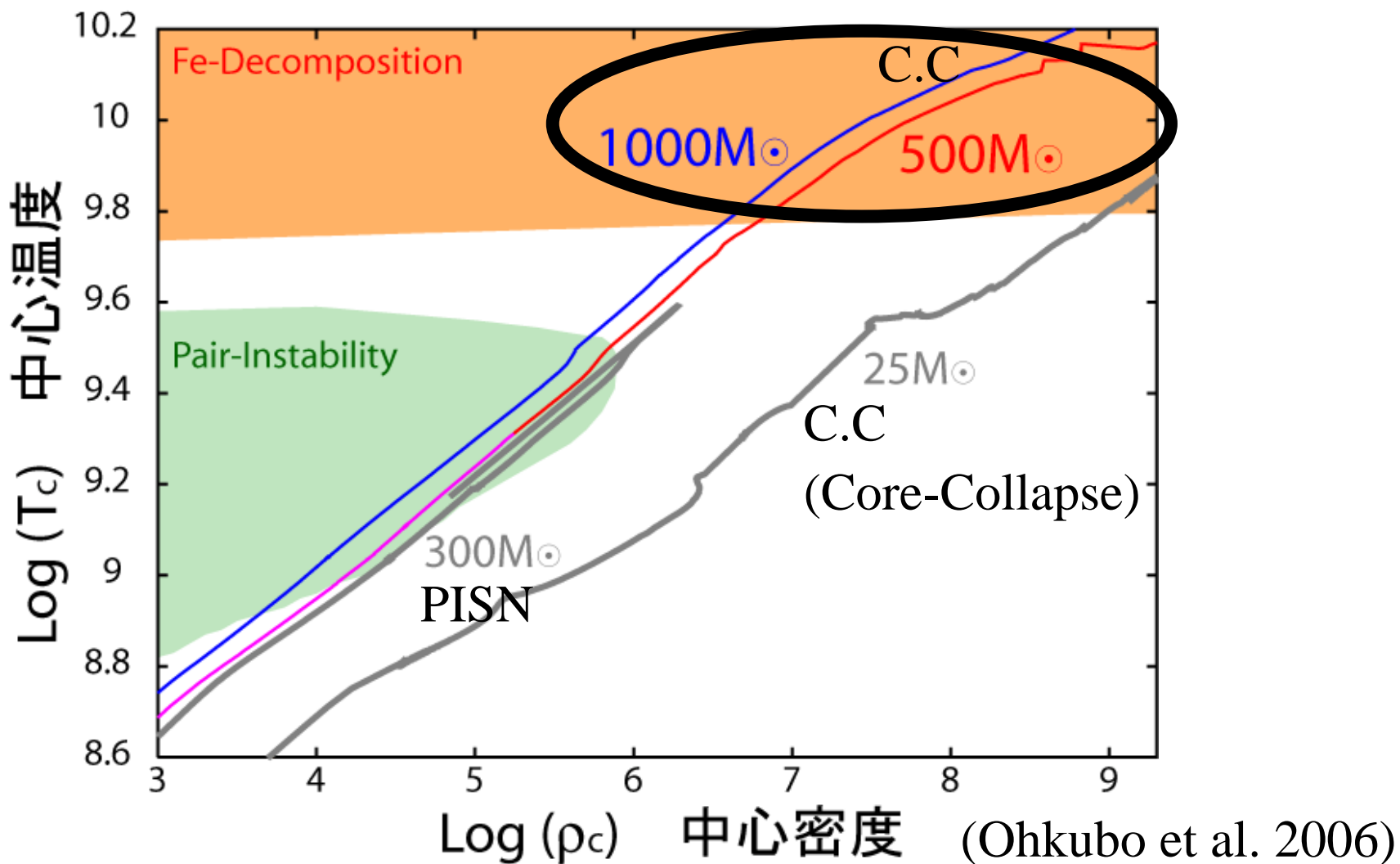
300

10^5

※ Core-Collapse Very-Massive Star
(Ohkubo et al. 2006)

星の質量(M_{\odot})

進化の軌跡(Accretionなし)



巨大質量星形成のシナリオ

Metal-free stars were ...

金属のない状況下では放射圧が小さい

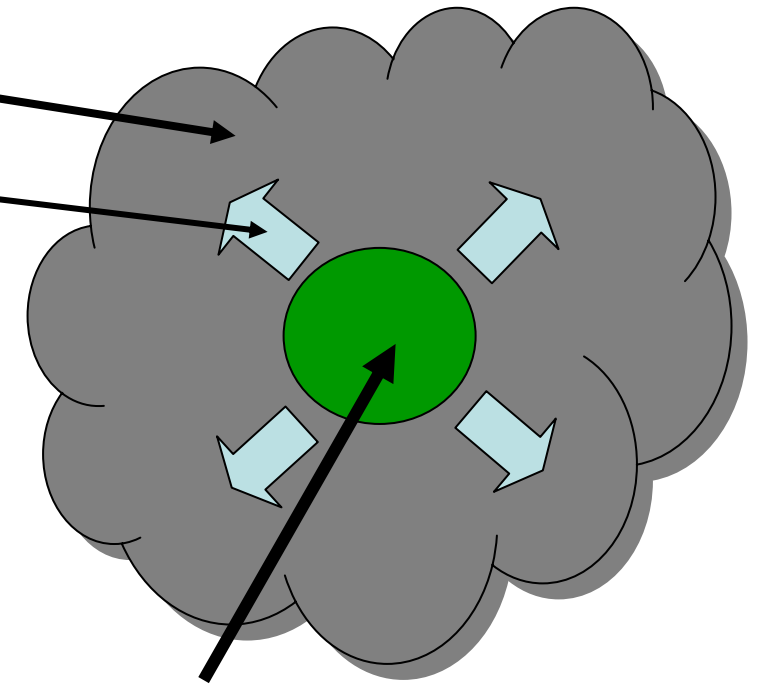


原始星のコアが大きく成長できる

[Omukai & Palla 2003

Tan & McKee 2004]

cloud



proto star core

very-massive (over 100 or even 300M_☉) ?

質量降着による質量増加

質量降着率

$$\sim 1 - 4 \times 10^{-3} M_{\odot} / \text{yr}$$

×

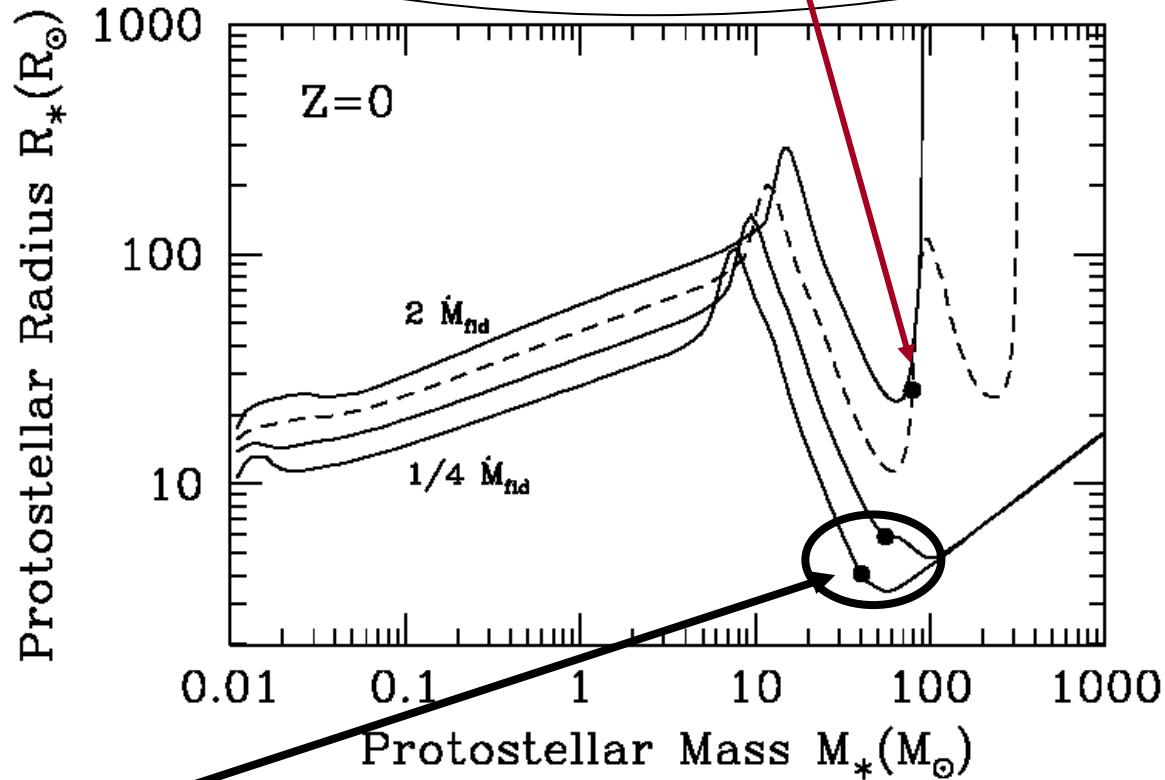
$$1 \times 10^6 \text{ yr}$$

$$\sim \text{several} \times 100 M_{\odot}$$

その後の進化？

PISN or Core Collapse

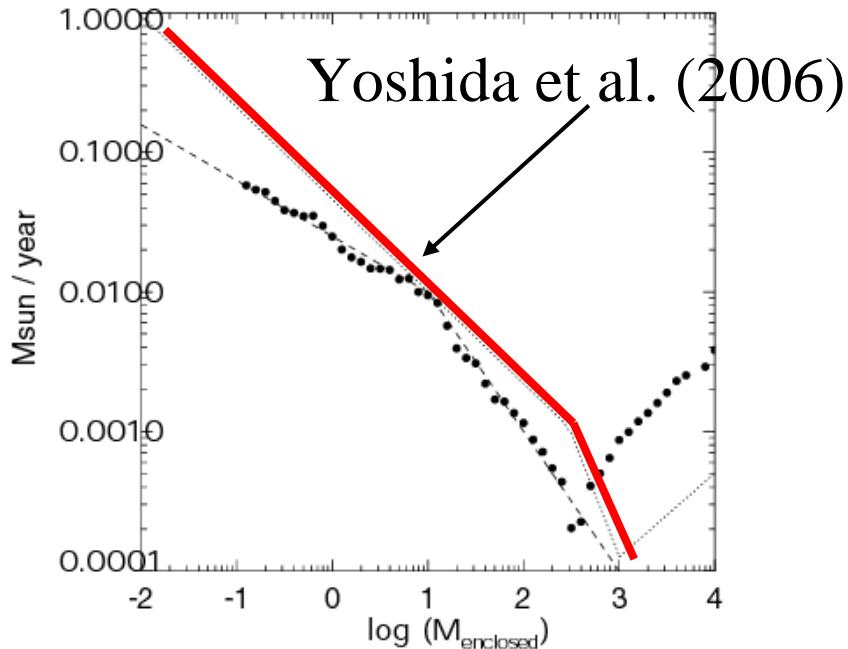
$dM/dt > 4 \times 10^{-3} M_{\odot} / \text{yr}$ だと
 $L > L_{\text{edd}}$ となって降着が止まる



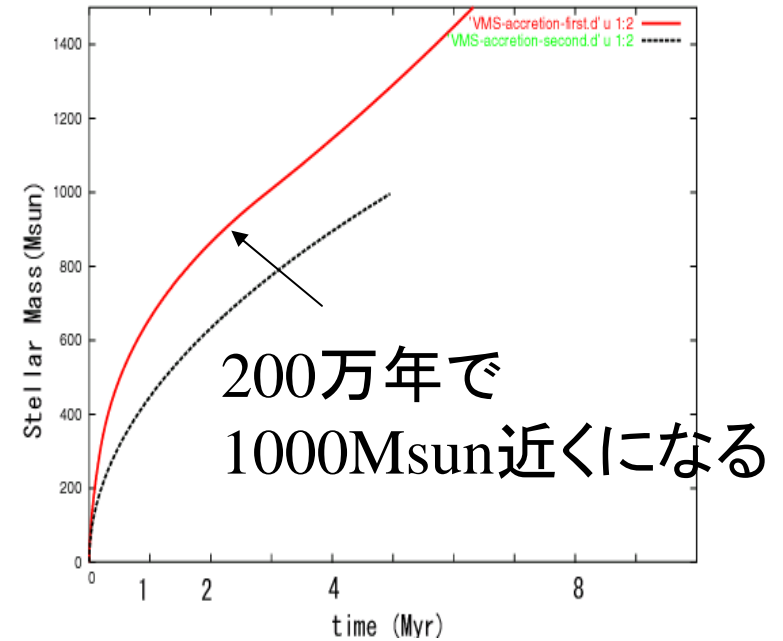
CNOサイクルが回り出す

Accretion Rate by Cosmological Simulation

dM/dt v.s. M



final mass estimate



Final Mass depends on ...

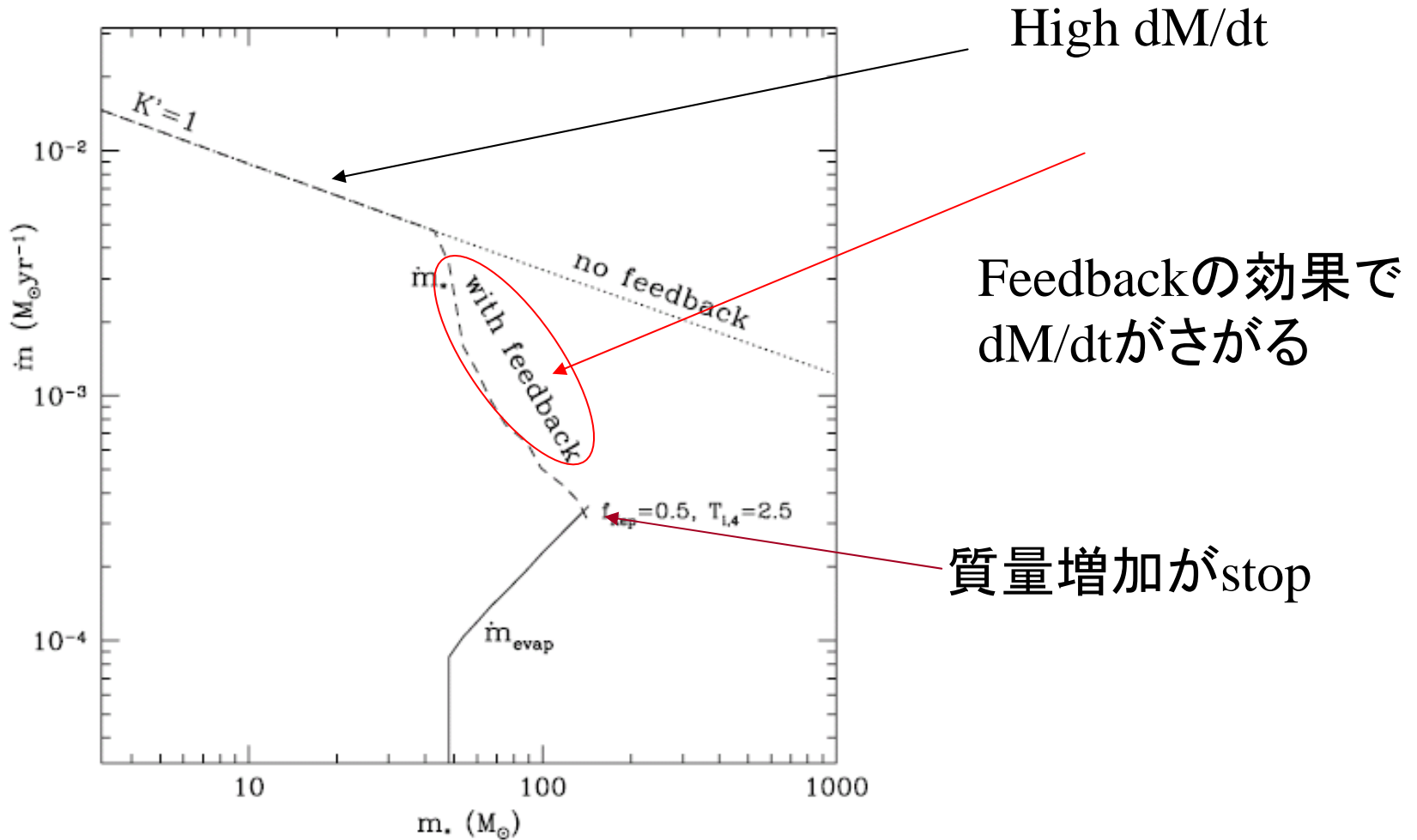
星の寿命の長さ

feedbackによるaccretionへの影響

材料となるガスの総量

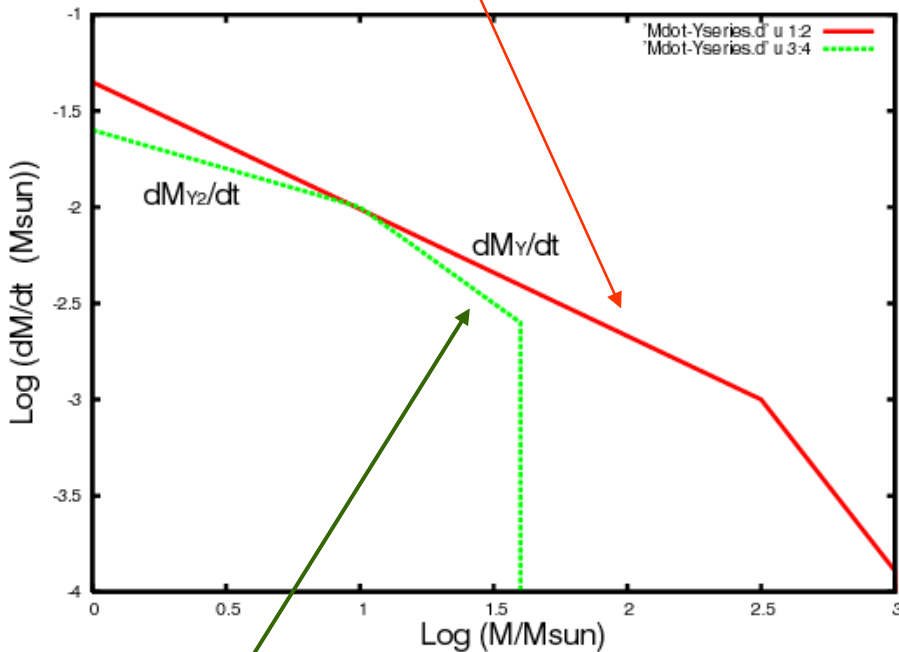
Feedbackがあると

McKee & Tan 2008

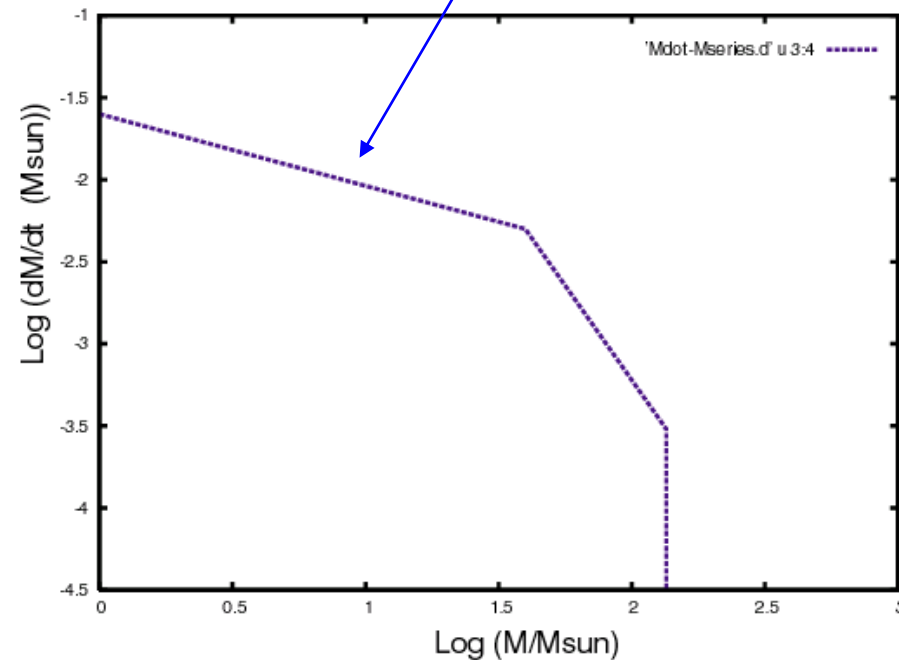


Mass Accretion を伴う星の進化計算 モデル (Accretion Rates)

1. Yoshida et al. (2006)
Pop III with No Feedback



2. McKee et al. (2008)
Pop III with Feedback

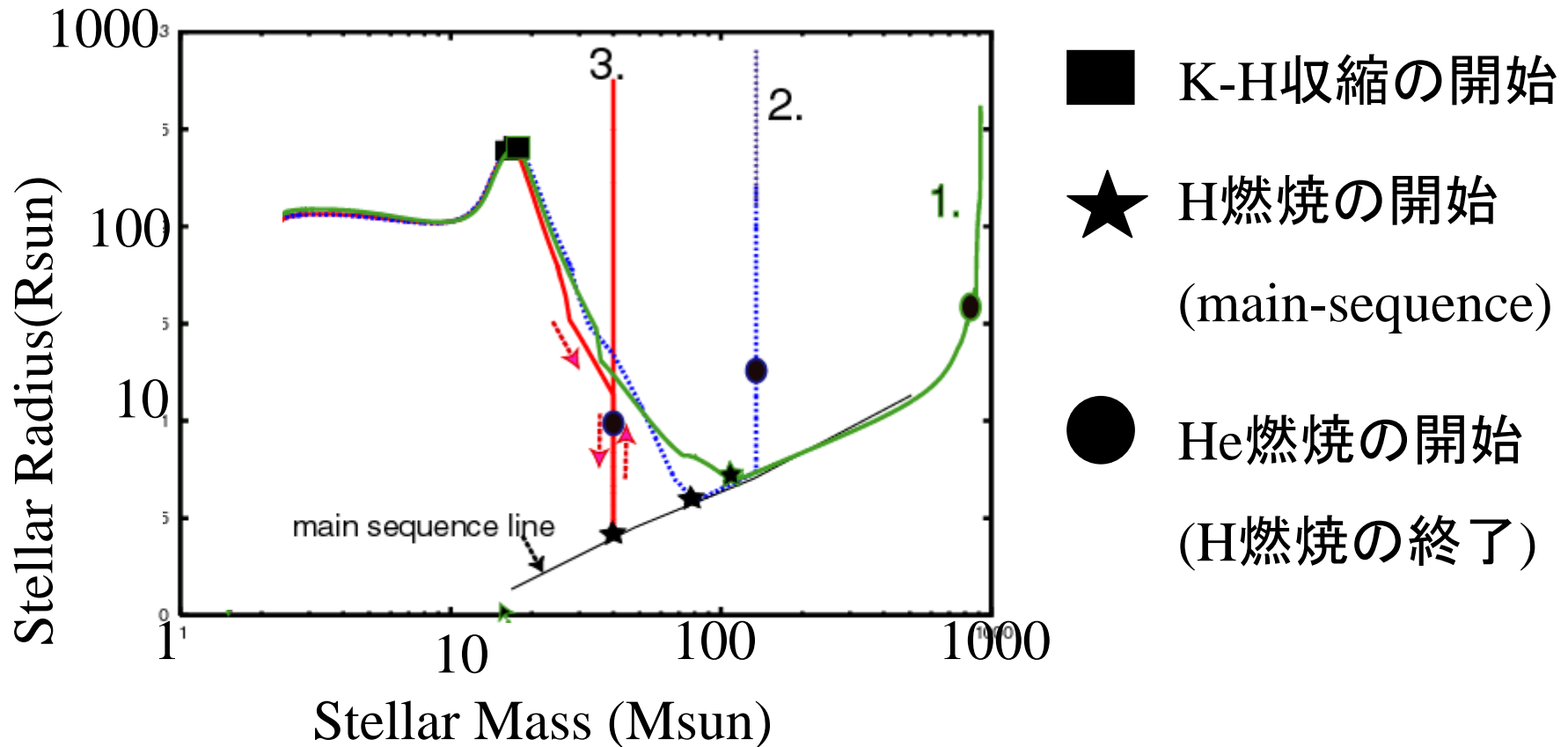


3. Accretion Rate by
Yoshida et al. (2006) Pop III.2

Models 1.5Msunから増やす

	<u>寿命 (yr)</u>	<u>最終質量(M_☉)</u>
<u>1.</u> Accretion Rate by Yoshida et al. (2006) Pop III with No Feedback		
1.	2.2×10^6	910(C-C)
1.' (1/10のdM/dt)	2.9×10^6	385(C-C)
<u>2.</u> Accretion Rate by McKee et al. (2008) Pop III with Feedback		
2.	3.1×10^6	135(C-C)
<u>3.</u> Accretion Rate by Yoshida et al. (2006) Pop III.2		
3.	5.5×10^6	40(C-C)

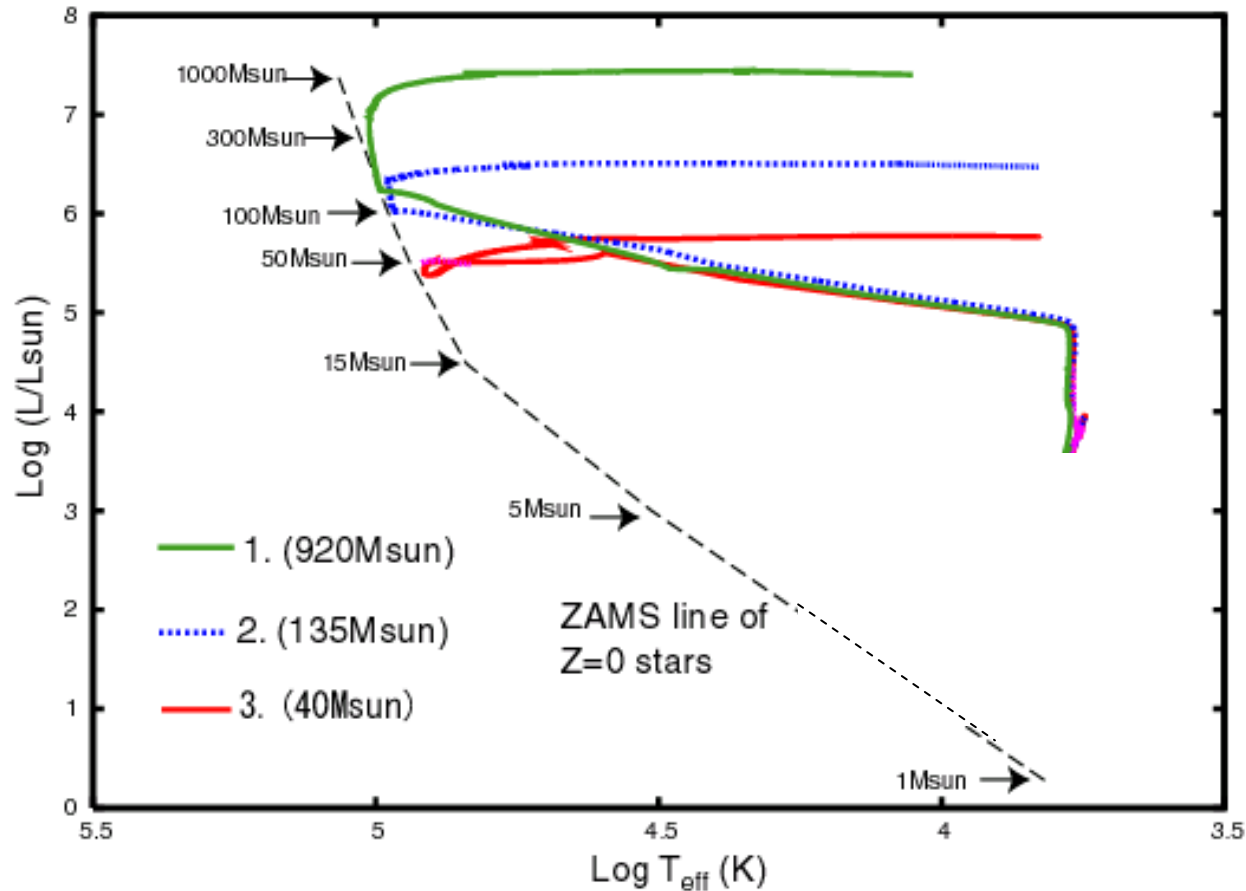
M(質量) v.s. R(半径)



Model 1. (no feedback) ...進化の間中質量が増える

Model 2., 3. ...H燃焼前または途中で質量増加ストップ

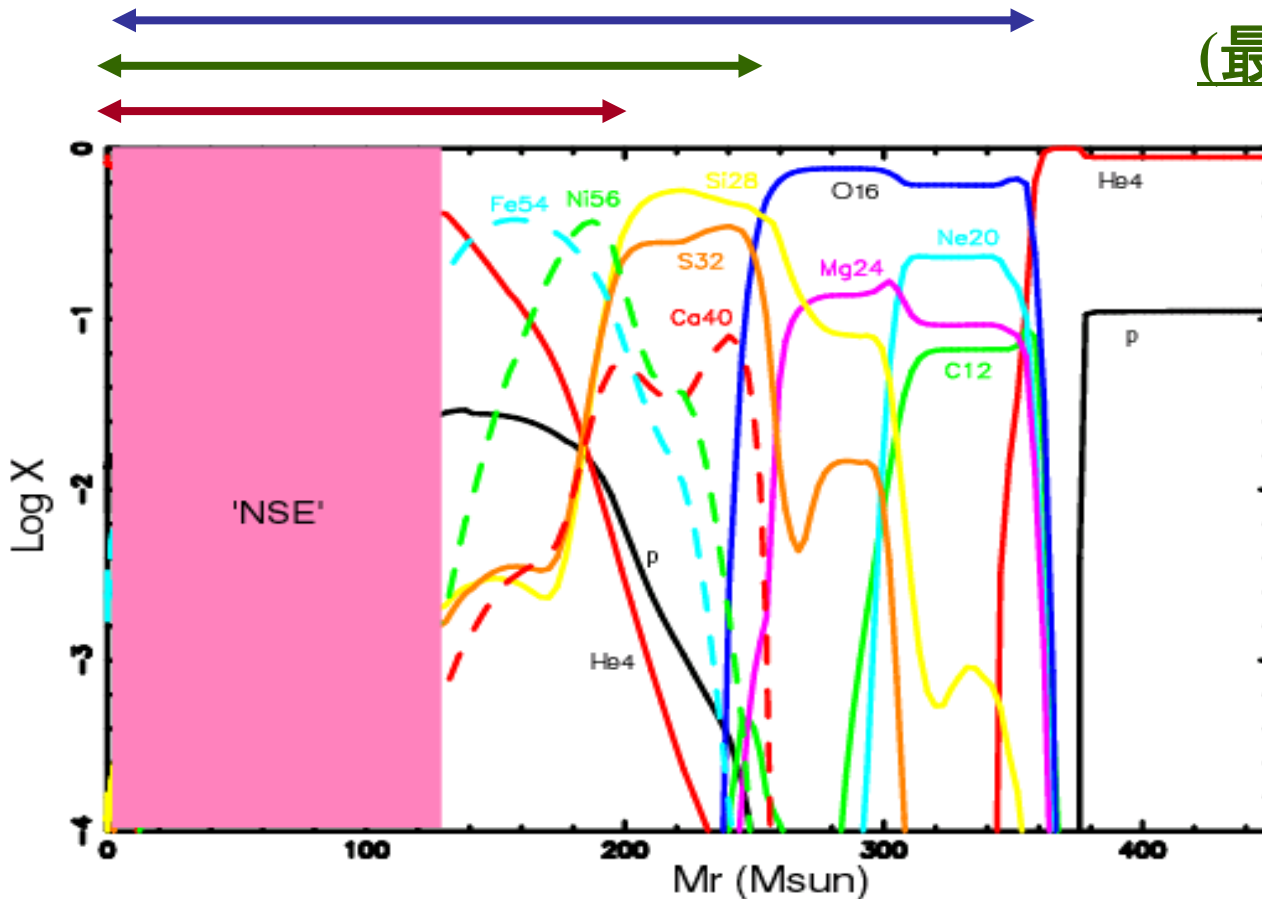
H-R図上の進化



質量増加に伴って光度が大きく増加
進化につれて表面温度が低下

重力崩壊時の化学組成 (Pop III no feedback ... CVMS)

(最終質量920Msun)



Fe-core

~ 200Msun

Si-core

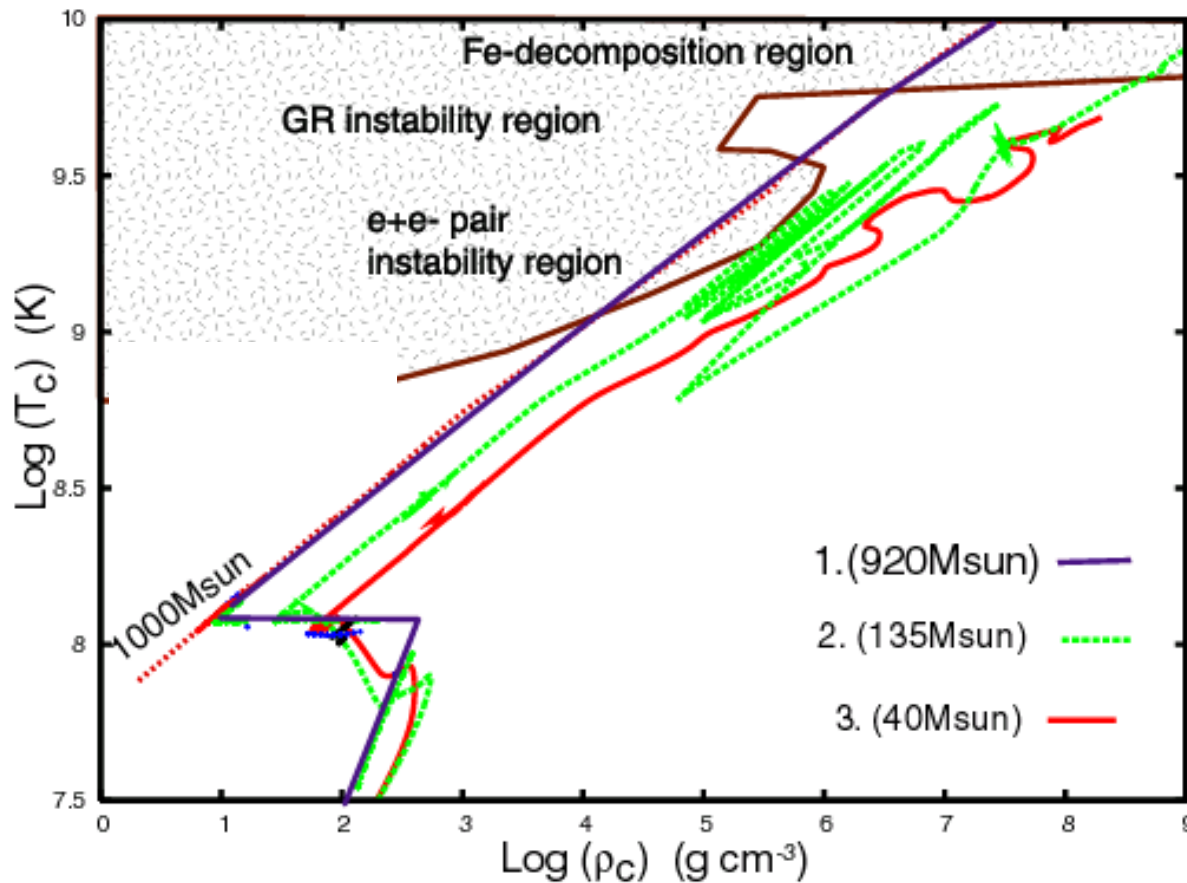
~ 260Msun

CO-core

~360Msun

内側の層が大きいのがCVMSの特徴

中心温度・密度の進化(He燃焼後の進化)



Heの燃え尽きる温度

···Log T ~8.5

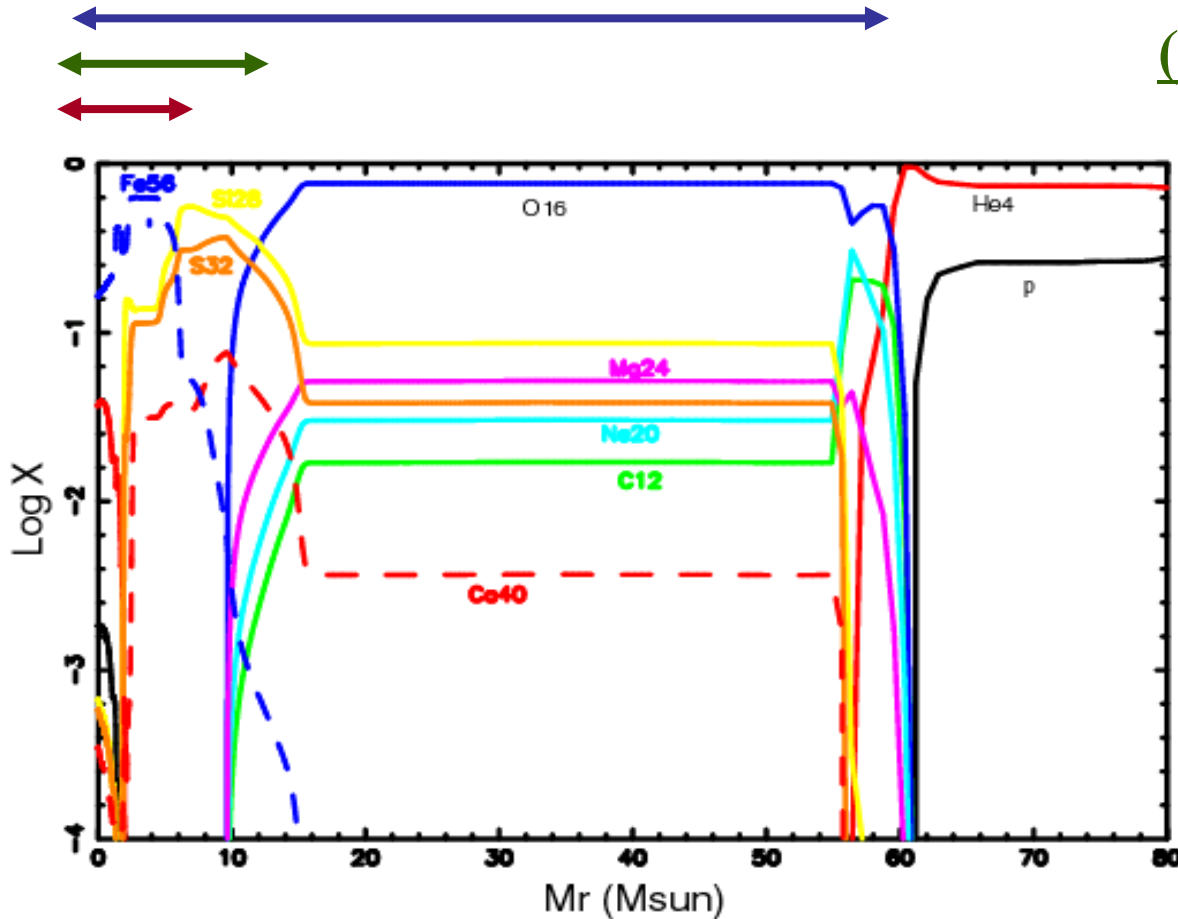
3modelともFe-coreを生成して重力崩壊

Model 2. はO, Si燃焼時に振動がみられる

(M~100Msunに特有な現象···Woosley et al. 2007, Umeda & Nomoto 2007)

重力崩壊時の化学組成 (Pop III with feedback)

(最終質量135Msun)



Fe-core

~ 6Msun

Si-core

~ 12Msun

CO-core

~60Msun

CVMSに比べ内側のコアは小さい

First Stars のmass range

H燃焼前か途中で質量固定

寿命やコア質量はno mass accretion model とほぼ同じ

進化の間中質量増加

Final Massは寿命との兼ね合い

Pop III, no Feedback

Pop III.2

Y-2

Pop III with Feedback

Y-1

T-1

massive stars

very-massive stars

(super-massive star)

重力崩壊

PISN

※CVMS star

(SN II/Ib/Ic)

(星全体が爆発)

重力崩壊

8

100 140

300

1000

10⁵

星の質量(M_☉)

※ Core-Collapse Very-Massive Star

白色矮星
(SN Ia)

Accretion による質量増加を伴う星の進化

Cosmological Simulationから得られたAccretion Rate・・・**high rate**

1. No feedback (or delayed)

$M > 300 M_{\odot}$ に成長できる可能性が大きい

(→IMBHの起源として重要)

2. Feedbackがあると

80 ~ 320 M_{\odot} くらい? (C-CとPISNの境界近く)

(→コア振動など特異な特徴・・・爆発や元素合成に影響?)

3. Pop III.2

Ordinary Massive Star ($M < 60 M_{\odot}$)

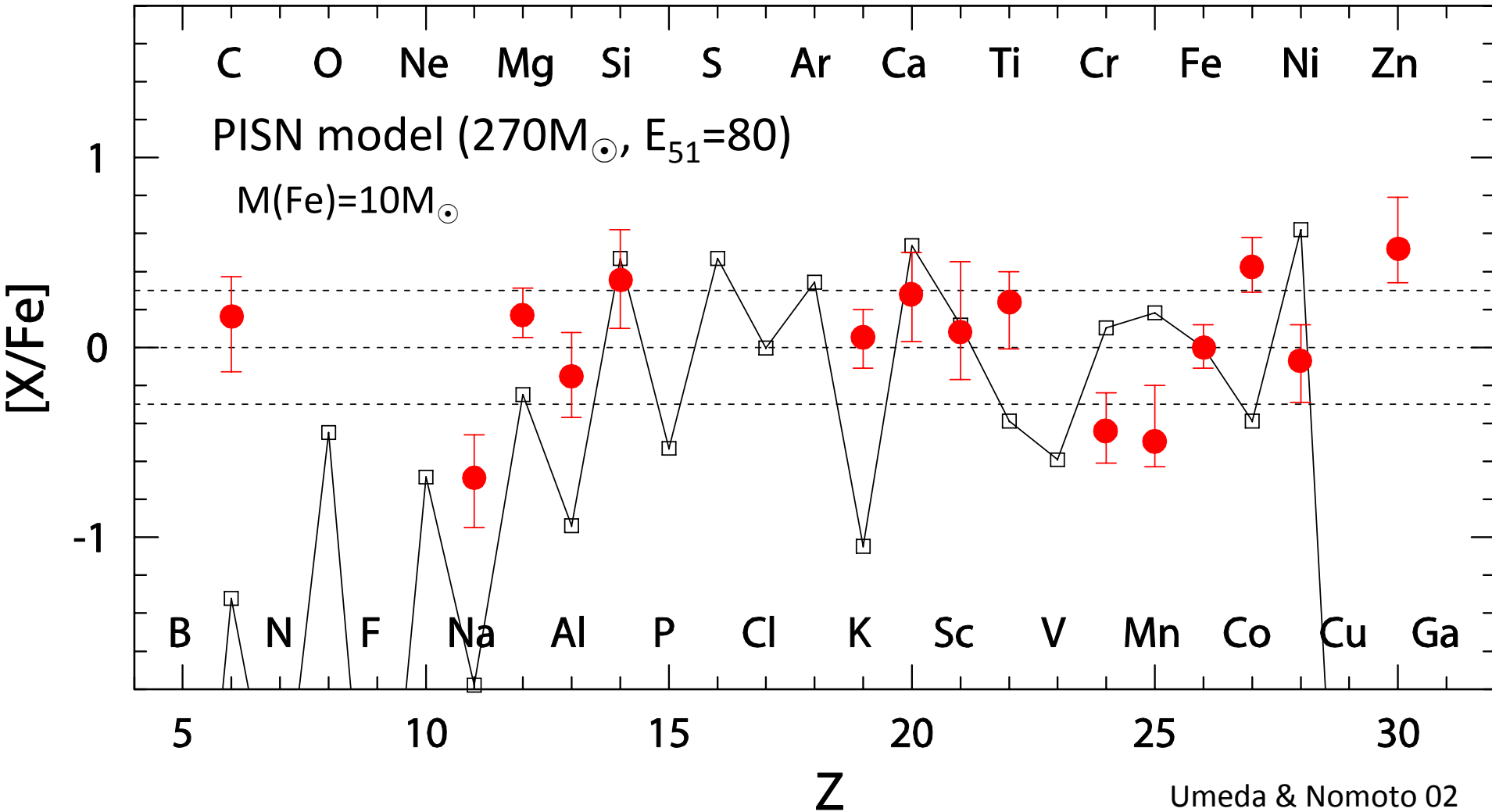
(→銀河ハローのEMP starの元素の起源、ICMなど)

制限のつけ方・・・爆発・元素合成

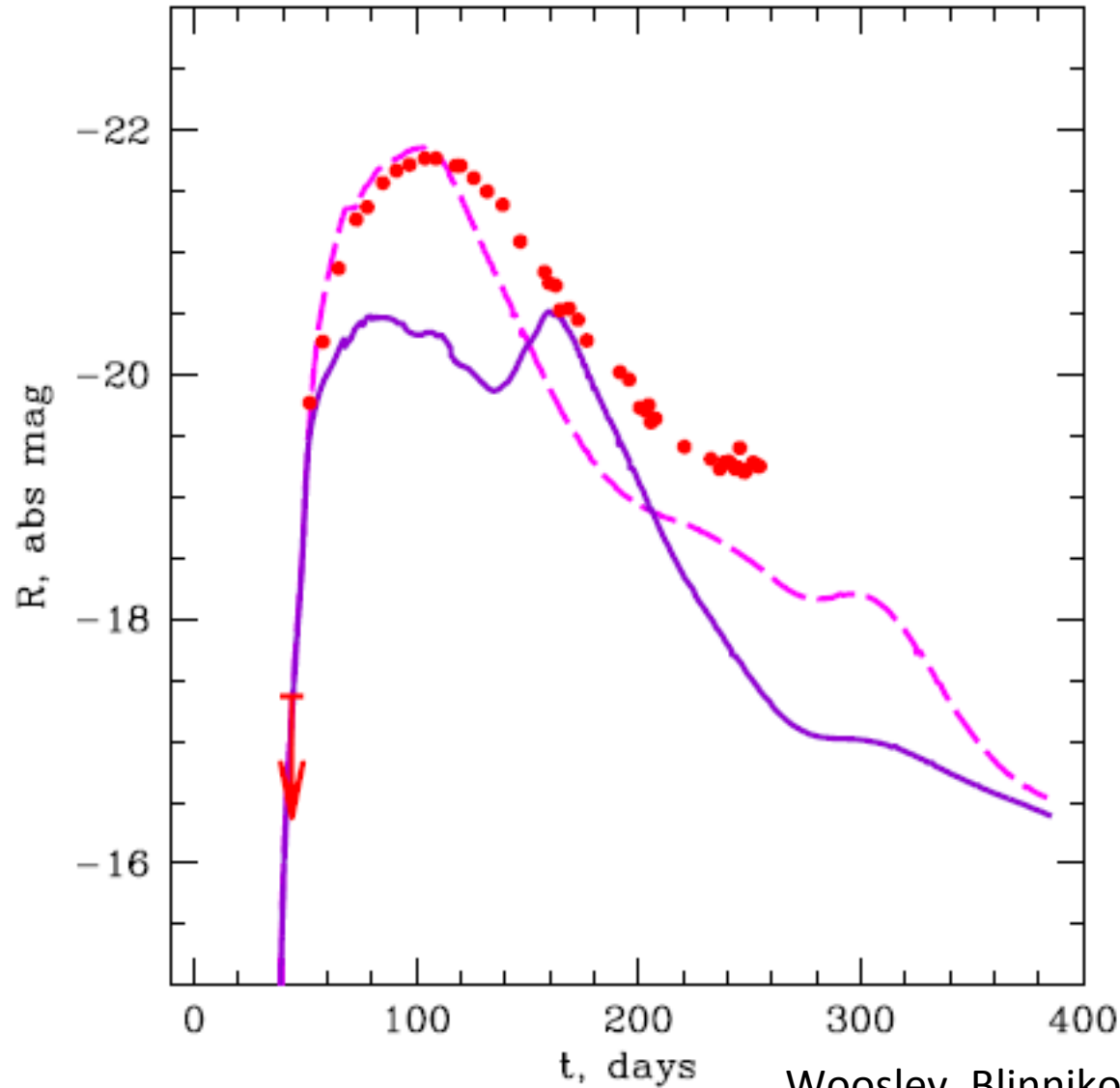
BHのmerger tree passとの比較・重力波の検出

Pair-instability SN vs. EMP stars

EMP stars ($-4.2 < [Fe/H] < -3.5$)



100-130 Ms: Pulsational Instability



Woosley, Blinnikov, Heger (2007)

星の進化・爆発計算のバリエーション

ノーマルなもの: 球対称、磁場・回転なし、

metal-freeでは質量放出なし

• 進化

磁場・回転あり(Heger et al 2005)

質量変化あり

(質量放出: Meynet et al. 2006、質量降着: Omukai & Palla 2003, Tan & McKee 2004)

星同士の合体

(cluster内: Portegies et al. 2004、連星同士: Fryer & Heger 2005)

展望

1. 正確なAccretion Rate、原始星自身のFeedbackによるAccretionのストップの有無は不明
・・・基本的にFree Parameterとして扱う

★Accretion Rateと寿命、最終質量、最終運命の関係

2. 広い視点で見たときの本研究の位置づけ
第一世代星の宇宙進化における役割



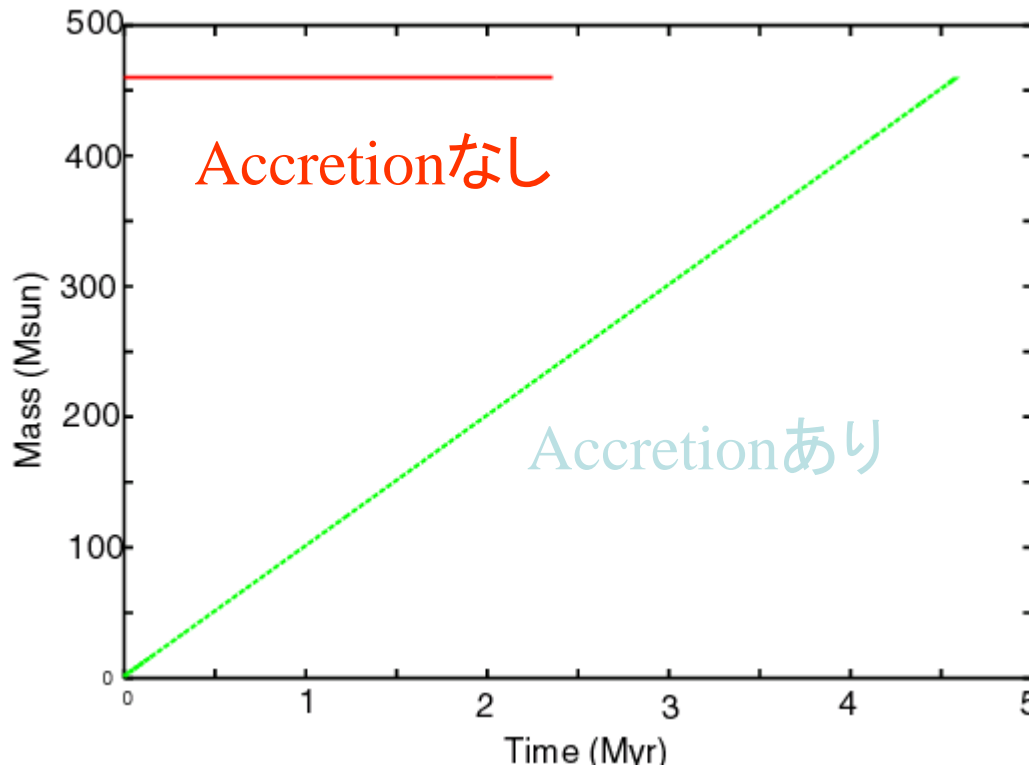
IMBHの起源(→Super Massive Black Holeへの成長、



クェーサー、AGN)

爆発による質量放出!?(化学進化への寄与)

Accretion v.s. no Accretion(460Msun)



Lifetime (~H burning +
He burning)

with Accretion

$$2.3 \times 10^6$$

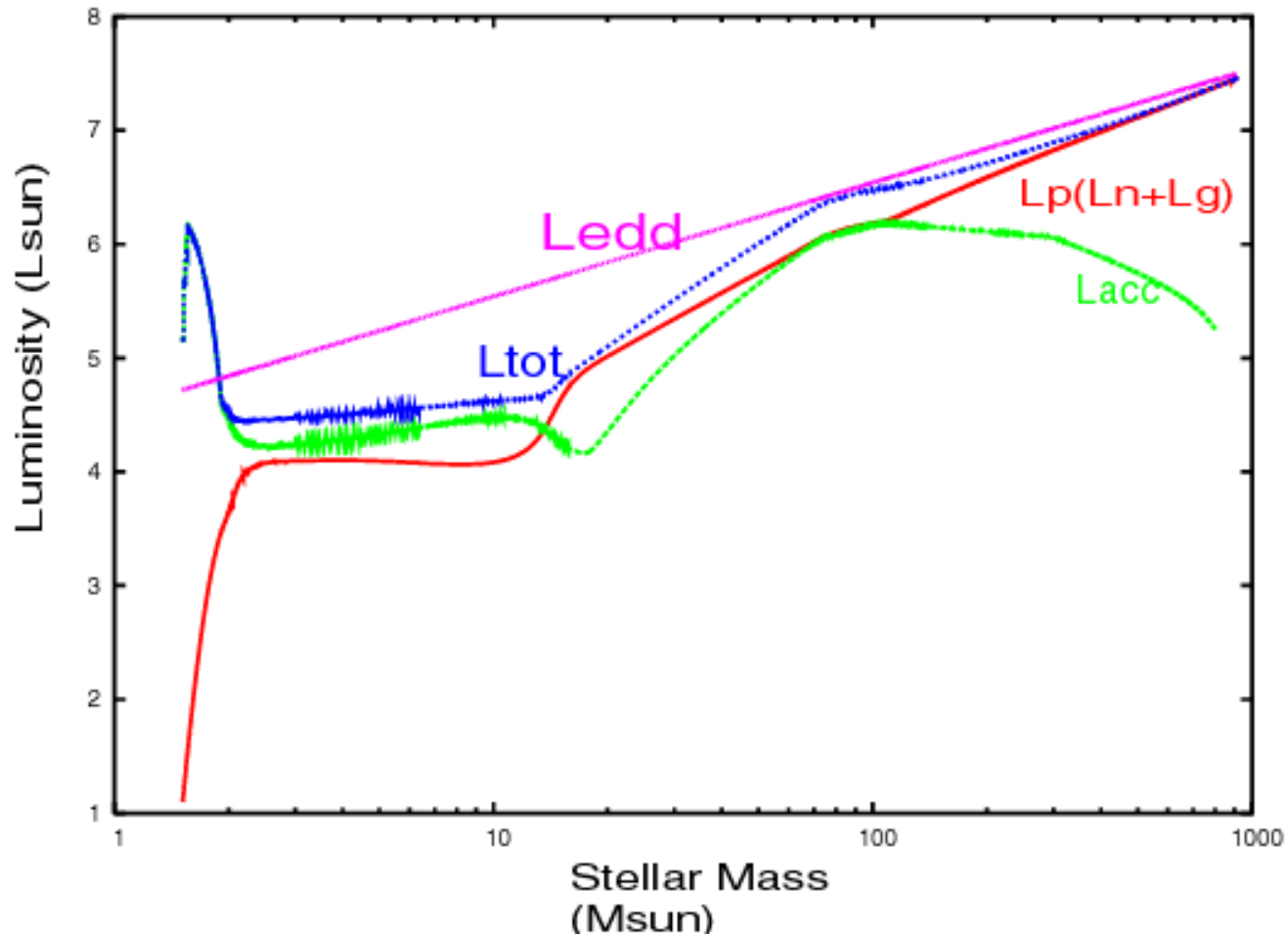
without Accretion

$$4.6 \times 10^6$$

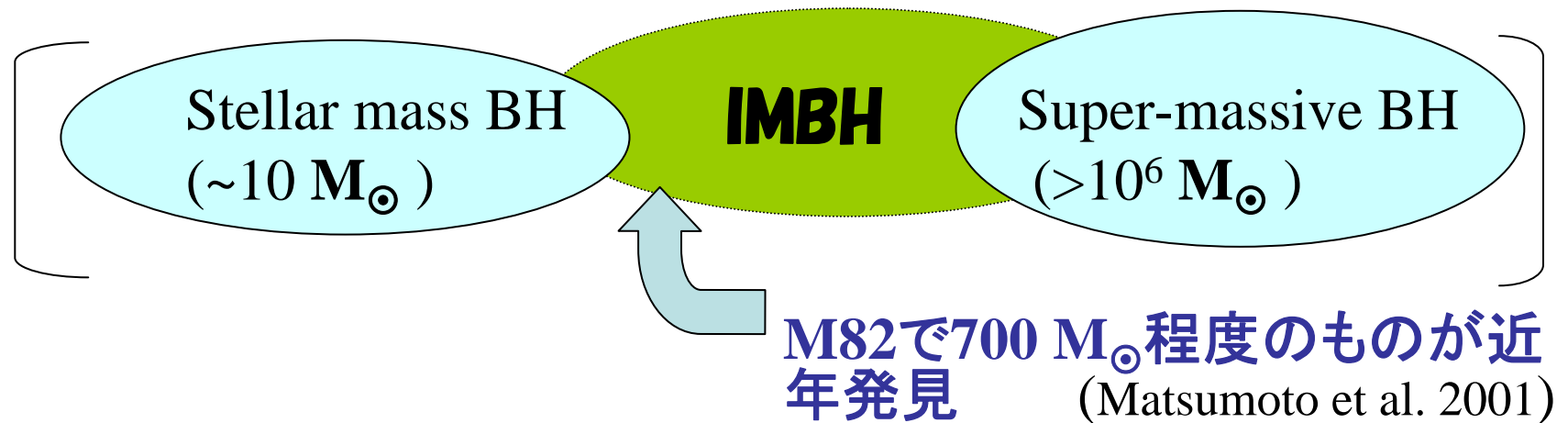
寿命の延び

**質量変化がないとVMSの
寿命は200Myr程度**

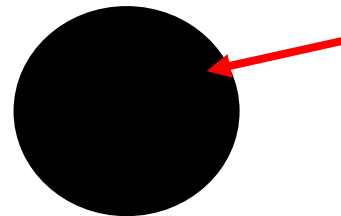
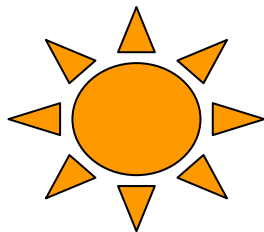
各Luminosity (1st generation accretion rate by Yoshida et al.)



中間質量ブラックホールの起源 (IMBH, $\sim 10^2 - 10^3 M_{\odot}$)



If very-massive stars exists.....



Black
hole

they may be the origin of IMBH !!