

超新星爆発に至る軽いCOコアの進化

吉田 敬

(京都大学基礎物理学研究所)

高橋亘, 梅田秀之

(東京大学大学院理学系研究科天文学専攻)

京都大学基礎物理学研究所研究会

コンパクト連星合体からの重力波・電磁波放射とその周辺領域

2015年2月11日

Introduction

- “軽い”COコアを持つ大質量星の進化

➡ electron capture超新星

$$M_{\text{CO}} \sim 1.38 M_{\odot}$$

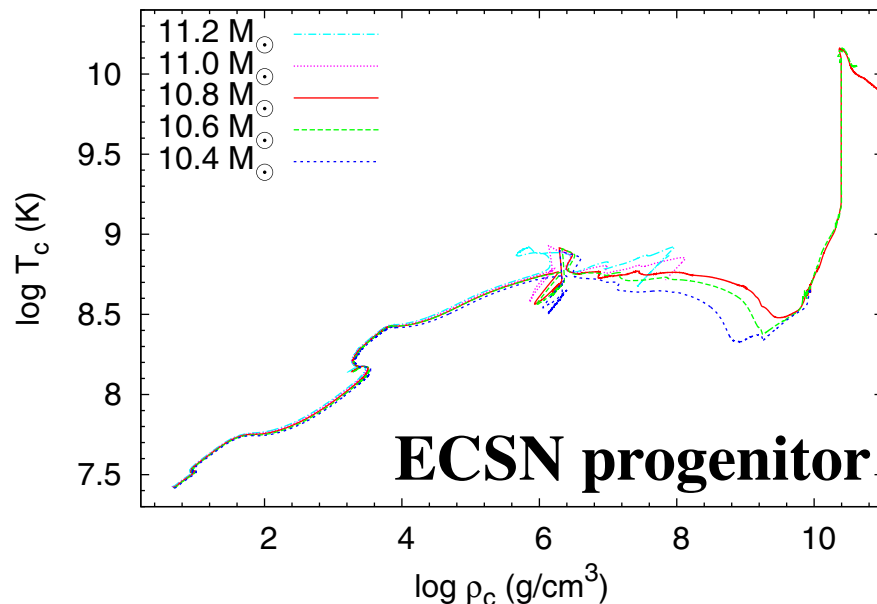
(e.g., Nomoto 1984; Takahashi, TY, Umeda 2013; Jones et al. 2013)

➡ off centerでのNe, O, Si燃烧 ➡ Feコア形成

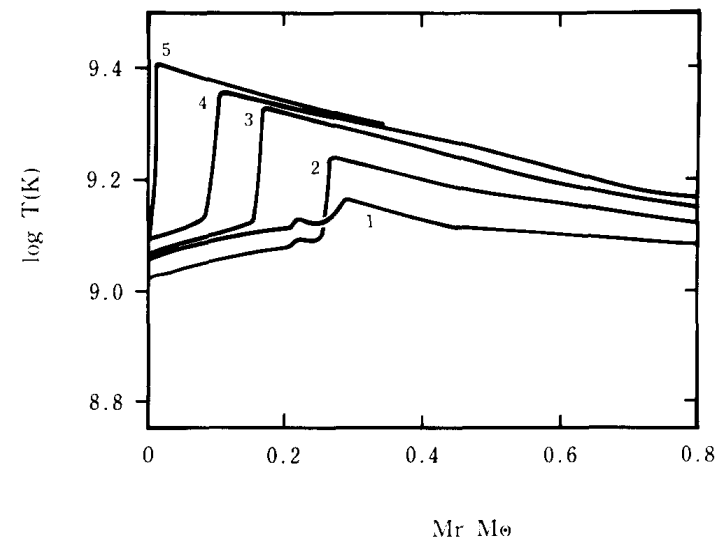
$$M_{\text{CO}} \sim 1.38 - 2 M_{\odot} \quad (M_{\text{MS}} \sim 10 - 12 M_{\odot})$$

(e.g., Woosley et al. 1986; Nomoto & Hashimoto 1988; Umeda, TY, Takahashi 2012)

重力崩壊に至るがより重い星とはいくらか異なる進化



(Takahashi, TY, Umeda 2013)



$3 M_{\odot}$ He星; off center Ne/O燃烧

(Nomoto & Hashimoto 1988)

Introduction

- “軽い”COコアを持つ超新星progenitor

➡ 小さいcompactness parameter

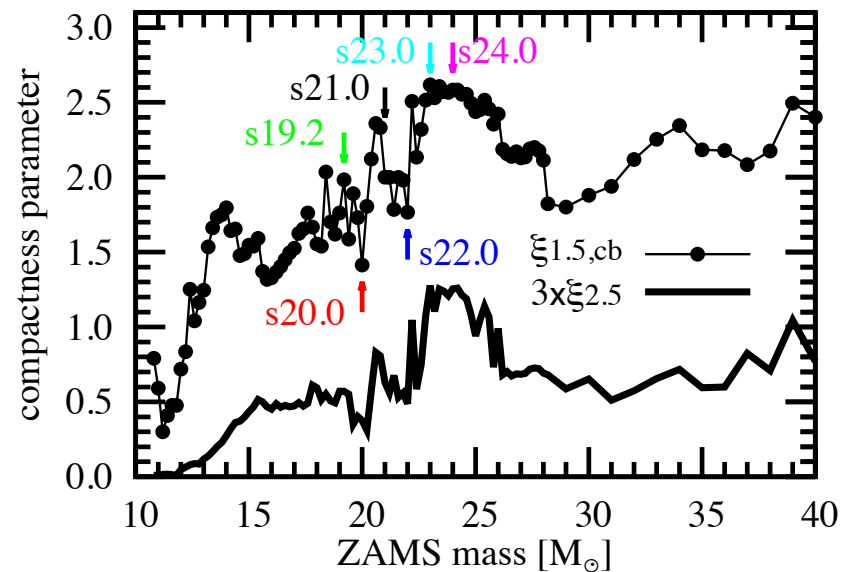
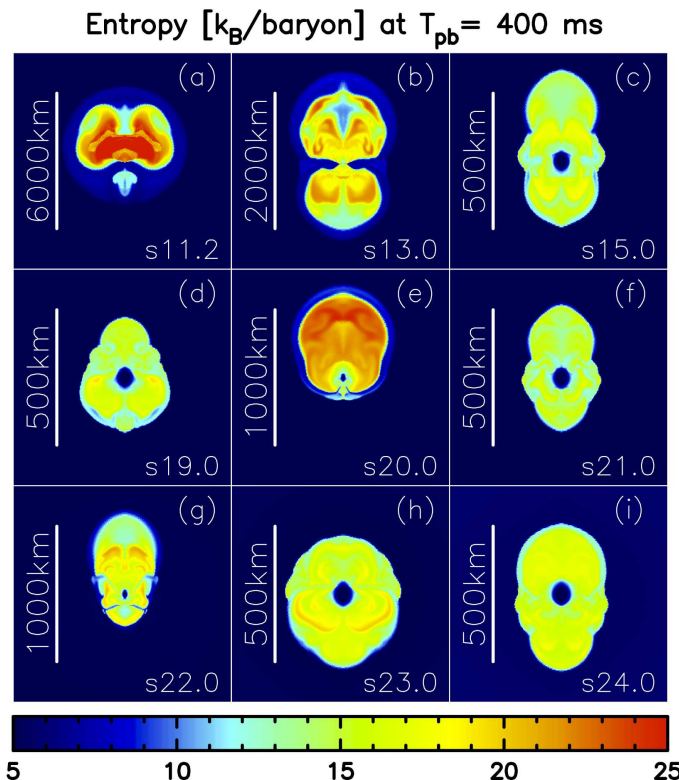
(e.g., Ugliano et al. 2012; Nakamura et al. 2014)

- ECSN progenitor ➡ 1D超新星モデルでも爆発

(Kitaura et al. 2006)

~ $11M_{\odot}$ progenitor ➡ 短時間でshockが伝播

(e.g., Nakamura et al. 2014; Suwa et al. 2014)



(Nakamura et al. 2014)

Introduction

- NS-NS連星との関連

➡ 超新星爆発時の連星系を保てるか？
弱い超新星爆発？

- normal Type Ic超新星

SN 1994I (Sasaki et al. 1994; Iwamoto et al. 1994; Nomoto et al. 2006)

➡ $2.1 M_{\odot}$ CO星 ($13-15 M_{\odot}$ 主系列星)
連星進化における大量の質量放出

研究目的

1.4 - 2 M_{\odot} CO星の進化と progenitor 構造を調べる

➡ 星の構造と超新星爆発との関連の議論へ

- 今回の発表 ➡ preliminary な計算 (粗い mesh 間隔)

1.45, 1.5, 1.6, 2, 2.6 M_{\odot} CO星の進化

CO星進化モデル

- 大質量星進化モデル

(TY & Umeda 2011; Takahashi, TY, Umeda 2013; TY, Okita, Umeda 2014)

$$\frac{\partial P}{\partial M_r} = -\frac{GM_r}{4\pi r^4} - \frac{1}{4\pi r^2} \frac{\partial^2 r}{\partial t^2}$$

$$\frac{\partial r}{\partial M_r} = \frac{1}{4\pi r^2 \rho}$$

$$\frac{\partial \ln T}{\partial \ln P} = \min(\nabla_{\text{ad}}, \nabla_{\text{rad}})$$

$$\frac{\partial L_r}{\partial M_r} = \epsilon_{\text{nucl}} - \epsilon_{\nu} + \epsilon_{\text{grav}}$$

- 元素合成とエネルギー生成

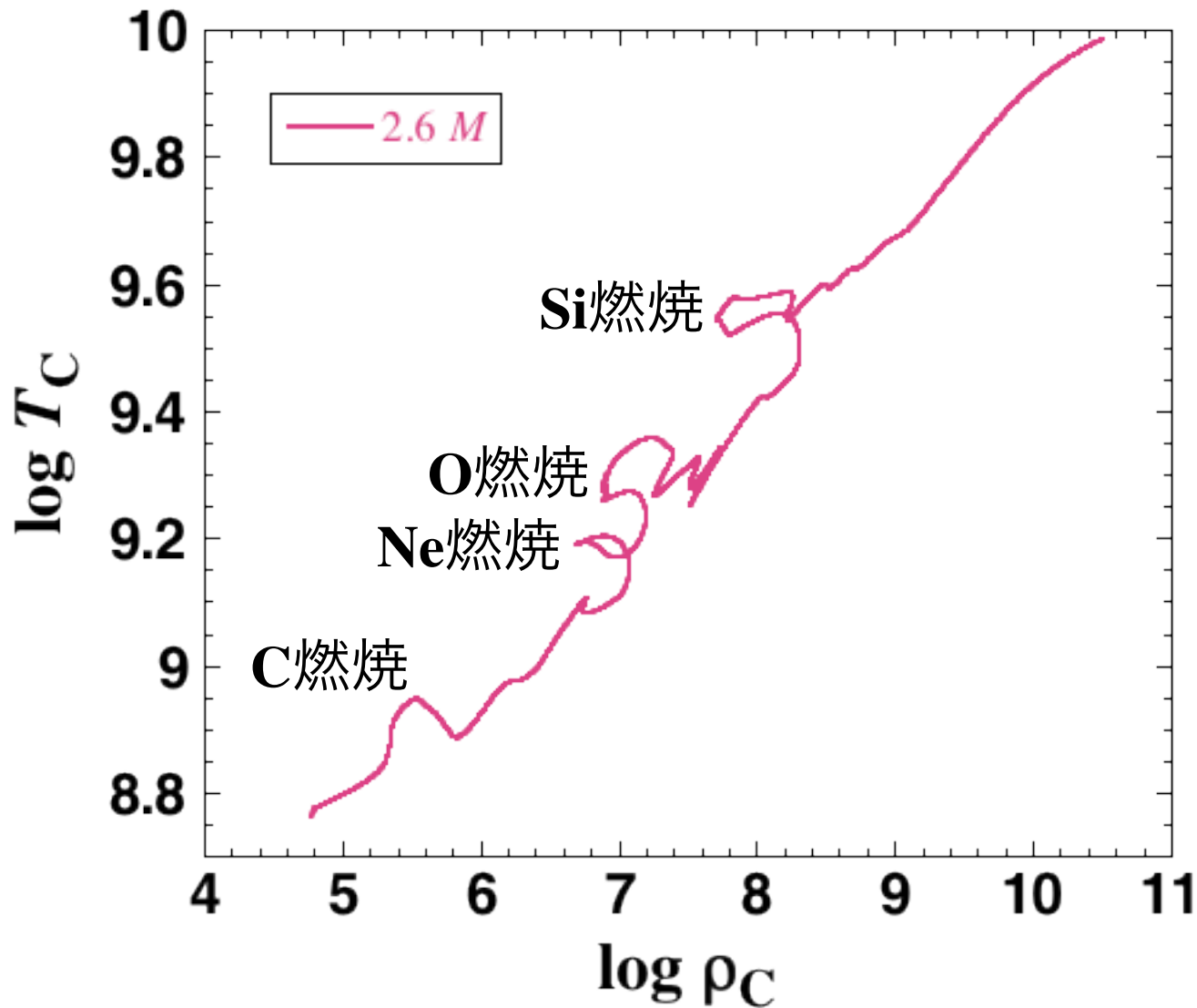
➡ 300核種($n, \text{H} - \text{Br}$)の核反応ネットワーク

- 初期組成 ➡ 大質量星のHe燃焼後の中心組成

$$X_{\text{C}}(\text{C}) = 0.33 - 0.36$$

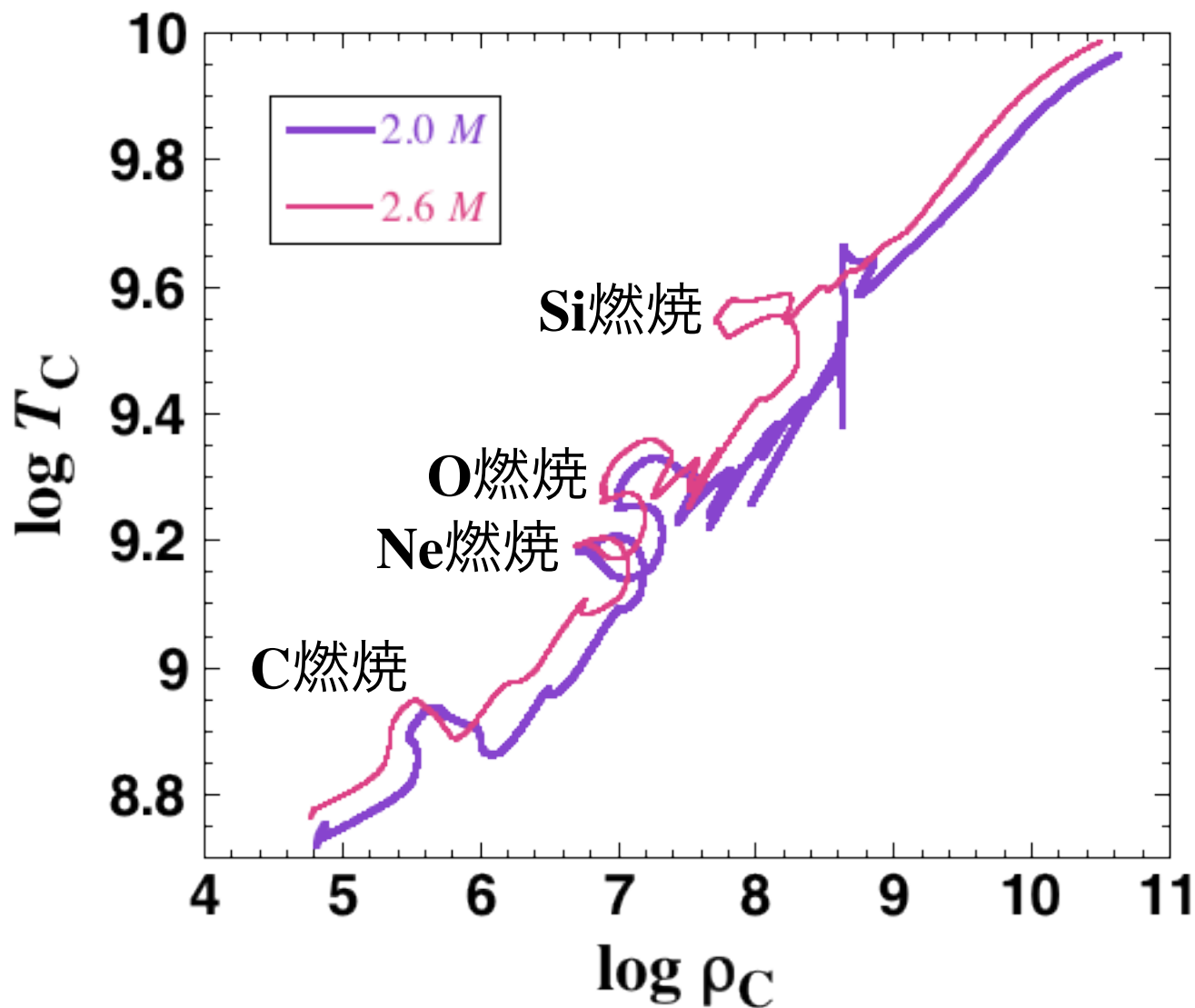
- mesh数 ➡ ~540 mesh

中心温度, 密度の進化



- C, Ne, O, Si燃烧を経てFe coreを形成, 重力崩壊へ

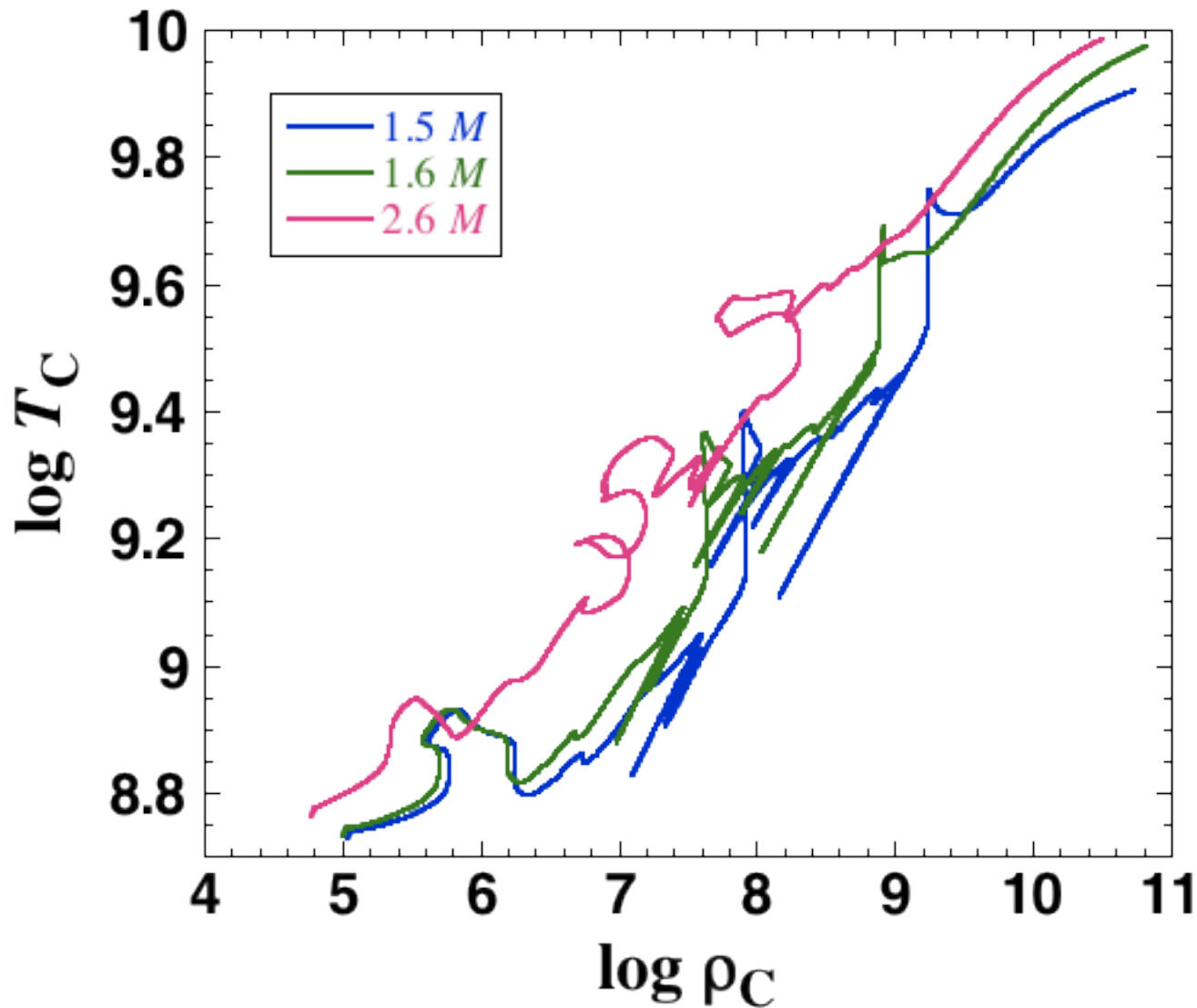
中心温度, 密度の進化



● Si燃烧がoff centerで点火

➡ 燃烧面が中心に達する時に中心温度が上昇

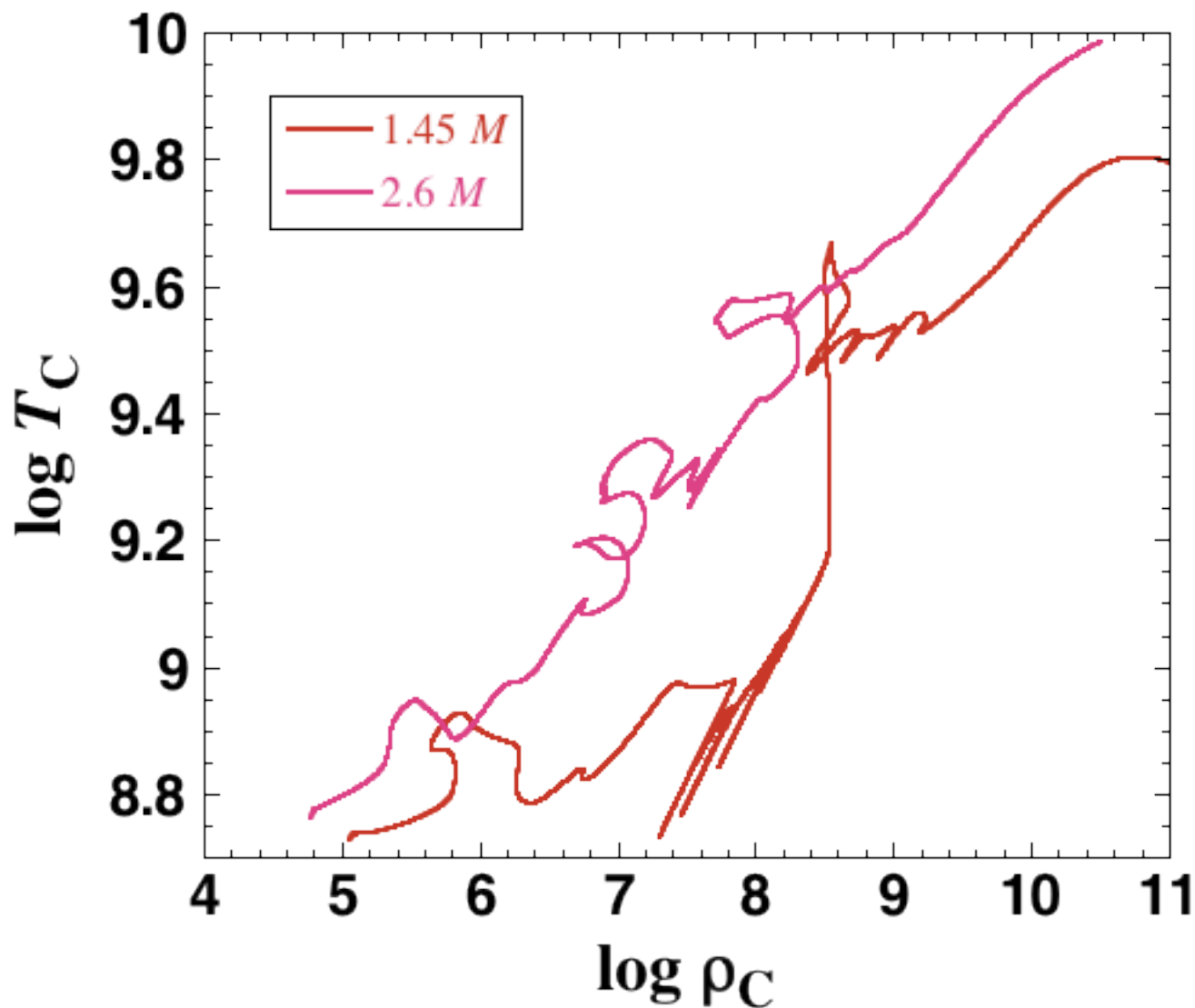
中心温度, 密度の進化



● Ne/O, Si 燃焼が off center で点火

➡ Ne 燃焼が off center のまま O 燃焼へ移行

中心温度, 密度の進化

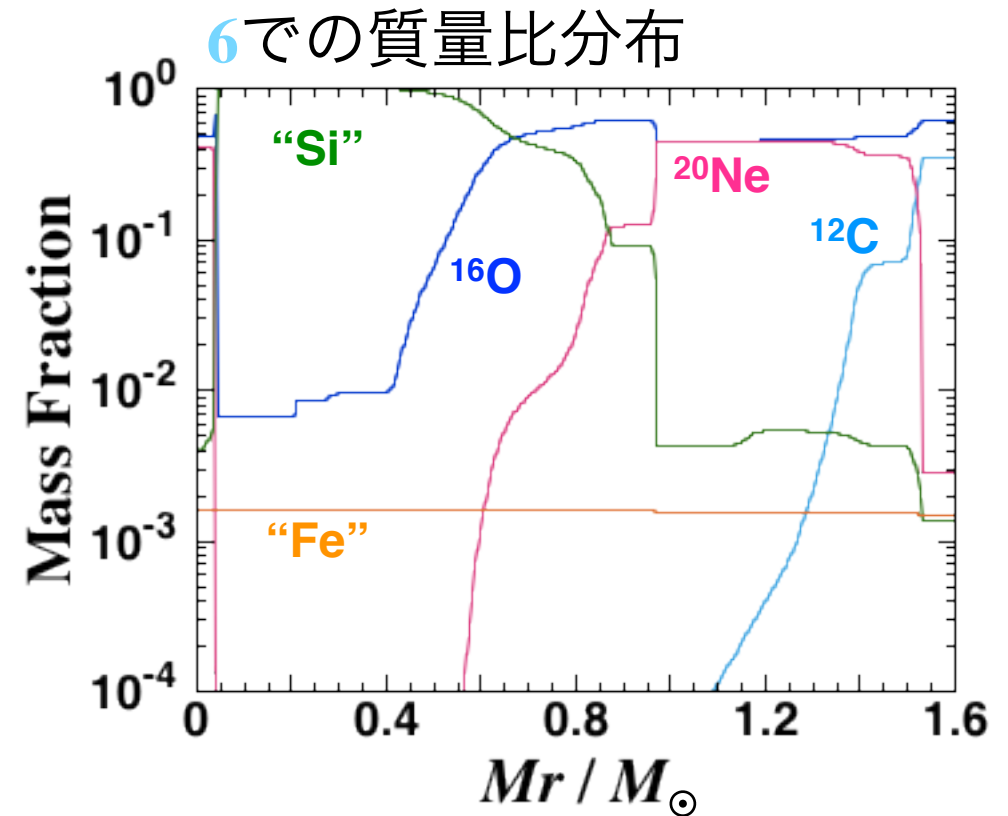
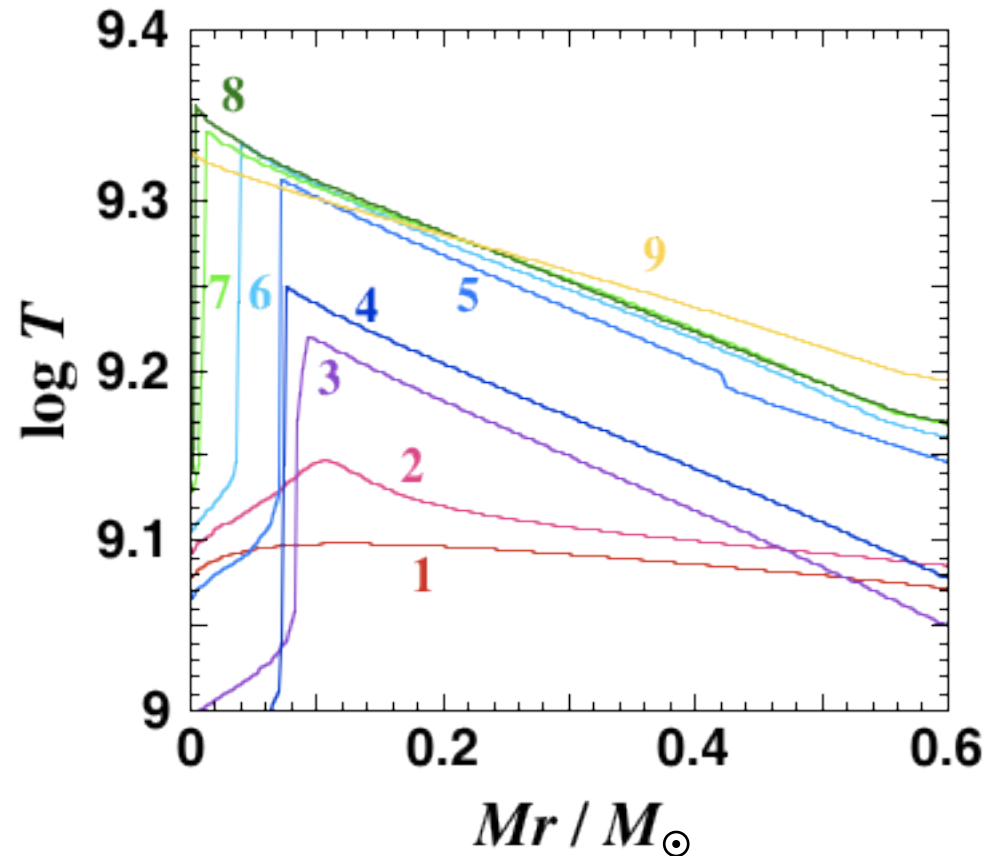


● Ne/O/Si 燃焼が off center のまま移行

➡ O/Ne core の外側に Fe shell が形成

中心温度の進化

1.6 M_{\odot} CO星のoff center Ne/O燃焼



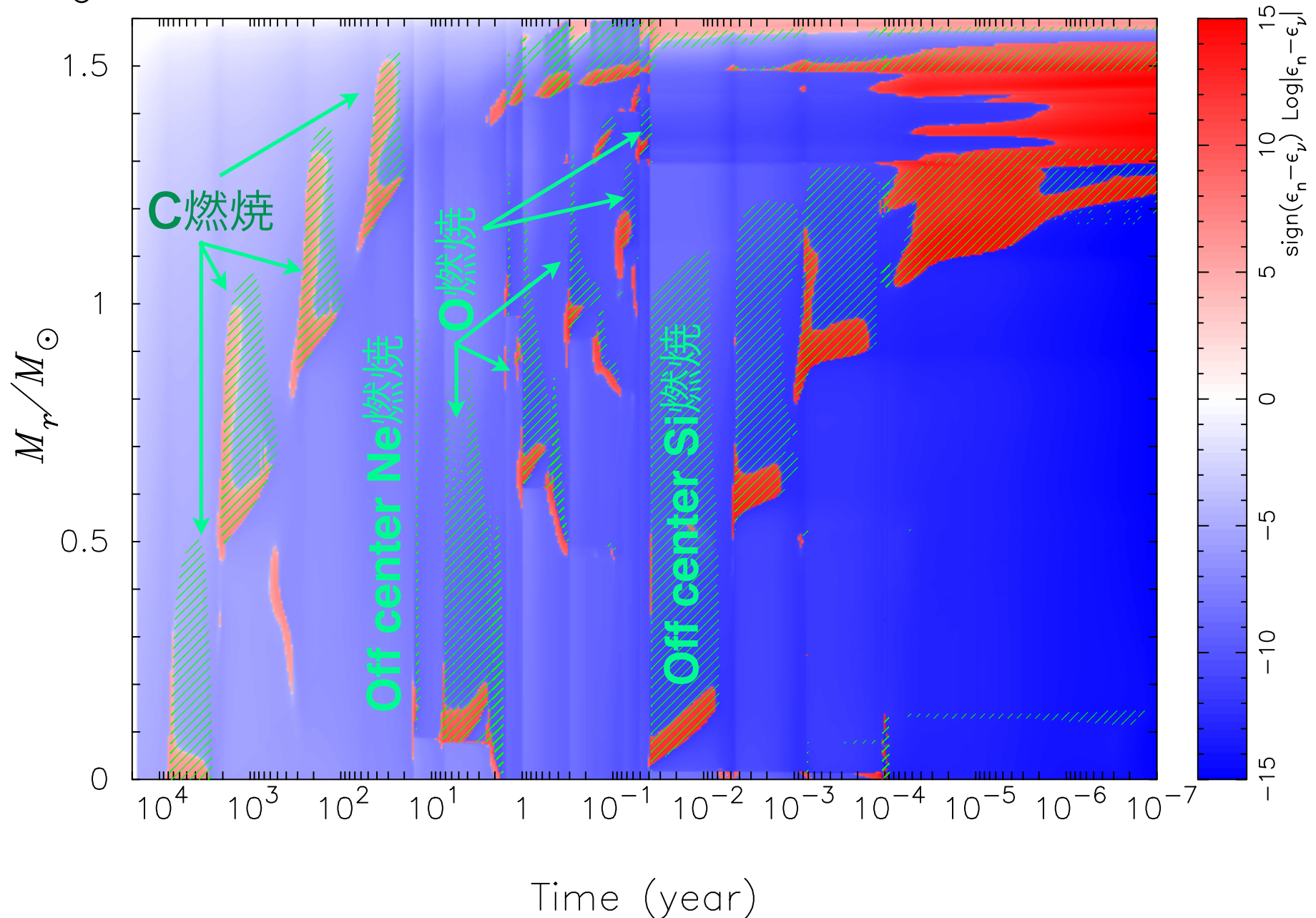
6での質量比分布

● $Mr = 0.09 M_{\odot}$ でNeが点火

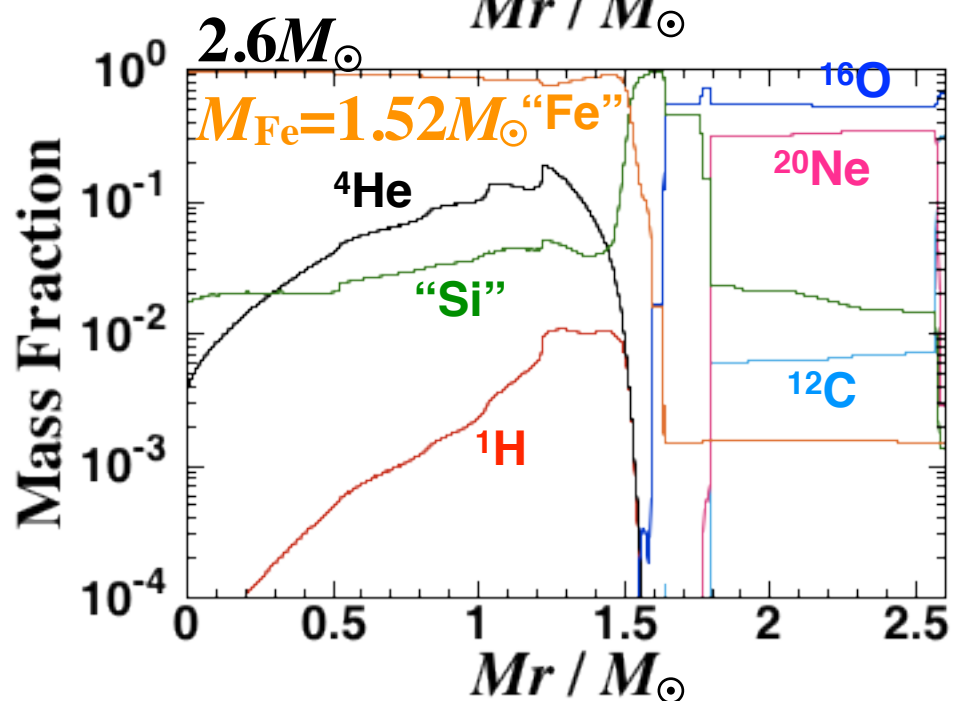
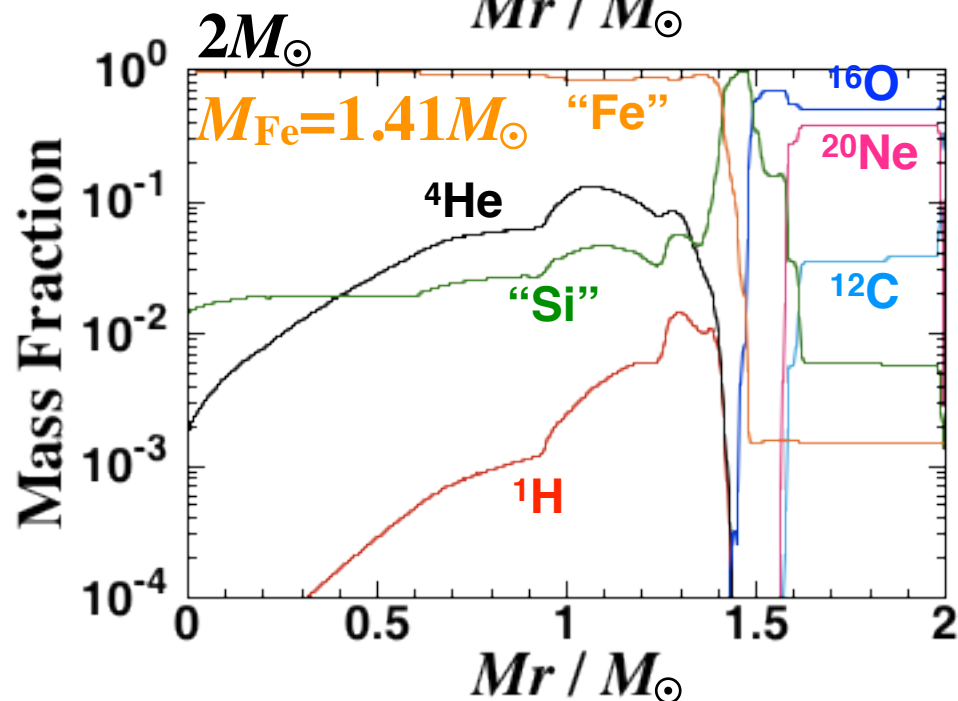
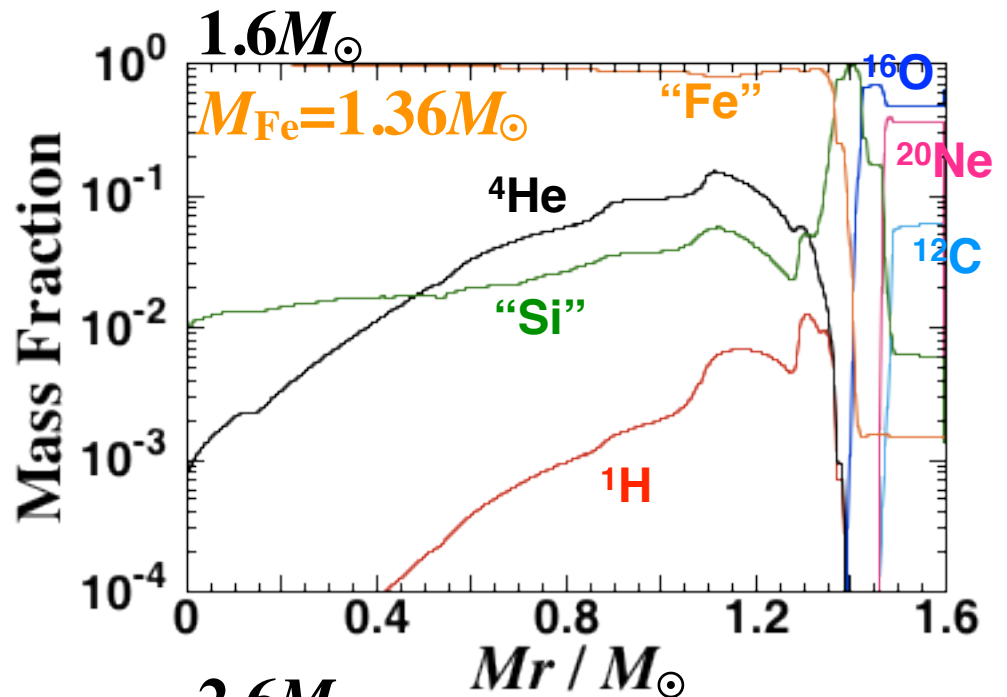
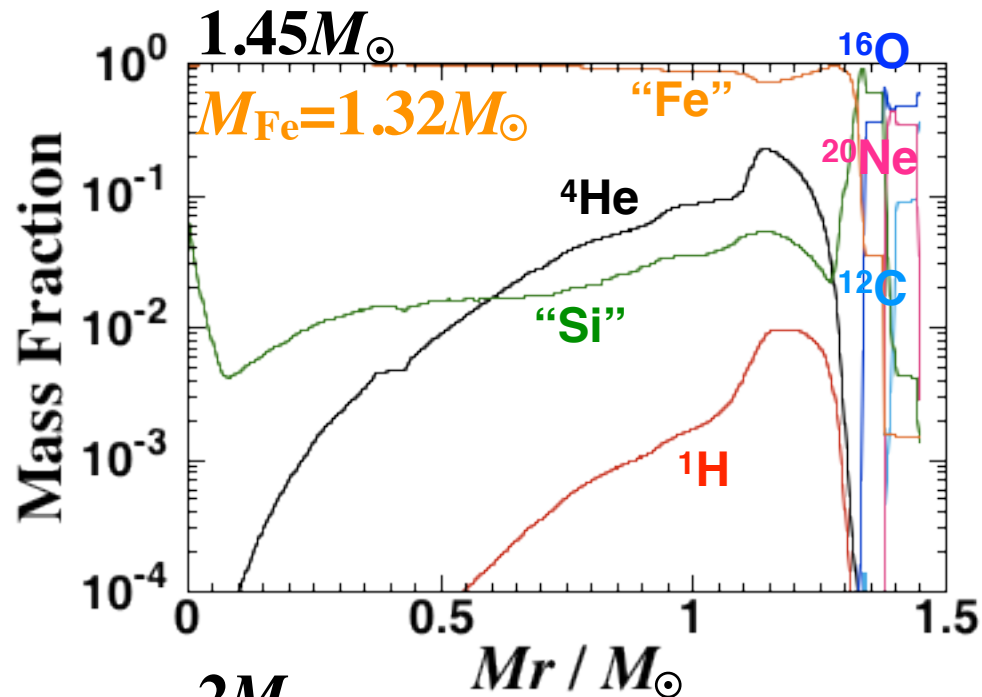
➡ O燃焼中に燃焼面が内側へ移動

対流層の進化

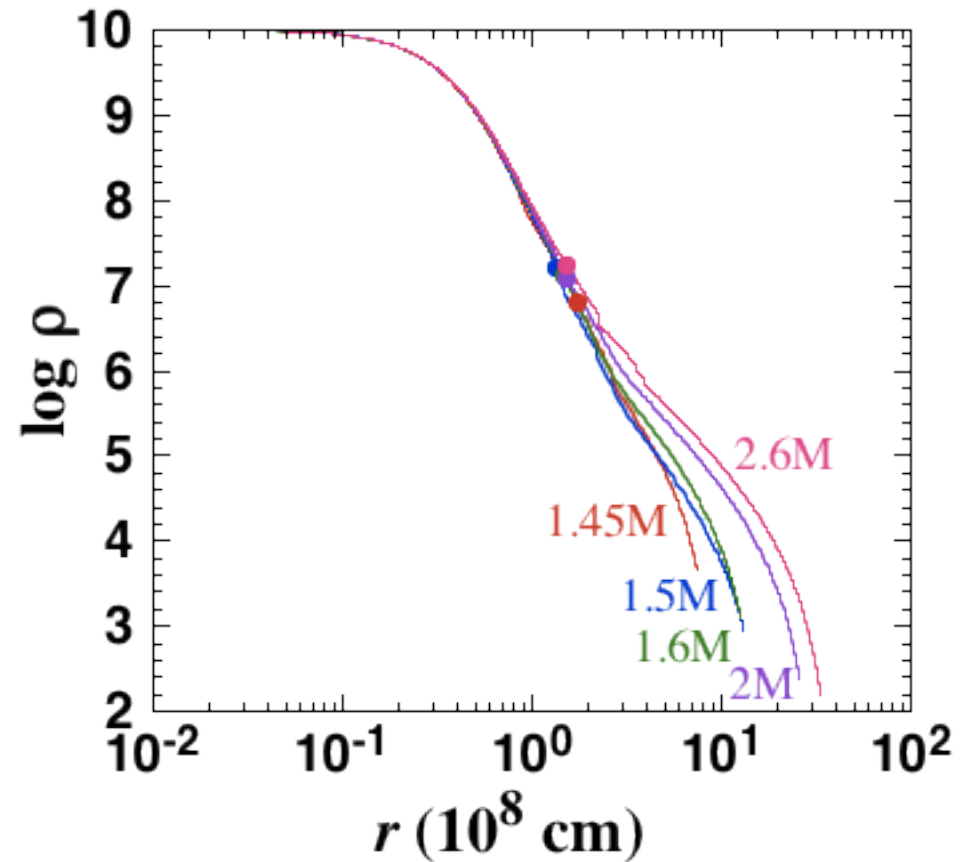
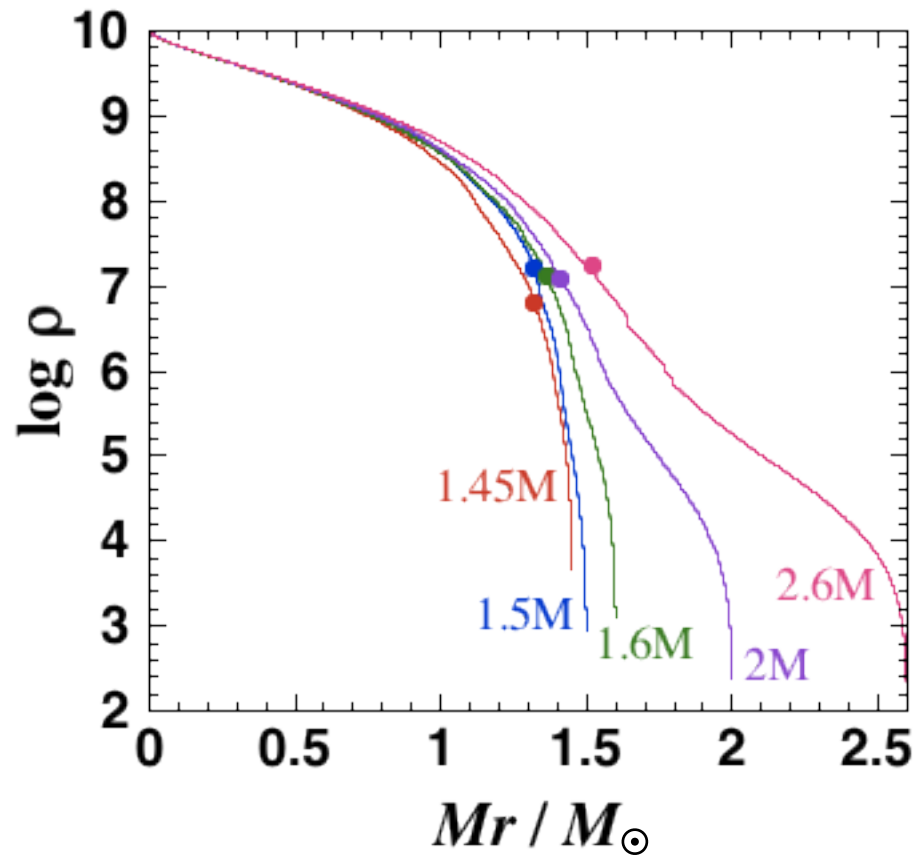
1.6 M_{\odot} CO星



元素組成分布



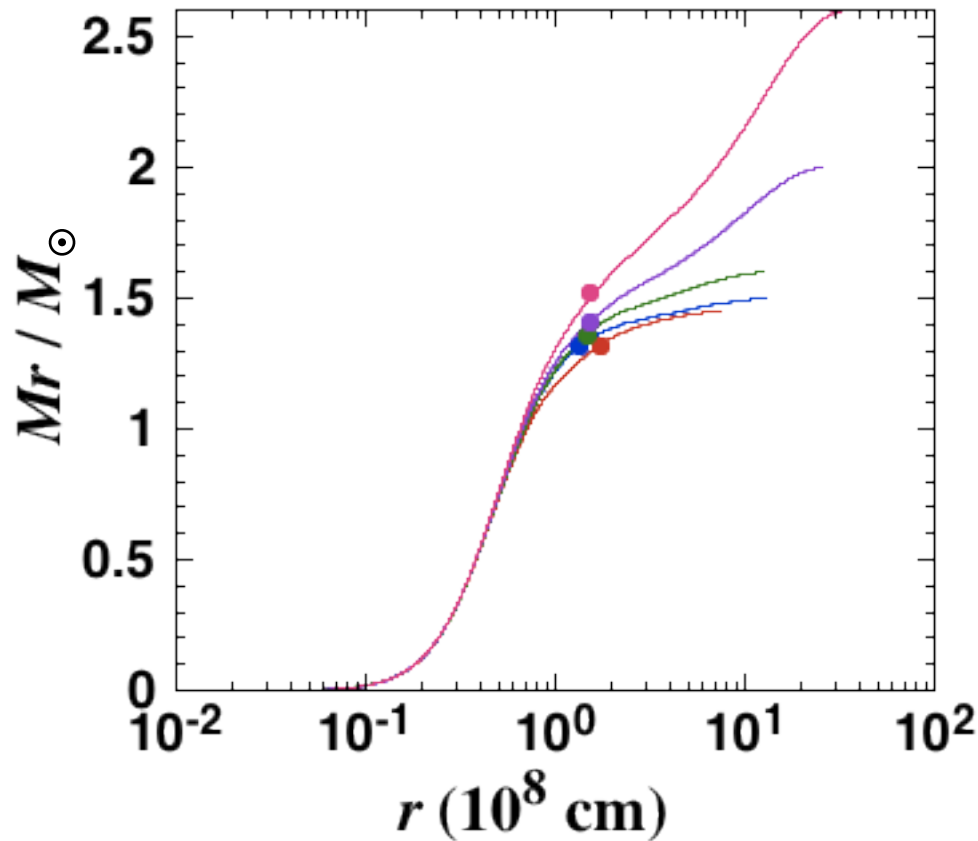
重力崩壊直前での密度分布



●はFeコア境界の位置を示す

- 軽いCOコアの方がFeコアの外側で低密度
- $r_{\text{Fe core}} = (1.34 - 1.77) \times 10^8 \text{ cm}$

中心集中度



●はFeコアの位置を示す

compactness parameter

$$\xi_{1.4} = 1.4 / (r[Mr = 1.4M_{\odot}]/1000\text{km})$$

M_{CO}	$\xi_{1.4}$
$1.45M_{\odot}$	0.456
$1.5M_{\odot}$	0.616
$1.6M_{\odot}$	0.808
$2M_{\odot}$	0.940
$2.6M_{\odot}$	1.160

- 軽いCOコアの方が中心集中が緩い

$$\xi_{1.4} = 0.454 - 1.160$$

まとめ

- **1.4 - 2 M_{\odot} COコアの進化** (preliminary)
 - **off center Si**燃焼 $\rightarrow M_{\text{CO}} \lesssim 2 M_{\odot}$
 - **off center Ne/O**燃焼 $\rightarrow M_{\text{CO}} \lesssim 1.6 M_{\odot}$
off center 燃焼の様子に質量依存性
- **超新星 progenitor**
 - 軽いCOコアの方がFeコアの外側で低密度
 - $\xi_{1.4} = 0.454 - 1.160$
- **今後**
 - **1.40 - 2.00 M_{\odot} COコアの進化を計算中**
 - **超新星爆発計算へ**