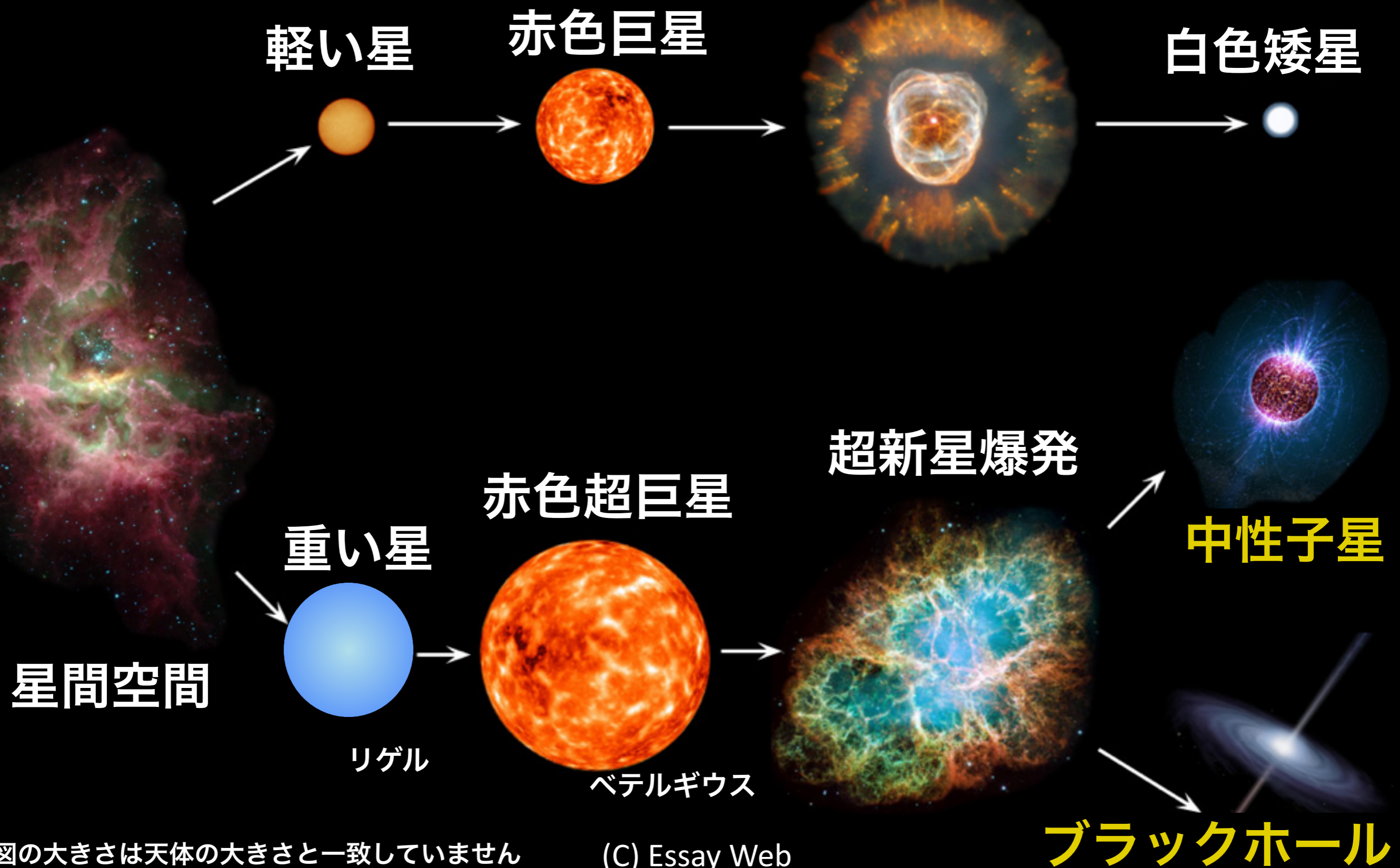


# Section 6. 恒星の進化 (2)

## 6.1 状態方程式

## 6.2 星の進化経路

# 星の一生



図の大きさは天体の大きさと一致していません

(C) Essay Web

なぜ星の「運命」は質量で変わるのか？

ガスのミクロな性質が重要



# さまざまな疑問を**物理**を使って理解しよう

- 星の中はどうなっているの？
- なぜ重い星の方が大きいのか？
- なぜ星は明るく輝くのか？
- なぜ重い星の方が明るいのか？
- **なぜ星は「進化」するのか？**
- **なぜ質量で星の運命が変わるのか？**
- なぜ星は星でいられるのか？
- なぜ一部の星は爆発するのか？
- ...

# レポート課題 3

- 3-1. マクスウェル分布から  
理想気体の圧力の式を導け
- 3-2. 電子が非相対論的、超相対論的などときの  
縮退圧の式を導き、実際に数字を入れて計算せよ
- 3-3. プランク関数から輻射圧の式を導け

# レポート課題 3 (続き)

## 3-4. 密度 - 温度平面で

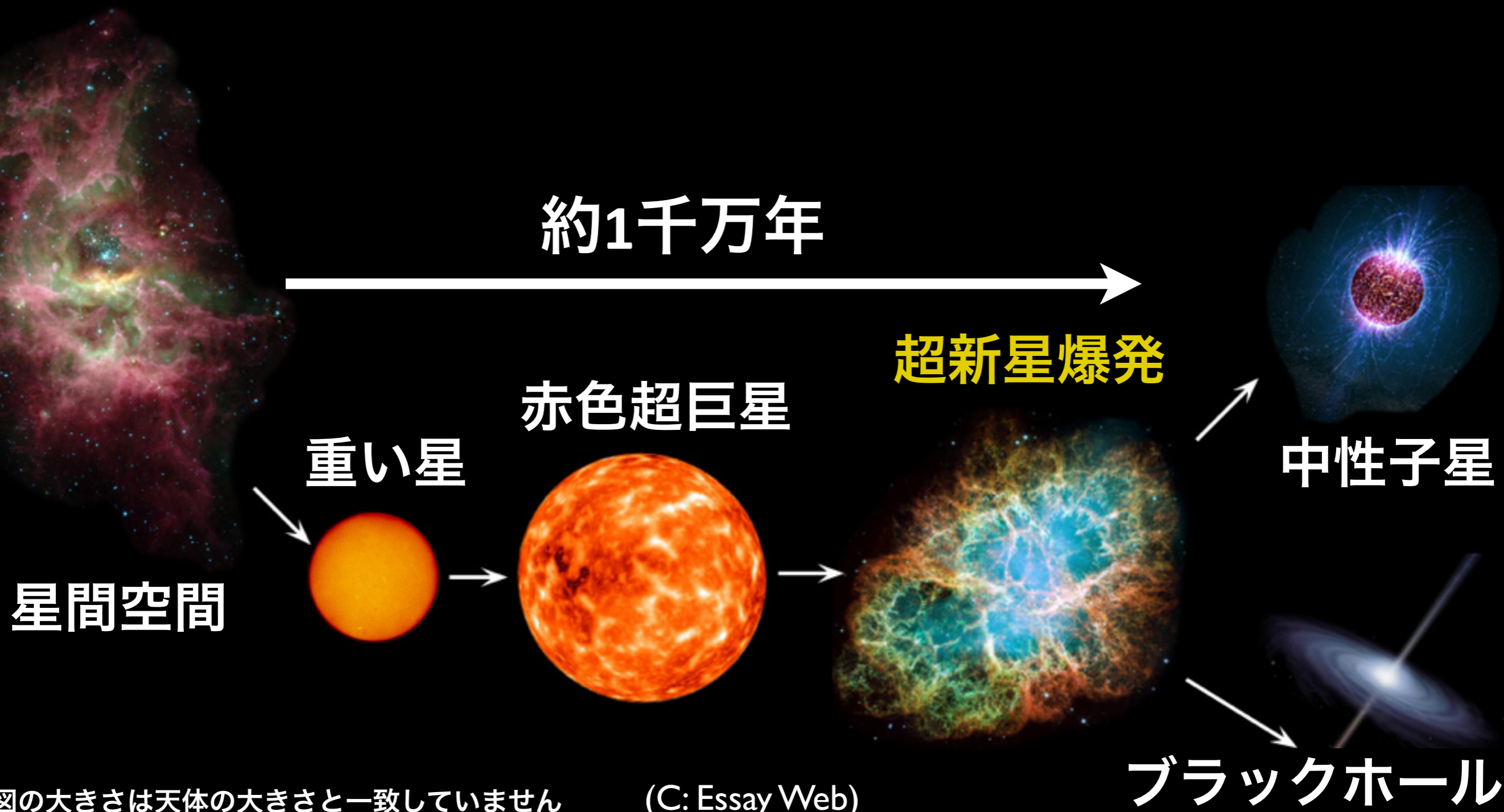
- 理想気体のガス圧
- 電子の縮退圧 (非相対論的)
- 電子の縮退圧 (超相対論的)
- 輻射圧

がそれぞれ支配的になる境界を求め、図示せよ

3-5. 太陽の中心温度を  $T = 10^7$  K、中心密度を  $\rho \sim 150 \text{ g cm}^{-3}$  として、  
1 Msun と 10 Msun の星の中心部の進化を密度-温度平面に示せ。  
ただし、進化でコアの質量が変化する効果は無視して良い。

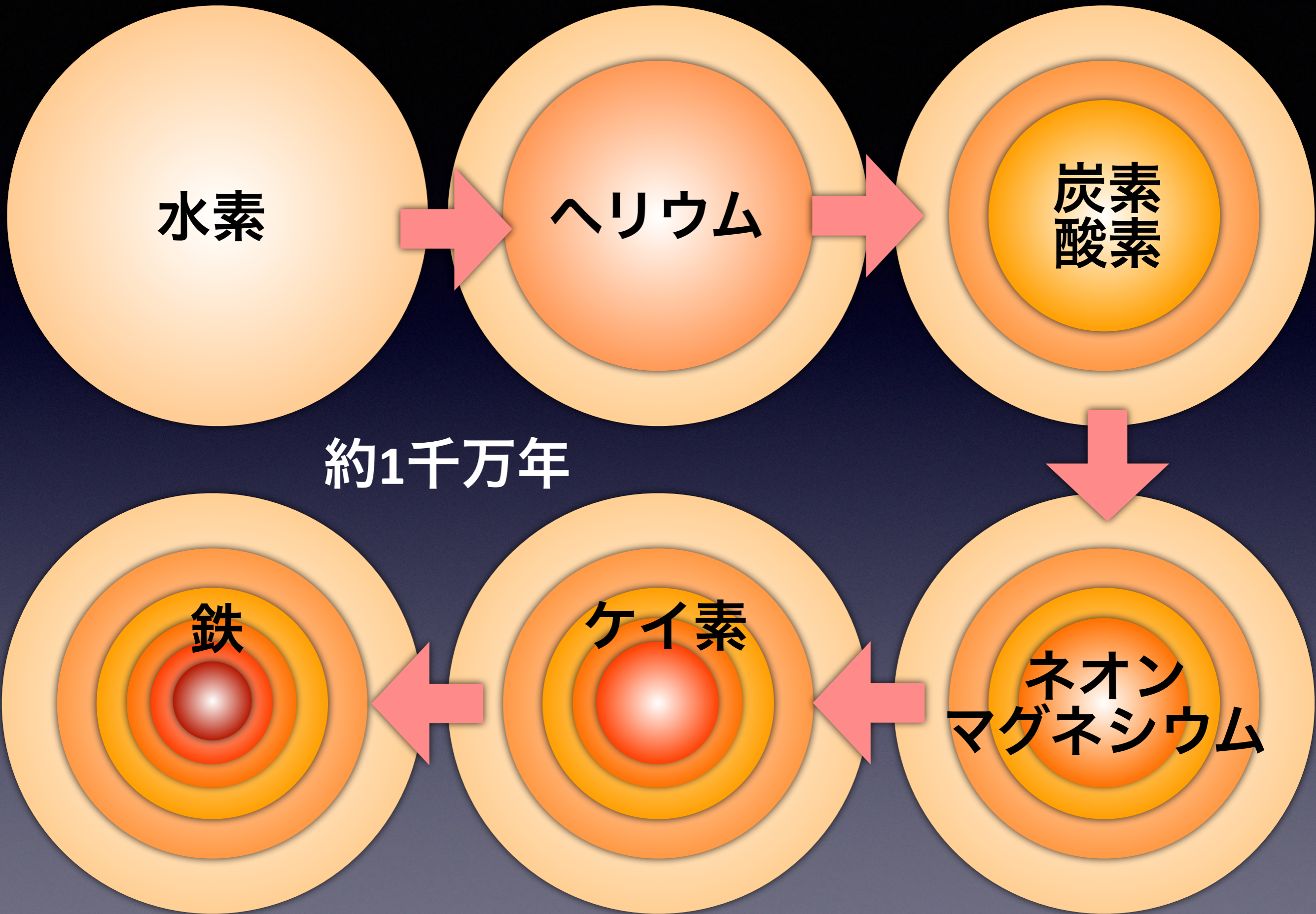
# 1. 重い星の場合

\* 太陽の10倍以上



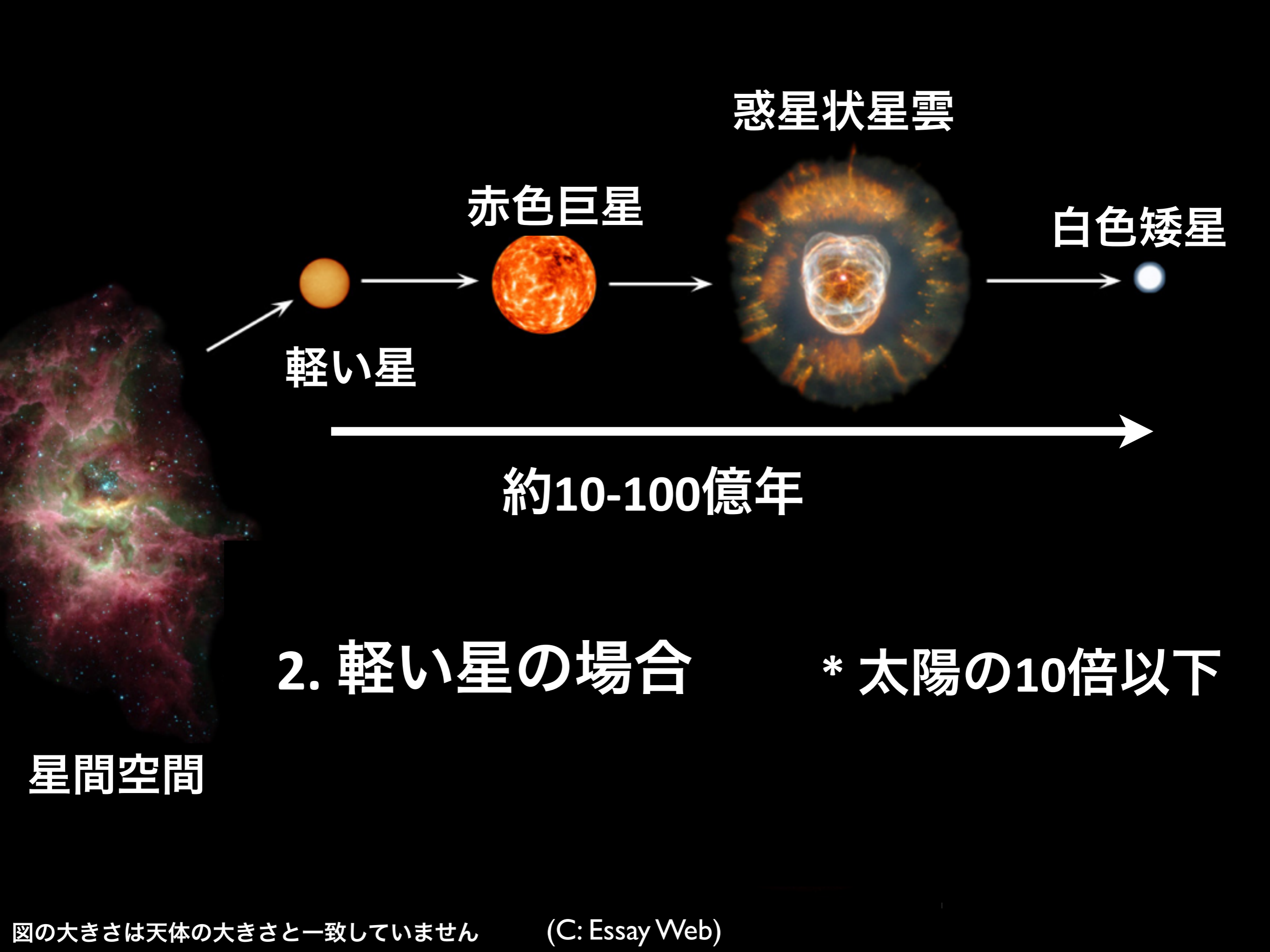
図の大きさは天体の大きさと一致していません

(C: Essay Web)



図の大きさは天体の大きさと一致していません

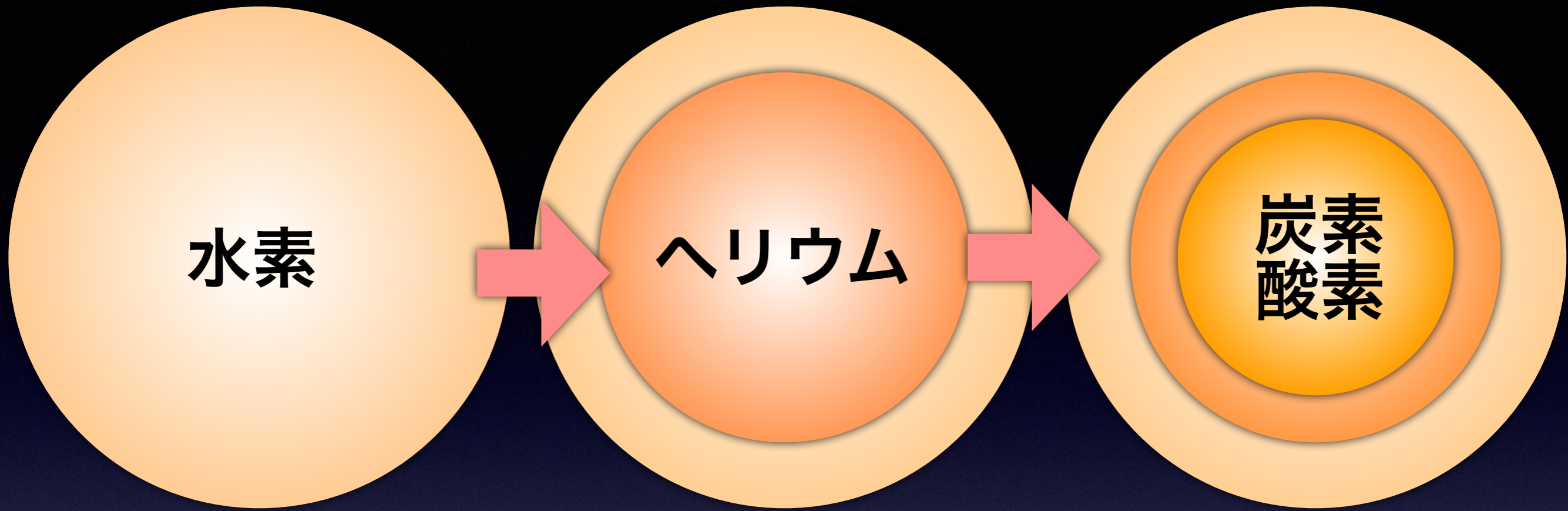




## 2. 軽い星の場合

\* 太陽の10倍以下

星間空間



水素

ヘリウム

炭素  
酸素

約10-100億年

何も起きない

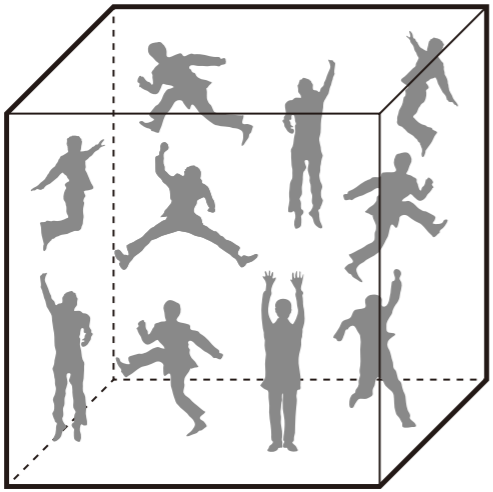
炭素  
酸素

白色矮星

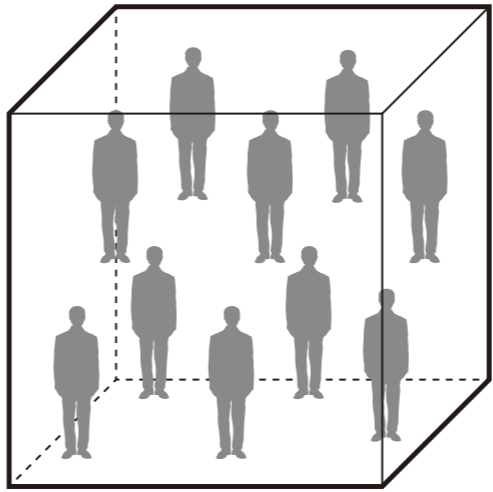
# 白色矮星: 縮退圧で支えられた星

普通の気体の圧力

## Ideal gas



温度を下げる  
→  
T decreases



圧力が下がる

縮退圧

## Degeneracy pressure

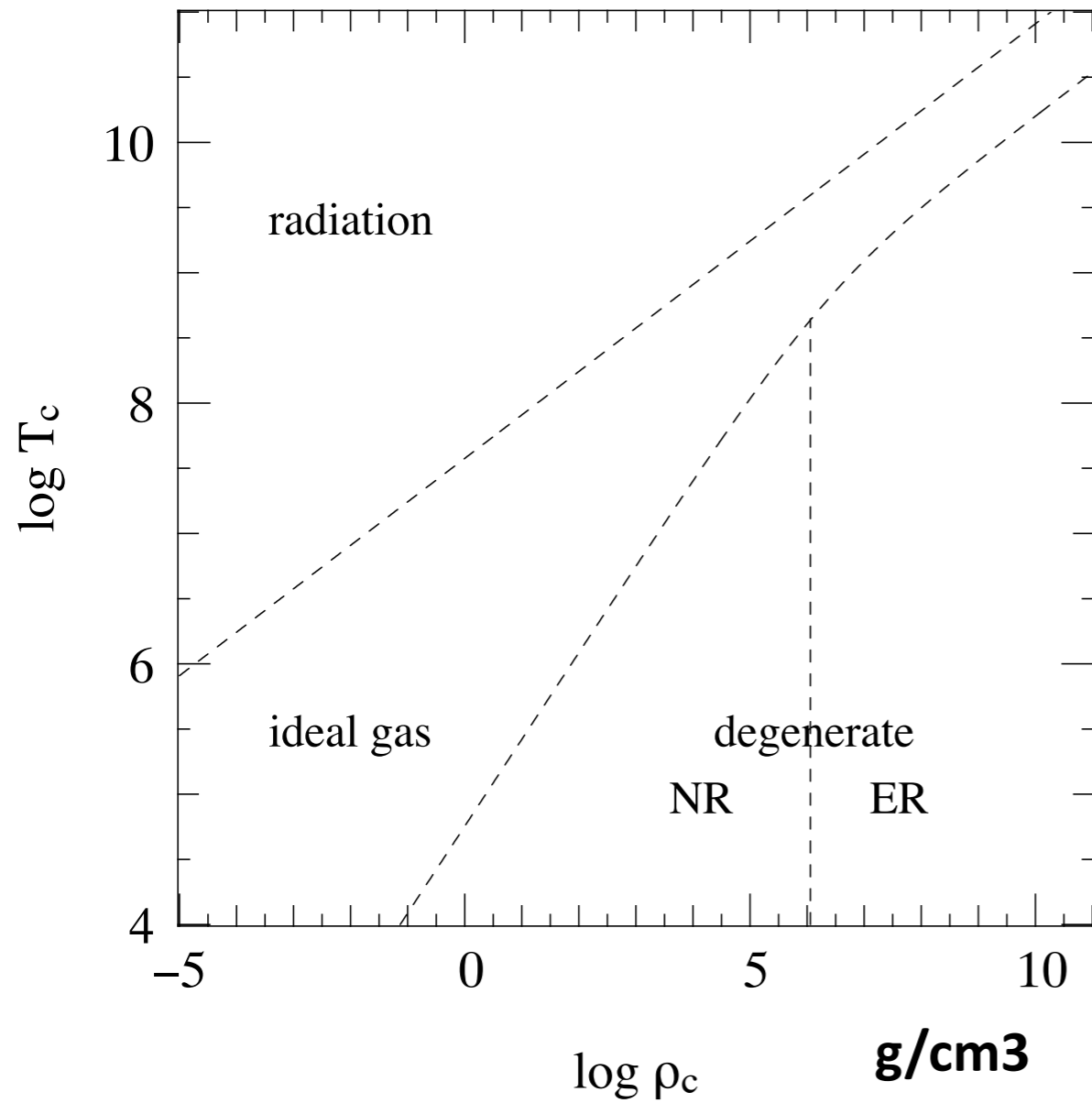


温度がゼロでも圧力が生まれる

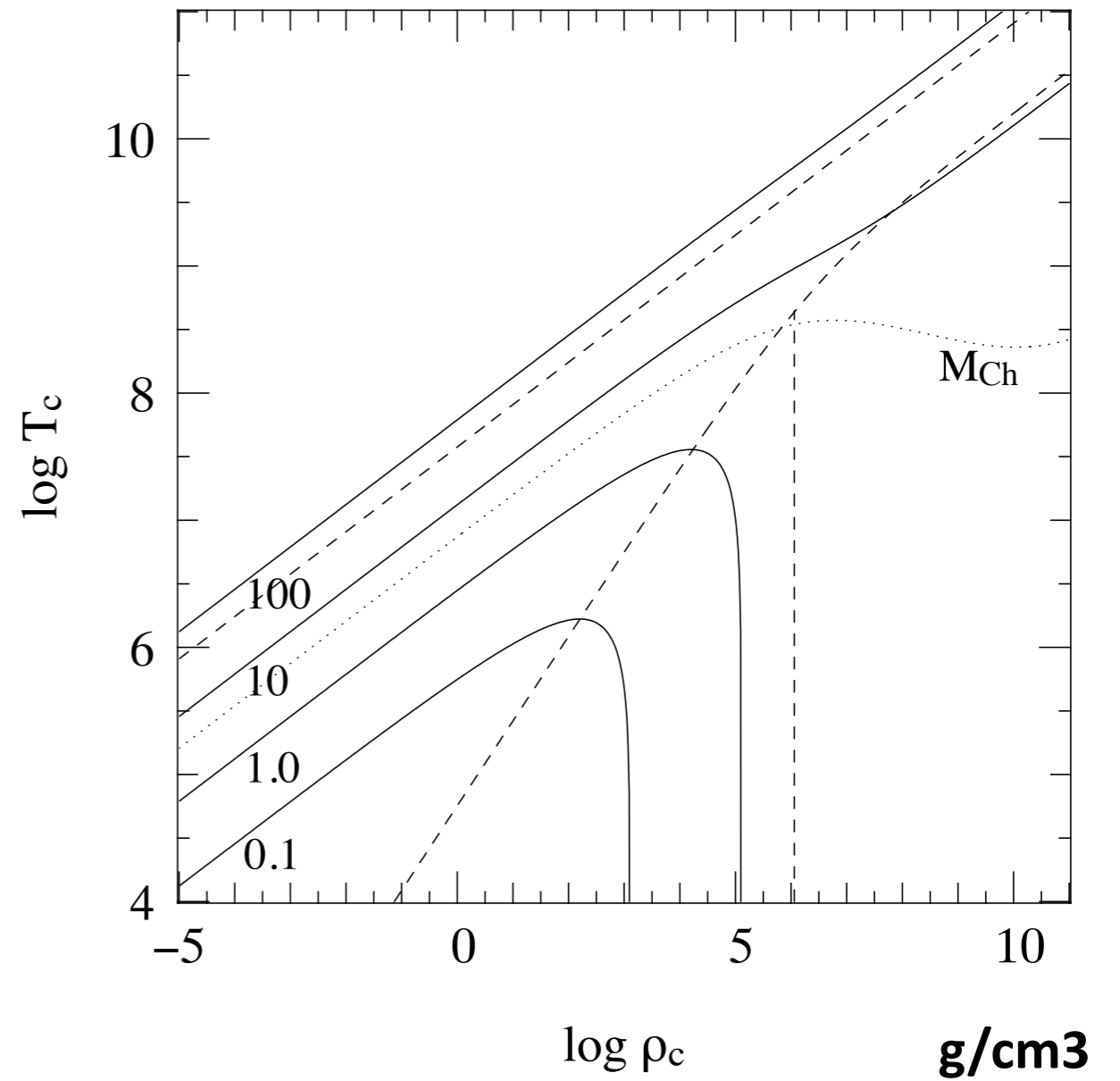
温度がゼロでも  
圧力はゼロにならない

星が「死ぬ」とはどういうことか  
(ベレ出版)

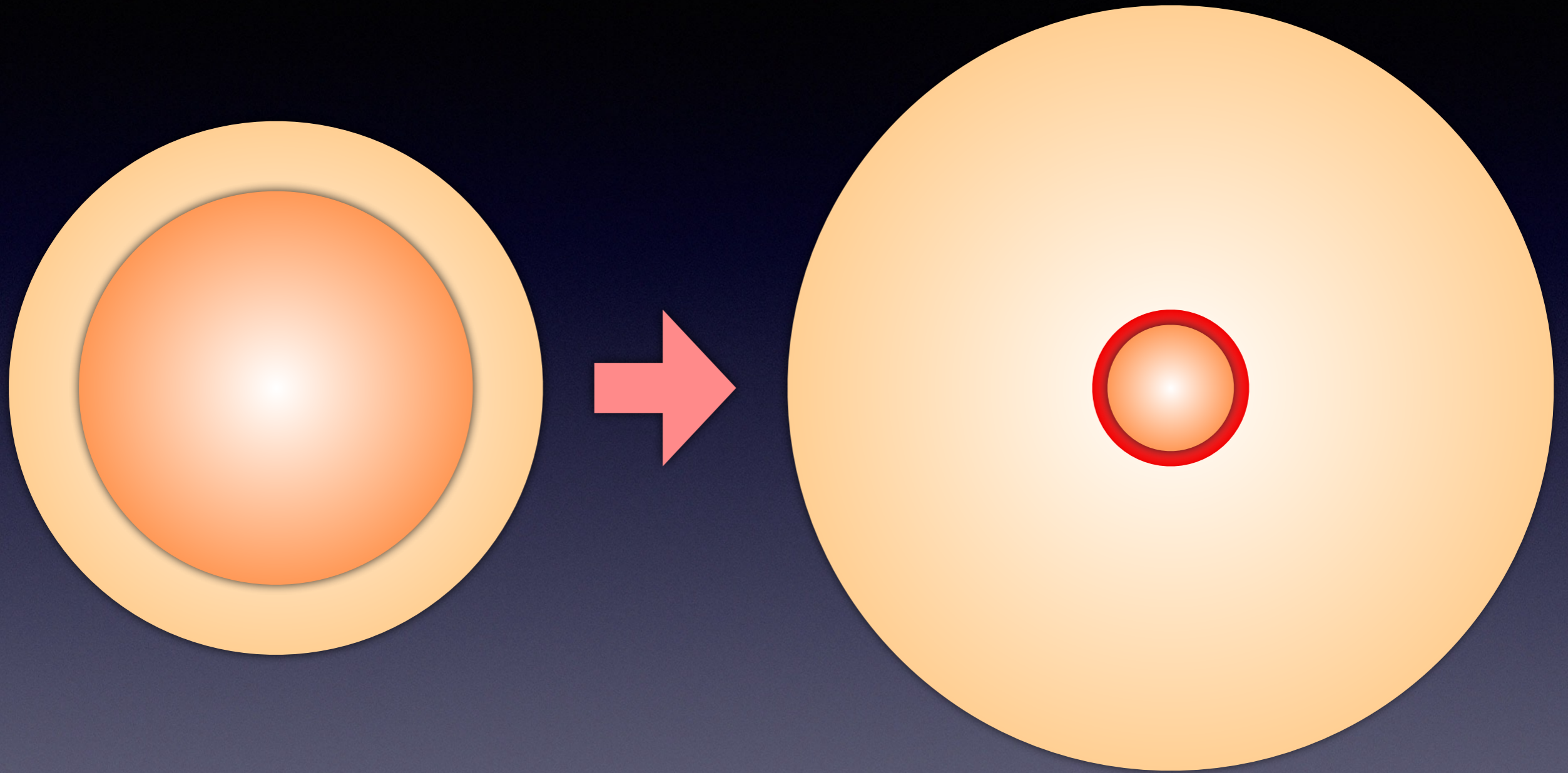
### 状態方程式



### 進化経路の概略

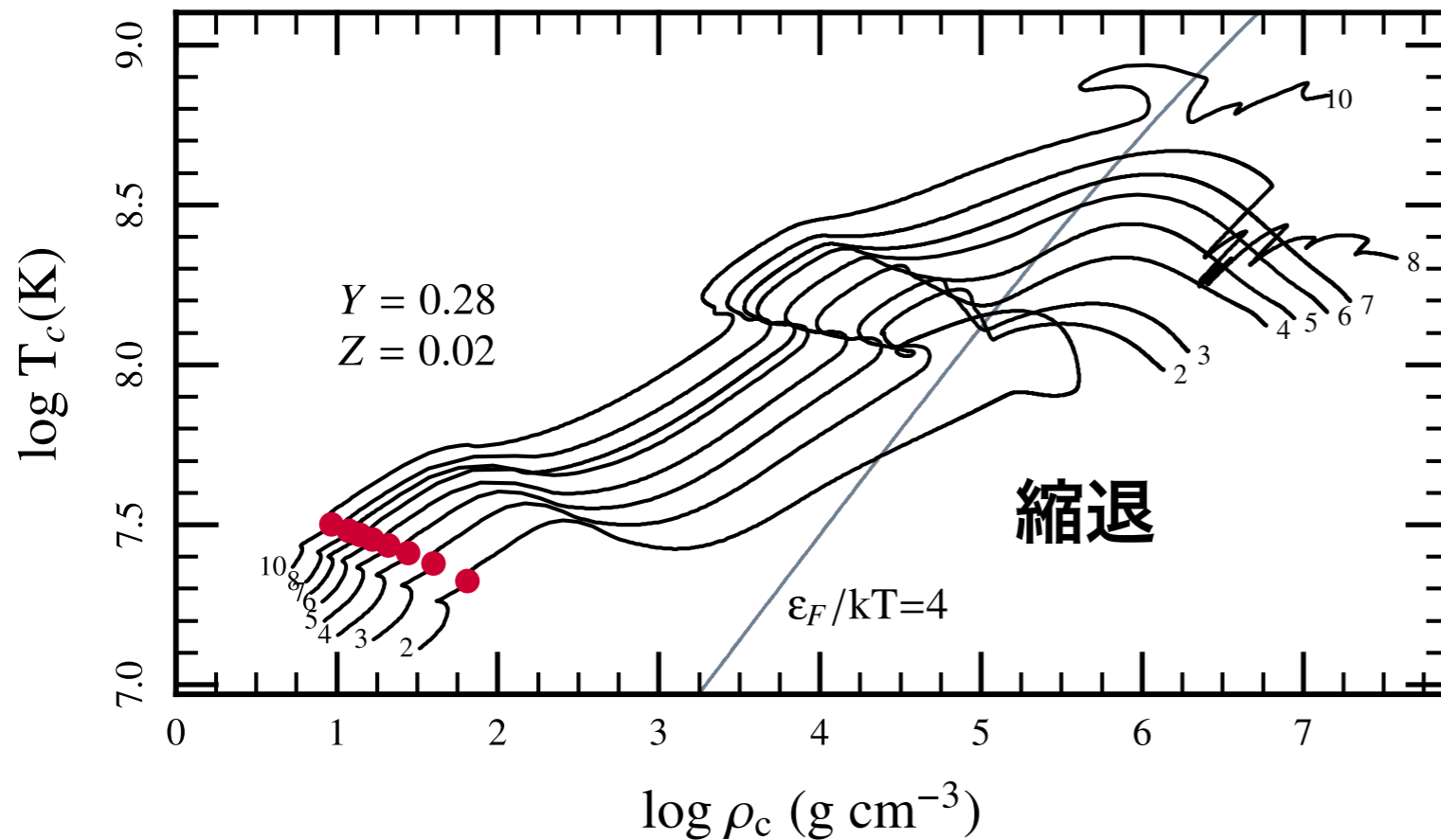
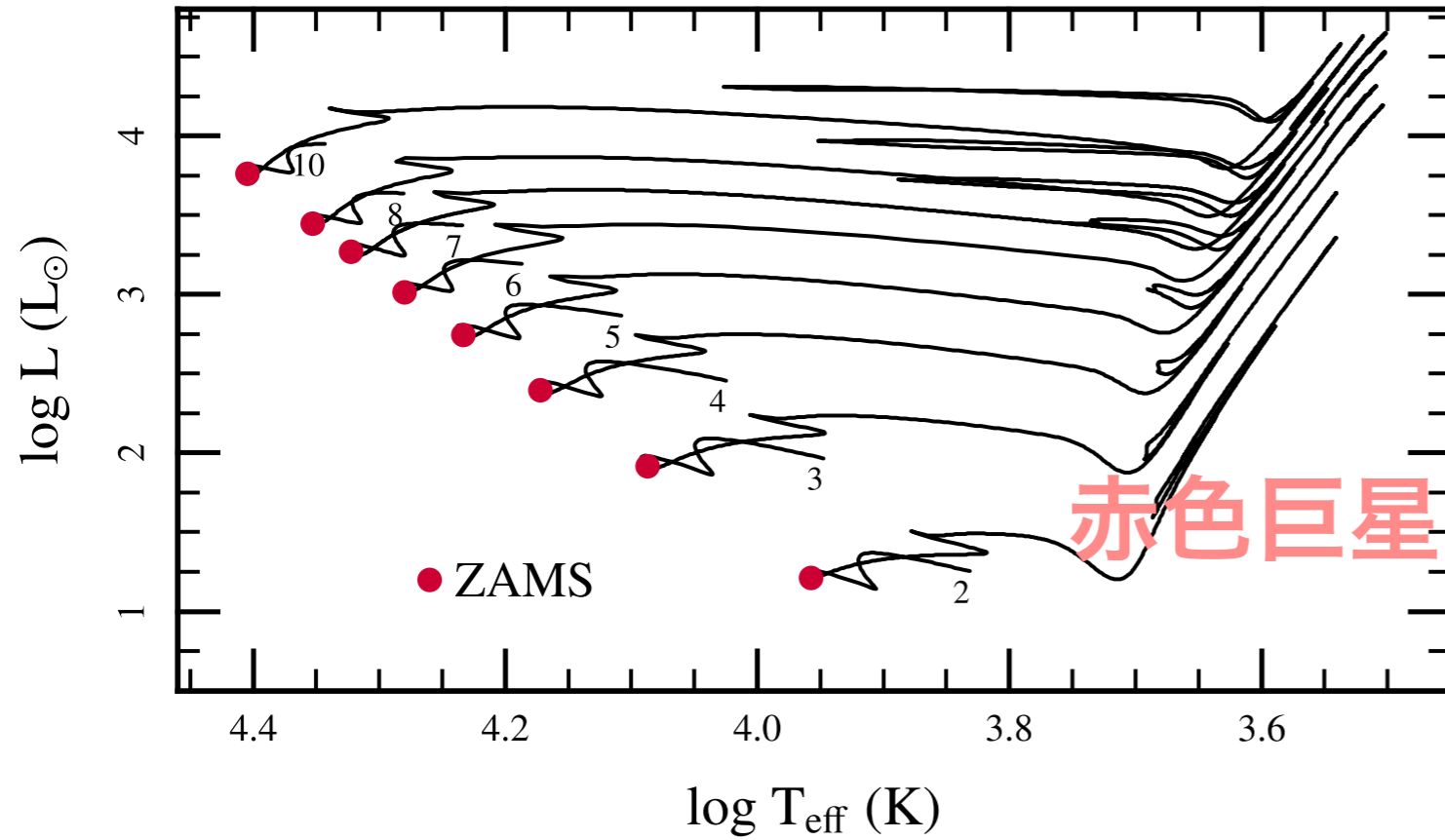


コアが収縮 => 外層は膨張

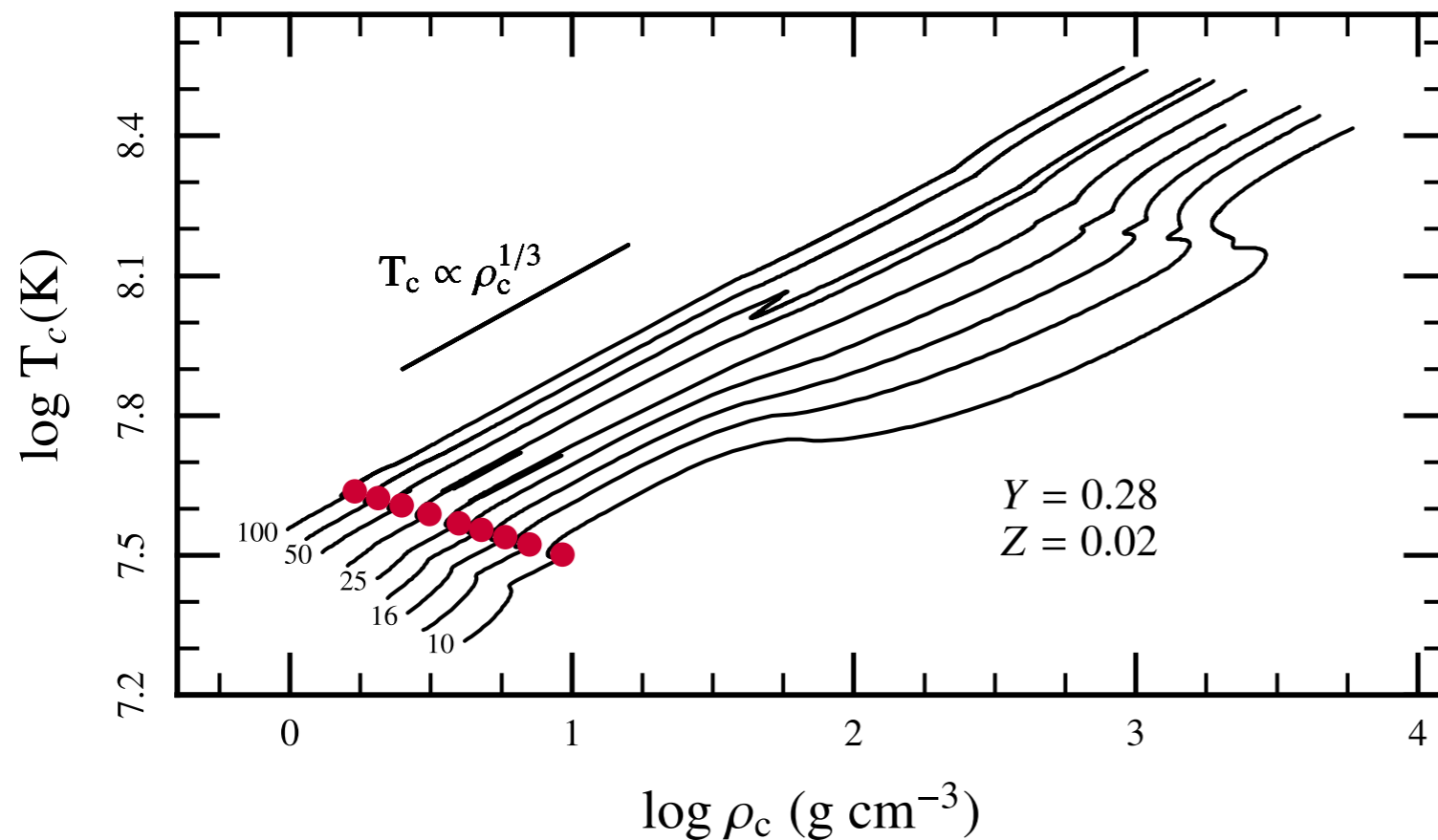
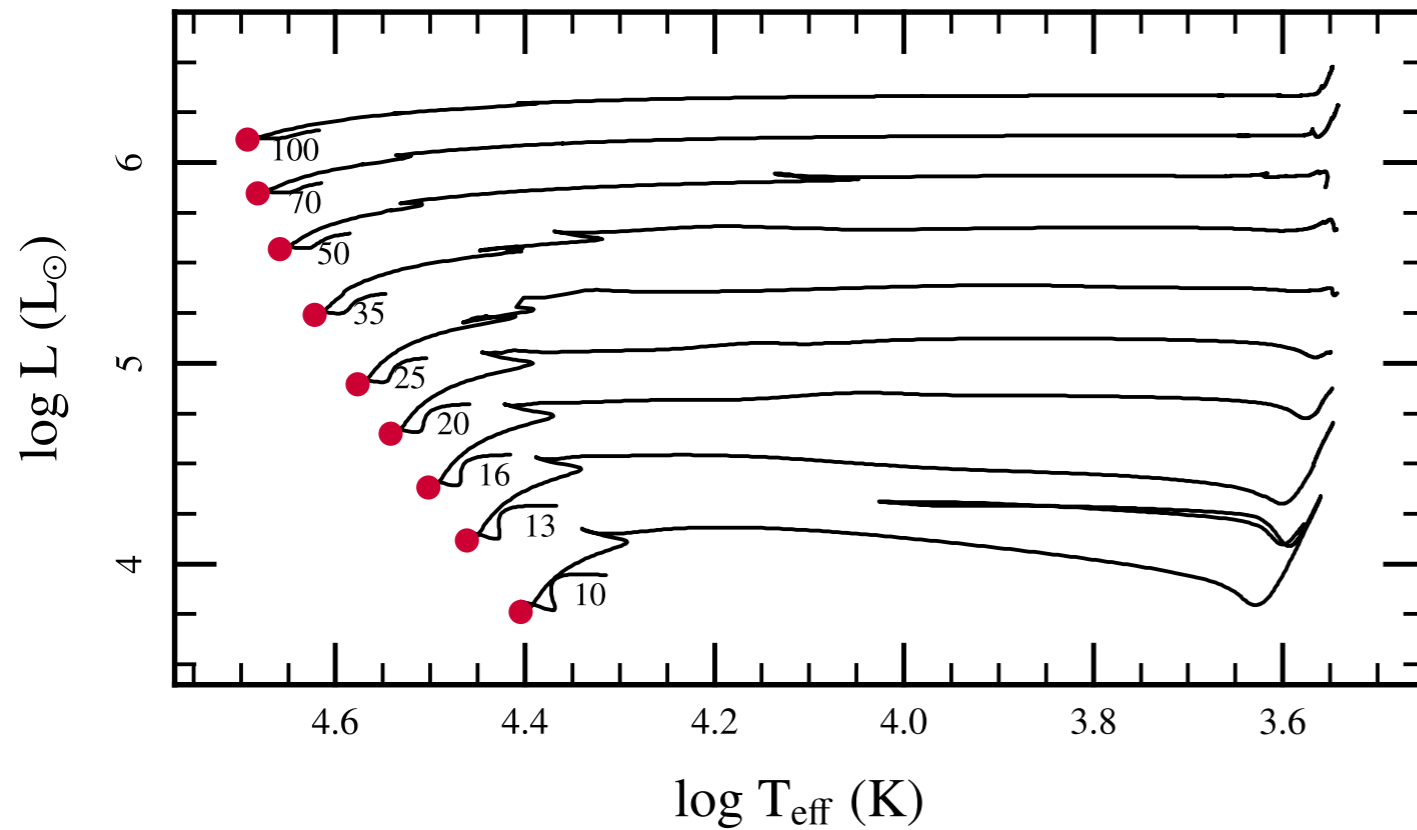


表面温度が下がる => 「赤色巨星」

# 低・中質量星の進化

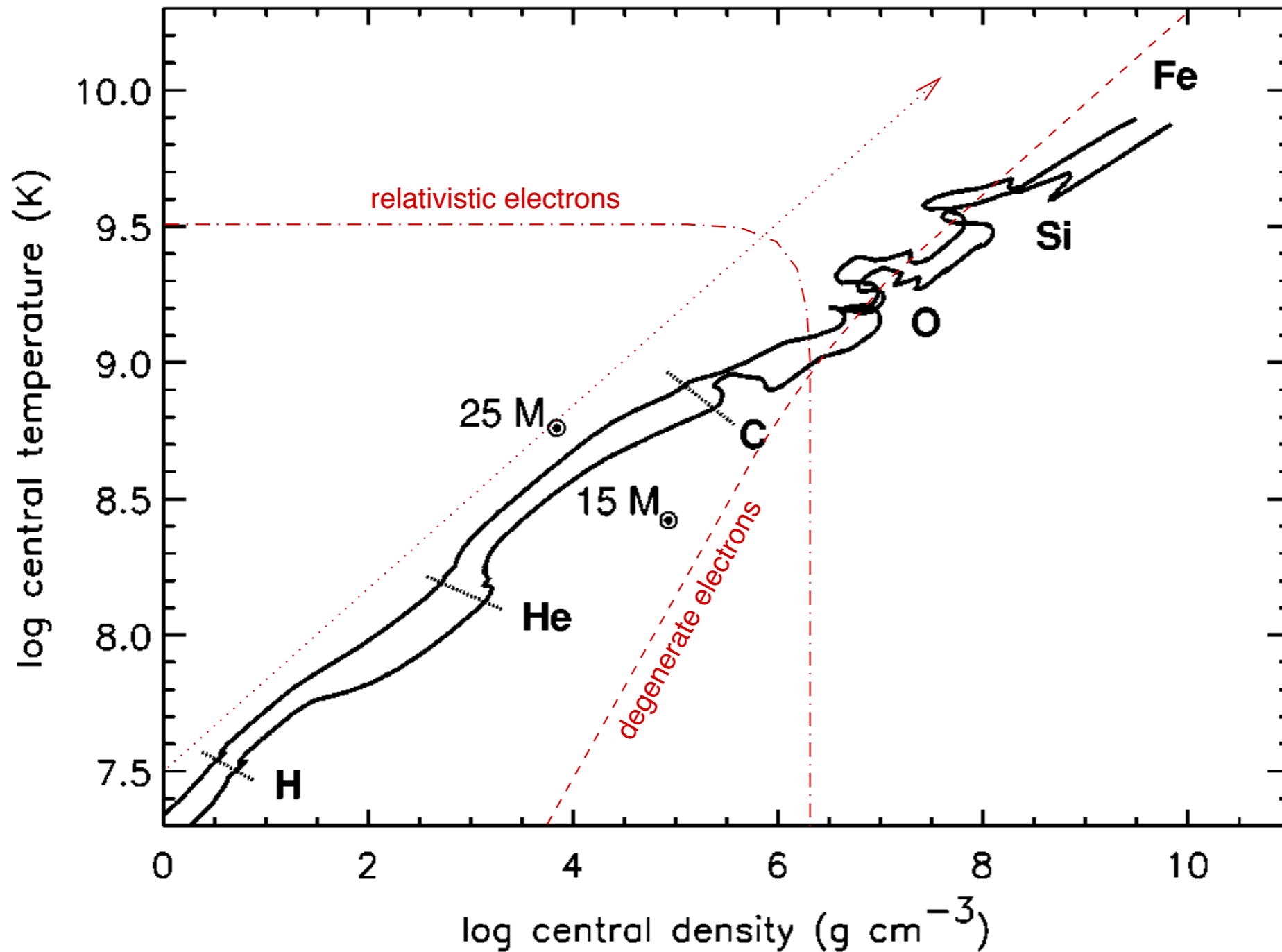


# 大質量星の進化 (ヘリウム燃焼まで)



# 大質量星の進化 (ケイ素燃焼まで)

Finally degeneracy pressure  
becomes important





# まとめ

- ガスのミクロな性質 => 星のマクロな性質

- 状態方程式

- 理想気体  $P \sim \rho T$
- 縮退圧  $P \sim \rho^{5/3}$  (non-rel)、 $P \sim \rho^{4/3}$  (rel)
- 輻射圧  $P \sim T^4$

=> rho-T 平面の異なる領域で重要に

- 星の進化

- 低質量星: 縮退圧で支えられる => 収縮しない  
=> 温度が上がらない => 核融合の終わり
- 大質量星: 鉄まで核融合が続く