



<http://saga.sci.hokudai.ac.jp/>

<http://astro.keele.ac.uk/saga/> (UK mirror)

# AGB星進化で探る初期宇宙における 質量関数の変遷

---

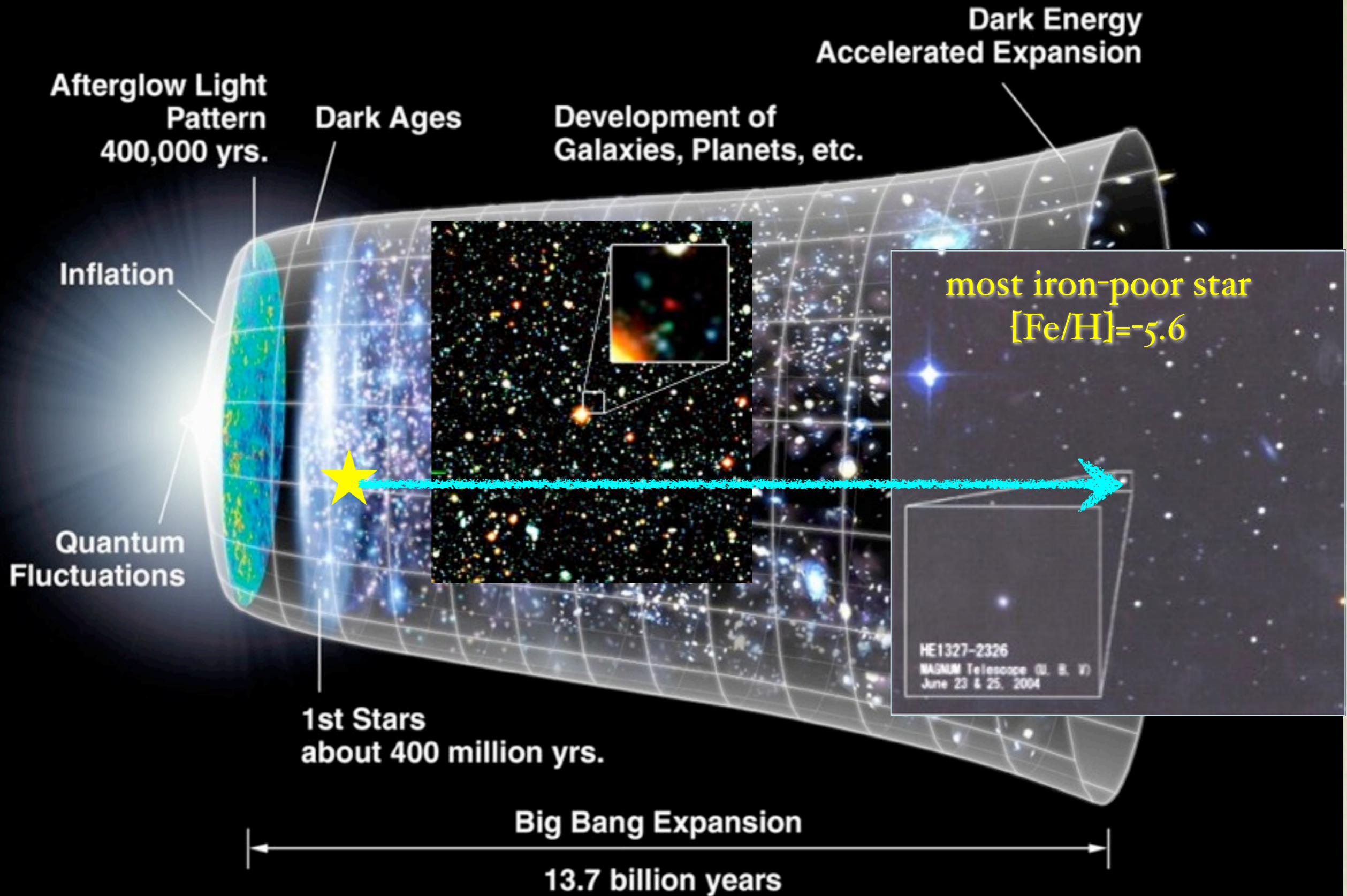
須田 拓馬<sup>1</sup>

山田 志真子<sup>1</sup>, 勝田 豊<sup>1</sup>, 小宮 悠<sup>2</sup>, 青木 和光<sup>2</sup>, 藤本 正行<sup>1</sup>

1: 北海道大学

2: 国立天文台

# Near Field Cosmology



# Near Field Cosmology with AGB Stars

理論と観測の架け橋：銀河系内ハローの超金属欠乏星

EMP星 (Extremely Metal-Poor Stars) :  $[Fe/H] \leq -2.5$

- ★宇宙初期に誕生、現在まで生存( $< \sim 0.8 M_{\odot}$ )
- ★宇宙初期の星形成と進化
- ★初代星及び初代超新星の性質
- ★銀河系形成過程、化学進化

【金属量、元素組成】

$$[X/Y] = \log(n_X/n_Y) - \log(n_X/n_Y)_{\odot}$$

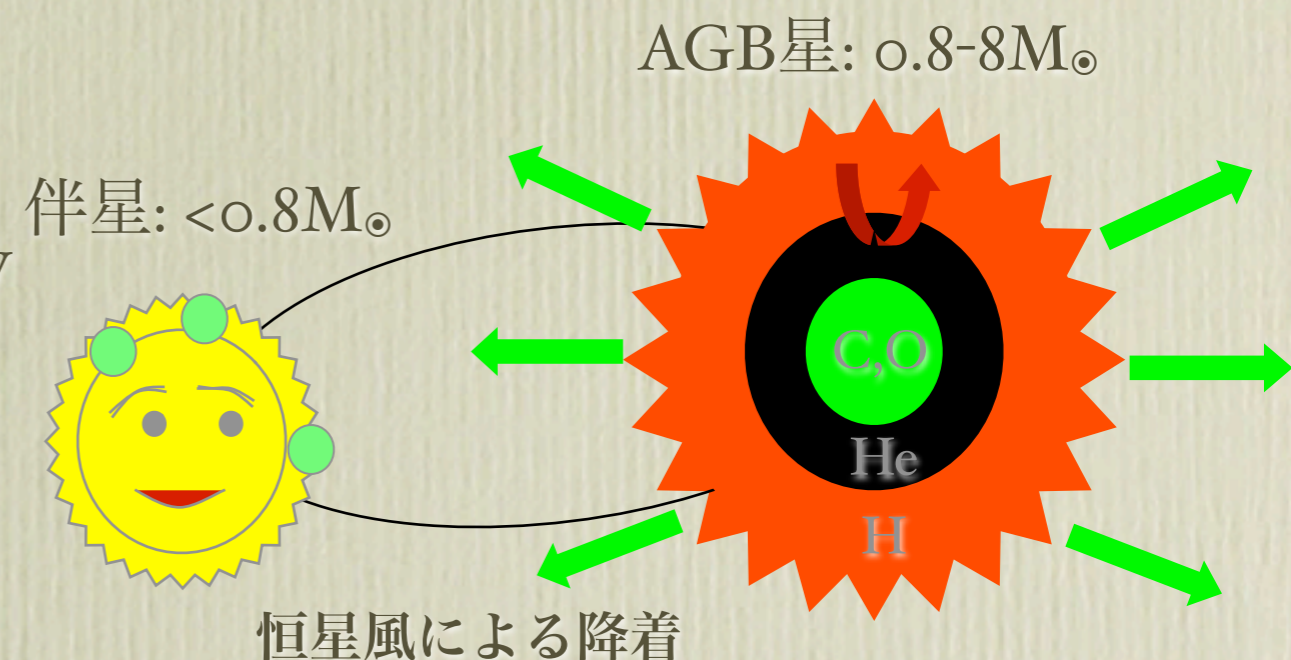
ex)  $[Fe/H] = 0$  : solar metallicity  
 $= -\infty$  : Pop. III

元素汚染シナリオ：連星間質量輸送、超新星爆発

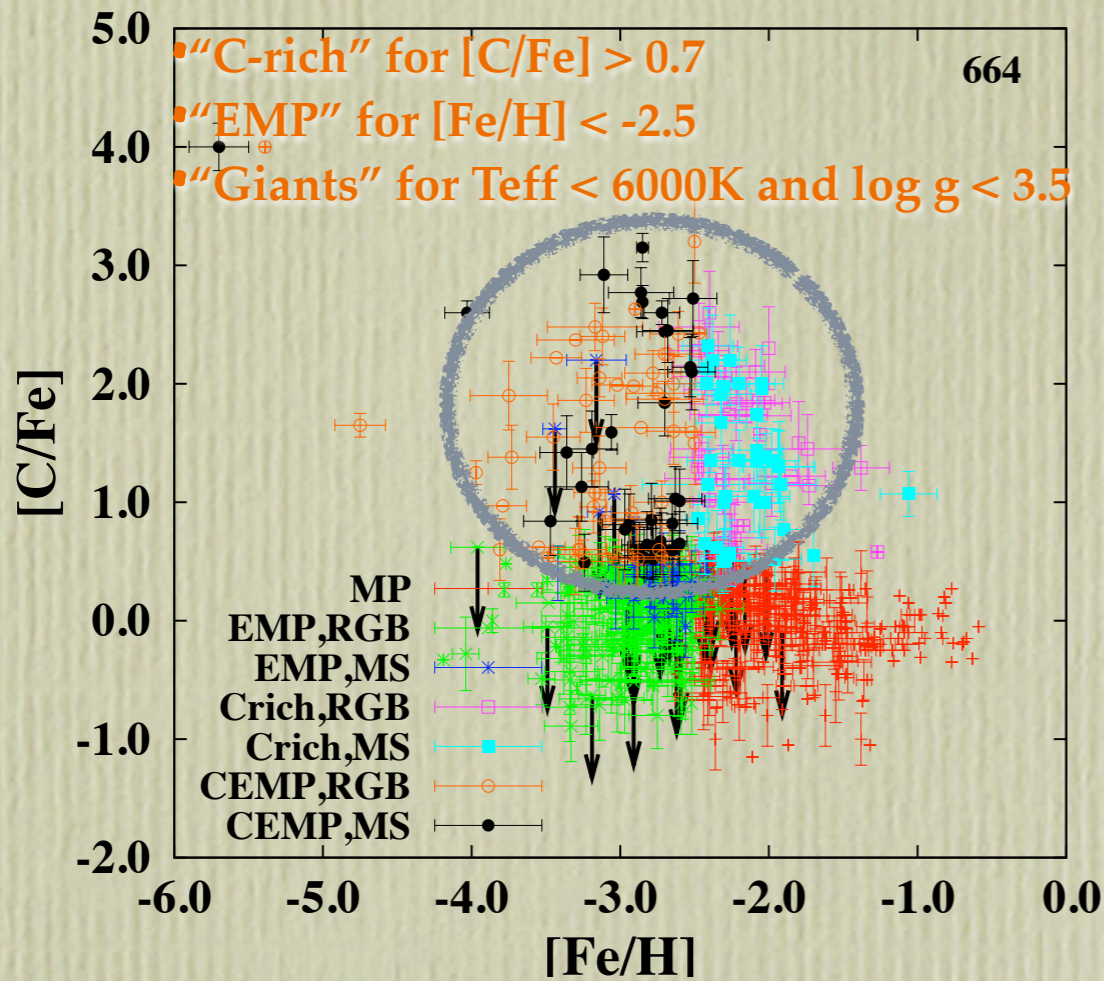
超新星爆発：鉄族元素の生成

AGB星：炭素、s過程元素

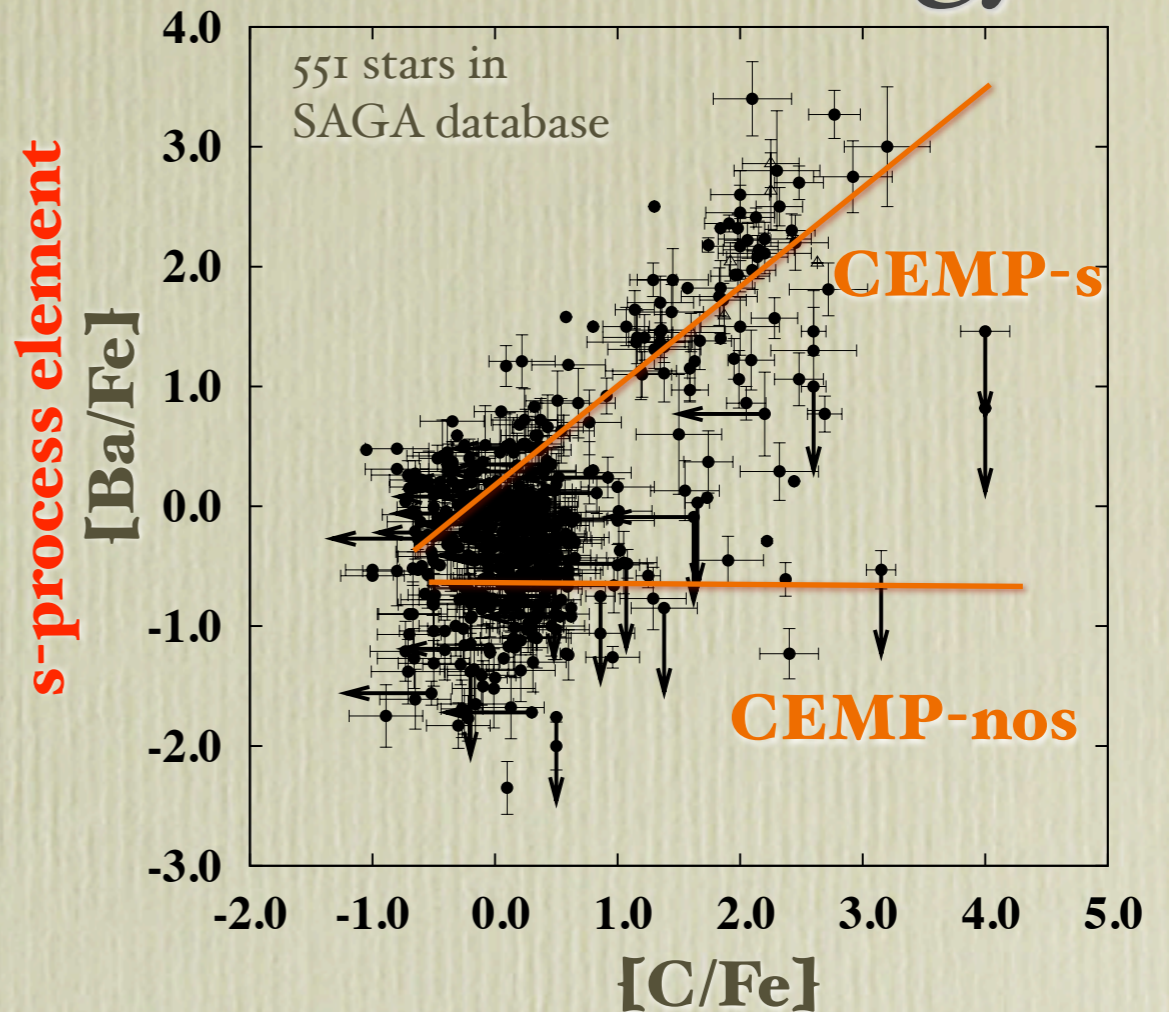
- ★CEMP星 (Carbon-enhanced Extremely Metal-Poor Stars) :  $[C/Fe] \geq 0.7$
- ★CEMP-s, CEMP-nos : s過程元素過剰有り/無し



# Introduction: Near Field Cosmology



Data from SAGA database (Suda et al. 2008)



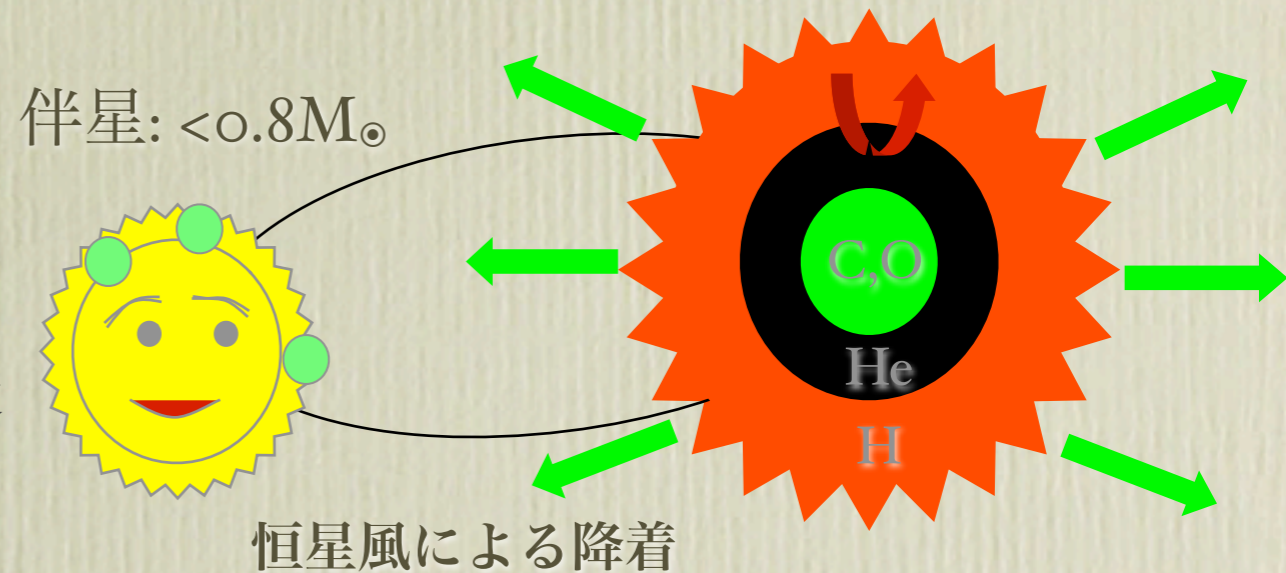
AGB星:  $0.8-8M_{\odot}$

★種族I, II星と比べてCEMP星の割合が大きい。

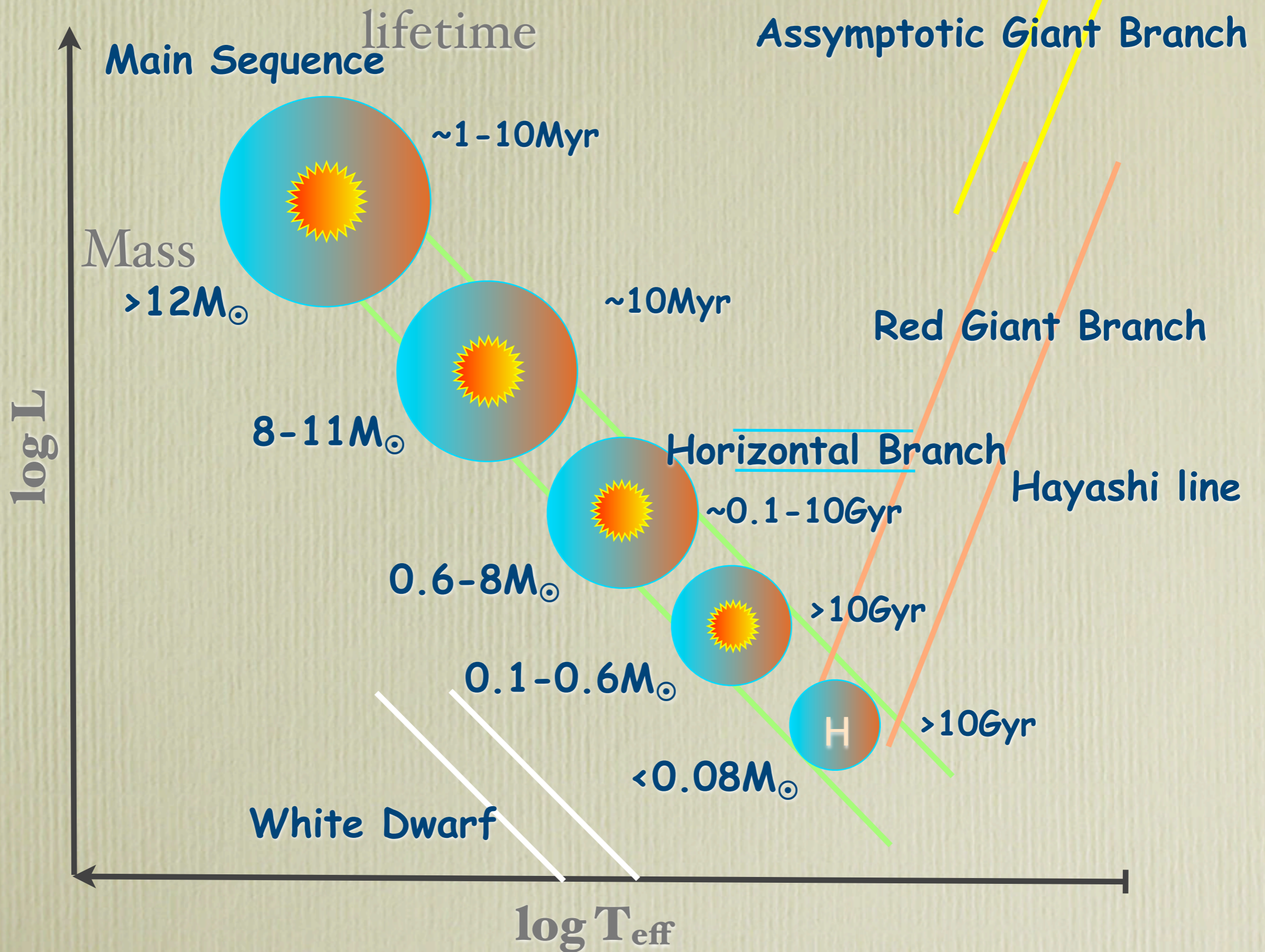
★~20% for  $[Fe/H] \leq -2$ , <1% for  $[Fe/H] \geq -2$

★CEMP-sの起源: AGB星からの質量輸送

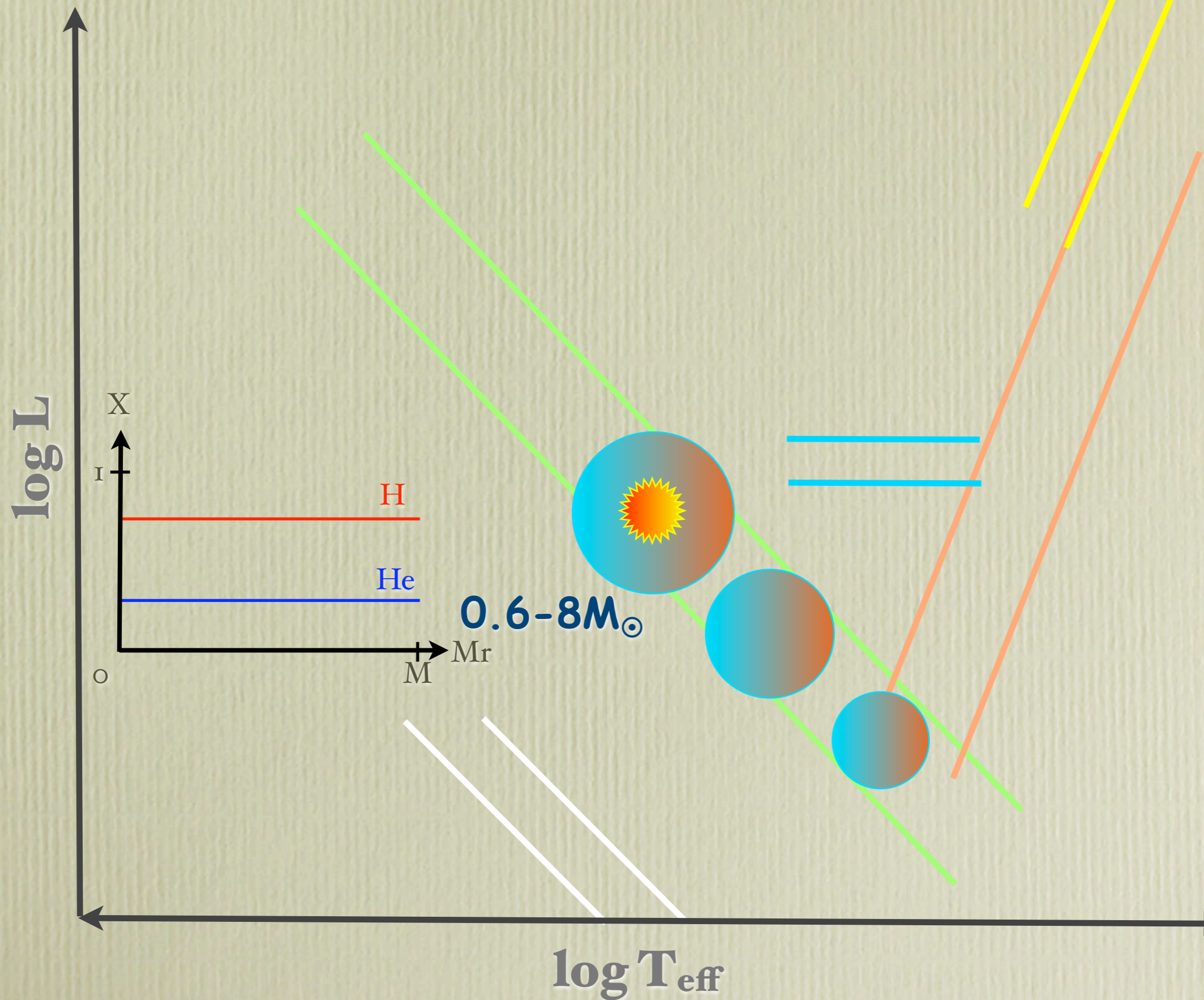
★CEMP-nosの起源: 不明 (AGB星起源?)



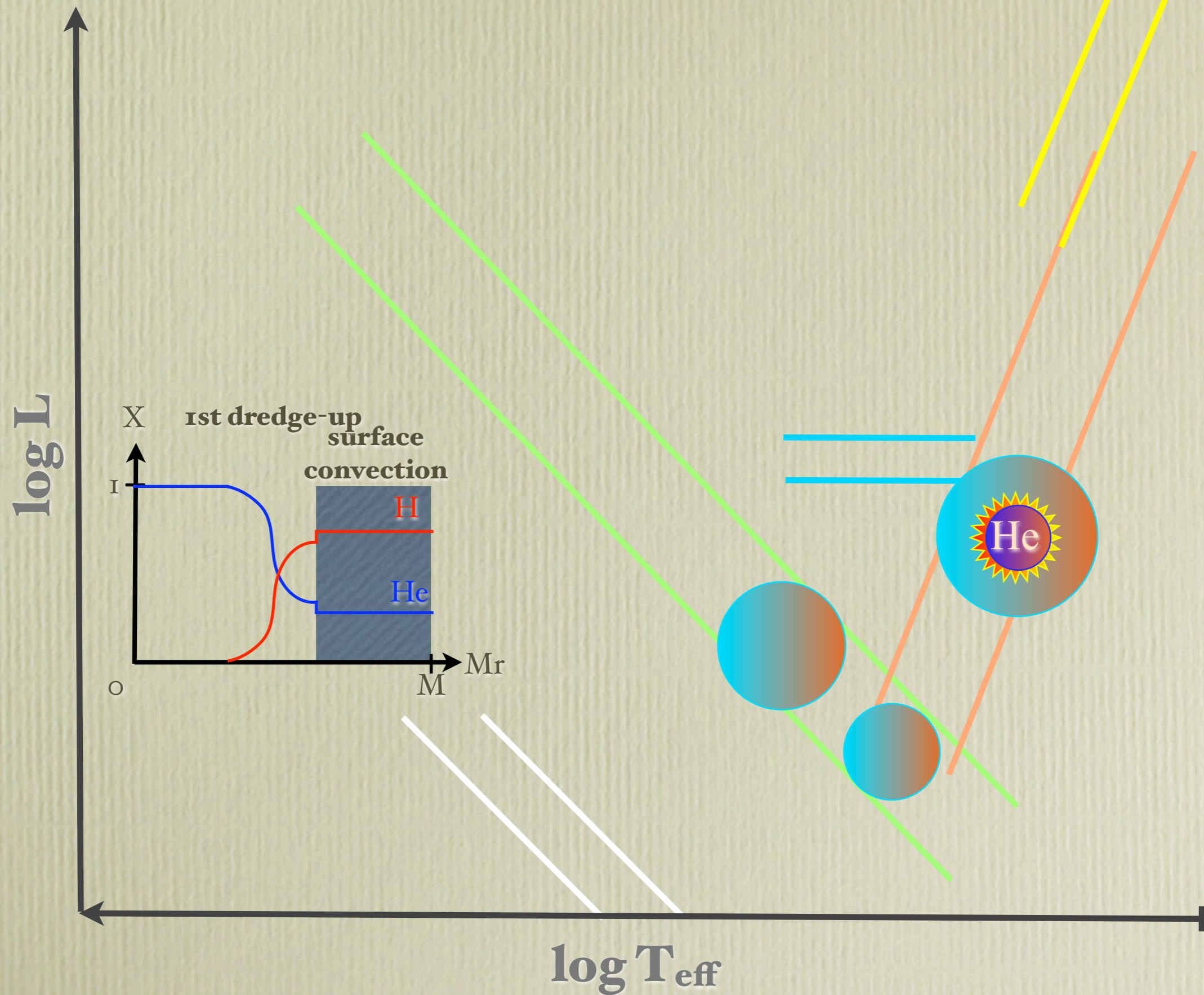
# Stellar Structure and Evolution - H-R Diagram



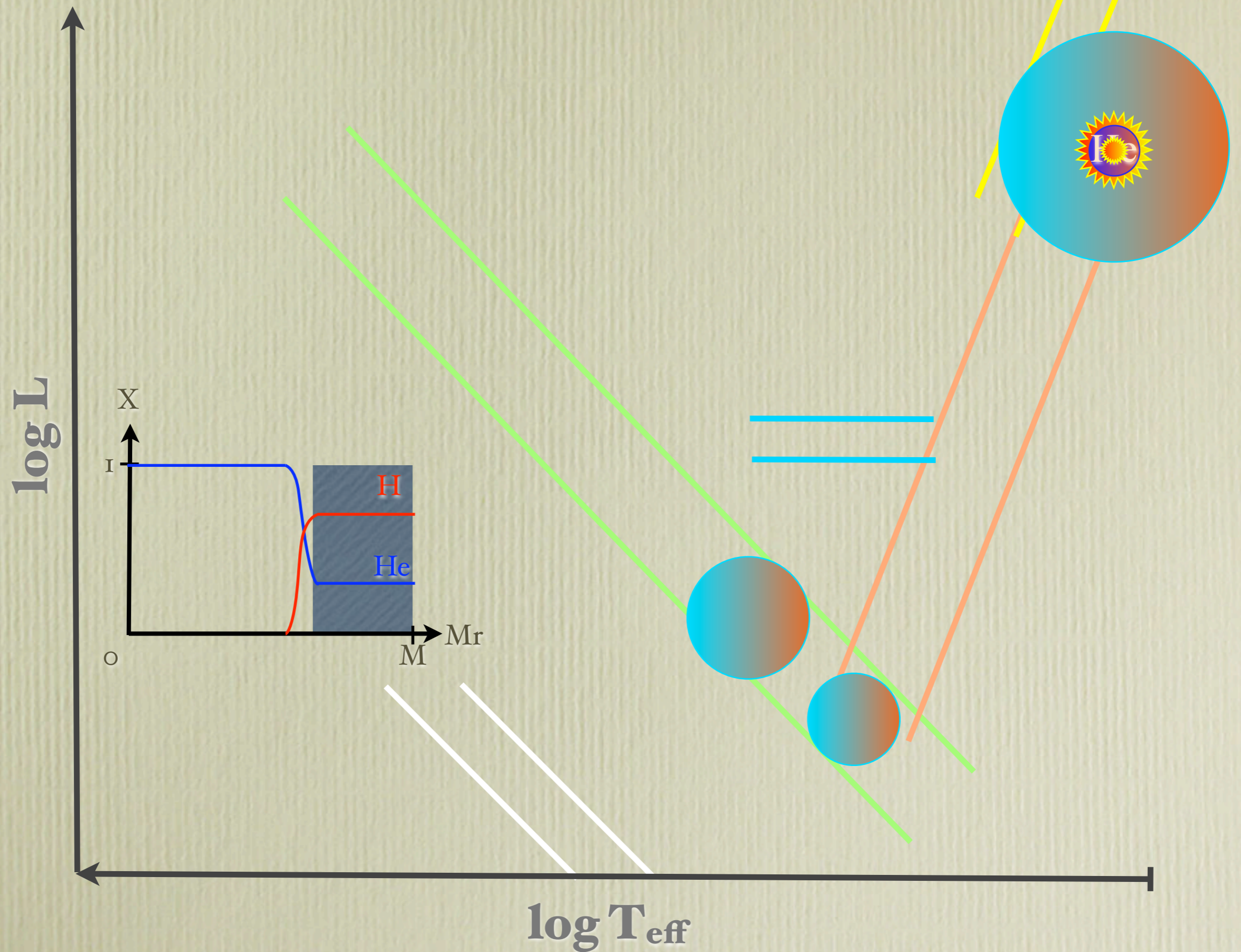
# Evolution of Low- and Intermediate-Mass Stars



# Evolution of Low- and Intermediate-Mass Stars

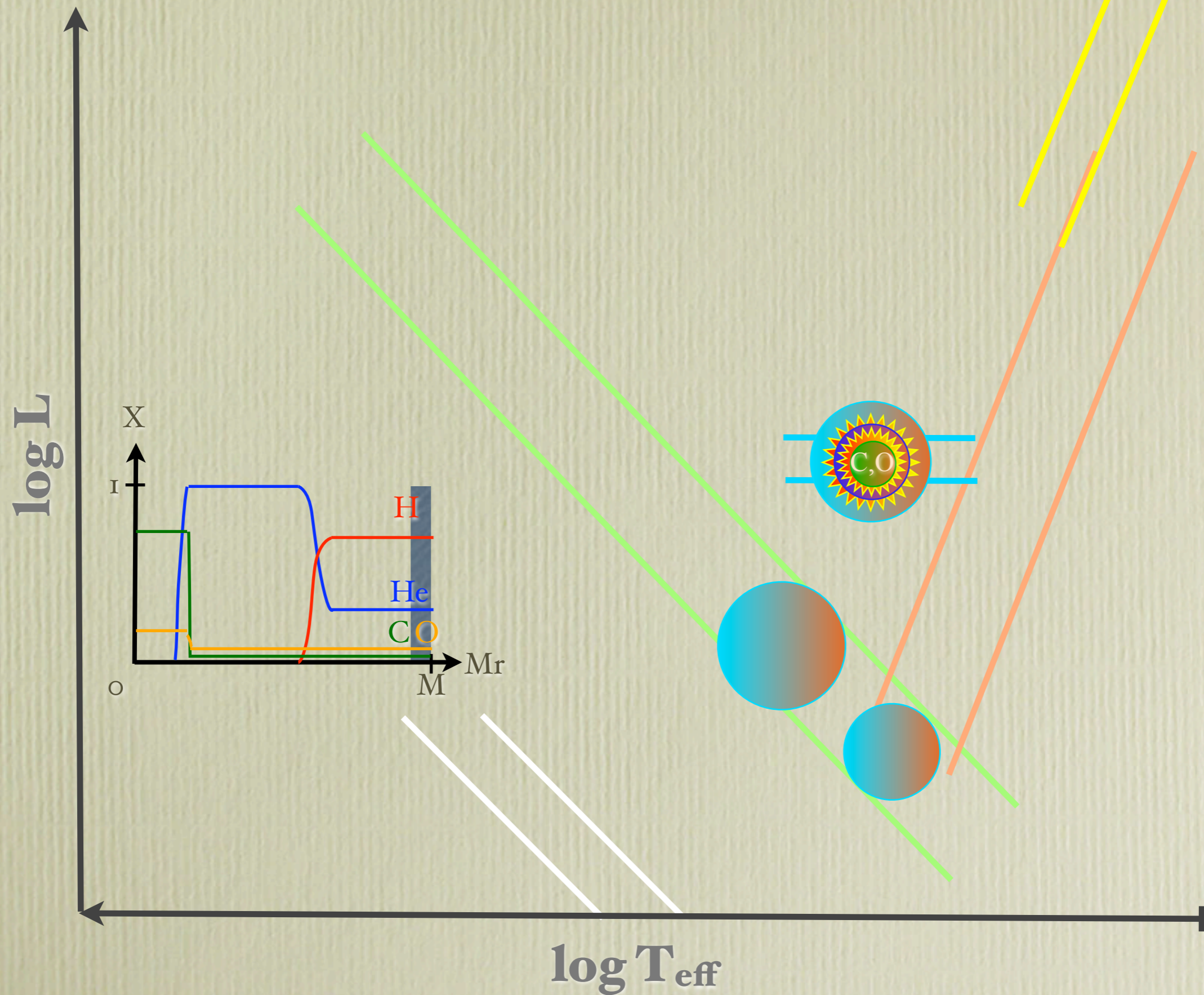


# Evolution of Low- and Intermediate-Mass Stars

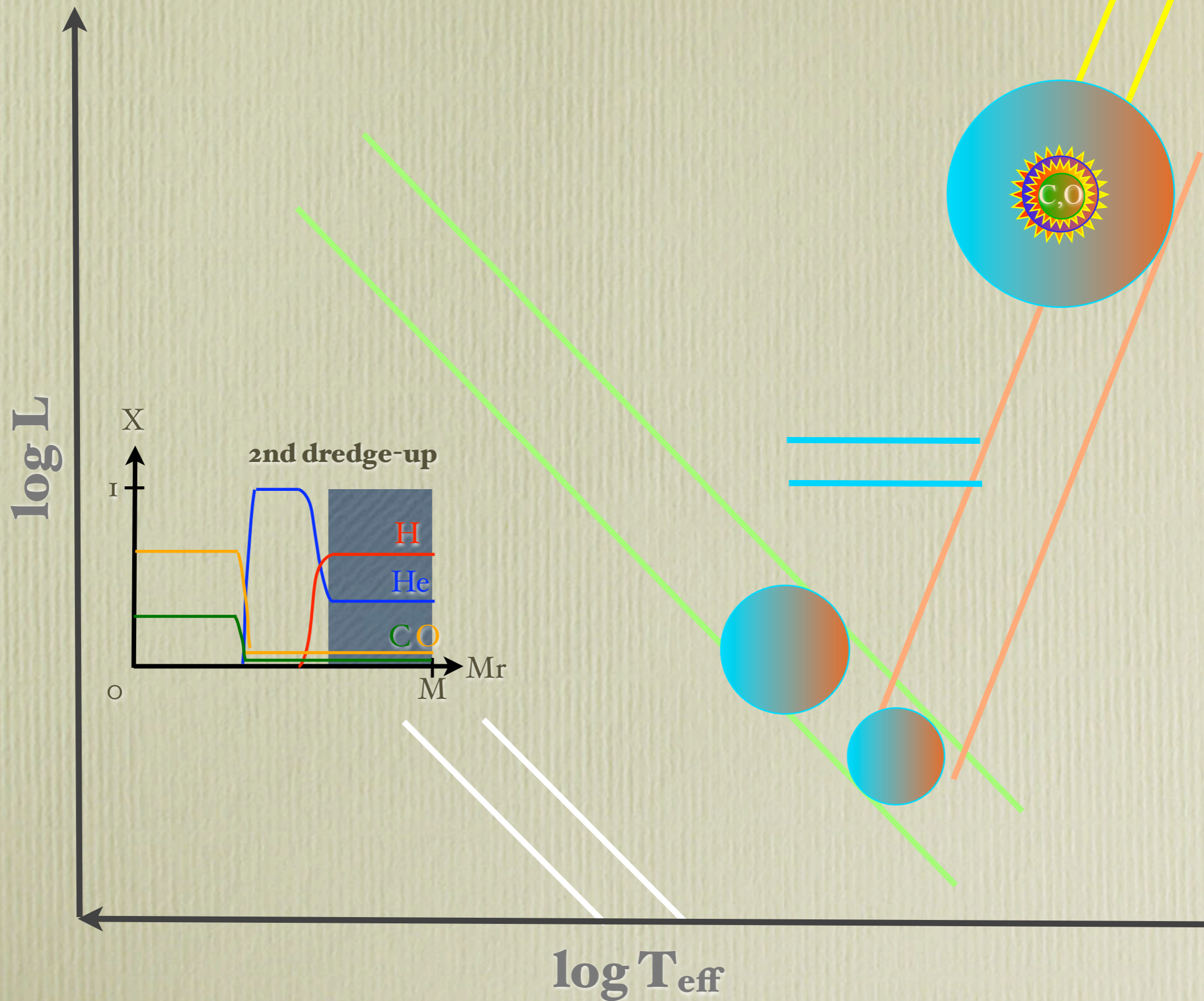




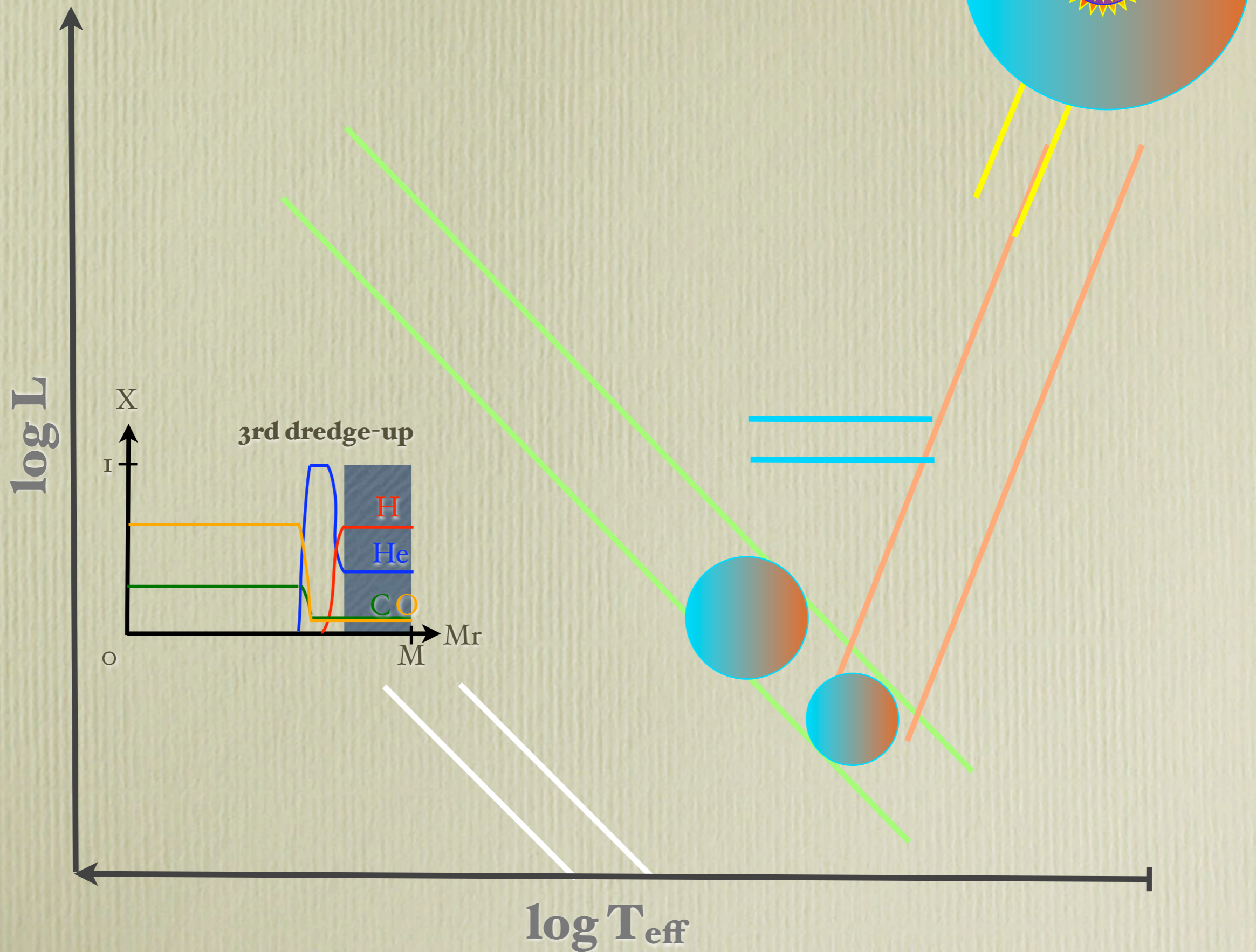
# Evolution of Low- and Intermediate-Mass Stars



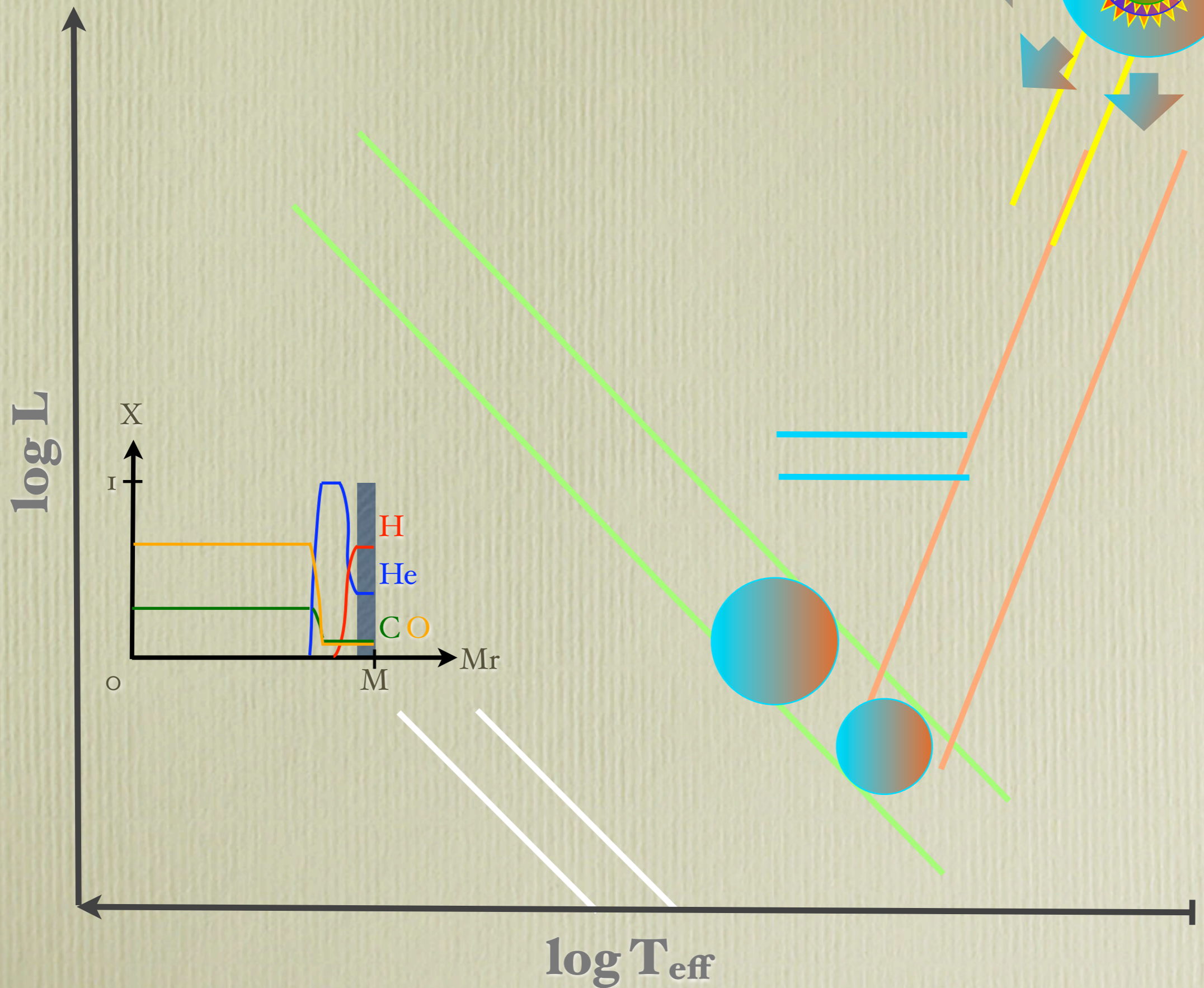
# Evolution of Low- and Intermediate-Mass Stars



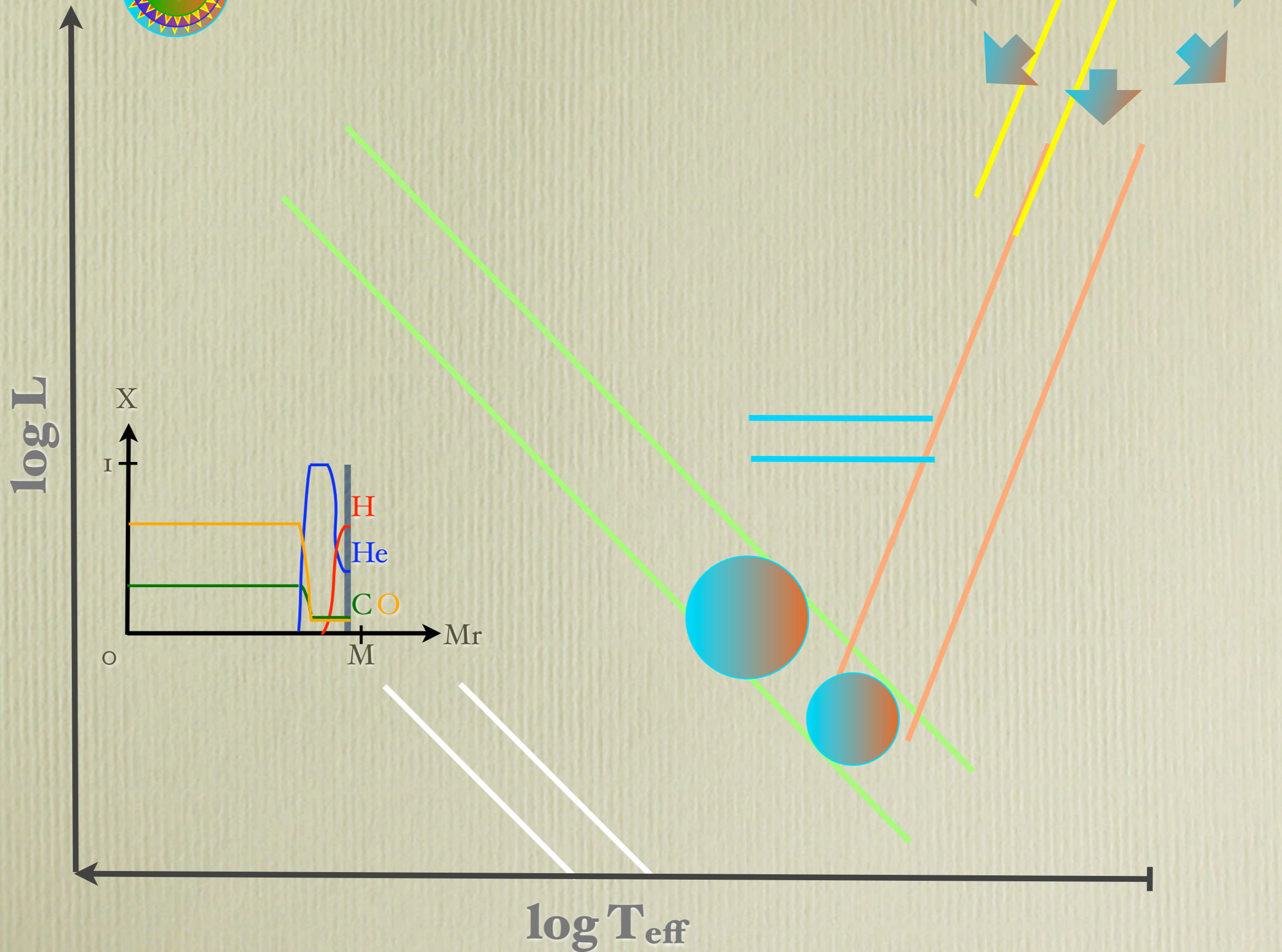
# Evolution of Low- and Intermediate-Mass



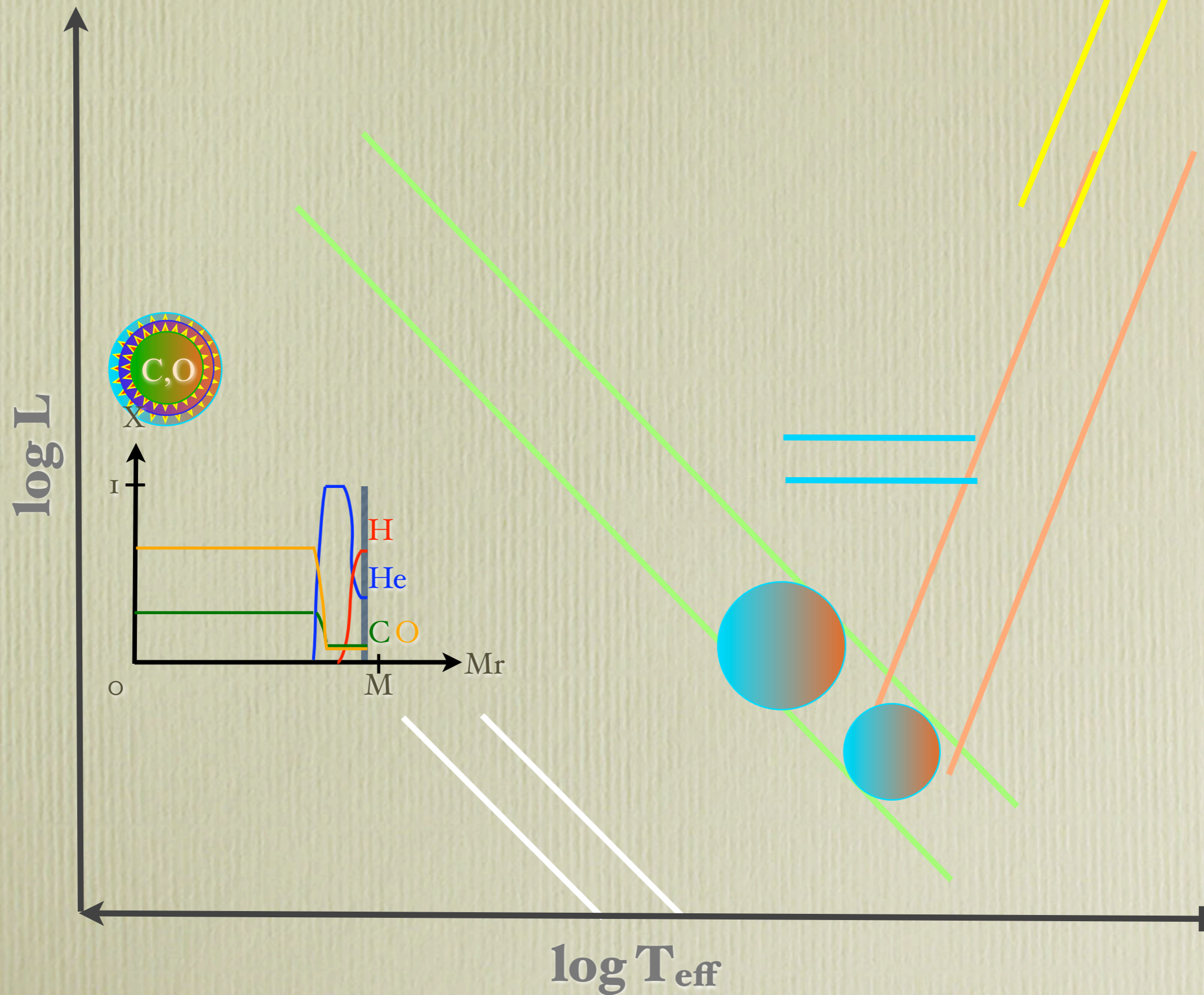
# Evolution of Low- and Intermediate-Mass Stars



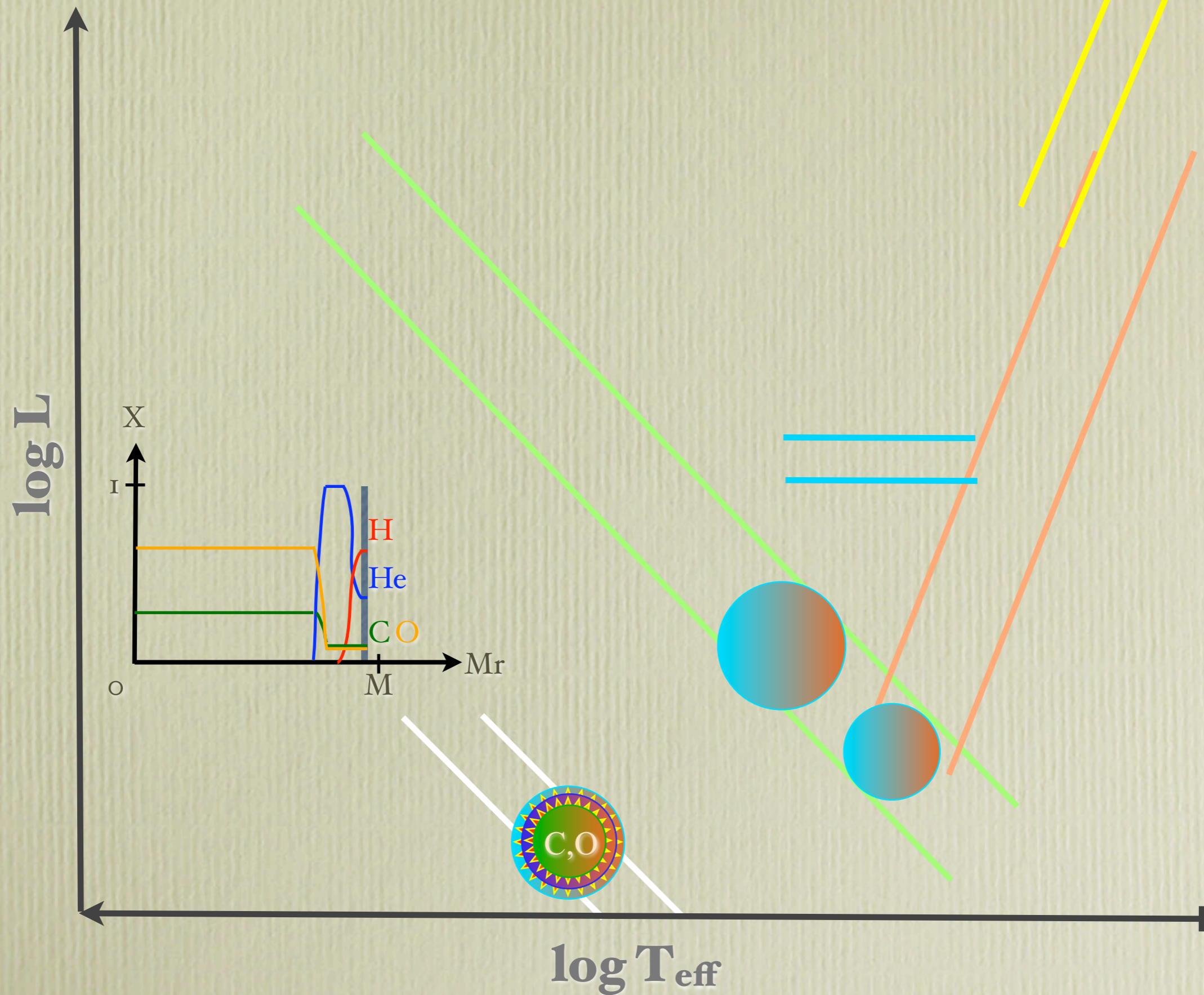
# Evolution of Low- and Intermediate-Mass Stars

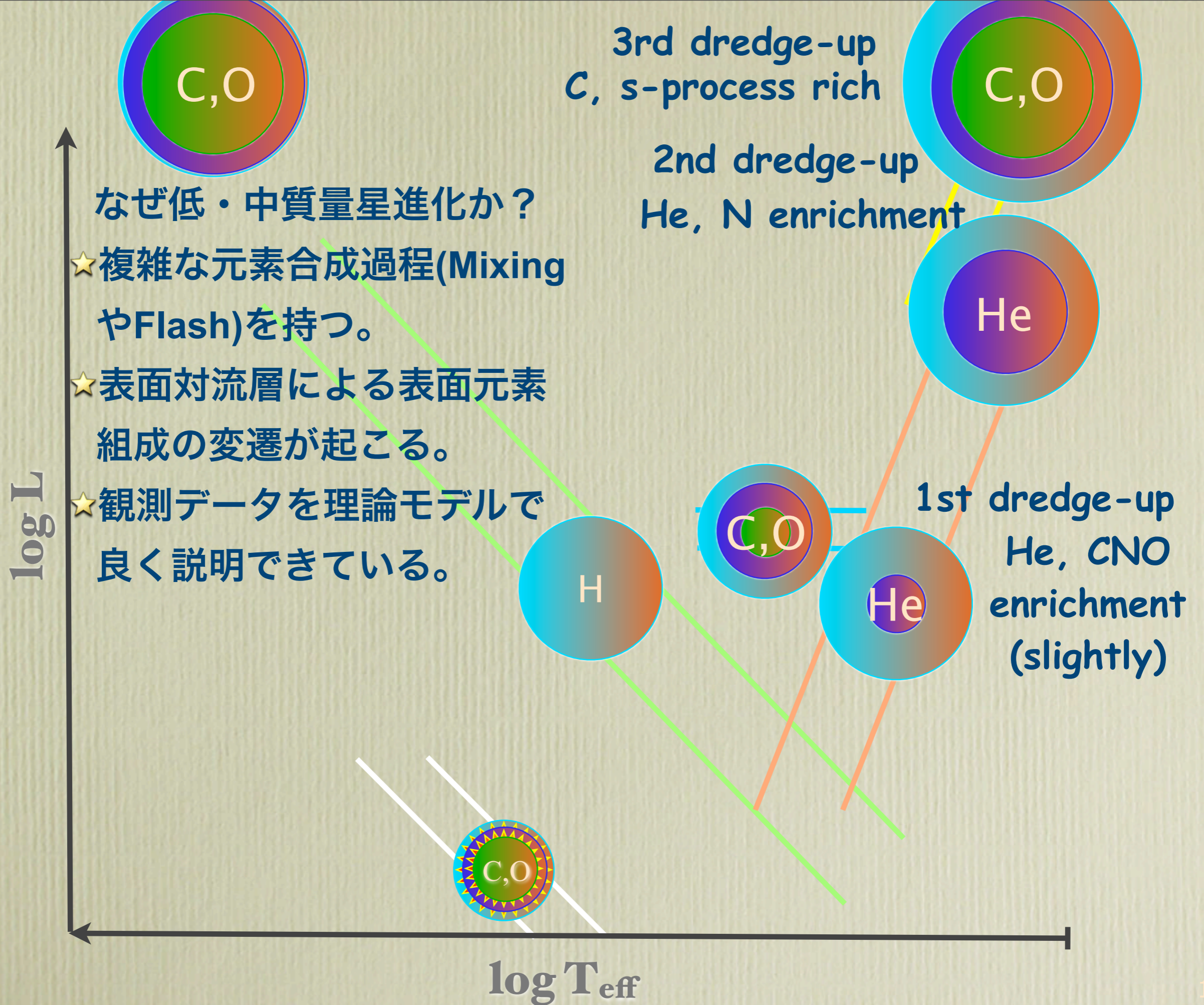


# Evolution of Low- and Intermediate-Mass Stars



# Evolution of Low- and Intermediate-Mass Stars







# Formation Mechanism of Carbon-Enhanced Stars

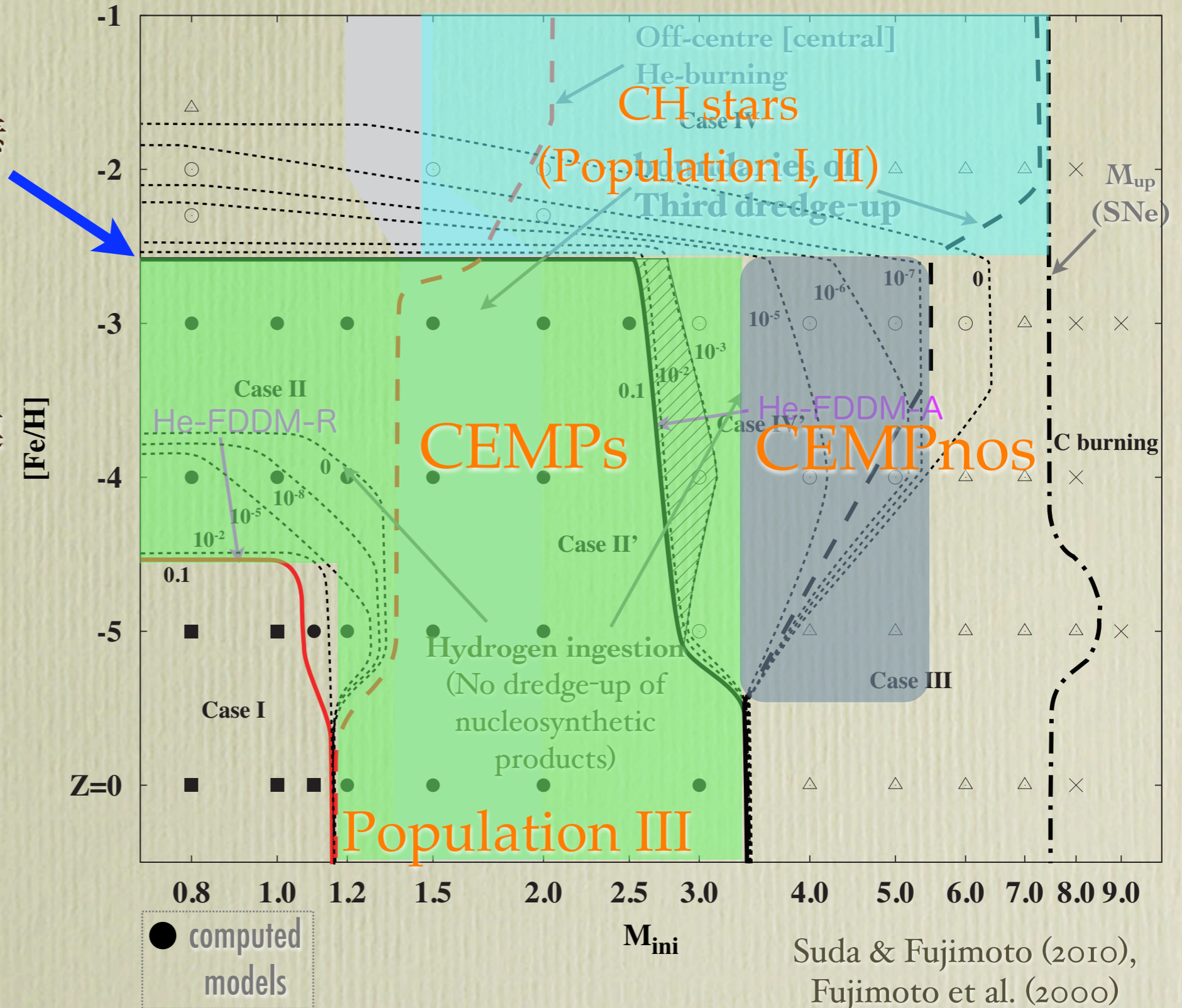
★  $[Fe/H] \leq -2.5$  で水素混合

★ CNO元素とs-過程元素の汲み上げ

★ CEMP-s と CEMP-nosの起源

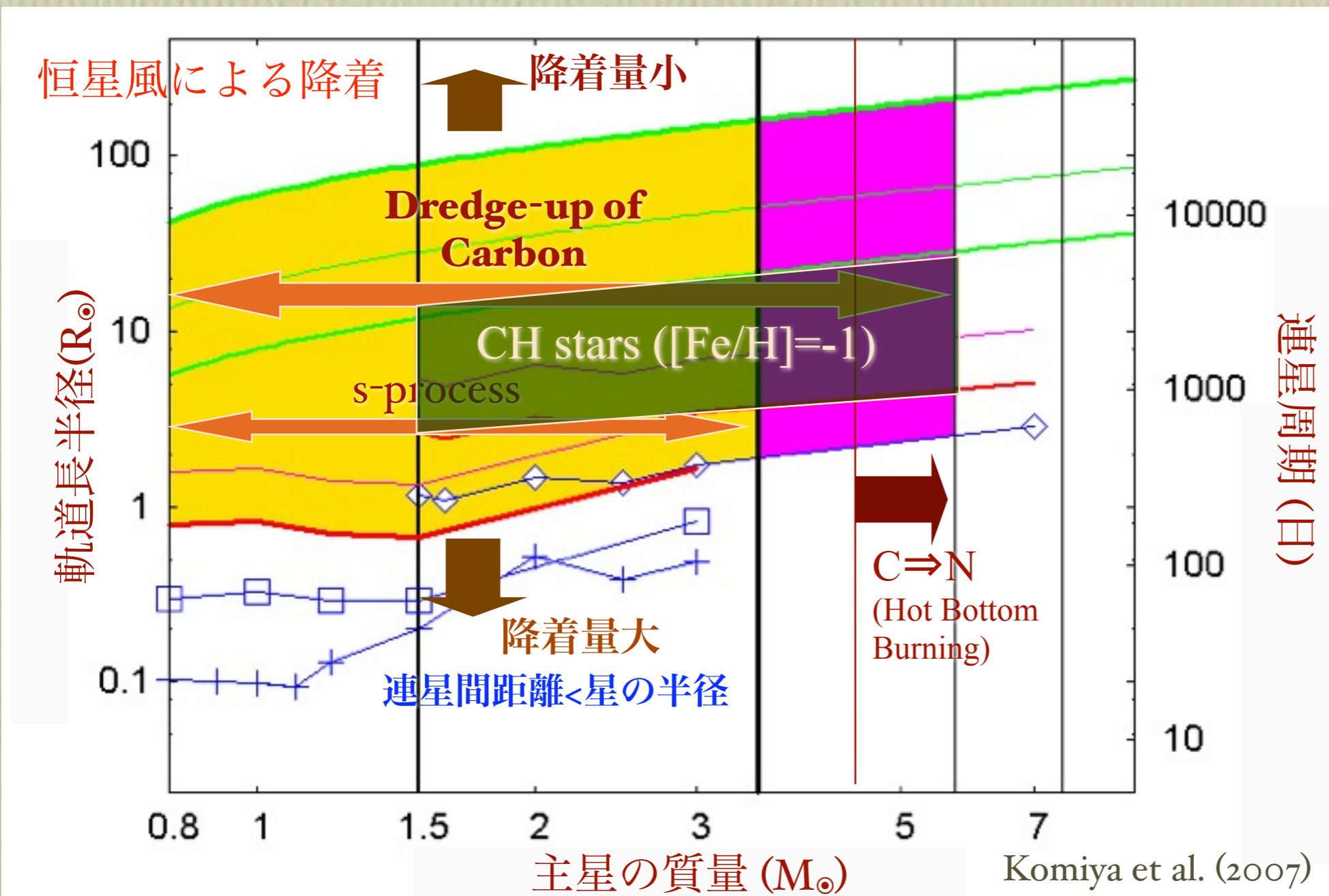
★ 元素組成の多様性は連星間質量輸送の効率を反映 (連星間距離など)。

★ 観測天体の CEMP-s(nos) 比との比較が可能。



# Criterion detected as C-rich stars

【連星間質量輸送によってCEMP星になる主星の質量と連星間距離】



- : 伴星の  $[C/H]$
- : 水素混合が起こる時の半径
- : Roche Lobe Overflow時の半径

**CEMP星として観測されるには**

- ★ 主星での十分な量の炭素の汲み上げ
- ★ 伴星への十分な量の物質輸送

# IMF for EMP Population Assumptions

- IMF -- lognormal form

$$\xi(\log m) \propto \exp\left(-\frac{(\log m - \log M_{md})^2}{2 \times \Delta_M^2}\right)$$

**$M_{md}$ : meadium mass,  $\Delta_M$ ; dispersion**

- Binary fraction :  $f_b = 50\%$

- Mass ratio distribution function

--  $n(q) = \text{const.} (q = m_2/m_1)$

• (The choice of this function does not affect the results significantly, (Komiya, Suda, and Fujimoto, 2008))

- Period distribution of binaries

$$f(\log P [\text{day}]) \propto \exp\left(-\frac{(\log P - 4.8)^2}{2 \times 2.3^2}\right)$$

Duquennoy & Mayer (1991)

# Parameter Range of the IMF

観測に合う典型的な質量 ( $M_{md}$ ) をパラメータとして決定。 ( $\Delta_M = 0.3$ )

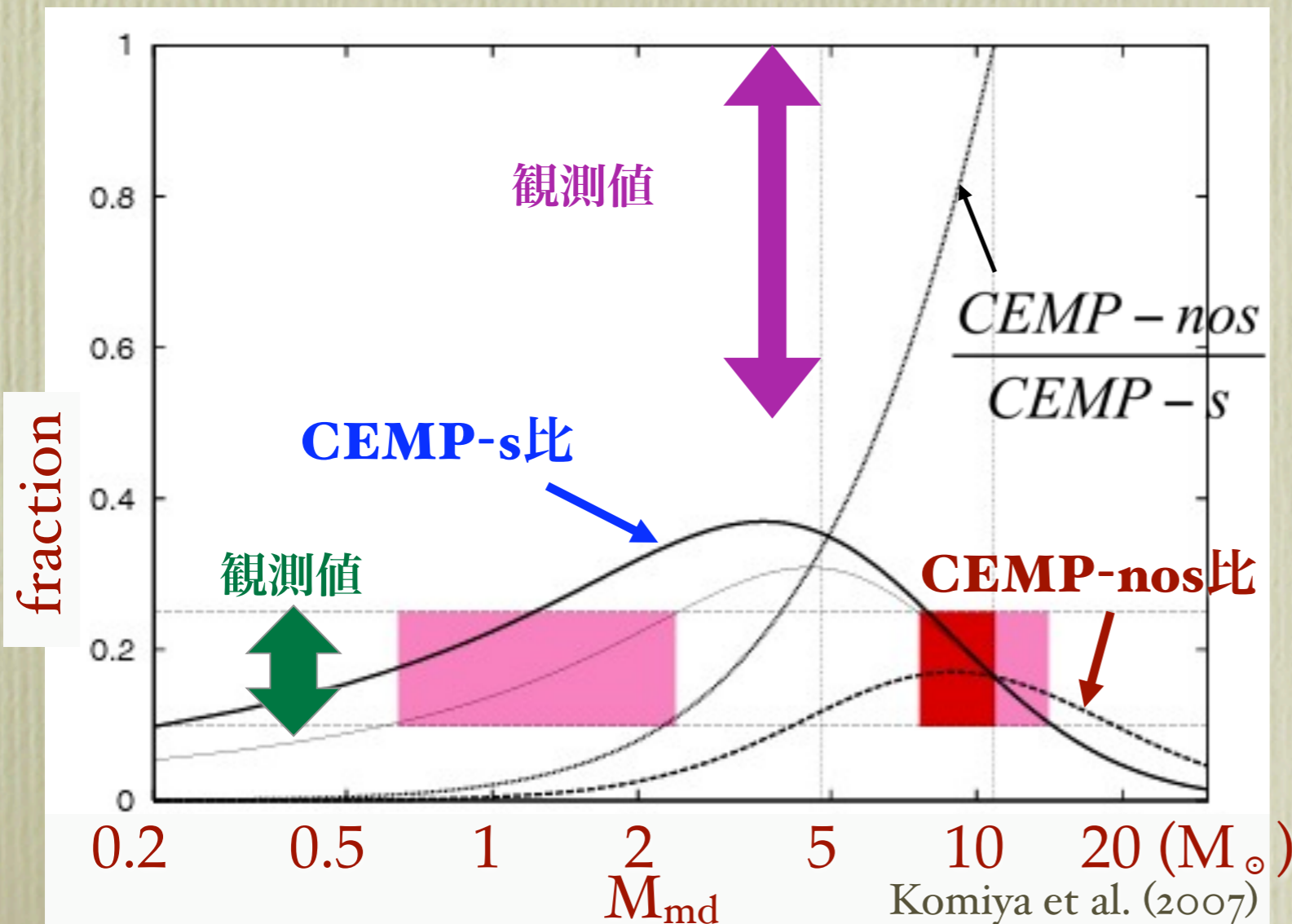
CEMP-s比は以下の式から得られる。

$$\psi_{CEMP-s} = \int_{0.8}^{3.5} \xi(m_1) \frac{n(m_2/m_1)}{m_1} dm_1 \int_{A_{He-FDDM}(M_1)}^{A_M(M_1)} f(A) dA$$

mass range of primary    mass ratio distribution    distribution of binary separation

log normal IMF

$$\xi(\log m) \propto \exp\left(-\frac{(\log m - \log M_{md})^2}{2 \times \Delta_M^2}\right)$$



CEMP-s比を説明する

$M_{md}$  の幅

:  $\sim 1 M_{\odot}$  and  $\sim 10 M_{\odot}$

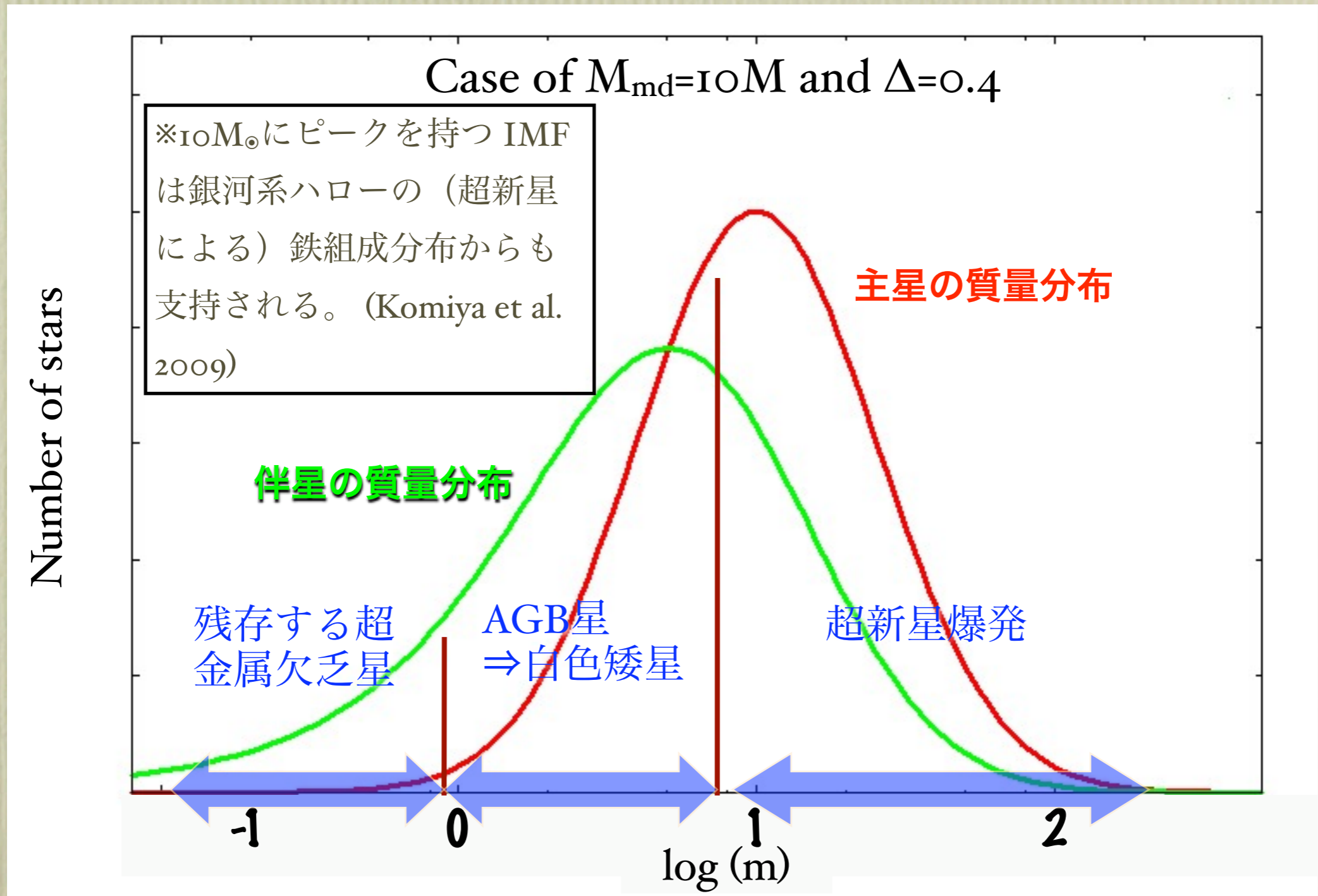
CEMP-s ~ CEMP-nosを

説明する  $M_{md}$  の幅

:  $\sim 10 M_{\odot}$

# High-Mass IMF at the Early Epoch of the Galactic Halo

残存するEMP星の大部分は連星系の伴星である。



# Summary and Conclusions

- 近傍の金属欠乏星は初期宇宙探査のための重要なツールである。
  - 超金属欠乏炭素過剰星(CEMP星)は $[\text{Fe}/\text{H}] \leq -2.5$ の低質量星進化で起こる水素混合による炭素(とs-過程元素)の汲み上げによる組成変動を反映している。
- CEMP星の統計からは $[\text{Fe}/\text{H}] \leq -2.5$ でhigh-mass peaked IMFが示唆される。
  - CEMP-nos/CEMP-s比からIMFは $\sim 10 M_{\odot}$ にピークを持つ。
  - 銀河系ハローの恒星では連星間質量が重要な役割を果たしてきた。
- **$[\text{Fe}/\text{H}] \sim -2$ でIMFがHigh-Mass IMFからLow-Mass IMFに切り替わっている。**
  - $[\text{C}/\text{Fe}]$ 分布のピークの値が $[\text{Fe}/\text{H}] \sim -2$ を挟んで0.3から-0.1へシフトしている。
  - 銀河ハローの形成と関連があるかもしれない。
    - $[\text{C}/\text{Fe}]$ 分布の変化は星の種族の違い(近傍星と遠方ハロー星)を反映か?
    - 構造形成と星形成の間には関連がある?

# 今後の課題

- 観測データの蓄積
  - $[\text{Fe}/\text{H}] \geq -2$ のデータを増やす必要がある。
  - 特にinner haloのmetal-poor stars
- 銀河形成・星形成史との関連
  - 何が重要な因子か？
- **恒星モデルへのフィードバック** (どこまでmodel dependentか?)
  - CEMP星になる条件(質量、金属量)の確立
    - He対流層への水素混合, Third Dredge-up, Hot Bottom Burning
    - 表面对流層の振る舞い
  - s-過程の生成機構
    - 既存の $^{13}\text{C}$  pocketシナリオの金属量依存性
    - He対流層への水素混合に伴う中性子捕獲過程
    - CEMP-nosの起源 (Third Dredge-upのみ?)