

大質量星における ^{40}K と中質量元素の元素合成 ~後期進化の対流混合による影響

吉田 敬

東京大学大学院理学系研究科天文学専攻

新学術「地下宇宙」領域研究会

2020年6月2日

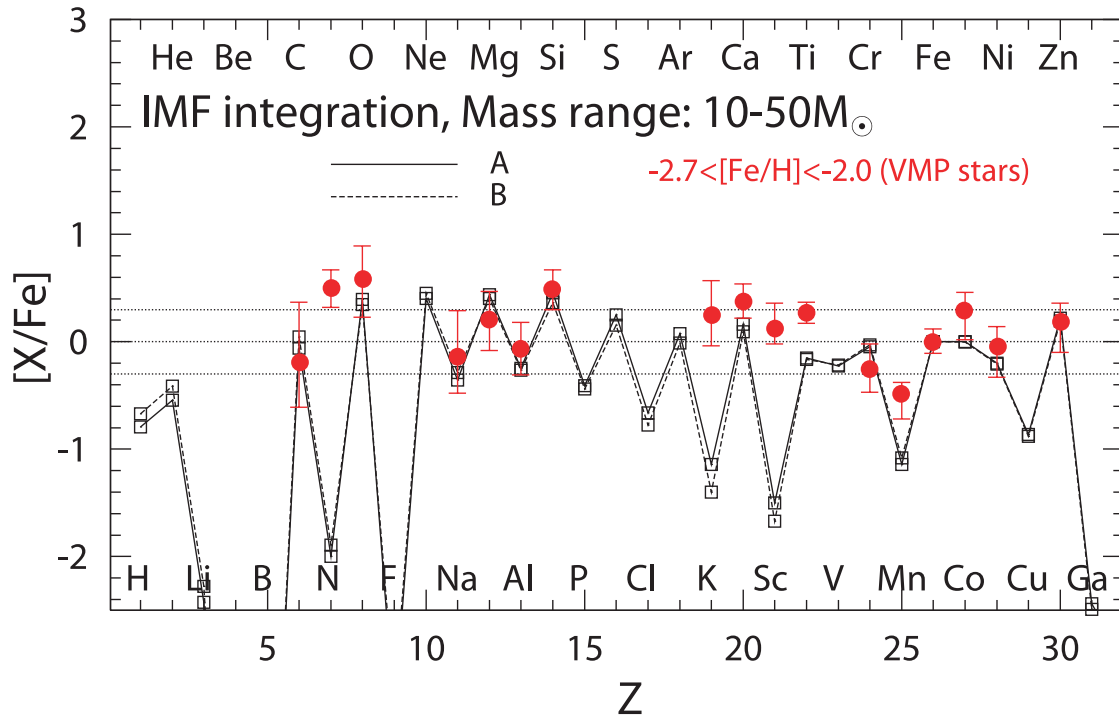
オンライン研究会@ZOOM

Kの生成問題

大質量星でのK合成

→ 超新星爆発時の爆発的酸素燃焼
炭素燃焼, ネオン燃焼 (Woosley et al. 2002)

金属欠乏星におけるK存在度と生成問題



$$[X/Fe] = \log(N_X/N_{Fe}) - \log(N_X/N_{Fe})_{\odot}$$

A: [O/Fe] = 0.5 for HN models

B: [Mg/Fe] = 0.2 for >30 M_⊙ HN models

● Very Metal-Poor Stars の平均存在度

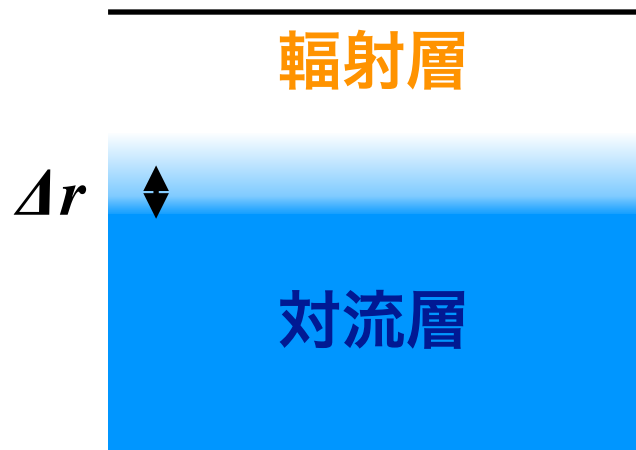
$$-2.7 < [Fe/H] < -2.0$$

(Tominaga et al. 2007)

→ 爆発モデルを工夫してもK存在度を再現するのが困難

対流層の物質混合と大質量星の最終進化

星の対流層における物質混合



- 物質混合 → 拡散近似

$$D_{cv} = \frac{1}{3} v_{MLT} \alpha_{MLT} H_P$$

α_{MLT} : mixing length parameter

- overshoot

→ 対流領域の境界の少し外まで混合

$$D_{cv}^{ov} = D_{cv,0} \exp\left(-2 \frac{\Delta r}{f_{ov} H_{P0}}\right)$$

f_{ov} : overshoot parameter

- 観測を再現するように α_{MLT} , f_{ov} を決定

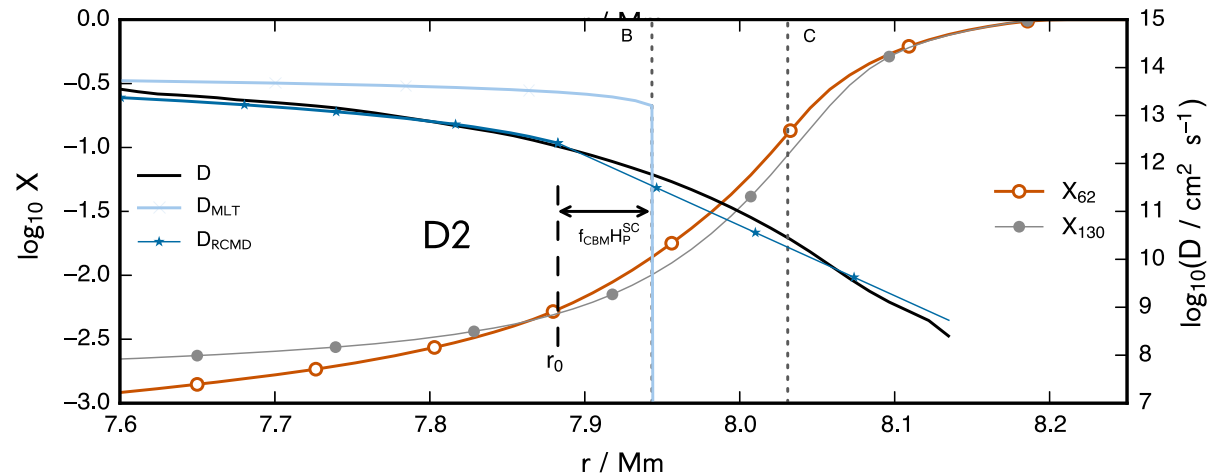
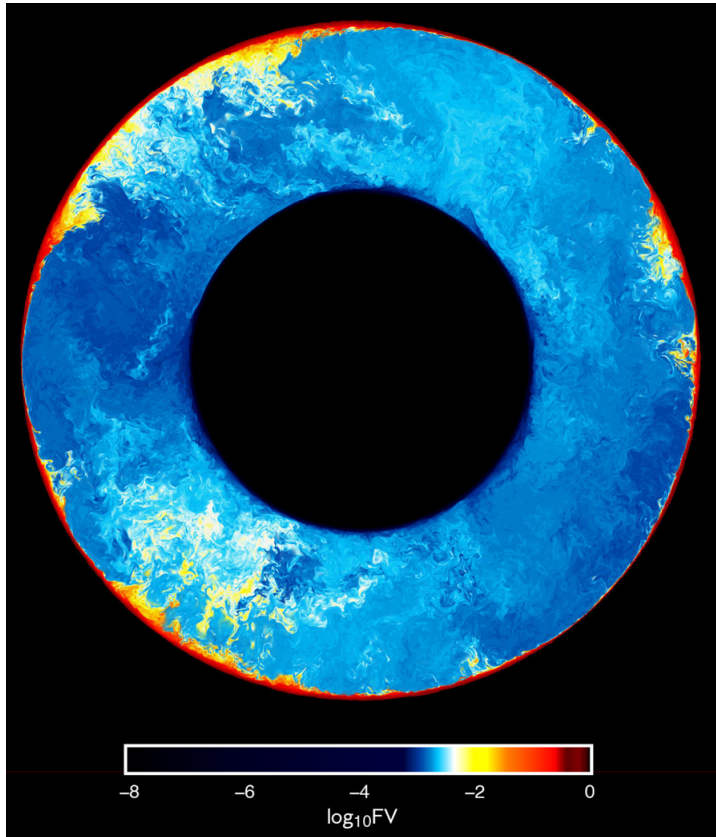
…主に主系列星と赤色超巨星の性質

$\alpha_{MLT} = 1.8$, $f_{ov} = 0.03/0.002$ until/after He burning

→ 後期進化の燃焼まで適用可能かはわからない

多次元進化における対流混合

酸素shell燃焼層を想定した3D流体計算 (Jones et al. 2017)



3D流体計算の結果から適用した拡散係数

➡ $f_{ov} = 0.03$

対流層境界から流入した物質の比体積

➡ 対流層境界の外の物質を取り込みやすい？

研究目的

- 大質量星の進化と超新星で生成される ^{40}K を含めたKおよび中質量元素の生成過程と生成量を調べる
- 対流層境界での物質混合に影響するovershootの効果に対する中質量元素の生成量の依存性を調べる
 - ➡ 金属欠乏星の組成との比較し, overshootパラメータの制限をする
 - ➡ ^{40}K の生成量, 初代星での中質量元素の生成, 銀河化学進化に応用する

大質量星の進化モデル

HOngo Stellar Hydrodynamics Investigator (HOSHI) CODE

(Takahashi et al. 2016, 2018, 2019, Yoshida et al. 2019)

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

$$\frac{\partial \ln T}{\partial \ln P} = \min(\nabla_{\text{ad}}, \nabla_{\text{rad}}) \quad \text{対流, 輻射} \quad \frac{\partial L_r}{\partial M_r} = \epsilon_{\text{nucl}} - \epsilon_{\nu} + \epsilon_{\text{grav}}$$

$$\frac{\partial X_i}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial M_r} \left[(4\pi r^2 \rho)^2 D \left(\frac{\partial X_i}{\partial M_r} \right) \right] + \left(\frac{\partial X_i}{\partial t} \right)_{\text{nucl}}$$

組成変化 対流混合 元素合成

元素合成(ここでは~Brまでの300核種)

$$\left(\frac{\partial X_i}{\partial t} \right)_{\text{nucl}} = -\lambda_i X_i + \sum_j \lambda_j X_j - \rho \sum_j \langle \sigma v \rangle_{i,j} X_i X_j + \rho \sum_{j,k} \langle \sigma v \rangle_{j,k} X_j X_k + \dots$$

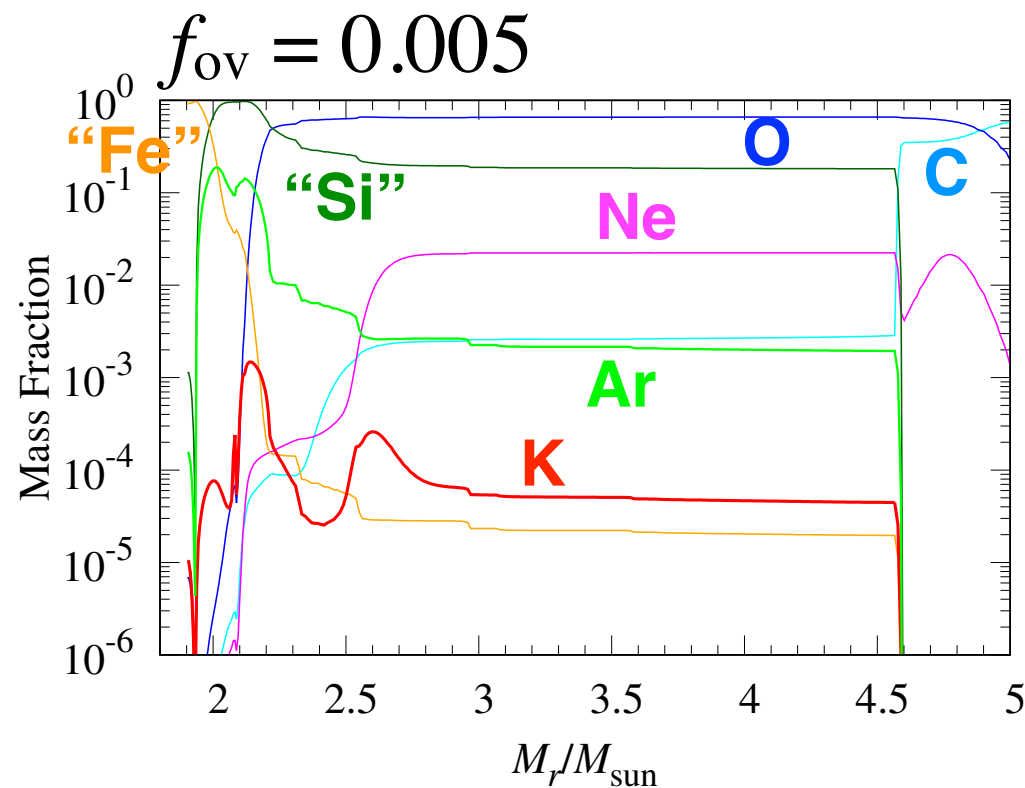
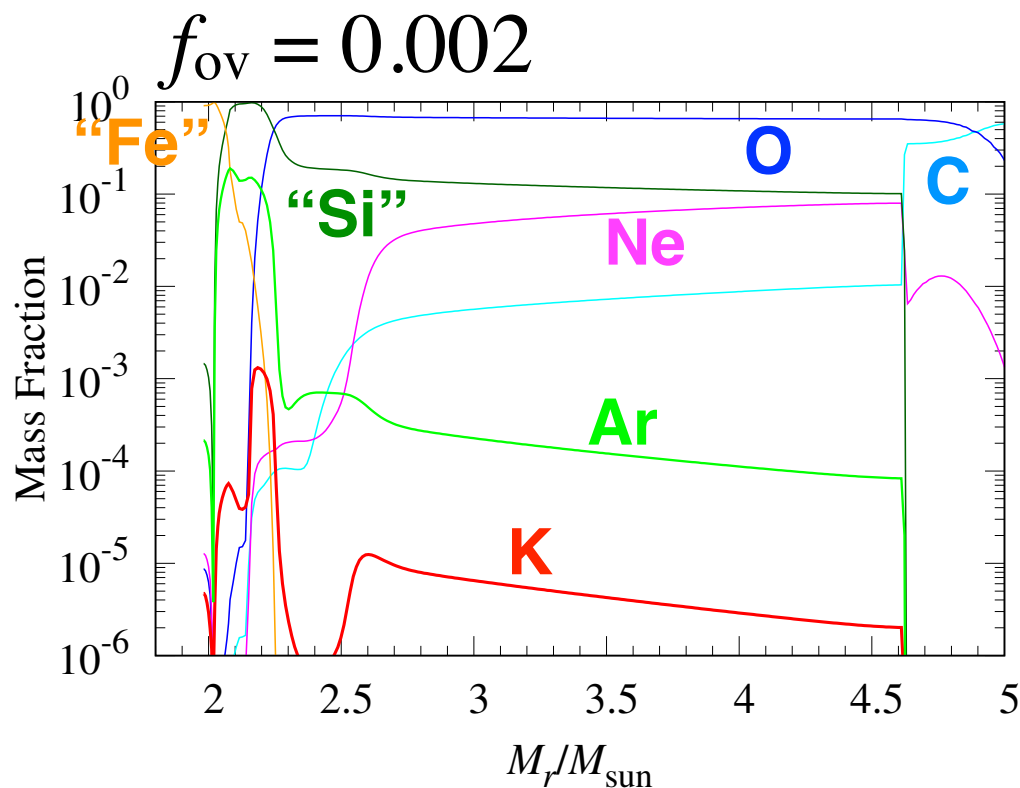
$\dot{M}(T_{\text{eff}}, L, [X_{\text{H}}, X_{\text{He}}, Z])$ 質量放出率

- 自転を考慮した星の計算も可能

テスト計算例

大質量星の進化と超新星における元素合成

$18M_{\odot}$, $Z = 0$, $E_{\text{exp}} = 1 \times 10^{51}$ erg, $M(^{56}\text{Ni}) = 0.07 M_{\odot}$



$f_{\text{ov}} = 0.005$

➡ 進化の最終段階で効率的にKが生成
星の質量, 金属量にも複雑に依存

研究計画

1年目

- 太陽金属量の大質量星について中質量元素の生成量の overshoot依存性について調べる

$M = 10, 15, 20, 25 M_{\odot}$ stars

$f_{\text{ov}} = 0, 0.005, 0.010, 0.030$

➡ K, ^{40}K の生成量と生成過程を調べる

2年目

- 初代星金属量の星についてKを含めた中質量元素の生成量の overshoot依存性について調べる

➡ 金属欠乏星の組成との比較

➡ overshootパラメータへの制限

➡ 銀河化学進化への応用

まとめ

- K (^{40}K)を含めた中質量元素
 - ➡ 大質量星の進化や超新星での元素合成で生成
 - 金属欠乏星の組成 ➡ K生成問題
 - 進化過程での対流混合の影響がある
- 大質量星モデルにおける対流混合
 - ➡ mixing length theoryと拡散近似, overshoot
 - ➡ 後期進化において多次元の対流効果を十分再現できているとまでは言えない
- ^{40}K , Kを含めた中質量元素の合成のovershoot依存性
 - ➡ ^{40}K を含めたKの生成過程の解明
 - ➡ 初代星や銀河化学進化での中質量元素の進化