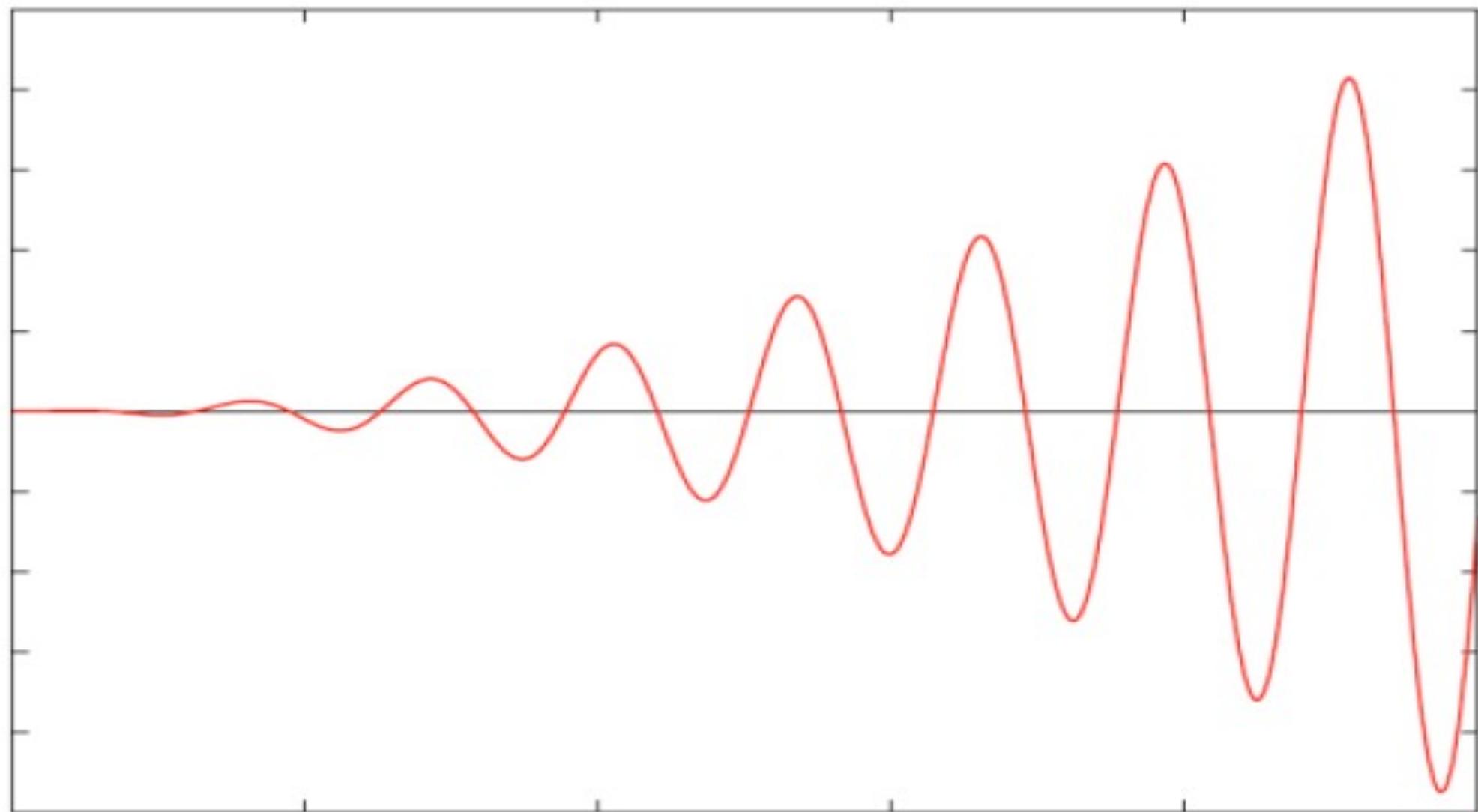


低金属量小質量主系列星の  
ε メカニズムによる振動不安定

園井崇文、柴橋博資（東京大学）

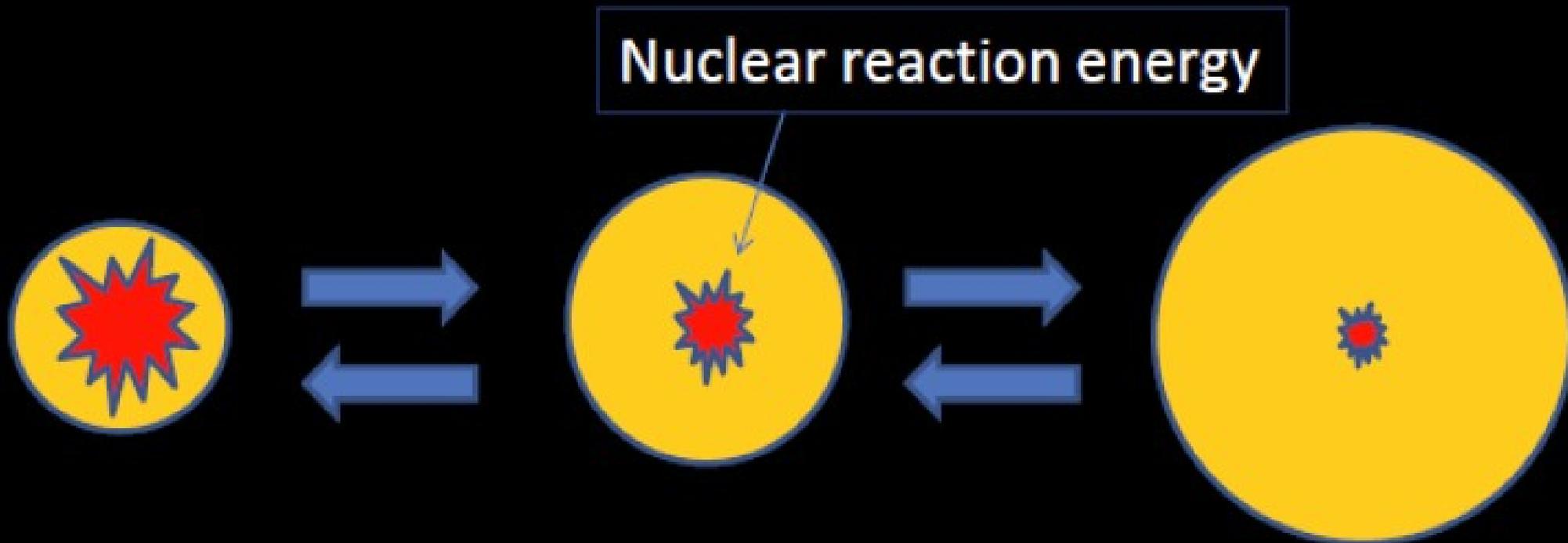
# 振動不安定



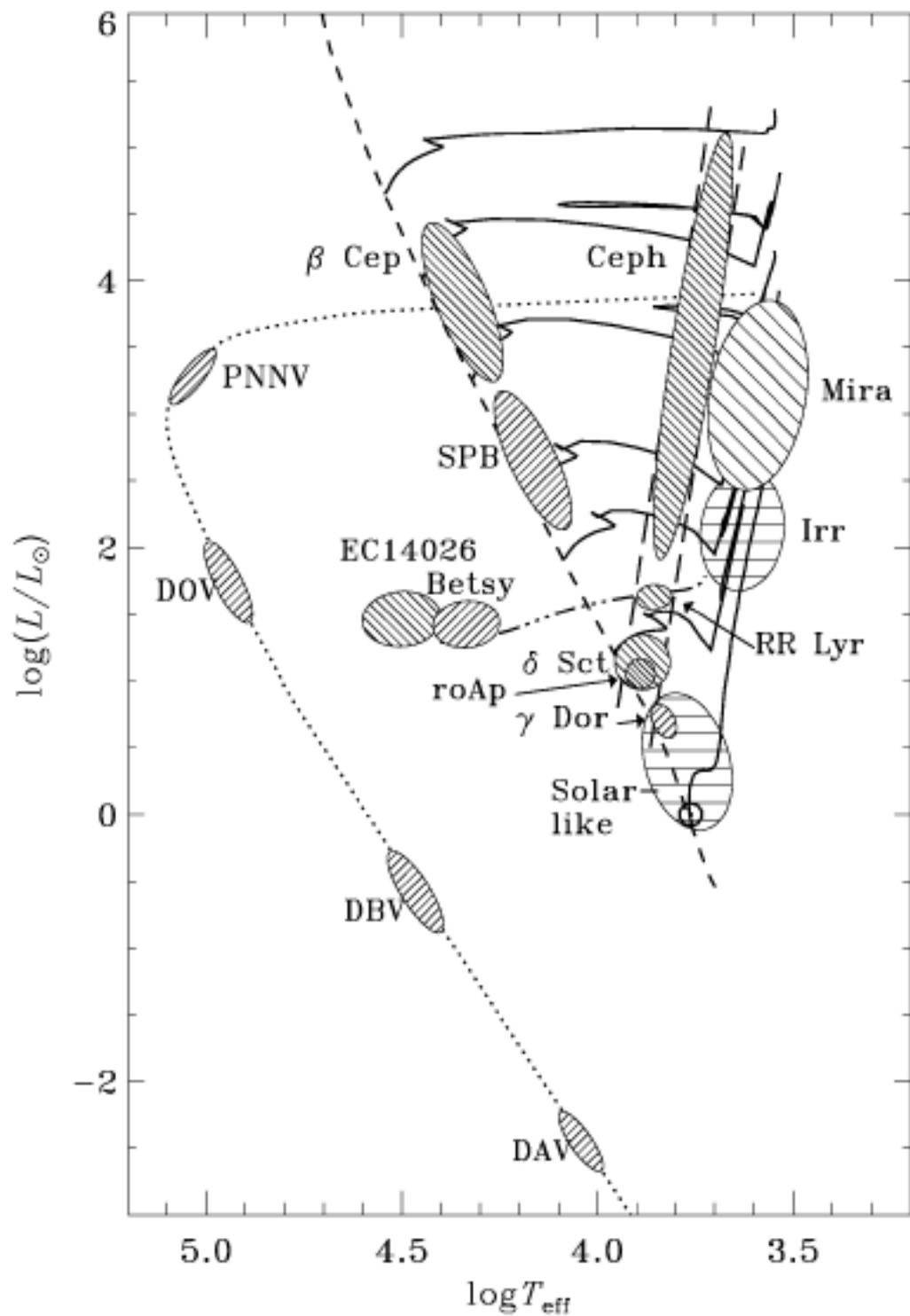
time

# $\epsilon$ -mechanism

thermal energy  $\rightarrow$  oscillation energy

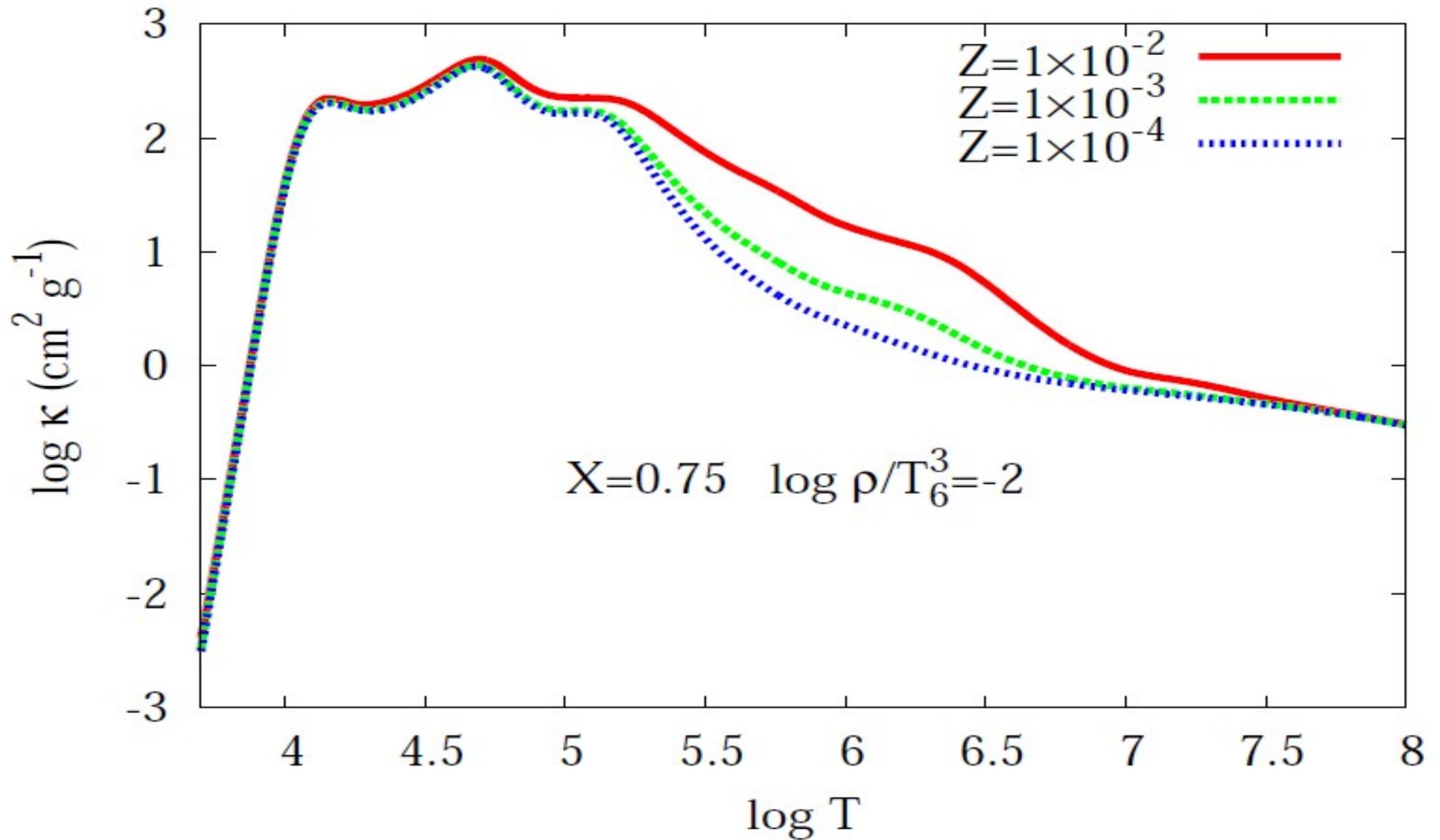


- 太陽ニュートリノ問題の解決策として、g-modeの $\varepsilon$ メカニズムによる振動不安定が提唱され(Di Ike & Gough 1972)、安定性解析が行われた
- 外縁対流層による安定性解析の結果の不定性

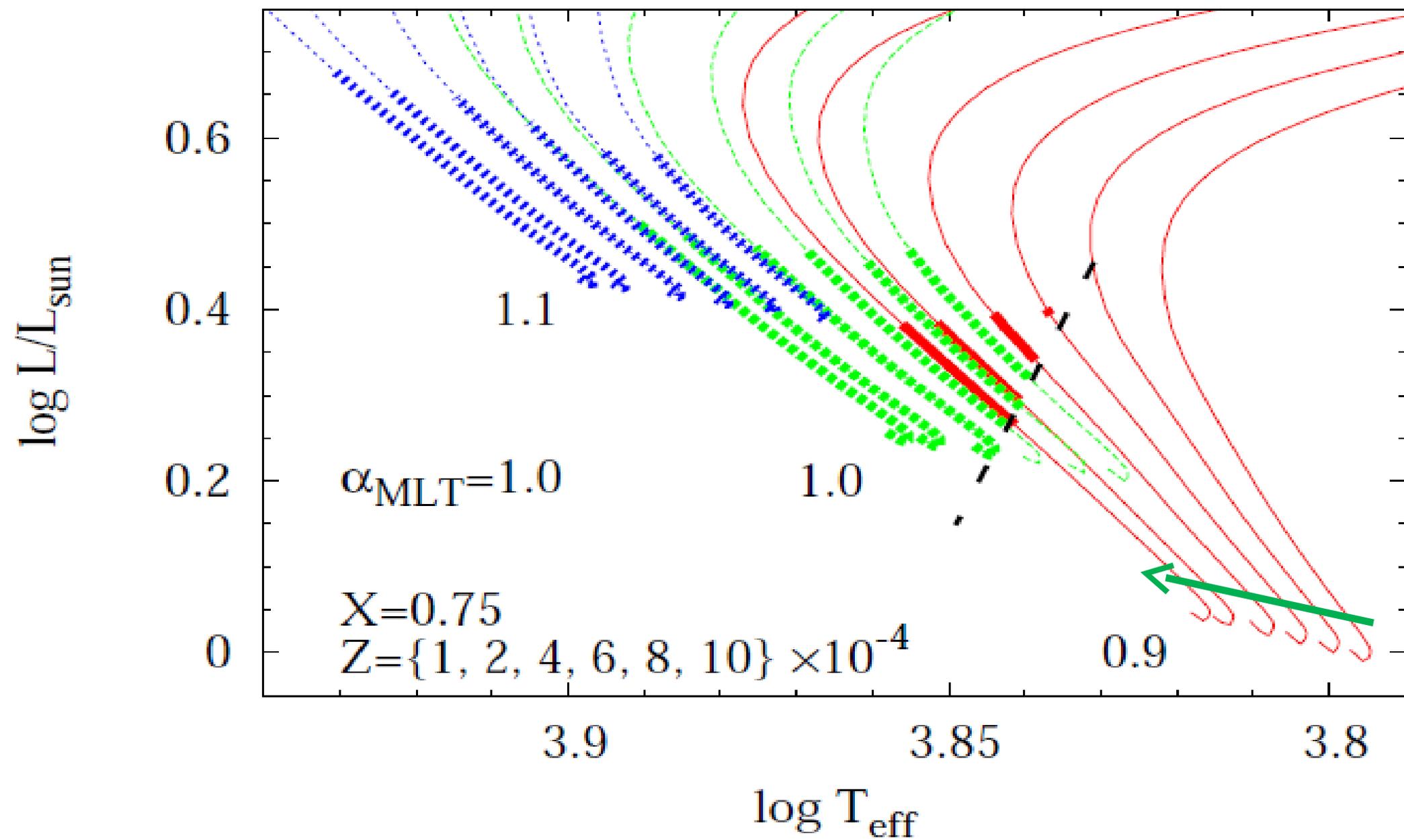


Courtesy of J. Christensen-Dalsgaard

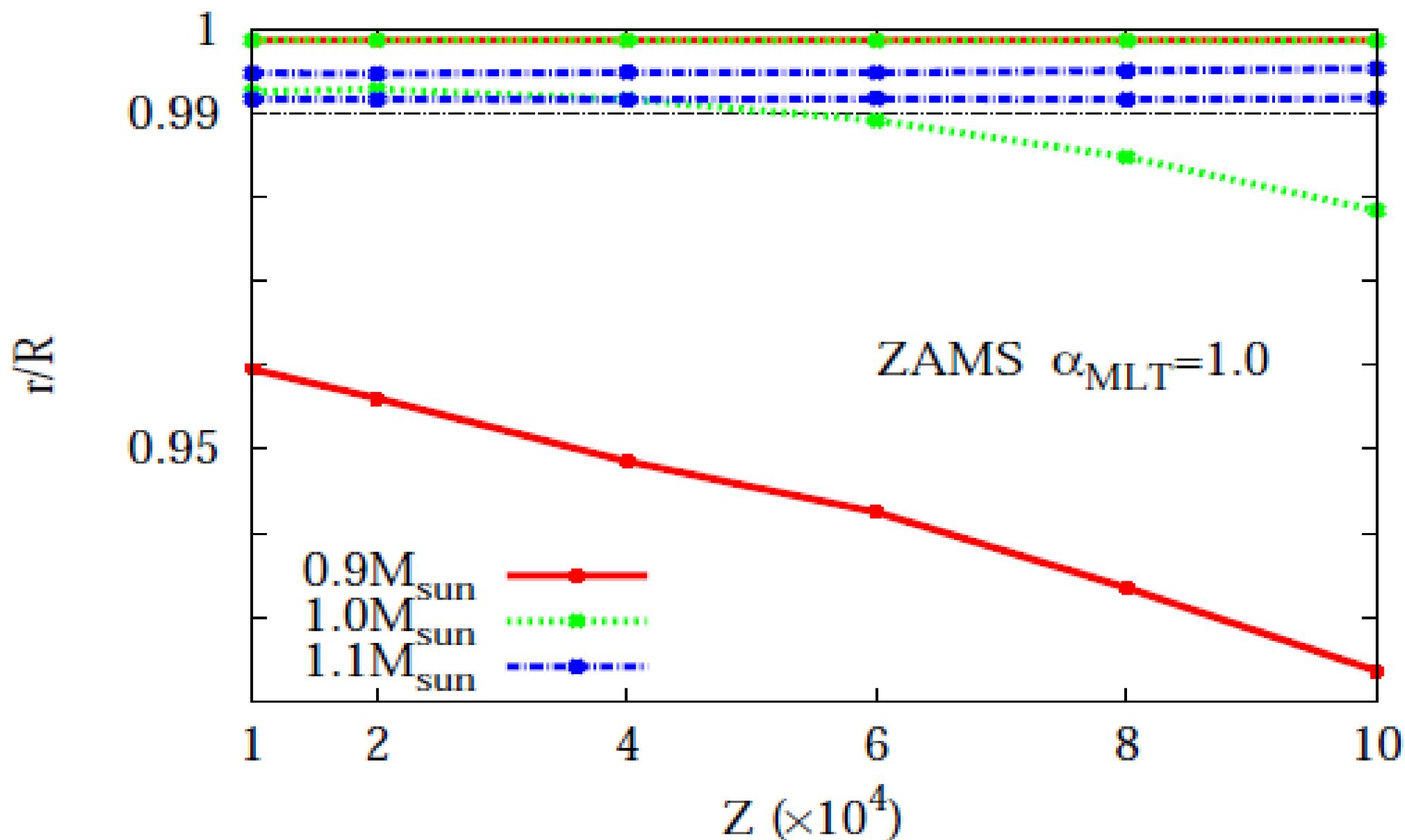
# opacity



$$L \propto \mu^4 M^3 / \kappa$$

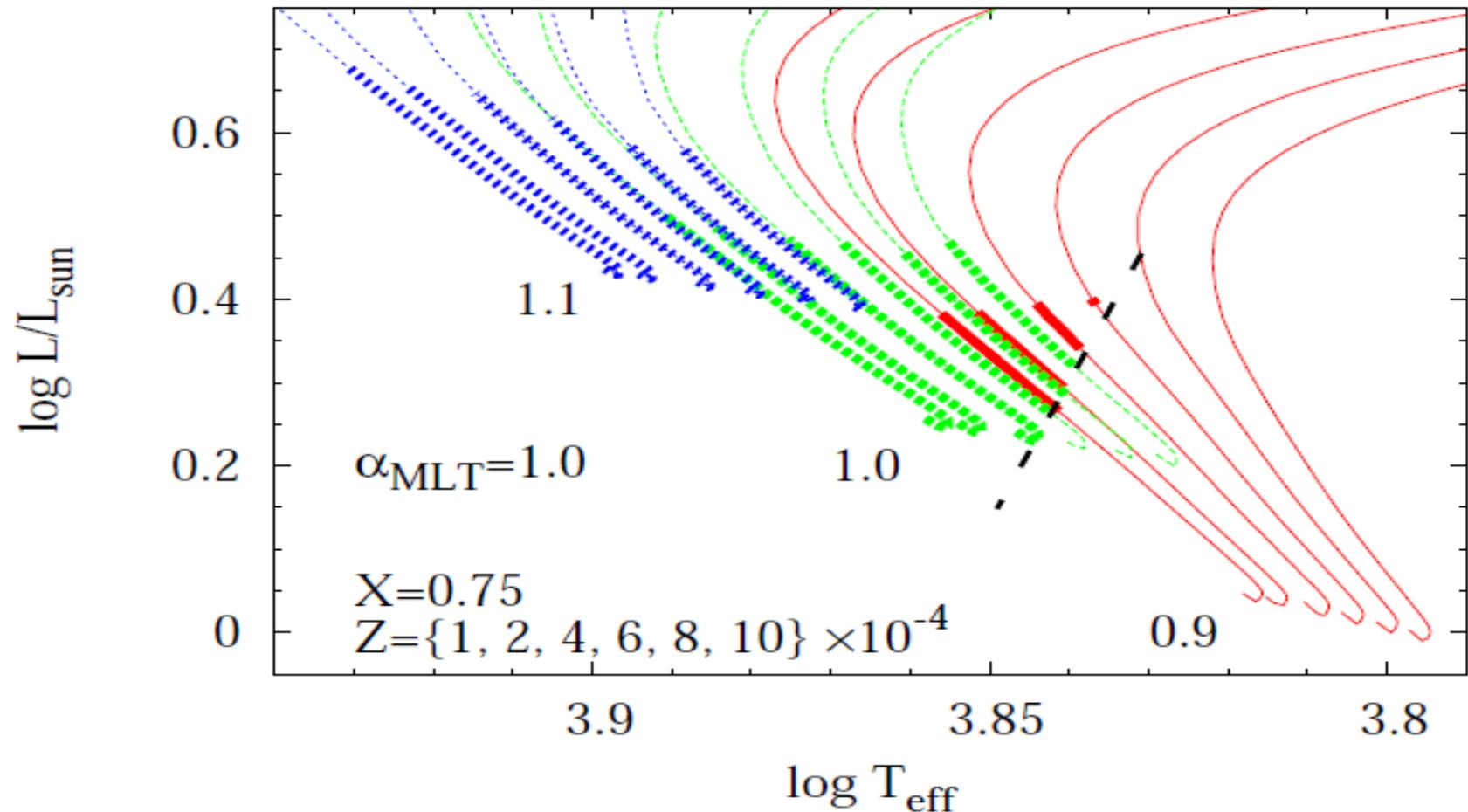


# 外縁対流層の上、下端



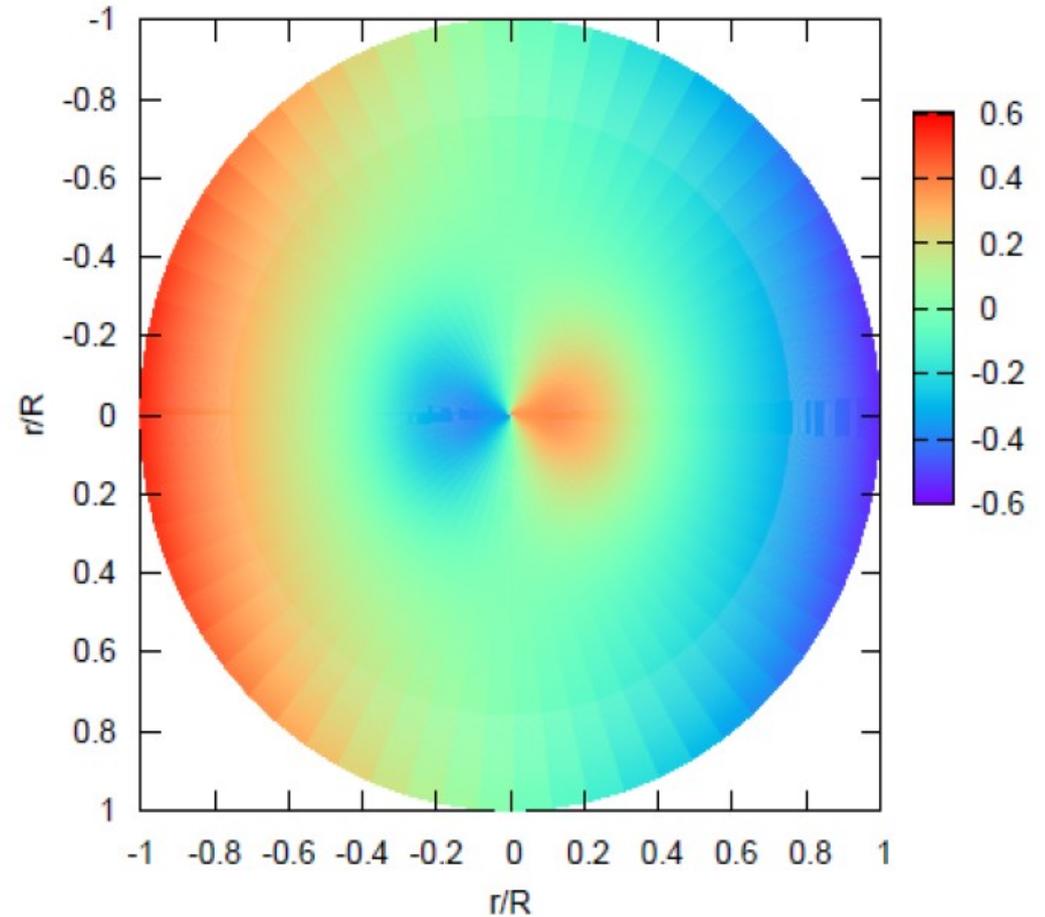
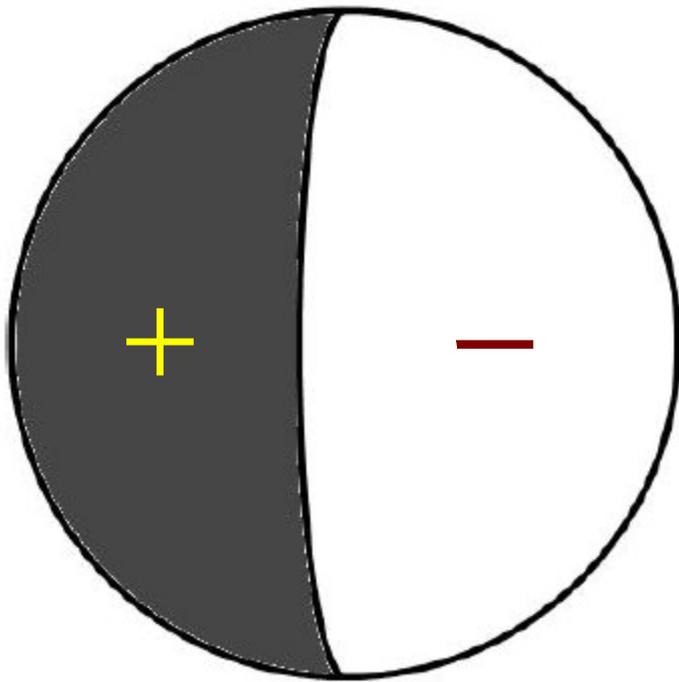
本研究の目的：  
低金属量星において、g-modeが $\varepsilon$ メカニズムによって不定性なく不安定になるかを調べる。

- MESA(Paxton+ 2011)
- $Z=10^{-4} \sim 10^{-3}$
- 外縁対流層が $r/R > 0.99$ に限られるモデル（太線）



# 双極子g\_1モード

$$(\delta r)_r$$



内部重力波（浮力を復元力とする波動）の定在波

$\epsilon$ メカニズムの強さ  $\propto$

$$\epsilon \left[ \left( \frac{\partial \ln \epsilon}{\partial \ln T} \right)_\rho + \frac{1}{\Gamma_3 - 1} \right]$$

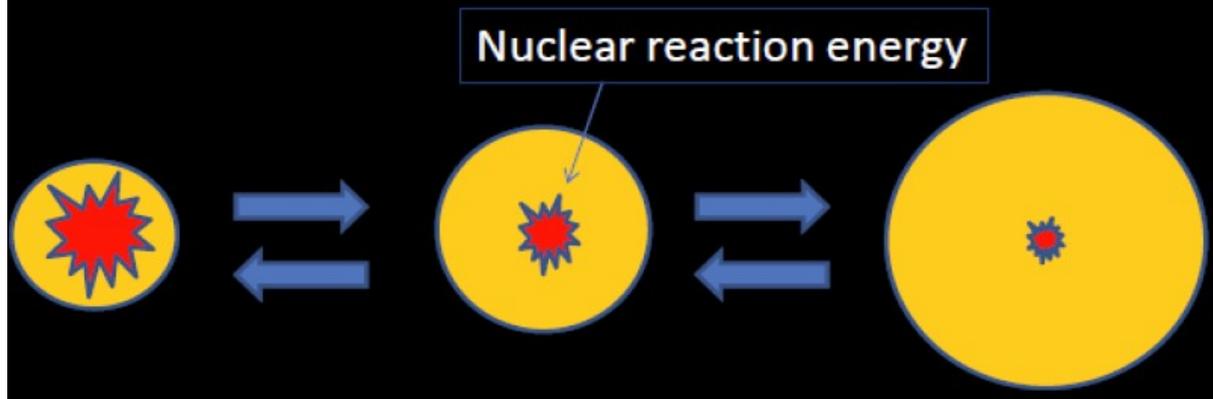
核反応エネルギー

温度依存性

	温度依存性
pp-chain	4-5
CNO-cycle	15-18

## $\epsilon$ -mechanism

thermal energy  $\rightarrow$  oscillation energy

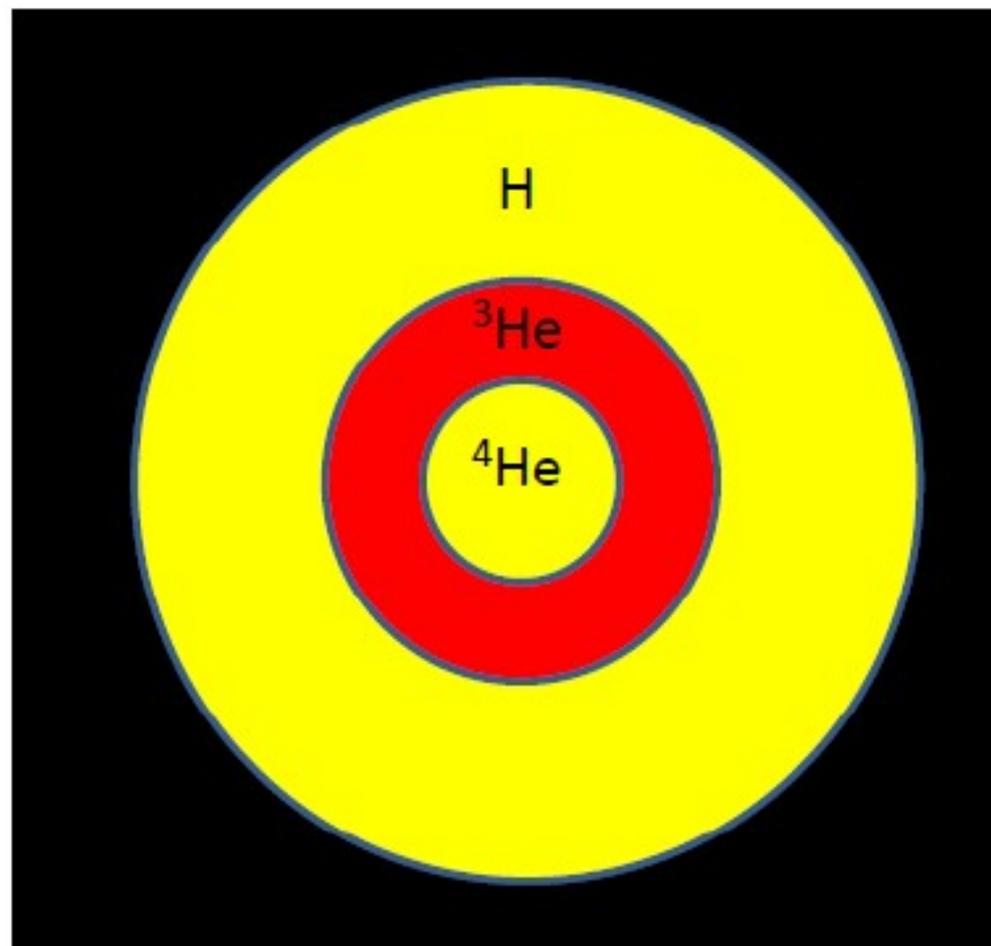


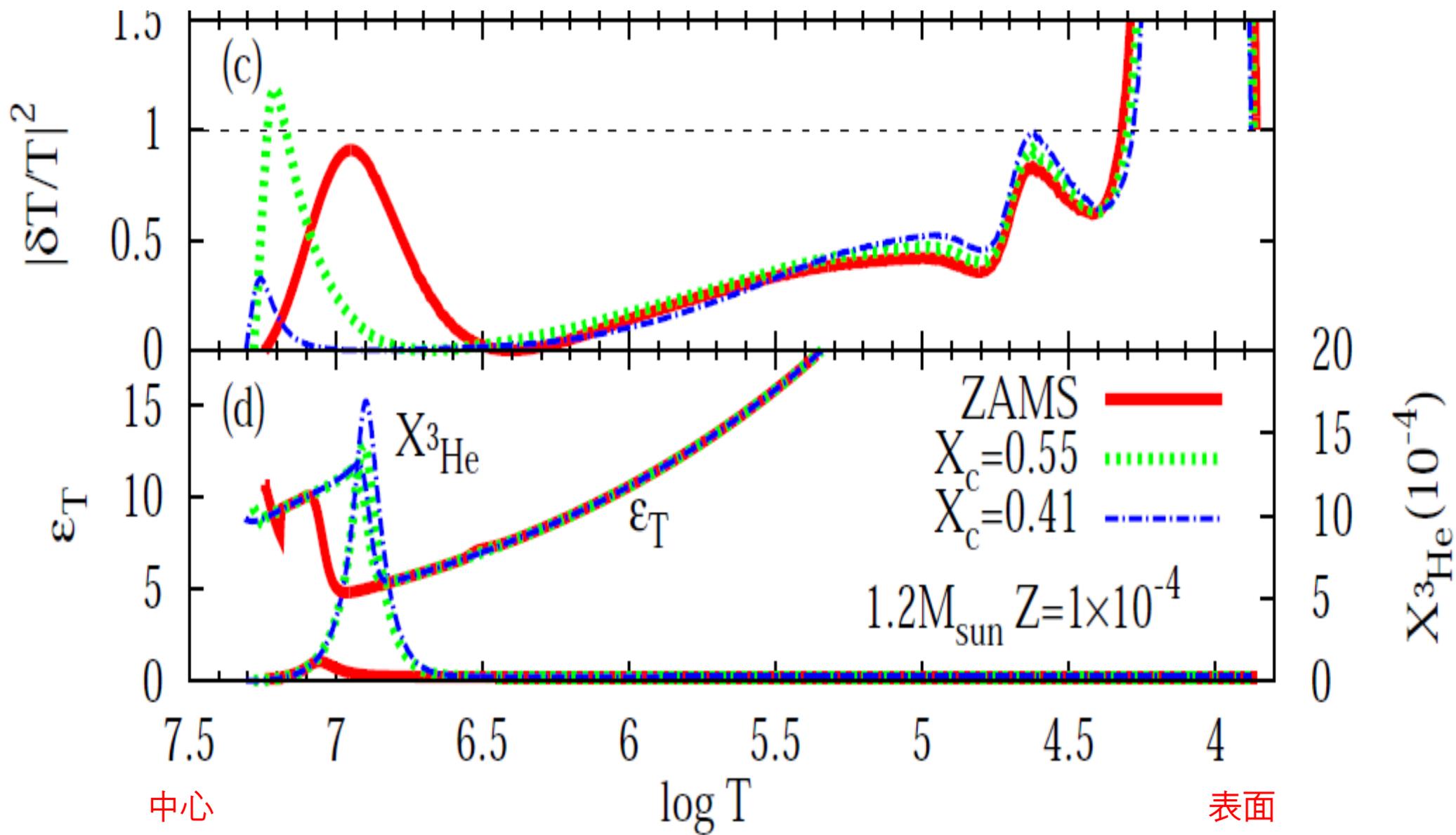
# $\epsilon$ -mechanism of the ${}^3\text{He}$ - ${}^3\text{He}$ reaction in the pp-chain

## pp-I branch

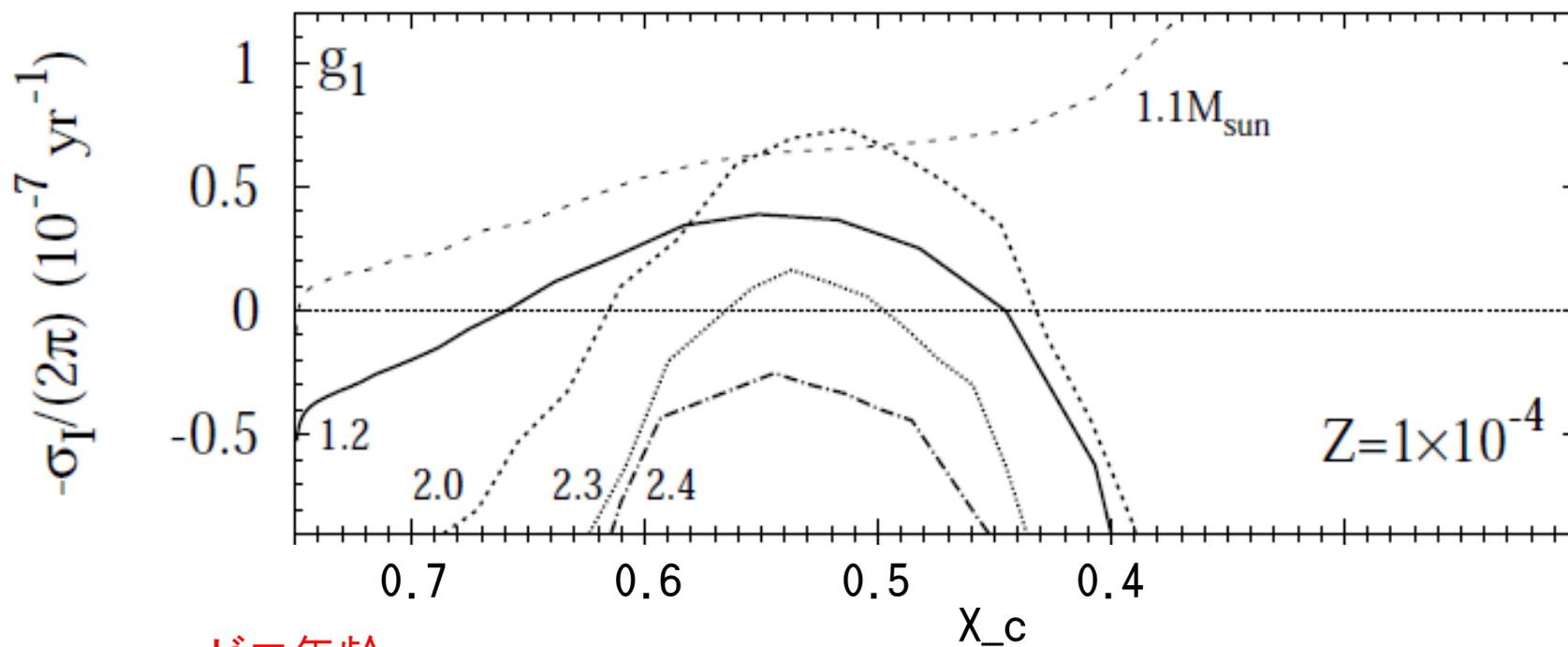
	$\left(\frac{\partial \ln \epsilon}{\partial \ln T}\right)_\rho @ 10^7 \text{ K}$
$\text{H}(\text{H}, e^+ \nu)\text{D}$	4-5
$\text{D}(\text{H}, \gamma){}^3\text{He}$	5
${}^3\text{He}({}^3\text{He}, 2\text{H}){}^4\text{He}$	18-19

For the whole pp-chain in the oscillation time scale:  $\sim 11 (@10^7\text{K})$



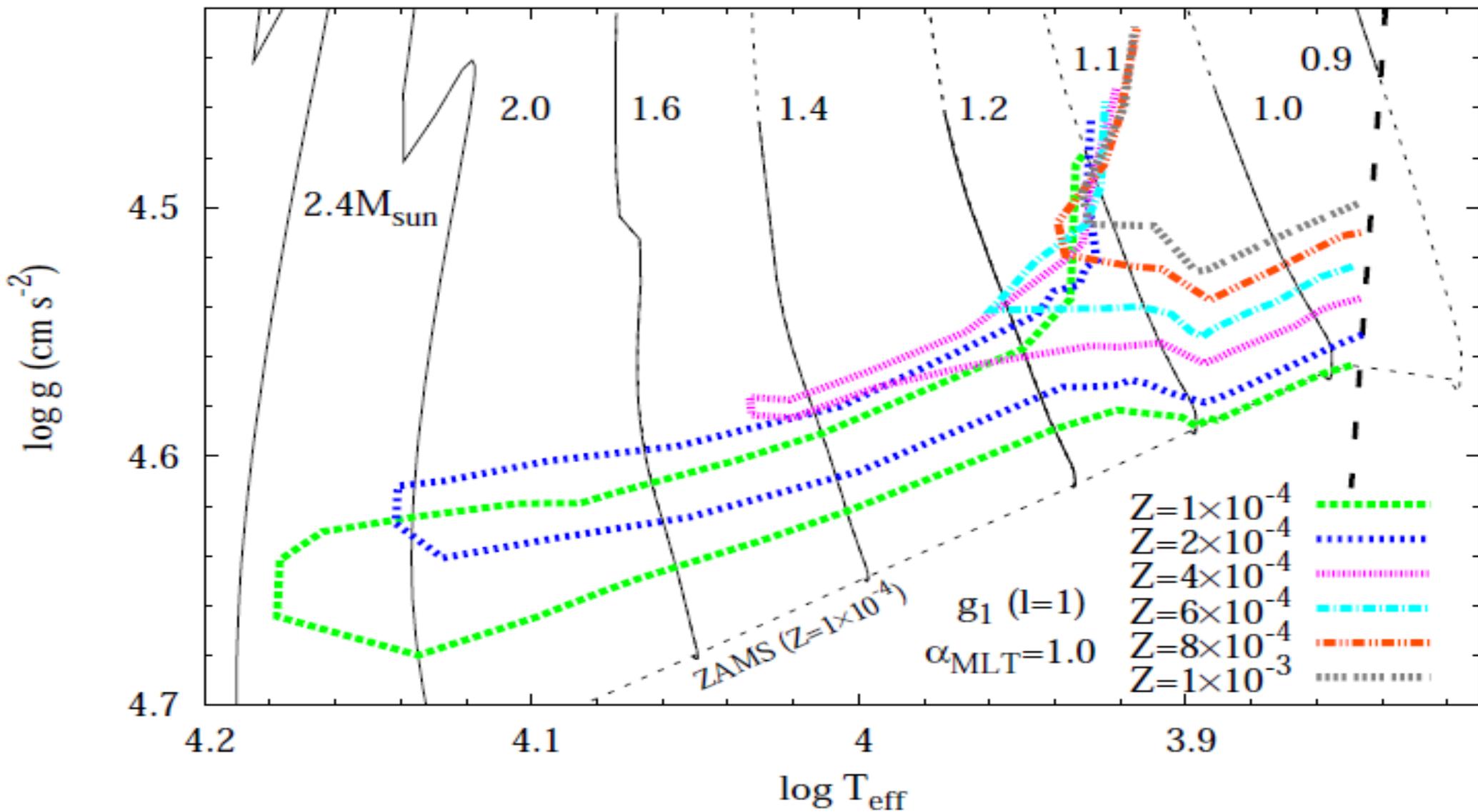


# 成長率



ゼロ年齢

# 結果：双極子g\_1モードの不安定領域



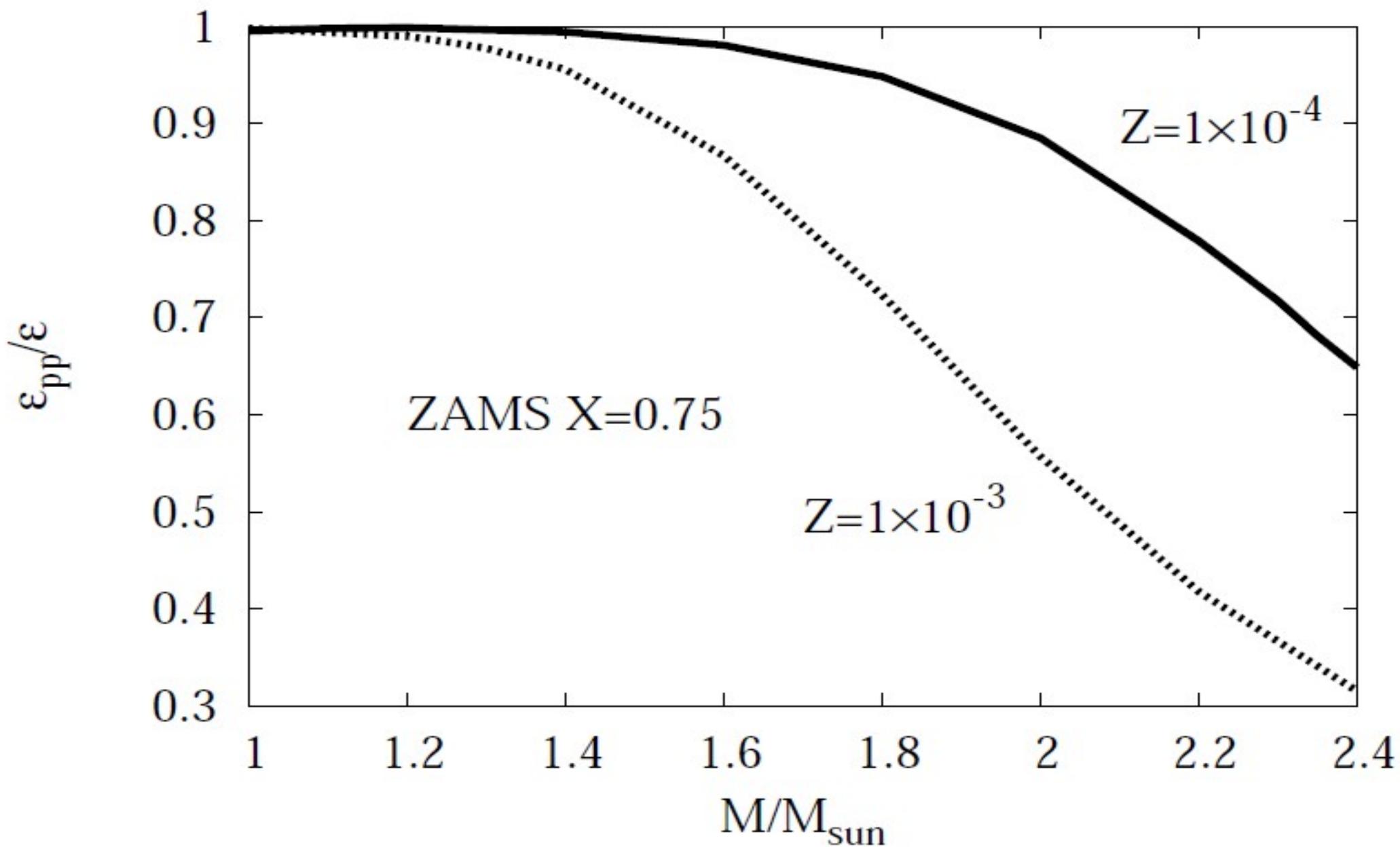
Z減 ⇒ 不安定領域大

# 中心核のエネルギー輸送

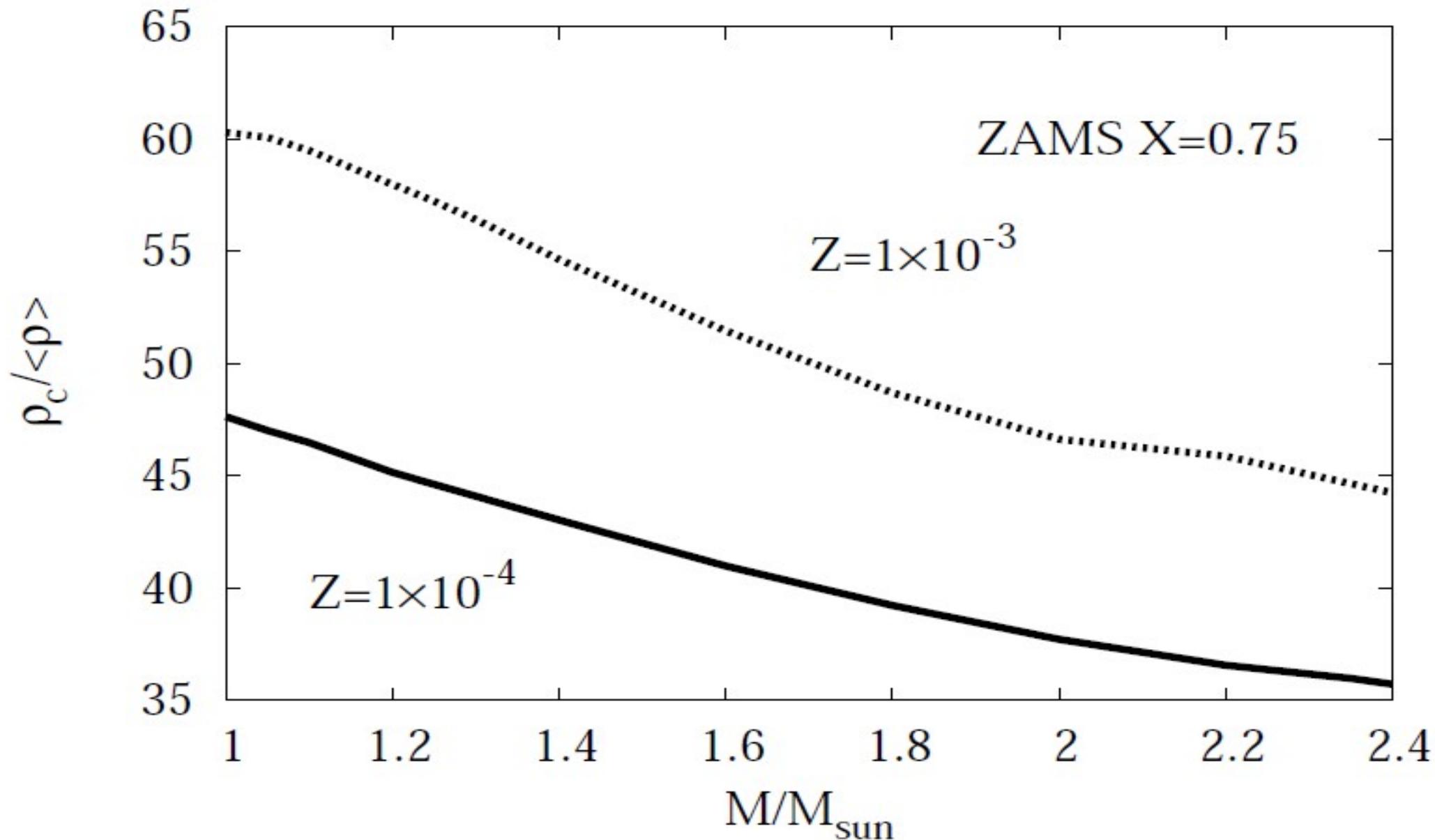
- ppチェーン…輻射的、もしくはゼロ年齢で対流的でも進化とともに輻射的に
- CNOサイクル…対流的

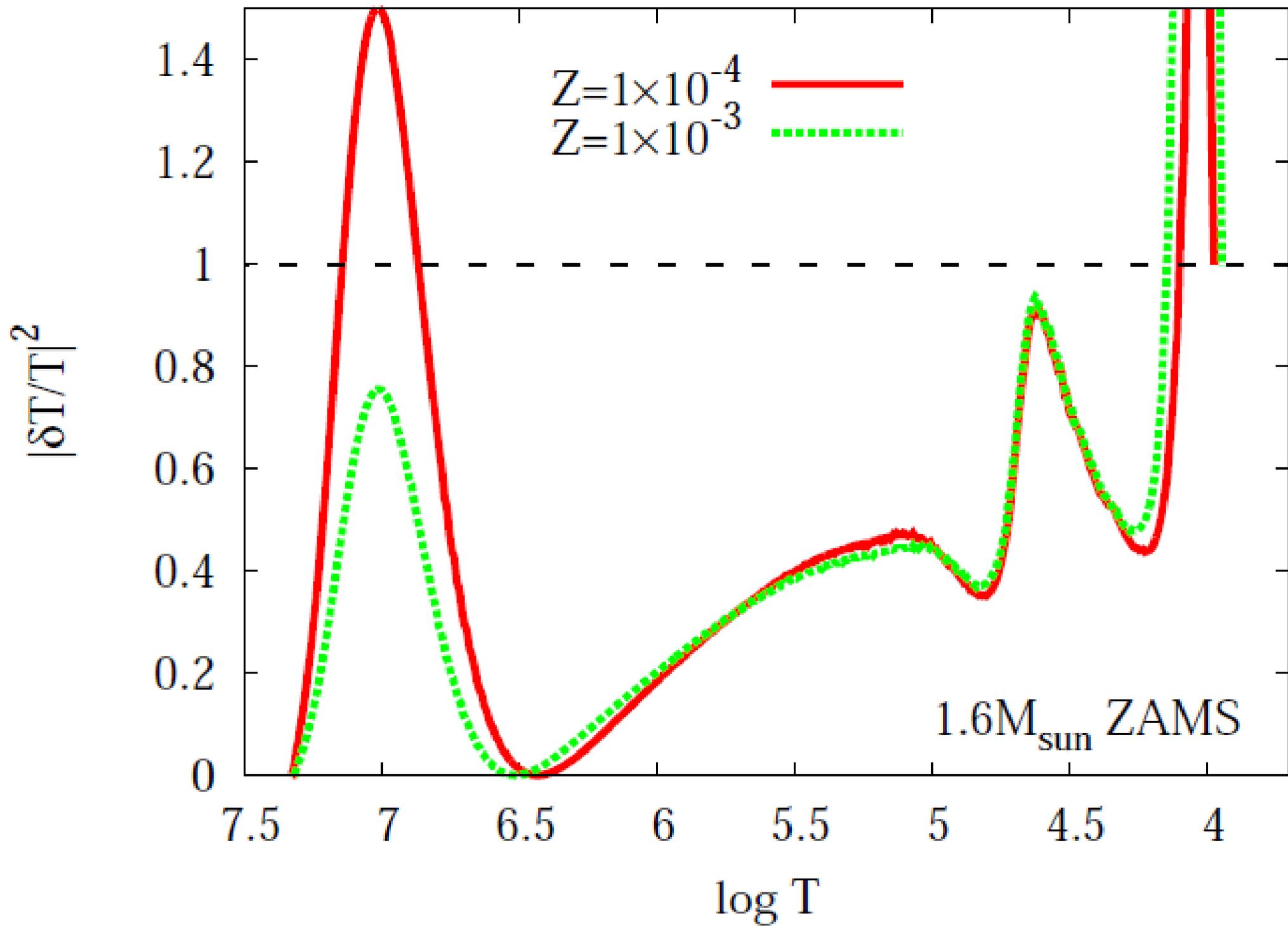
gモードの波…対流領域を伝播しない  
⇒ ppチェーンの方が  $\varepsilon$  メカニズムが起こりやすい

# 中心におけるppチェーンの寄与



Z減 ⇒ 密度コントラスト減





# まとめ

1) 低金属量星で外縁対流層による不定性なく、gモードが $\varepsilon$ メカニズムによる振動不安定になる。

2)

