

# 恒星進化と前兆ニュートリノ

吉田 敬

(京都大学基礎物理学研究所)

梅田秀之, 高橋亘

(CO2研究分担者)

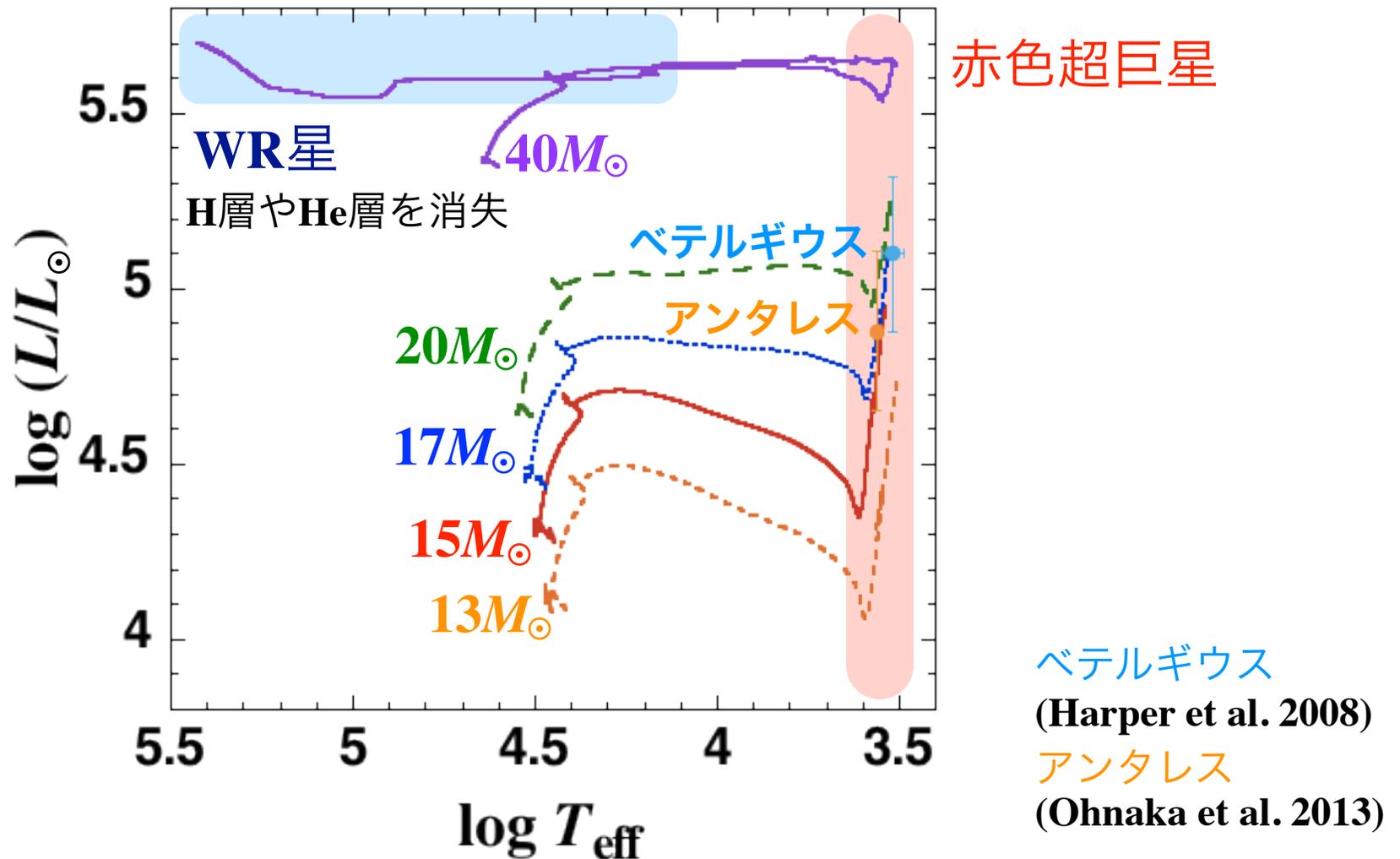
(東京大学大学院理学系研究科天文学専攻)

第一回 地下素核研究 研究会

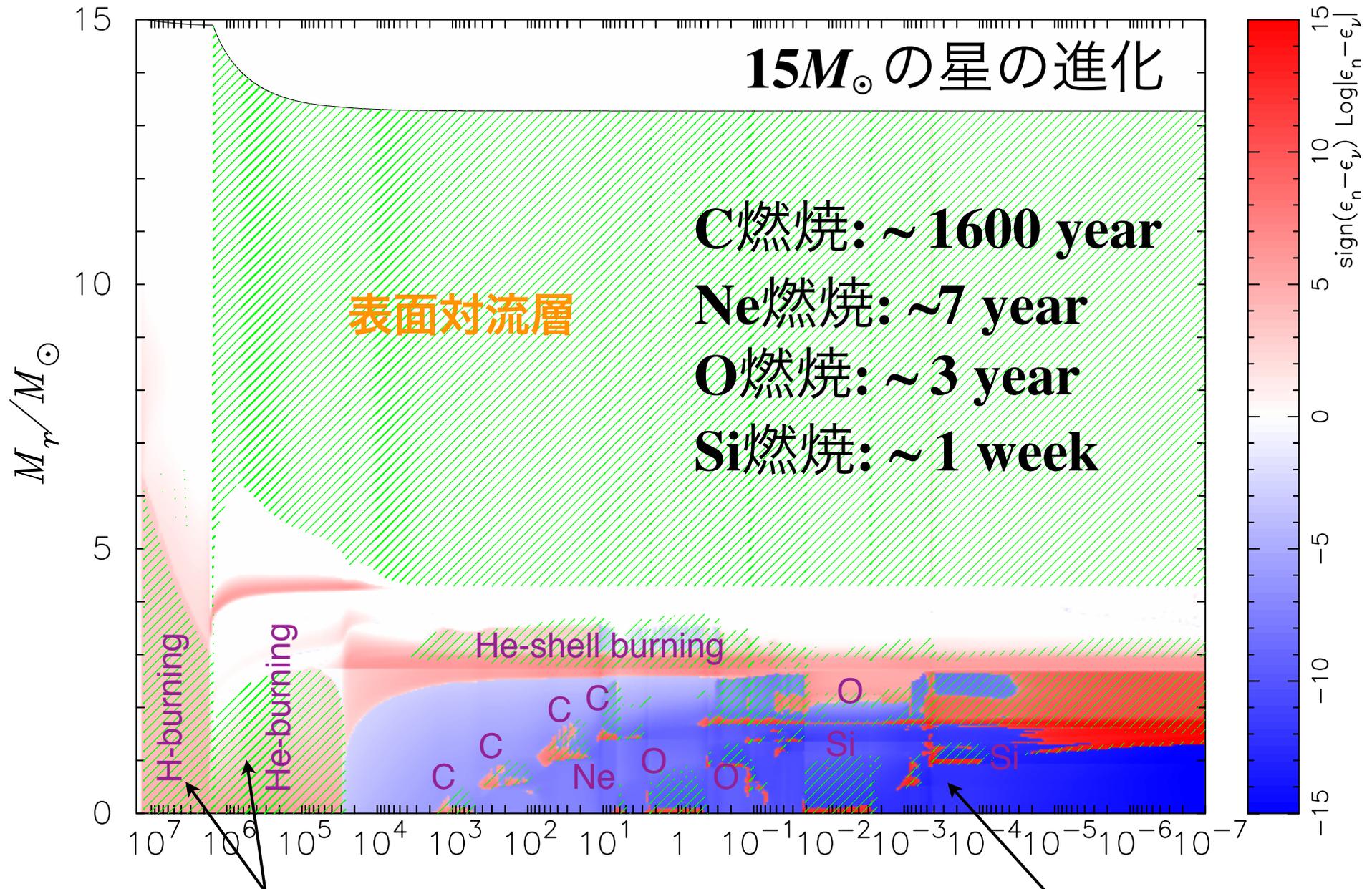
2014年8月24日 大阪大学豊中キャンパス シグマホール

# 大質量星の進化

- 大質量星 ➡ 8-10太陽質量( $M_{\odot}$ )より重い星  
赤色超巨星やWolf-Rayet星(WR星)へ進化  
超新星爆発を起こす



# 大質量星の進化



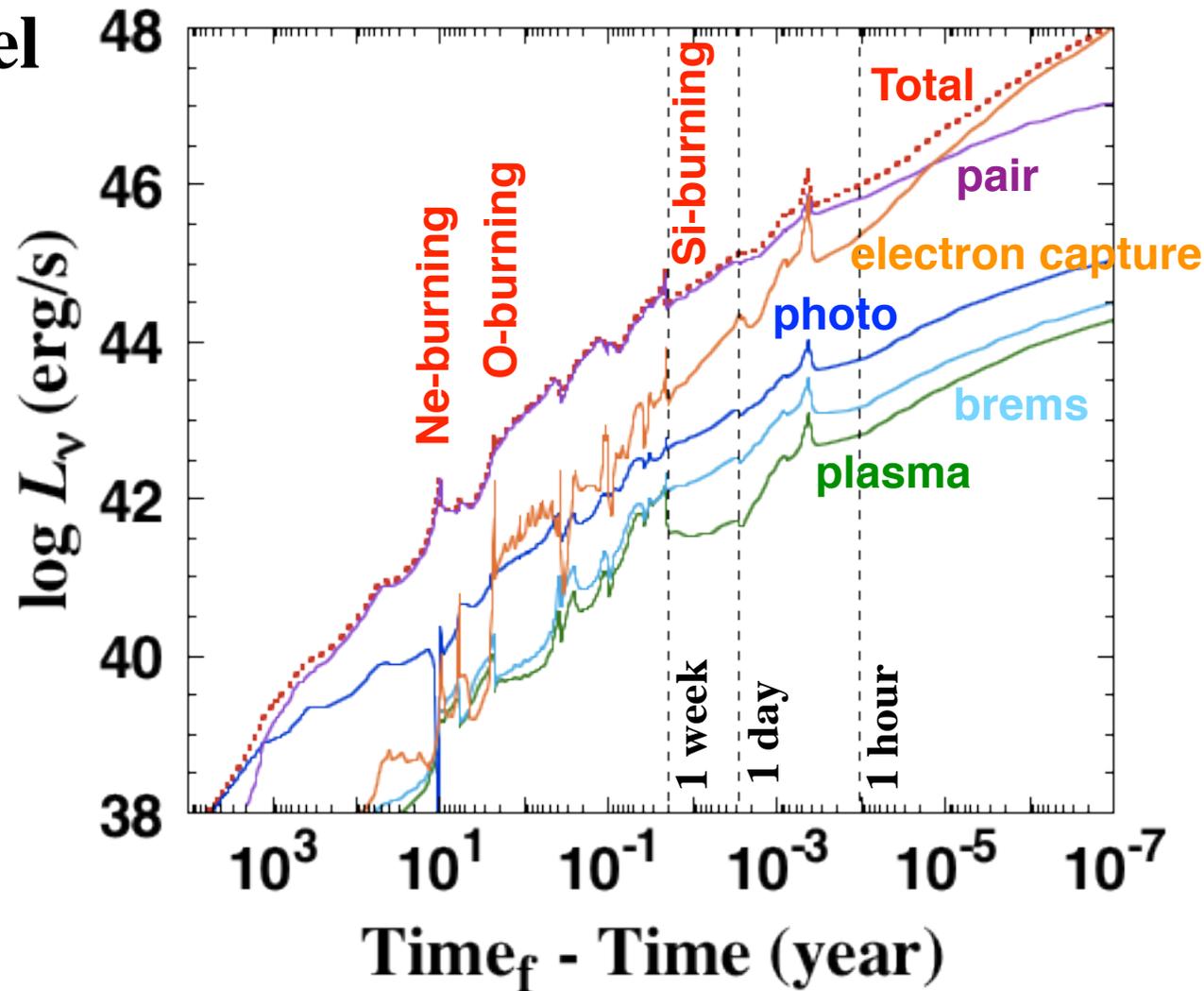
核燃焼によるheating

Time (year)

neutrinoによるcooling

# ニュートリノ光度の進化

15  $M_{\odot}$  model



- 主に電子のpair-annihilationによってneutrinoが生成
- ➡ Si燃焼時に出るneutrino ( $L_{\nu} \sim 10^{45-47}$  erg/s) を調べる

# Neutrino spectraの見積もり

---

- 大質量星の進化を重力崩壊直前まで計算  
(e.g., Umeda, Yoshida, Takahashi 2012; Takahashi, Yoshida, Umeda 2013;  
Yoshida, Okita, Umeda 2014; Takahashi, Umeda, Yoshida 2014)

➡ **neutrinoエネルギー放出率の見積もり**

- **pair neutrino**による**neutrino**放出

モンテカルロシミュレーションで **$\nu$  spectra**を求める  
(Odrzywolek et al. 2004の方法を改良)

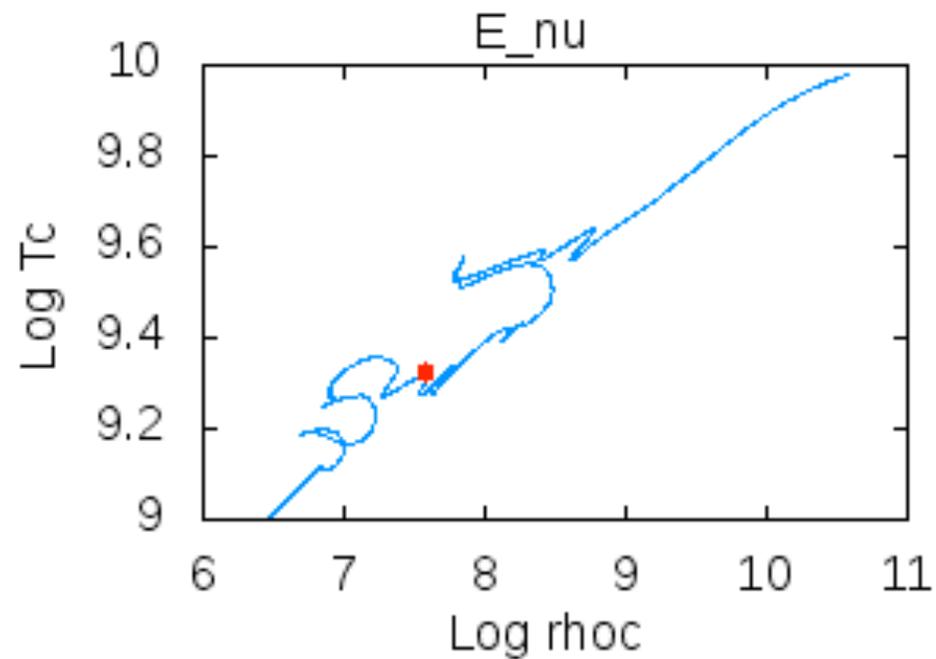
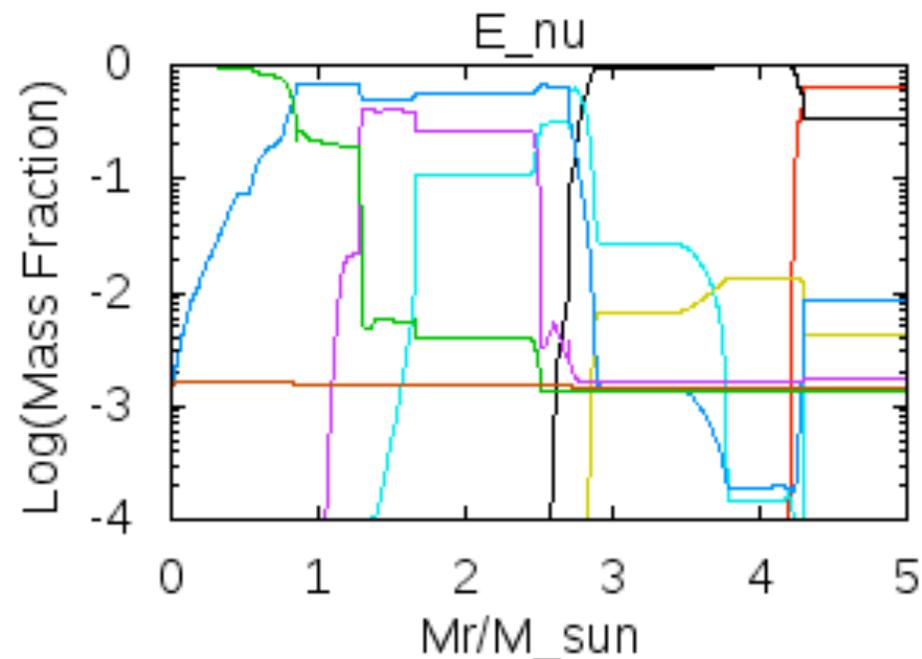
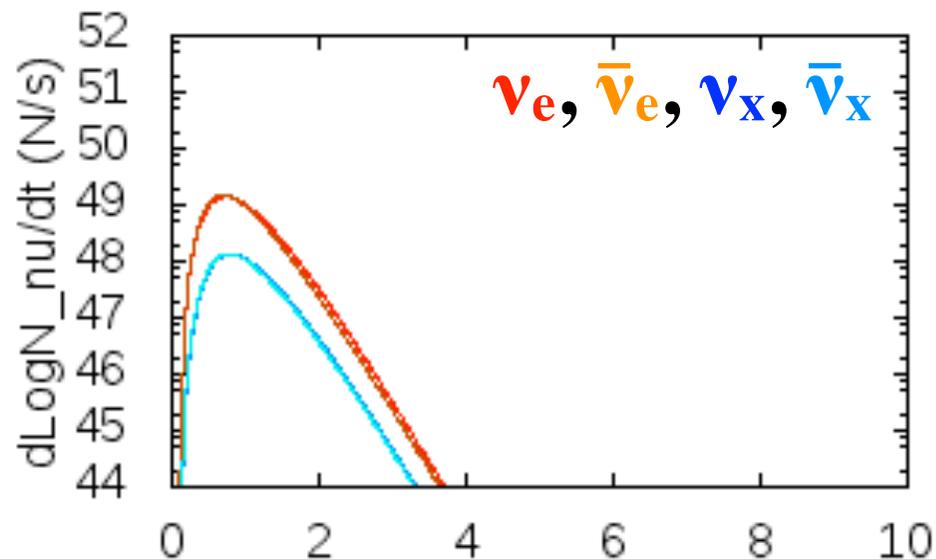
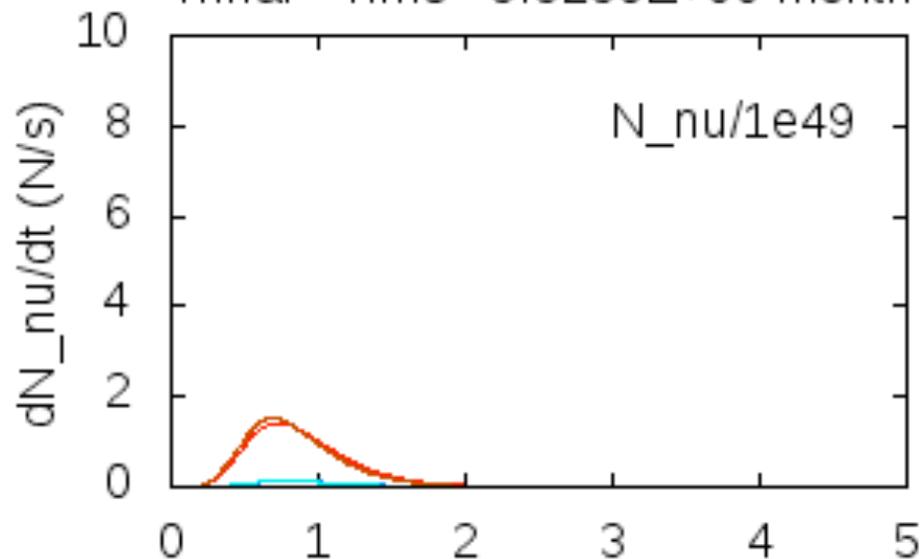
$$|M|^2 \propto (C_A - C_V)^2 (p_{e^-} \cdot q_{\nu x}) (p_{e^+} \cdot q_{\bar{\nu} x}) + (C_A + C_V)^2 (p_{e^+} \cdot q_{\nu x}) (p_{e^-} \cdot q_{\bar{\nu} x}) \\ + m_e^2 (C_A^2 - C_V^2) (q_{\nu x} \cdot q_{\bar{\nu} x})$$

# ニュートリノスペクトルの進化(15M<sub>⊙</sub>)

nstg= 4151

Tfinal - Time= 3.3239E+00 month

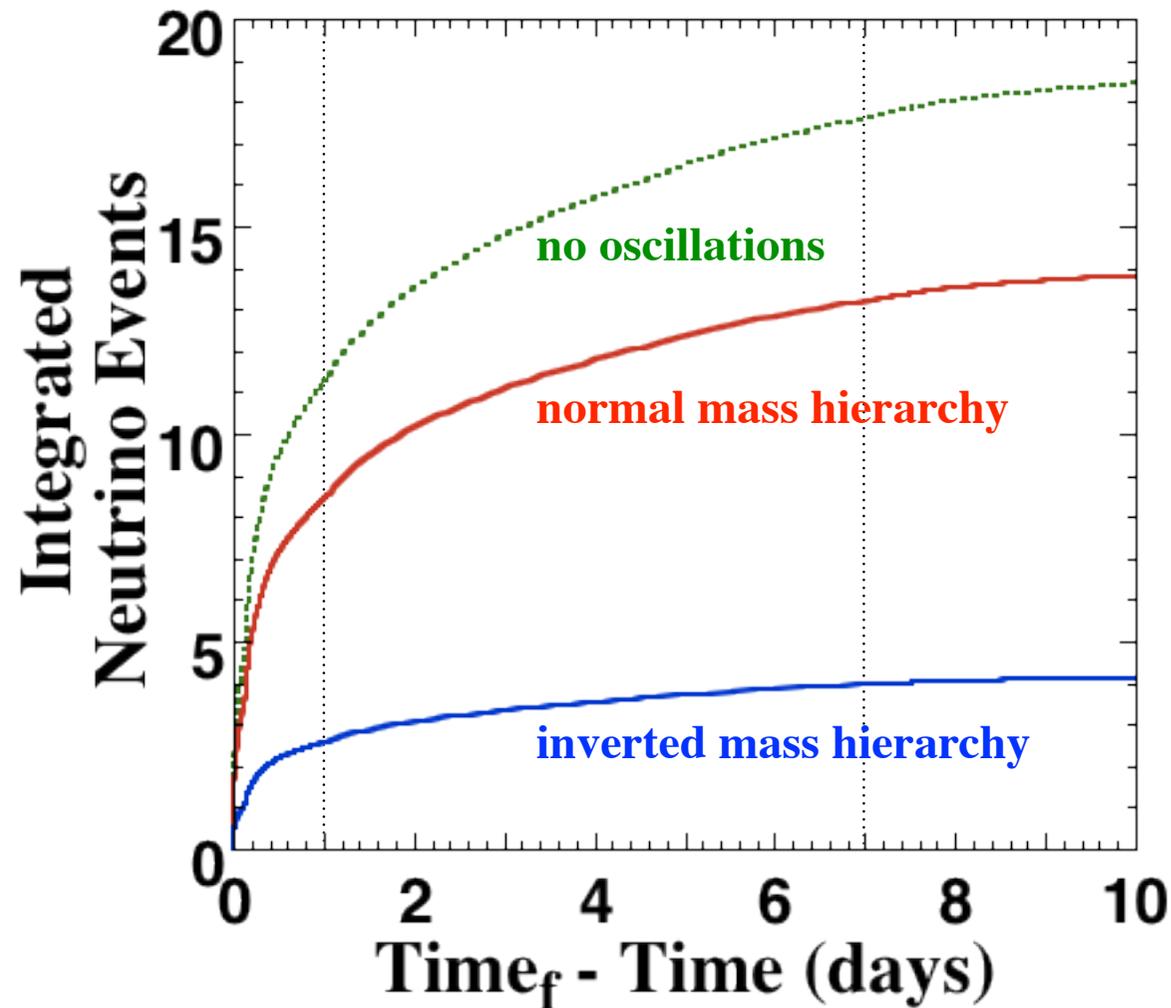
H, He, C, N, O, Ne, "Si", "Fe"



# 前兆neutrino event数の予測

- $15 M_{\odot}$  model @ 200pc (ベテルギウスの距離)

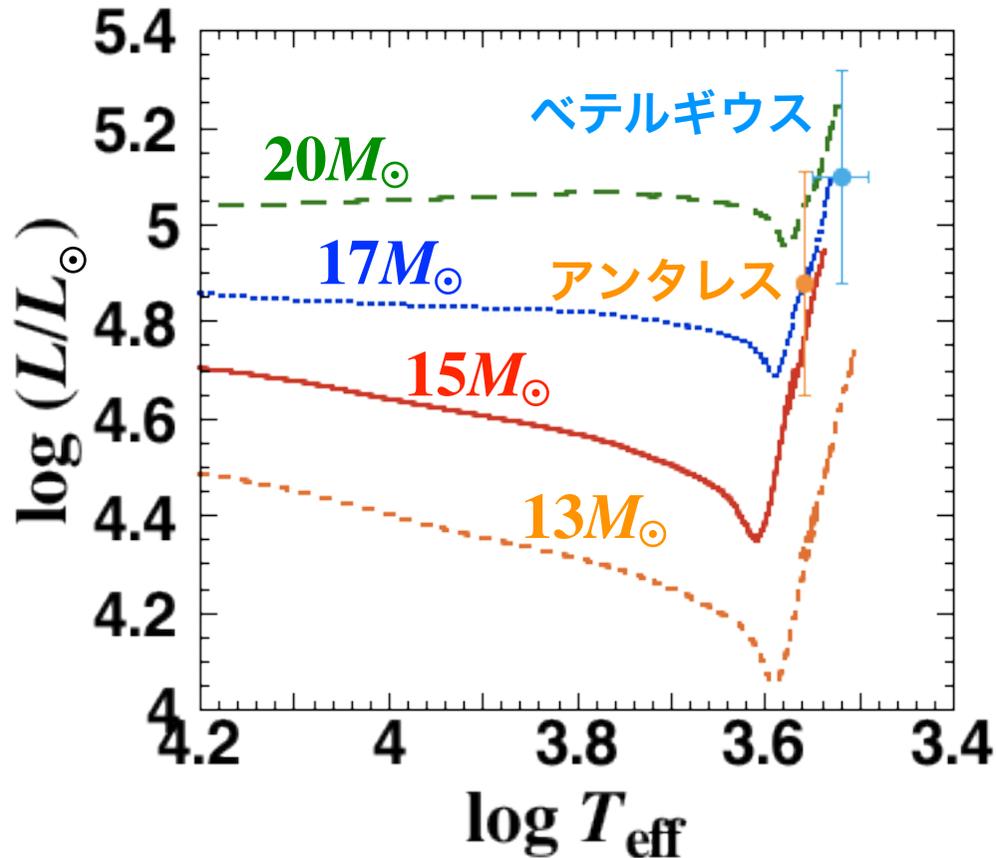
KamLANDによる検出  $p + \bar{\nu}_e \rightarrow n + e^+$



- Neutrino検出数は~14個 (normal), ~4個 (inverted)

# 星の不定性による影響

- 距離の不定性 → 星の質量の不定性



- ベテルギウス

→  $d = 197 \pm 45$  pc

$\log L/L_{\odot} = 5.10 \pm 0.22$

(Harper et al. 2008)

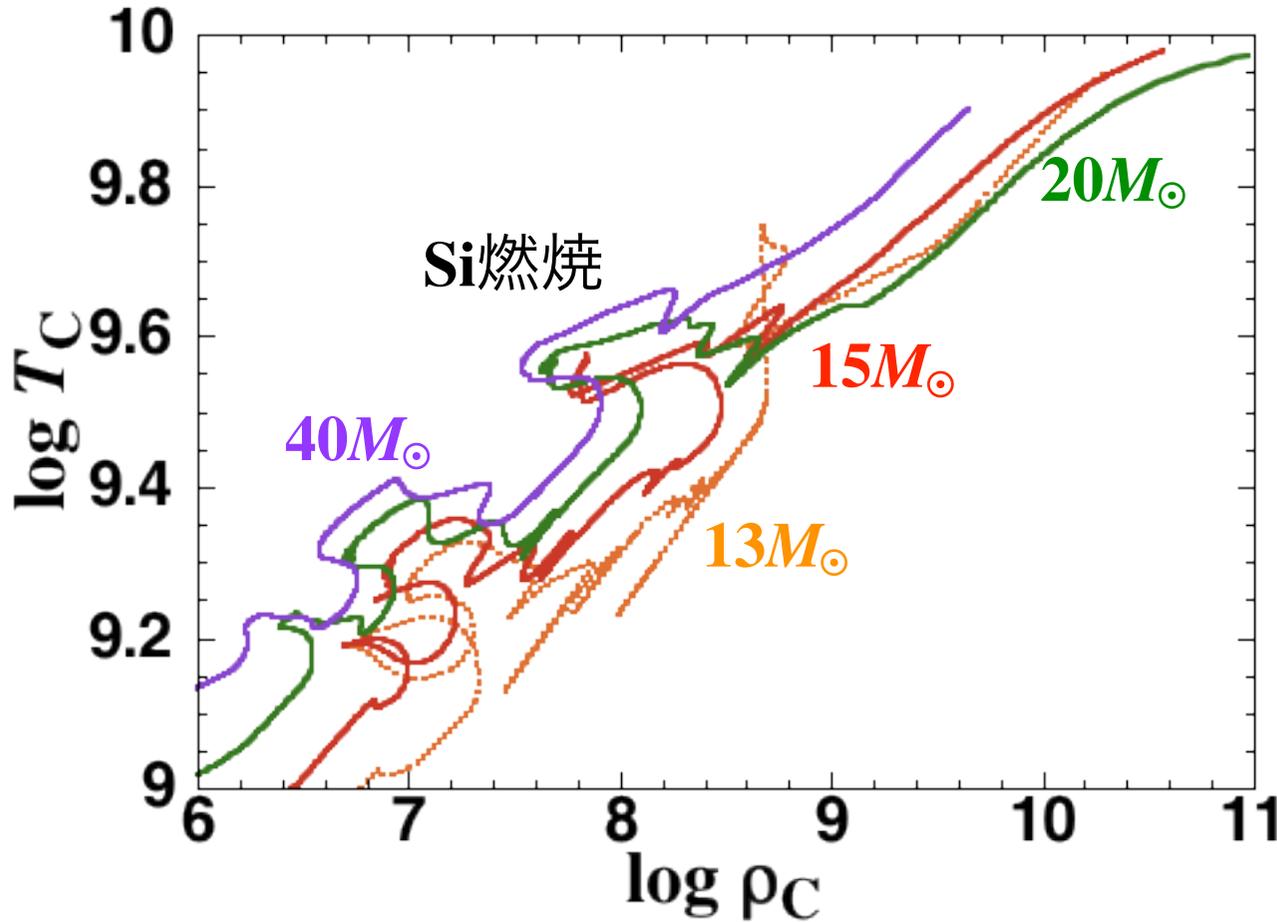
→  $M_{\text{MS}} \sim 14 - 21 M_{\odot}$

- 精度の高い距離測定が望ましい

- 星の質量に対する前兆neutrinoの依存性も重要

# Neutrinoで探る超新星progenitor

- Neutrino検出時期, 検出数 → Si燃焼を反映



- Si燃焼
  - 13  $M_\odot$  : 9 days
  - 15  $M_\odot$  : 7.5 days
  - 20  $M_\odot$  : 3.2 days
  - 40  $M_\odot$  : 1.4 days

- 前兆neutrinoの観測

→ 超新星progenitorのCOコア, Feコアの情報を得る

# 展望

---

- 前兆**neutrino**の大質量星に対する依存性
  - 初期質量, 金属量, 自転の効果
    - ➡ 超新星**progenitor**を系統的に作る
    - Si燃焼でのニュートリノスペクトルを見積もる
  
- 超新星**progenitor**としての大質量星
  - ➡ 超新星爆発の計算へつなげる  
(超新星爆発のグループと共同)
  - 超新星ニュートリノ観測の予測
  - 直接検出, **SN relic neutrino**

# まとめ

---

- 大質量星の後期進化
  - ➡ **Neutrino**によるエネルギー損失が重要
  - **Si**燃焼 ➡ 近傍の超新星なら**KamLAND**で検出可能
- 大質量星の進化モデルを用いた前兆**neutrino**の見積もり
  - **15  $M_{\odot}$  model @ 200pc**
    - ➡  $N_{\bar{\nu}_e} \sim 14$ 個 (normal),  $\sim 4$ 個 (inverted)
- 前兆**neutrino**からわかる**progenitor**の性質
  - ➡ 超新星**progenitor**の**CO**コア, **Fe**コアの情報を得る
    - 多様な大質量星モデルの作成
      - ➡ 初期質量, 金属量, 自転の効果
      - ➡ 前兆**neutrino**の特徴