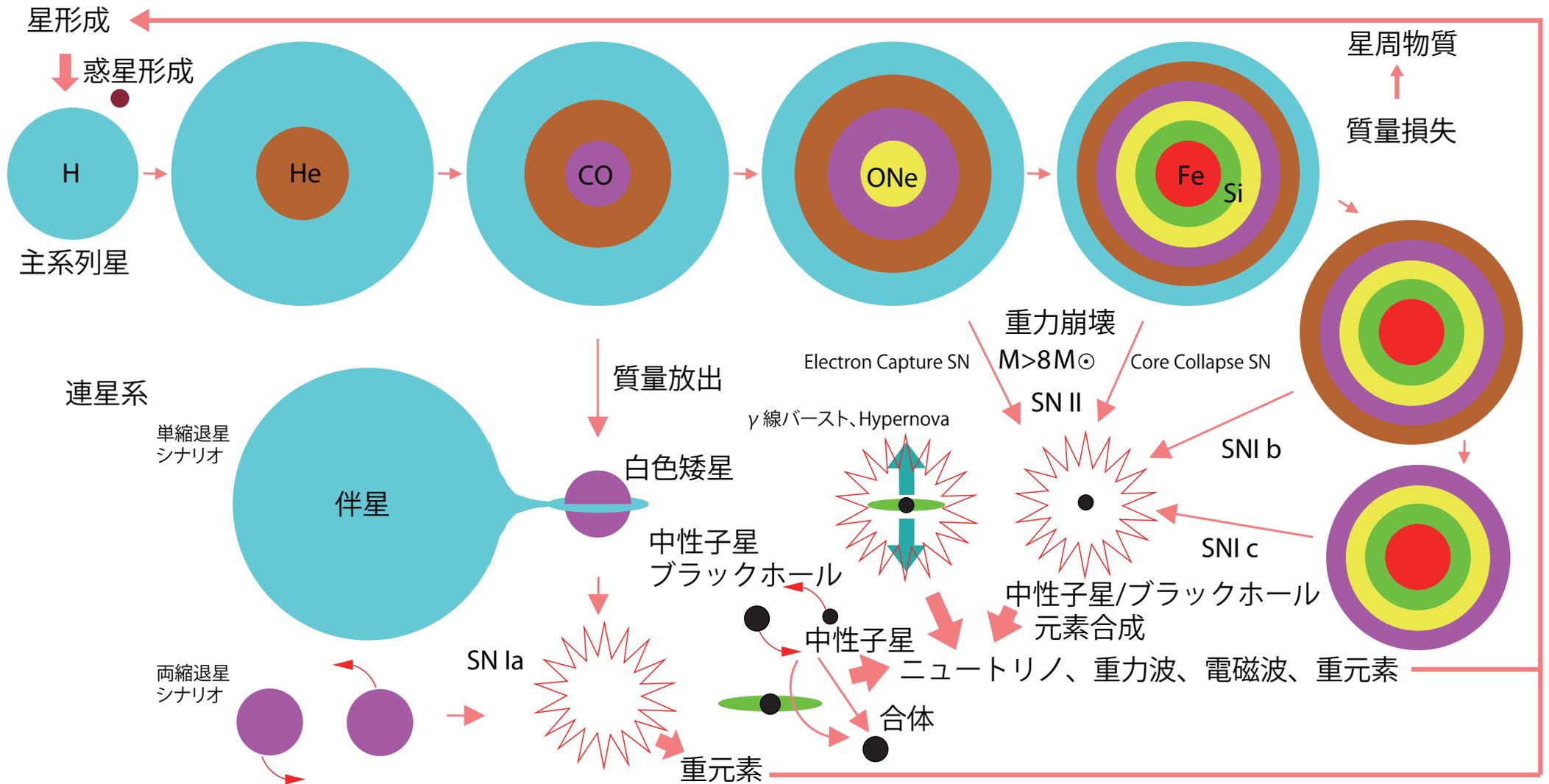


新生スーパーカミオカンデがもたらす超新星研究の新展開:はじめに

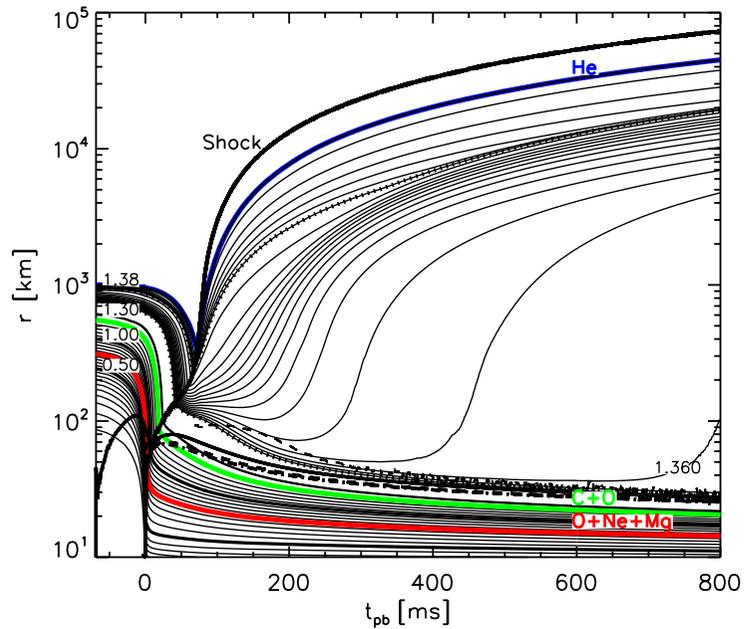
2021.9.17

東京理科大学理工学部 鈴木英之



軽い ONe コアの球対称爆発

Kitaura *et al.*, 2006



超新星ニュートリノの放出:

光度と平均エネルギーの時間発展

親星: Umeda $13M_{\odot}$, Z_{\odot}

1D simulation (collapse phase, accretion phase, cooling phase)

parameter: $t_{\text{shock revive}} = 100\text{ms}$

Nakazato *et al.*, 2013

多次元シミュレーションの例

Nagakura *et al.*, 2018

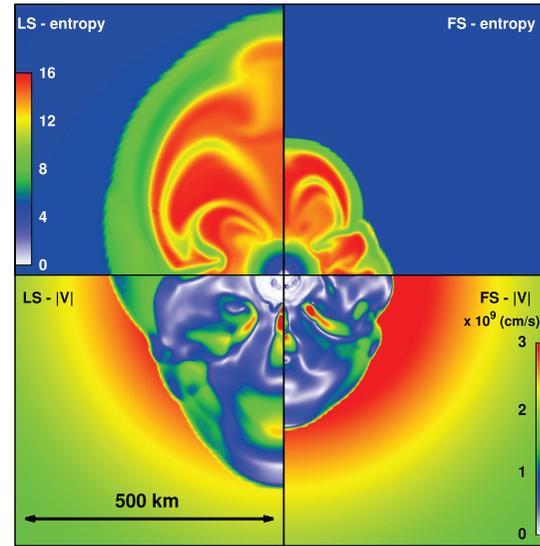
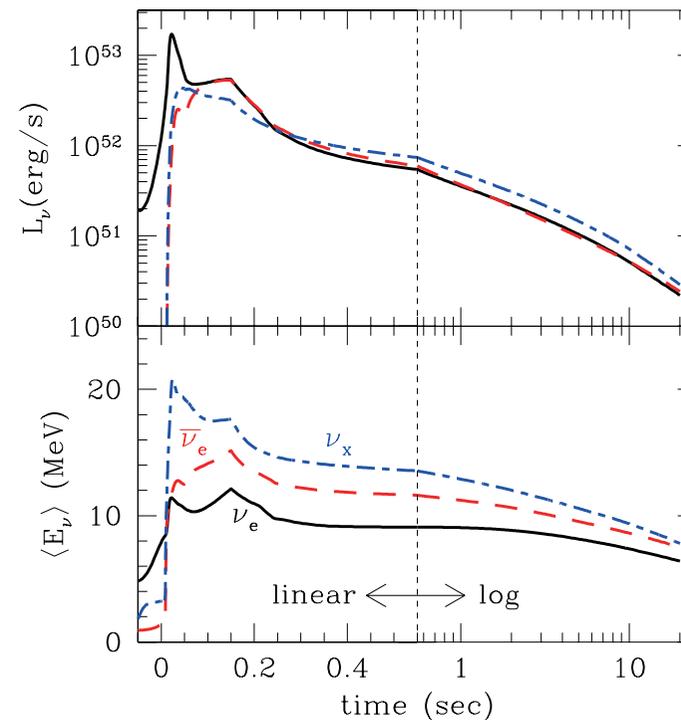


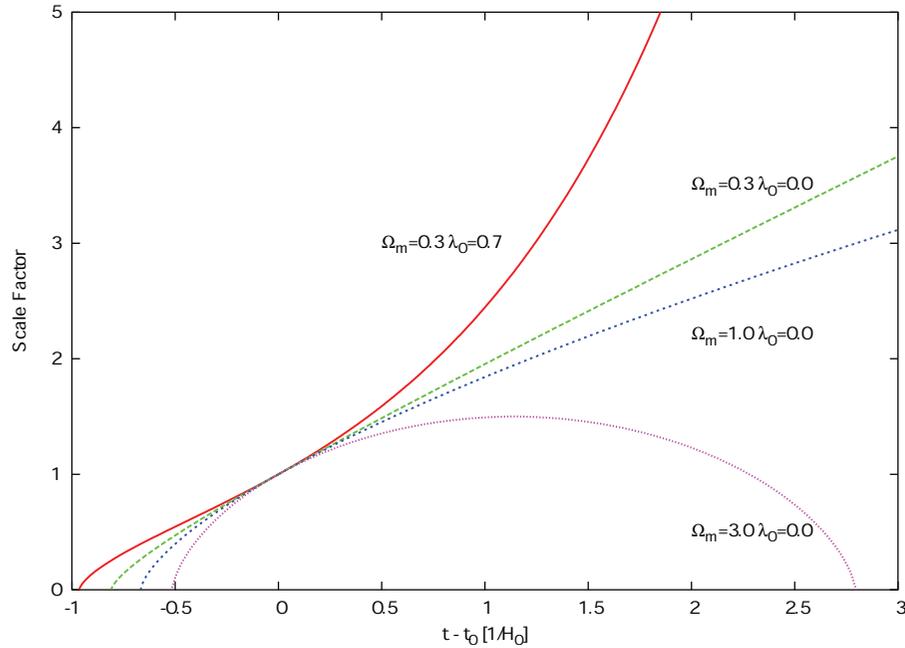
Figure 3. Snapshots of entropy per baryon (upper) and fluid speed (lower) at $t = 200$ ms. Left and right panels are for the LS and FS EOS, respectively.



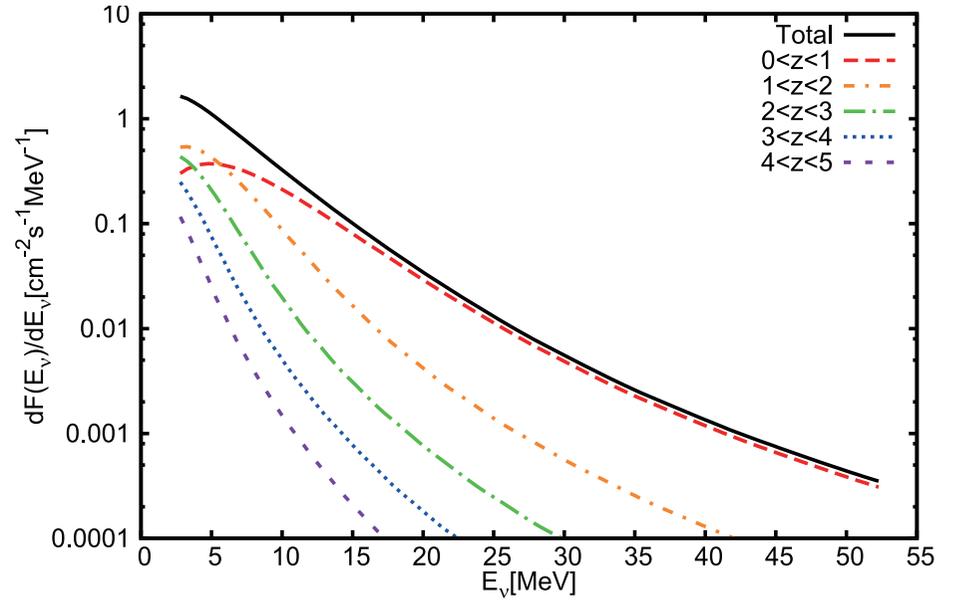
超新星背景ニュートリノ

SRN: Supernova Relic Neutrino

DSNB: Diffuse Supernova Neutrino Background

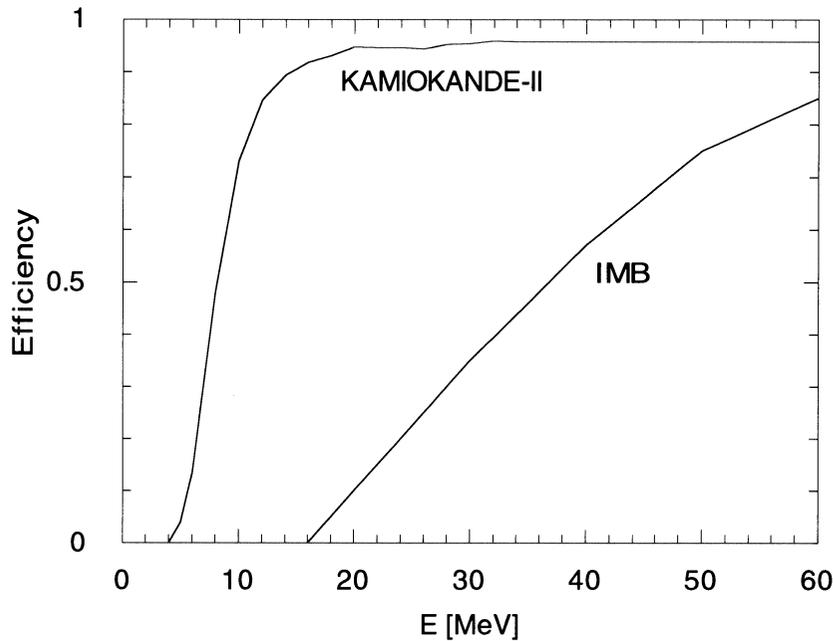
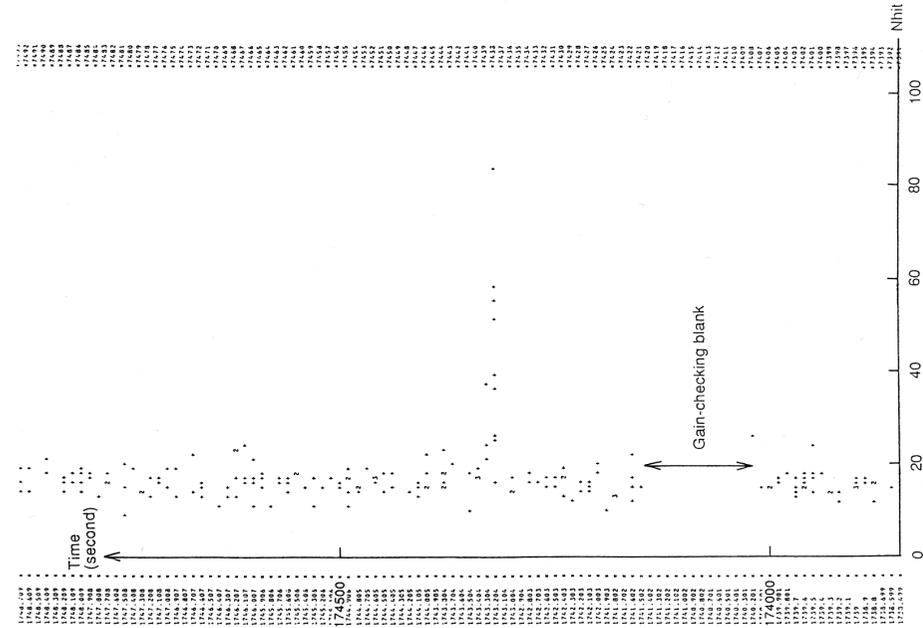


宇宙膨張モデル (Scale Factor)



各時期に放出された超新星ニュートリノの赤方偏移と重ね合わせ (Λ CDM モデル)

KAMIOKANDE-II での観測 (SN1987A)



低バックグラウンド化

バーストの継続時間:
K-II 12.4s, IMB 5.6s
 $\sim \tau_{\text{diff}}(\text{SN core})$

イベントの角度分布
 \sim ほぼ等方 $\bar{\nu}_e p \rightarrow e^+ n$

$$T_{\bar{\nu}_e} = 4.0 \pm 0.5 \text{ MeV},$$

$$E_{\text{tot } \bar{\nu}_e} = 3.4^{+1.4}_{-1.0} \cdot 10^{52} \text{ erg}$$

超新星ニュートリノの標準的な
描像に合致



超新星背景ニュートリノに関する制限

EXPERIMENTAL SEARCH FOR ELECTRON ANTINEUTRINOS FROM

PAST SUPERNOVAE

Weiping Zhang

A DISSERTATION

in

PHYSICS

Presented to the Graduate Faculty of the University of Pennsylvania in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy

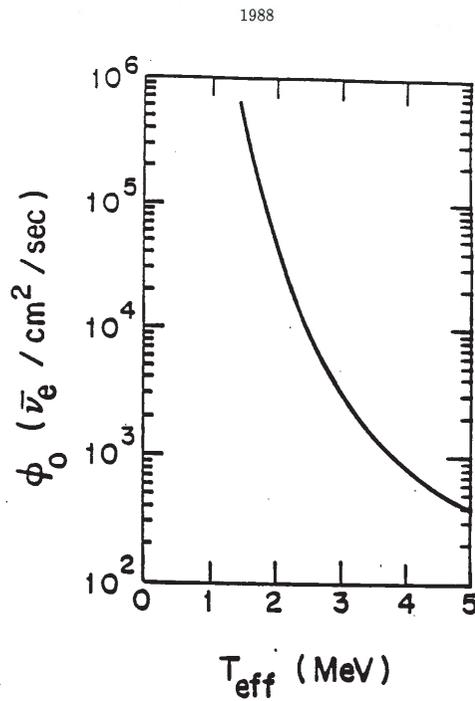
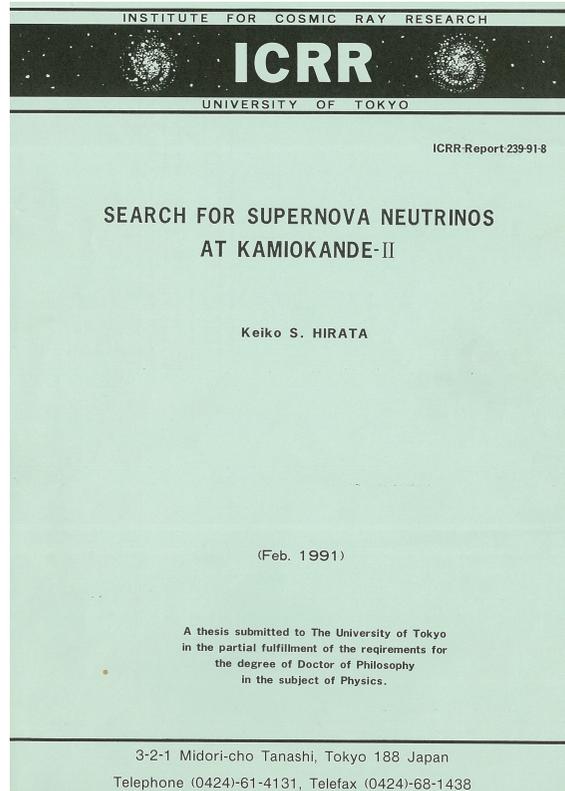


Figure 8.2: The final flux as a function of effective temperature of the supernova relic neutrino sea

Univ. of Pennsylvania,
W. Zhang, 1988



K.S. Hirata, 1991
 $T_\nu = 4\text{MeV}$ に対し、
 $F_\nu < 780/\text{cm}^2/\text{s}$

例えば、 $\Omega_m = 1$ の平坦な宇宙で超新星頻度が一定とした場合の予想フラックス

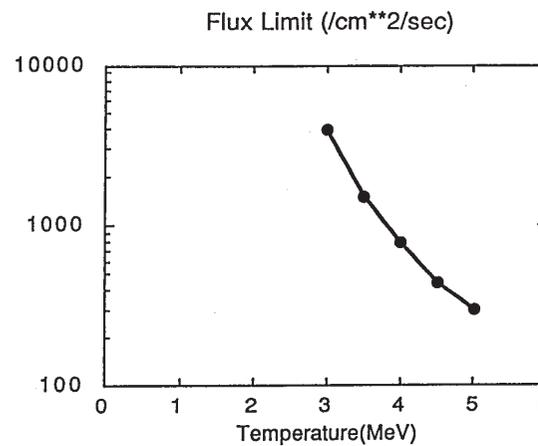


Figure 5.9: Background-subtracted upper limits of the total anti-neutrino flux at 90% CL as a function of temperature T_r . Ω is set to unity.

$$\begin{aligned}
 & c n_{\bar{\nu}_e} \\
 &= 44/\text{cm}^2/\text{sec} \left(\frac{h}{0.75}\right)^{-1} \\
 &\times \left(\frac{T}{4\text{MeV}}\right)^{-1} \left(\frac{E_{\text{tot}, \bar{\nu}_e}}{5 \cdot 10^{52}\text{erg}}\right) \\
 &\times \left(\frac{n_{\text{gal}}(t_0)}{1/50\text{Mpc}^3}\right) \left(\frac{f_{\text{SN}}}{1/10\text{year}}\right)
 \end{aligned}$$

1983 KAMIOKANDE

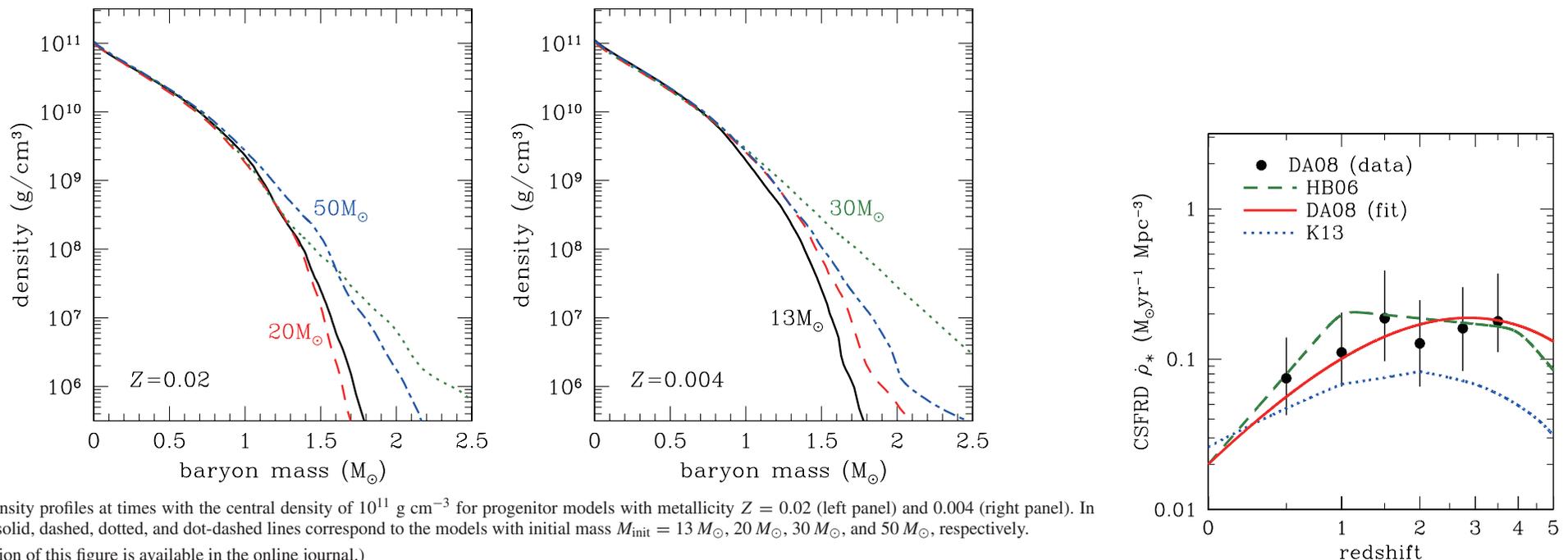
1987 KAMIOKANDE-II (低バックグラウンド化) → 超新星ニュートリノの初観測

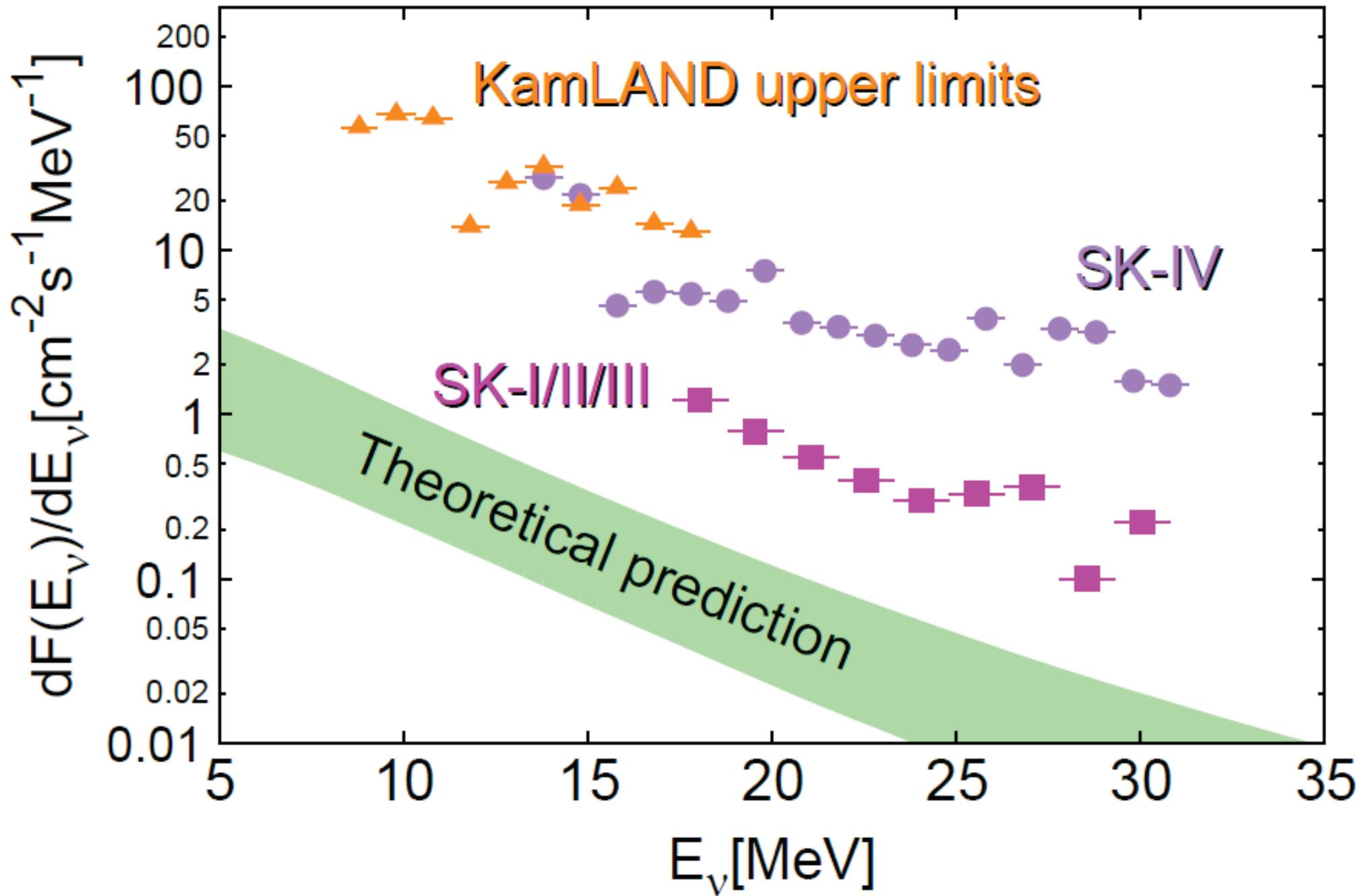
1996 Super-KAMIOKANDE

2020 SK-Gd ($\bar{\nu}_e$ の識別性能向上) → 超新星背景ニュートリノの初観測?

超新星背景ニュートリノのエネルギースペクトル $\frac{dF_\nu(E_\nu, t_0)}{dE_\nu}$ に含まれる情報

- 一回の星の重力崩壊 (NS, BH 形成) で放出されるニュートリノスペクトル $\frac{dN_\nu}{dE'_\nu}(E'_\nu, M, Z)$, ($E'_\nu = (1+z)E_\nu$), z : 赤方偏移, M : 親星質量, Z : 金属量
- 宇宙膨張則 $a(t), t(z)$
- 超新星 (重力崩壊) 発生率 $R_{CC}(z, M, Z) \propto \text{SFR} \times \text{IMF}$ (星形成率 \times 初期質量関数), 連星系の影響も考慮
- 化学進化 $Z(z)$





Nakazato *et al.*, 2015

最新の成果は、中島氏、堀内氏のトーク (KamLAND のデータも最近更新された arXiv:2108.08527)

17pW1: 新生スーパーカミオカンデがもたらす超新星研究の新展開

- 東大宇宙線研 関谷洋之: スーパーカミオカンデアップグレード SK-Gd 検出器の紹介
- 東大理 中島康博: SK-Gd における超新星観測の現状と展望
純水 phase での超新星背景ニュートリノ探査実験結果、SK-Gd での見通し、
近傍超新星の観測準備 (光学観測への方向情報提供など)
- 岡山大理 小汐由介: 素粒子・原子核実験を通して行う超新星背景ニュートリノ精密観測
NC BG 削減に向けて、T2K 実験などとの連携 (BG の理解と除去)
- 九大基幹 中里健一郎: スーパーカミオカンデで見る超新星ニュートリノバーストの時間変動
フェーズごとの超新星ニュートリノの特徴、観測から得られる情報など
- バージニア工科大学 堀内俊作: 超新星背景ニュートリノの理論予言
ブラックホール形成イベントも含む超新星背景ニュートリノの理論計算のレビュー
- 京大基研 吉田敬: 大質量星の最終進化と超新星前兆ニュートリノ
コアの重力崩壊前に放出される超新星前兆ニュートリノと内部構造進化、超新星ニュートリノ観測と光学観測の時間差など