

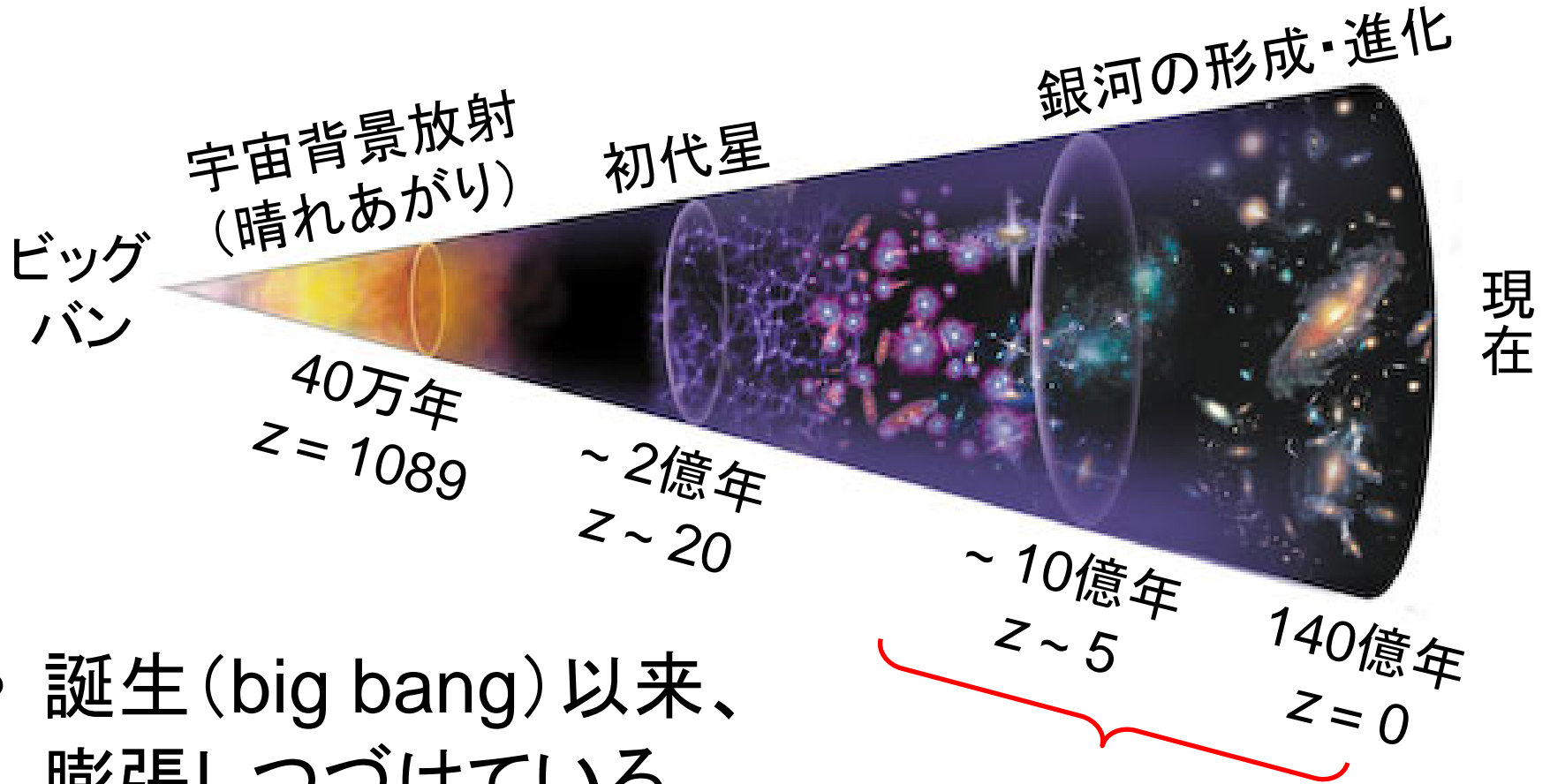
星形成史と 超新星背景ニュートリノ

中里 健一郎

(東京理科大学 理工学部 物理学科)

2014年8月24日 新学術「地下素核研究」第1回研究会@阪大

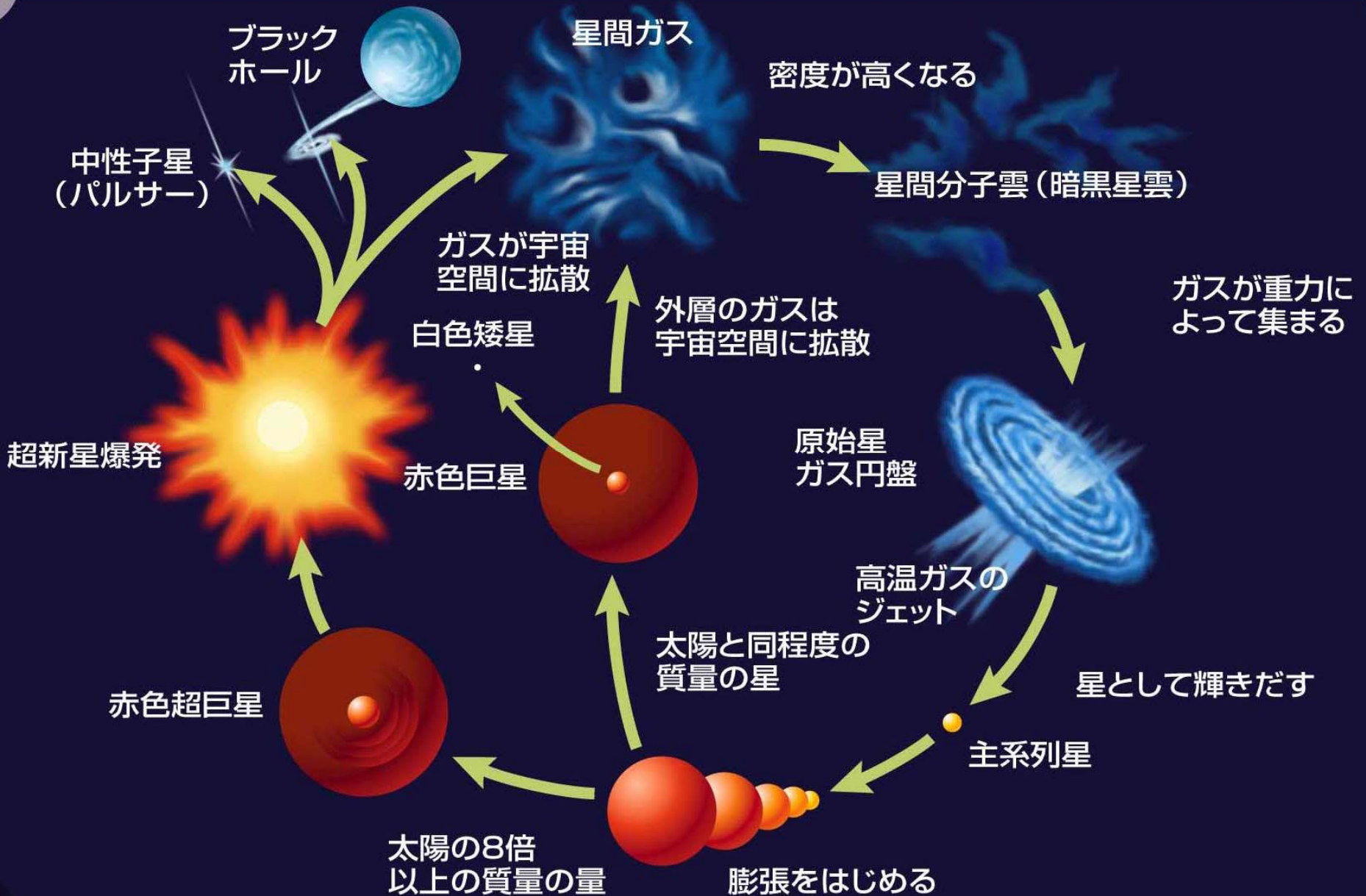
宇宙の歴史



- 誕生 (big bang) 以来、膨張しつづけている。
- 「時間」として赤方偏移 z を用いる。

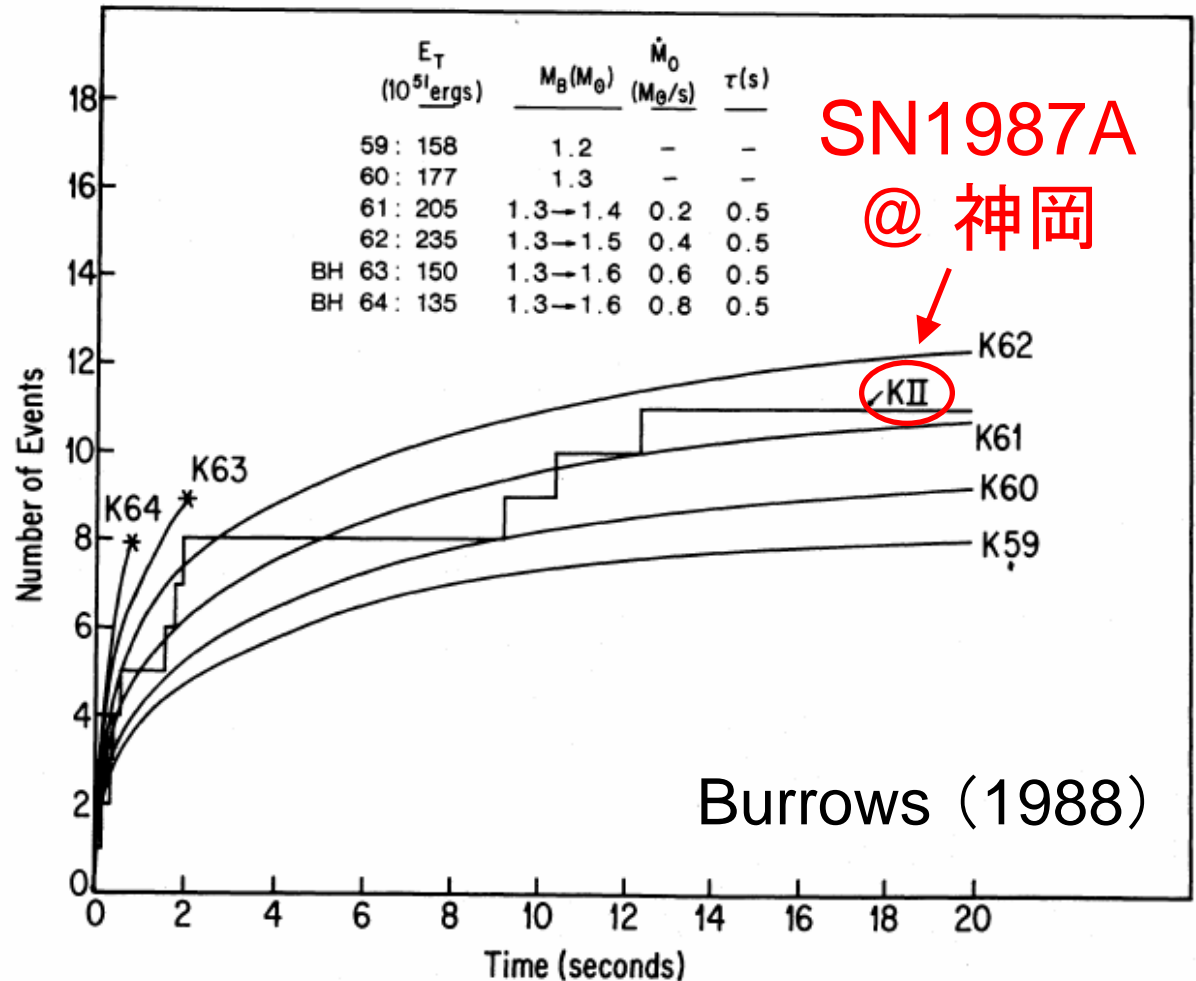
この間、無数の星が生まれ死んでいった

星の輪廻転生



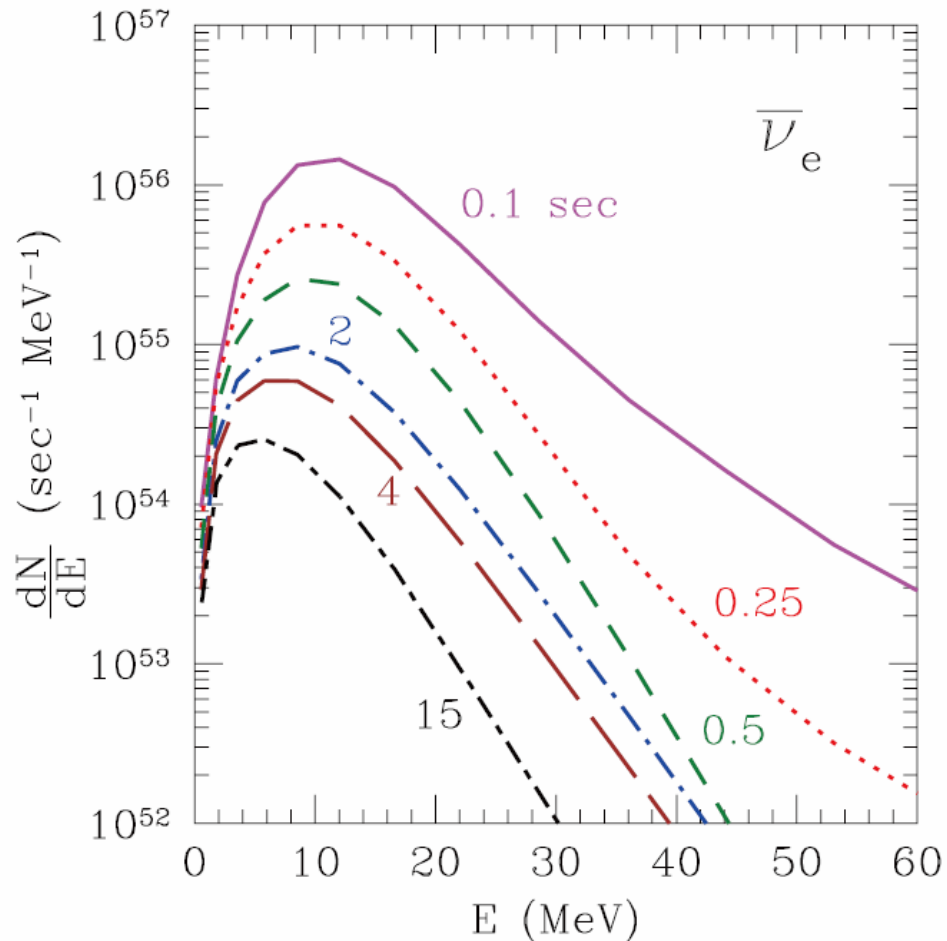
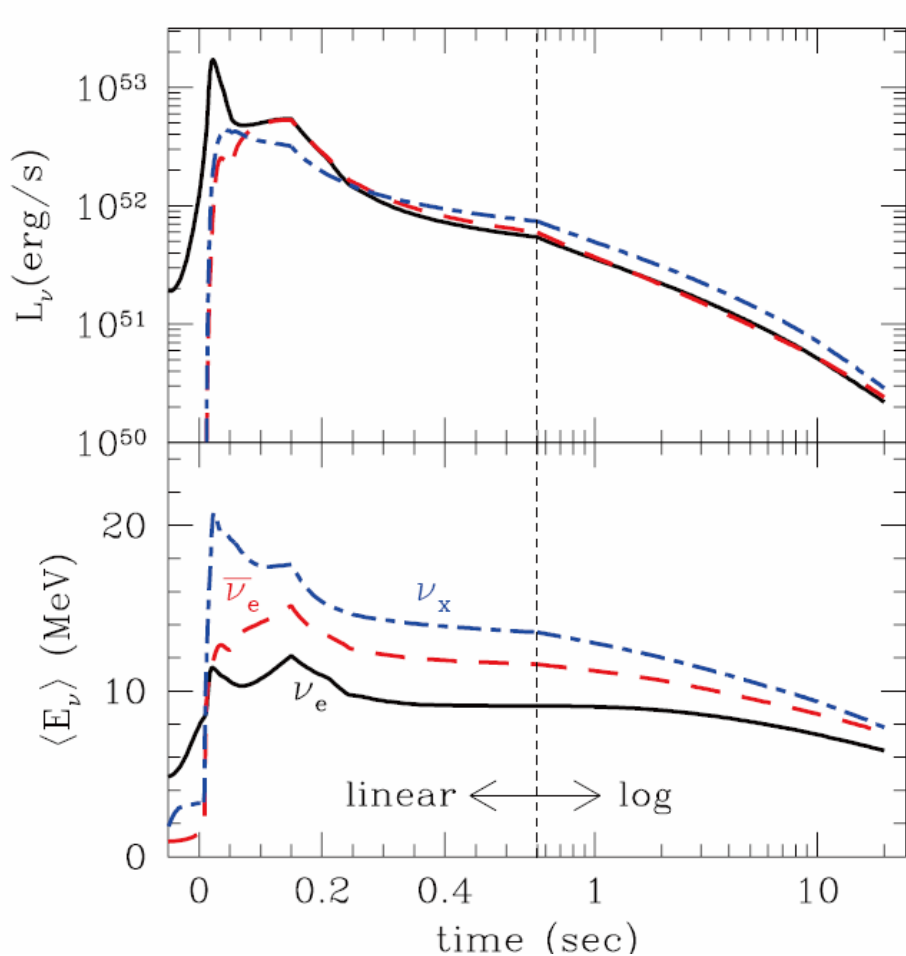
超新星ニュートリノ

- 超新星爆発に伴い、大量のニュートリノが放出。



超新星ニュートリノの数値計算

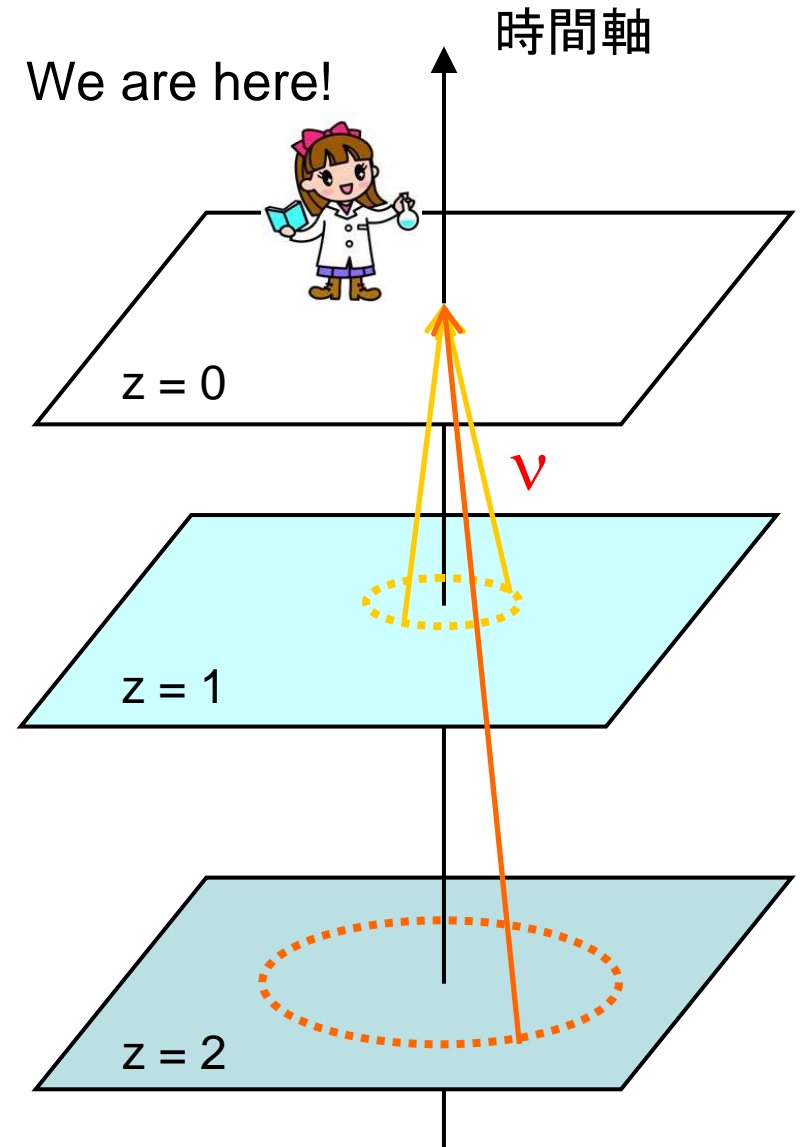
Nakazato et al., ApJS **205** (2013) 2: $13M_{\odot}$, $Z=0.02$, $t_{\text{revive}}=100$ ms



- 典型的に、 $O(10 \text{ MeV})$ のニュートリノを放出。

超新星背景ニュートリノ

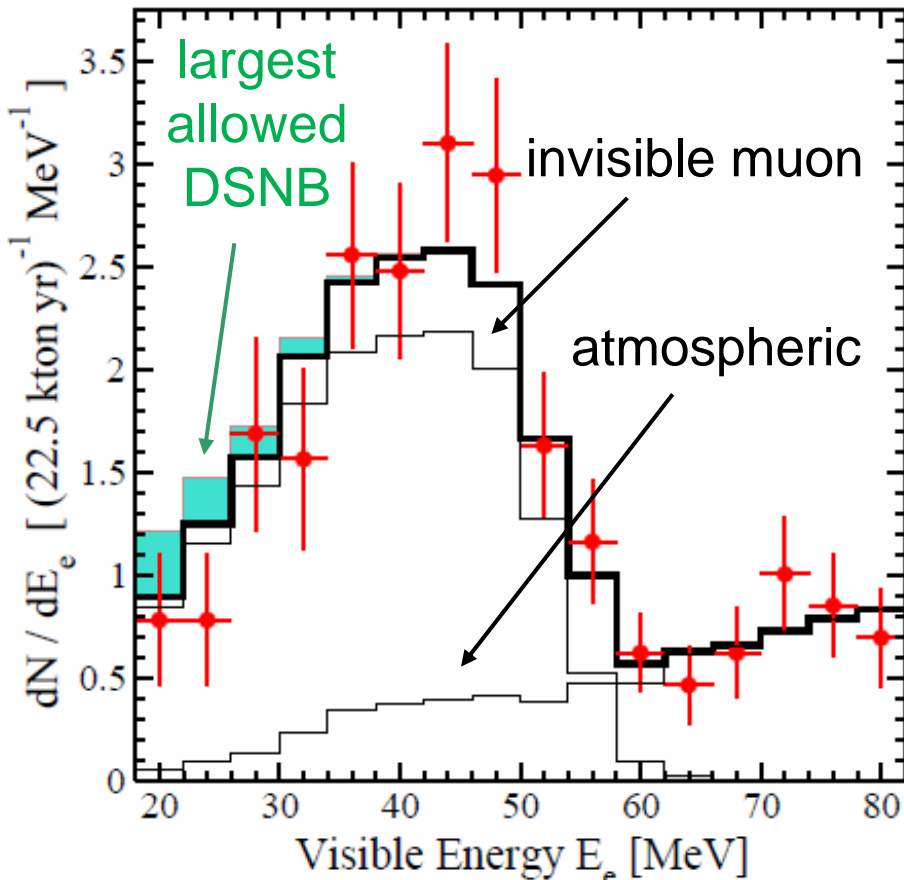
- 宇宙背景放射のニュートリノ版。
- 過去の超新星から放出されたニュートリノが重ね合わさり、バックグラウンドとして宇宙を満たしている。
- 超新星そのものだけでなく、宇宙の星形成史などを探る上でも重要。



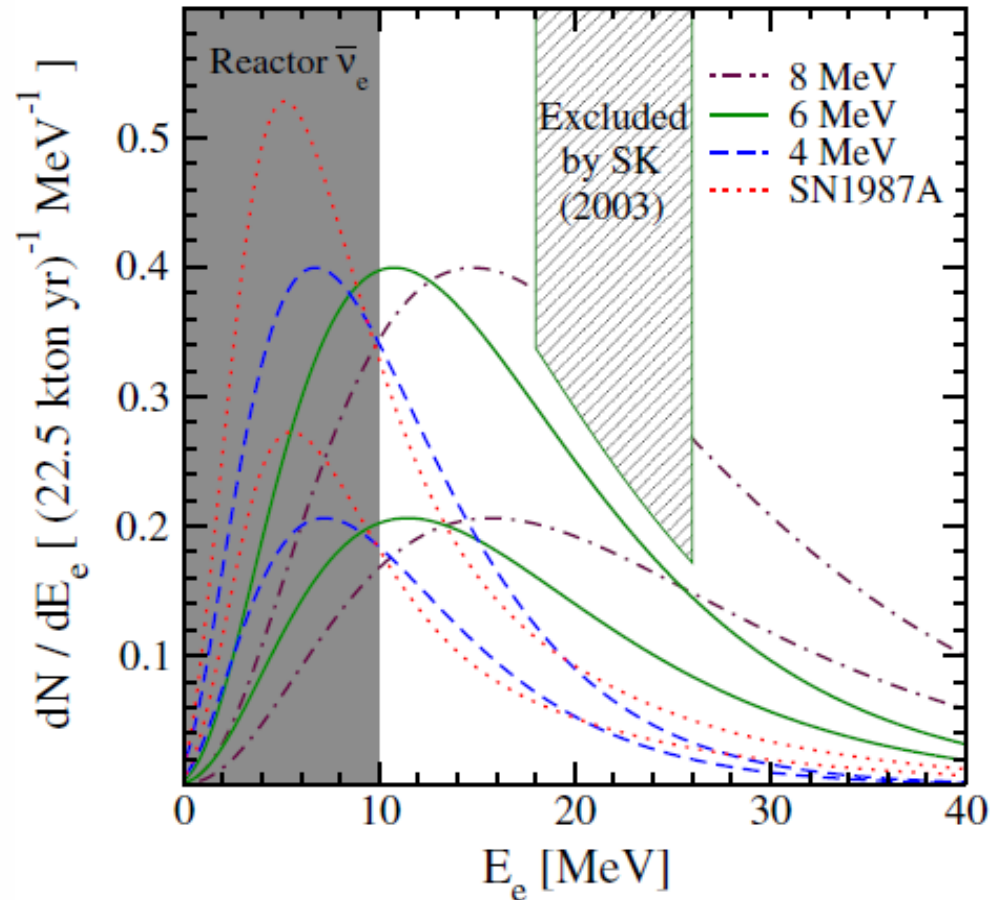
観測の現状

- 上限値が予測値に迫りつつある。

Malek+ (2003)



Horiuchi+ (2009)



超新星背景ニュートリノ

背景光の明るさは何に依存するか？

- 1つの光源の明るさ → 超新星の物理
 - 光源の数
 - 光源までの距離
- } 星形成史
- 宇宙論では、宇宙膨張による赤方偏移も考慮
 - ニュートリノでは、ニュートリノ振動パラメータ

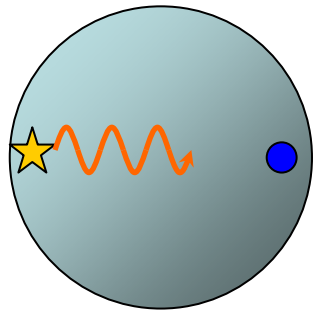


宇宙膨張と赤方偏移

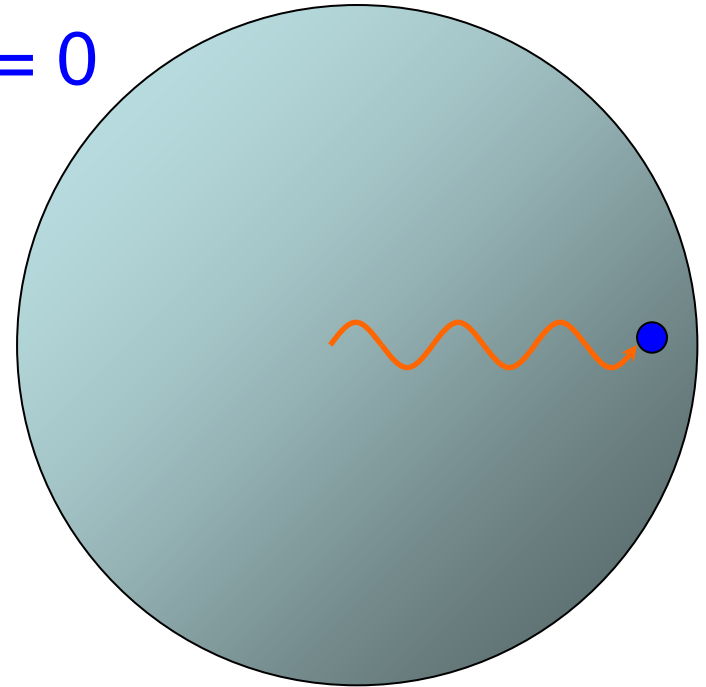
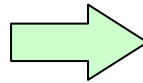
- 膨張宇宙を伝播する光は、redshift して波長が伸びる(=エネルギーが下がる)

過去 $z = z_0$

現在 $z = 0$



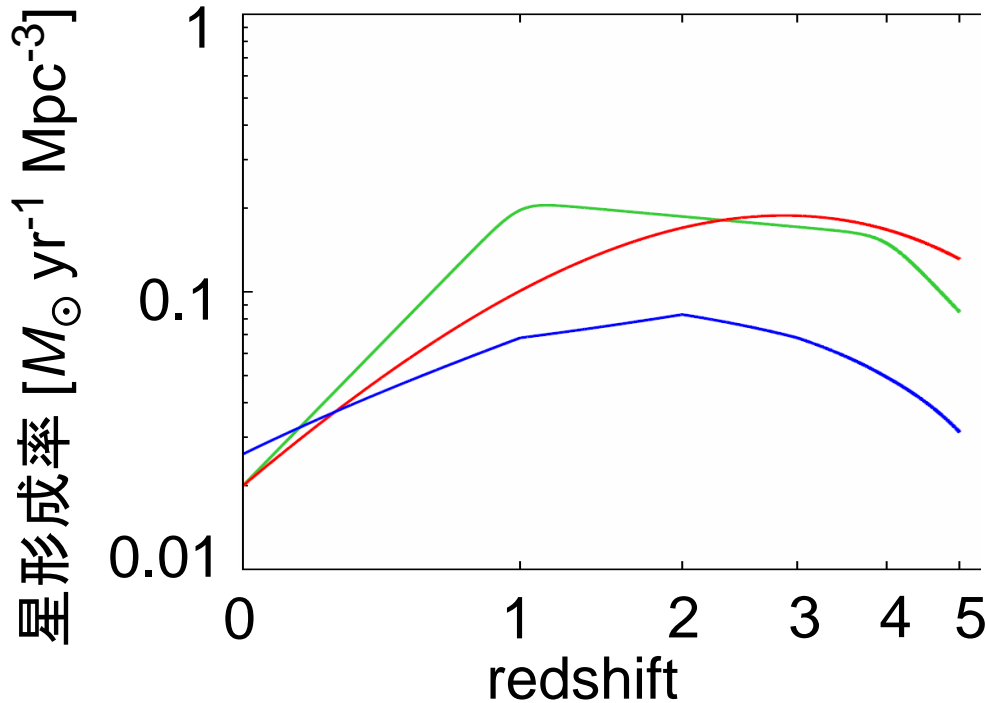
波長 $1+z_0$ 倍



$$E = cp = \frac{ch}{\lambda} \text{ より}$$

- エネルギーは $1/(1+z_0)$ 倍になる

星形成史とその不定性



銀河の観測

Hopkins & Beacom (2006)

Drory & Alvarez (2008)

準解析的モデル

Kobayashi+ (2013)

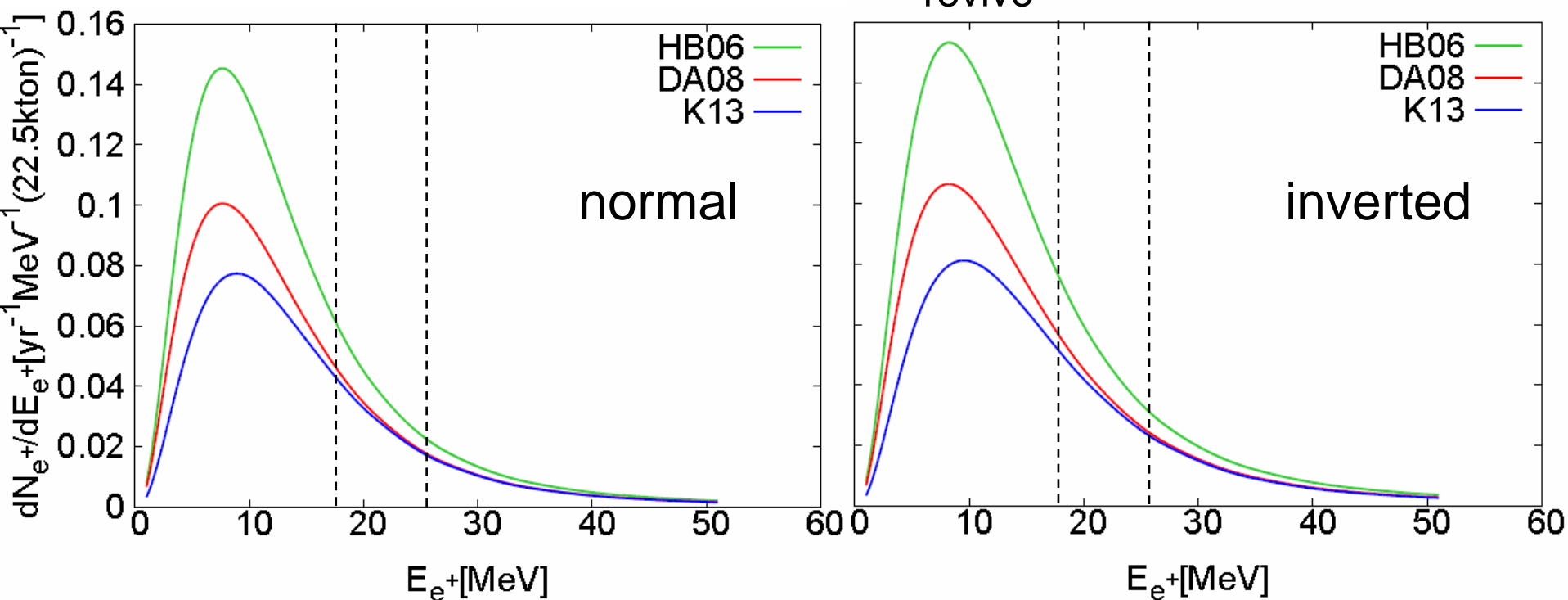
- redshift $z \sim 1-2$ でピーク(不定性は大きい)
 - 観測量(銀河の UV 光度)から星形成率への変換
 - ダストによる遮蔽の補正

注) $z > 2$ の領域は超新星背景ニュートリノには効かない

星形成史と超新星背景ニュートリノ

超新星ニュートリノモデル: Nakazato et al., ApJS **205** (2013) 2.

$t_{\text{revive}} = 200 \text{ ms}$, $Z = 0.02$



- 低エネルギー領域で違いが顕著

 - 高赤方偏移から redshift されてきたニュートリノ

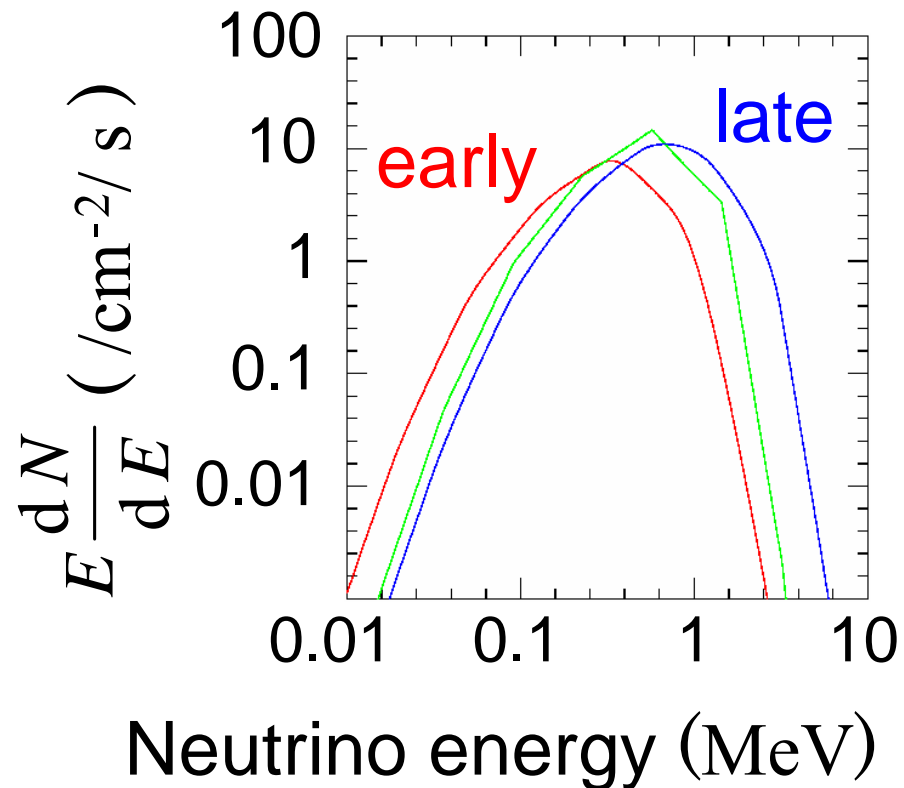
→ **GADZOOKS!** に期待

初代星からの背景ニュートリノ

Nakazato et al., ApJ **645** (2006) 519.

- 100 – 10,000 M_{\odot} の非常に質量の大きな星が多く形成された。
- 短時間に進化して black hole を形成。その過程でニュートリノを放出。
- 大きく redshift ($z \sim 10$) され、観測可能なエネルギー領域には来ない。

星形成のタイミングによる違い
(ニュートリノ振動なし)

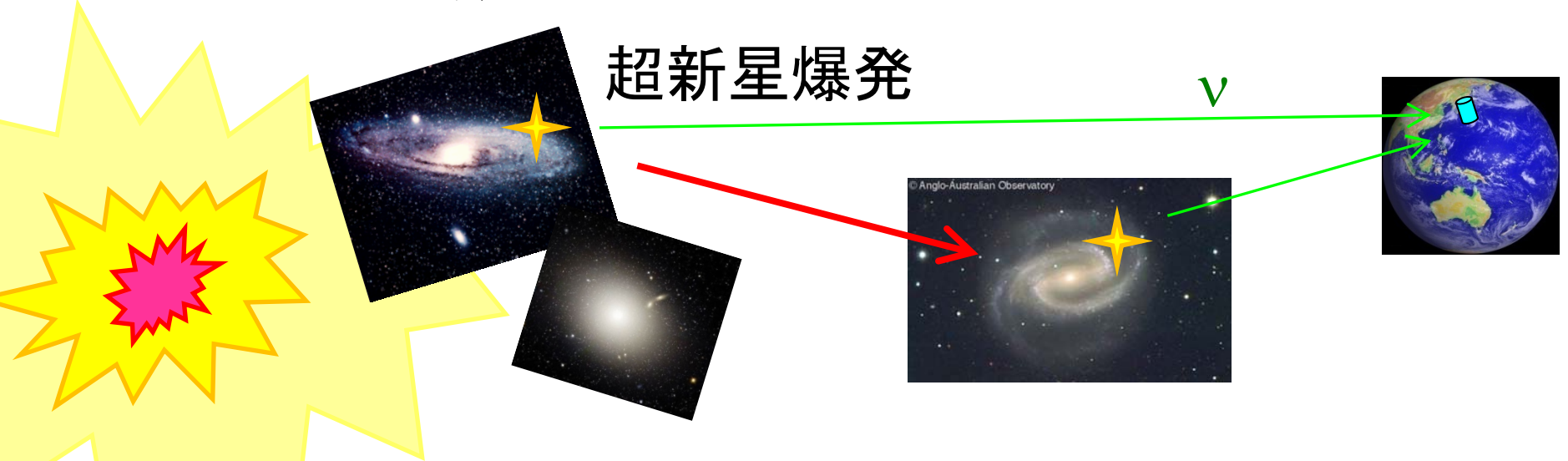


宇宙と銀河の化学進化

ビッグバン

銀河形成・進化

現在



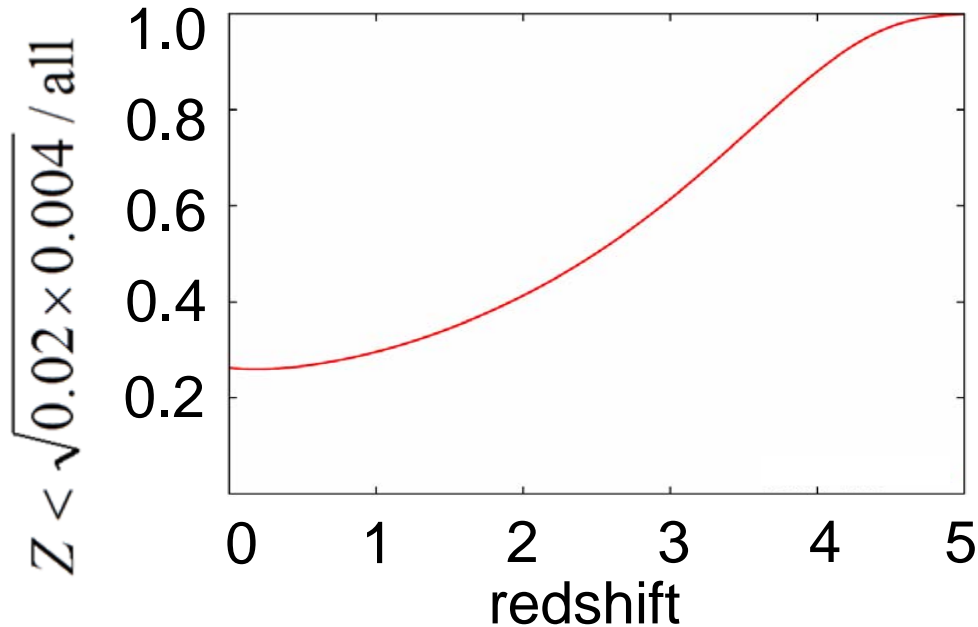
H, He のみ

metal (重元素) の放出・増加

- 昔の銀河・星ほど metallicity (重元素量) Z が低い
- 恒星進化における質量放出が少ない
- 崩壊時の質量が大きく、black hole になる星も

重力崩壊前の星の金属量依存性

低金属量銀河の mass fraction



M	Z	
	0.02	0.004
$13M_{\odot}$	SN	SN
$20M_{\odot}$	SN	SN
$30M_{\odot}$	SN	BH
$50M_{\odot}$	SN	SN

星質量関数: Drory & Alvarez (2008)

Nakazato+ (2013)

金属量進化: Maiolino+ (2008)

- 高赤方偏移ほど black hole になる割合が多い。
- black hole 形成の方が多くのニュートリノが放出

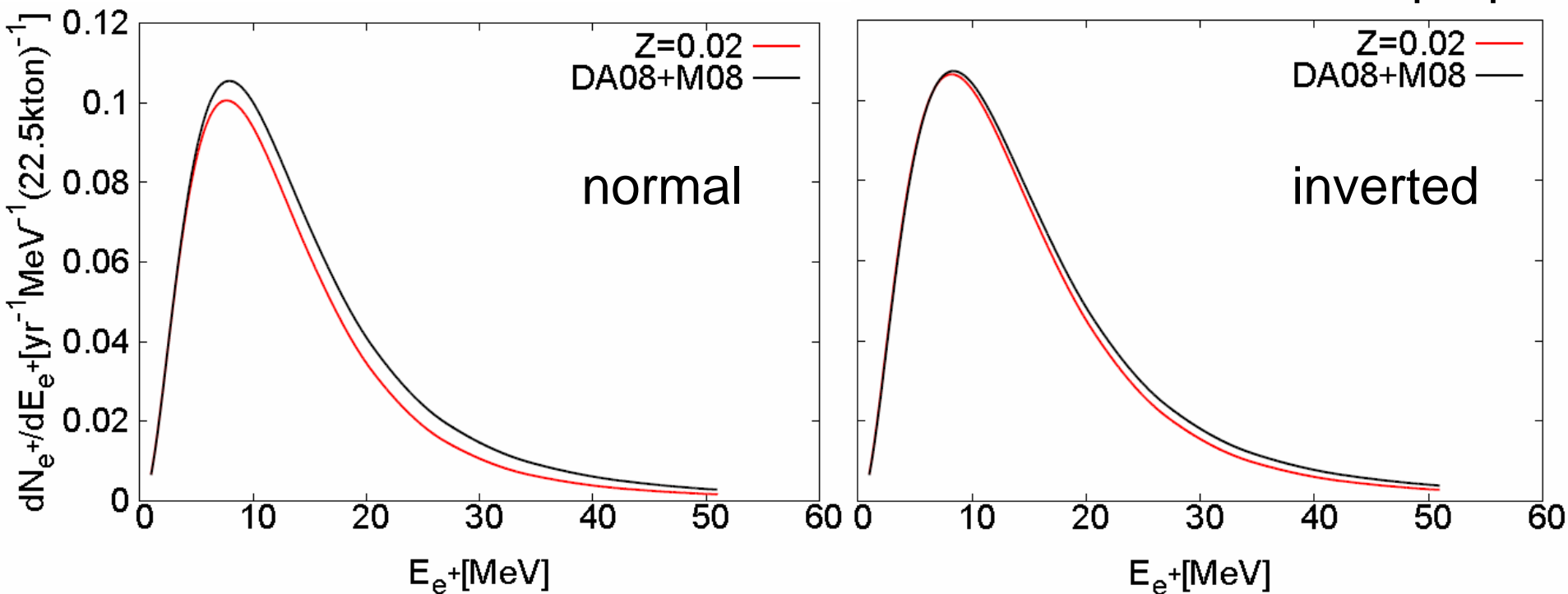
金属量進化と超新星背景ニュートリノ

超新星ニュートリノモデル: Nakazato et al., ApJS **205** (2013) 2.

$$t_{\text{revive}} = 200 \text{ ms}$$

星形成率: Drory & Alvarez, ApJ **680** (2008) 41.

Mochida et al., in prep.



- 星形成史の差ほど、違いは顕著でない

まとめ

- 過去の超新星爆発から放出されたニュートリノによる背景放射を、超新星背景ニュートリノと言う。
- 最近の観測の進展により、宇宙の星形成史はかなり解明されつつあるが、今なお不定性が残る。
- 超新星背景ニュートリノの量は星形成史に依存し、特に低エネルギー ($< 20 \text{ MeV}$) 領域でモデルに依る違いが顕著になる。金属量進化に依る black hole 形成の影響はそれほど大きくない。

GADZOOKS! で星形成の歴史に迫る