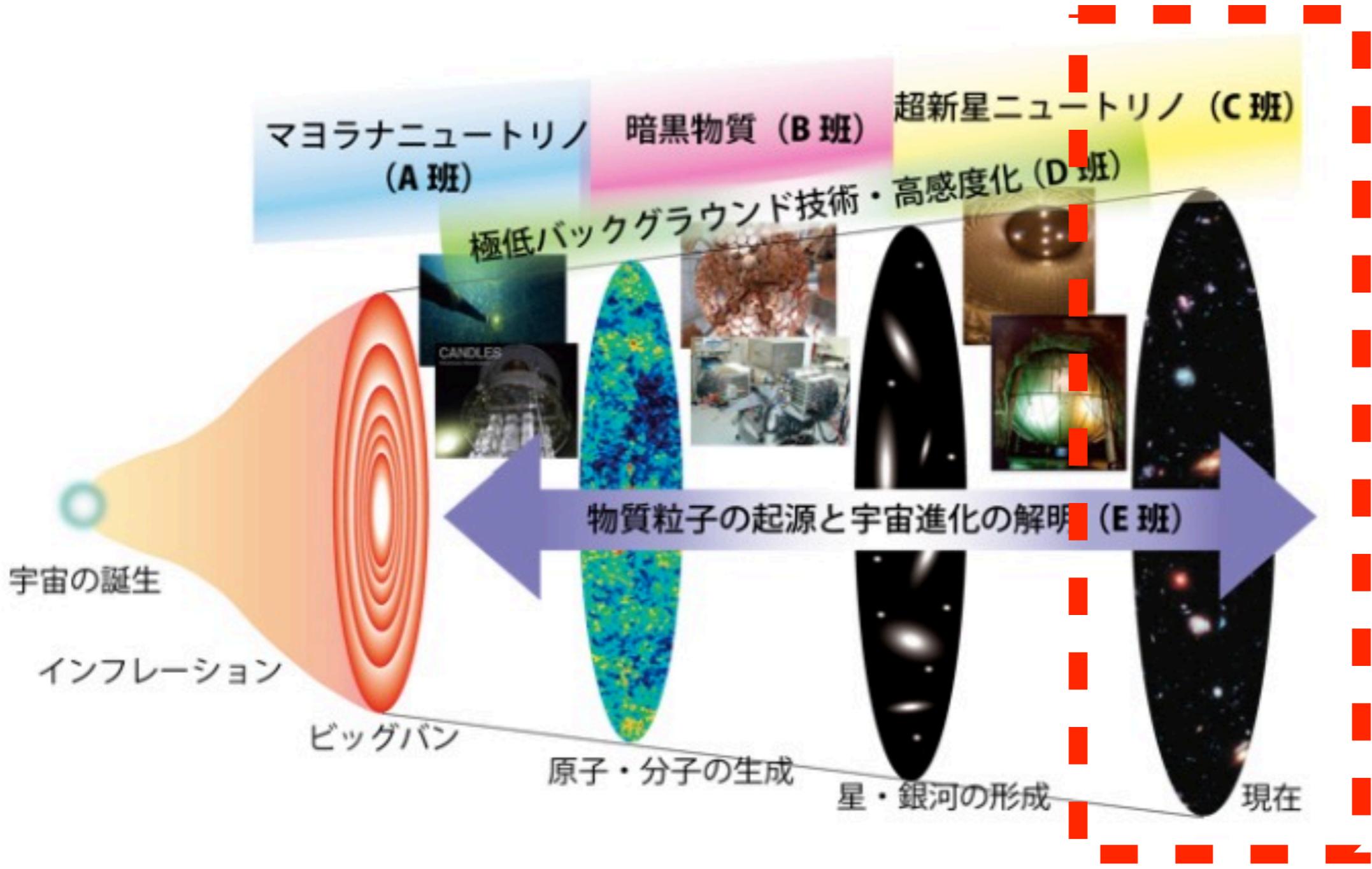


計画研究C02: 超新星(前兆)ニュートリノ

東北大学ニュートリノ科学研究センター

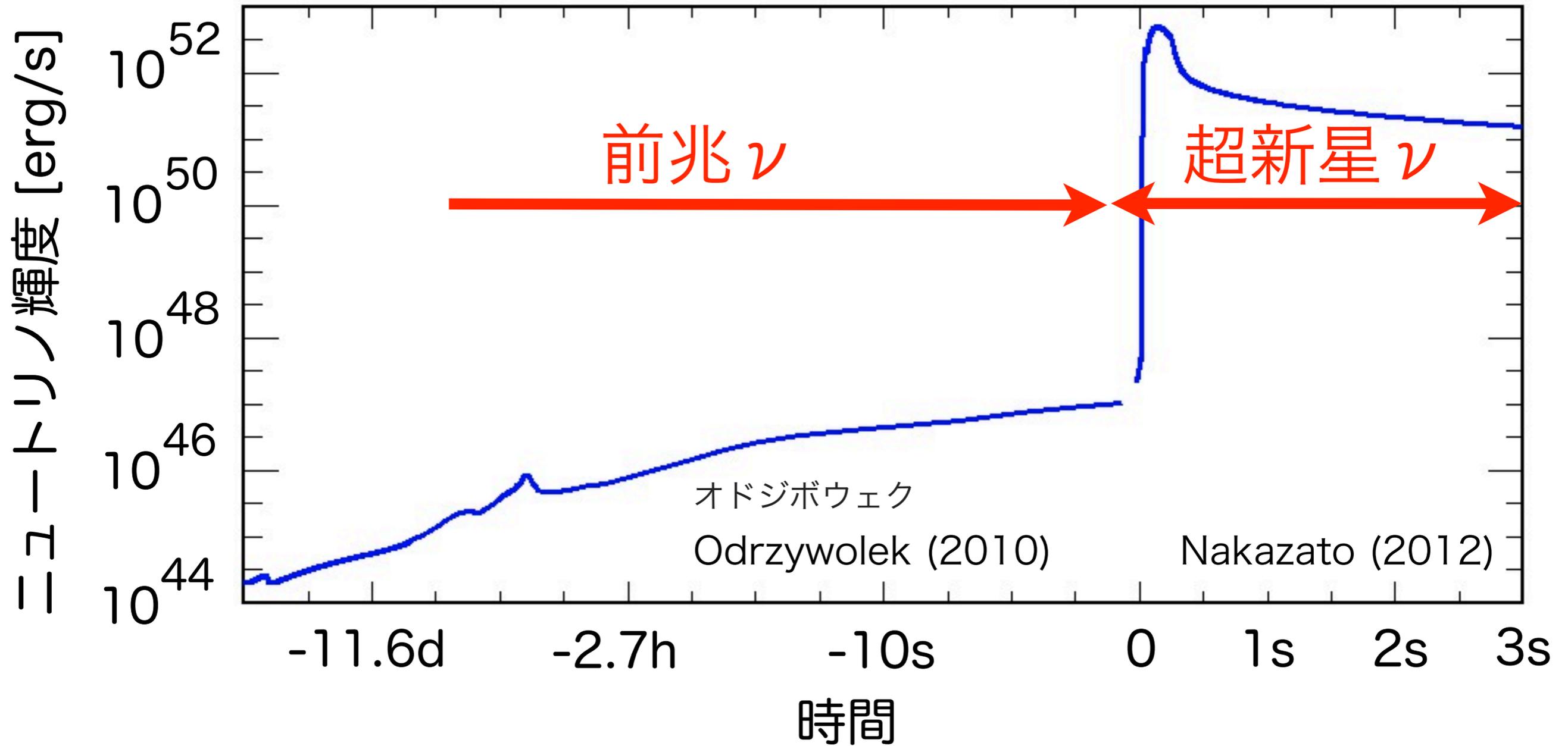
石徹白晃治



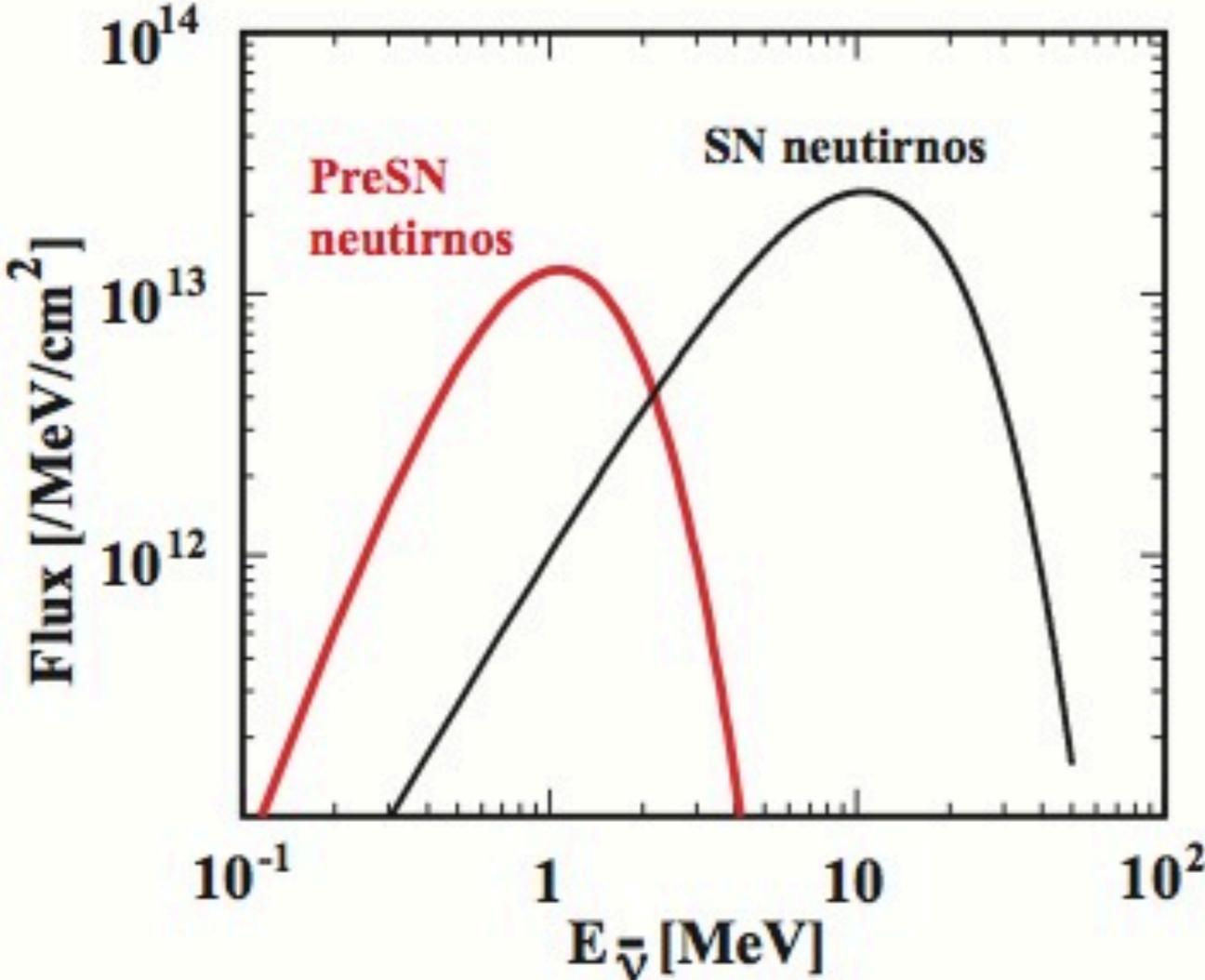
C02班: 「今」の天体活動を探る

- 星進化の描像, 重元素の起源
- 太陽や地球の成り立ち

超新星前後のニュートリノ放出

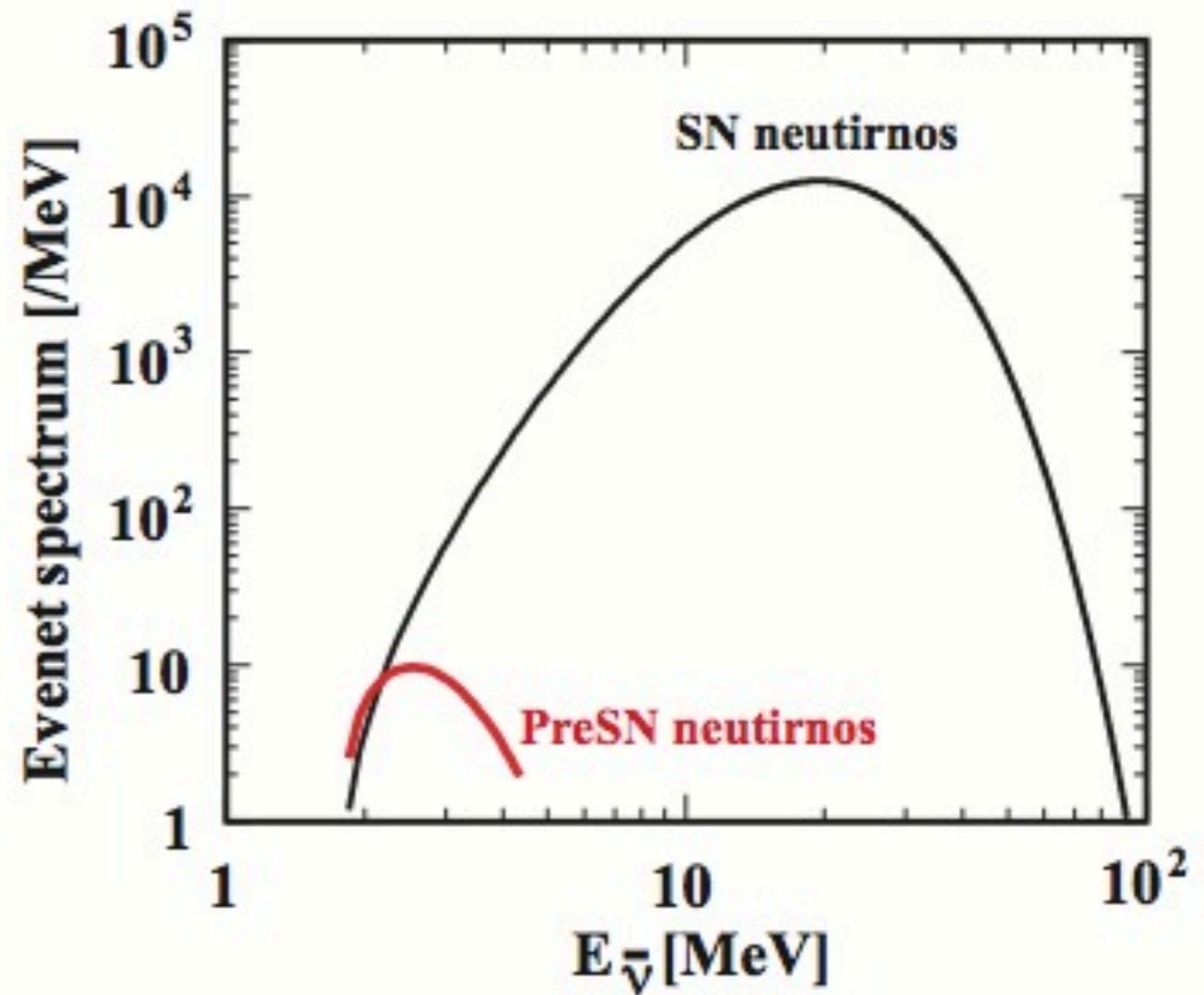
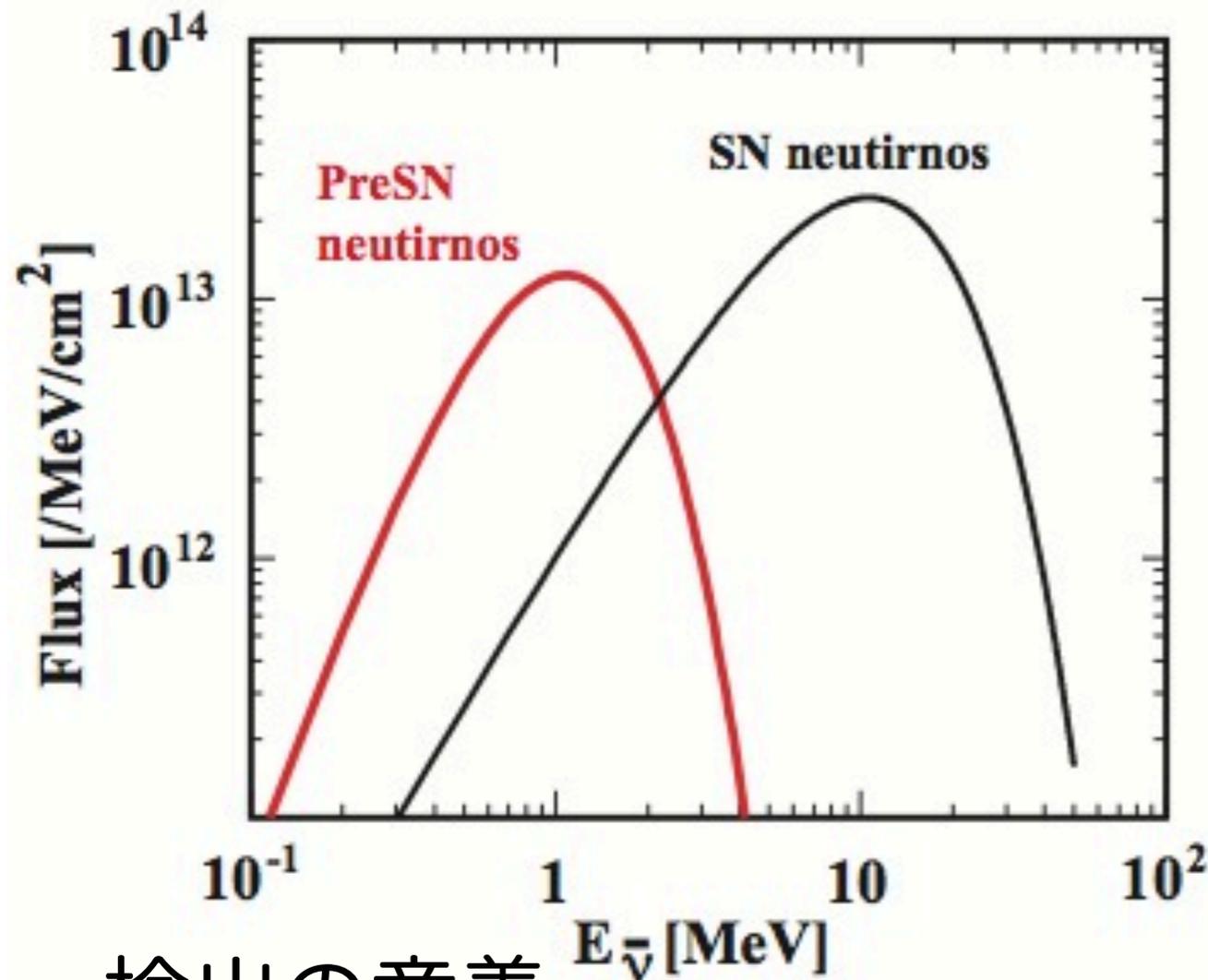


超新星前兆ニュートリノ



検出可能!!
(近傍天体であれば)

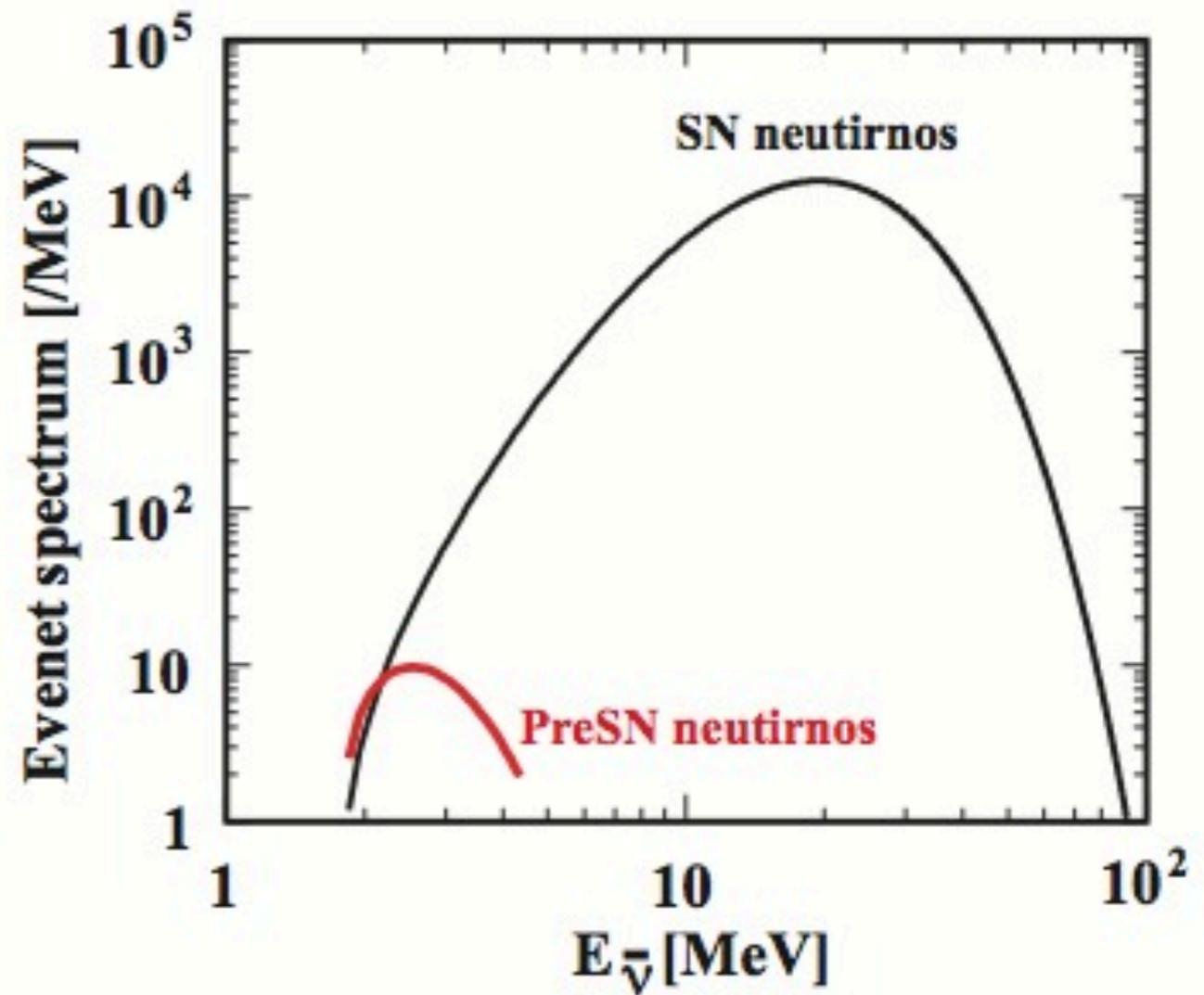
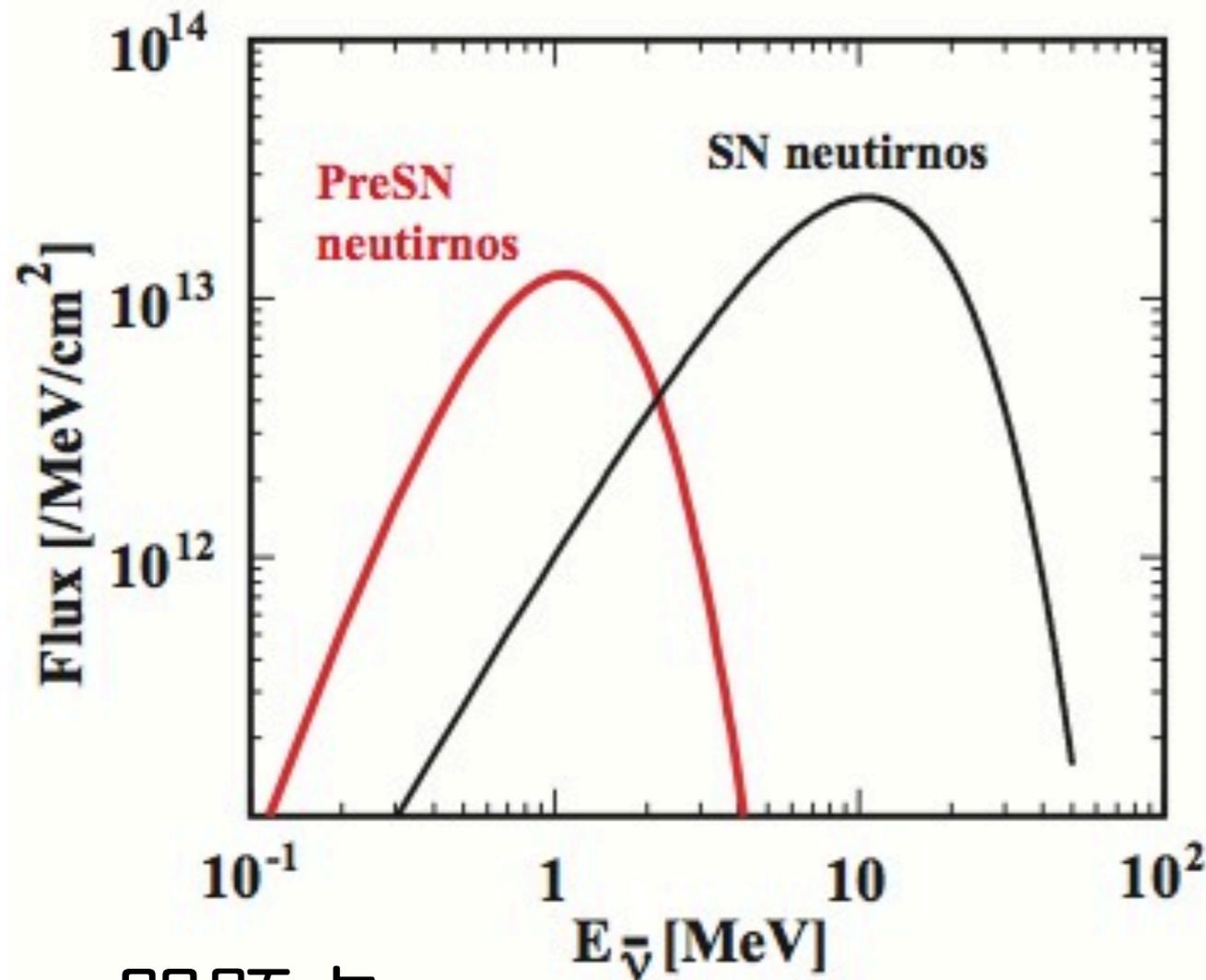
超新星前兆ニュートリノ



検出の意義

- 恒星進化の最終段階を解明
- 超新星爆発の初期条件, 超新星爆発の理解
- 重元素生成の詳細理解
- 爆発前アラーム

超新星前兆ニュートリノ



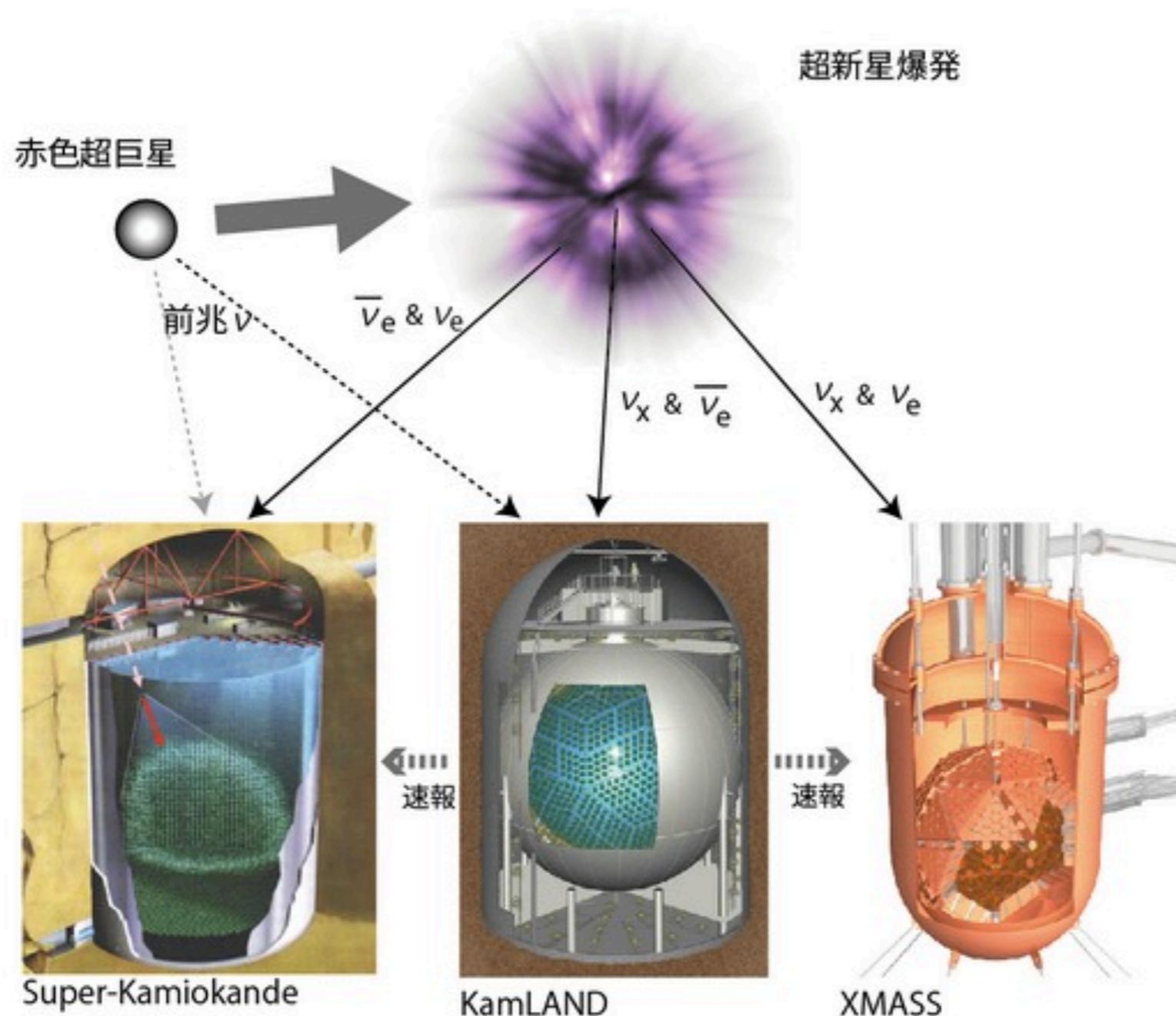
問題点

- 超新星νが多過ぎる (DAQ破綻)

C02班の研究計画

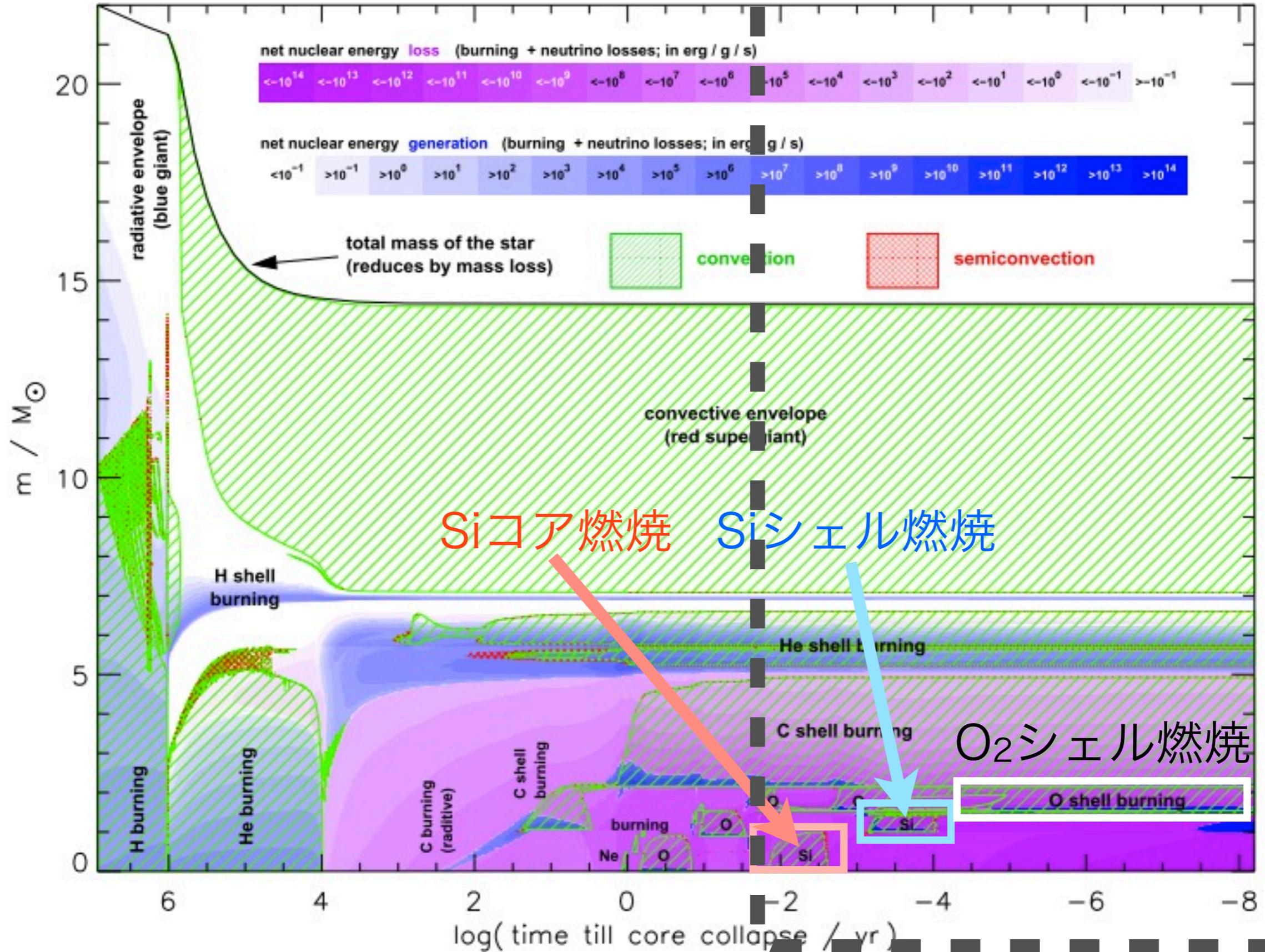
- KamLANDで前兆 ν 観測&爆発前アラーム
 - SK, XMASS, KamLANDで近傍超新星 ν の観測体制
- 目標: 全種類の超新星 ν 観測

- 高精度
- SK, G
- (- 超新星
- (- 太陽 ν



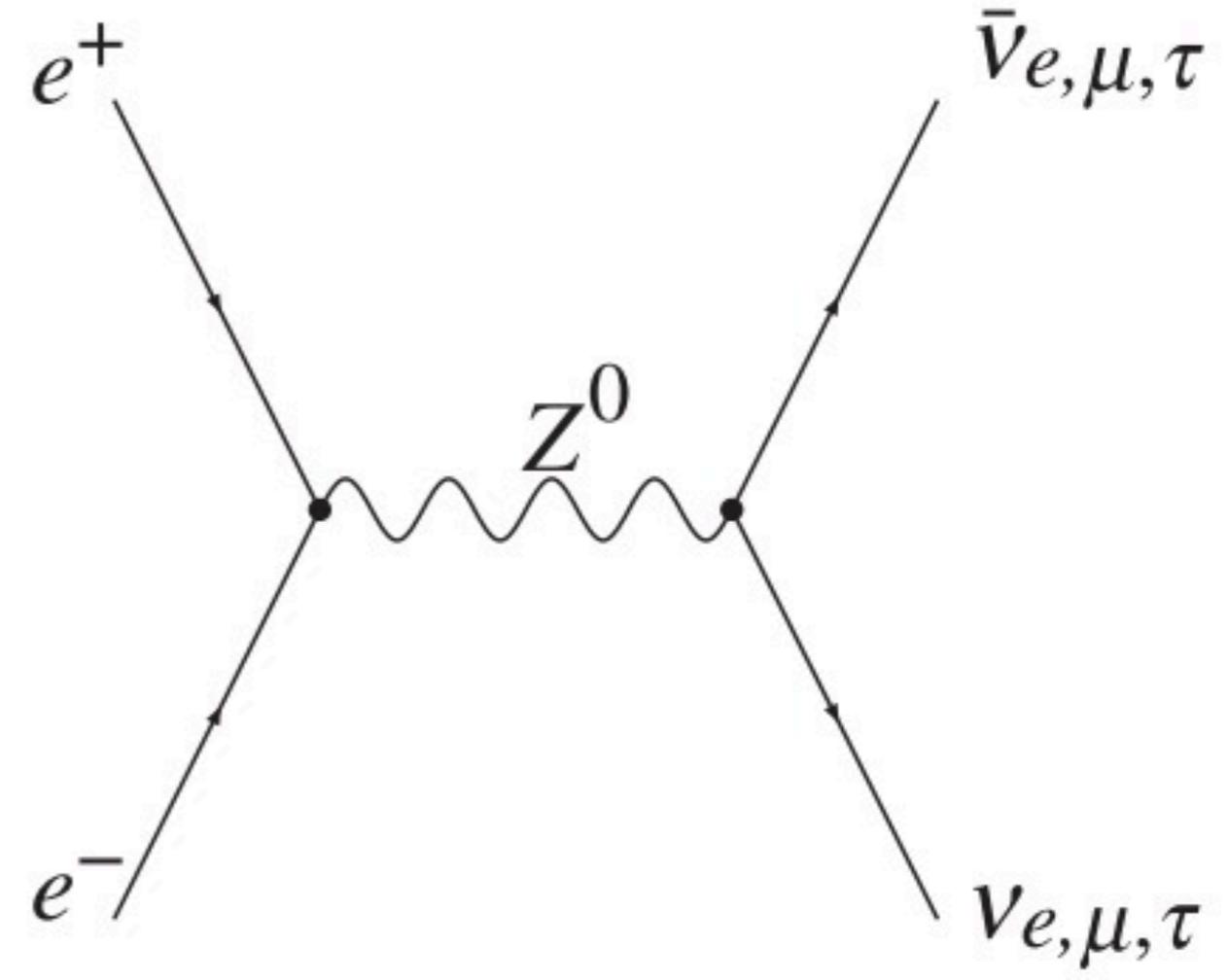
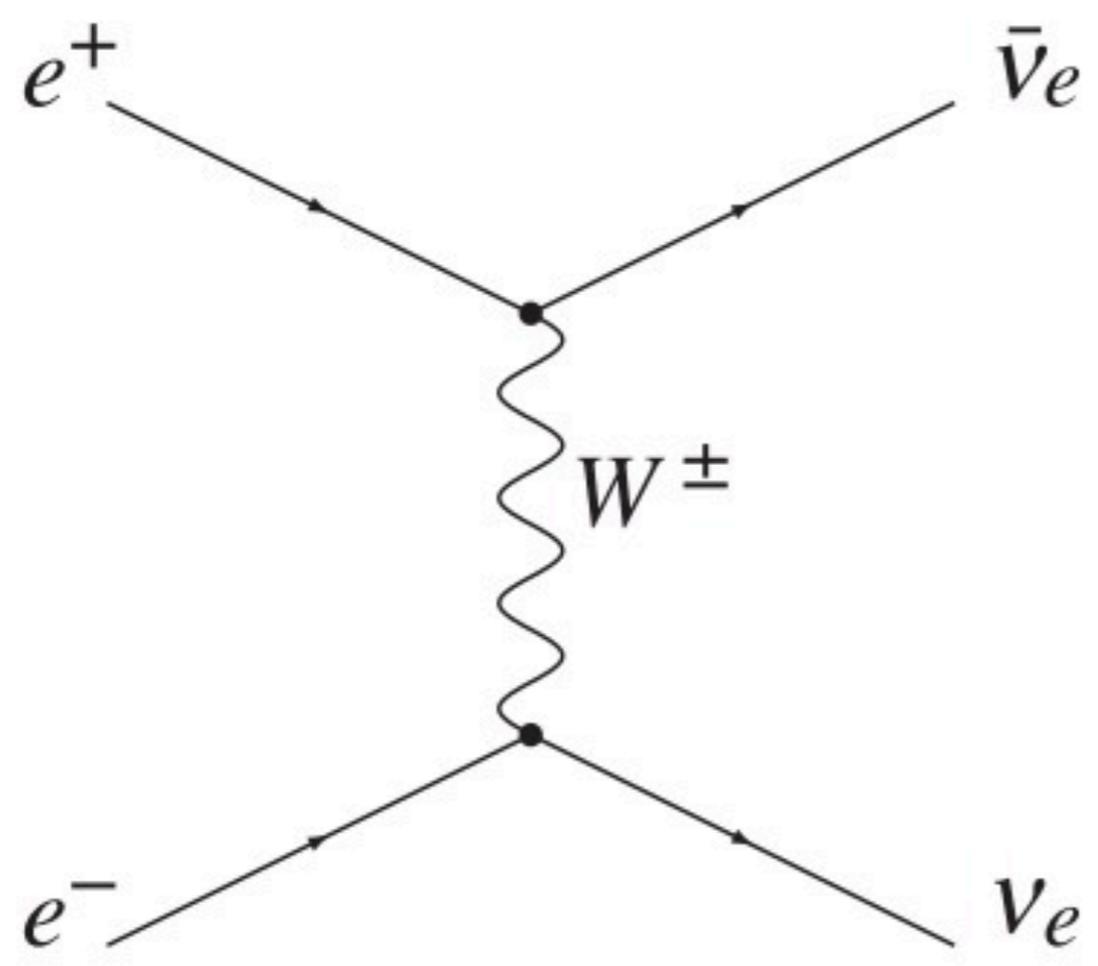
いと協力)

星構成の進化

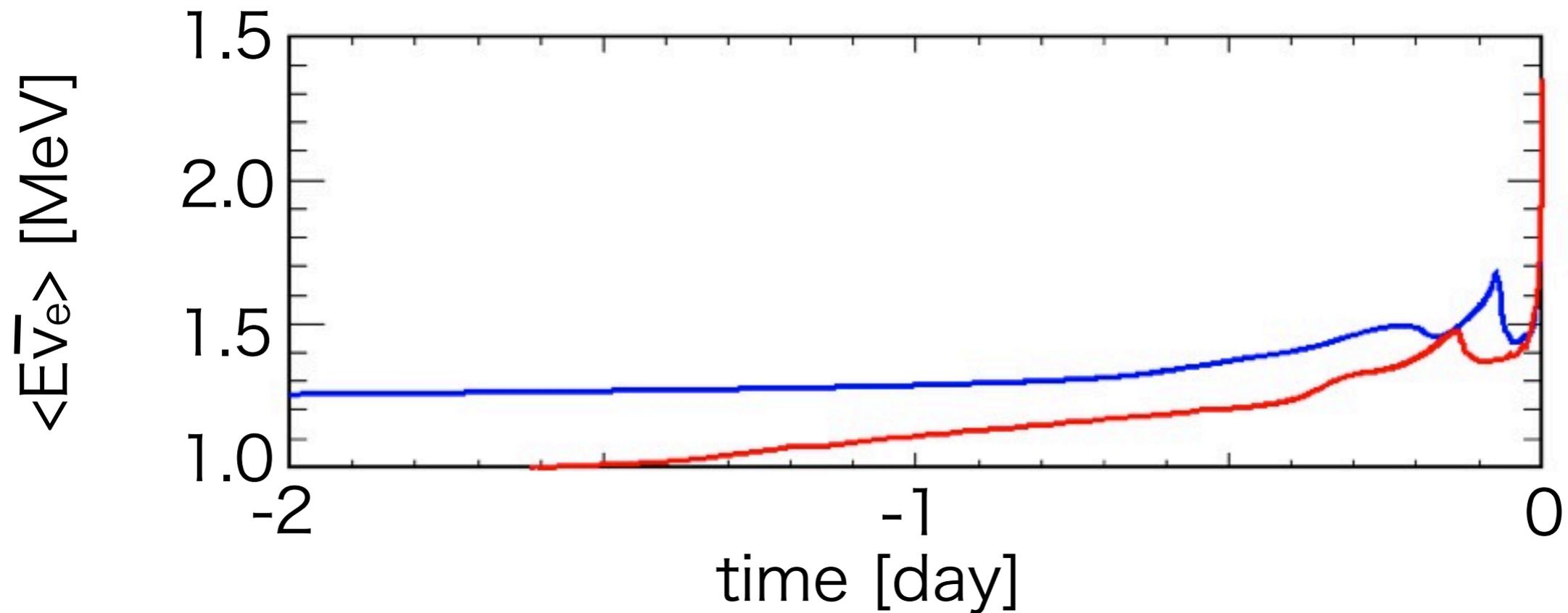
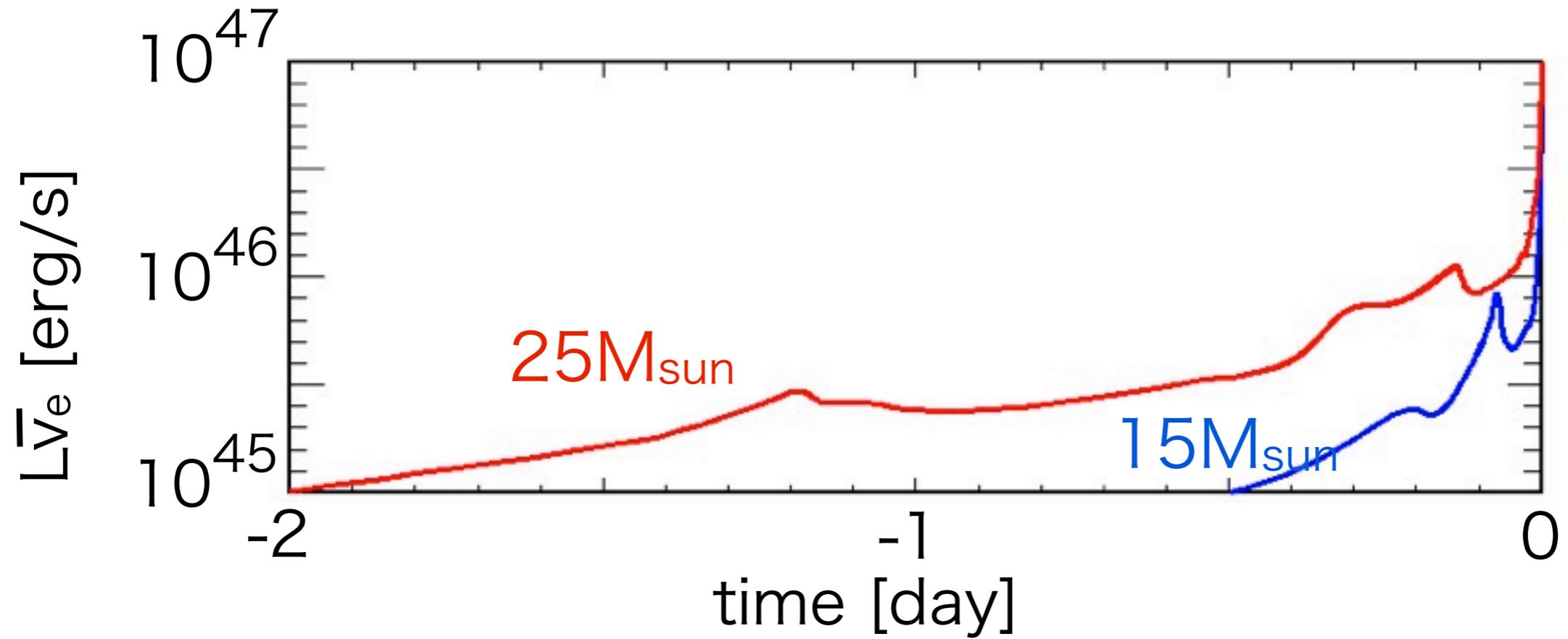


生成過程

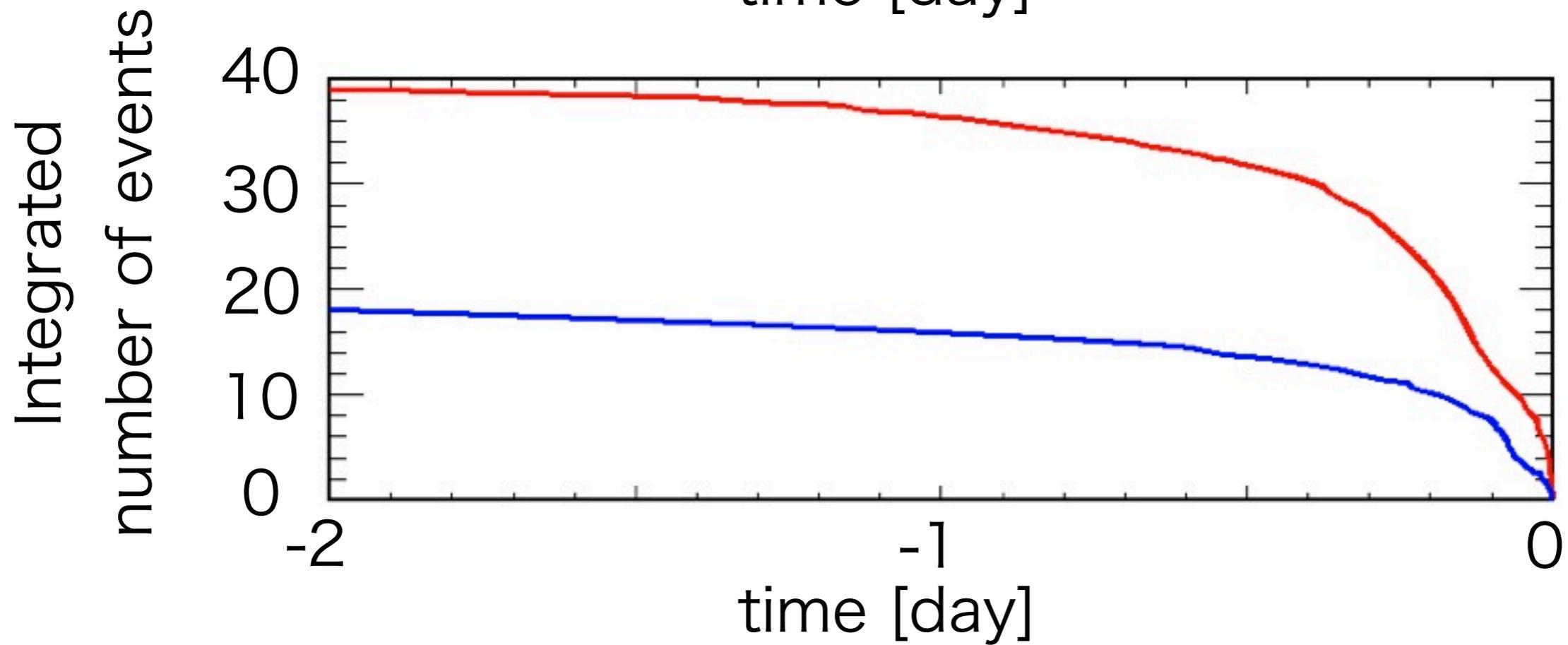
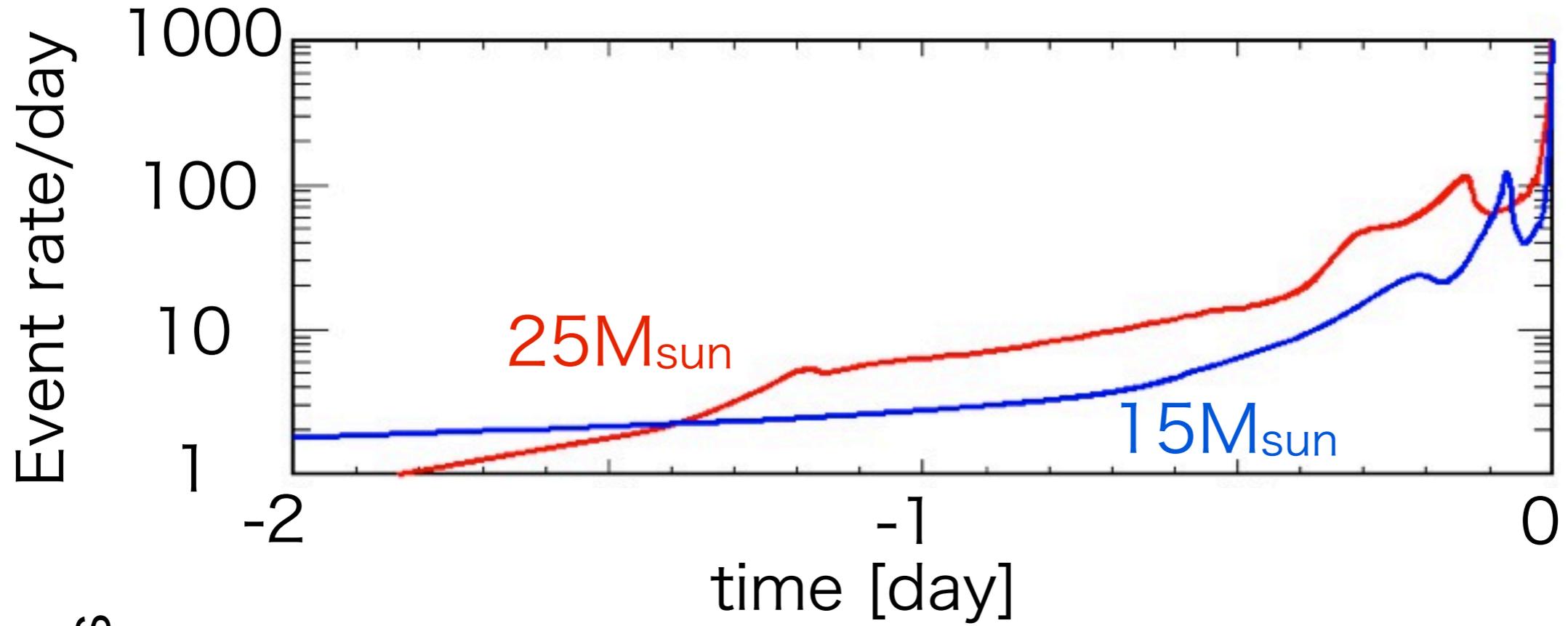
对生成



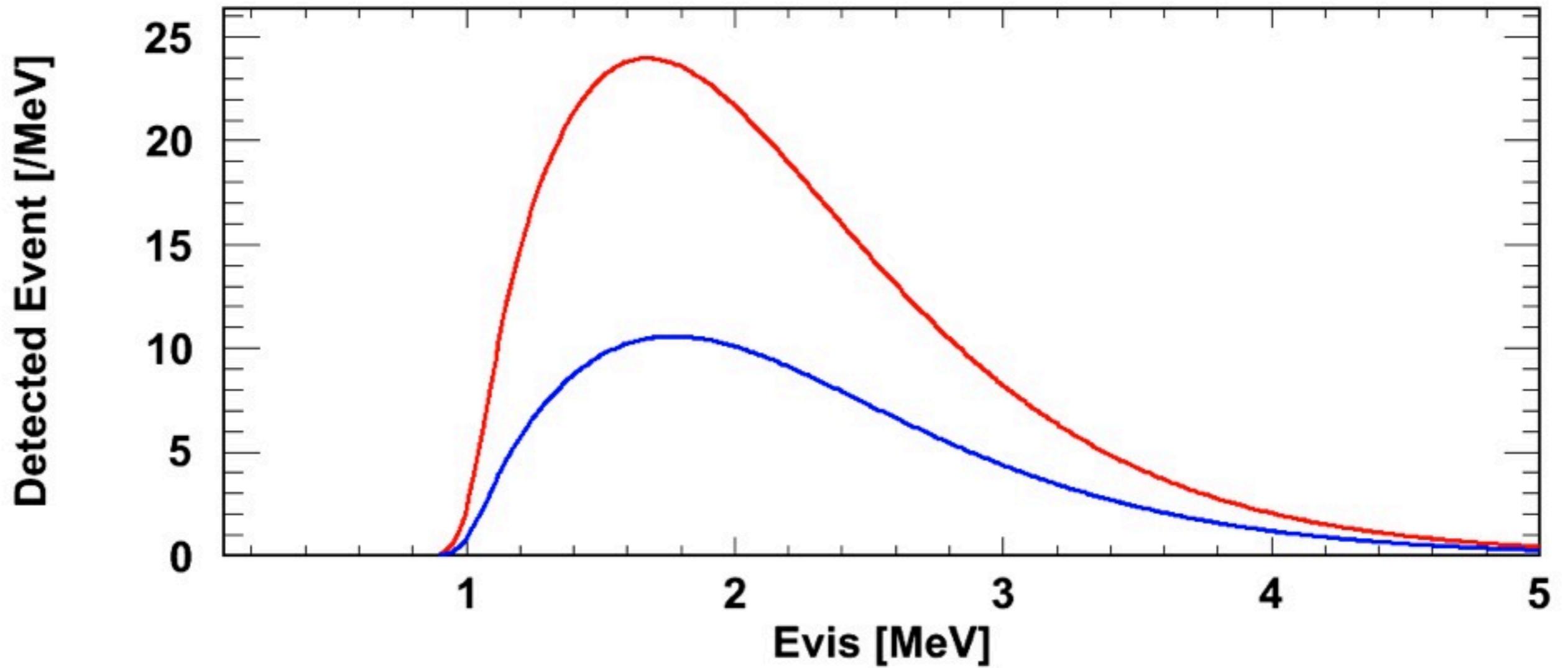
前兆ニュートリノ (Odrzywolekモデル)



予想イベント数@KamLAND (d=200pc)



予想イベント数@KamLAND



ニュートリノ振動

$$F = pF_{\bar{\nu}_e} + (1 - p)F_{\bar{\nu}_x}$$

p : survival probability

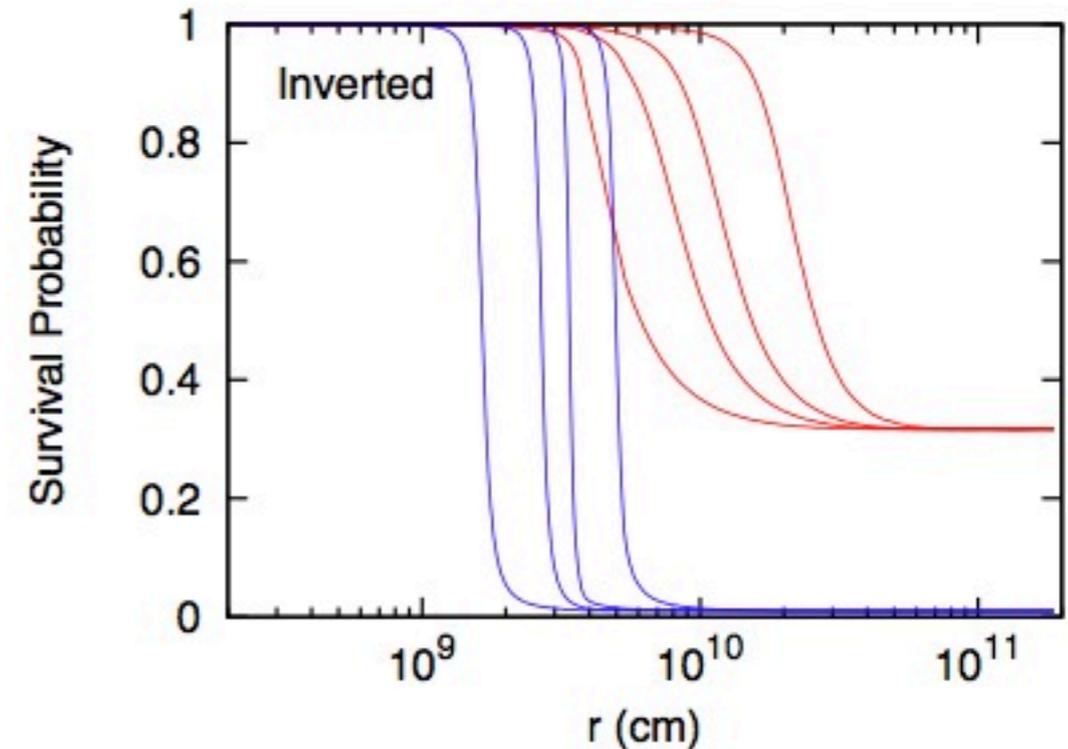
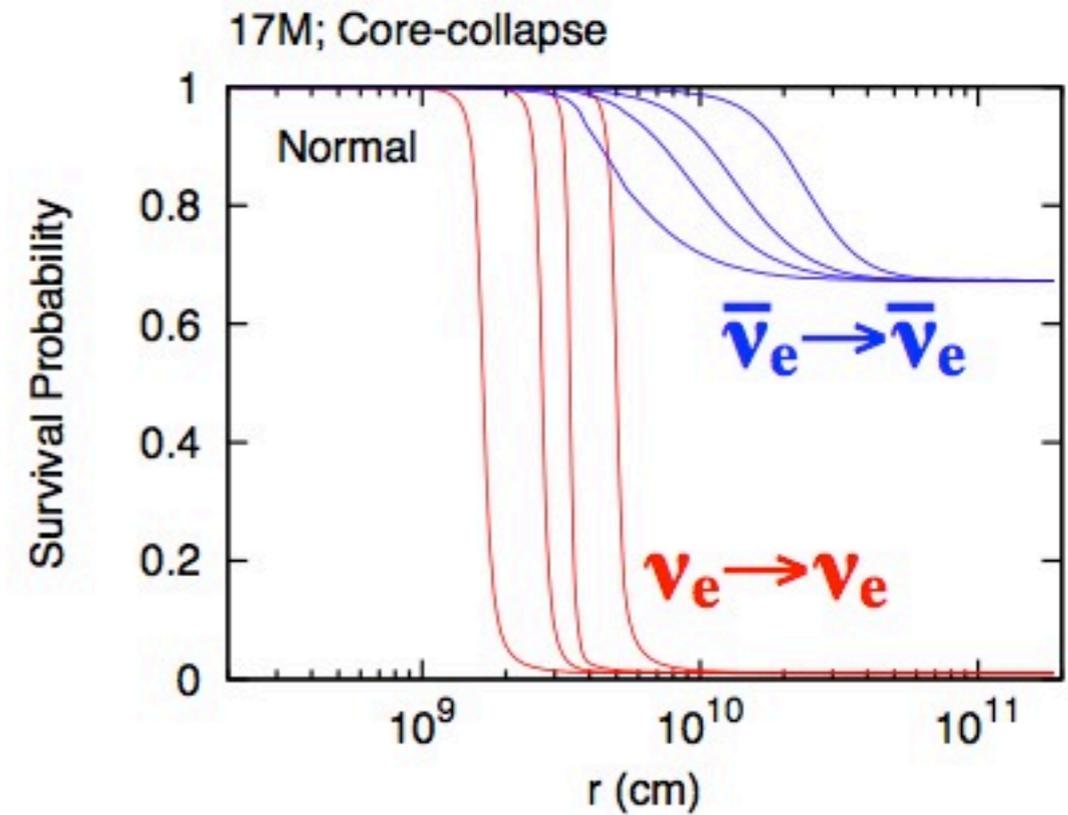
標準質量階層構造: $p=0.69$

逆質量階層構造: $p=0$

Table 3

Fraction of given neutrino flavor emitted by pair-annihilation, used in formula (9)

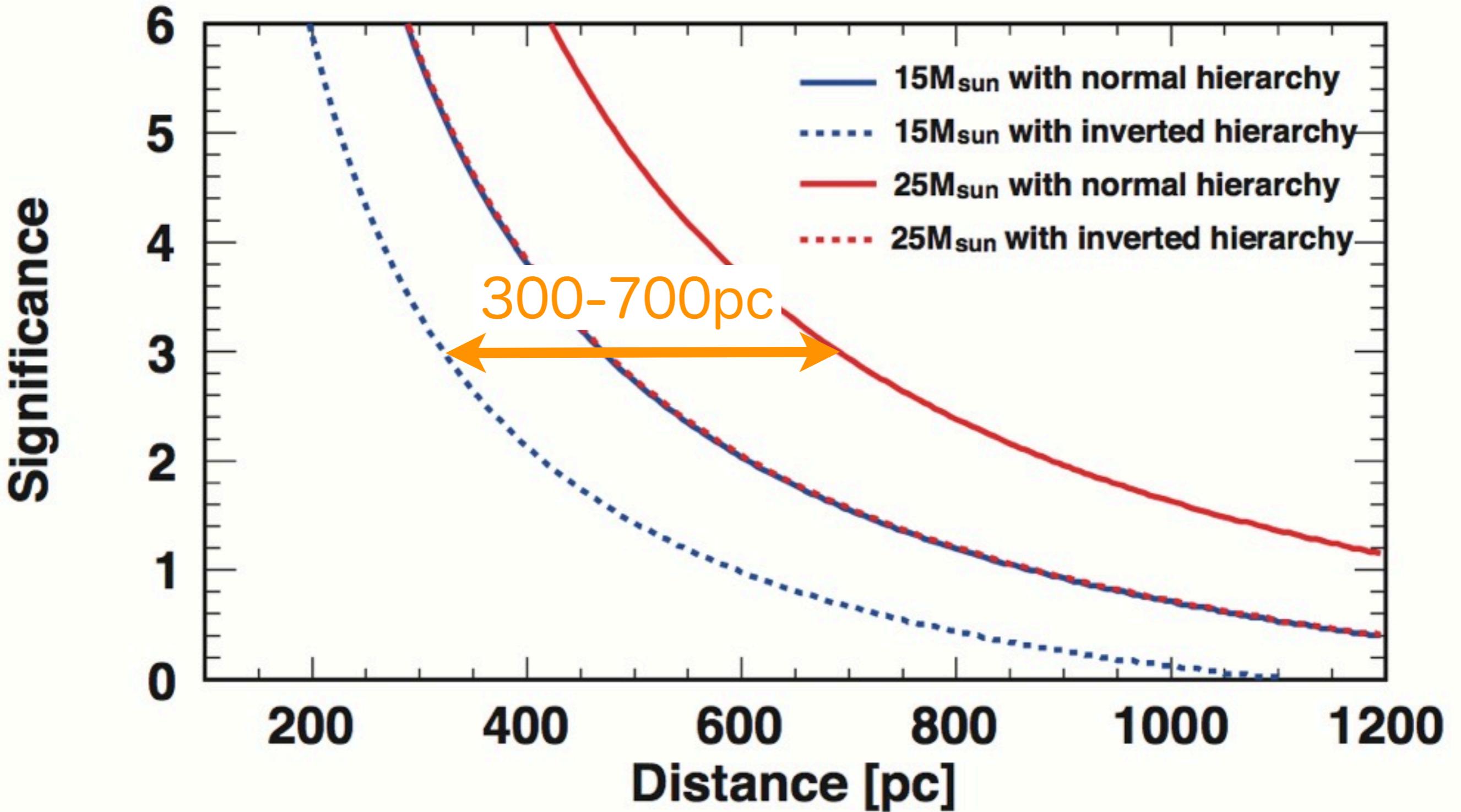
Burning phase	ν_e ($\bar{\nu}_e$) fraction (%)	$\nu_{\mu,\tau}/\nu_e$ ratio	Average ν_x energy (MeV)
C	42.5	1:11.4	0.71
Ne	39.8	1:7.8	0.99
O	38.9	1:6.9	1.13
Si	36.3	1:5.4	1.85



Astroparticle Physics

Volume 21, Issue 3, June 2004, Pages 303–313

検出可能範囲

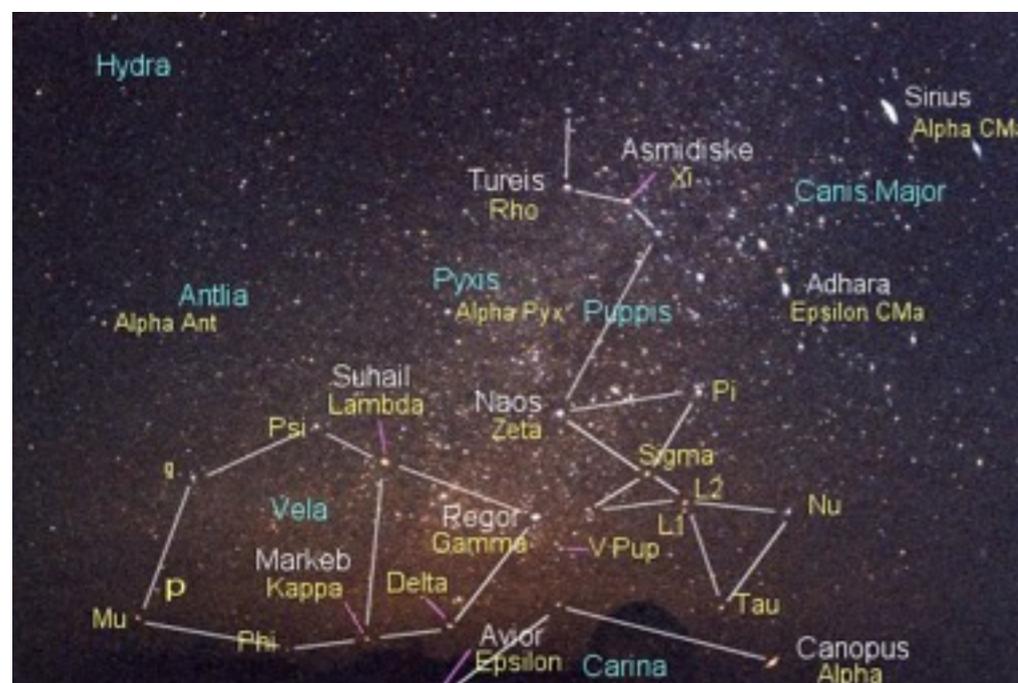




さそり座アンタレス(150pc)



ペガサス座イプシロン星
(210pc)



とも座 π (250pc)



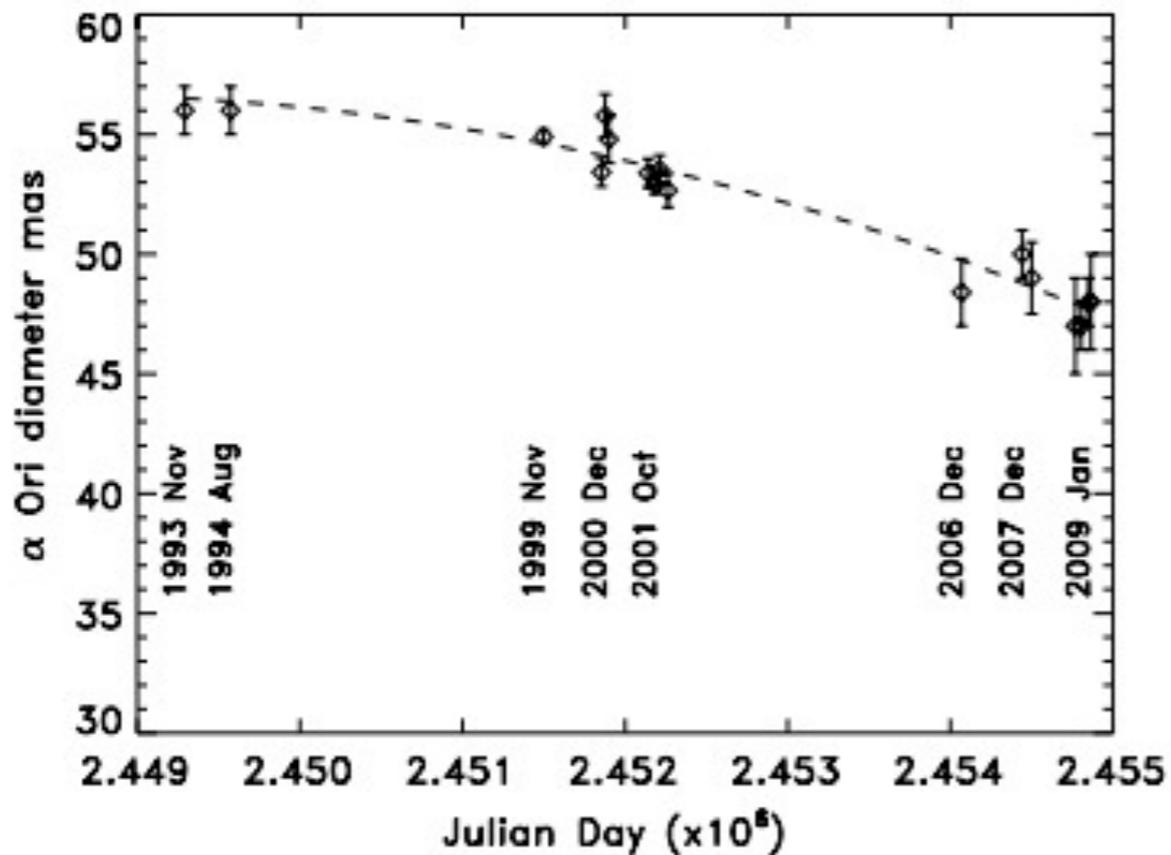
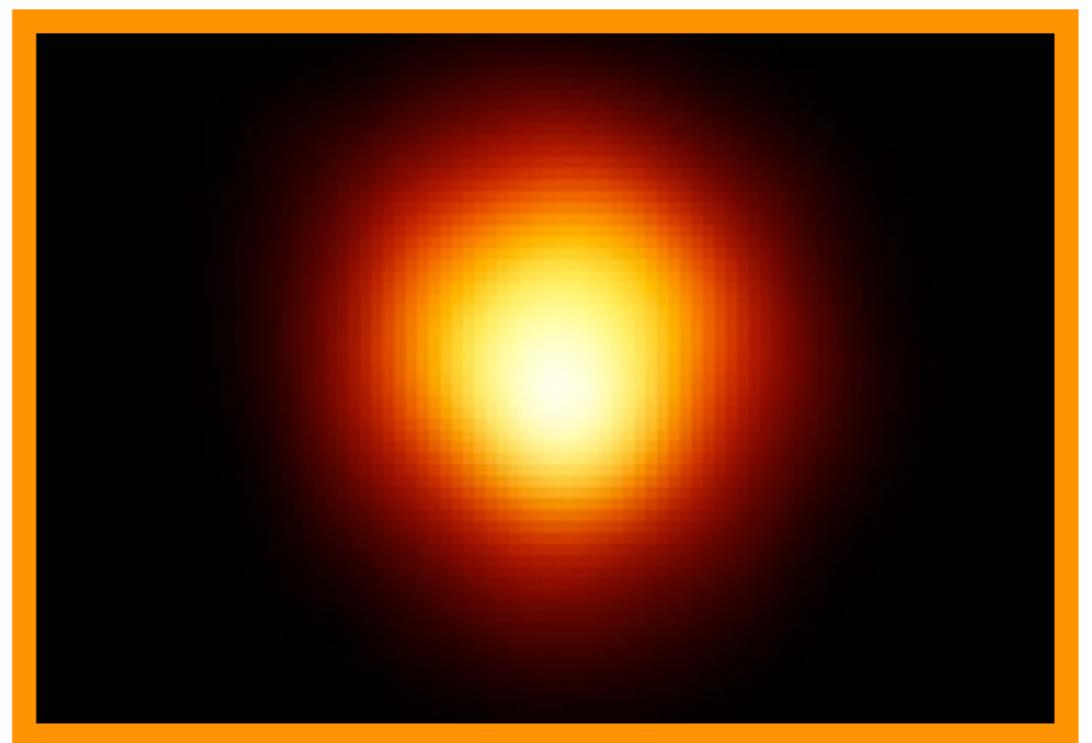
(340pc)



おおいぬ座シグマ星 (340pc)

ベテルギウス

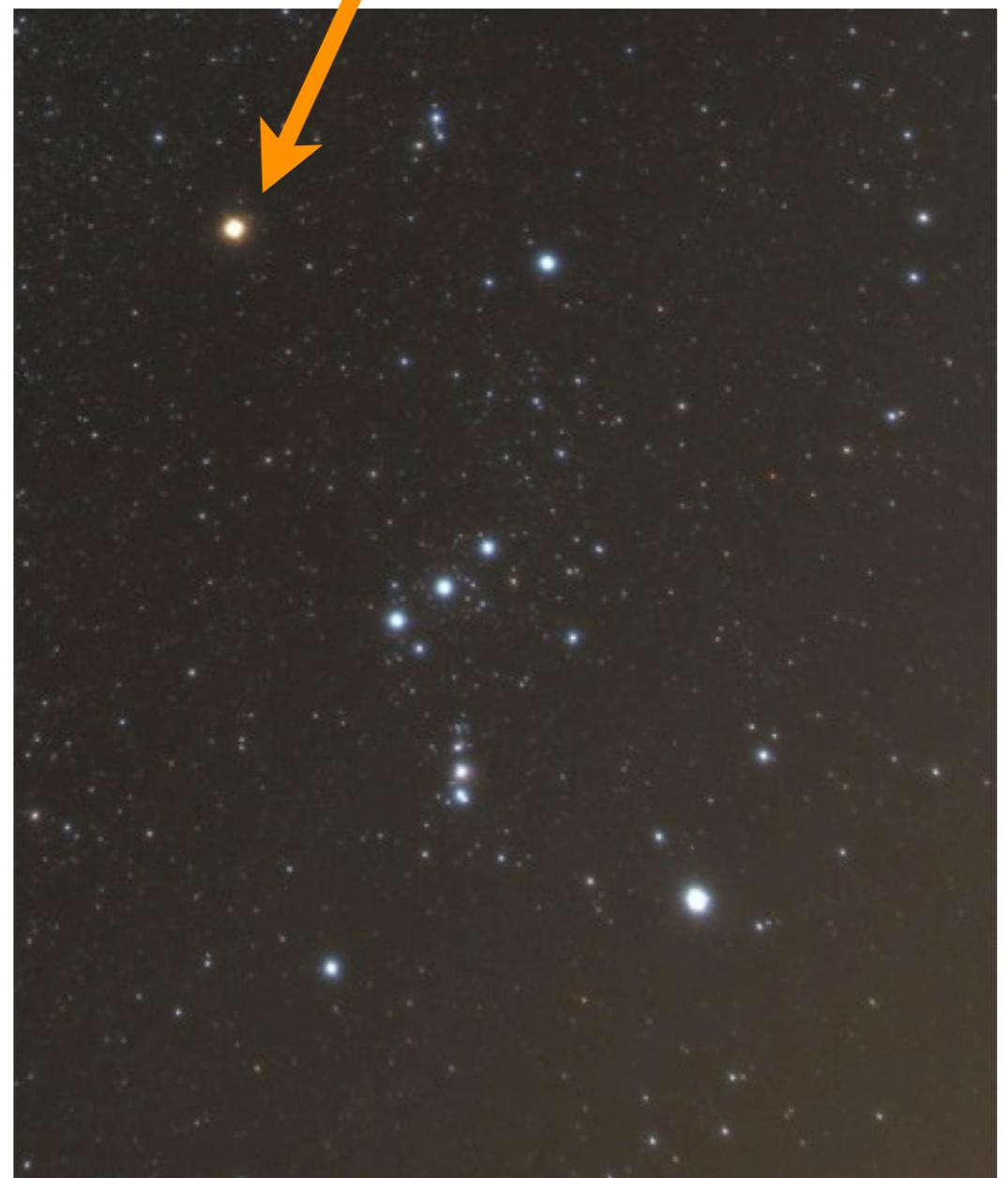
- 赤色超巨星 (@200pc)
- 星進化の最終段階



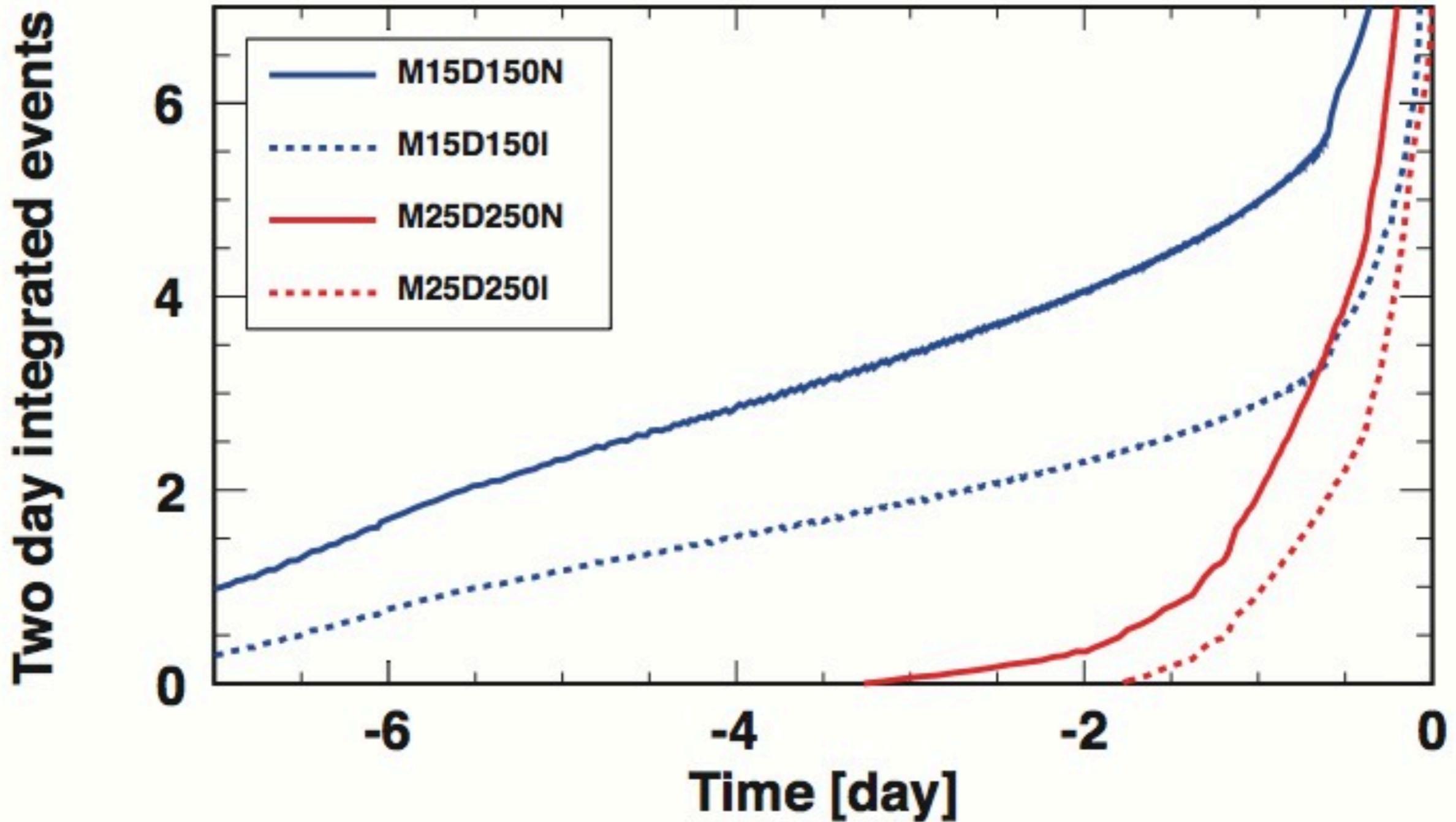
THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 697:L127-L128, 2009

距離-質量が縮退

1. 15M star@150pc
2. 25M star@250pc

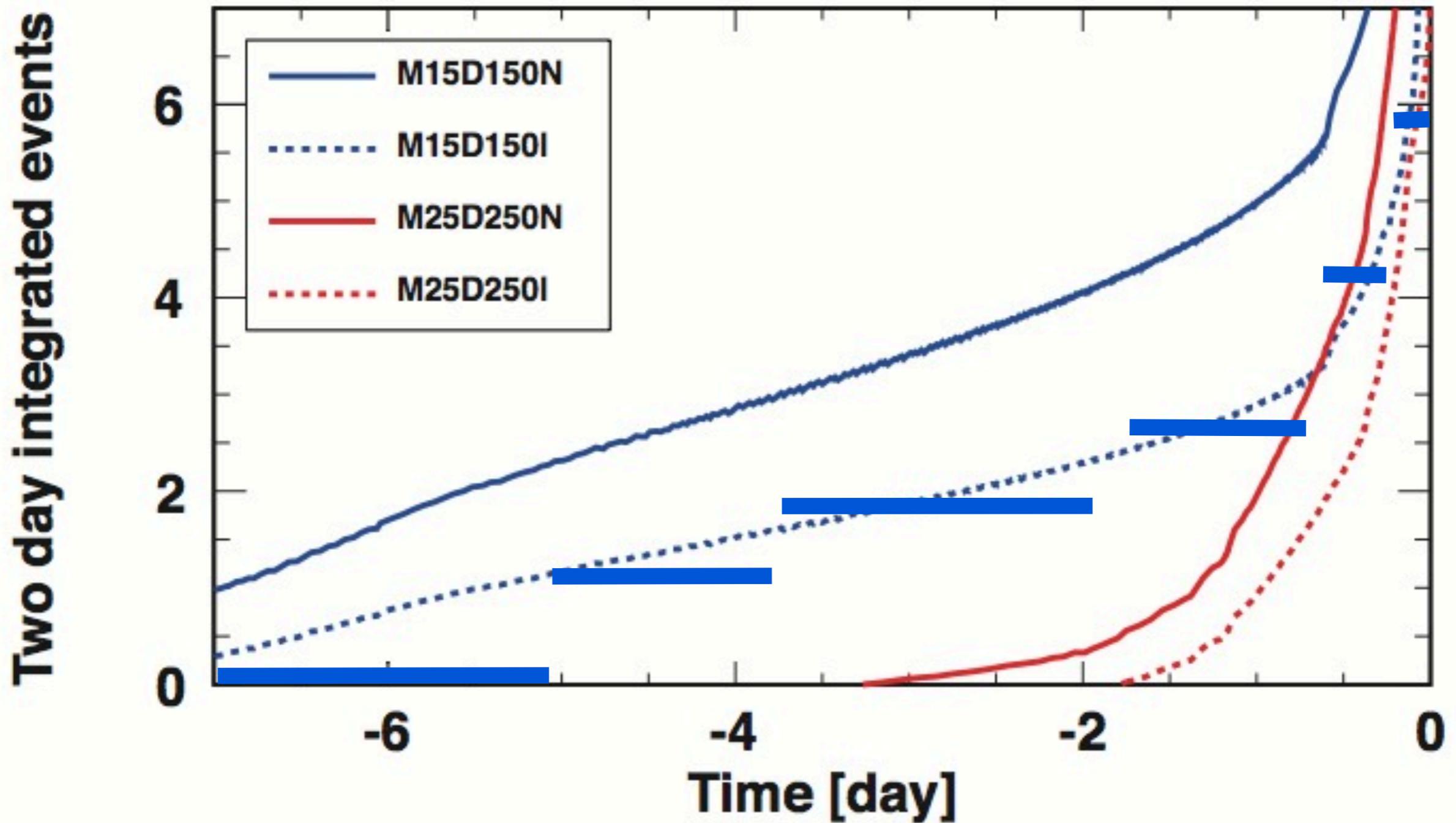


シグマの時間変化



幸運なら3日前, 悪くても5時間以上前に
3シグマに達する

シグマの時間変化



実際は、離散的に時間変化

前兆 ν まとめ

KamLANDでは近傍天体の前兆 ν が見える

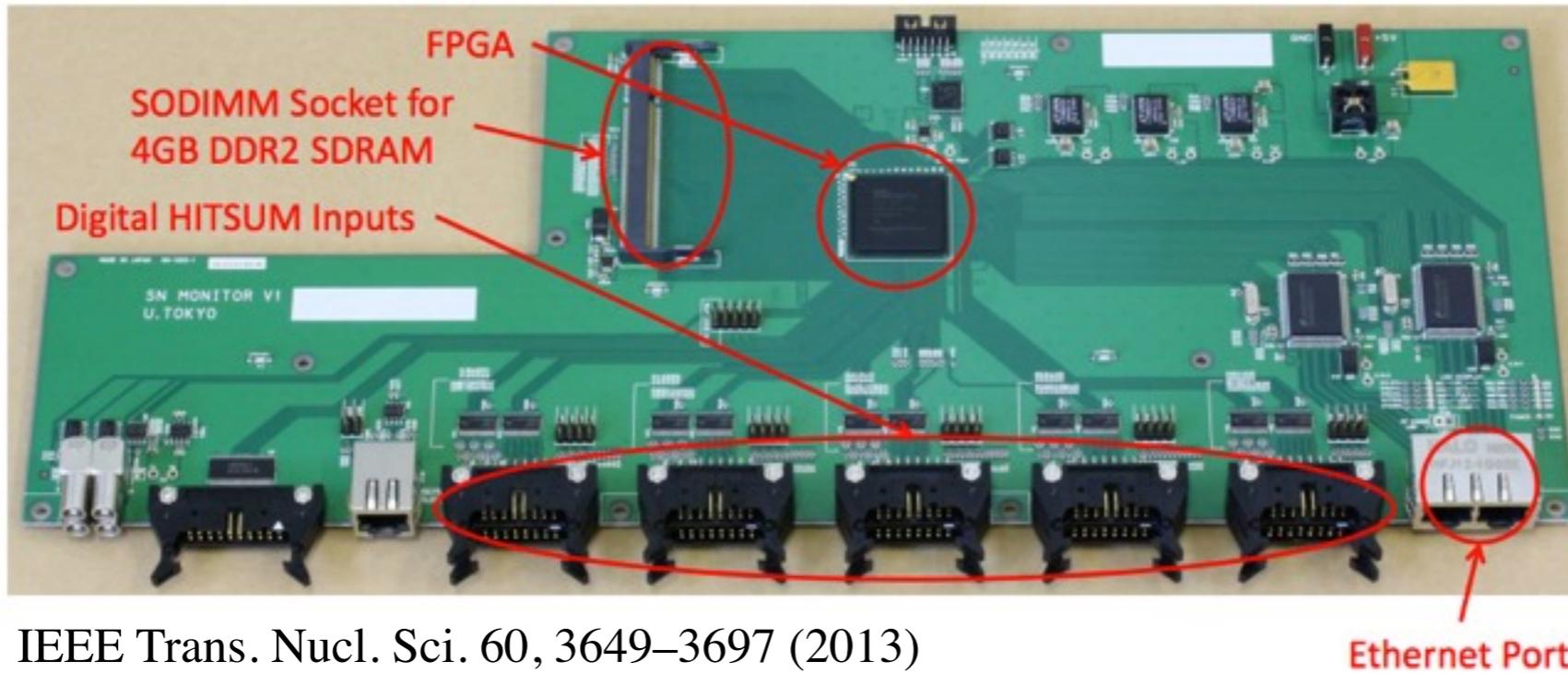
- 前兆 ν による爆発前アラーム(KamLAND)
- 高精度前兆 ν モデル構築
- SK, GADZOOKSでの前兆 ν 観測の可能性 (C01と協力)
爆発の30分前でも方向がわかると革命的!!

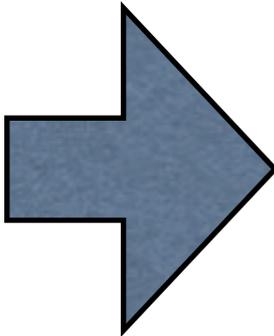
問題点

前兆 ν が見えるような近傍イベントでは、
多過ぎる超新星 ν で検出器のDAQ破綻

連携した観測体制強化

- SKでは既にSN-DAQを開発済み (コミッショニング中)



- 
- XMASS: 新型トリガー回路, DAQ処理速度向上
 - KamLAND: イベント記録の間引き

技術的連帯

ネットワーク観測

反応リスト

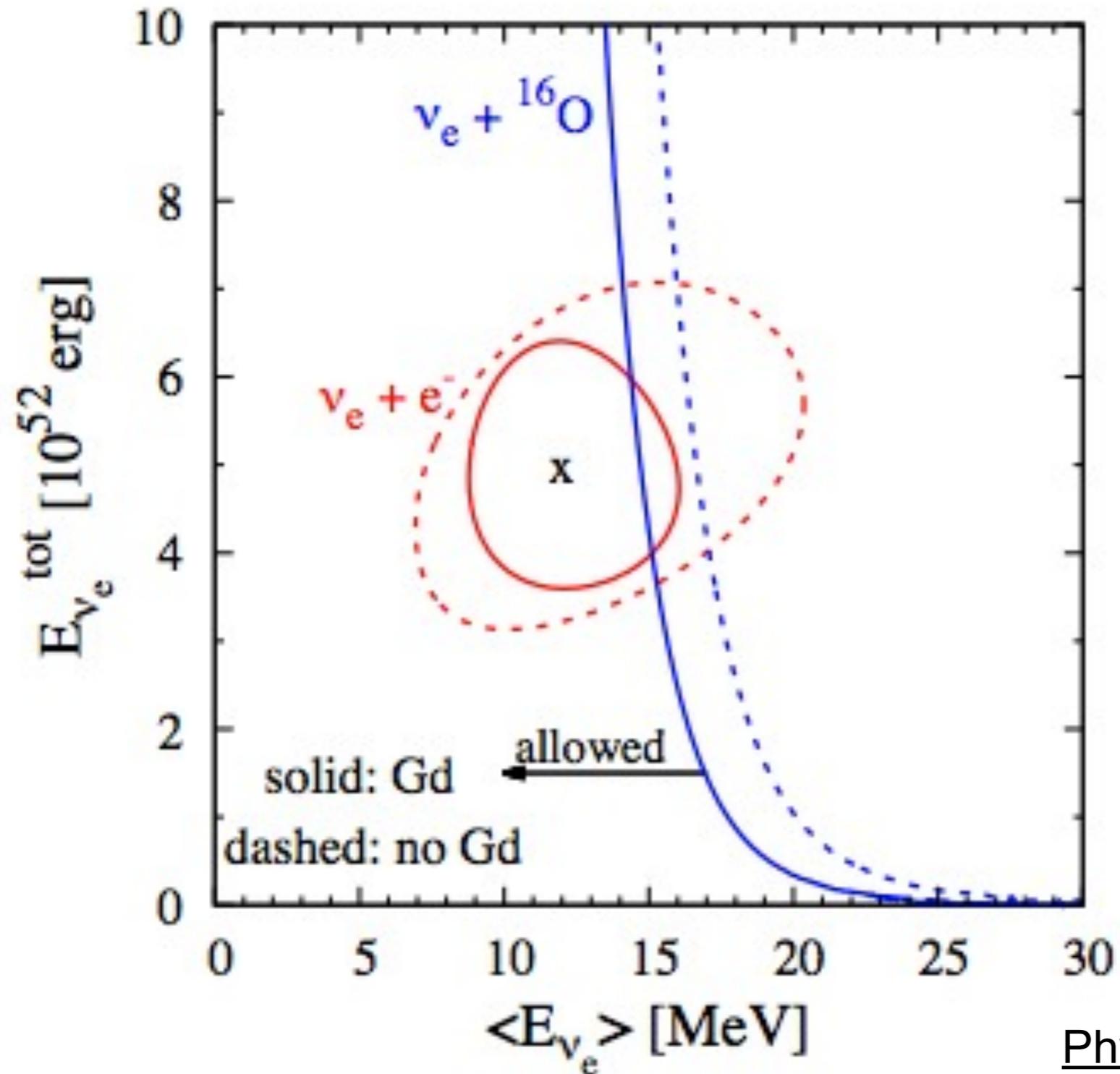
Super-Kamiokande

Detection channel	12 MeV	15 MeV	18 MeV
$\nu_e + e^- \rightarrow \nu_e + e^-$	188	203	212
$\bar{\nu}_e + e^- \rightarrow \bar{\nu}_e + e^-$	56	64	70
$\nu_x + e^- \rightarrow \nu_x + e^-$	60	64	68
$\bar{\nu}_x + e^- \rightarrow \bar{\nu}_x + e^-$	48	54	56
$\nu_e + {}^{16}\text{O} \rightarrow e^- + {}^{16}\text{F}^*$	16	70	202
$\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$	5662	7071	8345

[Phys. Rev. D 89, 063007 \(2014\)](#)

電子ニュートリノの精度

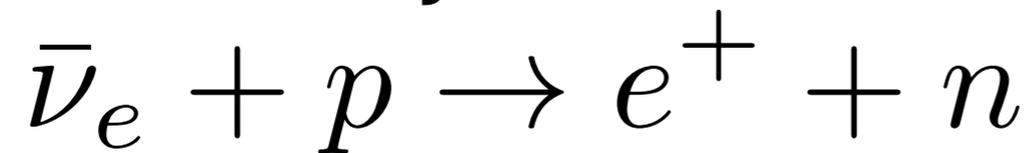
$\nu_e + {}^{16}\text{O}$ だけでは ν_e を精度良く決められない



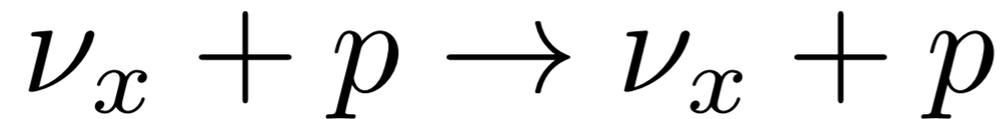
Phys. Rev. D 89, 063007 (2014)

KamLAND

Inverse beta decay

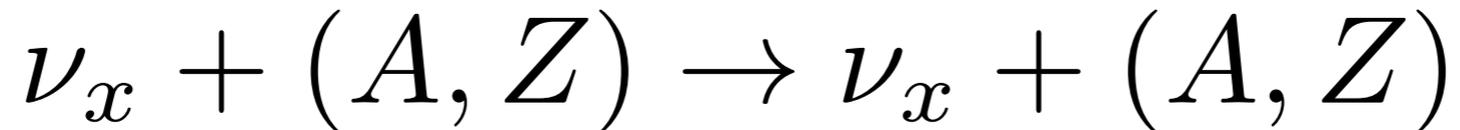


Proton recoil



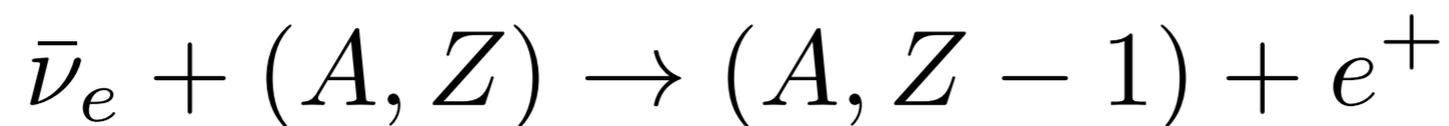
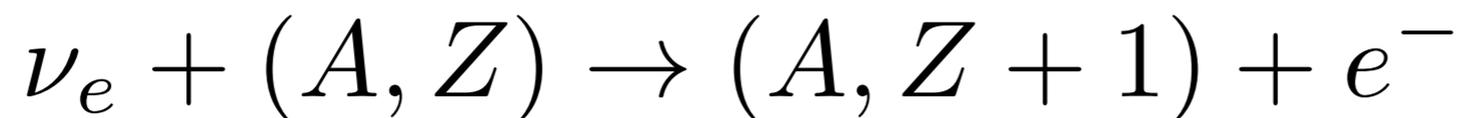
XMASS

Coherent Elastic Neutrino Nucleus Scattering



A. Drukier and L. Stodolsky, Phys.Rev. D30, 2295 (1984)

Charged-current reaction



Advances in High Energy Physics
Volume 2013 (2013), Article ID 143184, 11 pages

反応リスト

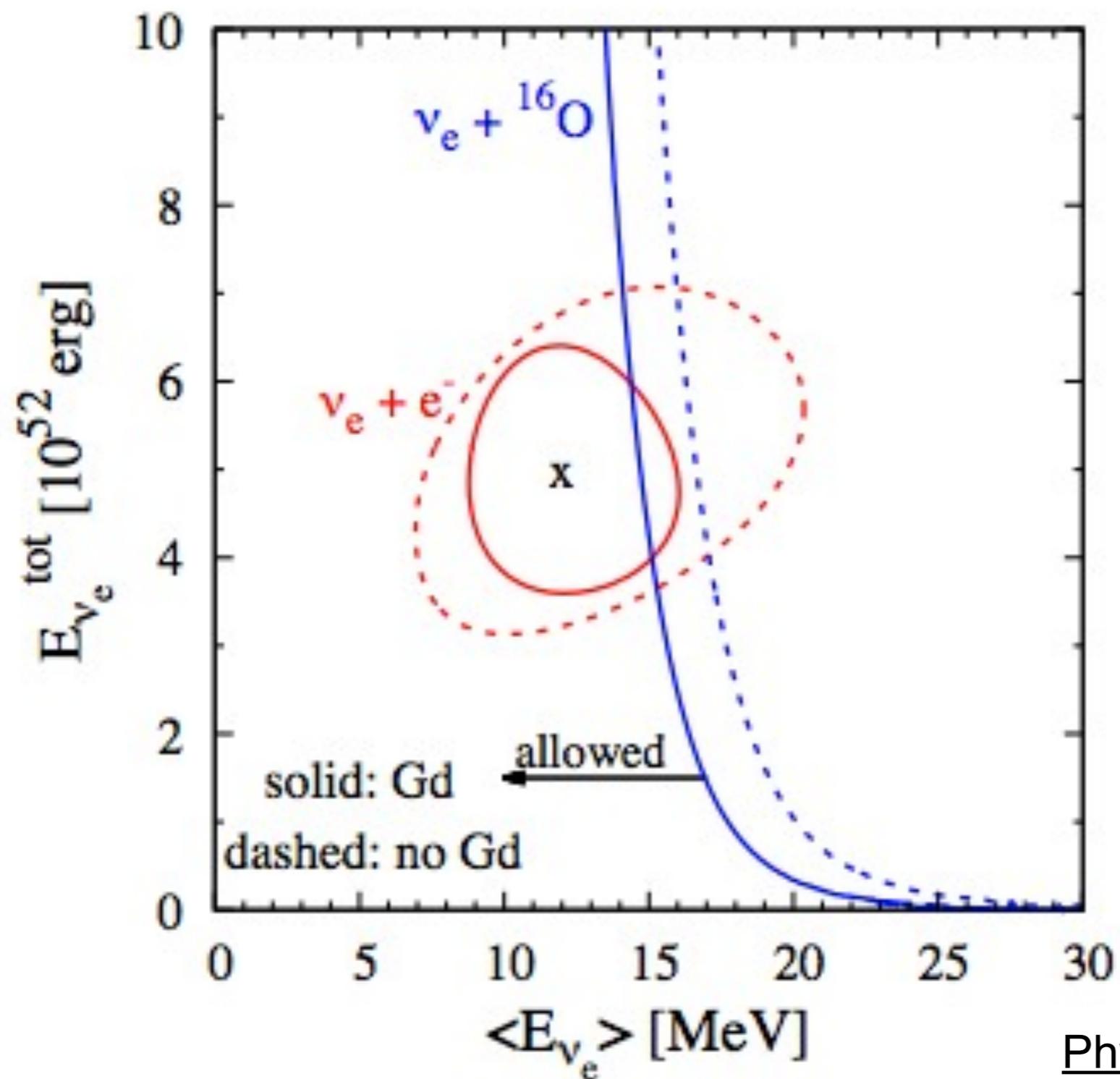
Super-Kamiokande

Detection channel	12 MeV	15 MeV	18 MeV
$\nu_e + e^- \rightarrow \nu_e + e^-$	188	203	212
$\bar{\nu}_e + e^- \rightarrow \bar{\nu}_e + e^-$	56	64	70
$\nu_x + e^- \rightarrow \nu_x + e^-$	60	64	68
$\bar{\nu}_x + e^- \rightarrow \bar{\nu}_x + e^-$	48	54	56
$\nu_e + {}^{16}\text{O} \rightarrow e^- + {}^{16}\text{F}^*$	16	70	202
$\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$	5662	7071	8345

Phys. Rev. D 89, 063007 (2014)

電子ニュートリノの精度

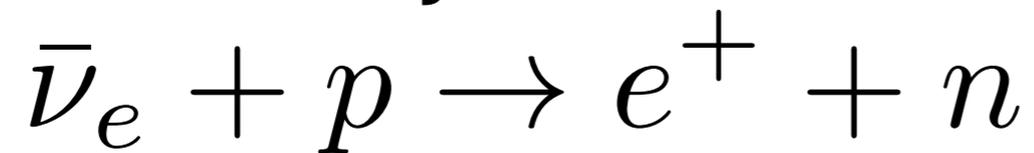
ν_x が決まると $\nu_e + e^-$ が使えるようになる



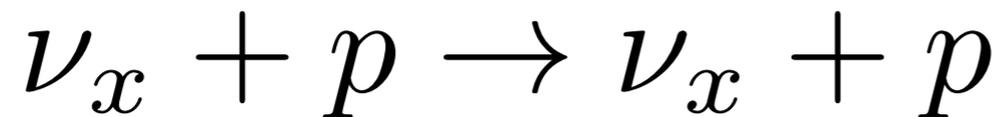
Phys. Rev. D 89, 063007 (2014)

KamLAND

Inverse beta decay

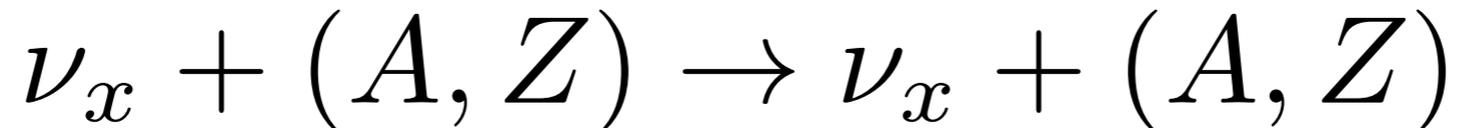


Proton recoil



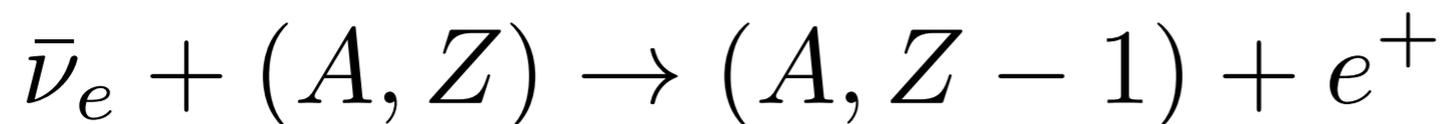
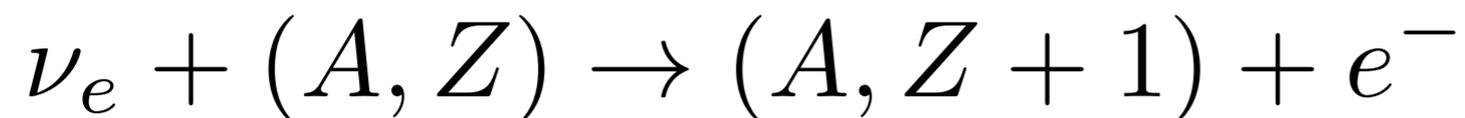
XMASS

Coherent Elastic Neutrino Nucleus Scattering



A. Drukier and L. Stodolsky, Phys.Rev. D30, 2295 (1984)

Charged-current reaction



これだけで ν_e

がわかるかも

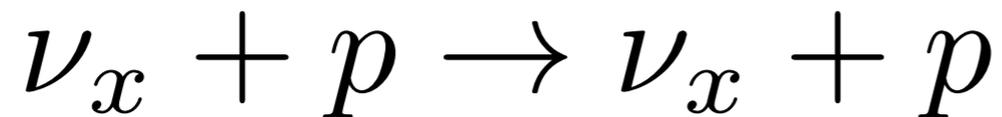
Advances in High Energy Physics
Volume 2013 (2013), Article ID 143184, 11 pages

KamLAND

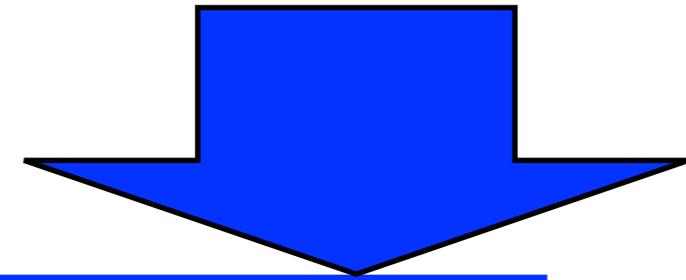
Inverse beta decay KamLANDと合わせて、



Proton recoil

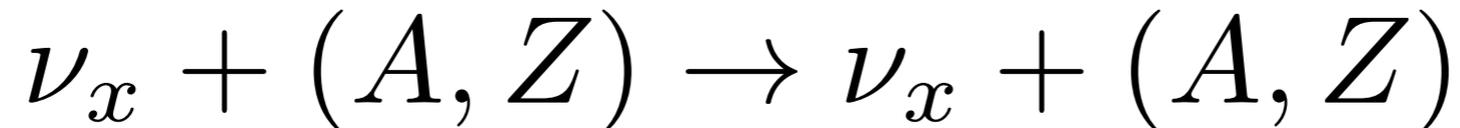


この反応の検出
だけで意義がある



XMASS

Coherent Elastic Neutrino Nucleus Scattering



A. Drukier and L. Stodolsky, Phys.Rev. D30, 2295 (1984)

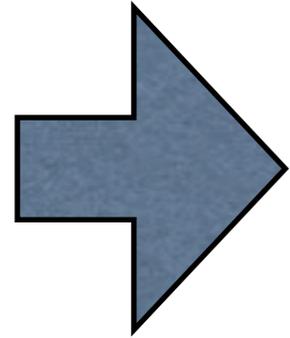
Charged-current reaction



Advances in High Energy Physics
Volume 2013 (2013), Article ID 143184, 11 pages

連携した観測体制強化

- SKでは既にSN-DAQを開発済み (コミッショニング中)



- XMASS: 新型トリガー回路, DAQ処理速度向上

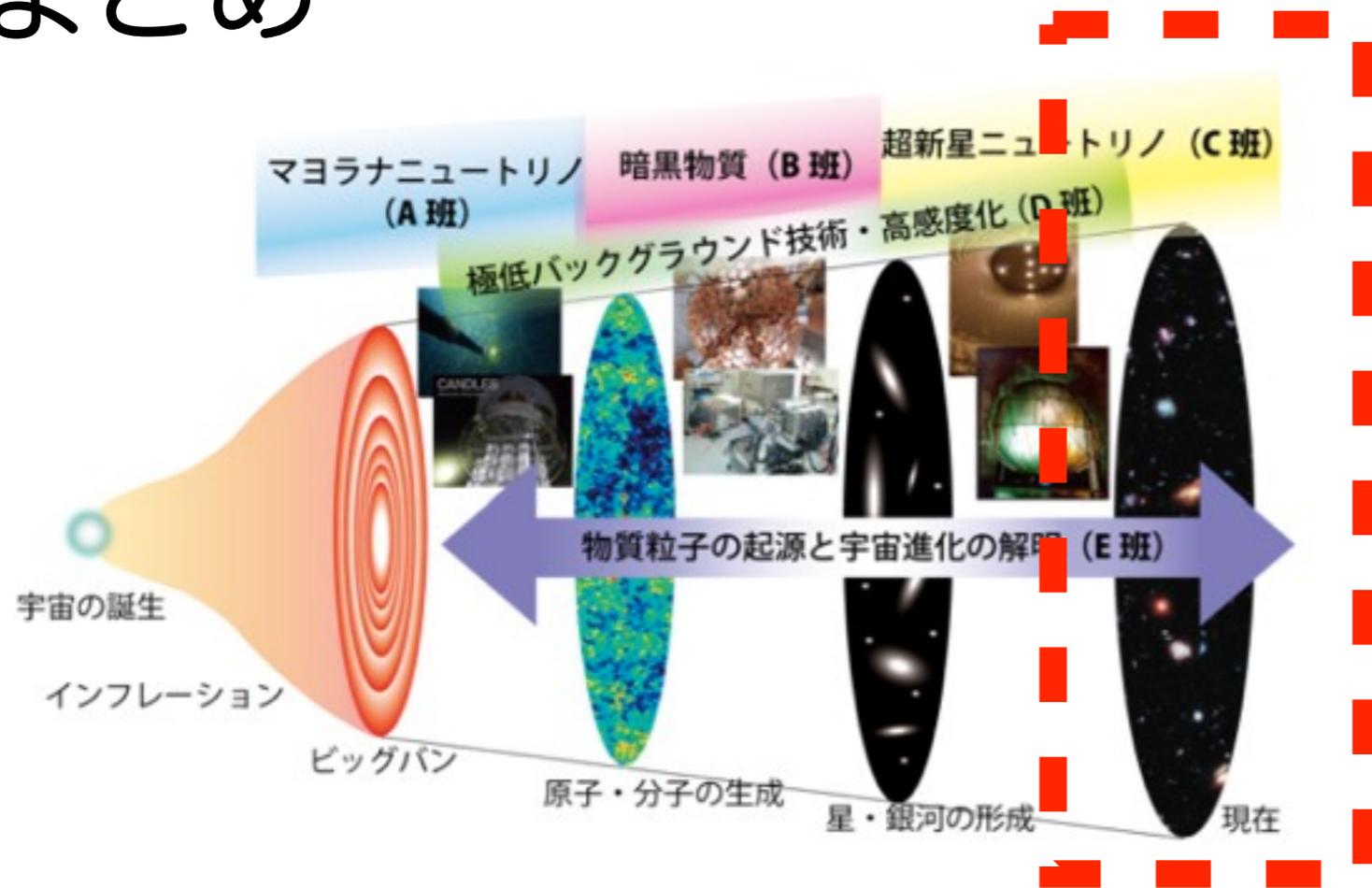
- KamLAND: イベント記録の間引き

技術的連帯

ネットワーク観測

それぞれ絶対に逃しては行けない反応を再度検討して, DAQ強化を行う

まとめ



- 星進化の描像
- 重元素の起源
- 太陽や地球の成立

近傍超新星爆発へそなえた準備を確立

- 前兆 ν による爆発前アラーム

- SK, XMASS, KamLANDでの観測体制強化

超新星爆発があれば全力でデータ解析

太陽 ν , 地球 ν 観測の継続