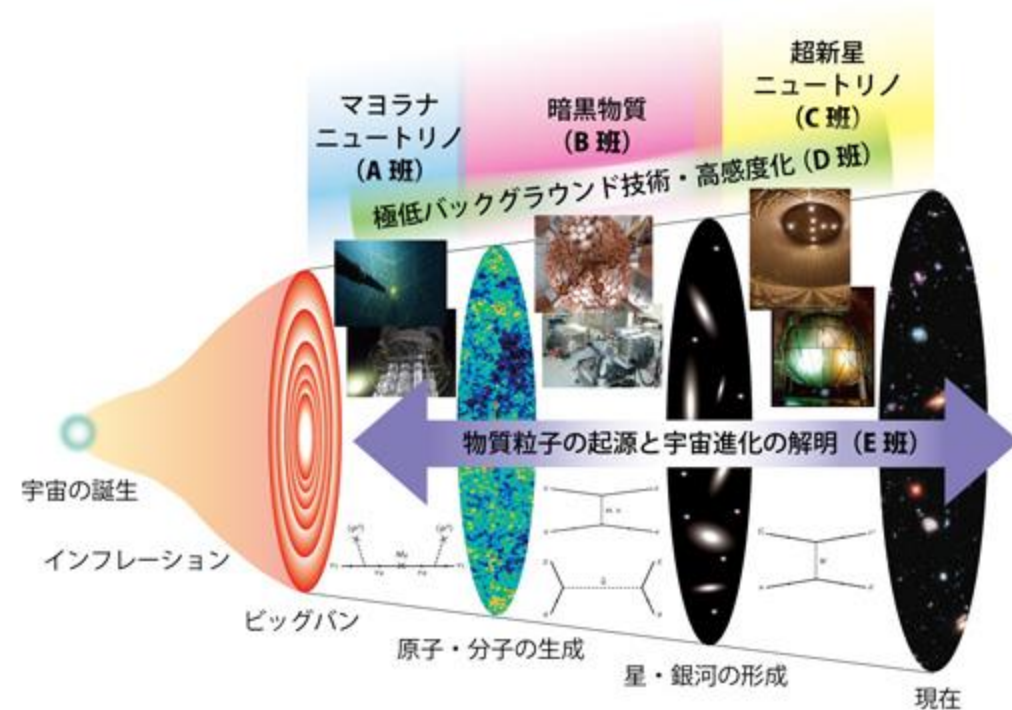


超新星ニュートリノ研究の総括

へのコメント

中畑 雅行

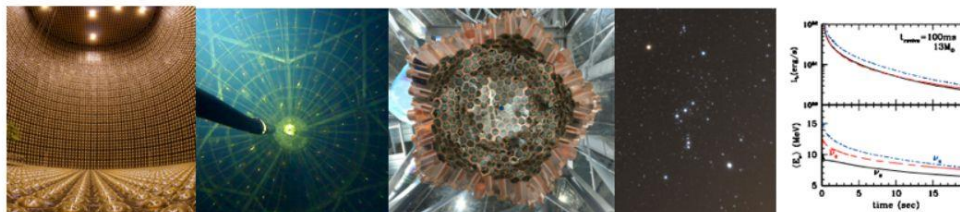
宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設
カブリ数物連携宇宙研究機構
東京大学



新学術「地下素核研究」第一回超新星ニュートリノ研究会

2015年3月16-17日, 東京理科大学

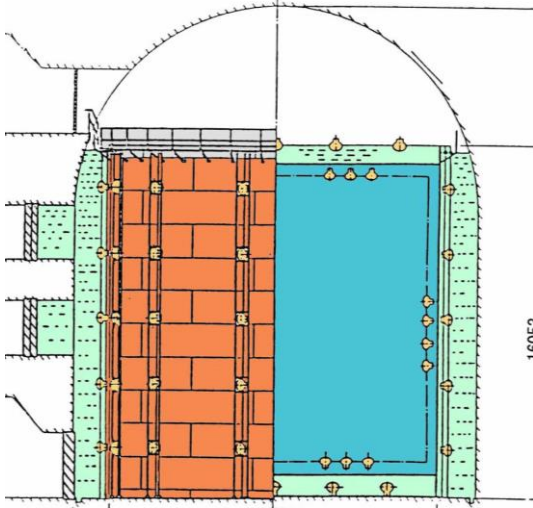
新学術領域「宇宙の歴史をひもとく地下素粒子原子核研究」
計画研究C01, C02班主催



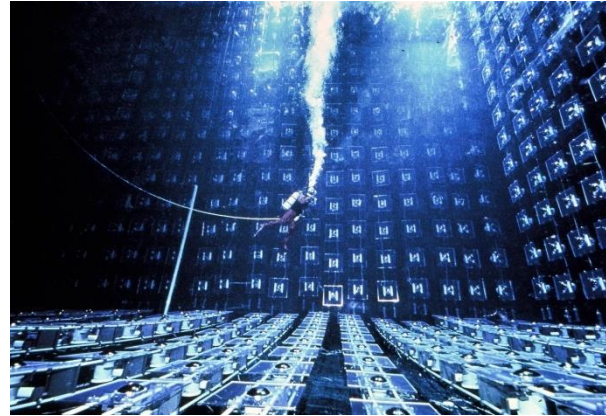
SN1987a vs. SN201Nxx
SN202Nxx

SN1987a

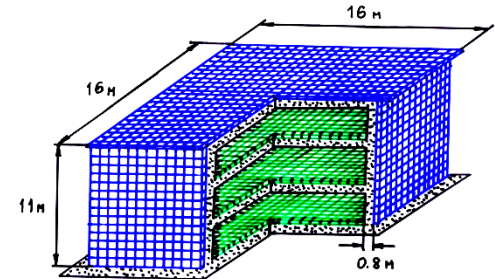
Kamiokande-II



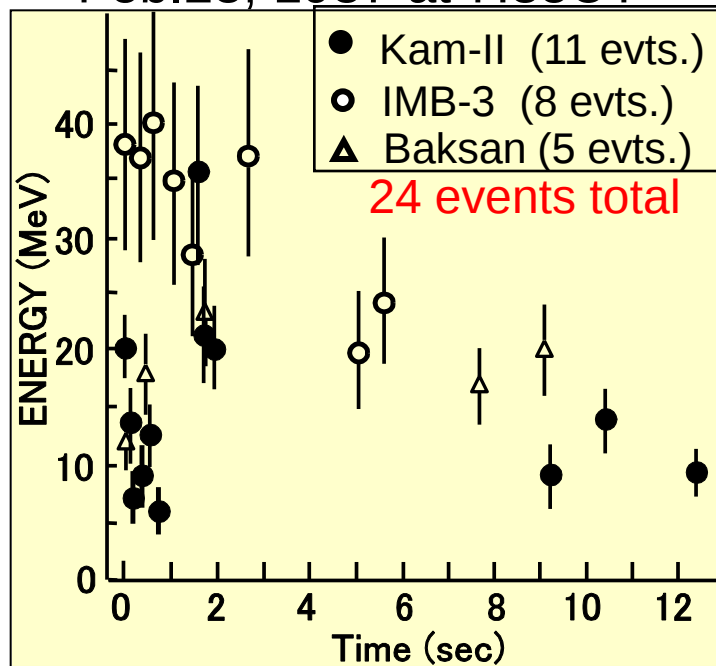
IMB-3



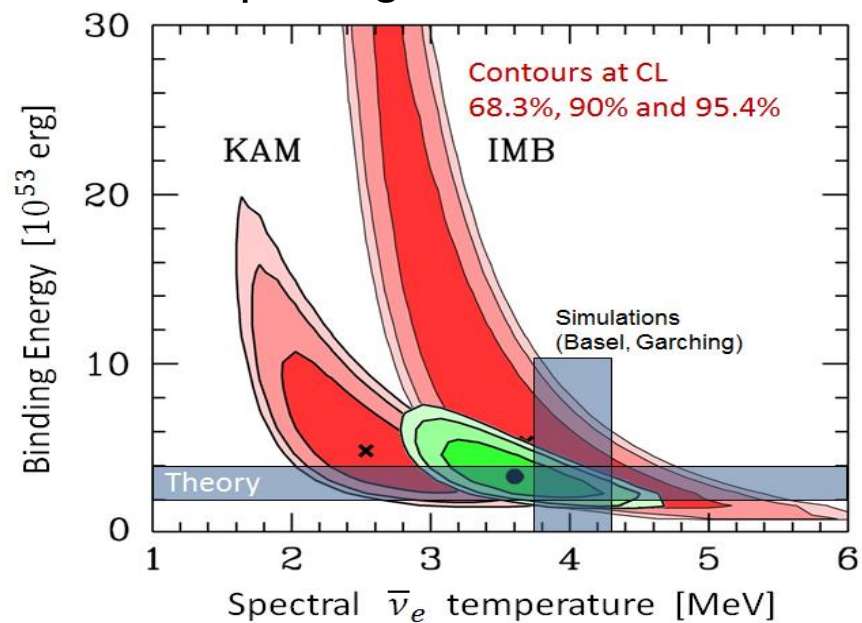
BAKSAN



Feb.23, 1987 at 7:35UT

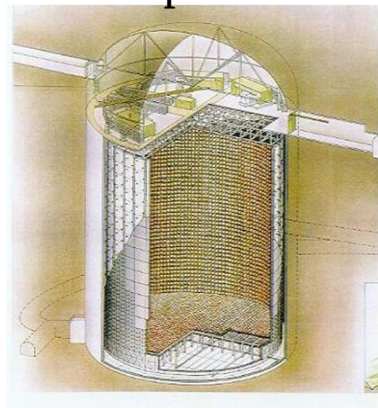


Interpreting SN 1987A Neutrinos

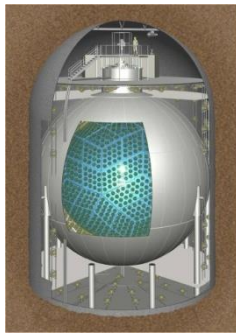


SN201Nxx / SN2Nxx

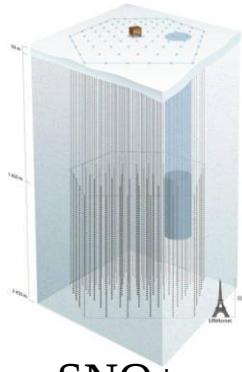
Super-K



KamLAND



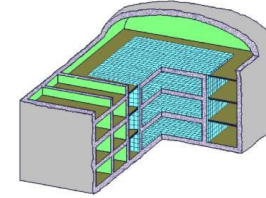
IceCube



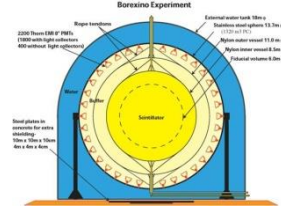
LVD



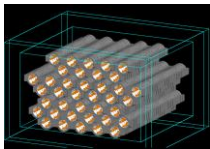
Baksan



Borexino



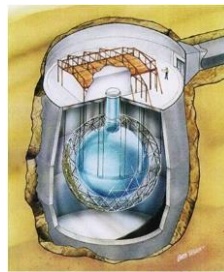
HALO



XMASS



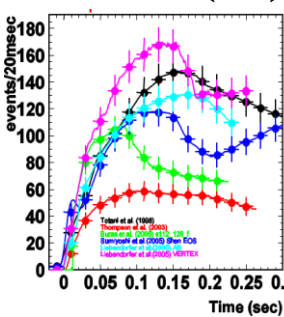
SNO+



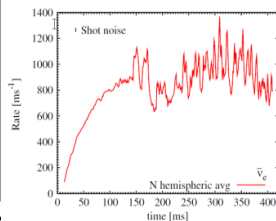
...

- 多数の観測装置
- 多事象、精密時間分布
- 超新星の方向性 (Super-K)
- 多様な反応事象が期待される。

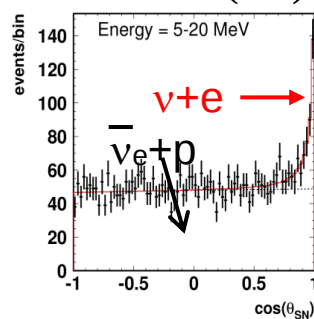
多事象 (SK)



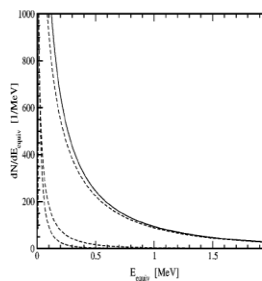
精密時間分布 (IceCube)



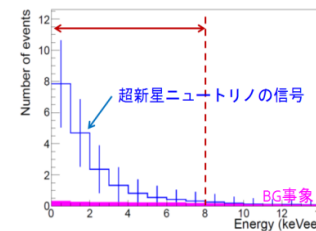
方向性 (SK)



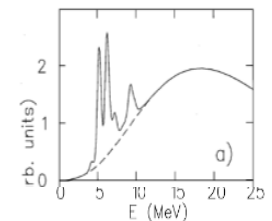
vp弾性散乱 (KamLAND他)



coherent散乱 (XMASS)

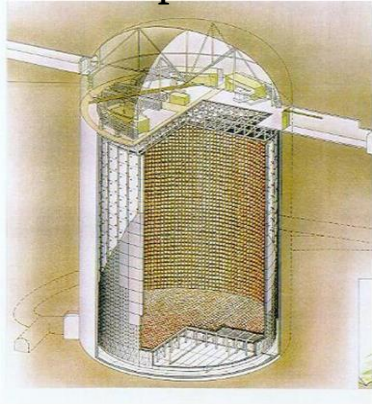


NC gamma

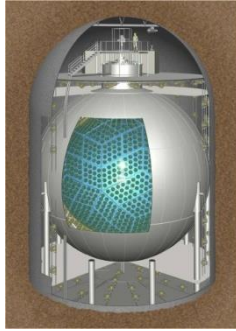


Multi-messenger

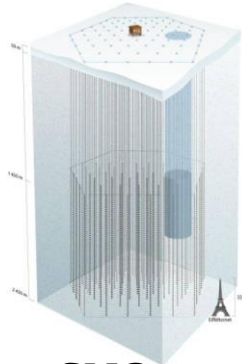
Super-K



KamLAND



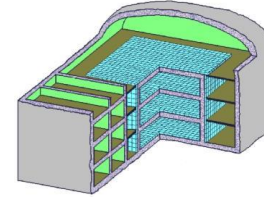
IceCube



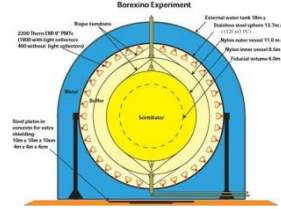
LVD



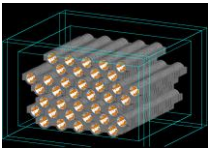
Baksan



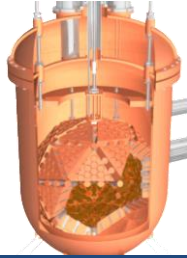
Borexino



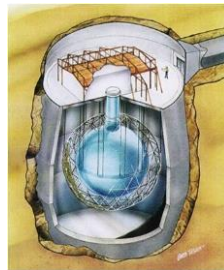
HALO



XMASS



SNO+



• • •

Ad. LIGO



GEO600



KAGRA



Ad. Virgo



IndIGO



Summary of Galactic Supernova Rate Estimate

Diehl et al., *Nature* 439, 45 (2006)

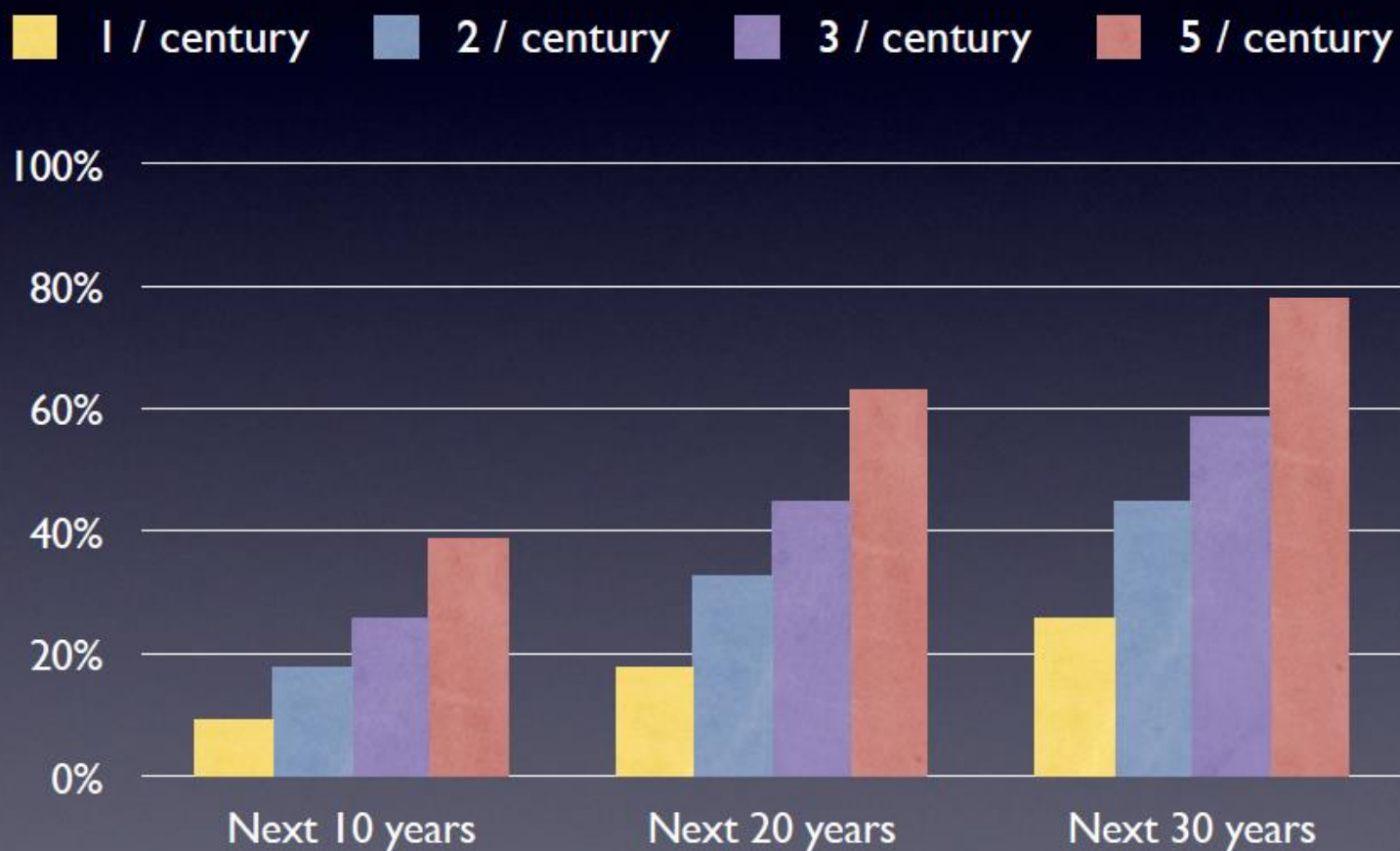
Authors	SFR [$M_\odot y^{-1}$]	SNR [century $^{-1}$]	Comments
Smith et al. 1978	5.3	2.7	
Talbot 1980	0.8	0.41	
Guesten et al. 1982	13.0	6.6	
Turner 1984	3.0	1.53	
Mezger 1987	5.1	2.6	
McKee 1989	3.6 (R) 2.4 (IR)	1.84 1.22	
van den Bergh 1990	2.9 ± 1.5	1.5 ± 0.8	„the best estimate“
van den Bergh & Tammann 1991	7.8	4	extragalactic scaling
Radio Supernova Remnants	6.5 ± 3.9	3.3 ± 2.0	very unreliable
Historic Supernova Record	11.4 ± 4.7	5.8 ± 2.4	very unreliable
Cappellaro et al. 1993	2.7 ± 1.7	1.4 ± 0.9	extragalactic scaling
van den Bergh & McClure 1994	4.9 ± 1.7	2.5 ± 0.9	extragalactic scaling
Pagel 1994	6.0	3.1	
McKee & Williams 1997	4.0	2.0	used for calibration
Timmes, Diehl, Hartmann 1997	5.1 ± 4	2.6 ± 2.0	based on ^{26}Al method
Stahler & Palla 2004	4 ± 2	2 ± 1	Textbook
Reed 2005	2-4	1-2	
Diehl et al. 2005	3.8 ± 2.2	1.9 ± 1.1	this work

Table 1: Star formation and core-collapse supernova rates from different methods.

- All methods converge at $R_{\text{SN}} \sim$ a few / century, but could be even larger
- No neutrino burst in the last 25 years sets upper limit: < 9.2 / century (90% CL)
Alekseev & Alekseeva 2002;
Raffelt 2007
- Highly Poisson regime

Galactic Supernova Forecast

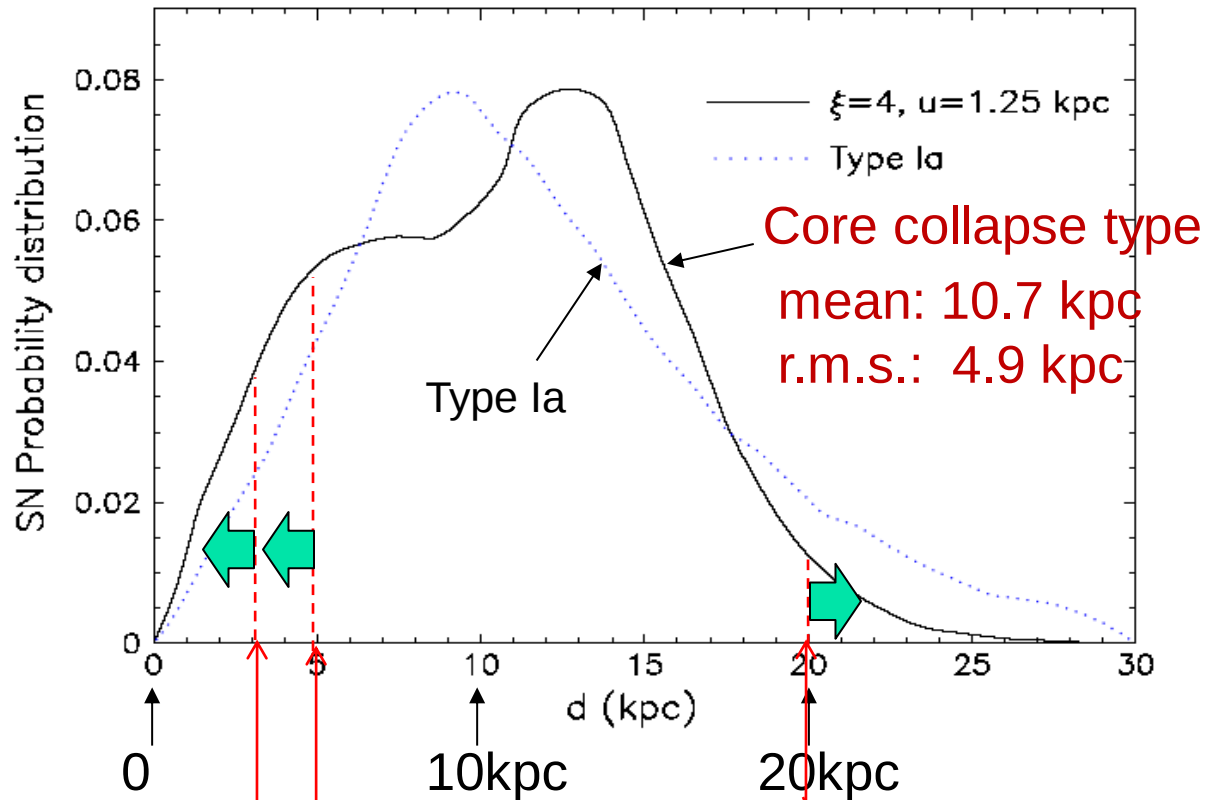
Probability to have Galactic SNe in the next decades



Distance to Galactic supernova

Mirizzi, Raffelt and Serpico, JCAP 0605,012(2006),
astro-ph/0604300

Based on birth location of neutron stars



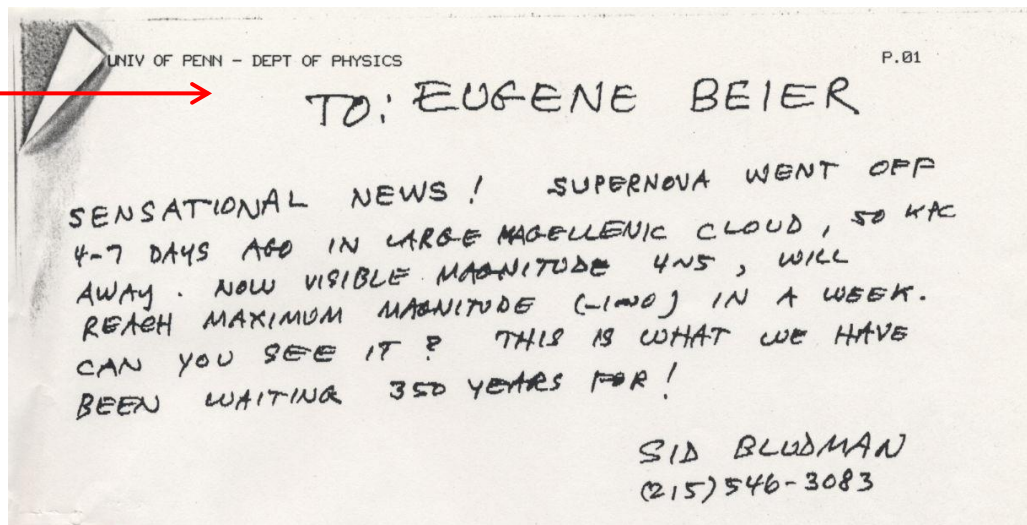
7% probability
< 3.16 kpc
> x10 statistics

16% probability
< 5 kpc
> x 4 statistics

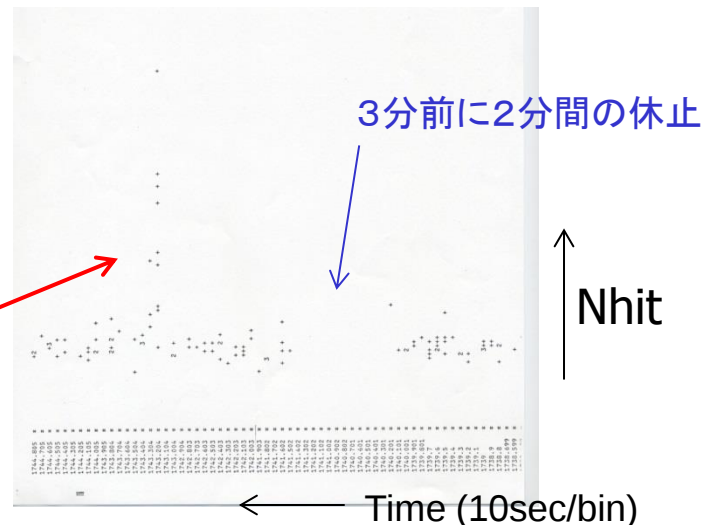
3% probability
> 20 kpc
< 1/4 statistics

SN1987a手記

爆発時刻: 2月23日16時35分35秒(± 1 分)



Contact me if you want to see
this page.



SN1987a手記

Contact me if you want to see
this page.

SN201Nxx / SN2Nxx手記

[ベテルギウス編]

X月X日: I氏よりKamLANDのイベントレートが高くなっているとの連絡が入る。Y氏に確認したところ、レートはベテルギウスとconsistentとのこと。

X月X日: SKは予定していた翌日のキャリブレーション作業を取り止めることにする。

X月X+1日: 爆発にともなうニュートリノが地球を通過。

爆発10分後: 世界のいくつかの実験が爆発を確認し、SNEWSでcoincidenceし、世界へ情報が発信される。

爆発15分後: SKはONLINE SNWATCH PROGRAMにより方向を確認し、ベテルギウスであることが分かる。

爆発45分後: SKは超新星の方向の情報、イベント数などを世界へ発信する。

爆発から1日後: xx天文台の望遠鏡が最初の光を捉える。

[10kpc編]

X月X日: 爆発にともなうニュートリノが地球を通過。

爆発10分後: 世界のいくつかの実験が爆発を確認し、SNEWSでcoincidenceし、世界へ情報が発信される。

爆発15分後: SKはONLINE SNWATCH PROGRAMにより超新星の方向を確認する。

爆発45分後: SKは超新星の方向の情報、イベント数などを世界へ発信する。

爆発50分後: 重力波も捉えられたという情報が入る。

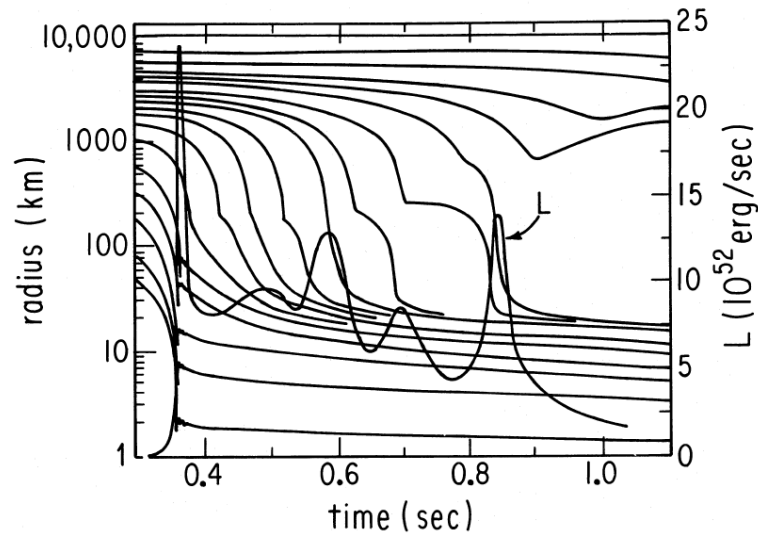
爆発から1日後: xx天文台の望遠鏡が最初の光を捉える。

あるいは、

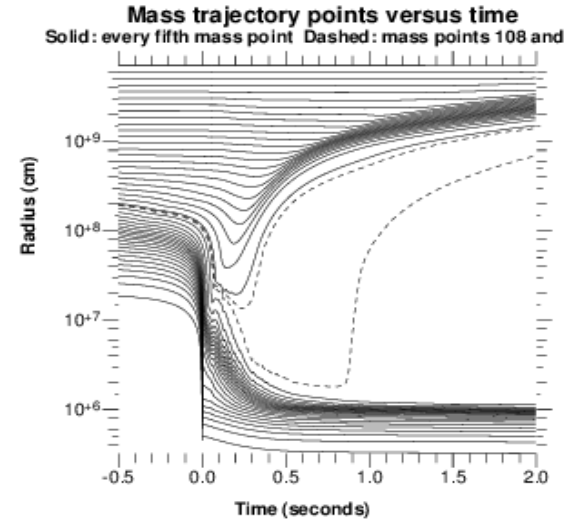
世界の天文台が望遠鏡を向けるがダストに阻まれ、光は見れず。

爆発から数十日後: X線により信号が捉えられる。

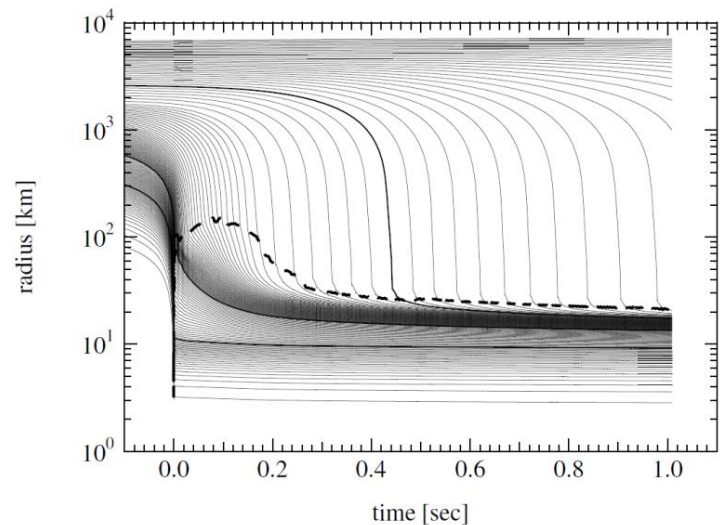
Supernova simulation(昔)



Mayle, Wilson, Schramm(1987)



Totani, Sato, Dalhed, Wilson(1998)



Sumiyoshi et. al (2005)

VOLUME 90, NUMBER 24

PHYSICAL REVIEW LETTERS

week ending
20 JUNE 2003

Improved Models of Stellar Core Collapse and Still No Explosions: What Is Missing?

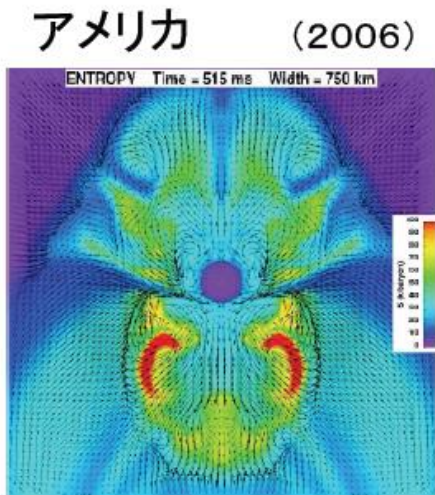
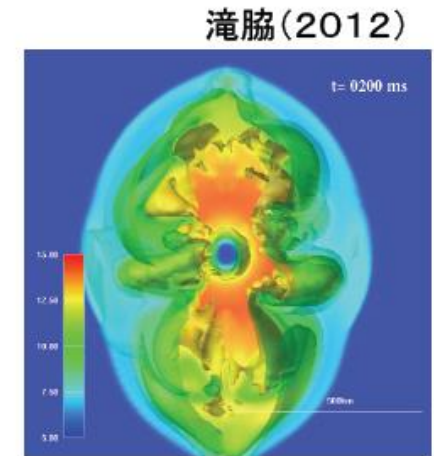
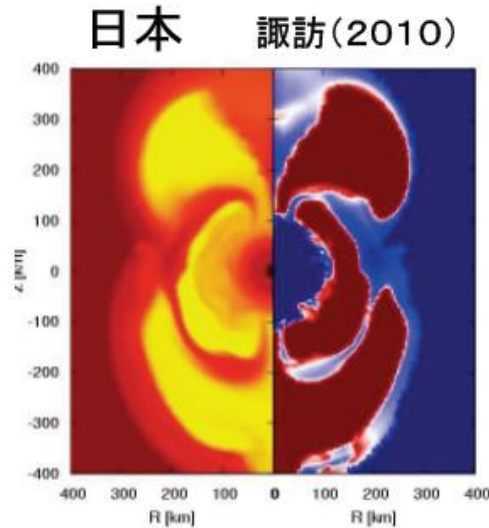
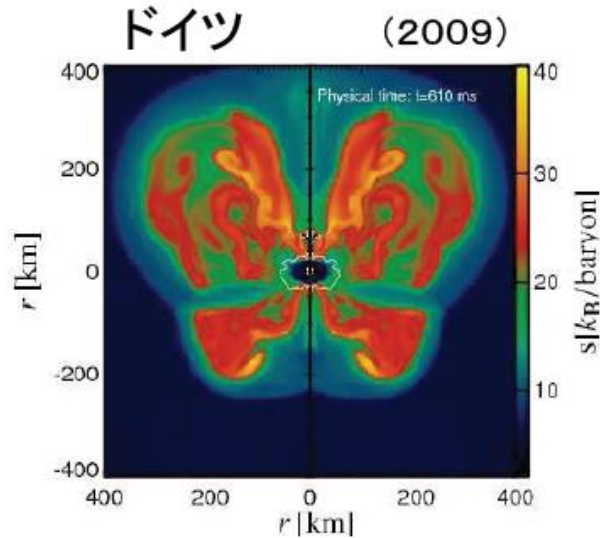
R. Buras, M. Rampp, H.-Th. Janka, and K. Kifonidis

Max-Planck-Institut für Astrophysik, Karl-Schwarzschild-Strasse 1, D-85741 Garching, Germany

(Received 7 March 2003; published 19 June 2003)

Two-dimensional hydrodynamic simulations of stellar core collapse are presented which for the first time were performed by solving the Boltzmann equation for the neutrino transport including a state-of-the-art description of neutrino interactions. Stellar rotation is also taken into account. Although convection develops below the neutrinosphere and in the neutrino-heated region behind the supernova shock, the models do not explode. This suggests missing physics, possibly with respect to the nuclear equation of state and weak interactions in the subnuclear regime. However, it might also indicate a fundamental problem with the neutrino-driven explosion mechanism.

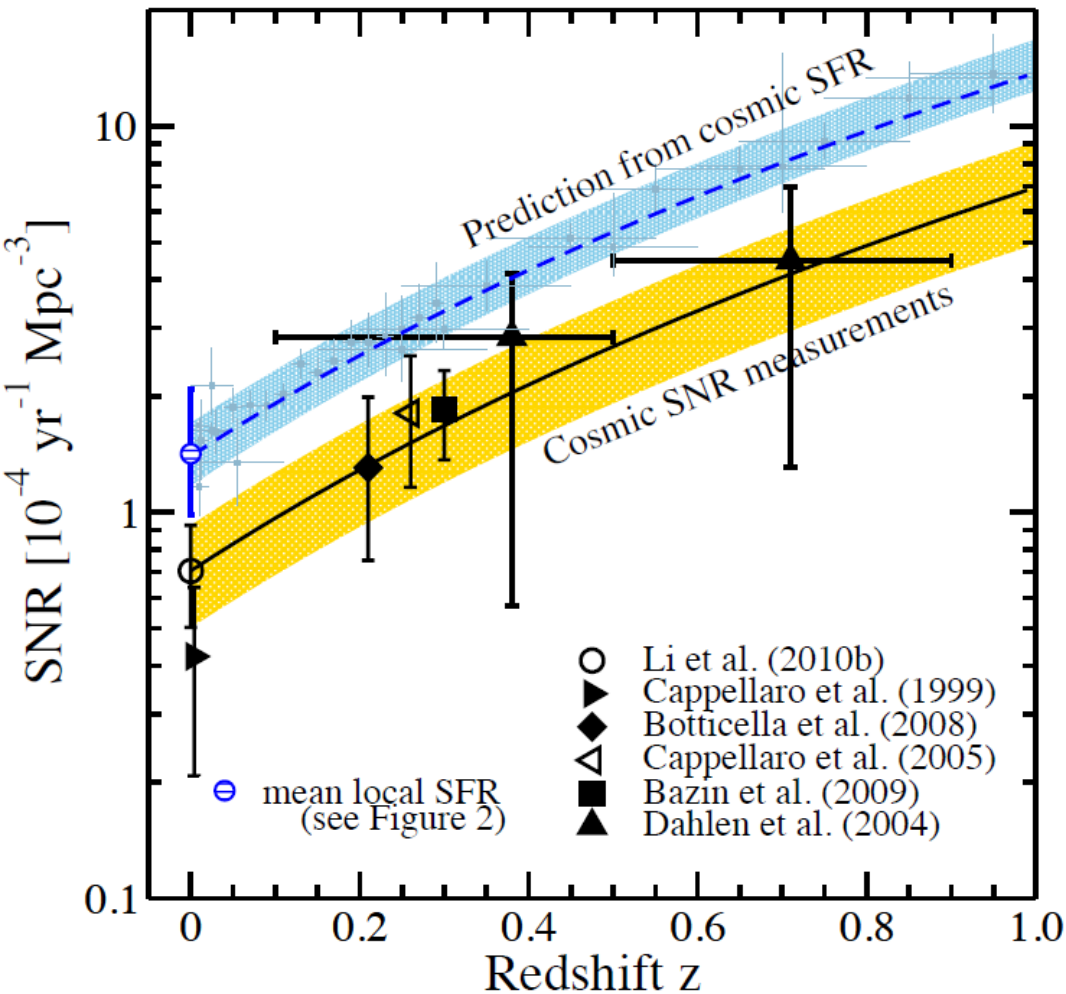
Supernova simulation(最近)



住吉さんのtalkから

- 多次元(2D, 3D)、回転、磁場などを入れた高精度シミュレーション。
- 私の目には、どうみても脳内断層写真にしか見えない。
(それも、賢い超新星理論家さん達の!)
- 爆発が理論的に理解できることを期待しています。
- 特に、black hole生成の確率、failed supernovaの確率を知りたい。

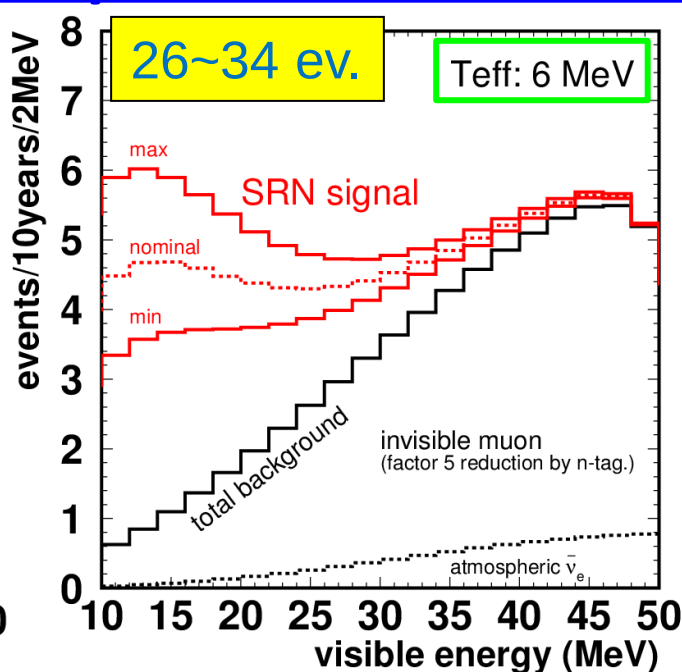
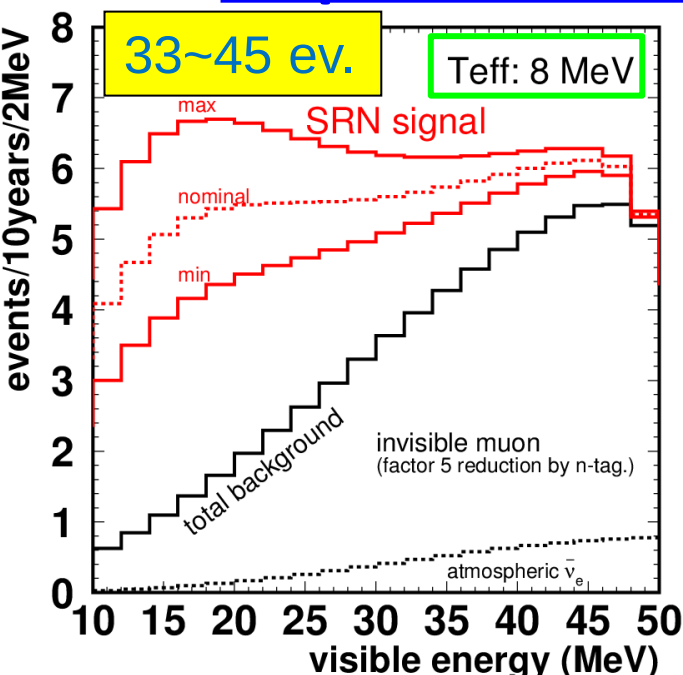
超新星の頻度



- ◆ 観測された超新星頻度は、SFRから予想される頻度に対して半分ぐらいしかない。
- ◆ この原因は何か？

ニュートリノ観測によってこれらの疑問に答えたい。

SK(GADZOOKS!)で期待されるSRNの信号

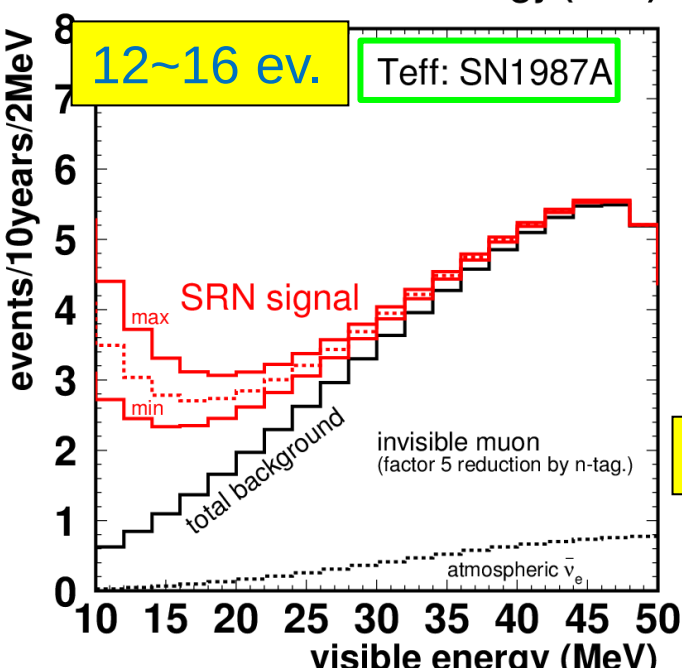
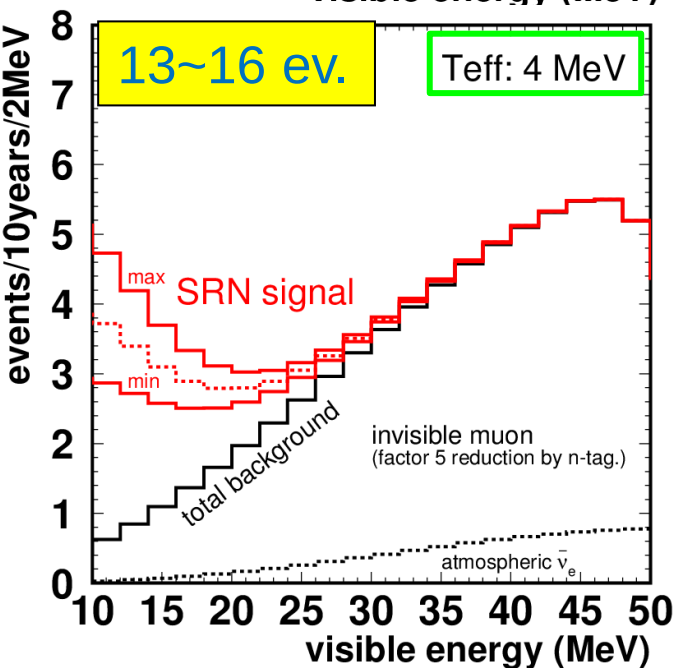


10年で期待されるイベント数
($E_{\text{total}} = 10\text{-}30$ MeV)

仮定

Gdの中性子捕獲効率を90%、ガンマ線選択効率を74%として。

Invisible muon B.G.は、SK-IVの35%レベル。



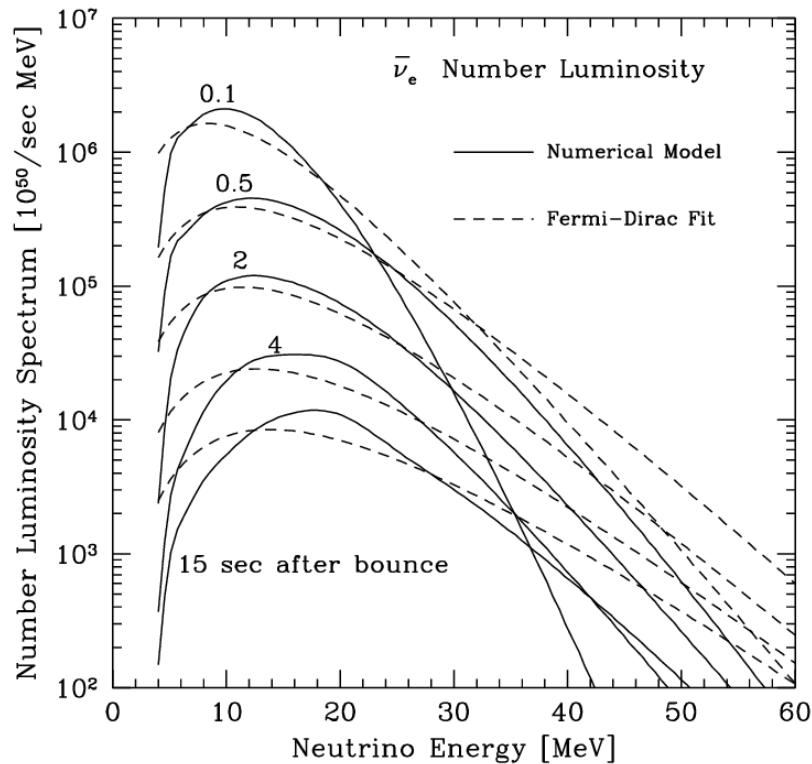
Min/nominal/Maxは、温度以外の不定性。

バックグラウンド: ~18 ev.

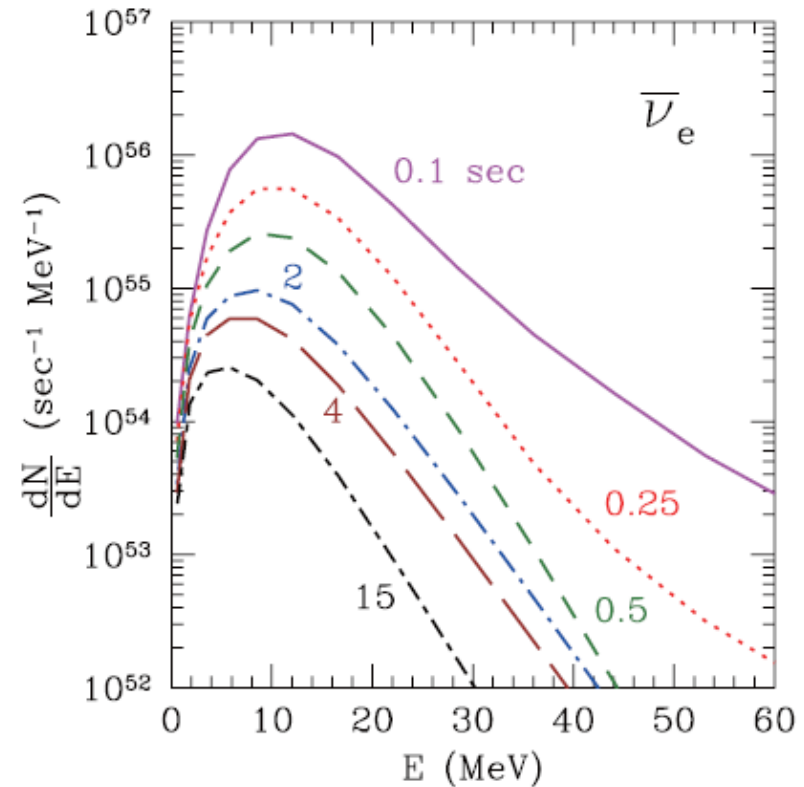
SRN flux from Horiuchi et al. PRD, 79, 083013 (2009)

Supernova rateを議論するためにはスペクトルが必要。

Totani et al. (1998)



Nakazato, Sumiyoshi,
Suzuki et al. (2013)



精度良いスペクトルの計算(ニュートリノ振動の効果も含めて)に期待。



超新星ニュートリノ研究の将来に期待!