

神岡実験の現状と将来 および XMASS実験計画

(今後約7年間(法人化第一期)の神岡地下実験の展望)

鈴木洋一郎

@将来計画研究会(2003年2月1日)

於:宇宙線研究所

スーパーカミオカンデ実験の現状と将来
K2K実験の現状と将来

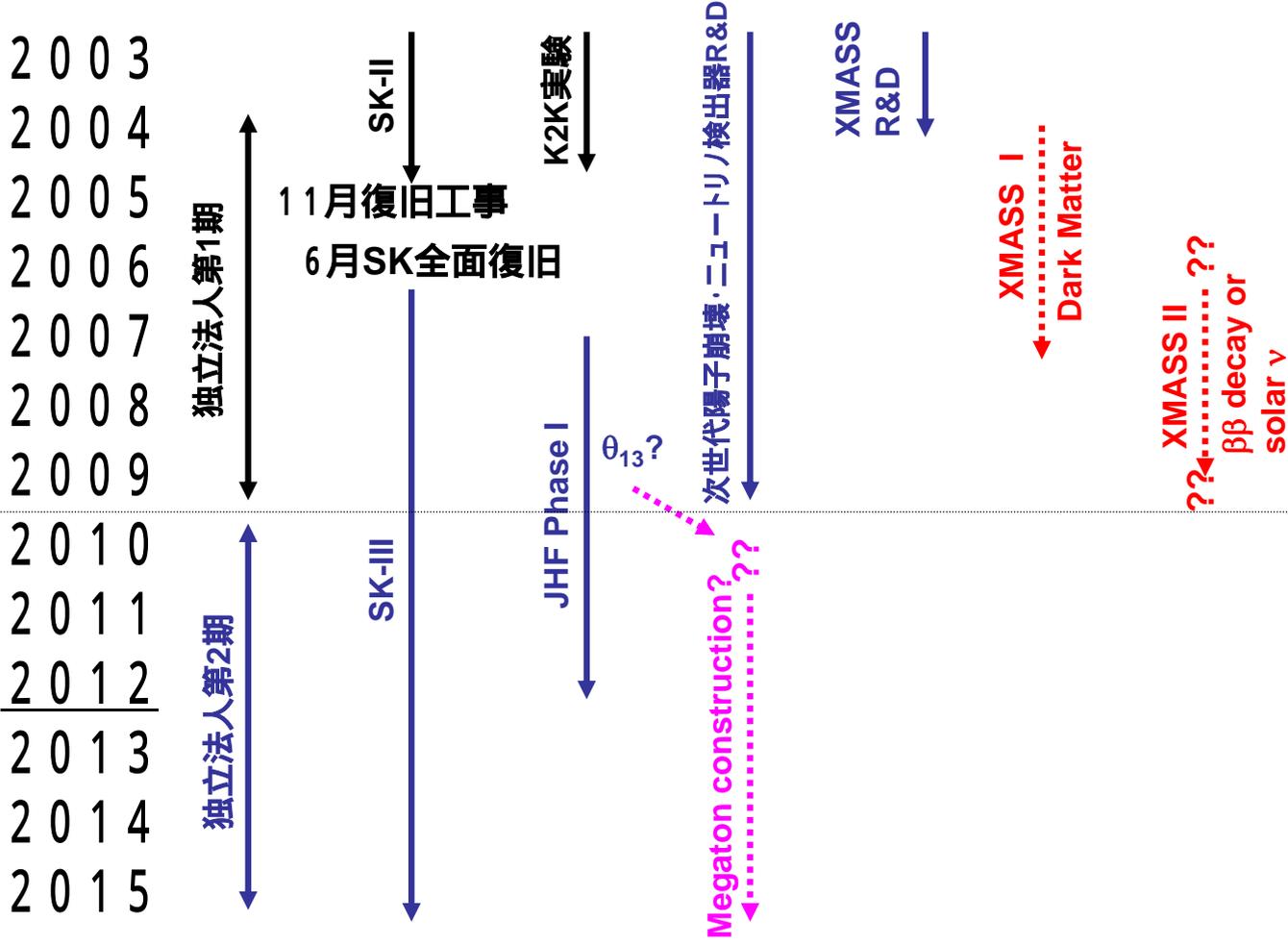
(K2K → JHF Phase I)

「10年より先の実験」のための開発研究

次世代ニュートリノ・陽子崩壊実験装置の検討R&D

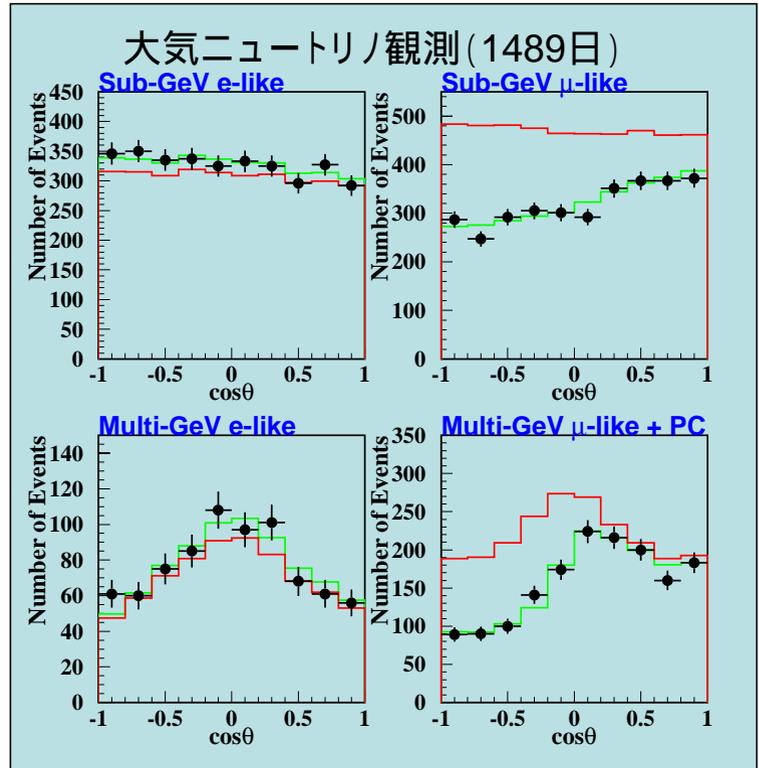
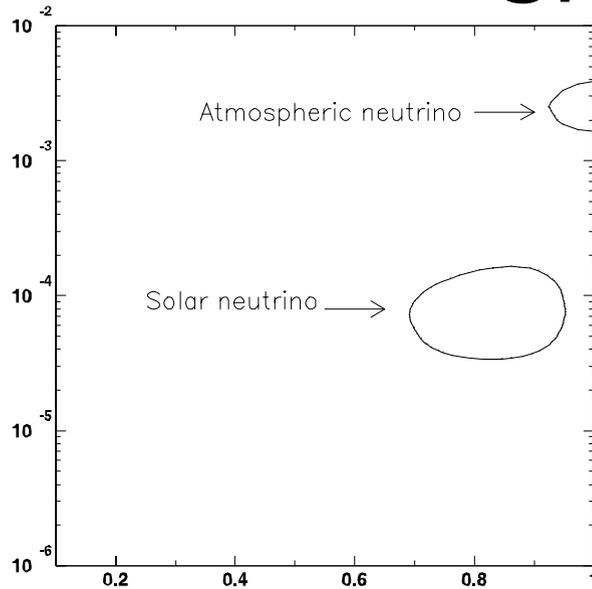
XMASS実験計画(相補型実験)

年表



SKの現状

SK-I 1996年 4月 ~ 2001年7月
(SK-II 2002年10月 ~)



太陽ニュートリノ観測 (1496日)

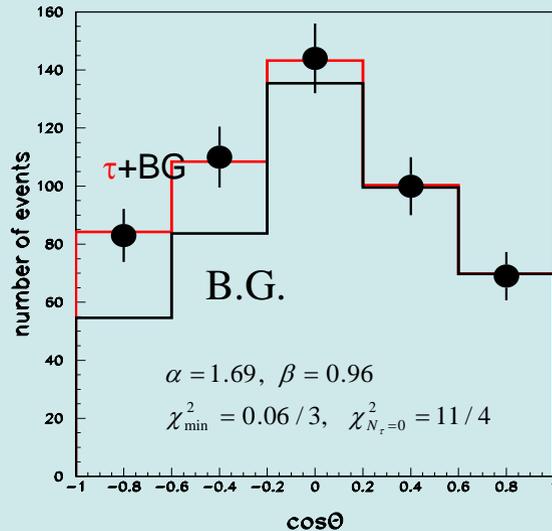
$2.35 \pm 0.02(\text{stat}) \pm 0.08(\text{syst}) \times 10^6/\text{cm}^2/\text{s}$
(SNO: $1.76 \pm 0.06(\text{stat}) \pm 0.09(\text{syst}) \times 10^6/\text{cm}^2/\text{s}$)
(Day - Night)/(Day + Night) =
 $-0.021 \pm 0.020(\text{stat}) \pm 0.013(\text{syst})$

陽子崩壊: $p \rightarrow e^+ + \pi^0$ (92 kt·yr) $< 5.7 \times 10^{33}\text{yr}$
 $p \rightarrow \nu + K^+$ (92 kt·yr) $< 2.0 \times 10^{33}\text{yr}$
 $p \rightarrow \mu^+ + K^0$ (70 kt·yr) $< 1.0 \times 10^{33}\text{yr}$

SKの将来

大気ニュートリノ

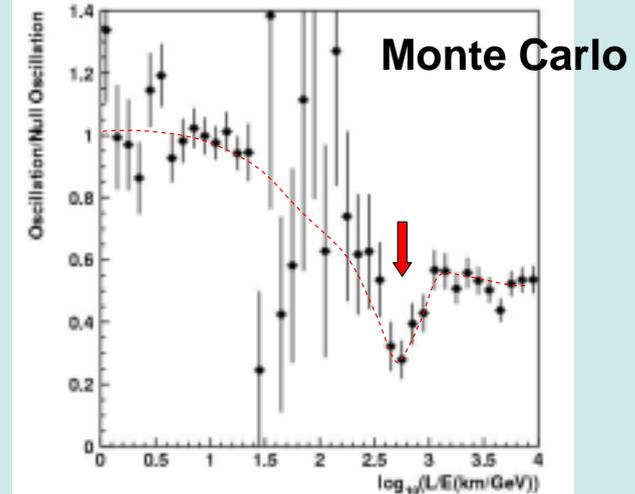
ν_τ appearanceの確認



観測数 (検出効率補正済み):
 $145 \pm 44(\text{stat.}) \pm 16(\text{sys.})$ 事象

期待される数:
86事象

L/E patternの確認



太陽ニュートリノ

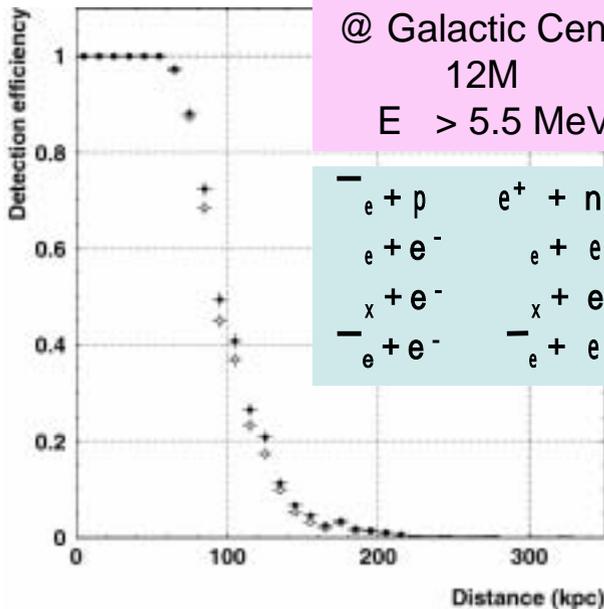
Day/Night $\sim 2 \sim 3\%$ effectの確立

太陽物理?
(hep-fluxの測定, time variation,,,,,)

SKの将来 II

超新星ニュートリノ

Burst Search

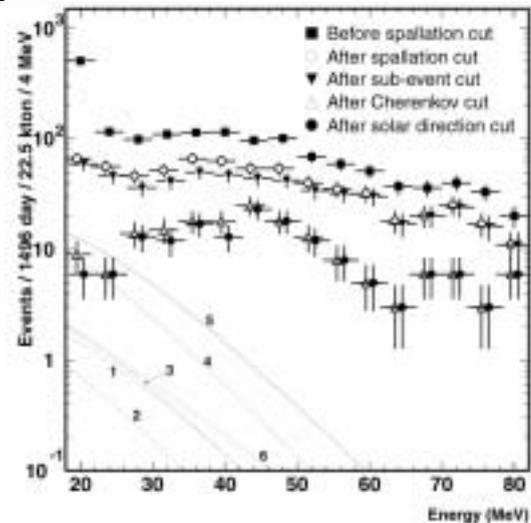


SN Relic neutrinos

Past SN $\square \longrightarrow$

- trace the history of the star formation rate
- produced a large number of neutrinos

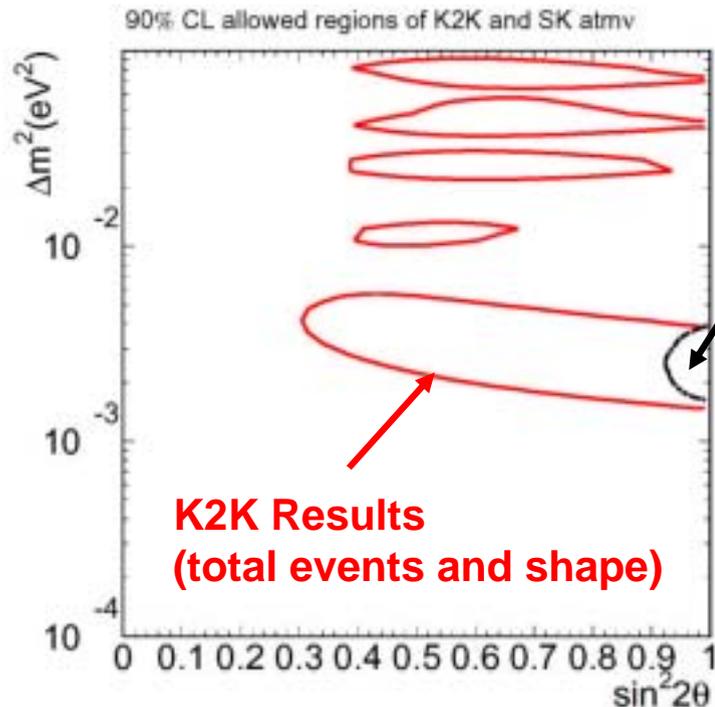
\longrightarrow Diffuse Backgrounds (SRN)



SK-III

- 1) 現状のまま走る
- 2) Neutron capture の可能性の追求 (塩、Gd、を混ぜる) ← R&D
 SRNがBG-freeとなる
 solar $\bar{\nu}_e$ (sensitivity 100倍)
 SN burst (clear $\bar{\nu}_e$ identification and energy spectrum)

K2Kの現状と将来



SK atm-ν allowed region
FC+PC+upμ

Observation : 56 events

Expected Events (w/o oscillation)

$$80.6 \pm 0.3(\text{stat.}) \pm 7.3_{8.0}(\text{syst.})$$

Best fit:

$$\begin{aligned} \sin^2 2\theta &= 1.0 \\ \Delta m^2 &= 2.8 \times 10^{-3} \text{eV}^2 \end{aligned}$$

$$N_{\text{SK}} = 54$$

Data taken so far :

$$4.8 \times 10^{19} \text{POT}$$

Proposal:

$$1.0 \times 10^{20} \text{POT}$$

→ We will run another 3 years

JHF Phase I



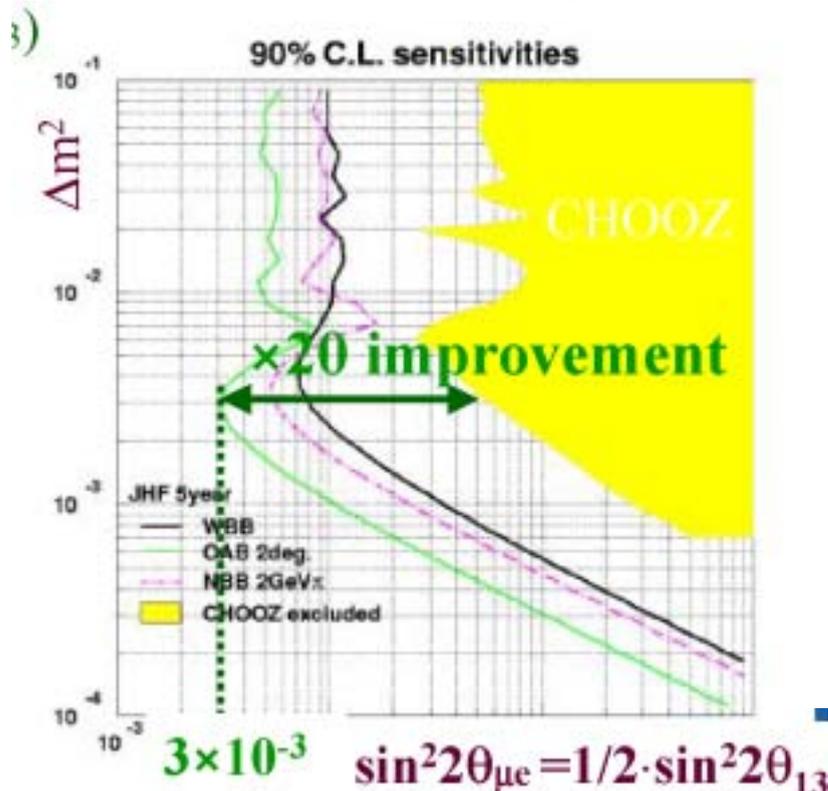
Phase-I (0.77MW + full Super-K)
2007 (?) : earliest possibility

Sensitivity of the JHFnu Experiment

Intensity 330×10^{12} PPP, Rep. Rate = 0.29Hz

$\langle E\nu \rangle = 0.7$ GeV, $L = 295$ km

#CC = 133 ν /kt/yr \sim 3000CC/yr for SK, $f(\nu_e) = 0.2\%$



5 years of running

Assume: $\Delta m^2 = 3 \times 10^{-3}$
 $\sin^2 2\theta_{13} = 0.1$

Signal: 123 ev

BG: 21 ev

(ν_{μ} CC 1.8 ev)

(π^0 9.3 ev)

(ν_e 11.1 ev)

$\sin^2 2\theta_{13} < 0.006$ (90% CL)

$\delta \sin^2 2\theta_{23} \sim 0.01$; $\delta \Delta m_{23}^2 < 1 \times 10^{-4} \text{eV}^2$

CP Violation Study w/ Hyper-K (Phase 2)

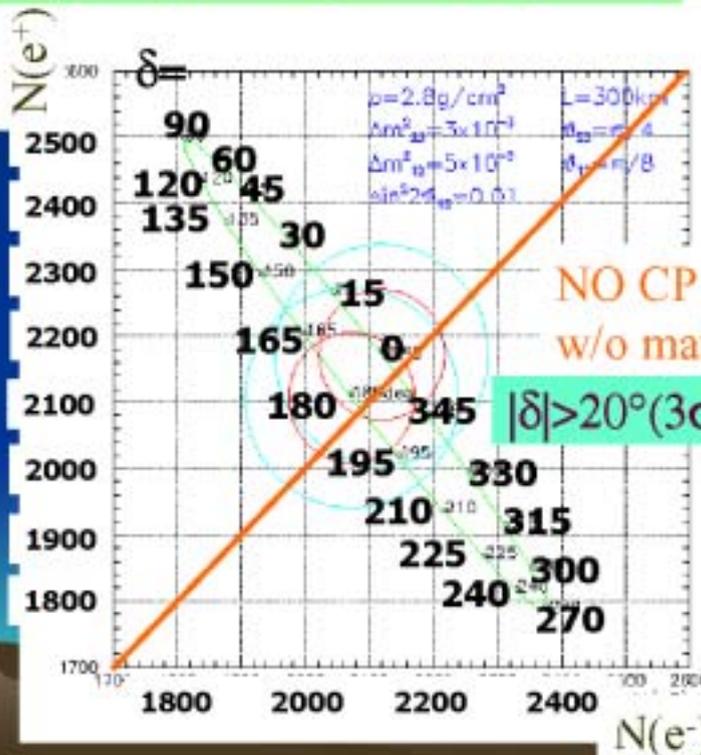
- Compare $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ (2 years) with $\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$ (6 years)

$$A_{CP} = \frac{P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) - P(\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e)}{P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) + P(\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e)} \approx \frac{\Delta m_{12}^2 L}{4E_\nu} \cdot \frac{\sin 2\theta_{12}}{\sin \theta_{13}} \cdot \sin \delta$$

$$\begin{aligned} \Delta m_{12}^2 &= 5 \times 10^{-5} \text{eV}^2, \\ \Delta m_{23}^2 &= 3 \times 10^{-3} \text{eV}^2 \\ \sin^2 2\theta_{13} &= 0.01 \\ \theta_{23} &= \pi/4, \theta_{12} = \pi/8 \end{aligned}$$

Asymmetry

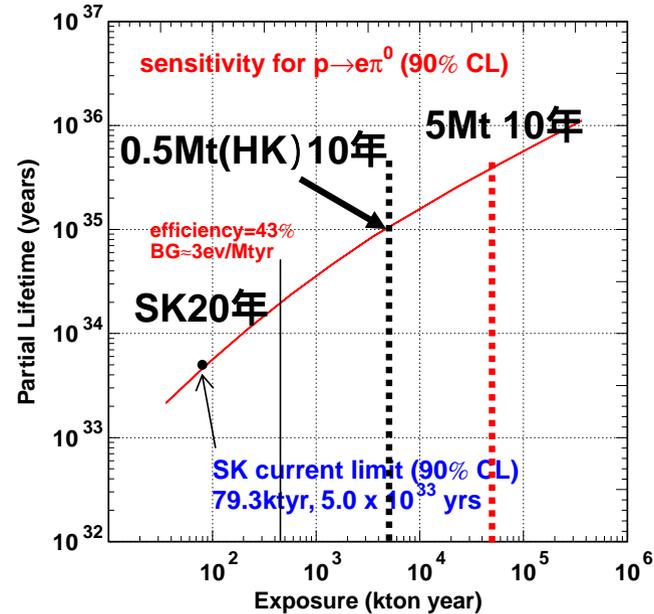
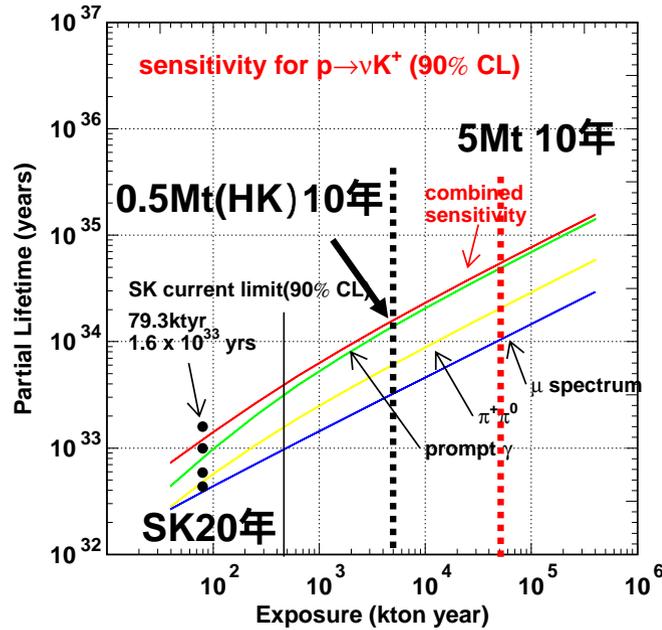
$$\begin{aligned} &\equiv \frac{N(e^+) - N(e^-)}{N(e^+) + N(e^-)} \\ &\approx \frac{\sim 2000 - \sim 2000}{\sim 2000 + \sim 2000} \\ &\approx 0.02 \end{aligned}$$



NO CP violation w/o matter effect.

$|\delta| > 20^\circ$ (3 σ discovery)

次世代ニュートリノ陽子崩壊検出装置のR&D

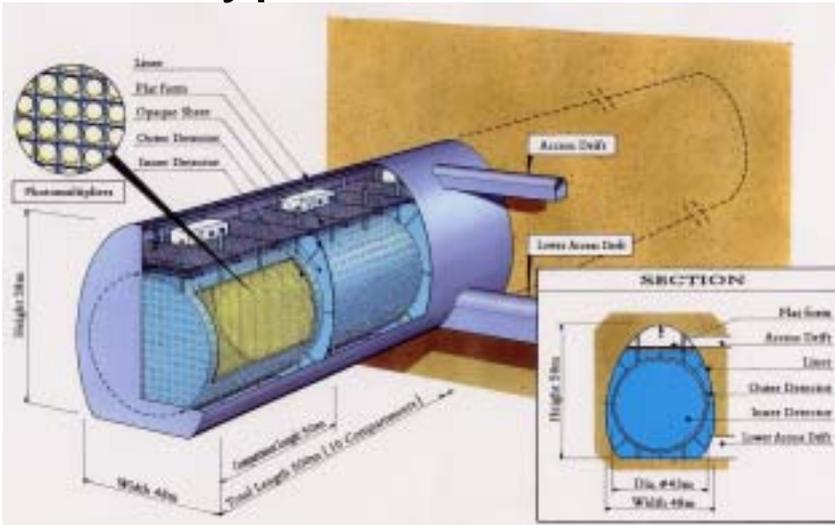


$\tau/B > 1.5 \times 10^{34}$ yr (0.5Mt(HK) 10年)
 0.4×10^{34} yr SK: 20年
 6.0×10^{34} yr 5 Mt 10年

$\tau/B > 1.0 \times 10^{35}$ yr (0.5Mt(HK) 10年)
 0.2×10^{35} yr SK: 20年
 4.0×10^{35} yr 5Mt 10年

Theorists` best bets (?) : $10^{35} \sim 10^{36}$ yr for $e\pi^0$
 $< 10^{35}$ yr for $\mu K, \nu K$

Hyper-Kamiokande



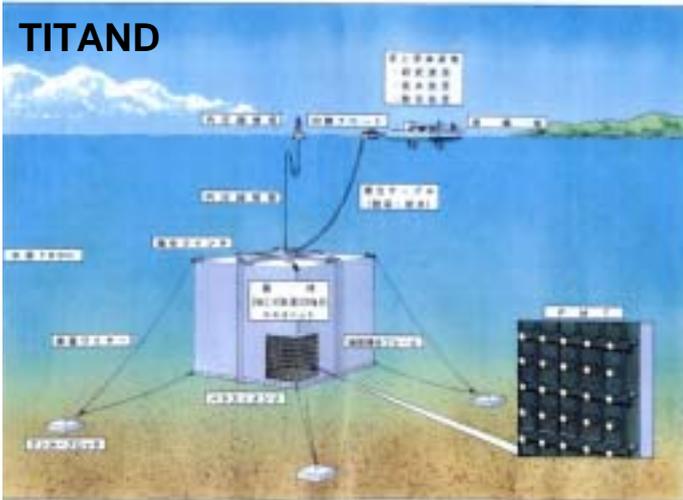
Total mass = 1 Mton
(48m × 50m × 500m)

Fiducial volume:

39m × 45m × 10_{sections}
= 0.54 Mton

Total number of PMTs:
~200,000 (2/m²)

TITAND

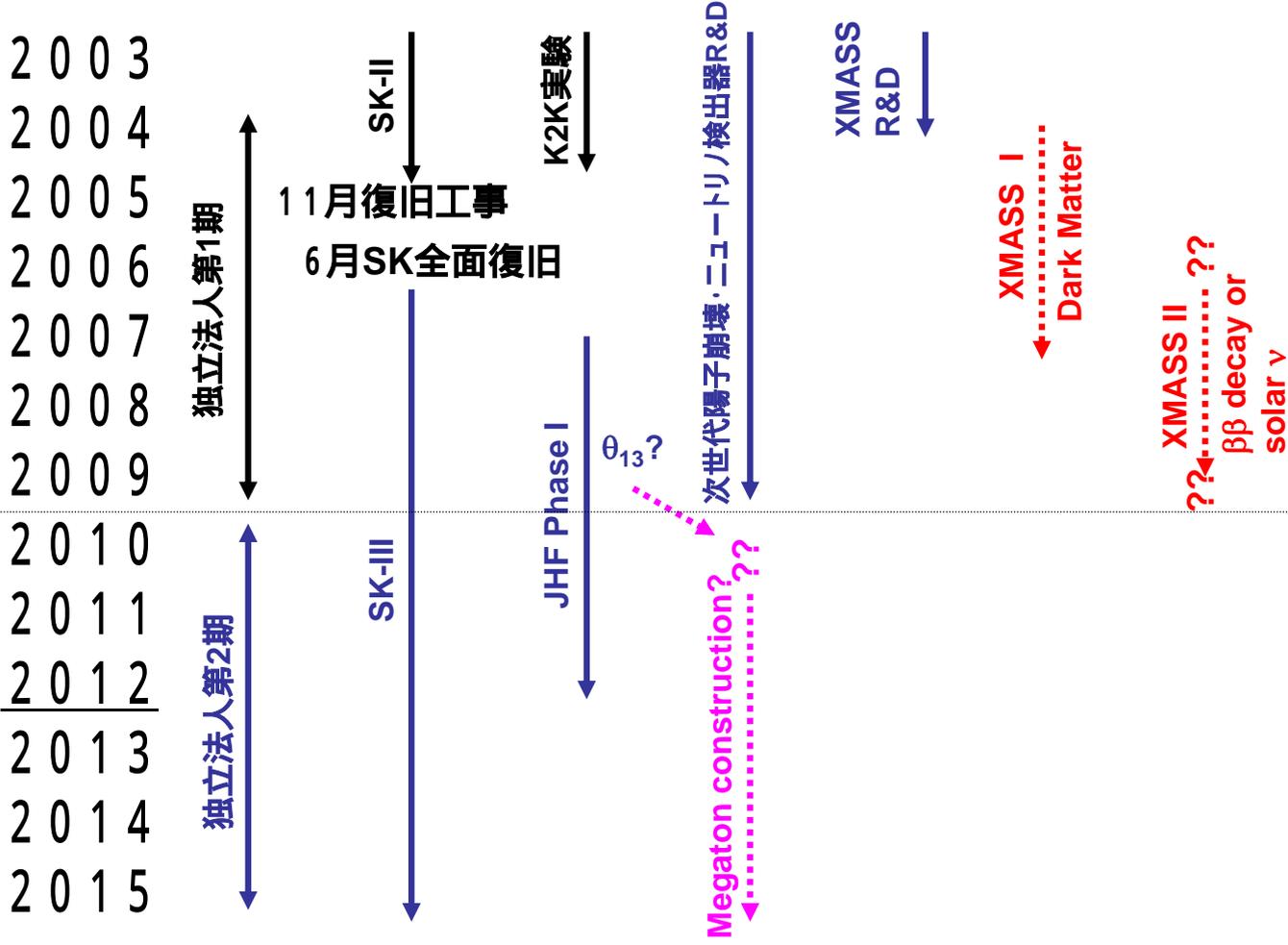


70m x 70m x 100m x 4 units = 2.0 Mton
(1.7 Mton fiducial : SK x 74)

add one more module
→ ~ 4 Mton

浮体式陽子崩壊実験装置イメージ図

年表



XMASS実験計画

最終目標

Step by Step approach

1ton クラスのDM検出器(中期整備計画)

現在までのR&D

- 1) back groundの評価
- 2) 感度の評価
- 3) 3kgでのテスト
- 4) low BG PMTの開発
- 5) Kr-free Xenonの開発
コラム、蒸留塔
- 6) Isotope Separation
- 7) Xenon Properties (n,,,))
- 6) 再構成プログラムの開発
- 8) 100kgテストチェンバーでのテスト

XMASS実験の特徴と将来への展開

究極の目標

XMASS

Xenon detector for Weakly Interacting **MASS**ive Particles (Dark Matter search)

Xenon neutrino **MASS** detector (double beta decay)

Xenon **MASS**ive detector for Solar neutrino ($pp/{}^7\text{Be}$)

10 tonの液体キセノン検出器により多目的な、
ニュートリノおよび宇宙素粒子の研究を行う。

暗黒物質の探索(発見を目指す)

$0\nu 2$ 重ベータ崩壊の探索(発見を目指す)

低エネルギー太陽(pp and ${}^7\text{Be}$)の測定

ニュートリノ振動パラメータの精密決定

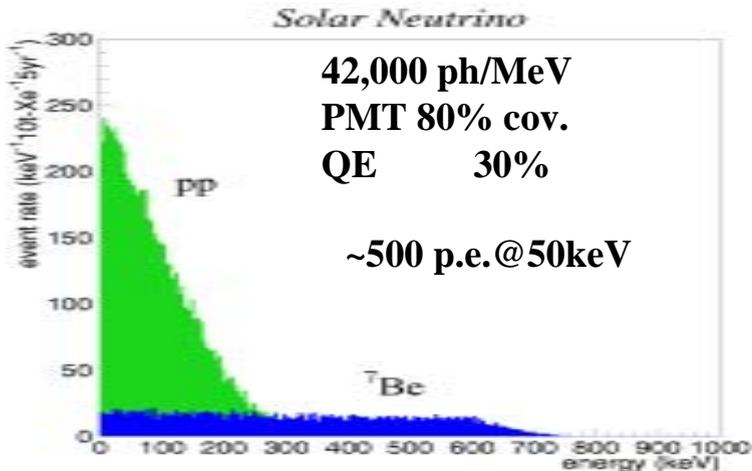
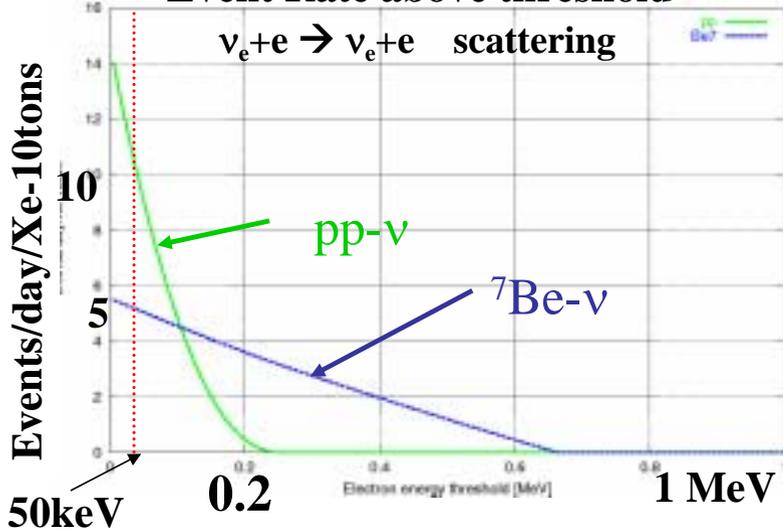
太陽ニュートリノの精密研究

XMASS collaboration

- ICRR, Kamioka observatory
Y. Suzuki, M. Nakahata, Y. Itow, M. Shiozawa, Y. Takeuchi, S. Moriyama, T. Namba, M. Miura, Y. Koshio, Y. Fukuda, Y. Ashie, A. Minamino, R. Nambu
- ICRR, RCNN
T. Kajita, K. Kaneyuki, A. Okada, M. Ishitsuka
- Saga Univ.
H. Ohsumi
- Niigata Univ.
K. Miyano, K. Tamura, K. Ito
- Tokai Univ.
K. Nishijima, Y. Nakajima
- Gifu Univ.
S. Tasaka
- Waseda Univ.
M. Yamashita, S. Suzuki, K. Kawasaki, J. Kikuchi, T. Doke,
- Yokohama National Univ.
S. Nakamura
- Seoul National Univ., Korea
Soo-Bong Kim, In-Seok Kang
- INR-Kiev, Ukraine
Y. Zdesenko, O. Ponkratenko,
- UCI, USA
H. Sobel, M. Smy, M. Vagins, S. Park

10トン測定器の理想感度

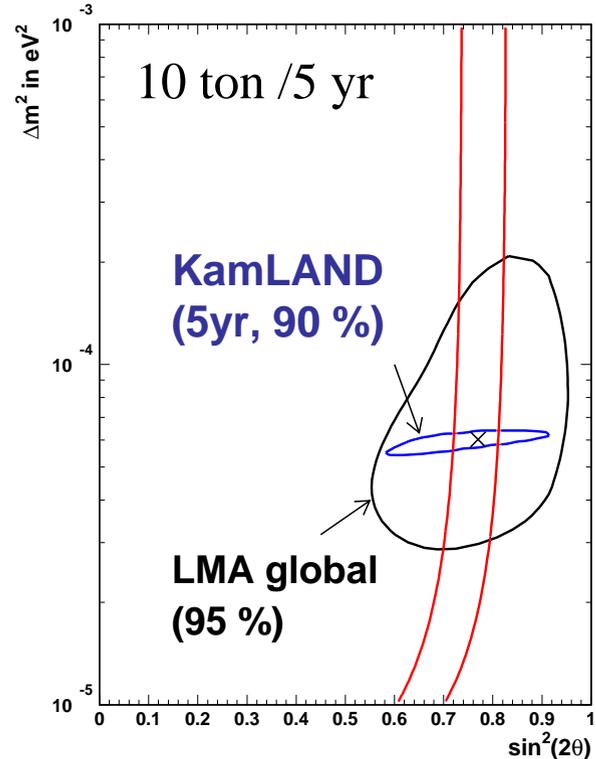
Event Rate above threshold



低エネルギー太陽ニュートリノの測定

10 pp and 5 ${}^7\text{Be}$ events/day/10ton
(> 50 keV) \leftrightarrow SK : 13 events/ day

S/N=1となるのは、U/Thが $\sim 10^{-16}$ g/g

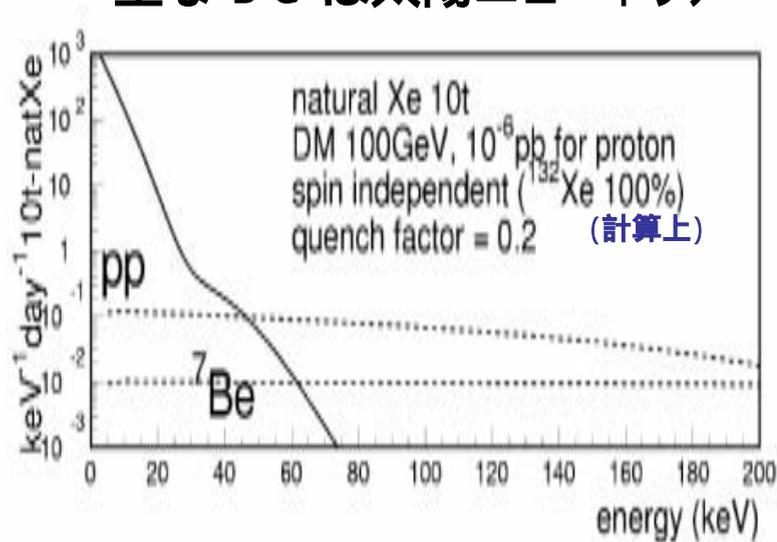


Accuracy of mixing angle :
 $\sin^2 2\theta = 0.77 \pm 0.03$ (stat.+SSM)

10トン測定器の理想感度

暗黒物質探索

太陽ニュートリノが測定できるまで BG が下がれば、
主な BG は太陽ニュートリノ



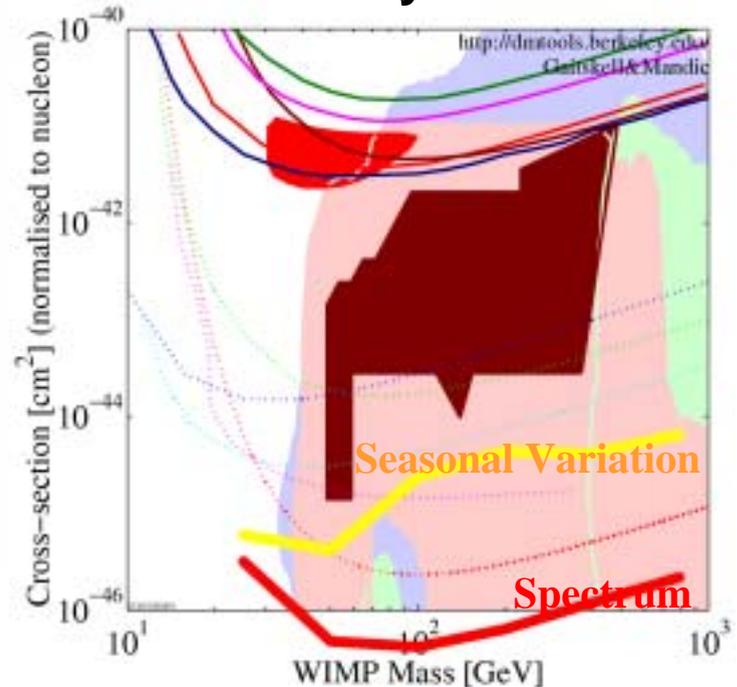
$$E_{\text{th}} = 5\text{keV}: 2000 \text{ events/day}$$

($E_{\text{th}} = 20\text{keV}: 30 \text{ events/day}$)



Large photosensitive area
粒子識別能力 (PSDあるいは2相検出器)

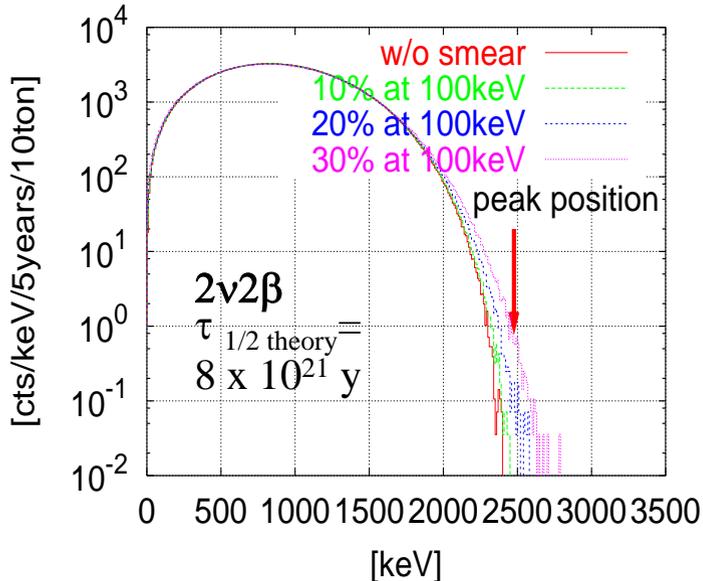
5 yrs



10トン測定器の理想感度

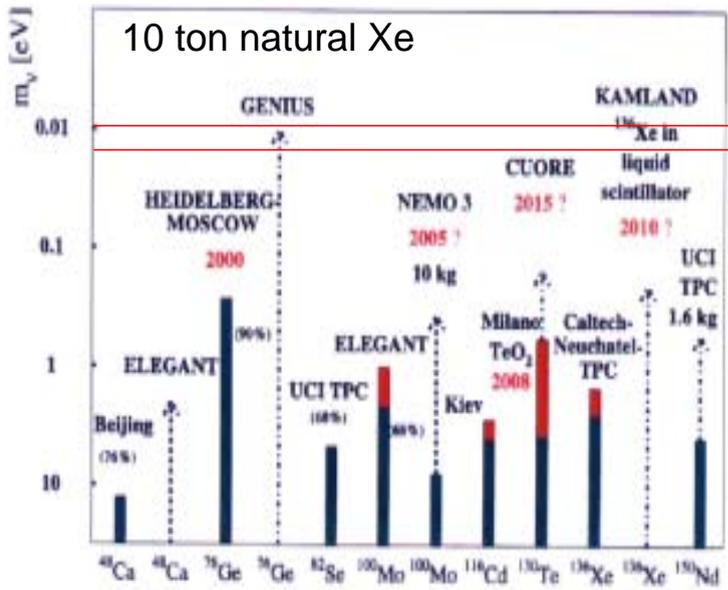
0ν2重ベータ崩壊探索

2νββからのBGのしみ込みを少なくするため、高いエネルギー分解能が必要



究極の分解能: 3 ~ 4% @100keV
100keVで10%よりも高ければ

Max.-Sensitivity (S/N=1, 5年)
 ~ 3.3x10²⁷yr
 <m_ν> ~ 0.01-0.02eV



S/N~1 となるためには、2.5MeV近辺でバックグラウンドのレベルが
 ~ 10⁻⁹ ev/keV/kg/day (dru)である必要
 SK@5 MeVと同等

自己遮蔽が有効でないので、
 BGの状況はDMや
 太陽ニュートリノ測定とは違う

Why LXe detector?

一般的性質

Large scintillation yield (~42000photons/MeV ~NaI(Tl))

Scintillation wavelength (175nm, direct read out by PMTs)

Higher operation temperature (~165K, LNe~27K, LHe~4K)

Compact ($\rho=3.06\text{g}$, 10t detector ~ 1.5m cubic)

Not so expensive

Well-known EW cross sections for neutrinos

**外部バックグラウンドは
Self shielding (large $Z=54$)で減衰させる。**

内部バックグラウンド

Purification (distillation, etc)

No long-life radio isotopes

Isotope separation is relatively easy

No ^{14}C contamination (can measure low energy)

実験の重要ポイント(Challenge)

γ (U/Th/K/
Co/Cs/...)

Self
shield

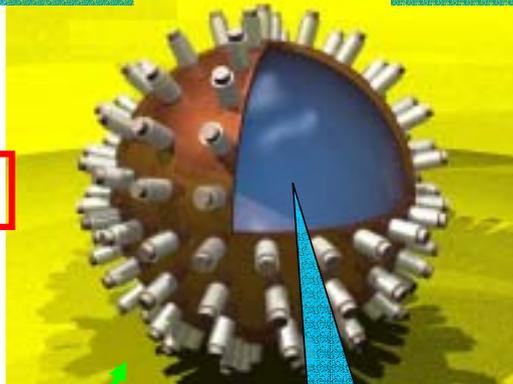
μ

No long
life RI

大光量が必要

Spallation BG
は少ない

外部BG:
自己遮蔽
水タンク



H₂O
shield

neutron

Distillation
etc.

α, β, γ rays from
⁸⁵Kr, ⁴²Ar, U/Th

**低内部バックグラウンド:
蒸留その他による方策**

戦略

自己遮蔽は、期待通りに働きそうである
(低エネルギーには有効であるが、高エネルギーには有効でない)

暗黒物質探索と太陽ニュートリノ観測は可能。

太陽ニュートリノの観測には10トン必要である。サイズが大きくなる。
光の散乱・吸収長の問題が出てくる？ → 散乱、吸収のR & Dが必要
2 $\nu\beta\beta$ のBGの評価が必要 → 同位体分離が必要か？

2重ベータ崩壊には、自己遮蔽が有効にきかないので、最大のバックグラウンド源であるPMTをキセノンの直近には使えない。2重ベータ崩壊探索にはまったく違ったアイデアが必要である。 → 後の議論

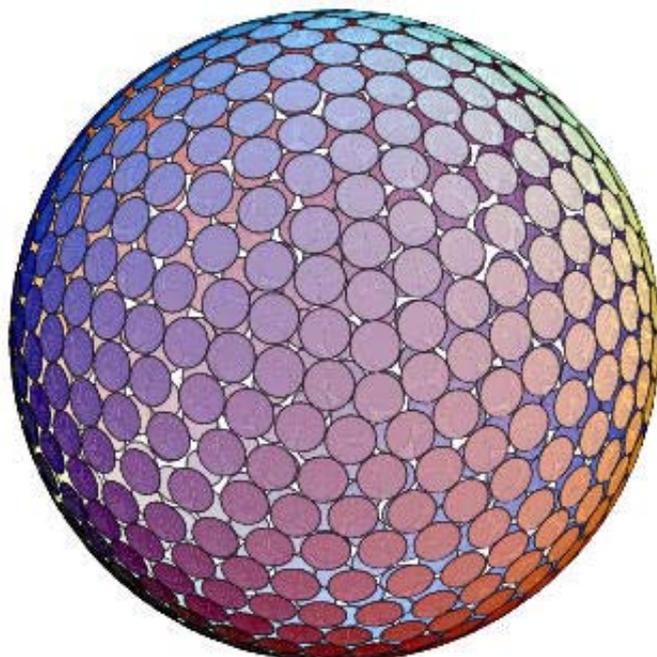
したがって、**Phase I** として、
1トン規模で**暗黒物質探索**を行う。

Phase II

2重ベータ崩壊探索検出器

10トン自己遮蔽型測定器 (暗黒物質、太陽ニュートリノ)

Phase I : 1トン(800kg)測定器とその物理 (中期整備計画)



80cm diameter

“Full” photo-sensitive
“Spherical” geometry

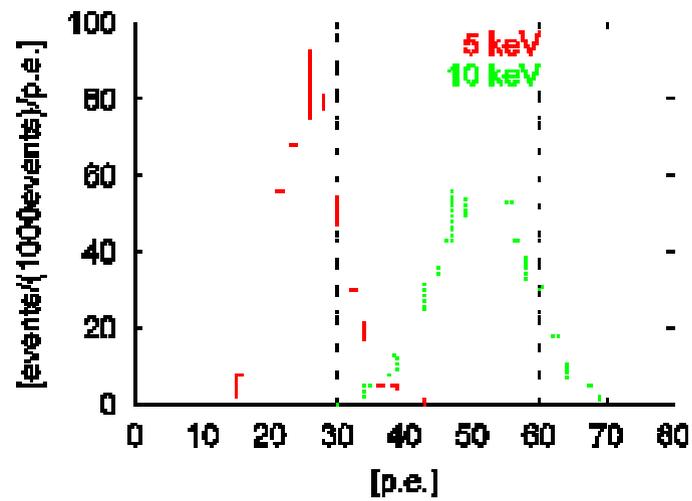
642-2” PMTs 76.8% photo-coverage
~5p.e./keV

r = 40 cm 800kg (total)
r = 30 cm (10cm self-s) 339kg
r = 20 cm (20cm self-s) 100kg

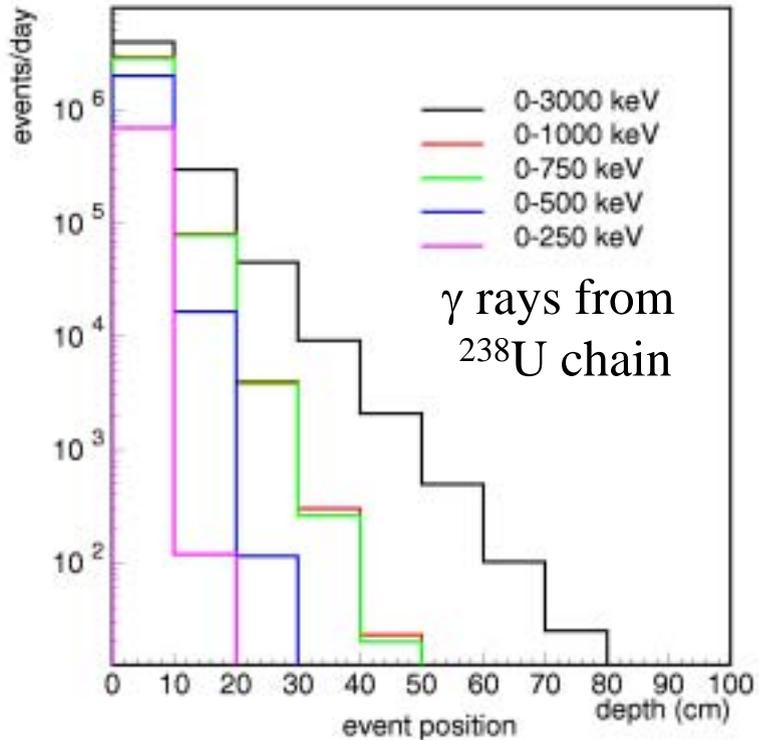
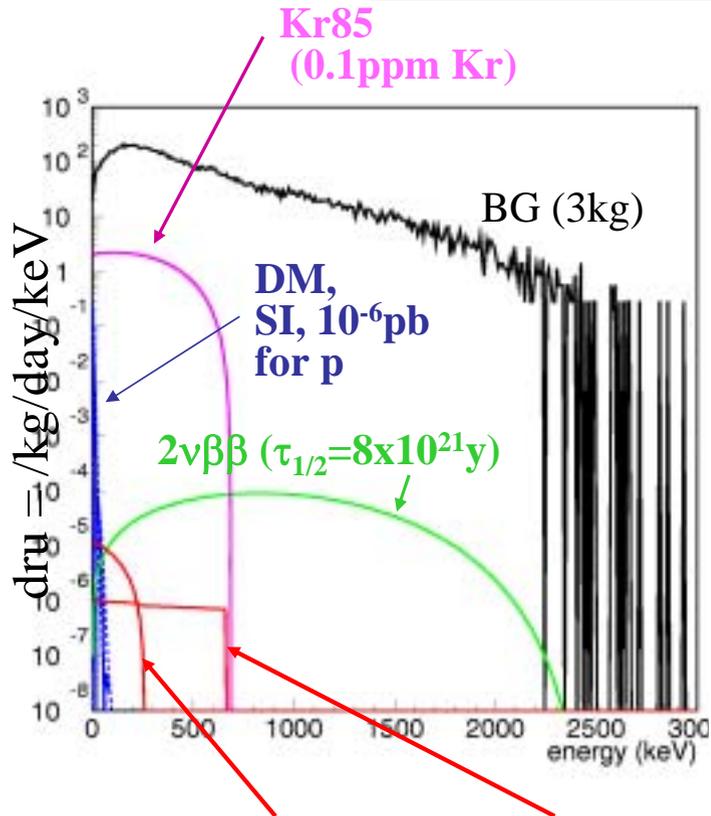
大光量 と 自己遮蔽



暗黒物資探索



External Backgrounds → 自己遮蔽



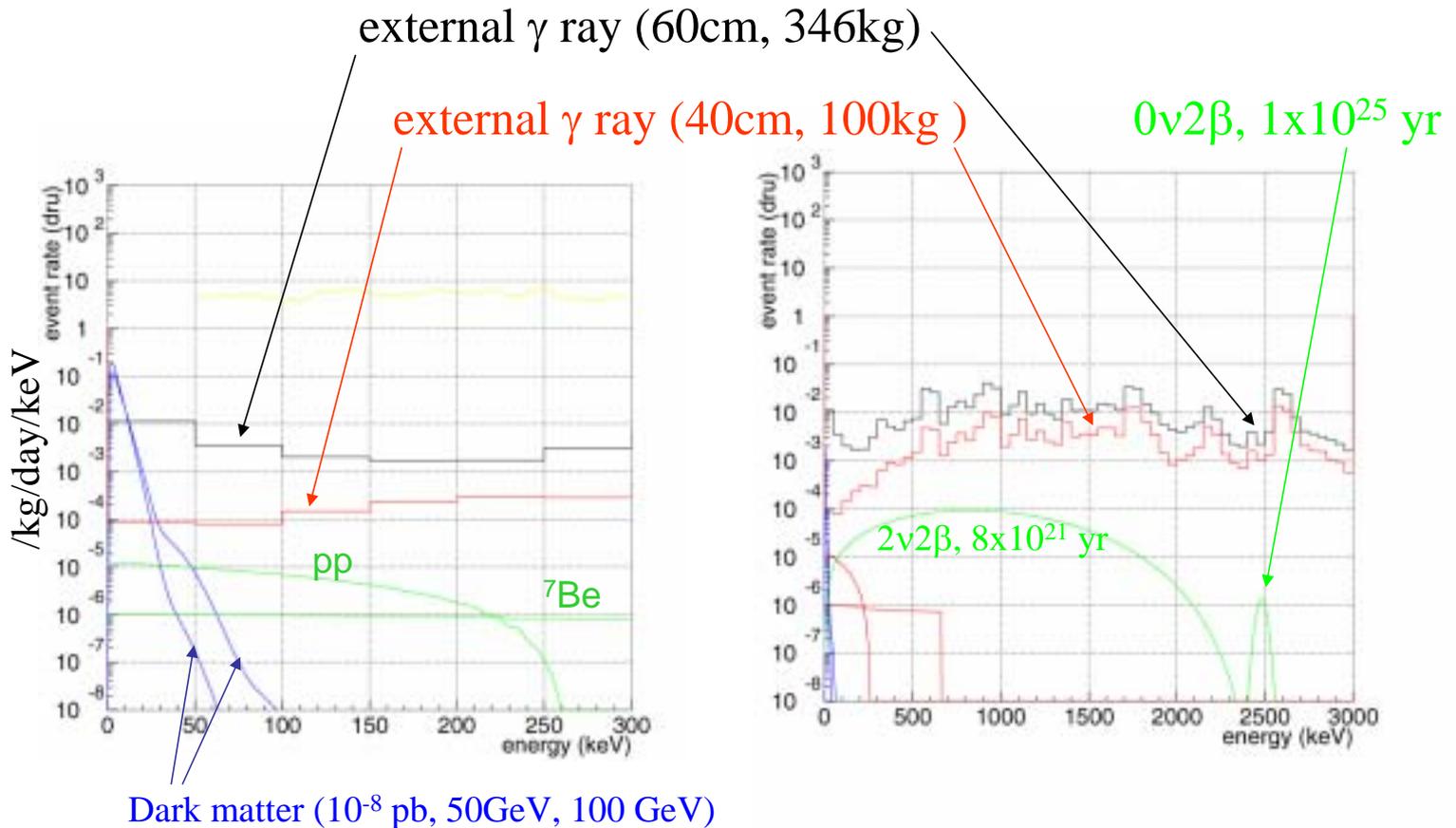
Solar pp-ν: ⁷Be: 5ev/day
10ev/day

+30 cm (or +20cm) self-shields
→ 4m water eq.
U/Th in shielding materials : < 10⁻¹¹~10⁻¹⁰g/g

Several orders of magnitude reduction can be expected for the energy smaller than 500keV
useful for Sol-ν and DM search!

External Backgrounds for the 800kg detector

- Dominant contribution is from PMT
- Assuming further 1/10 reduction of PMTs BG



External 中性子バックグラウンド

外部ガンマBGの1/4と要求すると

Non-thermal neutron

1/10,000

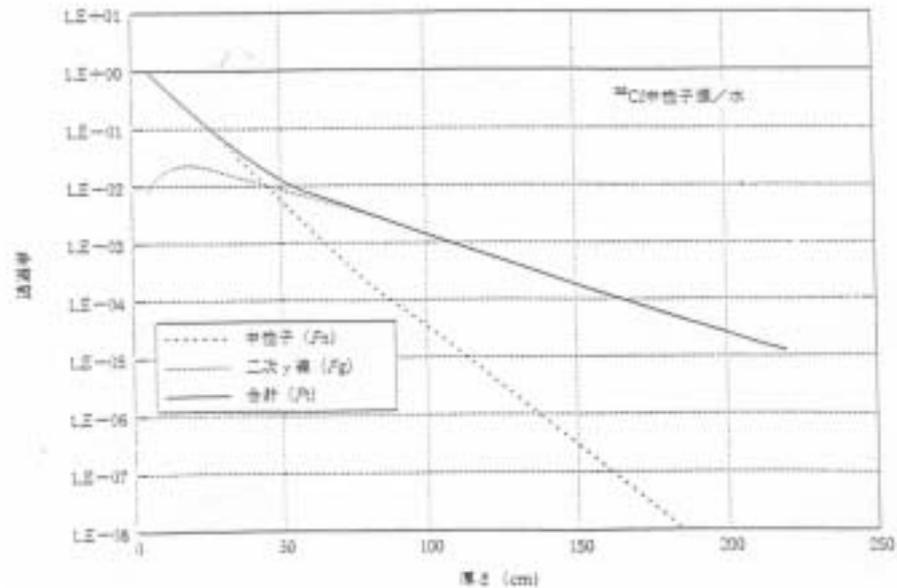
Thermal neutron

1/400

Kamiokaでシールド無しの場合

$$\Phi_{\text{fast}} = 2.0 \times 10^{-5} \text{ n/s/cm}^2$$

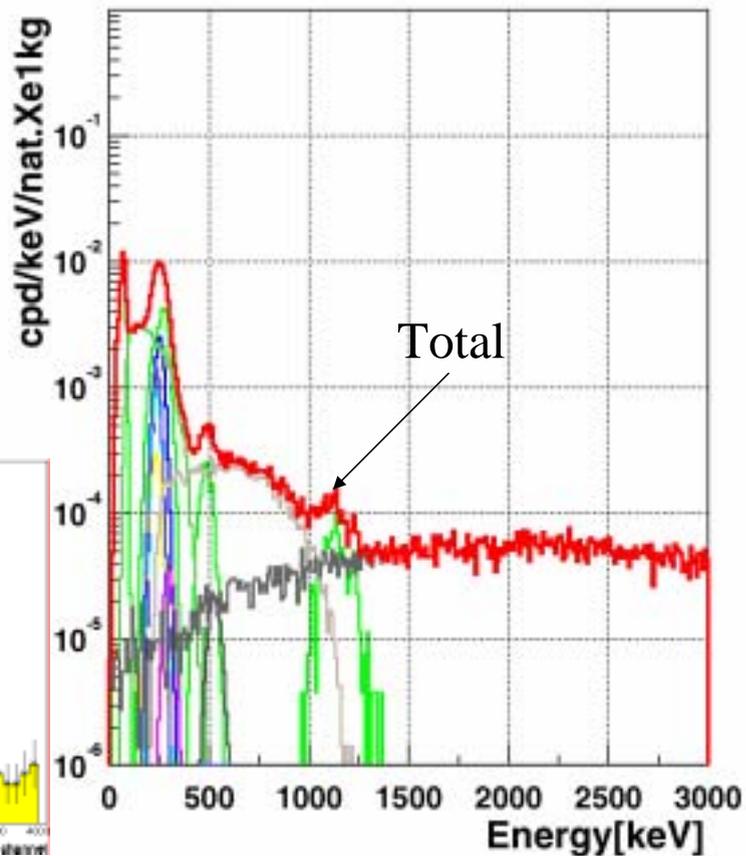
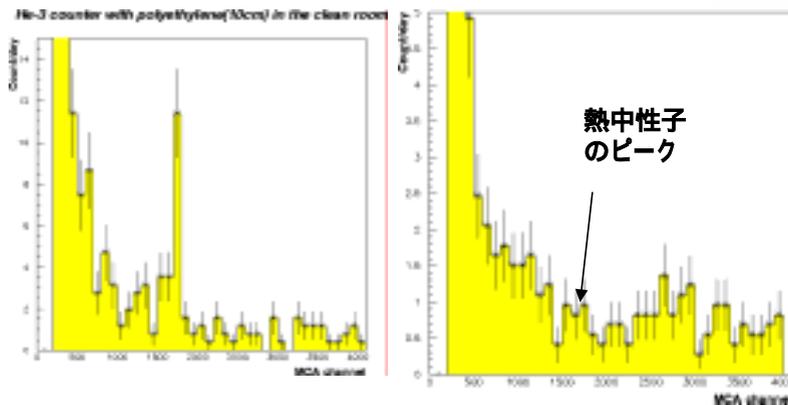
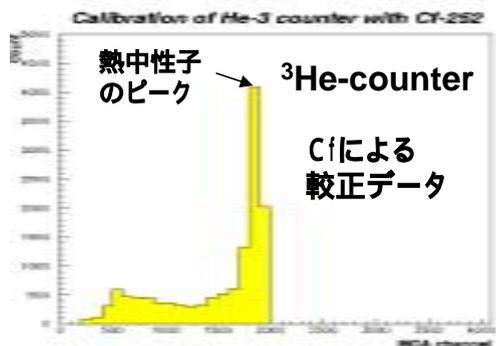
水の2mのシールドで
2次ガンマ線を含めて
10,000以下になる。



147Cs中性子源からの中性子及び二次γ線の実効線量透過率

熱中性子

神岡でシールド無しの場合
 8.5×10^{-6} n/s/cm²



5cmのほう酸で熱中性子は約1/1,000になった。

Internal BGの必要条件

外部BGが 8×10^{-5} /kg/keV/day (dru) なので、内部バックグラウンドとそれぞれ、 2×10^{-5} dru以下となることを条件とすると:

^{85}Kr	0.35 ppt (Kr)
^{40}K	12 ppt (K)
^{42}Ar	問題なし
^{39}Ar	10^{-7} Ar/Xe
^{222}Rn	$1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$
U	10^{-14} g/g
Th	2×10^{-14} g/g

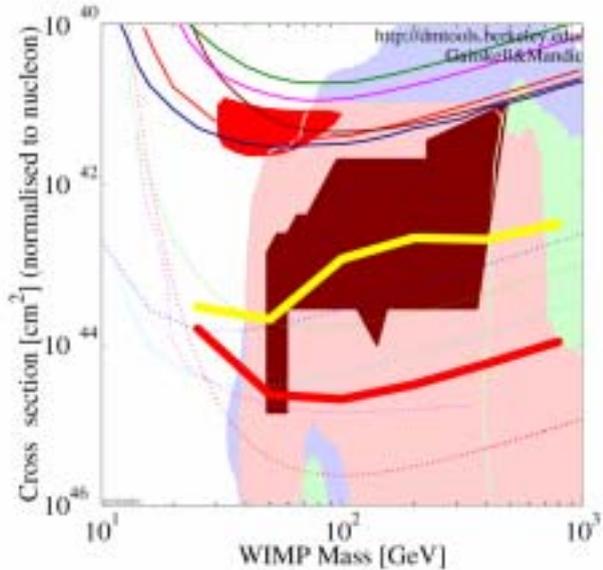
Cosmogenics

Xe: no long-life isotopes

longest: $\tau_{1/2} (^{127}\text{Xe}) = 36.4$ days

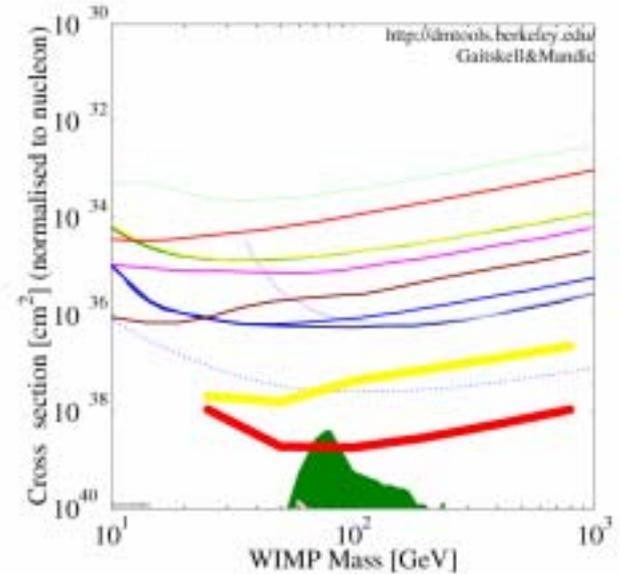
800kg検出器によるDM探索の感度

Spin Independent



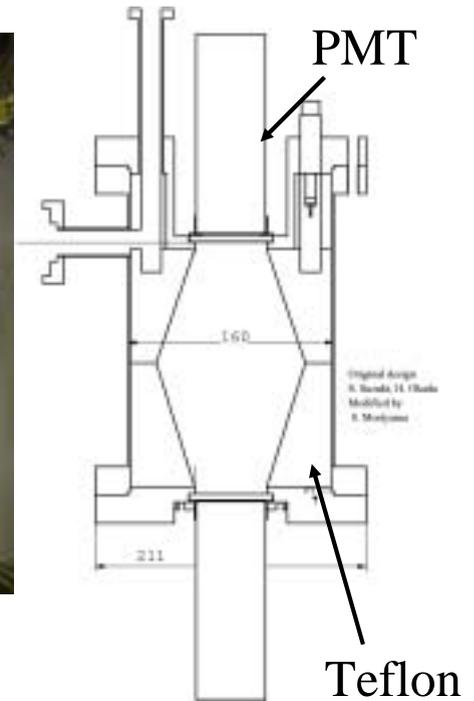
- DATA listed top to bottom on plot
- NALAD 2002 result
 - Heidelberg Moscow, 1998
 - Edelweiss, 4.5 kgdays Ge320g June 2001 limit
 - ZEPLIN 1, 2002 result
 - CDMS I+II, 2003 ver. sub. to PHL
 - DAMA 2000 59k kgdays NaI Ann Mod. 3sigma, w/o DAMA 1996 limit
 - Edelweiss 2 projection
 - CDMS, projected at Souleau mine
 - ZEPLIN 4 projection
 - Heidelberg, Geant4, projected
 - Hafler and Gondolo, spin indep. sigma in MSSM, with mass g2 constraint
 - XENON, 1 ton, projected
 - Gondolo et al. SUSY (Langmuirlike Models)
 - Gondolo et al. SUSY (Riggslike Models)
 - Gondolo et al. SUSY (Mixed Models)

Spin dependent



- DATA listed top to bottom on plot
- Edelweiss A1203
 - TOKYO, Spin Dependent Exclusion Limit, LIF 15m w.c.
 - Modane NaI
 - NaIcay
 - CHISTY spin dep. limit, 1.51 kg days, 262g saphtin
 - TEGANAT V NaI spin dep. exclusion limit (OTD COSMO Observatory)
 - UKDMC, NaI, from Na data
 - UKDMC, NaI, from I data
 - UKDMC, NaI, from combined Na and I data
 - NALAD spin dep. projected limit, 12 p.e./keV with 100 kgdays exposure
 - Ellis et al., Spin dep. sigma in CMSSM
 - Ellis et al., Spin dep. sigma in MSSM

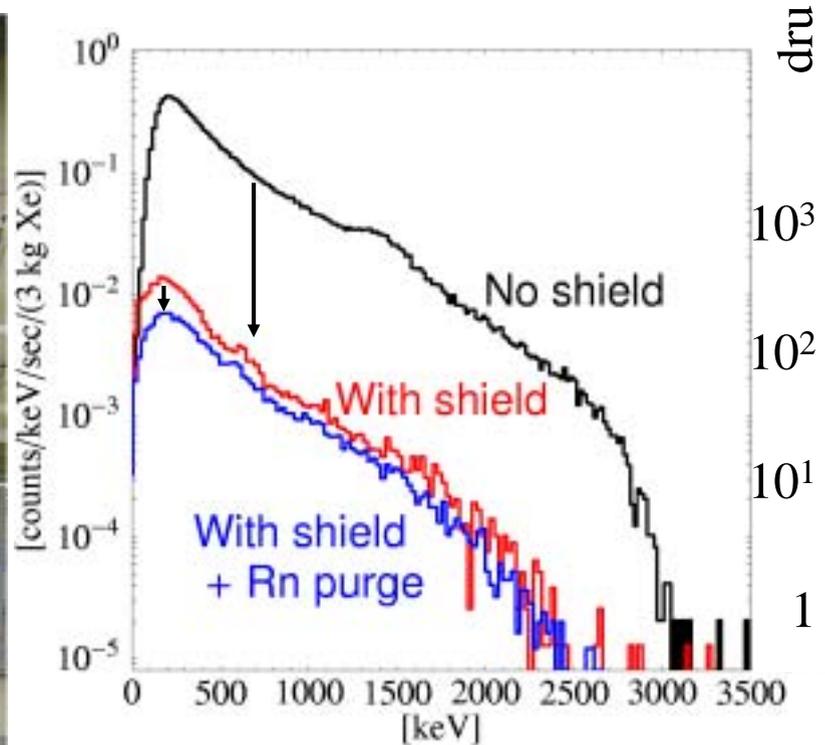
R/D using 3kg detector



- Class 1000 clean room in the Kamioka Mine
- OFHC LXe chamber
- Fundamental study of LXe

Background with shield

15cm Pb + 5cm OFHC, but no special care for the structure, etc.



Rn concentration in the mine
~O(kBq/m³)

ICP mass spectrometer/gas analyzer/HPGe to determine radioactive contamination



ICP mass



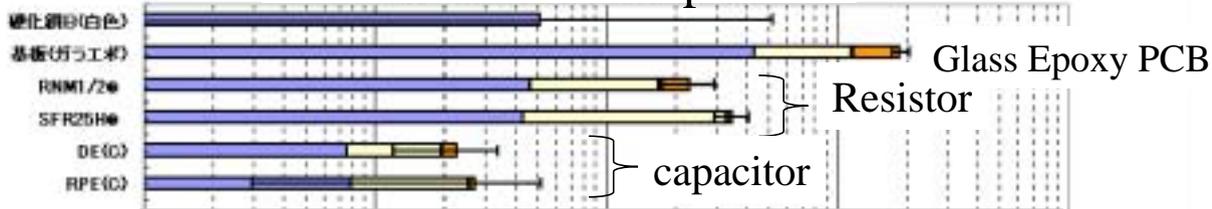
HPGe



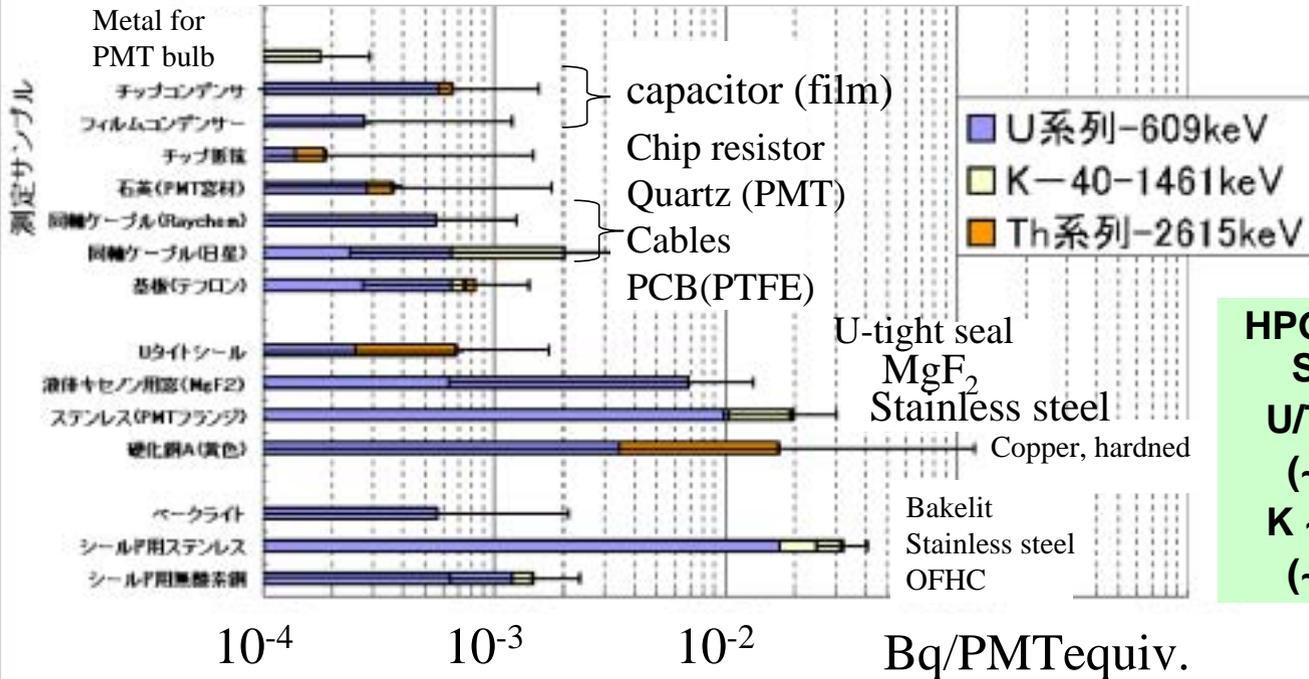
Gas analyzer

Development of low background PMT

Usual electronic parts



Parts used for the new PMT base, etc.



HGe Sensitivity
 U/Th ~10⁻³Bq (~ ppb)
 K ~10⁻²Bq (~ ppm)

New PMTs have been developed

Q.E. ~ 30% @ 175nm
Collection efficiency ~ 90%
Quartz window
Metal tube (low background)
Parts were selected using HPGe
Low BG PMT base
better than ~1/10

^{238}U	$1.8 \times 10^{-2} \text{Bq}$
^{232}Th	$6.9 \times 10^{-3} \text{Bq}$
^{40}K	$4.1 \times 10^{-2} \text{Bq}$
^{60}Co	$5.5 \times 10^{-3} \text{Bq}$

PMT base

U	$1.5 \pm 0.3 \times 10^{-3} \text{Bq}$
Th	$3.2 \pm 4.6 \times 10^{-4} \text{Bq}$
^{40}K	$1.7 \pm 2.9 \times 10^{-3} \text{Bq}$

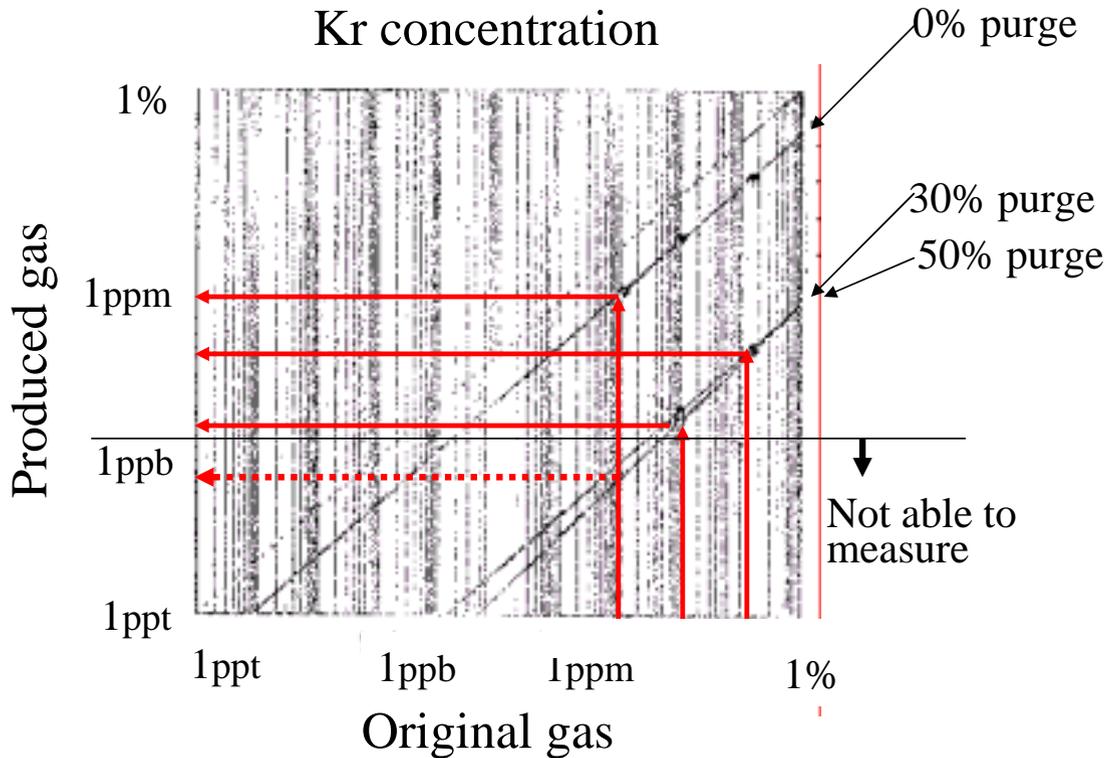


さらに、もう一桁のLow Background化を狙う

Kr-free Xenon

New development
Absorption column

Measured contamination : Kr < 5 ppb
by one process!
($O(10^{-3})$ Kr reduction)



We already have 6 kg of Kr-free Xenon.

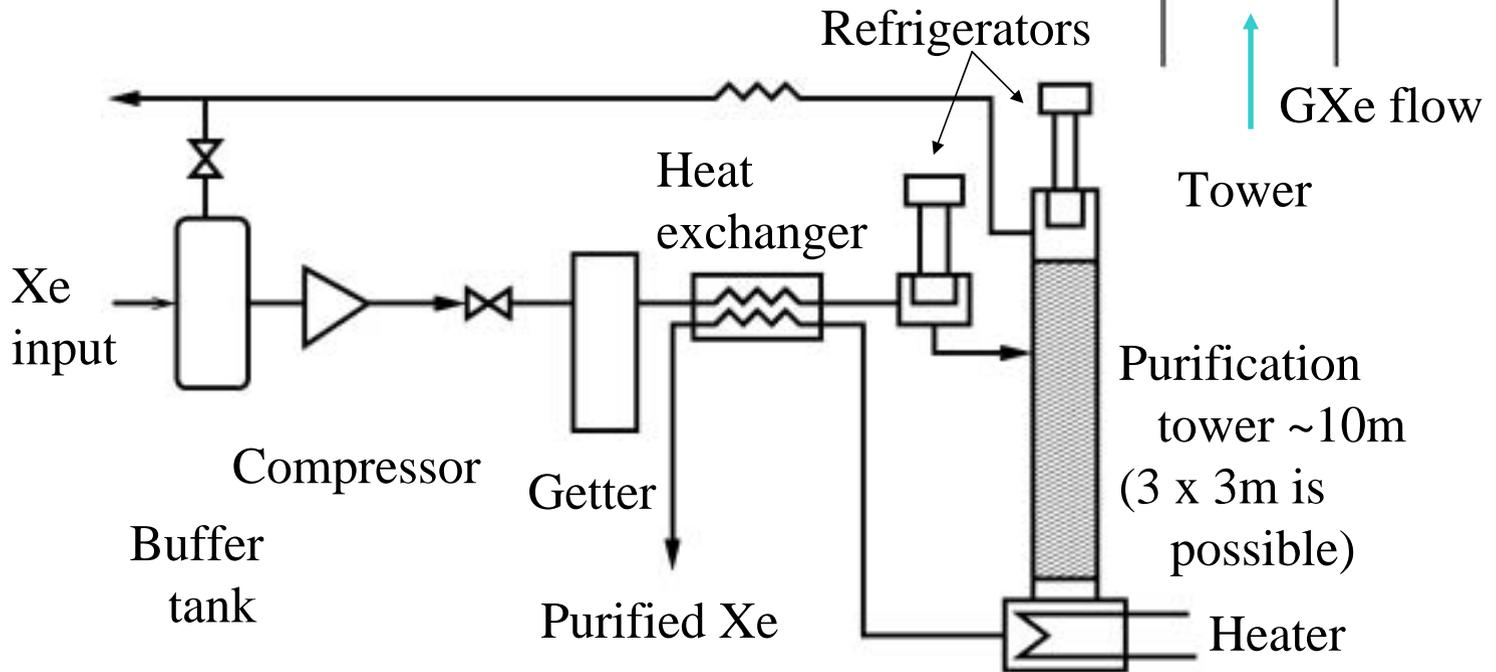
Purification

R/D of purification system

Simple distillation system for Kr

Theoretically, it reaches 1ppq (10^{-15}).

Process power: 3kg/hr



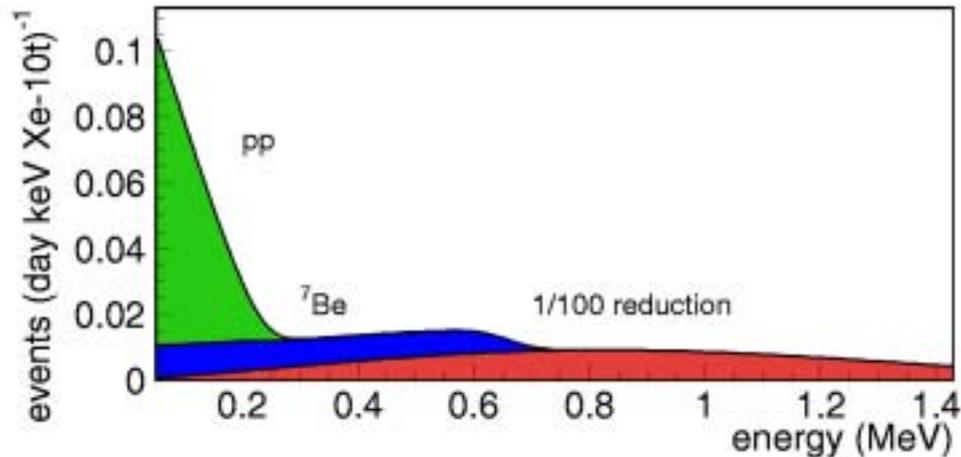
Isotope separation

$2\nu\beta\beta$ background for the solar neutrino measurement

$Q=2.476 \pm 8 \text{ MeV}$

$\sim 1000 \text{ events/day}$ for $8 \times 10^{21} \text{ yr}$.

(exp. $> 1.2 \times 10^{21} \text{ yr}$)



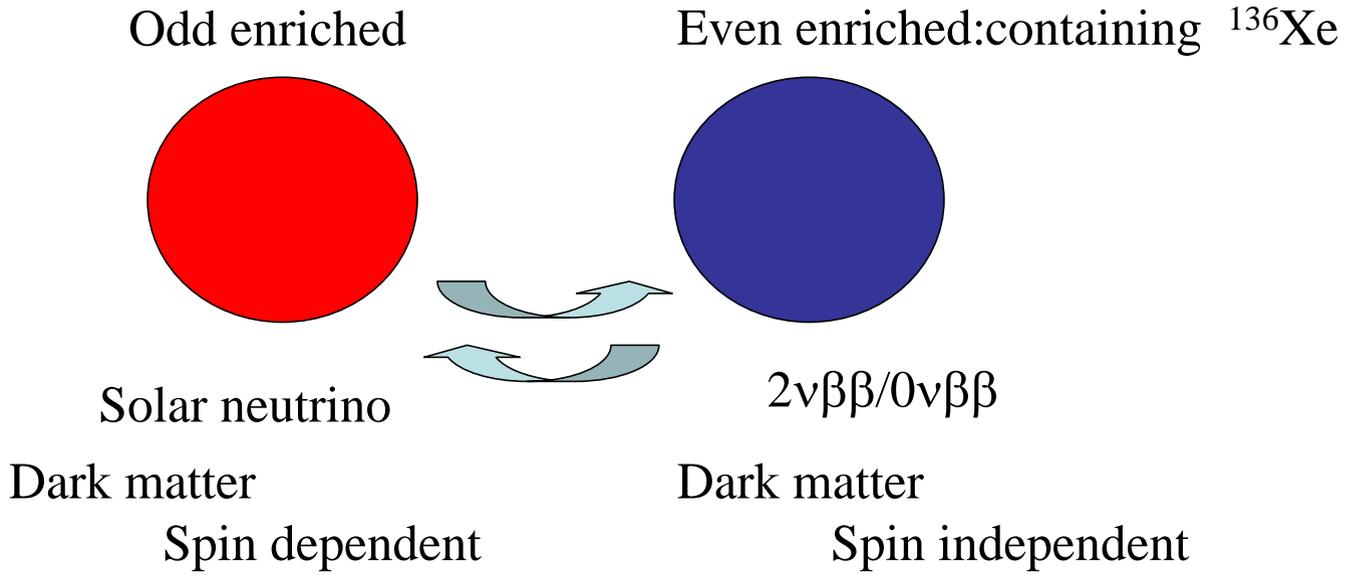
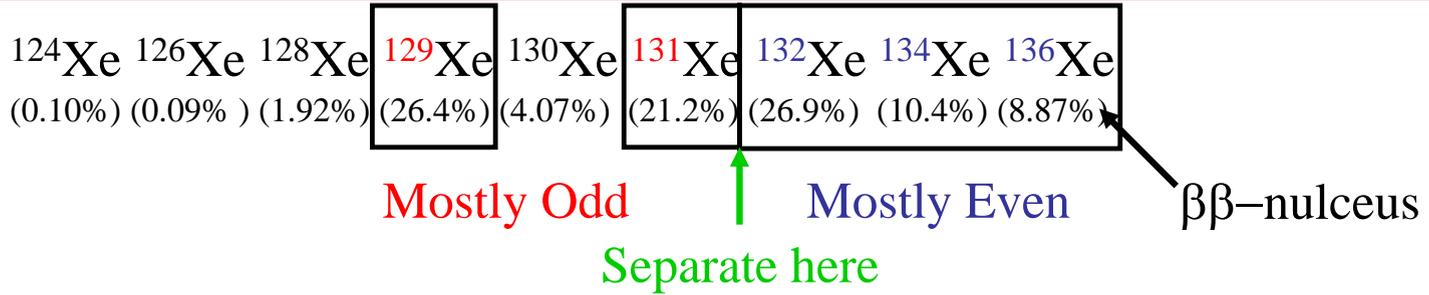
If $\tau_{1/2} < (10\sim 100) \times (8 \times 10^{21} \text{ y})$

→ Need Isotope Separation

**For the solar neutrino measurement,
need $2\nu\beta\beta$ life time measurement ahead of the time**

Isotope separation

Isotope分離は、太陽ニュートリノのバックグラウンド問題に対する対策だけでなく、暗黒物質探索の偶奇核別の測定、 ^{136}Xe の濃縮など、将来のXmass実験に対して有効である。



Isotope separation

10kg づつの同位体分離したXenonを入手した。

	124	126	128	129	130	131	132	134	136
Natural	0.096	0.089	1.919	26.4	4.07	21.18	26.89	10.44	8.87
136enriched(Even)								15.3	84.7
136depleted(Odd)			14.2	84.6	1.8				< 0.1

Xenon properties (屈折率)

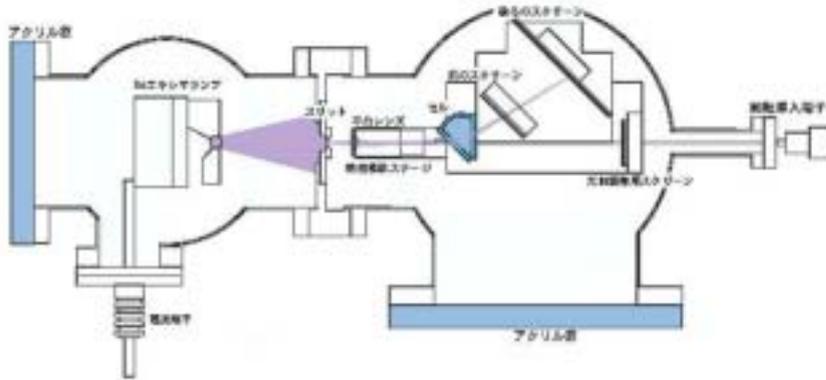


図4: 実験装置を上から見た図



横浜国大: 中村正吾氏らの測定

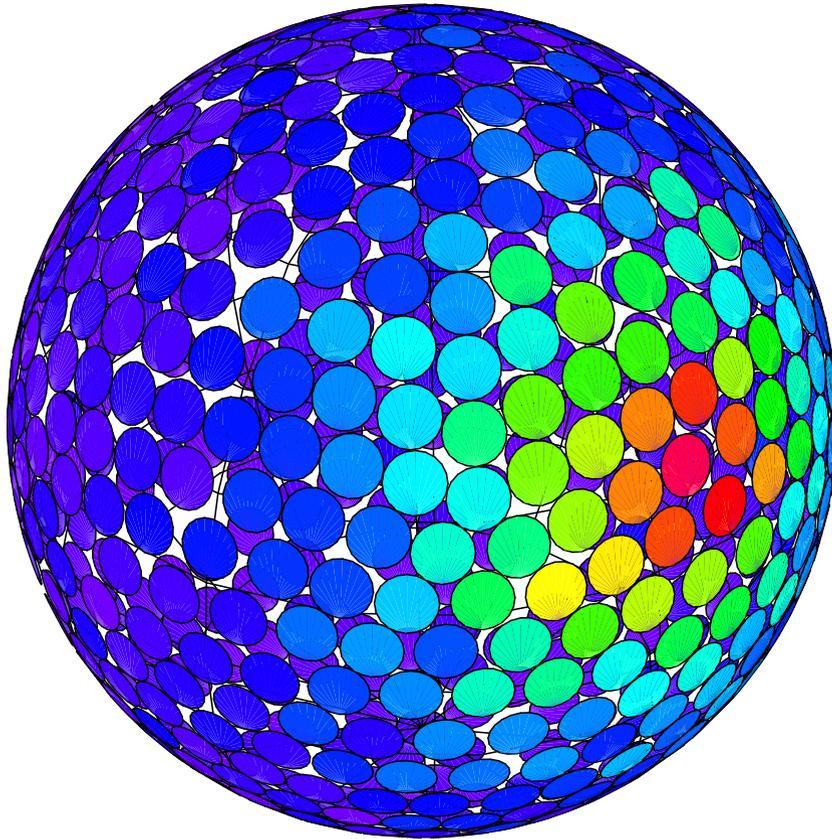
(Preliminary Result)

$$1.60^{**} \pm 0.00^{**}$$

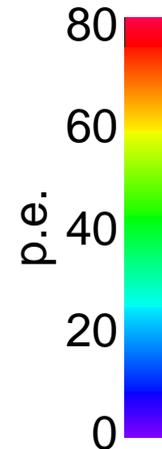
今までの測定

$$1.55 \sim 1.75$$

MC event example



- 1 MeV
- $(x,y,z)=(20,-10,10)$
- 5452 p.e.



Vertex/energy reconstruction (MC simulation)

→ Make PMT hitmaps

Make $F(x, y, z; i)$: acceptance of scintillation light for the i -th PMT for the vertex position of (x, y, z) .

GEANT based simulation gives $F(x, y, z, i)$

→ Maximize the likelihood

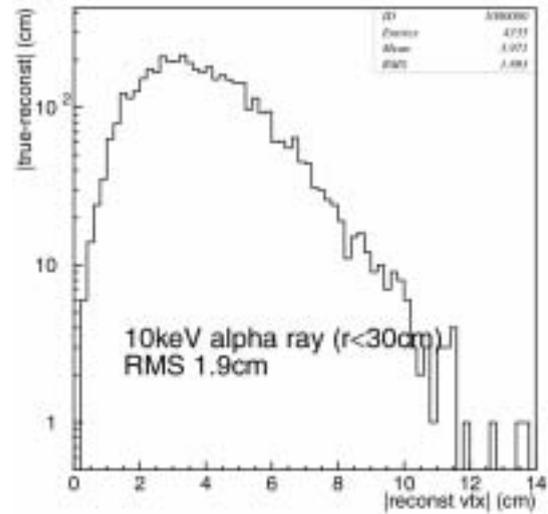
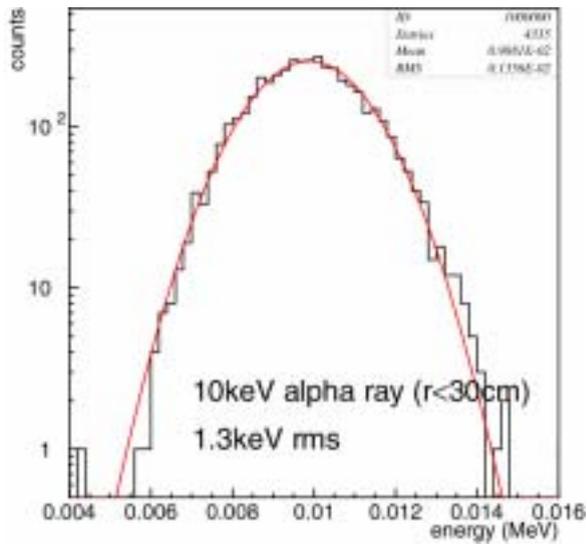
$$\text{Log}(L) = \sum_{PMT} \text{Log}\left(\frac{\exp(-\mu) \mu^n}{n!}\right)$$

L: likelihood

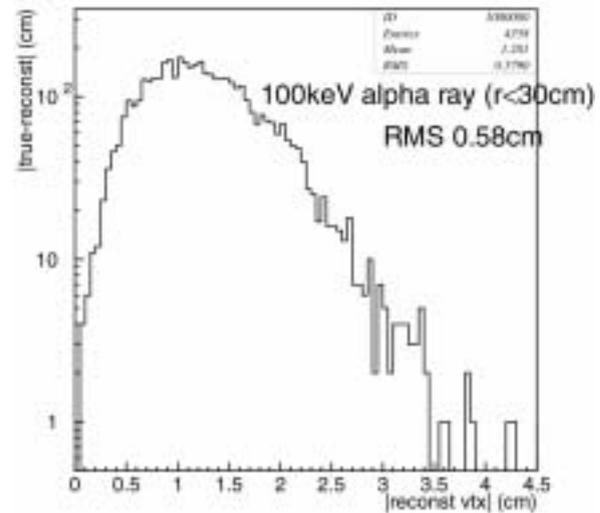
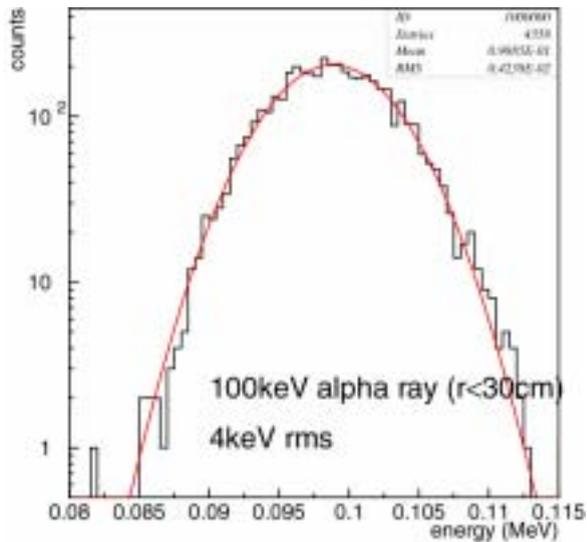
μ : $F(x, y, z, i) \times$ (total p.e./total acceptance)

n: observed number of p.e. for the i -th PMT

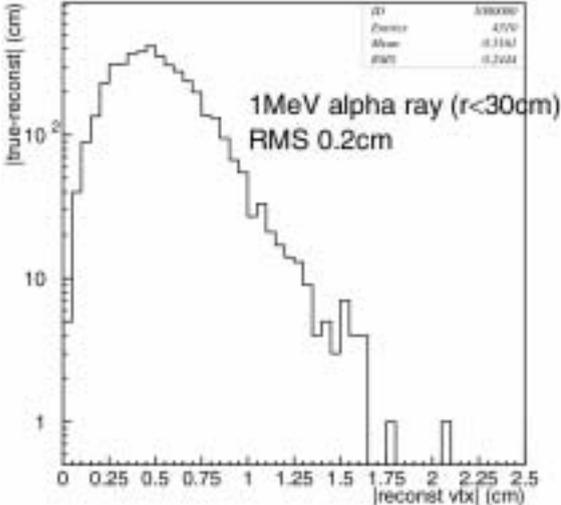
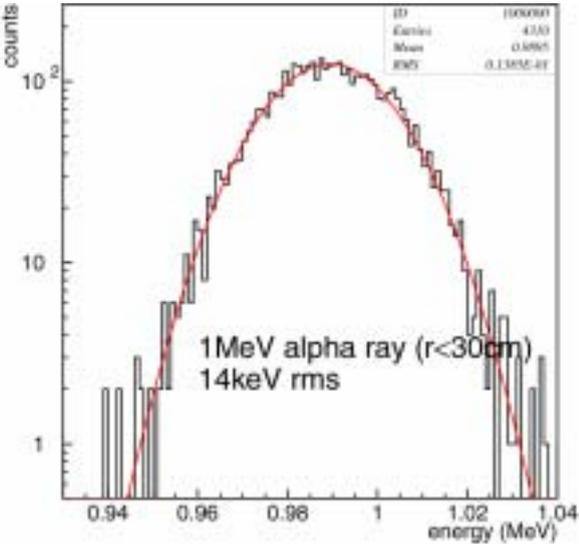
Reconstruction of the events (10keV)



Reconstruction of the events (100keV)



Reconstruction of the events (1MeV)



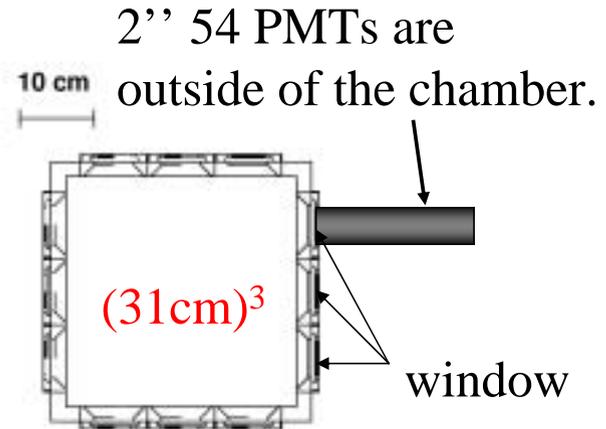
100kg 測定器

Motivation: **confirm the ideas**

**Evaluation of the External
background with new Low
BG PMTs**

**Demonstration of self shield
Study neutron BG study
Internal BG study and R/D of
purification system**

Detailed MC study:
event reconstruction



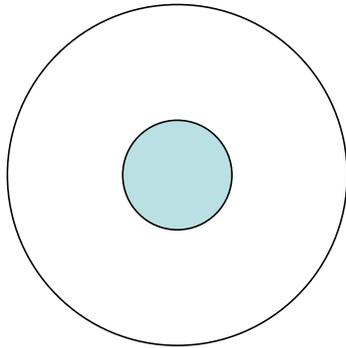
XMASS実験の特徴と将来への展望

$0\nu\beta\beta$ 専用測定器

1トンから10トンへ

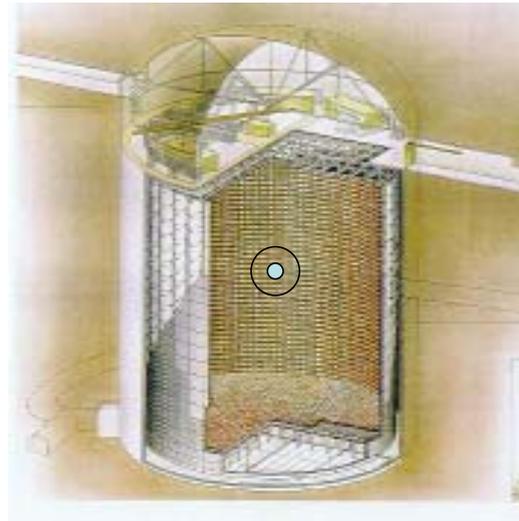
暗黒物質と太陽ニュートリノ

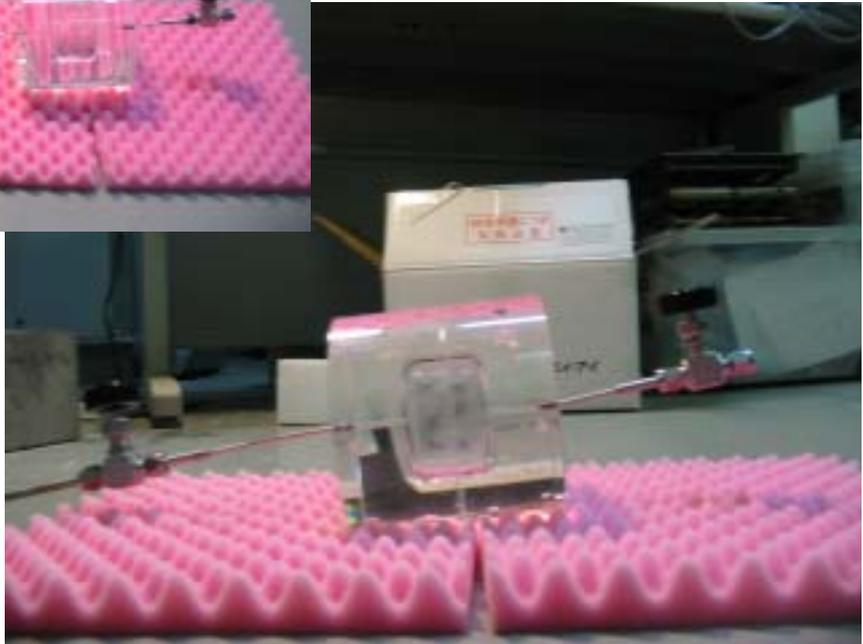
$0\nu\beta\beta$ – dedicated detector



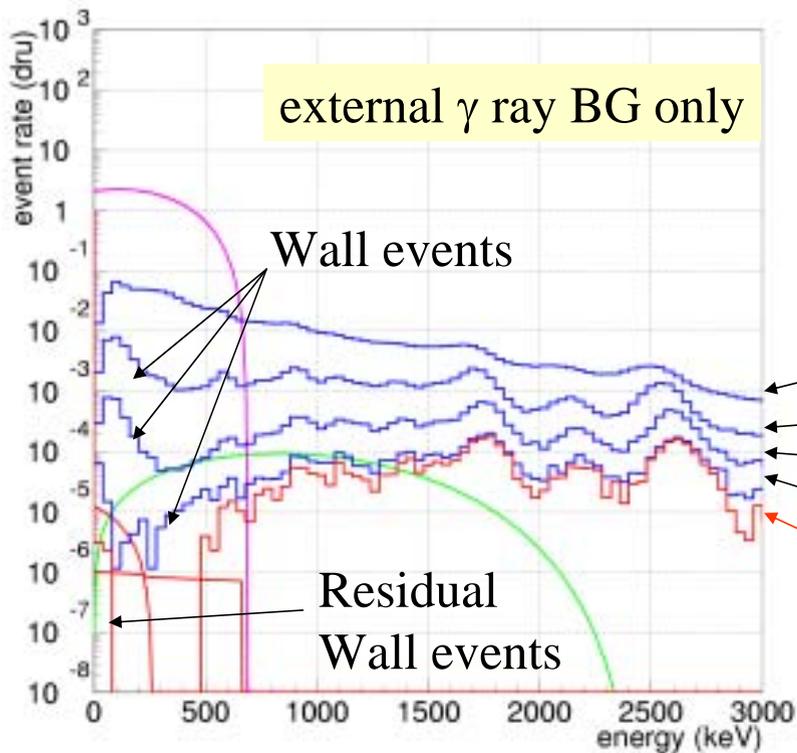
常温の液体キセノンを厚いアクリル容器に
封じ込める。容器の内壁にwave length shifter

アクリルは高圧ガスに使えない
100cc(300g)までならOK
10kg → 30個作る





Future 10t class detector (古いsimulation)



立方体、PMT外付けのため
壁効果がある。

球形、PMT中付けにすれば解決する
また、PMTのカバーを最大限にする。

Total volume

10cm wall cut

20cm wall cut

30cm wall cut (FV 2.2t)

30cm wall cut

壁効果をなくしたとき

0-500keV region is clean

暗黒物質探索 → 理想感度に近い探索が可能
太陽ニュートリノの測定が可能となる。

Internal Backgrounds

Cosmogenics

Xe: no long-life isotopes

longest: $\tau_{1/2}({}^{127}\text{Xe})=36.4$ days

${}^{85}\text{Kr}$ ($\tau_{1/2}=10.7\text{y}$): ${}^{85}\text{Kr}/\text{Kr}\sim 2\times 10^{-11}$

1Bq/m³ in air

10Hz ${}^{85}\text{Kr}$ decays in 1 l liq-Xe (if 10 ppm contamination)

need $< 4\times 10^{-15}\text{g/g}$ for Kr/Xe (for $< 1\text{decay/day}$ for 10tons)

${}^{42}\text{Ar}$ ($\tau_{1/2}=33\text{y}$): ${}^{42}\text{Ar}/\text{Ar}=7\times 10^{-15}$ (3×10^{-21} という論文もある。)

1Bq/m³ in air

need $< 2\times 10^{-11}\text{g/g}$ for Ar/Xe (for $< 1\text{decay/day}$ for 10tons)

${}^{39}\text{Ar}$ ($\tau_{1/2}=269\text{y}$):

2mBq/ 1l liq-Ar

need $< 1\times 10^{-9}\text{g/g}$ for Ar/Xe (for $< 1\text{decay/day}$ for 10tons)

U/Th

should be $< 10^{-16}\text{g/g}$ (for $< 1\text{BG/day}$)

Spallation backgrounds

250 μ /day at Kamioka site

assume: most cross sections \rightarrow (Z, A-1), (Z, A-2)

^{136}Xe (8.87 %) \rightarrow ^{135}Xe : 9.1h $Q_{\beta}=1.16\text{MeV}$

^{134}Xe (10.44%) \rightarrow ^{133}Xe : 5.3d $Q_{\beta}=0.43\text{MeV}$

^{128}Xe (1.919%) \rightarrow ^{127}Xe : small abundance

^{126}Xe (0.089%) \rightarrow ^{125}Xe : small abundance

^{124}Xe (0.096%) \rightarrow ^{123}Xe : small abundance

^{129}Xe (26.4 %) \rightarrow ^{127}Xe : EC (664keV)

^{133}Xe : β/γ (81keV: 6ns) coincidence?

^{135}Xe : 96% β/γ (249keV) > pp- ν

assuming 10 mb on ^{136}Xe and ^{134}Xe

\rightarrow 2 events /day x ??

Other short-lived \leftarrow correlation with muons

Long-lived \leftarrow circulation and removal

If the spallation is problem, then go deeper!!

*******End*******