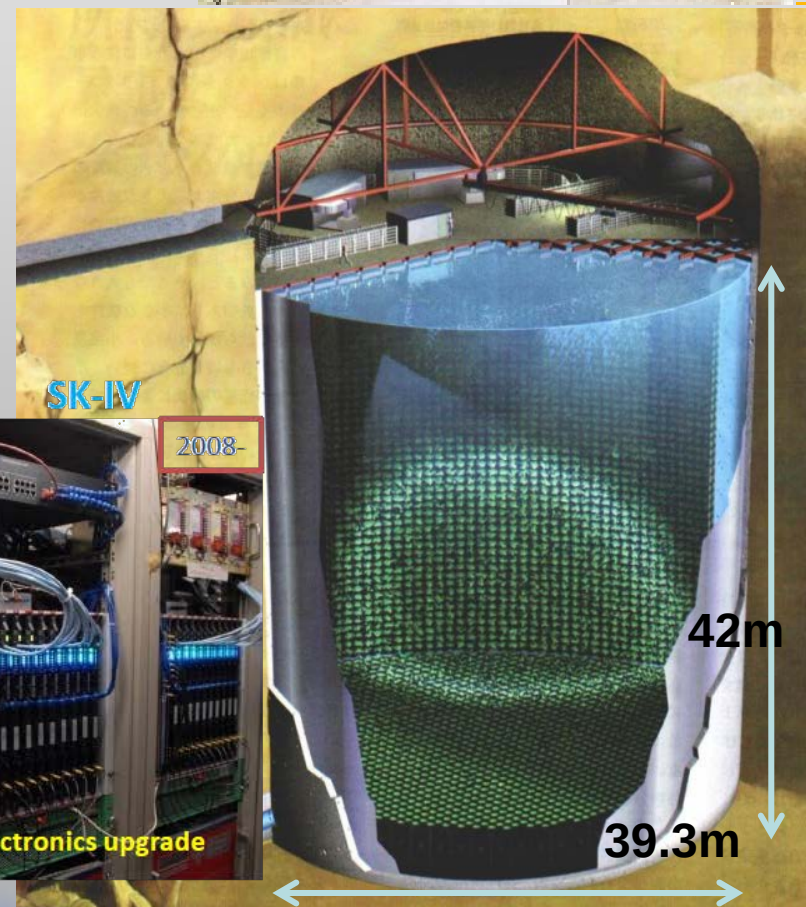
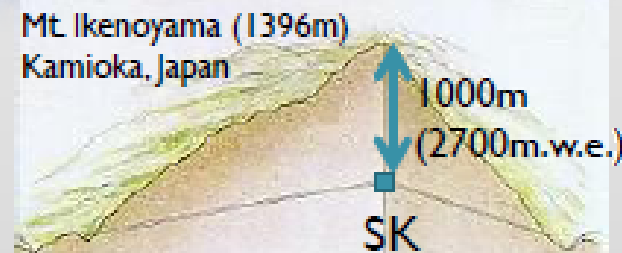


March 11th 2011



Super-Kamiokande Detector

- 50kt水チェレンコフ検出器
 - 内水槽 32kt, FV 22.5kt
- SK-IV: 2008年10月より
 - 20" PMTs x 11129 for ID
 - 8" PMTs x 1885 for OD
 - New electronics
 - software trigger (dead time free)



SK-I



SK-II



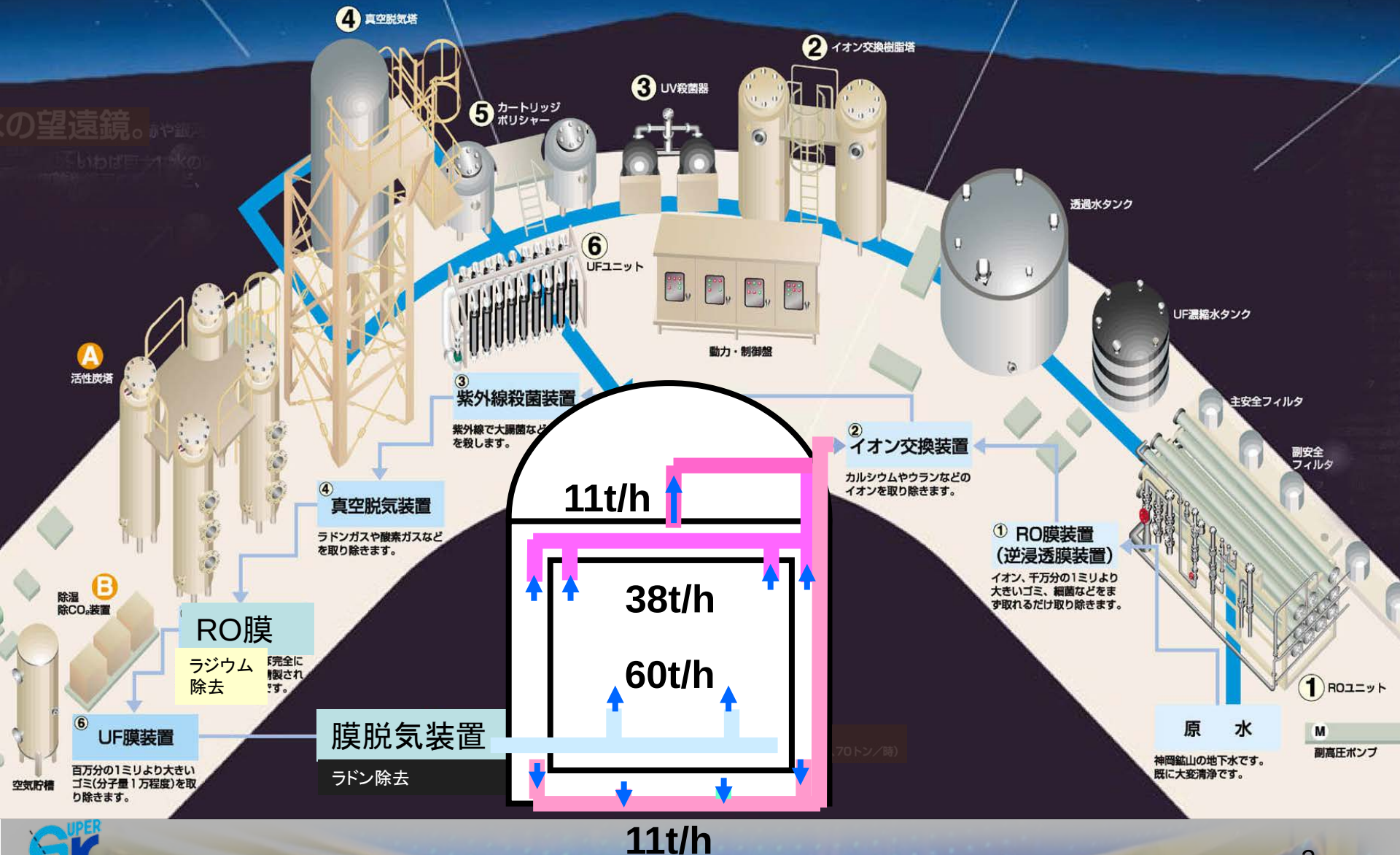
SK-III



SK-IV

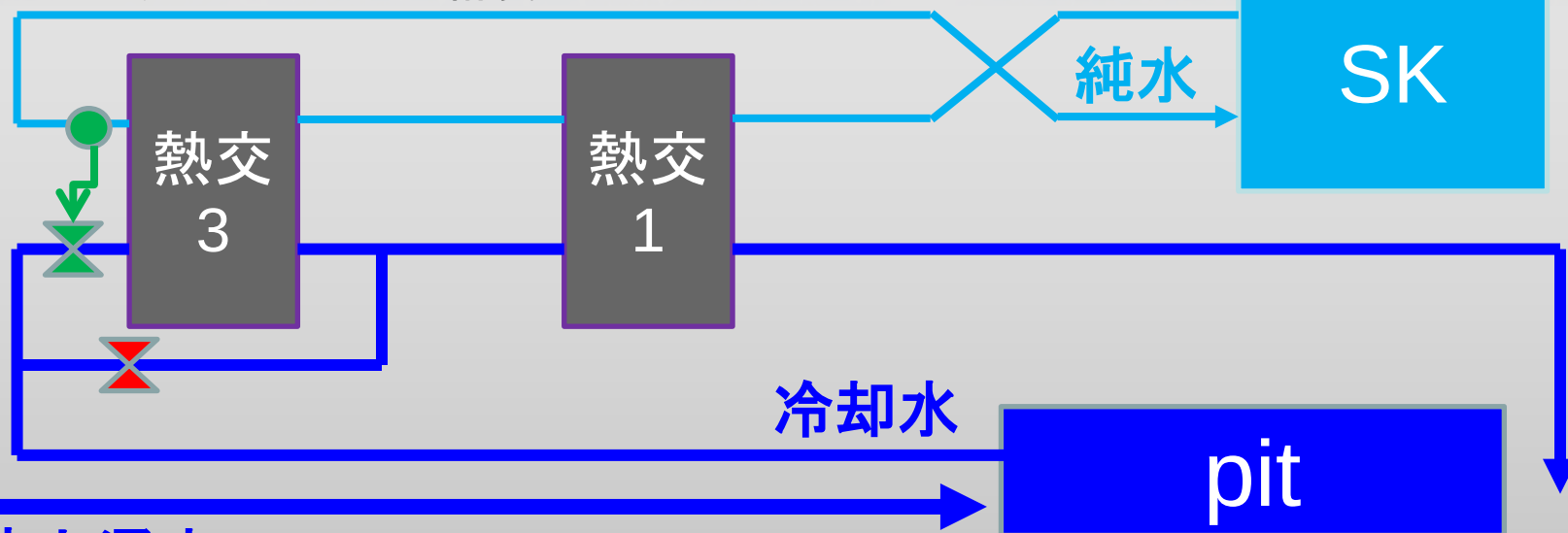


Super-Kamiokande IV Water System

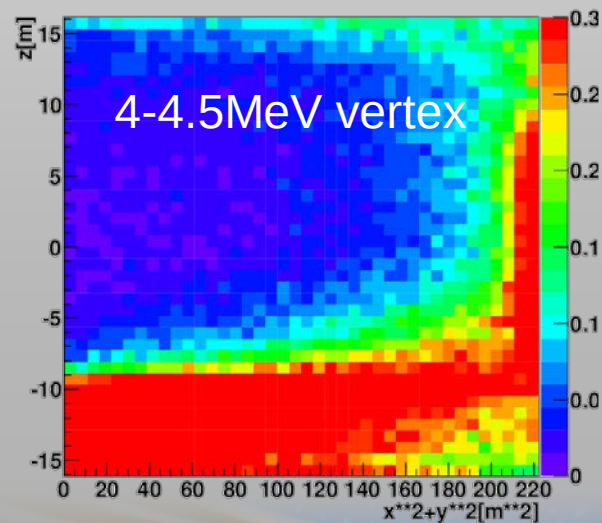


対流を抑制する温度コントロール

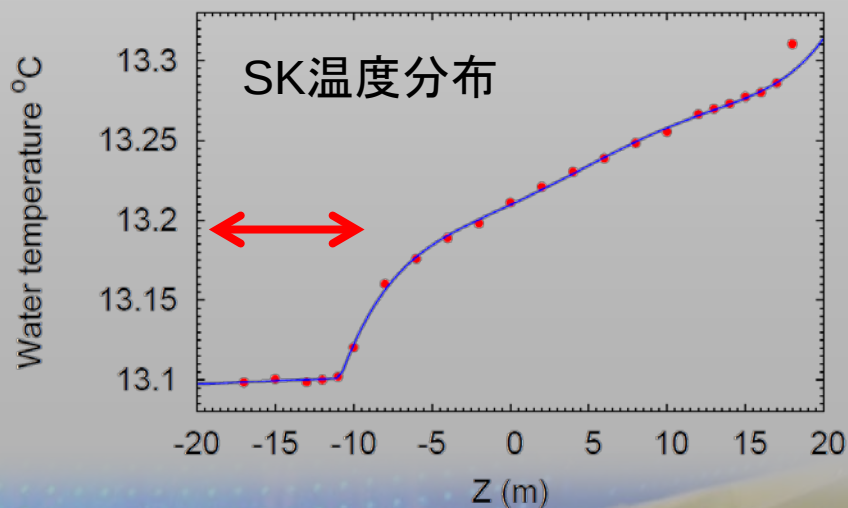
2009年11月より0.01°Cの精度でフィードバック



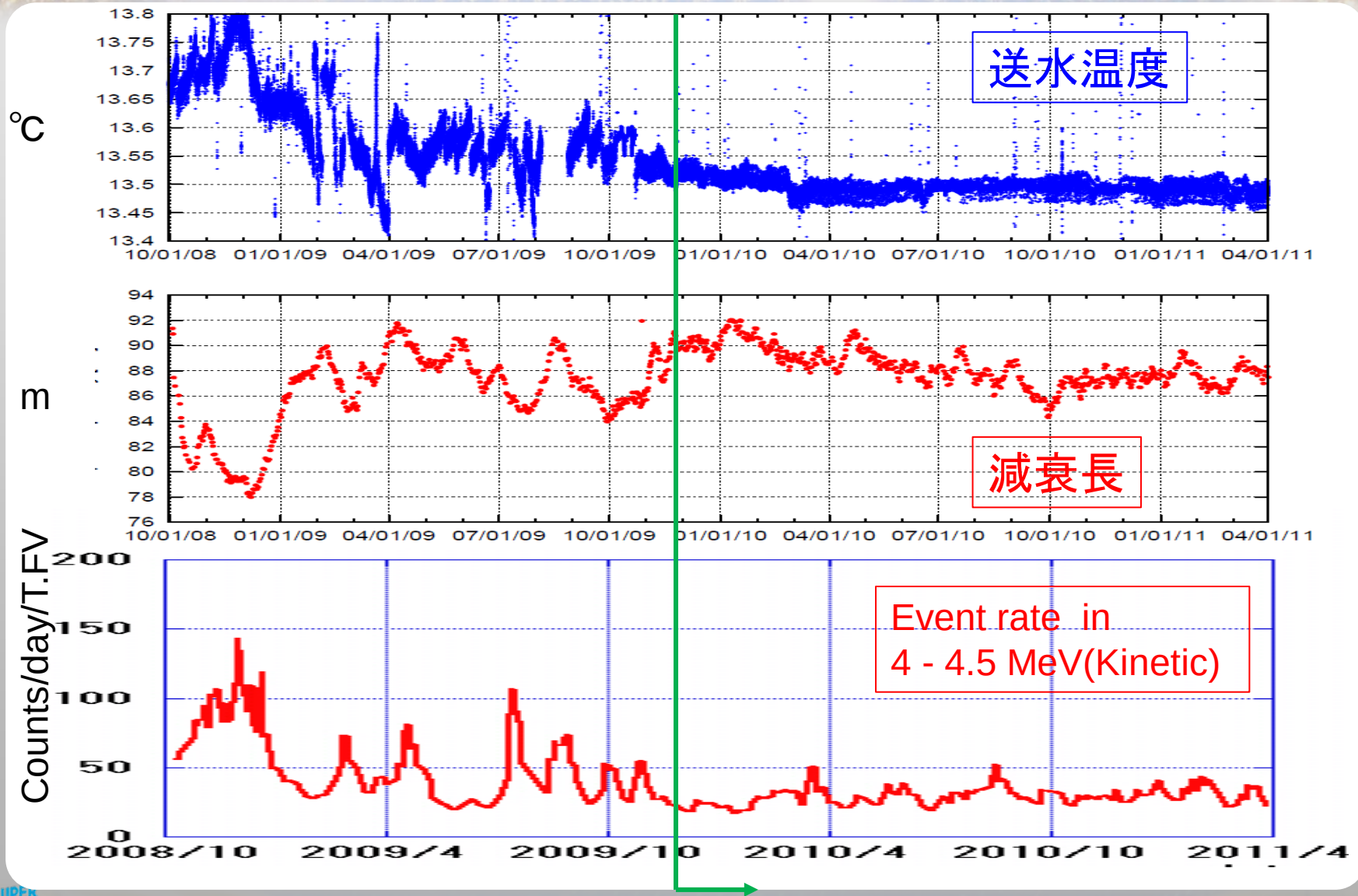
坑内湧水(10.7-11.7°C)



Apr 27 2011 X=0,Y=0



送水温度・透過率・BGLレート



T2K SK-IV+ としたい位安定

Current water stream

GW telescope

工事内容 **Access for the construction**

- ① 既設坑道部配管工 L=1,745m (既存取水工含む)
高密度ポリエチレン管300A SDR13.6
- ② 跡津精密坑道部配管工 L=1,040m
高密度ポリエチレン管300A SDR13.6
ボートリング孔よりの集水:4箇所 (仮定)

Bypass line will be prepared

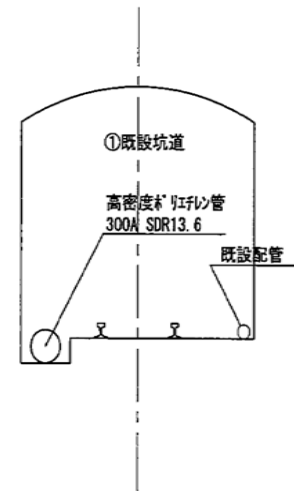
①既設坑道 W=2.5m H=2.3m
新設冷却水配管 L=1,745m
高密度ポリエチレン管300A SDR13.6

②既設跡津精密坑道 W=4.5m H=4.5m
新設冷却水配管 L=1,040m
高密度ポリエチレン管300A SDR13.6

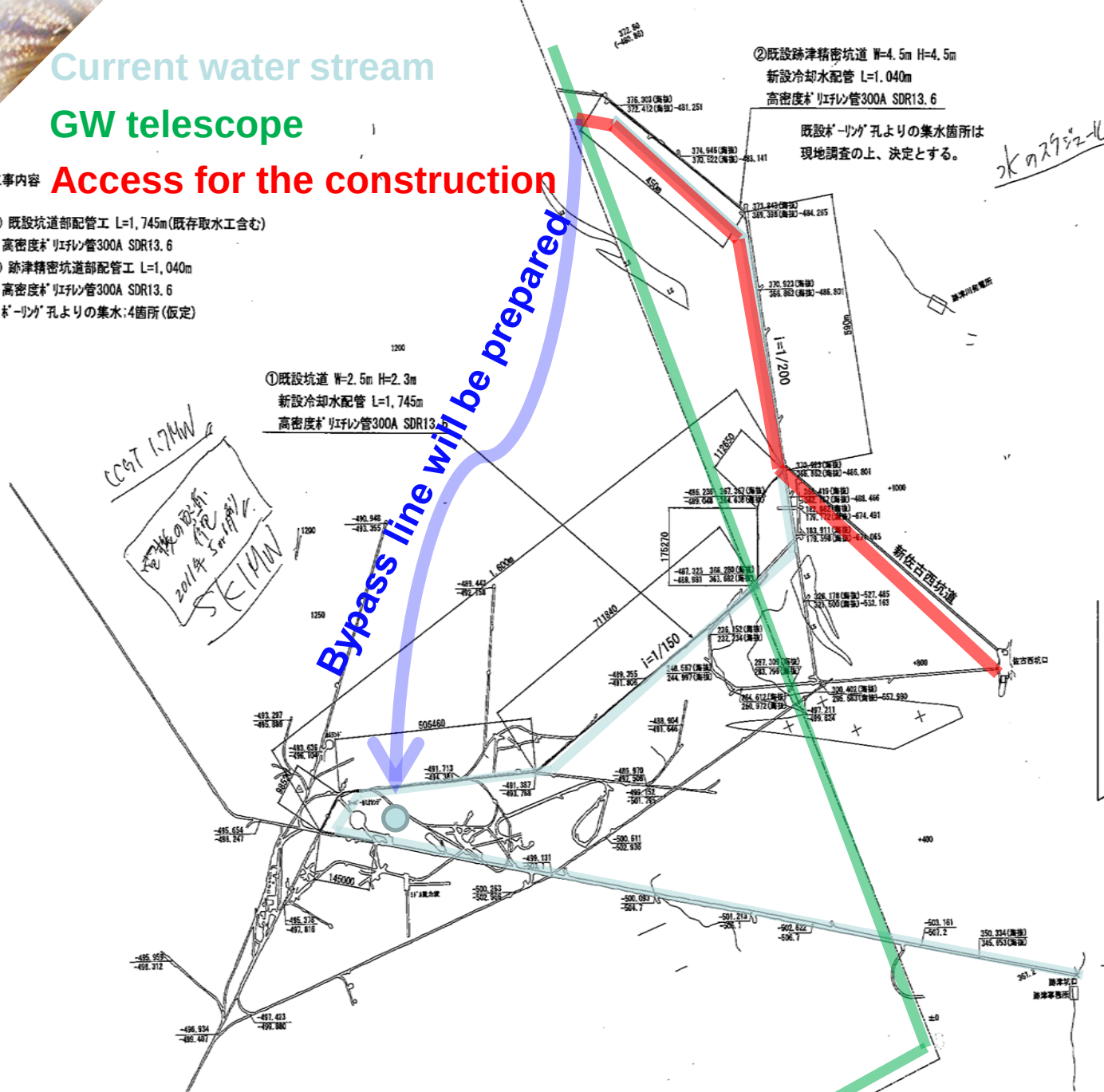
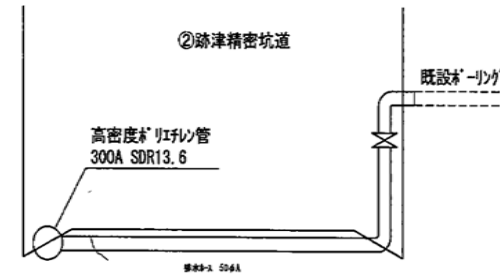
既設ボートリング孔よりの集水箇所は
現地調査の上、決定とする。

水の調整

既設坑道配管標準図 1/50



跡津精密坑道配管標準図 1/50



ニュートリノ振動 $\nu_\alpha = U \nu_i$

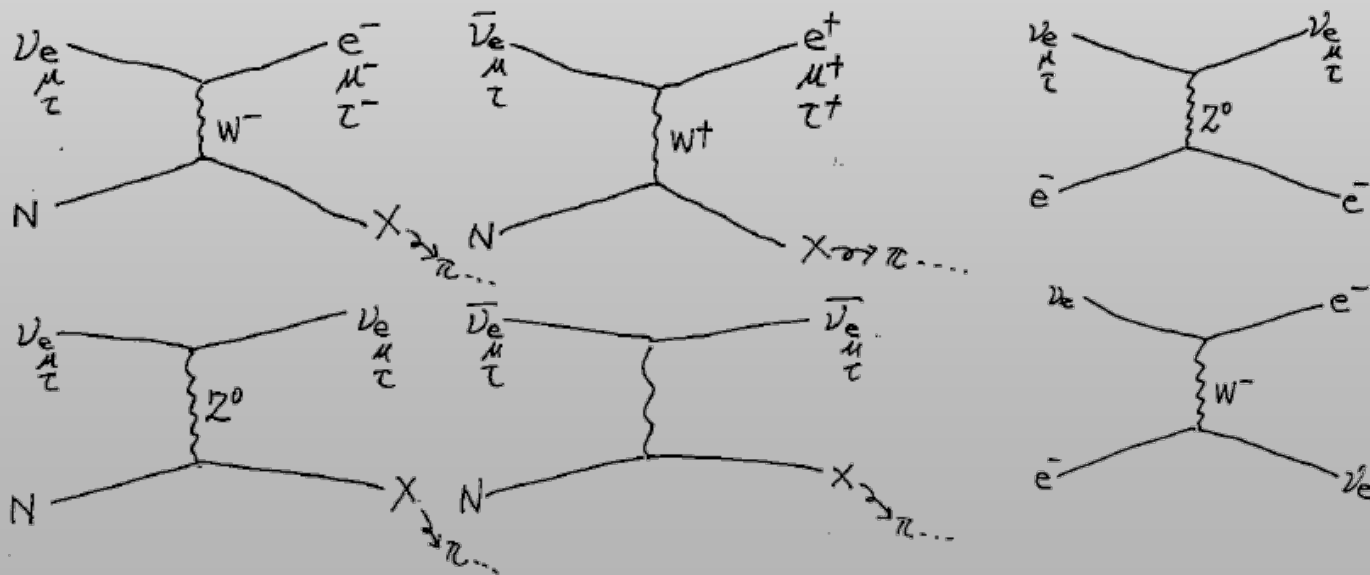
$$U = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{13} & 0 & s_{13}e^{-i\delta_{CP}} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13}e^{i\delta_{CP}} & 0 & c_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \text{diag}\left(e^{i\frac{\alpha_1}{2}}, e^{i\frac{\alpha_2}{2}}, 1\right)$$

Majorana term

大気ニュートリノ観測

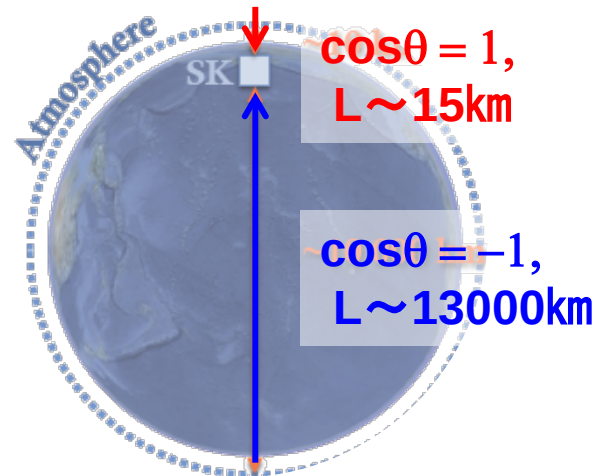
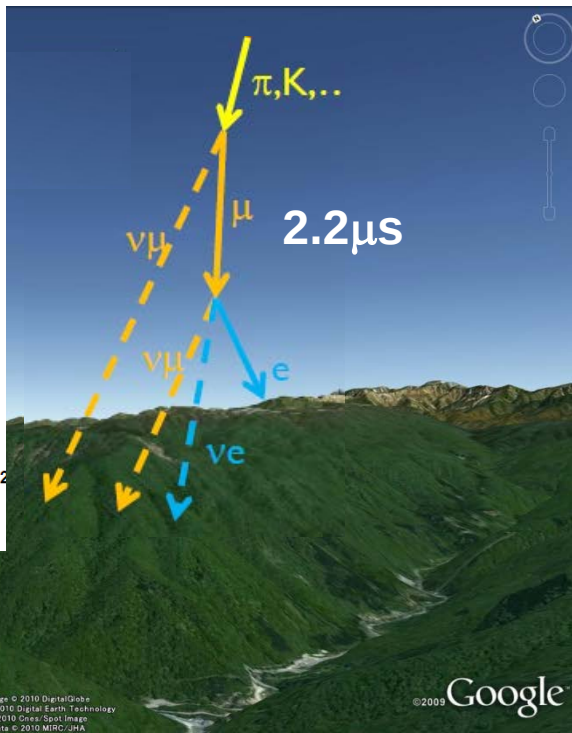
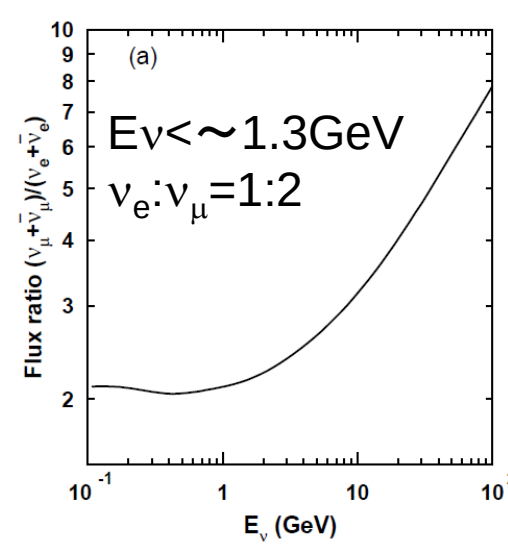
太陽ニュートリノ観測

SKでの検出原理

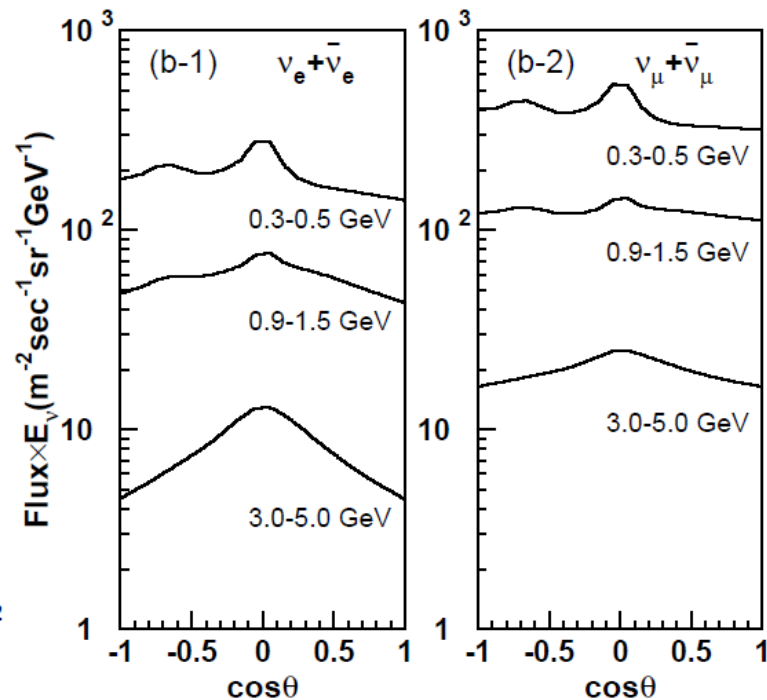
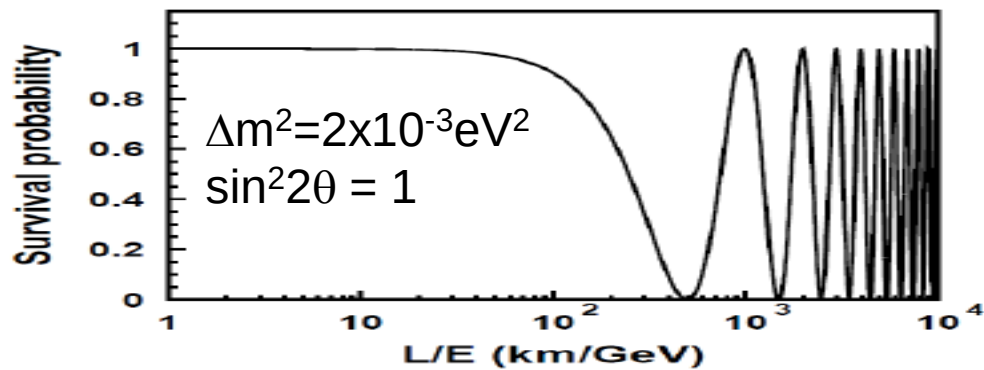


本年度はより良い解析手法を開発している最中。新しい結果はお待ちください

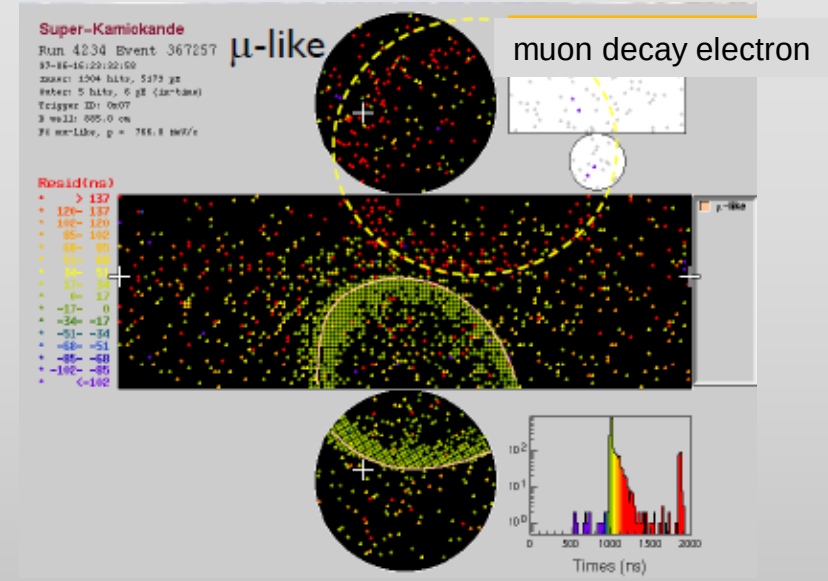
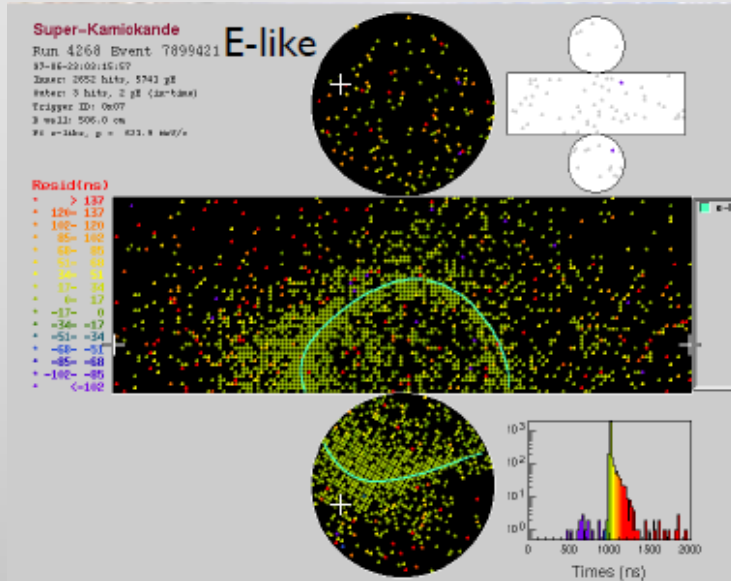
大気ニュートリノ



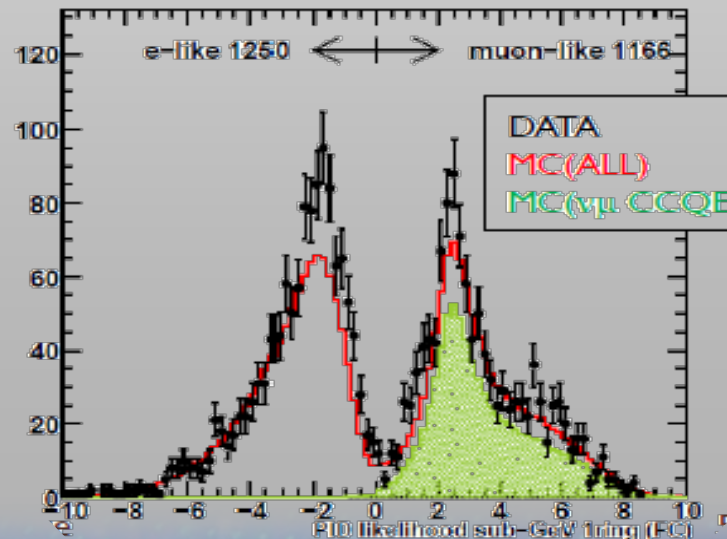
$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu) = 1 - \sin^2 2\theta \sin^2 \left(\frac{1.27 \Delta m^2 L}{E} \right)$$



ν_e と ν_μ の分別



チェレンコフリングの
パターンと角度の
likelihoodからe-likeと
 μ -likeを分別

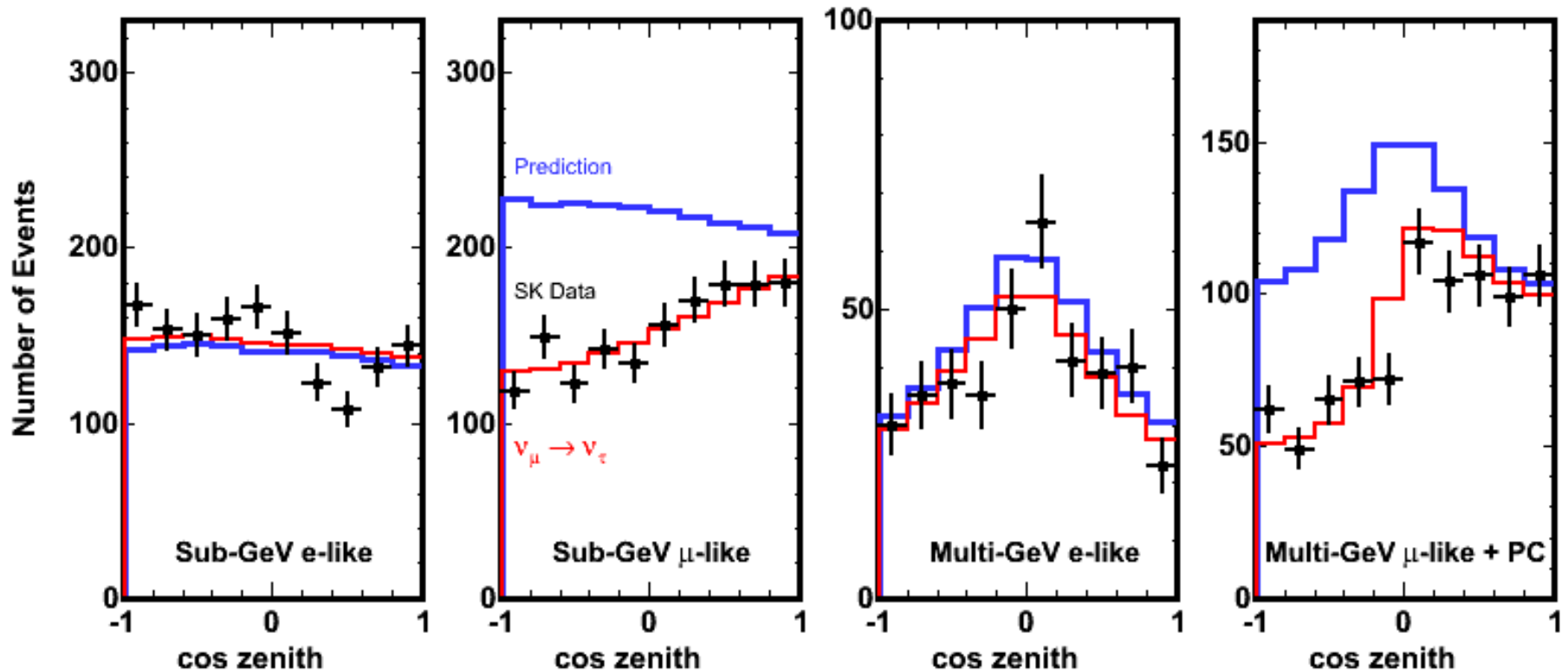


間違えて判別する
確率は

<1%@1GeV

SK-IV zenith angle distribution

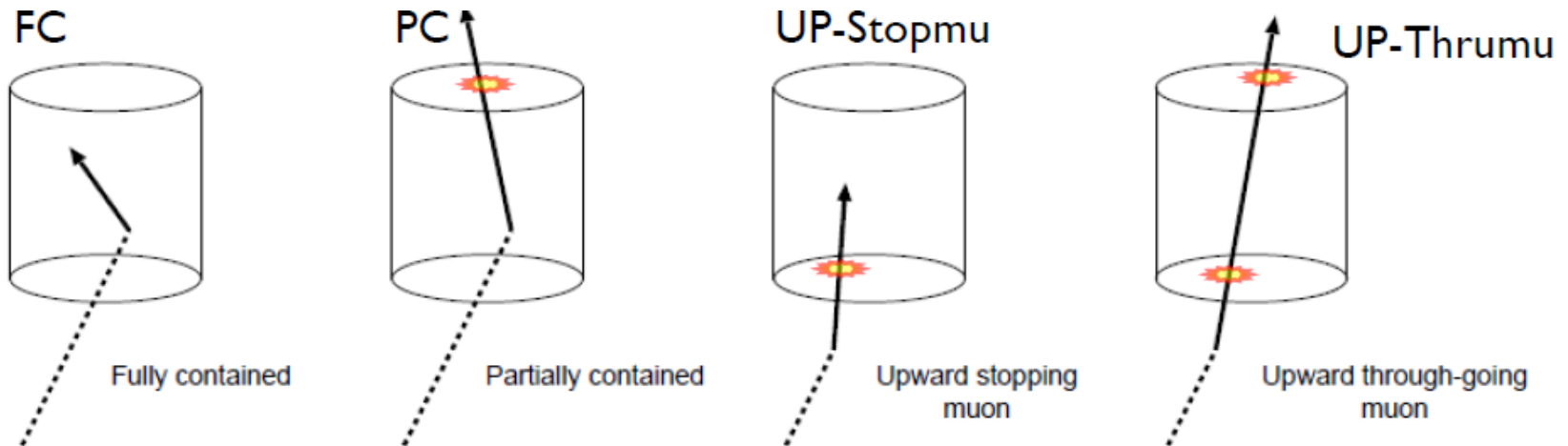
SK-IV, 762.5 Days



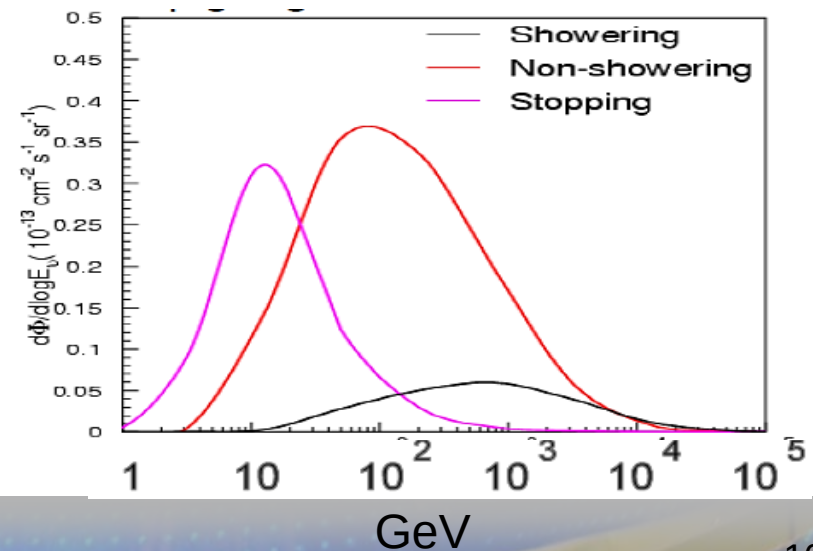
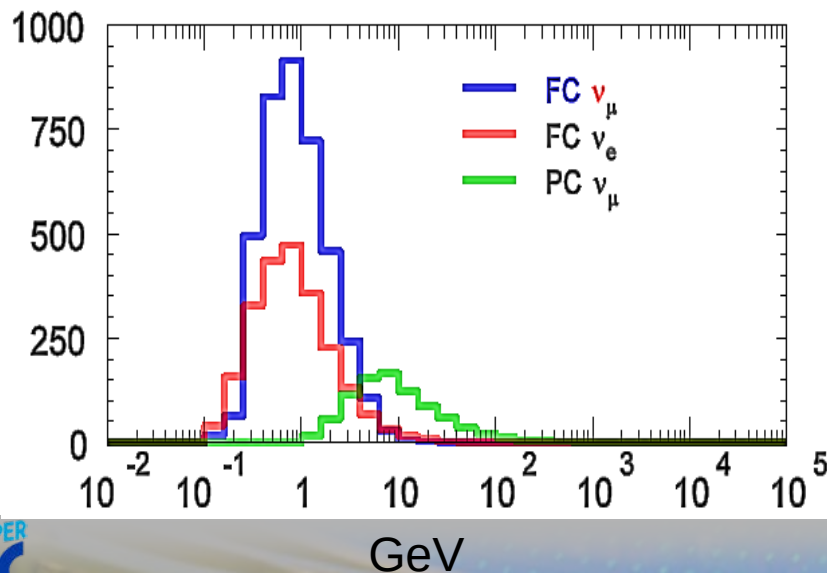
$\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ Oscillated MC (SK-I+II+III best fit point)
UnOscillated MC

μ -likeの上向きが
減ってる

大気ニュートリノのエネルギーと イベントトポロジー



各トポロジーのエネルギー分布



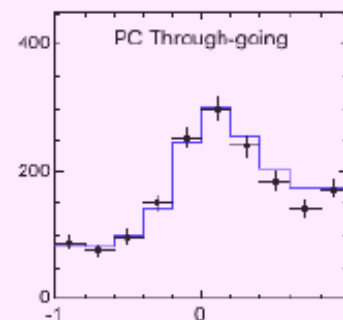
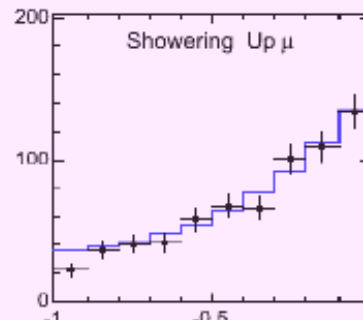
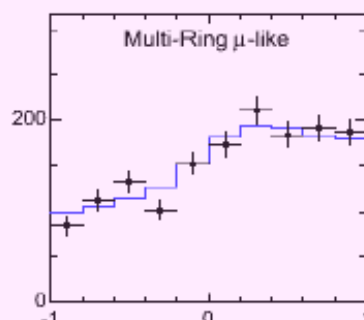
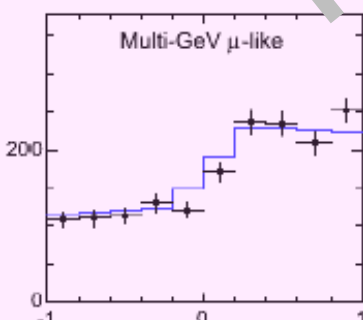
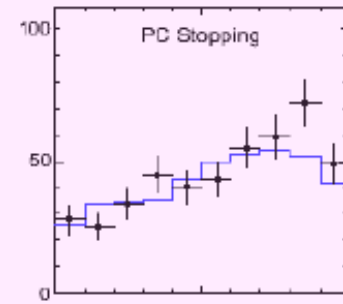
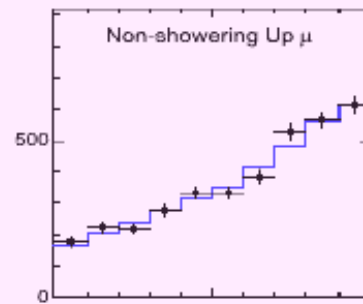
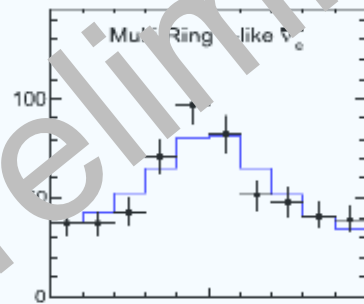
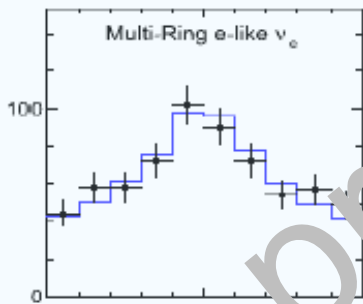
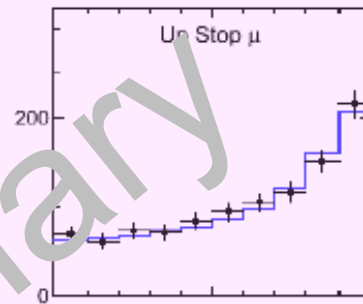
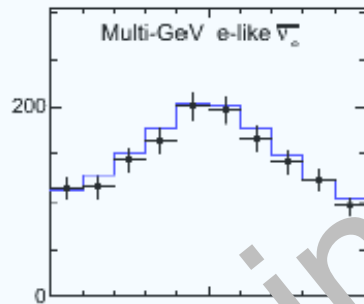
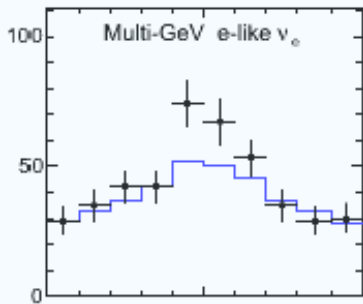
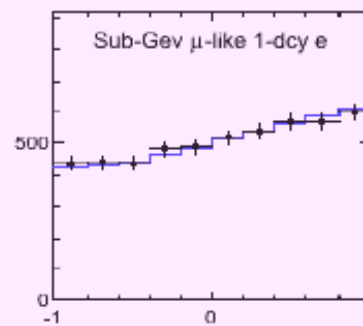
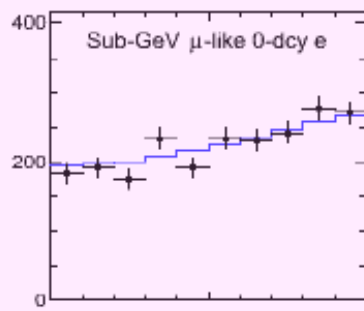
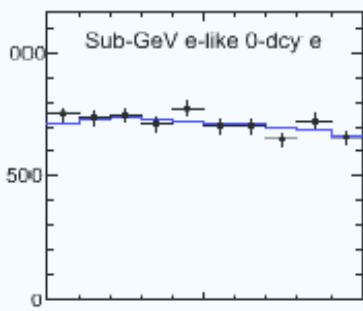
SK-I+II+III+IV Zenith angle distribution

+ 新たに SK-IV 762.5 日分のデータ加えた結果

— $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ を仮定したMC

$$\Delta m_{23}^2 = 2.24 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$$

$$\sin^2 2\theta_{23} = 1.00$$



e-like

μ -like

振動解析(解析中)

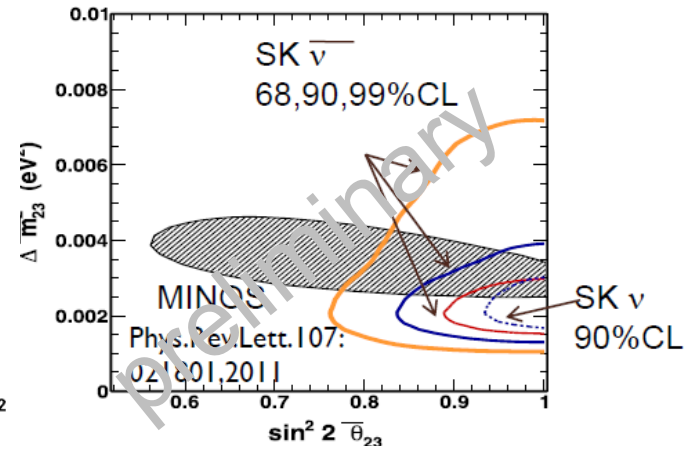
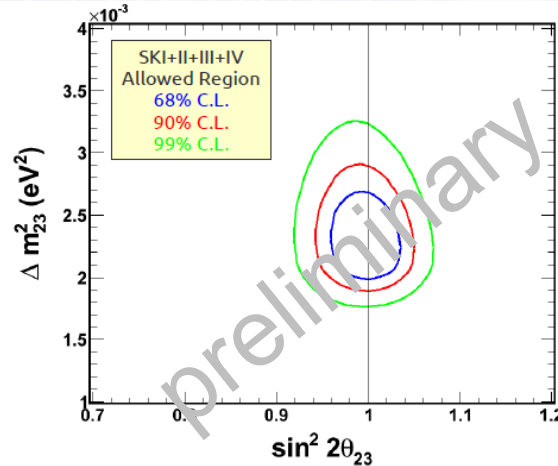
- 2-flavor Oscillation

SK I+II+III+IV Best Fit

$$\Delta m_{23}^2 = 2.24 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$$

$$\sin^2 2\theta_{23} = 1.00$$

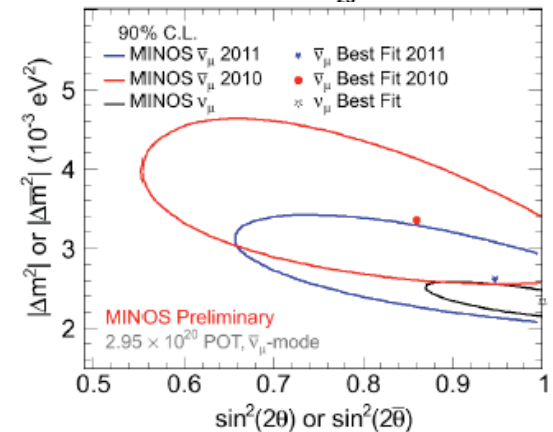
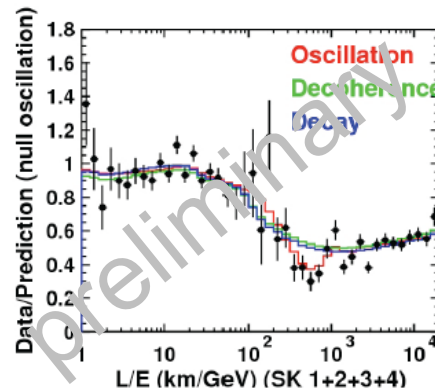
$$\chi^2 = 538 / 478 \text{ d.o.f.}$$



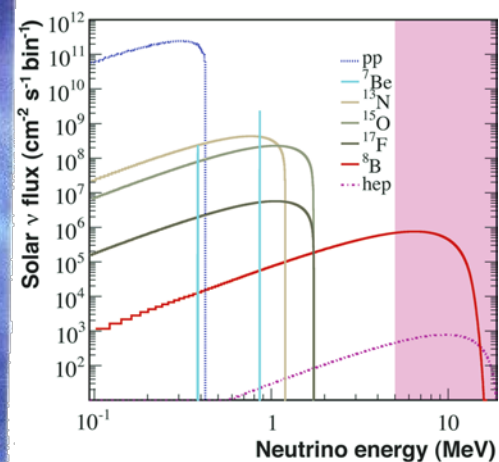
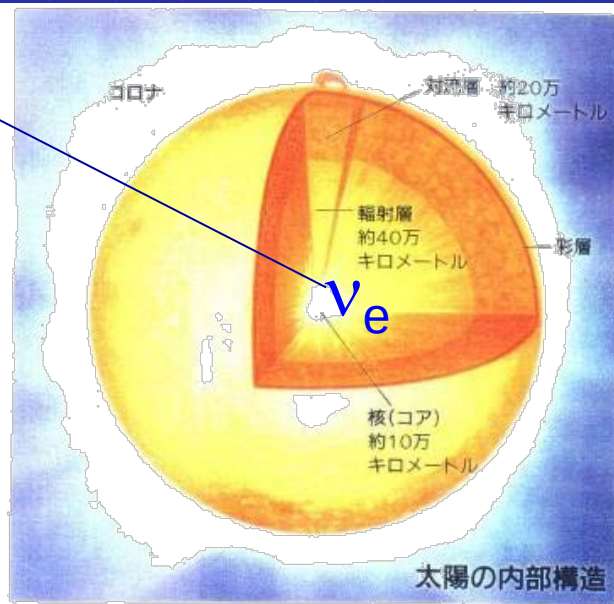
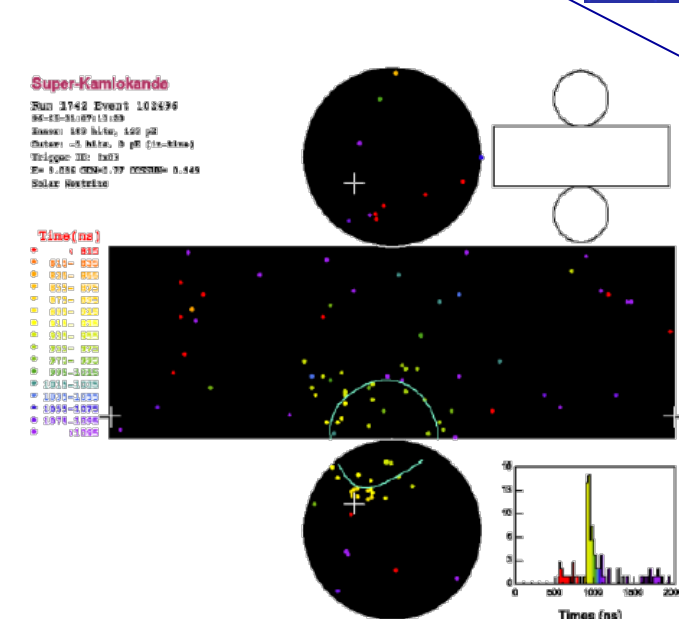
- ν と $\bar{\nu}$ の違い

– decay-eや π の数などを使い、統計的に νe と $\bar{\nu} e$, $\nu \mu$ と $\bar{\nu} \mu$ を区別して解析中

- 3-flavor, L/E 解析中

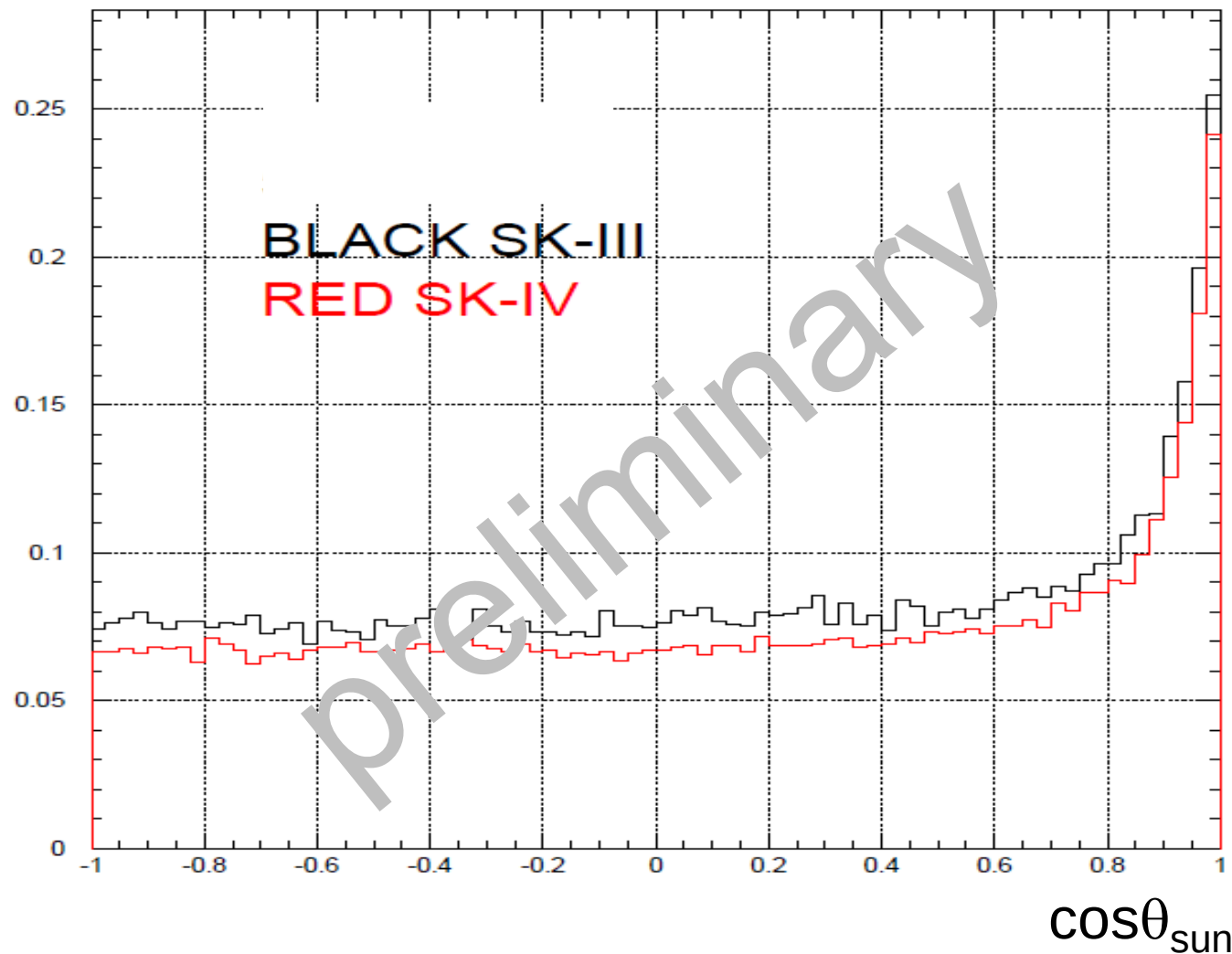


太陽ニュートリノ



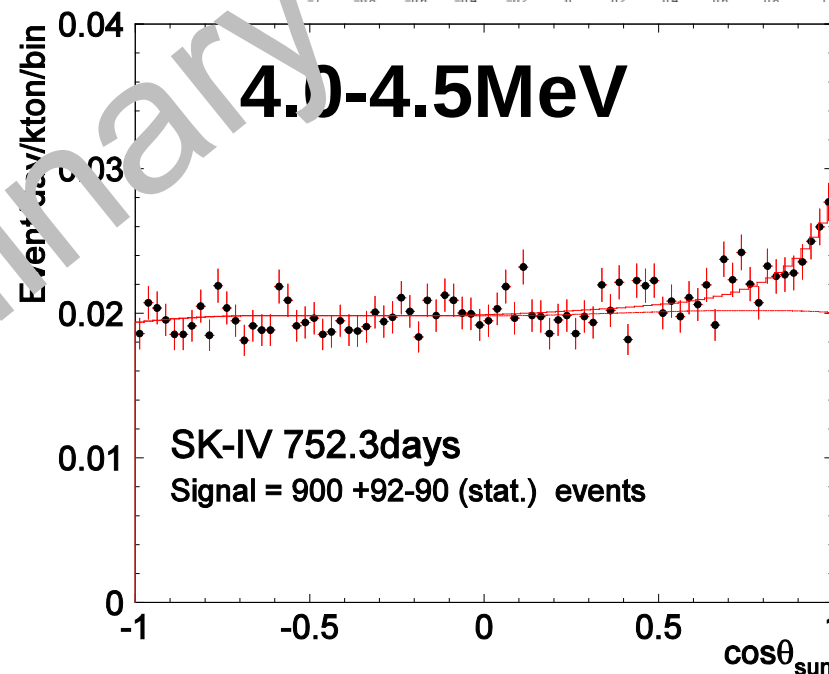
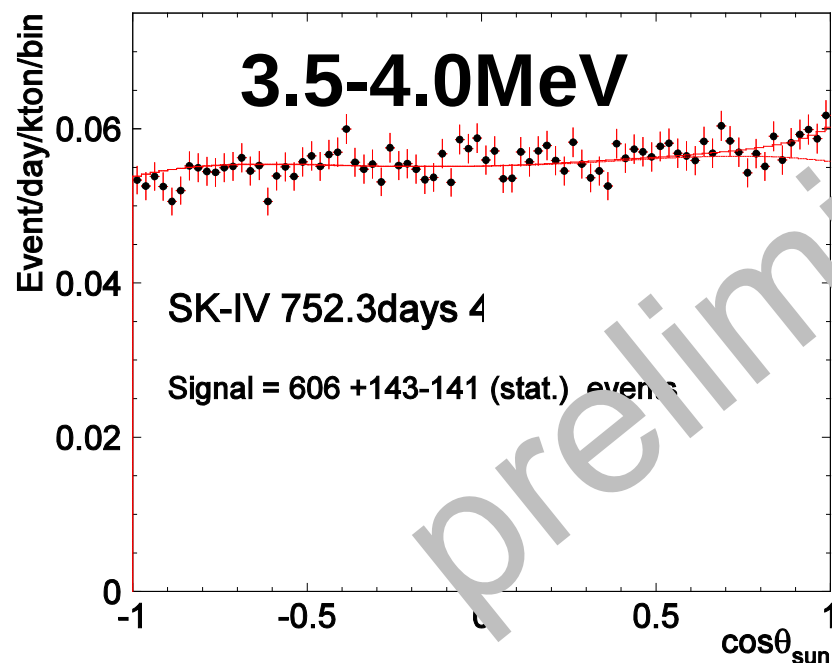
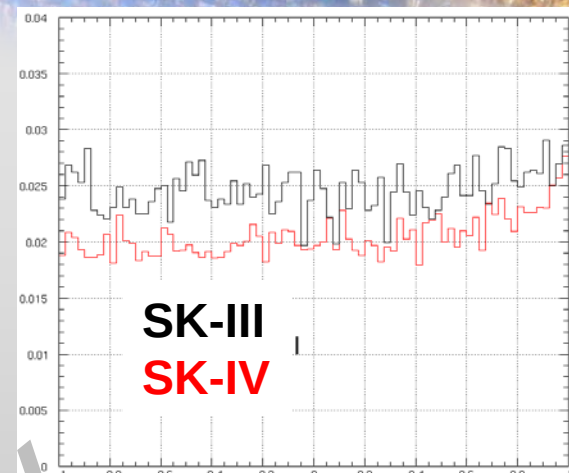
SK-IV 太陽方向分布

- KE = 4.5-19.5MeV, SK-IV 752.3 日



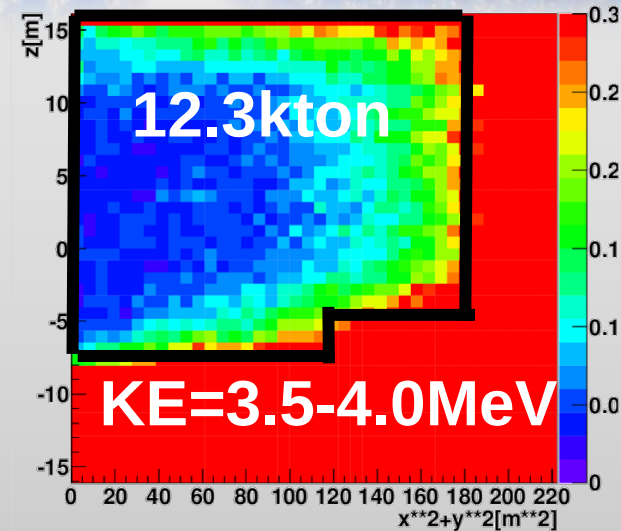
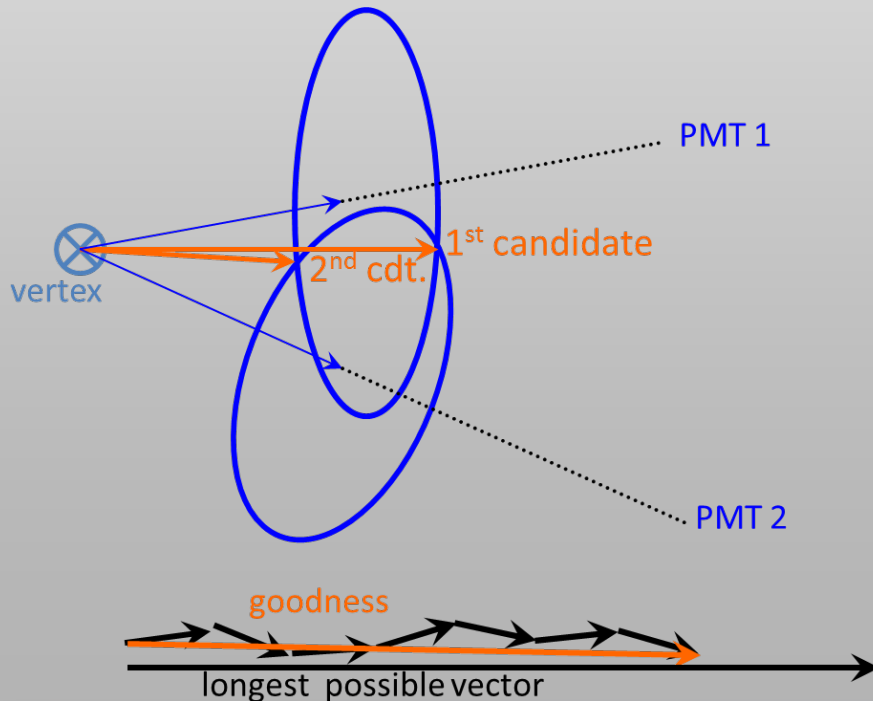
低エネルギー太陽ニュートリノの検出！

- SK-IIIまで見えなかった $KE=3.5\text{MeV}$
 ^8B 太陽ニュートリノを確認
 - 水の安定化
 - 低バックグラウンド化



S/N向上にむけて

- 水の安定化=Rnの局在化
- ^{214}Bi β $Q=3.27\text{MeV}$ がBG源
 - エネルギー分解能が悪い
 - 実際には低エネルギーなのでクーロン多重散乱されるだろう

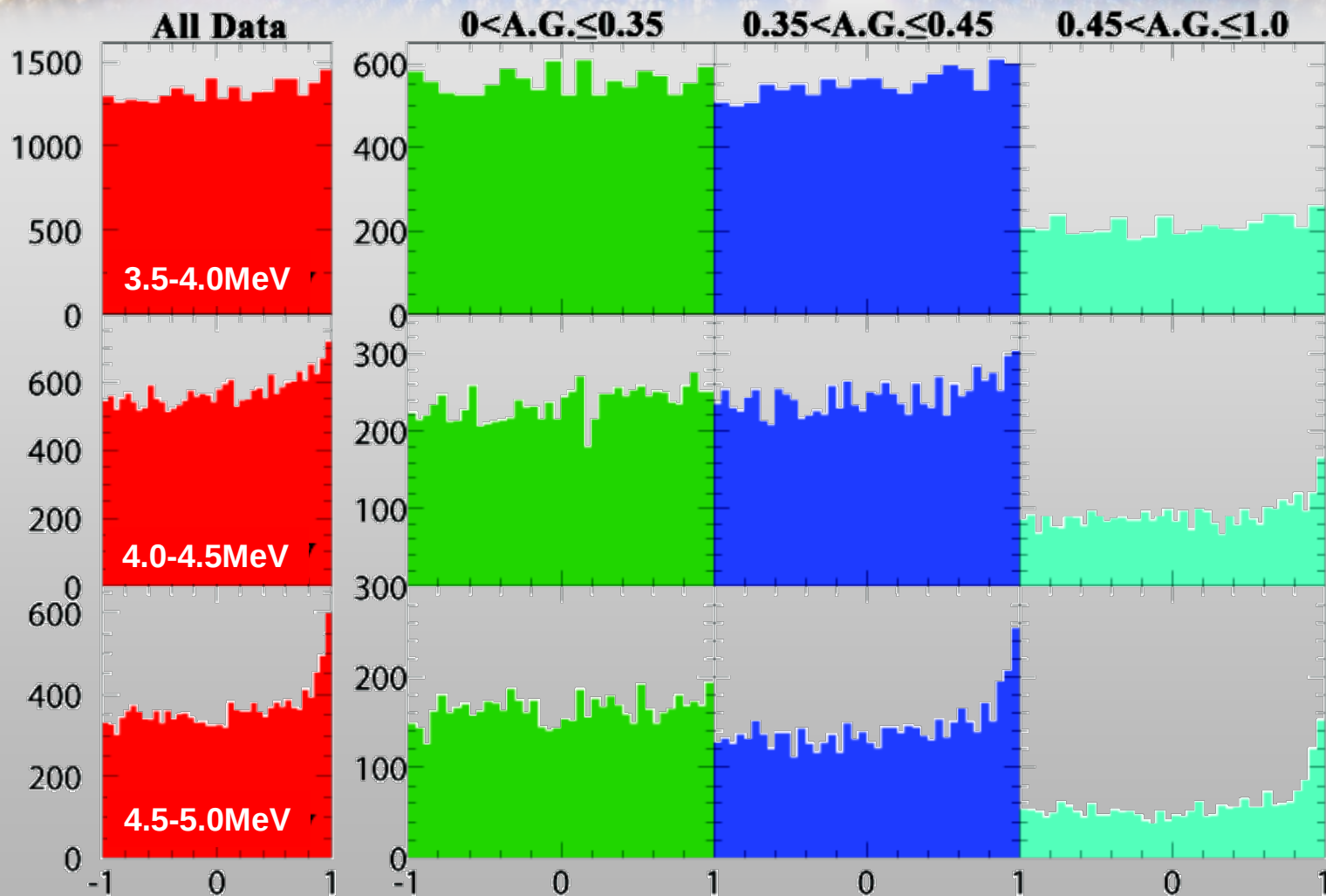


Ariadne Goodness

- PMT Hitペアごとにチェレンコフリングを描き交点へのベクトルをdirection candidateとする
- それらベクトル和をスカラー和で規格化
- 多重散乱イベントはA.G.小さいはず

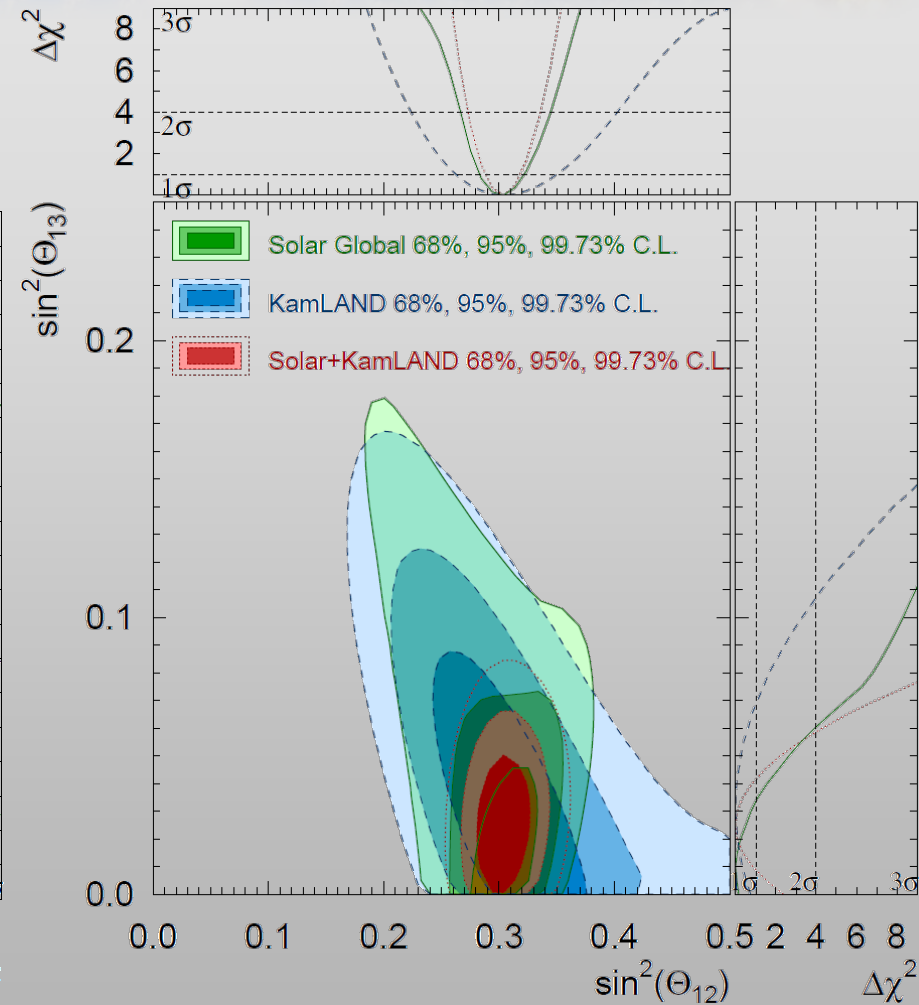
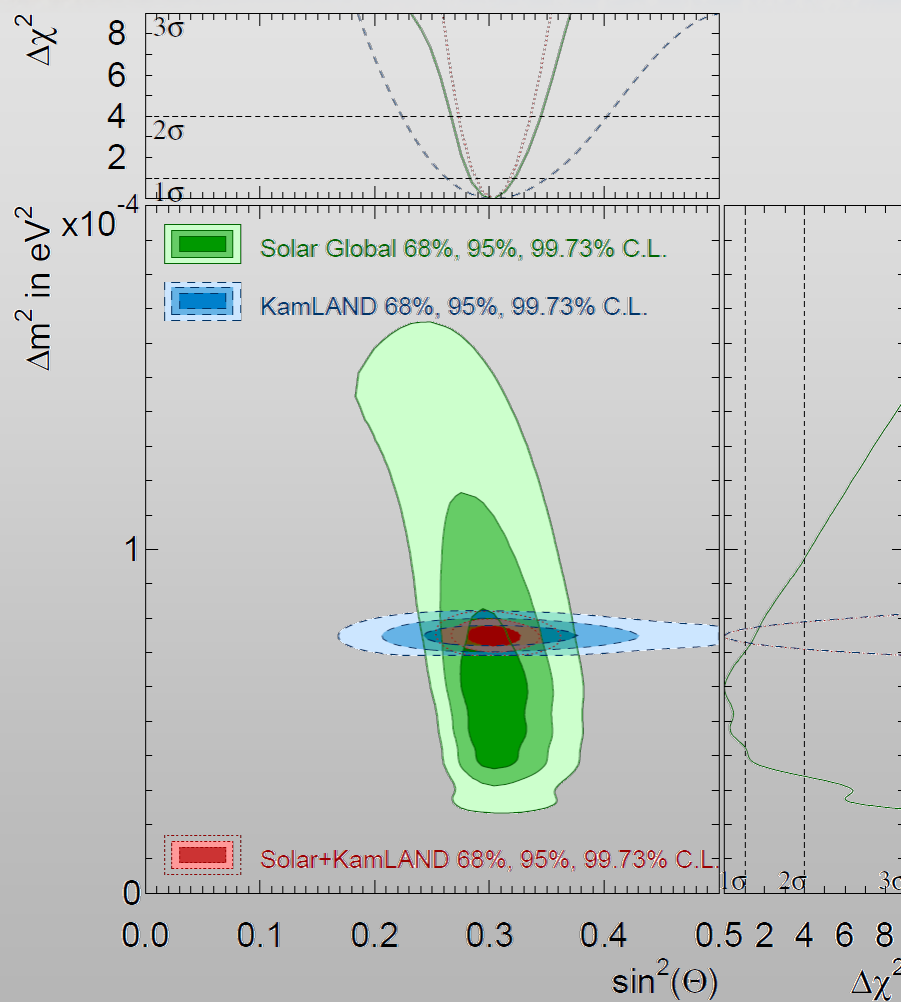
SK-IV 556日

$\text{Cos}\theta_{\text{sun}}$



Ariadoneも含めエネルギースペクトル, day/night 解析, 振動解析は進行中

Solar global(SK-IIIまで)+Kamland

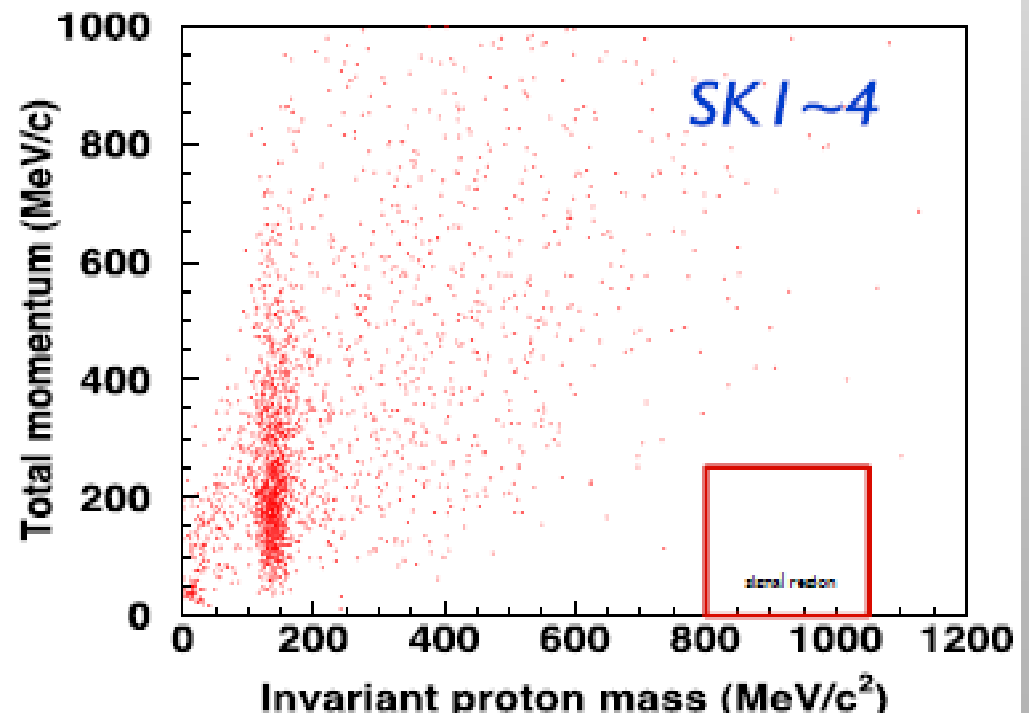
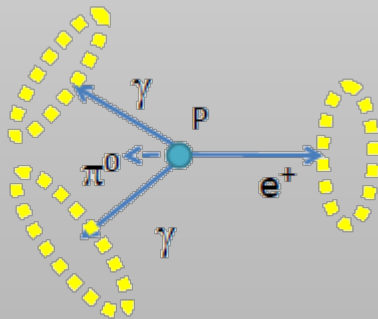


- $\sin^2\theta = 0.0255 \rightarrow \sin^2 2\theta = 0.1$

核子崩壊

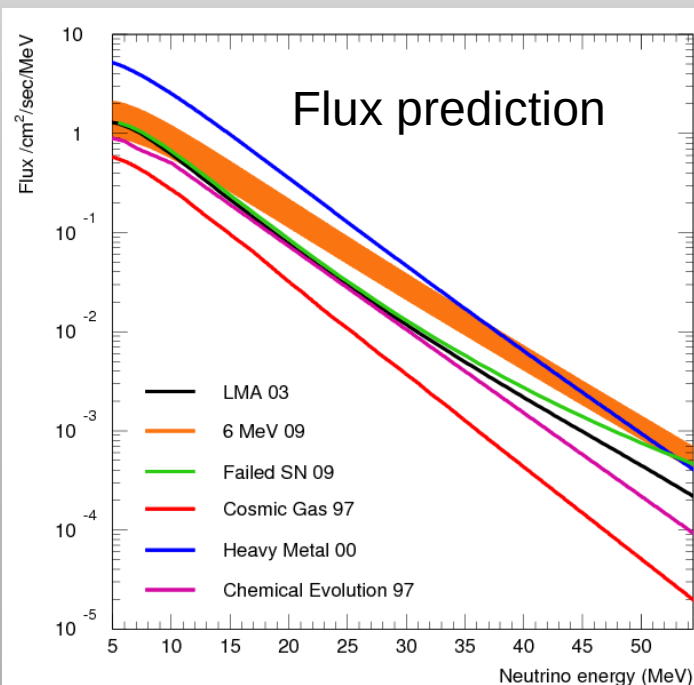
- 最新のnucleon kinematics, π interactionsのデータ・モデルを取りいれてefficiencyを再評価中

SKI+II+III+IV 219.7kton yearで見つかっていないことは確か

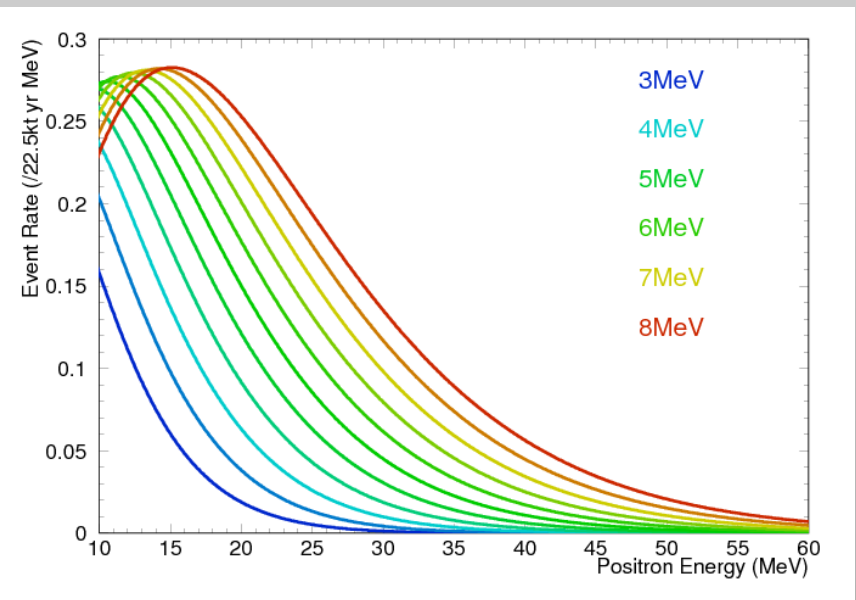


超新星背景ニュートリノ探索

- さまざまなモデル
- 宇宙論的なこと(cosmic star formation history, initial mass function, Hubble expansion, etc)は分かってきたので,単純に以下でparameterize
 - ν_e luminosity of typical supernova
 - Average ν_e energy $\rightarrow \nu_e$ 温度(Fermi-Dirac emission spectrum)



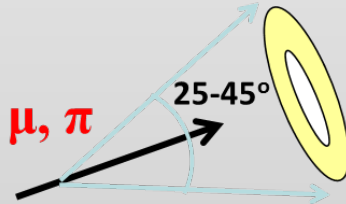
反ニュートリノ温度によるSKでのrate prediction



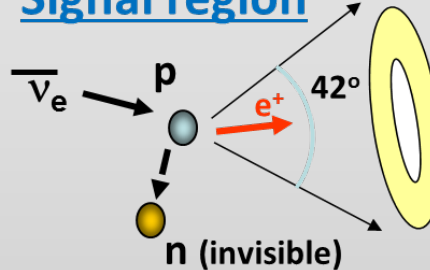
BGのチェレンコフ角分布

- Dominant BG はatmospheric $\nu_e \nu_\mu$ CC だけど

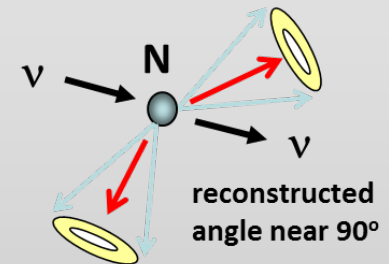
Low angle events



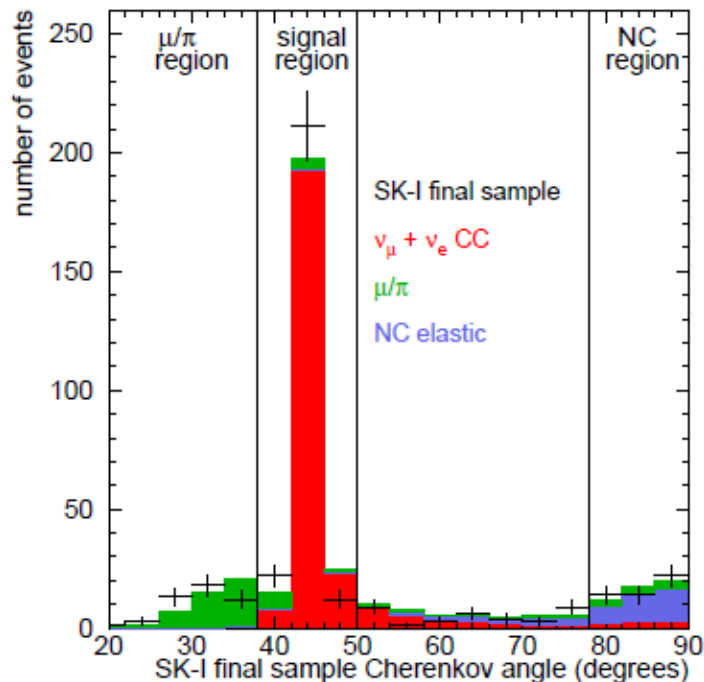
Signal region



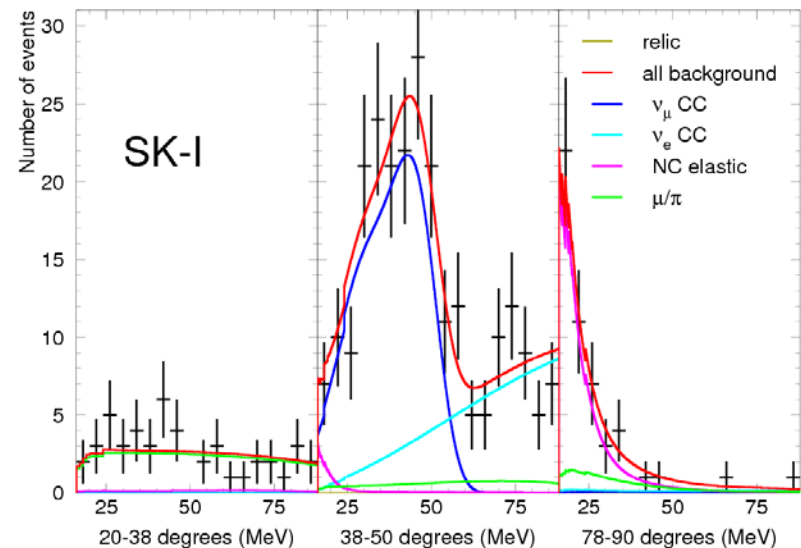
Isotropic region



- SK-I data/MC

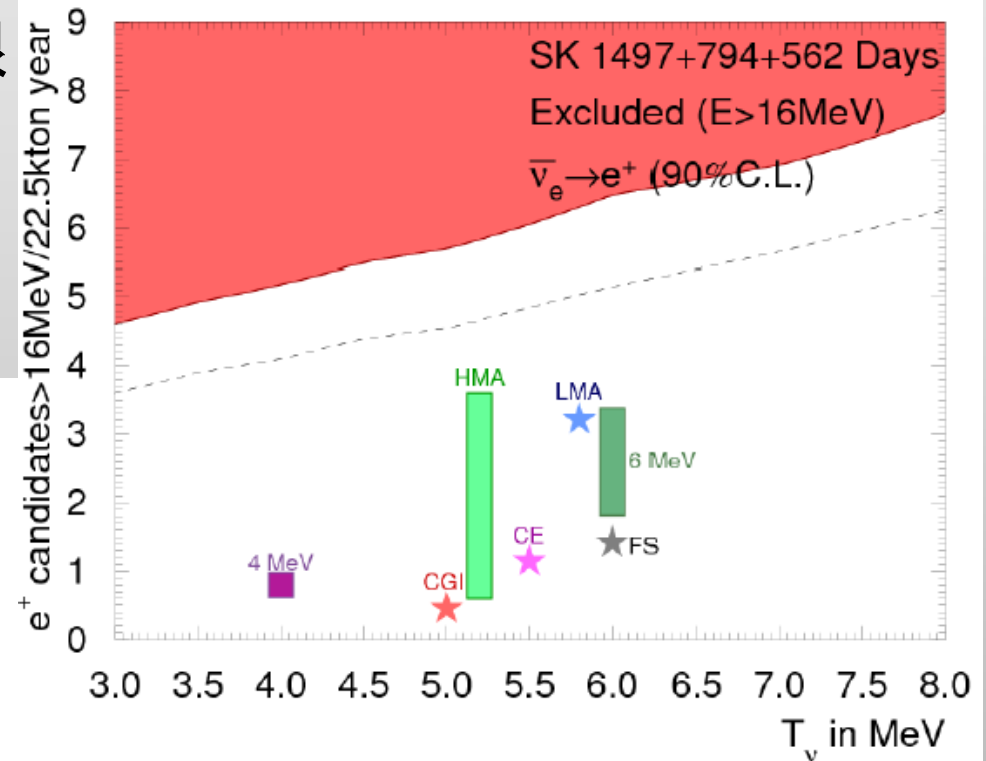
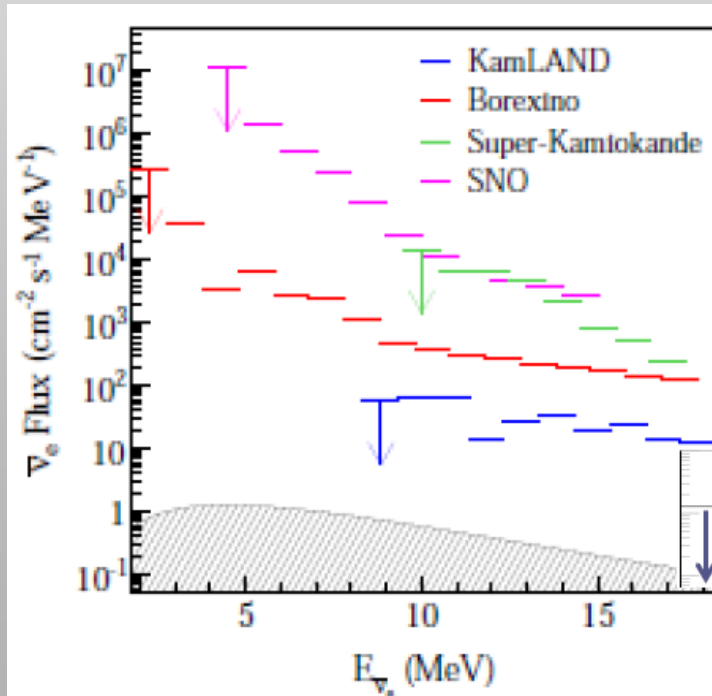


- Signal+BGを各モデルごとにfitting



SK-I+II+III Limits

- 各モデル(T_ν)に対する制限



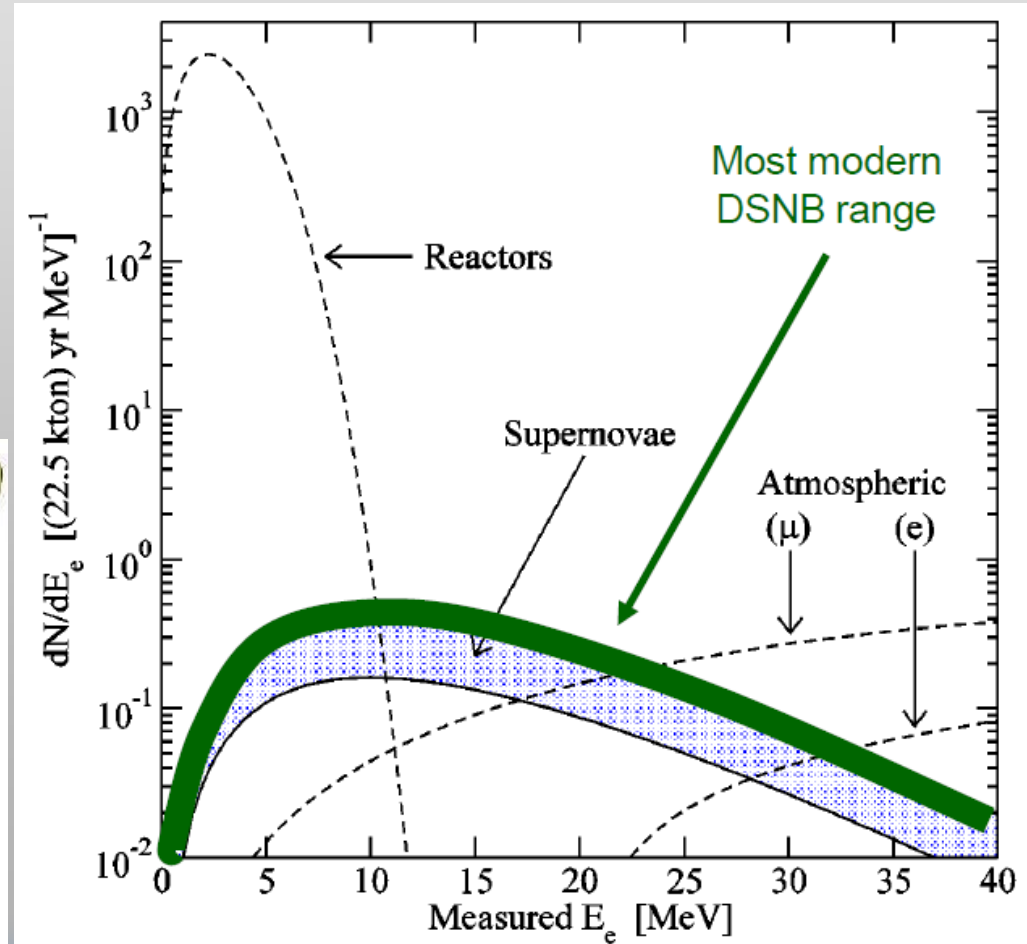
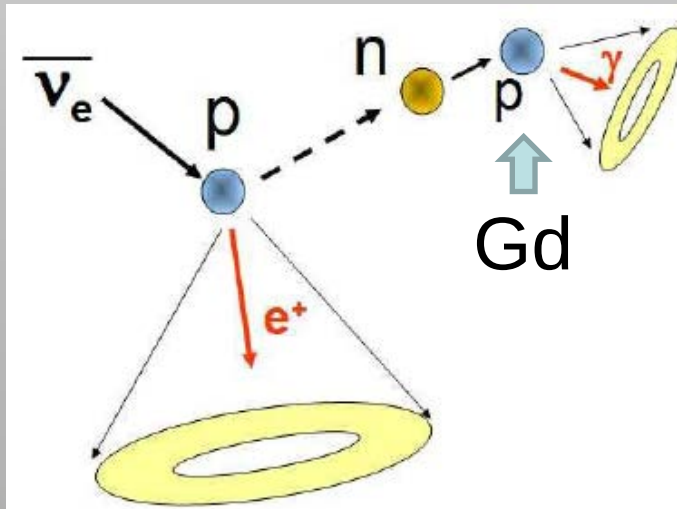
- fluxに対する制限

GADZOOKS! Project

- すでにかかなりの統計とこれ以上の解析方法もないので

中性子捕獲断面積の大きいGdをSKにいれて $\bar{\nu}_e$ を捕える

Gadolinium
Antineutrino Detector
Zealously
Outperforming
Old
Kamiokande,
Super!

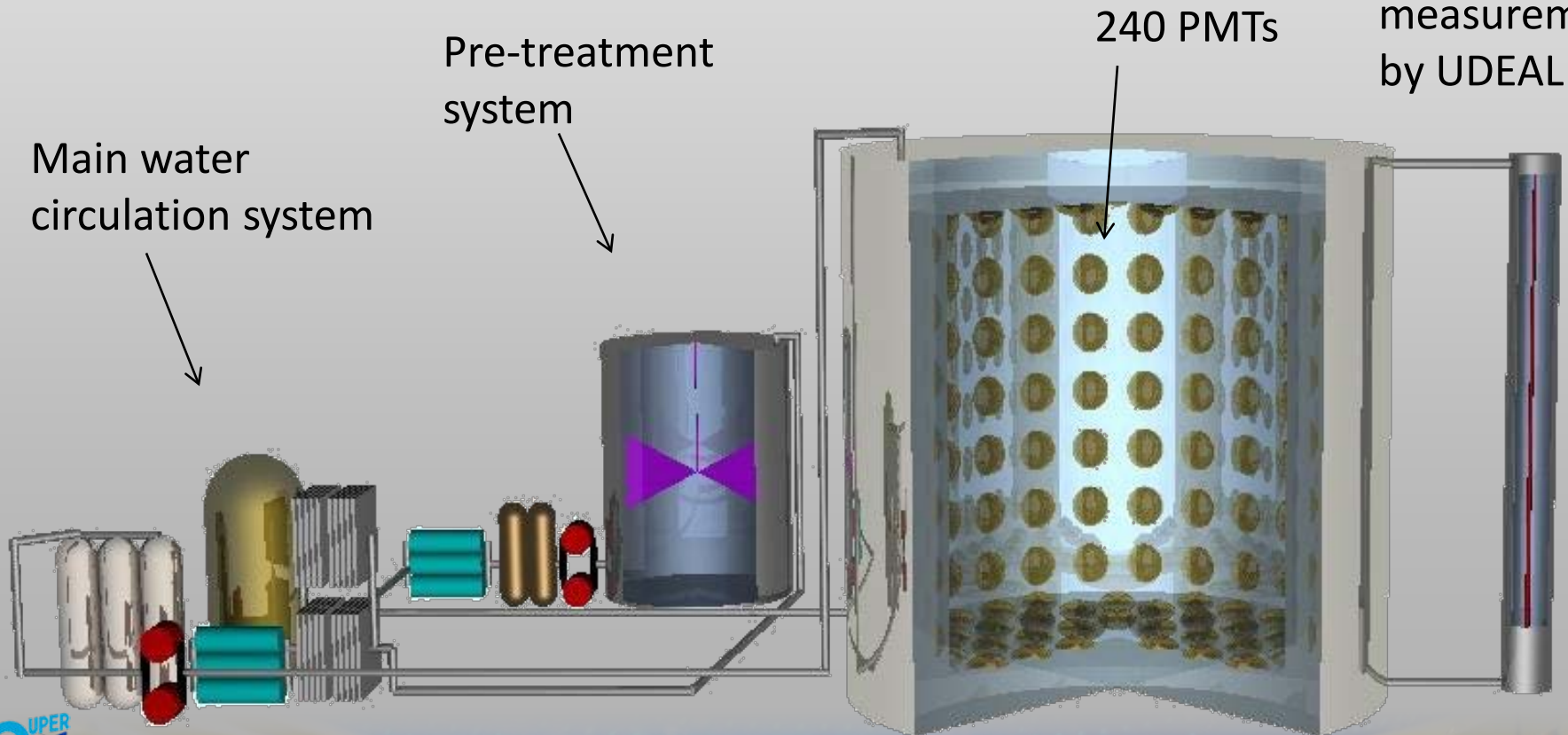


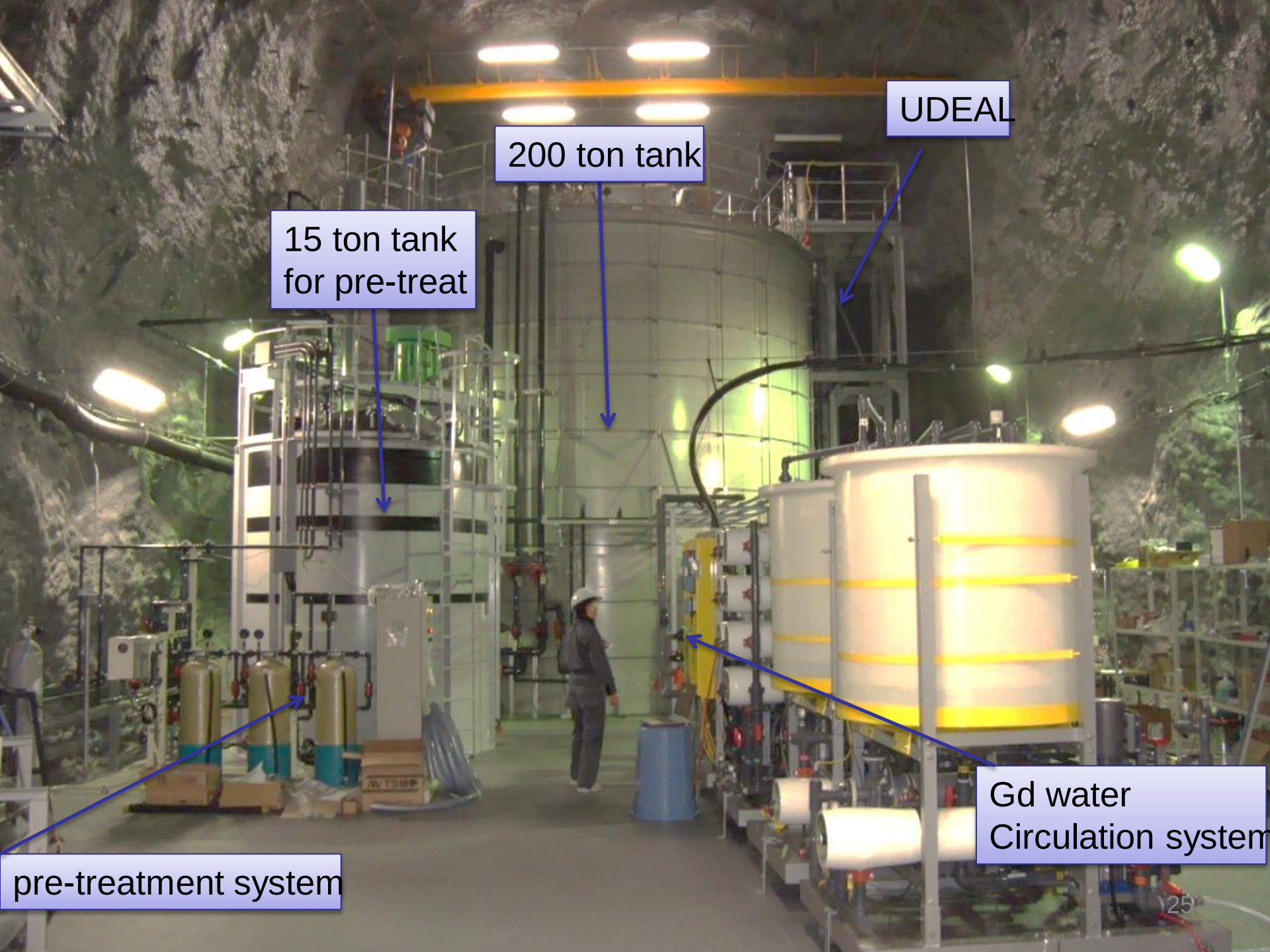
EGADS

- SKにGdいれても純水装置に取られて終わり
 - 200tのSK-like タンクと新たな純化システムをつくり、透過率のよい0.2%Gd(SO₄)水溶液を保持する

Evaluating Gadolinium's Action on Detector Systems

Transparency
measurement
by UDEAL





UDEAL

200 ton tank

15 ton tank
for pre-treat

Gd water
Circulation system

pre-treatment system

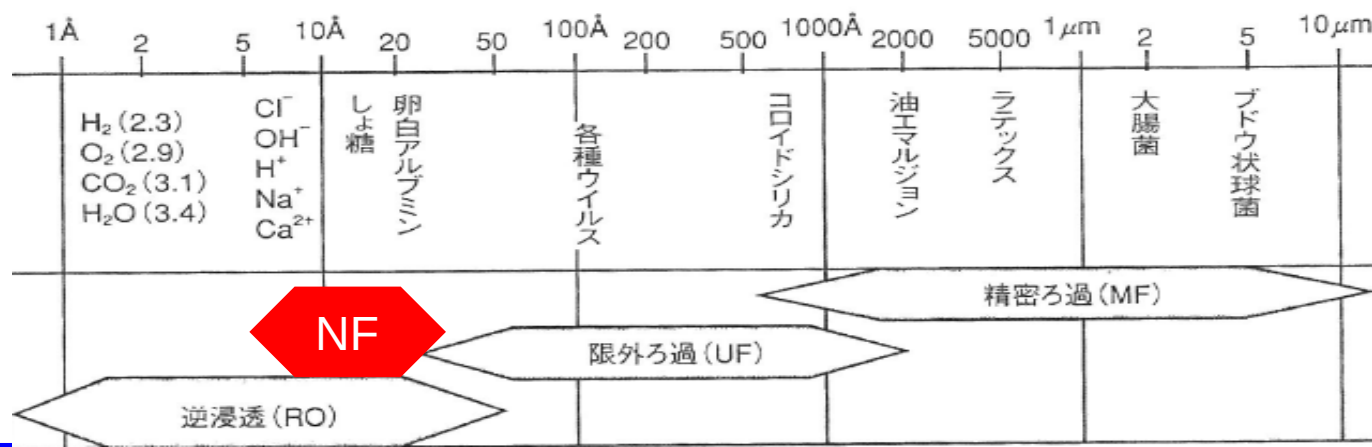
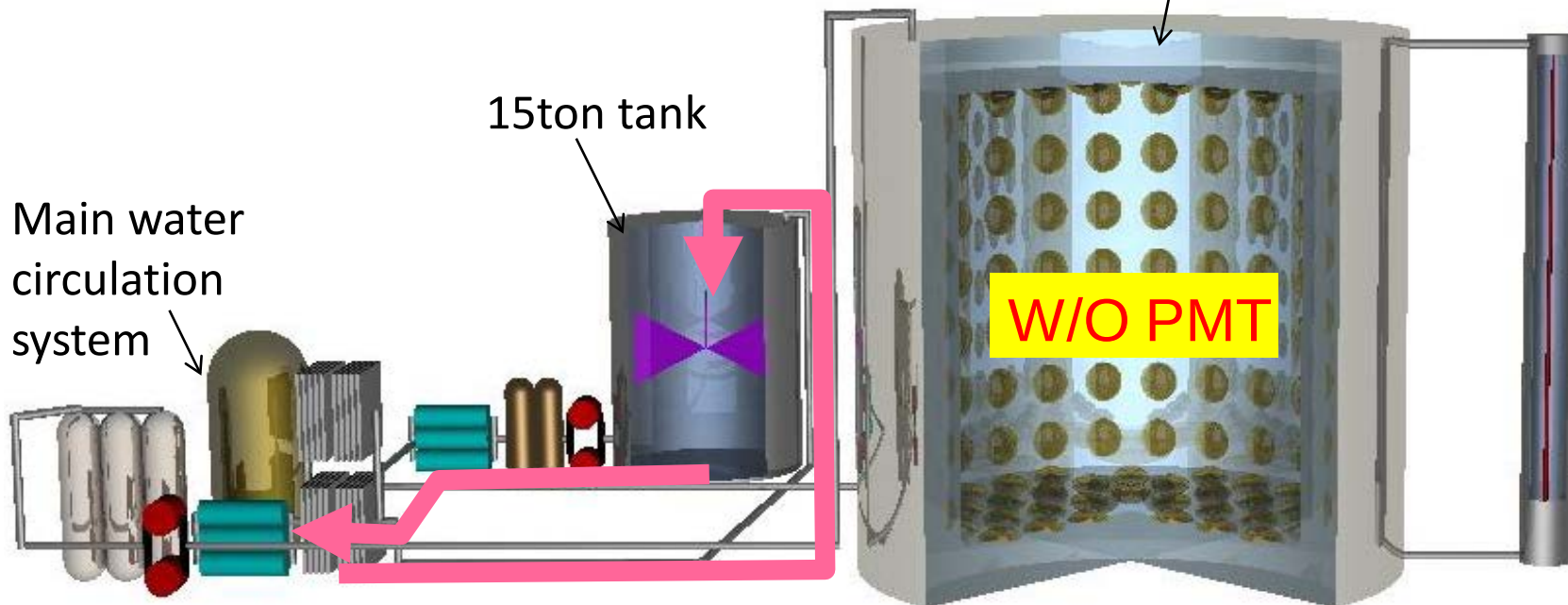
純化循環試験

2011年8月から

200 ton water tank

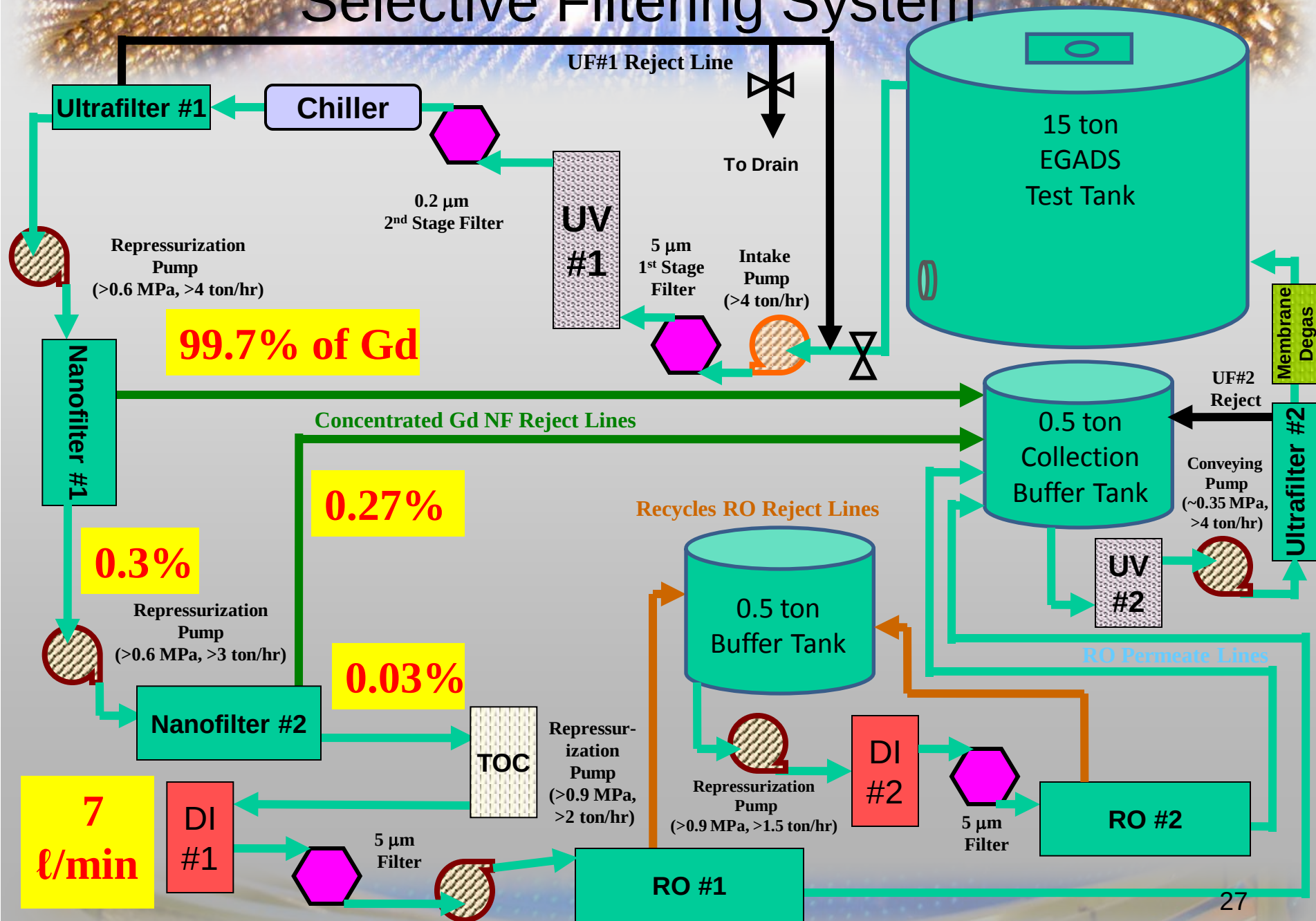
15ton tank

Main water circulation system



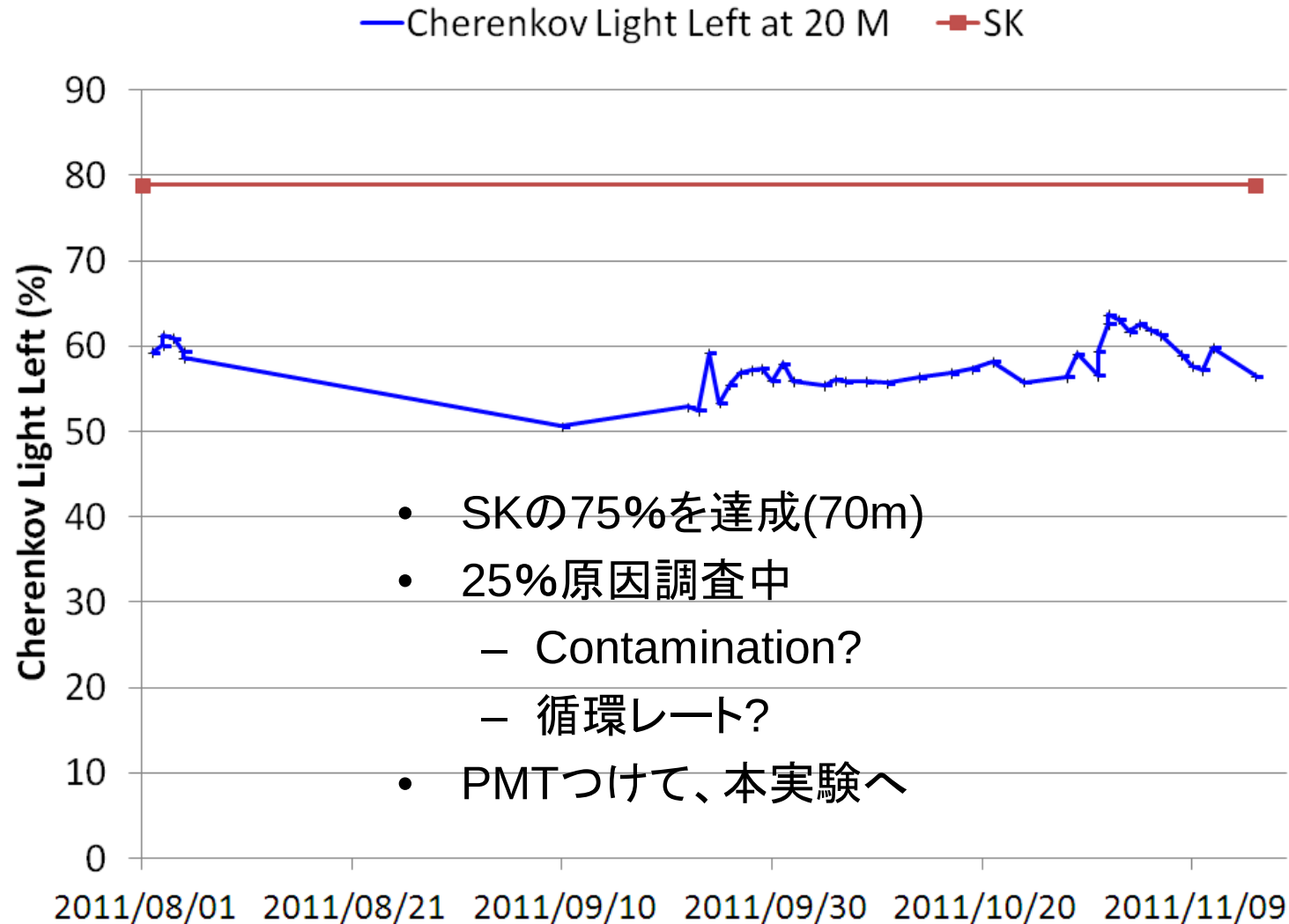
NF

Selective Filtering System



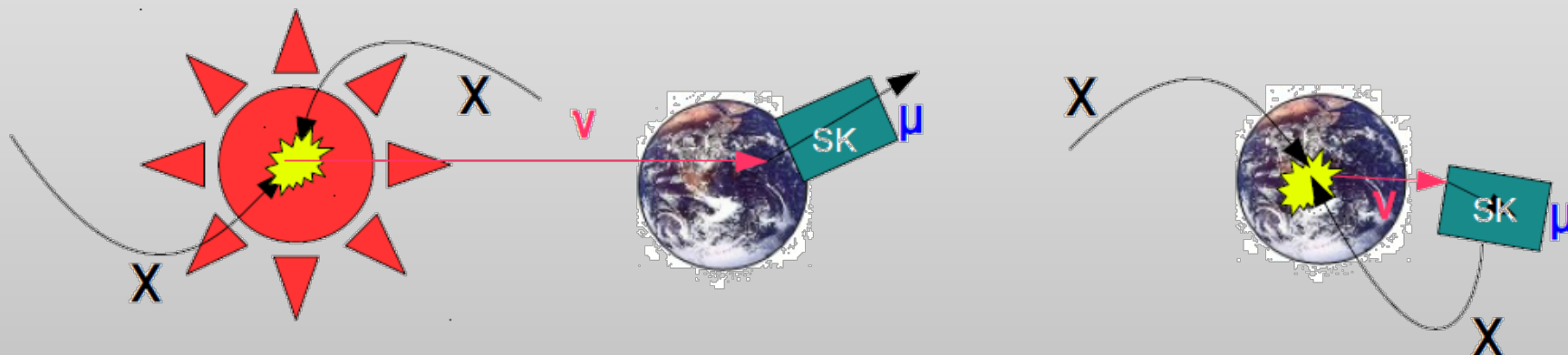
透過率の現状

Cherenkov Light Left at 20 m for Gd Water in 15 m³ Tank



暗黒物質探索

- Self-annihilationにより探索
 - Directional fluxによる探索



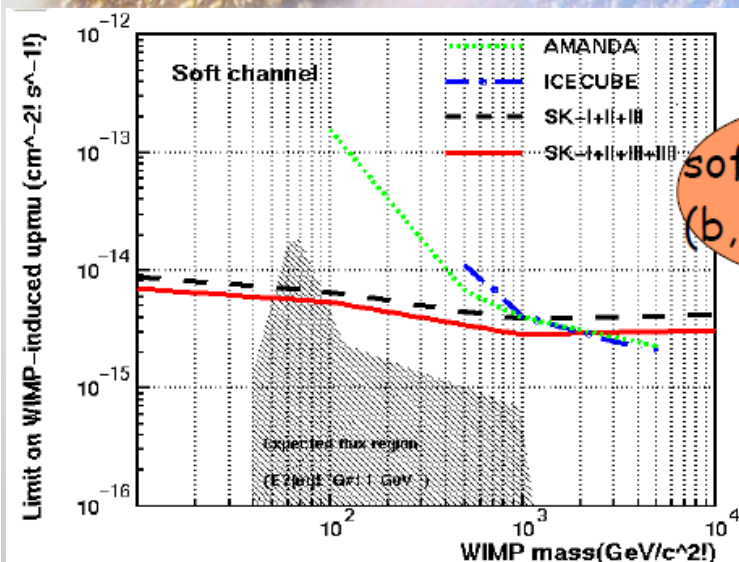
太陽内での散乱(SD), 地球内での散乱(SI) による減速過程があるので、散乱断面積 $\sigma_{\chi-p}$ に対する制限がでる

- Diffuse fluxによる探索

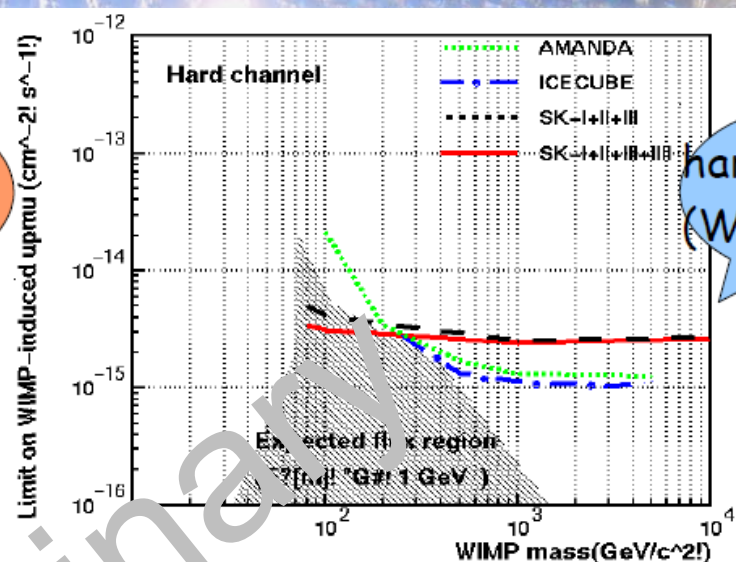
dark halo からの $\chi + \chi \rightarrow \nu + \bar{\nu}$ を直接

対消滅断面積・速度分布 $\langle\sigma_A v\rangle$ に対する制限がでる

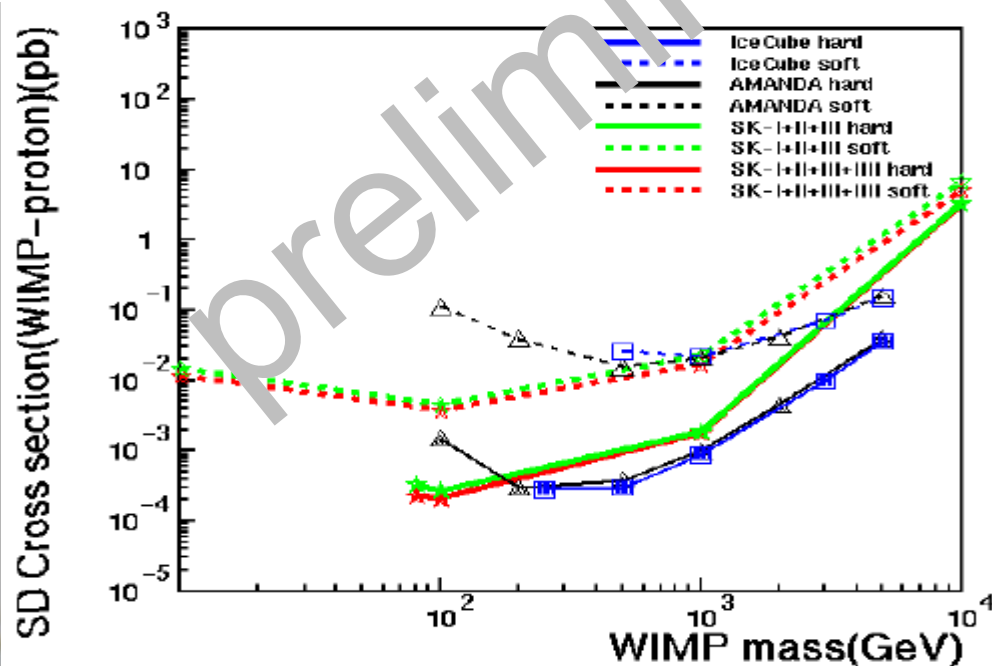
太陽方向探索 SK-I+II+III+IV



soft channel
($b, b\text{-bar}$)

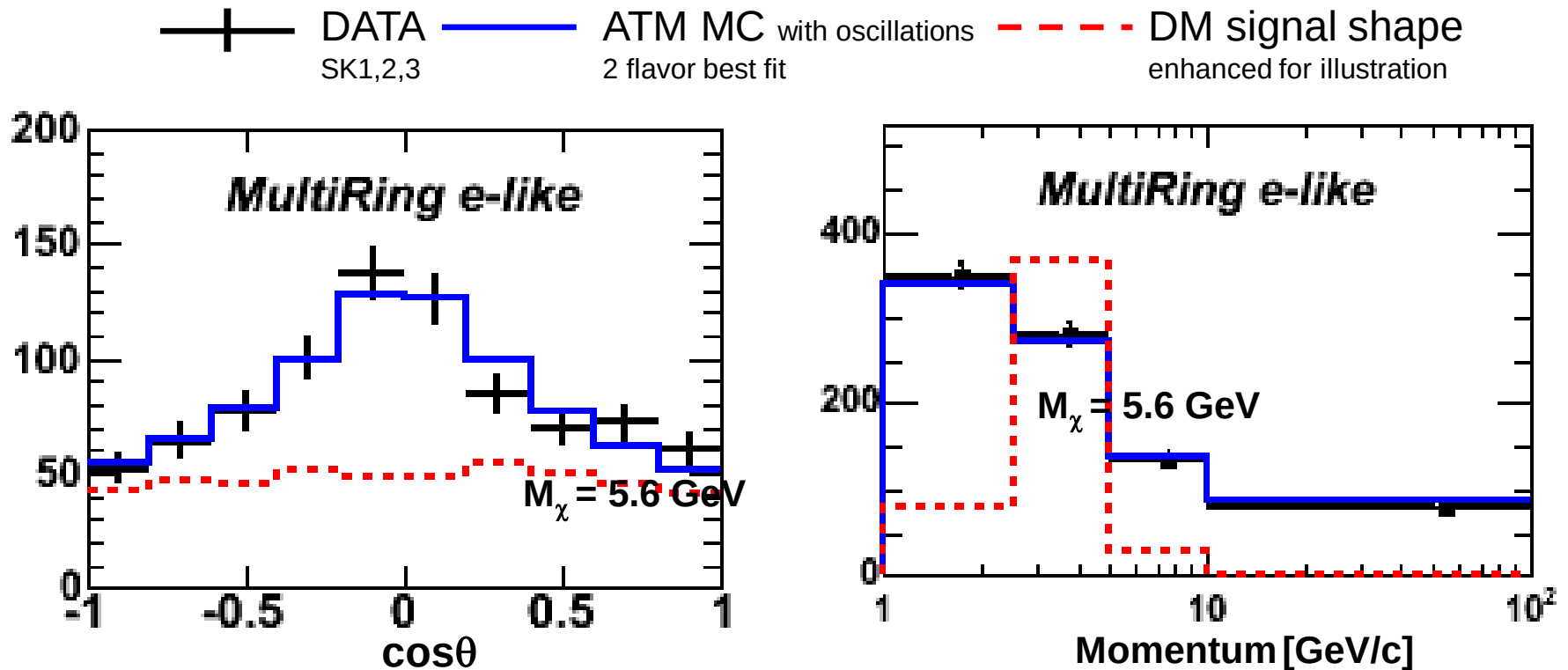


hard channel
(W^+, W^-)



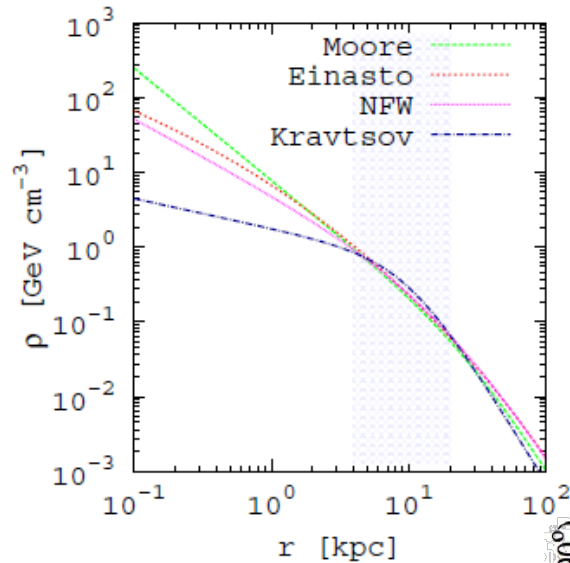
背景探索

- Diffuse signal (大気ニュートリノsample使用)
 - Isotropic in zenith angle
 - Mono-energetic $E_\nu = M_\chi$



MC+DM signal fitting → upper limit

銀河中心に暗黒物質多い



- NFW halo profile

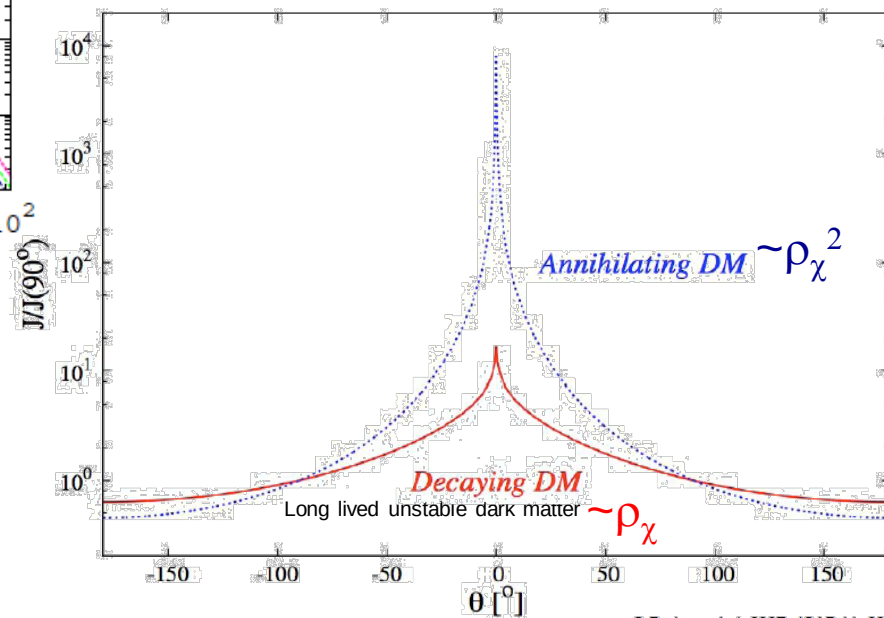
$$\rho_{\text{DM}}(r) = \frac{\delta_c \rho_{\text{crit}}}{(r/r_s)(1 + r/r_s)^2}$$

$\delta_c = \delta_c(M)$: (characteristic halo density),

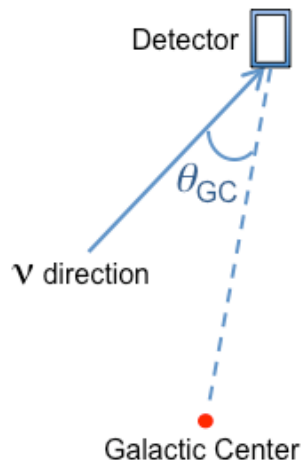
$r_s = r_s(M)$: (scaling radius),

$\rho_{\text{crit}} = \frac{3H_0^2}{8\pi G} \approx 1.8 \times 10^{11} h^2 M_\odot/\text{Mpc}^3$: (臨界密度),

$c_{\text{vir}} \equiv \frac{r_{\text{vir}}(M)}{r_s(M)}$: (concentration parameter).



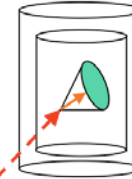
銀河中心方向
にピーク



銀河中心方向に対する角度分布でみてfit するべし

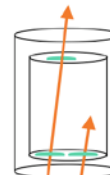
DM signal illustration

FC



—+— DATA
SK-I+II+III
— OSC ATM MC

UPMU

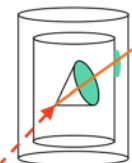


- - - NON-OSC
ATM MC

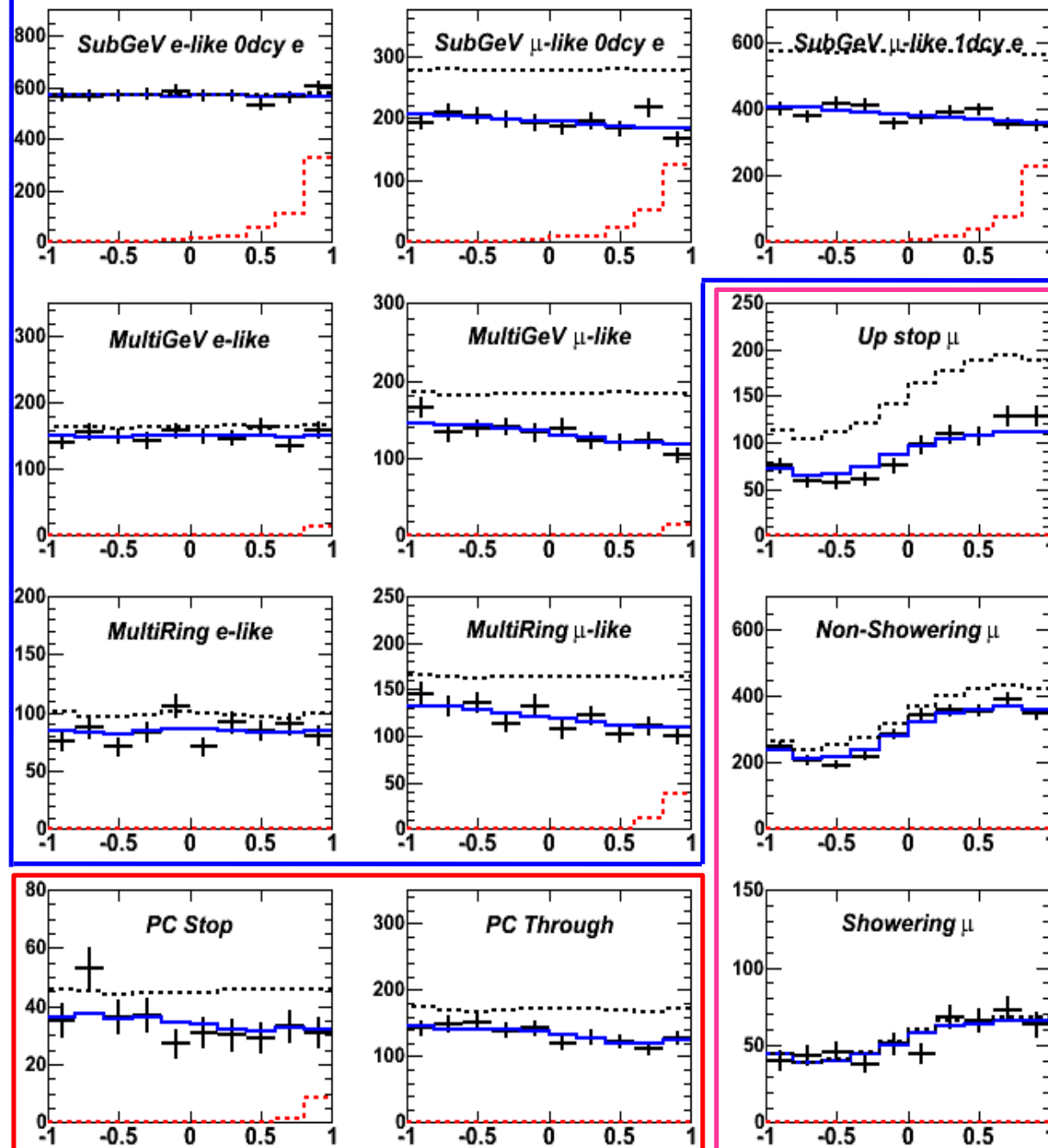
- - - DM signal
shape
enhanced for illustration

M_χ
= 1.3 GeV

PC



Assuming
 $\phi(\nu_e) = \phi(\nu_\mu) = \phi(\nu_\tau)$
for WIMP signal



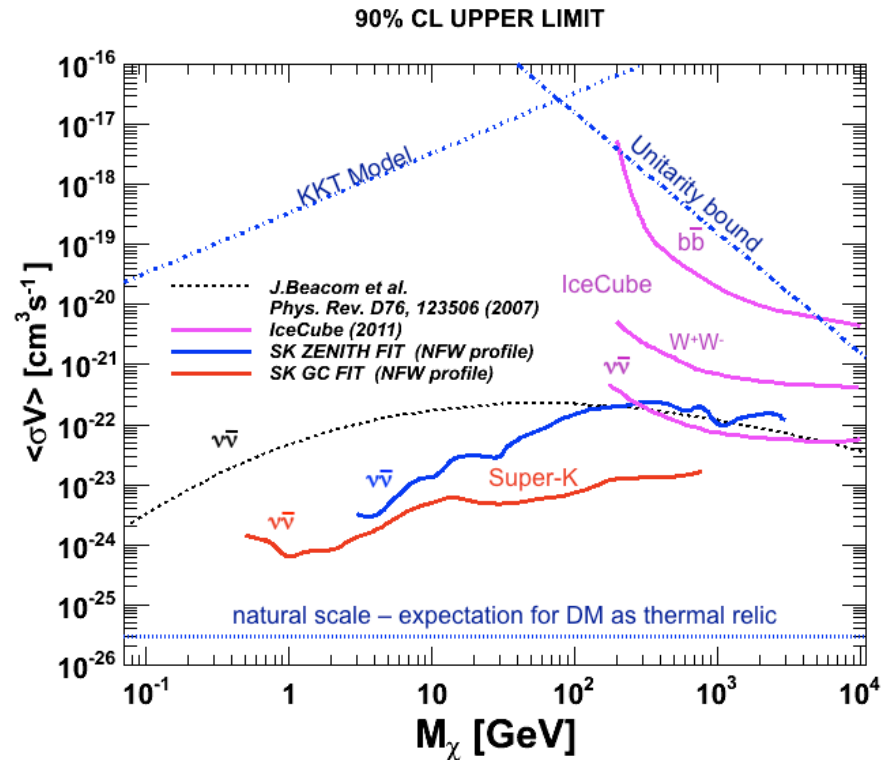
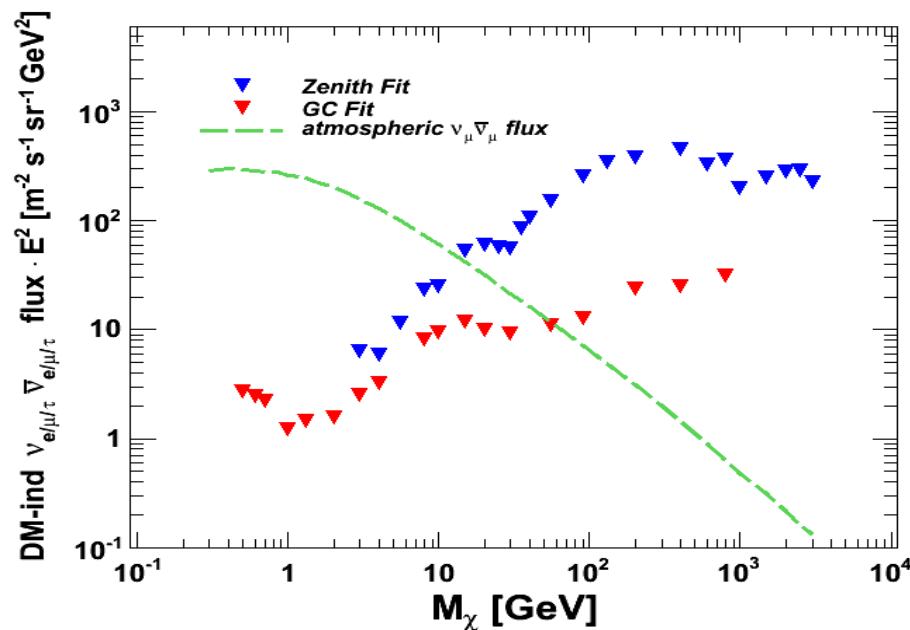
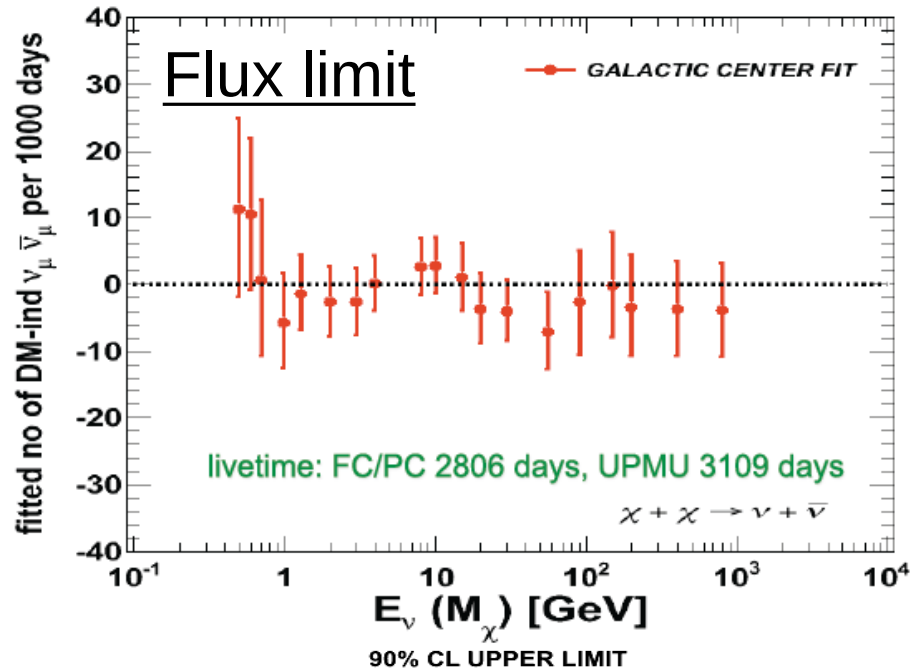
$\cos\theta_{GC}$

Limits (SK-I+II+III)

対消滅断面積limit

$$\frac{d\phi_{\Delta\Omega}}{dE} = \frac{\langle \sigma_A \cdot V \rangle}{2} J_{\Delta\Omega} \frac{R_{sc} \rho_{sc}^2}{4\pi \cdot m_\chi^2} \frac{dN}{dE}$$

$J_{\Delta\Omega}$ integrated intensity over all sky related to DM halo density profile



Status

- SK-IV進化しながら一生懸命稼働中
 - 温度コントロールによる水質安定化
- 大気ニュートリノ
 - SK-IV順調に統計蓄積, 解析方法の改良(anti- ν)
- 太陽ニュートリノ
 - SK-IVで3.5MeV ^8B ニュートリノの検出, Ariadone
- 核子崩壊
 - SK-IVでも未発見、Efficiencyの見直し中
- 超新星背景ニュートリノ
 - SK-I+II+III でのリミット
 - EGADSによるGd実証実験進行中
- WIMP探索
 - SK-I+II+III Diffuse新解析によるリミット更新

査定金額	いづらか
使用用途	物理学のため

おしまい

Additional Heat Exchanger coming in Feb. 2012

The bottom water temperature is fed back to the valve which control the cooling water flow

