



Double Chooz実験による ニュートリノ振動解析の最新結果

東北大学ニュートリノ科学研究センター
准教授・末包文彦

2011.11.17
@東京大学素粒子国際センター

内容

- * ニュートリノ振動
- * 原子炉ニュートリノ振動実験
- * DoubleChooz実験
- * θ_{13} 解析
- * 他の実験との関係
- * まとめ

Motivation

CKM mixing matrix

$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \\ b' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.9743 & 0.2253 & 0.0035 \\ 0.2252 & 0.9735 & 0.041 \\ 0.0086 & 0.040 & 0.9992 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix}$$

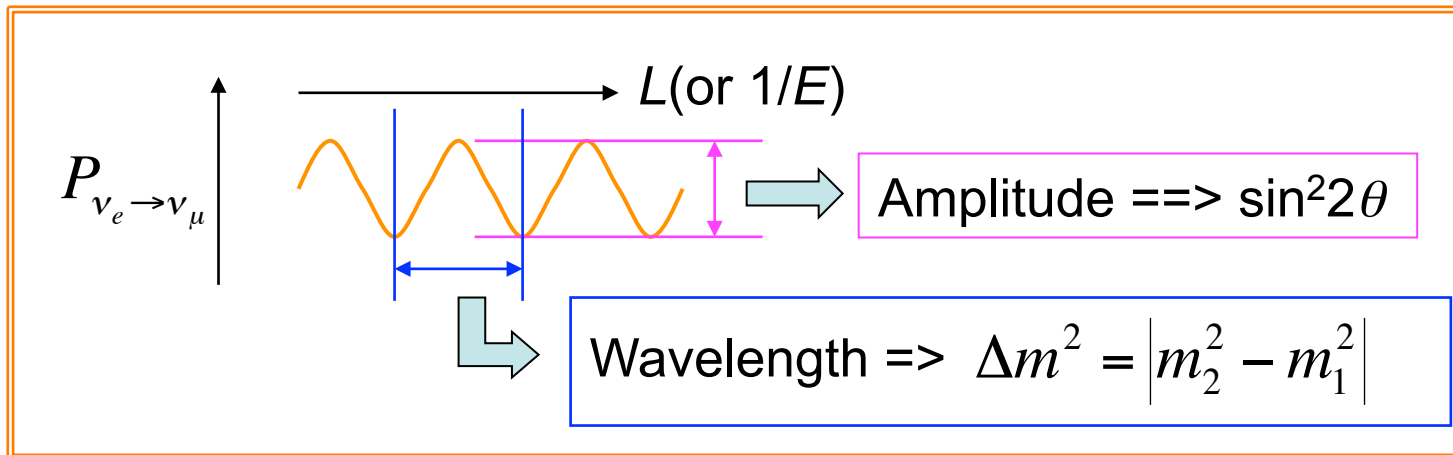
MNS mixing matrix before T2K and DC

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} 0.8 & 0.5 & \sin\theta_{13} < 0.2 \\ 0.4 & 0.6 & 0.7 \\ 0.4 & 0.6 & 0.7 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

- * MNS Matrix is poorly known → Need studies.
- * Especially size of θ_{13} is not known.

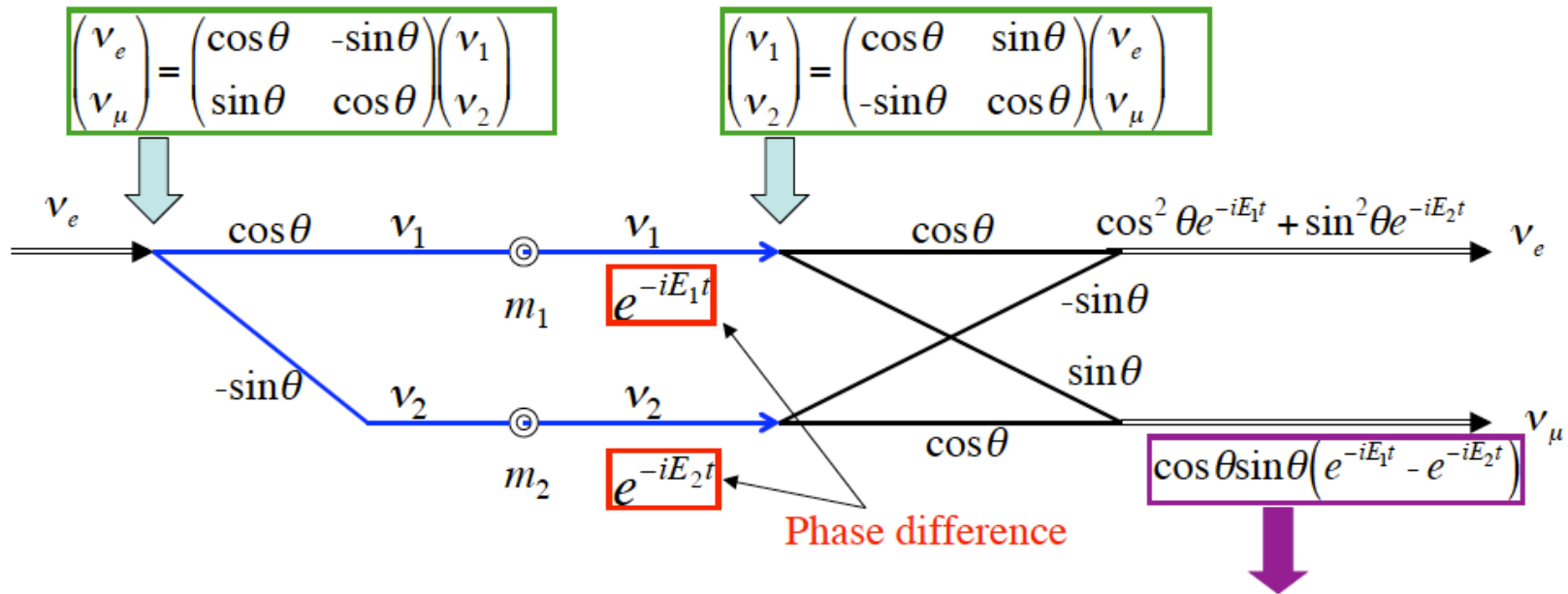
Mixing can be measured by ν oscillation

$$P_{\nu_e \rightarrow \nu_\mu} = \sin^2 2\theta \sin^2 \frac{\Delta m^2}{4E} L$$



Mechanism of ν Oscillation

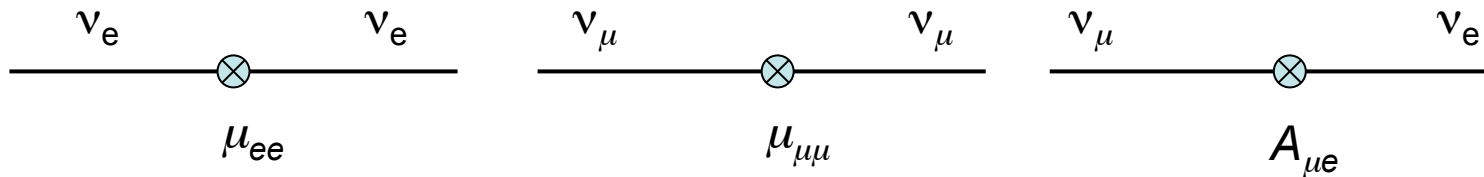
Charged lepton \equiv mass eigenstate
Simplified view.



$$P(\nu_e \rightarrow \nu_\mu) \sim \left| \cos\theta\sin\theta(e^{-iE_1 t} - e^{-iE_2 t}) \right|^2 = \sin^2 2\theta \sin^2 \frac{(E_2 - E_1)t}{2}$$

$$\xrightarrow[\substack{\text{assume } p_1=p_2 \\ m \ll E}]{\quad} \sin^2 2\theta \sin^2 \frac{(m_2^2 - m_1^2)L}{4E}$$

Origin of *Neutrino* Mass and Mixing Angle



運動方程式は、

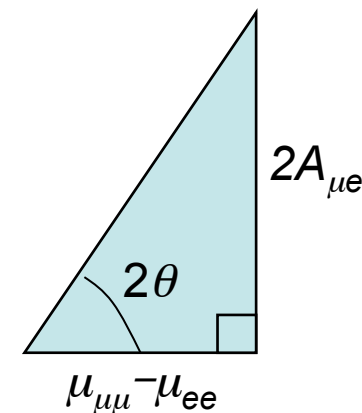
$$i \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mu_{ee} & A_{\mu e} \\ A_{\mu e} & \mu_{\mu\mu} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \end{pmatrix}$$

==> 質量固有状態は、

$$\begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \end{pmatrix}$$

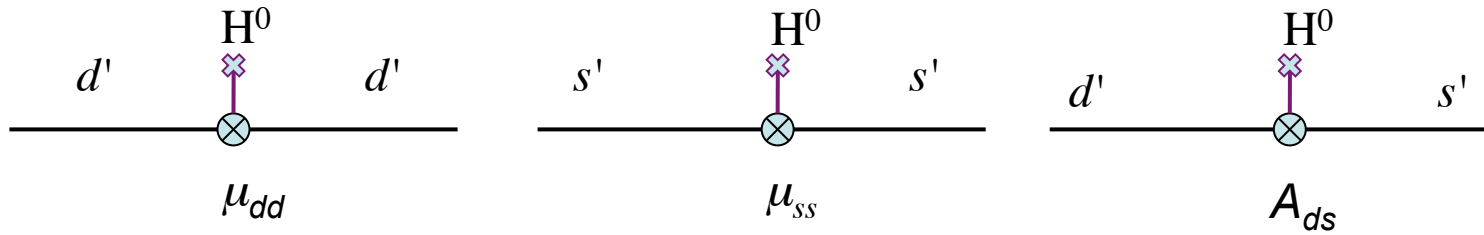
ただし、

$$\tan 2\theta \equiv \frac{2A_{\mu e}}{\mu_{\mu\mu} - \mu_{ee}} \quad \leftarrow \text{Mixing Angle}$$



$$\begin{cases} m_1 = \frac{\mu_{\mu\mu} + \mu_{ee}}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(\mu_{\mu\mu} - \mu_{ee})^2 + 4A_{\mu e}^2} \\ m_2 = \frac{\mu_{\mu\mu} + \mu_{ee}}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(\mu_{\mu\mu} - \mu_{ee})^2 + 4A_{\mu e}^2} \end{cases} \quad \leftarrow \text{Mass}$$

Origin of *Quark* Mass and Cabbibo Angle



運動方程式は、

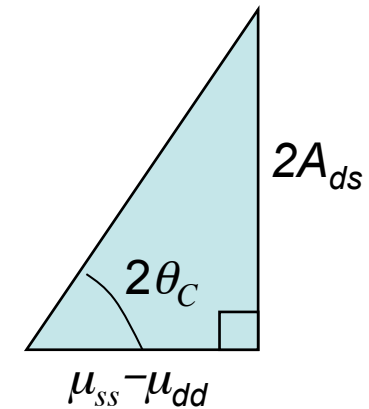
$$i \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} d' \\ s' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mu_{dd} & A_{ds} \\ A_{ds} & \mu_{ss} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d' \\ s' \end{pmatrix}$$

==> 質量固有状態は、

$$\begin{pmatrix} d \\ s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_C & \sin \theta_C \\ -\sin \theta_C & \cos \theta_C \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d' \\ s' \end{pmatrix}$$

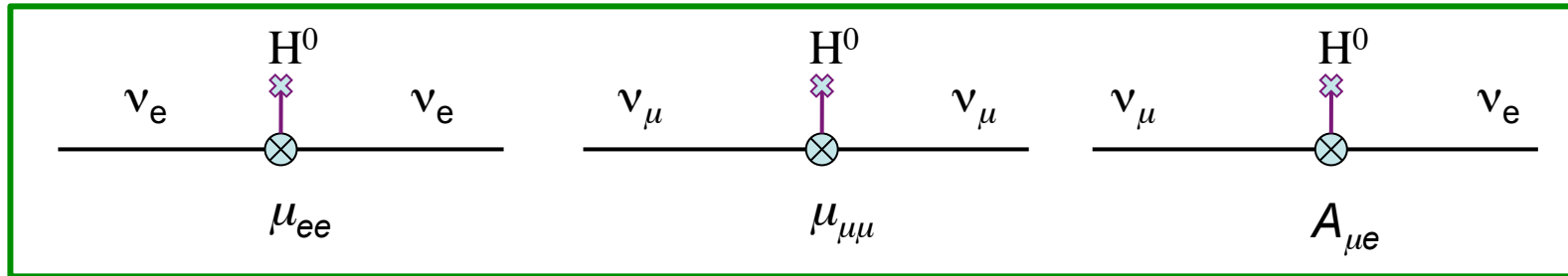
ただし、

$$\tan 2\theta_C \equiv \frac{2A_{ds}}{\mu_{ss} - \mu_{dd}} \quad \leftarrow \text{Cabbibo Angle}$$



$$\begin{cases} m_d = \frac{\mu_{ss} + \mu_{dd}}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(\mu_{ss} - \mu_{dd})^2 + 4A_{ds}^2} \\ m_s = \frac{\mu_{ss} + \mu_{dd}}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(\mu_{ss} - \mu_{dd})^2 + 4A_{ds}^2} \end{cases} \quad \leftarrow \text{Mass}$$

Origin of *Neutrino* Transition Amplitudes



Higgs ?

Could be. But theorists do not like it because, $m_{ee}, m_{\mu\mu}, A_{\mu e} \lll m_{dd}, m_{ss}, A_{ds}$

Then what? Seesaw Mechanism?, ...?

→ Purpose of ν oscillation experiment is to measure the transition amplitudes and think of its origin.

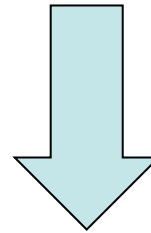
3 Flavor Oscillation

3 mixing angles + 1 phase

Mixing

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{13} & 0 & s_{13}e^{i\delta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13}e^{-i\delta} & 0 & c_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

2 mass square differences



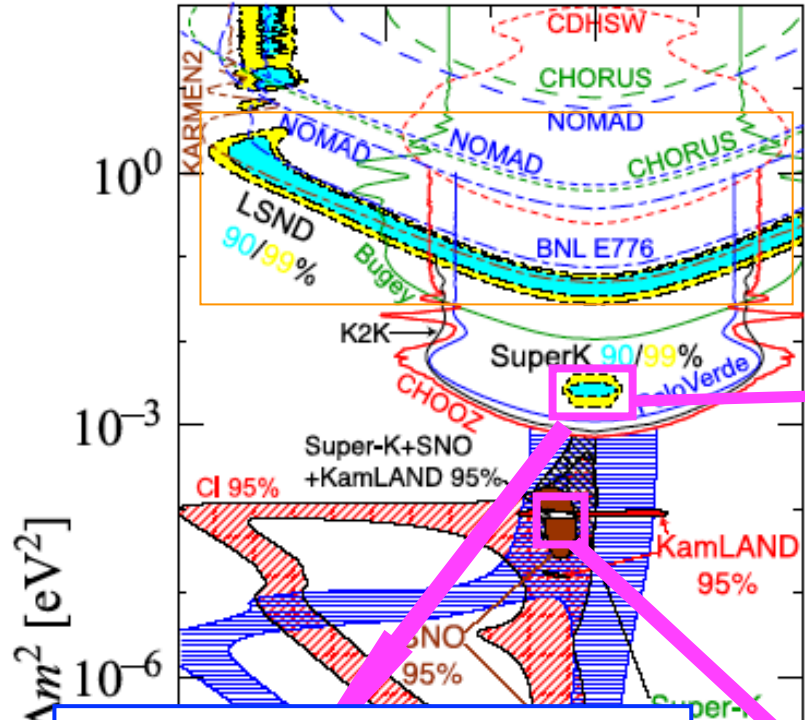
Oscillation formula

$$P(\nu_\alpha \rightarrow \nu_\beta) = \delta_{\alpha\beta} - 4 \sum_{i>j} \text{Re}(U_{\alpha i}^* U_{\beta i} U_{\alpha j} U_{\beta j}^*) \sin^2 \Delta_{ij} \mp 2 \sum_{i>j} \text{Im}(U_{\alpha i}^* U_{\beta i} U_{\alpha j} U_{\beta j}^*) \sin 2\Delta_{ij}$$

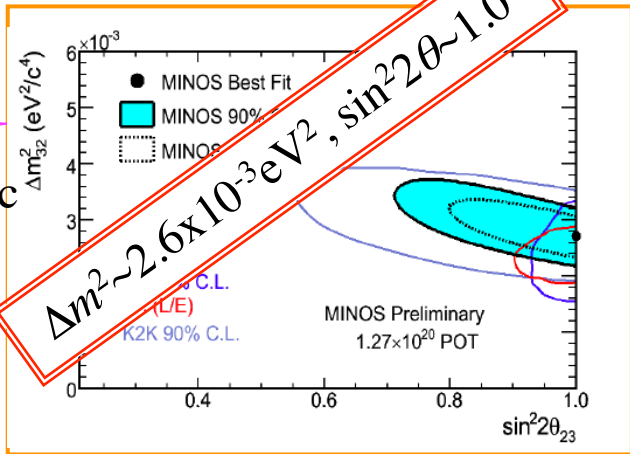
$$\theta_{12}, \theta_{23}, \theta_{13}, \Delta m^2_{12}, \Delta m^2_{23}, \delta$$

Before T2K. DC

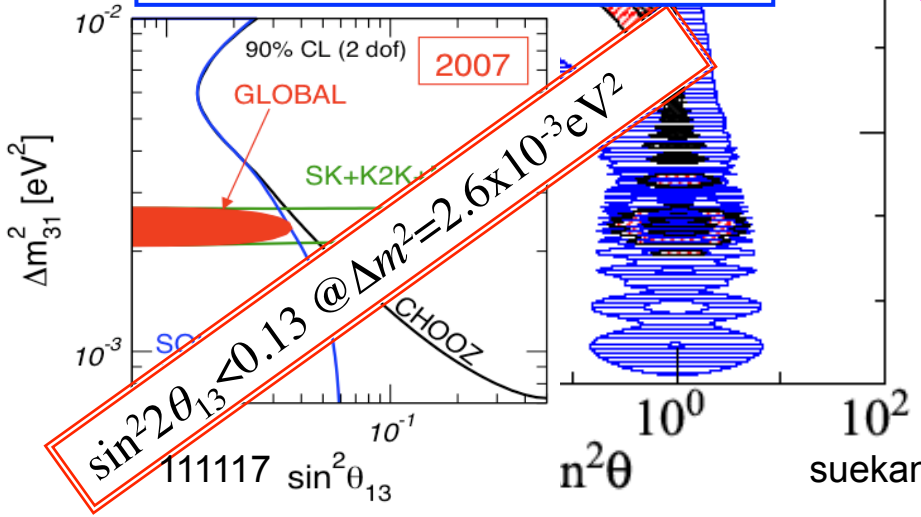
$$\theta_{12}, \theta_{23}, \theta_{13}, \Delta m^2_{12}, \Delta m^2_{23}, \delta$$



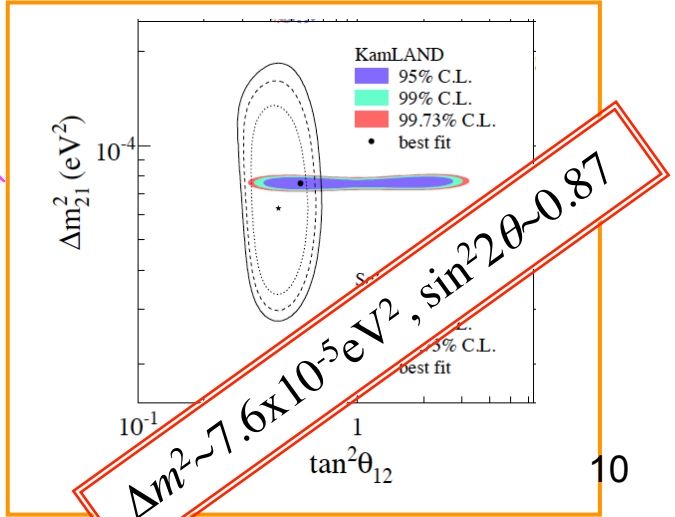
1 upper limit measured



Atmospheric Accelerator



Solar Reactor



θ₁₃ 測定的重要性

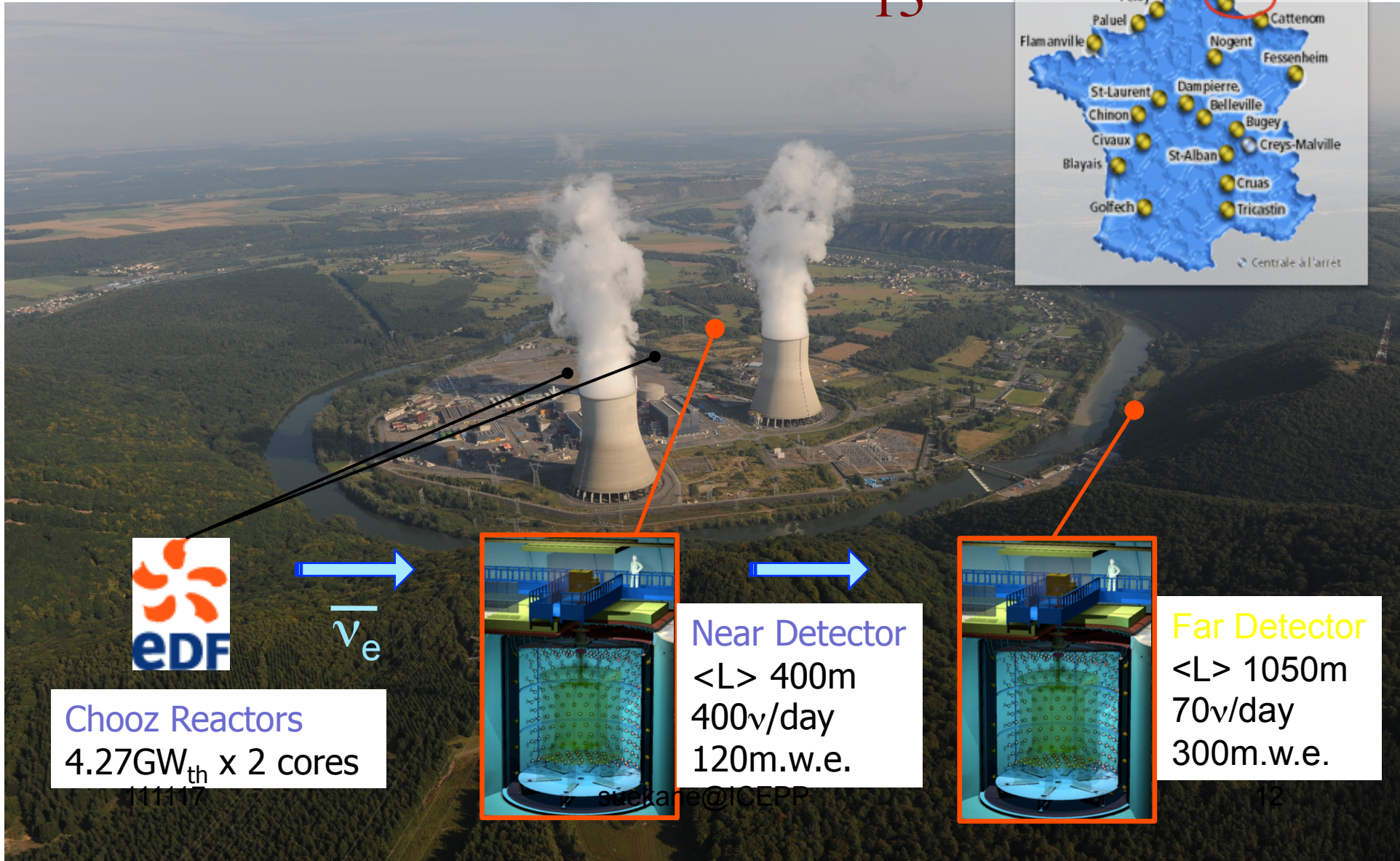
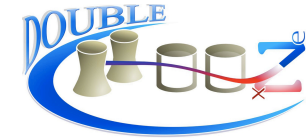
- * It is one of the fundamental parameters.
- * Future ν experiments strongly depends on θ₁₃.

Parameter	Measurement Method
δ _{CP}	$\left[P_A(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) - P_A(\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e) \right]_{@ \Delta_{23}} \sim 0.1 \sin 2\theta_{13} \sin \delta$
θ ₂₃ degeneracy	$\left[P_A(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) + P_A(\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e) \right]_{@ \Delta_{23}} \sim 2 \sin^2 \theta_{23} \sin^2 2\theta_{13}$
Mass Hierarchy	$\left[P_A(\nu_\mu \rightarrow \nu_e; L) + P_A(\nu_\mu \rightarrow \nu_e; L') \right]_{@ \Delta_{23}} \sim \text{sign}(\Delta m_{23}^2)(L' - L) \sin^2 2\theta_{13}$ $P_R(\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e)_{@ \Delta_{12}} \sim 1 - 0.5 \sin^2 2\theta_{13} \left(\sin^2 \Delta_{31} + \tan^2 \theta_{12} \sin^2 \Delta_{32} \right)$

θ₁₃の値が分からないと先に進めない

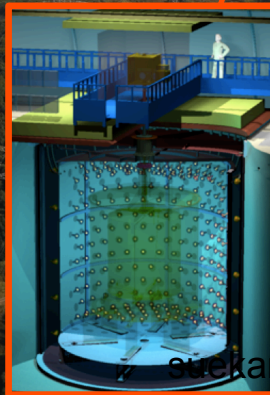
Double Chooz experiment

To measure Pure θ_{13}

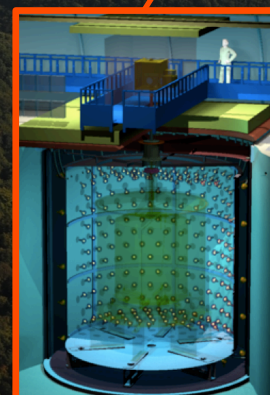


$\bar{\nu}_e$

Chooz Reactors
4.27GW_{th} x 2 cores

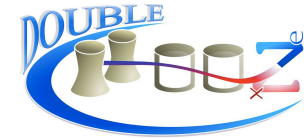


Near Detector
<L> 400m
400ν/day
120m.w.e.



Far Detector
<L> 1050m
70ν/day
300m.w.e.

Double Chooz collaboration



Brazil

CBPF
UNICAMP
UFABC



France

CEA/DSM/IRFU:
SPP
SPhN
SEDI
SIS
SENAC
CNRS/IN2P3:
APC
Subatech
IPHC
ULB



Germany

EKU Tübingen
MPIK Heidelber
TU München
U. Aachen
U. Hamburg



Japan

Tohoku U.
Tokyo Inst. Tech.
Tokyo Metro. U.
Niigata U.
Kobe U.
Tohoku Gakuin U.
Hiroshima Inst
Tech.



Russia

INR RAS
IPC RAS
RRC Kurchatov



Spain

CIEMAT-Madrid



UK

Sussex

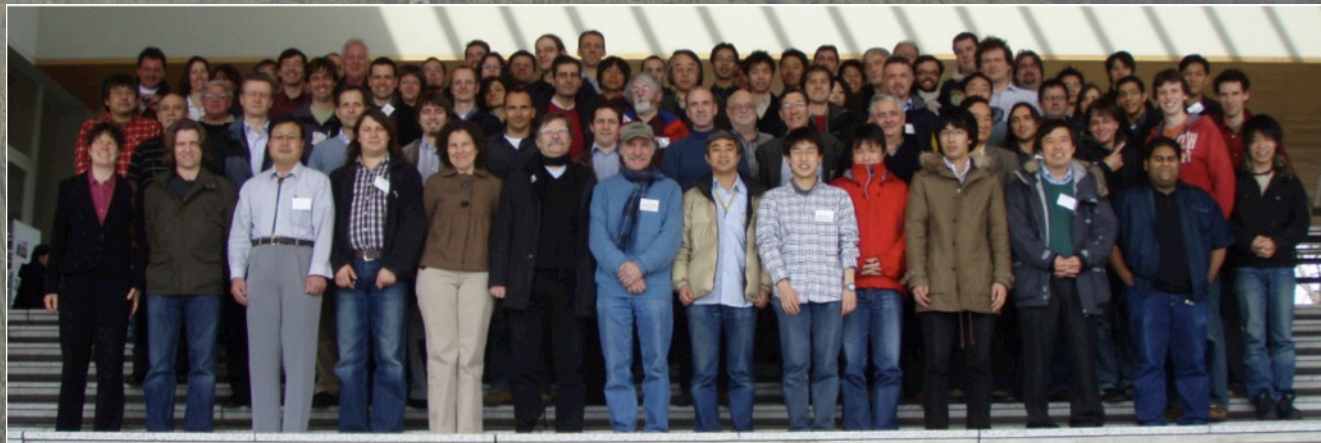


USA

U. Alabama
ANL
U. Chicago
Columbia U.
UCDavis
Drexel U.
IIT
KSU
LLNL
MIT
U. Notre Dame
Sandia National
Laboratories
U. Tennessee

Spokesperson: H. de Kerret (IN2P3)
Project Manager: Ch. Veyssière (CEA-Saclay)

Web Site: www.doublechooz.org/



DC-Japan



**東北大、東工大、首都大、新潟大、
神戸大、東北学院大、広島工大**

光電子増倍管システム、高電圧システム、
DAQ/monitorシステム、LEDキャリブレーションシステムなど担当

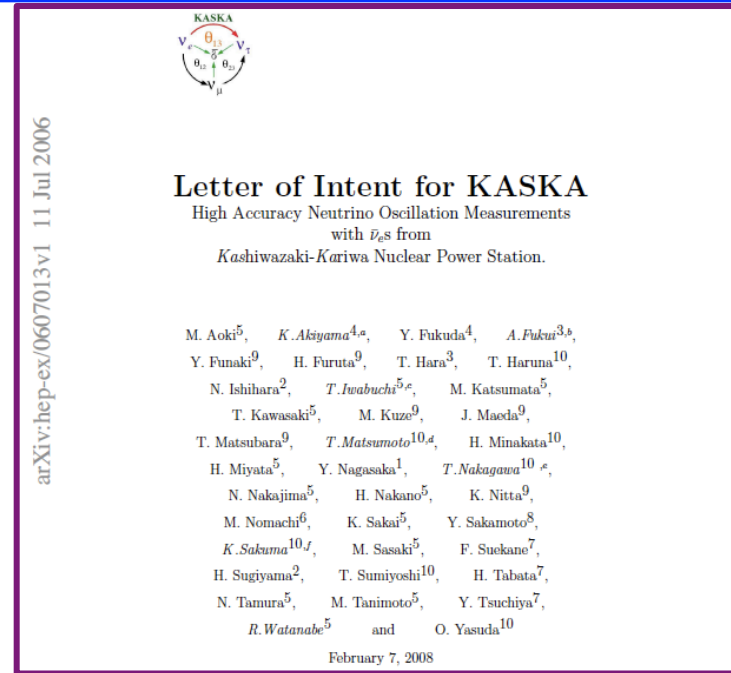
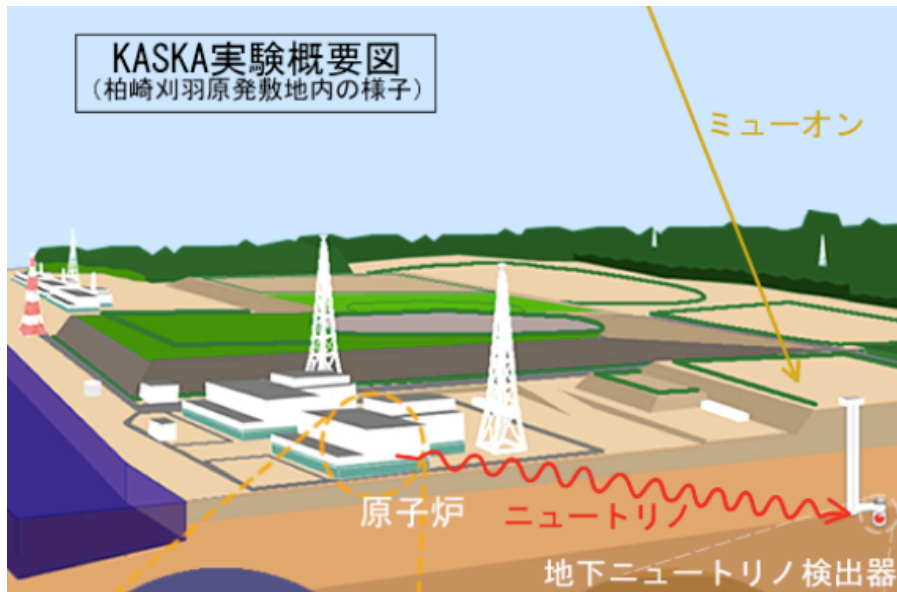
科研費補助金特別推進研究により参加

平成20年度 (2008年度) 特別推進研究 研究計画調書 (新規)

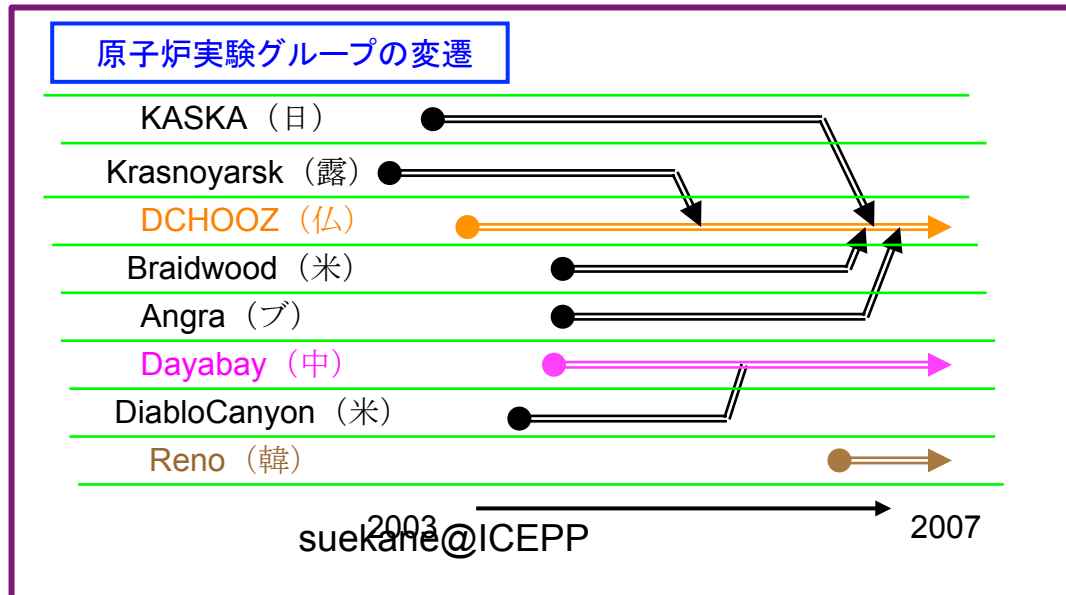
平成 19 年 11 月 6 日

新規・継続区分	新規	機関・整理番号	11301-0004
継続の場合の研究課題番号		研究計画最終年度 前年度の応募	該当しない (平成20年度が研究期間の 最終年度に当たる研究計画の課題番号を記入)
分担金の有無	有	系等の区分	理工系 (数物系科学)
研究代表者 氏名	(フリガナ)	スエカネ フミヒコ	
	(漢字等)	末包 文彦	
所属研究機関	(番号) 11301	東北大学	
部 局	(番号) 884	理学 (系) 研究科 (研究院)	
職	(番号) 27	准教授	
研究課題名	原子炉ニュートリノによるニュートリノ物理の新展開		
		研究経費	估田内訳 (千円)

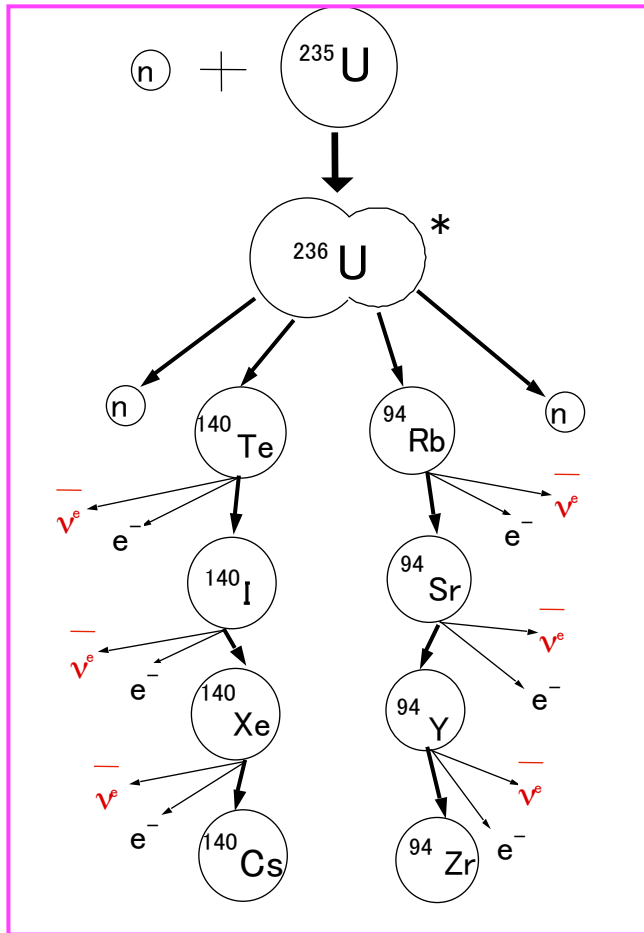
DCJは柏崎刈羽原発(世界最強)でKASKA実験を提案した. (2003~)



が, 2007年
DCに参加する
ことになった.

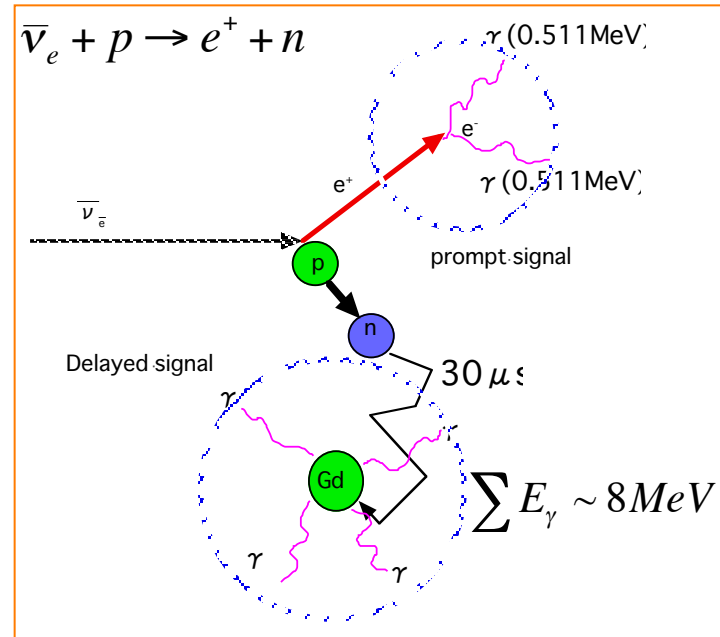


Reactor neutrino & Its detection

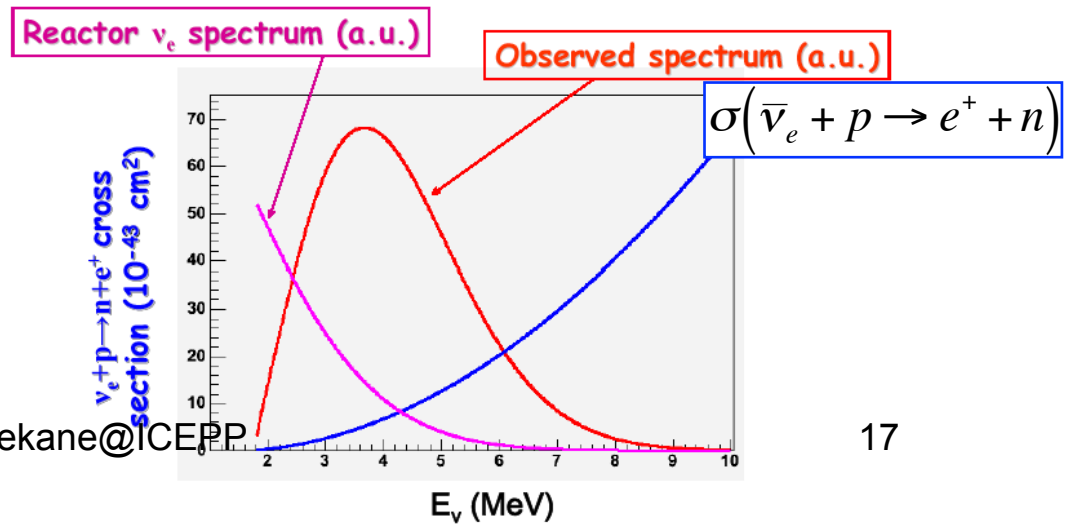


$\bar{\nu}$ are produced in β -decays of fission products.

$$\sim 6 \times 10^{20} \bar{\nu}_e / s / \text{reactor}$$

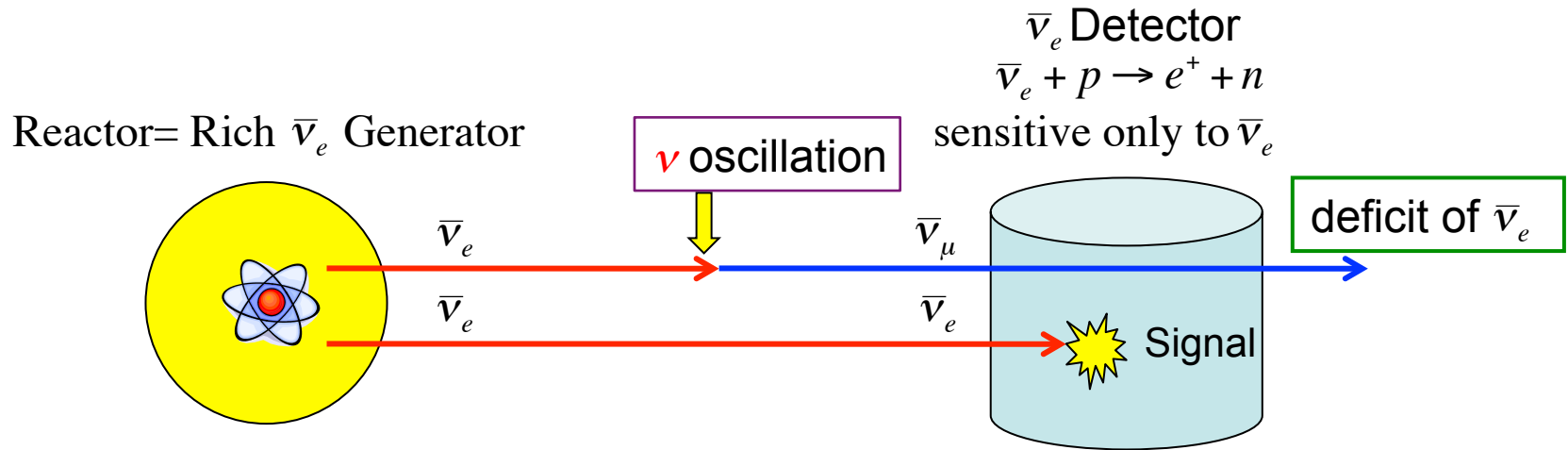


The $\bar{\nu}_e$ energy spectrum



suekane@ICEPP

How to measure θ_{13} by reactor neutrinos

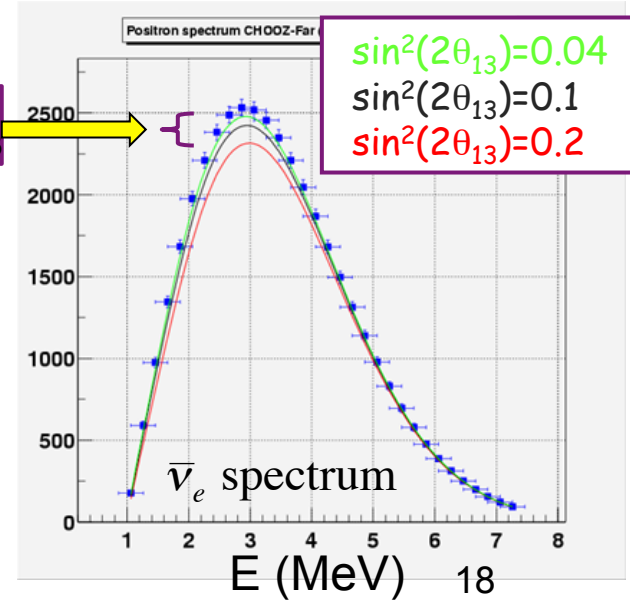


$1.5 \times 10^{21} \nu/s$
 @Chooz reactors

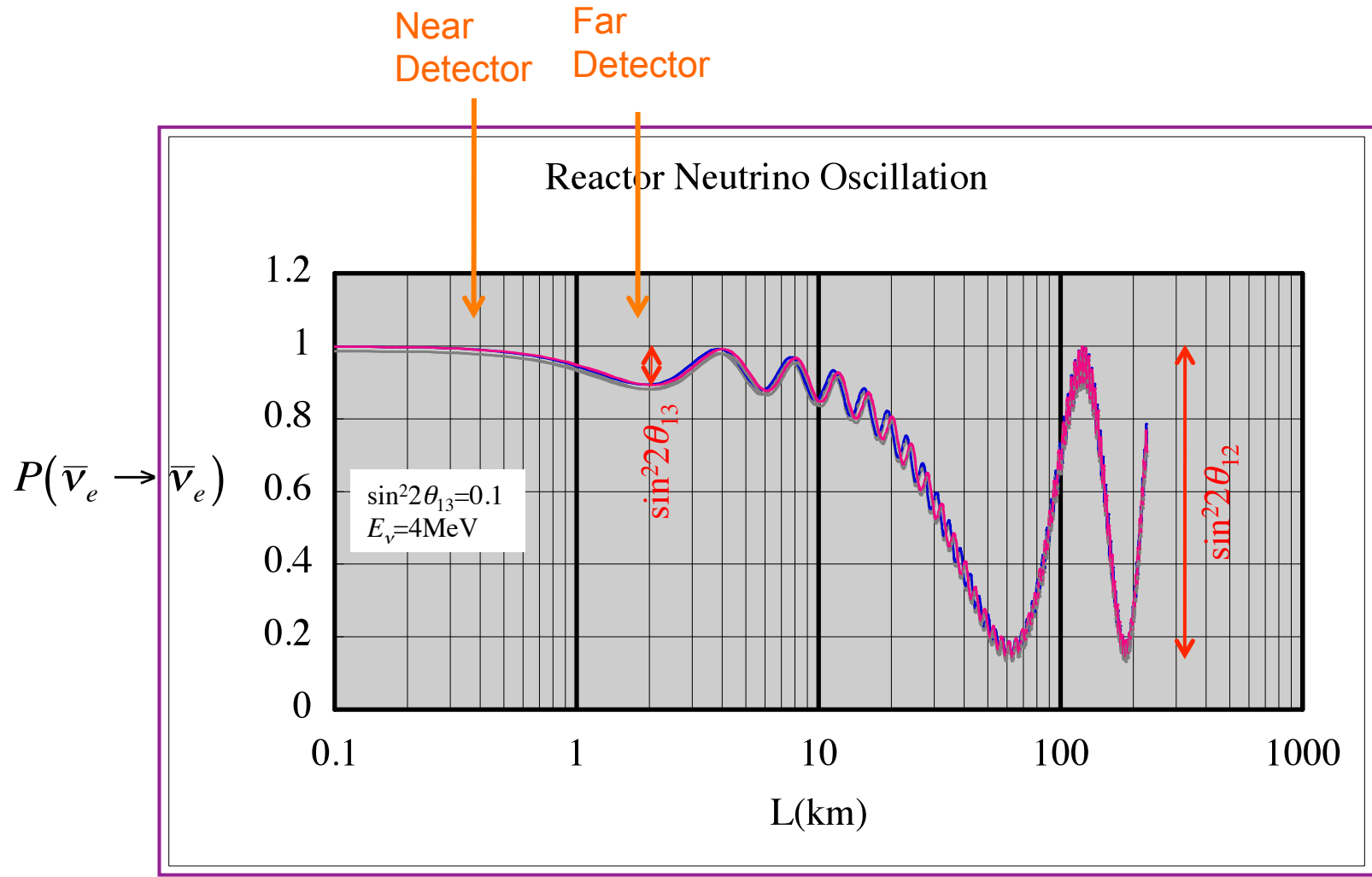
Deficit of $\bar{\nu}_e \propto \sin^2 2\theta_{13}$

$$P(\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e) = 1 - \sin^2 2\theta_{13}$$

The probability for $\bar{\nu}_e$ to remain $\bar{\nu}_e$



How to improve precision: 2 detector scheme



Ratio measurement Far/Near Detectors
=> Cancels most systematics

Main Components of DC Detector

Target ν :
10m³ Gd loaded Liquid Scintillator
8mm Acrylic Tank

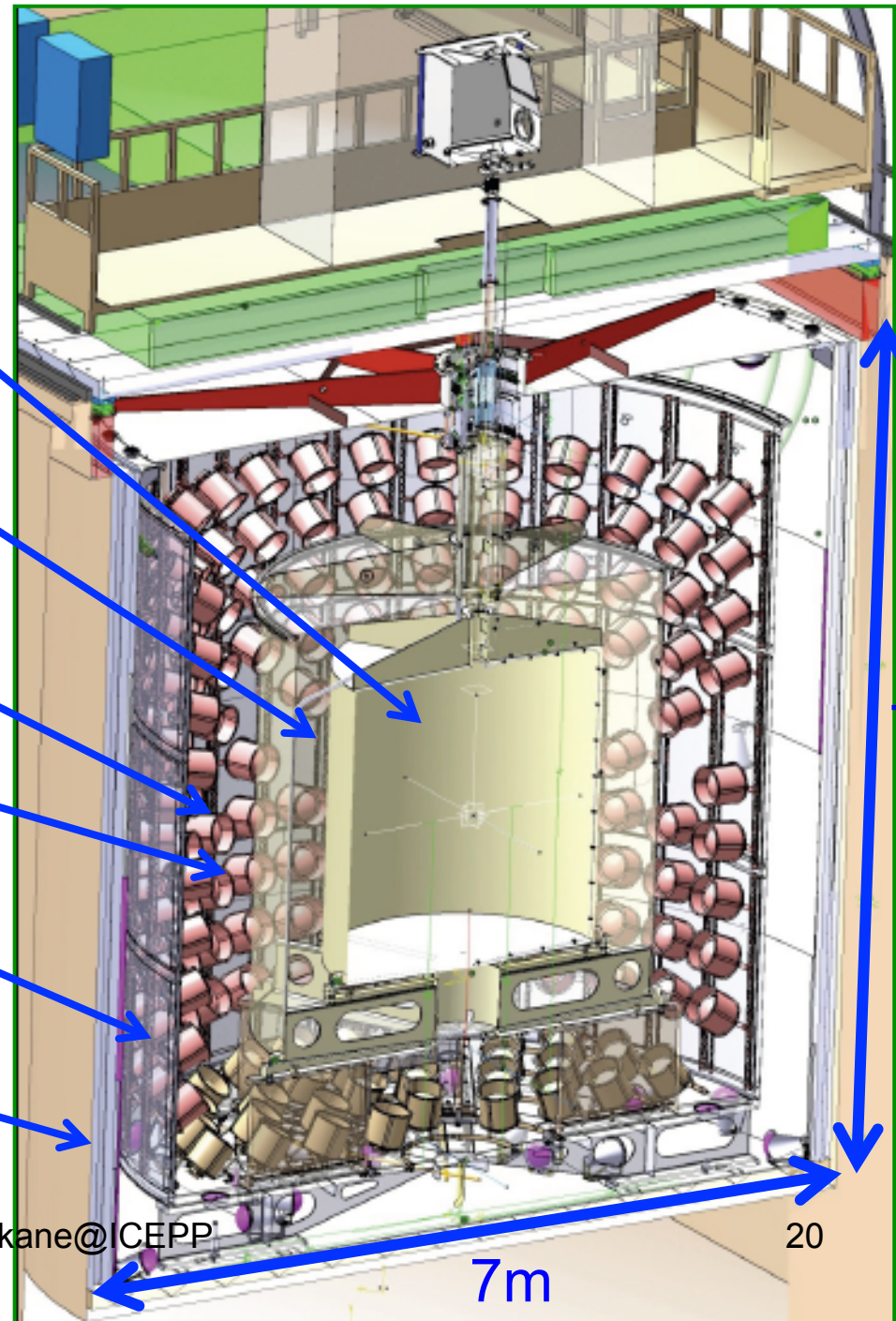
γ Catcher :
22m³ Liquid Scintillator
12mm Acrylic Tank

Light Detection:
390 Low BKG 10" PMTs

Buffer oil :
110m³ Paraffine Oil
3mm Stainless Steel Tank

Inner Muon Veto :
90m³ LS + 78 8" PMTs

Iron shield:
15cm



111117

suekane@ICEPP

7m

20

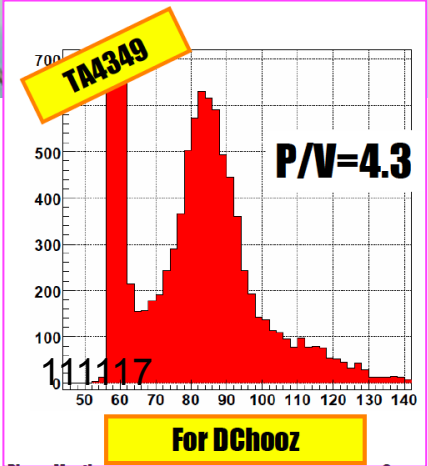
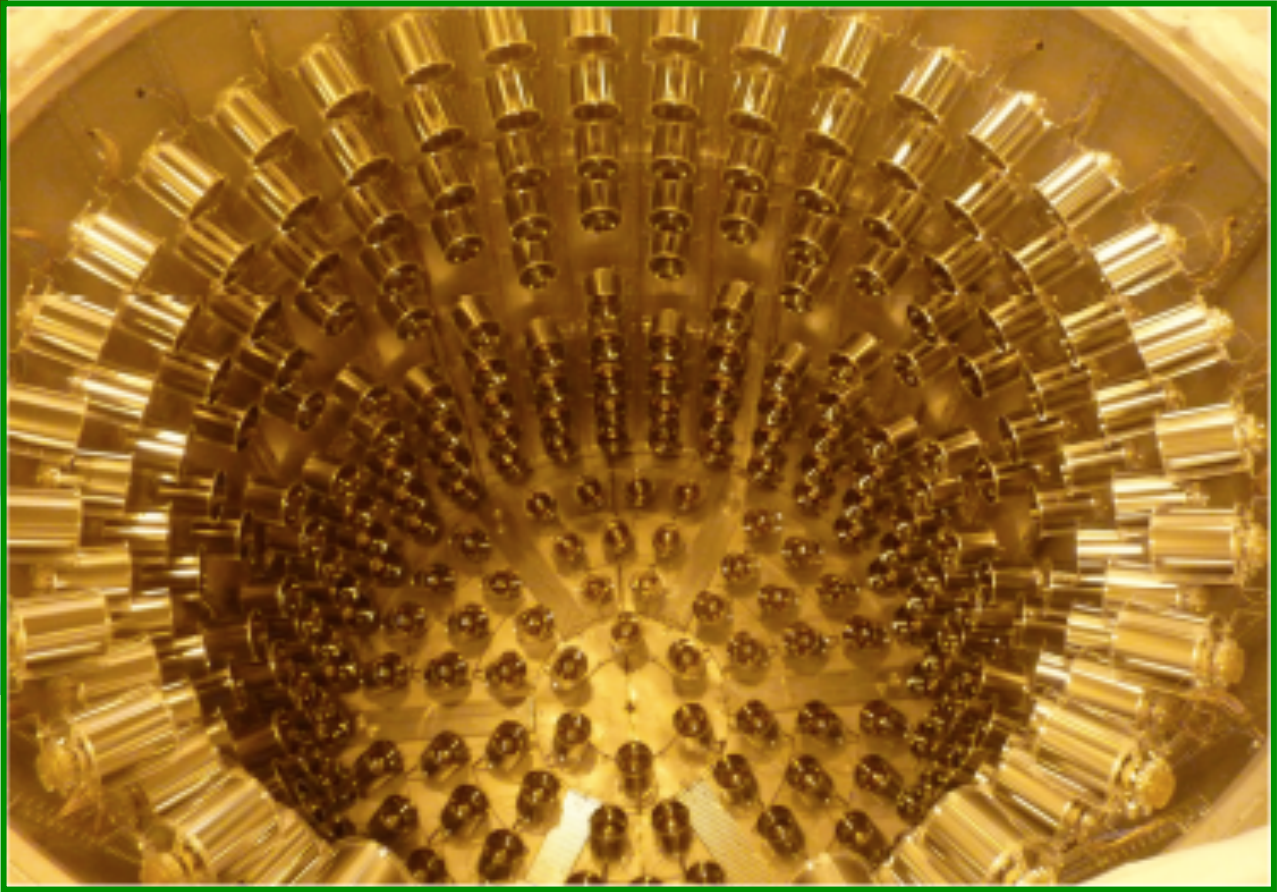
7m

Milestone

(2008年5月~) 2010年10月	後置検出器建設完了
2010年12月	液体シンチレータ注入完了
2011年4月	後置検出器試運転完了 物理データ取得開始
2011年7月	前置検出器建設に向け掘削開始 Outer Veto運転開始
2011年11月	最初のニュートリノ振動解析結果
2012年6月 (予定)	前置検出器ラボ完成
2013年初頭 (予定)	前置検出器完成 2基の検出器による測定開始

日本グループ担当

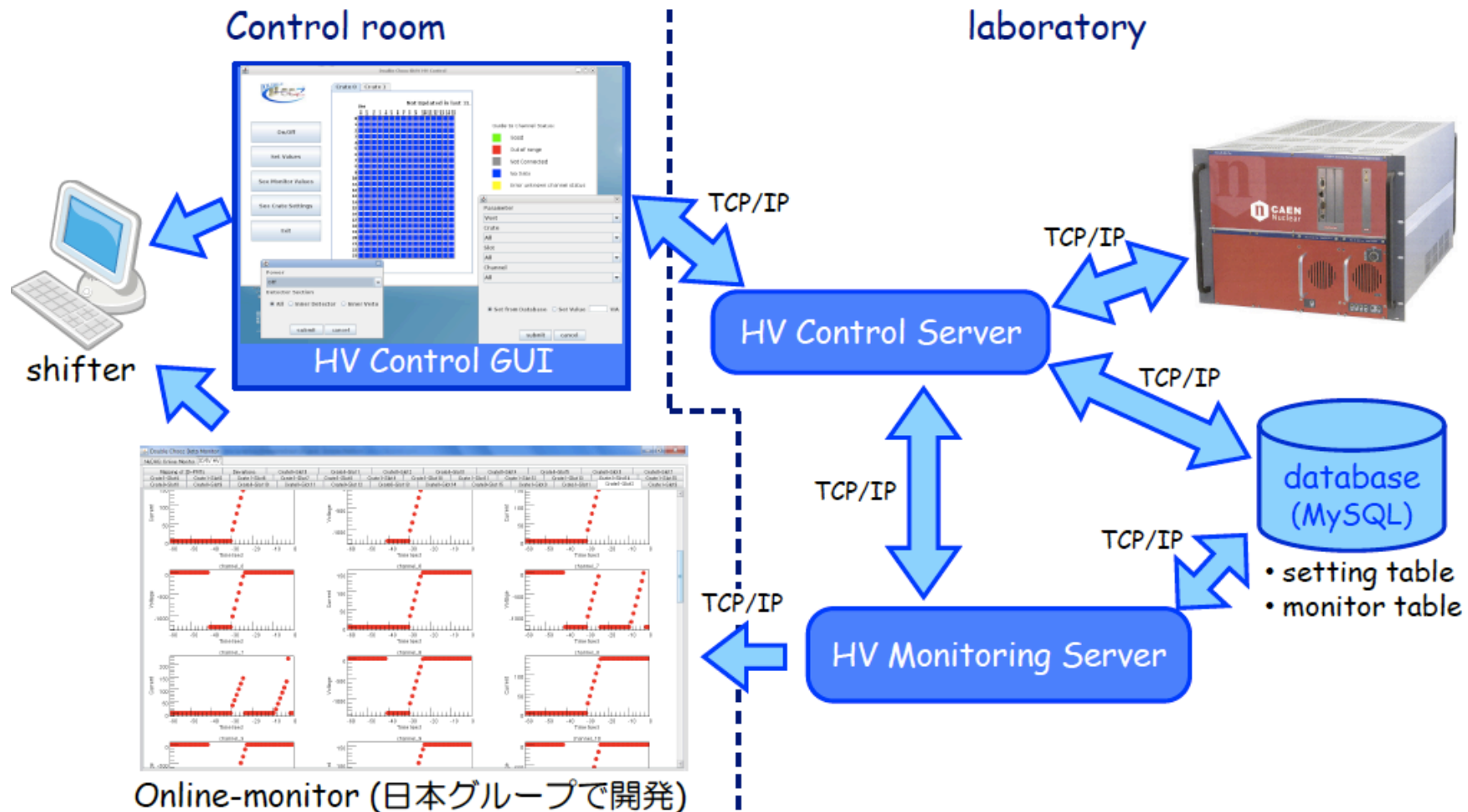
Large & Low back ground PMTs



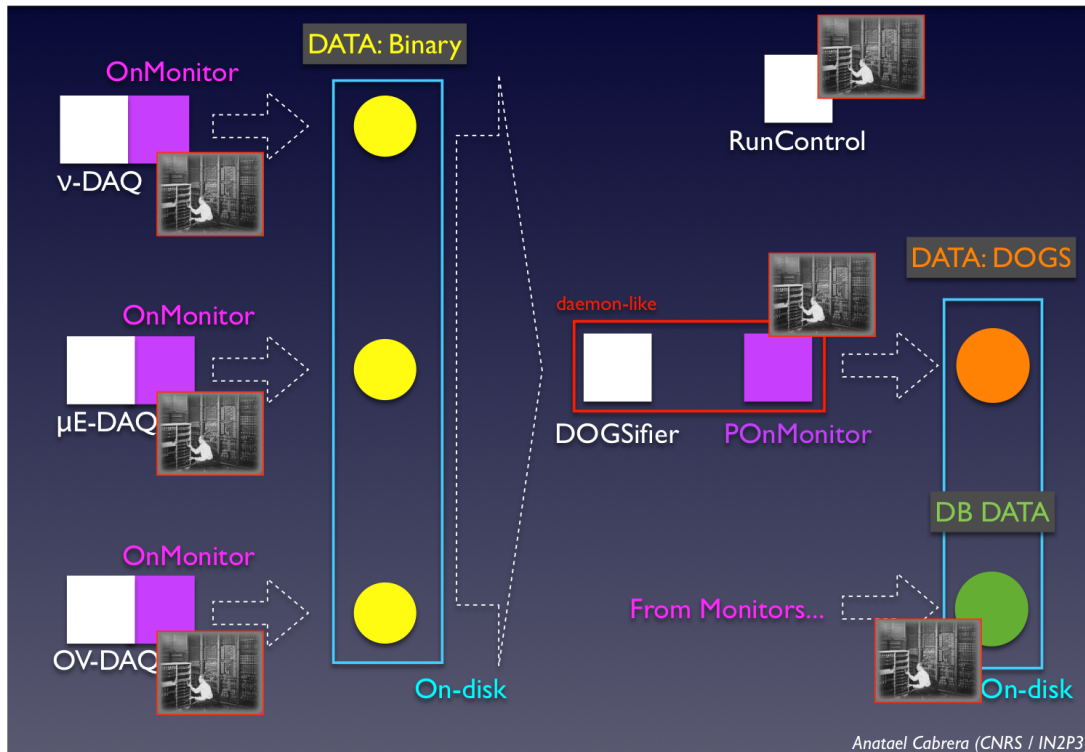
1pe peak suekane@ICEPP

日本グループ担当 高電圧装置 system

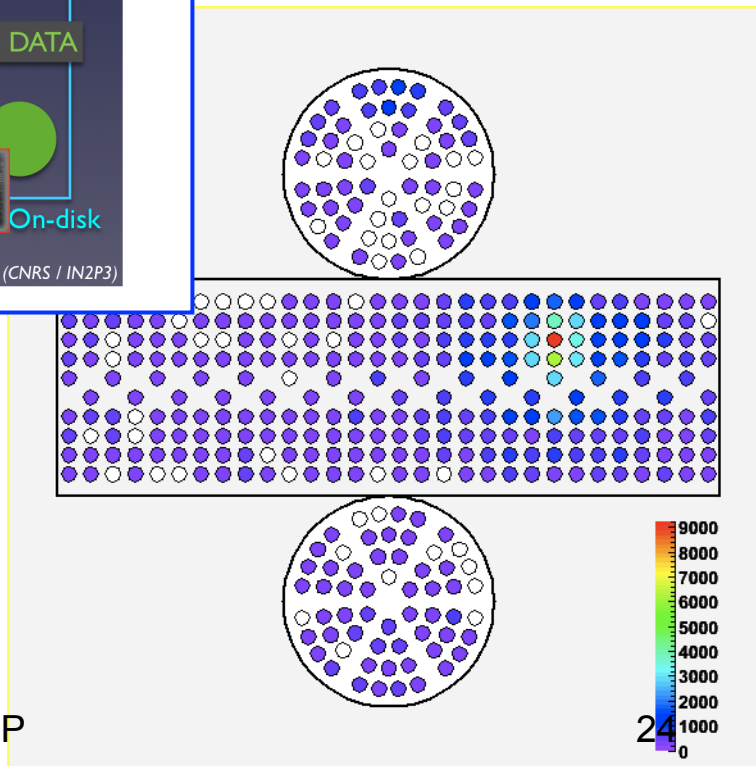
- 二つのserver process (controlとmonitoring)とGUIで構成
- 各間の通信はソケットによるTCP通信で行う



Online: data-wise

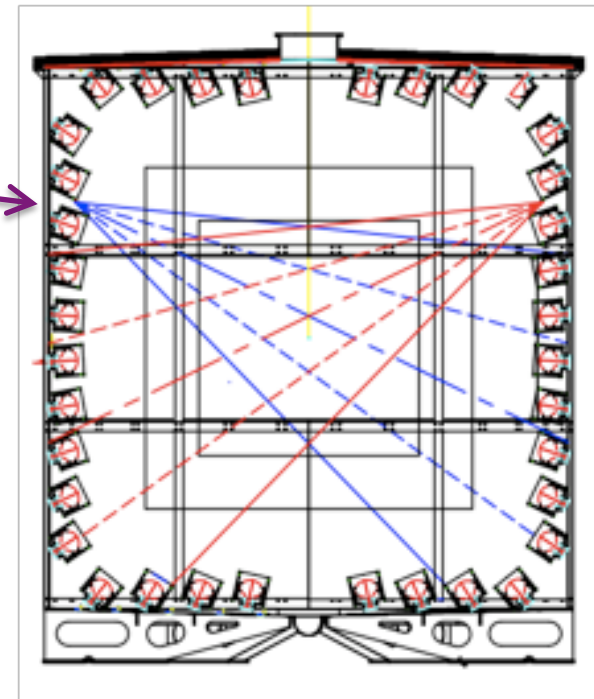


Event display



DAQ & online monitor
日仏で開発

ライトインジェクションキャリブレーションシステム



- LED光源からの光をファイバーを通して検出器内に入れ、拡散板を通して照射する。
- 日本グループが中心となって運用し、光電子増倍管、液体シンチレータの透過率のキャリブレーションなどを行う(装置の開発はイギリスのサセックス大学)。
- 検出器内部に設置されているため常時運用が可能であり、検出器の安定性の測定にも有用である。



DC-Japan PMT 設置作業 2009.5 @ Chooz
suekane@ICEPP

111117

26

23/12/2010: Official start of Double Chooz

Press release 23/12/2010

Double Chooz detector filled and measuring reactor neutrino oscillations

The Double Chooz collaboration recently will see anti-neutrinos coming from the French Ardennes. The experiment is now measure fundamental neutrino properties particle and astro-particle physics.

東北大学ニュース

111117

ダブルショー原... | 受賞・成果等 | 東北大学 -TOHOKU UNIVERSITY-



東北大学
TOHOKU UNIVERSITY

2011年 | 受賞・成果等

2011年1月 6日 15:23 | [受賞・成果等](#), [研究成果](#)

ダブルショー原子炉ニュートリノ振動実験開始

本学ニュートリノ科学研究センターが参加しているダブルショー原子炉ニュートリノ振動国際共同実験*では、ニュートリノ主検出器の建設が完成し、ニュートリノデータ収集を開始することになり、2010年12月23日にフランスでプレスリリースされました。この研究により素粒子の重要な性質の一つが明らかになるとともに将来のニュートリノ研究がさらに進展することになります。

(*ダブルショー実験は、フランスのショー原子力発電所で新しいニュートリノ振動を検出し、 θ_{13} (シーたいちさん) と呼ばれる最後のニュートリノ混合角を測定する実験です。)

[詳細](#)

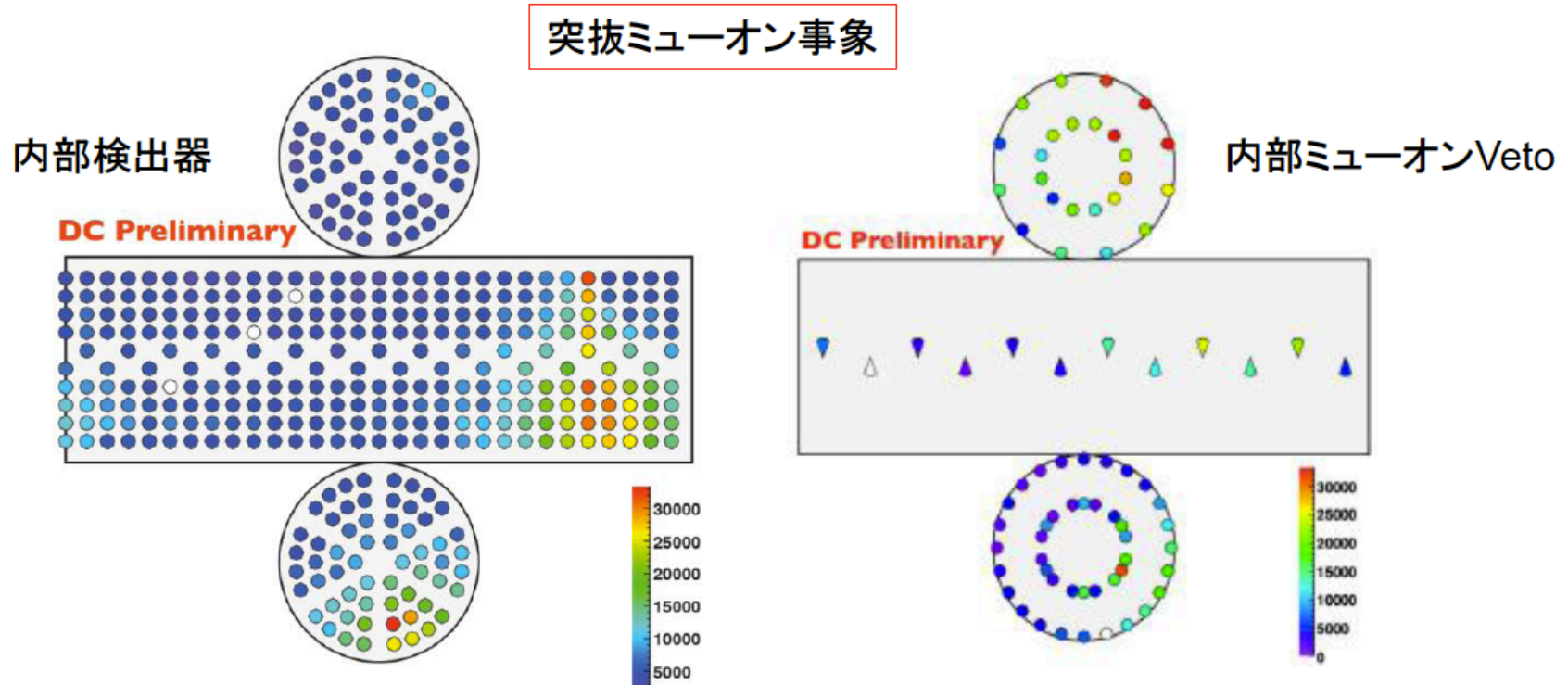


ダブルショー実験装置。今回は右側のニュートリノ検出器により実験が開始される。

27

最終コミッショニング

- 2010年1月～
 - 検出器・DAQの最終動作確認・調整



このあたりまでの詳細については、高エネルギーニュース(Vol.30 2011年4-6月号)を御参照下さい

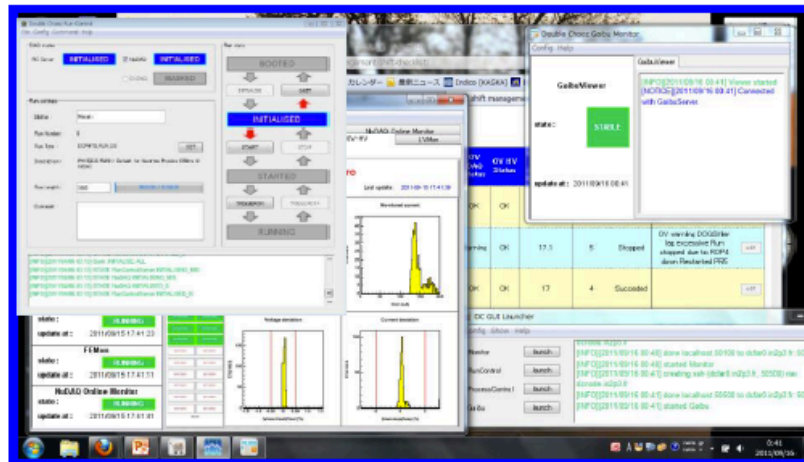
物理ラン開始！



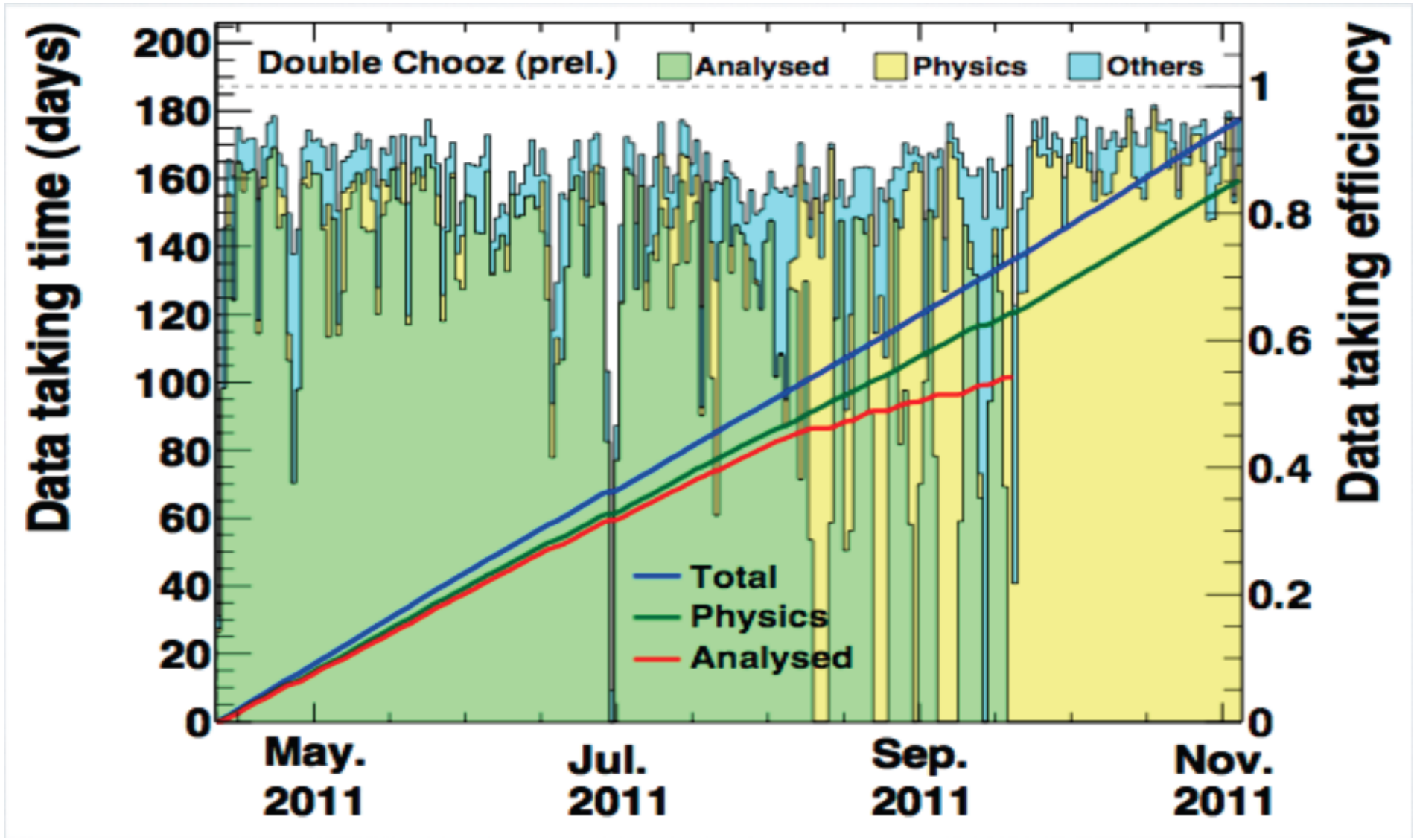
2011年4月13日
現地時間~18時
物理ラン開始!!

最初の物理ランと、オンサイトシフター

- 測定は24時間継続される
 - オンサイトシフト
 - + 3 リモートシフト
- 世界中からインターネット接続でランコントロール・モニター



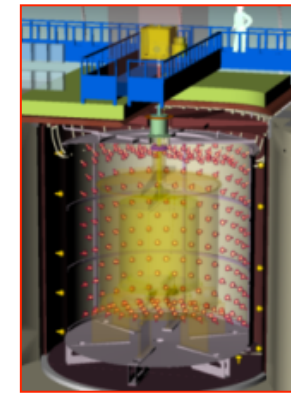
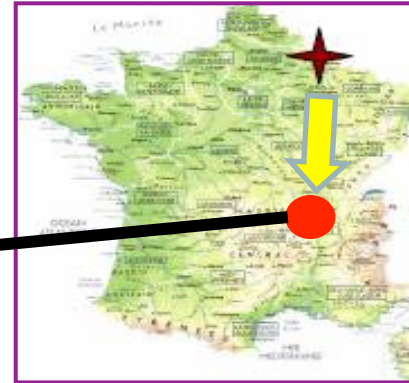
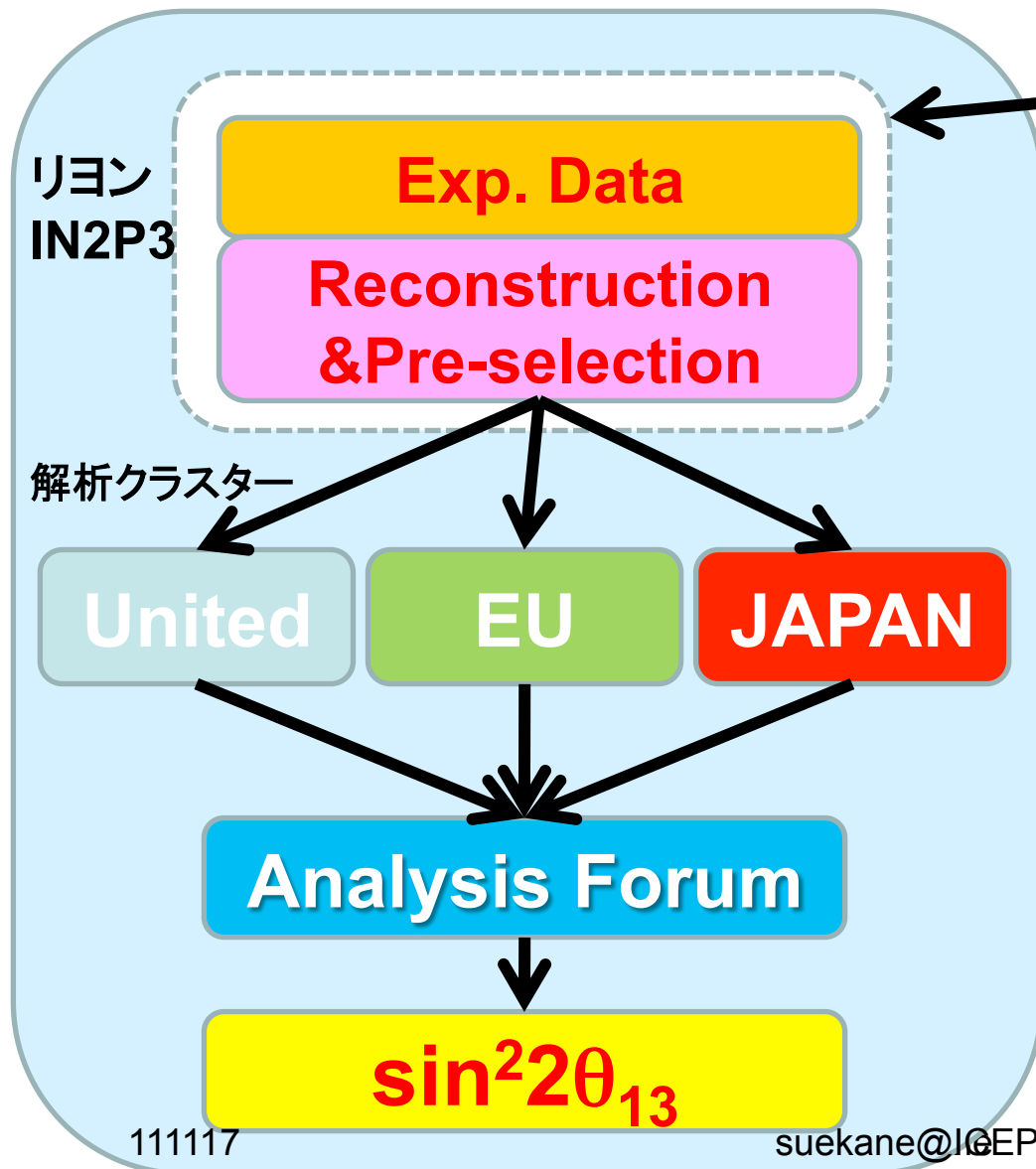
実はかなりの部分がMade in Japan



DATA TAKING

- Number of data taking days : **206 days** (As of 9/Nov./2011)
- Average data taking efficiency in total : **86.2 %**
- Average data taking efficiency for physics : **77.5 %**
- Integrated data taking time in total : **177.4 days**
- Integrated data taking time for physics : **159.6 days**

解析体制



Blind analysis

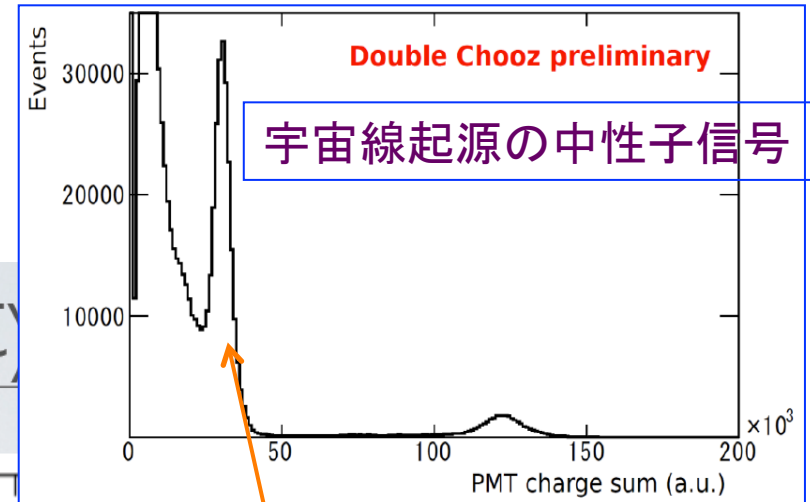
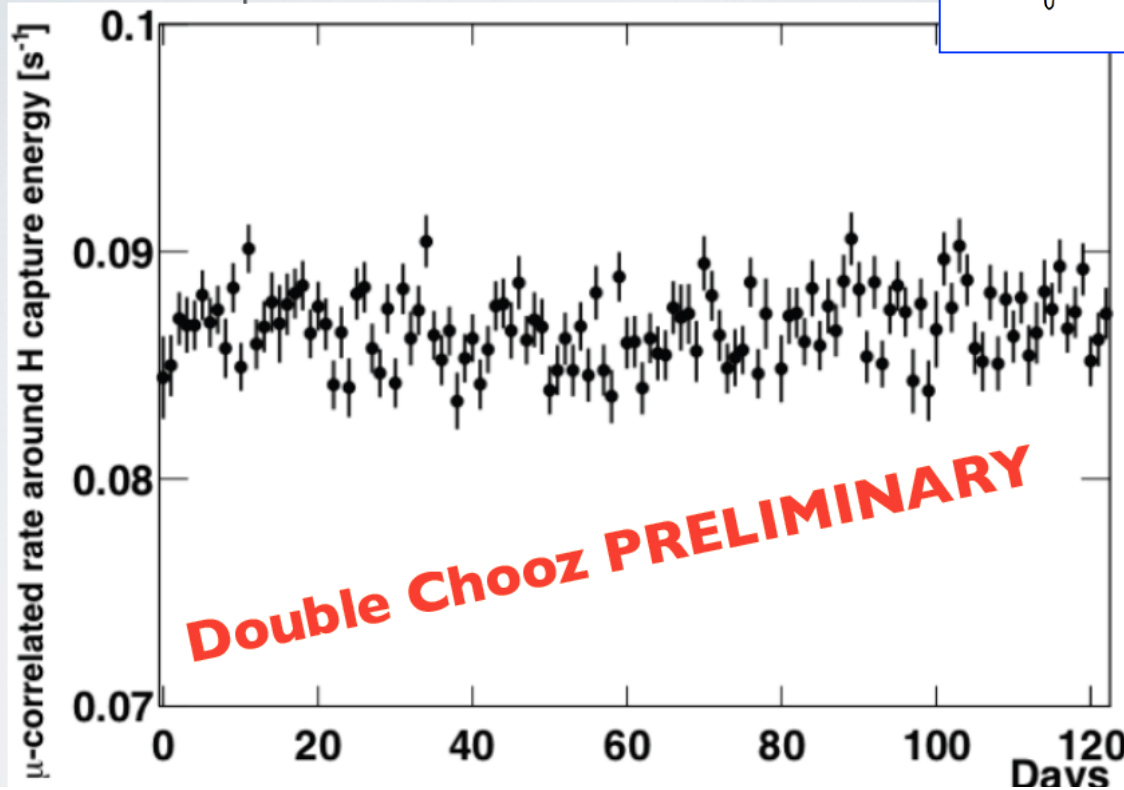
原子炉ニュートリノの量は最後まで知らなかった。

9/Nov./2011 @ LowNu conference Korea
by prof. Herve de Kerret



Detector Stability

Neutron capture on H₂ after a muon



n+H 信号
(~2.2MeV)

昔のChooz実験では液体シンチレーターの劣化のため、数ヶ月しかもたなかったが、DChoozではすでに半年以上安定している。

Energy calibration

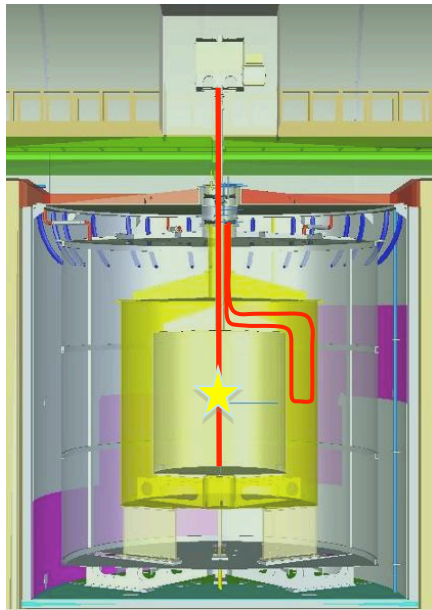
e.g.) ^{68}Ge 陽電子線源
 (対消滅による計1.02 MeVのガンマ線)

検出器中心に配置

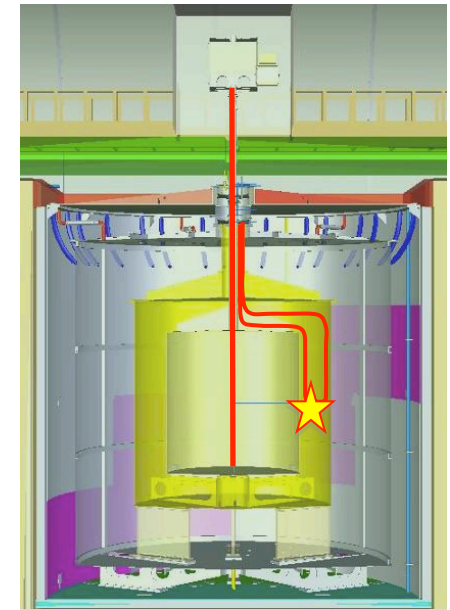
Guide-tube systemで

γ -catcherに配置

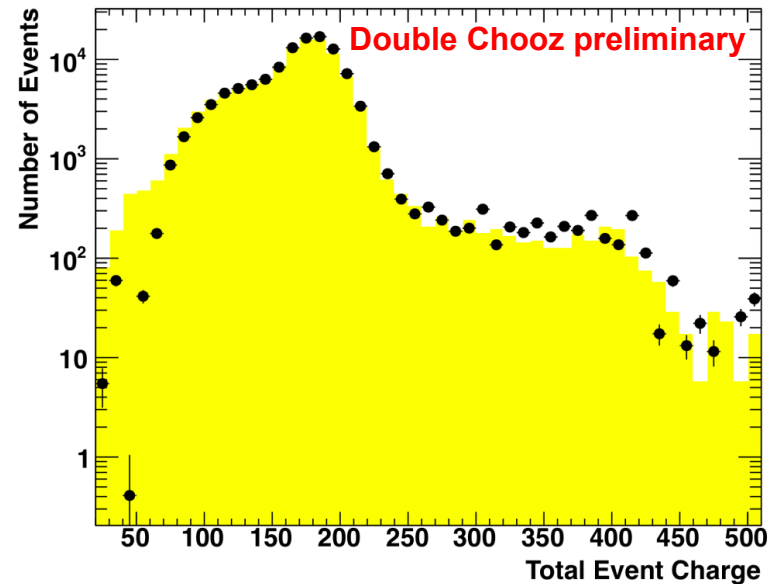
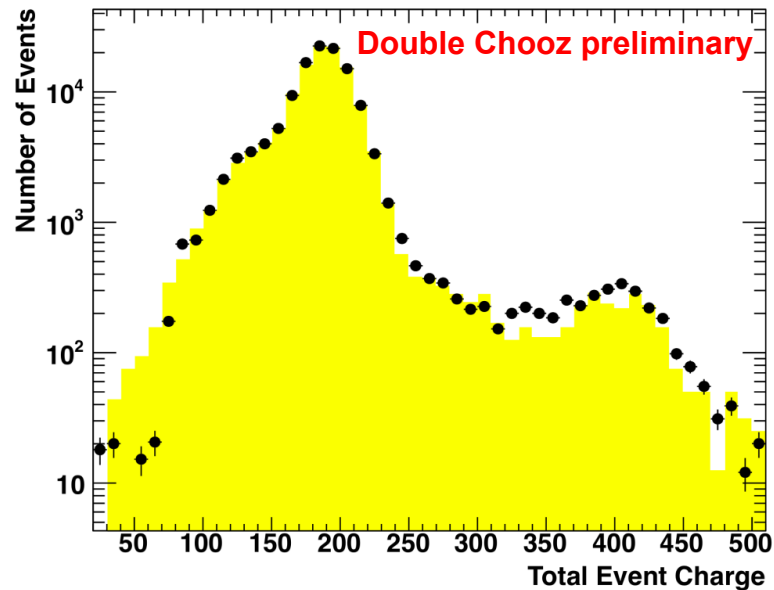
(Targetと γ -catcherの発光量の比較)



^{68}Ge Detector Center X=0mm, Y=0mm, Z=0mm

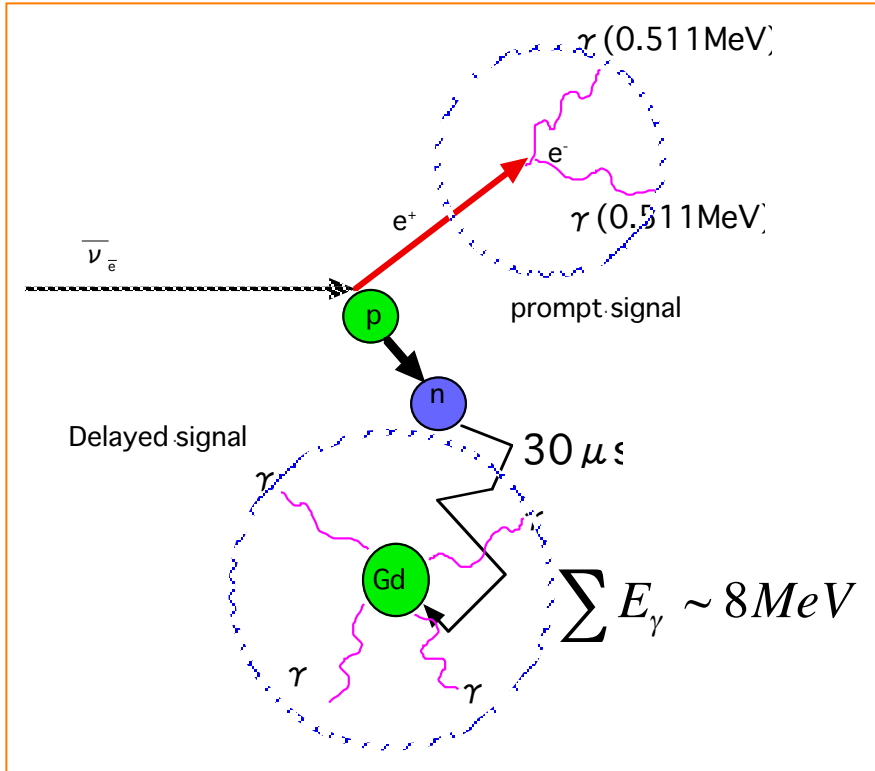


^{68}Ge Guide Tube X=0mm, Y=1433.9mm, Z=0mm

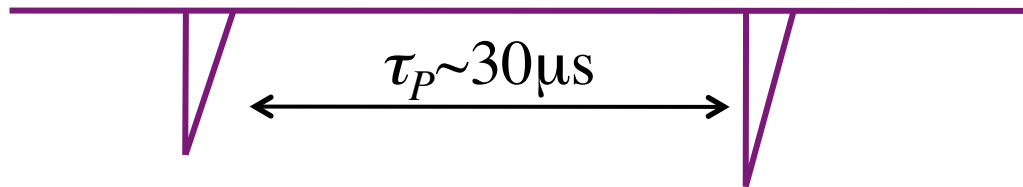
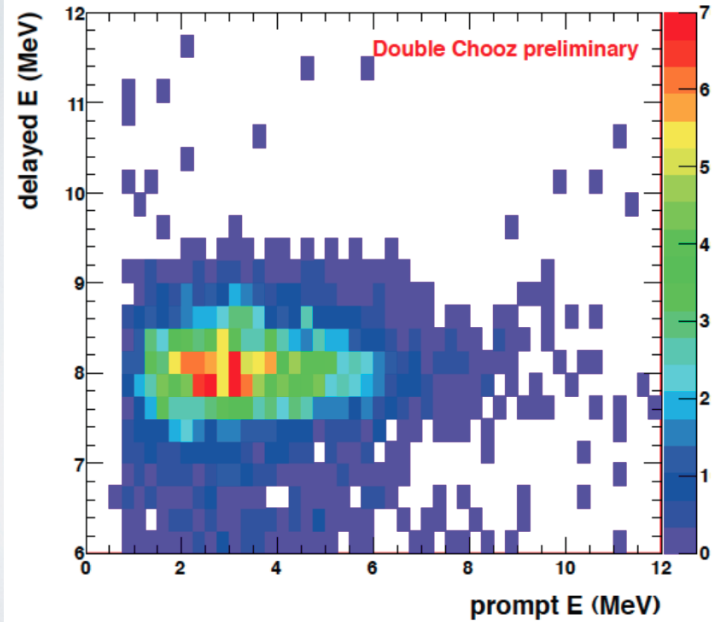


ane@IC

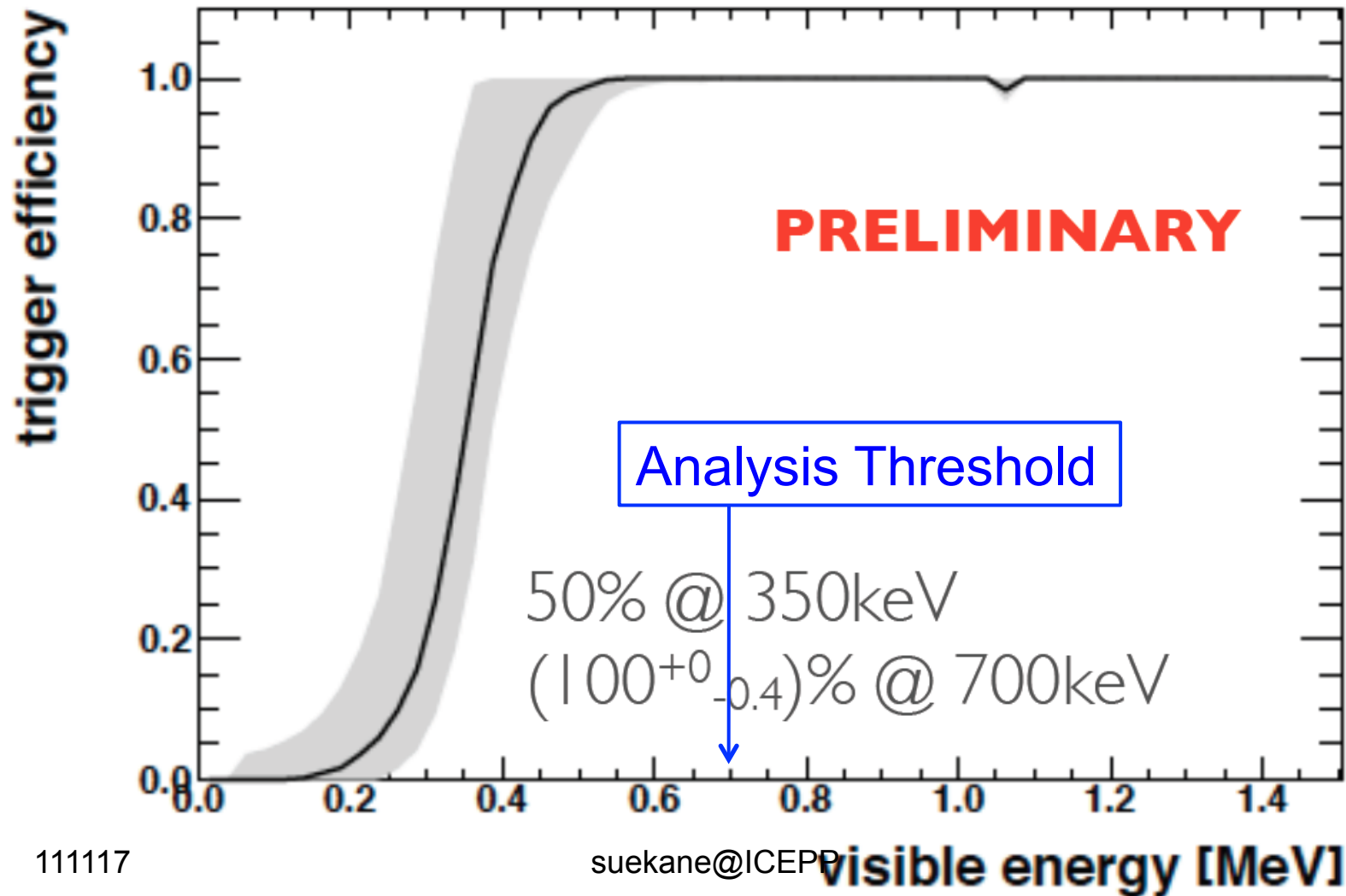
ニュートリノ信号の特徴



Energy: "prompt" vs "delay"



Readout Threshold



Event Selection

* Main cuts:

$$\begin{aligned} 0.7\text{MeV} < E_p < 12\text{MeV} & (99.9\pm 0\%) \\ 6\text{MeV} < E_d < 12\text{MeV} & (86.0\pm 0.6\%) \\ 2\mu\text{s} < \Delta T_{p-d} < 100\mu\text{s} & (96.5\pm 0.5\%) \end{aligned}$$

* Remove after muon effect:

$$1\text{ms} < \Delta T_{\mu-p} (95.5\pm 0\%)$$

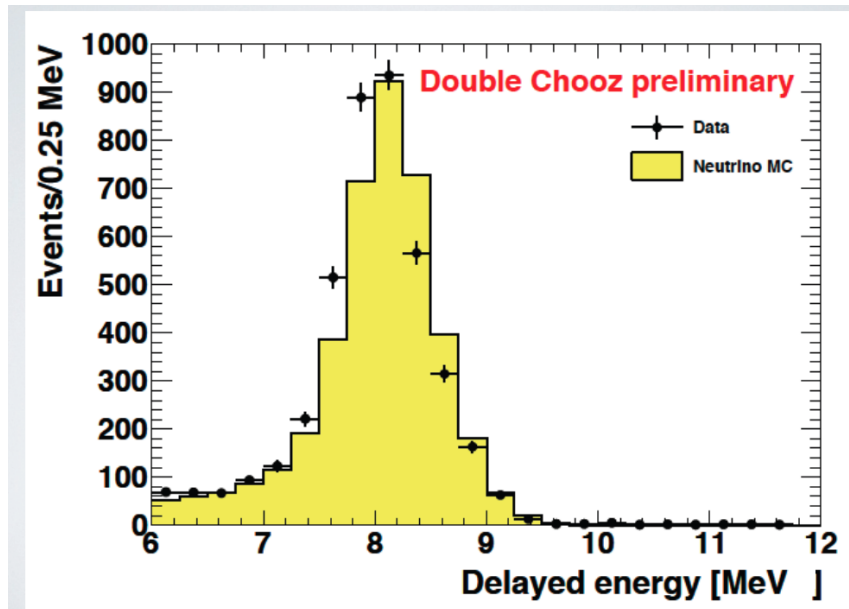
* Remove multi neutron events:

No trigger within $100\mu\text{s}$ before prompt signal
1 trigger within $400\mu\text{s}$ after prompt signal ($99.5\pm 0\%$)

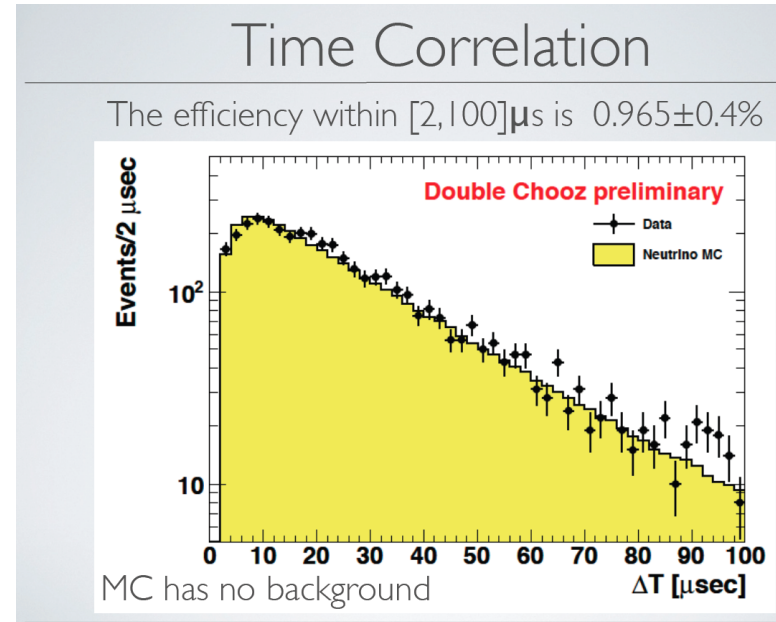
* PMT light noise cut:

MaxQ/TotalQ
signal time structure (100%)

→ 4121 ν candidates



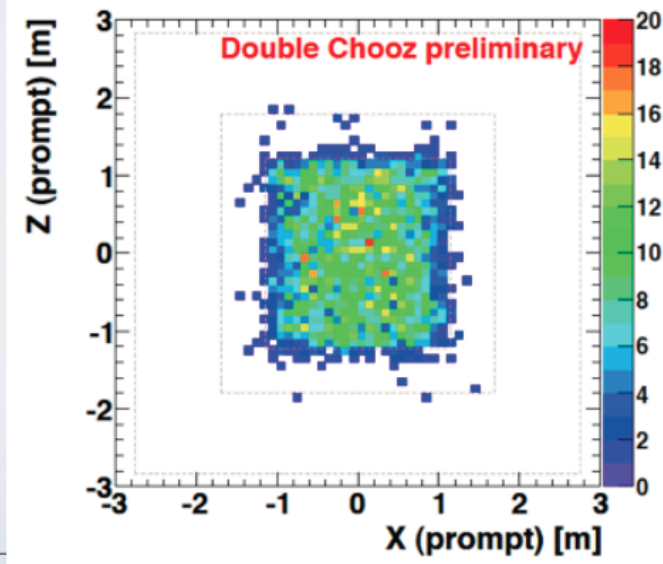
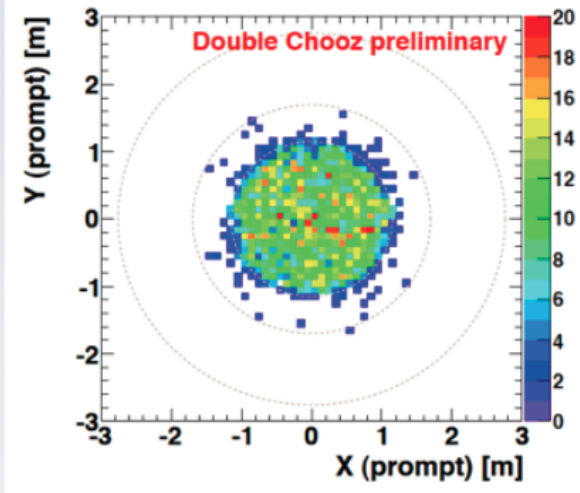
$$\epsilon = 86.0 \pm 0.6\%$$



$$\epsilon = 96.5 \pm 0.5\%$$

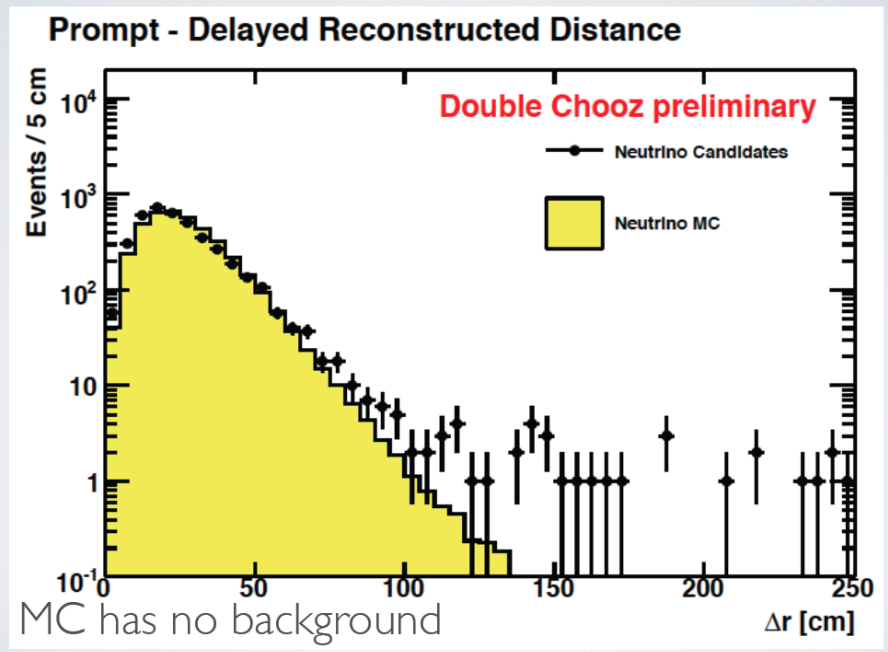
Candidates Vertex Distribution

no analysis fiducial volume cut

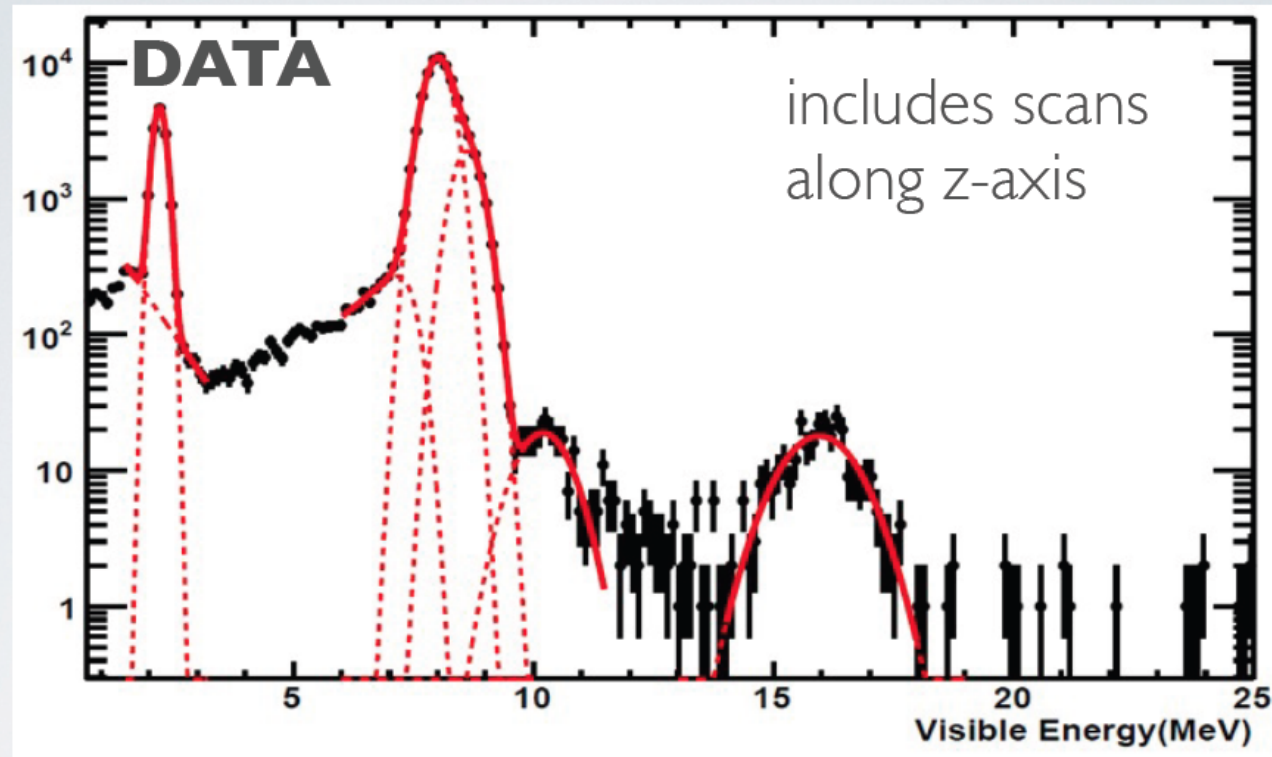


Spatial Correlation

no analysis cut



Gd fraction & efficiencies ($\Delta t, \Delta E$ cuts)



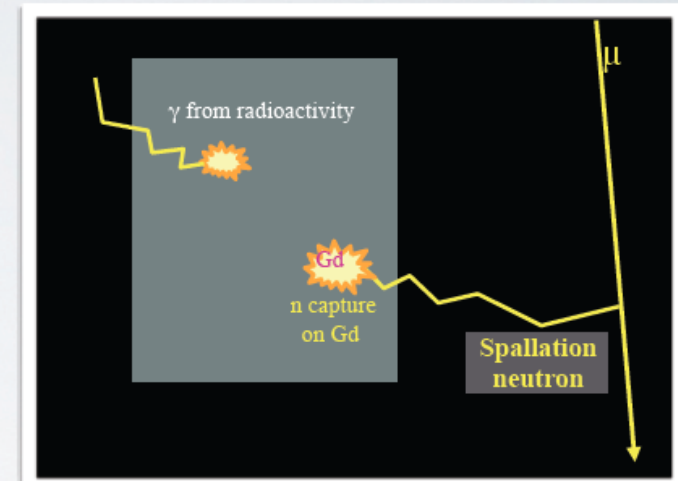
- Gd fraction [i.e. $Gd/(Gd+H)$]: 0.860 ± 0.005
- ^{252}Cf neutron multiplicity \Rightarrow MC/Data difference $< 0.4\%$
- $\Delta t, \Delta E$ cuts \Rightarrow MC/Data differences $\pm 0.5\%, \pm 0.6\%$, respectively

Background (BG)

- There are two different types of background: **accidental** and **correlated**.

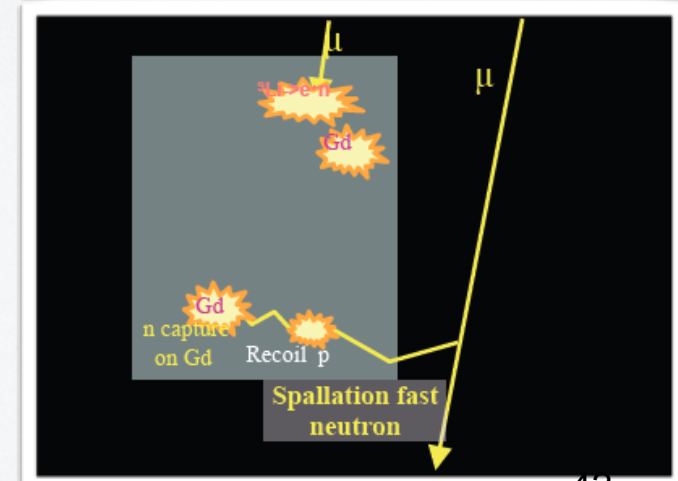
Accidental BG

- e^+ -like signal: radioactivity from materials, PMTs, surrounding rock (^{208}Tl)
- n signal: n from cosmic μ spallation, thermalised in detector and captured on Gd.

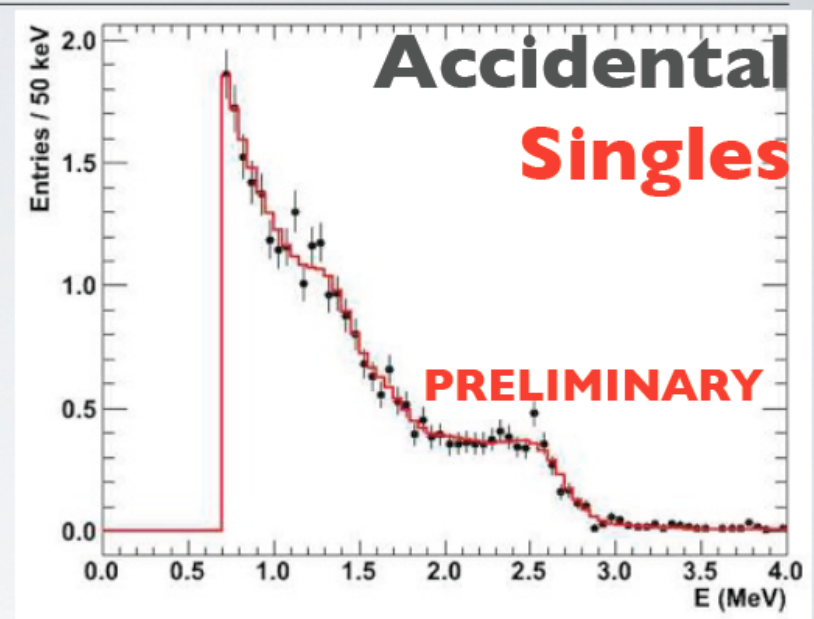
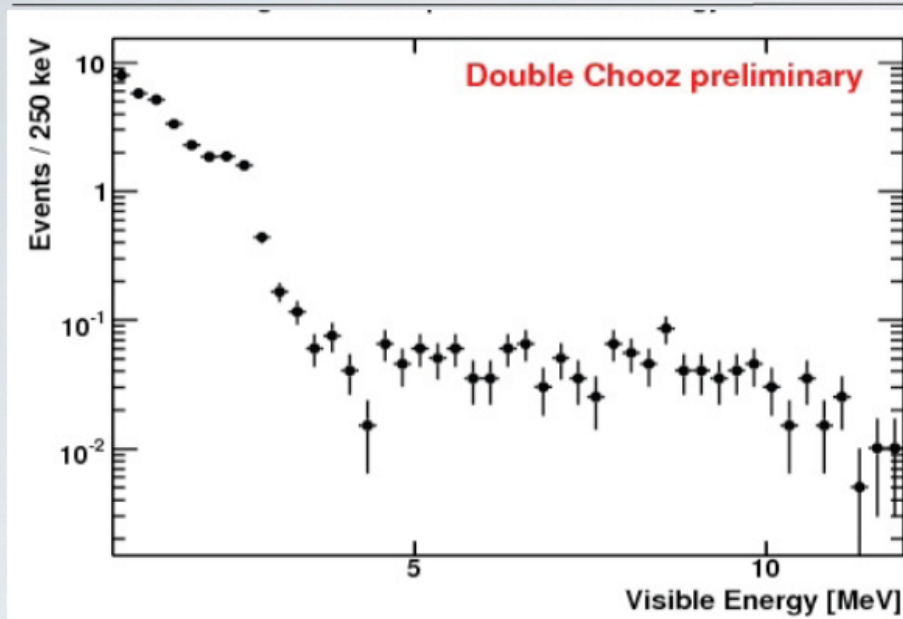


Correlated BG

- Fast neutrons (by cosmic μ) gives recoil protons (low energy) and are captured on Gd.
- Stopping-muons followed by muon-decay (Michel electron/positron)
- Long-lived (^9Li , ^8He) $\beta+n$ -decaying isotopes induced by μ .



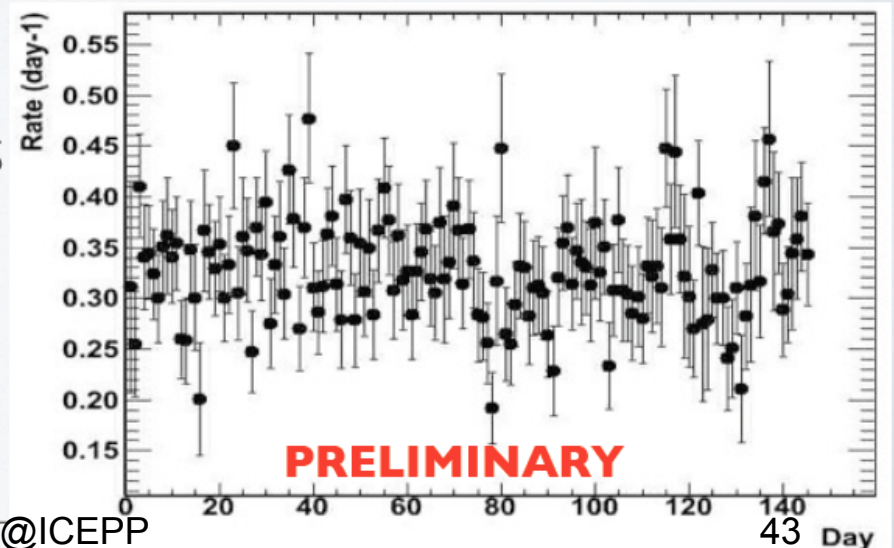
Accidental BG



analysis method

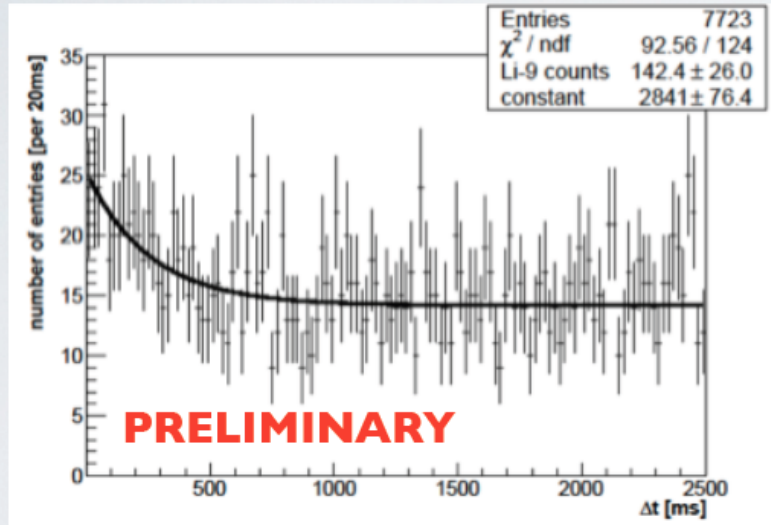
off time-window from [1,100]ms
including multiplicity condition

$$\text{Rate} = (0.332 \pm 0.004) \text{ day}^{-1}$$



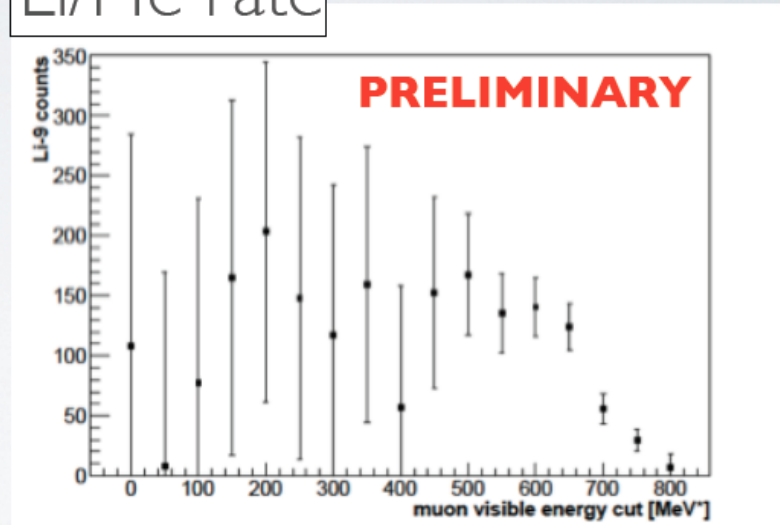
${}^9\text{Li}/{}^8\text{He}$ BG

A Li/He production upon showering muons
(identified by large deposited E & high neutron multiplicity)



(example) correlation to last
muons $E_{\text{dep}} > 600 \text{ MeV}$

Li/He rate

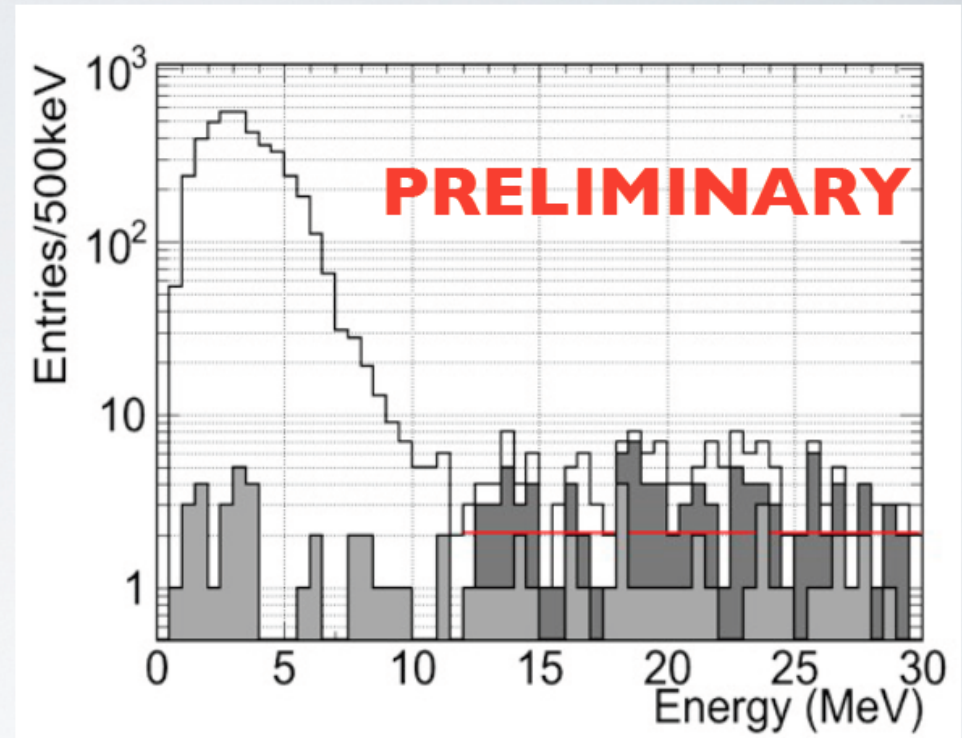
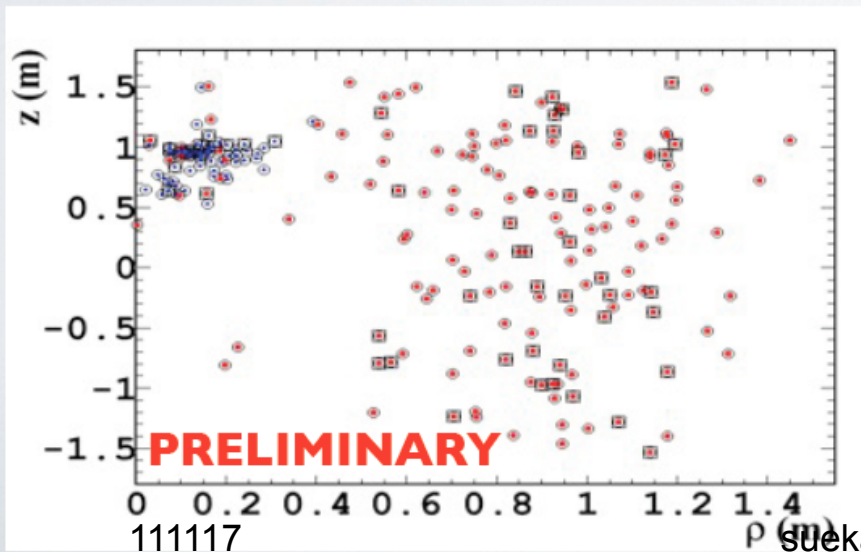


extrapolation to all muons
(low deposited energy)

Spallation Neutrons

analysis method

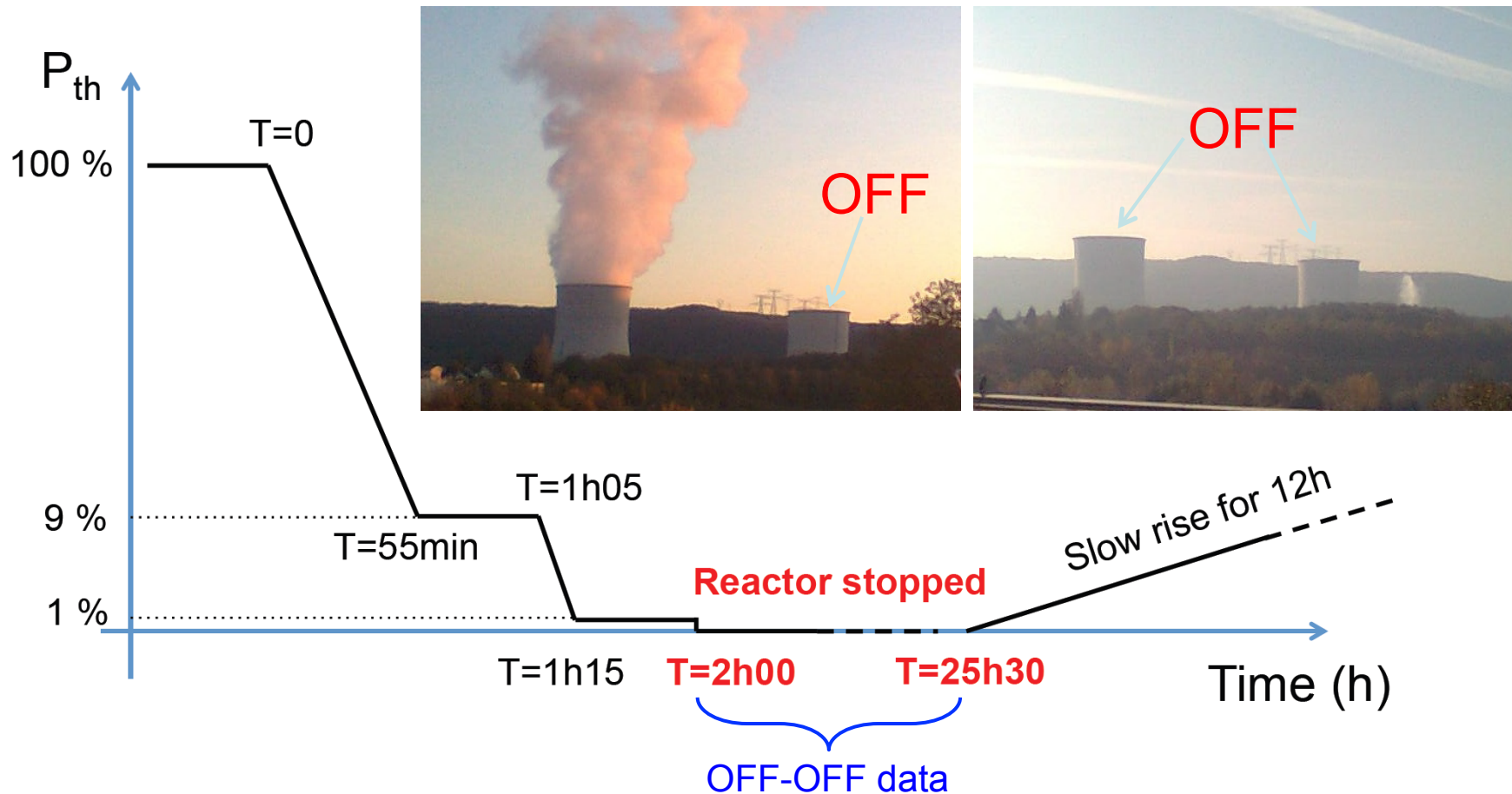
extrapolation as flat energy spectrum from high-energies to prompt energy-window using IV-tagging



Flat energy spectrum used for θ_{13} fit, deviations taking as spectral uncertainties

$$\text{Rate} = (0.7 \pm 0.5) \text{day}^{-1}$$

Reactor Off-Off

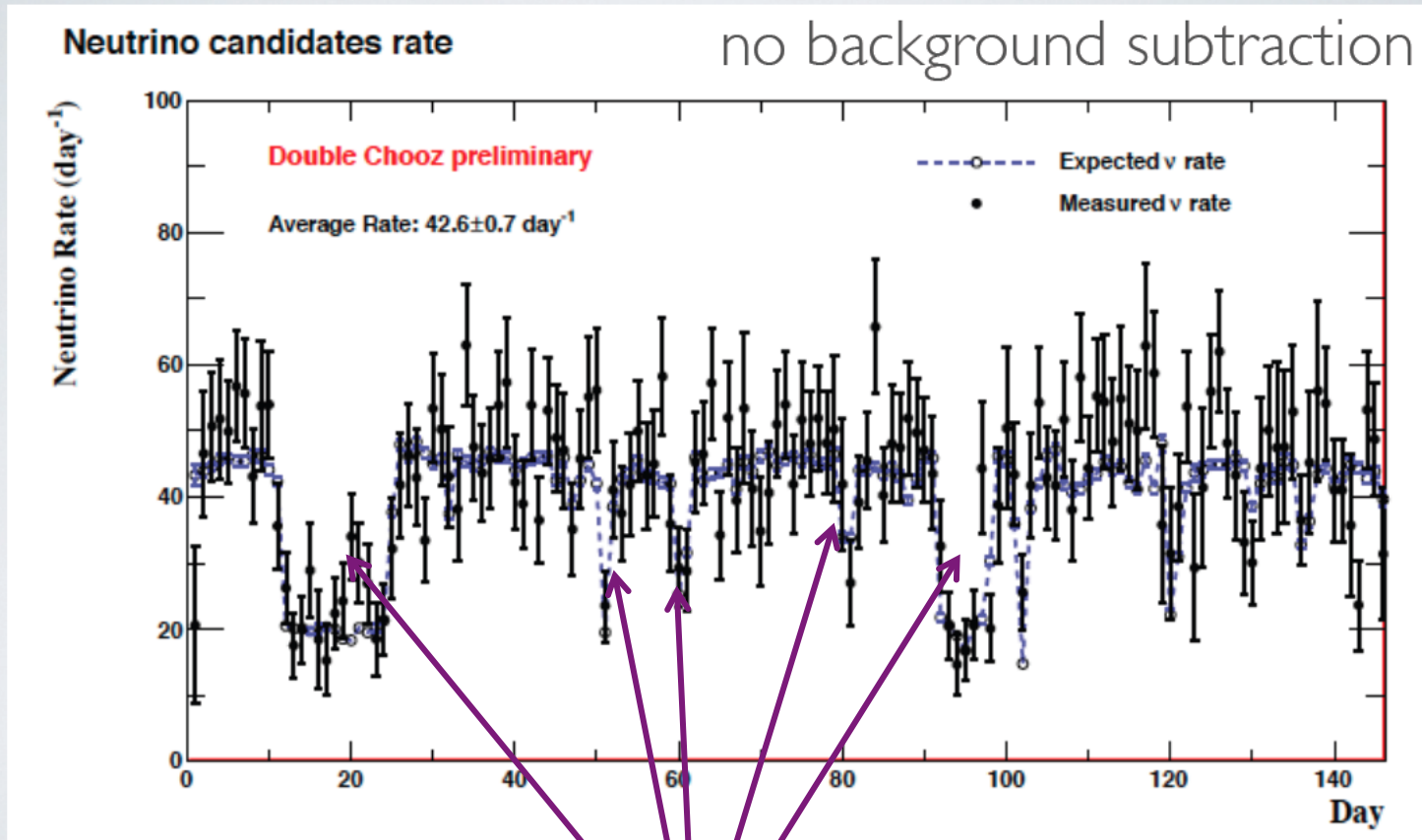


- Reactor 1 stopped for 2 months (refueling)
- Reactor 2 stopped for 1 day (maintenance)

→ **In-situ background measurement** (Unique capability of Double Chooz)

111117 3 events within 0.7~30 MeV... (see next pages) 46

Candidate vs Time

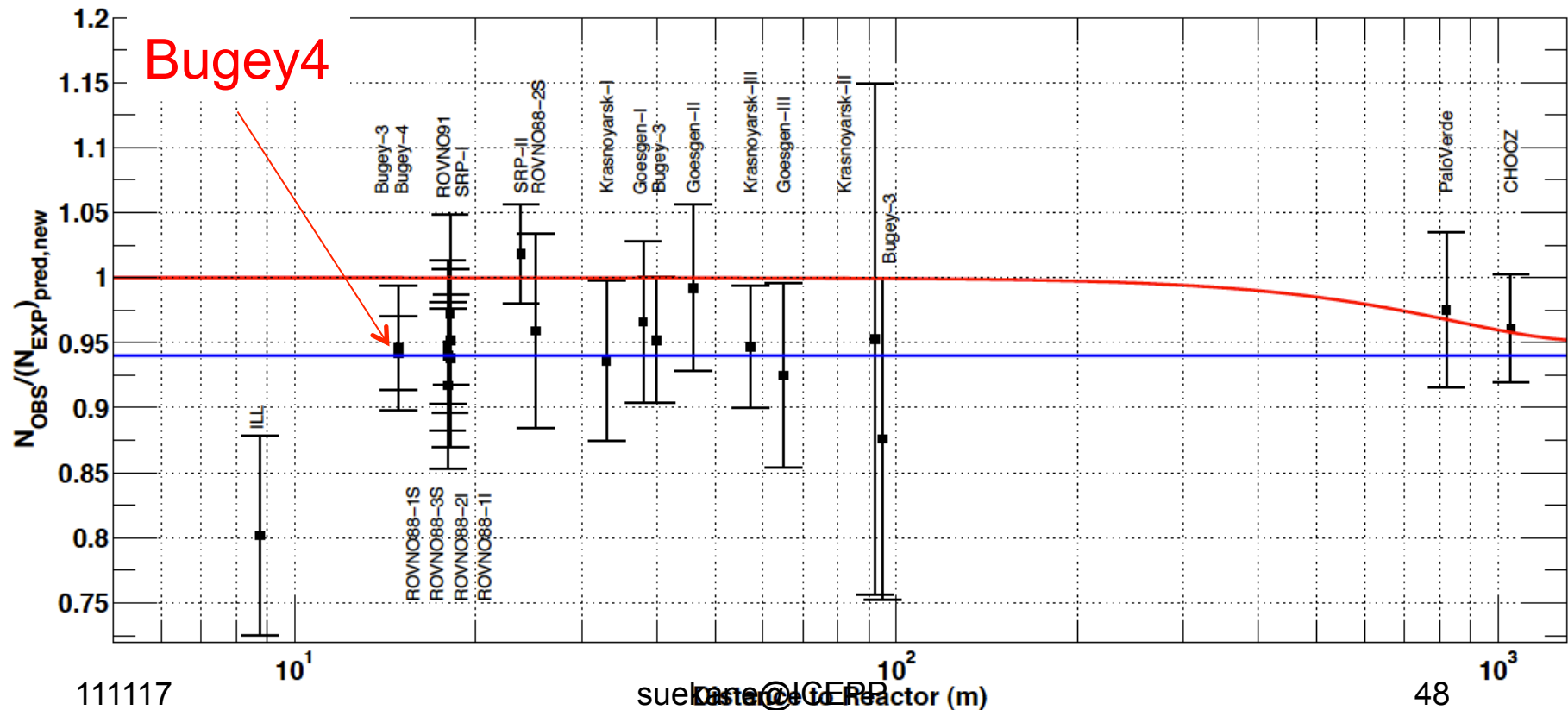


1 Reactor OFF
suekane@ICEPP

ニュートリノスペクトルの予想値

原子炉ニュートリノ量は、計算値を使うのではなく、Bugey4の高精度実験値を使う。

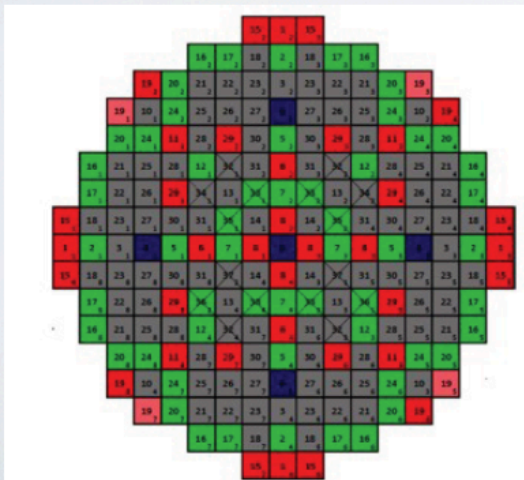
Bugey4とDC条件の違い(原子炉燃料の構成など)は補正値として計算する。





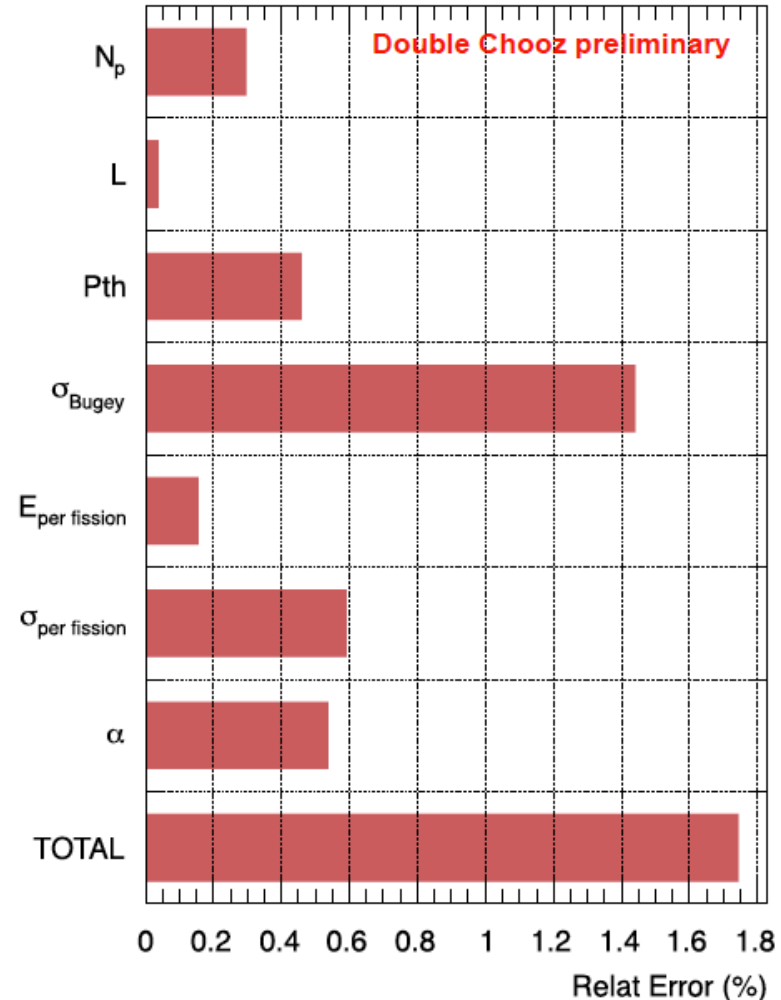
原子炉ニュートリノ予想値の誤差

Very detailed simulation of all reactor cycle (MURE) and fuel evolution [reactor data input]

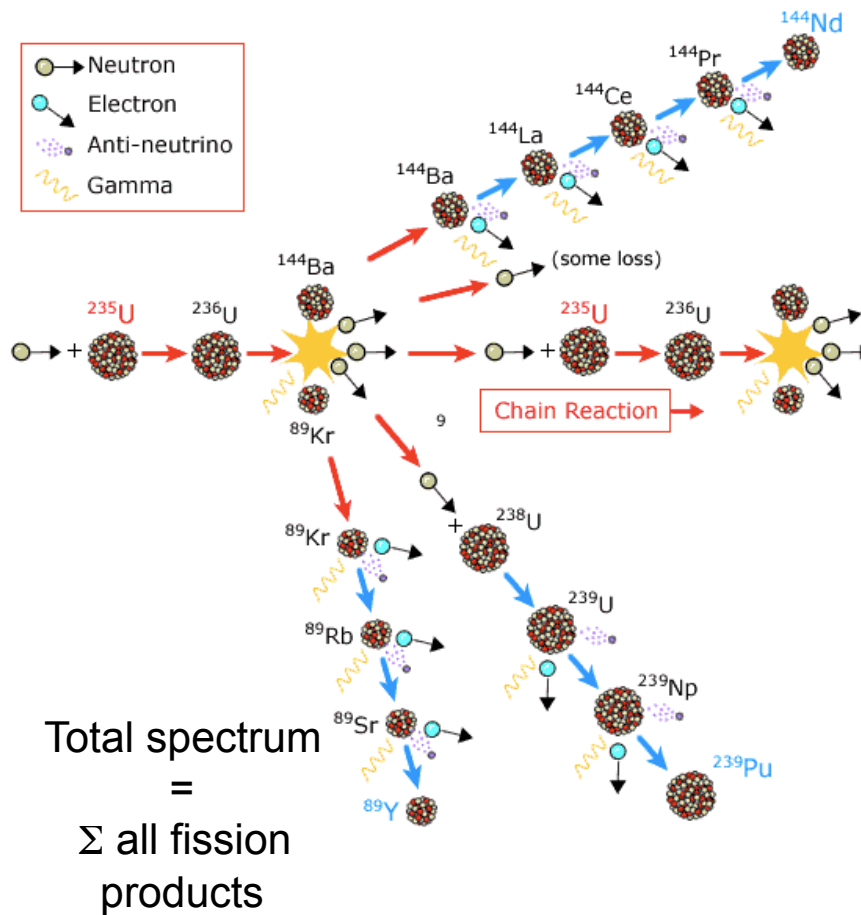


1.7% total error

expected # of n signal
(before cuts) = 5339 ± 93



ニュートリノフラックスの計算



期待されるニュートリノ事象数

$$N_v^{\text{exp}}(E, t) = \frac{N_p \varepsilon}{4\pi L^2} \times \frac{P_{th}(t)}{\langle E_f \rangle} \times \langle \sigma_f \rangle$$

核分裂あたりの平均エネルギー
($k=^{235}\text{U}, ^{238}\text{U}, ^{239}\text{Pu}, ^{241}\text{Pu}$)

$$\langle E_k \rangle = \sum_k \alpha_k(t) \langle E_k \rangle$$

核分裂あたりの平均生成断面積

$$\langle \sigma_f \rangle = \langle \sigma_f \rangle^{\text{Bugey}} + \sum_k (\alpha_k^{\text{DC}}(t) - \alpha_k^{\text{Bugey}}(t)) \langle \sigma_f \rangle_k$$

$$\langle \sigma_f \rangle_k = \int_0^{\infty} dE \cdot S_k(E) \cdot \sigma_{\text{IBD}}(E)$$

Bugey4実験のニュートリノフラックス測定値を元に
Chooz原子炉の燃料比を補正して計算

θ_{13} Preliminary Results

First neutrino oscillation data release of DC at LowNu11 @ Seoul (Korea)

Far detector data only

No-Oscillation:
reactor flux prediction

Rate + Shape Analysis:

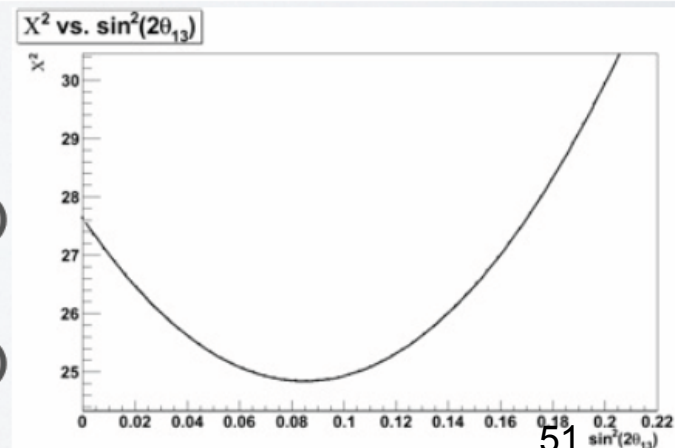
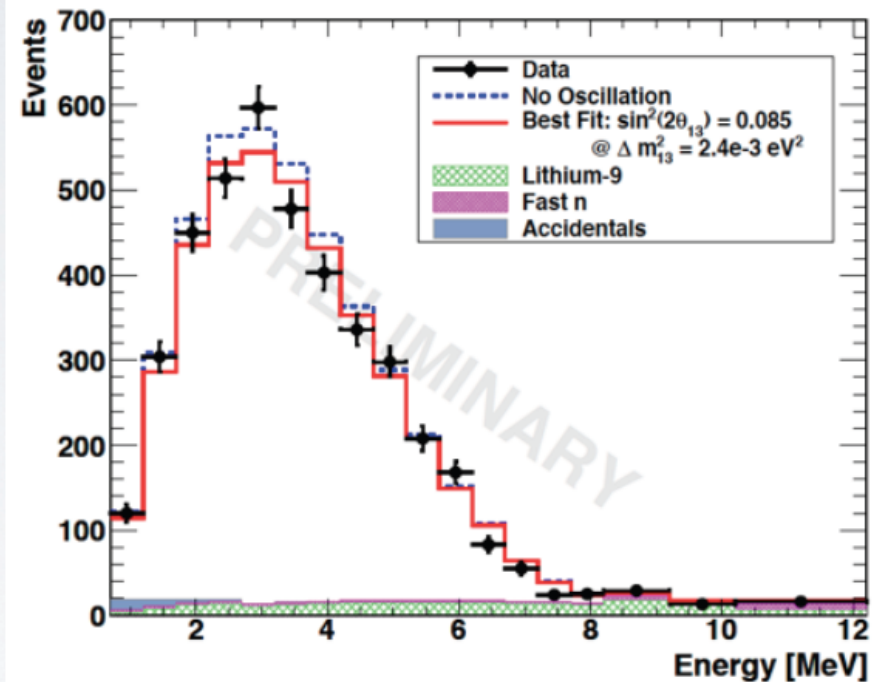
$$\sin^2(2\theta_{13}) = 0.085 \pm 0.029(\text{stat}) \pm 0.042(\text{syst})$$

Rate Only:

$$\sin^2(2\theta_{13}) = 0.093 \pm 0.029(\text{stat}) \pm 0.073(\text{syst})$$

111117

suekane@ICEPP



Combined result

Machado, Minakata, Nunokawa, Funchal
ArXive 1111.3330v1

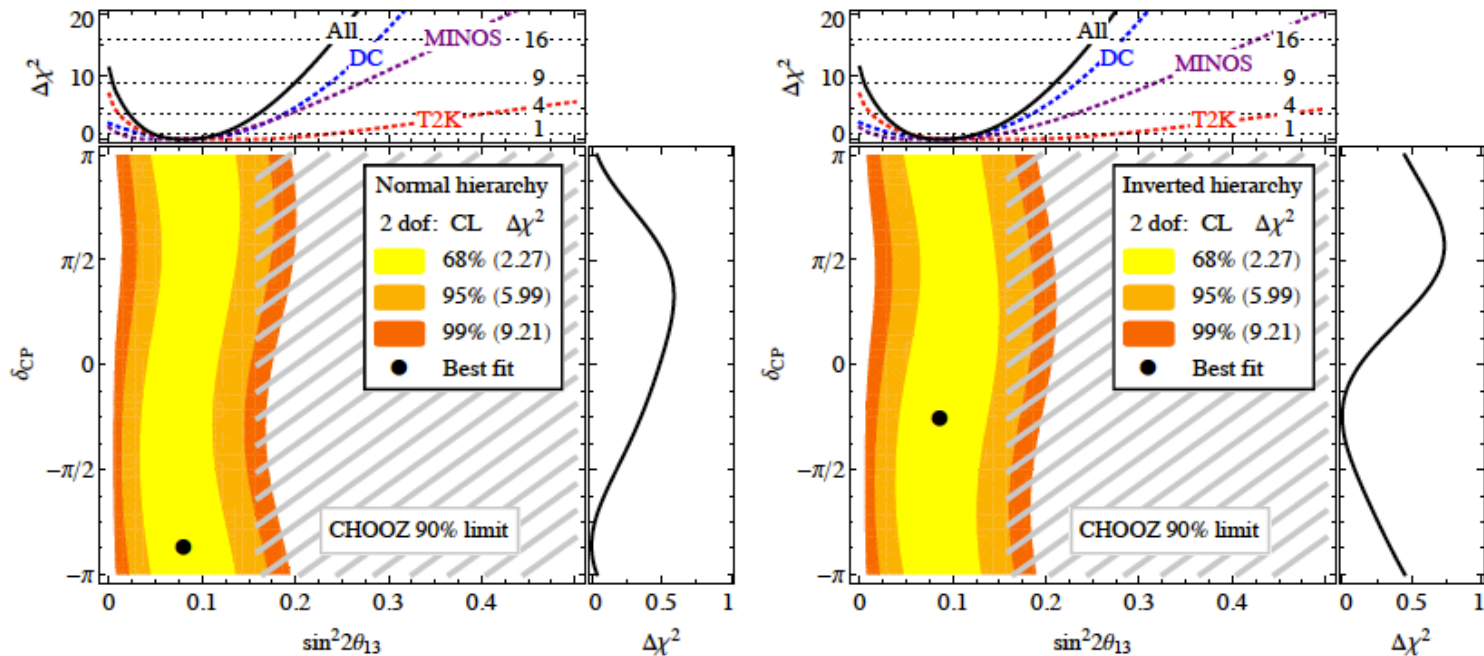


FIG. 1: Allowed region in $\sin^2 2\theta_{13} - \delta_{CP}$ plane for T2K, MINOS and Double Chooz (DC) combined at 68%, 95 % and 99% CL for 2 dof, assuming normal (left panel) or inverted (right panel) mass hierarchy. We also show the $\Delta\chi^2$ behavior as a function of $\sin^2 2\theta_{13}$ (top) and as a function of δ_{CP} (right) in each case. As a reference we also show the 90%CL exclusion limit from CHOOZ [10].

ニュートリノ変化の兆候 短い距離でも確認

東北大など

東北大は10日、物質を構成する最小単位である素粒子のニュートリノが、約1キロという短い距離を飛ぶ間に他の種類のニュートリノに変化した兆候を初めてとらえることに、同校などが参加する国際研究グループが成功したと発表した。宇宙誕生の謎を解明する手掛かりになるといわれる。フランス北部のショー

原子力発電所で発生するニュートリノを、原子炉から約1キロ離れたトンネル内に検出器を置いて観測。ニュートリノの数が発生時より4〜5%減っていることを確認した。ニュートリノには電子型、ミュー型、タウ型の3種類があり、検出器では電子型をとらえる。原子炉で発生した電子型ニュートリノがミュー型と

タウ型に変化したと考えられる(末包文彦東北大准教授)という。

3種のニュートリノが相互に移り変わる現象はニュートリノ振動と呼ばれ、これまでは数百キロ以上を飛行する間の変化を観測した。短距離の変化を調べると各ニュートリノの「混ざり具合」が詳しく分かる。

宇宙誕生の際にあった

- HOME
- ABOUT INTERACTIONS.ORG
- VIDEO CHANNEL
- BLOG WATCH
- RESOURCES
- POLICY AND FUNDING
- BENEFITS TO SOCIETY
- EDUCATION
- CONTACT US
- WORKSPACES

Interactions NewsWire #58-11
9 November 2011 <http://www.interactions.org>
Source: CNRS/CEA
Content: Press Release
Date Issued: 9 November 2011

First result from a new generation of reactor neutrino experiments

Physicists of the Double Chooz experiment detected a short-range disappearance of electron antineutrinos. They presented this result on Wednesday 9 November 2011 at the LowNu conference in Seoul, Korea. It helps determine the so-far unknown third neutrino mixing angle which is a fundamental property with important consequences for particle and astro-particle physics. The Double Chooz experiment is looking for neutrinos produced in the nearby nuclear power plant. A measurement of this third angle would complete our picture of neutrino oscillations as reported by other experiments and will open new perspectives in understanding why we find matter and no antimatter in our today's Universe.

Neutrinos are the most common particles existing in the Universe, but they are the least visible. They exist in three kinds called "flavours" and they have been known since the late 90's for their special ability to transform from one type into another. This phenomenon is called neutrino oscillation and it implies that neutrinos do have a mass. Neutrino oscillations are currently an intensive field of research with several experiments aiming at a full description of the mechanism.

Neutrinos are produced in various ways such as by fusion processes inside the Sun and by cosmic rays bombarding the atmosphere. The Double Chooz experiment is dedicated to measure neutrino oscillations with unprecedented precision, by looking at anti-neutrinos being produced in the nearby nuclear reactor at Chooz in the French Ardennes. Double Chooz started taking data

現在位置: asahi.com > ニュース > 社会 > 時事通信ニュース > 記事

未測定の新ニュートリノ振動か=近距離実験で兆候発見—東北大など

2011年11月10日 22時6分

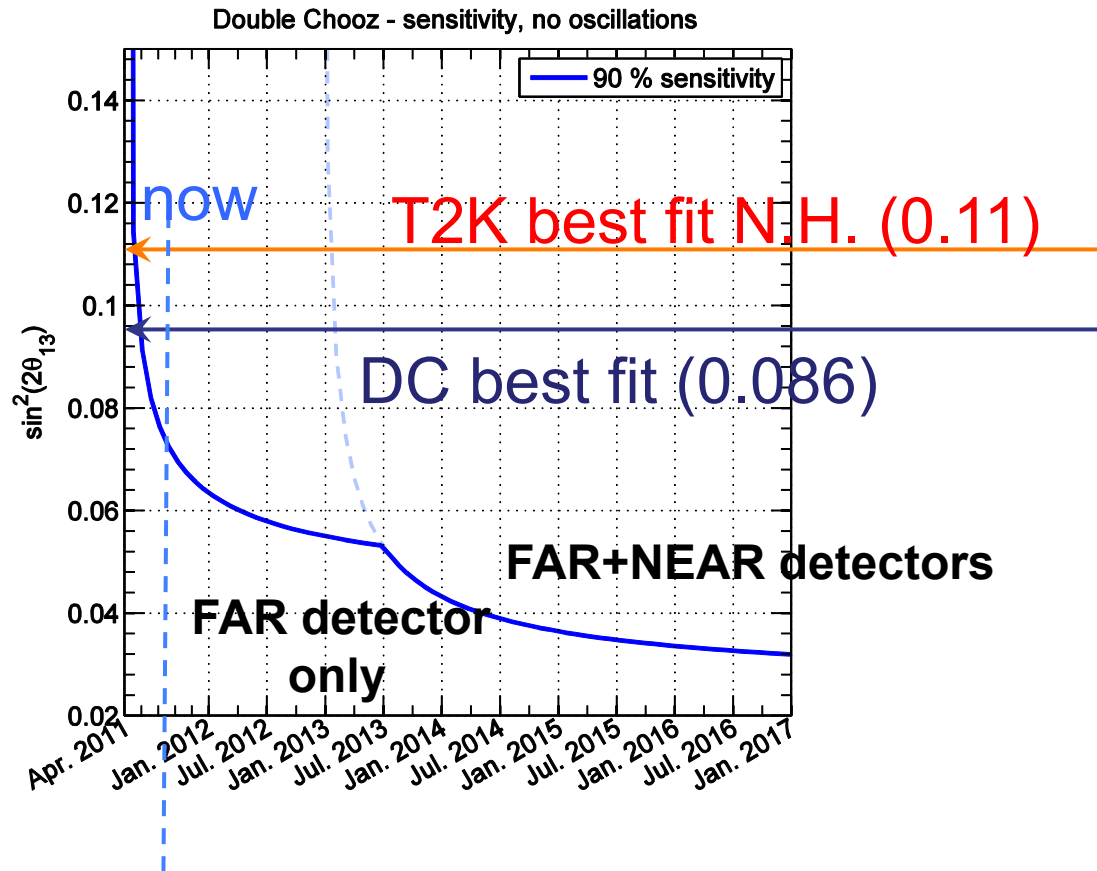
素粒子のニュートリノが別の種類に変化する「ニュートリノ振動」のうち、これまで測定されていなかった振動の兆候を表すデータを、東北大など国内7大学が参加する国際研究チームが世界で初めて観測した。仙台市で10日に発表した東北大ニュートリノ科学研究センターの末包文彦准教授(素粒子物理学)は「ニュートリノは知られていないことが多いが、新しい物理学が開ける可能性がある」と話している。

ニュートリノは「電子型」「ミュー型」「タウ型」の3種類あり、地球や人体を簡単にすり抜けるため検出が難しい。3種類が相互に変化するニュートリノ振動が1998年に発見されて以降、世界中で実験が行われ、加速器で発生させたニュートリノを100キロ以上離れた場所で観測する実験でミュー型とタウ型の変化が確認されていたが、電子型とタウ型の間の変化だけは測定できていない。

研究チームは、小さ過ぎて特に測定が難しい電子型に注目。フランス北部のショー原発の原子炉から出るニュートリノを約1キロ離れた実験施設で観測した結果、電子型とタウ型の間の変化の兆候がみられた。

[時事通信社]

$\sin^2 2\theta_{13}$ sensitivity



$\Delta m^2_{\text{atm}} = 2.5 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$
 (20% uncert. by MINOS)

- CHOOZ limit:
 $\sin^2 2\theta_{13} < 0.15$
- T2K result (N.H.):
 $0.03 < \sin^2 2\theta_{13} < 0.28$
- DC result:
 $0.001 < \sin^2 2\theta_{13} < 0.169$



Near Laboratory Excavation

cea



- Started Apr. 2011
- Lab delivery Apr. 2012
- Early 2012
- Baseline ~ 400 m
- Overburden ~120 mwe

111117

suekane@ICEPP

55

Conclusions I

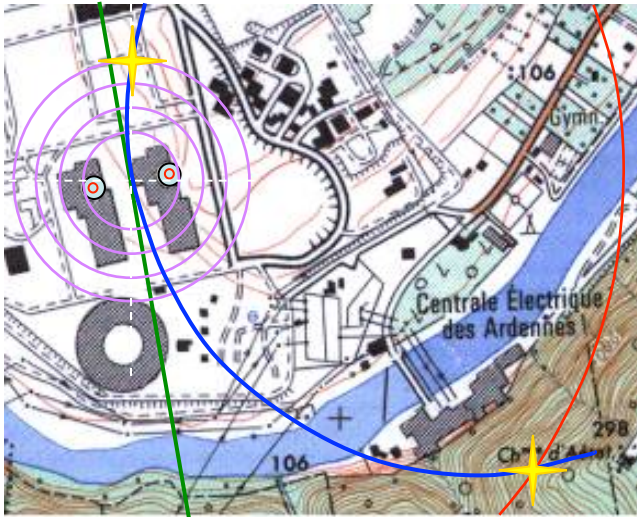
9/Nov./2011@Lownu

- Today (2011): first DC oscillation data shown
- $\sin^2(2\theta_{13}) = 0.085 \pm 0.029(\text{stat}) \pm 0.042(\text{syst}) @ 68\% \text{CL}$
- The near detector will be operational by early 2013
- With only 2 reactors, Double Chooz will have some background good measurements. The iso-power of the detectors will help to have a final good precision on θ_{13}

By Reactor OFF

他の実験との関係

Double Chooz



P=8.2GWth/2
L=1.05km
(2011)
 $\delta\sin^2 2\theta_{13}=0.03$

Far データ収集中
11/2011 first result
111117

Daya Bay

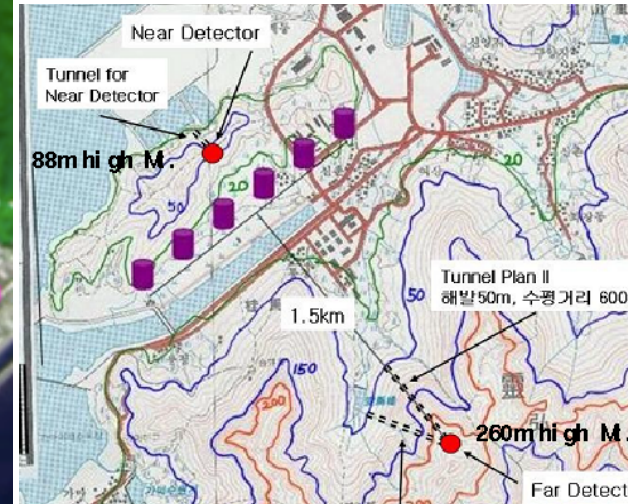


P=11.6GWth/4
17.4GWth/6(2011~)
L~1.8km(2012?)
 $\delta\sin^2 2\theta_{13}=0.01$

Near データ収集中

suekane@ICEPP

RENO

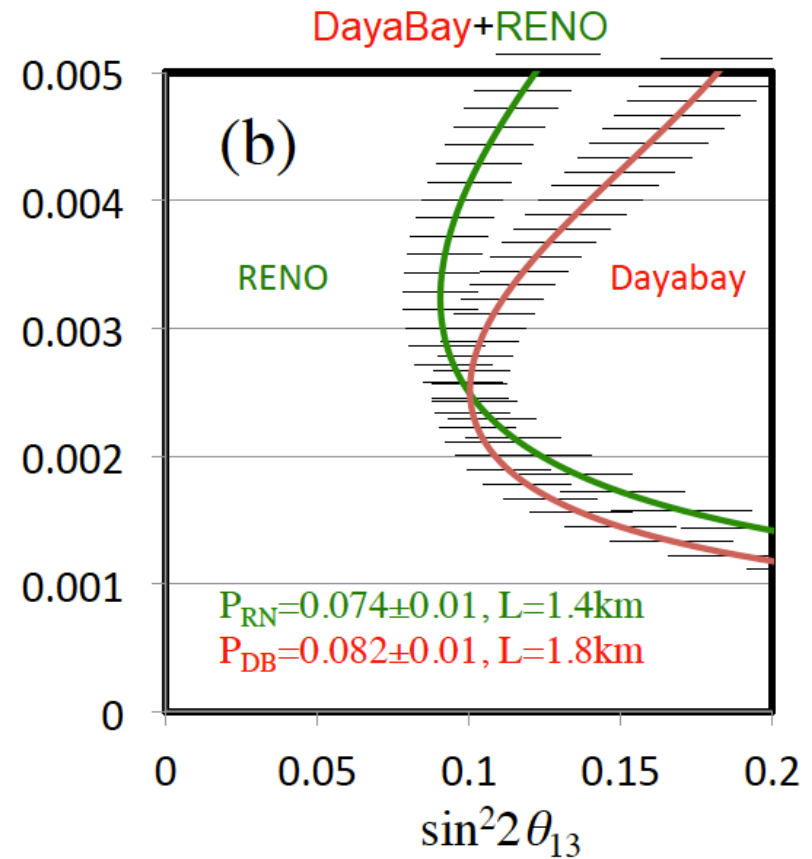
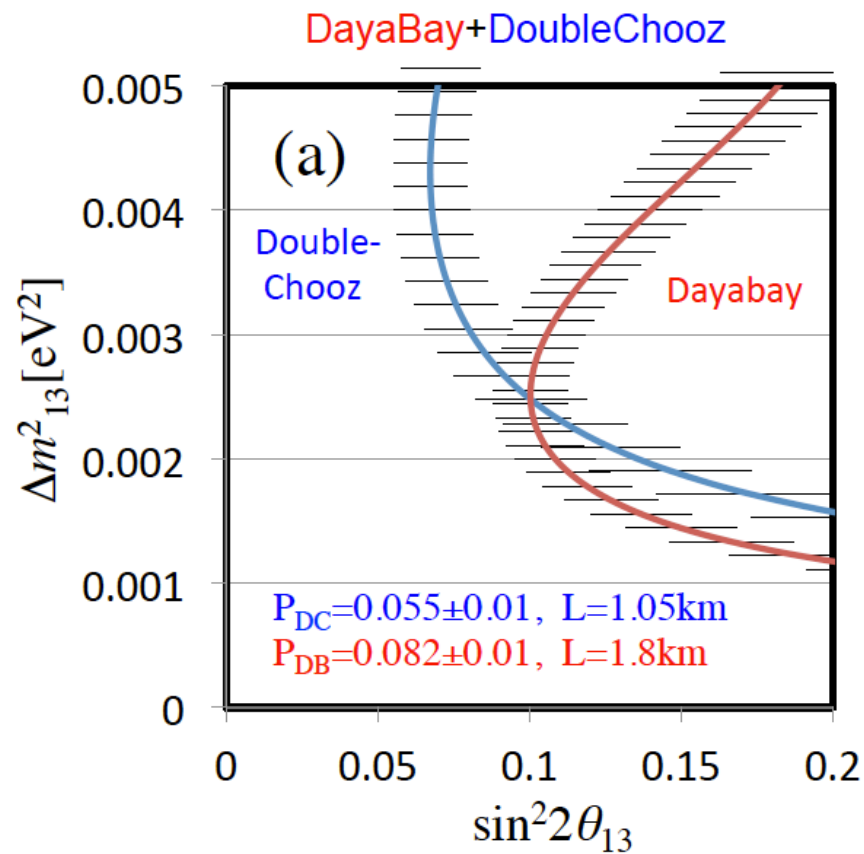


P=16.1GWth/6
L~1.4km(2011)
 $\delta\sin^2 2\theta_{13}=0.02$

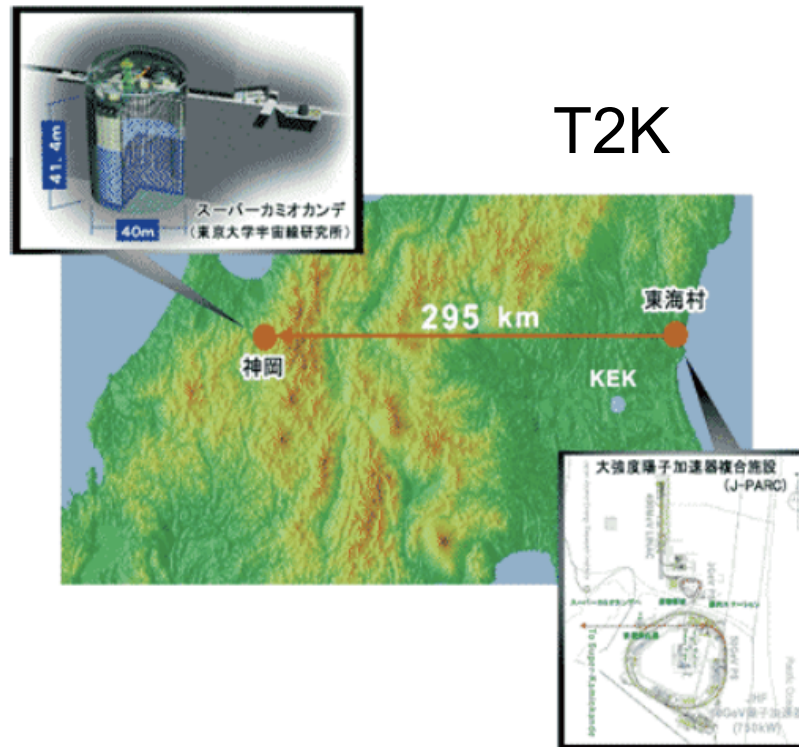
Near+Far データ収集中

原子炉ニュートリノ実験相補性

Δm^2_{13} の独立測定

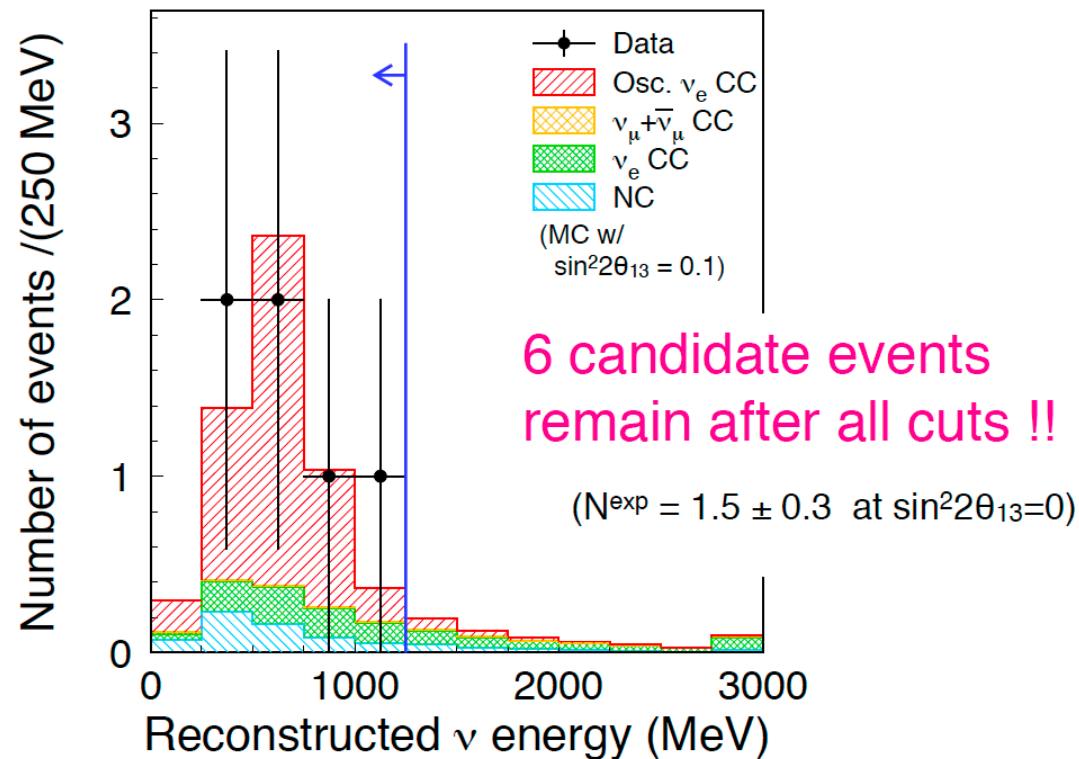


T2K実験との関係



東海村のJParc加速器で ν_μ を作り、300km離れたSuperKamiokandeまで飛ばし、その間に $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ の振動を測定する。

T2K実験(2011年6月)の結果との関係 (電子ニュートリノ出現現象(non-zero θ_{13})の兆候)



- 2.5σ significance of non-zero θ_{13}
- 0.03 (0.04) $< \sin^2 2\theta_{13} < 0.28$ (0.34) @90% C.L.
for normal (inverted) hierarchy
($\Delta m^2_{23} = 2.4 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$, $\delta_{\text{CP}} = 0$, $\sin^2 2\theta_{23} = 1.0$ を仮定)

T2Kの測定

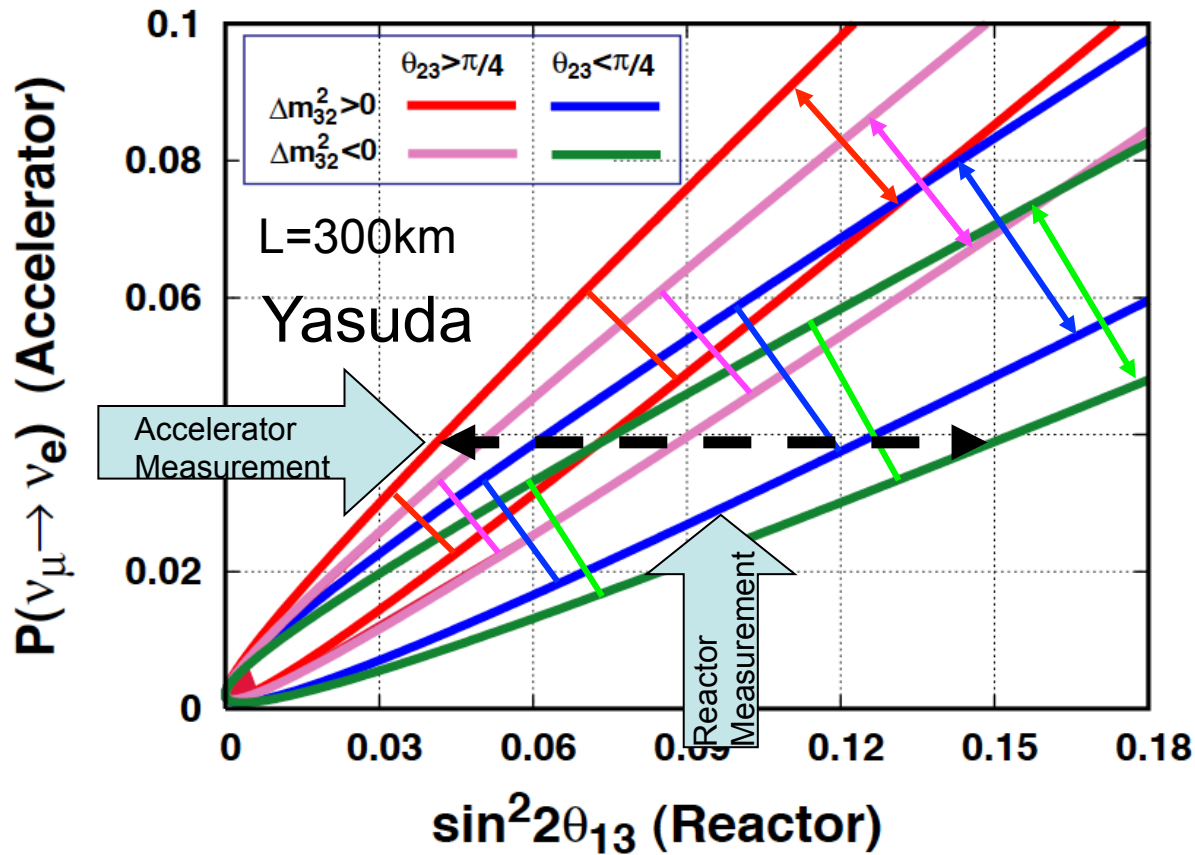
θ_{23} degeneracy

$$P_{AC}(\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e) = \frac{0.50 \pm 0.11}{(1 \mp 0.00017L[km])^2} \sin^2 2\theta_{13} \pm 0.045 \sin 2\theta_{13} \sin \delta$$

Matter effect

δ dependence

$\sin^2 2\theta_{23} = 0.95$



T2K : $P \sim 0.055 \pm xx$ (not official value)
 If $= 0.055 \pm 0.004$

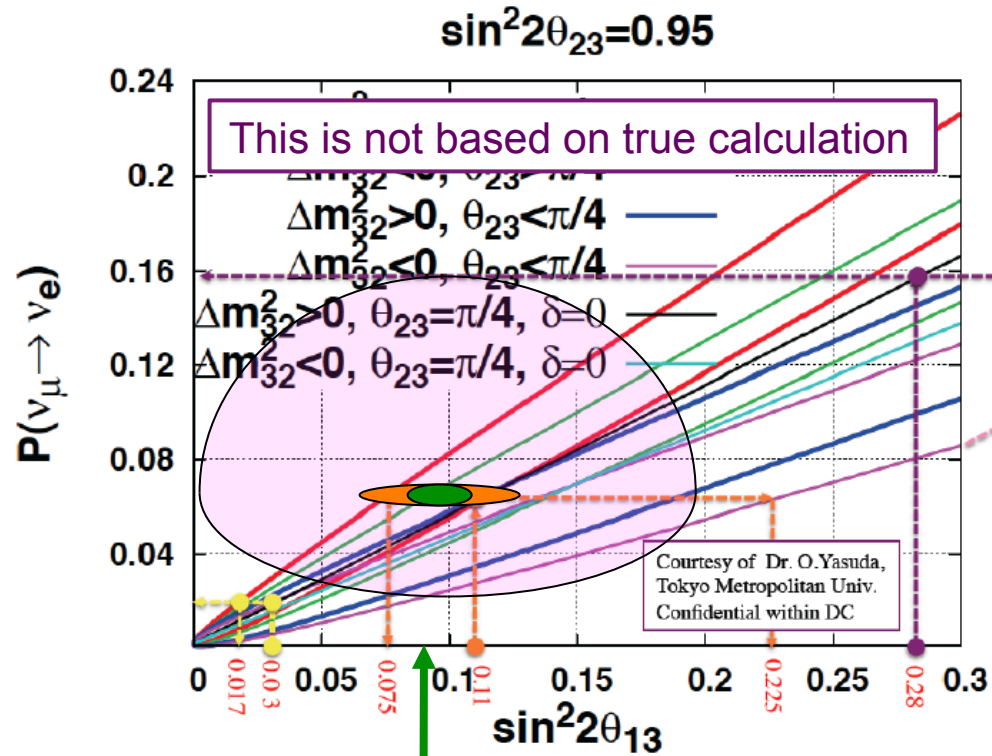


Fig.1, Relation between oscillation probability and $\sin^2 2\theta_{13}$.

DC: $\sin^2 2\theta_{13} = 0.085 \pm 0.084$ (90% CL)

If $\Rightarrow 0.085 \pm 0.03$

If $\Rightarrow 0.085 \pm 0.01$ (DB)

Conclusion –II

$\sin^2 2\theta_{13} \sim 0.1 \rightarrow$ Fruitful future!

- * CPV- δ , measurement by Accelerator
- * Mass hierarchy determination by Accelerator
- * mass hierarchy determination by Reactor @ $L \sim 50\text{km}$
- * Δm^2_{13} measurement by Reactors
- * θ_{23} degeneracy by A&R
- * Early non-0 δ detection by A&R
- :

Serious studies on strategy will be necessary