Double Chooz実験による ニュートリノ振動解析の最新結果

前田　順平
JSPS research fellow (Tokyo Metropolitan University)

九州大学, 29 November 2011

DOUBLE
First results from
the Double Chooz experiment
De Kerret
LowNu, Seoul, Nov. 11
2011

Contents

- ニュートリノ振動とθ_{13}
- Double Chooz実験
  - 概要
  - Detector
  - Calibration
  - 原子炉ニュートリノスペクトル
  - ニュートリノ事象選別
  - バックグラウンド
  - ニュートリノ振動解析
- 今後
- まとめ

- ニュートリノ振動とθ_{13}
- Double Chooz実験
  - 概要
  - Detector
  - Calibration
  - 原子炉ニュートリノスペクトル
  - ニュートリノ事象選別
  - バックグラウンド
  - ニュートリノ振動解析
- 今後
- まとめ

ニュートリノ振動

- Neutrino oscillation occurs as mixing of mass eigenstates and flavour eigenstates.

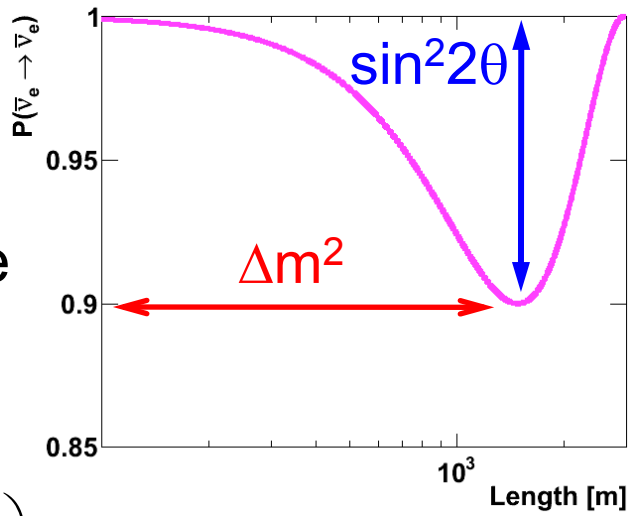
- 2世代の場合

Flavour eigenstate　　Mass eigenstate

$$|\nu_\alpha\rangle = \cos\theta|\nu_1\rangle + \sin\theta|\nu_2\rangle$$
$$|\nu_\beta\rangle = -\sin\theta|\nu_1\rangle + \cos\theta|\nu_2\rangle$$

θ : Mixing angle

$$\Delta m^2 = m_1^2 - m_2^2$$



$$P(\nu_\alpha \to \nu_\alpha) = 1 - \sin^2 2\theta \cdot \sin^2\left(\frac{1.27\Delta m^2\,[\mathrm{eV}^2]\cdot L\,[\mathrm{m}]}{E\,[\mathrm{MeV}]}\right)$$

Neutrino oscillation happens only if $\theta \neq 0$ and $\Delta m^2 \neq 0$.

→ゼロでない有限の質量

ニュートリノ振動

$c_{ij}=\cos\theta_{ij}$,
$s_{ij}=\sin\theta_{ij}$

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

θ_{23}:
$P(\nu_\mu\rightarrow\nu_\mu)$ by
Atm. ν & ν beam

θ_{13}:
$P(\nu_e\rightarrow\nu_e)$ by Reactor ν

θ_{13}& δ:
$P(\nu_\mu\rightarrow\nu_e)$ by ν beam

θ_{12}:
$P(\nu_e\rightarrow\nu_x)$ by
Reactor ν & solar ν

2011年初めでは…

$\sin^2 2\theta_{23} = 0.50^{+0.08}_{-0.07}$
$\Delta m^2_{23}=(2.5^{+0.20}_{-0.25})\times10^{-3}$ eV^2

$\sin^2 2\theta_{13} < 0.15$

$\sin^2\theta_{12} = 0.30^{+0.02}_{-0.03}$
$\Delta m^2_{12}=(7.9\pm0.3)\times10^{-5}$ eV^2

Δm^2_{12}, Δm^2_{23}, θ_{23}, θ_{12}, θ_{13}, δ

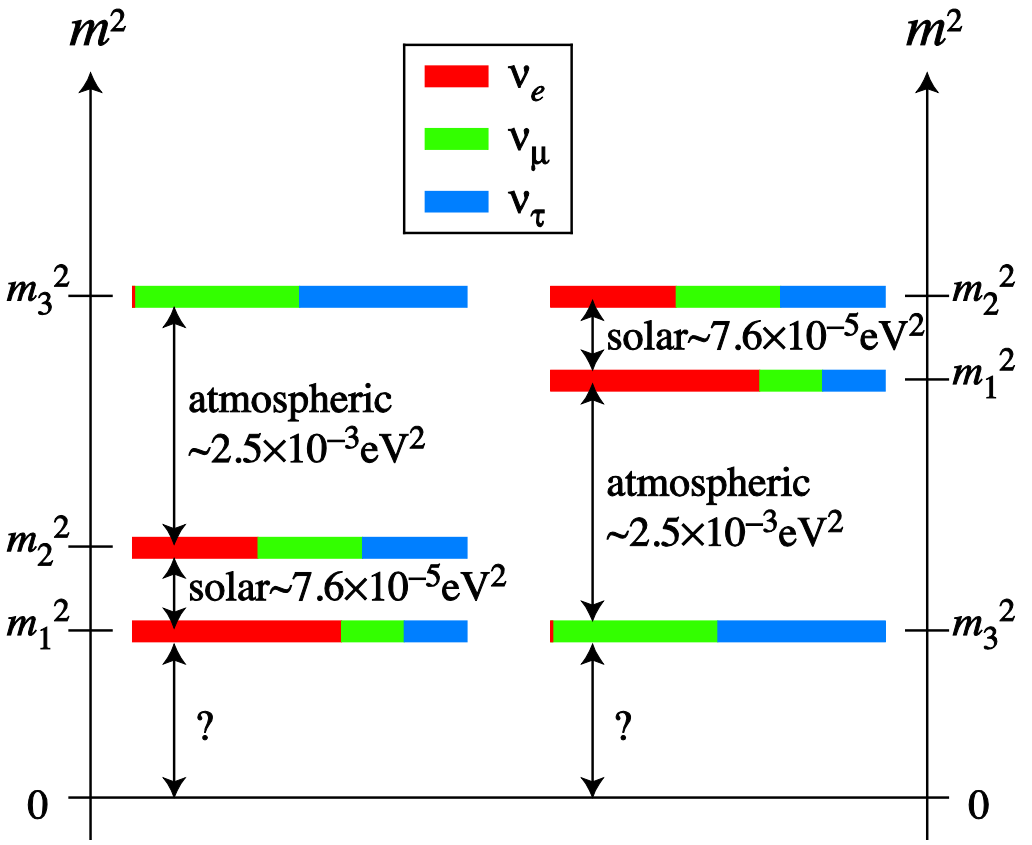
(2 mass differences, 3 angles, 1 complex phase)

Remains

Small θ_{13}
leptonic ~~CP~~ phase δ
Mass hierarchy

ニュートリノ振動パラメータ測定の現状

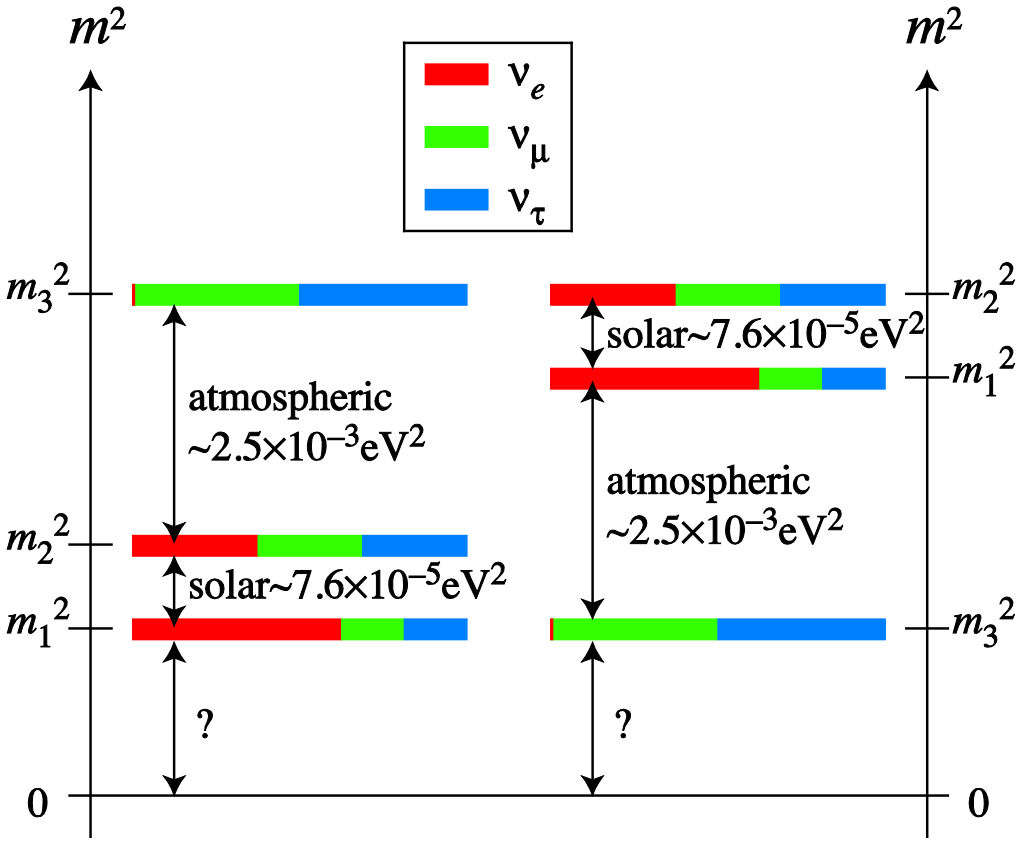
- 質量差
  - $\Delta m_{21}^2 \sim 8\times10^{-5}\ eV^2$
  - $|\Delta m_{32}^2| \sim |\Delta m_{31}^2| \sim 2.5\times10^{-3}\ eV^2$
- 混合角
  - $\theta_{12} \sim 34^o$
  - $\theta_{23} \sim 45^o$
  - $\theta_{13} < 12^o$ ($\sin^2 2\theta_{13} < 0.15$)



- CP対称性の破れ→未測定
- 質量の階層問題→未測定
- 質量絶対値→未測定

ニュートリノ振動パラメータ測定の現状

- 質量差
  - $\Delta m_{21}^2 \sim 8\times10^{-5}\ eV^2$
  - $|\Delta m_{32}^2| \sim |\Delta m_{31}^2| \sim 2.5\times10^{-3}\ eV^2$
- 混合角
  - $\theta_{12} \sim 34^\circ$
  - $\theta_{23} \sim 45^\circ$
  - $\theta_{13} < 12^\circ$ ($\sin^2 2\theta_{13} < 0.15$)



- CP対称性の破れ→未測定
- 質量の階層問題→未測定
- 質量絶対値→未測定

ニュートリノ振動実験では混合角との組み合わせが測定量となる

→測定の実現のためにはθ_{13}の値を知ることが必要不可欠

Reactor? or Accelrator?

- 原子炉ニュートリノ実験：Double Chooz, Daya Bay, RENO…

$$P\left[\overline{\nu_e} \to \overline{\nu_e}\right] \cong 1 - \sin^2 2\theta_{13} \sin^2\left(\frac{\Delta m^2_{31} L}{4E}\right) + O(10^{-3})$$

  - θ_{13}に対してのみ感度を持つ

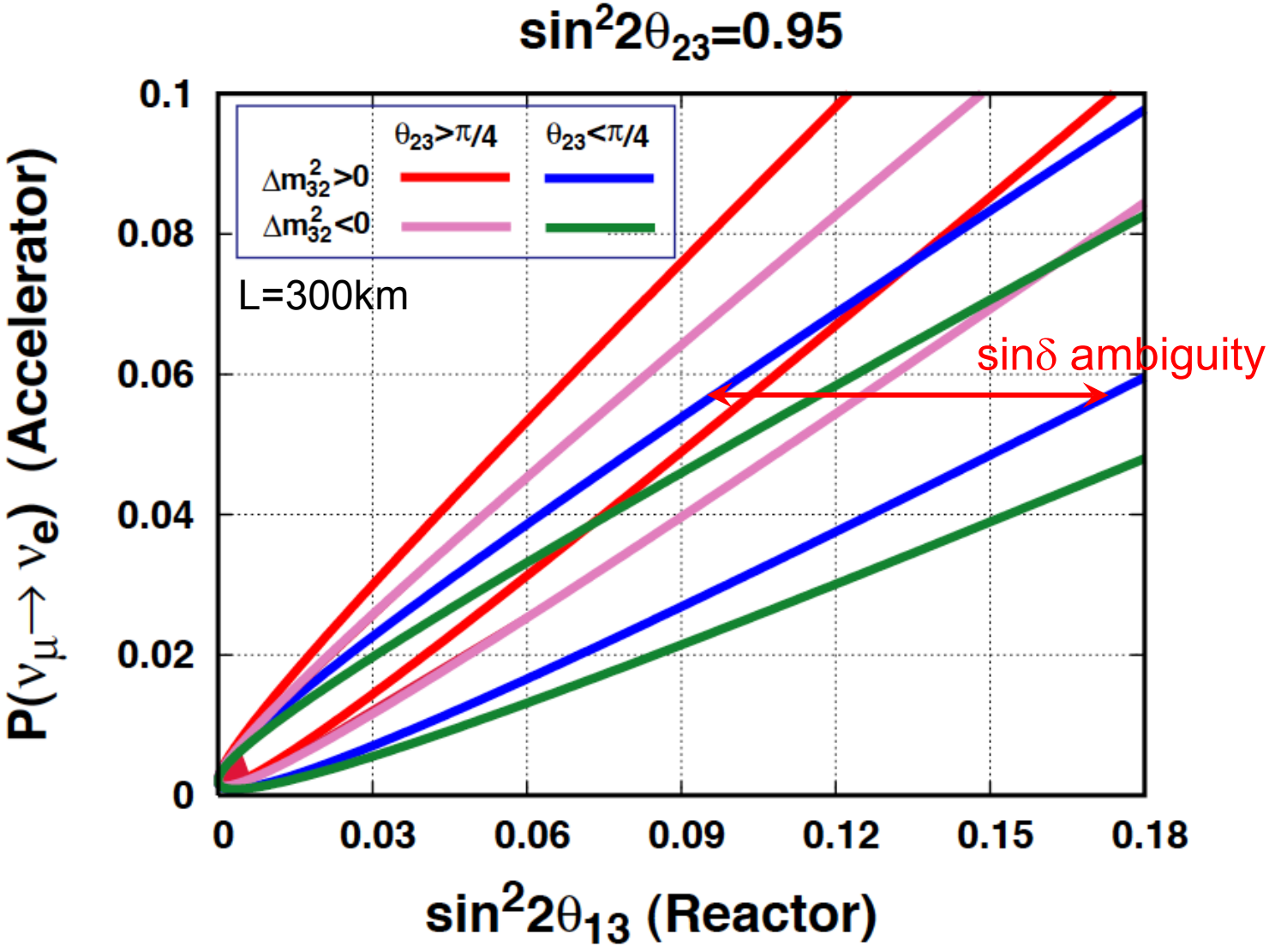
- 加速器ニュートリノによる長基線ニュートリノ実験：T2K, NOvA, …

$$P\left[\nu_\mu(\overline{\nu_\mu}) \to \nu_e(\overline{\nu_e})\right] = \sin^2 2\theta_{13} s^2_{23} \sin^2\left(\frac{\Delta m^2_{31} L}{4E}\right) - \frac{1}{2} s^2_{12} \sin^2 2\theta_{13} s^2_{23} \left(\frac{\Delta m^2_{21} L}{2E}\right) \sin\left(\frac{\Delta m^2_{31} L}{2E}\right)$$
$$+ 2 J_r \cos\delta \left(\frac{\Delta m^2_{21} L}{2E}\right) \sin\left(\frac{\Delta m^2_{31} L}{2E}\right) \mp 4 J_r \sin\delta \left(\frac{\Delta m^2_{21} L}{2E}\right) \sin^2\left(\frac{\Delta m^2_{31} L}{4E}\right)$$
$$\pm \cos 2\theta_{13} \sin^2 2\theta_{13} s^2_{23} \left(\frac{4Ea(x)}{\Delta m^2_{31}}\right) \sin^2\left(\frac{\Delta m^2_{31} L}{4E}\right)$$
$$\mp \frac{a(x)L}{2} \sin^2 2\theta_{13} \cos 2\theta_{13} s^2_{23} \sin\left(\frac{\Delta m^2_{31} L}{2E}\right) + c^2_{23} \sin^2 2\theta_{12} \left(\frac{\Delta m^2_{21} L}{4E}\right)^2$$

$$a(x) = \sqrt{2} G_F N_e(x)$$
$$J_r \equiv c_{12} s_{12} c^2_{13} s_{13} c_{23} s_{23}$$

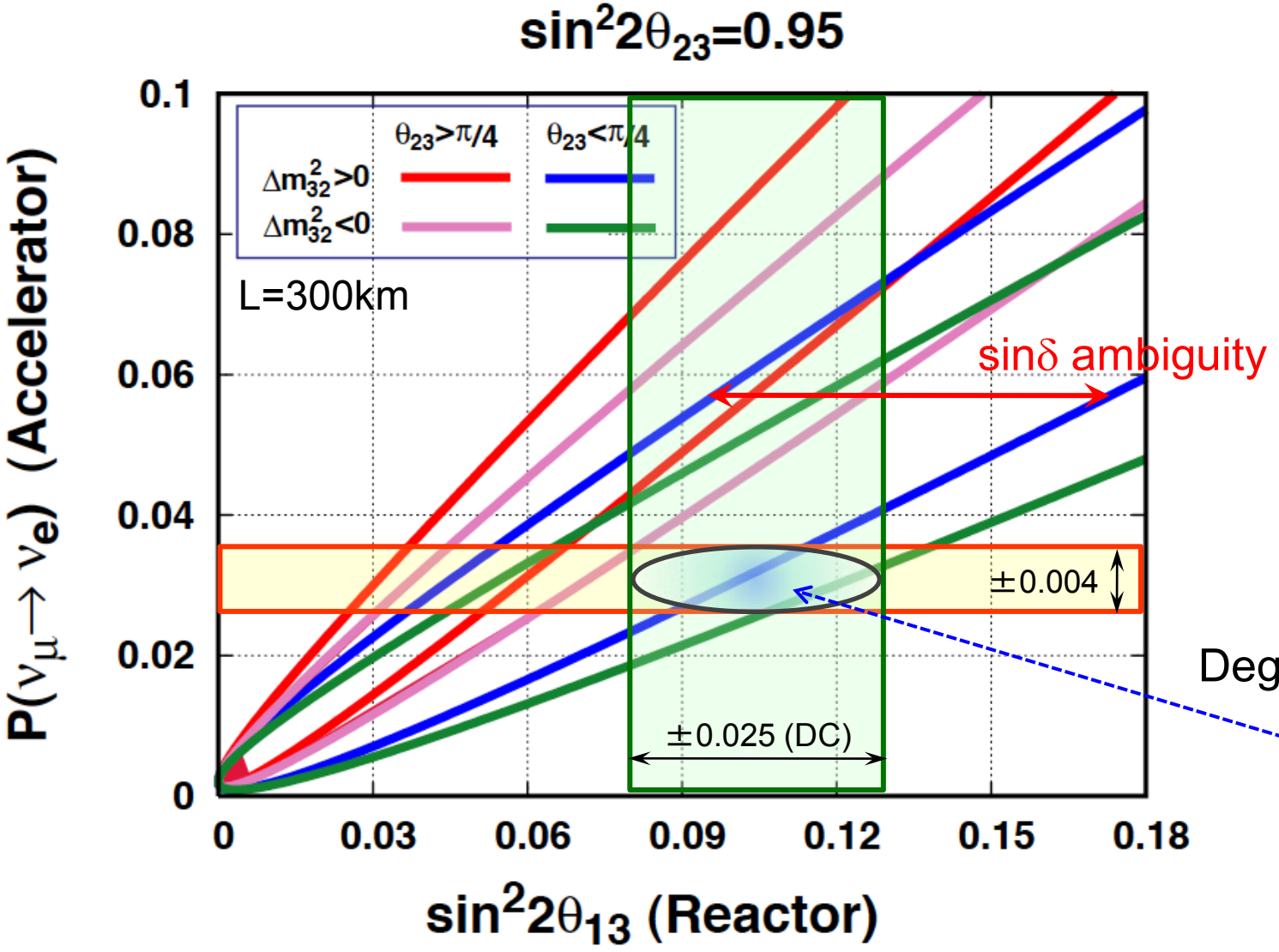
  - θ_{13}, δ_{CP}, mass hierarchy, θ_{23} に対して感度を持つ
    → パラメータ縮退によるθ_{13}に対する不定性は避けられない
  - 将来的にはニュートリノビーム、反ニュートリノビームを用いた測定の組み合わせによりδ_{CP}, mass hierarchyの測定の可能性

加速器実験との相補性


$\sin^2 2\theta_{23}=0.95$
$\theta_{23}>\pi/4$
$\theta_{23}<\pi/4$
$\Delta m^2_{32}>0$
$\Delta m^2_{32}<0$
L=300km
sinδ ambiguity
$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e)$ (Accelerator)
$\sin^2 2\theta_{13}$ (Reactor)
0.1
0.08
0.06
0.04
0.02
0
0.03
0.06
0.09
0.12
0.15
0.18

加速器実験との相補性

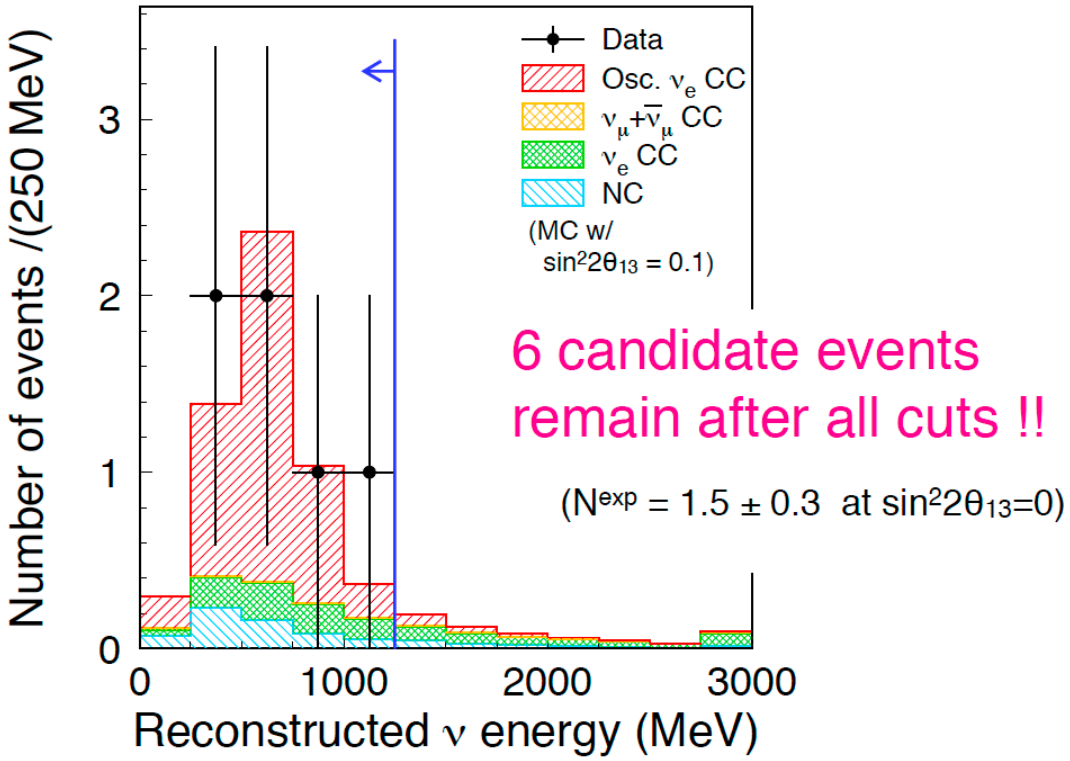
もし …



Degeneracy solved!

$$\theta_{23} < \frac{\pi}{4}$$

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

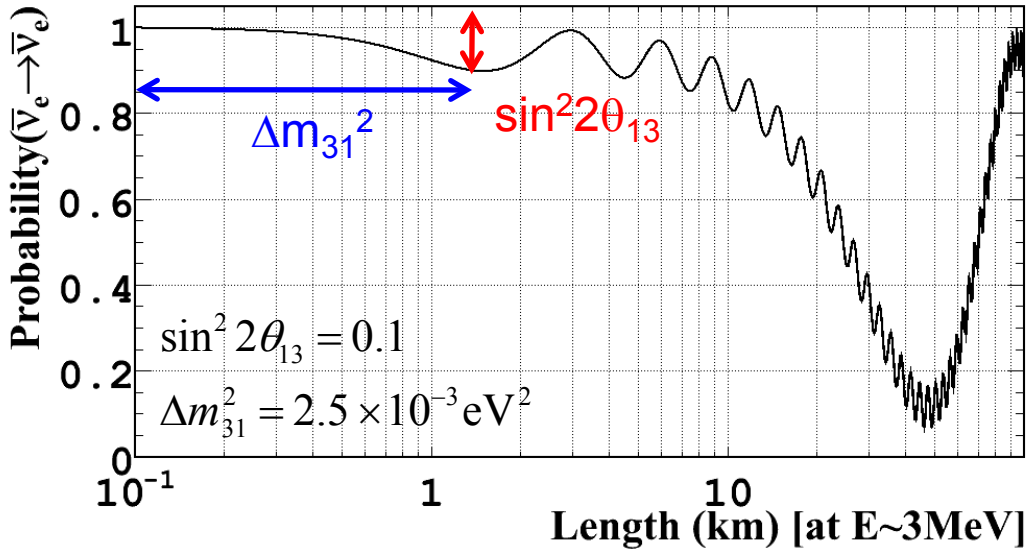


- 2.5σ significance of non-zero θ_{13}
- 0.03 (0.04)< $\sin^2 2\theta_{13}$< 0.28 (0.34) @90% C.L. for normal (inverted) hierarchy (Δm^2_{23}=2.4 x10^{-3} eV^2, δ_{CP}=0, $\sin^2 2\theta_{23}$=1.0を仮定)

- ニュートリノ振動とθ_{13}
- Double Chooz実験
  - 概要
  - Detector
  - Calibration
  - 原子炉ニュートリノスペクトル
  - ニュートリノ事象選別
  - バックグラウンド
  - ニュートリノ振動解析
- 今後
- まとめ

原子炉ニュートリノ振動実験

$$P\left[\overline{\nu_e} \to \overline{\nu_e}\right] \cong 1 - \sin^2 2\theta_{13} \sin^2\left(\frac{\Delta m^2_{31} L}{4E}\right) + O(10^{-3})$$

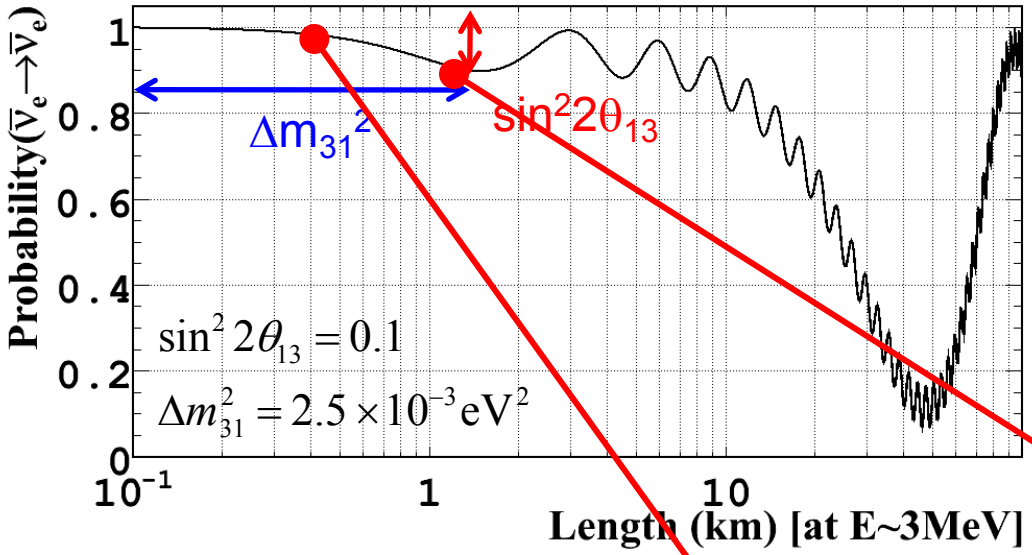


- 1km程度の距離においては2世代振動で仮定できる
  - 振動確率P($\nu_e \to \nu_e$) は Δm_{31}^2と θ_{13} の関数となる
  - 距離が短いため物質効果は無視できる
  - 振動確率はCP対称性の破れ(δ_{CP})に依存しない

  → 振動確率から直接θ_{13}が決定される

Double Chooz実験

$$P\left[\overline{\nu_e} \to \overline{\nu_e}\right] \cong 1 - \sin^2 2\theta_{13} \sin^2\left(\frac{\Delta m^2_{31} L}{4E}\right) + O(10^{-3})$$



2基の検出器を原子炉から異なる距離に設置

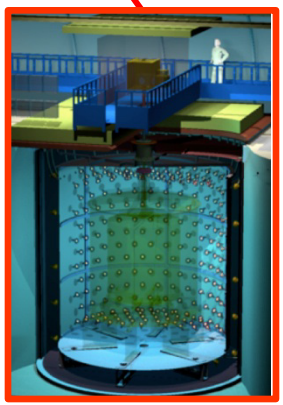
- ニュートリノフラックス
- 標的陽子数
- 検出器特性
- 検出効率

に起因する系統誤差を相殺
➡精密測定

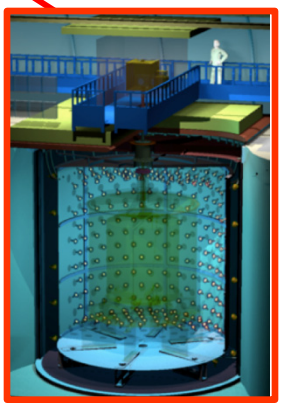
EDF

Chooz原子炉
4.27GW$_{th}$ x 2 cores

$\overline{\nu}_e$

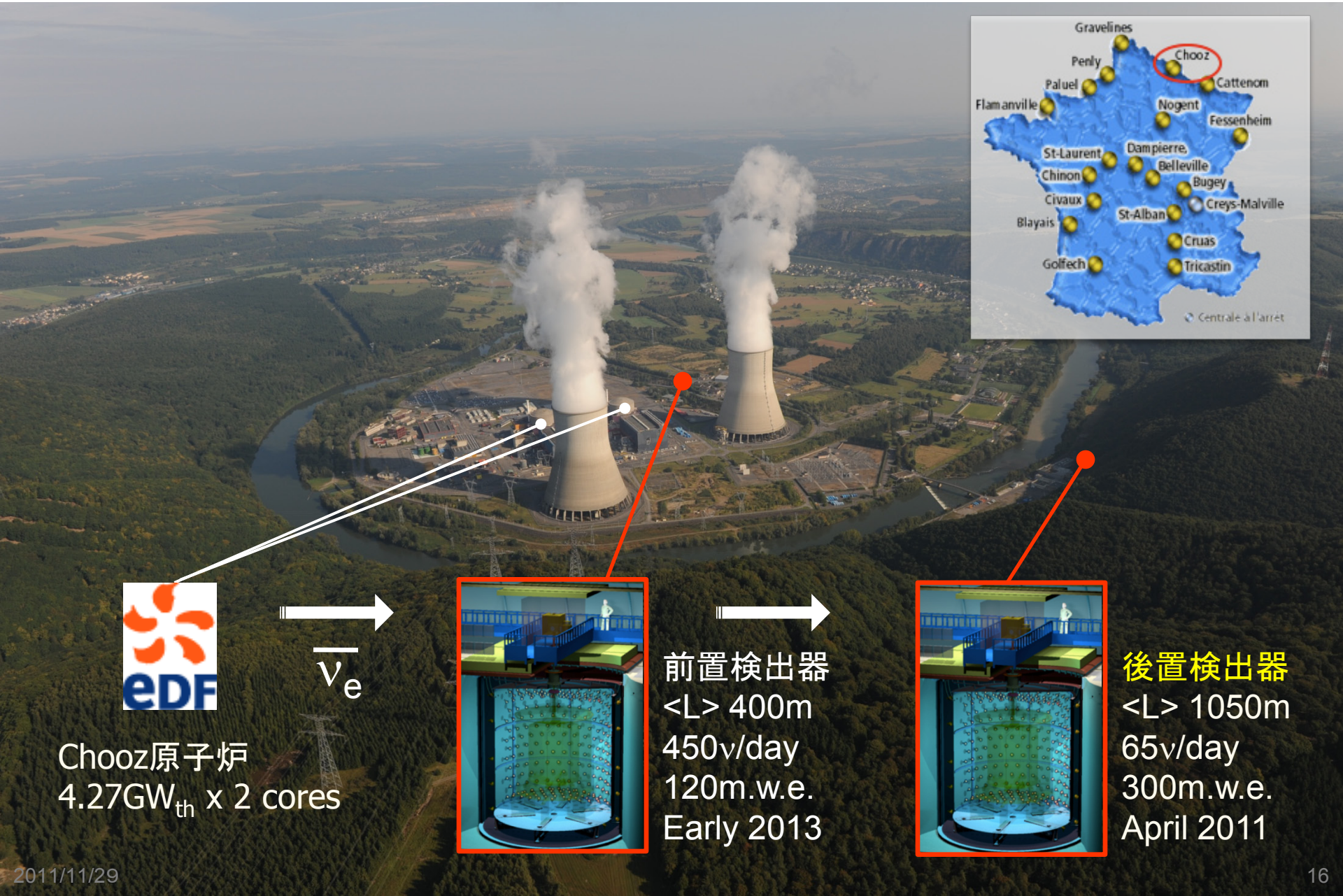


前置検出器
<L> 400m
450ν/day
120m.w.e.
Early 2013



後置検出器
<L> 1050m
65ν/day
300m.w.e.
April 2011

Double Chooz実験



Double Chooz collaboration

Brazil

CBPF
UNICAMP
UFABC

France

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

Germany

EKU Tübingen
MPIK Heidelberg
RWTH Aachen
TU München
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

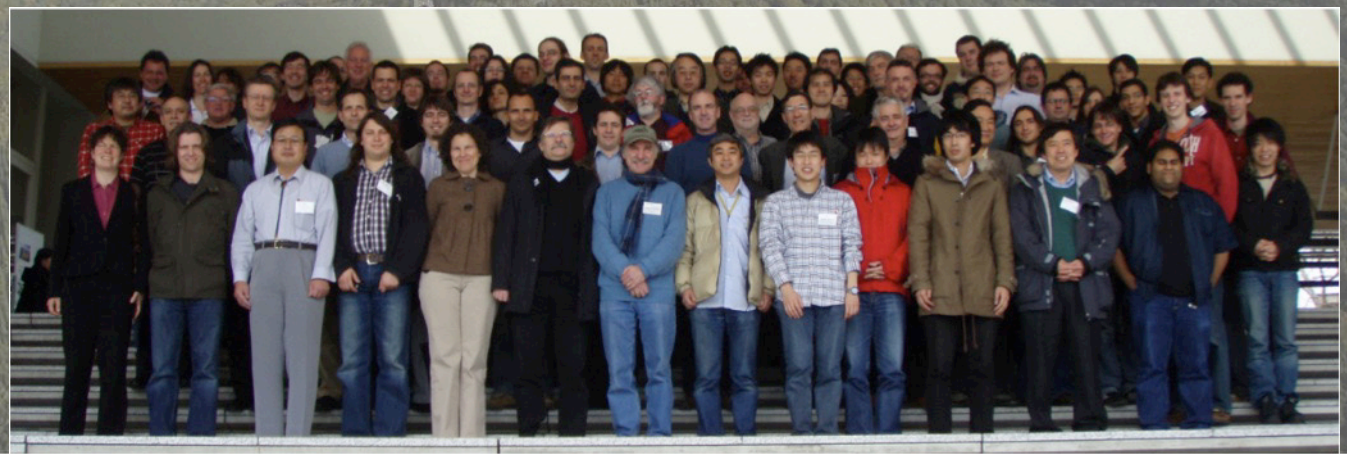
Sussex

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/

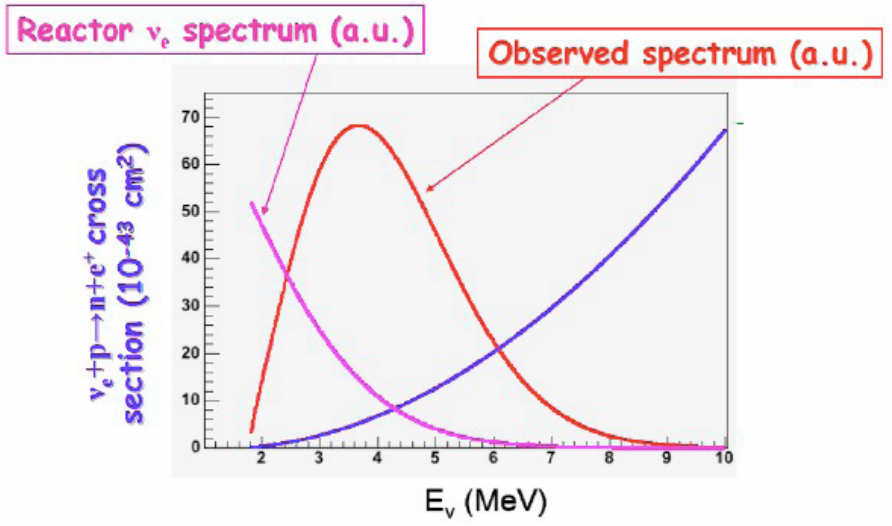


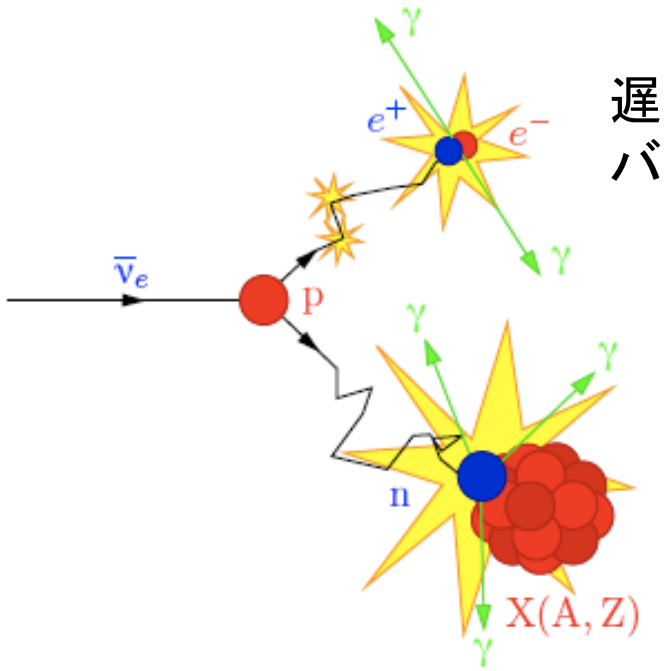
原子炉ニュートリノ測定原理

反電子ニュートリノの逆ベータ崩壊反応

$$\overline{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$$

- 反応のしきい値: 1.8 MeV
- 事象数: 65 events/day (DC 後置検出器)





遅延同時計測法(2つの同期信号を要求すること)により
バックグラウンドを大幅に低減

Prompt signal

陽電子およびその対消滅 (1~8 MeV)
ニュートリノエネルギー $E_\nu = E_{vis} + 0.8$ MeV

Delayed signal

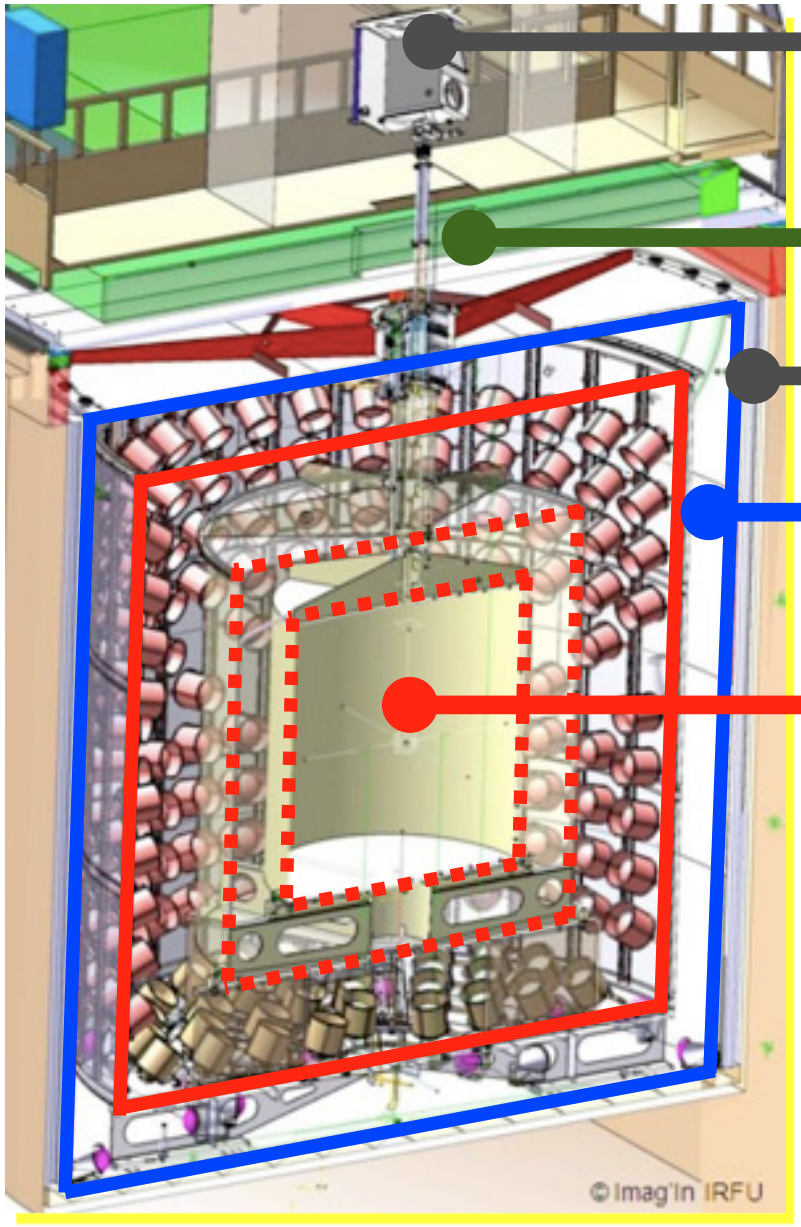
ガドリニウム原子核の中性子捕獲に伴うγ線 (8 MeV)

Time correlation

$\tau \sim 30\ \mu s$

- ニュートリノ振動とθ_{13}
- Double Chooz実験
  - 概要
  - Detector
  - Calibration
  - 原子炉ニュートリノスペクトル
  - ニュートリノ事象選別
  - バックグラウンド
  - ニュートリノ振動解析
- 今後
- まとめ

Detector design



Glove box
- for source deployment with GC-guide tube, Z-axis and Articulated arm (in future).

Outer Veto
- Plastic scintillator strip + WLS fiber + MAPMT.

Shielding
- ~250 tons of steel shielding (150 mm).

Inner Veto
- 90 m^3 liquid scintillator in a steel vessel (10 mm) equipped with 78 PMTs (8 inch).

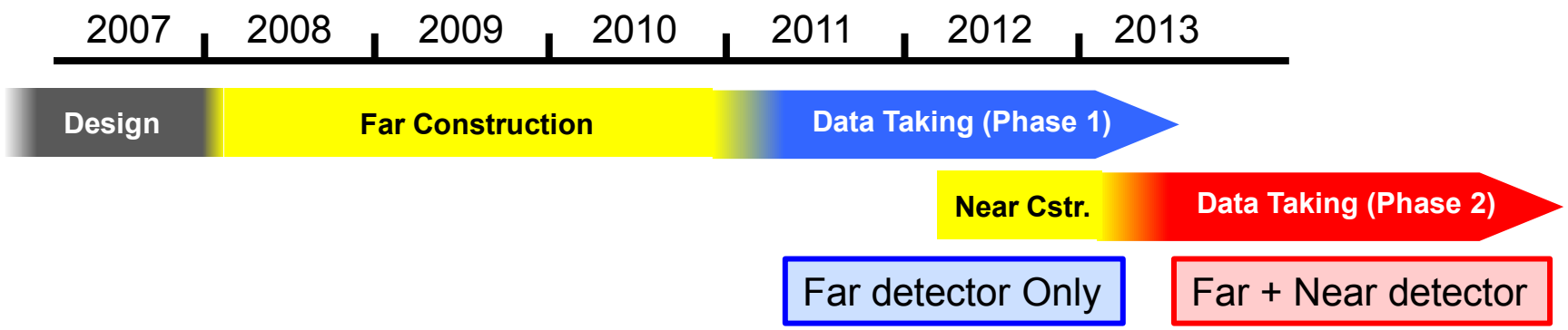
Inner Detector (three layers)

ν-target region
- 10.3 m^3 liquid scintillator doped with 0.1 g/l of Gd composed in acrylic vessel (8 mm).

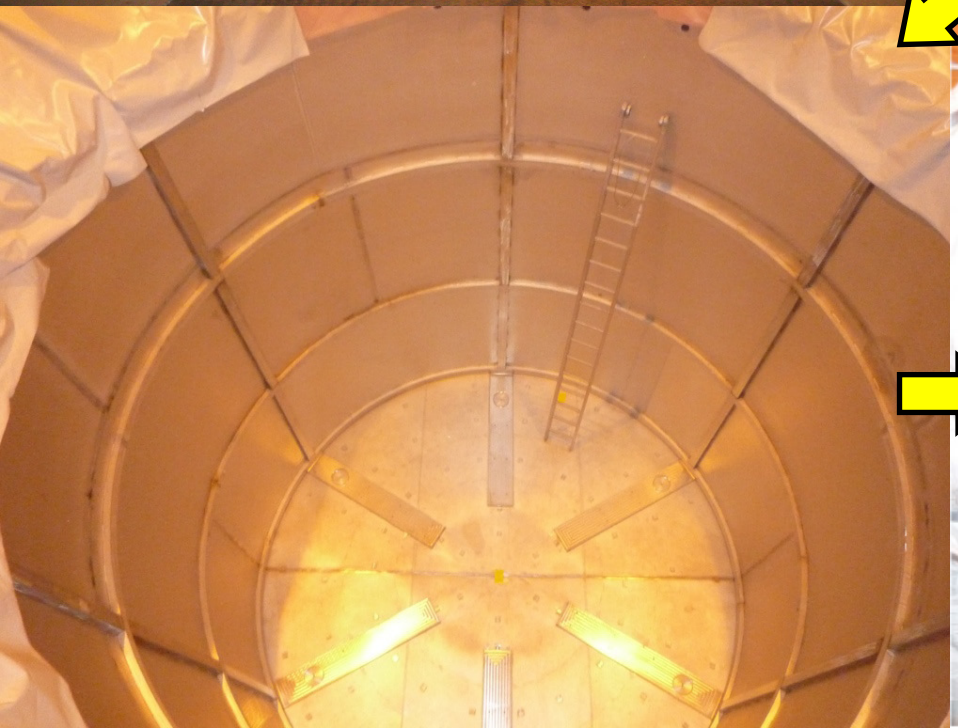
γ-catcher region
- 22.3 m^3 liquid scintillator in acrylic vessel (12 mm).

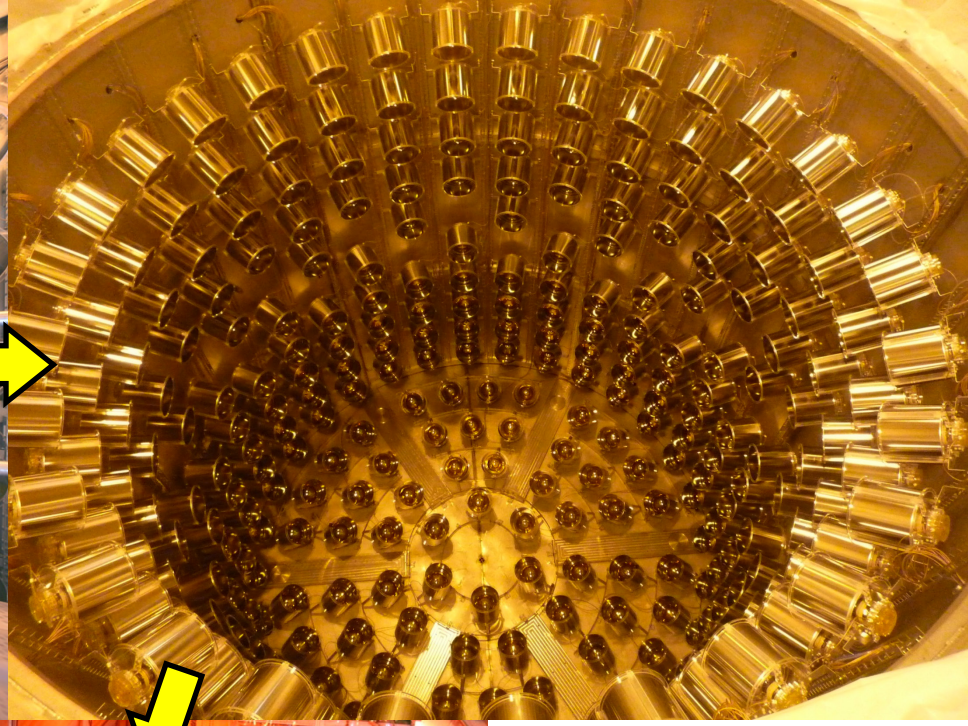
Buffer region
- 110 m^3 mineral oil in a stainless steel vessel (3 mm) viewed by 390 low-BG PMTs (10 inch).

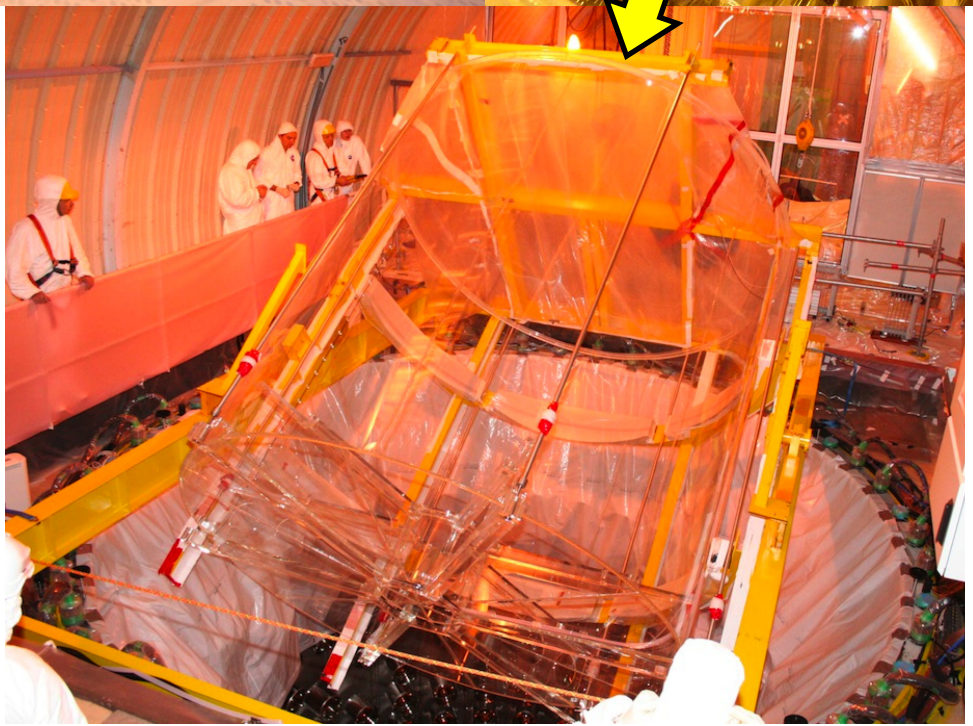
Milestones

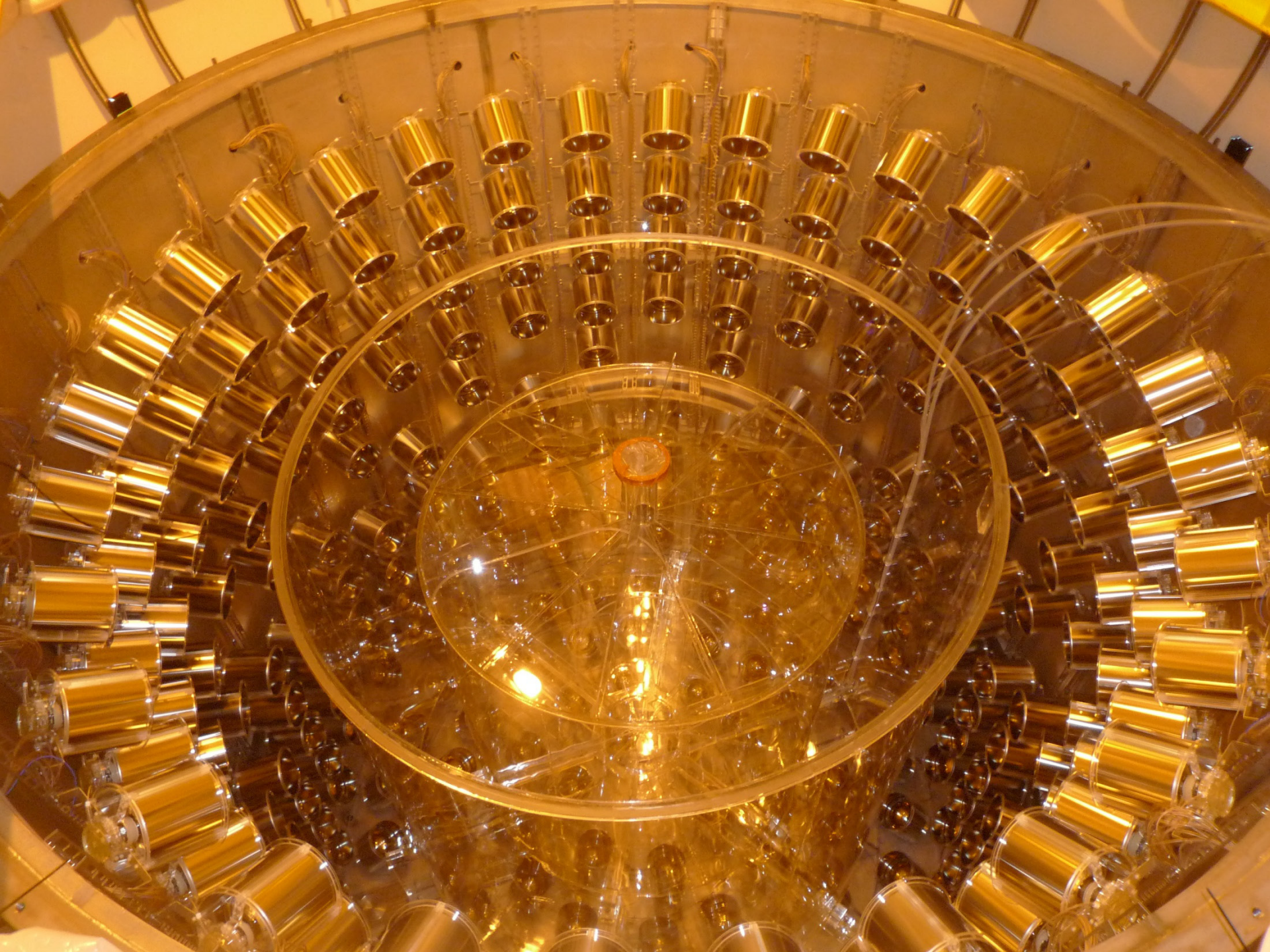


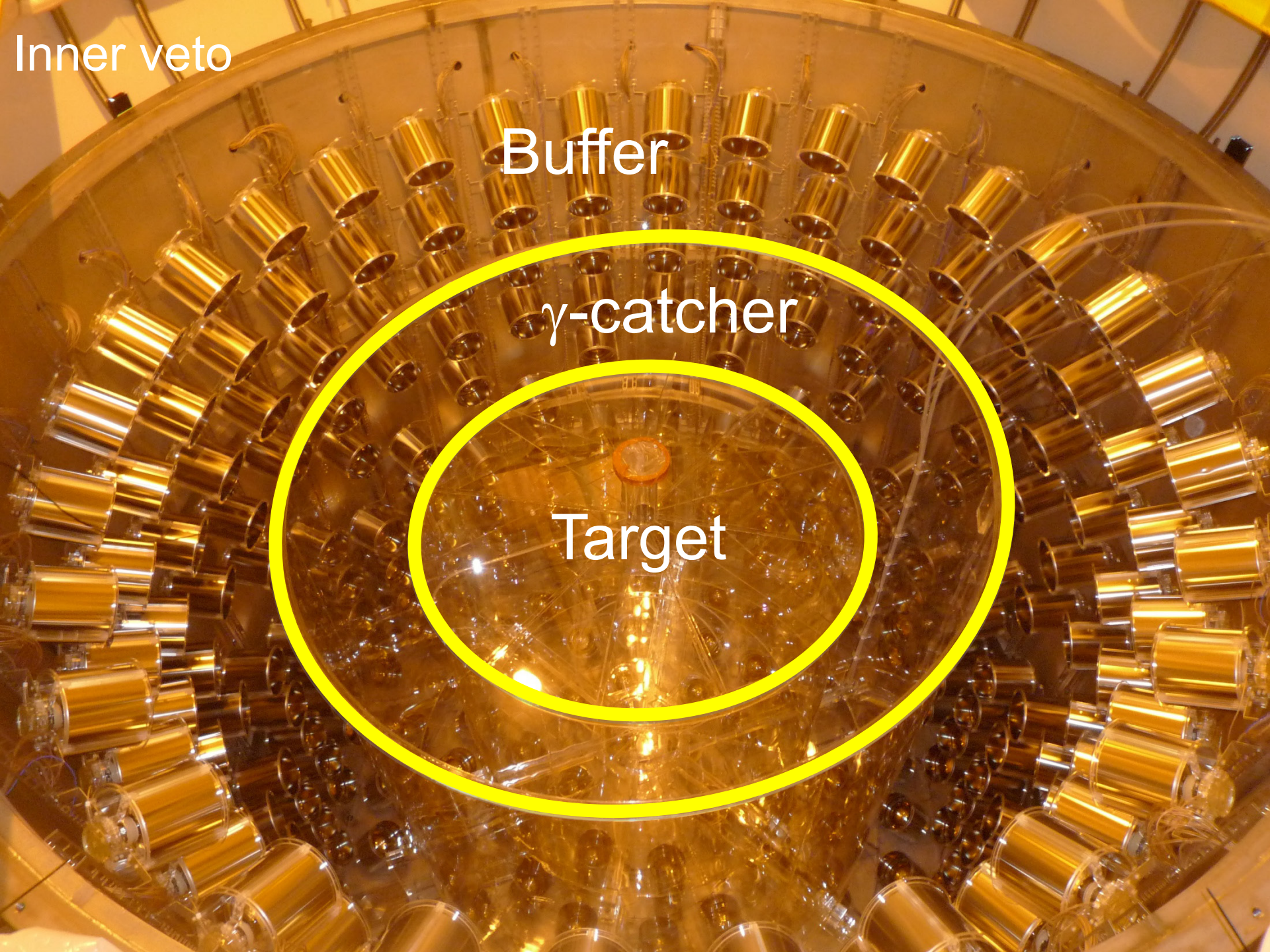
(2008年5月~) 2010年10月	後置検出器建設完了
2010年12月	液体シンチレータ注入完了
2011年4月	後置検出器試運転完了
	物理データ取得開始
	前置検出器建設に向け掘削開始
2011年7月	Outer Veto運転開始
2011年11月	最初のニュートリノ振動解析結果
2012年6月 （予定）	前置検出器ラボ完成
2013年初頭 （予定）	前置検出器完成 2基の検出器による測定開始

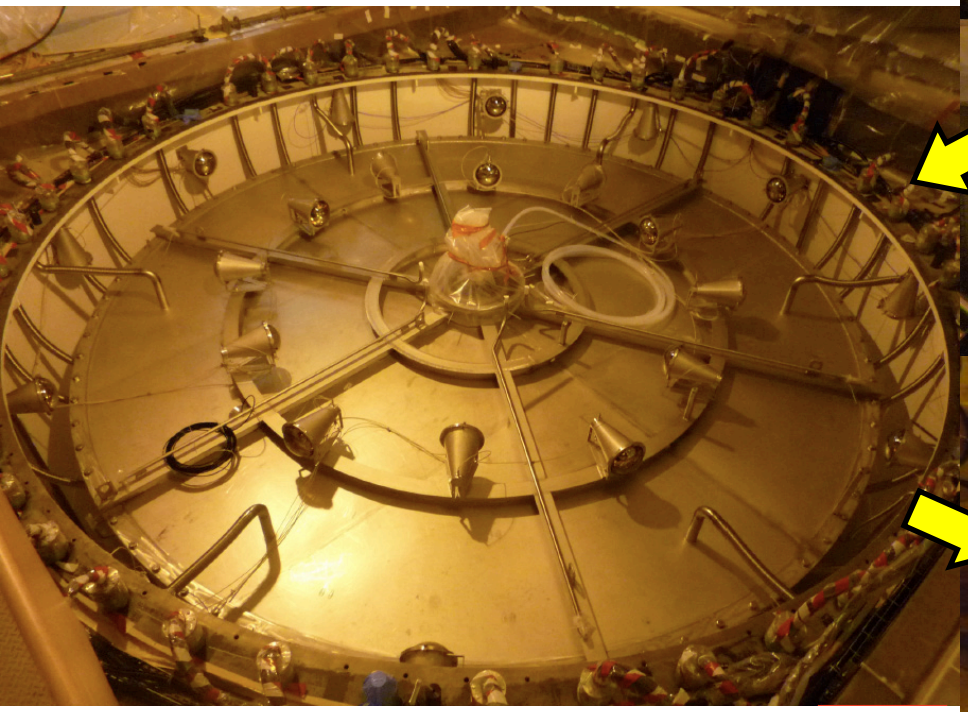




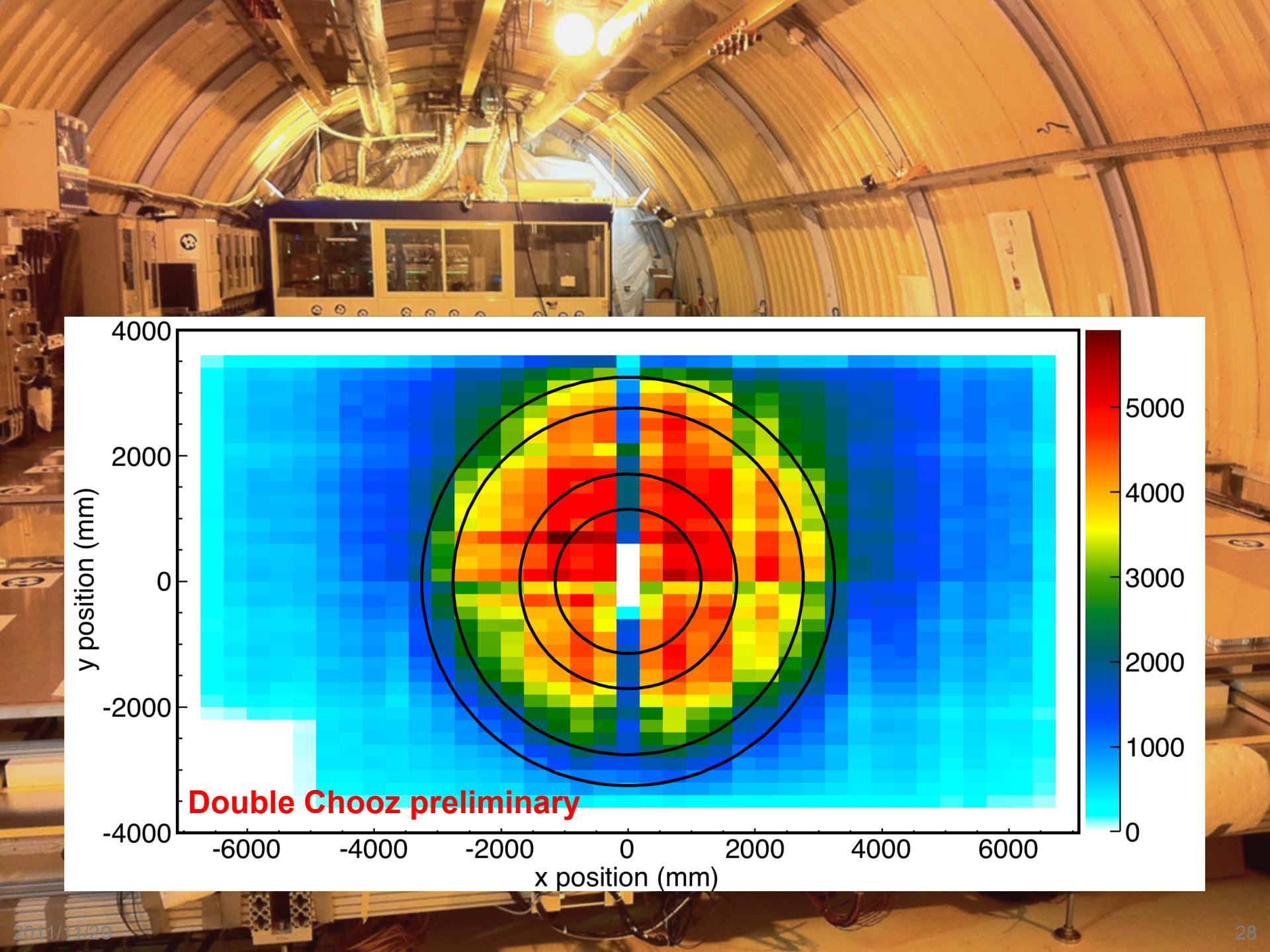





Inner veto
Buffer
γ-catcher
Target

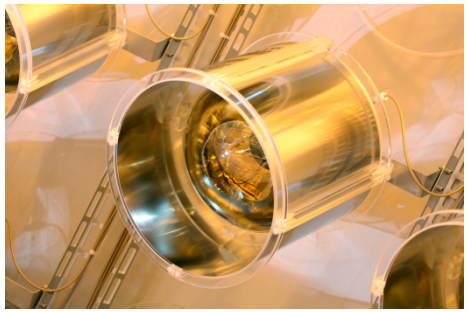


2011/11/29


4000
2000
0
-2000
-4000
y position (mm)
-6000
-4000
-2000
0
2000
4000
6000
x position (mm)
5000
4000
3000
2000
1000
0
Double Chooz preliminary

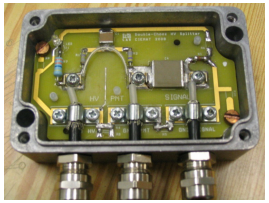
Electronics

Photomultiplier tubes
ID: 390 PMTs (R7081MOD)
IV: 78 PMTs (R1408)



sig.
HV

HV-Splitter
custom
(by CIEMAT)

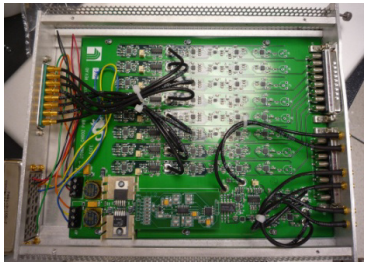


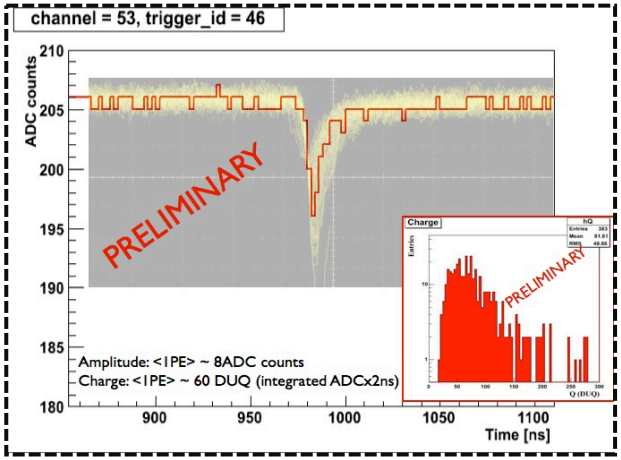
HV

HV-Supply
SY1527LC & A1535P
(by CAEN)

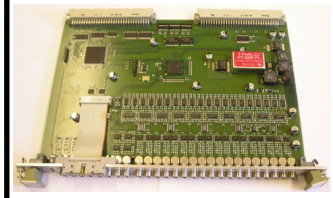
signal

Frontend Electronics
custom (by Drexel U. & LLNL)





Trigger & Clock
custom
(by RWTH-Aachen)



Trigger pattern & clock (T=16ns)

v-FADC & μ-FADC
VX1721 (by CAEN&APC)
custom (by CBPF)

vDAQ
MVME3100 (by Emerson)
implemented in Ada

Electronics

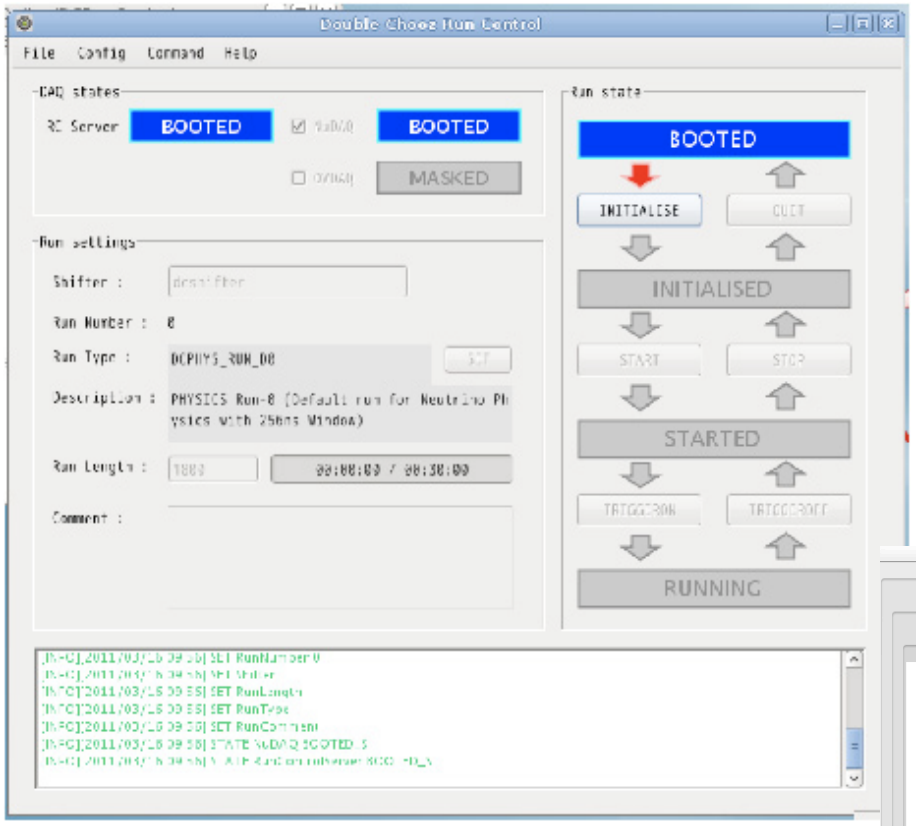
Photo
ID: 390
IV: 78 P

Trigg

(by RV

Trigger

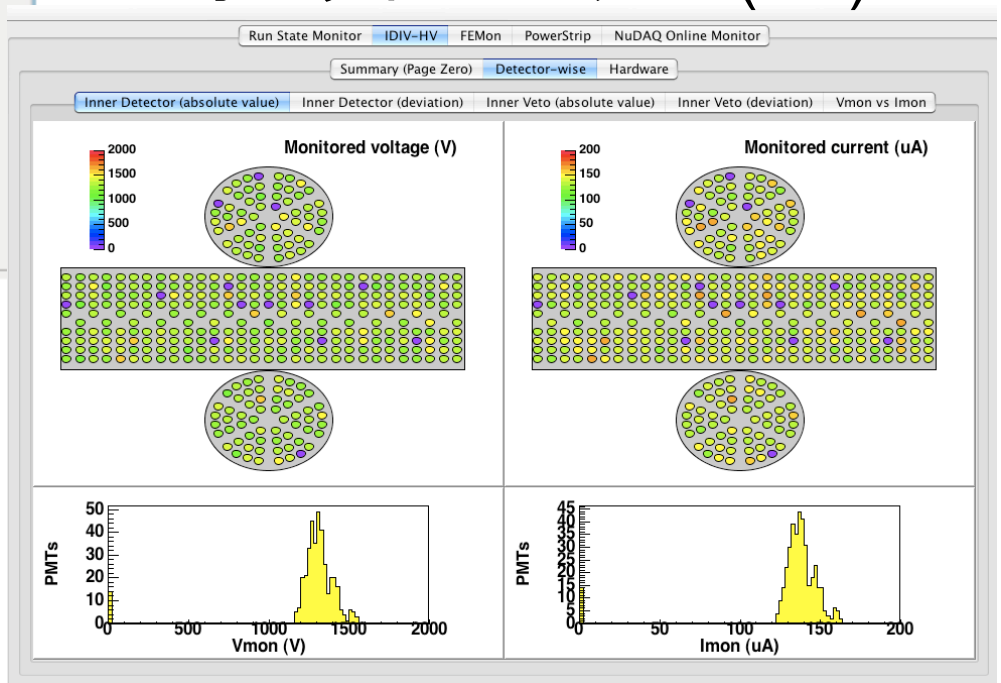
DAQ / Online system



ランコントロール

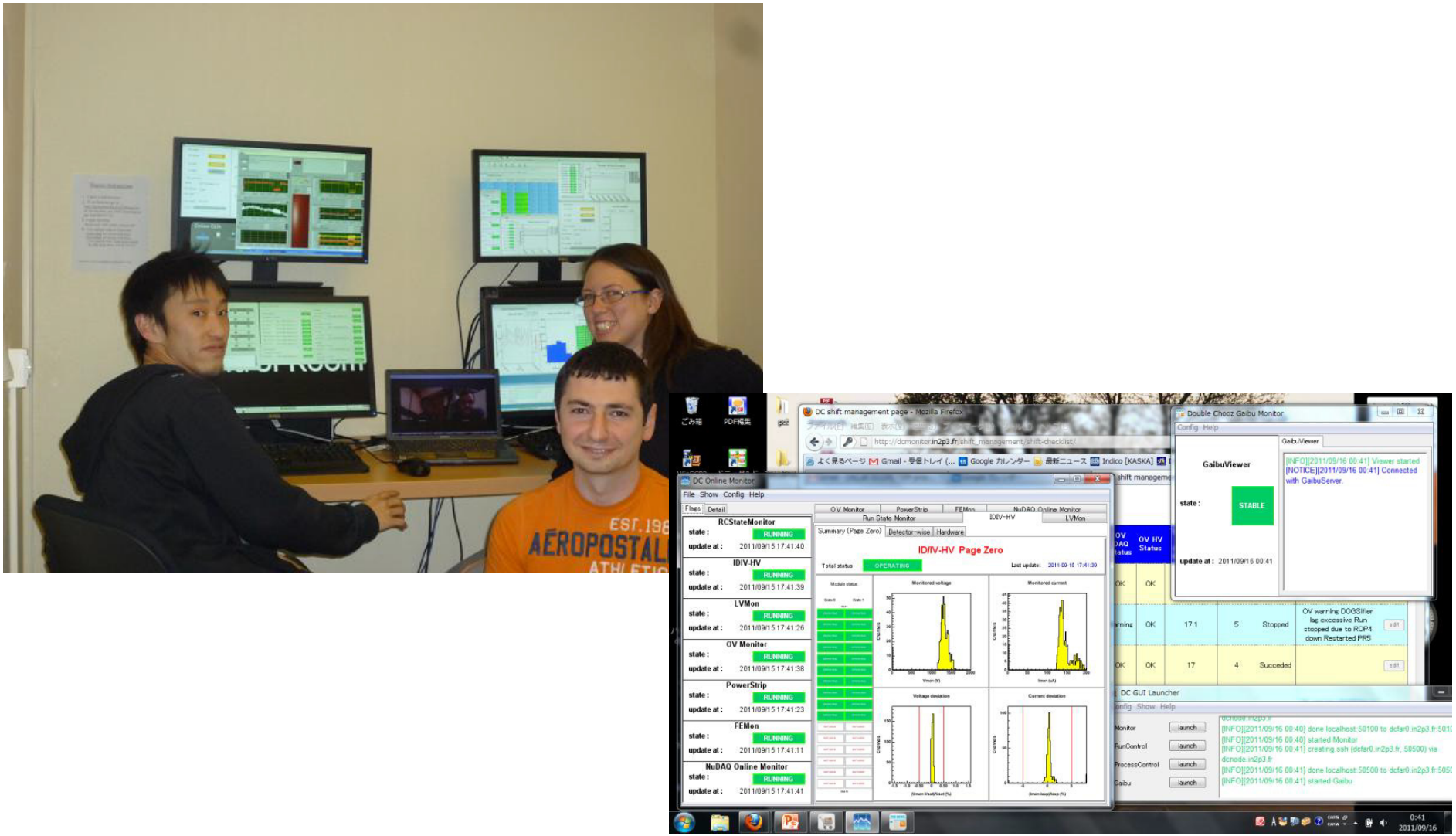
オンラインシステムはかなりの部分が
Developed in Japan

オンラインモニター (HV)

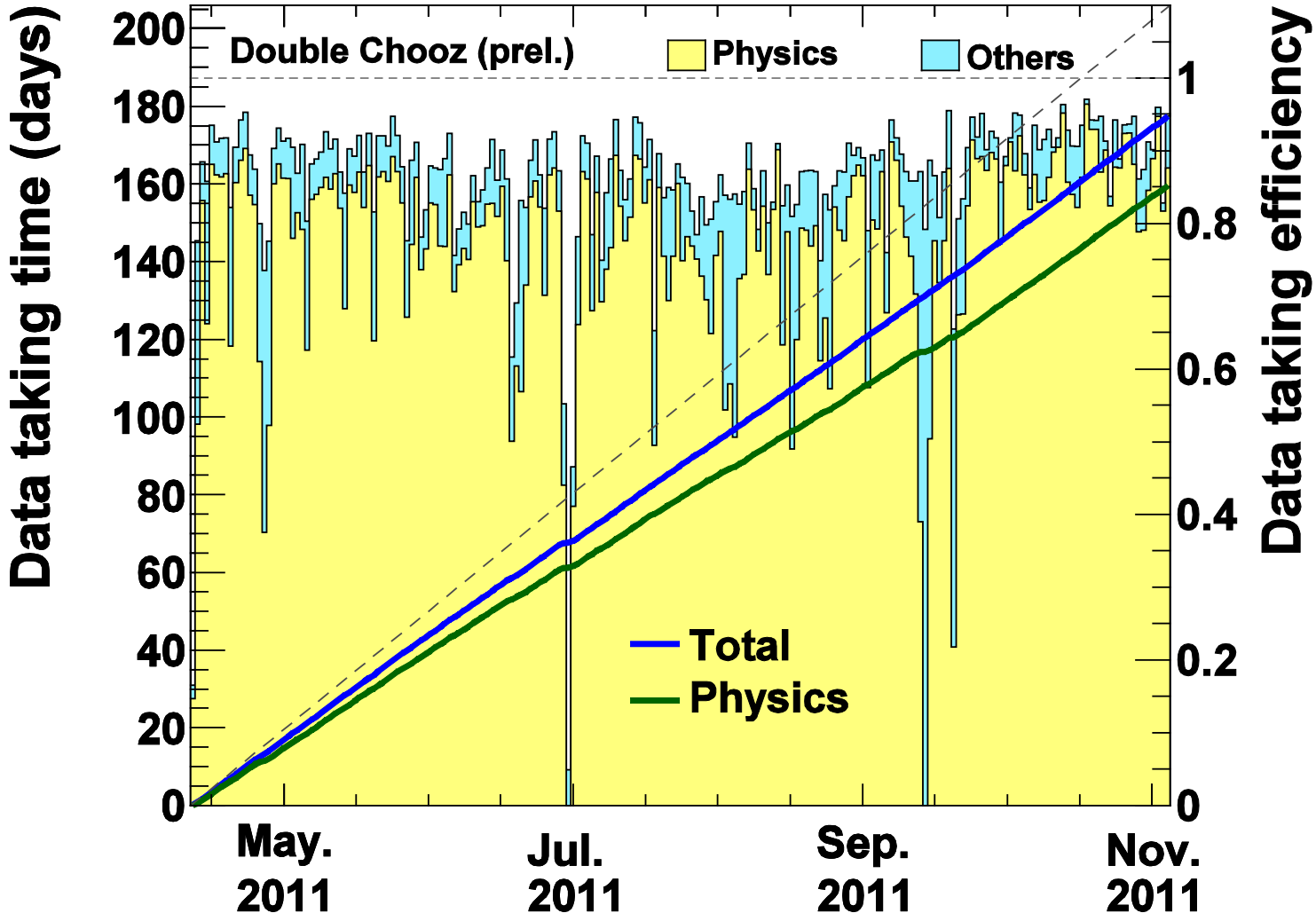


Data taking started!

- 2011年4月13日、現地時間18時に物理ラン開始



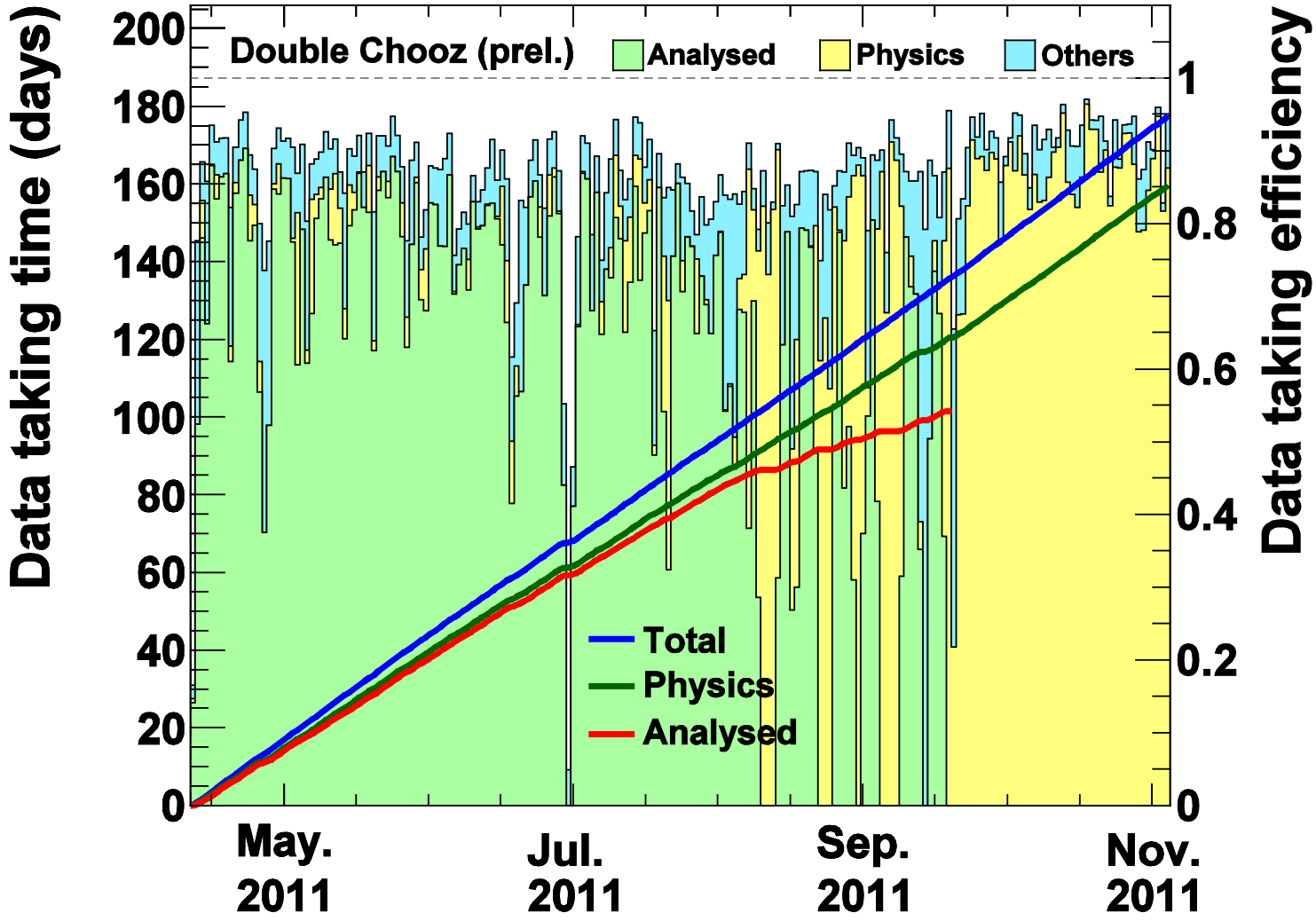
Data taking efficiency



Integrated data taking time in total so far : 177.4 days

for physics run : 159.6 days

Data taking efficiency

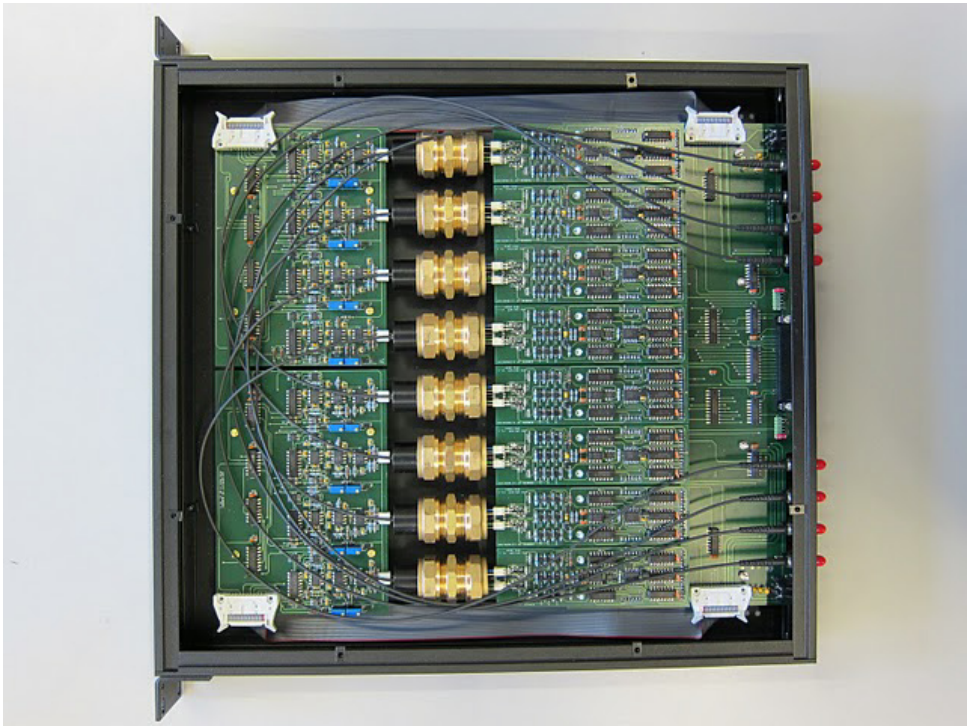


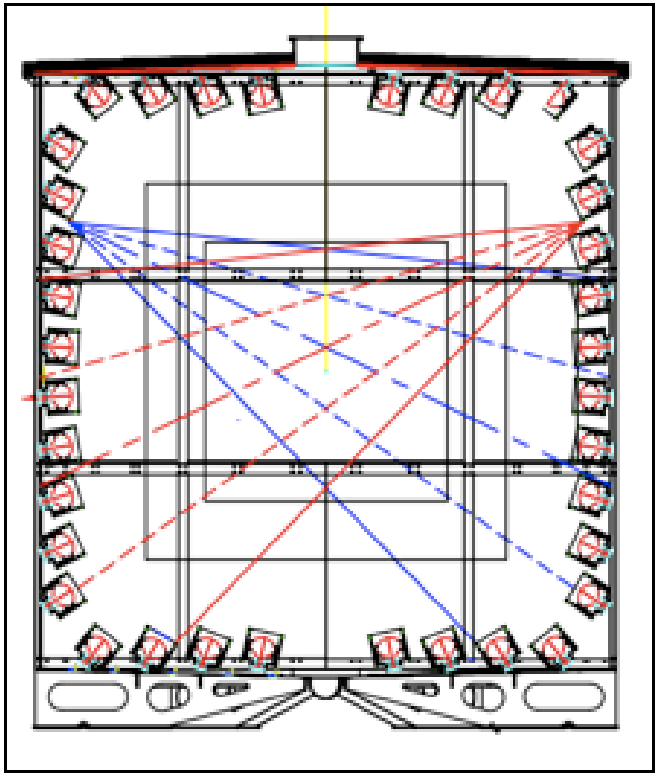
Run time : 101.523 days from April 13th to September 18th

Live time : 96.823 days (due to 1ms muon veto)

- ニュートリノ振動とθ_{13}
- Double Chooz実験
  - 概要
  - Detector
  - Calibration
  - 原子炉ニュートリノスペクトル
  - ニュートリノ事象選別
  - バックグラウンド
  - ニュートリノ振動解析
- 今後
- まとめ

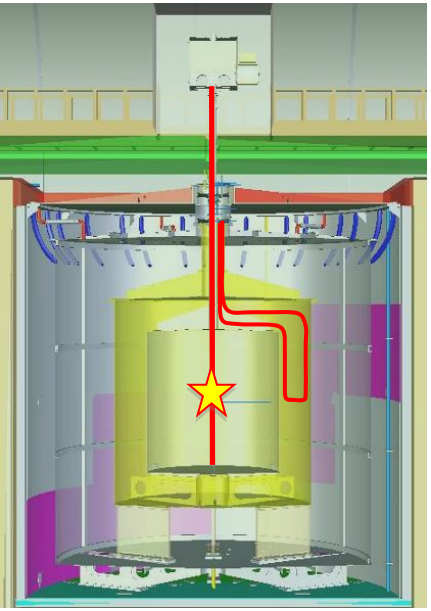
LED calibration system





- LED光源からの光をファイバーを通して検出器内に照射
- 検出器内に恒久的に設置されているため、検出器特性の時間変動のキャリブレーションにも用いられる。

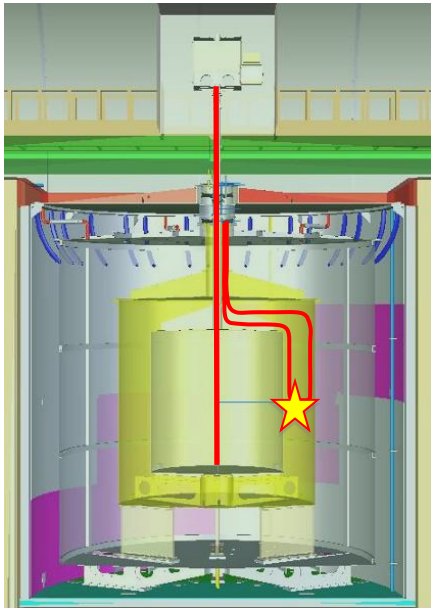
Energy calibration



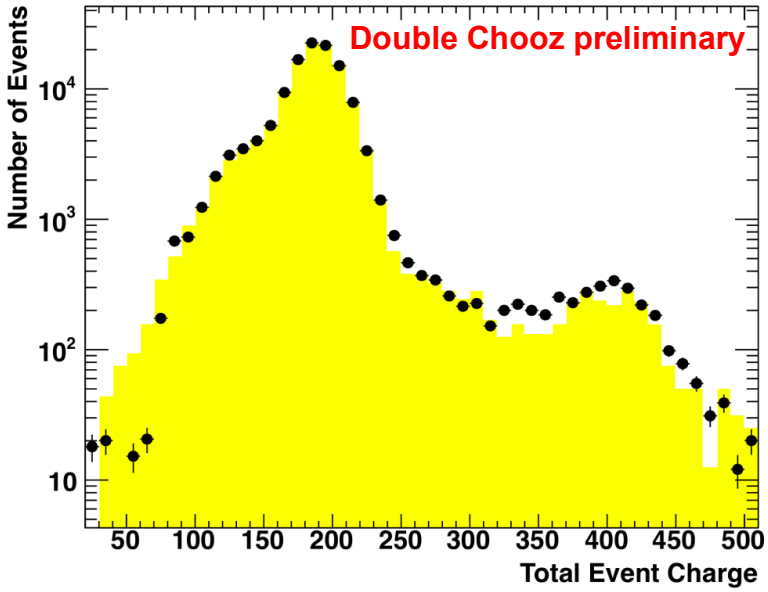
e.g.) ^{68}Ge陽電子線源
（対消滅による計1.02 MeVのガンマ線）

検出器中心に配置

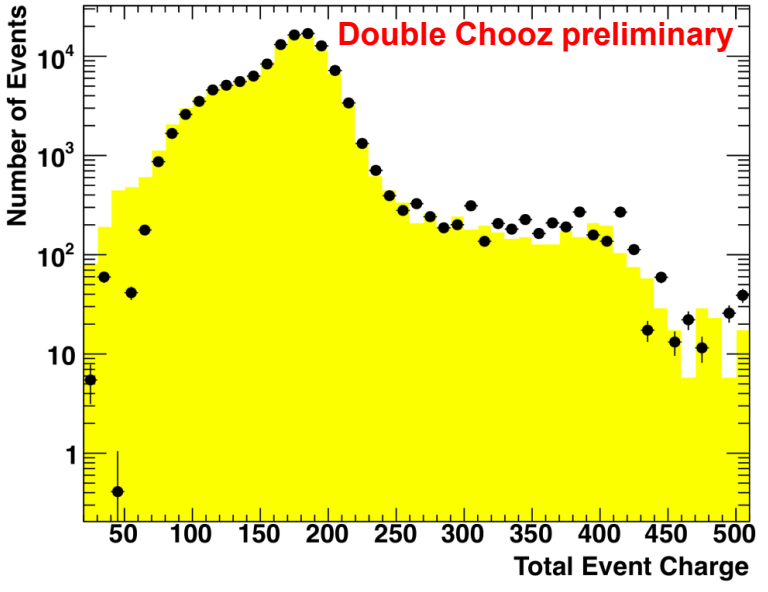
Guide-tube systemで
γ-catcherに配置
（Targetとγ-catcherの発光量の比較）



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

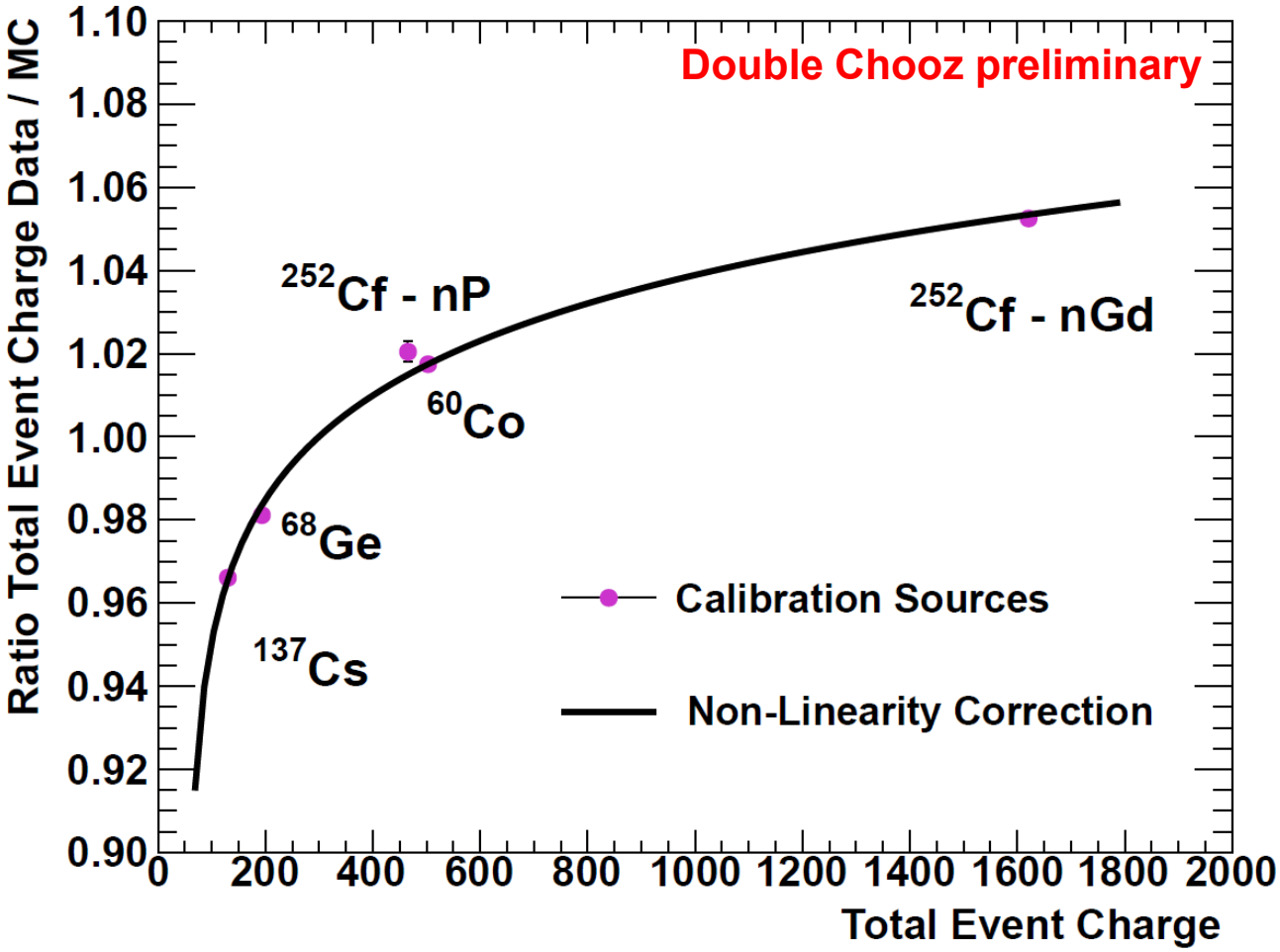


^{68}Ge Guide Tube X=0mm, Y=1433.9mm, Z=0mm



Non-linearity correction

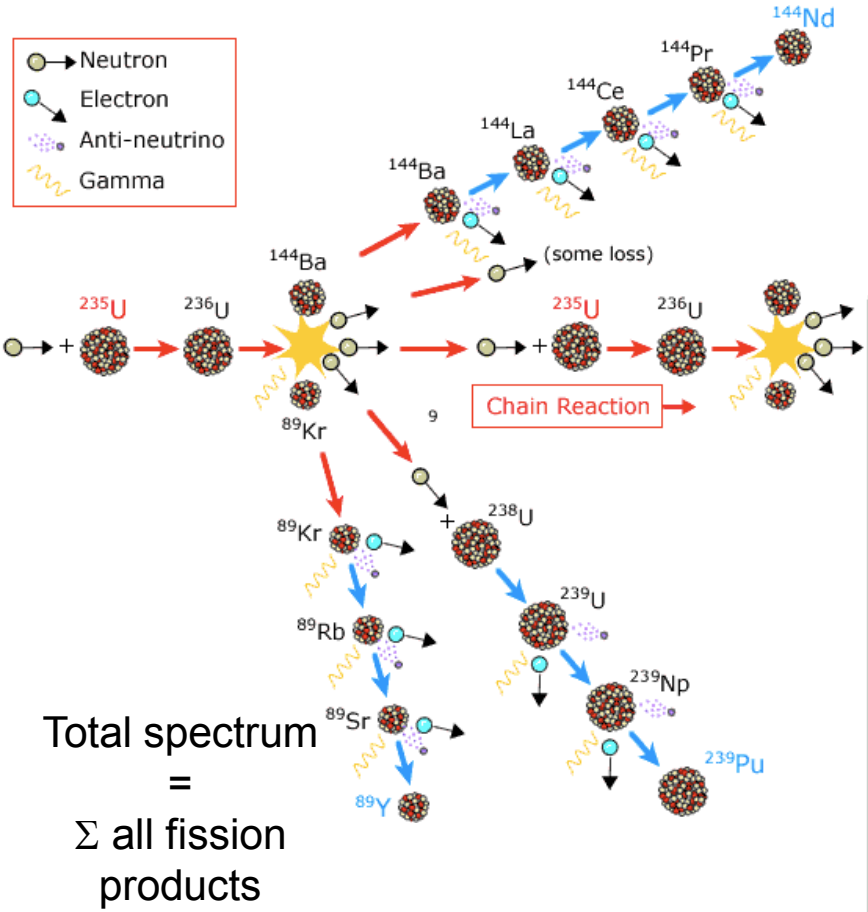
- Calibrated the non-linearity effect due to single photoelectron efficiency, electronics and Q-reconstruction method.



- ニュートリノ振動とθ_{13}
- Double Chooz実験
  - 概要
  - Detector
  - Calibration
  - 原子炉ニュートリノスペクトル
  - ニュートリノ事象選別
  - バックグラウンド
  -
-
-

- ニュートリノフラックス、スペクトルの計算は
  ニュートリノ解析とは完全に独立した人が行った
- 期待されるニュートリノスペクトルは最後までブラインド

ニュートリノフラックスの計算



Total spectrum
=
Σ all fission products

期待されるニュートリノ事象数

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

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

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

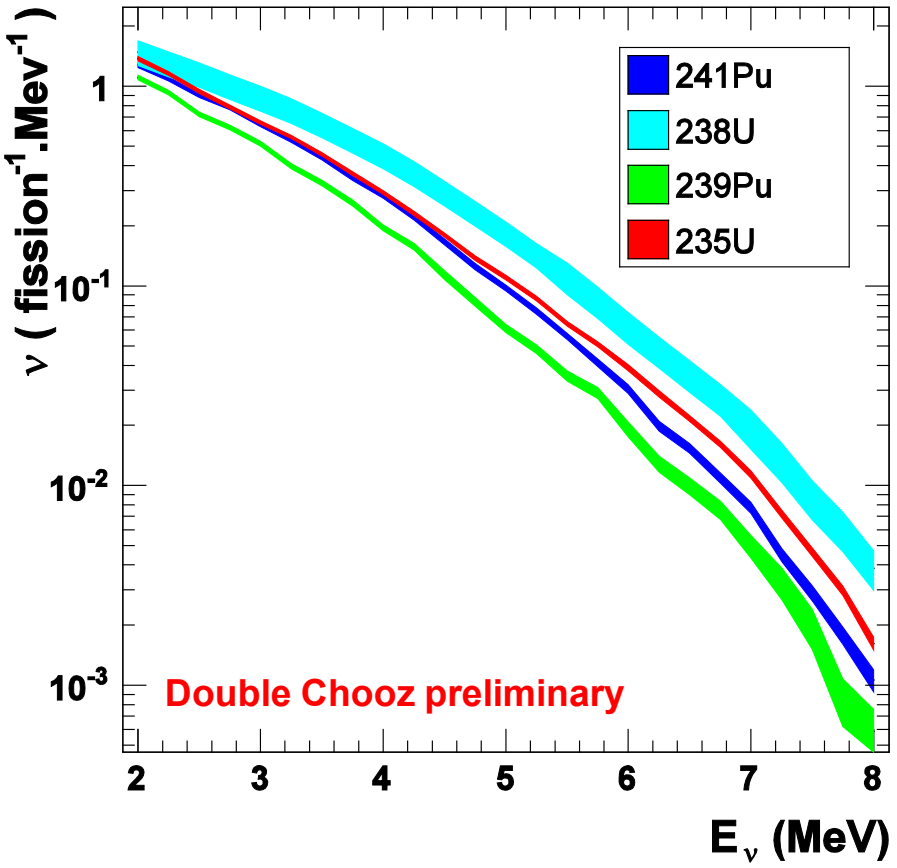
核分裂あたりの平均生成断面積

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

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

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

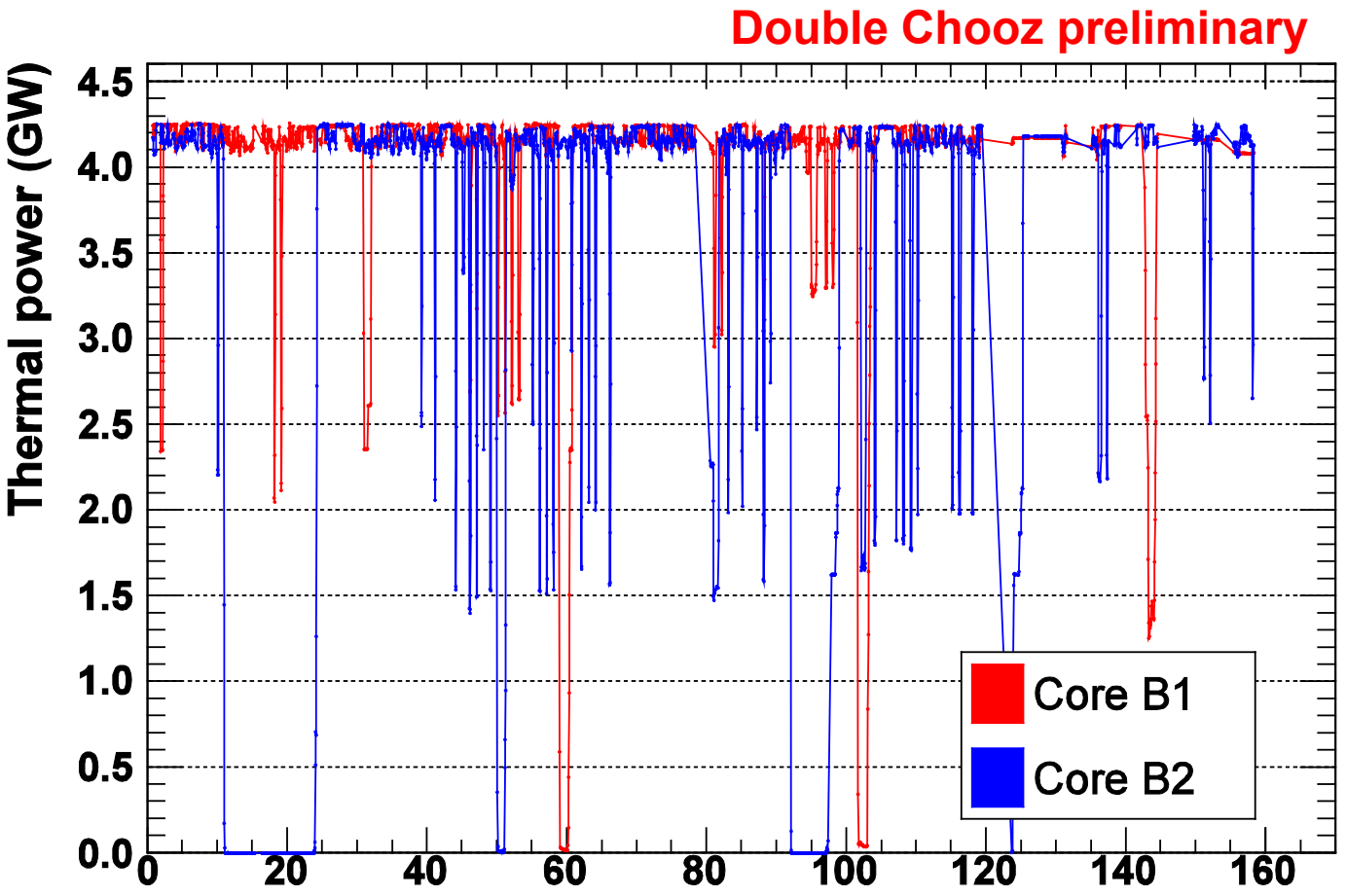
核分裂あたりのエネルギースペクトルとChooz原子炉内の燃料比



Th. A. Mueller *et al.*, Phys. Rev. C83 (2011) 054615
P. Huber, Phys. Rev. C84 (2011) 024617

Perfect agreement with burnup curves

Thermal power

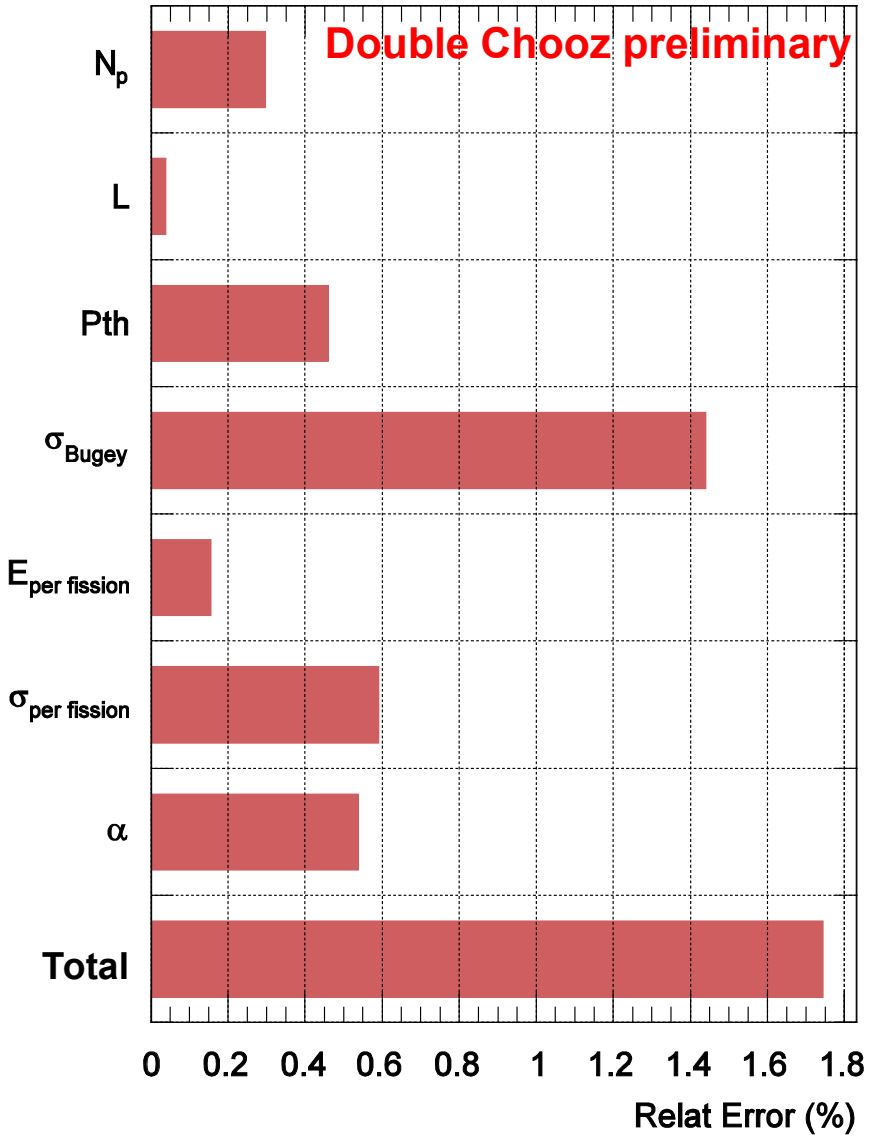


- 系統誤差: $\delta P_{th} / P_{th} = 0.46\%$
- Monitoringは1分おきにされている

ニュートリノフラックスの系統誤差

- Bugey4による測定を使っている
  - $\sigma_{\text{per fission}}$に効いている
- 1.7% total error
  - Bugey4の測定を使わない場合2.7%
- Predicted number of neutrinos

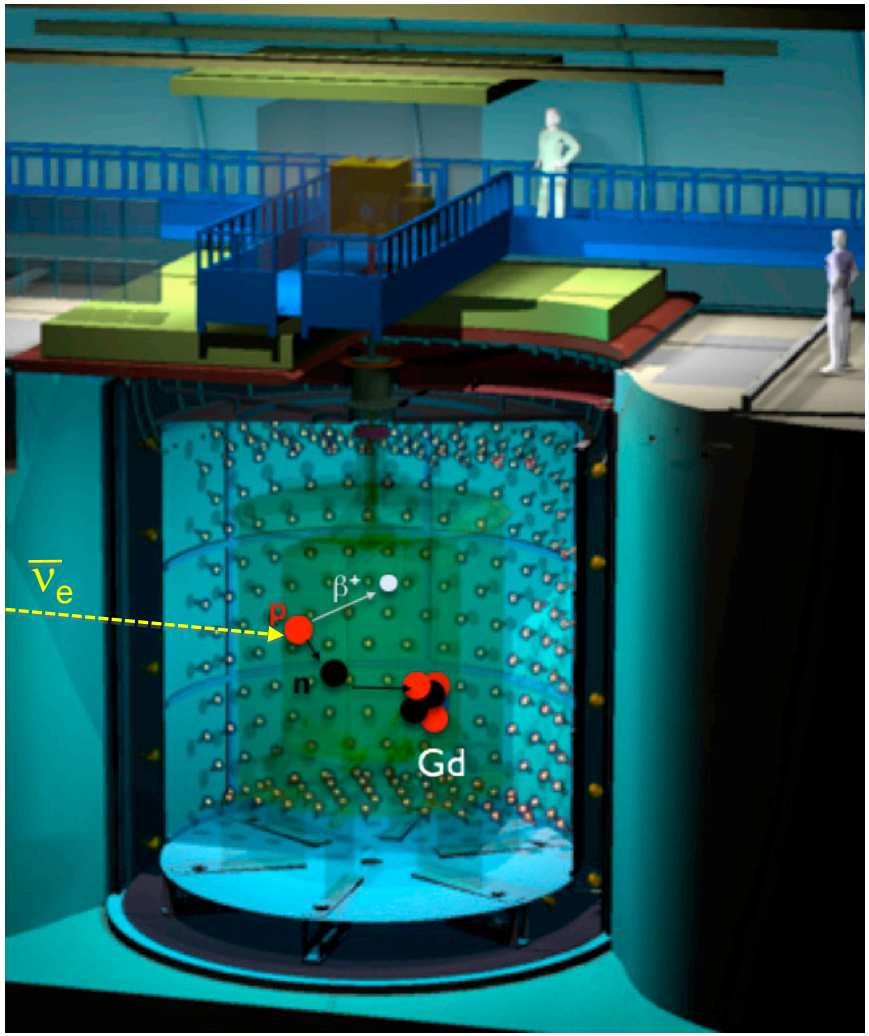
  $N_\nu^{exp} = 5334.7 \pm 93\ (1.74\%)$



- ニュートリノ振動とθ_{13}
- Double Chooz実験
  - 概要
  - Detector
  - Calibration
  - 原子炉ニュートリノスペクトル
  - ニュートリノ事象選別
  - バックグラウンド
  - ニュートリノ振動解析
- 今後
- まとめ

Selection criteria

- **Prompt event**:
  - No Inner Veto Energy deposition
  - $Q_{Max}/Q_{tot} < 0.09$ & $RMS_{Tstart} < 40$ ns
  - $0.7 < E_{prompt} < 12$ MeV
- **Delayed event**:
  - No Inner Veto Energy deposition
  - $Q_{Max}/Q_{tot} < 0.06$ & $RMS_{Tstart} < 40$ ns
  - $6 < E_{delayed} < 12$ MeV
- **Coincidence**:
  - Time coincidence: $2 < \Delta t < 100$ μs
  - (No space coincidence cut)
- **Multiplicity**:
  - No trigger (>500 keV) allowed in the 100 μs preceding the prompt signal
  - Only one trigger (E > 500 keV) in the 400 μs after the prompt signal

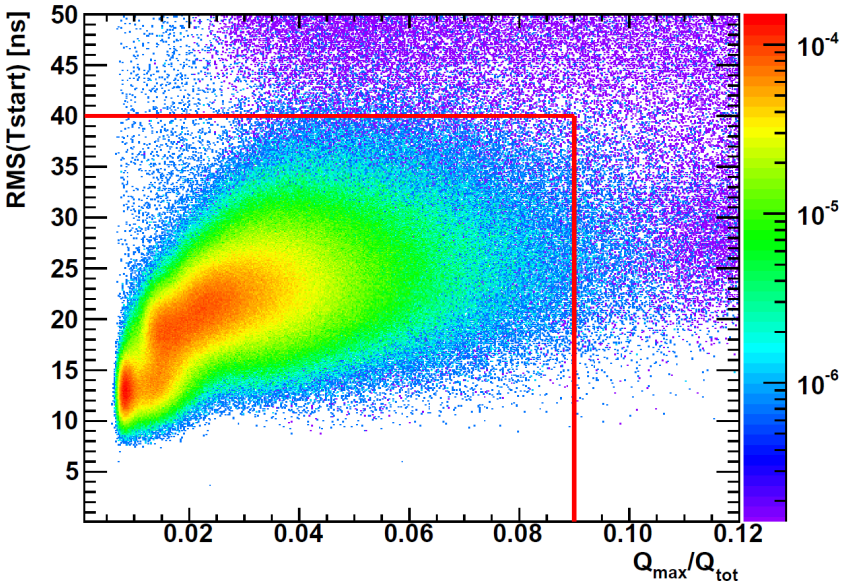


Selection criteria

- **Prompt event**:
  - No Inner Veto Energy deposition
  - $Q_{Max}/Q_{tot} < 0.09$ & $RMS_{Tstart} < 40$ ns ※
  - $0.7 < E_{prompt} < 12$ MeV
- **Delayed event**:
  - No Inner Veto Energy deposition
  - $Q_{Max}/Q_{tot} < 0.06$ & $RMS_{Tstart} < 40$ ns ※
  - $6 < E_{delayed} < 12$ MeV
- **Coincidence**:
  - Time coincidence: $2 < \Delta t < 100$ μs
  - (No space coincidence cut)

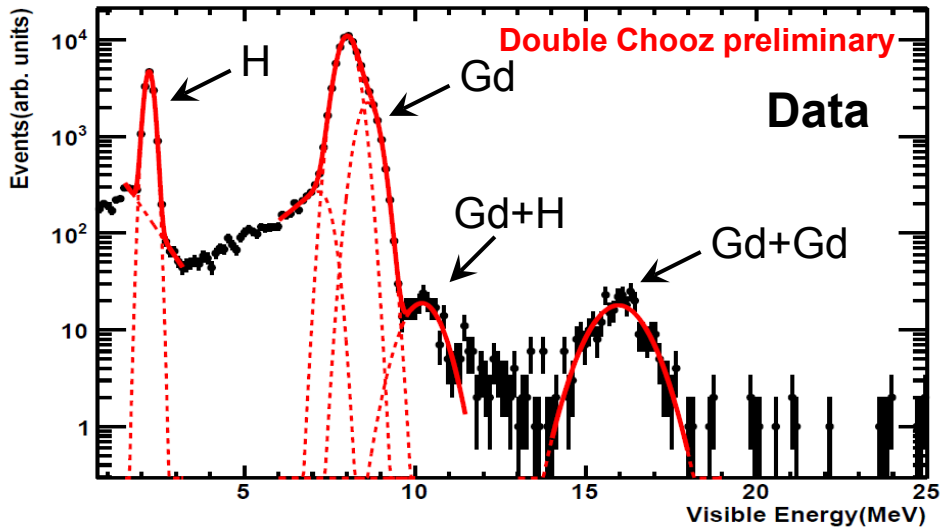
※光電子増倍管自身の発光によるバックグラウンドが確認された
- 1本の光電子増倍管に大きな信号が見られる
- シンチレーション光による信号に比べて波形が時間的広がりをもつ

Preliminary

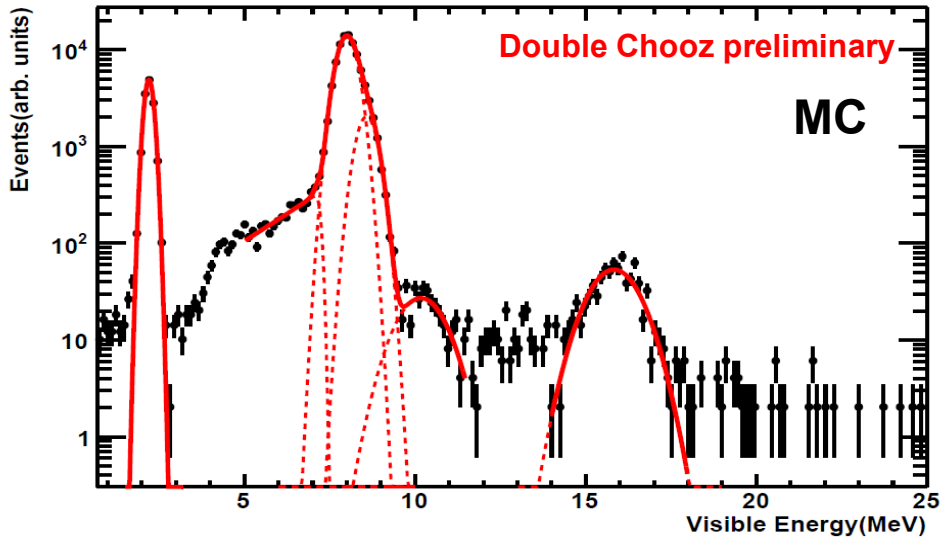


Fraction of Gd capture

^{252}Cf Data Delayed Signal



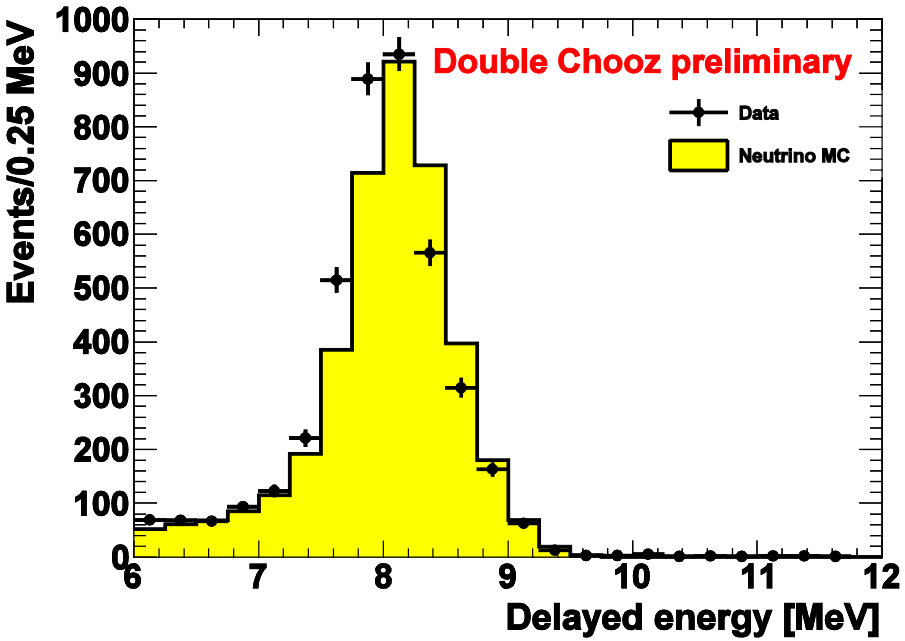
^{252}Cf MC Delayed Signal

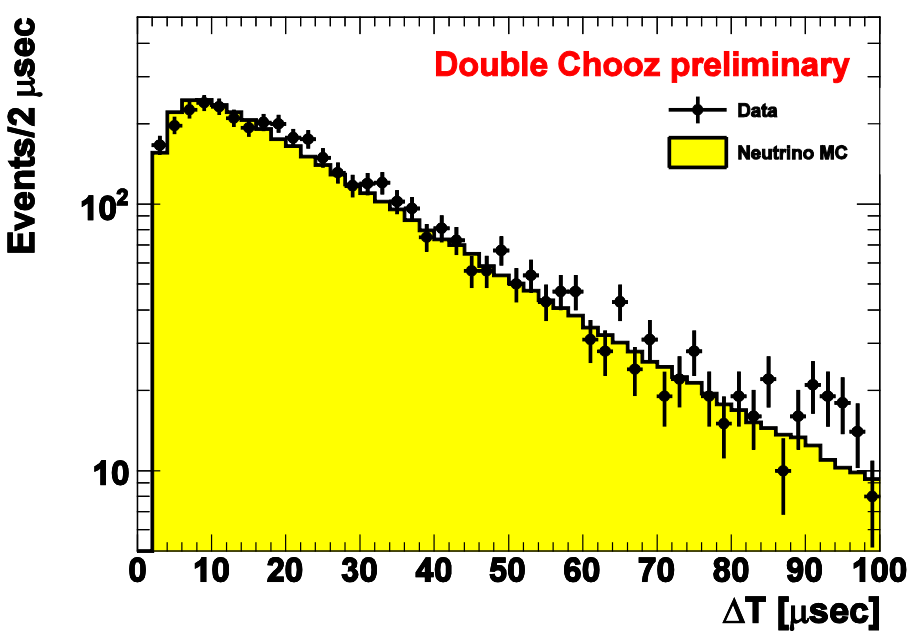


- 252Cf中性子線源を用いて、Gdによる中性子捕獲の比をデータとMCで比較

  → MCを2%補正

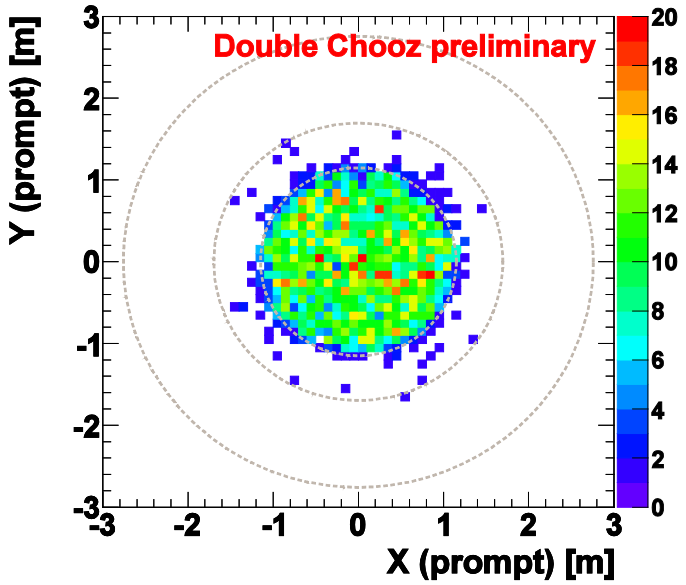
Delayed energy and ΔT distirbutions

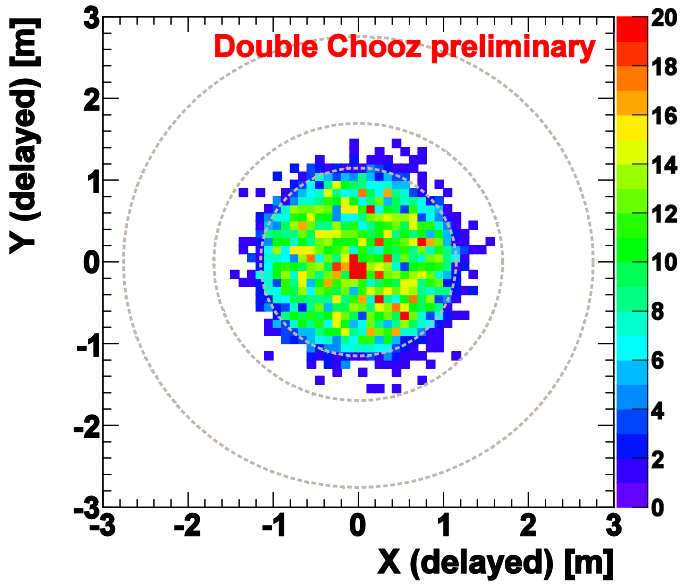


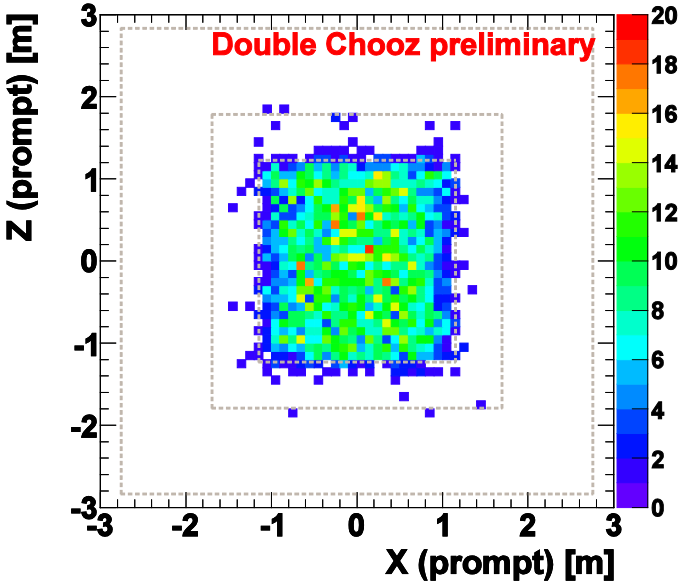


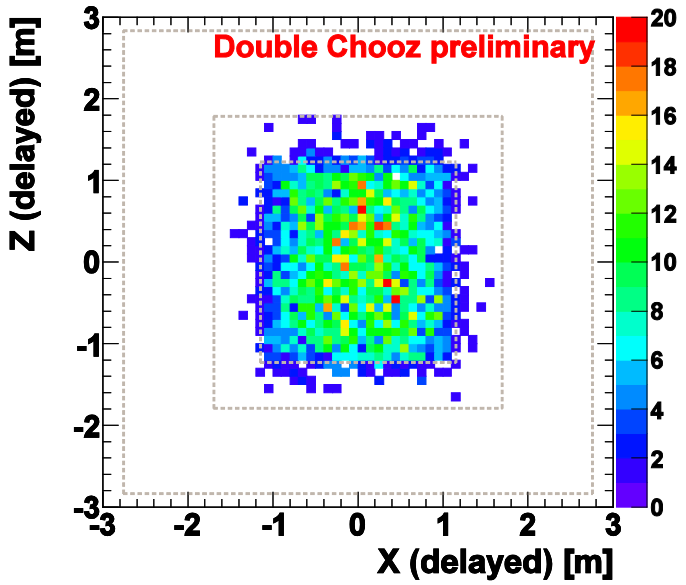
- Delayed energy cut efficiency : 86.0±0.6 %
- keV neutrons thermalized within a few μs
  → then, captured on Gd with τ = 27 μs
- Delta T Efficiency within [2, 100] μs : 96.5±0.5 %

Vertex distributions





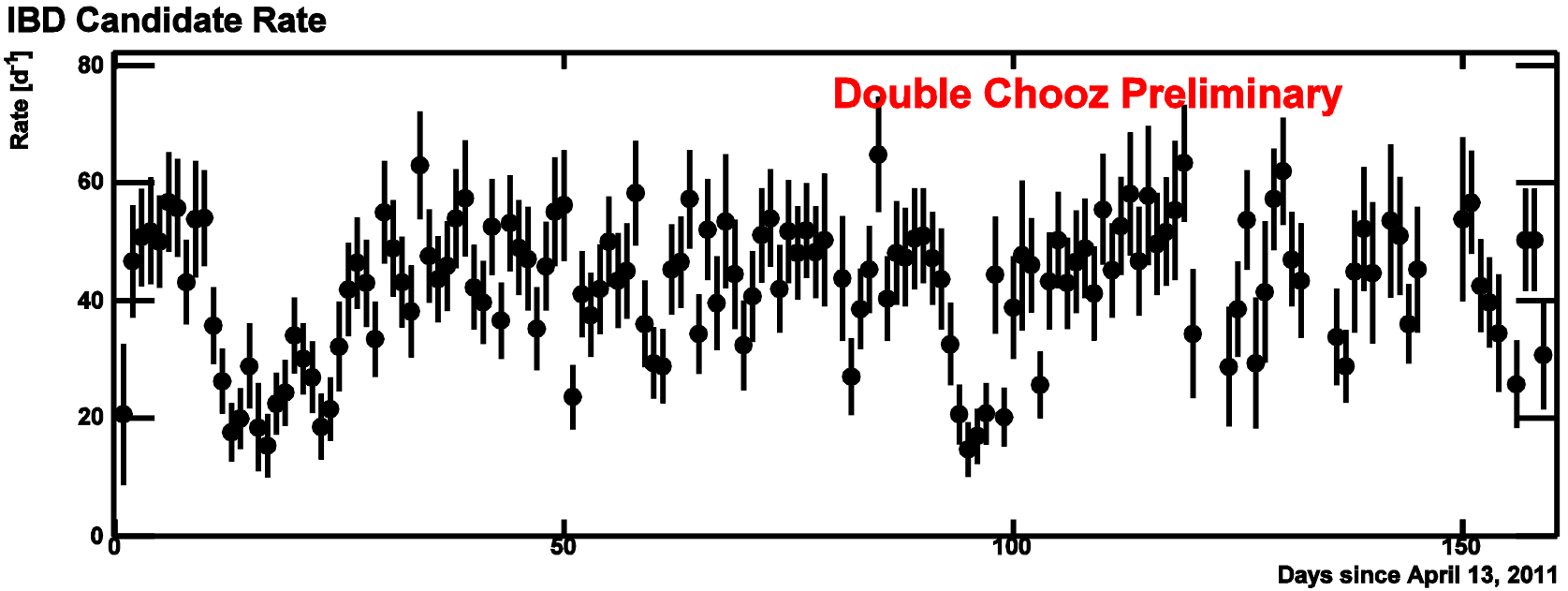




注) Vertexは実際にはSelectionとして要求していない

Neutrino candidate rate

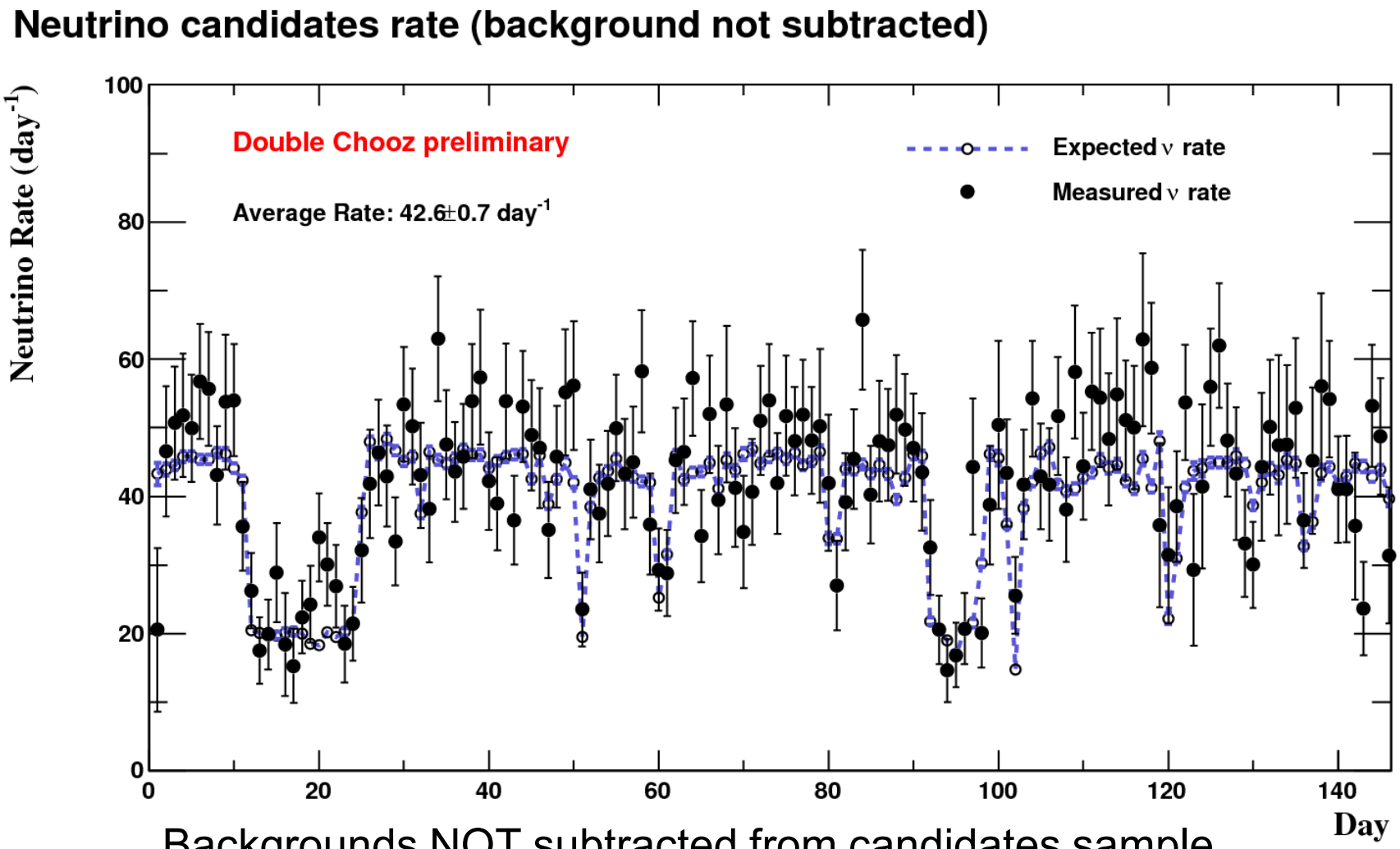
- In total, 4121 candidates remain.



- Approximately, 40 ν candidates/day.
- The rate may be consistent with reactor power (see next page).

Then, blinding was opened…

Good agreement with expected neutrino rate!

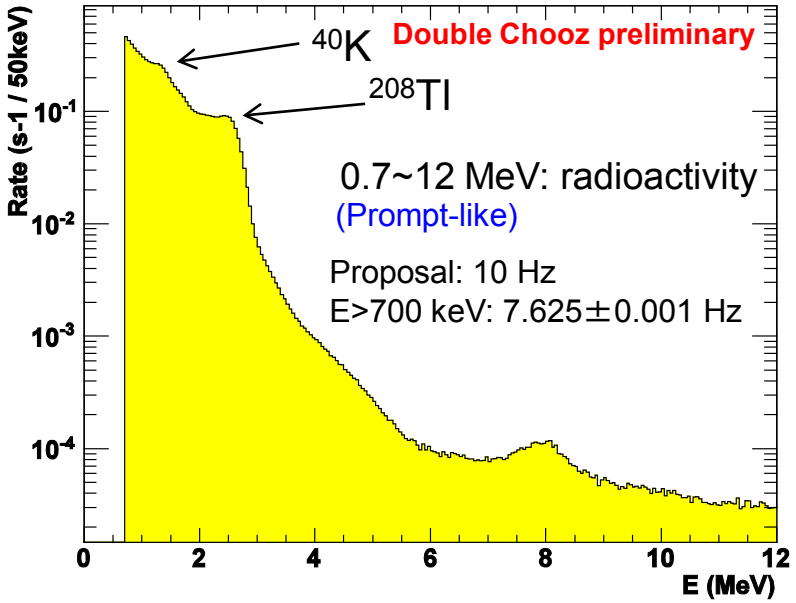


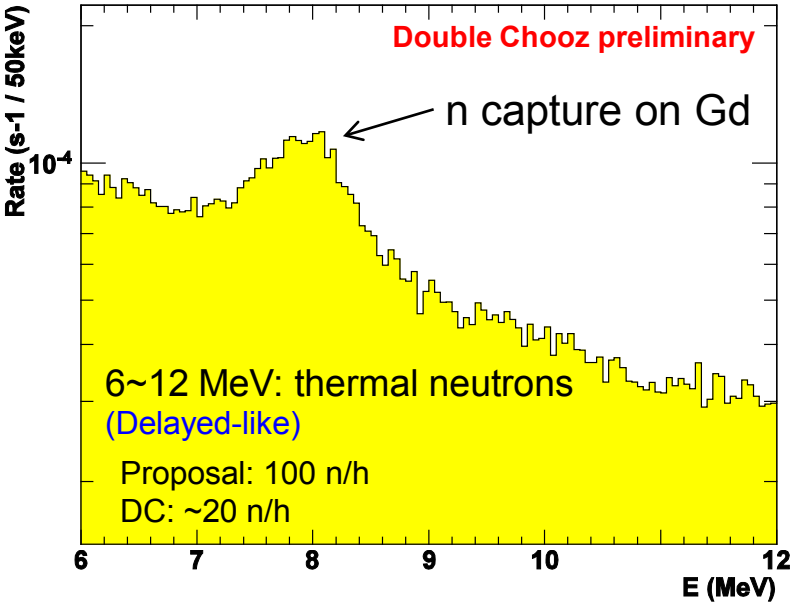
Backgrounds NOT subtracted from candidates sample

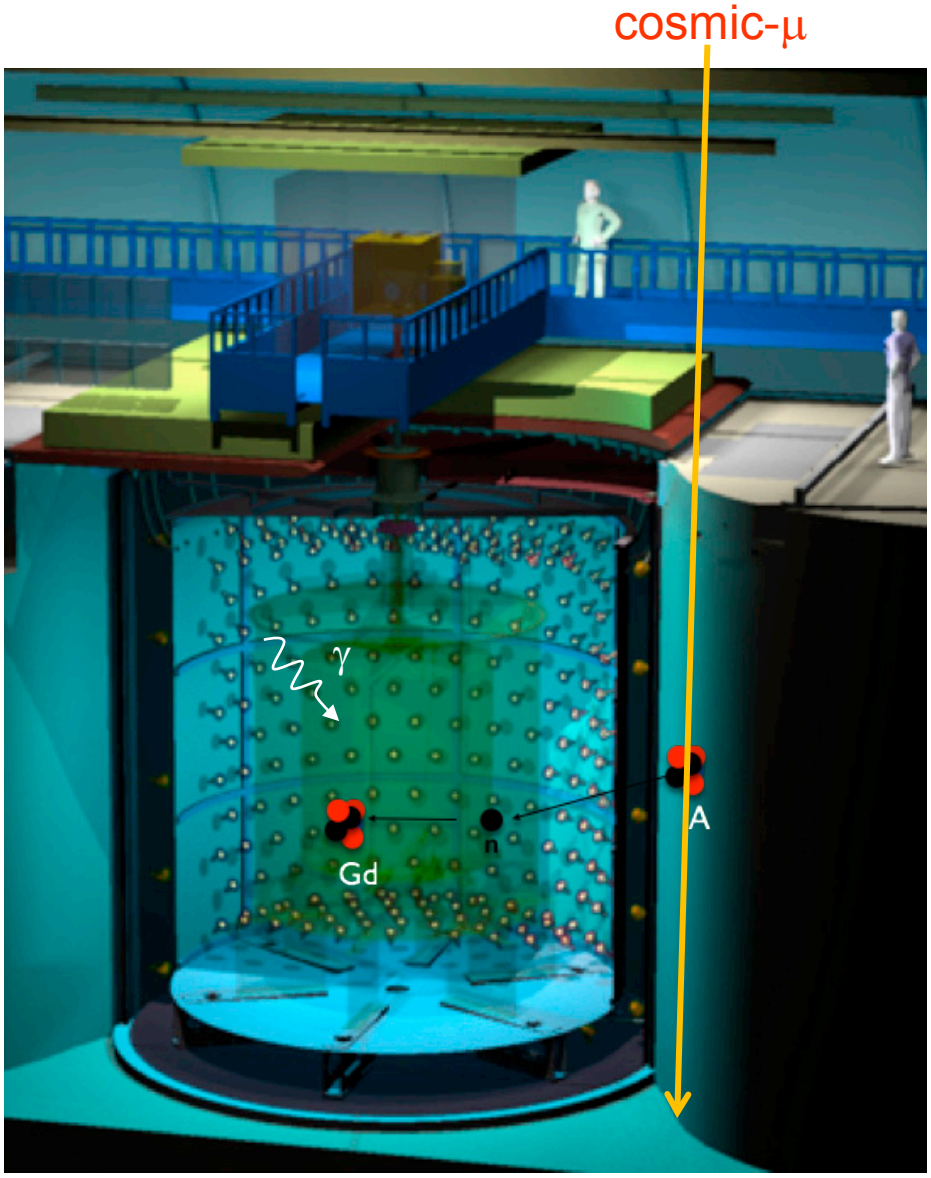
→ Low background detector!

- ニュートリノ振動とθ_{13}
- Double Chooz実験
  - 概要
  - Detector
  - Calibration
  - 原子炉ニュートリノスペクトル
  - ニュートリノ事象選別
  - バックグラウンド
  - ニュートリノ振動解析
- 今後
- まとめ

Singles : Rate & Spectrum

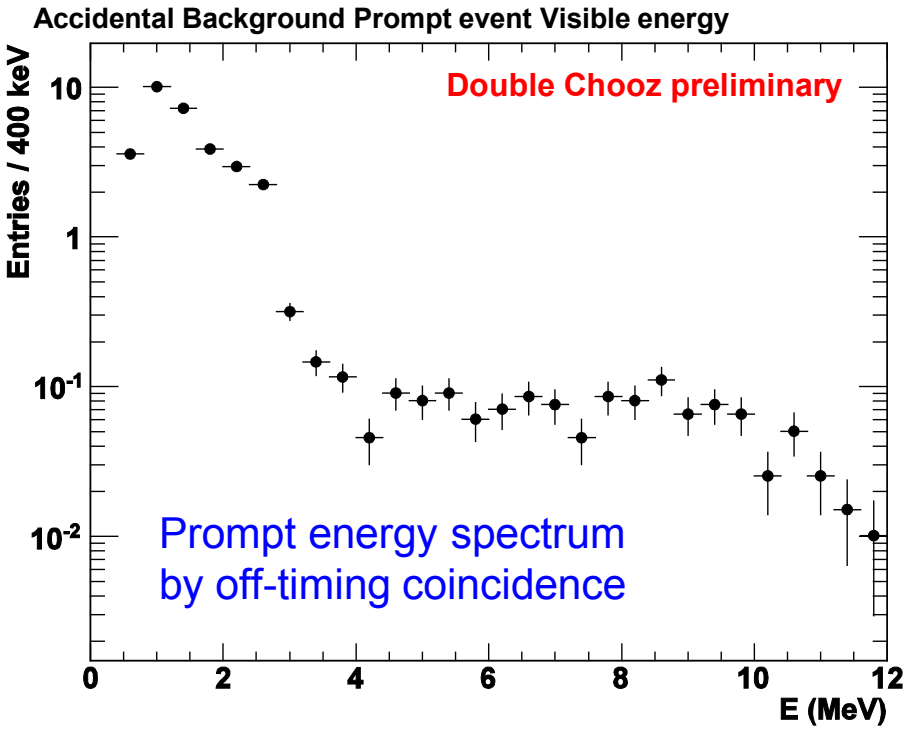


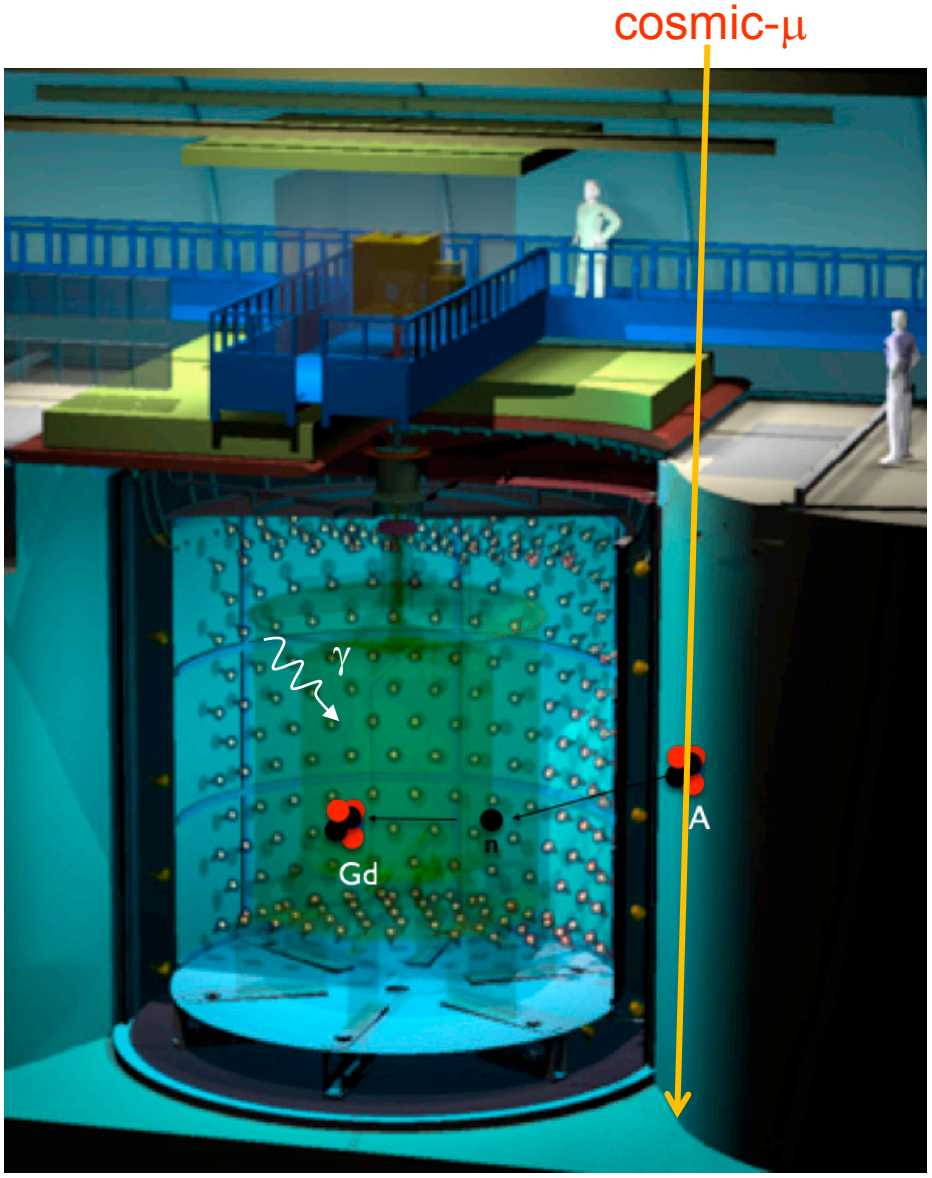




Accidentalバックグラウンド

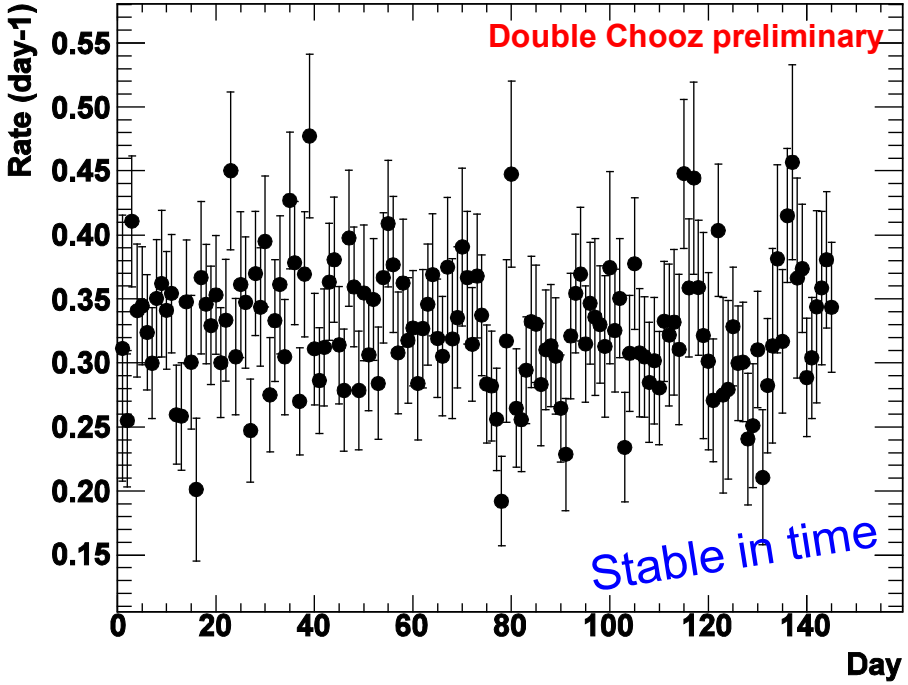
- 二つの異なる事象がDelayed coincidence windowに偶然入る事象
- ニュートリノに関連しないtime windowでcoincidenceを取って数を見積もる(Off-timing method)





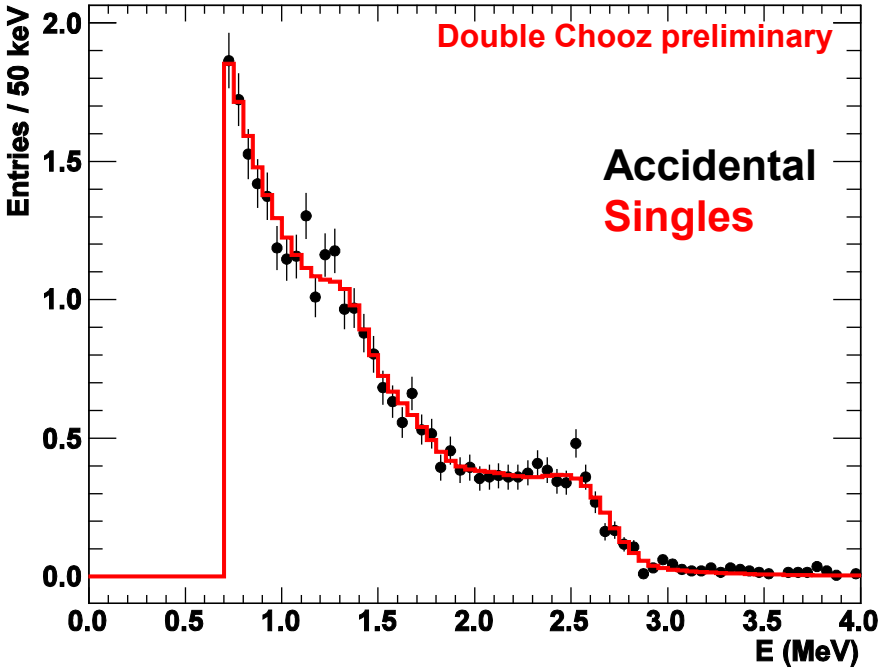
Accidentalバックグラウンド

- 二つの異なる事象がDelayed coincidence windowに偶然入る事象
- ニュートリノに関連しないtime windowでcoincidenceを取って数を見積もる(Off-timing method)



Rate: 0.332±0.004 day^{-1}

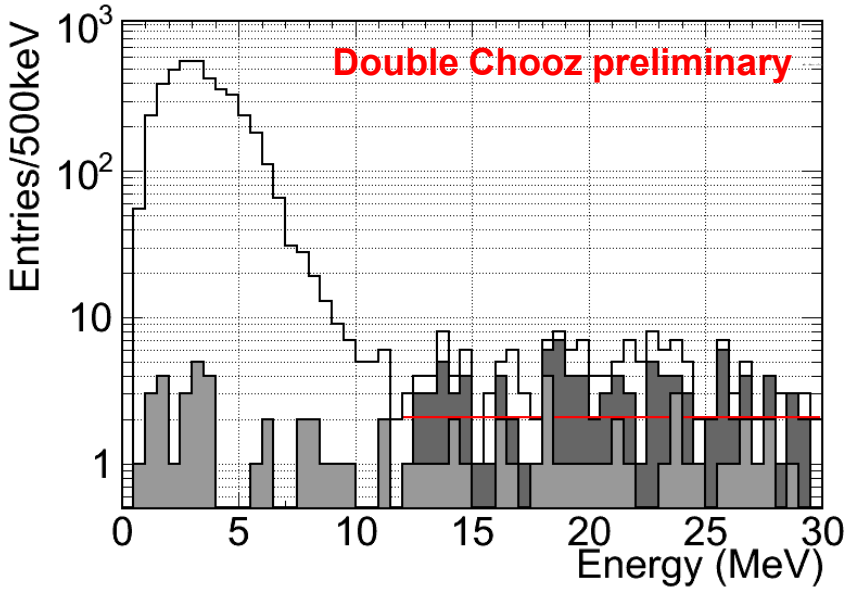
5 times lower than proposal value!



Spectrum: compatible with 'singles'

高速中性子バックグラウンド

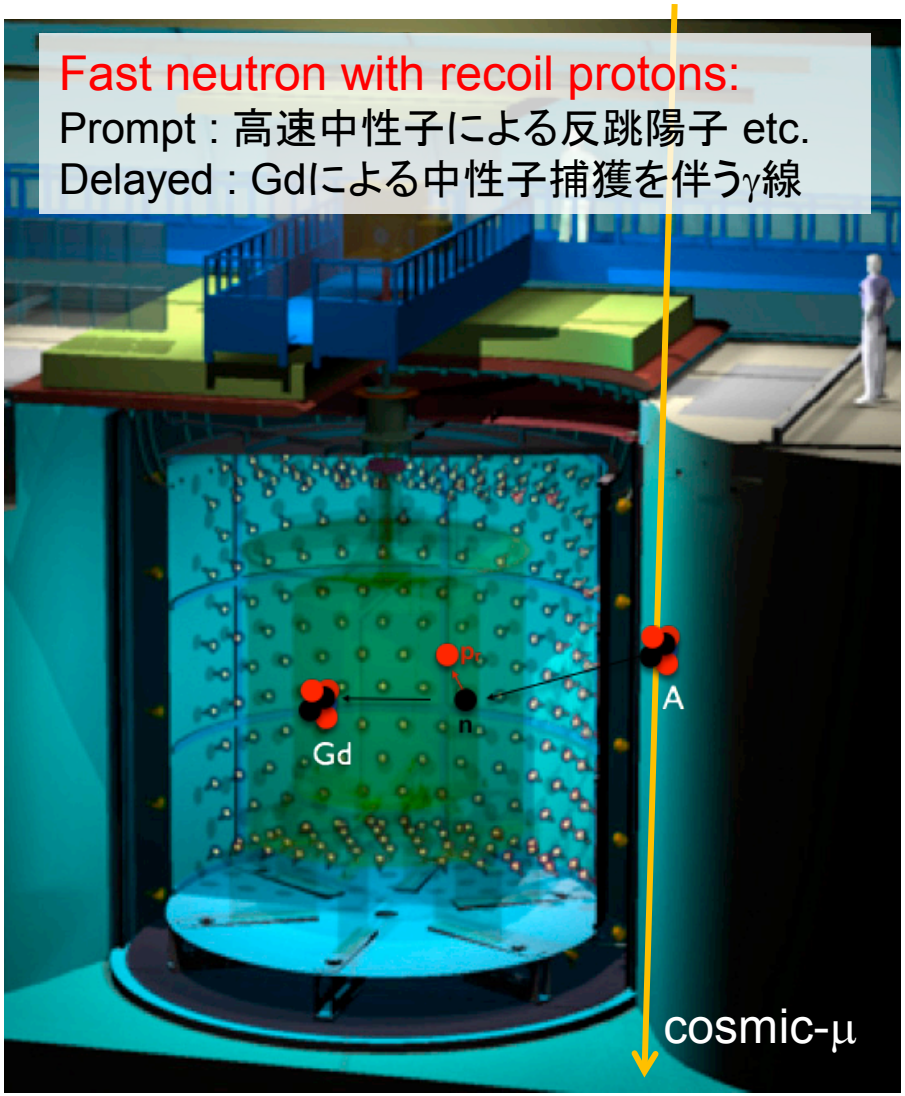
高エネルギー領域のスペクトルから見積もる



Fast neutron background rate:

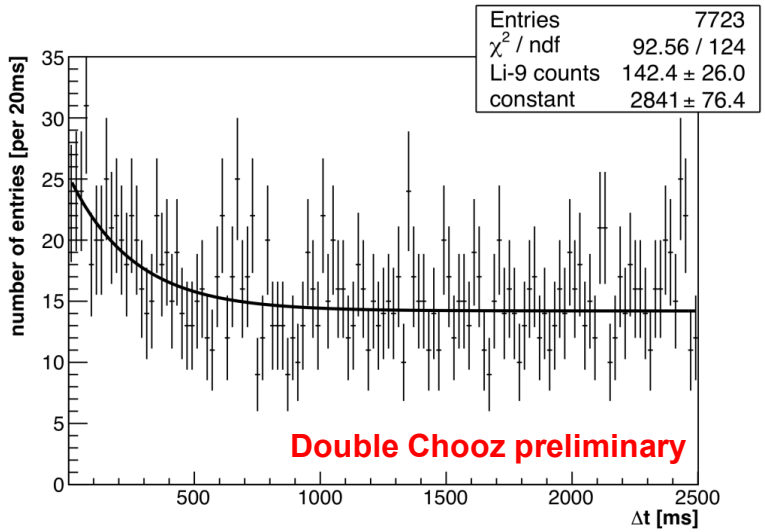
0.7±0.5 events/day

(振動解析はFlat energy spectrumを用いる)



宇宙線による核破砕事象バックグラウンド (^{9}Li/^{8}He)

- 宇宙線ミューオンによる核破砕反応により生成された^{9}Li, ^{8}Heが崩壊することによって起こるバックグラウンド
  - 崩壊時間が長いためにVETOできない

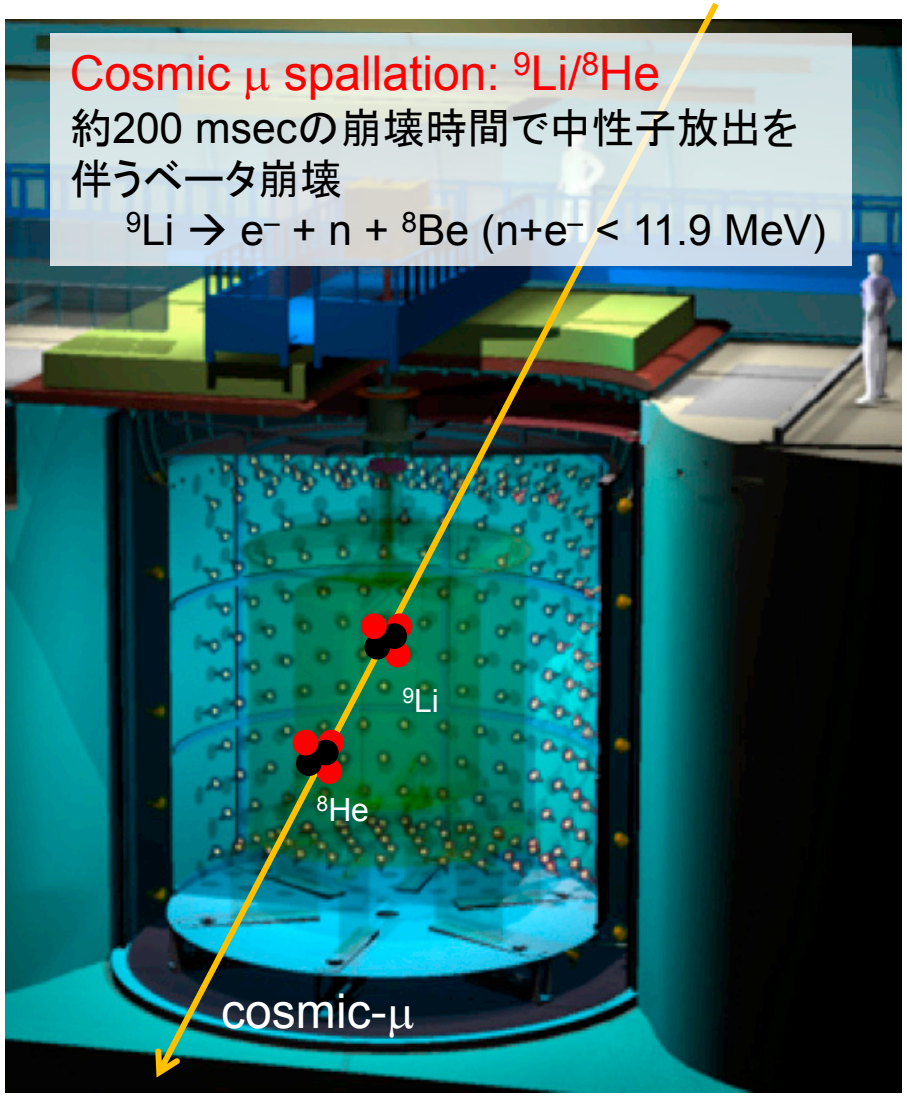


ニュートリノ事象候補と宇宙線ミューオンとの時間相関を用いてBG事象数を見積もる。

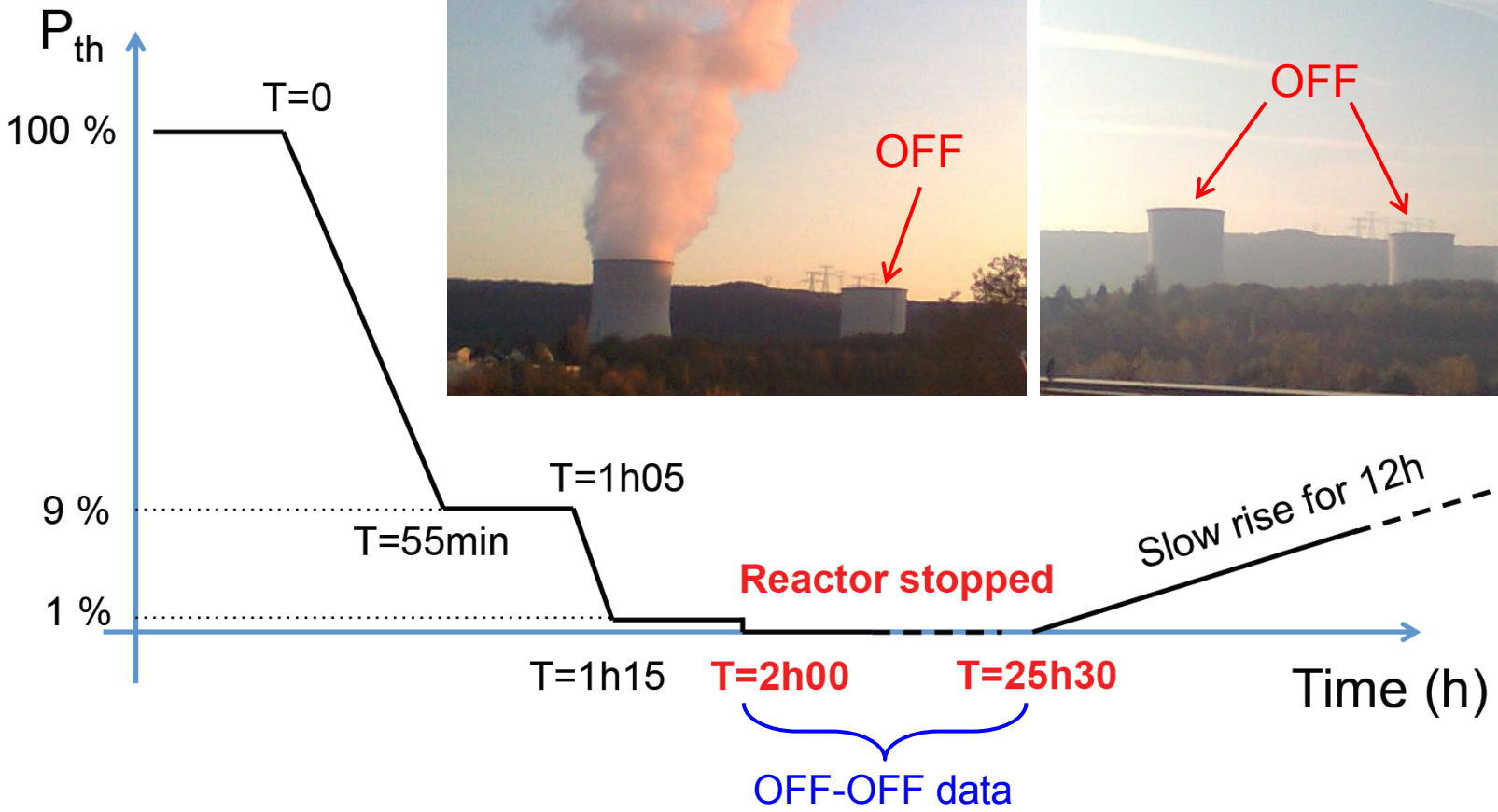
Background rate:

2.3±1.2 events/day

(スペクトルの形はNuclear databaseの情報を用いる)



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)

3 events within 0.7~30 MeV…

- ニュートリノ振動とθ_{13}
- Double Chooz実験
  - 概要
  - Detector
  - Calibration
  - 原子炉ニュートリノスペクトル
  - ニュートリノ事象選別
  - バックグラウンド
  - ニュートリノ振動解析
- 今後
- まとめ

Oscillation fit strategy

- MC events and Data flow handled in parallel.
- Several statistical tests are done.

$$\chi^2 = \left(N_i - \left(\sum_R^{\text{Reactors}} N_i^{\nu,R} + \sum_b^{\text{Bkgs}} N_i^b(P_b) \right) \right) \times \left(M_{ij}^{\text{signal}} + M_{ij}^{\text{detector}} + M_{ij}^{\text{stat}} + \sum_b^{\text{Bkgs}} M_{ij}^b \right)$$

$$\times \left(N_j - \left(\sum_R^{\text{Reactors}} N_j^{\nu,R} + \sum_b^{\text{Bkgs}} N_j^b(P_b) \right) \right)^T$$

$$+ \sum_R^{\text{Reactors}} \frac{(P_R)^2}{\sigma_R^2} + \sum_b^{\text{Bkgs}} \frac{(P_b)^2}{\sigma_b^2}$$

M_{ij}^{signal} : Signal covariance matrix (reactor ν flux etc.)

M_{ij}^{detector} : Detector covariance matrix (E scale etc.)

M_{ij}^{stat} : Statistical covariance matrix

M_{ij}^b : Covariance matrix for background *b*

P_R : Pull parameter varying the total rate of neutrinos from reactor *R*

P_b : Pull parameter varying the total rate of of background *b*

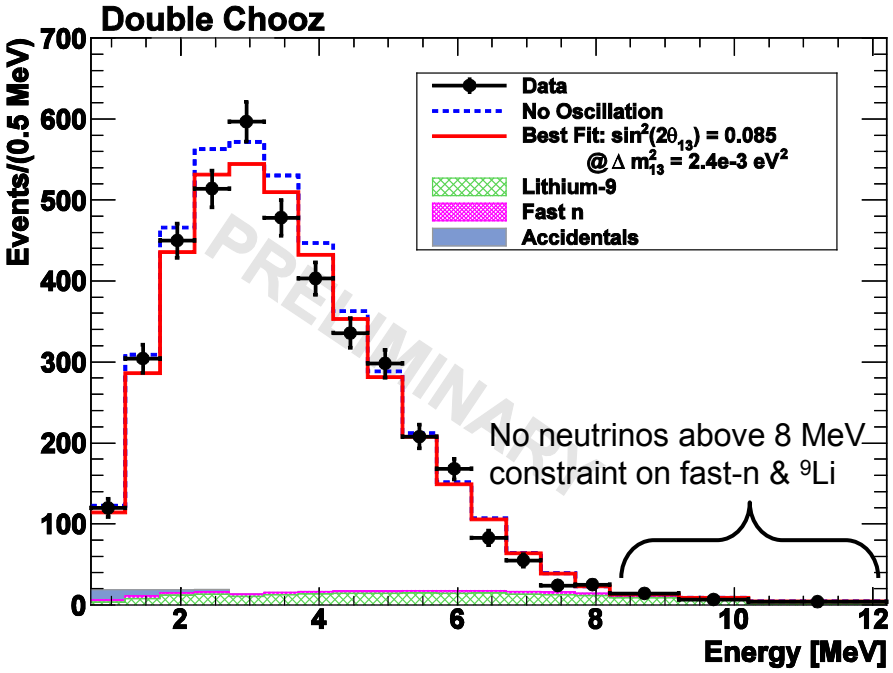
Systematic Uncertainties - efficiency

Double Chooz Preliminary

Source		Uncertainty
Target free H		0.3 %
Trigger efficiency		0.5 %
Neutrino selection	**Efficiency**	
Prompt event	99.9 %	negligible
Delayed event	86.0 %	0.6 %
Time coincidence	96.5 %	0.5 %
Energy cut	94.5 %	0.6 %
Live-time	**MC correction**	
Muon deadtime	0.955	negligible
Multiplicity	0.995	negligible
Gd fraction	0.98	0.6 %
Spill in/out	0.993	0.4 %
Total	**0.924**	**1.10 %**

Results

First neutrino oscillation data release of Double Chooz at LowNu2011 (@ Seoul, Korea, 09 Nov. 2011)



Rate Only :

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

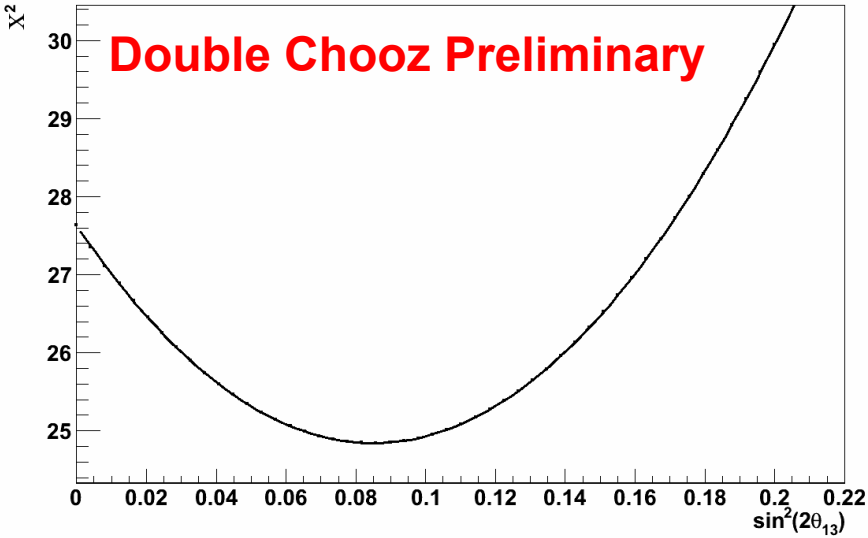
Shape Only :

$\sin^2 2\theta_{13} = 0.044 \pm 0.157\ (\text{stat.+syst.})$

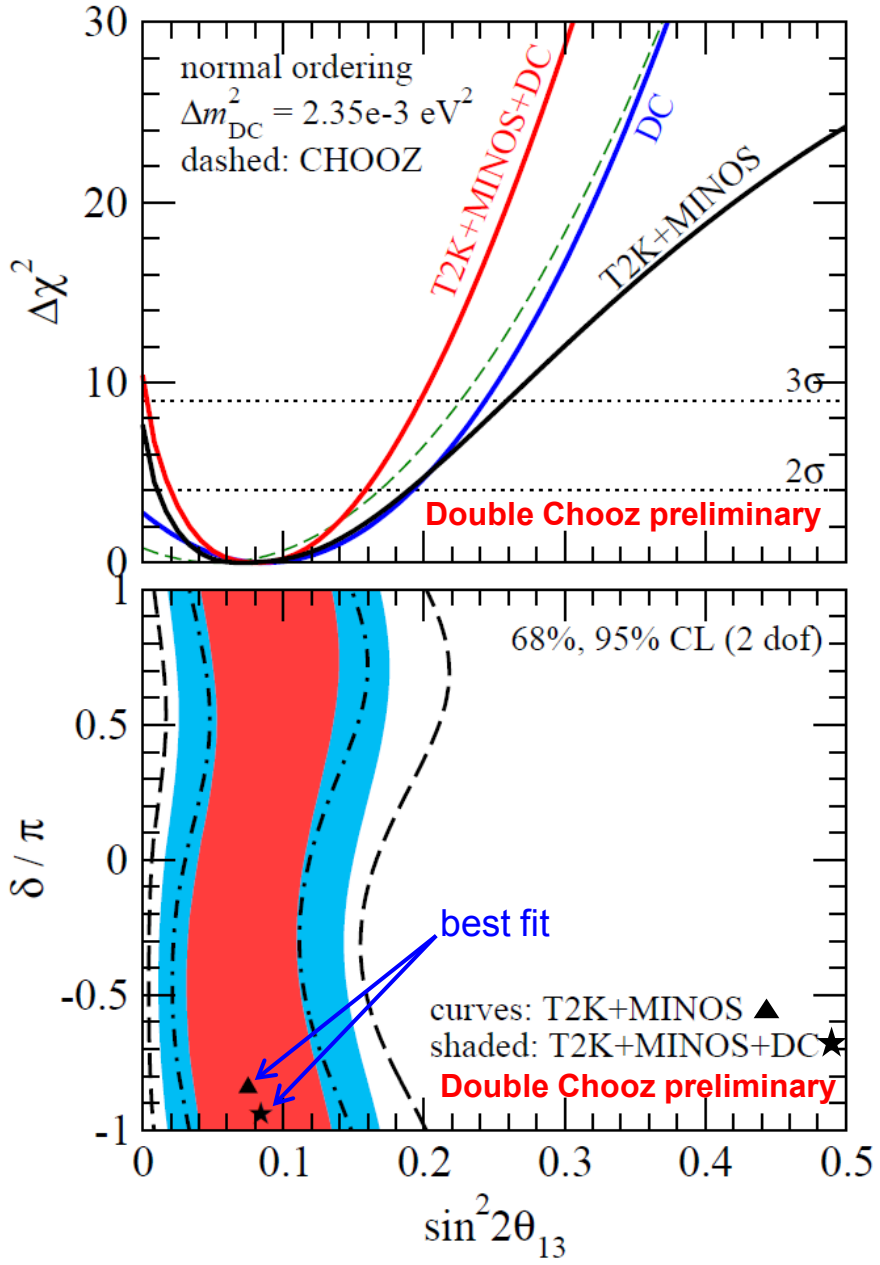
Rate & Shape:

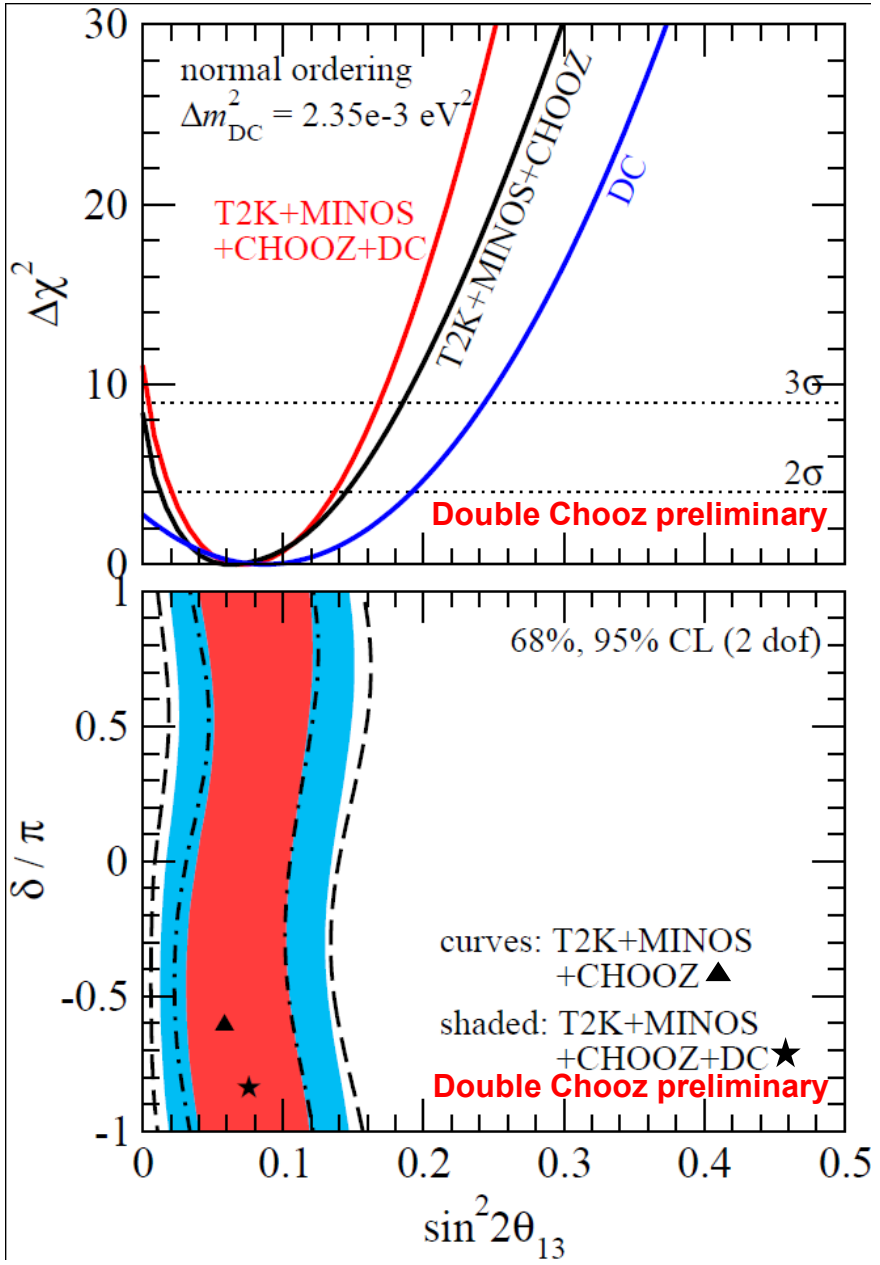
$\sin^2 2\theta_{13} = 0.085 \pm 0.041\ (\text{stat.}) \pm 0.031\ (\text{syst.})$

→ No oscillation excluded at 92.9%



Combined with other experiments





日本経済新聞

2011年(平成23年)11月11日(金曜日) ★1

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う。

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

INTERACTIONS.ORG
PARTICLE PHYSICS NEWS AND RESOURCES
A COMMUNICATION RESOURCE FROM THE WORLD'S PARTICLE PHYSICS LABORATORIES

HOME NEWS IMAGE BANK VIDEO CHANNEL SEARCH SITE NEWS

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

NEWSWIRE SIGNUP
Sign up for our newswire and

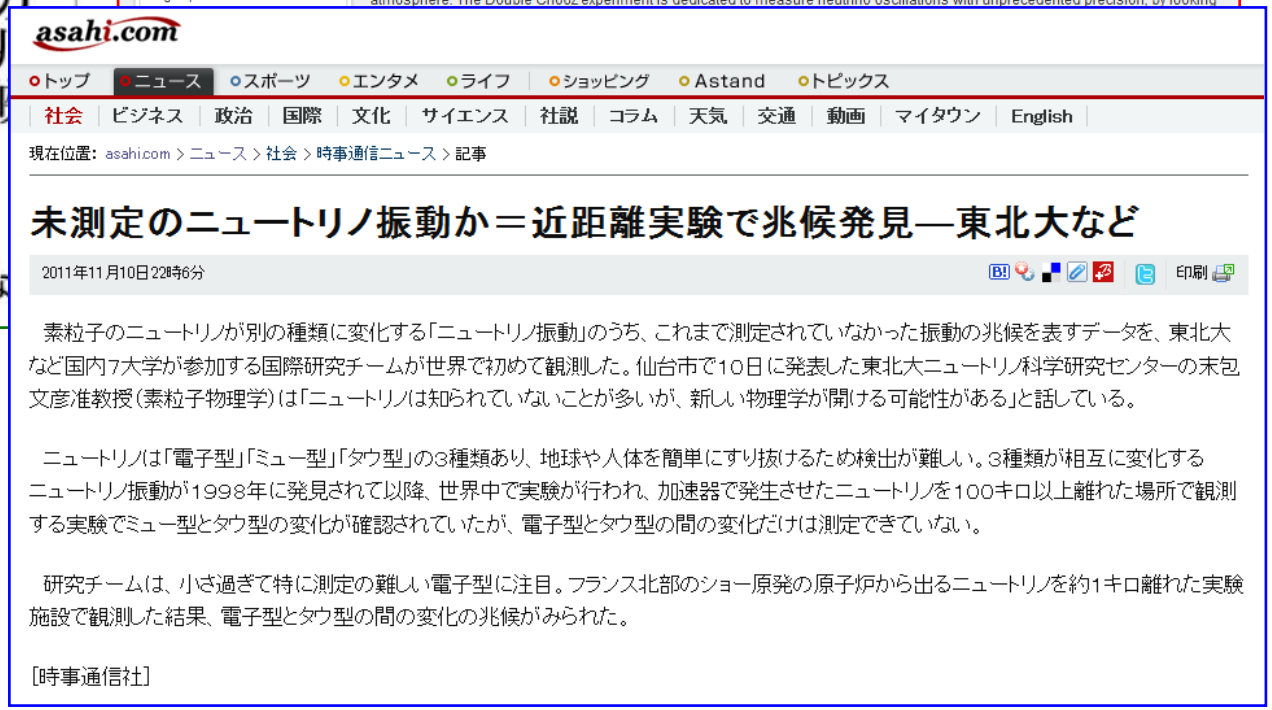
Interactions NewsWire #58-11
9 November 2011 http://www.interactions.org
****
Source: CNRS/CEA
Content: Press Release
Date Issued: 9 November 2011
****

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



asahi.com

トップ ニュース スポーツ エンタメ ライフ ショッピング Astand トピックス

社会 ビジネス 政治 国際 文化 サイエンス 社説 コラム 天気 交通 動画 マイタウン English

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 印刷

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の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]

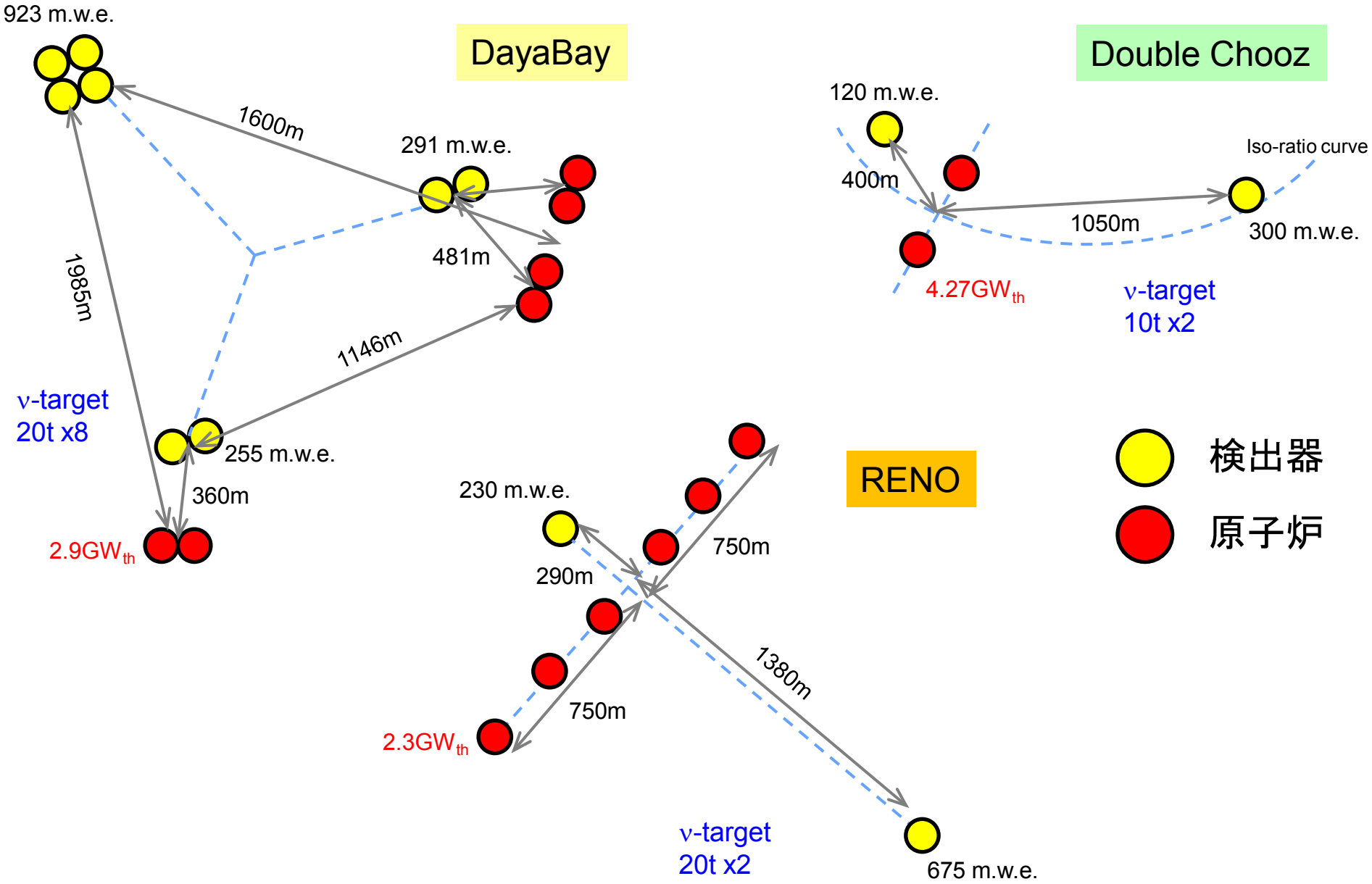
- ニュートリノ振動とθ_{13}
- Double Chooz実験
  - 概要
  - Detector
  - Calibration
  - 原子炉ニュートリノスペクトル
  - ニュートリノ事象選別
  - バックグラウンド
  - ニュートリノ振動解析
- 今後
- まとめ

Near detector status

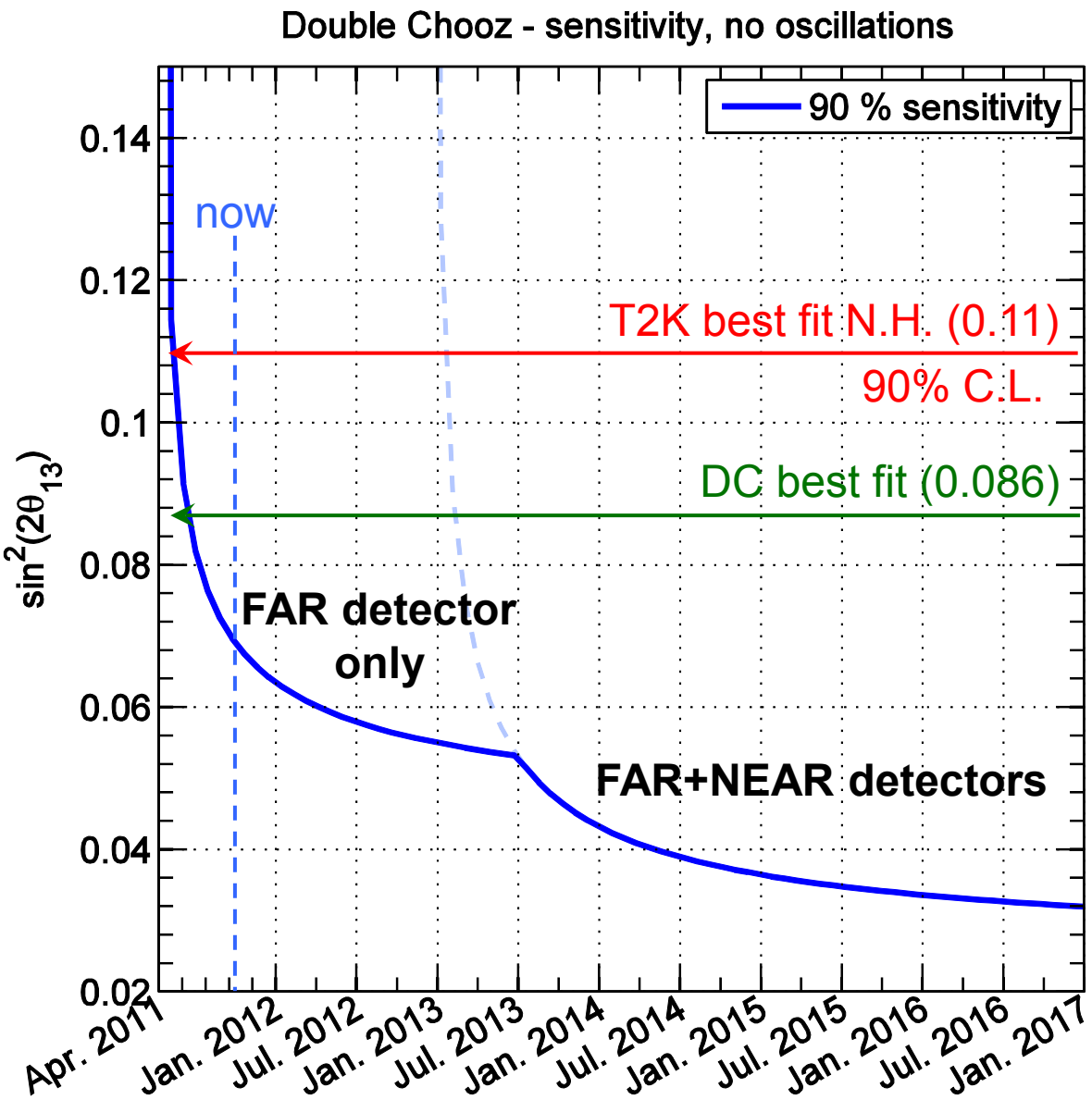
ラボは2012年6月ごろ完成予定

2013年には前置検出器も測定開始

原子炉ニュートリノ振動実験



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



$\Delta m^2_{atm}=2.5\times10^{-3}$ 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:
  $0.001 < \sin^2 2\theta_{13} < 0.169$

現在のData taking efficiency
を考慮している

まとめ

- Double Chooz実験は2011年4月から物理ラン開始。
  - 検出器は安定している。順調にデータ取得中。
- 約100日のデータを用いて最初のニュートリノ振動解析の結果

  Rate+Shape Analysis:

  $\sin^2 2\theta_{13} = 0.085 \pm 0.041\ (\text{stat.}) \pm 0.031\ (\text{syst.})$

  No oscillation excluded at 92.1% C.L.

  Rate-only Analysis:

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

- 今後
  - 後置検出器のみの測定
    - およそ1.5年で $\sin^2 2\theta_{13} < 0.06$ まで探索可能
  - 2013年以降 (予定)、前置検出器稼働。***Double*** Chooz へ
    - さらにおよそ3年間の測定で、$\sin^2 2\theta_{13} < 0.03$ まで探索可能