

vグループの研究紹介

南野彰宏

2013年4月30日

高エネミーティング

イントロ

ν とは

- 電氣的に中性
- スピン1/2
- ν_e, ν_μ, ν_τ の3世代、またそれぞれの反物質
- 質量
 - $m(\nu_e) < 2 \text{ eV}$ (トリチウムの β 崩壊の測定)
 - $\sum_j m(\nu_j) < 0.47 \text{ eV}$ (宇宙背景放射 + 宇宙大規模構造)
 - $\sum_j U_{ej}^2 m_j < 0.3 \text{ eV}$ (マヨラナ質量。0 ν 2 β 崩壊の測定)

ν 研究の歴史

- **1930:** パウリ、 ν (スピン1/2)を予言。
 - β 崩壊の研究
- **1933:** フェルミ、最初の弱い相互作用理論を提唱。
 - ν を理論に組み込む
- **1956:** ライネスなど、 $\bar{\nu}_e$ を発見。
 - 原子炉 + 液体シンチレーター ($\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$)
- **~1960:** デイビス、「 ν と $\bar{\nu}$ は区別可能」、「弱い相互作用でレプトン数が保存」を示す。
 - 原子炉 + CCl_4 ($\bar{\nu}_e + {}^{37}\text{Cl} \rightarrow {}^{37}\text{Ar} + e^-$ は起こらない)

ν 研究の歴史

- **1962:** レーダマン、加速器 ν で ν_{μ} を発見。
 - 陽子ビーム+標的で π 生成
 - $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_{\mu}$ or $\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_{\mu}$
- **1962:** 牧、中川、坂田、 ν 振動理論を提唱。
- **1970年代:** デイビス、太陽 ν 問題(太陽 ν の量が理論の約1/3)を提起。
 - C_2Cl_4 @地下
 - $\nu_e + {}^{37}Cl \rightarrow {}^{37}Ar + e^-$ (${}^{37}Ar$ は $\tau_{1/2}=35.04$ 日の同位体))
 - Heガスを使って ${}^{37}Ar$ を回収後、 ${}^{37}Ar$ 崩壊時に発生するオージェ電子を比例計数管で検出

ニュートリノ研究の歴史

- **1986~1988: カミオカンデの結果**
 - 大気 ν 問題($\nu_\mu:\nu_e = 1:1$)を提起。
 - π の崩壊: $\nu_\mu:\nu_e = 2:1$ になるはず
 - 超新星爆発 ν (1987A)を観測。
 - $\bar{\nu}_e + p$ (自由陽子) $\rightarrow n + e^+$ が支配的
 - 太陽 ν 問題(カミオカンデでは理論予想の1/2)を確認。
 - $\nu_e + e^- \rightarrow \nu_e + e^-$ (弾性散乱)
- **1991: LEP実験、軽い ν ($< 45\text{GeV}$)は3世代と証明。**
 - Zの ν をともなう崩壊モードを解析

ニュートリノ研究の歴史

- **1998~2001 : スーパーカミオカンデの結果**
 - 大気 ν の観測で、 ν 振動を発見。大気 ν 問題を決着。
 - ν に微少な質量がある
 - SNO実験(カナダ)と共同で、太陽 ν 問題を決着。
 - SNO: 重水(D₂O)で、Neutral Current反応(全フレーバーの ν に等しく反応)を測定($\nu_x + d \rightarrow p + n + \nu_x$)
 - 太陽モデルは正しい。太陽 ν 問題の原因は ν 振動($\nu_e \rightarrow \nu_\mu$)
- **2000: DONUT実験、 ν_τ の存在を確認。**
 - 陽子ビーム(800GeV)+ 標的 でc生成
 - cの崩壊から ν ビーム($\nu_\tau \sim 5\%$)
 - 1 μ mの分解能を持つ写真フィルムで τ を検出

ν 振動

- ν のフレーバー固有状態(ν_α)は、質量固有状態(ν_j)の重ね合わせとなる。

$$|\nu_\alpha\rangle = \sum_j U_{\alpha j} |\nu_j\rangle$$

- 生成された ν_α が伝搬するとき、各質量固有状態 ν_j は別々の時間発展をする(質量が違うため)ので、質量固有状態の混合比が変わり、別のフレーバーが混入する。この量子干渉効果が ν 振動である。

$$|\nu_\alpha(t)\rangle = \sum_j U_{\alpha j} |\nu_j\rangle e^{-iE_j t}, \quad E_j = \sqrt{p^2 + m_j^2} \simeq p + \frac{m_j^2}{2E}$$

ν 振動

- ν のフレーバー固有状態と質量固有状態の関係式

$$\begin{array}{ccc} & \begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = U_{MNS} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix} & \\ \nearrow & & \nwarrow \\ \text{フレーバー固有状態} & & \text{質量固有状態} \end{array}$$

牧、中川、坂田(MNS)行列

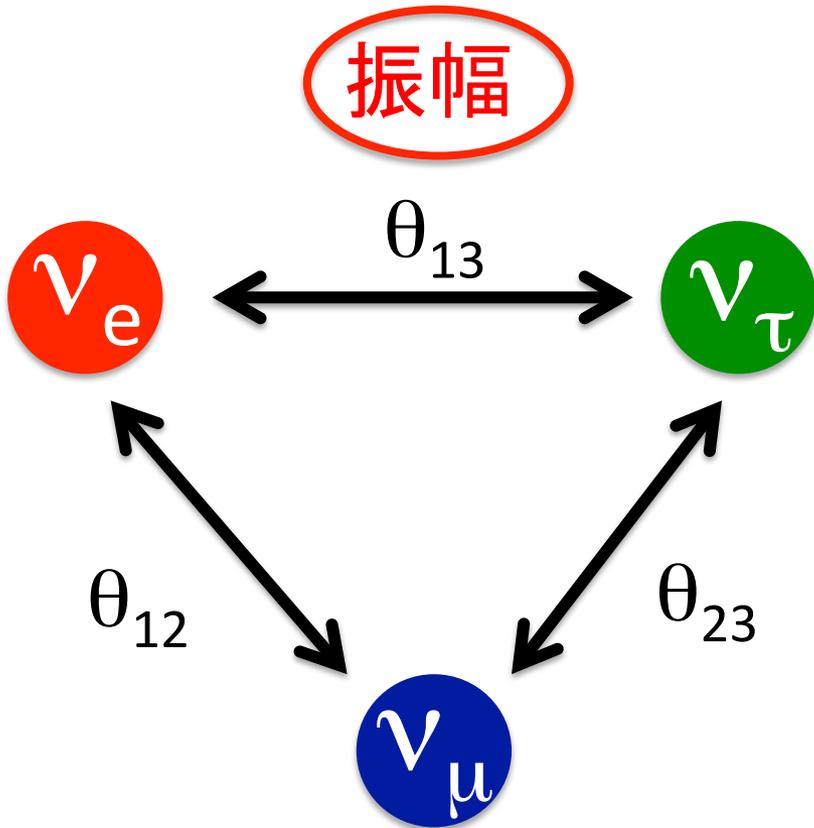
$$U_{MNS} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & +c_{23} & +s_{23} \\ 0 & -s_{23} & +c_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} +c_{13} & 0 & +s_{13} e^{-i\delta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13} e^{i\delta} & 0 & +c_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} +c_{12} & +s_{12} & 0 \\ -s_{12} & +c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

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

ν 振動

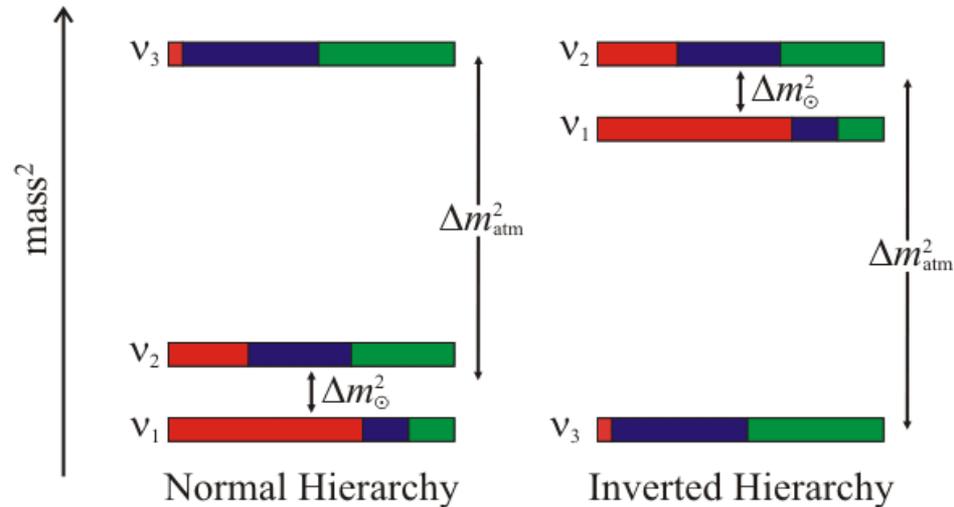
2世代振動の場合

$$P(\nu_\alpha \rightarrow \nu_\beta) = \sin^2 2\theta \sin^2(1.27 \Delta m^2(\text{eV}^2) L(\text{km}) / E_\nu(\text{GeV}))$$



位相(的なもの)

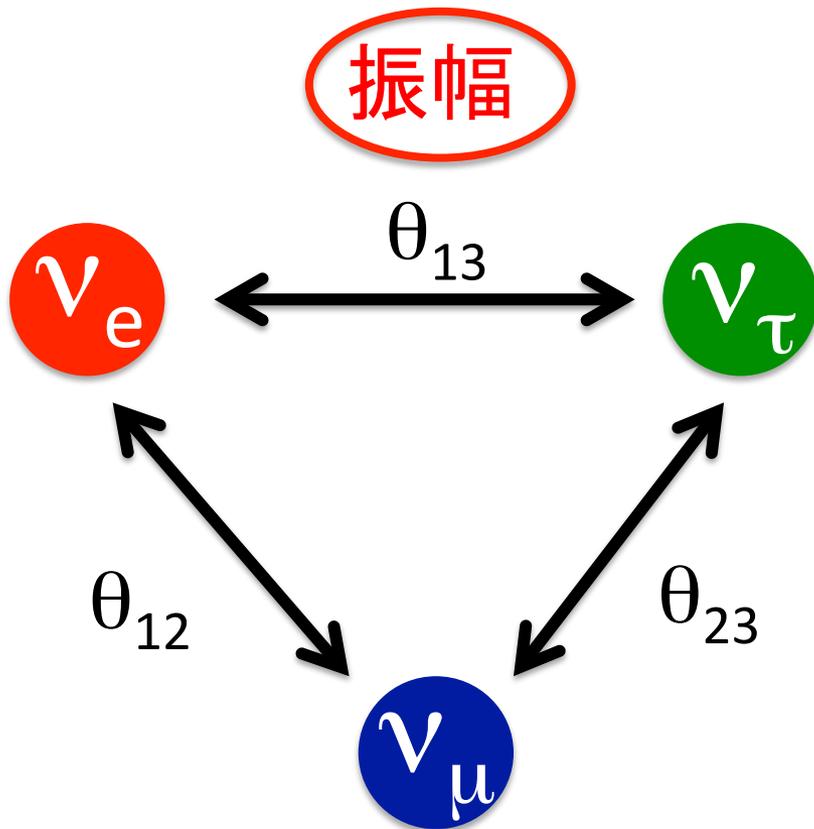
(E_ν とBaselineとの関係から)



ν 振動

2世代振動の場合

$$P(\nu_\alpha \rightarrow \nu_\beta) = \sin^2 2\theta \sin^2(1.27 \Delta m^2(\text{eV}^2) L(\text{km}) / E_\nu(\text{GeV}))$$



現在のbest fit value

$$\theta_{12} = 34^\circ \rightarrow \sin^2 2\theta_{12} = 0.9$$

$$\theta_{23} = 45^\circ \rightarrow \sin^2 2\theta_{23} = 1.0$$

$$\theta_{13} = 9^\circ \rightarrow \sin^2 2\theta_{13} = 0.1$$

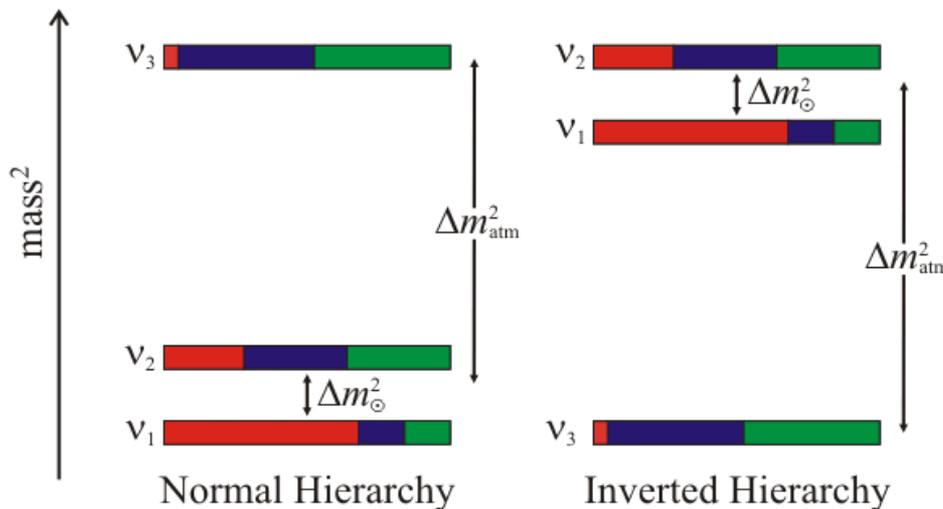
ν 振動

2世代振動の場合

$$P(\nu_\alpha \rightarrow \nu_\beta) = \sin^2 2\theta \sin^2(1.27 \Delta m^2(\text{eV}^2) / E_\nu(\text{GeV}) L(\text{km}))$$

位相(的なもの)

(E_ν とBaselineとの関係から)



現在のbest fit value

$$\Delta m_{21}^2 = 8 \times 10^{-5} \text{ eV}^2$$

$$\Delta m_{23}^2 = (- \text{ or } +) 2 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$$

$$\Delta m_{13}^2 \sim \Delta m_{23}^2$$

$$\Delta m_{\alpha\beta}^2 = m_\alpha^2 - m_\beta^2$$

ν 振動

例: T2K実験の $\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu$

- ν_μ ビーム (~95%)
- Baseline = 295km
- $E_\nu \sim 0.5$ GeV

$\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ 振動 (位相が合わない)

$$\sin^2 2\theta_{12} = 0.9$$

$$\sin^2(\Delta m^2 L / E_\nu) = 4 \times 10^{-3}$$

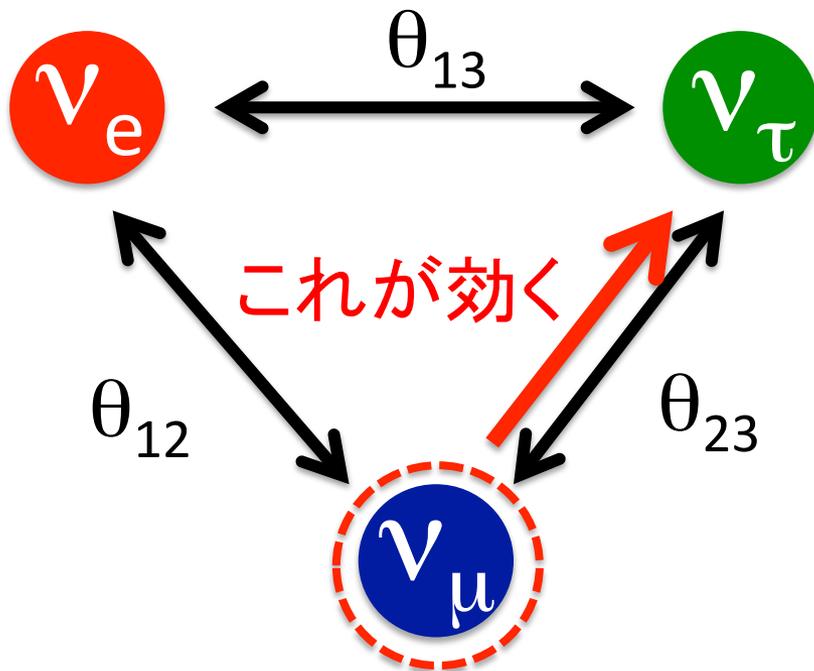
$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) = 4 \times 10^{-3}$$

$\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ 振動

$$\sin^2 2\theta_{23} = 1.0$$

$$\sin^2(\Delta m^2 L / E_\nu) = 0.99$$

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau) = 0.99$$

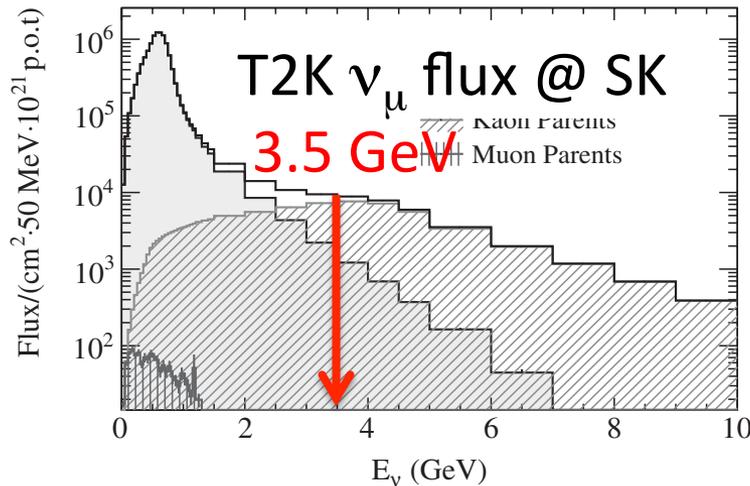


$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu) \sim 1 - P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau) = 0.01$$

ν 振動

T2Kで ν_τ を直接測定していない理由

- ν_τ の荷電カレント(CC)反応(τ 生成)に $E_\nu > 3.5$ GeVが必要だから。
→ T2Kのビーム中に少ない、振動確率も小さい。



$\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ 振動 @ $E_\nu = 3.5$ GeV

$$\sin^2 2\theta_{23} = 1.0$$

$$\sin^2(\Delta m^2 L / E_\nu) = 5 \times 10^{-2}$$

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau) = 5 \times 10^{-2}$$

- ν_τ がCC反応しても、 τ の同定が困難。(τ の寿命=300 f秒)
 - Leptonic decay (35%): $\tau^- \rightarrow e^- \nu_e \nu_\tau$, $\tau^- \rightarrow \mu^- \nu_\mu \nu_\tau$
 - Hadronic decay (65%): $\tau^- \rightarrow \nu_\tau \pi^0 \pi^-$ など

ν 振動

例: T2K実験の $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$

- ν_μ ビーム (~95%)
- Baseline = 295km
- $E_\nu \sim 0.5$ GeV

$\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ 振動 (位相が合わない)

$$\sin^2 2\theta_{12} = 0.9$$

$$\sin^2(\Delta m^2 L / E_\nu) = 4 \times 10^{-3}$$

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) = 4 \times 10^{-3}$$

$\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau \rightarrow \nu_e$ 振動

$$\sin^2 \theta_{23} = 0.5$$

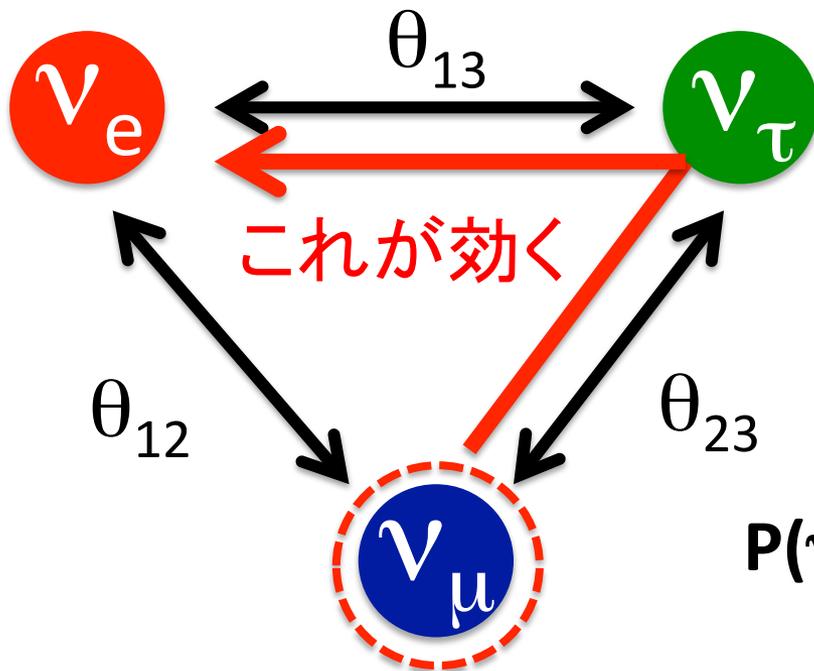
$$\sin^2 2\theta_{13} = 0.1$$

$$\sin^2(\Delta m^2 L / E_\nu) = 0.99$$

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau \rightarrow \nu_e)$$

$$\sim \sin^2 \theta_{23} \sin^2 2\theta_{13} \sin^2(\Delta m_{13}^2 L / E_\nu)$$

$$= 5 \times 10^{-2}$$



$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) \sim P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau \rightarrow \nu_e) = 5 \times 10^{-2}$$

ν 振動

例: Daya Bay実験の $\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e$

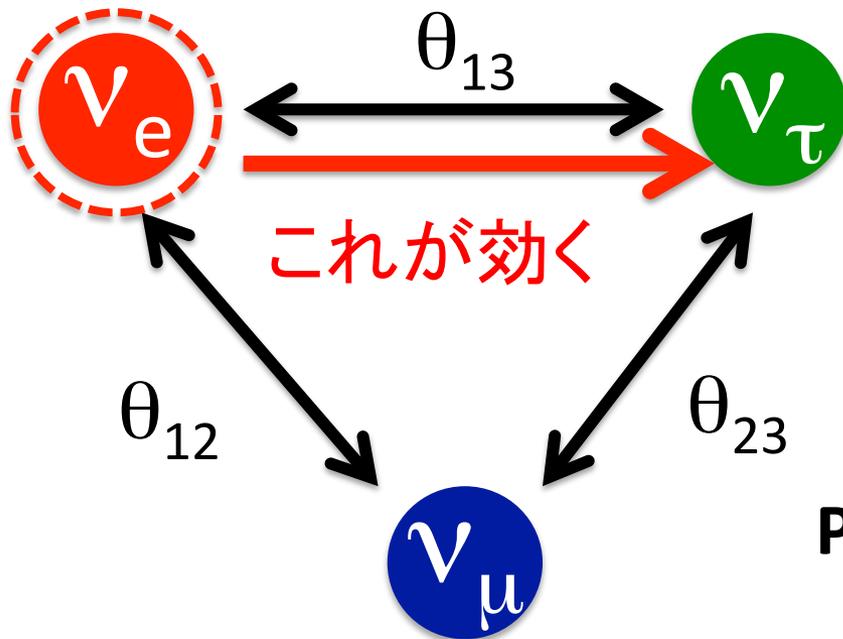
- 原子炉 $\bar{\nu}_e$ (100%)
- Baseline $\sim 1.5\text{km}$
- $E_\nu \sim 3\text{ MeV}$

$\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_\mu$ 振動 (位相が合わない)

$$\sin^2 2\theta_{12} = 0.9$$

$$\sin^2(\Delta m^2 L / E_\nu) = 3 \times 10^{-3}$$

$$P(\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e) = 3 \times 10^{-3}$$



$\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_\tau$ 振動

$$\sin^2 2\theta_{13} = 0.1$$

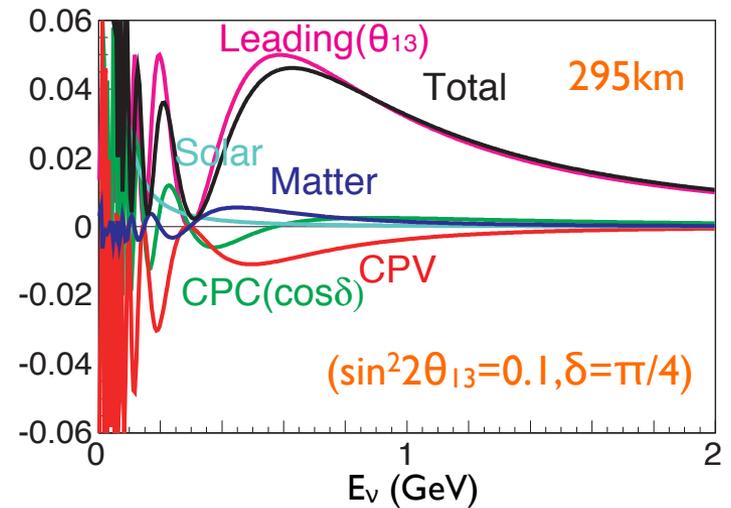
$$\sin^2(\Delta m^2 L / E_\nu) = 0.9$$

$$P(\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_\tau) = 9 \times 10^{-2}$$

$$P(\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e) \sim 1 - P(\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_\tau) = 0.9$$

ν振動

T2K,
J-PARC+HK



• CP位相δ

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) =$$

$$4c_{13}^2 s_{13}^2 s_{23}^2 \sin^2 \frac{\Delta m_{13}^2 L}{4E} \left(1 + \frac{2a}{\Delta m_{13}^2} (1 - 2s_{13}^2) \right)$$

θ_{13} (Leading term)

$$+ 8c_{13}^2 s_{12} s_{13} s_{23} (c_{12} c_{23} \cos \delta - s_{12} s_{13} s_{23}) \cos \frac{\Delta m_{23}^2 L}{4E} \sin \frac{\Delta m_{13}^2 L}{4E} \sin \frac{\Delta m_{21}^2 L}{4E}$$

CPC

$$- 8c_{13}^2 c_{12} c_{23} s_{12} s_{13} s_{23} \sin \delta \sin \frac{\Delta m_{23}^2 L}{4E} \sin \frac{\Delta m_{13}^2 L}{4E} \sin \frac{\Delta m_{21}^2 L}{4E}$$

CPV

$$+ 4s_{12}^2 c_{13}^2 (c_{12}^2 c_{23}^2 + s_{12}^2 s_{23}^2 s_{13}^2 - 2c_{12} c_{23} s_{12} s_{23} s_{13} \cos \delta) \sin^2 \frac{\Delta m_{21}^2 L}{4E}$$

Solar

$$- 8c_{13}^2 s_{13}^2 s_{23}^2 \cos \frac{\Delta m_{23}^2 L}{4E} \sin \frac{\Delta m_{13}^2 L}{4E} \frac{a}{4E} (1 - 2s_{13}^2)$$

物質効果

$$a = 7.56 \times 10^{-5} [\text{eV}^2] \rho [\text{g/cm}^3] E [\text{GeV}]$$

$P(\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e)$ のときは $\delta \rightarrow -\delta$ 、 $a \rightarrow -a$

T2K, J-PARC+HK (normal hierarchy)

ν振動

- CP位相δ

$$P(\nu_\mu \rightarrow \mu_e) =$$

$$4c_{13}^2 s_{13}^2 s_{23}^2 \sin^2 \frac{\Delta m_{13}^2 L}{4E} \left(1 + \frac{2a}{\Delta m_{13}^2} (1 - 2s_{13}^2) \right)$$

θ_{13} (Leading term)

$$+ 8c_{13}^2 s_{12} s_{13} s_{23} (c_{12} c_{23} \cos \delta - s_{12} s_{13} s_{23}) \cos \frac{\Delta m_{23}^2 L}{4E} \sin \frac{\Delta m_{13}^2 L}{4E} \sin \frac{\Delta m_{21}^2 L}{4E}$$

CPC

$$- 8c_{13}^2 c_{12} c_{23} s_{12} s_{13} s_{23} \sin \delta \sin \frac{\Delta m_{23}^2 L}{4E} \sin \frac{\Delta m_{13}^2 L}{4E} \sin \frac{\Delta m_{21}^2 L}{4E}$$

CPV

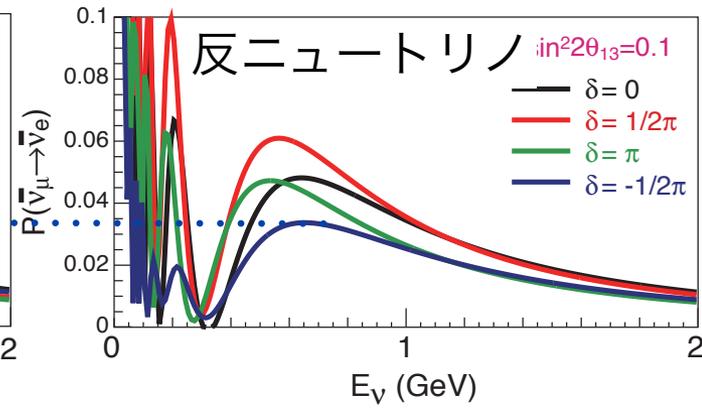
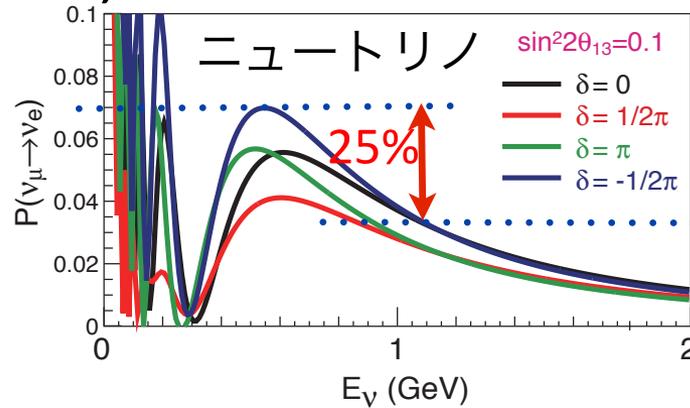
$$+ 4s_{12}^2 c_{13}^2 (c_{12}^2 c_{23}^2 + s_{12}^2 s_{23}^2 s_{13}^2 - 2c_{12} c_{23} s_{12} s_{23} s_{13} \cos \delta) \sin \frac{\Delta m_{21}^2 L}{4E}$$

Solar

$$- 8c_{13}^2 s_{13}^2 s_{23}^2 \cos \frac{\Delta m_{23}^2 L}{4E} \sin \frac{\Delta m_{13}^2 L}{4E} \frac{a}{4E} (1 - 2s_{13}^2)$$

物質効果

$$a = 7.56 \times 10^{-5} [\text{eV}^2] \rho [\text{g/cm}^3] E [\text{GeV}]$$



$P(\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e)$ のときは $\delta \rightarrow -\delta$ 、 $a \rightarrow -a$

ν 振動

- 物質優勢宇宙が ν のCPの破れで説明できるかもしれない。(CKMのCPの破れでは、全く不足。)
- $\nu_\alpha \rightarrow \nu_\alpha$ (disappearance mode) でCP位相 δ が測定できない理由
 - CPTで $P(\nu_\alpha \rightarrow \nu_\beta) = P(\bar{\nu}_\beta \rightarrow \bar{\nu}_\alpha)$ が保証されているので。

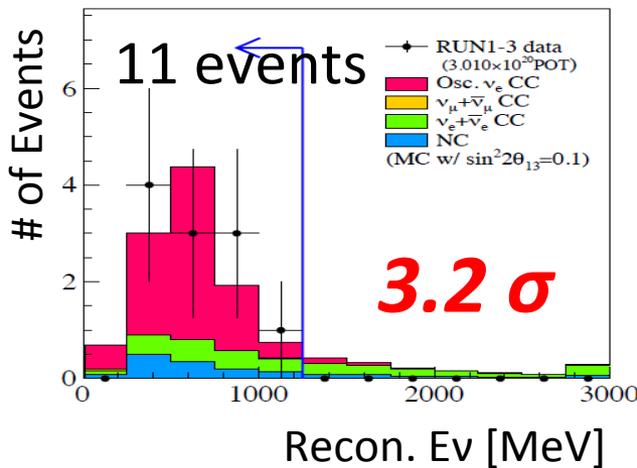
ニュートリノ研究の歴史

- **2001:** カムランド実験、 θ_{12} を精密測定。
 - 原子炉からの $\bar{\nu}_e$ + 液体シンチレーター (Baseline ~ 180km)
 - $\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e$ 振動
- **2003:** CHOOZ実験、 θ_{13} に上限値。
 - 原子炉からの $\bar{\nu}_e$ + 液体シンチレーター (Baseline ~ 1km)
 - $\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e$ 振動
- **2004:** K2K実験、加速器 ν を用いて ν 振動を確立。
 - 加速器 ν_μ + スーパーカミオカンデ (Baseline = 250km)
 - $\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu$ 振動

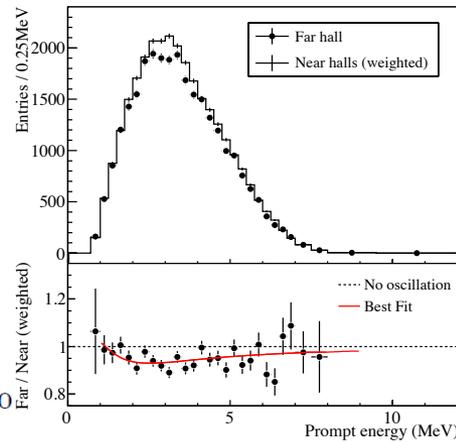
ニュートリノ研究の歴史

- 2011-2012: $\theta_{13} \neq 0$ が確立 → CP位相 δ の探索へ
 - T2K実験: $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e$ 振動の発見
 - 原子炉実験: $\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e$ 振動の発見

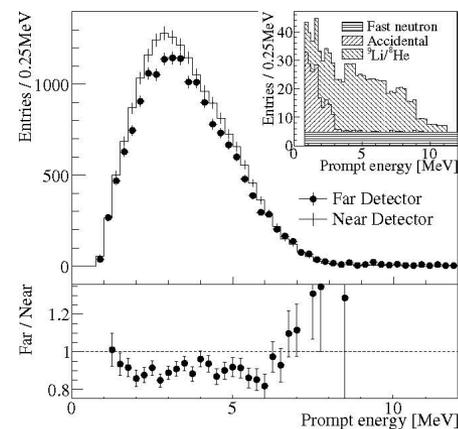
T2K



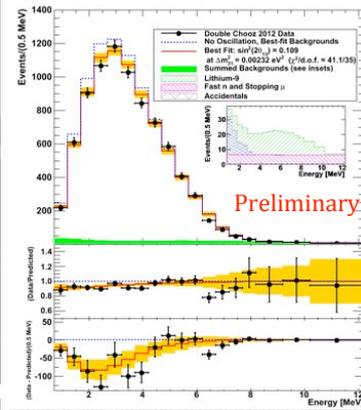
Daya Bay (米/中)



RENO (韓)



Double Chooz (欧日米)



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

$$0.113 \pm 0.013(\text{stat}) \pm 0.019(\text{syst})$$

$$0.089 \pm 0.010(\text{stat}) \pm 0.005(\text{syst})$$

$$0.109 \pm 0.030(\text{stat}) \pm 0.025(\text{syst})$$

vグループの研究紹介

ν グループのactivity

- T2K (+ PIAvo, Mizuche)、Super-Kamiokande
- Hyper-Kamiokande
- Xe project (市川さんが紹介)

T2K(Tokai to Kamioka)実験

- 大強度 ν ビーム@J-PARC + Super-Kamiokande
- Baseline = 295 km
- 目的
 - $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ 振動の発見 (θ_{13})
 - $\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu$ 振動の精密測定 ($\theta_{23}, \Delta m_{23}^2$)
 - CP位相 δ の測定

Super Kamiokande検出器

長距離飛行後の ν を観測



T2K実験のコラボレーター



59 institutions in 12 countries

Canada

TRIUMF
U of Alberta
U of B Columbia
U of Regina
U of Toronto
U of Victoria
York U

France

CEA Saclay
IPN Lyon
LLR E Poly
LPNHE-Paris

Russia

INR

Korea

Chonnam Nat'l U
Dongshin U
Seoul Nat'l U

Spain

IFIC, Valencia
U.A. Barcelona

Poland

A Soltan, Warsaw
HNiewodniczanski
T U Warsaw
U of Silesia
Warsaw U
Wroclaw U

Switzerland

Bern
ETH Zurich
U of Geneva

UK

U of Oxford
Imperial C London
Lancaster U
Queen Mary U of L
Sheffield U
STFC/RAL
STFC/Daresbury
U of Liverpool
U of Warwick

Japan

ICRR Kamioka
ICRR RCCN
KEK
Kobe U
Kyoto U
Miyagi U of Ed
Osaka City U
U of Tokyo

Italy

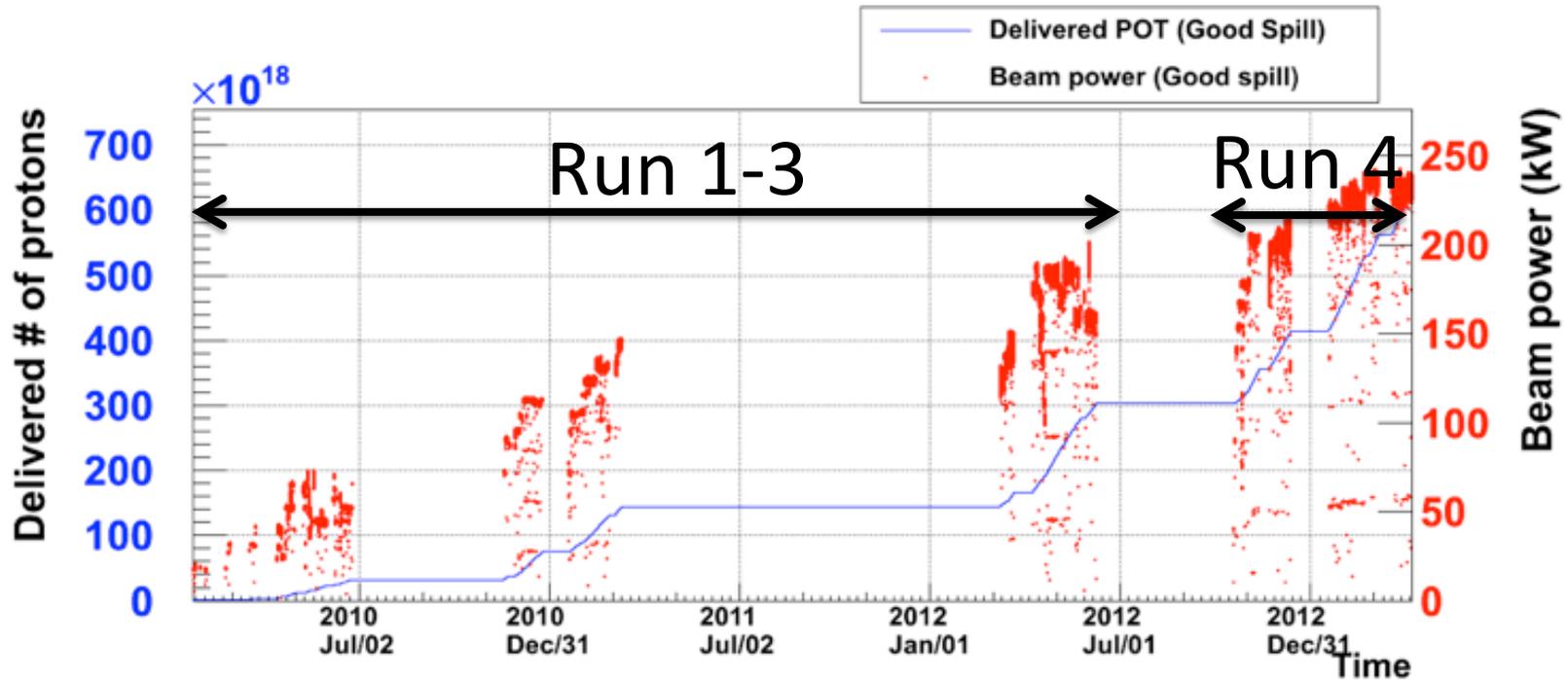
INFN Bari
INFN Roma
Napoli U
Padova U

USA

Boston U
BNL
Colorado State U
Duke U
Louisiana State U
Stony Brook U
U of California, Irvine
U of Colorado
U of Pittsburgh
U of Rochester
U of Washington
Germany
RWTH Aachen U

世界12カ国、59研究機関、約500名が参加

T2K実験のデータ収集状況



- 累積POTとビーム強度のどちらも順調に上昇！
- Run 1-3 = 3.0×10^{20} POT: 解析(ほぼ)完了
- Run 1-4($\sim 4/12$) = 6.3×10^{20} POT: 2013夏に結果発表！
 – T2Kの最終統計(7.8×10^{21} POT)の8%

T2K実験の予定

2013年

4月

5月

6月

7月

8月

9月

10月

11月

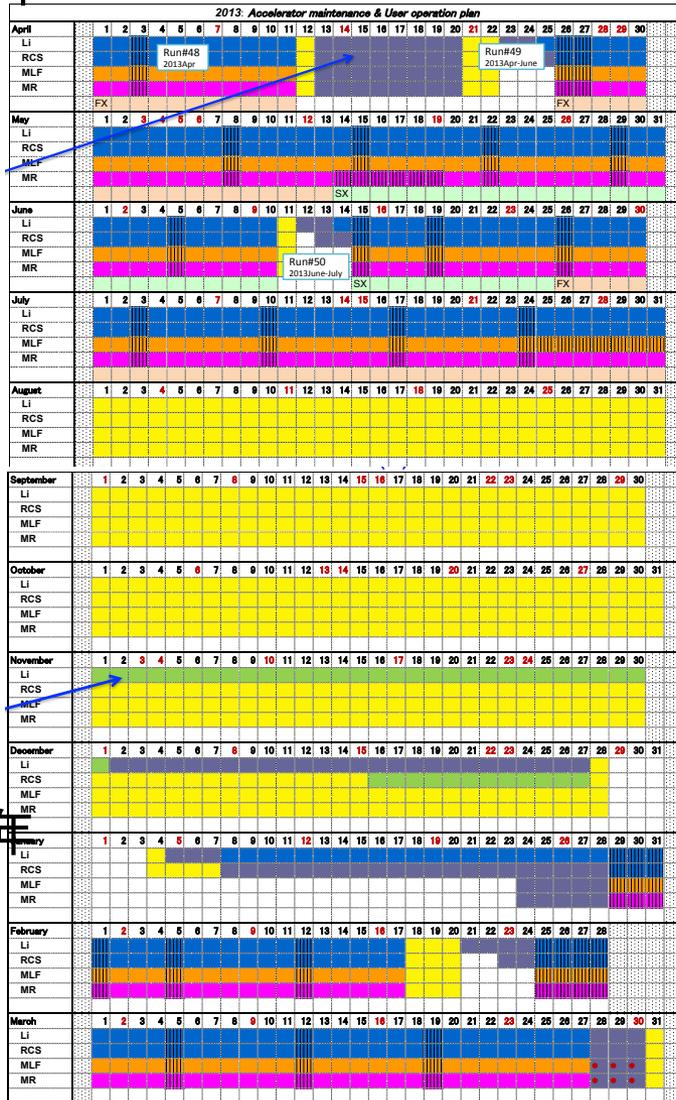
12月

2014年

1月

2月

3月

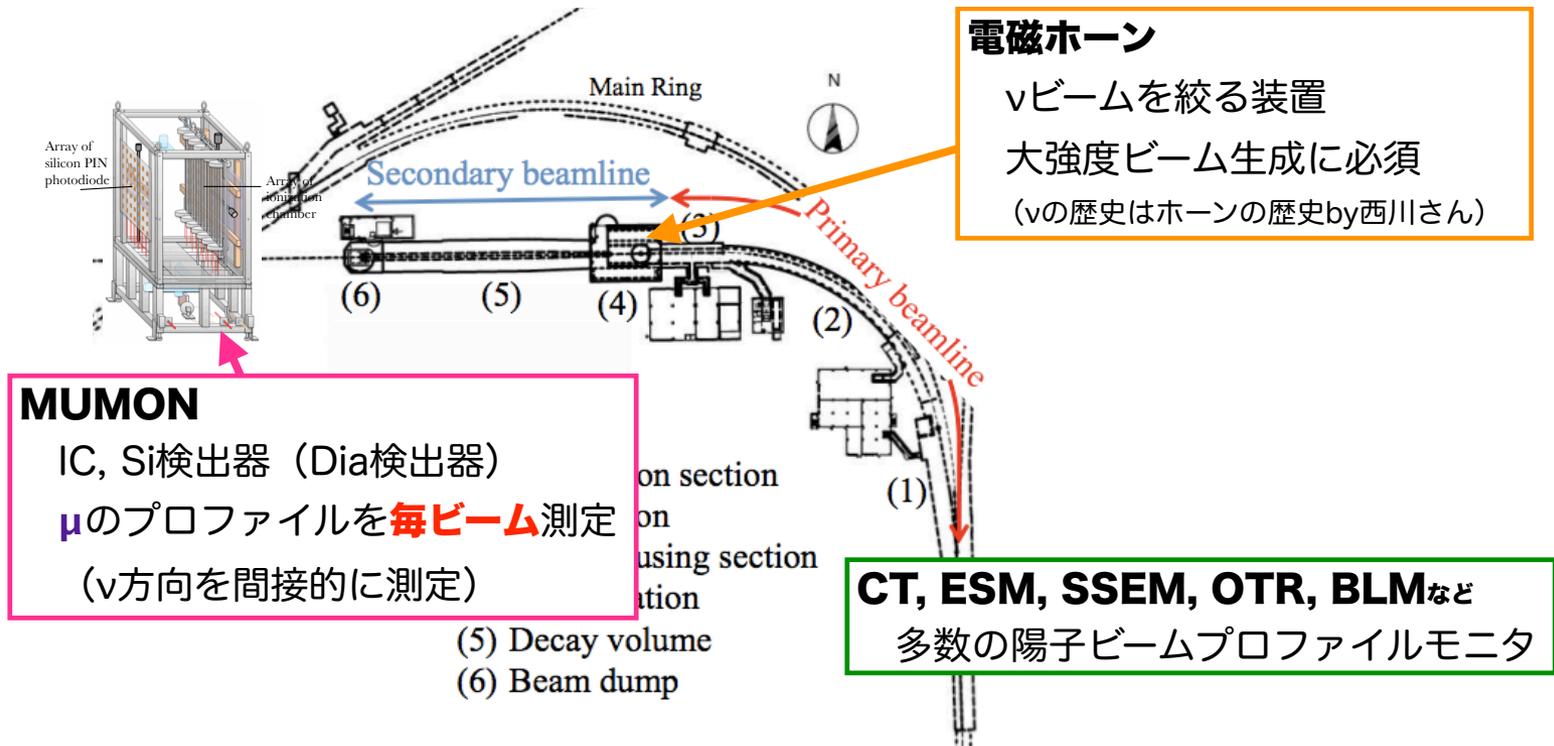


- ~2013年7月末
 - T2Kの目標POT= 8×10^{20} POT (T2K最終統計の10%)
- 2013年8月からLong shutdown
 - Linacアップグレード
 - Ring collimatorアップグレード
 - Injection kickerの改良
- 2014年1月末からUser beam
 - > 300 kW (Cycle time 2.4 s)
 - 物理結果を出し、beam timeを獲得する必要あり！ (KoToとはライバル)

T2Kでの ν グループのactivity

- ν ビーム関係
 - 市川、久保、鈴木、平木
- 前置検出器(+ Mizuche)
 - 中家、市川、南野、Christophe、家城、木河、鈴木、高橋、黄
- Super-Kamiokande
 - 中家、池田
- ν 反応の研究(+ PIA ν)
 - 中家、池田、家城
- 物理解析
 - 中家、南野、Christophe、家城、木河、鈴木
- 将来のT2Kの物理
 - 市川、池田

vビーム関係 (市川、久保、鈴木、平木)



• 良質なvビームの生成

- 陽子ビームのモニター(CT, ESM, SSEM, OTR, BLMなど)
- 電磁ホーンの運転
- MUMONによる μ の測定(ビームの方向、安定性)

ν ビーム関係 (市川、久保、鈴木、平木)

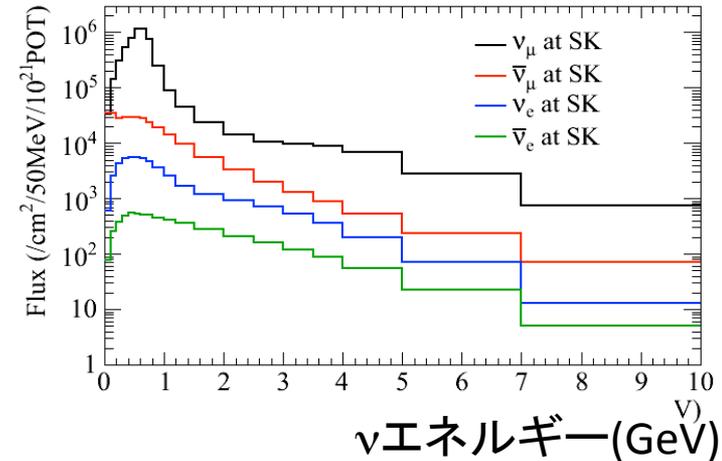
SKフラックス

- ν フラックスとその系統誤差

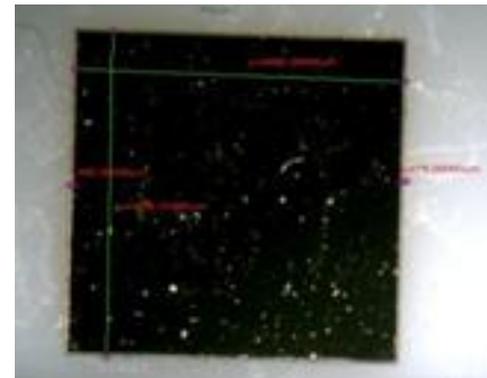
- シミュレーション(Geant3 + FLUKA)
- ビームモニターの測定がinput
- 外部のデータ(NA61@CERNなど)でハドロン生成の不定性を抑える
- ν 振動解析および前置検出器を使った ν 反応断面積の測定
の最も重要なinput

- MUMONのアップグレード

- ビーム強度の増加に向け、
より放射線耐性の強い検出器
(Diamond検出器など)をテスト中



Diamond検出器



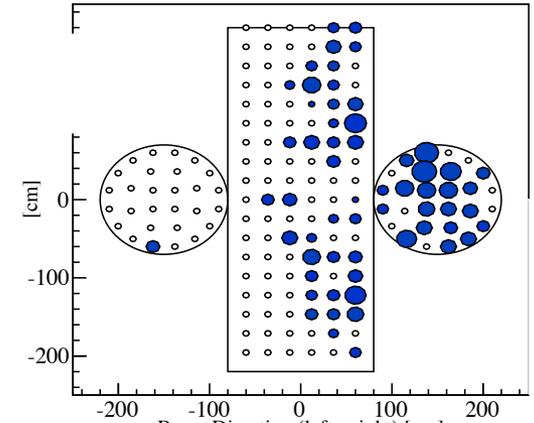
前置検出器 (+Mizuche)

(中家、市川、南野、Christophe、家城、木河、鈴木、高橋、黄)

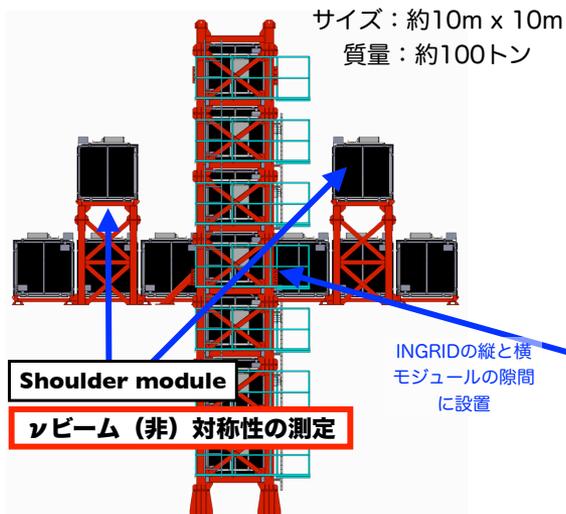
Run coordinator

→ 前置検出器の運転責任者
(Christophe)

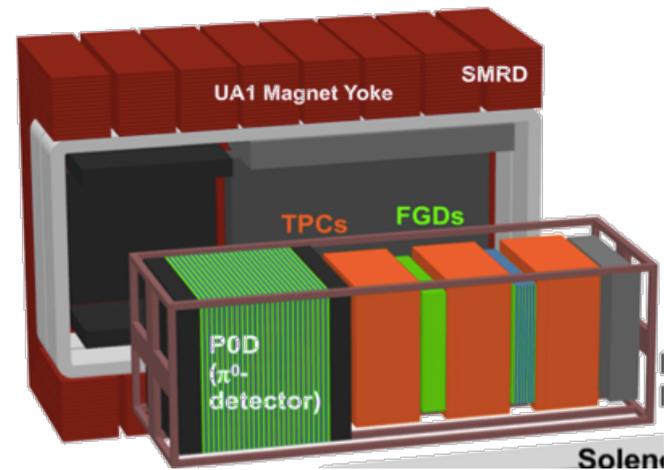
Mizuche



INGRID (On-axis検出器)



Off-axis検出器

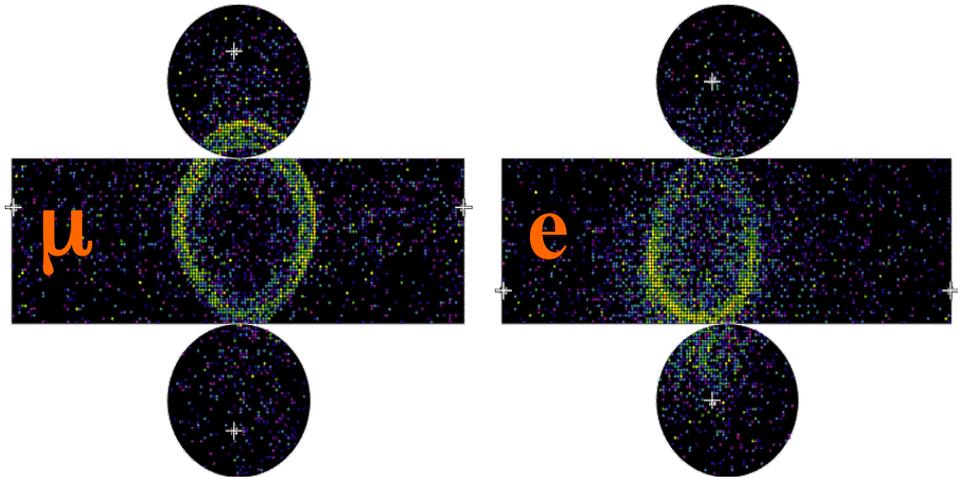
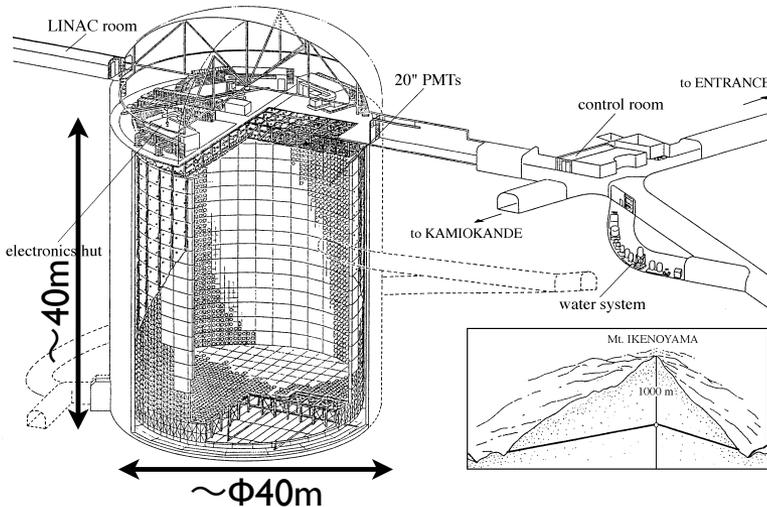


前置検出器(+ Mizuche)

(中家、市川、南野、Christophe、家城、木河、鈴木、高橋、黄)

- INGRID (On-axis検出器)
 - ν ビームの方向と安定性をモニター(良質な ν ビーム)
 - ν 反応断面積の測定も進行中(木河、鈴木)
- Off-axis検出器
 - SKと ν フラックスをもち、測定結果をフィットすることで、振動解析における ν フラックスや ν 反応断面積(の一部)の系統誤差を大きく削減できる。
 - さまざまな解析(ν_{μ} 、 ν_e 、 π^0 、 ν 反応断面積)が進行中
- Mizuche (高橋、黄)
 - 小型検出器で、T2K振動解析の系統誤差削減を目指す
 - SKとターゲット(水)、アクセプタンス(4π)が同じなのが強み
 - 検出器ホール壁での ν 反応に伴う γ 、中性子 BGと格闘中

Super-Kamiokande (中家、池田)



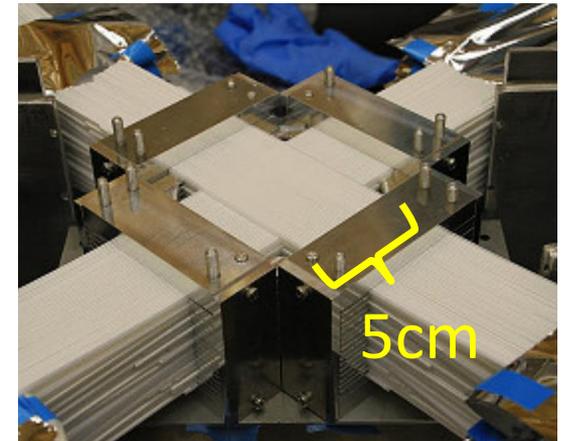
SUPERKAMIOKANDE INSTITUTE FOR COSMIC RAY RESEARCH UNIVERSITY OF TOKYO

NIKKEN SEKKI

- 50kton水チェレンコフ検出器 (有効体積22.5kton)
- 約12000個の20inch PMT
- T2K実験の後置検出器
 - T2Kイベントの検出効率についての系統誤差を下げる studyを進めている。(池田)
- T2K以外にもたくさんの物理: 陽子崩壊、大気 ν など

ν 反応の研究(+PIA ν o) (中家、池田、家城)

- PIA ν o
 - ν 反応によって生成される π の原子核内での相互作用の理解が目的
 - 1.5mm角のシンチファイバー検出器 + π ビーム@TRIUMF (カナダ)
 - 吸収と荷電交換反応の和のcross sectionは解析完了！結果を論文にまとめている。(家城)
 - 吸収、荷電交換反応の別々のcross sectionは解析中。(池田)
- π のFinal State Interaction(FSI)の誤差
 - PIA ν oの結果を反映 + 解析手法の改善により、 π のFSI誤差を低減するためのstudyがほぼ完了(家城)
 - 2013年のT2K振動解析の結果に反映予定。

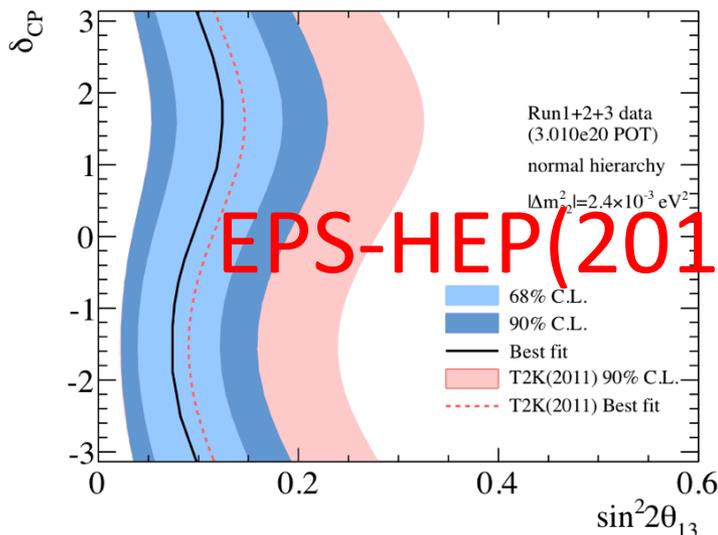


物理解析

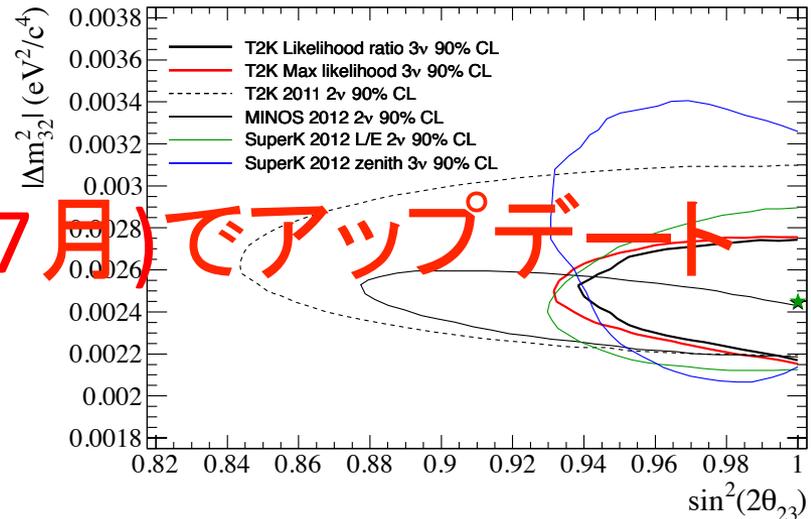
(中家、南野、Christophe、家城、木河、鈴木)

- T2Kの全物理解析の責任者(中家)
- $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ 振動解析 (Christophe、家城)
 - 2013年夏までのデータで $\theta \neq 0$ を 5σ が目標
- $\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu$ 振動解析(南野)
 - 2013年夏までのデータで世界最高精度で θ_{23} を測定

$\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ (2012年)



$\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu$ (2012年)

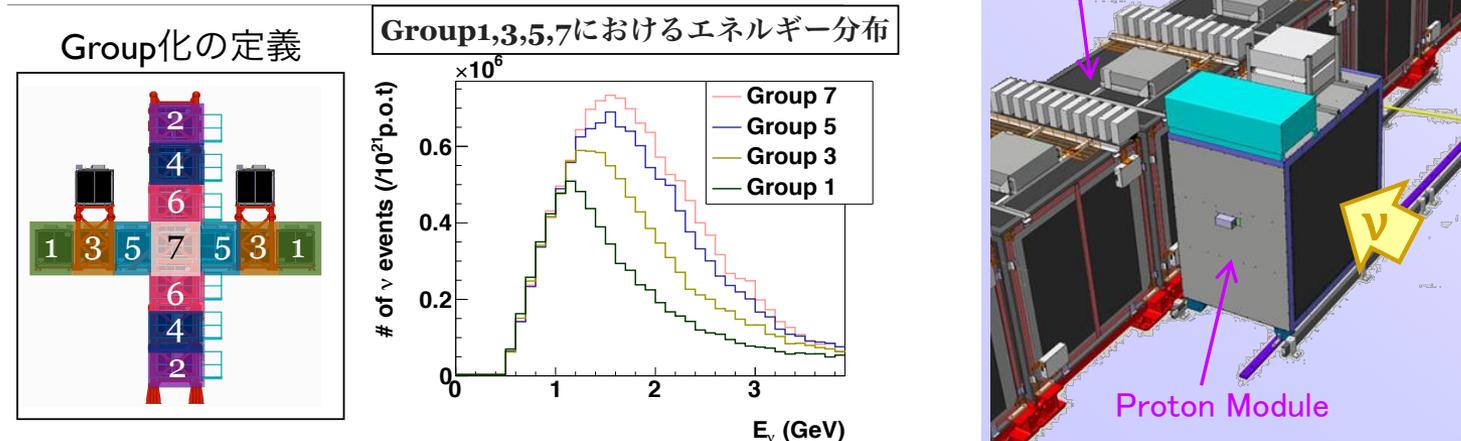


EPS-HEP(2013年7月)でアップデート

物理解析

(中家、南野、Christophe、家城、木河、鈴木)

- INGRID (+ Proton module)を使った ν 反応断面積測定
 - Module位置によって ν エネルギー分布が異なることを利用する、(多分)これまでに例のない解析(鈴木)
 - 同じ ν ビームを、鉄ターゲット(INGRID)と炭素ターゲット(Proton module)で測定し、反応断面積の比を測定するユニークな解析(木河)



→ 秋頃に論文acceptを目指す。

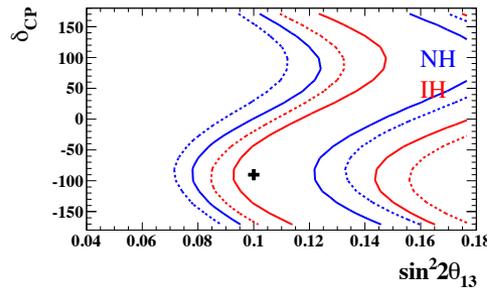
将来のT2Kの物理 (市川、池田)

- 解析グループの長(市川)
- $\theta_{13} \neq 0$ 確立後の目標を決める、重要なstudy
- $\bar{\nu}$ modeについて、新たに系統誤差を準備(池田)

$\delta_{CP} = -90^\circ$
 $\sin^2 2\theta_{23} = 1.0$
 Normal Hierarchy
 の場合

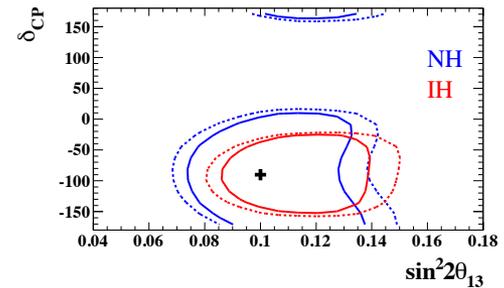
90% C.L. contours

$\nu : \bar{\nu} = 100 : 0$

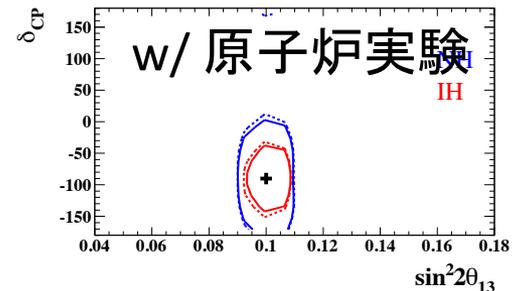
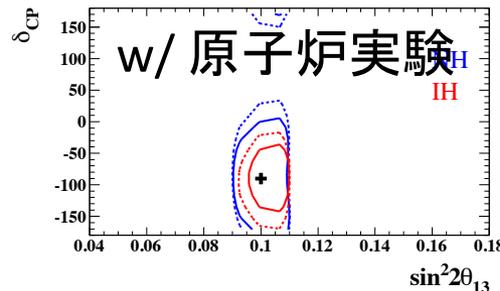


(a) 100% ν -running, true NH.

$\nu : \bar{\nu} = 50 : 50$



(b) 50% ν -, 50% $\bar{\nu}$ -running, true NH.



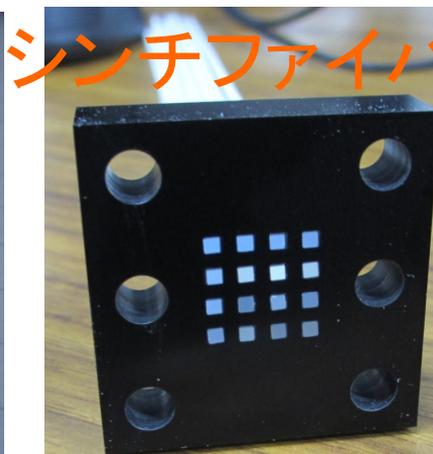
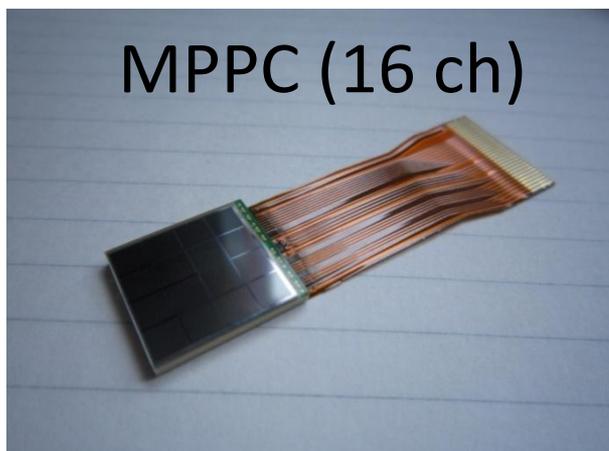
実線: 系統誤差なし
 点線: 今のT2Kの系統誤差

T2Kで ν グループがこれからやること

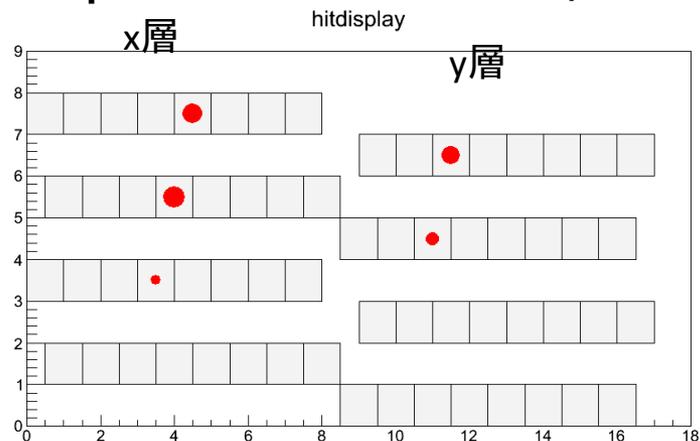
- 前置検出器のアップグレード
 - 新たにインストールしたい検出器
 - 現在の検出器の約10倍の位置分解能を持つ
 - $\sim 1\text{mm}$ 角のシンチレーションファイバー + MPPC
 - ~ 10 万チャンネル(光検出器と読み出しエレキをコンパクトに設置することが重要)
 - 目的
 - ν 反応点周り理解を進め、系統誤差を低減する。
 - スケジュール
 - 2012年度: 64chの検出器でR&Dを開始。(長崎)
 - 2013年度: 一回り大きな検出器(500 \sim 1000チャンネル)を製作し、ビームテストを行う。読み出しエレキのR&Dも進める。
 - 2013年秋の前置検出器のアップグレード研究会に向けて、何か結果を出したい。

T2Kでvグループがこれからやること

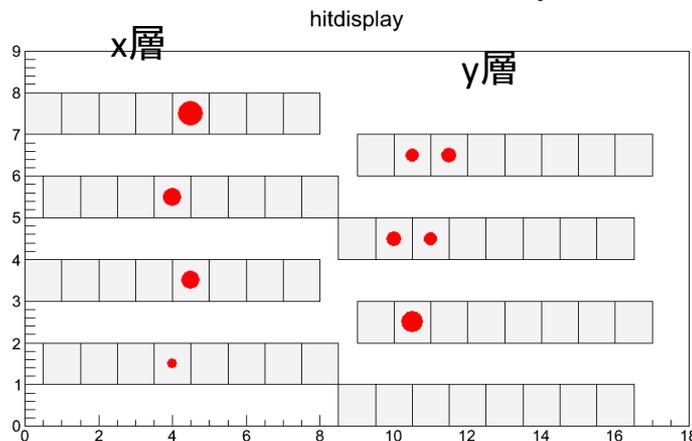
- 前置検出器のアップグレード(続き)



β線を使った試験 (~1cmの飛跡の再構成に成功)



12.8 mm

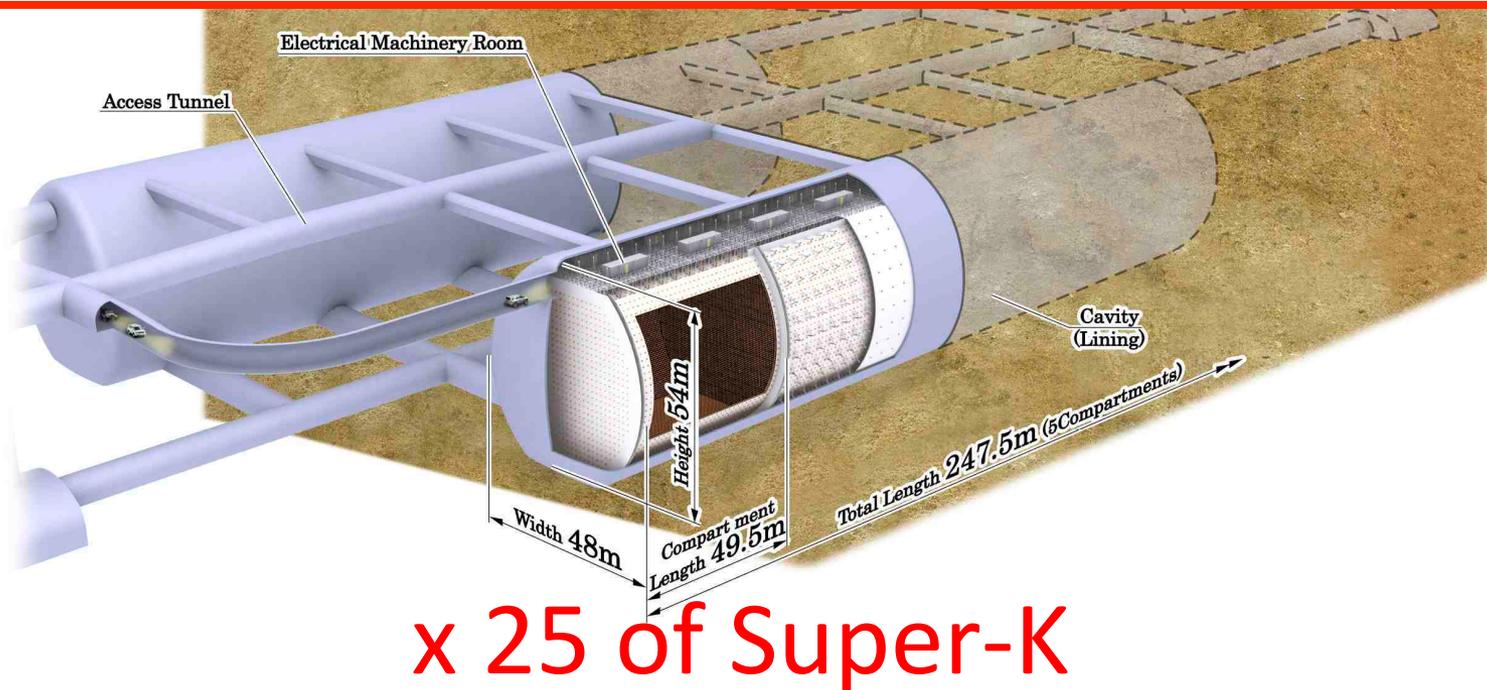


T2Kでνグループがこれからやること

- 加速器とνビーム強度の向上 with J-PARC MR
 - J-PARC加速器は、2013年夏からの長期shutdown中にLINACのアップグレードを行い、T2Kへのビーム出力を約400kWに向上させる。この大強度運転を実現するには、ビームロスを500W以下を実現する必要がある。
 - 400kW以上での運転を実現するために、加速器ビーム診断モニター(ストリップラインモニター)とフィードバック装置の設計、製作、運用をJ-PARC MRの小関氏と一緒にやる。
 - 興味があって、具体的なstudyについて知りたい場合は、中家さんと話してください。

Hyper-K overview

Total vol.	0.99 Mton
Fiducial vol.	0.56 Mton (0.056 Mton x 10 compartments)
Photo-sensors	99,000 of 20-inch PMTs for Inner Detector (20% photo-coverage) 25,000 of 8-inch PMTs for Outer Detector



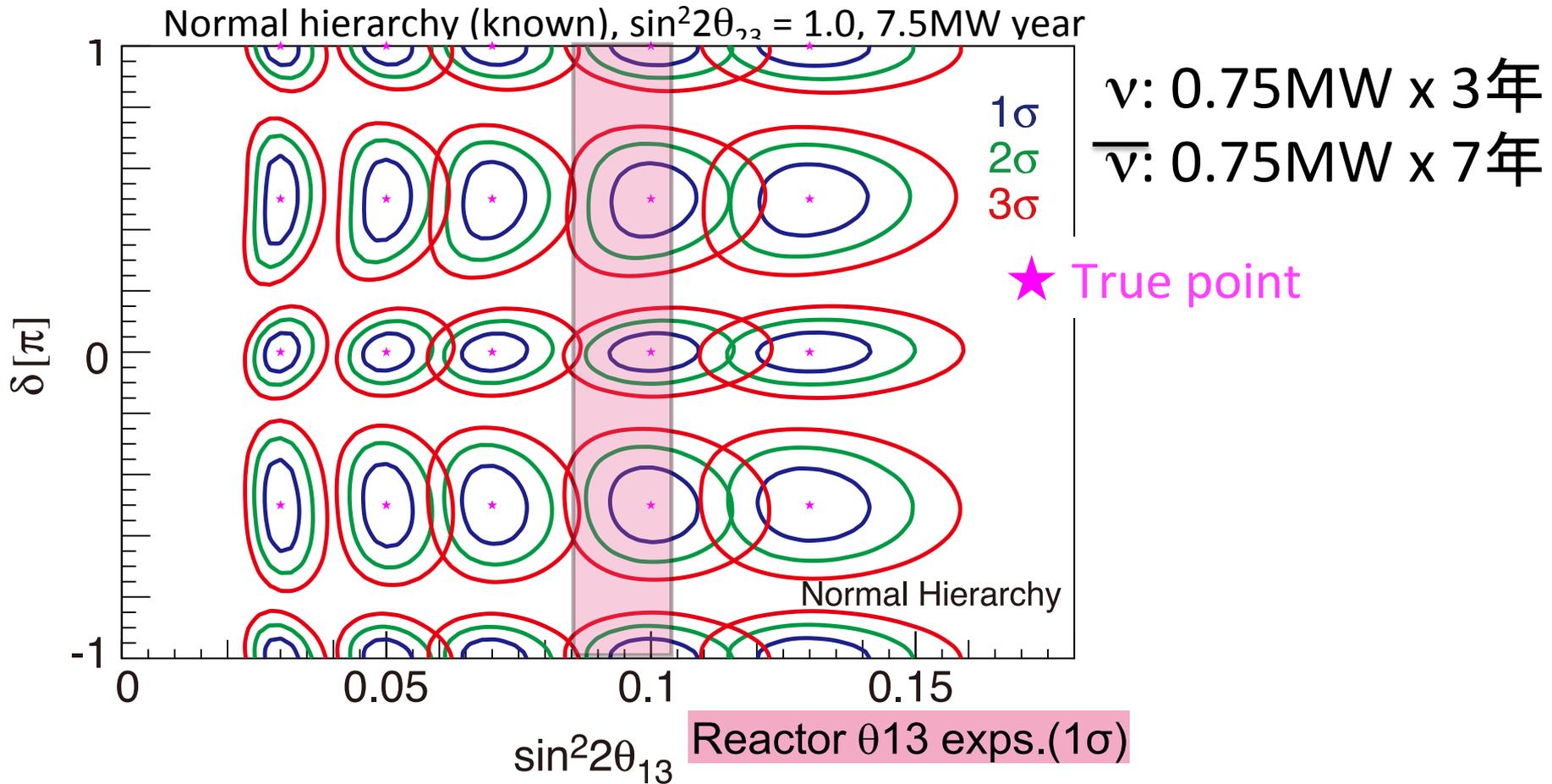
Hyper-K = 多目的検出器

- ニュートリノ振動でのCP非対称性の探索
 - 長基線加速器ニュートリノ振動実験
 - 大気ニュートリノ観測
- 核子崩壊の探索
 - 超新星バーストニュートリノ
 - 超新星背景ニュートリノ
 - 太陽ニュートリノ精密測定
 - WIMP, GRB, 太陽フレア...

素粒子物理／素粒子宇宙物理学の幅広いトピックをカバー

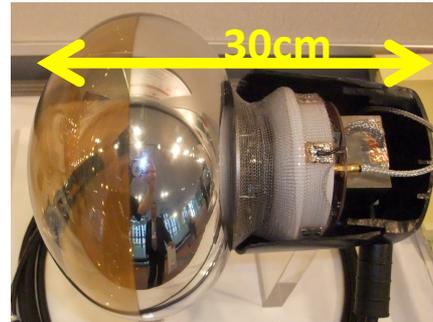
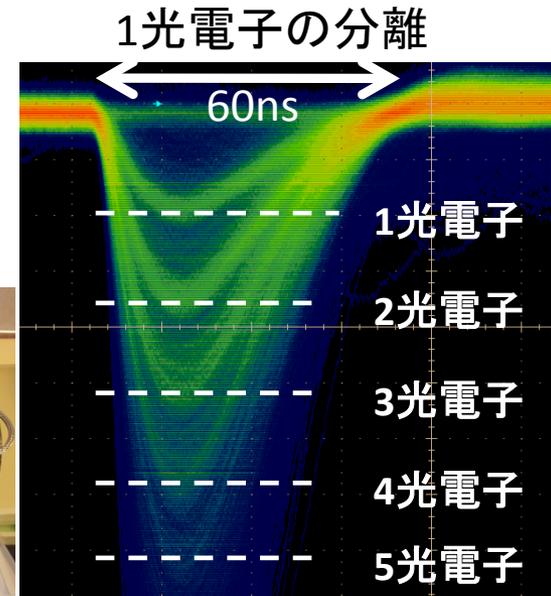
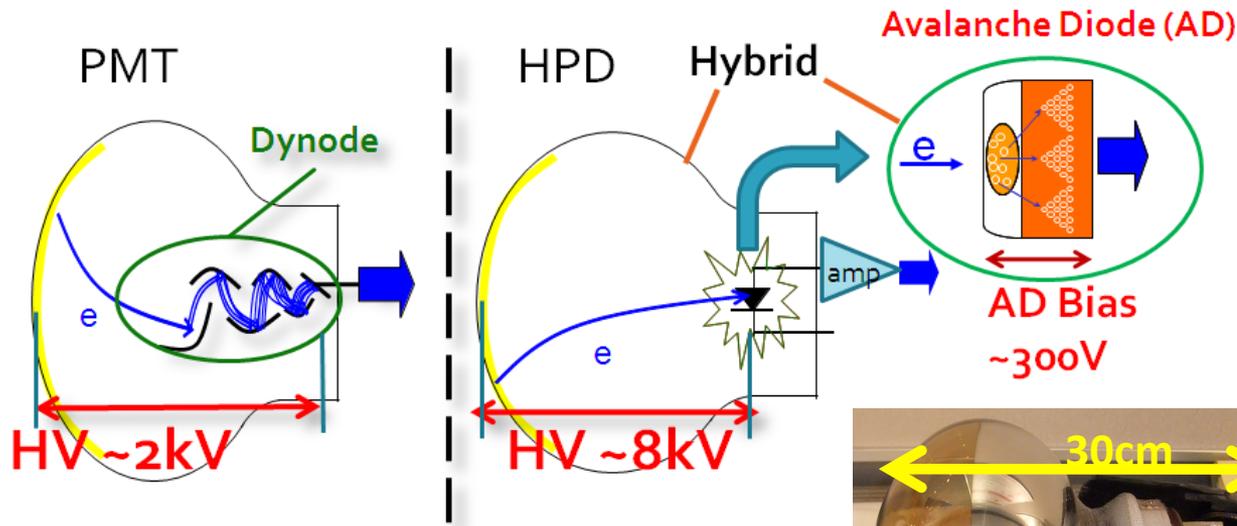
J-PARC/Hyper-K 予想感度

assuming 5% systematics on signal, ν_μ BG, ν_e BG, $\nu/\text{anti-}\nu$



Good sensitivity for CPV!

Hybrid Photo-Detectorの開発 (廣田、立石)



開発中の8-inch HPD (防水仕様)

PMTと比較して

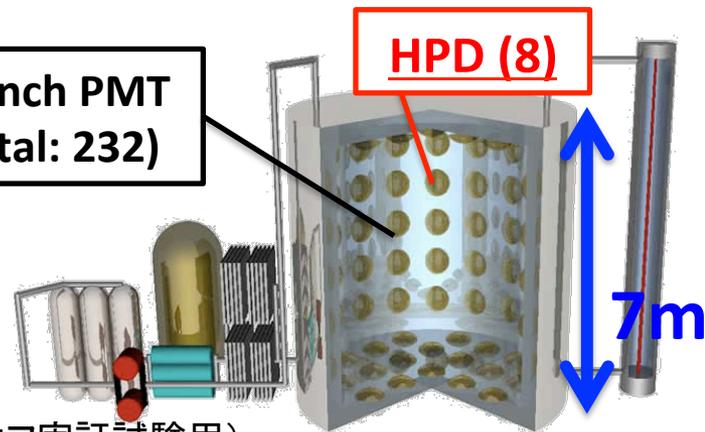
- 8kVという高電圧をかけるので
 - ✓1光電子の分解能が優れる
 - ✓時間分解能が優れる
- ダイノードではなくADを使うことで
 - ✓シンプルな構造となり量産しやすく安価になる

	8-inch HPD	SK 20-inch PMT
1光電子分解能	~12%	~60%
1光電子時間分解能	~0.86 ns	~2.2 ns
収集効率	97%(計算値)	80%

HPD開発の流れ

- 開発するのは8吋と20吋の2サイズ
- 8吋→20吋の順に開発
- 浜松ホトニクスと共同開発

20-inch PMT
(Total: 232)



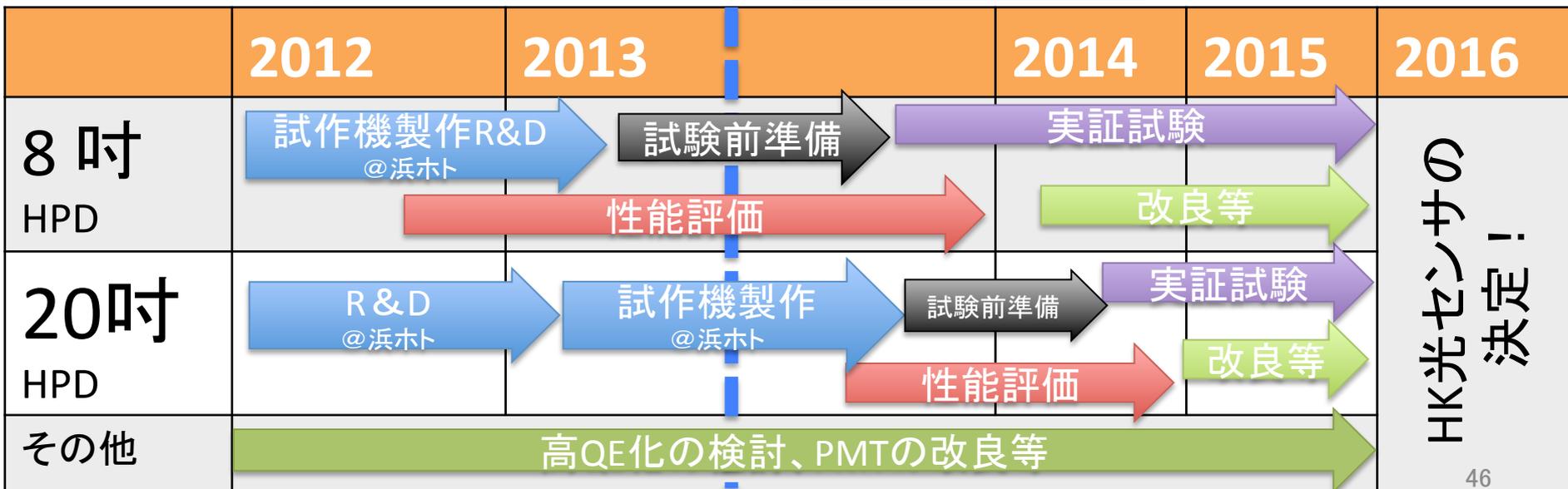
実証試験用タンク→
(200t Gd水チェレンコフ実証試験用)

試作機製作
@浜ホト

性能評価:1光子分解能、時間分解能、ゲイン、ダークレートetc...
@神岡、本郷、京都?

実証試験前準備:
浸水試験、耐久試験、キャリブレーション等@神岡

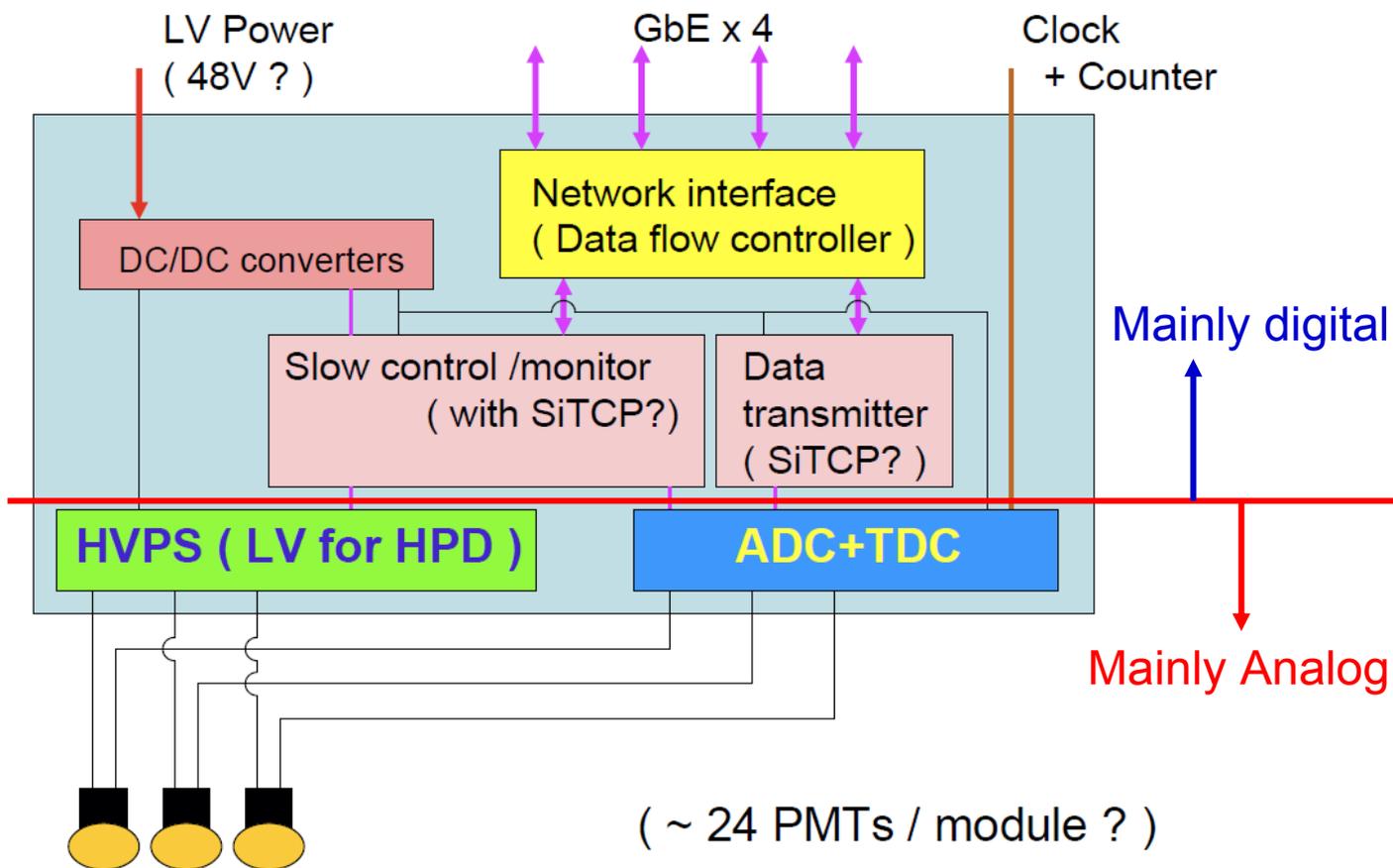
実証試験:水タンクに設置してHPDが水チェレンコフ検出器に使用できるか見る。@神岡

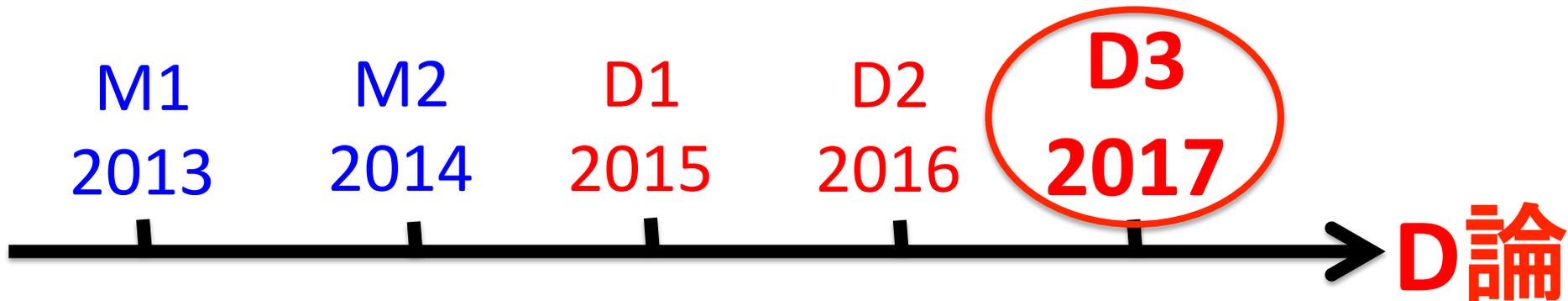


現在ここ!

Hyper-Kでvグループがこれからやること

- 読み出しエレキの開発 w/ ICRR & KEK Open-IT
 - Hyper-Kプロトタイプ検出器に向けて、3年以内に準備する。
 - アナログ部分を優先。余裕があればデジタル部分も。





T2K/Hyper-K (ハードウェア)

- 新型検出器の開発
- 加速器の強度向上
- 読み出しエレキ開発

+

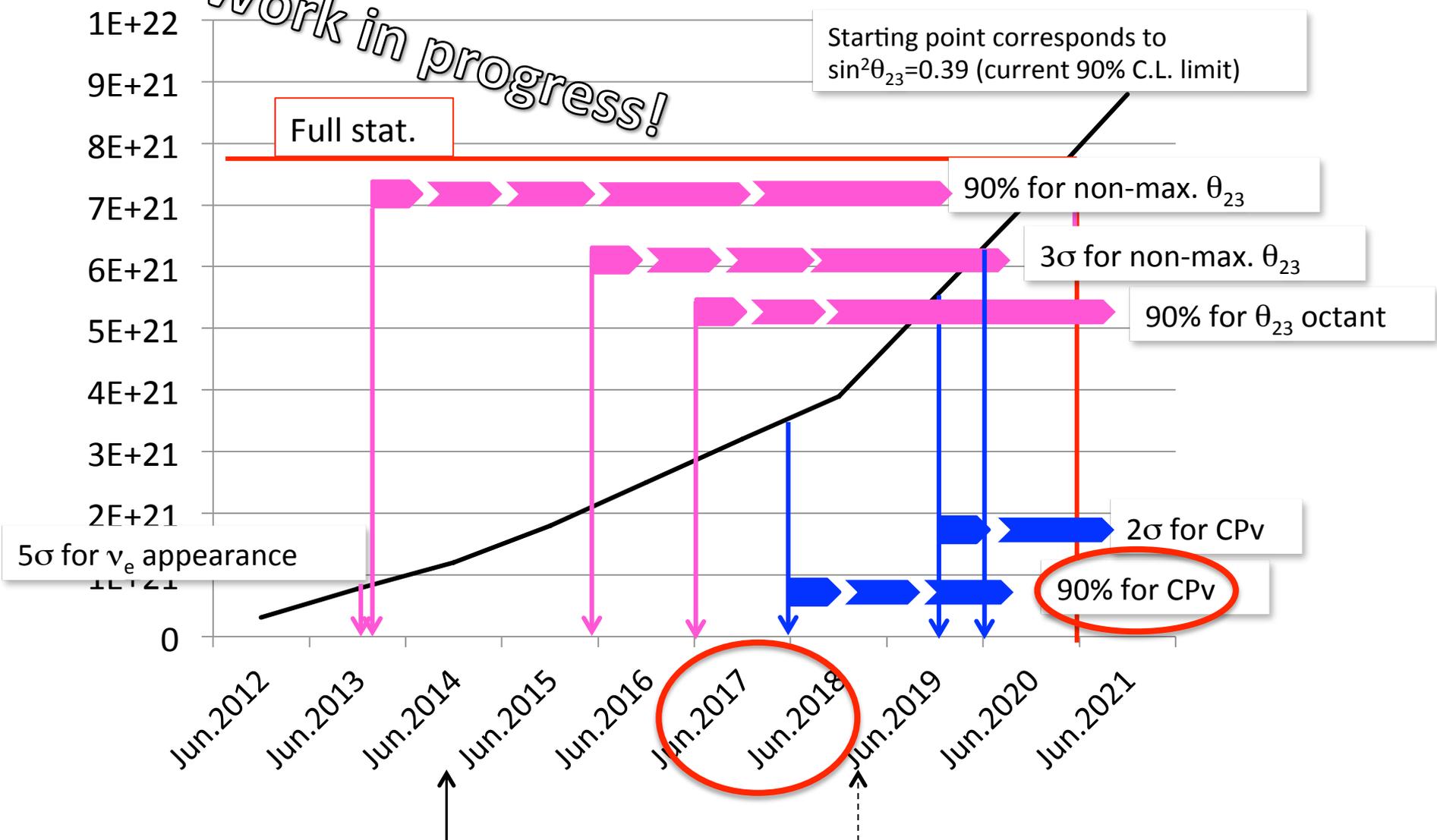
T2K/Super-K (物理解析)

- T2K CP位相 δ
- 大気 ν (質量階層性)
- ν 反応断面積測定
- など

Guesstimate on accumulated protons on target and T2K milestones for coming years

No sys. err

Work in progress!



LINAC Energy upgrade 400MeV

MR rep. rate upgrade 1.28 sec cycle

Guesstimate on accumulated protons on target and T2K milestones for coming years

No sys. err



D論の時に大発見があるかも

