

東海to神岡長基線ニュートリノ実験 T2K実験



関口 哲郎 (KEK素核研)

on behalf of T2K Collaboration

2016年12月9日

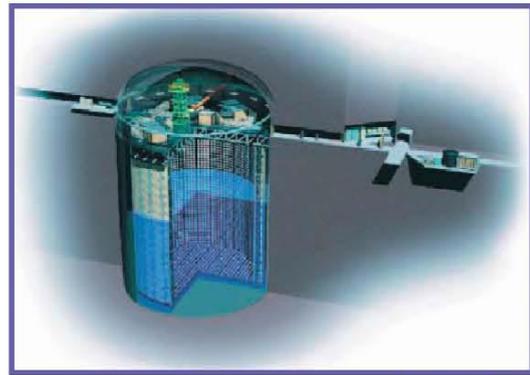
平成28年度東京大学宇宙線研究所共同利用研究成果発表会

本トークの内容

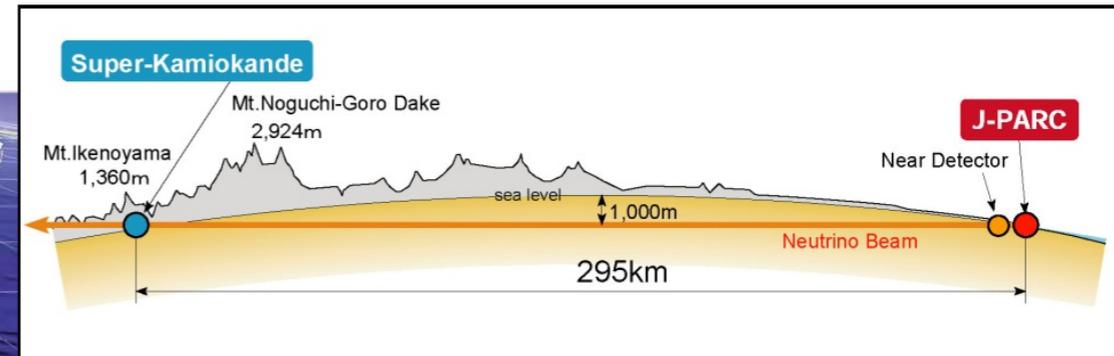


- ・ T2K実験の概要
- ・ 2016年の実験状況
- ・ T2K実験の最新結果
- ・ T2K実験の今後
- ・ まとめ

T2K実験



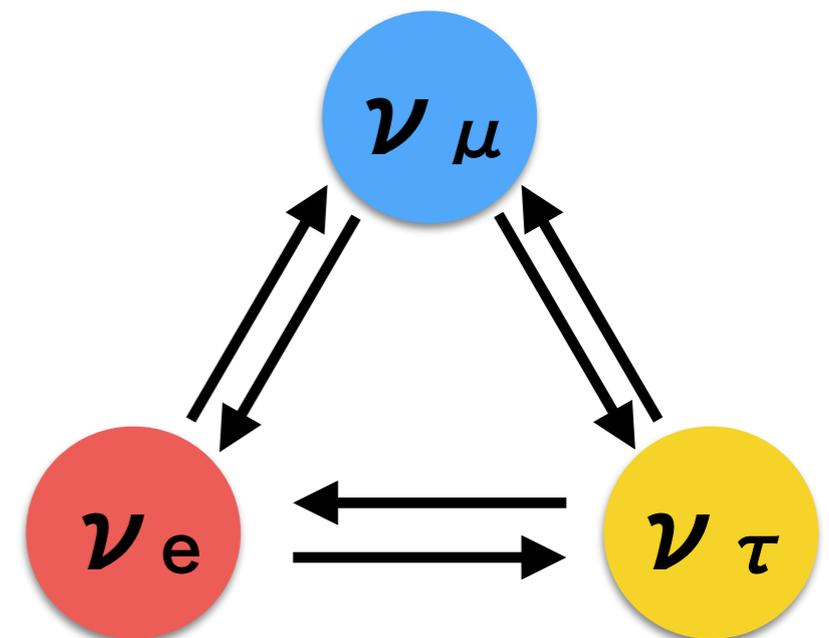
Super-Kamiokande
(ICRR, Univ. Tokyo)



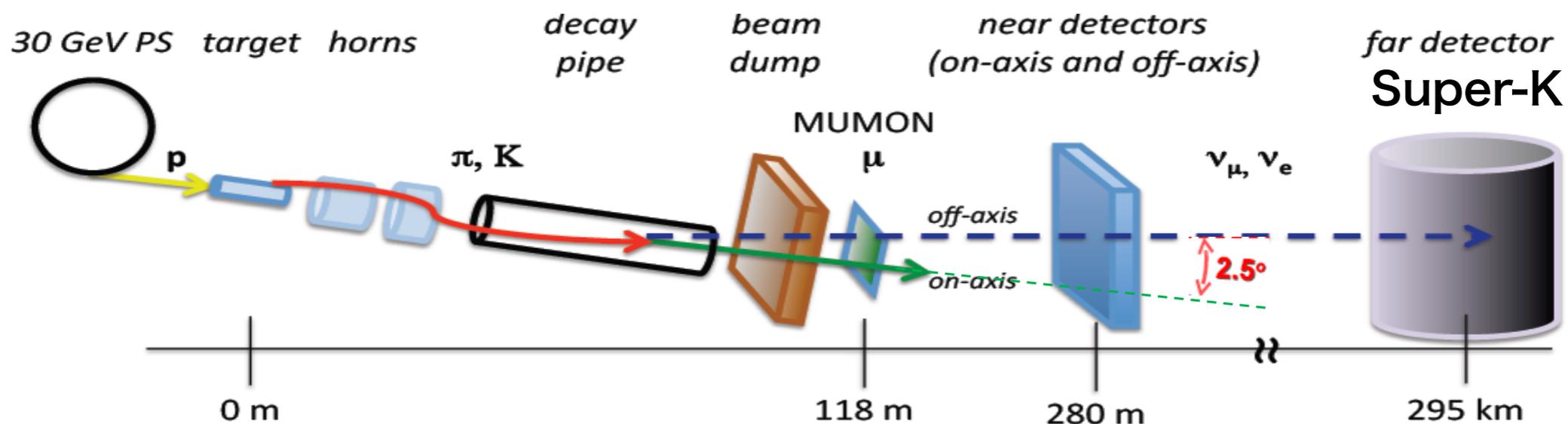
J-PARC Main Ring
(KEK-JAEA, Tokai)



- J-PARCでニュートリノ生成→神岡で観測
- ニュートリノ振動の精密測定
 - 電子ニュートリノ出現の発見
 - ミューニュートリノ消失の精密測定
 - CP対称性の破れの発見を目指す



ニュートリノビーム

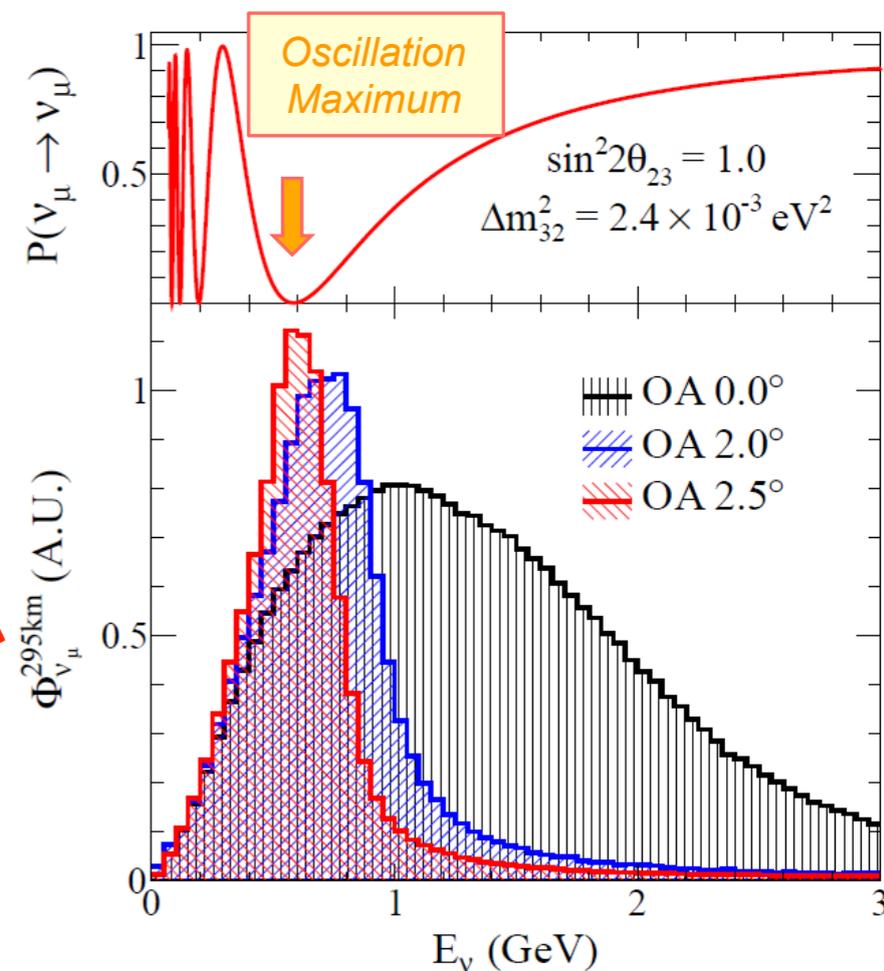


大強度νビーム: 750kW

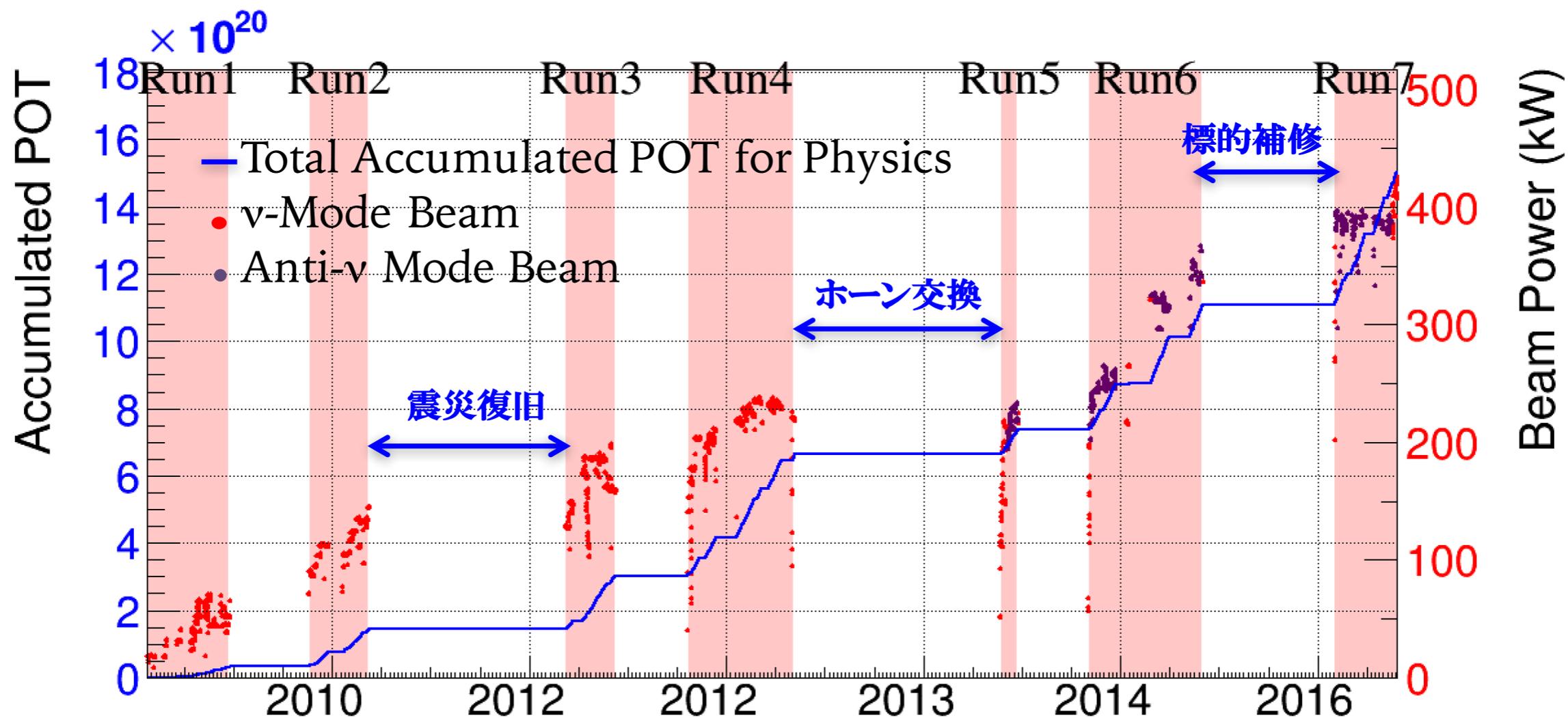
- 30GeV, 3.3×10^{14} protons/pulse
- 高純度(~99%)の ν_μ ビーム

Off-Axis νビーム

- OA角=2.5° → 0.6 GeVのNarrow bandビーム
- 神岡(L=295km)で振動確率最大@0.6GeV
- 高エネルギー(>1 GeV)の背景事象を低減

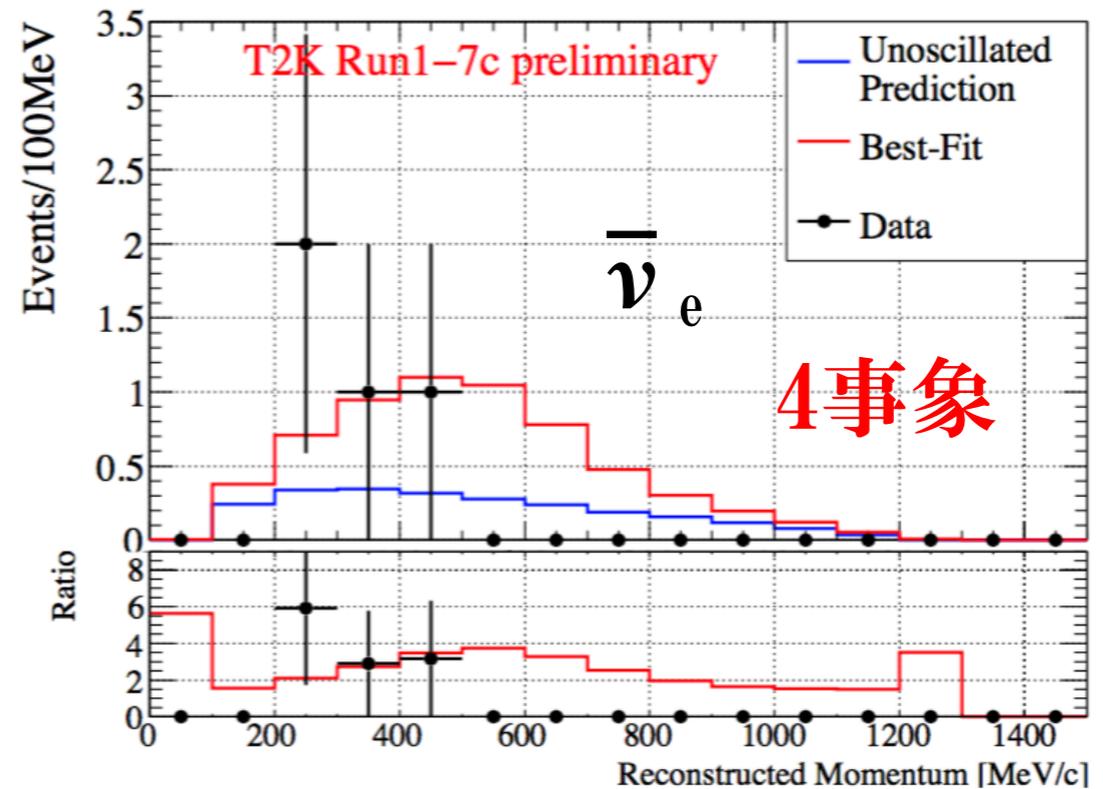
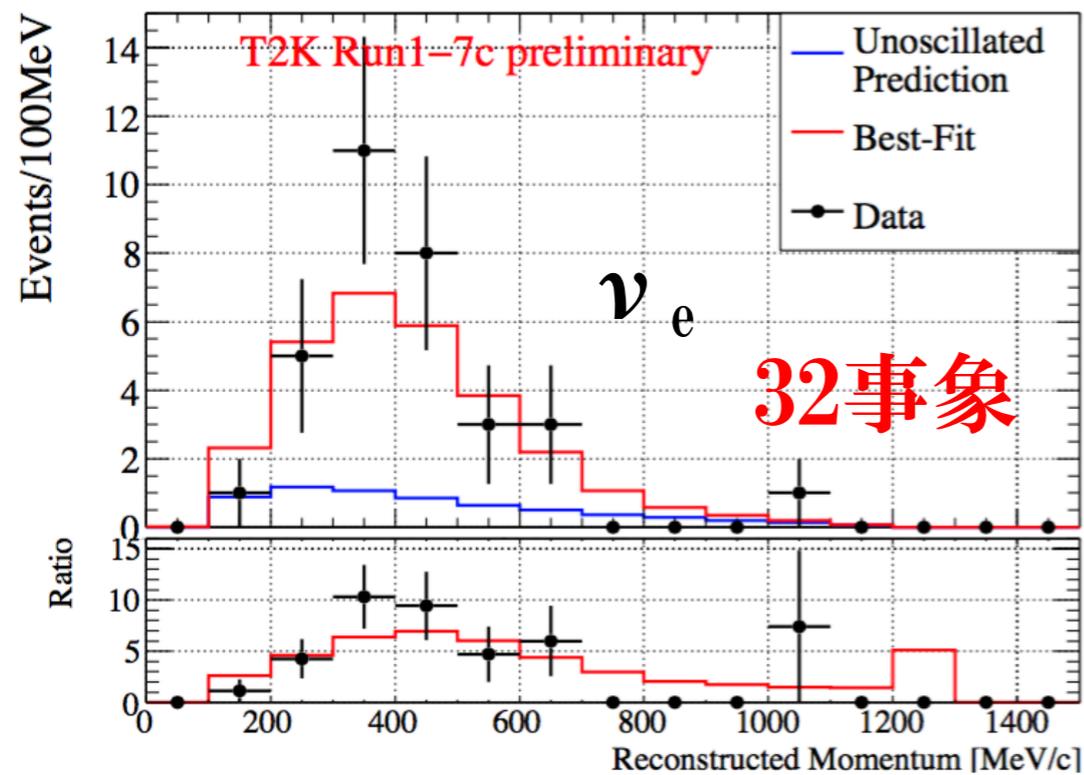
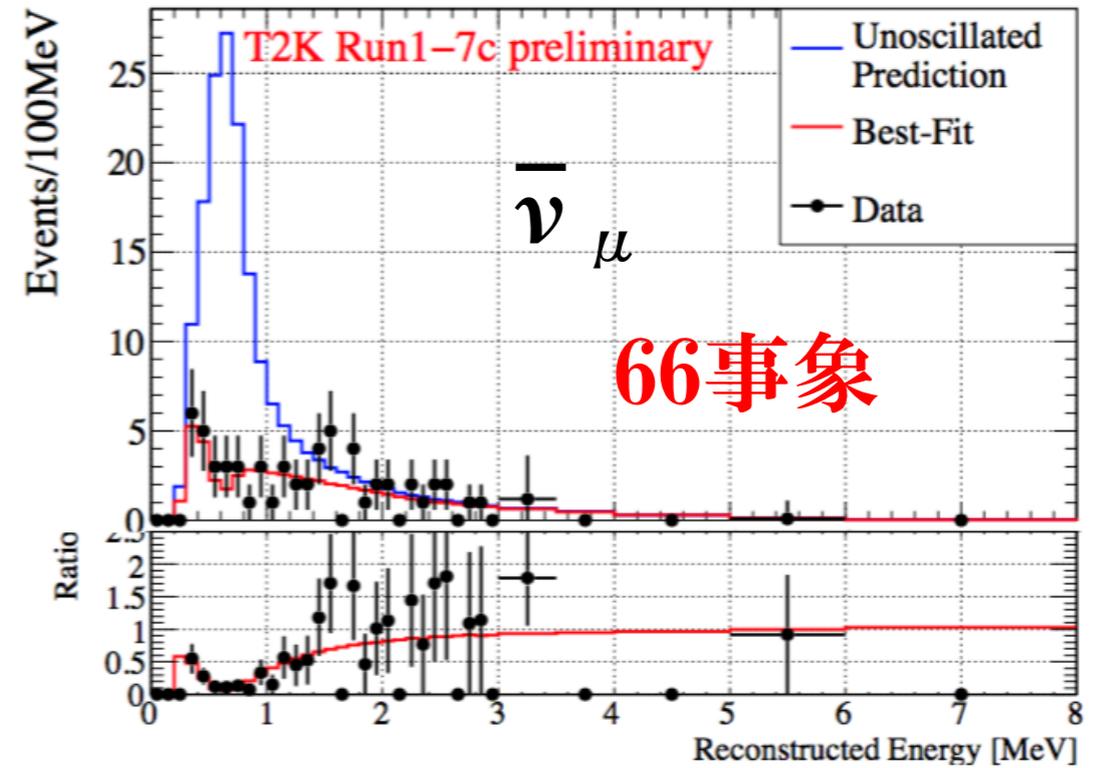
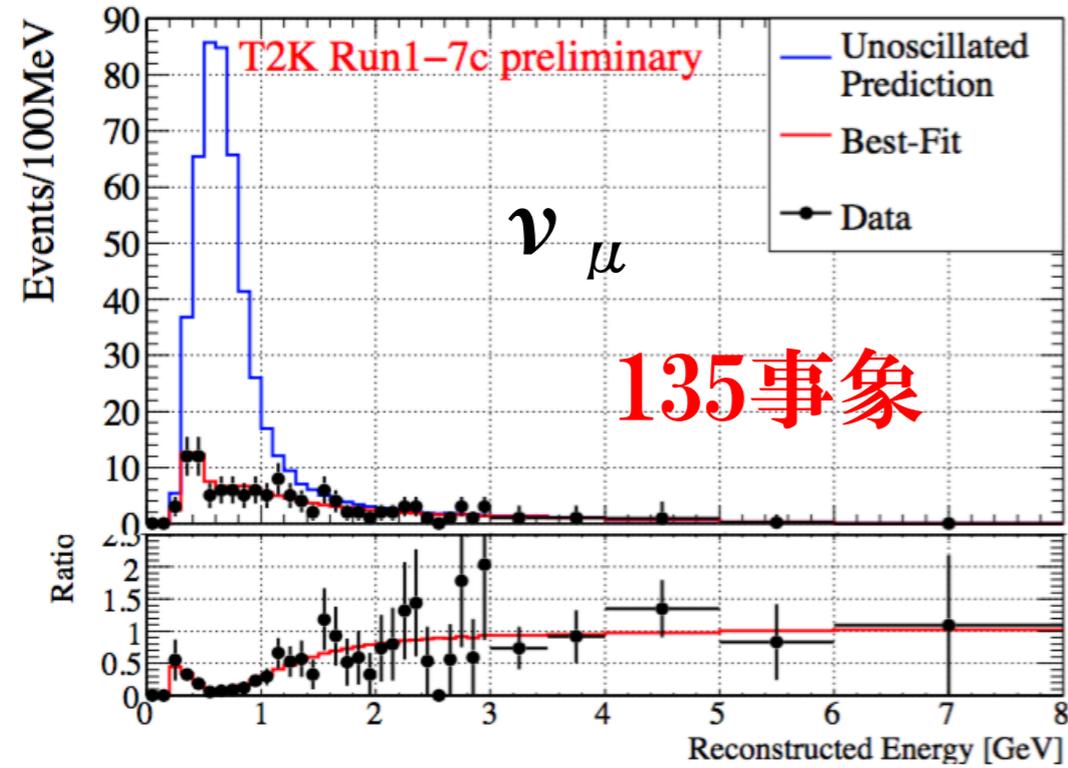


2016年の実験状況



- 夏までの運転(~Run7) → 425kW安定ビームを達成
 - 1.51 $\times 10^{21}$ POT (ν : 7.57 $\times 10^{20}$, 反 ν : 7.53 $\times 10^{20}$) → 今回の結果発表
- 秋からの運転(Run8) → 430kW安定ビーム運転を継続中!
 - ニュートリノモードで運転中

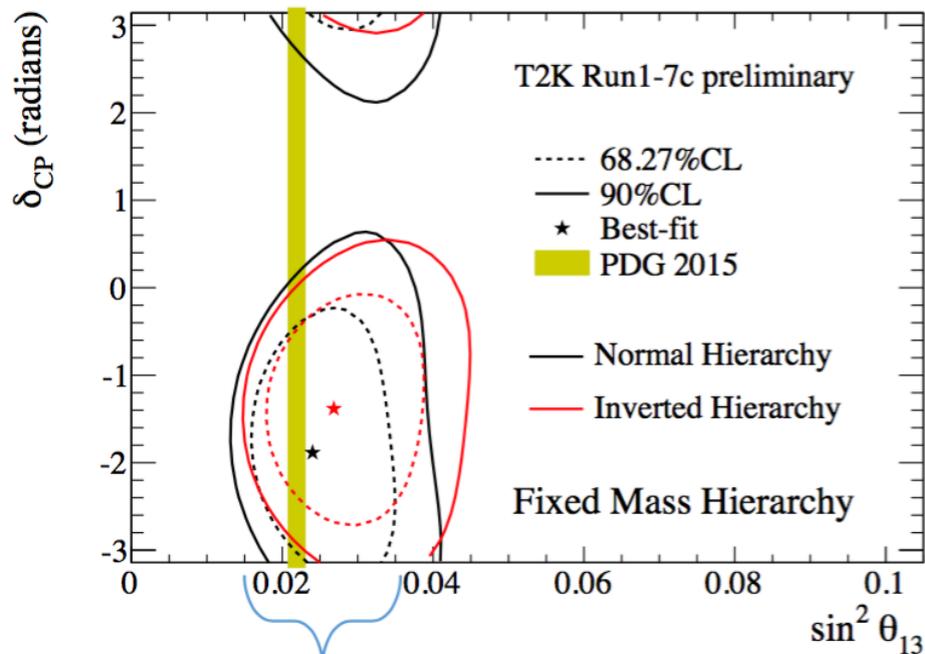
2016年夏までのデータの解析結果



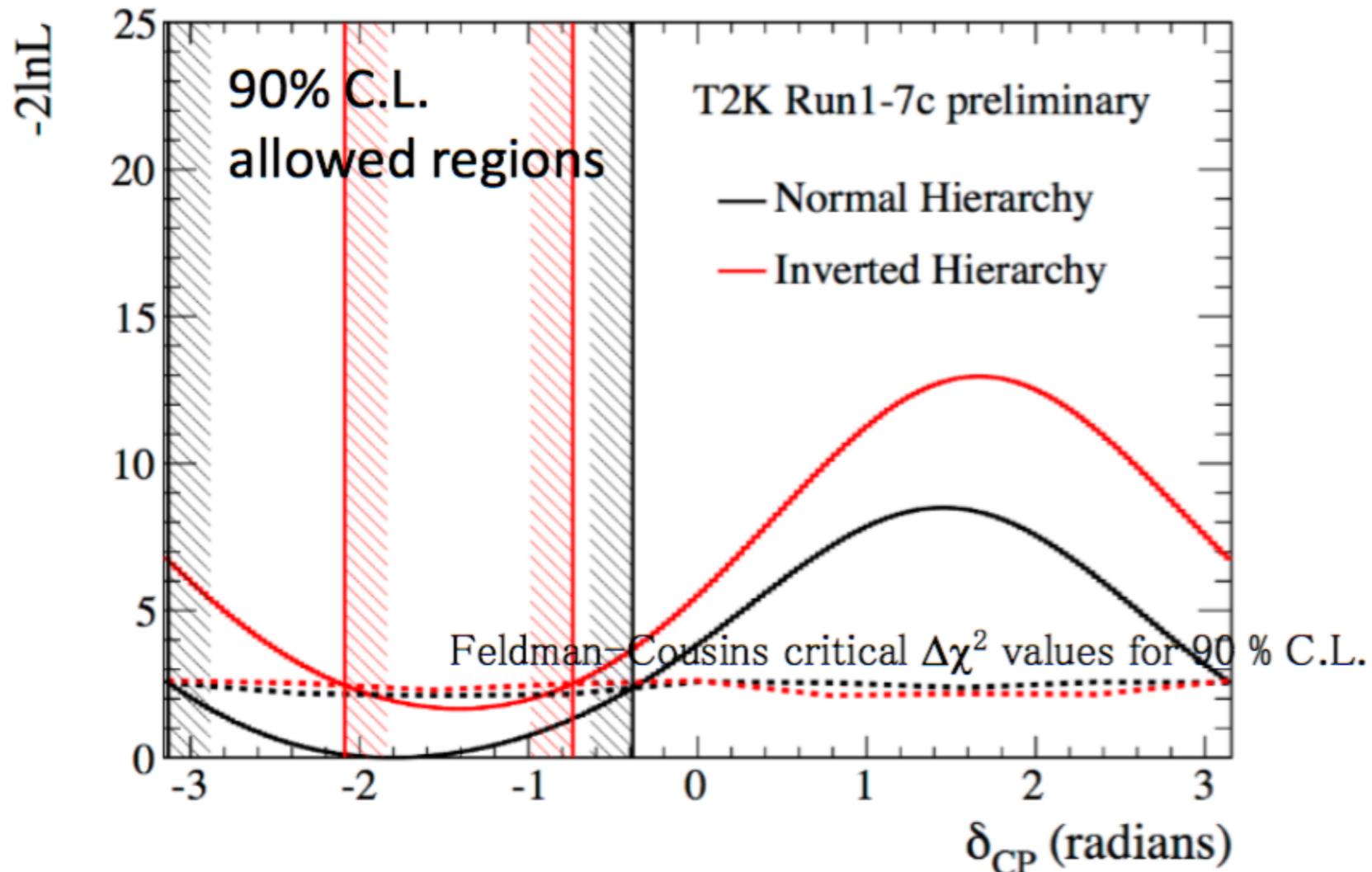
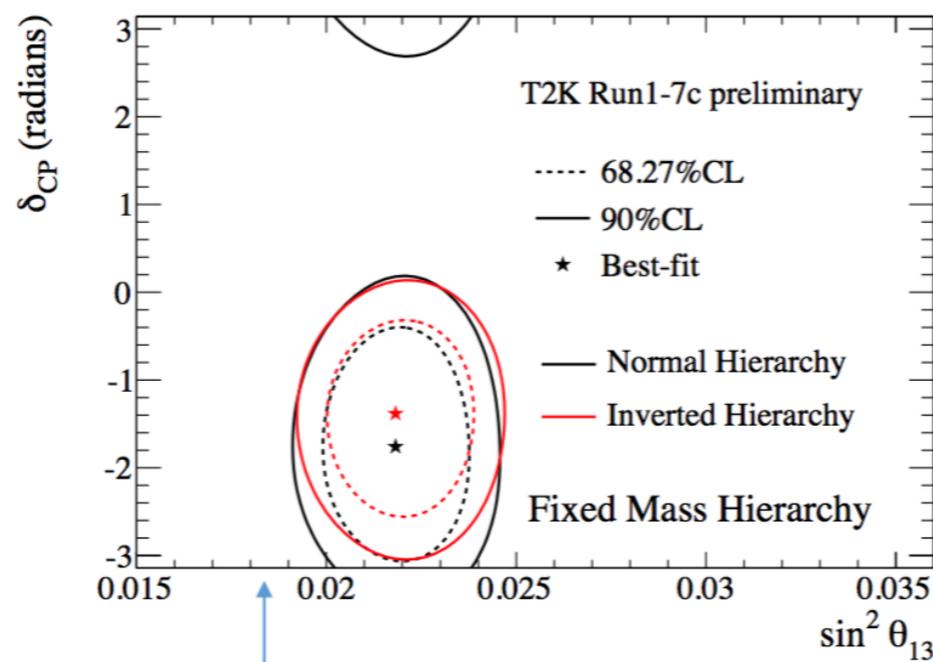
δ_{CP} への制限

T2K-Only

Frequentist method (Feldman-Cousins)



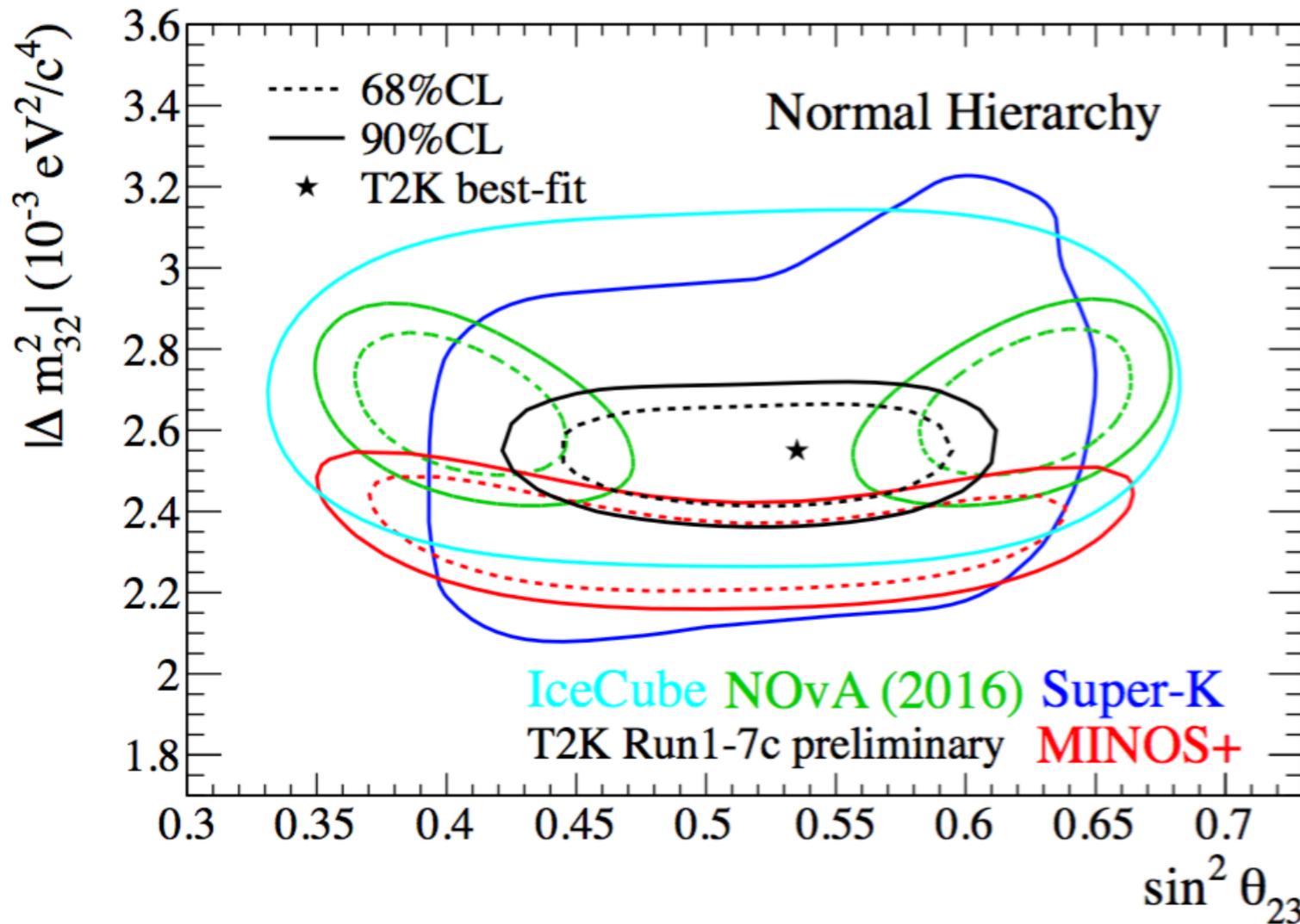
T2K Result with Reactor Constraint
($\sin^2 2\theta_{13} = 0.085 \pm 0.005$)



$\delta_{CP} = [-3.13, -0.39]$ (NH), $[-2.09, -0.74]$ (IH) @ 90%CL

CP保存 ($\delta = 0, \pm\pi$) を90%CLで排除

θ_{23} および Δm_{32}^2 の精密測定



θ_{23} を世界最高精度で測定

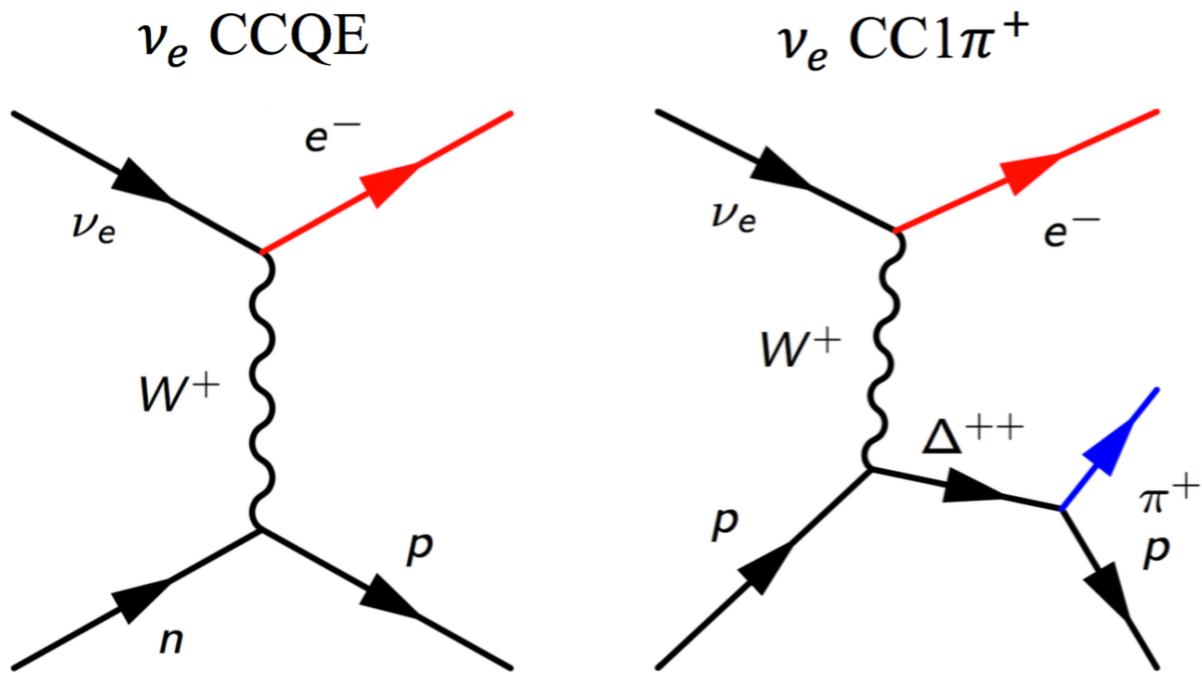
Daya Bay:
 $|\Delta m_{ee}^2| = (2.45 \pm 0.08) \times 10^{-3} eV^2$
 90% CL (NH)

Bayesian methodによるOctant・質量階層に対する事後確率

	順階層	逆階層	合計
$\theta_{23} < 45^\circ$	29 %	10 %	39 %
$\theta_{23} > 45^\circ$	46 %	14 %	61 %
合計	75 %	25 %	100 %

順階層・ $\theta_{23} > 45^\circ$
 をややfavor

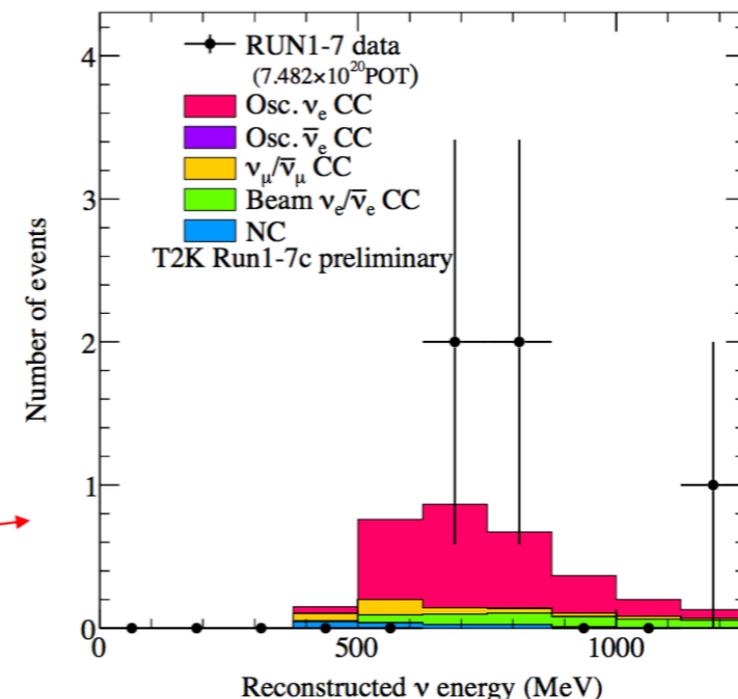
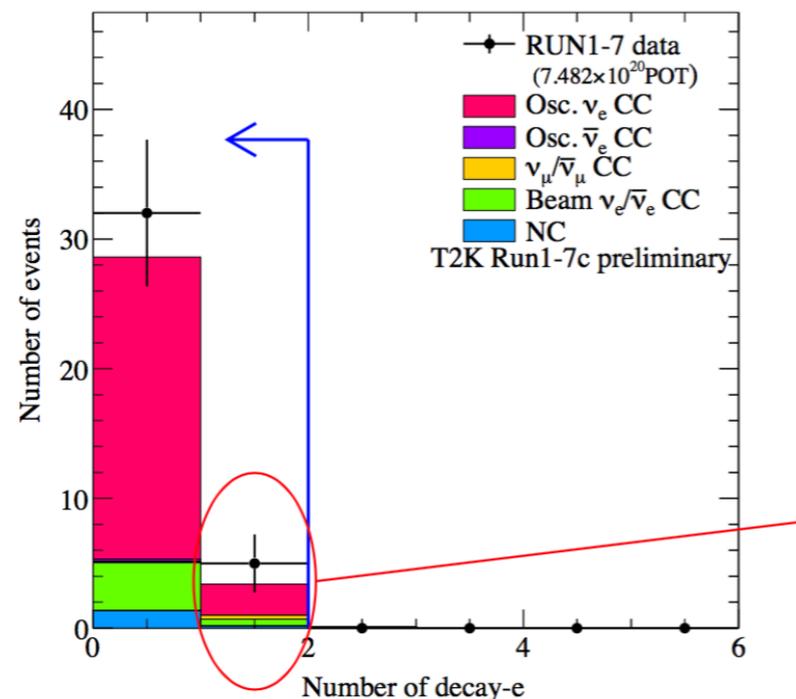
新しい解析サンプルの導入



- CCQE : 崩壊電子なし
- CC1 π^+ : $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ の崩壊電子あり
- 1個の崩壊電子でCC1 π^+ をタグ
- 約11%の信号事象数増加
- Run7までの ν -modeデータで5事象を観測
- ニュートリノ振動解析を進行中

δ	CC1 π^+ 事象数
$-\pi/2$	3.1
0	2.8
$+\pi/2$	2.3
π	2.7
観測数	5

※順階層の場合



今後の予定



Short-term plan

- 2017年夏までに 9×10^{20} POTのデータ取得を目指す

“T2K phase2”

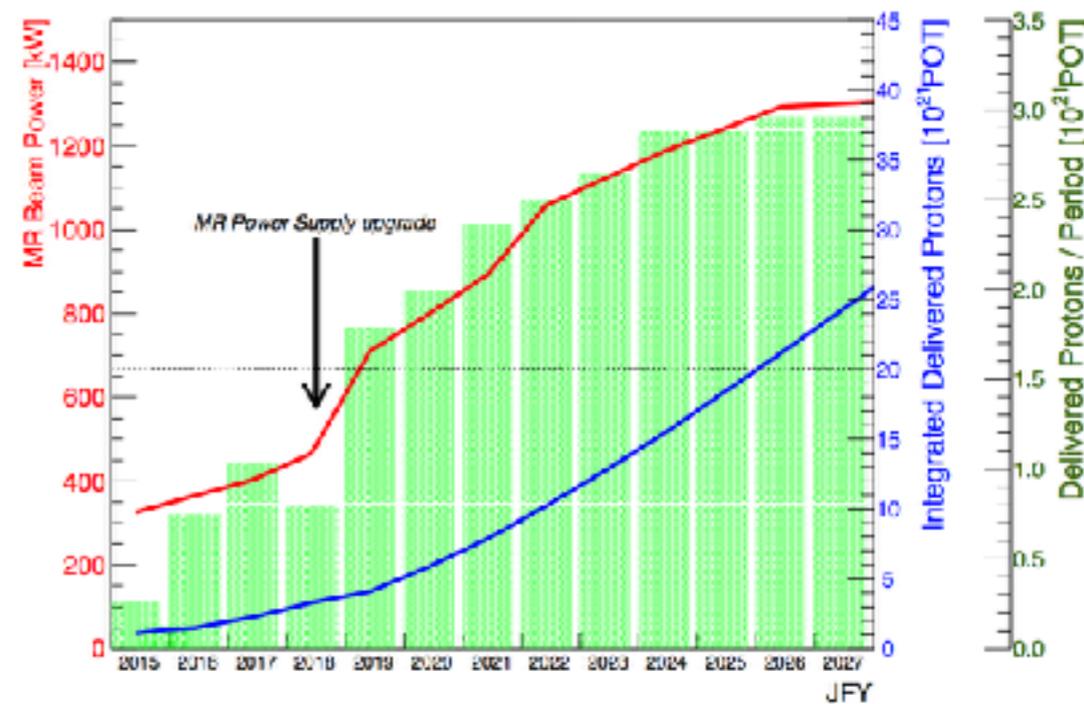
- 2026年までに 2×10^{22} POT $\rightarrow 3\sigma$ でCP対称性の破れの観測を目指す

- 1.3 MWへの加速器&ビームライン増強
- 実験側で50%の統計増加

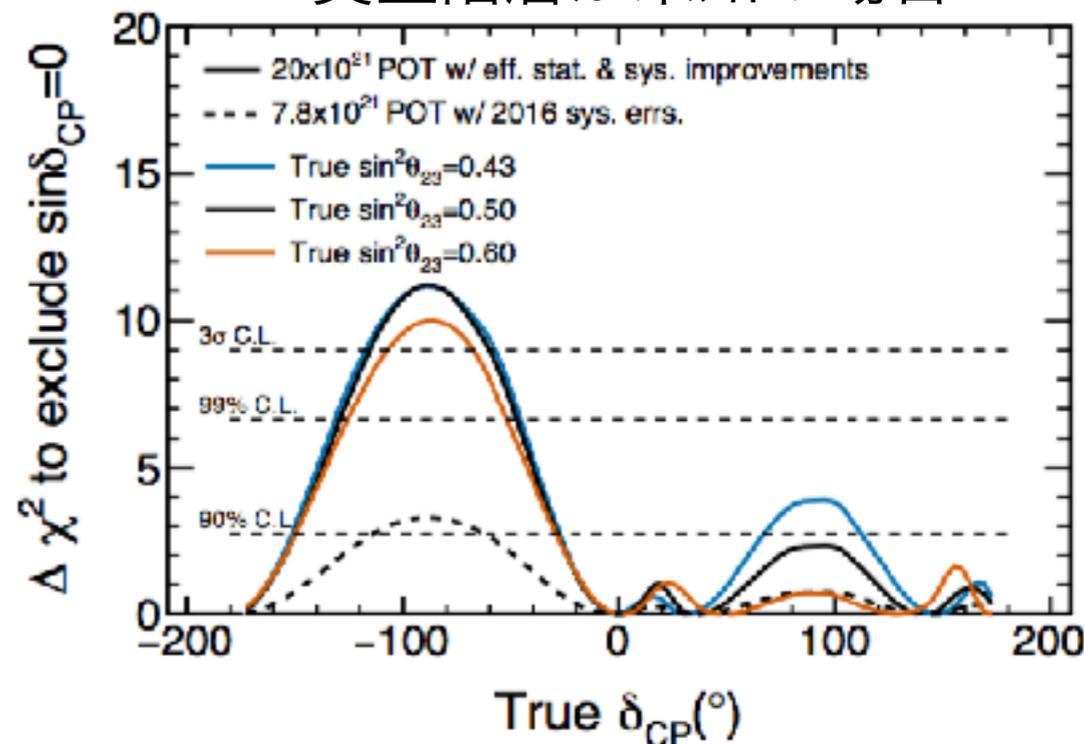
- ProposalをJ-PARC PACに提出

- arXiv:160904111

- “Stage-1 status”が認められた



質量階層が未知の場合



まとめ



これまで

- ・ T2K実験は、2016年1~5月のランで、 4×10^{20} POTのデータを収集し、**反ニュートリノデータがほぼ倍増した。**
- ・ **反電子ニュートリノ出現事象は、3→4事象になった。**
- ・ CP位相角に対するさらなる制限→**CP保存を90%の信頼度で排除。**

現状

- ・ **430kWビーム**(ニュートリノビーム)で安定運転を継続中
- ・ 2016年秋~2017年夏のランで、 9×10^{20} POTのデータ収集を目指す

今後

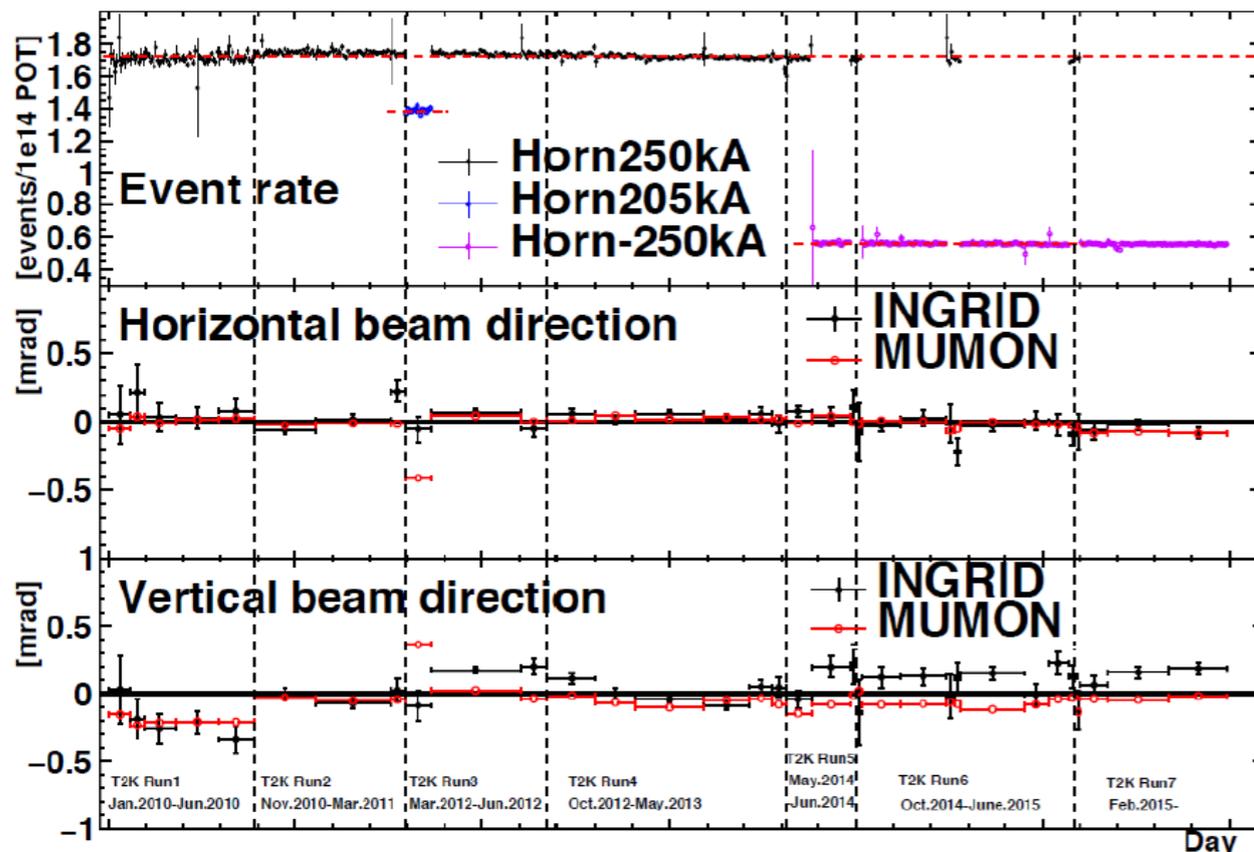
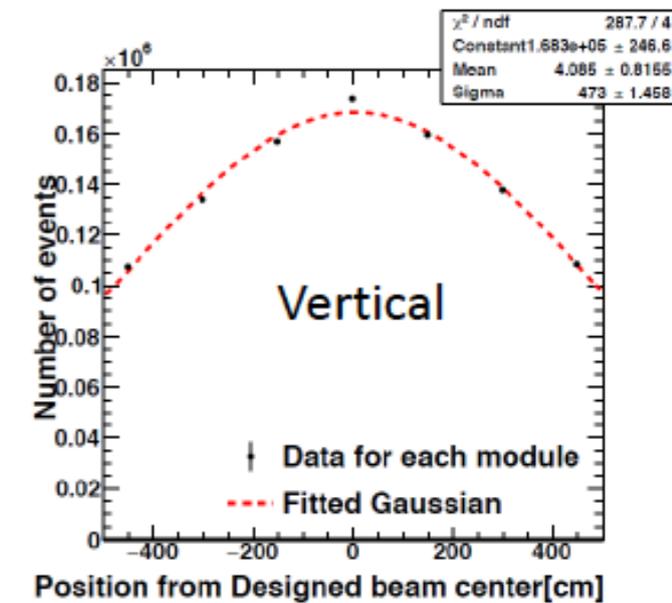
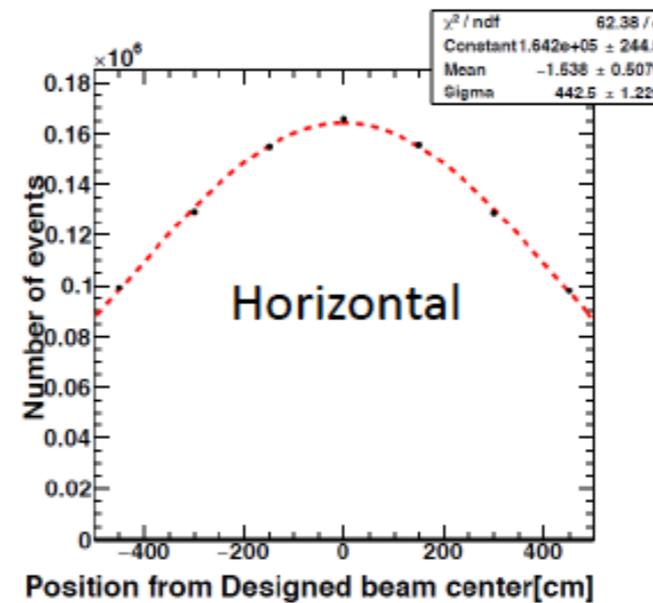
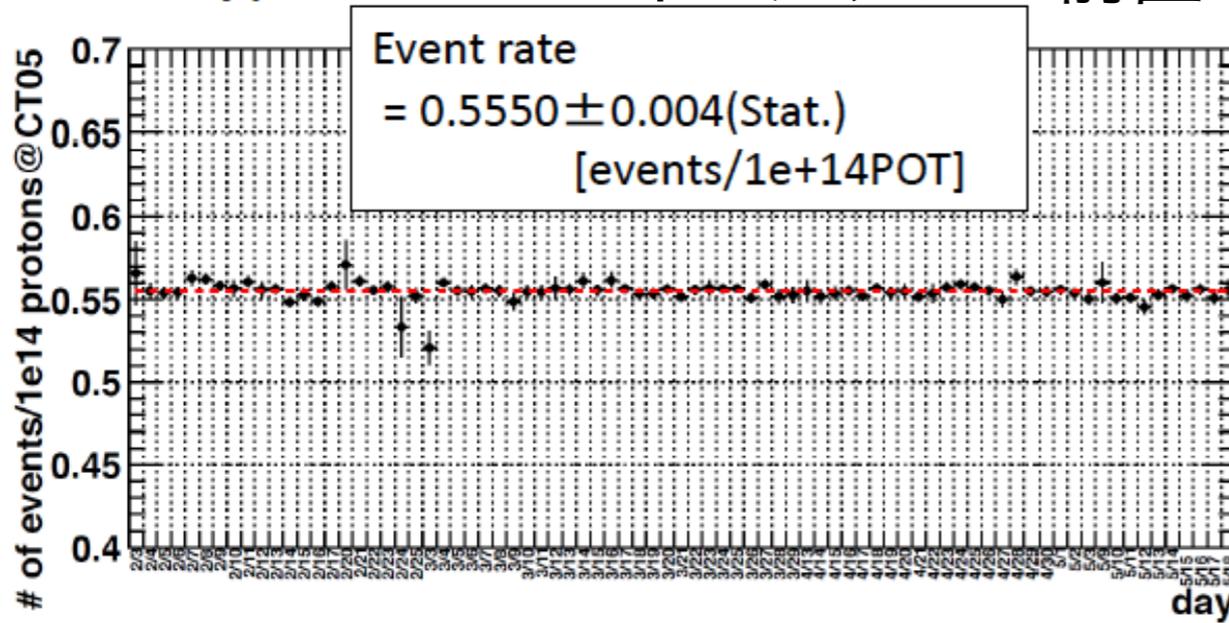
- ・ T2K phase2のプロポーザルをPACに提出 → “Stage-1 status”
 - ・ **1.3MWへの増強 → 2×10^{22} POTを目指す。**
 - ・ **3 σ 以上の実験感度で、CP対称性の破れの観測を目指す。**

νビームクオリティ



- νビームの強度、方向ともに非常に安定であった。

オン軸シス前置ニュートリノモニター



- Beam position: stable within 1 mrad.
- ✓ Horizontal $-0.054 \pm 0.018(\text{stat.})$ [mrad]
- ✓ Vertical $0.147 \pm 0.029(\text{stat.})$ [mrad]

観測された事象

	順階層 (逆階層)			
	ニュートリノデータ		反ニュートリノデータ	
	μ 事象	e事象	μ 事象	e事象
$\delta = -\pi/2$	135.8 (135.1)	28.7 (25.4)	64.2 (63.8)	6.0 (6.5)
$\delta = 0$	135.5 (135.3)	24.2 (21.3)	64.1 (64.0)	6.9 (7.4)
$\delta = +\pi/2$	135.7 (135.0)	19.6 (17.1)	64.2 (63.8)	7.7 (8.4)
$\delta = \pi$	136.0 (134.8)	24.1 (21.3)	64.4 (63.7)	6.8 (7.4)
観測数	135	32	66	4

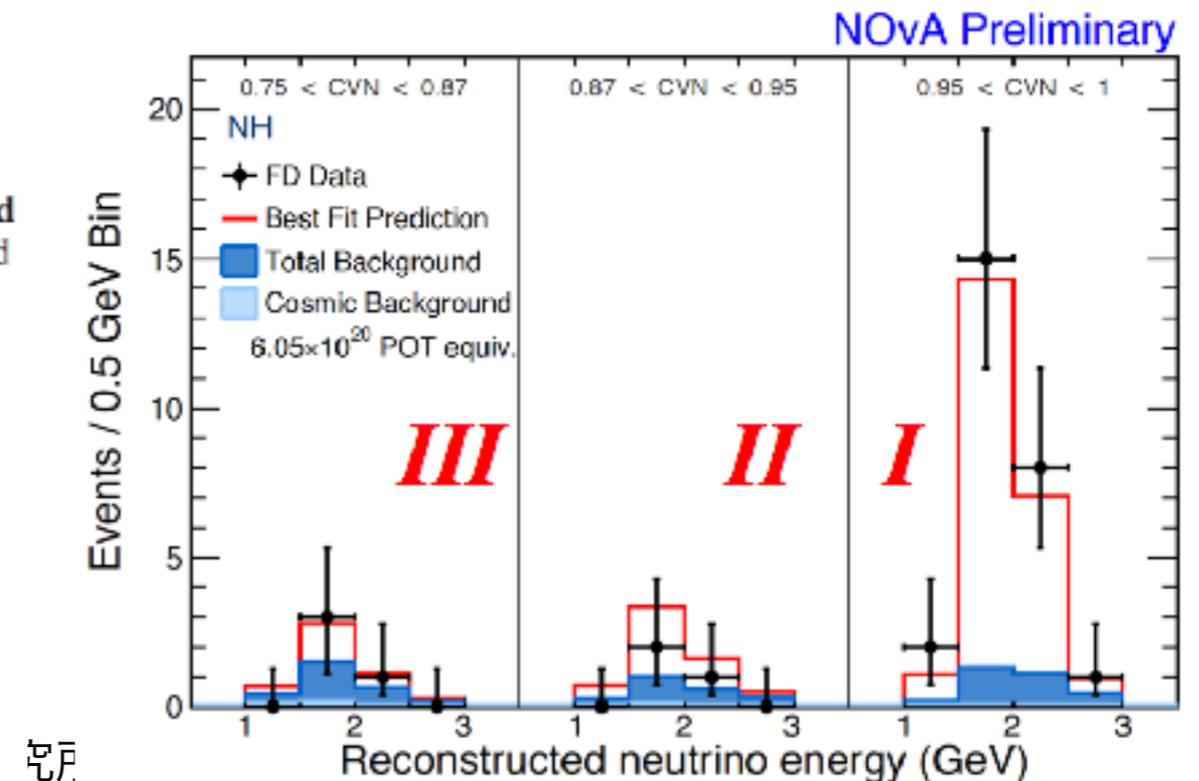
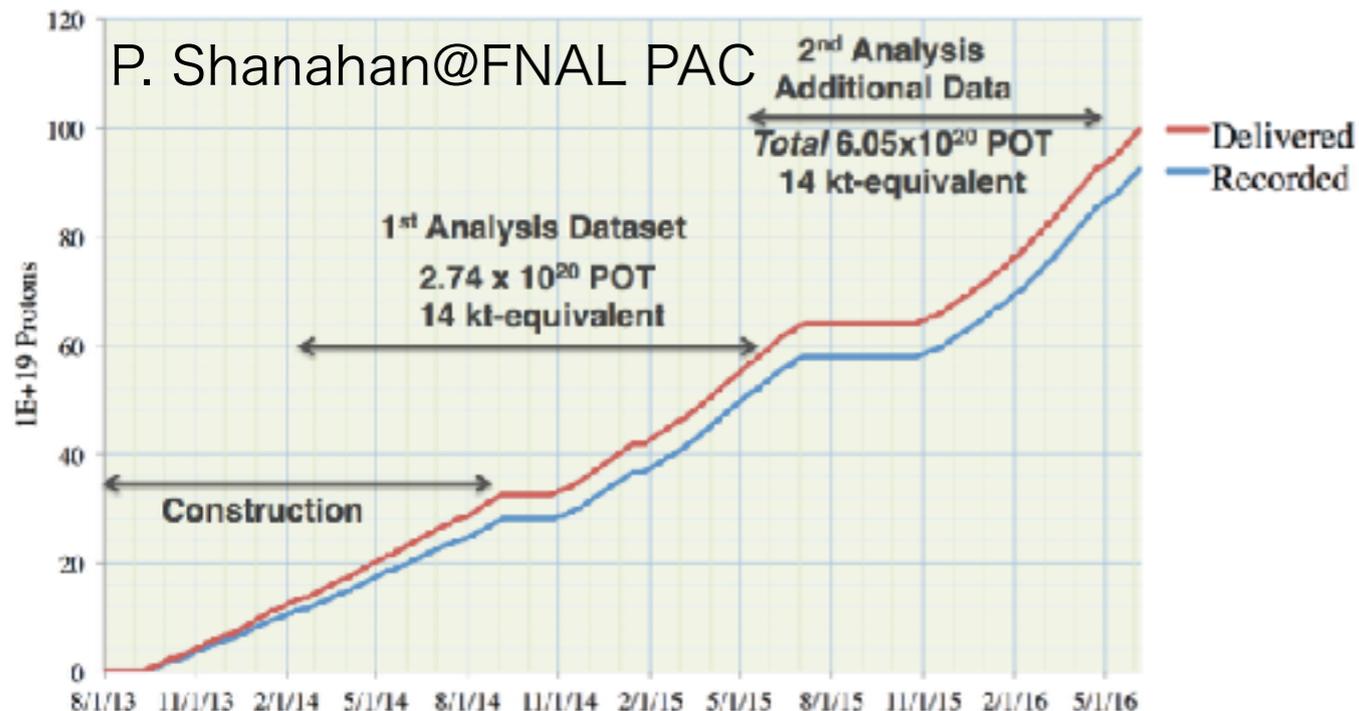
- ・ 予想される ν_e , $\bar{\nu}_e$ 事象数は、位相角 δ_{CP} , 質量階層に依存
 - ・ $\delta_{CP} = -\pi/2$ ($+\pi/2$) の場合、 ν_e が大 (小)、 $\bar{\nu}_e$ が小 (大)
 - ・ 順 (逆) 階層の場合、 ν_e が大 (小)、 $\bar{\nu}_e$ が小 (大)
 - ・ 観測された事象数
 - ・ ν_e 事象は、どの予想よりも大きい。
 - ・ $\bar{\nu}_e$ 事象は、どの予想よりも小さい。
-  $\delta = -\pi/2$ ・ 順階層を示唆？

NO ν Aの状況



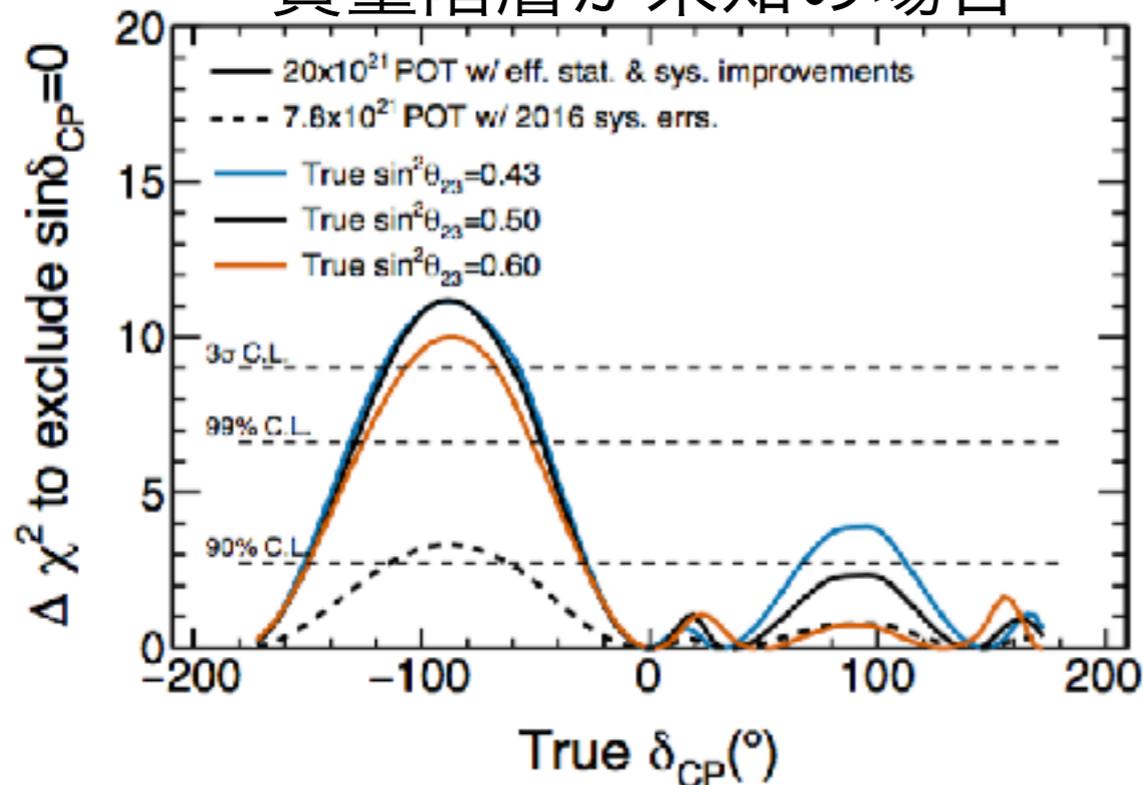
- FNAL MI: 700kW demonstration (1時間@600kW)
- Neutrino 2016で結果をアップデートして来る。
 - 2015夏からデータ倍増: 2.74×10^{20} POT \rightarrow 6.05×10^{20} POT
 - 解析の向上 (ν_e 解析のefficiencyを40%向上、など)
 - 33事象を観測(背景事象は 8.2 ± 0.8) \rightarrow $> 8\sigma$
- FY2017は、反ニュートリノでのランを予定。 \rightarrow T2Kを猛追

Far Detector exposure

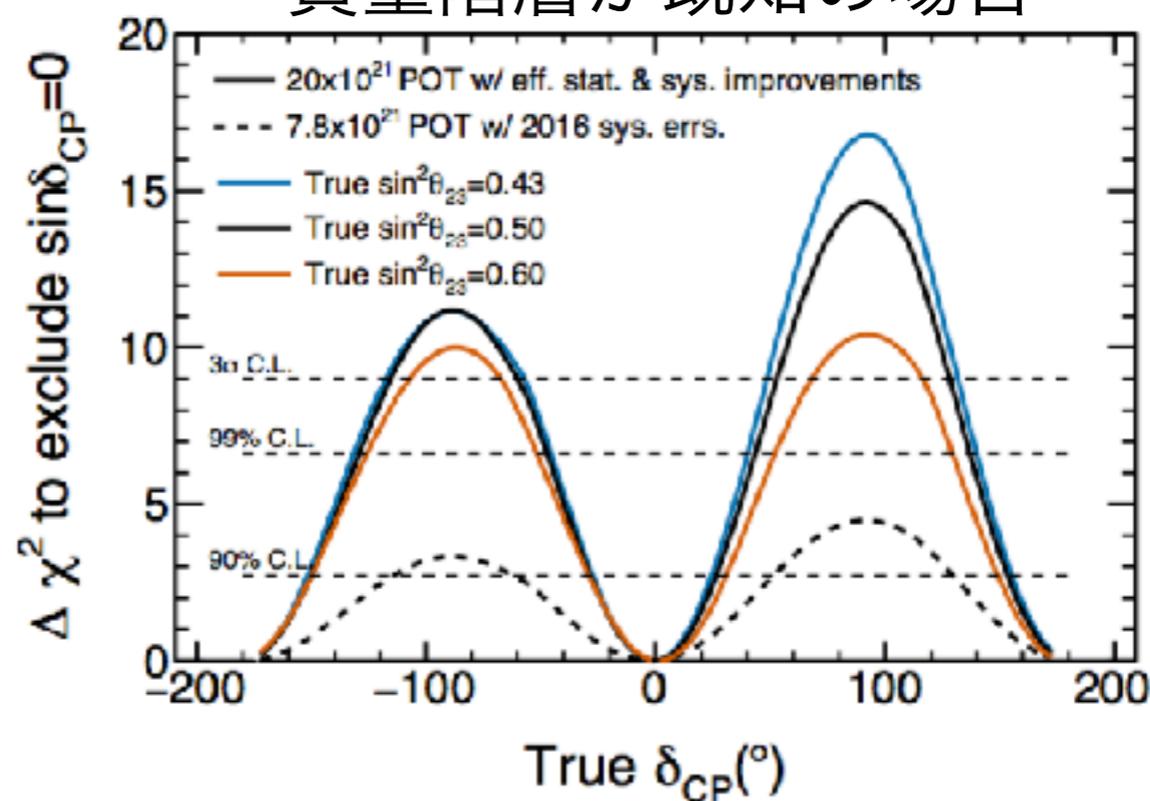


予想される実験感度

質量階層が未知の場合



質量階層が既知の場合



- $\delta = -\pi/2$ の場合、 3σ 以上で CP 対称性の破れを観測!!
- θ_{23} , m_{32}^2 の測定精度も大幅に向上

