



東海to神岡長基線ニュートリノ実験 T2K

岩本 康之介 (東京大学)
on behalf of the T2K Collaboration

2018年12月21日

平成30年度東京大学宇宙線研究所共同利用研究成果発表会

T2K実験

Super-Kamiokande

Near Detectors

J-PARC

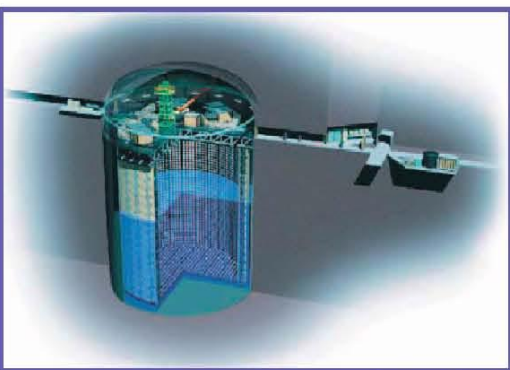
Mt. Noguchi-Goro
2,924 m

Mt. Ikeno-Yama
1,360 m

1,700 m below sea level

Neutrino Beam

295 km



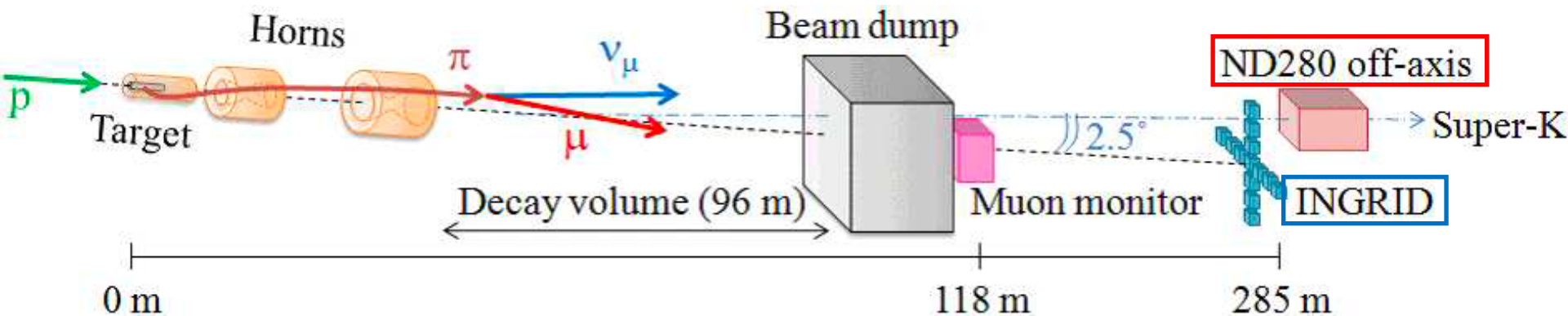
Super-Kamiokande
(ICRR, Univ. Tokyo)



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



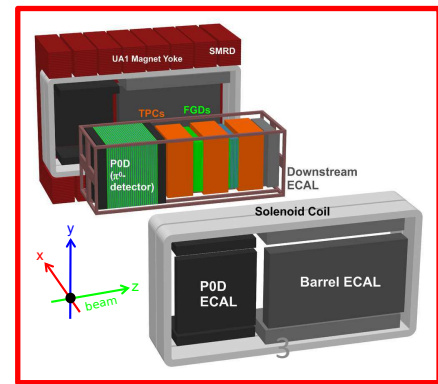
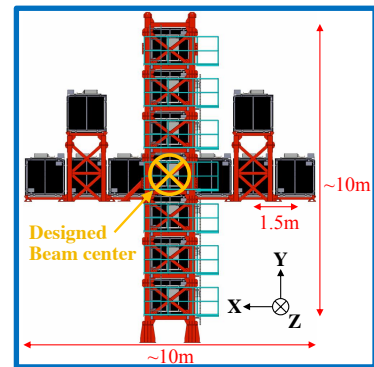
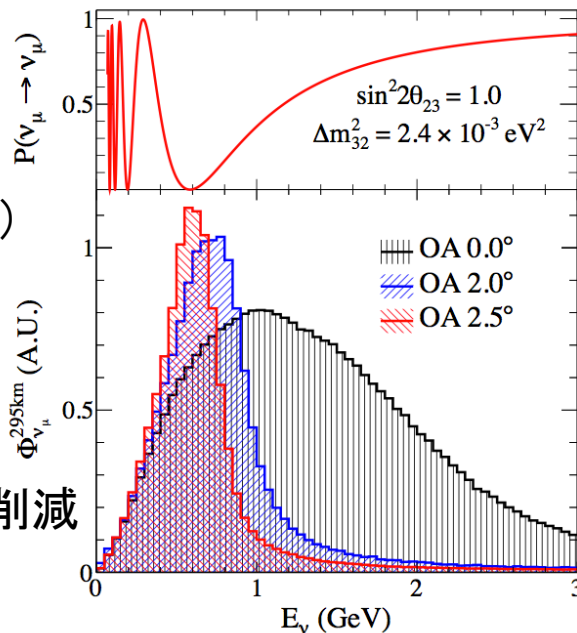
T2K実験



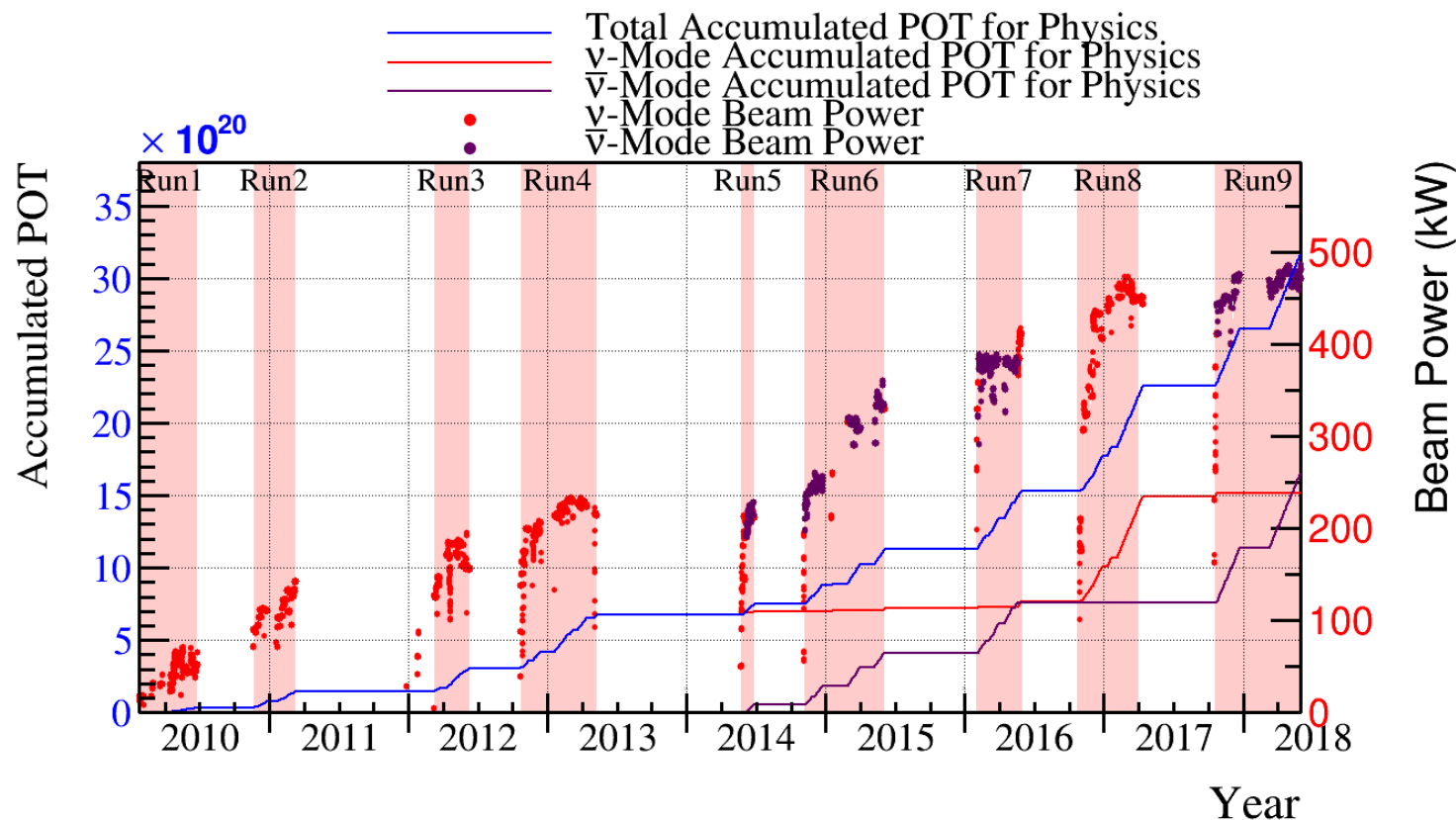
- 大強度陽子ビーム 485 kW
- 2.5×10^{14} 30 GeV protons/pulse at 2.48s cycle
- 電磁ホーンの極性設定により $\nu/\bar{\nu}$ モードの切り替え
 - Forward/Reverse Horn Current (FHC/RHC)

- Off-axis角 2.5° による 600 MeV narrow band ν ビーム
 - 神岡での振動確率最大 (L= 295 km)

- 前置検出器ND280で振動前を測定
- スーパーカミオカンデでの振動後ニュートリノ測定における系統誤差削減



T2Kの実験状況 (2017→2018)



23 Jan. 2010 – 31 May 2018

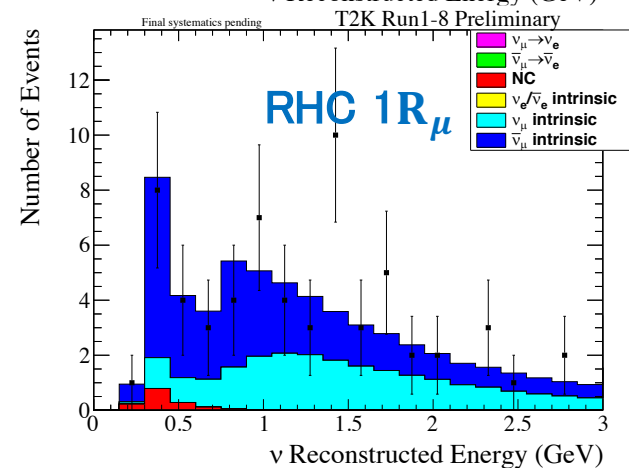
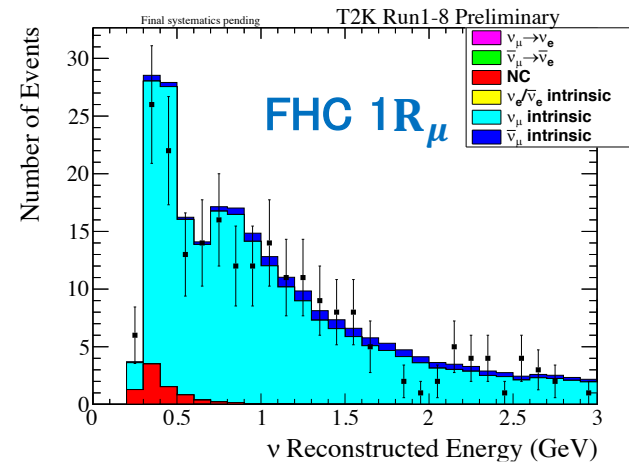
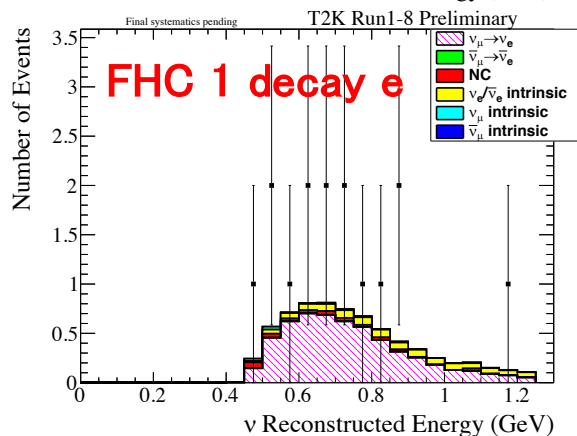
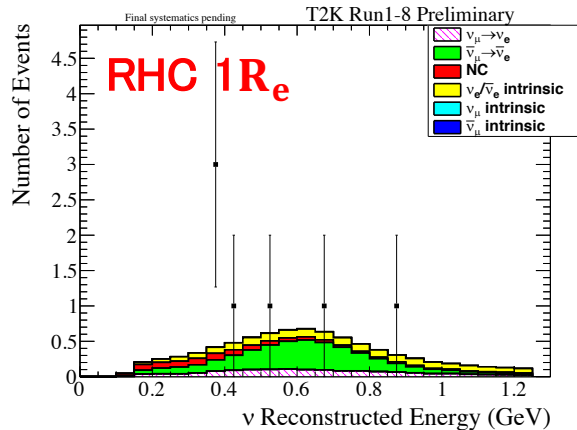
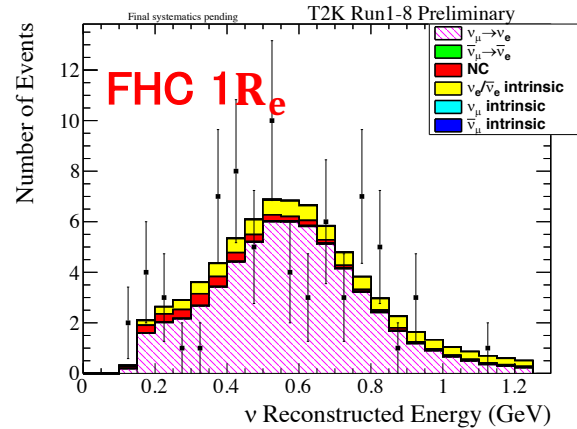
POT total: 3.16×10^{21}

ν-mode 1.51×10^{21} (47.83%)

ν̄-mode 1.65×10^{21} (52.17%)

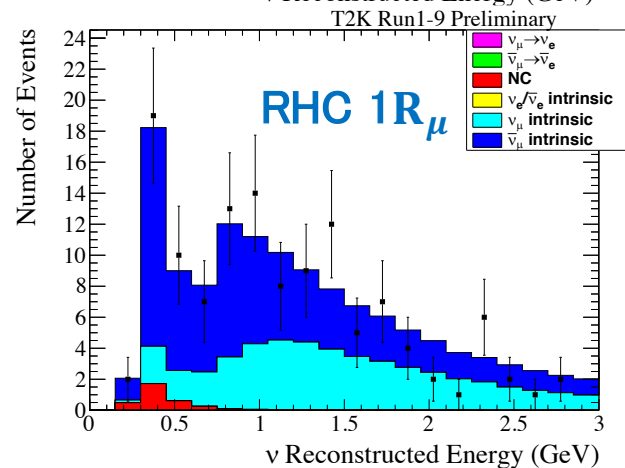
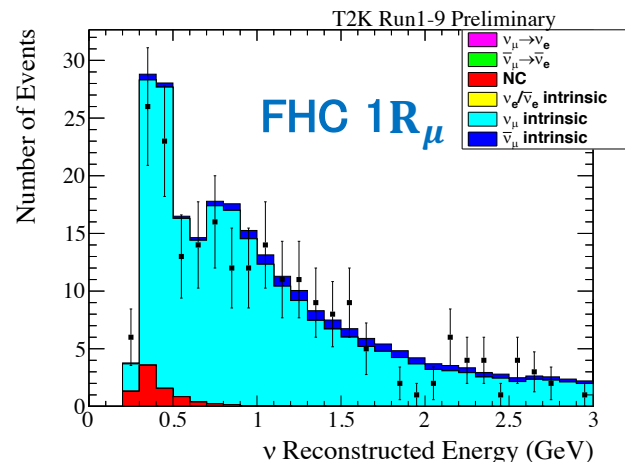
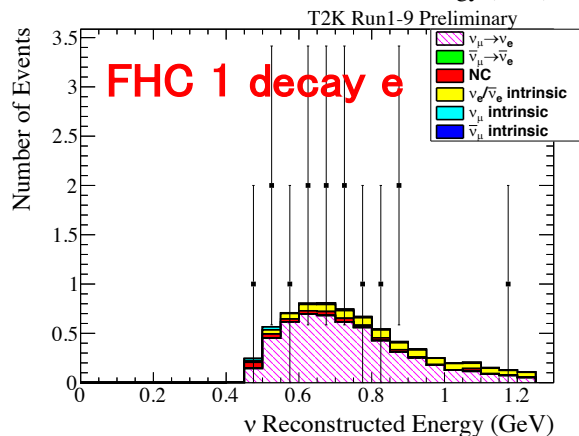
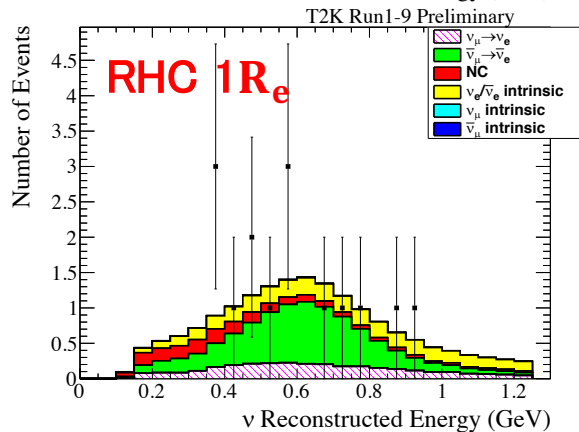
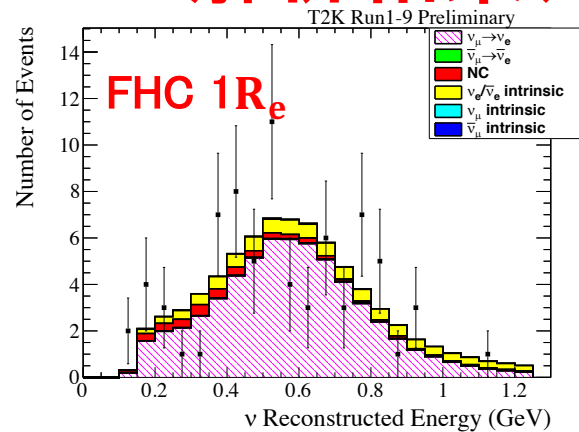
反ニュートリノの統計は2017-2018の運転で倍増($7.56 \times 10^{20} \rightarrow 1.65 \times 10^{21}$)
ニュートリノと同程度の統計を取得

T2Kの解析結果(2017)



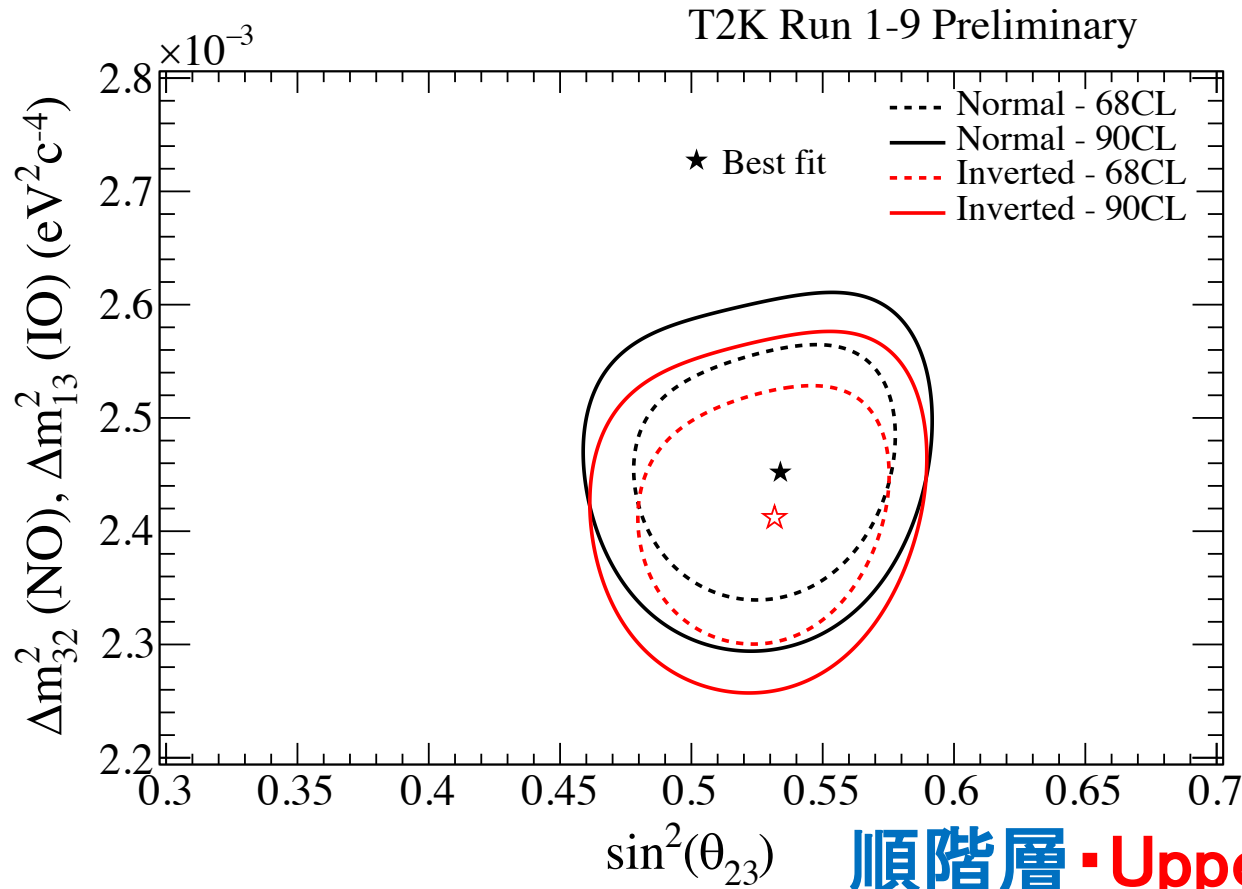
	Predicted				Data
Sample	$\delta_{CP} = -\pi/2$	$\delta_{CP} = 0$	$\delta_{CP} = +\pi/2$	$\delta_{CP} = +\pi$	
FHC 1R _μ	268.4	268.1	268.4	268.8	240
RHC 1R _μ	64.3	64.1	64.3	64.4	68
FHC 1R _e	73.5	61.4	49.9	61.9	74
RHC 1R _e	7.9	9.0	10.0	8.9	7
FHC 1 decay e	6.9	6.0	4.9	5.8	15

T2Kの解析結果(2018)



	Predicted				Data	
Sample	$\delta_{CP} = -\pi/2$	$\delta_{CP} = 0$	$\delta_{CP} = +\pi/2$	$\delta_{CP} = +\pi$		
FHC 1R _μ	272.4	272.0	272.4	272.8	243	+3
RHC 1R _μ	139.5	139.2	139.5	139.9	140	+72
FHC 1R _e	74.4	62.2	50.6	62.7	75	+1
RHC 1R _e	17.1	19.4	21.7	19.3	15	+8
FHC 1 decay e	7.0	6.1	4.9	5.9	15	±0

大気ニュートリノパラメータ($\Delta m^2, \theta_{23}$)の測定結果



$\sin^2 \theta_{23}$:

[0.495, 0.562] (NH),

[0.497, 0.561] (IH)

at 1σ C.L.

Δm^2 :

[2.382, 2.523] $\times 10^{-3} \text{eV}^2$ (NH),

[2.361, 2.501] $\times 10^{-3} \text{eV}^2$ (IH)

at 1σ C.L.

順階層・Upper octantをfavor

Bayesian method (Posterior Probability)

	$\sin^2 \theta_{23} < 0.5$	$\sin^2 \theta_{23} > 0.5$	合計
順階層 (NH)	0.184	0.705	0.889
逆階層 (IH)	0.021	0.090	0.111
合計	0.205	0.795	1

θ_{13} と δ_{CP} の測定結果

$$\delta_{CP} = [-2.966, -0.628] \text{ (NH)},$$

$$[-1.799, -0.979] \text{ (IH) at } 2\sigma \text{ C.L.}$$

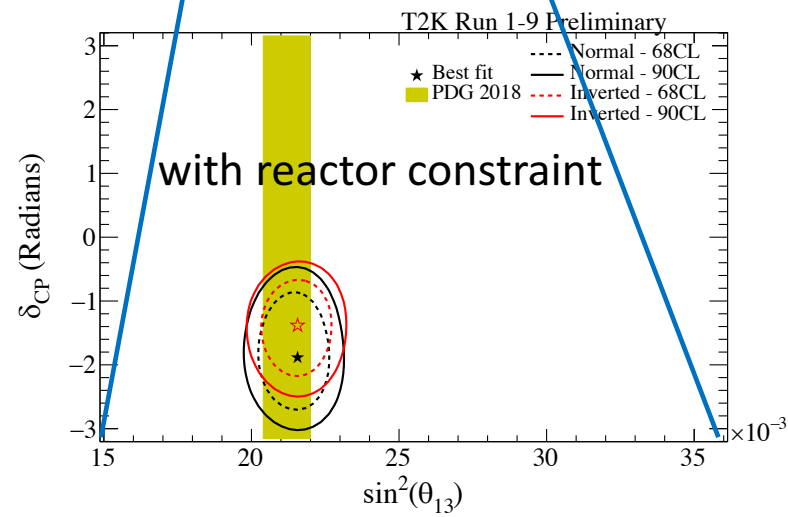
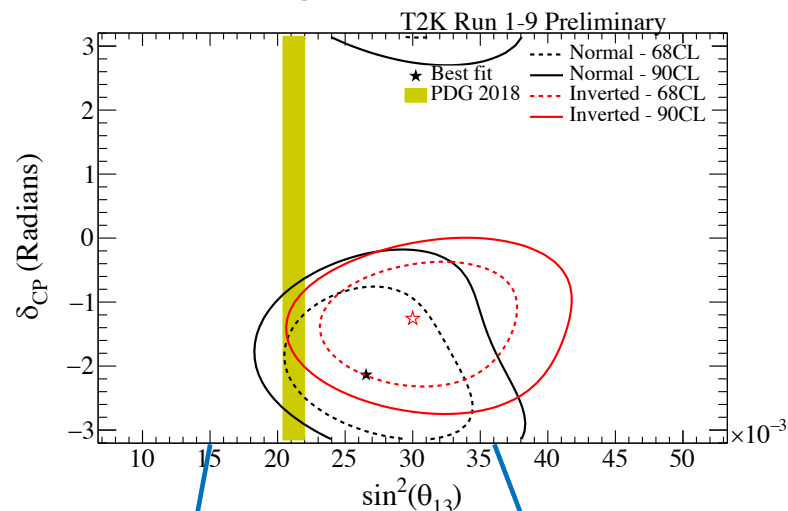
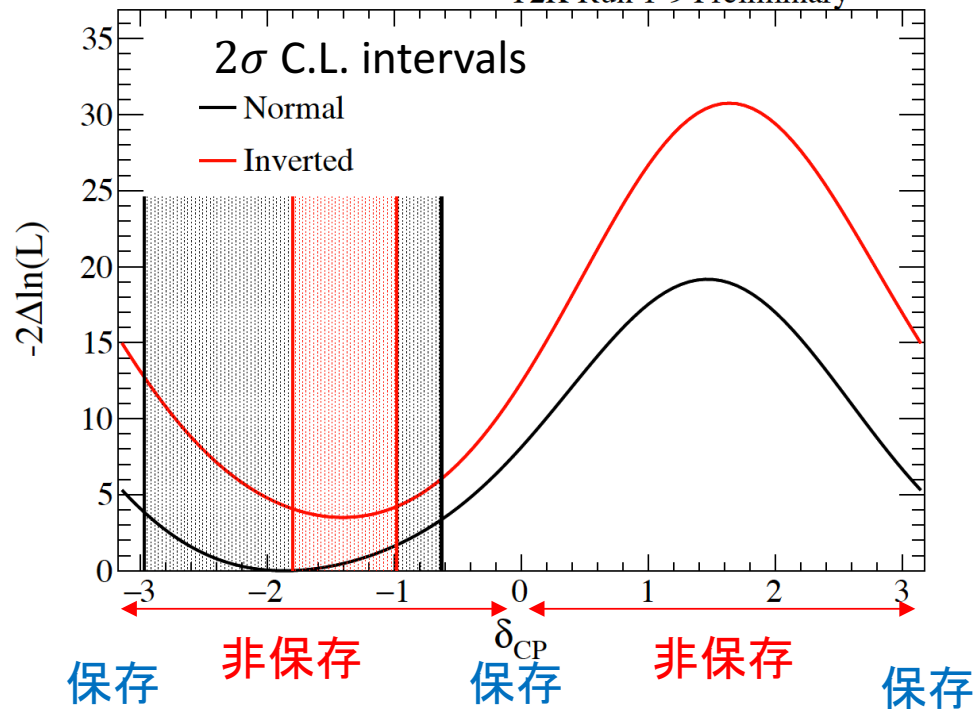
$$\text{Best Fit: } \sin^2 \theta_{13} = 0.0268^{+0.0055}_{-0.0043} \text{ (NH)}$$

$$\text{PDG2018: } \sin^2 \theta_{13} = 0.0212 \pm 0.0008$$

CP対称性の破れを 2σ の信頼度で示唆

Frequentist method (Feldman-Cousins)

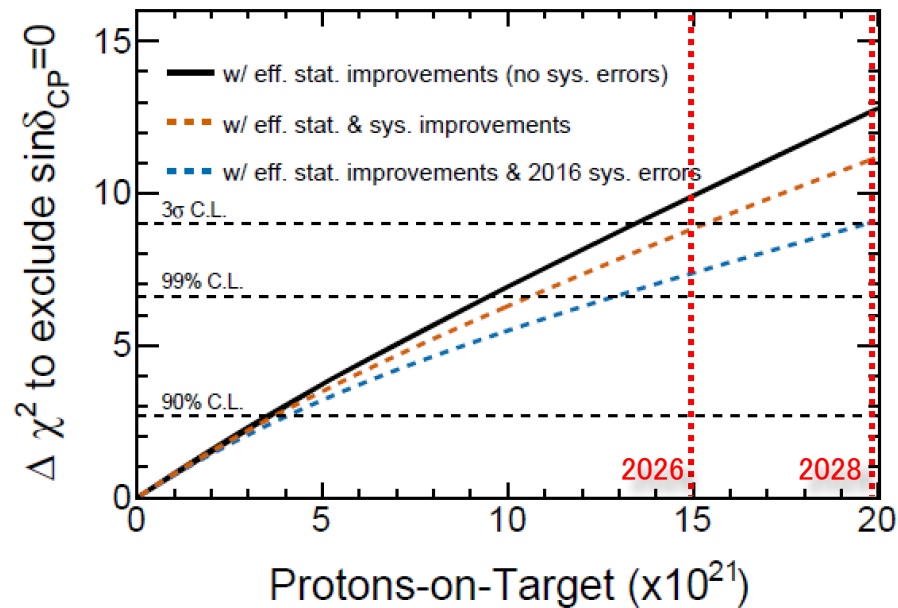
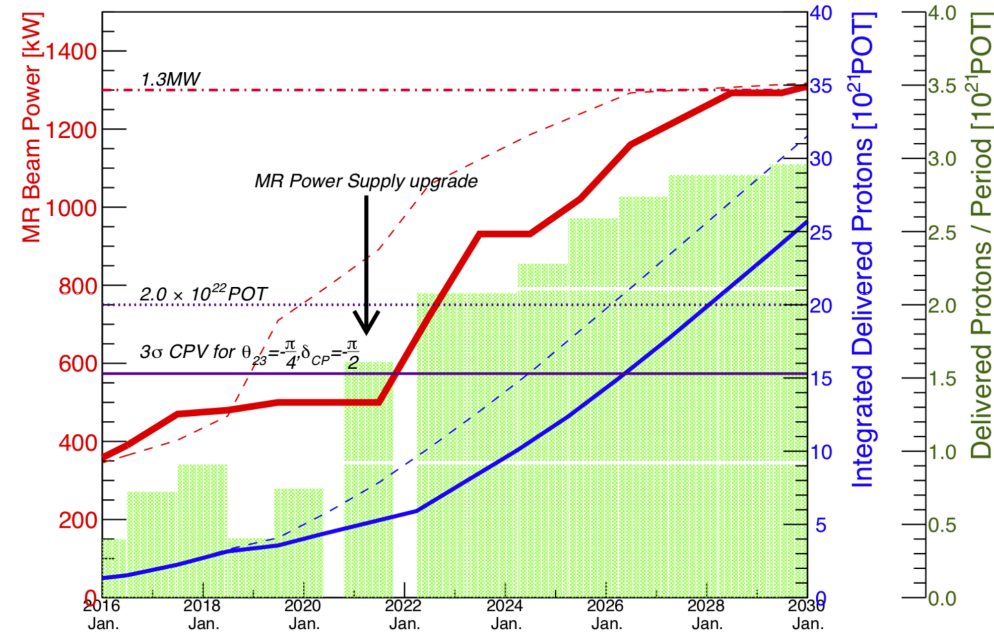
T2K Run 1-9 Preliminary



今後の計画

arXiv:1609.04111

T2K-II Protons-On-Target Request

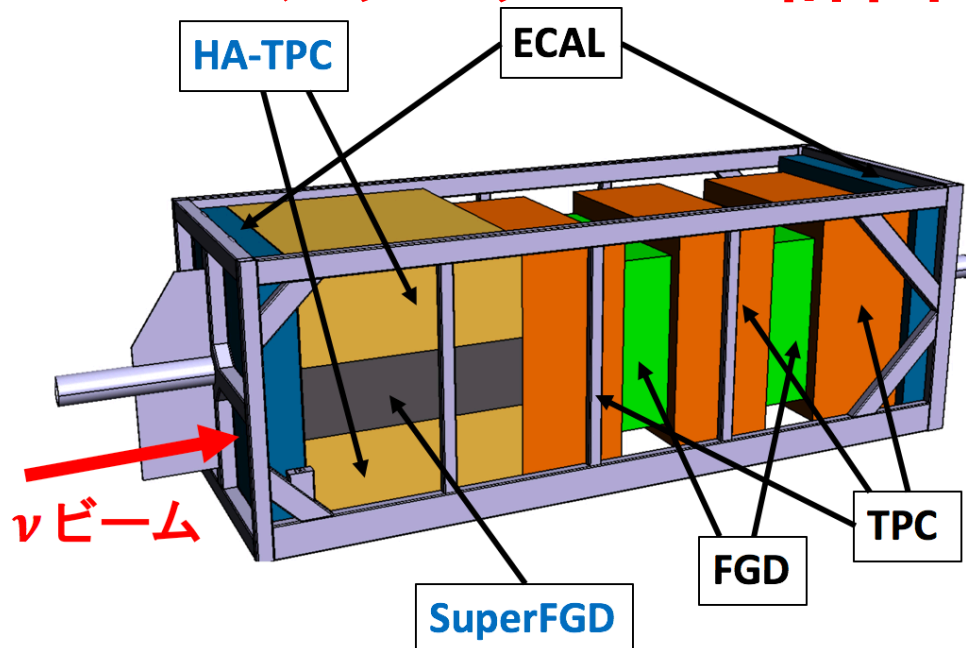


- 統計の増加:
 - MR Power Supplyアップグレード (2019年→2021年)
 - 2028年までに 20×10^{21} POTの統計を収集
- 系統誤差の抑制:
 - 現在の6%から4%に軽減
 - ニュートリノの質量順序が分かっている場合, 4割以上のCP位相の値において **3σ 以上の信頼度でCP対称性の破れの兆候を得る**

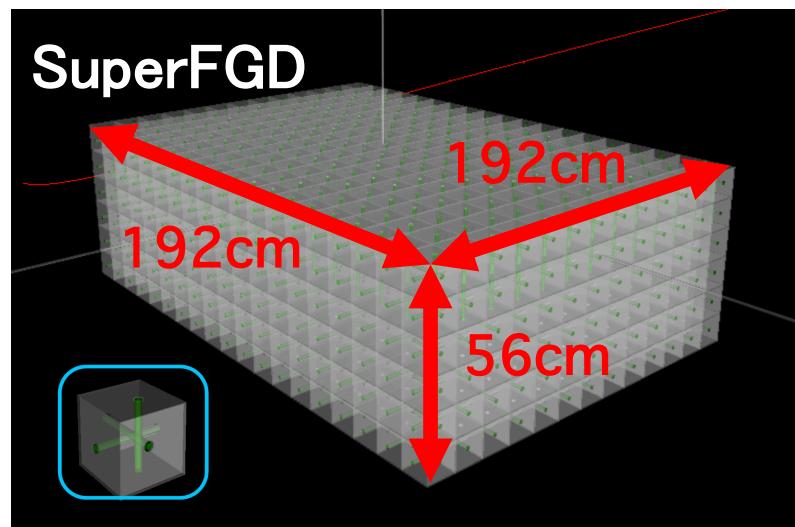
	達成	目標
ビームパワー [MW]	0.49	1.3
Protons/pulse [$\times 10^{14}$]	2.5	3.2
照射間隔 [sec]	2.48	1.16

前置検出器ND280アップグレードによるニュートリノ反応起因の系統誤差削減

ND280アップグレード計画



CERN-SPSC-2018-001 ; SPSC-P-357

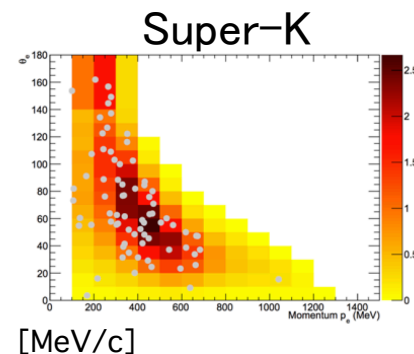
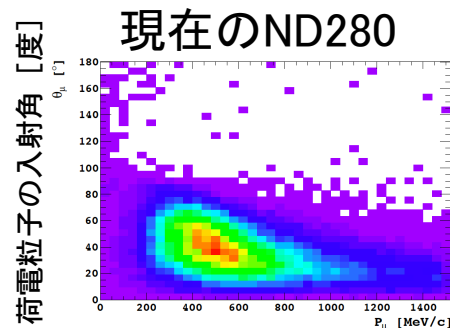


総キューブ数: 2,064,384

総MPPCチャンネル数: 58,368

- 大角度TPC×2 (High-Angle TPC, HA-TPC)
- 飛行時間検出器(Time of Flight counter, ToF)
- **SuperFGD (SuperFine-Grained Detector)**
 - 体積 $1 \times 1 \times 1 \text{ cm}^3$ の反射材層付シンチレータキューブによって構成
 - 波長変換ファイバー→MPPCで三方向の光量を測定

**大角度に対するアクセプタンスと
低運動量荷電粒子の測定の実現を目標**



2021年の測定開始のために研究開発が進行中

まとめ

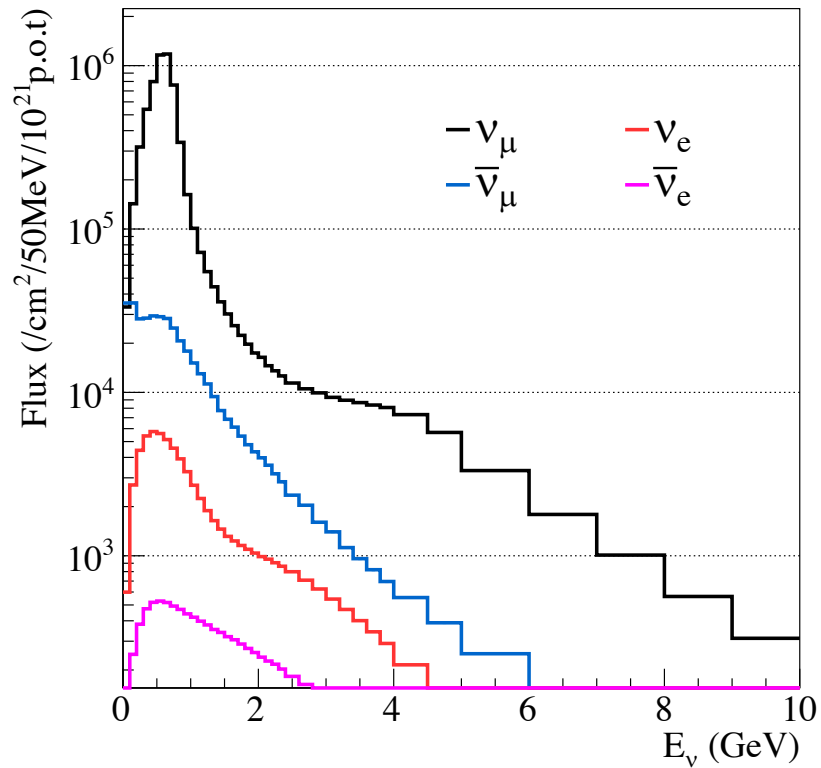
- 2018年のT2K実験状況
 - 2018年5月31日までに 3.16×10^{21} POTの統計を取得
 - 反ニュートリノの統計倍増,ニュートリノと同程度の統計を取得
 - CP対称性の破れを 2σ の信頼度で示唆
- 今後の計画
 - ビームパワー増強(0.49MW→1.3MW)により2028年までに 20×10^{21} POTの統計を収集を目標
 - 前置検出器ND280アップグレードによるニュートリノ反応起因の系統誤差削減→2021年の測定開始を目標に研究開発が進行中
 - 3σ 以上の信頼度でCP対称性の破れの兆候を目指す
- 2019年1月10日(予定)に宇宙線研究所セミナーでの発表
 - T2Kの最新の測定・解析結果の詳細な内容を説明

Thank you very much!!

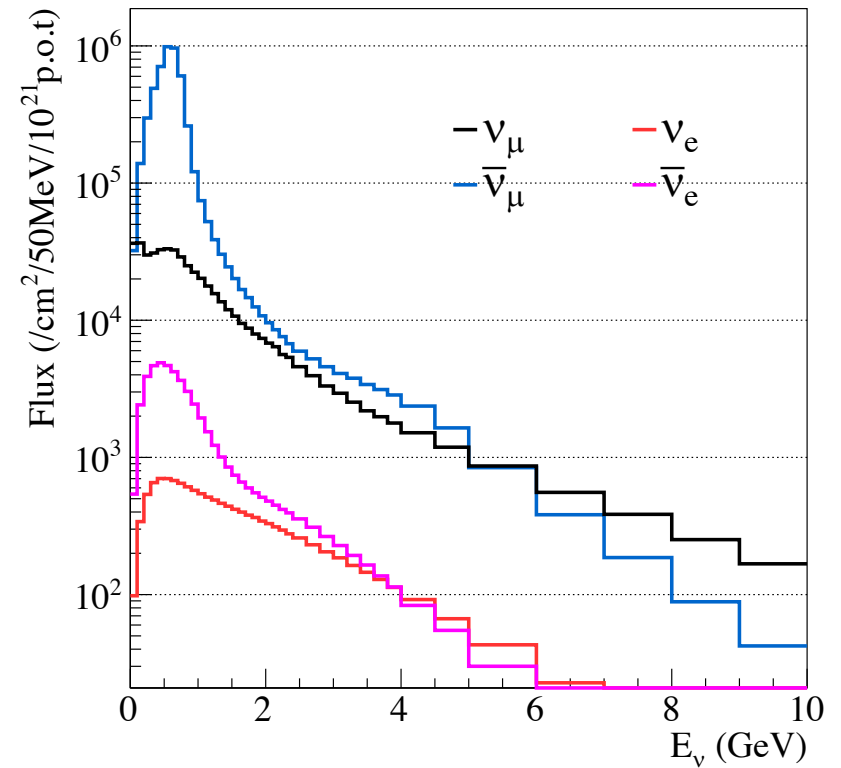
Back-Up Slides

Flux at Far Detector

Neutrino Mode Flux at the far detector

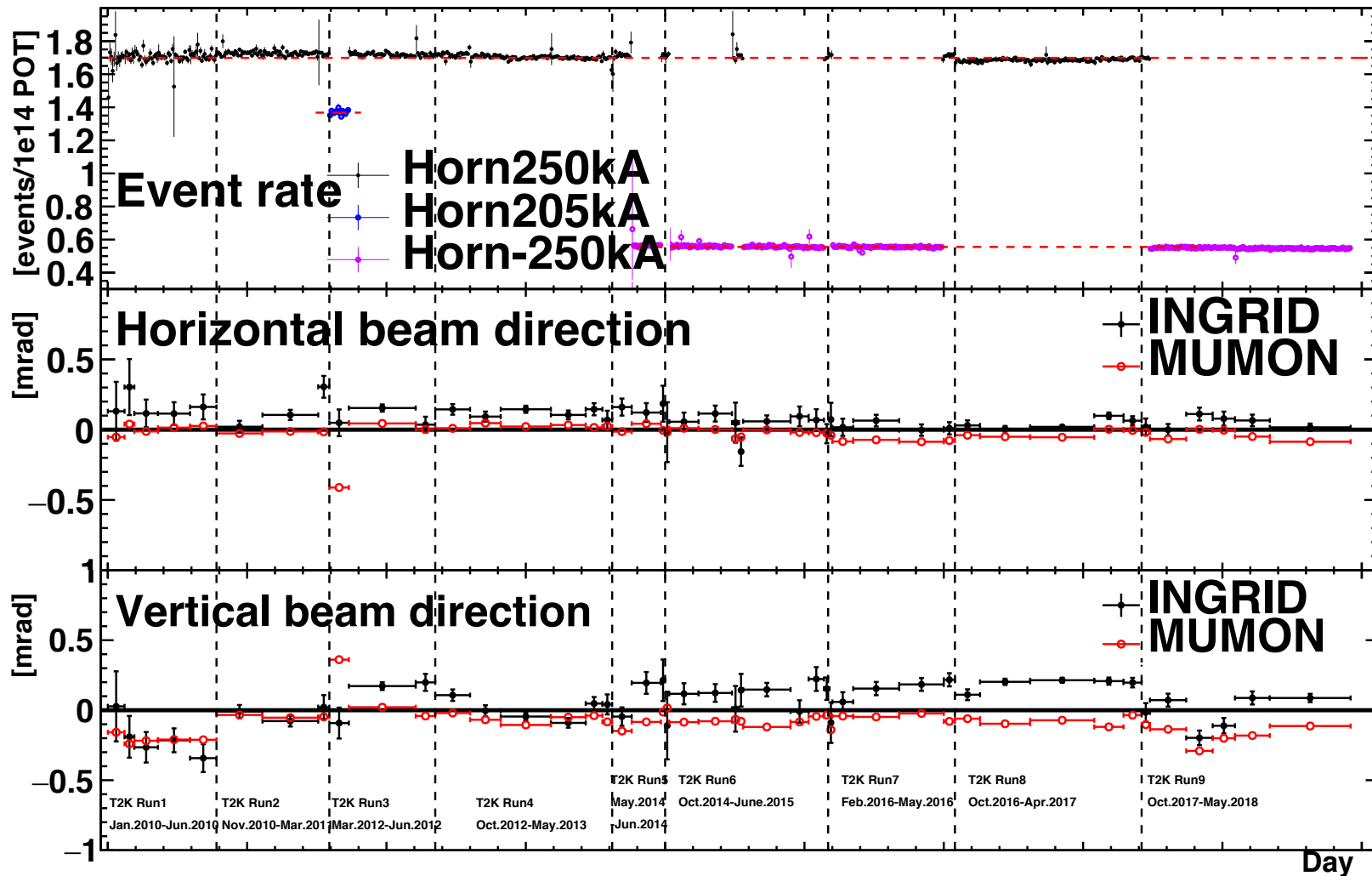


Antineutrino Mode Flux at the far detector



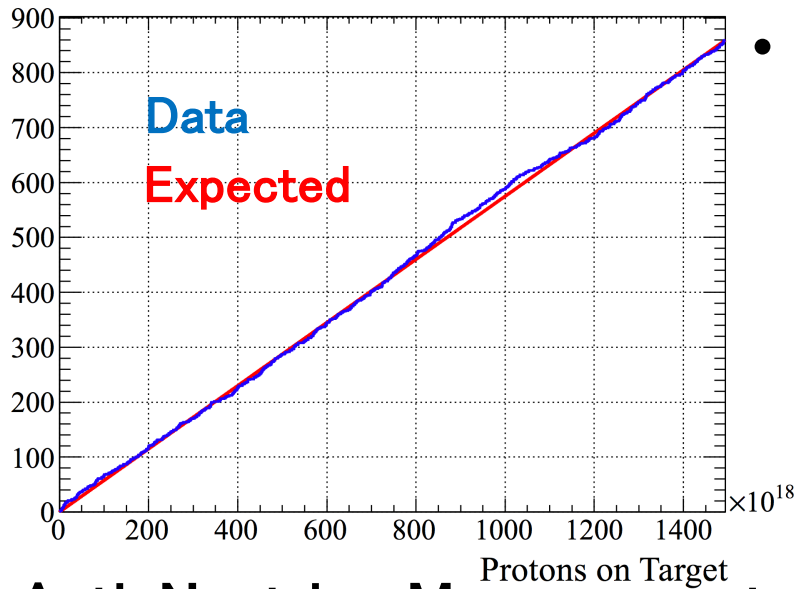
Neutrino Beam Stability

- Stable neutrino beam event rate and direction within the physics requirement (± 1 mrad)



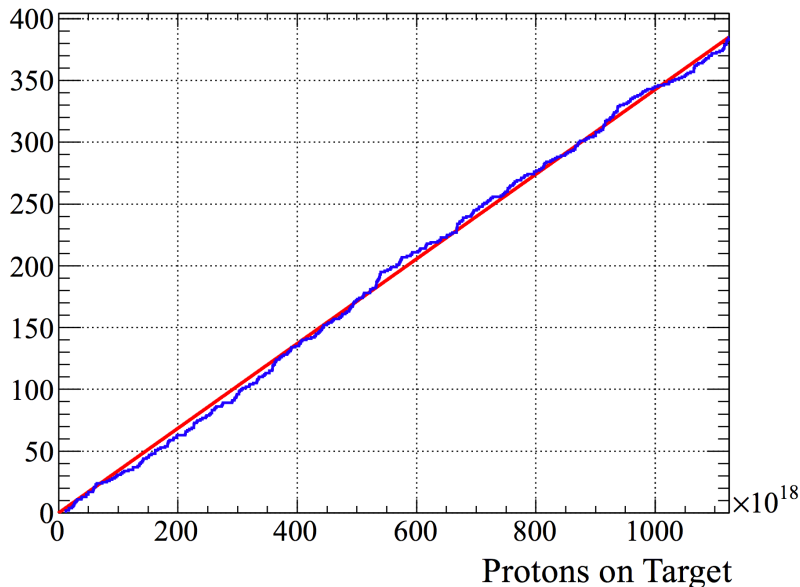
SK Data Quality

Neutrino Measurement

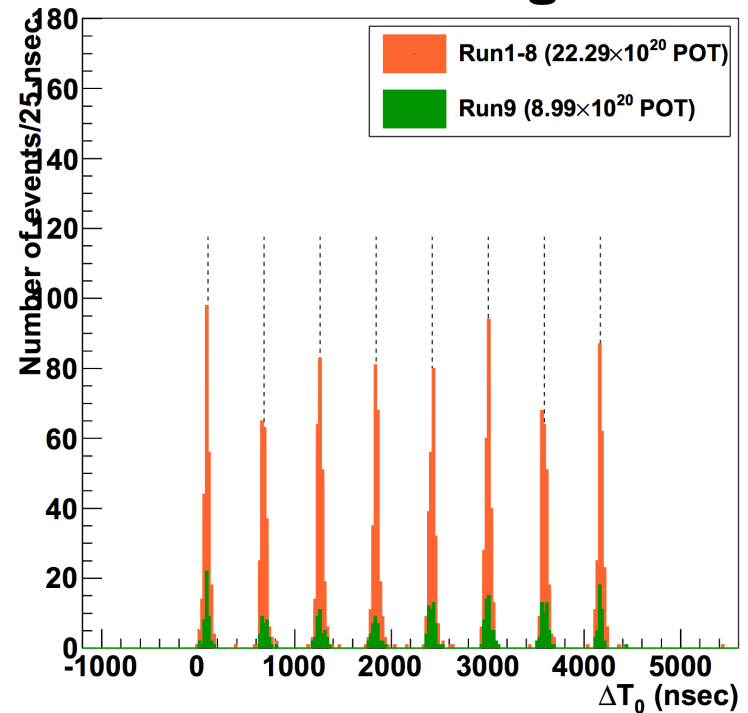


- Stable rate and timing for both neutrino and anti-neutrino measurements fully-contained event in fiducial volume

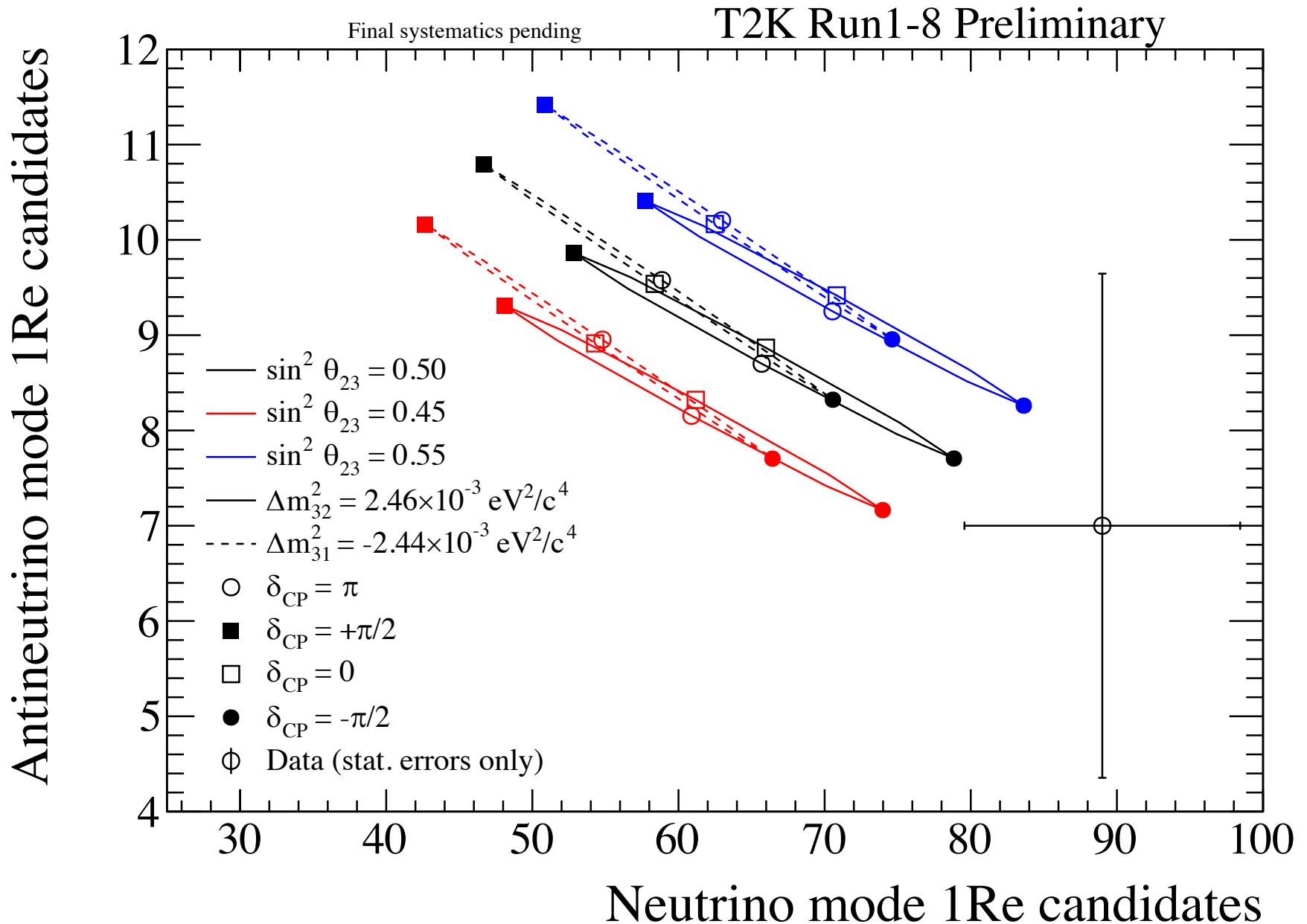
Anti-Neutrino Measurement



Event Timing

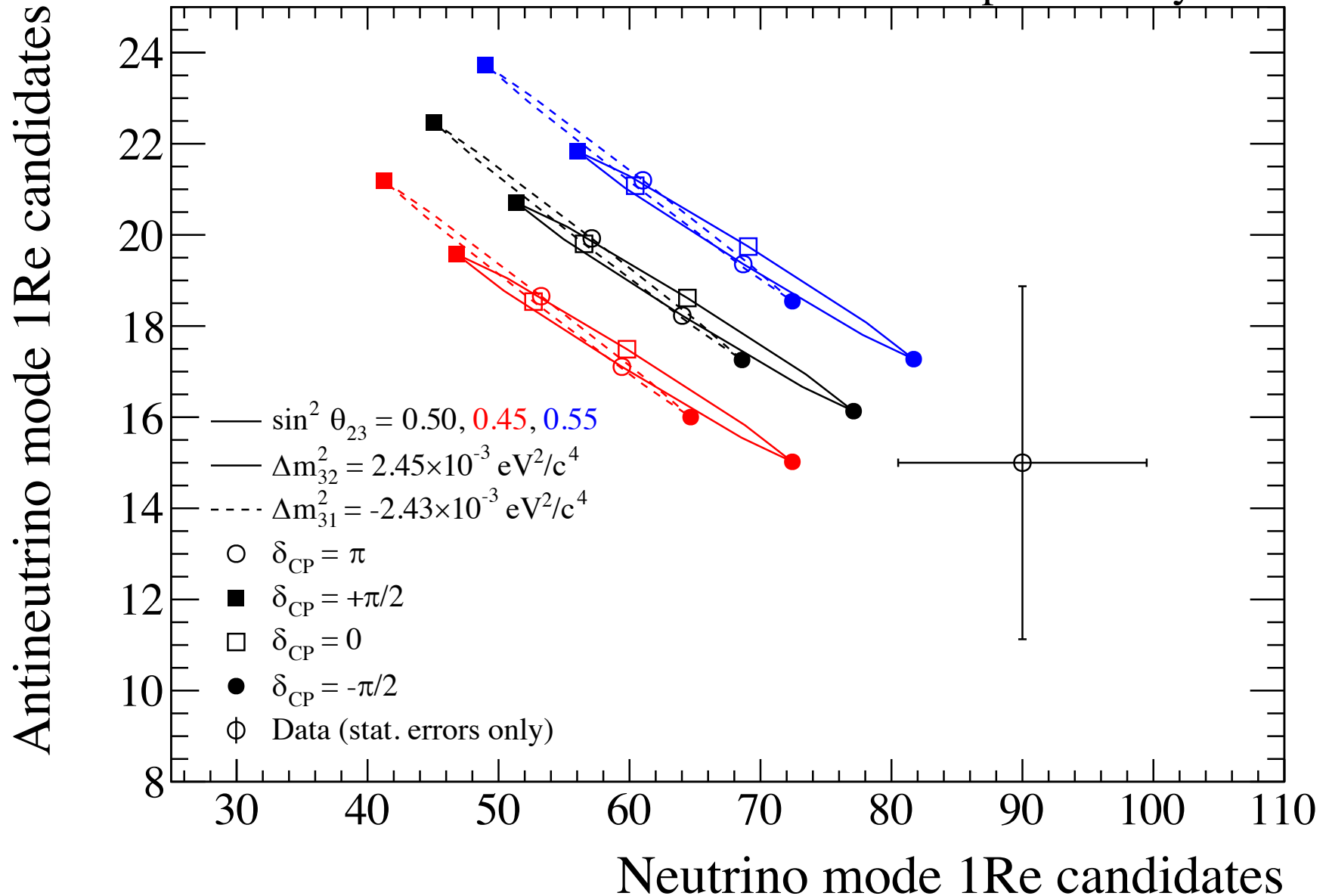


T2K Run1-8 $\nu_e/\bar{\nu}_e$ Event Rate Comparison



T2K Run1-9 $\nu_e/\bar{\nu}_e$ Event Rate Comparison

T2K Run 1-9 preliminary



T2K Publications

- **Beamline**

- [A new electron-multiplier-tube-based beam monitor for muon monitoring at the T2K experiment](#)
 - *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, Volume 2018, Issue 10, 1 October 2018, 103H01 – Published 26 October 2018

- **ND280**

- [Measurement of the single \$\pi^0\$ production rate in neutral current neutrino interactions on water](#)
 - *Phys. Rev. D* **97**, 032002 – Published 2 February 2018
- [Measurement of inclusive double-differential \$\nu_\mu\$ charged-current cross section with improved acceptance in the T2K off-axis near detector](#)
 - *Phys. Rev. D* **98**, 012004 – Published 30 July 2018

- **Neutrino Interactions**

- [Characterization of nuclear effects in muon-neutrino scattering on hydrocarbon with a measurement of final-state kinematics and correlations in charged-current pionless interactions at T2K](#)
 - *Phys. Rev. D* **98**, 032003 – Published 9 August 2018

- **Oscillation Analysis**

- [Search for CP Violation in Neutrino and Antineutrino Oscillations by the T2K Experiment with \$2.2 \times 10^{21}\$ Protons on Target](#)
 - *Phys. Rev. Lett.* **121**, 171802 – Published 24 October 2018

The T2K Collaboration



Italy

~500 members, 66 Institutes, 12 countries

Canada

TRIUMF
U. B. Columbia
U. Regina
U. Toronto
U. Victoria
U. Winnipeg
York U.

INFN, U. Bari
INFN, U. Napoli
INFN, U. Padova
INFN, U. Roma

Japan

ICRR Kamioka
ICRR RCCN
Kavli IPMU

France

CEA Saclay
LLR E. Poly.
LPNHE Paris

KEK
Kobe U.
Kyoto U.
Miyagi U. Edu.
Okayama U.

Germany

Aachen U.

Osaka City U.
Tokyo Institute Tech
Tokyo Metropolitan U.
U. Tokyo
Tokyo U of Science
Yokohama National U.

Poland

IFJ PAN, Cracow
NCBJ, Warsaw
U. Silesia, Katowice
U. Warsaw
Warsaw U. T.
Wroclaw U.

Russia

INR

Spain

IFAE, Barcelona
IFIC, Valencia
U. Autonoma Madrid

Switzerland

ETH Zurich
U. Bern
U. Geneva

United Kingdom

Imperial C. London
Lancaster U.
Oxford U.
Queen Mary U. L.
Royal Holloway U.L.
STFC/Daresbury
STFC/RAL
U. Glasgow
U. Liverpool
U. Sheffield
U. Warwick

USA

Boston U.
Colorado S. U.
Duke U.
Louisiana State U.
Michigan S.U.
Stony Brook U.
U. C. Irvine
U. Colorado
U. Pittsburgh
U. Rochester
U. Washington

Vietnam

IFIRSE
IOP, VAST

The T2K Collaboration (2018)

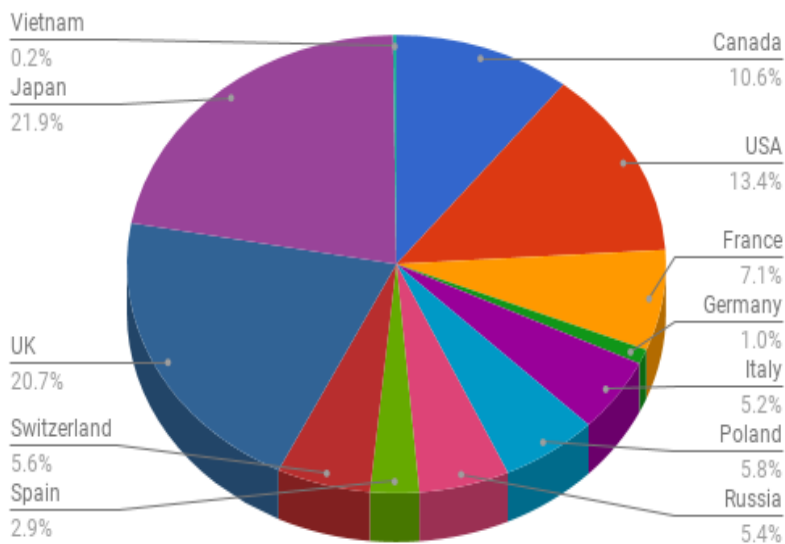


~500 members, 66 Institutes, 12 countries

Asia	110
Japan	109
Vietnam	1

Americas	114
Canada	50
USA	64

Europe	259
France	34
Germany	5
Italy	25
Poland	28
Russia	26
Spain	14
Switzerland	27
UK	100



Updated March, 2018

