

T2K実験の 2012の最新結果



中平 武
(KEK)



T2K Collaboration



K. Abe,⁴⁹ N. Abgrall,¹⁶ Y. Ajima,^{18,†} H. Aihara,⁴⁸ J.B. Albert,¹³ C. Andreopoulos,⁴⁷ B. Andrieu,³⁷ S. Aoki,²⁷ O. Araoka,^{18,†} J. Argyriades,¹⁶ A. Ariga,³ T. Ariga,³ S. Assylbekov,¹¹ D. Autiero,³² A. Badertscher,¹⁵ M. Barbi,⁴⁰ G. J. Barker,⁵⁶ G. Barr,³⁶ M. Bass,¹¹ F. Bay,³ S. Bentham,²⁹ V. Berardi,²² B.E. Berger,¹¹ I. Bertram,²⁹ M. Besnier,¹⁴ J. Beucher,⁸ D. Beznosko,³⁴ S. Bhadra,⁵⁹ F. d.M. Blaszczyk,⁸ A. Blondel,¹⁶ C. Bojecho,⁵³ J. Bouchez,^{8,*} S. B. Boyd,⁵⁶ A. Bravar,¹⁶ C. Bronner,¹⁴ D. G. Brook-Roberge,⁵ N. Buchanan,¹¹ H. Budd,⁴¹ D. Calvet,⁸ S.L. Cartwright,⁴⁴ A. Carver,⁵⁶ R. Castillo,¹⁹ M. G. Catanesi,²² A. Cazes,³² A. Cervera,²⁰ C. Chavez,³⁰ S. Choi,⁴³ G. Christodoulou,³⁰ J. Coleman,³⁰ W. Coleman,³¹ G. Collazuol,²⁴ K. Connolly,⁵⁷ A. Curioni,¹⁵ A. Dabrowska,¹⁷ I. Danko,³⁸ R. Das,¹¹ G. S. Davies,²⁹ S. Davis,⁵⁷ M. Day,⁴¹ G. De Rosa,²³ J.P.A.M. de André,¹⁴ P. de Perio,⁵¹ A. Delbart,⁸ C. Densham,⁴⁷ F. Di Lodovico,³⁹ S. Di Luise,¹⁵ P. Dinh Tran,¹⁴ J. Dobson,²¹ U. Dore,²⁵ O. Drapier,¹⁴ F. Dufour,¹⁵ J. Dumarchez,³⁷ S. Dytman,³⁸ M. Dziewiecki,⁵⁵ M. Dziomba,⁵⁷ S. Emery,⁸ A. Ereditato,³ L. Escudero,²⁰ L. S. Esposito,¹⁵ M. Fechner,^{13,8} A. Ferrero,¹⁶ A. J. Finch,²⁹ E. Frank,³ Y. Fujii,^{18,†} Y. Fukuda,³³ V. Galymov,⁵⁹ F. C. Gannaway,³⁹ A. Gaudin,⁵³ A. Gendotti,¹⁵ M. A. George,³⁹ S. Giffin,⁴⁰ C. Giganti,¹⁹ K. Gilje,³⁴ T. Golan,⁵⁸ M. Goldhaber,^{6,*} J. J. Gomez-Cadenas,²⁰ M. Gonin,¹⁴ N. Grant,²⁹ A. Grant,⁴⁶ P. Gumplinger,⁵² P. Guzowski,²¹ A. Haesler,¹⁶ M. D. Haigh,³⁶ K. Hamano,⁵² C. Hansen,^{20,†} D. Hansen,³⁸ T. Hara,²⁷ P. F. Harrison,⁵⁶ B. Hartfiel,³¹ M. Hartz,^{59,51} T. Haruyama,^{18,†} T. Hasegawa,^{18,†} N. C. Hastings,⁴⁰ S. Hastings,⁵ A. Hatzikoutelis,²⁹ K. Hayashi,^{18,†} Y. Hayato,⁴⁹ C. Hearty,^{5,8} R. L. Helmer,⁵² R. Henderson,⁵² N. Higashi,^{18,†} J. Hignight,³⁴ E. Hirose,^{18,†} J. Holeczek,⁴⁵ S. Horikawa,¹⁵ A. Hyndman,³⁹ A. K. Ichikawa,²⁸ K. Ieki,²⁸ M. Ieva,¹⁹ M. Iida,^{18,†} M. Ikeda,²⁸ J. Ilic,⁴⁷ J. Imber,³⁴ T. Ishida,^{18,†} C. Ishihara,⁵⁰ T. Ishii,^{18,†} S. J. Ives,²¹ M. Iwasaki,⁴⁸ K. Iyogi,⁴⁹ A. Izmaylov,²⁶ B. Jamieson,⁵ R. A. Johnson,¹⁰ K. K. Joo,⁹ G. V. Jover-Manas,¹⁹ C. K. Jung,³⁴ H. Kaji,⁵⁰ T. Kajita,⁵⁰ H. Kakuno,⁴⁸ J. Kameda,⁴⁹ K. Kaneyuki,^{50,*} D. Karlen,^{53,52} K. Kasami,^{18,†} I. Kato,⁵² E. Kearns,⁴ M. Khabibullin,²⁶ F. Khanam,¹¹ A. Khojantsev,²⁶ D. Kielczewska,⁵⁴ T. Kikawa,²⁸ J. Kim,⁵ J. Y. Kim,⁹ S. B. Kim,⁴³ N. Kimura,^{18,†} B. Kirby,⁵ J. Kiseil,⁴⁵ P. Kitching,¹ T. Kobayashi,^{18,†} G. Kogan,²¹ S. Koike,^{18,†} A. Konaka,⁵² L. L. Kormos,²⁹ A. Korzenev,¹⁶ K. Koseki,^{18,†} Y. Koshio,⁴⁹ Y. Kouzuma,⁴⁹ K. Kowalik,² V. Kravtsov,¹¹ I. Kreslo,³ W. Kropp,⁷ H. Kubo,²⁸ Y. Kudenko,²⁶ N. Kulkarni,³¹ R. Kurjata,⁵⁵ T. Kutter,³¹ J. Lagoda,² K. Laihem,⁴² M. Laveder,²⁴ K. P. Lee,⁵⁰ P. T. Le,³⁴ J. M. Levy,³⁷ C. Licciardi,⁴⁰ I. T. Lim,⁹ T. Lindner,⁵ R. P. Litchfield,^{56,28} M. Litos,⁴ A. Longhin,⁸ G. D. Lopez,³⁴ P. F. Loverre,²⁵ L. Ludovici,²⁵ T. Lux,¹⁹ M. Macaire,⁸ K. Mahn,⁵² Y. Makida,^{18,†} M. Malek,²¹ S. Manly,⁴¹ A. Marchionni,¹⁵ A. D. Marinov,¹⁰ J. Marteau,³² J. F. Martin,^{51,8} T. Maruyama,^{18,†} T. Maryon,²⁹ J. Marzec,⁵⁵ P. Masliah,²¹ E. L. Mathie,⁴⁰ C. Matsumura,³⁵ K. Matsuoka,²⁸ V. Matveev,²⁶ K. Mavrokoridis,³⁰ E. Mazzucato,⁸ N. McCauley,³⁰ K. S. McFarland,⁴¹ C. McGrew,³⁴ T. McLachlan,⁵⁰ M. Messina,³ W. Metcalf,³¹ C. Metelko,⁴⁷ M. Mezzetto,²⁴ P. Mijakowski,² C. A. Miller,⁴² A. Minamino,²⁸ O. Mineev,²⁶ S. Mine,⁷ A. D. Missert,¹⁰ G. Mituka,⁵⁰ M. Miura,⁴⁹ K. Mizouchi,⁵² L. Monfregola,²⁰ F. Moreau,¹⁴ B. Morgan,⁵⁶ S. Moriyama,⁴⁹ A. Muir,⁴⁶ A. Murakami,²⁸ M. Murdoch,³⁰ S. Murphy,¹⁶ J. Myslik,⁵³ T. Nakadaira,^{18,†} M. Nakahata,⁴⁹ T. Nakai,³⁵ K. Nakajima,³⁵ T. Nakamoto,^{18,†} K. Nakamura,^{18,†} S. Nakayama,⁴⁹ T. Nakaya,³⁸ D. Naples,³⁸ M. L. Navin,⁴⁴ B. Nelson,³⁴ T. C. Nicholls,⁴⁷ K. Nishikawa,^{18,†} H. Nishino,⁵⁰ J. A. Nowak,³¹ M. Noy,²¹ Y. Obayashi,⁴⁹ T. Ogitsu,^{18,†} H. Ohhata,^{18,†} T. Okamura,^{18,†} K. Okumura,⁵⁰ T. Okusawa,³⁵ S. M. Oser,⁵ M. Otani,²⁸ R. A. Owen,³⁹ Y. Oyama,^{18,†} T. Ozaki,³⁵ M. Y. Pac,¹² V. Palladino,²³ V. Paolone,³⁸ P. Paul,³⁴ D. Payne,³⁰ G. F. Pearce,⁴⁷ J. D. Perkin,⁴⁴ V. Pettinacci,¹⁵ F. Pierre,^{8,*} E. Poplawska,³⁹ B. Popov,^{37,11} M. Posiadala,⁵⁴ J.-M. Poutissou,⁵² R. Poutissou,⁵² P. Przewlocki,² W. Qian,⁴⁷ J. L. Raaf,⁴ E. Radicioni,²² P. N. Ratoff,²⁹ T. M. Rauber,⁴⁷ M. Ravonell,¹⁶ M. Raymond,²¹ F. Retiere,⁵² A. Robert,³⁷ P. A. Rodrigues,⁴¹ E. Rondio,² J. M. Roney,³³ B. Rossi,³ S. Roth,⁴² A. Rubbia,¹⁵ D. Ruterbories,¹¹ S. Sabouri,⁵ R. Sacco,³⁹ K. Sakashita,^{18,†} F. Sánchez,¹⁹ A. Sarrat,⁸ K. Sasaki,^{18,†} K. Scholberg,¹³ J. Schwehr,¹¹ M. Scott,²¹ D. I. Scully,³⁶ Y. Seiya,³⁵ T. Sekiguchi,^{18,†} H. Sekiya,⁴⁹ M. Shibata,^{18,†} Y. Shimizu,⁵⁰ M. Shiozawa,⁴⁹ S. Short,²¹ M. Siyad,³⁹ J. R. Smith,³⁶ M. Smy,⁷ J. T. Sobczyk,⁵⁸ H. Sobel,⁷ M. Sorel,⁴⁷ M. Stahl,⁴² P. Stamoulis,²⁰ J. Steinmann,⁴² B. Still,³⁹ J. Stone,⁴ C. Strabel,¹⁵ L. R. Sulak,⁴ R. Sulej,² P. Sutcliffe,³⁰ A. Suzuki,²⁷ K. Suzuki,²⁸ S. Suzuki,^{18,†} S. Y. Suzuki,^{18,†} Y. Suzuki,^{18,†} Y. Suzuki,⁴⁹ T. Szeplowski,⁴⁵ M. Szeptycka,² R. Tacik,^{40,52} M. Tada,^{18,†} S. Takahashi,²⁸ A. Takeda,⁴⁹ Y. Takenaga,⁴⁹ Y. Takeuchi,²⁷ K. Tanaka,^{18,†} H. A. Tanaka,^{5,8} M. Tanaka,^{18,†} M. M. Tanaka,^{18,†} N. Tanimoto,⁵⁰ K. Tashiro,³⁵ I. Taylor,³⁴ A. Terashima,^{18,†} D. Terhorst,⁴² R. Terri,³⁹ L. F. Thompson,⁴⁴ A. Thorley,³⁰ W. Toki,¹¹ T. Tomaru,^{18,†} Y. Totsuka,^{18,*} C. Touramanis,³⁰ T. Tsukamoto,^{18,†} M. Tzanov,^{31,10} Y. Uchida,²¹ K. Ueno,⁴⁹ A. Vacheret,²¹ M. Vagins,⁷ G. Vasseur,⁸ T. Wachala,¹⁷ J. J. Walding,²¹ A. V. Waldron,³⁶ C. W. Walter,¹³ P. J. Wanderer,⁶ J. H. Wang,⁴⁴ M. A. Ward,⁴⁴ G. P. Ward,⁴⁴ D. Wark,^{47,21} M. O. Wascko,²¹ A. Weber,^{36,47} R. Wendell,¹³ N. West,³⁶ L. H. Whitehead,⁵⁶ G. Wikström,¹⁶ R. J. Wilkes,⁵⁷ M. J. Wilking,⁵² J. R. Wilson,³⁹ R. J. Wilson,¹¹ T. Wongjirad,¹³ S. Yamada,⁴⁹ Y. Yamada,^{18,†} A. Yamamoto,^{18,†} K. Yamamoto,³⁵ Y. Yamano,^{18,†} H. Yamaoka,^{18,†} C. Yanagisawa,^{34,11} T. Yano,²⁷ S. Yen,⁵² N. Yershov,²⁶ M. Yokoyama,⁴⁸ A. Zalewska,¹⁷ J. Zalipska,⁵ L. Zambelli,³⁷ K. Zaremba,⁵⁵ M. Ziembicki,⁵⁵ E. D. Zimmerman,¹⁰ M. Zito,⁸ and J. Żmuda⁵⁸

Canada

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

France

CEA Saclay
IPN Lyon
LLR E. Poly.
LPNHE Paris

Germany

U. Aachen

Italy

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

Japan

ICRR Kamioka
ICRR RCCN
KEK
Kobe U.
Kyoto U.
Miyagi U. Edu.
Osaka City U.
U. Tokyo

Poland

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

Russia

INR

S Korea

N. U. Chonnam
U. Dongshin
N. U. Seoul

Spain

IFIC, Valencia
IFAE, Barcelona

Switzerland

ETH Zurich
U. Bern
U. Geneva

UK

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

USA

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

+ J. Caravaca, Y. Kanazawa, P. Sinclair, O. Perevozchikov

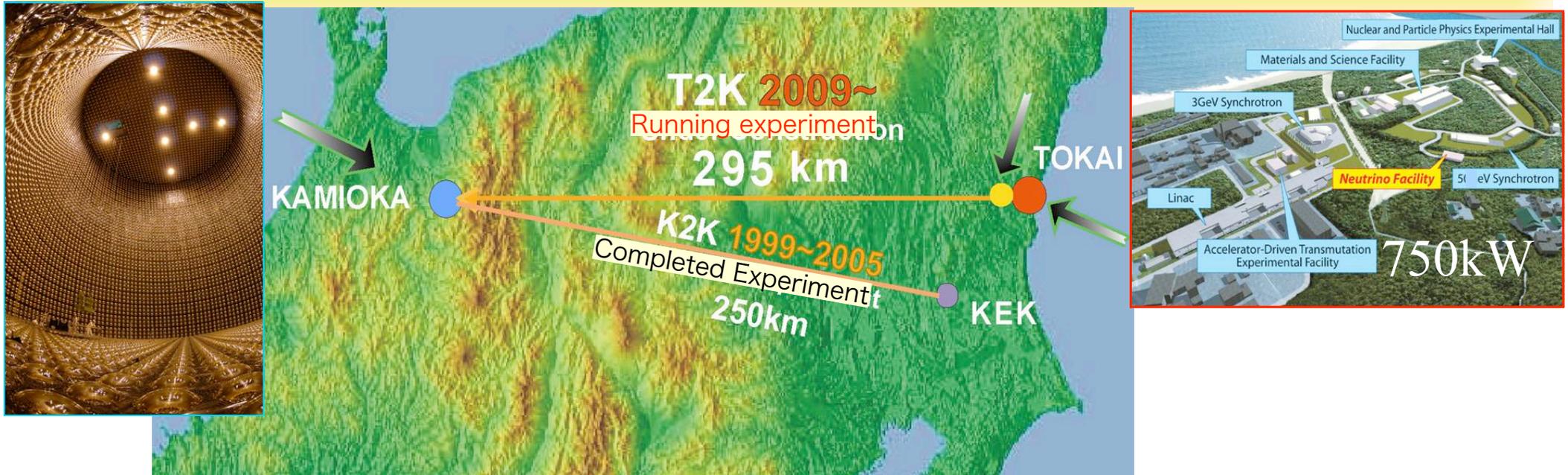
~500 physicists

from 12 countries

Outline

- T2K実験：
 - Overview & Physics Goal
 - 震災後～ビーム運転の状況
 - 2012/6月まで得られたデータによる結果
 - まとめと今後の展望

T2K (Tokai to Kamioka) LBL ν experiment



- Searches for $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e$ oscillation (ν_e appearance)
- Precise measurement of $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_{\mu}$ (ν_{μ} disappearance)

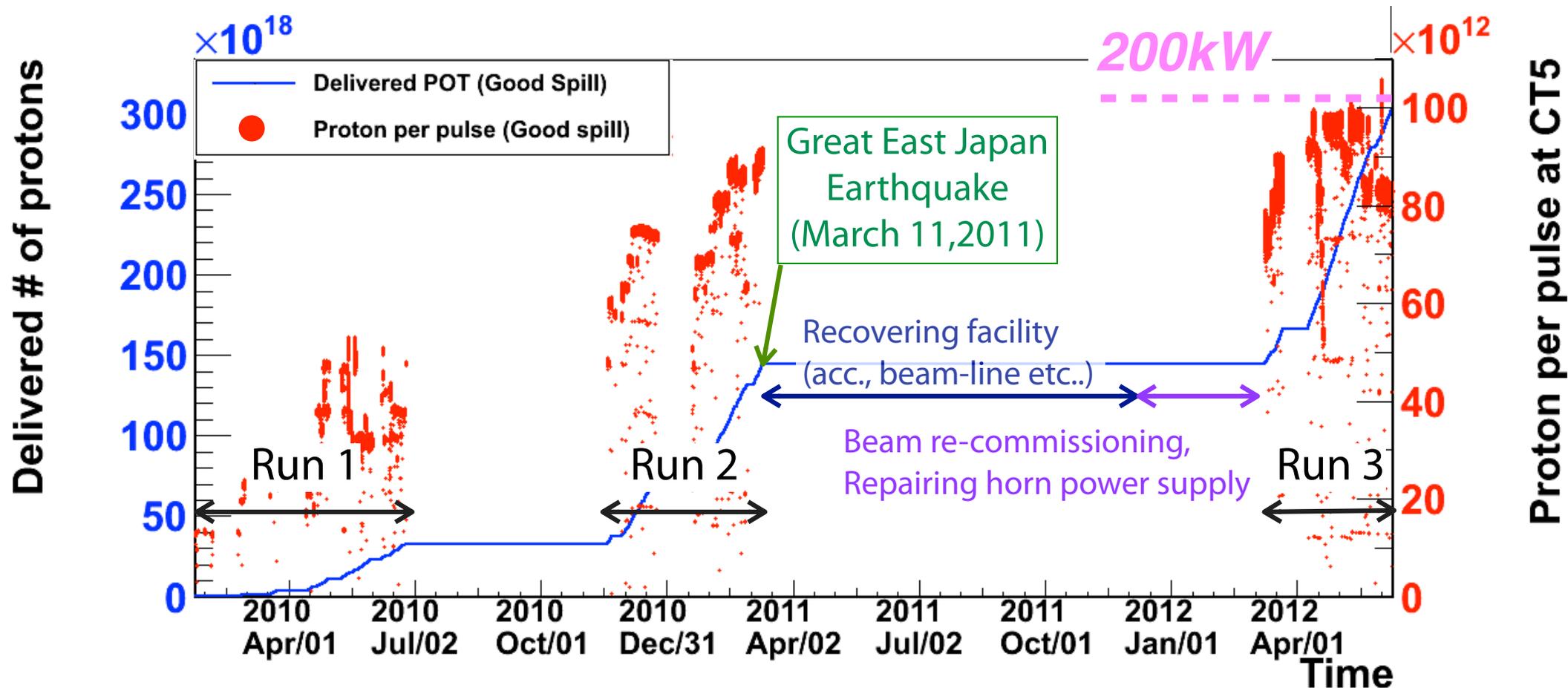
$$P(\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e) \approx \sin^2 2\theta_{13} \sin^2 \theta_{23} \sin^2 \left(\Delta m_{31}^2 L / 4E \right) \mp 4J_r \sin \delta \sin \left(\Delta m_{21}^2 L / 2E \right) \sin^2 \left(\Delta m_{31}^2 L / 4E \right) + \dots$$

- θ_{13} can be determined from $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e$.

T2Kのこれまでの経緯

- Apr, 2009: ファーストビーム~ビーム調整
- Jan, 2010: 前置検出器も含めた物理ラン開始
- Mar, 11th, 2011: 大地震による実験停止
- Jun. 2011: 1.4×10^{20} POTの解析結果発表
 - 6つの ν_e 事象(BG: 1.5 ± 0.3): $\sim 2.5\sigma$ の兆候
- Dec. 2011: 震災後の運転再開(仮復旧)
- Mar. 2012: 震災後の物理Run再開
- Jun. 2012: Neutrino2012(国際会議)で、5月半ばまでの 2.56×10^{20} POTの解析結果発表
 - 10の ν_e 事象(BG: 2.73 ± 0.37): $\sim 3.2\sigma$ の兆候
- 9th Jun. 2012: 2012年度、前期のビームタイム終了
本日の発表内容：**これまでの全データータ 3.01×10^{20} POTの解析**(データ量+18%)

データ収集の履歴



Run1 + 2 (2010-2011)

1.43×10^{20} p.o.t.

* ND280 Run1+2 data is used for oscillation analysis

Run3 (2012) : 1.58×10^{20} p.o.t

* including 0.21×10^{20} p.o.t. with 200kA horn operation (13% flux reduction at peak) (250kA horn current for nominal operation)

* ND280 Run3 data is checked and consistent with Run1+2 6

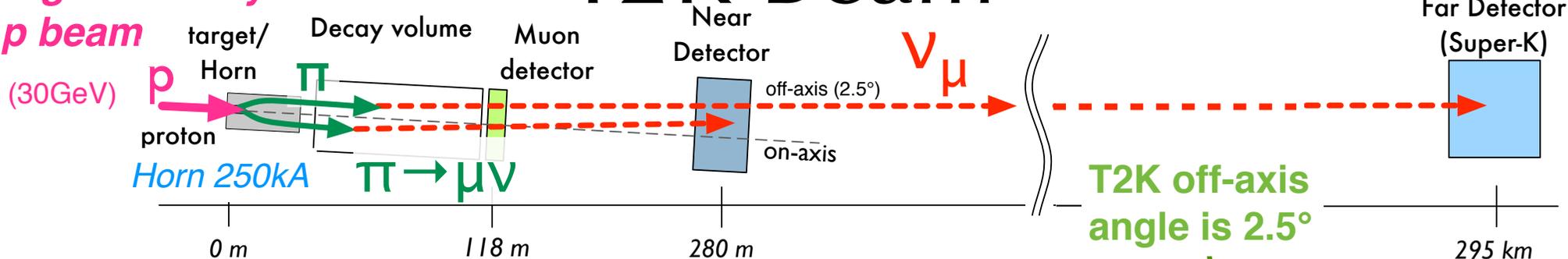
電磁ホーン電源

● 経緯

- ~Oct. 2010: K2Kで使用していた電源(“旧電源”)を2台使用(第一電磁ホーン,第二ホーン+第三ホーン)
- Oct. 2010~: 新規開発した電源(“新電源”)でホーン3台直列運転
 - 旧電源は1台のみ、予備ホーンの試験用につくばに移設
- Dec. 2011: “新電源”で重故障。復旧に時間を要す。
 - スwitching素子(IGBT)の誤動作により、IGBTの破壊
- Mar. 2012~: “旧電源”にてホーン3台直列運転
 - 旧電源でもサイリスタ故障発生(予備サイリスタと交換)
 - →内部で使用しているサイリスタに対する突入電流の大きさから、運転電流を200kAに制限。
- Apr. 2012~: 運転電流を250kAに (“旧電源”にホーン3台直列運転)
 - 突入電流に対する許容値が大きなサイリスタが使用可能になった。

T2K Beam

**High intensity
p beam**



T2K off-axis angle is 2.5°

Intense & high quality beam

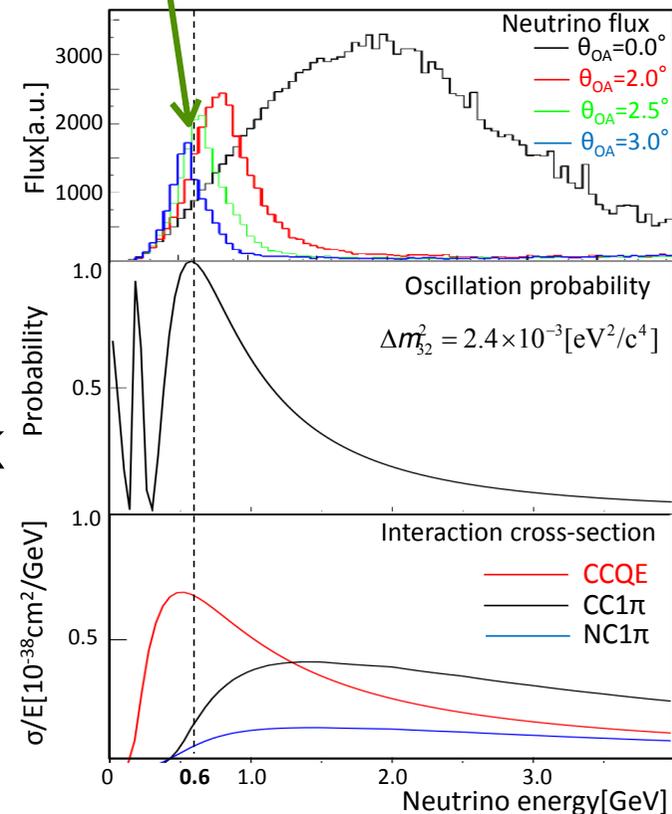
* Small beam ν_e fraction ($\sim 1\%$) from μ, K decays

* **Off-axis ν_μ beam**

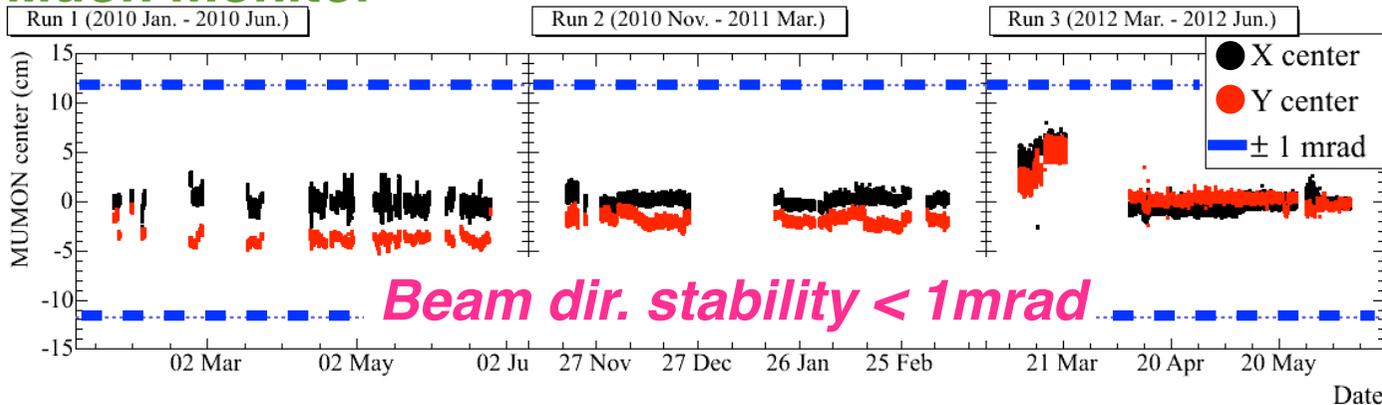
- Low energy narrow band beam
- E_ν peak around oscillation maximum ($\sim 0.6 \text{ GeV}$)
- Small high energy tail \rightarrow reduce background events in T2K (e.g. $\text{NC}1\pi^0$ is one of ν_e background)

π, K production is measured in CERN NA61 exp.

Phys.Rev.C84:034604(2011), Phys.Rev.C85:035210(2012)



Muon monitor



Beam dir. stability < 1 mrad

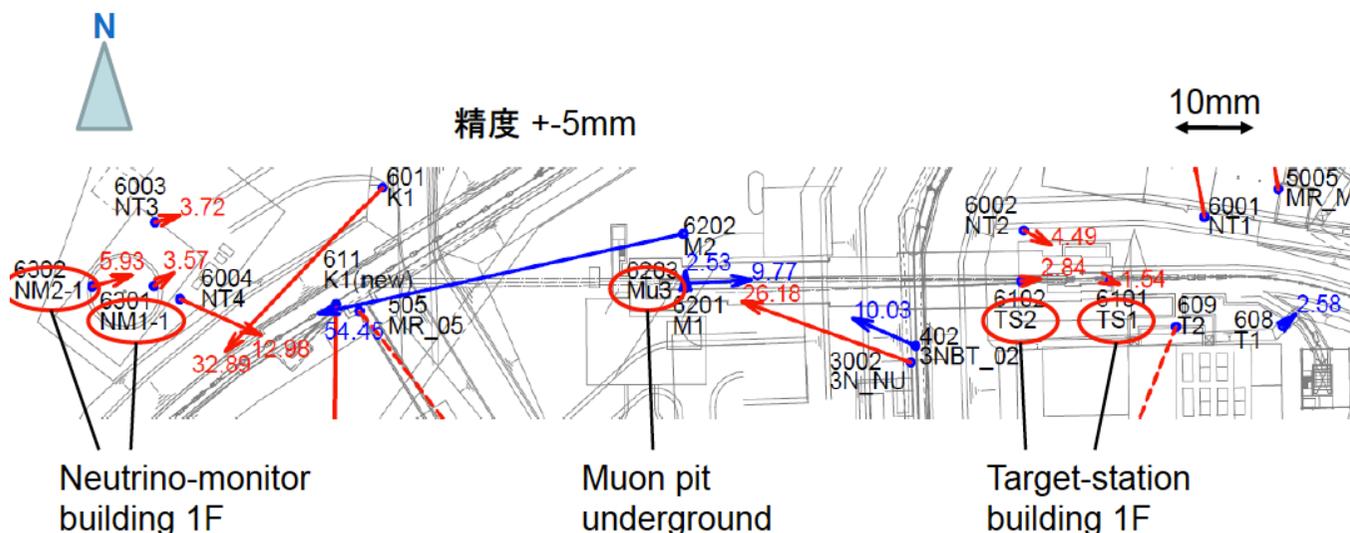
Important to keep beam direction stable

1 mrad direction shift \rightarrow $\sim 2\%$ energy shift at peak

大地震の影響

- T2K実験の場合、SKに対するビーム方向が重要！
 - ビーム方向の目標精度1mrad,
ホーン相対アライメント目標1mm
標的での陽子ビーム位置の制御目標1mm
- 神岡に対するJ-PARCの変位は、南16cm、東91cm,沈下36cm (系統誤差~30cm) ... ($\ll 0.003$ mrad)
- 二次ビームラインの大型構造物 (ターゲットステーション躯体、ディケイボリウム、ビームダンプ、ミュオンピット) の不等変位、不等沈下は ~2mm: ~0.02mrad
- ターゲットステーション内でのホーン/標的の変位 ... ホーンが大きく動く (~10mm) : 再アライメント
- 一次ビームライン : 最大~4mmの不等変位が発生 : 再アライメント

J-PARC内GPS測量によるニュートリノ ビームライン基準点の地震での変位

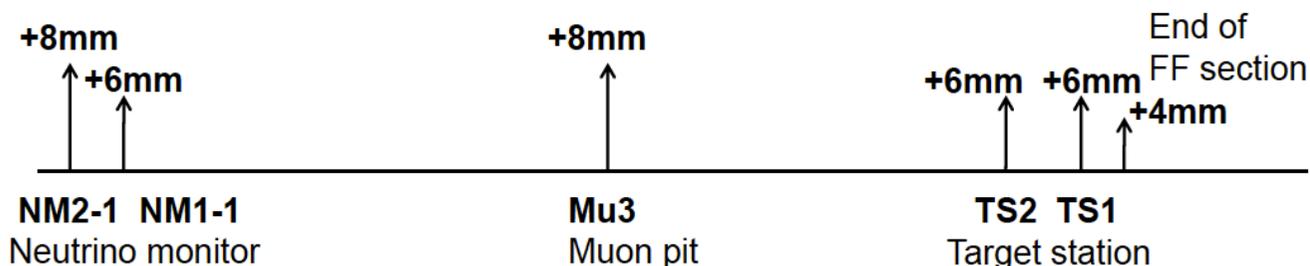


地表で沈下はあったが、
大型建造物の不等変位は
許容範囲内であった。

地震による高さ方向の変位

基準は中央制御棟近くにある B1nu

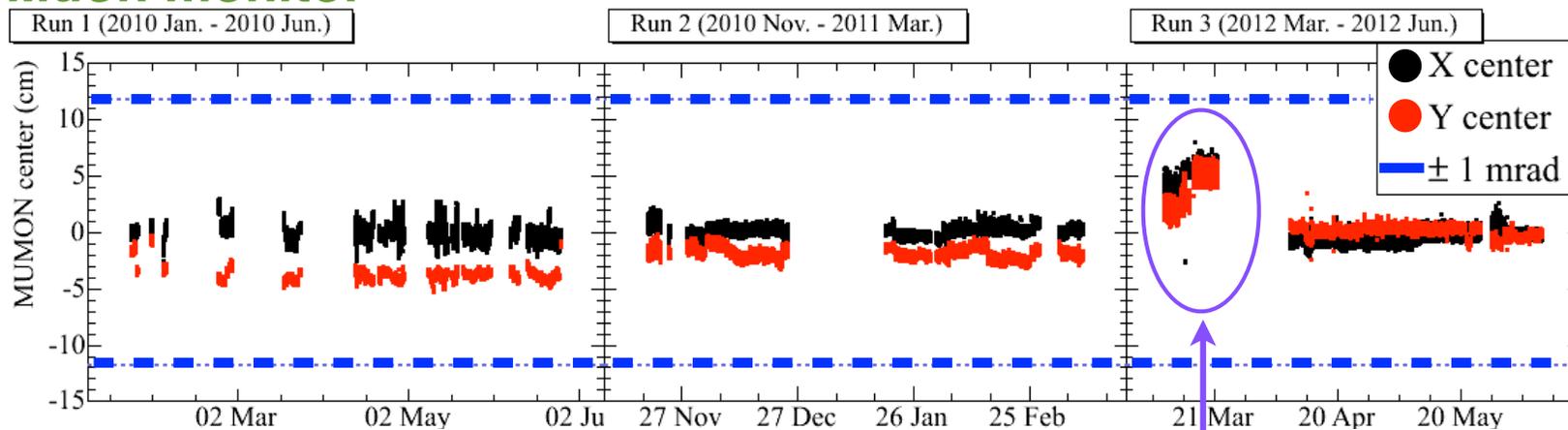
精度は約5mm以内



ビーム方向の安定性

- MRからのビームは、ビームロスを減らしてビーム強度を向上するため（もしくはトラブルをやむを得ず強度を下げるため）、随時条件（エミッタンス、チューンなど）が変わっている。
- ニュートリノビームの方向やYieldを保つために、加速器の条件が変わる度に、最終収束部の電磁石を調整し、陽子ビームが標的にあたる条件が一定になるように調整している。

Muon monitor



**Horn を200kAで運転したデータ
陽子ビームとニュートリノビームの方向が変わった！**

Near detector measurements

@280m from target

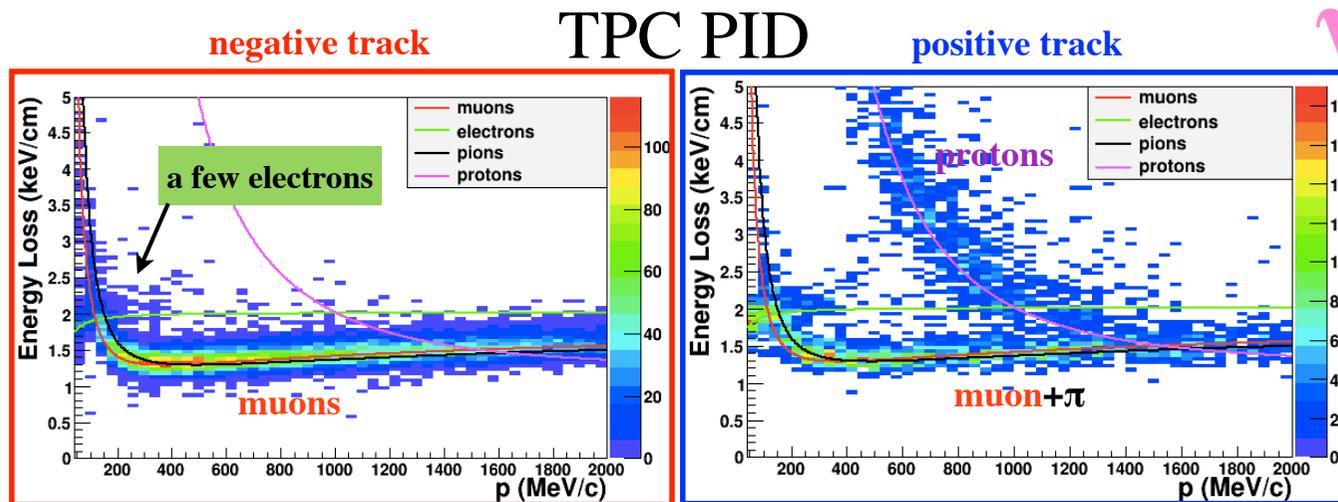
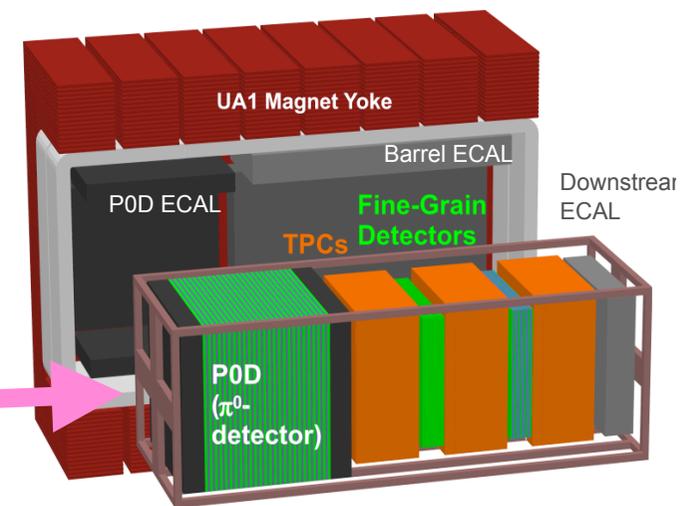
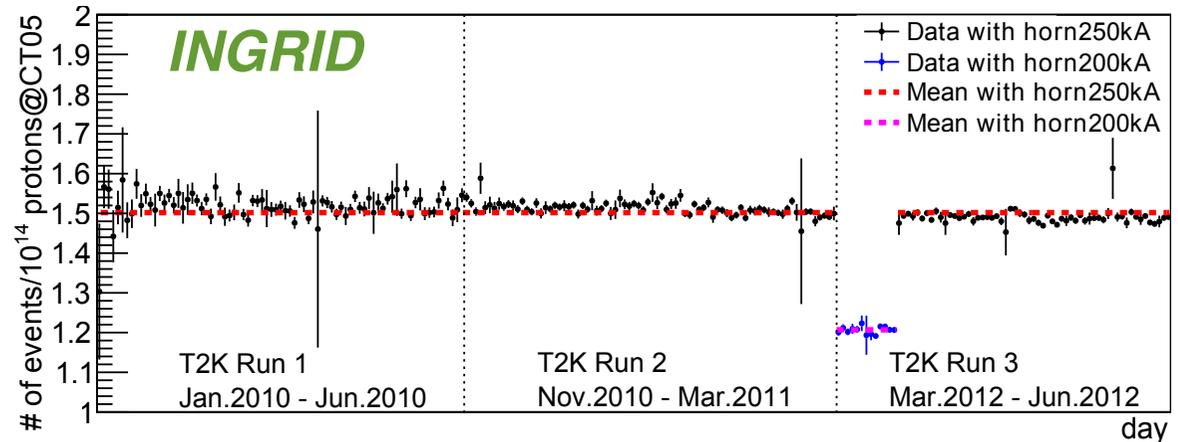
On-axis detector (INGRID)

ν beam monitor
(rate, direction and their stability)

Off-axis detector (ND280)

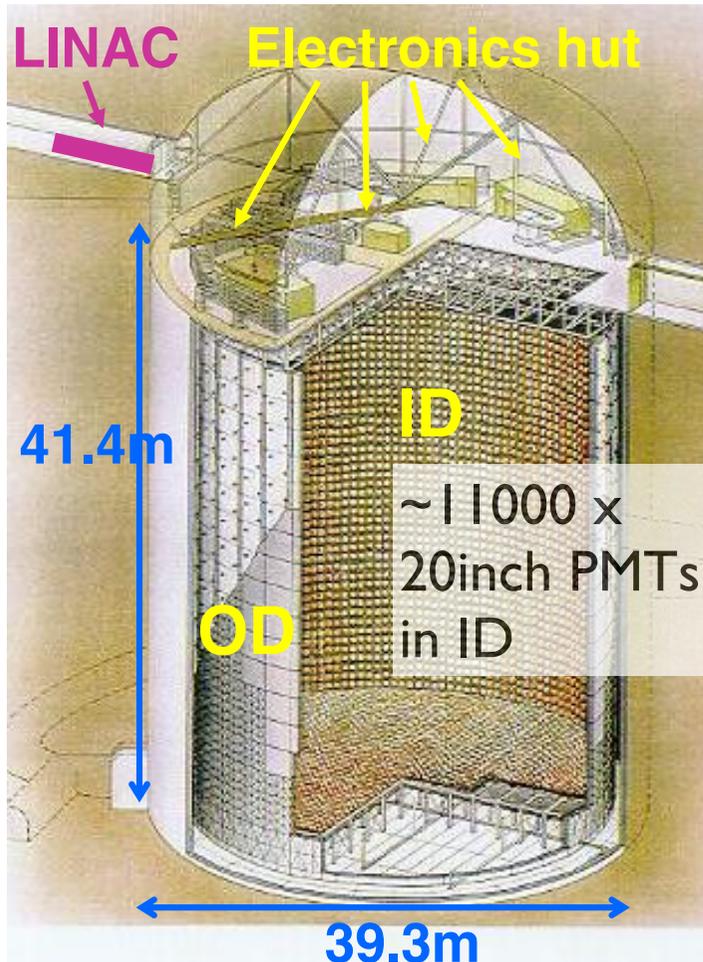
ν_μ CC event measurements is used in oscillation analysis

ν_e CC event and $N\pi^0$ event measurements are checked (background events for ν_e appearance)



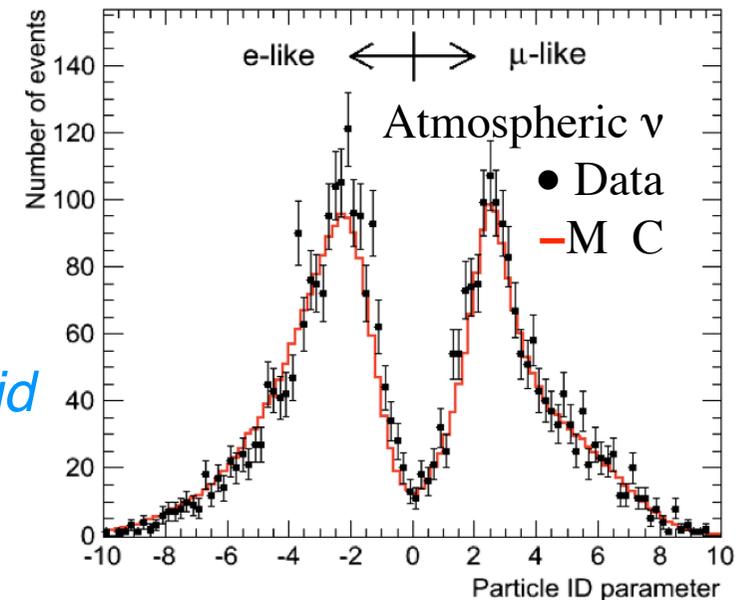
- Dipole magnet w/ 0.2T
- **POD**: π^0 Detector
- **FGD+TPC**: Target + Particle tracking
- EM calorimeter
- **Side-Muon-Range Detector**

Far detector (Super-K) measurements

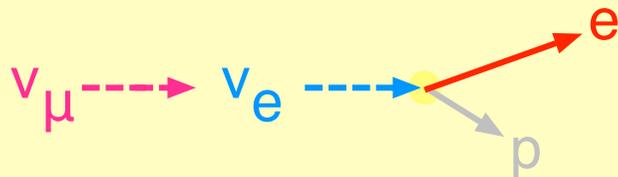


- Water Cherenkov detector w/ fiducial volume 22.5kton
- Record all the hit PMTs within $\pm 500\mu\text{sec}$ centered at the beam arrival time
- Detector performance is well-matched at sub GeV
 - Good e-like (shower ring) / μ -like separation

Probability that μ is mis-id as electron is $\sim 1\%$

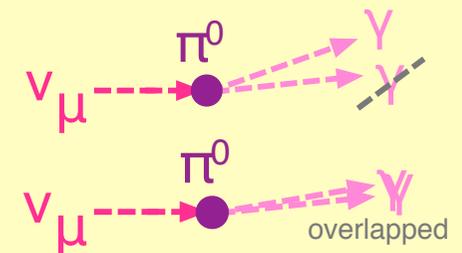


Signal: single ring electron



Background:

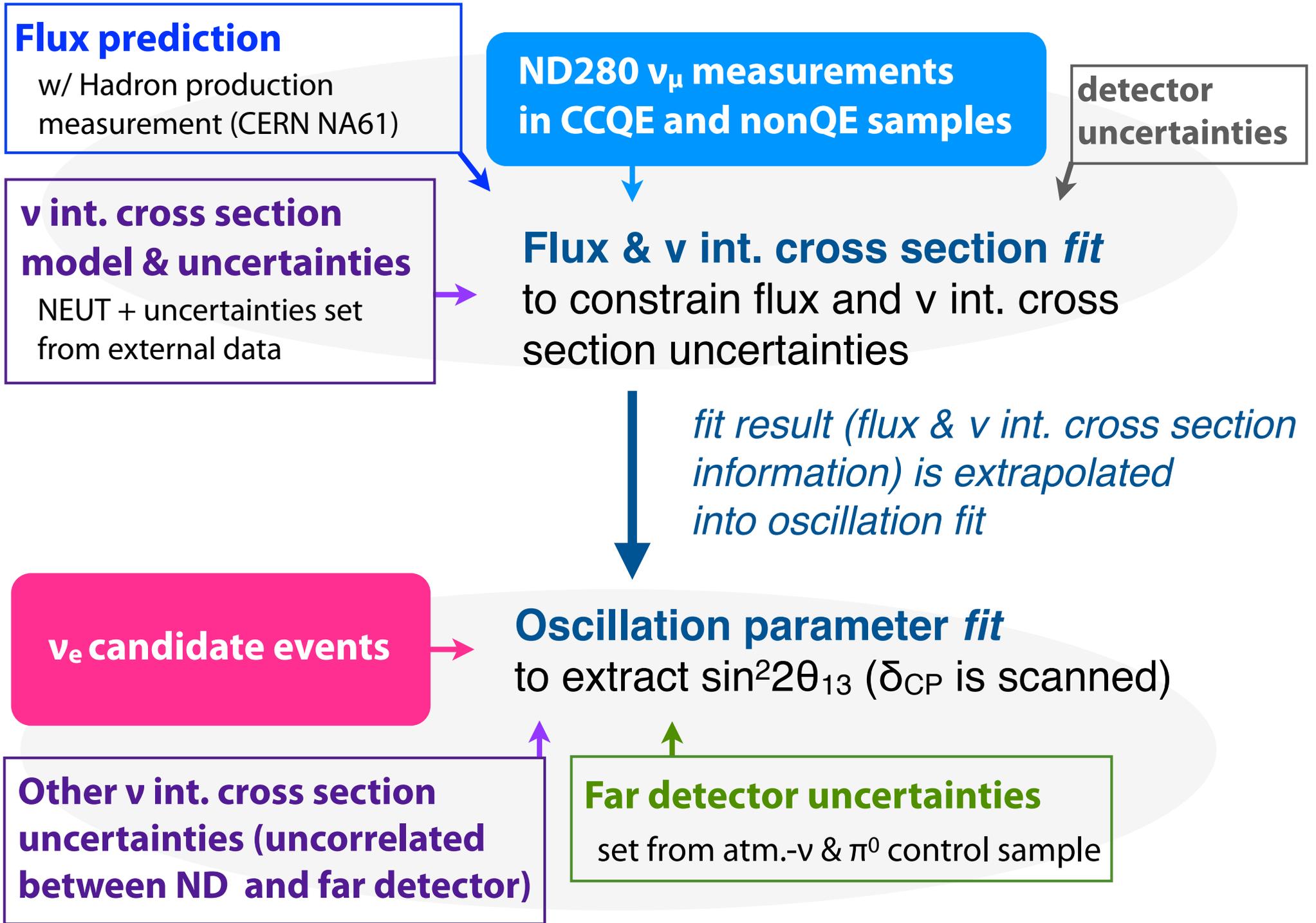
intrinsic ν_e in beam
 π^0 from NC interaction



ニュートリノ振動解析の進展

- ニュートリノフラックスの推定精度の向上 (鈴木さんの発表)
 - CERN NA61実験による標的での π , Kの生成断面積の理解が進んだ。2011年の解析で用いていた π^\pm に加え、新たに K^+ の生成断面積の測定結果の用い、Intrinsic ν_e バックグラウンドの不定性が改善
- 前置検出器の解析の進展 (池田さんの発表)
 - 2011年の解析では、 ν_μ CC反応の数によって全体のノーマリゼーションを決めるのに用いていた。2012年の解析では、 ν_μ CC反応の μ の運動量分布、角度分布からニュートリノフラックス、ニュートリノ反応の不定性を改善した。
- Far Detectorで新しい解析方法
 - 2011年の解析では信号領域の事象数のみを用いていたが、2012年の解析ではニュートリノ反応で生成された電子の運動量と方向(もしくはニュートリノのエネルギー)を用いて、Event-by-Eventに信号らしさ(BGらしさ)を評価した。

Oscillation analysis method



Flux & ν int. cross section fit w/ ND measurement

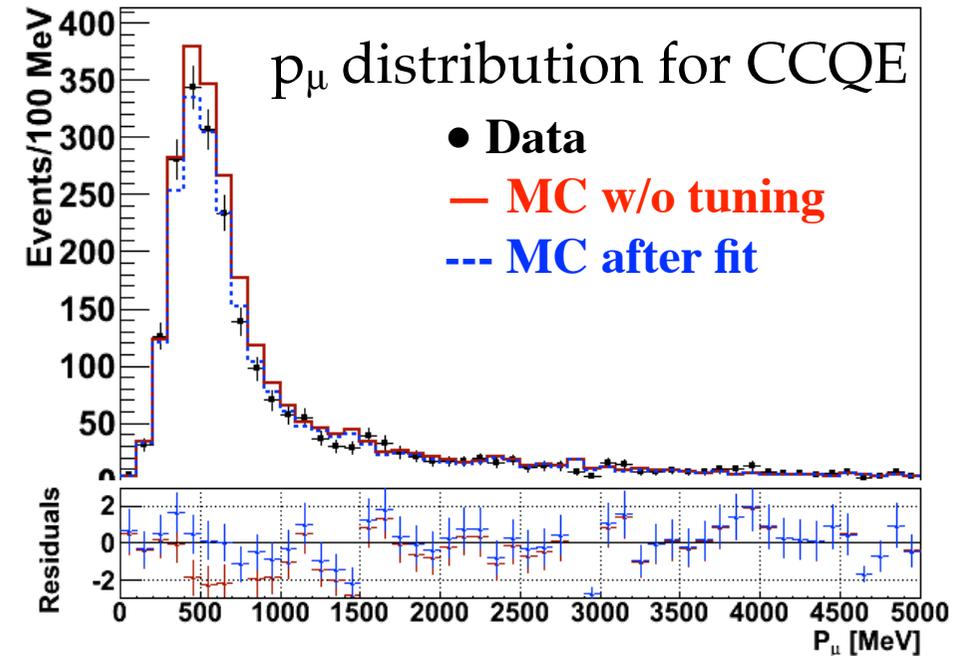
Fit (p_μ , θ_μ) distribution for CCQE and nonQE enhanced samples

- Flux energy dependent errors w/ full correlations among ν types and between detectors (ND280, SK) are taken into account in prior of the fit

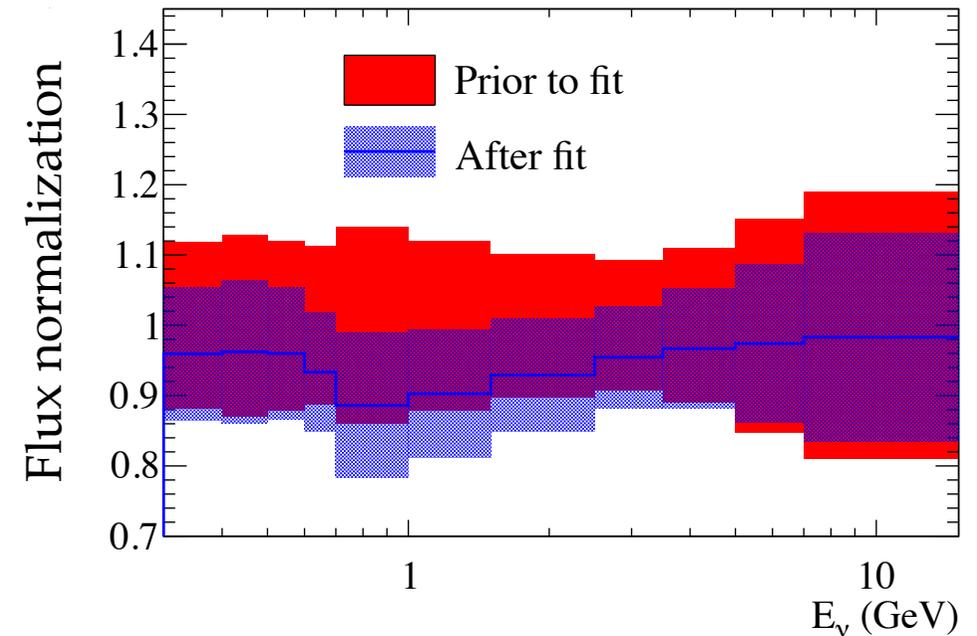
Fit results are extrapolated to the prediction at far detector

the predicted event rate is corrected based on the fit results

new constraint on the systematic errors



T2K far ν_μ flux normalization & uncertainties

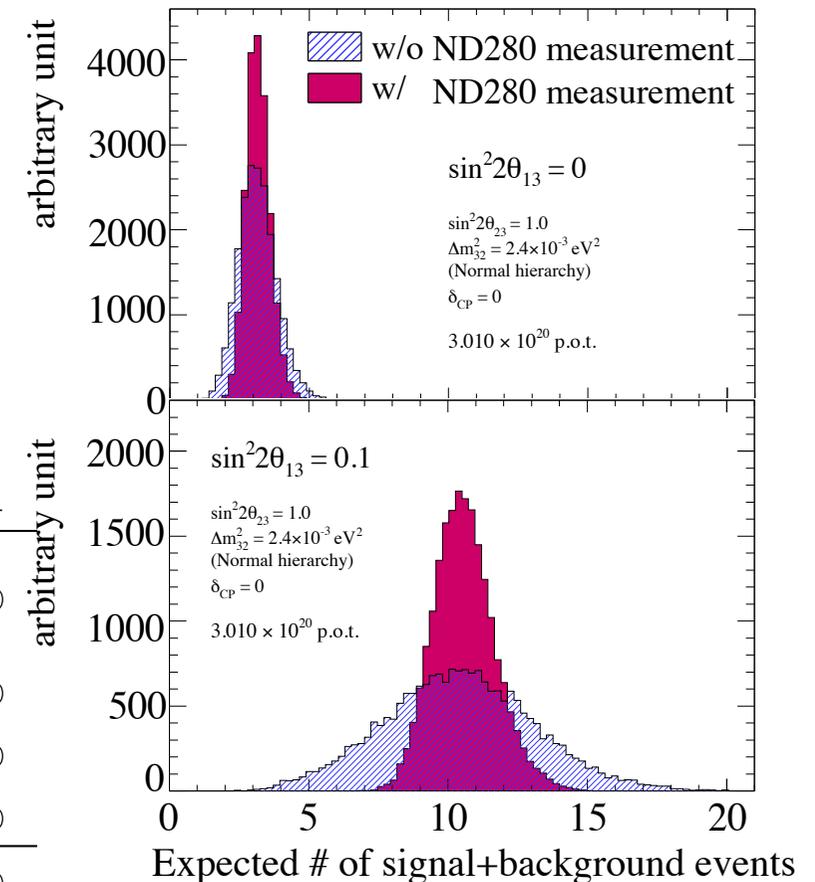


The predicted number of events and systematic uncertainties

The predicted # of events w/ 3.01×10^{20} p.o.t.

Event category	$\sin^2 2\theta_{13} = 0.0$	$\sin^2 2\theta_{13} = 0.1$
Total	3.22 ± 0.43	10.71 ± 1.10
ν_e signal	0.18	7.79
ν_e background	1.67	1.56
ν_μ background (mainly $\text{NC}\pi^0$)	1.21	1.21
$\bar{\nu}_\mu + \bar{\nu}_e$ background	0.16	0.16

the predicted # of event distribution



Systematic uncertainties

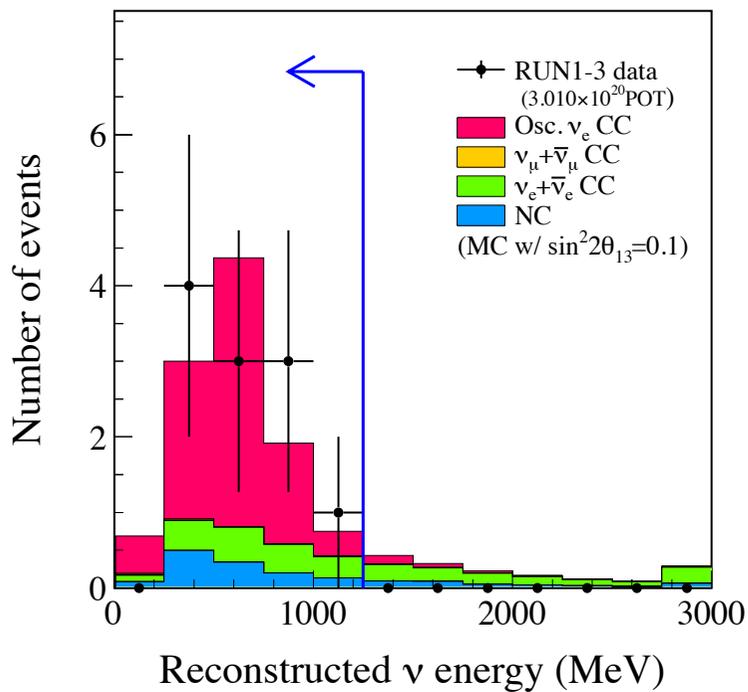
Error source	$\sin^2 2\theta_{13} = 0$	$\sin^2 2\theta_{13} = 0.1$
Beam flux+ ν int. in T2K fit	8.7 %	5.7 %
ν int. (from other exp.)	5.9 %	7.5 %
Final state interaction	3.1 %	2.4 %
Far detector	7.1 %	3.1 %
Total	13.4 %	10.3 %
(T2K 2011 results:	~23%	~18%)

big improvement from the T2K 2011 results

Uncertainties are reduced using ND280 measurement

ν_e candidate event selection

RUN 1+2+3 3.010×10^{20} POT	Data	MC Expectation w/ $\sin^2 2\theta_{13}=0.1$				
		Signal $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e$	BG total	CC ($\nu_{\mu} + \bar{\nu}_{\mu}$)	CC ($\nu_e + \bar{\nu}_e$)	NC
Fully contained FV at beam timing	174	12.35	165.47	117.33	7.67	40.48
Single ring	88	10.39	82.78	66.41	4.82	11.55
e-like	22	10.27	15.60	2.72	4.79	8.10
$E_{vis} > 100 \text{ MeV}$	21	10.04	13.53	1.76	4.75	7.01
No decay-e	16	8.63	10.09	0.33	3.76	6.00
2γ invariant mass cut	11	8.05	4.32	0.09	2.60	1.64
$E_{\nu}^{rec} < 1250 \text{ MeV}$ (MC $\sin^2 2\theta_{13}=0$ case)	11	7.81 (0.18)	2.92 (3.04)	0.06 (0.06)	1.61 (1.73)	1.25 (1.25)
Efficiency [%]		60.7	1.0	0.0	20.0	0.9



11 candidate events are observed

$$N_{\text{exp}} = 3.22 \pm 0.43 \text{ for } \sin^2 2\theta_{13} = 0$$

The probability (p-value) to observe 11 or more events with $\theta_{13}=0$ is 0.08% (3.2σ)

Evidence of ν_e appearance

Oscillation parameter fit

Performing an extended maximum likelihood fit to extract $\sin^2 2\theta_{13}$

$$\mathcal{L}(N_{obs.}, \underline{\mathbf{x}}; \underline{\mathbf{o}}, \underline{\mathbf{f}}) = \mathcal{L}_{norm}(N_{obs.}; \underline{\mathbf{o}}, \underline{\mathbf{f}}) \times \mathcal{L}_{shape}(\underline{\mathbf{x}}; \underline{\mathbf{o}}, \underline{\mathbf{f}}) \times \mathcal{L}_{syst.}(\underline{\mathbf{f}})$$

measurement
variables

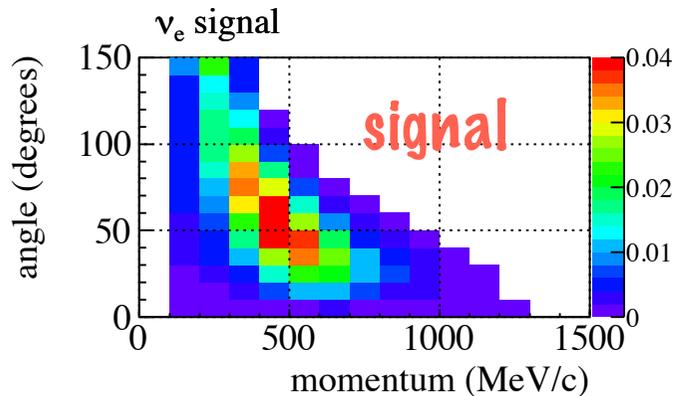
oscillation
parameter

systematic parameters
(prior: ND280 results)

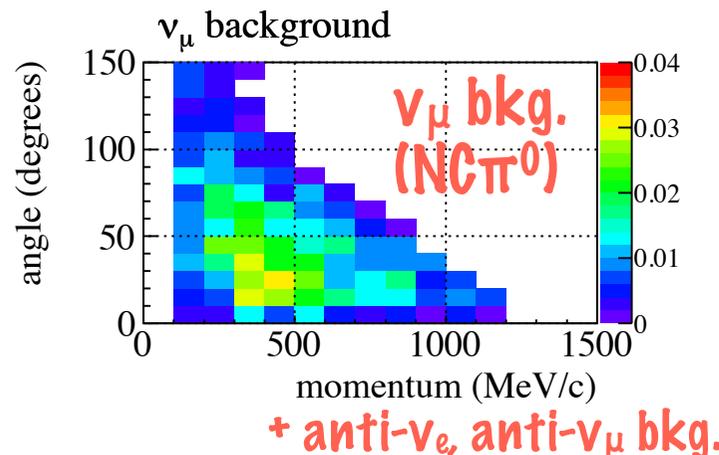
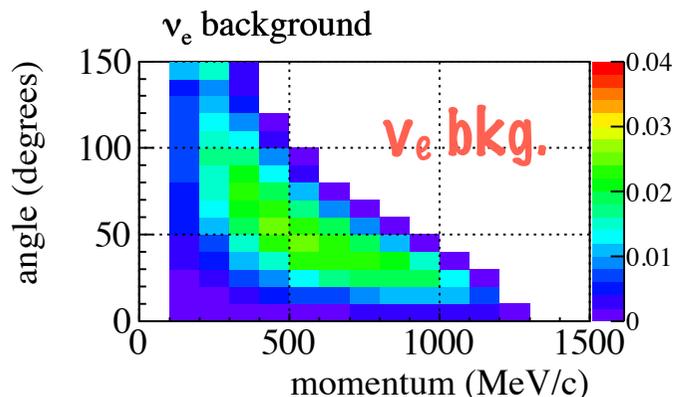
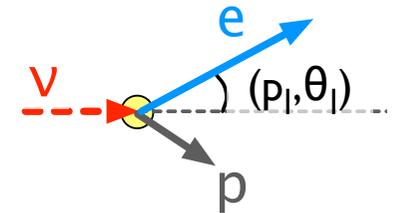
Fit data with
rate + (p_e, θ_e) shape (2 dimensional) (method1)

ν oscillation parameters fixed:

- $\Delta m_{21}^2 = 7.6 \times 10^{-5} \text{ eV}^2$
- $\Delta m_{32}^2 = \pm 2.4 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$
- $\sin^2 2\theta_{12} = 0.8704, \sin^2 2\theta_{23} = 1.0$



differences in p_e - θ_e distribution allow to have a better discrimination of signal events from backgrounds



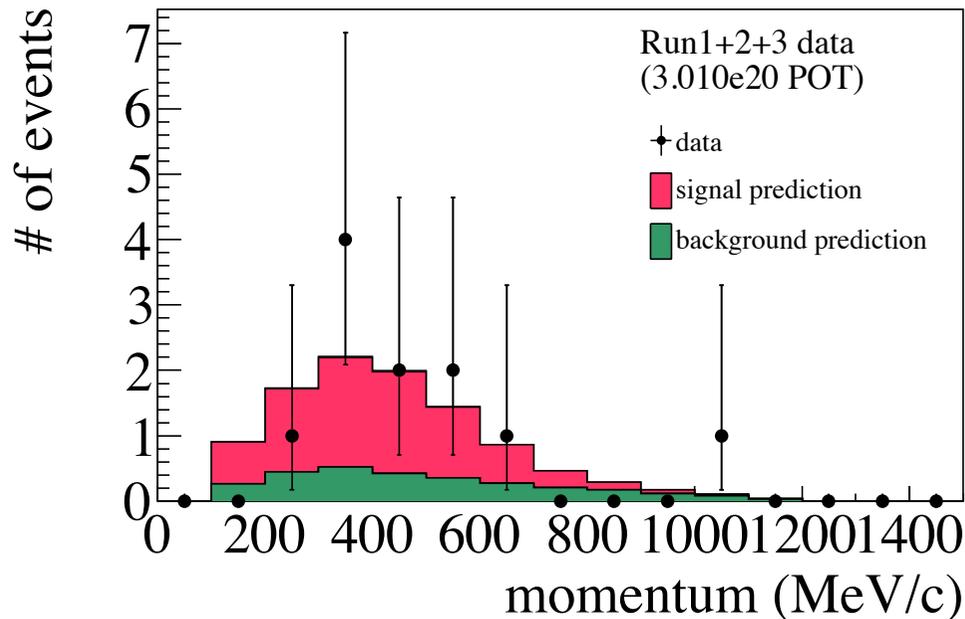
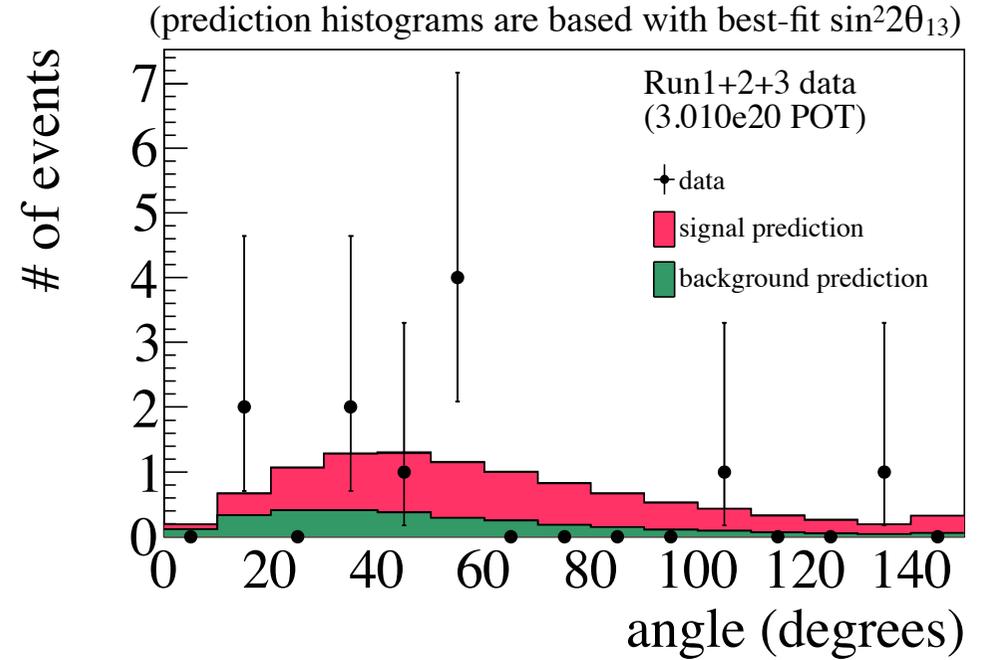
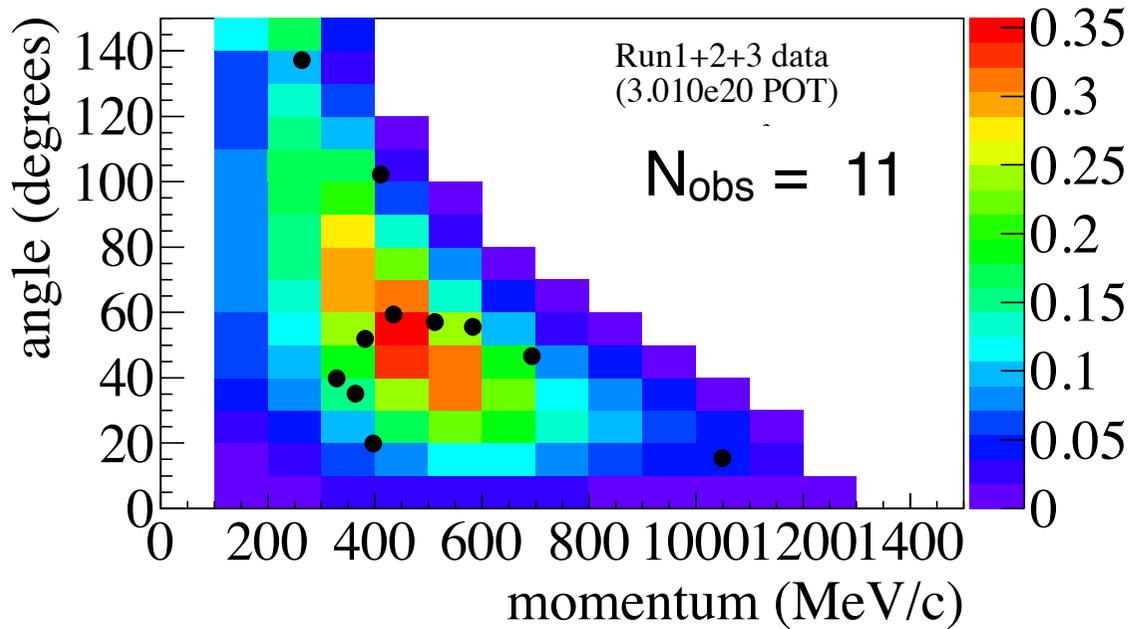
We performed
three independent fits

Method2:
Rate + reconstructed
 E_ν shape

Method3: Rate only
(Feldman & Cousins)

Results

assuming $\delta_{CP}=0$, normal hierarchy
 $|\Delta m^2_{32}|=2.4 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$, $\sin^2 2\theta_{23}=1$



preliminary

best fit w/ 68% CL error:

$$\sin^2 2\theta_{13} = 0.094^{+0.053}_{-0.040}$$

90% C.L. arrowed region:

$$0.033 < \sin^2 2\theta_{13} < 0.188$$

$N_{\text{best-fit}} = 10.18$

Results

Allowed region of $\sin^2 2\theta_{13}$ for each value of δ_{CP}

best fit w/ 68% CL error @ $\delta_{CP}=0$

normal hierarchy:

$$\sin^2 2\theta_{13} = 0.094^{+0.053}_{-0.040}$$

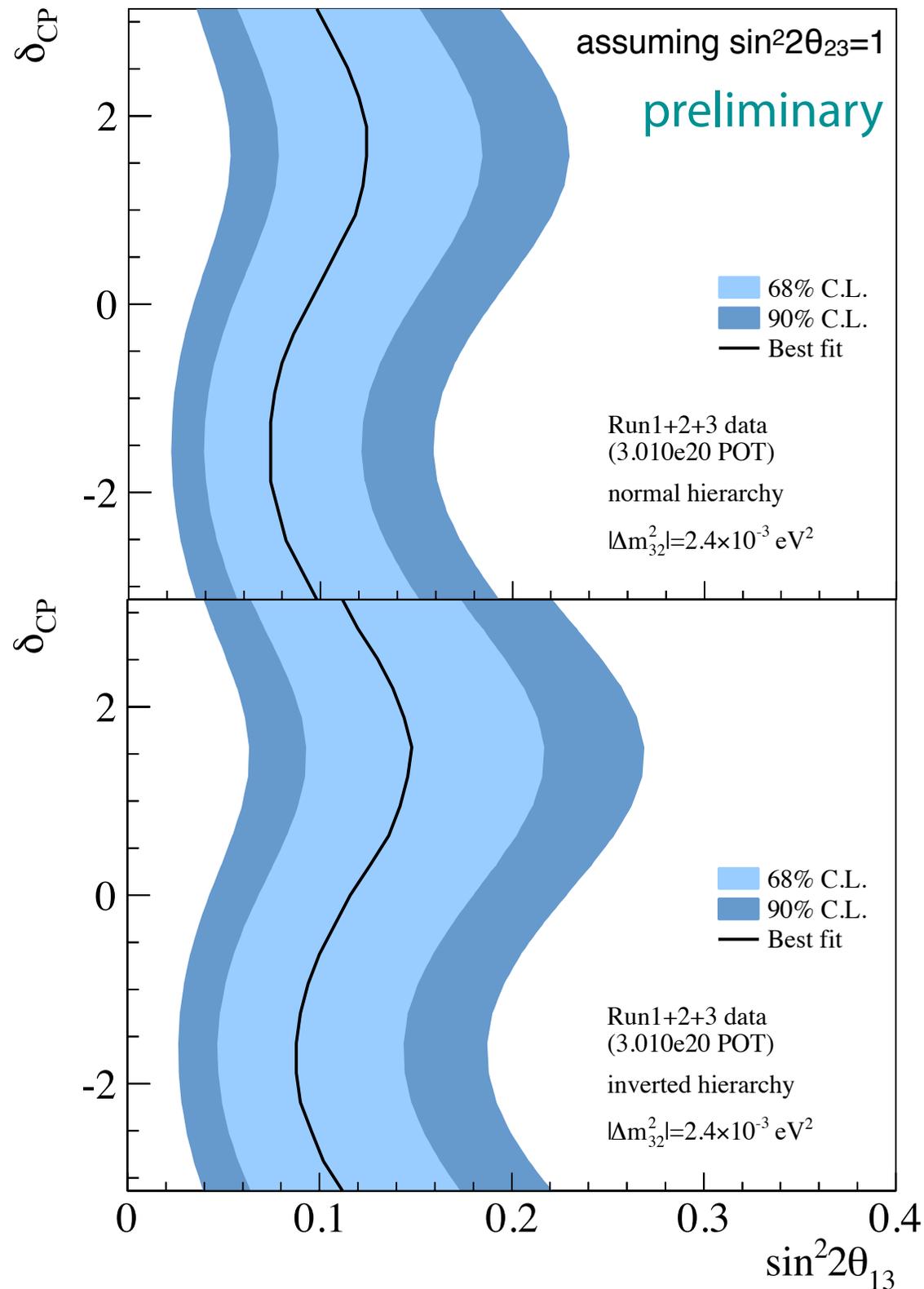
inverted hierarchy:

$$\sin^2 2\theta_{13} = 0.116^{+0.063}_{-0.049}$$

This result is consistent with rate+shape (rec. E_ν) method and rate only method

c.f 2011 result for normal (inverted) hierarchy

$$\sin^2 2\theta_{13} = 0.11^{+0.10}_{-0.06} (0.14^{+0.12}_{-0.07})$$



まとめと展望

- 2012年6月までの 3.01×10^{20} POT (~4% exposure of T2K's proposal)のデータの ν_e appearance 解析結果
 - 11 candidate events is observed
 - p-value is 0.08% (equivalent to 3.2σ) *"Evidence of ν_e appearance"*
 - $\sin^2 2\theta_{13} = 0.094^{+0.053}_{-0.040}$
for $\Delta m^2_{32} = 2.4 \times 10^{-3} \text{ eV}^2(\text{NH})$, $\delta_{\text{CP}}=0$, $\sin^2 2\theta_{23}=1$
- 今後、より大強度でのビーム運転を継続し、 ν_e appearance の確立(5σ)、精密測定を行っていく。
 - $\sim 8 \times 10^{20}$ p.o.t (2013) \rightarrow $\sim 1.2 \times 10^{21}$ p.o.t (2014) \rightarrow $\sim 1.8 \times 10^{21}$ p.o.t. (2015)
- 全データを用いた ν_μ disappearance の解析も進行中。