

高エネルギー物理学研究室 ニュートリノグループ

池田一得

2012/3/12

教室発表会

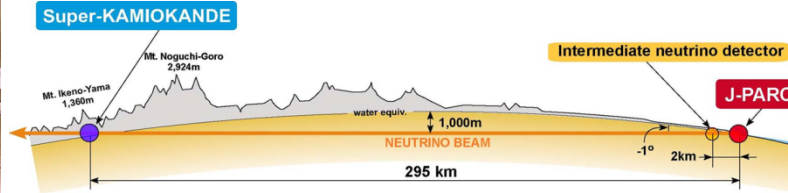
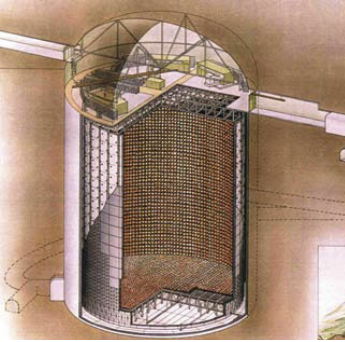
もくじ

- ニュートリノグループ
- T2K実験
 - 2011年のT2K実験結果
 - T2Kのどこを貢献したか
 - T2Kの目標達成のために
- 将来計画のための研究
- まとめ

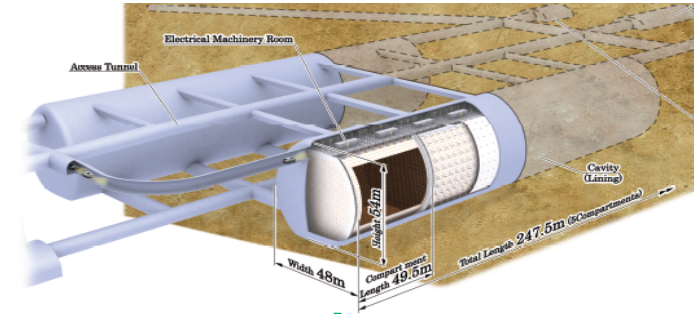


NEUTRINO2012@Kyoto

ニュートリノグループの研究課題



T2K実験



Hyper-K(Hyper-T2K?)計画

Super-K実験

ニュートリノ振動
パラメータ精密測定

ニュートリノCP測定

どうしてそのような質量差なのか？
どうしてそのような混合角になったのか？
質量階層は？CPの破れは？
ニュートリノ質量の起源は？

(陽子崩壊)

解明

標準理論を超えた
新しい物理の構築

宇宙の物質>>反物質

他の実験結果

四つの力の統一

ニュートリノ質量
マヨラナニュートリノ



CdTe実験

5mm角CdTe検出器

ニュートリノG、チーム京大:メンバー

スタッフ 3人 **ポスドク 3人** 博士課程 8人 修士課程 4人

T2K

SK

HK

CdTe

中家 南野 **池田** 黄

市川

合田

クリストフ

木河

平木

久保 大谷 家城 村上

山内

鈴木 高橋

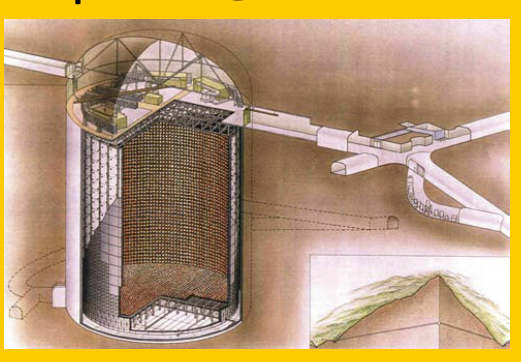
フィリップ **長崎**

T2Kを中心に、新しい計画のR&Dも勢力的にやっています。

T2K実験

T2K: 東海to神岡ニュートリノ振動実験

Super-K@Kamioka



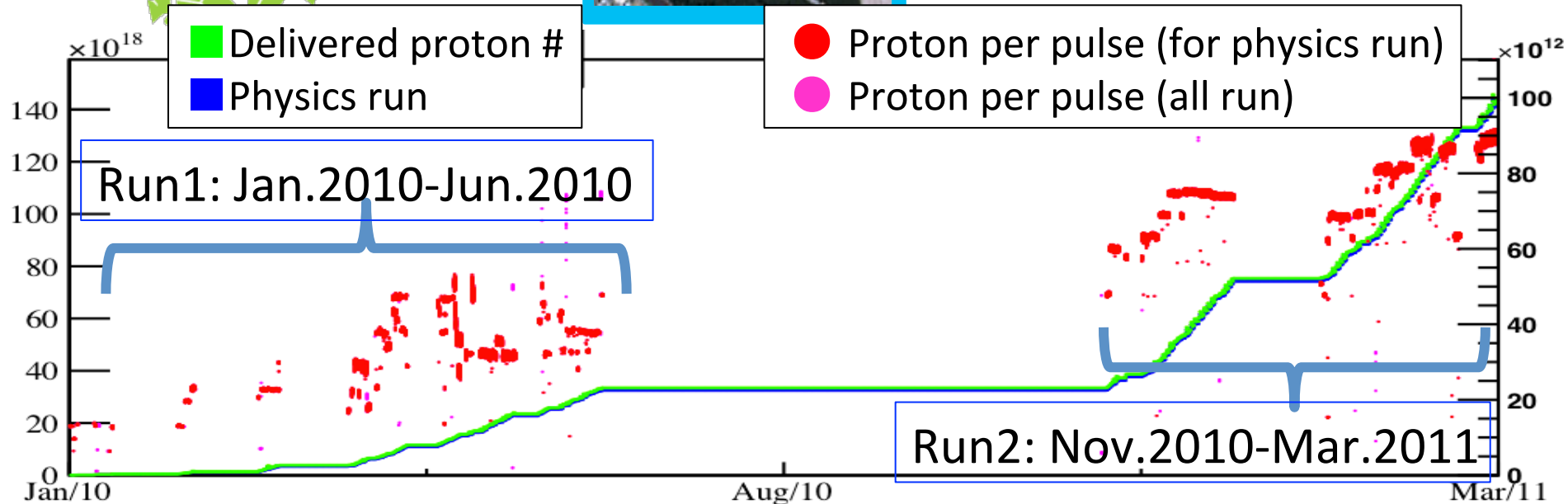
J-PARC
@Tokai



295km

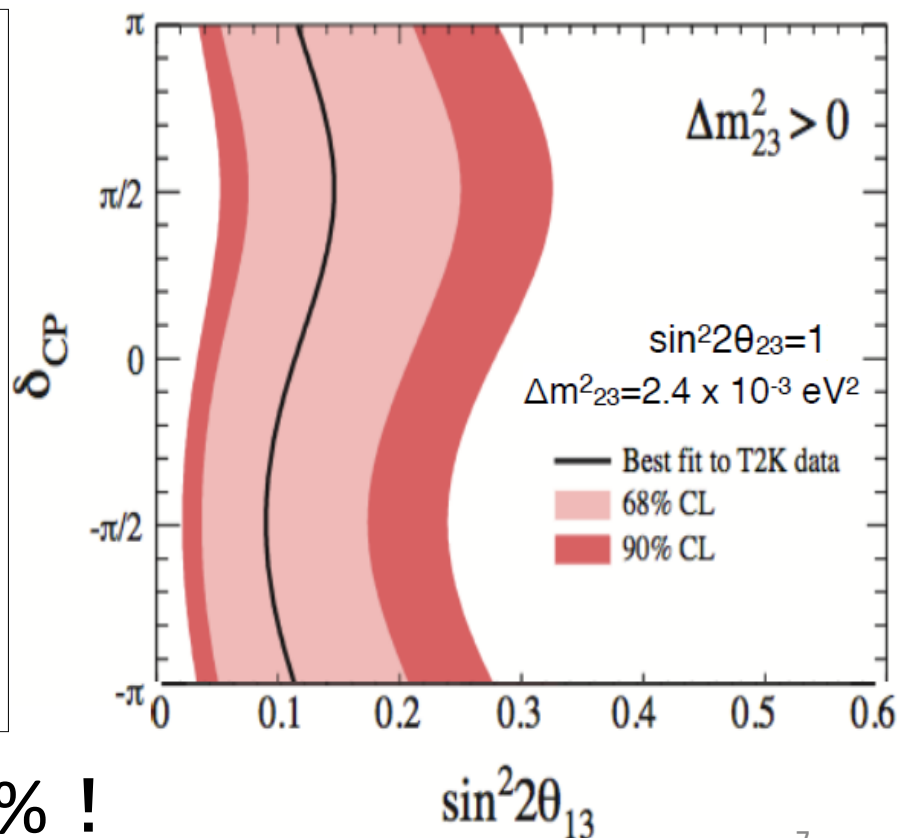
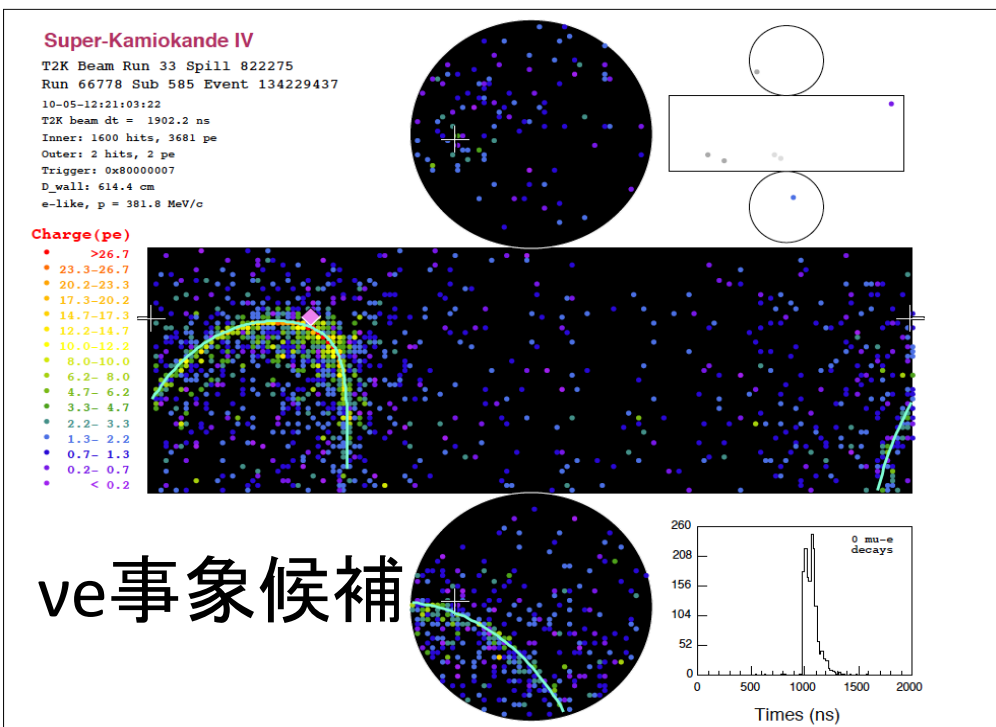
- 大強度加速器
- J-PARC加速器**
- 大体積水チェレンコフ検出器

Super-K(SK)検出器



2011年のT2K実験結果

	Data	期待値 ($\theta_{23}=45^\circ$, $\theta_{13}=0$)	期待値 (振動なし)
ν_μ - 消失 (θ_{23})	31	28.4 ± 4.3	104 ± 14
ν_e - 出現 (θ_{13})	6	1.5 ± 0.3 (BG)	-



• $\theta_{13} \neq 0$ である確率は0.7% !

θ_{13} 探索の現状

- 2011年以前 $\theta_{13} < 12^\circ @ 90\% \text{C.L.}$
- 2011年6月 T2K(ν_e 出現) $\theta_{13} \neq 0$ with 2.5σ
best fit value : $\sin^2 2\vartheta_{13} = 0.11$
- 2011年7月 MINOS(ν_e 出現) $\theta_{13} \neq 0$ with 1.7σ
best fit value : $\sin^2 2\vartheta_{13} = 0.041$
- 2011年12月 DoubleChooz($\bar{\nu}_e$ 消失) $\theta_{13} \neq 0$ with 1.7σ
best fit value : $\sin^2 2\vartheta_{13} = 0.086$
- **2012年での発見をめざす！**

と、ここまではよかったけれど、、

2012年3月8日

L3

L4

AD3 Ling Ao-II NPP

Observation of electron-antineutrino disappearance at Daya Bay

F. P. An,¹ J. Z. Bai,¹ A. B. Balantekin,² H. R. Band,² D. Beavis,³ W. Beriguete,³ M. Bishai,³ S. Blyth,⁴ R. L. Brown,³ G. F. Cao,¹ J. Cao,¹ R. Carr,⁵ W. T. Chan,³ J. F. Chang,¹ Y. Chang,⁴ C. Chasman,³ H. S. Chen,¹ H. Y. Chen,⁶ S. J. Chen,⁷ S. M. Chen,⁸ X. C. Chen,⁹ X. H. Chen,¹ X. S. Chen,¹ Y. Chen,¹⁰ Y. X. Chen,¹¹ J. J. Cherwinka,² M. C. Chu,⁹ J. P. Cummings,¹² Z. Y. Deng,¹ Y. Y. Ding,¹ M. V. Diwan,³ L. Dong,¹ E. Draeger,¹³ X. F. Du,¹ D. A. Dwyer,⁵ W. R. Edwards,¹⁴ S. R. Ely,¹⁵ S. D. Fang,⁷ J. Y. Fu,¹ Z. W. Fu,⁷ L. Q. Ge,¹⁶ V. Ghazikhanian,¹⁷ R. L. Gill,³ J. Goett,¹⁸ M. Gonchar,¹⁹ G. H. Gong,⁸ H. Gong,⁸ Y. A. Gornushkin,¹⁹ L. S. Greenler,² W. Q. Gu,²⁰ M. Y. Guan,¹ X. H. Guo,²¹ R. W. Hackenburg,³ R. L. Hahn,³ S. Hans,³ M. He,¹ Q. He,²² W. S. He,²³ K. M. Heeger,² Y. K. Heng,¹ P. Hinrichs,² T. H. Ho,²³ Y. K. Hor,²⁴ Y. B. Hsiung,²³ B. Z. Hu,⁶ T. Hu,¹ T. Hu,²¹ H. X. Huang,²⁵ H. Z. Huang,¹⁷ P. W. Huang,⁷ X. Huang,²⁶ X. T. Huang,²⁷ P. Huber,²⁴ Z. Ivan,³ D. E. Jaffe,³ S. Jetter,¹ X. L. Ji,¹ X. P. Ji,²⁸ H. J. Jiang,¹⁶ W. Q. Jiang,¹ J. B. Jiao,²⁷ R. A. Johnson,²⁹ L. Kang,³⁰ S. H. Kettell,³ M. Kramer,^{14,31} K. L. Lebanowski,²⁶ J. Lee,¹⁴ M. K. G. S. Li,²⁰ J. Li,¹ Q. J. Li,¹ S. F. Li,³⁴ H. Liang,³⁵ J. Liang,¹ C. J. Lin,¹⁴ G. L. Lin,⁶ S. K. Lin,²⁶ S. X. Lin,³⁰ Y. C. Lin,^{16,9,32,8} J. J. Ling,³ J. M. Link,²⁴ L. Littenberg,³ B. R. Littlejohn,² B. J. Liu,^{9,1,32} C. Liu,¹ D. W. Liu,¹⁵ H. Liu,³² J. C. Liu,¹ J. L. Liu,²⁰ S. Liu,¹⁴ X. Liu,^{1,*} Y. B. Liu,¹ C. Lu,²² H. Q. Lu,¹ A. Luk,⁹ K. B. Luk,^{14,31} T. Luo,¹ X. L. Luo,¹ L. H. Ma,¹ Q. M. Ma,¹ X. B. Ma,¹¹ X. Y. Ma,¹ Y. O. Ma,¹ B. Mayes,²⁶ K. T. McDonald,²² M. C. McFarlane,² R. D. McKeown,^{5,36} Y. Meng,²⁴ D. Mohapatra,²⁴ J. E. Morgan,²⁴ Y. Nakajima,¹⁴ J. Napolitano,¹⁸ D. Naumov,¹⁹ I. Nemchenok,¹⁹ C. Newsom,²⁶ H. Y. Ngai,³² W. K. Ngai,¹⁵ Y. B. Nie,²⁵ Z. Ning,¹ J. P. Ochoa-Ricoux,¹⁴ A. Olshevski,¹⁹ A. Pagac,² S. Patton,¹⁴ C. Pearson,³ V. Pec,³³ J. C. Peng,¹⁵ L. E. Piilonen,²⁴ L. Pinsky,²⁶ C. S. J. Pun,³² F. Z. Qi,¹ M. Qi,⁷ X. Qian,⁵ N. Raper,¹⁸ R. Rosero,³ B. Roskovec,³³ X. C. Ruan,²⁵ B. Seilhan,¹³ B. B. Shao,⁸ K. Shih,⁹ H. Steiner,^{14,31} P. Stoler,¹⁸ G. X. Sun,¹ J. L. Sun,³⁷ Y. H. Tam,³ H. K. Tanaka,³ X. Tang,¹ H. Themann,³ Y. Torun,¹³ S. Trentalange,¹⁷ O. Tsai,¹⁷ K. V. Tsang,¹⁴ R. H. M. Tsang,⁵ C. Tull,¹⁴ B. Viren,³ S. Virostek,¹⁴ V. Vorobel,³³ C. H. Wang,⁴ L. S. Wang,¹ L. Y. Wang,¹ L. Z. Wang,¹¹ M. Wang,^{27,1} N. Y. Wang,²¹ R. G. Wang,¹ T. Wang,¹ W. Wang,^{36,5} X. Wang,⁸ X. Wang,¹ Y. F. Wang,¹ Z. Wang,^{8,3} Z. Wang,¹ Z. M. Wang,¹ D. M. Webber,² Y. D. Wei,³⁰ L. J. Wen,¹

京大高エネOBの活躍

0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4 1.6 1.8 2

Weighted Baseline [km]

2011年のT2K実験結果 京都高エネ研の貢献

今回の結果が出るまで、の概要

ニュートリノを作る

J-PARC

ニュートリノ
フラックス・
スペクトル予想

振動後のニュートリノフラックス・スペクトル測定。
予想と比較する。

SK

振動前の
ニュートリノフラックス・スペクトル
ニュートリノ方向の測定。

振動前の測定、ニュートリノ振動、
測定誤差を考慮して、SKでの事
象数を予想する。

今回の結果が出るまで、の概要

ニュートリノを作る

市川・久保
村上・鈴木

振動後のニュートリノフラックス・スペクトル測定。
予想と比較する。

J-PARC

ニュートリノ
フラックス
スペク

南野・大谷

中家

SK

振動前の
ニュートリノフラックス・スペクトル
ニュートリノ方向の測定。

振動前の測定、ニュートリノ振動、
測定誤差を考慮して、SKでの事
象数を予想する。

南野・フィリップ・クリストフ・
池田・大谷・家城・村上・木河

南野・大谷

今回の結果が出るまで、の概要

ニュートリノを作る

市川・久保
村上・鈴木

振動後のニュートリノフラックス・スペクトル測定。
予想と比較する。

J-PARC

ニュートリノ
フラックス

南野・大谷

**本研究室が中心的な役目をはたして
最初の結果を出した！**

振動前の
ニュートリノフラックス・スペクトル
ニュートリノ方向の測定。

南野・フィリップ・クリストフ・
池田・大谷・家城・村上・木河

振動前の測定、ニュートリノ振動、
測定誤差を考慮して、SKでの事
象数を予想する。

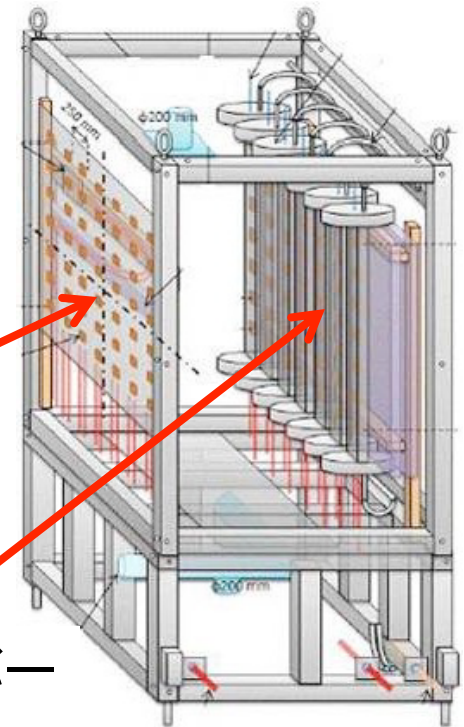
南野・大谷

ミューオンモニタ : MUMON

- ・**スピル毎**に
ビーム μ をモニタ
- ・全期間で
 **$\pm 1\text{mrad}$ 以内で
中心値が安定
していることを
確認した。**



Si Pin フोटダイオード イオンチェンバー



Muon beam center position by **MUMON**



X profile center
Y profile center

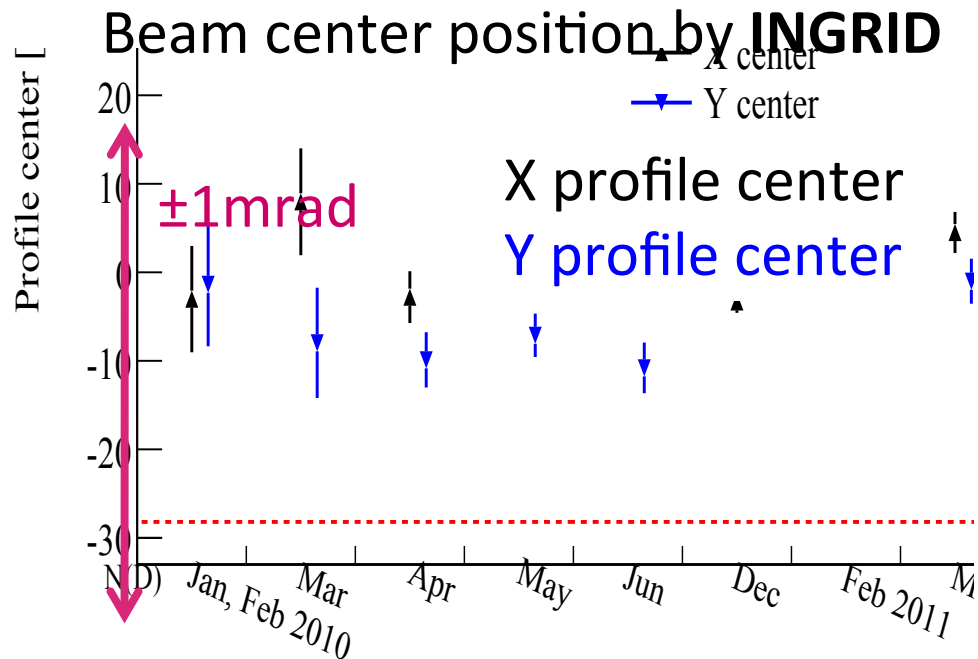
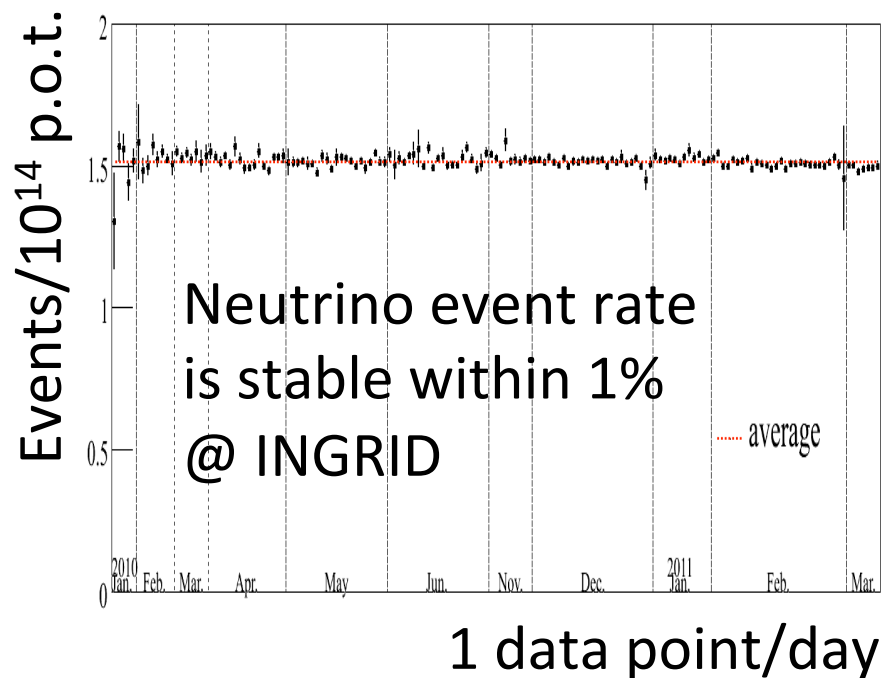
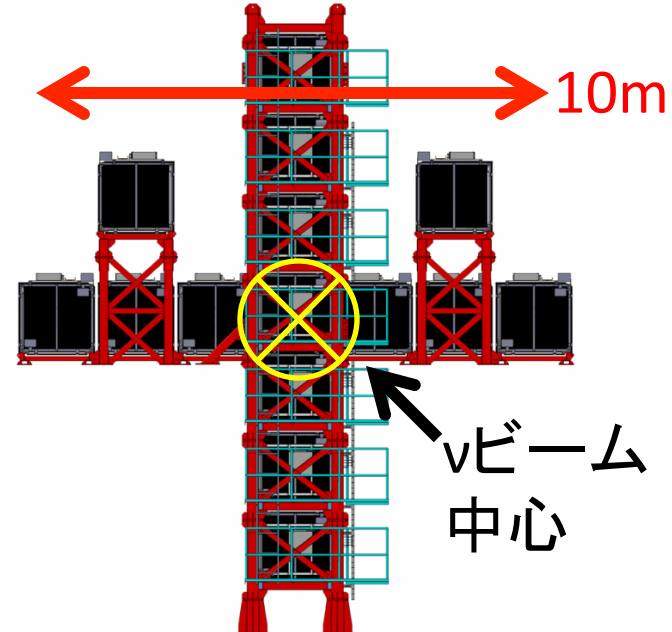
2010 January

2011 March

1mrad change makes the peak of ν spectrum by 2-3%(=error on Δm^2)

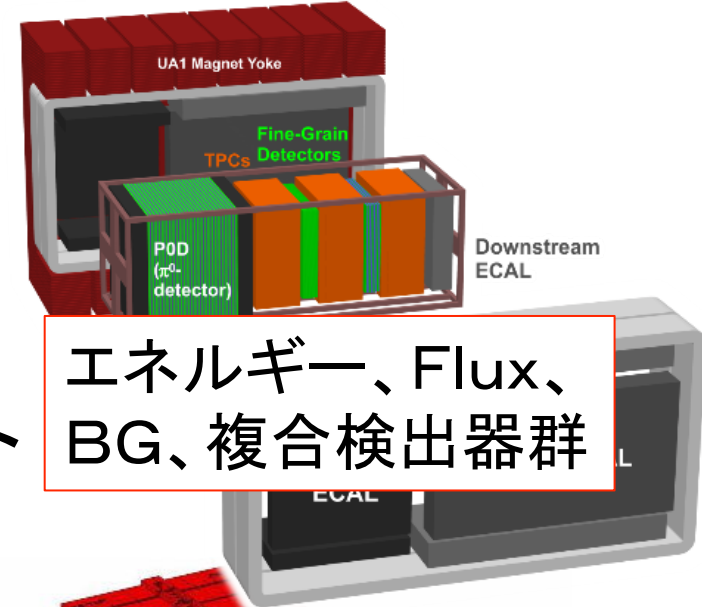
INGRID(鉄とシンチのサンドイッチ)

- 全期間にわたって以下を測定
ニュートリノイベントレート(日毎)
ニュートリノビーム中心(月毎)
- イベントレートは1%以内
ビーム中心は1mrad以内で安定

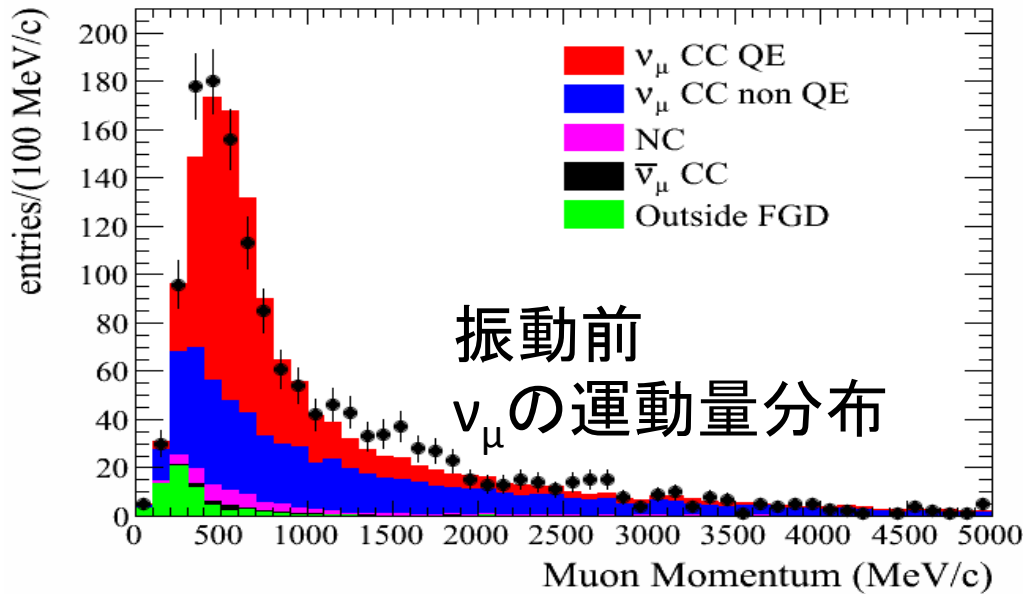


ND280(前置検出器)

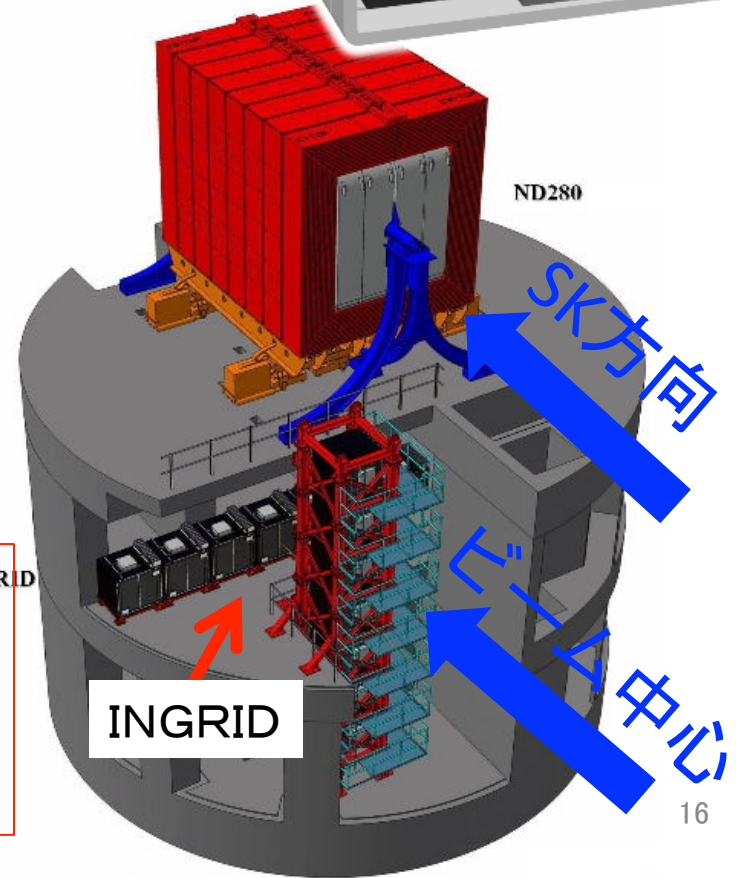
- ND280全体の運転責任者
 - 安定したデータ取得
- FineGrainDetectorエキスパート



エネルギー、Flux、BG、複合検出器群

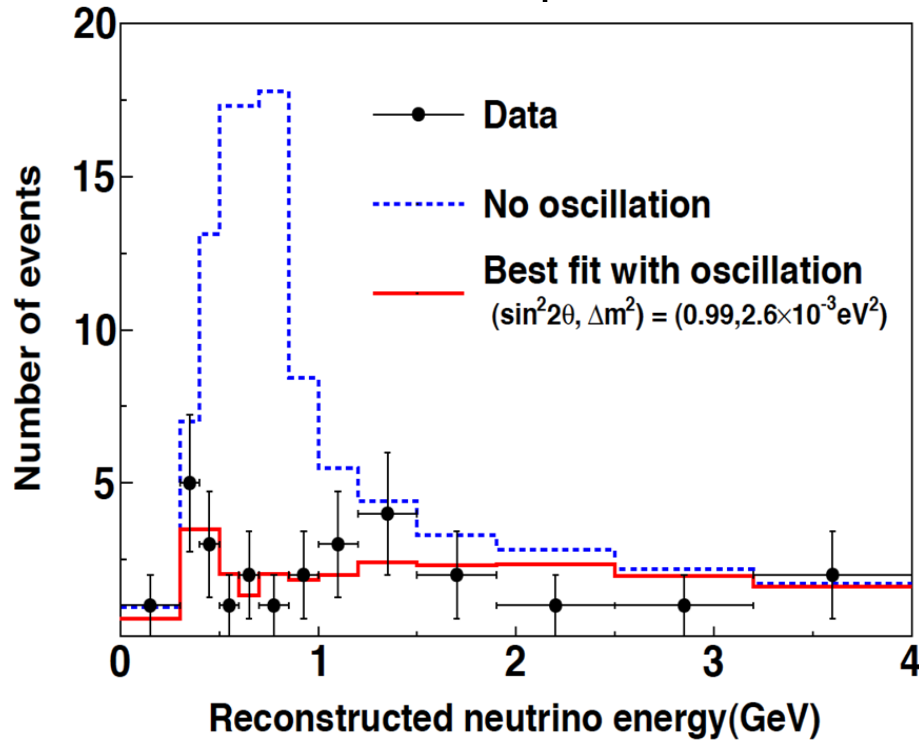


$Data/MC = 1.036 \pm 0.028(\text{stat.})$
 $+0.044 - 0.037(\text{syst.}) \pm 0.038(\text{phys.})$

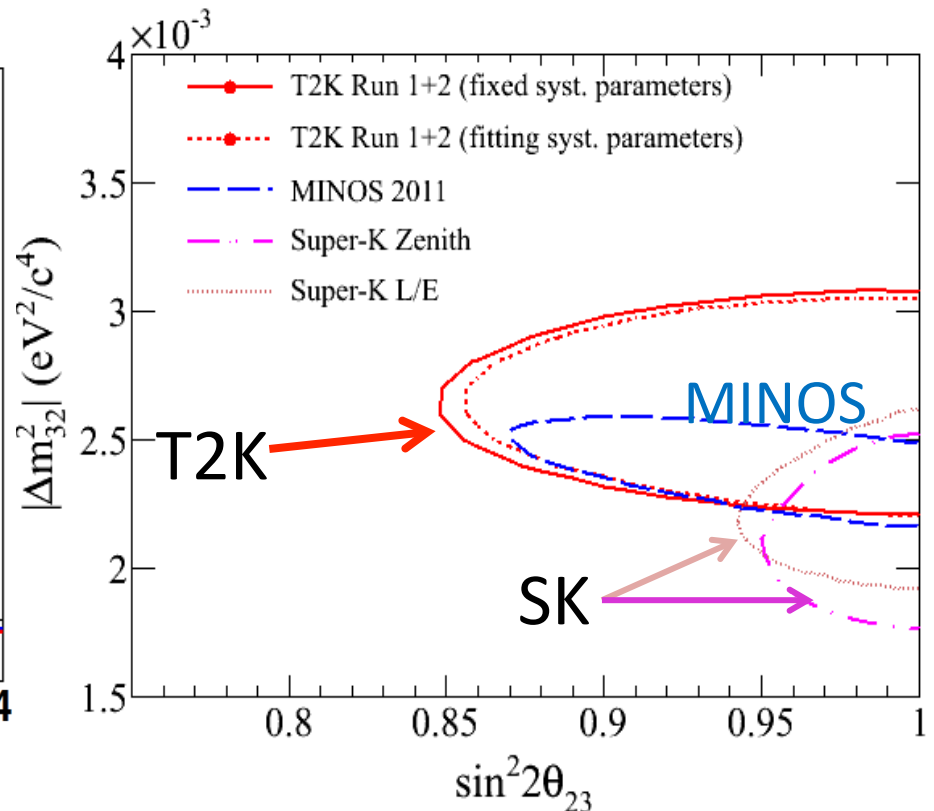


SK解析および振動解析

- SK解析: 系統誤差の見積もり
- 振動解析: ν_μ 消失振動



4 σ 以上の有意性で ν_μ 消失振動を確認

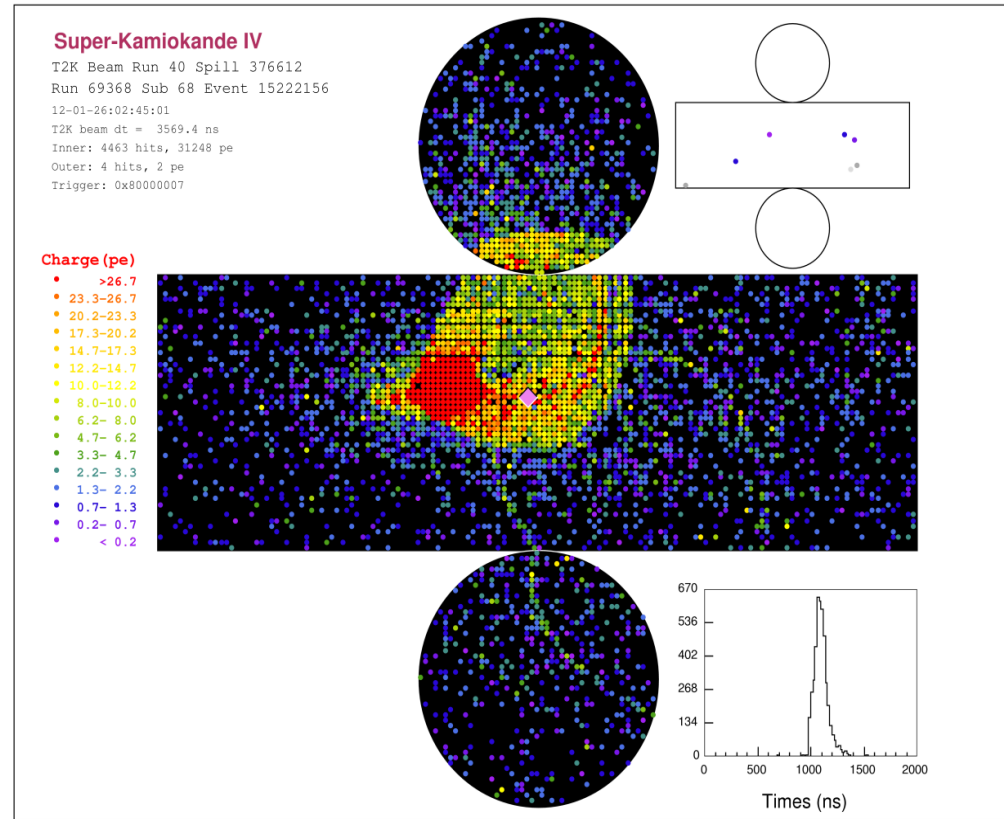


MINOS, SKの結果に迫る勢い。
~1%の精度での測定を目指す。

Phys. Rev. D 85, 031103(2012)

T2K実験、再稼働！！

- 震災で一時停止
- 全員総出で復興作業
- 昨年12月末から
加速器再稼働
- 3月から
物理データ取得開始



1月に観測された震災後初のT2Kニュートリノ事象

T2Kの目標達成に向けて

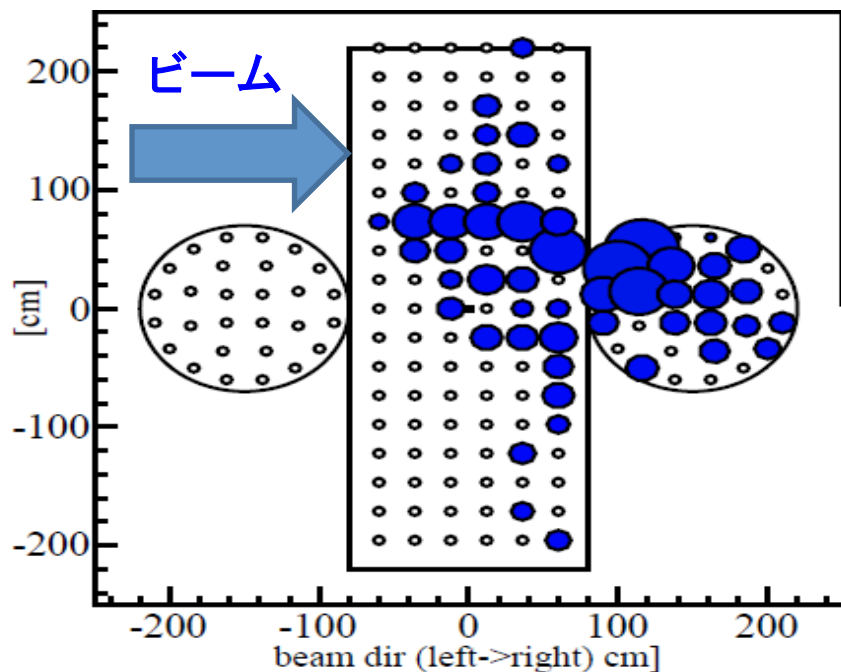
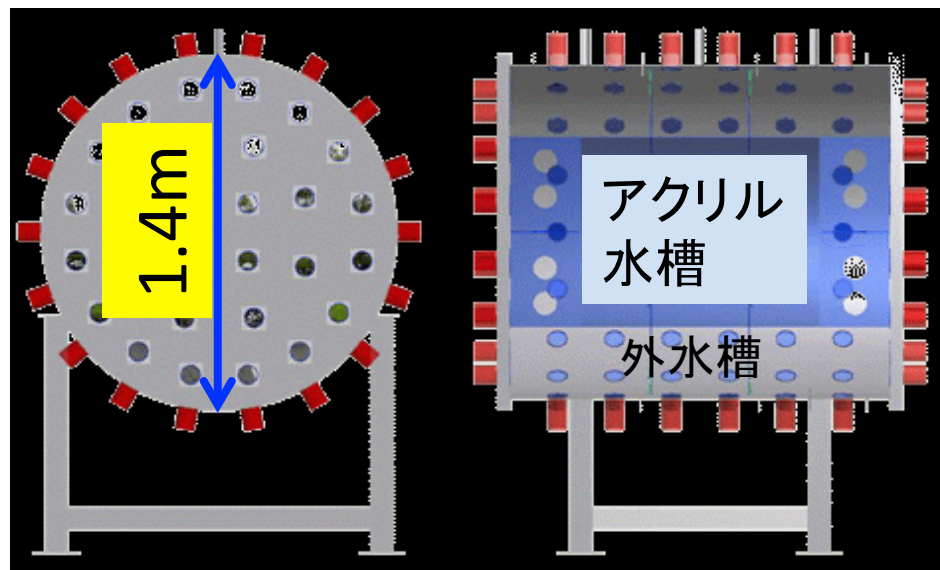
若い力が主体となってT2Kの目標達成を目指す

- 安定したデータ取得
 - MUMON、INGRIDの運用 (南野、木河、鈴木)
 - ND280の運転責任者 (フィリップ、池田)
- 解析の改良
 - v_e 出現 (クリストフ)
 - v_μ 消失 (南野、フィリップ)
- 系統誤差の削減
 - v 断面積測定
(INGRID: 南野、村上、木河。FGD:家城)
 - **新しい検出器**
(MIZUCHE: 村上、高橋、黄。前置: 南野、木河、長崎)
 - **独立した測定 (南野、池田、家城、木河、山内、長崎)**

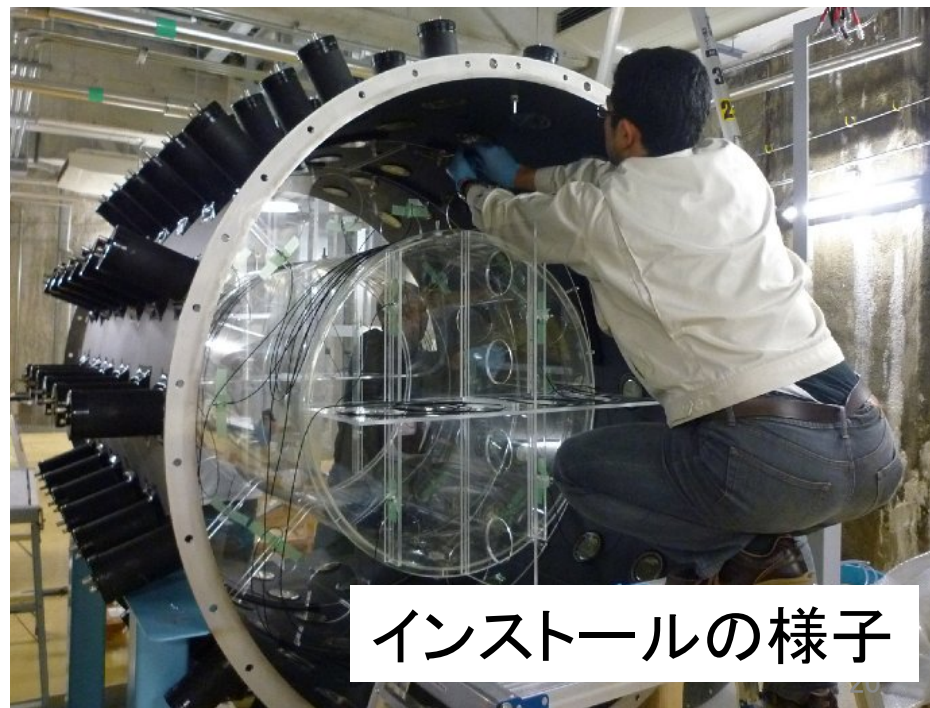
MIZUCHE@東海

2.5tの水チェレンコフ検出器

- ・中心のアクリル水槽に
水あり、なしの時の反応数を測定。
- ・SKと同じ水標的&検出原理
→系統誤差の削減



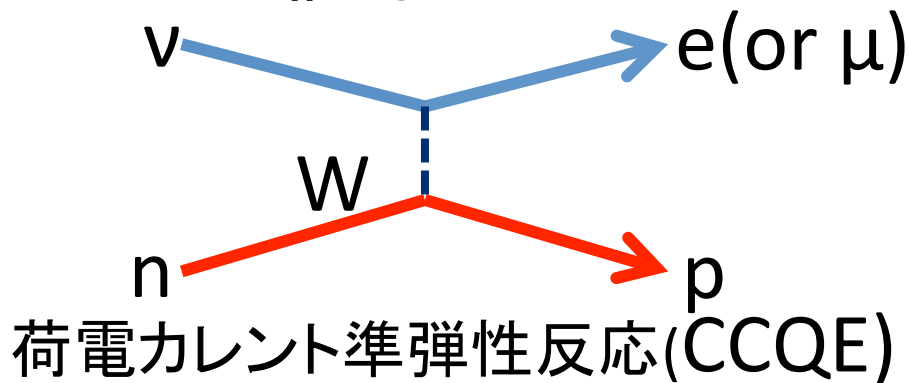
1月に観測されたビーム由来の μ 事象



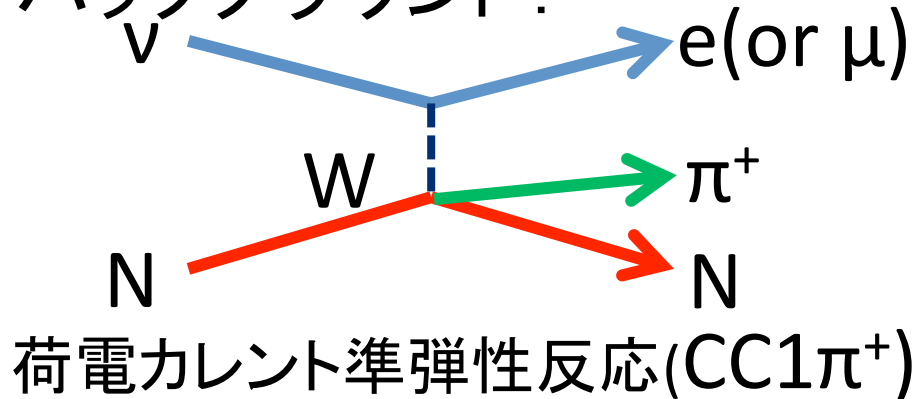
インストールの様子

独立した実験：荷電 π 中間子反応断面積測定

- T2Kでの信号：



- バックグラウンド：



T2Kve事象数@SKのSys.

Error Source	For $\sin^2 2\theta_{13}=0$
Beam flux	$\pm 8.5\%$
Final State Int.	$\pm 10.1\%$
ν int. X sec. (except FSI)	$\pm 9.7\%$
Near Det	+5.6% -5.2%
Far det.	$\pm 14.7\%$
Near Det. stat.	$\pm 2.7\%$
Total	+22.8% -22.7%

π が吸収されるとCC1 π が、CCQEと区別がつかない。
ところが、 π の吸収はあまり精密に測られていない($\sim 30\%$)
=T2Kの最も大きな系統誤差の一つ

測定のための新しい検出器

荷電 π ($\sim 300\text{MeV}/c$)の断面積を精密に測定する実験を立ち上げた。

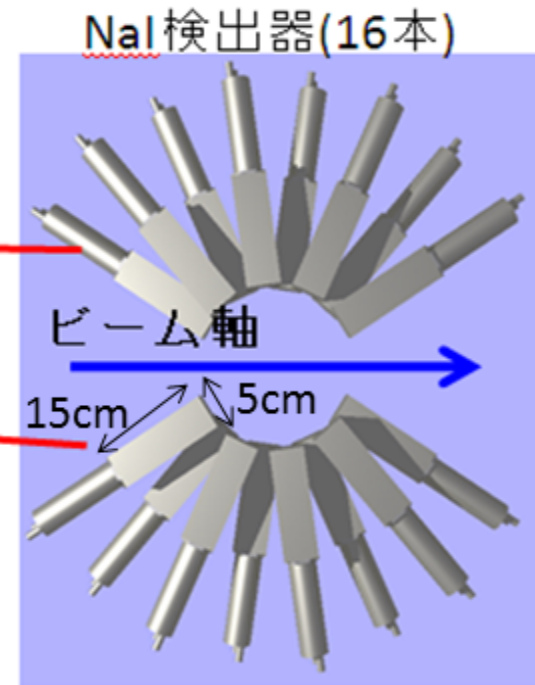
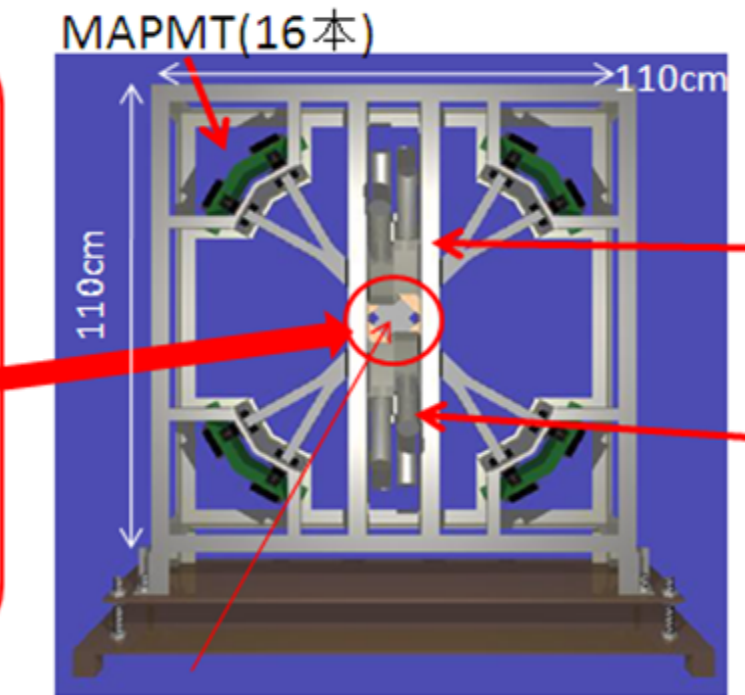
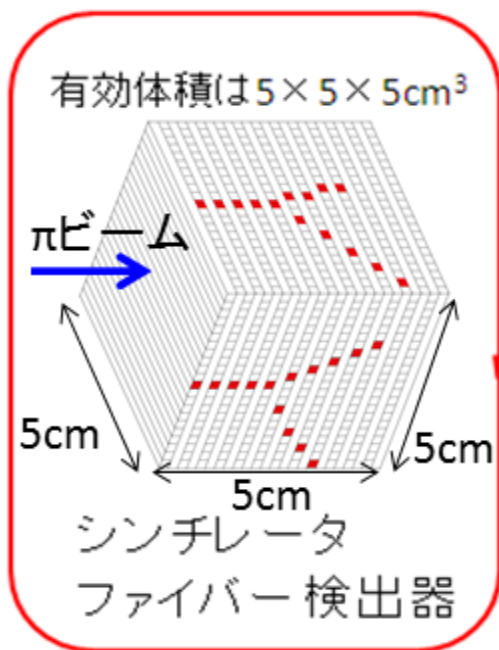
1. 反応点からの二次粒子を検出して吸収/荷電交換と散乱を区別。

→ 1.5mmシンチレータファイバーを使った
全感知型の高分解能飛跡検出器

2. 荷電交換と吸収反応を区別

→ 飛跡検出器のまわりにNaIを配置

検出器の設計・製作



ビーム中心、方向は紙面に垂直

カナダTRIUMF研究所でのデータ取得

2010年

- 4月立ち上げ
- 10-11月1回目実験

2011年

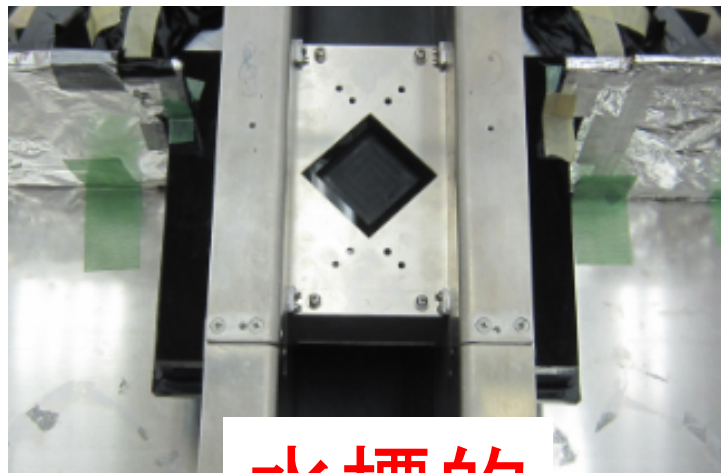
- 8月水標的で2回目実験

2012年

- 現在鋭意解析中
春までに1回目実験の
結果をまとめる。



カナダでの検出器の組み立て

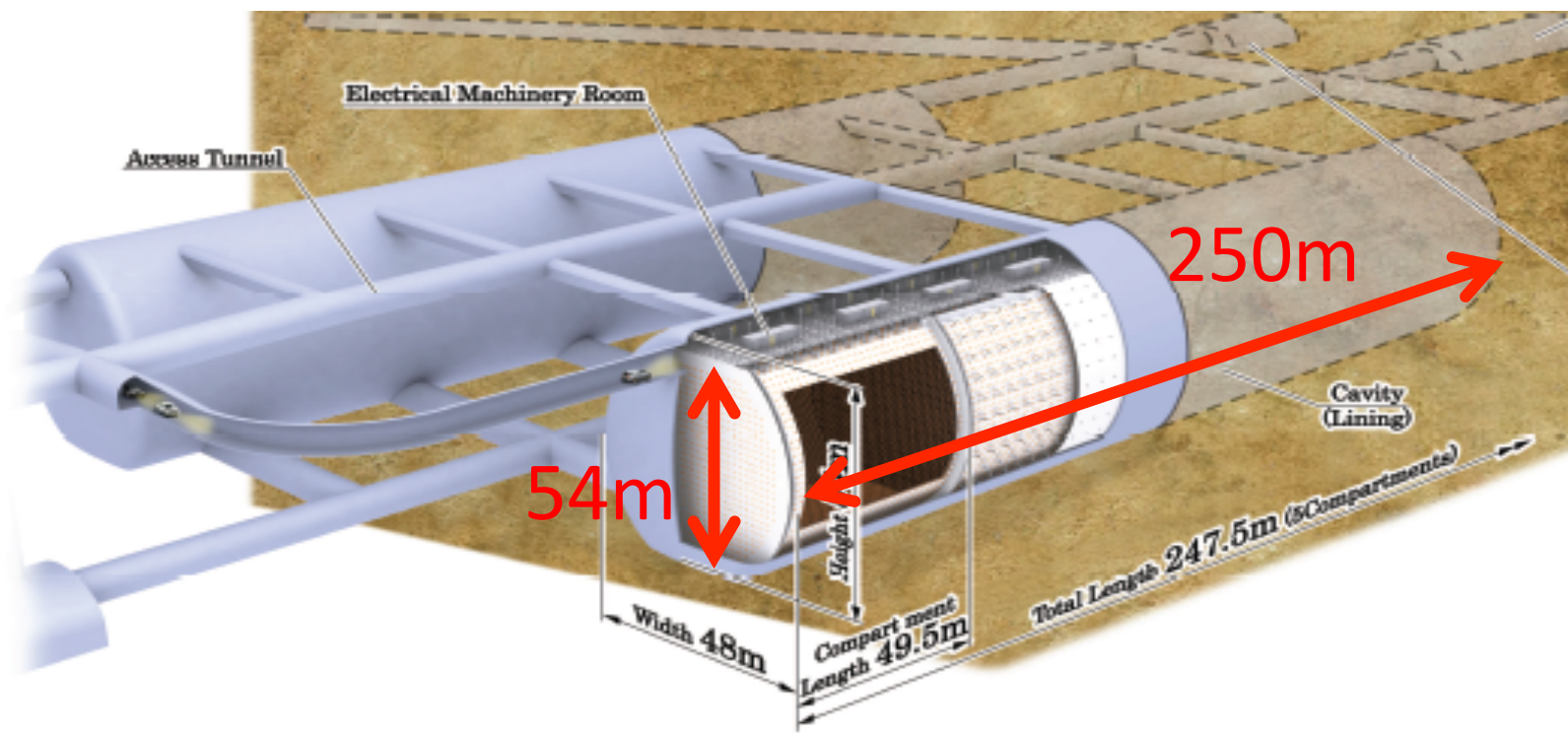


水標的

そんなに遠くない将来計画

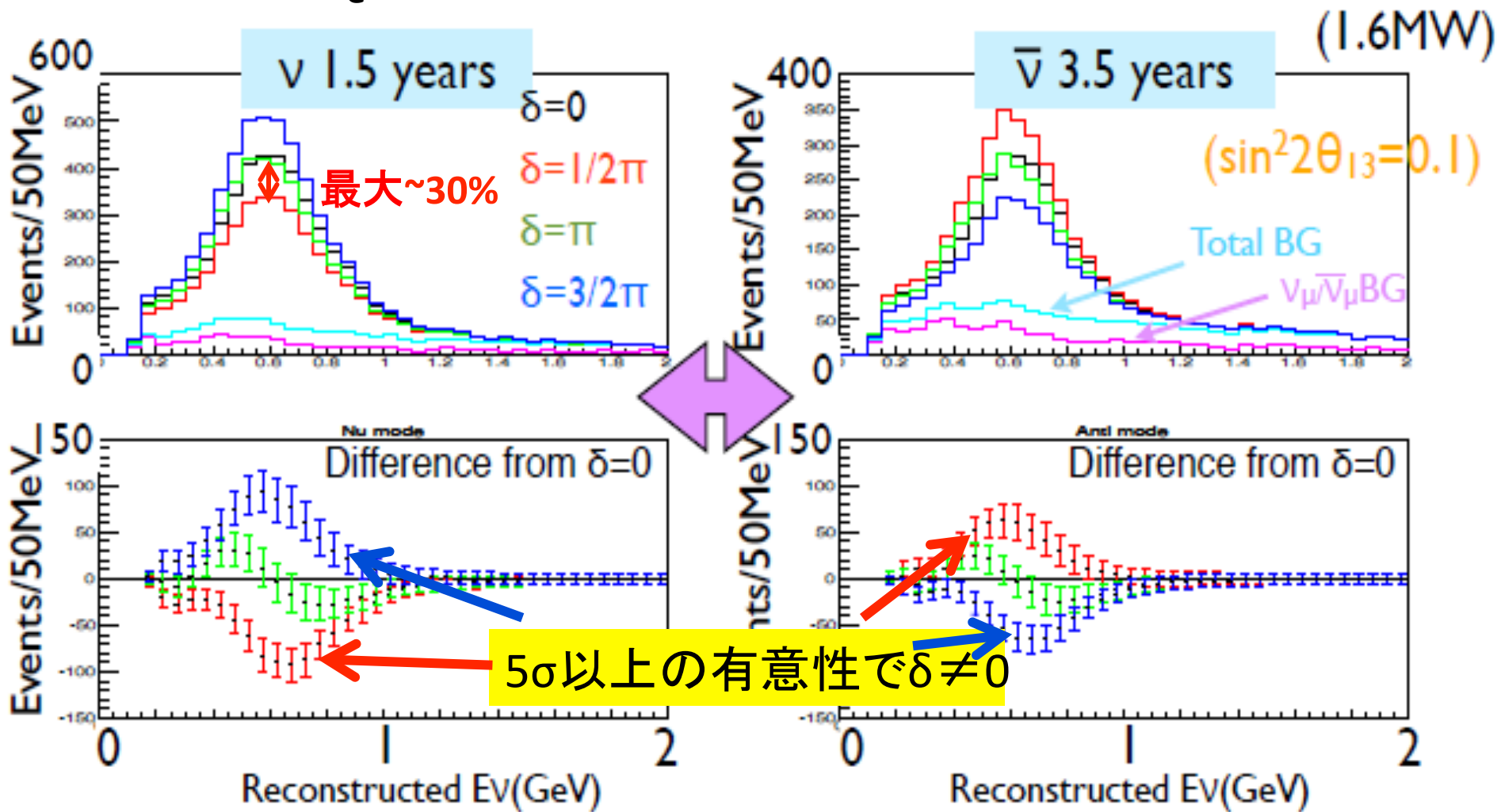
ハイパーカミオカンデ

- θ_{13} が比較的大きい！
CP非対称性 $\propto \sin\delta \sin\theta_{12} \sin\theta_{23} \sin\theta_{13}$
- 1Mtonの水チェレンコフ検出器、HK検出器で検出可能！
- 2011年に建設提案書を発表 arXiv:1109.3262
- **我々は、感度見積もりや光センサR&Dなどを担当。**



T2K: 加速器ニュートリノ振動でCP位相

5年測定での $\bar{\nu}_e$ 事象再構成エネルギー分布



5年でも再構成エネルギー分布に δ_{CP} の効果がみえる。

まとめ

- 2011年3月までに取得されたデータの解析結果(1.43×10^{20} p.o.t.)
 - ν_e : 6事象 (1.5 ± 0.3 事象 if $\theta_{13} = 0$)
 - $\theta_{13} \neq 0$ である確率は0.7%
 - ν_μ : 31事象 (104 ± 14 事象 if no oscillation)
 - MINOS, SKと矛盾しない結果。
- 実験は昨年12月から再稼働！
- 本研究室は実験の要となる箇所を担当。
- 学生が主体となって実験をリードしている。
- θ_{13} 、 δ の感度向上のため、
独立した実験、R&Dが進行中。