

ニュートリノグループ

南野

2016年4月19日

高エネルギーティンク

参加している実験

- T2K (Tokai to Kamioka)実験
- Super-Kamiokande → Rogerが紹介
- J-PARC加速器
- 将来実験
 - T2K前置検出器のアップグレード
 - Hyper-Kamiokande → Rogerが紹介
 - AXEL → 市川さんが紹介

ニュートリノグループメンバー

- スタッフ

中家 (スポークスパーソン), 市川 (解析コーディネーター),
Roger (T2K-SKグループコンビナー, 12月着任),
南野 (前置検出器グループコンビナー)

- ポスドク

Son, Benjamin, Nikhul, 中村、久保

- 博士課程学生

廣田, 仲村, 林野, 江, 潘

- 修士課程学生

中西, 平本, 芦田, 田中!

- ✓ 賞(2015年)

- 物理学会若手奨励賞 — 家城(OB)

- 測定器開発優秀修士論文賞 — 仲村

メンバー紹介（スタッフ、研究員）

	T2K	SK	HK	J-PARC Acc.	AXEL	
中家						スタッフ
市川						
Roger						
南野						
中村						
Nikhul						研究員
Son						
Benjamin						
久保						

メンバー紹介(学生)

	T2K	SK	HK	J-PARC acc.	AXEL	
廣田						博士
仲村						
林野						
江						
潘						
芦田						修士
田中!						
中西						
平本						

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。

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

Introduction (1)

- **Neutrino mixing**

- Neutrinos have two sets of eigenstates.
 - mass (propagation) and flavor (detection).

flavor states

PMNS mixing matrix

mass states

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} c_{13} & 0 & s_{13}e^{-i\delta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13}e^{i\delta} & 0 & c_{13} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} e^{i\alpha_1}/2 & 0 & 0 \\ 0 & e^{i\alpha_2}/2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

“Acc./Atm. ν ”

$\theta_{23} \sim 45^\circ$

$|\Delta m_{32}^2| \sim 2.4 \times 10^{-3} \text{ (eV}^2\text{)}$

“Reactor/Acc./Atm. ν ”

$\sin^2 2\theta_{13} \sim 0.1,$

“Acc./Atm. ν ”

δ_{CP} (90% constraints)

“Solar/Reactor ν ”

$\theta_{12} \sim 34^\circ$

$\Delta m_{12}^2 \sim 8 \times 10^{-5} \text{ (eV}^2\text{)}$

Majorana phases;
Not yet observed

Note: $c_{ij} = \cos(\theta_{ij}), s_{ij} = \sin(\theta_{ij})$

- Dirac CP violation phase in the lepton sector, δ_{CP} .
 - Complex phase of PMNS mass matrix (3x3 unitary matrix)

ニュートリノ振動パラメータ

PDG2014

ニュートリノ振動実験で測定できるもの

- ✓ 混合角($\theta_{12}, \theta_{13}, \theta_{23}$),
- ✓ CP位相 δ
- ✓ 質量の二乗差 $\Delta m^2_{21}, \Delta m^2_{32}$

$\sin^2 2\theta_{12}$	0.846 ± 0.021
Δm^2_{21}	$(7.53 \pm 0.18) \times 10^{-5} \text{ eV}^2$
$\sin^2 2\theta_{23}$	$0.999^{+0.001}_{-0.018}$ (normal hierarchy)
	$1.000^{+0.000}_{-0.017}$ (inverted hierarchy)
$ \Delta m^2_{32} $	$(2.44 \pm 0.06) \times 10^{-3} \text{ eV}^2$ (normal hierarchy)
	$(2.52 \pm 0.07) \times 10^{-3} \text{ eV}^2$ (inverted hierarchy)
$\sin^2 2\theta_{13}$	0.093 ± 0.008

- まだ分かってないものはCP位相 δ と Δm^2_{32} の符号(質量階層)



Introduction (2)

- **Matter dominant universe**

- We expect equal amounts of matter and anti-matter to have produced in the Big Bang.
- Today (13.8 Gyears later), observed asymmetry is

$$\eta_B \equiv \frac{n_B - n_{\bar{B}}}{n_\gamma} = (6.20 \pm 0.15) \times 10^{-10}$$

- **Quark-sector CP violation**

- The Quark-sector CP violation results in an $O(10^{-17})$ asymmetry.
- Too low to explain observed $O(10^{-10})$.

Introduction (3)

- **Matter dominant universe**

- **Lepton-sector CP violation**

- **Leptogenesis** can provide a explanation.
 - CP violation in the neutrino sector (creating L asymmetry).
 - SM sphaleron processes at $T \sim 300 \text{ GeV}$ convert L \rightarrow B asymmetry.
- Three possible scenarios for leptogenesis
 - 1) **Leptogenesis via Dirac-phase CP violation (δ_{CP})**
 - 2) **Leptogenesis via Majorana-phase CP violation (α_1, α_2)**
 - 3) Leptogenesis via CP violation in the heavy neutral leptons (HNL) ($\sim 10^{10} \text{ GeV}$) which are the Majorana ‘see-saw’ partners of the ordinary neutrinos.

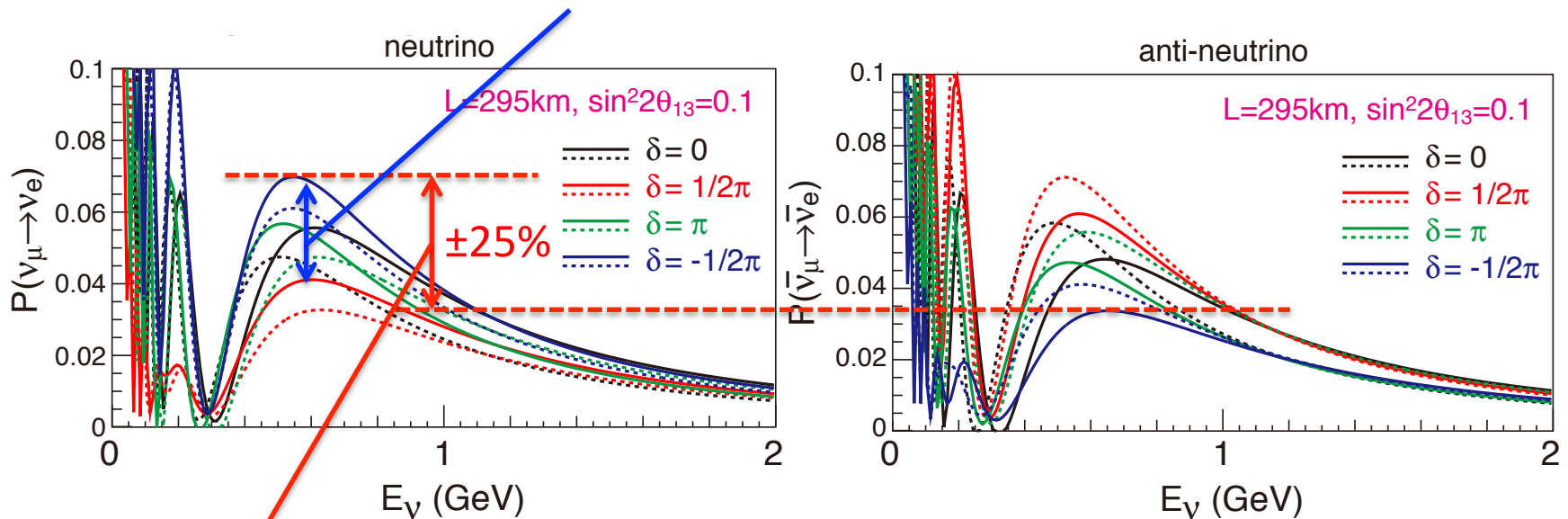
$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} c_{13} & 0 & s_{13} e^{-i\delta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13} e^{i\delta} & 0 & c_{13} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} e^{i\alpha_1/2} & 0 & 0 \\ 0 & e^{i\alpha_2/2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

δ_{CP} is a possible source to explain the matter-dominant universe.

Introduction (4)

- δ_{CP} measurement in the long-baseline accelerator exp.
 - ν_e appearance

δ_{CP} can be determined from ν -run only if θ_{13} is known from the reactor experiments.

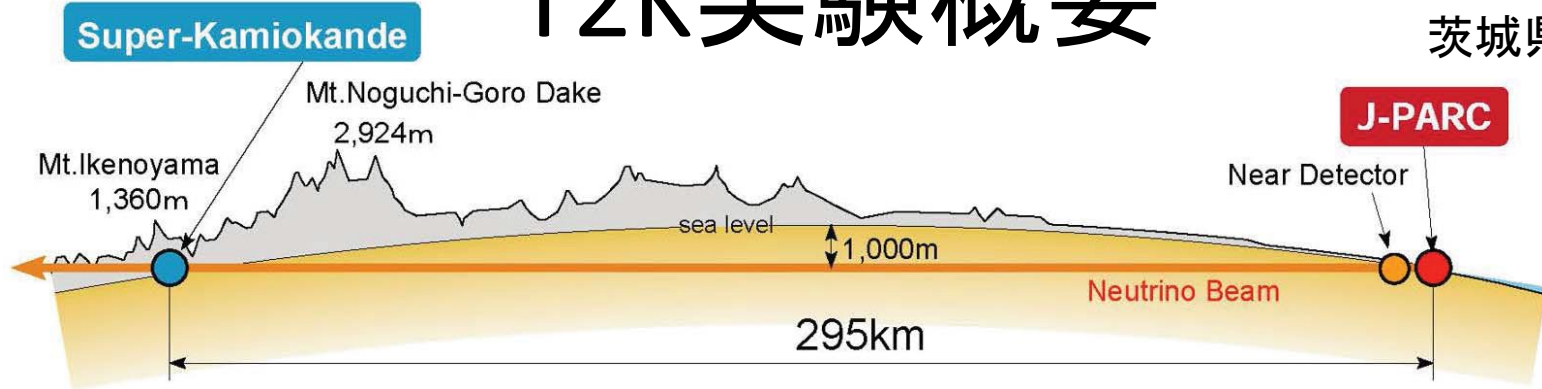


Comparison of ν /anti- ν run enhances sensitivity to δ_{CP} .

岐阜県飛騨市神岡町

T2K実験概要

茨城県東海村



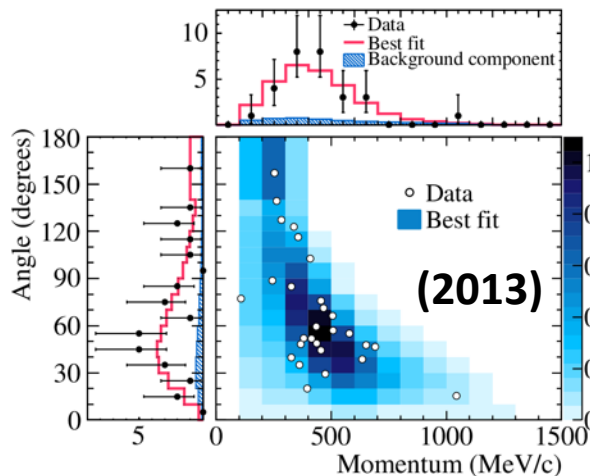
- J-PARC加速器の**大強度**陽子ビームにより $\nu_\mu(\bar{\nu}_\mu)$ ビームを生成
- 前置検出器と後置検出器(Super-K)でこのビームを観測し、以下の種類のニュートリノ振動を測定する
 - ν_e 出現モード($\nu_\mu \rightarrow \nu_e$)、 ν_μ 消失モード($\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu$)
- off-axis法(ビーム中心方向を後置検出器の方向からずらす)を採用
 - ミューオンとニュートリノのビーム方向をモニター
- 2015年度最初の**反ニュートリノ**の振動解析結果を発表

これまでの成果

- ν_e 出現事象の**世界初観測** (2011)

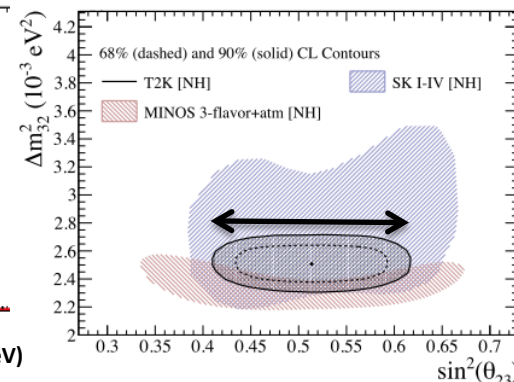
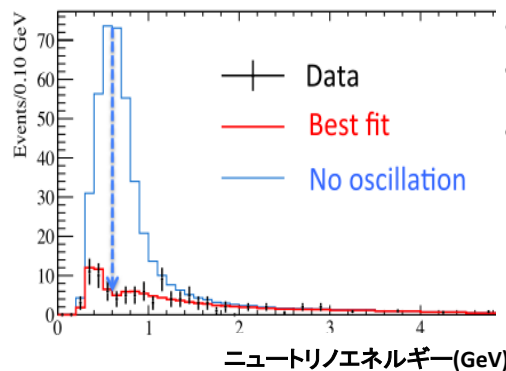


2013年には**7.3 σ** で存在を確立！ 中家さん KEK小林氏



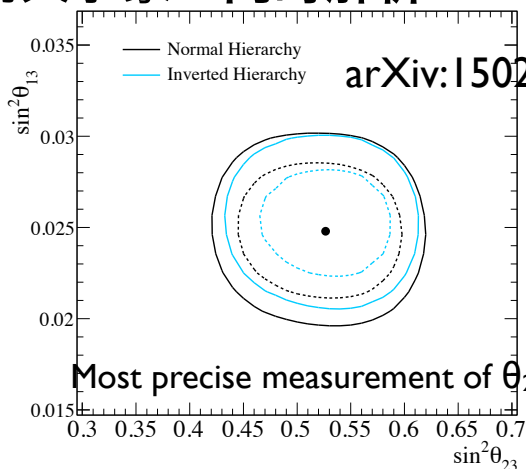
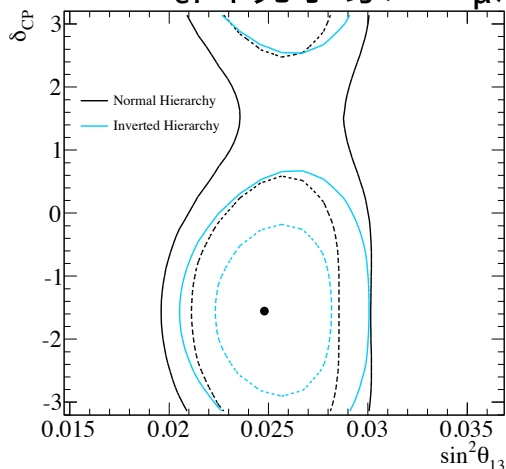
2013年には**7.3 σ** で存在を確立！

- ν_μ 消失事象の**世界最精密測定** (2013)



- **最新の結果 (2014)**

ν_e 出現事象と ν_μ 消失事象の**同時解析**

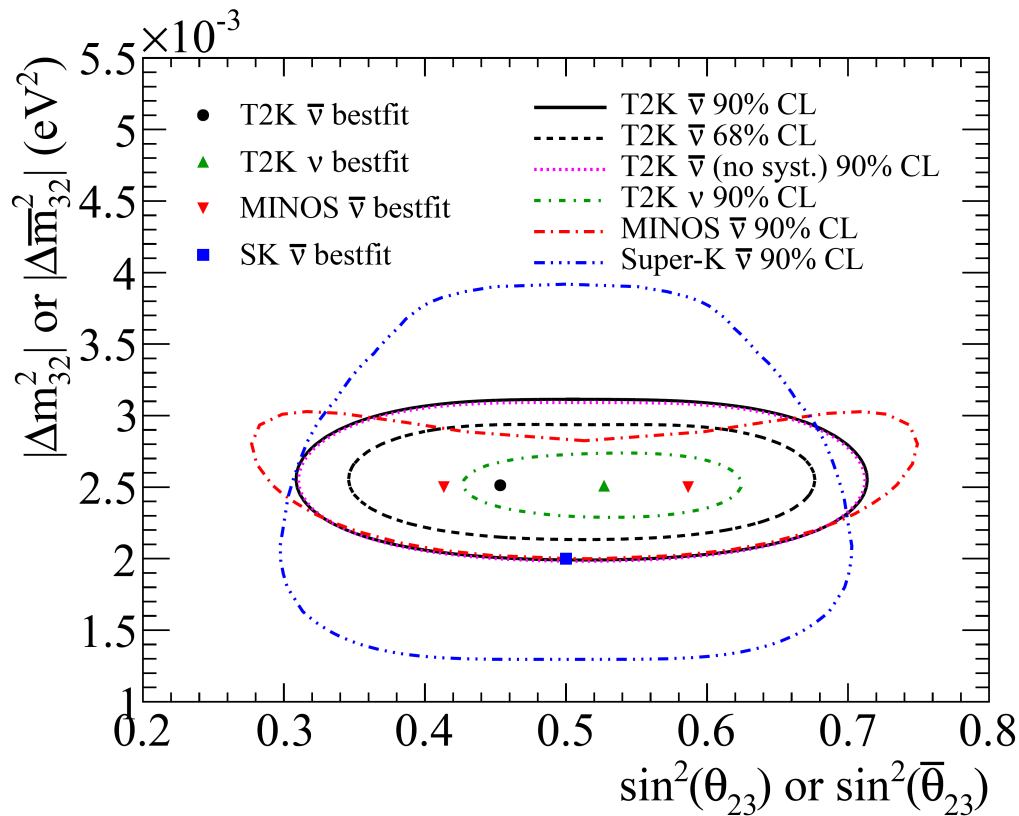
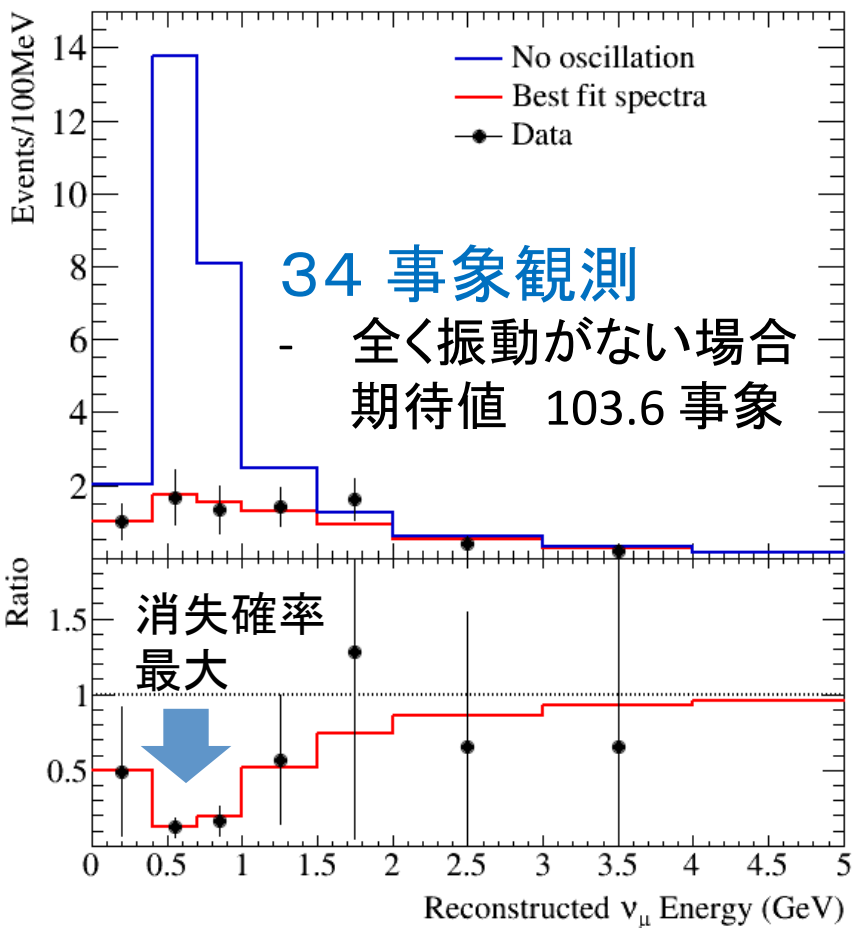


- CP位相 δ に先陣を切って制限！

- 世界一の精度での混合角 θ_{23} の測定！

$\bar{\nu}_\mu$ 消失モード

ν と $\bar{\nu}$ で異なる振動パラメータを用いる
 - 新物理の効果により、
 θ_{23} 、 Δm^2_{32} が等しくなくなる可能性が存在



- クリアな振動パターンが見えている
- ν と $\bar{\nu}$ の振動パラメータに違いは見られない
- 最初の結果 (4×10^{20} POT) で世界最高レベルの測定精度

$\bar{\nu}_e$ 出現モード

- 期待される事象数: CP位相と質量階層に依存

4.01×10^{20} POT	$\delta_{CP} = -90^\circ$	$\delta_{CP} = 0^\circ$	$\delta_{CP} = 90^\circ$
順階層	3.73	4.32	4.85
逆階層	4.18	4.85	5.45

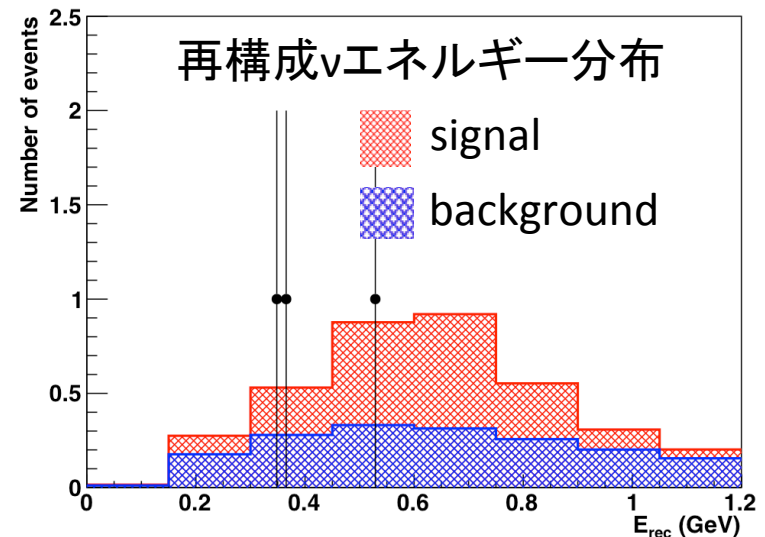
1.96 $\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$ 信号事象 + 1.77 背景事象

\Leftrightarrow 観測された事象数: **3**

1R e-like events

- 信号ありの場合と信号なしの場合の両方と矛盾しない

- 現状統計が少なく、これから



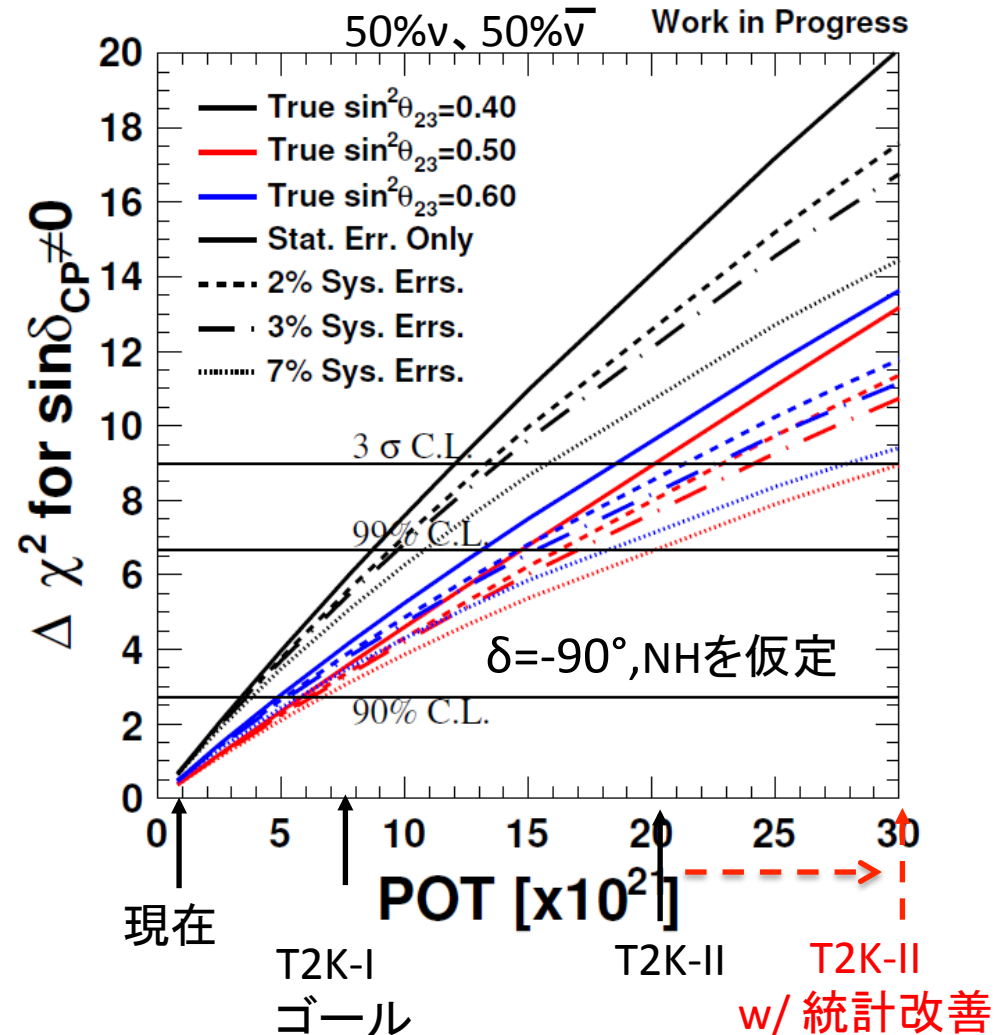
T2K実験の今後

- 2016年に、最初の $\nu+\bar{\nu}$ 同時振動解析の結果を発表予定

- 今後ビーム強度を上げつつ統計量を増やしていく

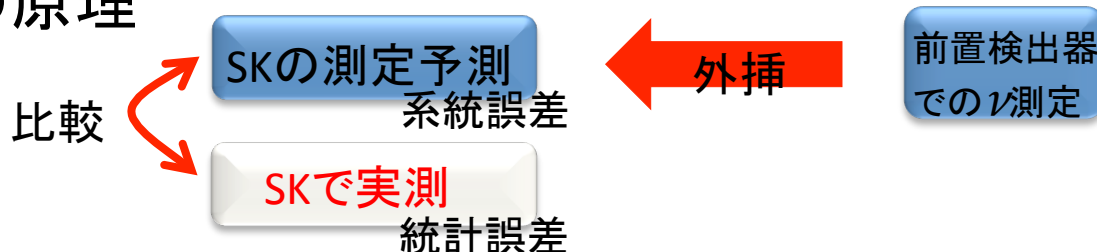
- 750kW(現在390kW)

- 元々の目標(7.8×10^{20} POT)を超えて更に統計を増やす計画(T2K-II)を議論中
(20×10^{20} POT + 統計改善)
- その場合、 3σ 以上の感度で $\delta \neq 0$ を決定できる可能性



T2K-IIのチャレンジ

• 実験の原理



• 実験の感度： 統計誤差 + 系統誤差

- 統計誤差 $\propto 1/\sqrt{\text{事象数}}$
- 系統誤差

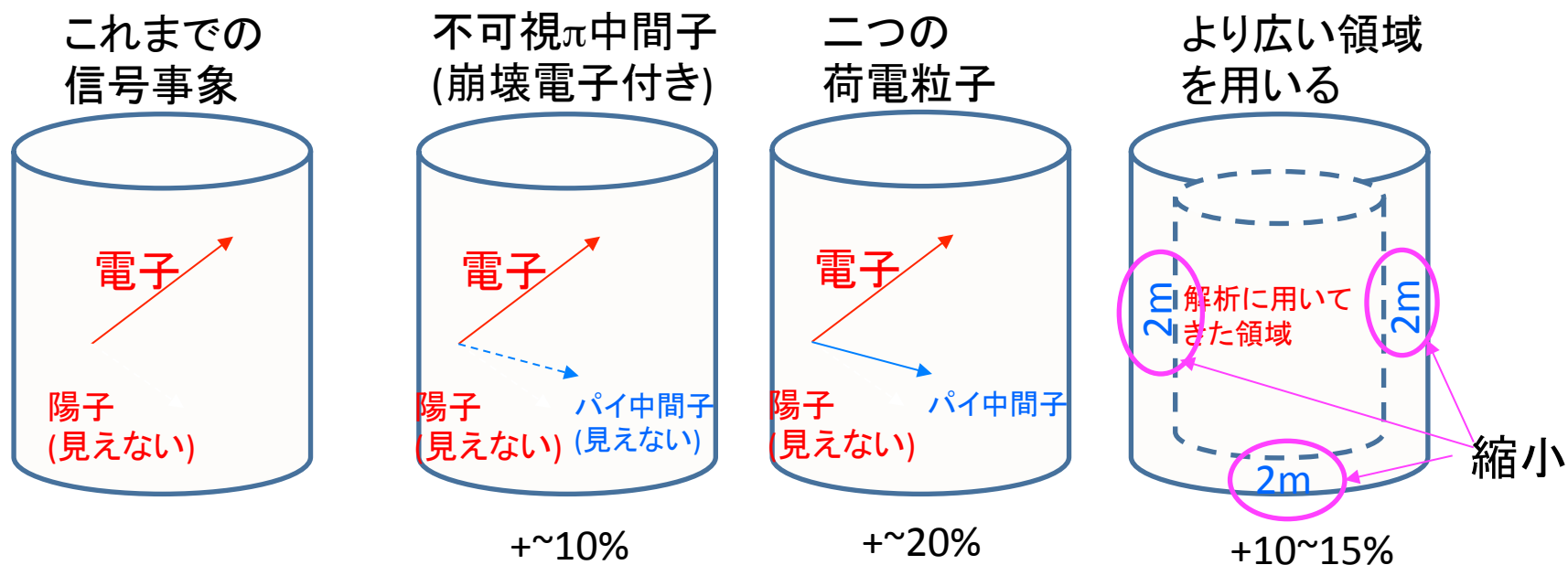
• チャレンジ

- 統計誤差： ビーム強度増強、ホーン320kW運転(+10%)、SKにnew sample(+40%)
- 系統誤差： 目標は4%
 - ニュートリノフラックス: ハドロン相互作用のmodeling、INGRIDビーム方向測定の精度向上
 - 前置検出器測定: π の反応誤差低減(外部/前置データ)
 - ニュートリノ反応: $\nu_e/\text{anti-}\nu_e$ の反応測定、前置検出器のアップグレード
 - SK測定: コントロールサンプル(大気 ν)の ν 反応アップデート、 π の反応誤差低減(外部/前置データ)

$$\text{事象数} \propto \boxed{\begin{array}{l} \text{陽子ビーム強度} \\ \rightarrow 750\text{kW} \rightarrow 1.3\text{MW} \\ (1.28 \text{ sec cycle 運転}) \end{array}} \times \boxed{\begin{array}{l} \text{生成効率} \\ \text{ホーン320kW運転} \\ +10\% \end{array}} \times \boxed{\begin{array}{l} \text{検出効率} \\ \text{SKにnew sample導入} \\ +40\% \end{array}}$$

スーパーカミオカンデのnew sample導入による事象数向上

- スーパーカミオカンデで再構成やニュートリノエネルギー計算、系統誤差が難しいため使ってなかった事象カテゴリーと検出器の端の領域を生かす
- 全体で40%前後の事象数向上を目指す。
- 研究課題
 - 解析アルゴリズムの開発
 - 新たなサンプルの系統誤差の評価

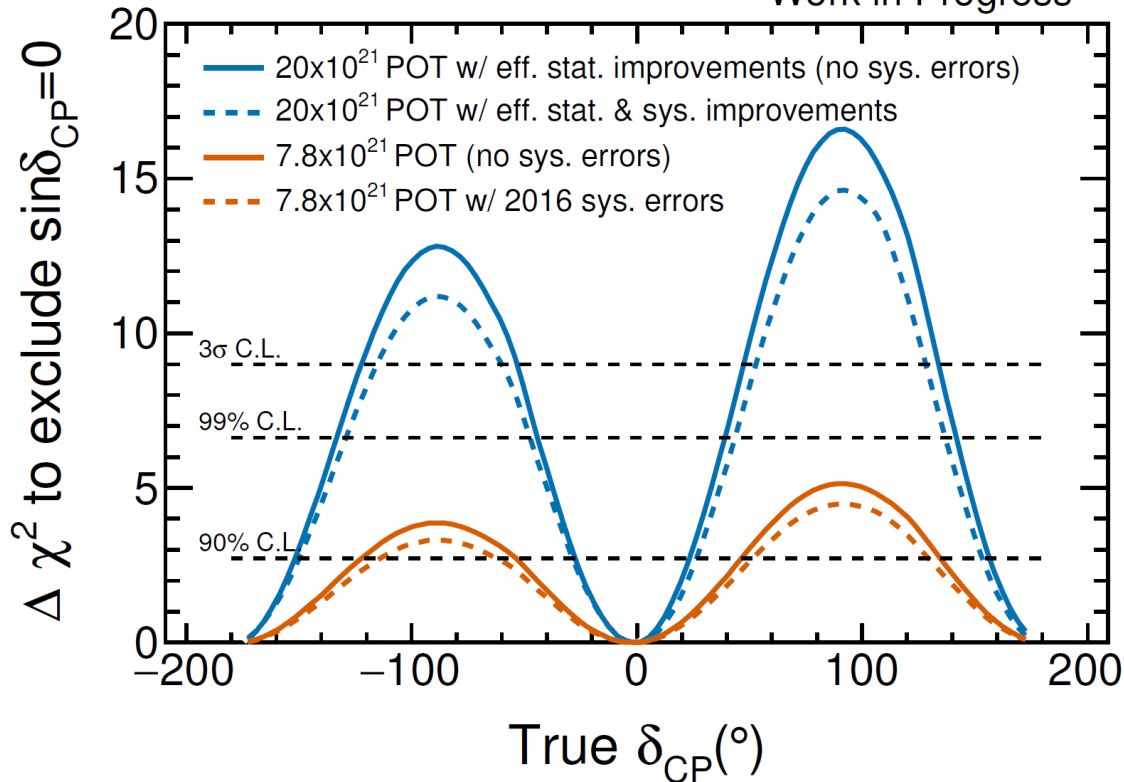


T2K II 計画将来感度

50% ν 、50% $\bar{\nu}$

質量階層が分かっていると仮定
原子炉 ν 実験の結果を使用

Work in Progress



+50% 統計改善
4%系統誤差

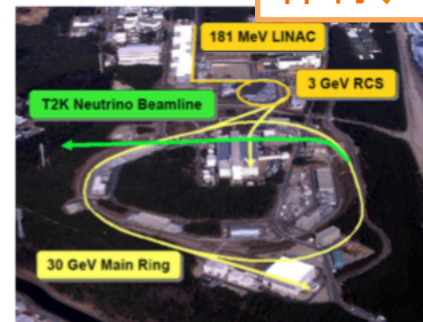
3σ以上の感度で $\delta \neq 0$ を決定できる可能性

他のスタディ

- ✓ ニュートリノ振動解析以外にも様々な開発, 測定, 解析が進行中
- 加速器のアップグレード(仲村、中西)
- 新しいミュオンビームプロファイル検出器の性能評価
(仲村, Nik, 中西、久保)
- on-axis 前置検出器を用いたニュートリノビーム方向・
反応断面積の測定(林野, Son, Benjamin)
- 水(O)とシンチレータ(C)間のニュートリノ反応断面積の比の
精密測定のための新規検出器建設(林野, Son, Benjamin)
- 高分解能飛跡検出器の開発(山本, 平本)
- NCQE反応測定(黄)とその不定性となる二次 γ 線生成の測定(芦田)

加速器のアップグレード これまでの成果

加速器のビームロスを
減らすことが
安定な大強度ビーム
供給につながる！



高周波フィードバックシステムの開発(仲村)

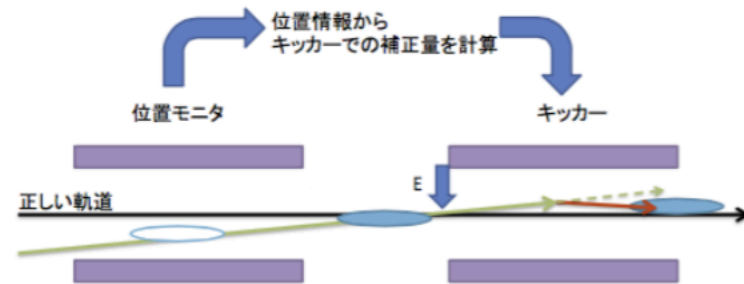
(モニター開発・処理回路開発・ビーム試験・シミュレーション)

→ 数十kWものビームロスを減らすことに成功!

→ 現在も使用されている

→ **測定器開発・優秀修士論文受賞!**

• β 関数測定の新しい方法を確立(仲村)



• 新たにビームモニター開発中(中西)

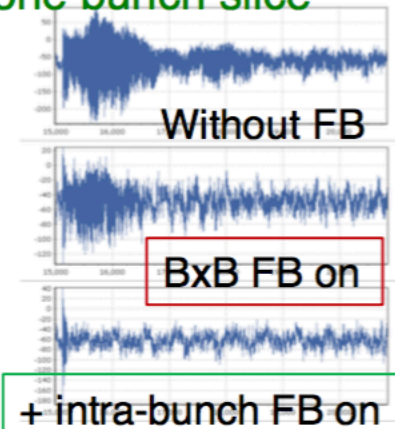
目的: 間接的なビームサイズ測定

→ 試作モニターを制作し性能評価中

→ 実機の製作中



Oscillation of one bunch slice

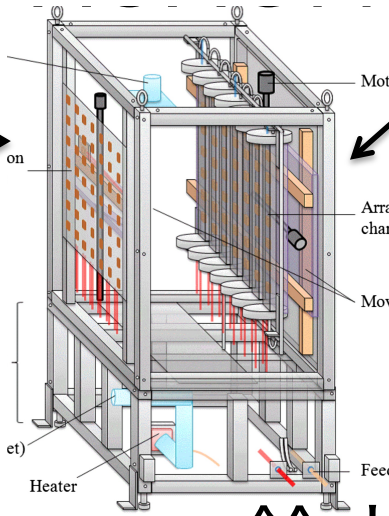


ニュートリノビームモニター

MUMON: μ を測定

Nik、仲村、
中西、久保

Si PIN
Photo diode
(7×7ch)

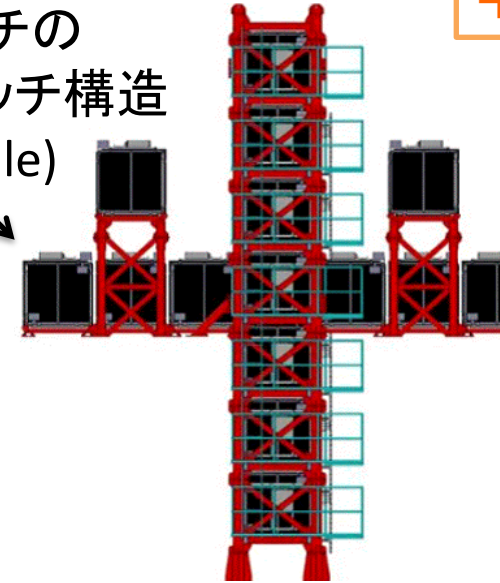


イオン
チェンバー
(7×7 ch)

INGRID: ν を測定

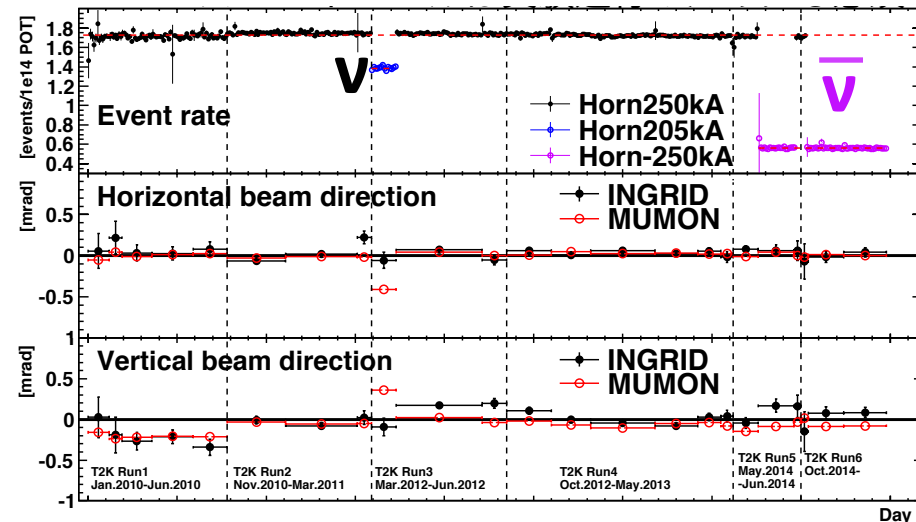
Son、林野、
平本

鉄とシンチの
サンドイッチ構造
(14 module)



• ビームの方向と強度をモニター

- On-axis検出器
- 京大グループで開発、建設、維持
- 安定したビームは実験に必須！

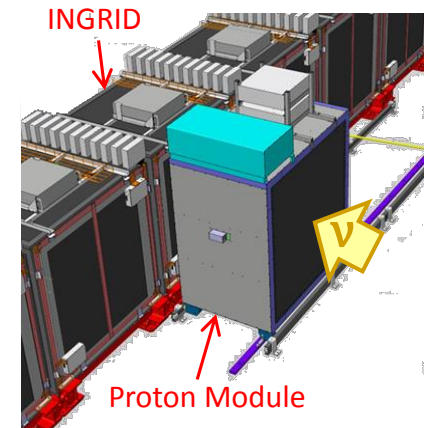
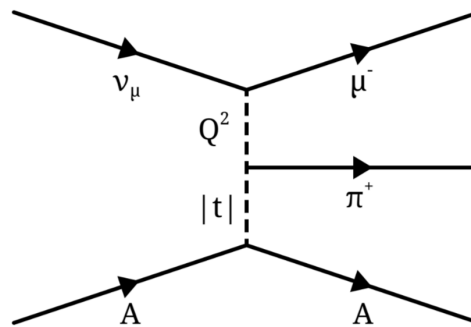
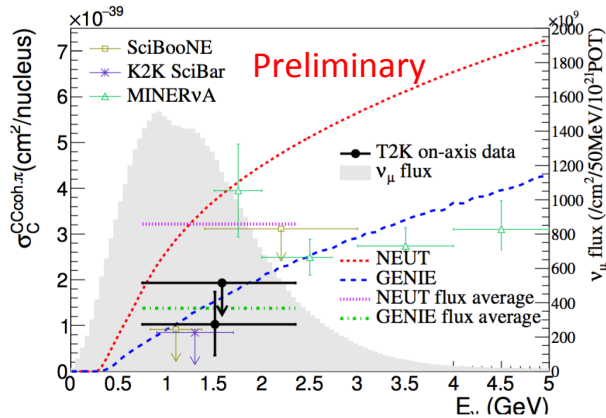


ニュートリノ反応断面積測定

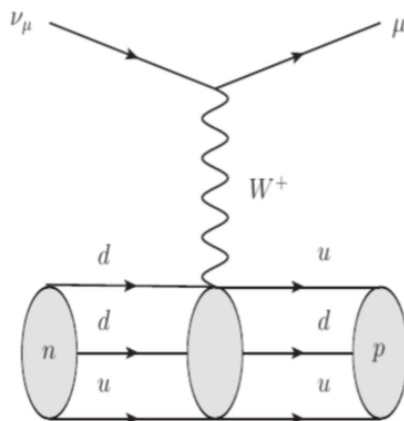
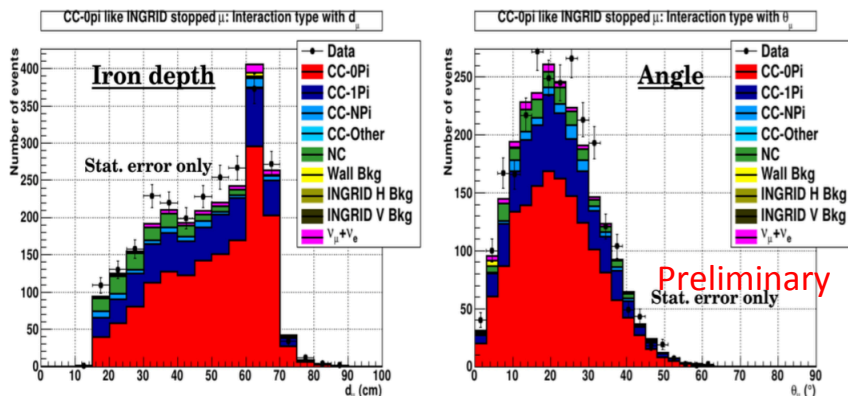
Son、
Benjamin、
林野

- On-axis前置検出器によるニュートリノ反応断面積測定

CCコヒーレント π on C



CC0 π double diff. on C

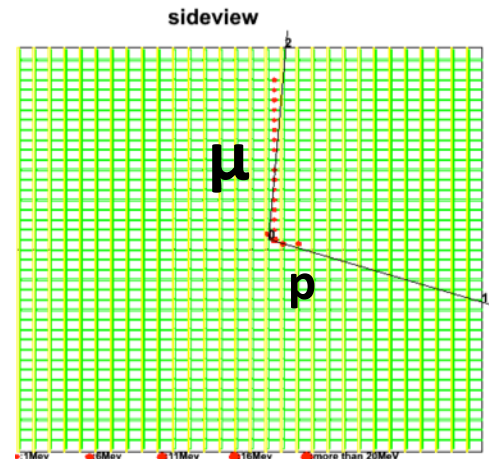


プロトンモジュール

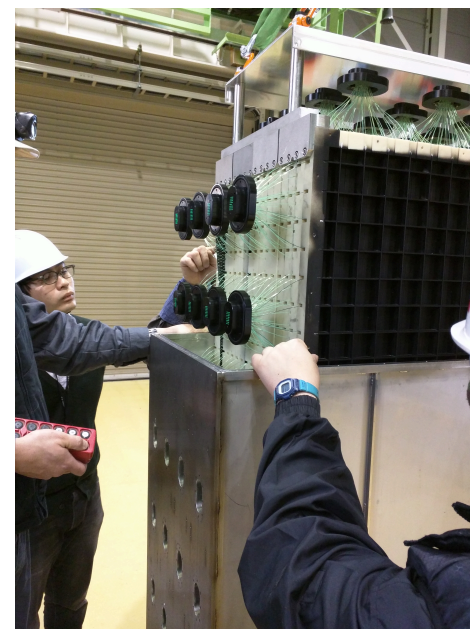
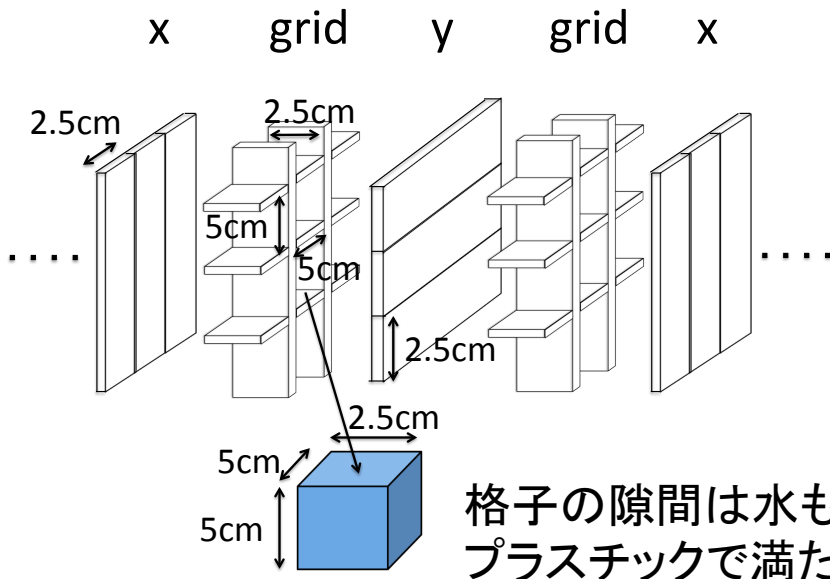
- プラスチックシンチレータからなる飛跡検出器
- ニュートリノ反応で蹴飛ばされる陽子の飛跡も検出
- INGRIDをミュオン検出器として利用

WAGASCI実験

- 特徴: 3次元格子構造を持つ新型検出器
 - 4π 方向すべてに高い検出効率
- 目的: ニュートリノ反応断面積測定
- 目標: T2K実験の ν 反応の誤差を低減

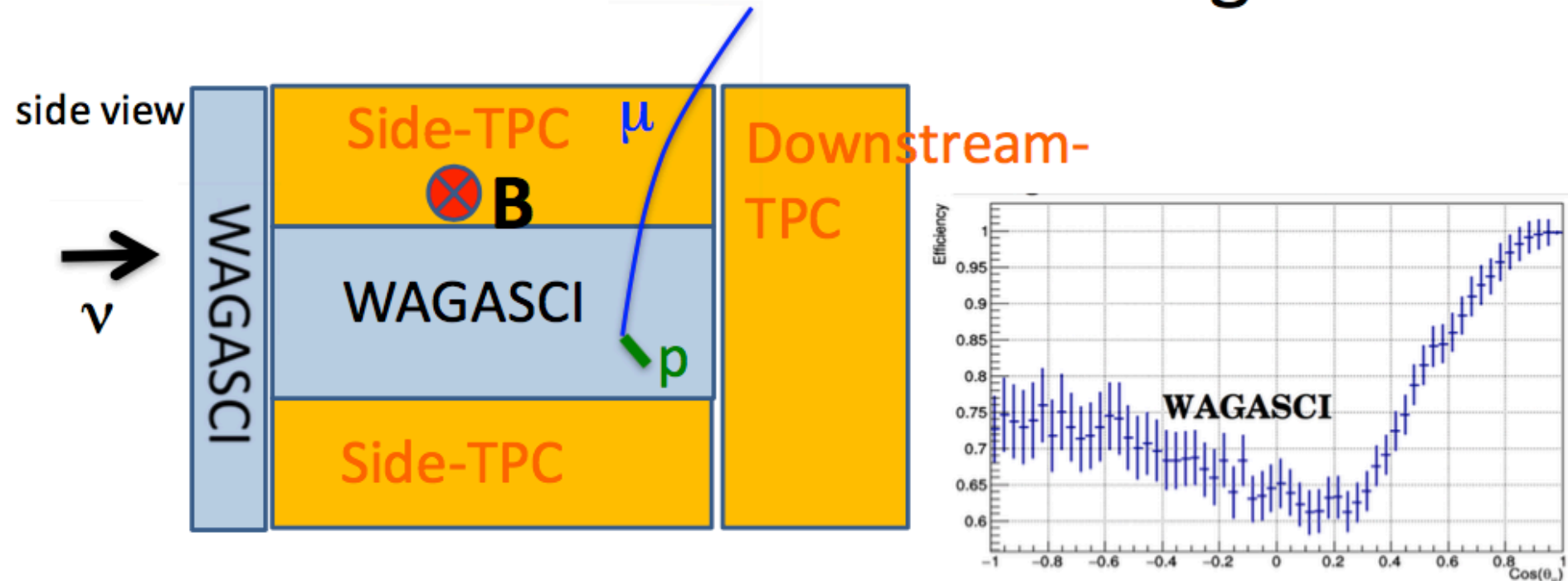


プロトタイプ検出器が2016年5月に完成
2016年6月からコミッションングスタート



Possible upgrade

WAGASCI in T2K ND280 magnet



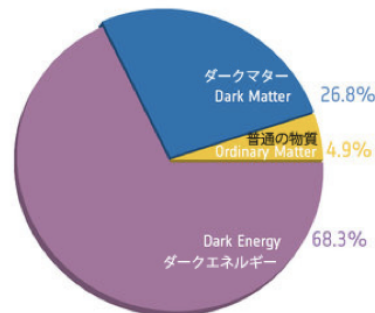
Excellent **charge/particle identification** and **momentum measurement** for large angle tracks with side-TPCs.

- Optimizing the detector geometry using MC.

T2Kビームを用いた中性カレント準弾性反応測定 黄

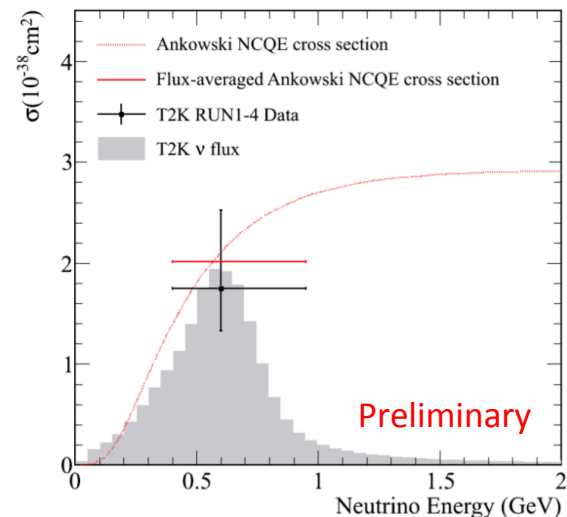
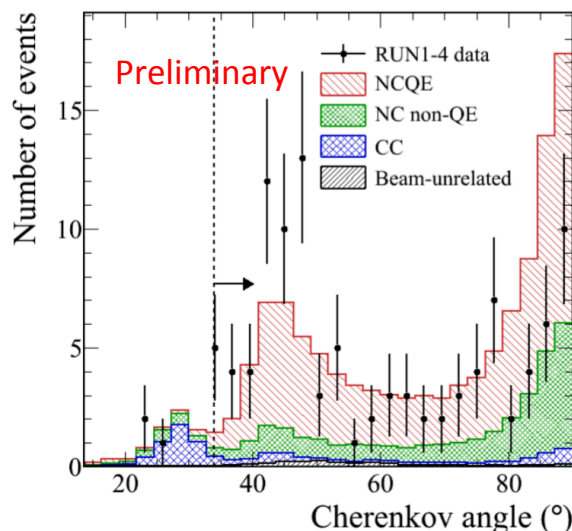
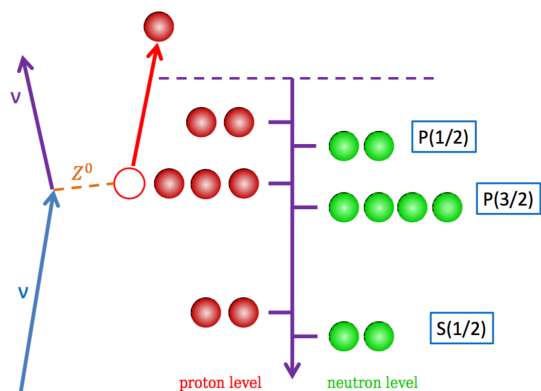
NCQE反応を使ってできる物理

- 超新星背景ニュートリノの探索 (SK) → 超新星爆発機構の解明
 - ダークマター
 - ダークエネルギー
 - 中性子星の状態方程式
 - 元素合成過程 (r過程) の解明
 - 星形成の歴史
- ステライルニュートリノ探索 (T2K)
- ダークマター探索 (T2K)



宇宙の組成

T2KRUN1-4測定結果



M1の研究テーマ

Case study

修士、博士での研究



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 など
- 大気 ν (質量階層性)
- ν 反応断面積測定

平木氏の修士、博士での研究

M1 M2
2010 2011

D1 D2 D2 **D4**
2012 2013 2014 **2015**

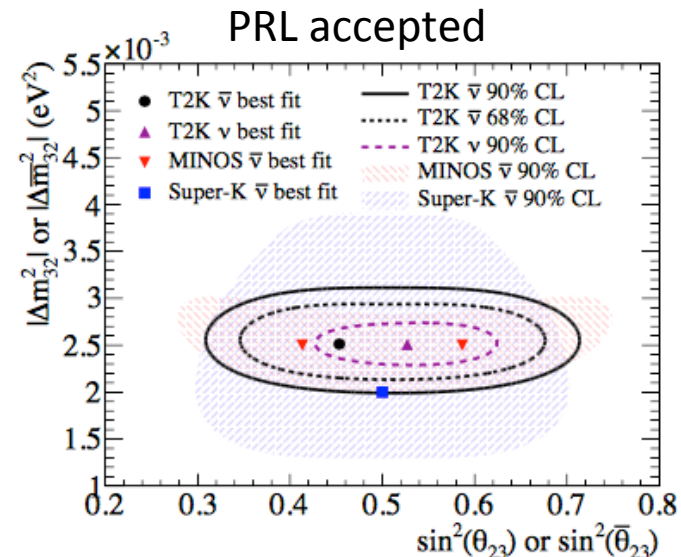
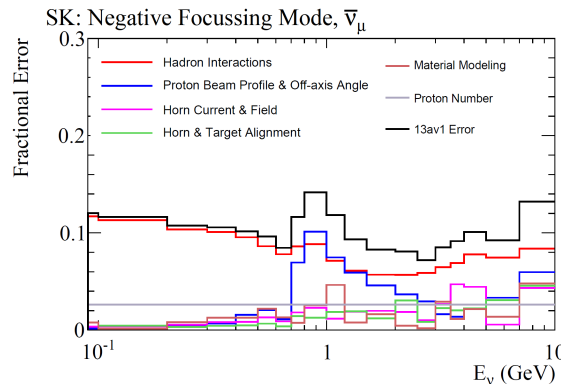
M論

D論

- CdTe project
($0\nu\beta\beta$ 崩壊探索実験)
で実験技術を学ぶ

- MUMONの運転/保守
- MUMON/INGRIDを用いてビーム品質保証
- ニュートリノビームの予想/誤差評価
 $\bar{\nu}_\mu$ フラックスの誤差

- T2K $\bar{\nu}_\mu$ 消失事象解析を行い、論文にまとめる。

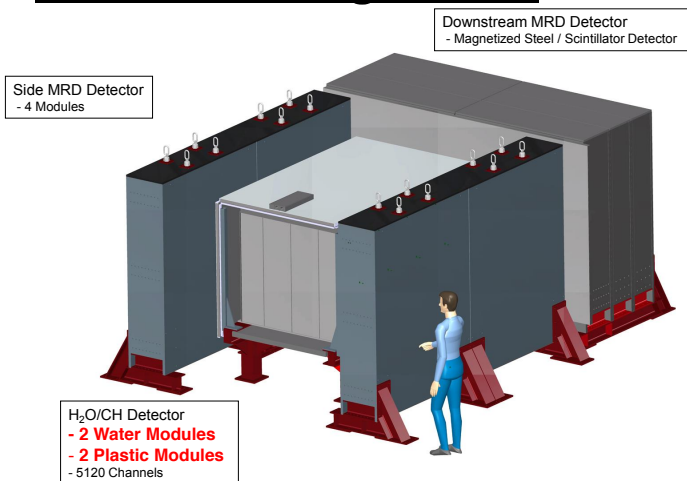


WAGASCI実験

スケジュール

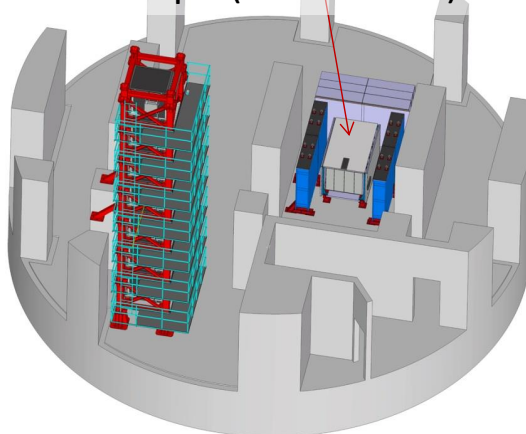
- 2015~2016年夏: プロトタイプ製作とコミッショニング
- 2016年秋: プロトタイプでニュートリノ測定
- 2016~2017年夏: WAGASCI moduleとMRDを製作
- 2017年秋: ニュートリノ測定開始

Detector configuration



Detector position

B2 of ND pit (1.6° off-axis)



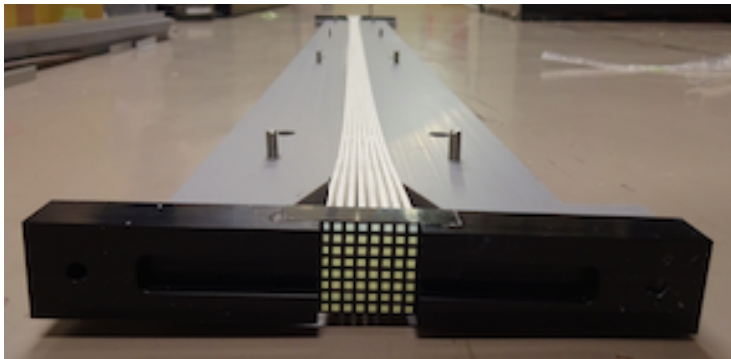
自分の手で検出器を
製作/運転するチャンス!

これまでにない構造の検出器で
 ν 反応について新たな知見を得る。

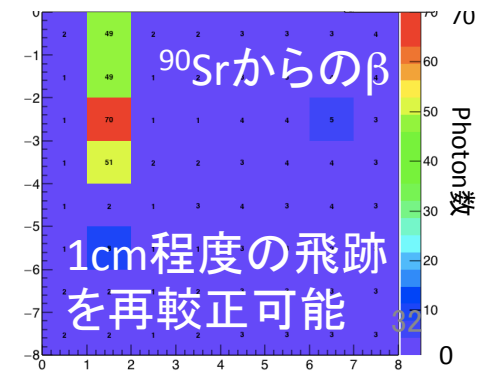
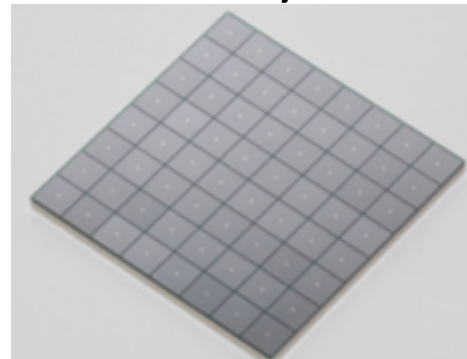
シンチレーションファイバー検出器

- 特徴: T2K前置ニュートリノ検出器の約10倍の位置分解能
- Study中
 - ν 反応点周りの詳細理解(陽子飛跡の検出、 ν_e のBG低減)
 - エマルジョン検出器とINGRIDのHybrid analysisをするときにtime stamp
 - 運動量測定 in 前置検出器マグネット
- スケジュール
 - 2015~2016年度: 64chプロトタイプで陽電子ビームテスト @ 東北大
開発の方向を決定
 - 2017年度~: 検出器の組み立て、コミッショニング、ニュートリノビーム測定

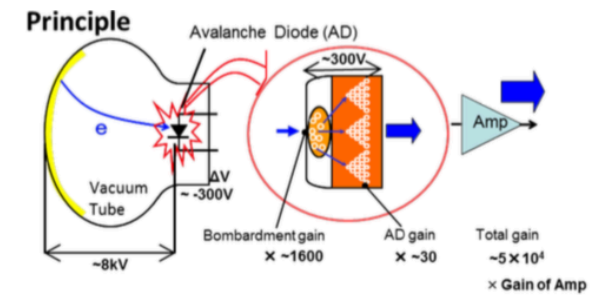
64ch プロトタイプ



64ch array MPPC イベントディスプレイ



Hyper-Kに向けたHPDの開発



HPDの光電面に入射する光子で生じた光電子を高電圧で加速し、Avalanche Diode (AD) に打ち込み、AD内でアバランシェ増倍

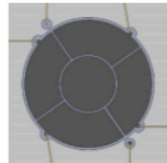
• 利点

- ダイノードより、ADはシンプルな構造
→ 低コスト
- 早く揺らぎの少ない電子収束・増倍
→ 良い時間性能
- 高い初段増幅
→ 優れた1光電子検出能力

• 難点(挑戦!): アンプの開発

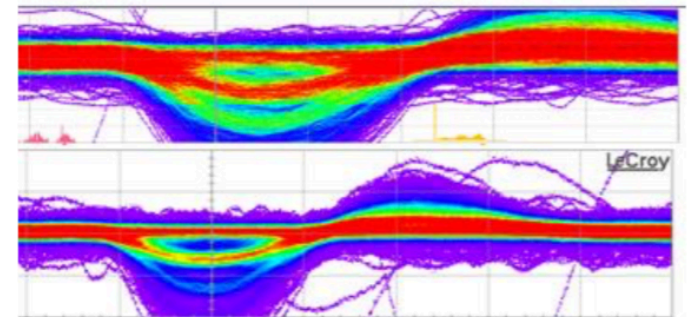
- Total Gainが低い (5×10^4 , PMT: 10^7)
→ 高ゲイン: 500
- ADの反応がはやい (~ 10 ns)
→ 高速: 100MHz
- ADのJunction容量の大きい (~ 800 pF)
→ 低ノイズ

HPDのS/Nを上げるために、
様々な方法を試した



カップリング トランス 多チャンネルAD

従来



改良
信号がもっと
はっきり!

加速器のアップグレード(今後のテーマ)

ビームロス低減に向けて

ビーム位置のずれを小さくしよう!

ビームの広がりを小さくしよう!

高周波フィードバックシステム

さらなる高周波化
(信号処理回路、
モニターの開発)

16電極モニター

信号処理回路の開

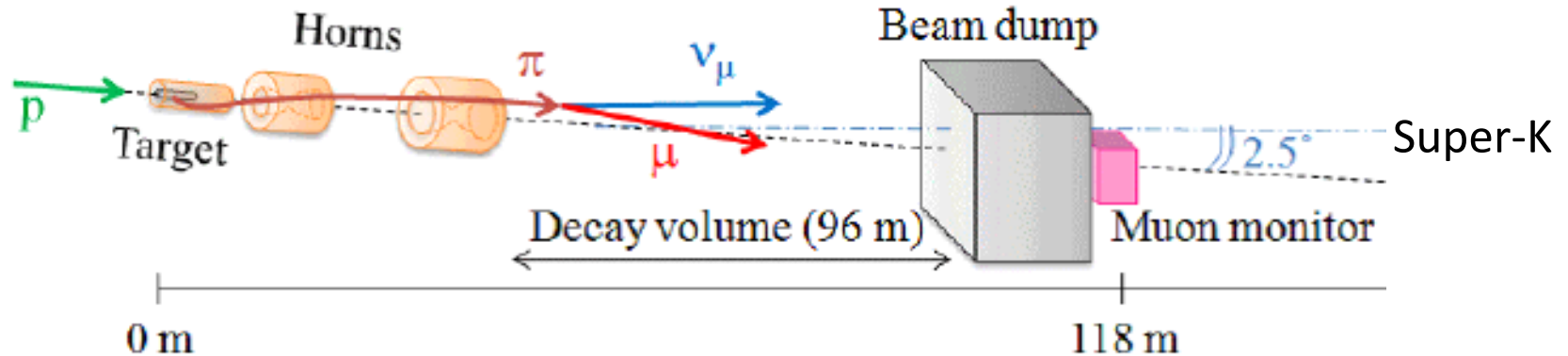
FPGAで1から構築 or 既製品を組み合わせ

四重極キッカー

ビームの振動応答を観測、キックできるかの検討

ビーム不安定性の
シミュレーション
(空間電荷効果の再現)

muon monitor (MUMON)



- ミューオンを測ることで、ニュートリノ・ビームの方向をモニター
- 京都大学が製作、運用を担当
- この検出器がないと、実験が走れない。

2種類の検出器

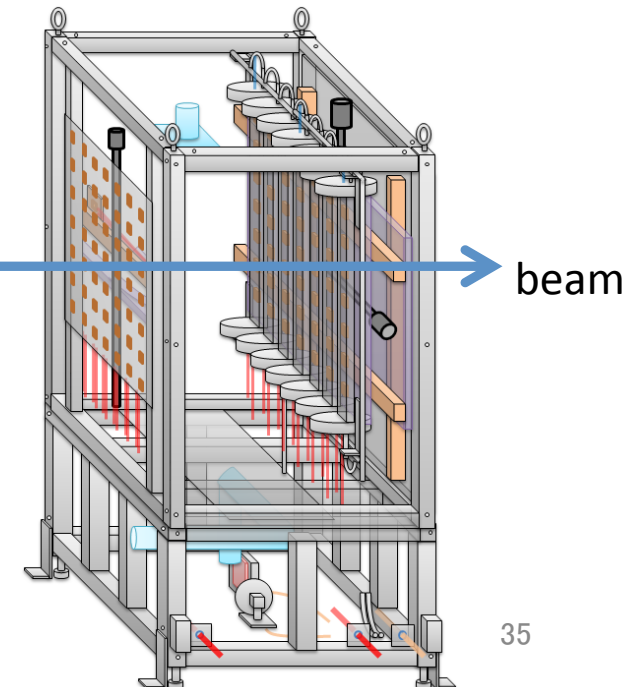
- ✓ Si PIN Photodiode
- ✓ Ionization Chamber(IC)

ビーム強度が上がってきて、Siについては、放射線耐性が、ICについては、イオンの空間電荷が問題になりつつあり、新しい検出器が望まれている。

候補

- diamondやSiCなどwide bandな半導体
- 電子増倍管
- ICで電圧を上げれるようにする？

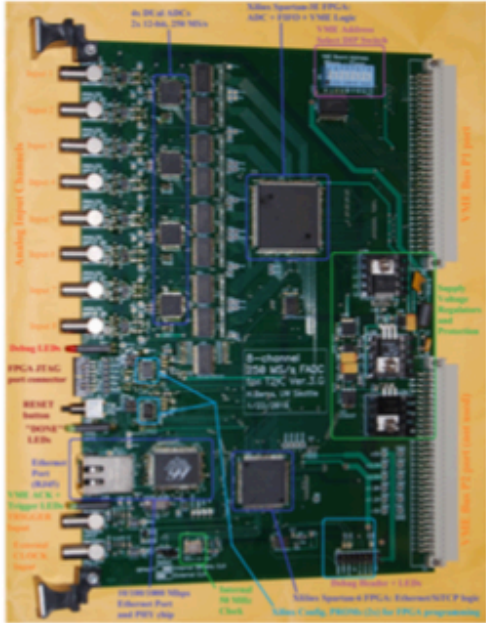
いずれにせよR&Dと検出器の改造ないし再建設が必要。



Beamline DAQのアップグレード

- 1.28 sec周期運転への対応

- FADC for CT, BPM (250MHz, SiTCP readout)
 - A short readout latency
 - Under development prototype module [N.Patel(Kyoto), H.Berns(UC Davis), J.Wilkes(UW)]
 - Plan to finish development in 2016, start production (~2018)



ニュートリノ中性反応に関する研究

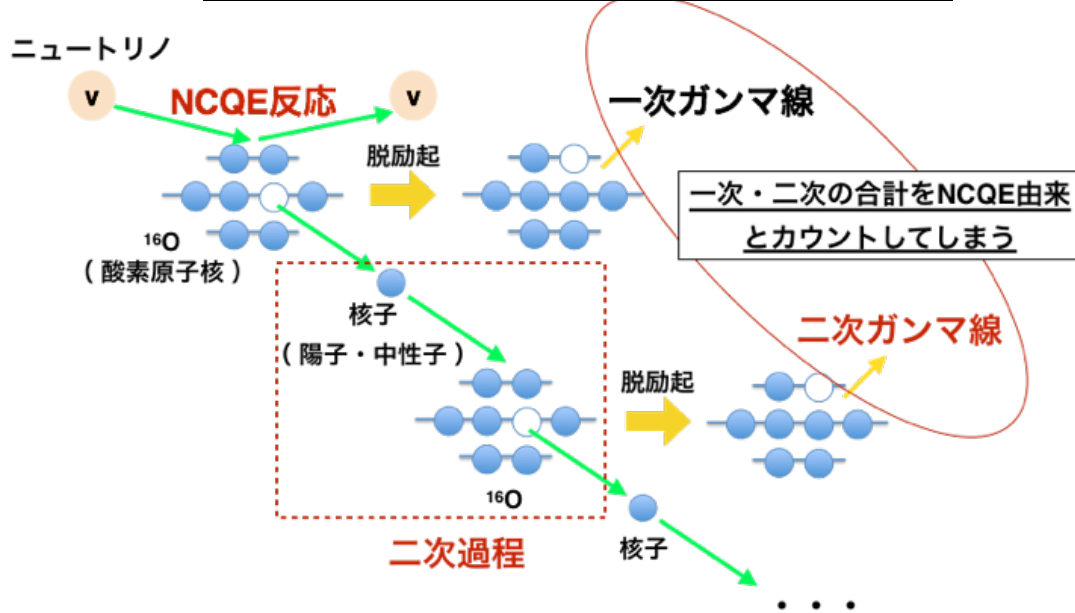
芦田

系統不定性が大きい... 反ニュートリノに関する測定はまだ

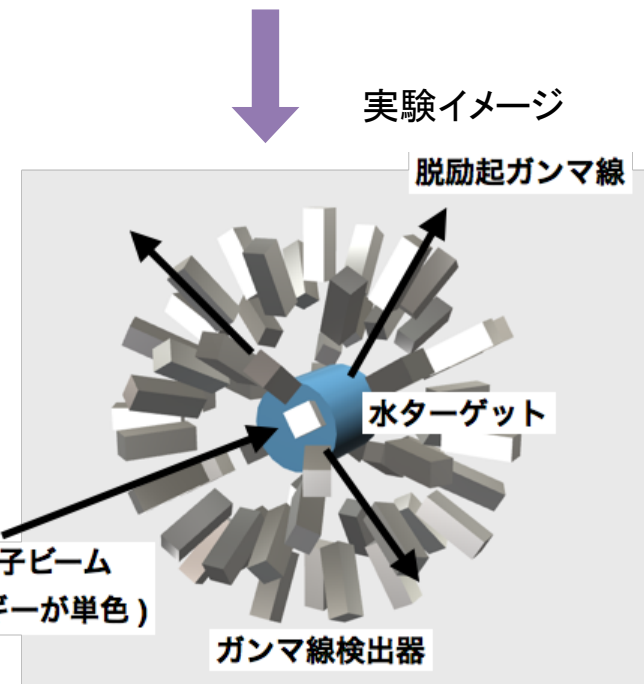
$$\langle \sigma_{\text{NCQE}} \rangle = 1.55 \times 10^{-38} \pm 0.395(\text{stat.})^{+0.65}_{-0.33}(\text{sys.}) [\text{cm}^2]$$

K.Abe et al. (The T2K Collaboration), Physical Review D 90, 072012 (2014)

主な問題 = 「二次ガンマ線」の見積もりがきちんとできていない...
 → 二次過程の精確な見積もりが必要!



SKでは一次・二次ガンマ線を区別できない



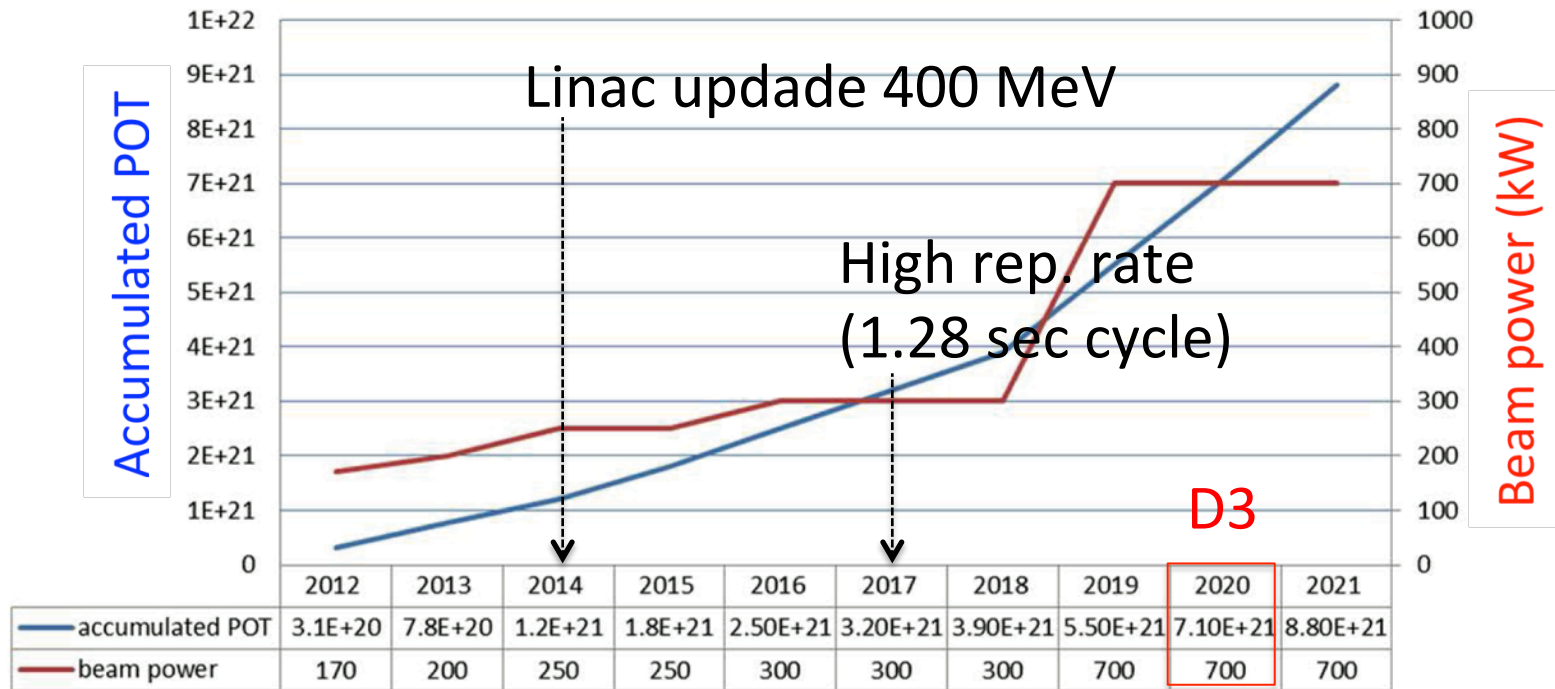
大阪大学核物理研究センター (RCNP) の中性子ビームを水ターゲットに照射し, 放出されるガンマ線 (= 二次ガンマ線) のエネルギー・数を精確に測定する実験 (を始めた)

= 二次過程だけの見積もりに対応

準単色中性子ビーム (ほぼエネルギーが単色)

ガンマ線検出器

T2K実験予想POTのケーススタディ



Period	Accumulated Protons On Target	Beam Power
June 2012	3.1×10^{20}	170 kW
June 2013	7.8×10^{20}	200 kW
June 2014	1.2×10^{21}	250 kW ¹
June 2015	1.8×10^{21}	250 kW
June 2016	2.5×10^{21}	300 kW
June 2017	3.2×10^{21}	300 kW
June 2018	3.9×10^{21}	300 kW
June 2019	5.5×10^{21}	700 kW ²
June 2020	7.1×10^{21}	700 kW
June 2021	8.8×10^{21}	700 kW

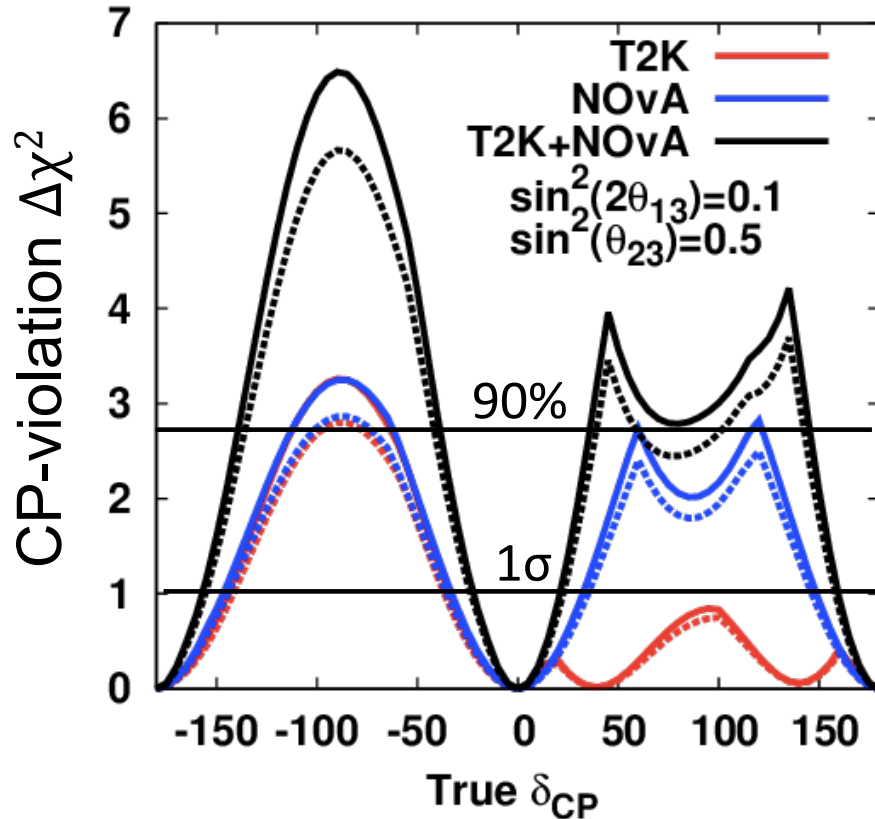
2016年4月現在

Beam power > 380 kW
積算POT = 1.0e+21

T2K Full POT = 7.8e+21

T2K(+NOvA)の $\sin\delta_{CP}\neq 0$ の決定感度

PTEP 043C01 (2015), arXiv:1409.7469 [hep-ex]



仮定

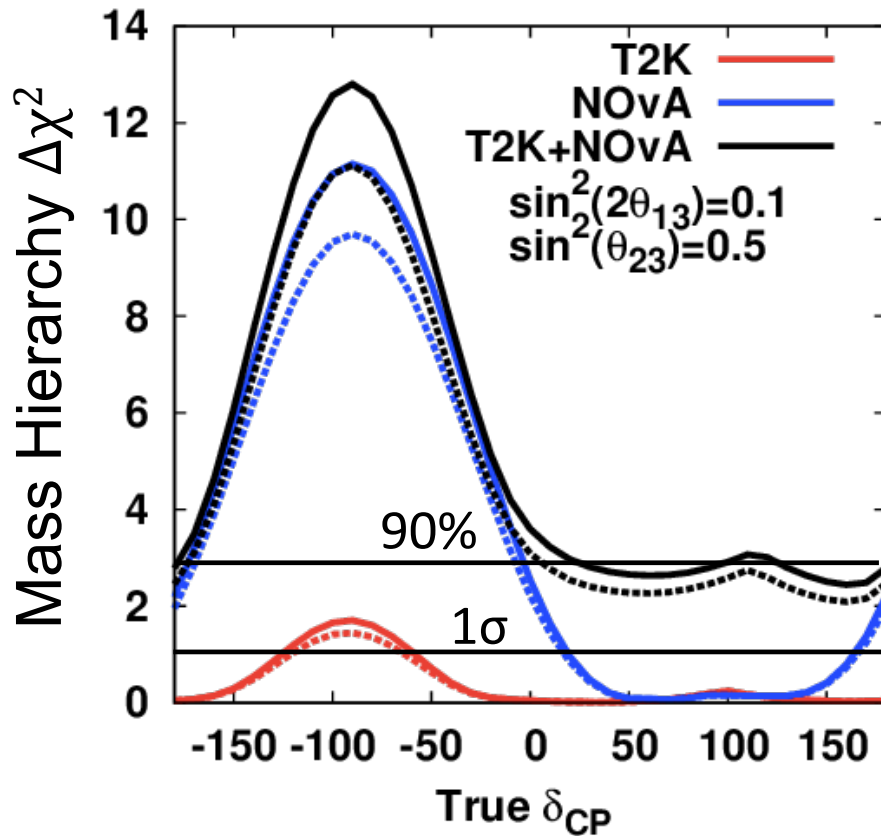
- 点線 (実線): 系統誤差あり(なし)
- $\sin^2 2\theta_{13} = 0.1$ w/ ultimate reactor prec.
- $\sin^2 \theta_{23} = 0.5$
- $\Delta m^2 = 2.4 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$
- 標準質量階層性
- T2K
 - 7.8×10^{21} POT (50% ν-50% anti-ν)
- NOvA
 - 3.6×10^{21} POT (50% ν-50% anti-ν)

Systematics: 5%(10%) norm. error on sig. (BG)

D論の時に大発見があるかも

T2K+NOvAの質量階層性の決定感度

PTEP 043C01 (2015), arXiv:1409.7469 [hep-ex]



仮定

- 点線 (実線): 系統誤差あり (なし)
- $\sin^2 2\theta_{13} = 0.1$ w/ ultimate reactor prec.
- $\sin^2 \theta_{23} = 0.5$
- $\Delta m^2 = 2.4 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$
- 標準質量階層性
- T2K
 - 7.8×10^{21} POT (50% ν -50% anti- ν)
- NOvA
 - 3.6×10^{21} POT (50% ν -50% anti- ν)

Systematics: 5%(10%) norm. error on sig. (BG)

D論の時に大発見があるかも

バックアップ

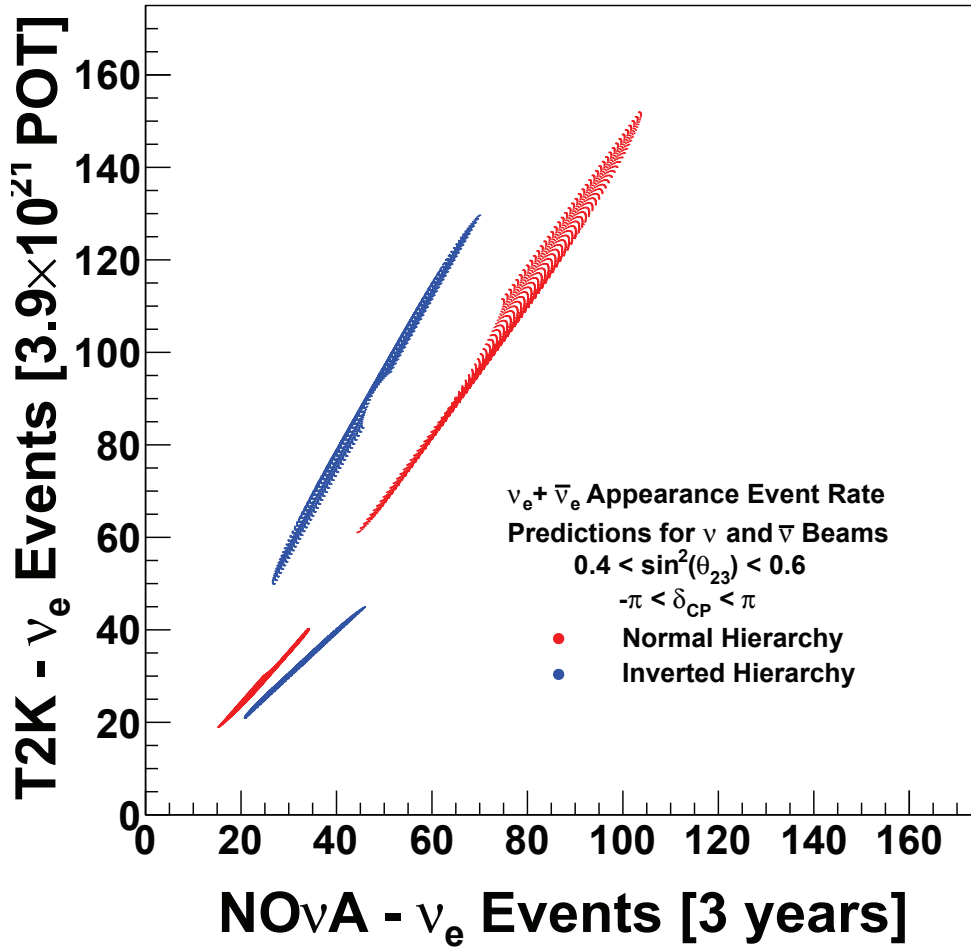


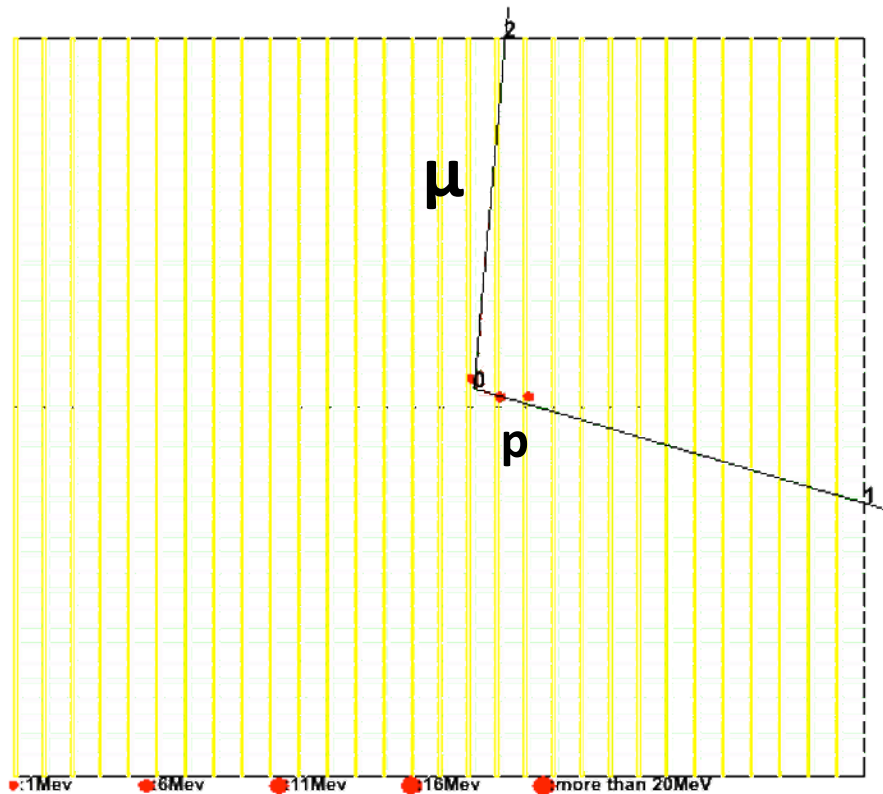
Figure 27: Relation between the expected number of events of T2K and that of NO ν A for various values of δ_{CP} , $\sin^2 \theta_{23}$ and mass hierarchy. The two blue and red upper bands are for the neutrino-mode run events and the red and blue bottom bands are for the antineutrino-mode run events.

T59: 3D grid-detector: WAGASCI

Event display (same CCQE event)

w/o grid layer

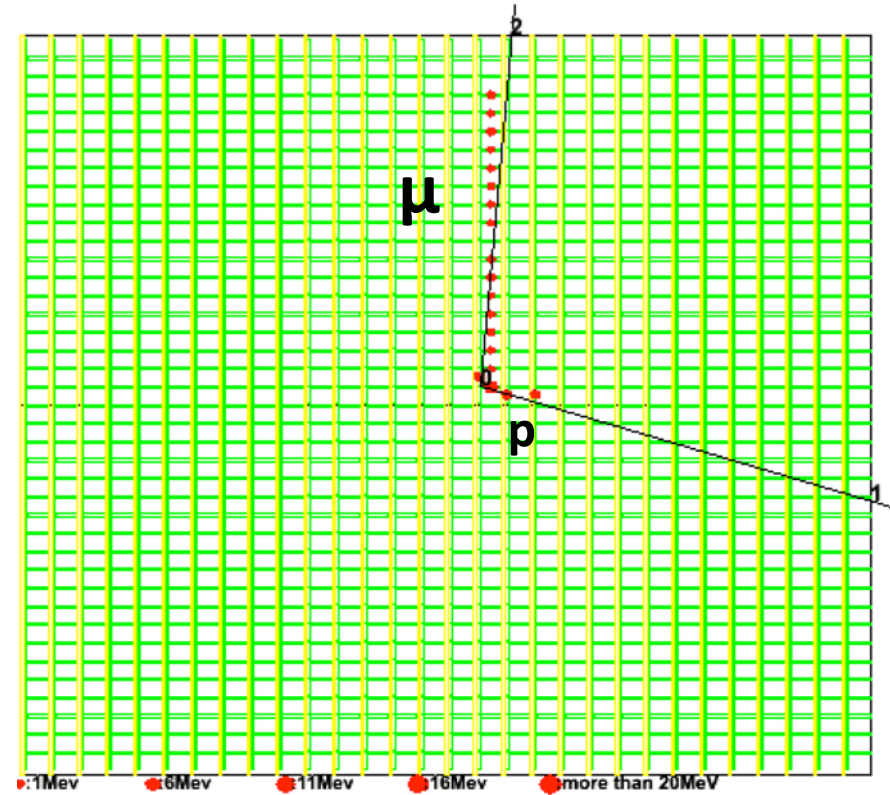
sideview



hard to track
large scattering μ

with grid layer

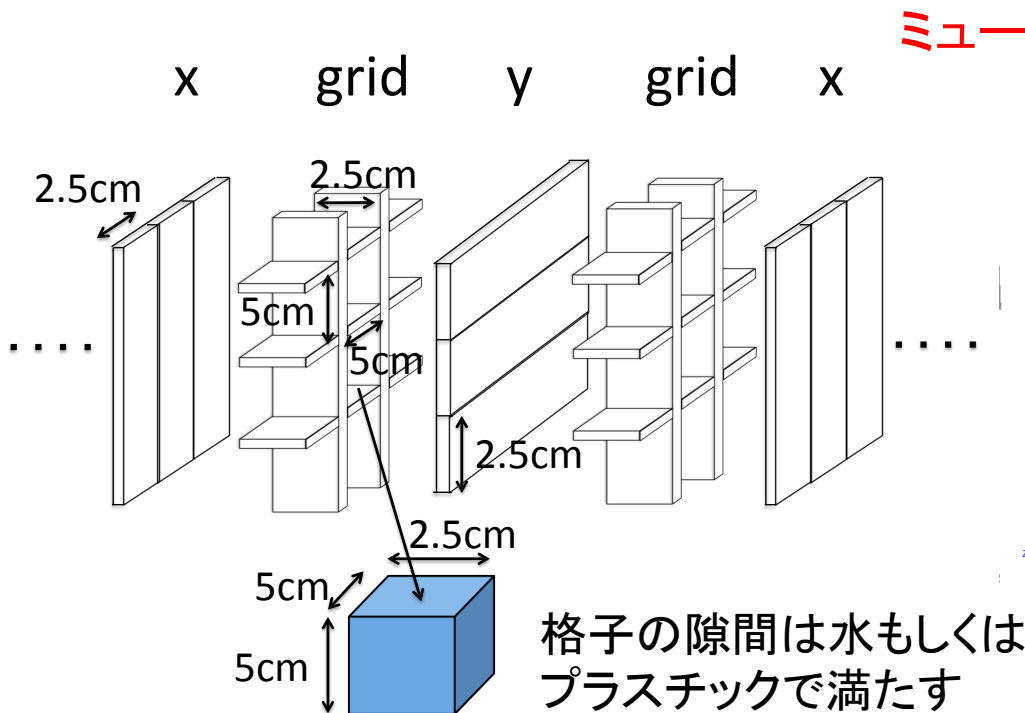
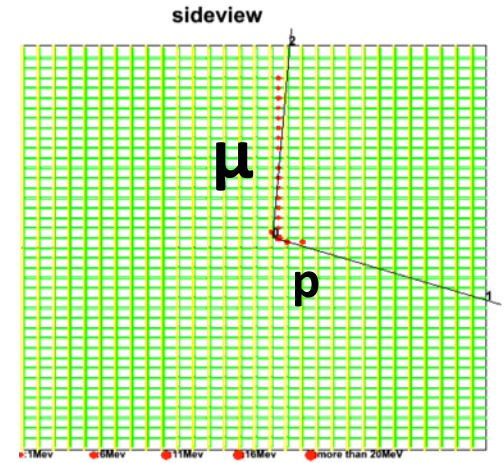
sideview



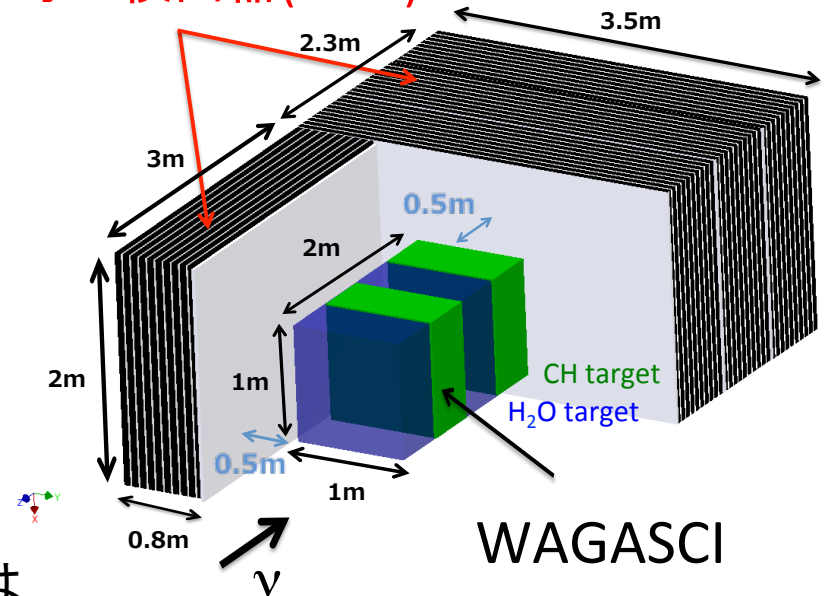
easy to track
large scattering μ

WAGASCI実験

- 特徴: 3次元格子構造を持つ新型検出器
 - 4 π 方向すべてに高い検出効率
- 目的: ニュートリノ反応断面積測定
- 目標: T2K実験の ν 反応の誤差を低減



ミューオン検出器(MRD)



T2K前置検出器棟地下2階に設置