

ニュートリノグループ

研究紹介

京都ニュートリノグループ一同

メンバー紹介

敬称略

- スタッフ：中家 剛、市川 温子、南野 彰宏
- ポスドク：池田 一得
- 学生：中島 康博、松岡 広大、久保 一、大谷 将志、家城 佳、村上 明、木河 達也、鈴木 研人、高橋 将太

本グループでの研究

- T2K実験

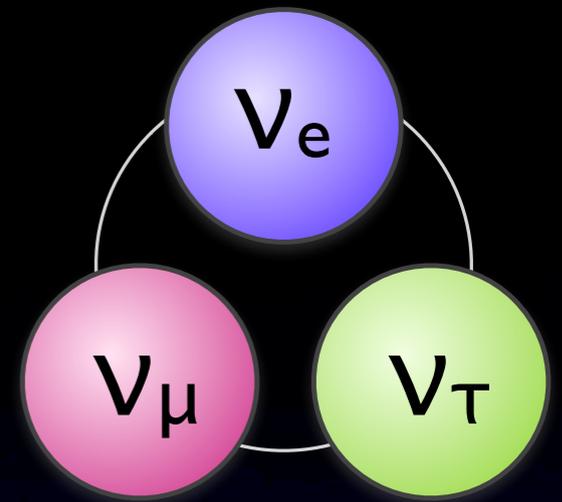
- 「ニュートリノ振動」の解明→ニュートリノ物理の解明

- SciBooNE実験

- ニュートリノ断面積の精密測定、etc

- etc

ニュートリノ振動



- ニュートリノ振動：ニュートリノが時間変化によりフレーバーを変える現象

フレーバー固有状態

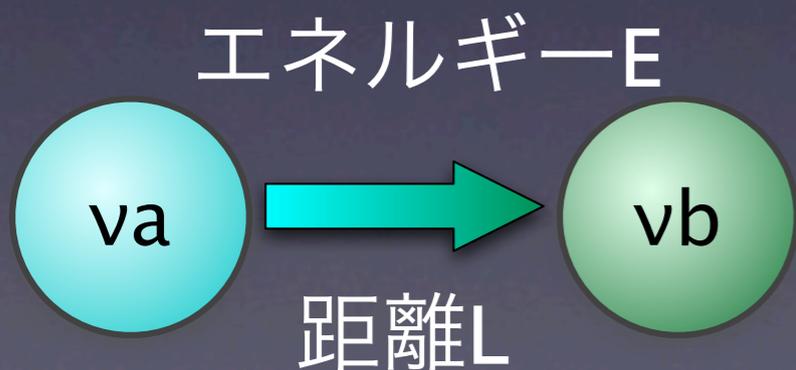
MNS行列

質量固有状態

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

$c_{ij} = \cos\theta_{ij}$
 $s_{ij} = \sin\theta_{ij}$

フレーバー固有状態は質量固有状態の重ね合わせで表される。



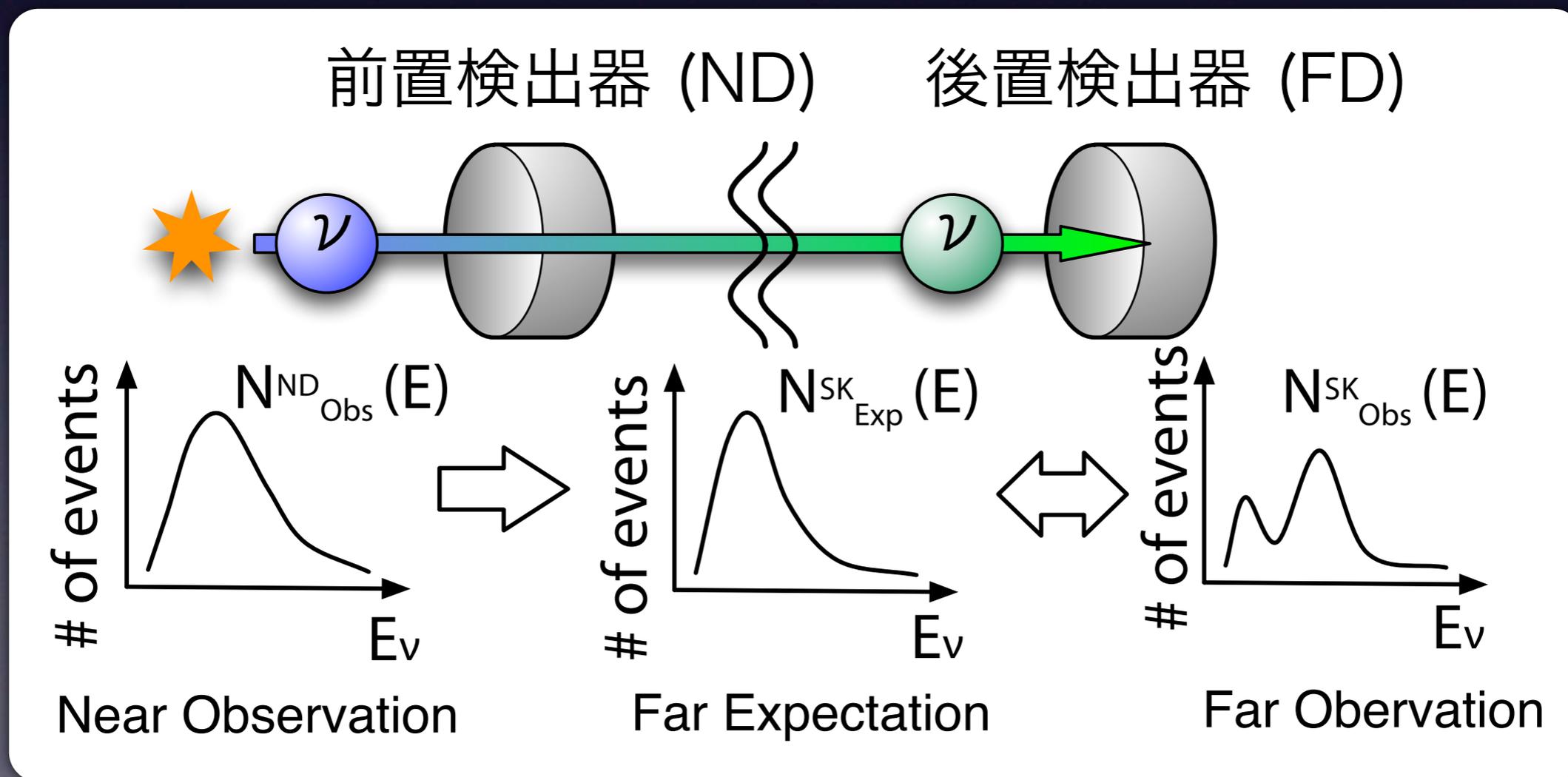
$$P(\nu_\alpha \rightarrow \nu_\beta) = \sin^2 2\theta \sin^2 \left(\frac{1.27 \Delta m^2 [eV^2] L [km]}{E_\nu [GeV]} \right)$$

振動パラメータ： $\theta_{12}, \theta_{13}, \theta_{23}, \Delta m^2_{12}, \Delta m^2_{13}, \Delta m^2_{23}$

加速器ニュートリノ実験

ニュートリノを生成して、ある距離を飛行する前後での
ニュートリノのフレーバーと数を比較する。

→ 振動しない場合での予想数と実際の観測数の差が振動
に寄る効果として観測される。



T2K実験



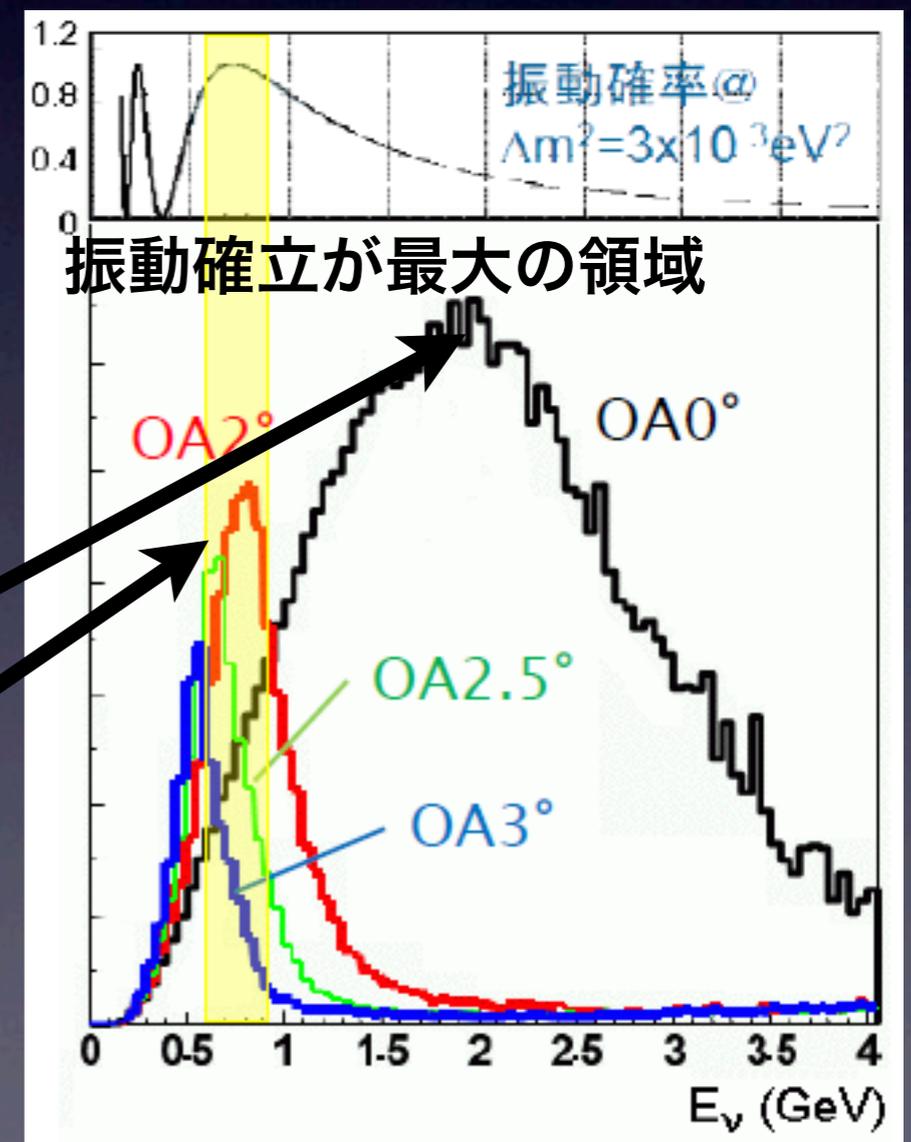
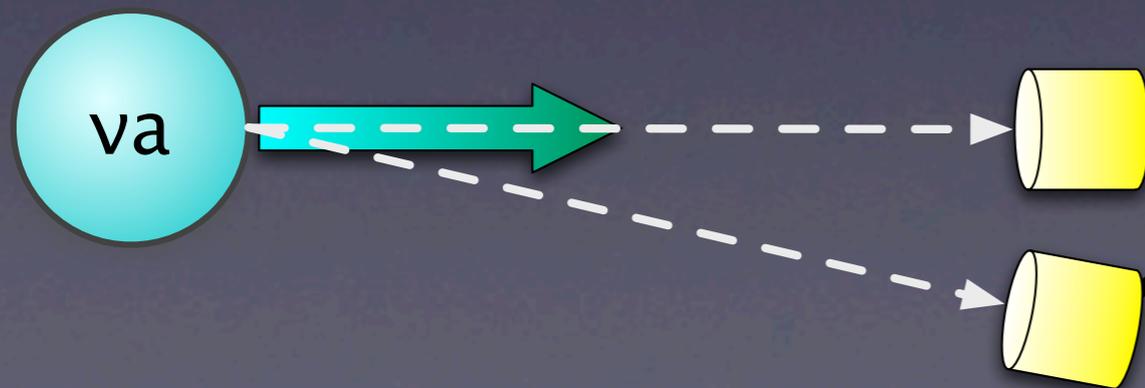
- 2009年4月より実験開始
- 12カ国 (Canada, France, Germany, Italy, Japan, Korea, Poland, Russia, Spain, Switzerland, UK, USA)
- 62機関、約500人

T2K実験

- 物理目標
 - 振動パラメータ θ_{23} , Δm^2_{23} の精密測定
 - 未発見の振動モード $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ の発見。

- 特徴

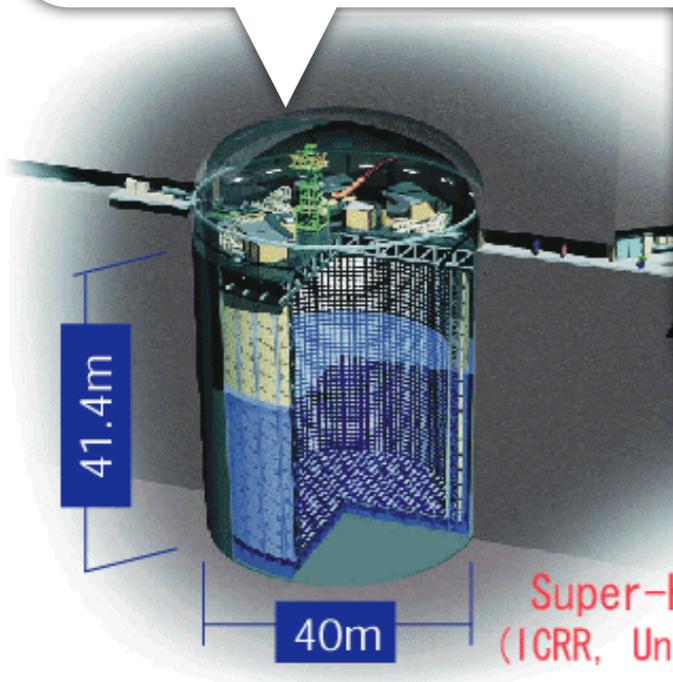
- J-PARCの世界最大強度のビーム
- 世界最大級の水チェレンコフ検出器「スーパーカミオカンデ」
- Off-Axis法 → ビームの方向を正確に把握



T2K実験

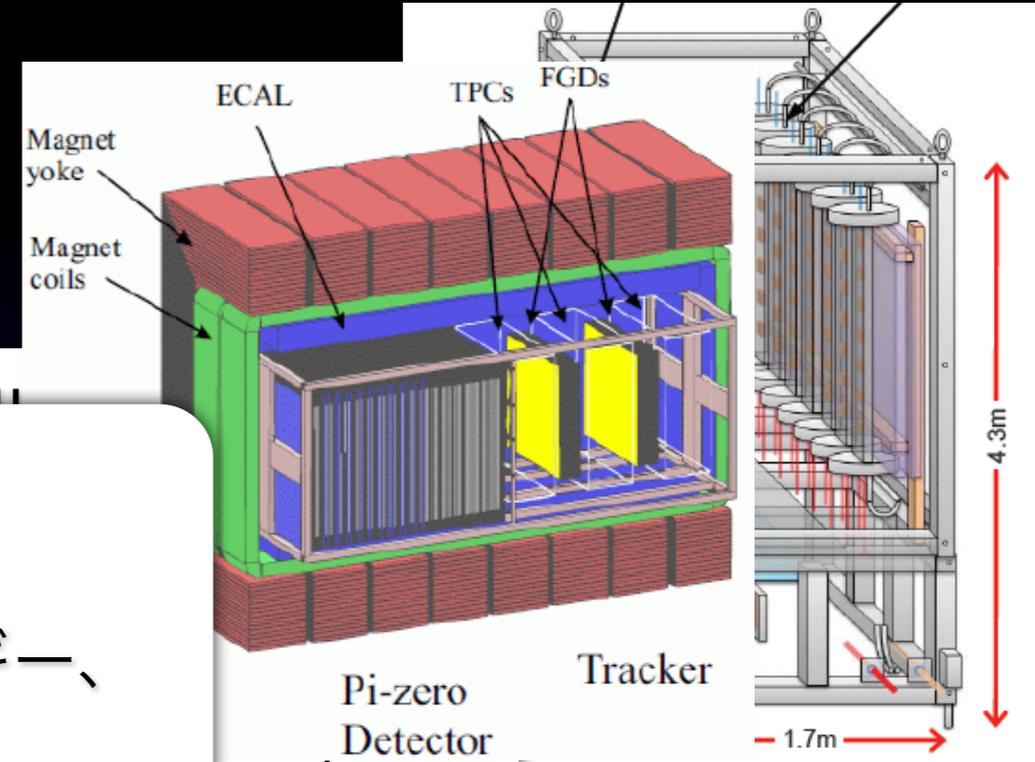
スーパーカミオカンデ

振動後のニュートリノのエネルギー、
フレーバー、数を測定する。



検出器群

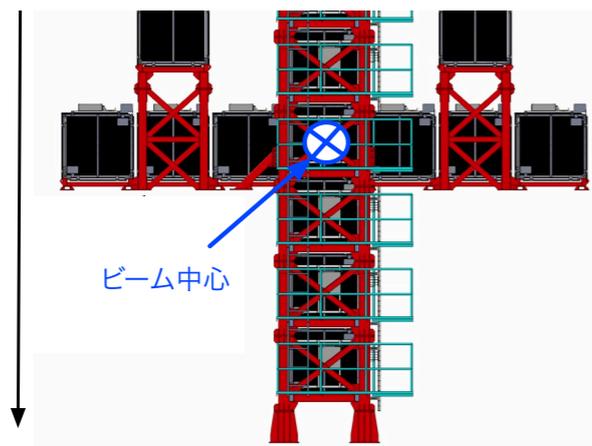
振動前のニュートリノのエネルギー、
フレーバー、数を測定する。



$\nu_\mu \rightarrow \nu_?$

$\tau \rightarrow \mu, \nu_\mu$

π



INGRID
ニュートリノビームの方向を
直接モニターする。

ターゲットに当
てられ生成。3つの電磁
エネルギーを前方に収束。

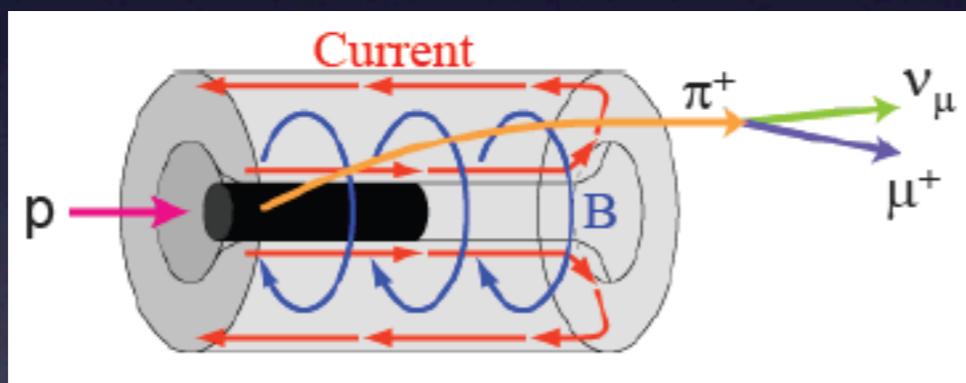
京都グループの活躍

- 電磁ホーン : 市川、久保
- ビームモニター
 - Muon Monitor : 松岡、久保、鈴木
 - INGRID : 南野、大谷、村上
 - FGD : 池田、家城
- Proton module : 南野、木河
- 前置水チェレンコフ検出器 : 市川、高橋(将)

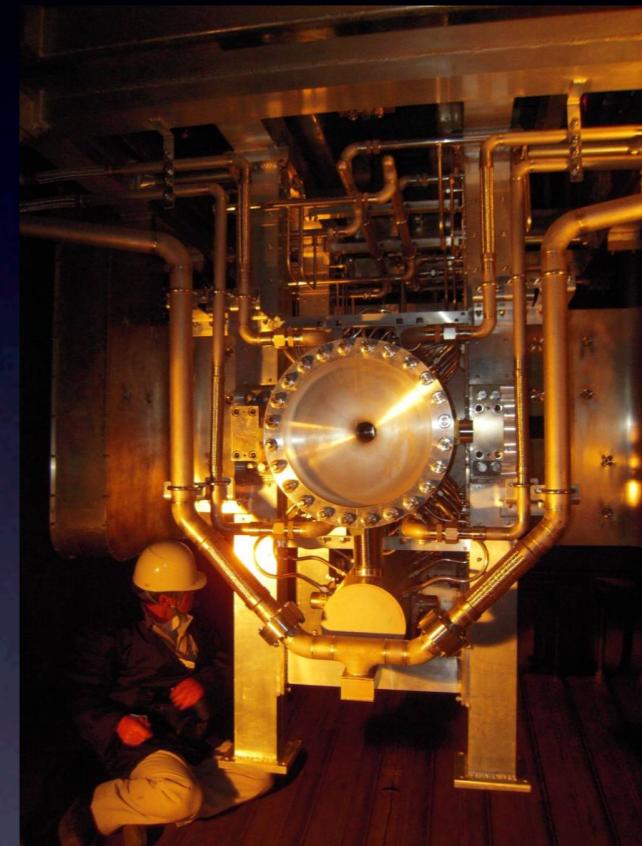
前置水チェレンコフ検出器
京都の学生が実験を動かしている

電磁ホーン(市川、久保)

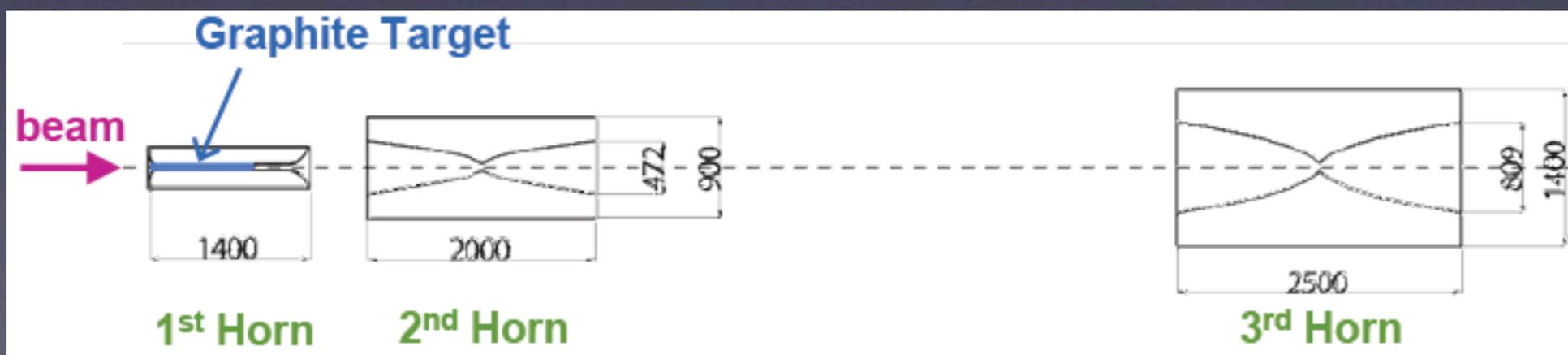
- 生成直後のパイオンを磁場により前方へと収束させる。
- 合計3台の電磁ホーンを利用



1st Horn のイメージ

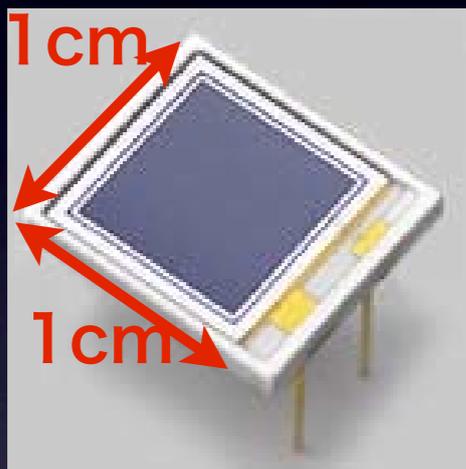


1st Horn

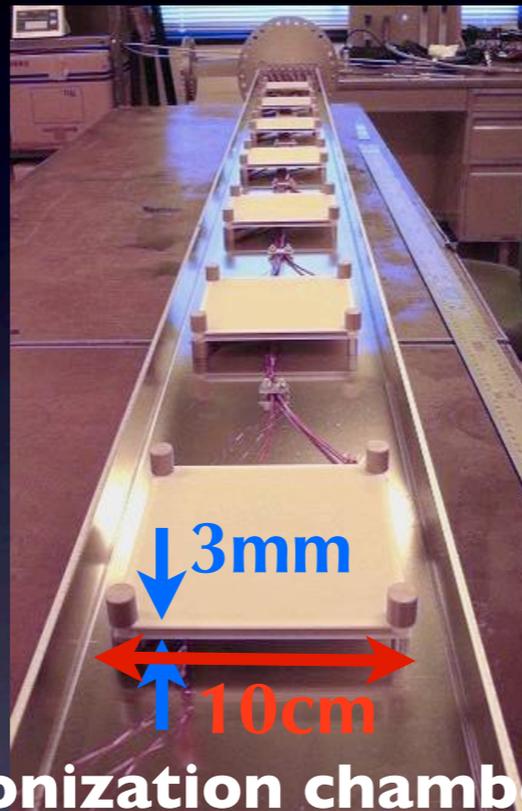


MUMON(松岡、久保、鈴木)

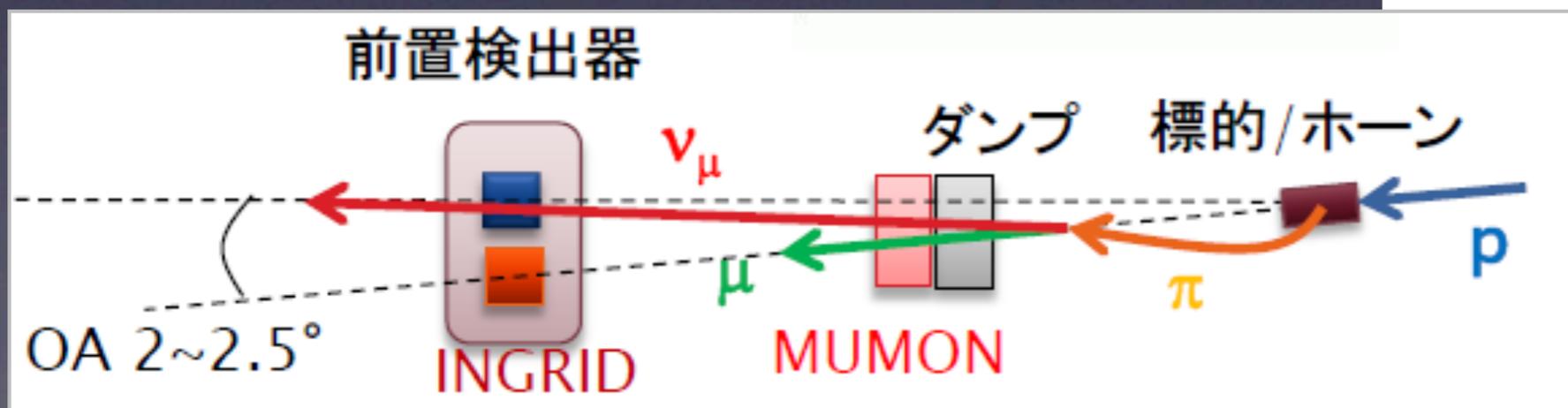
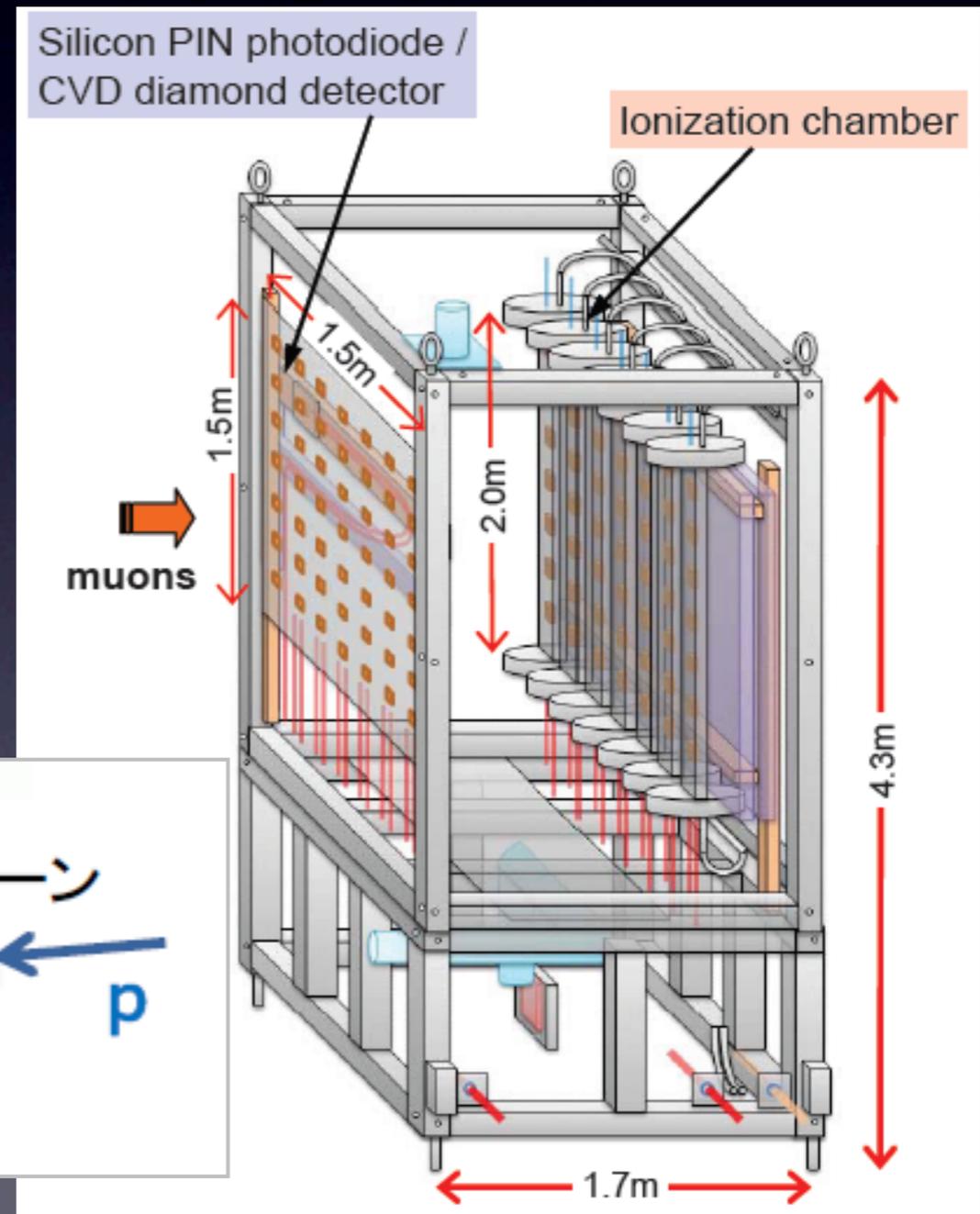
- ミューオンを測定することで、ニュートリノビームの方向と強度をリアルタイムにモニターする。



Silicon PIN photodiode



Ionization chamber

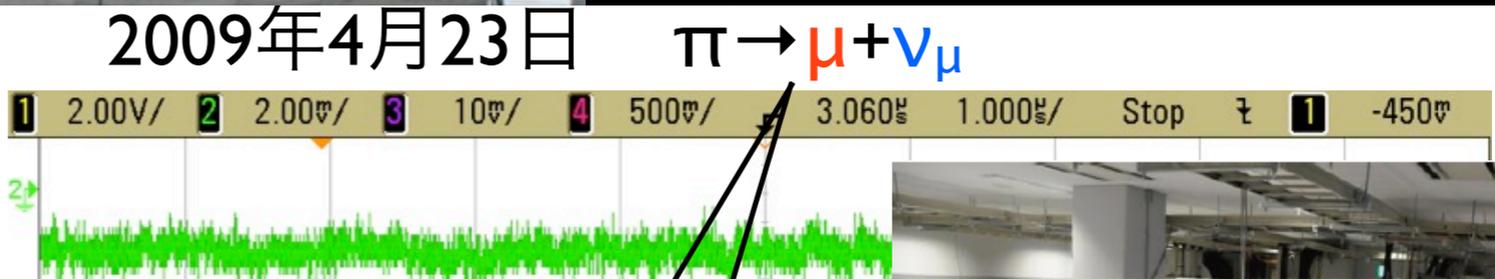


MUMON

2009年2月にインストール完了

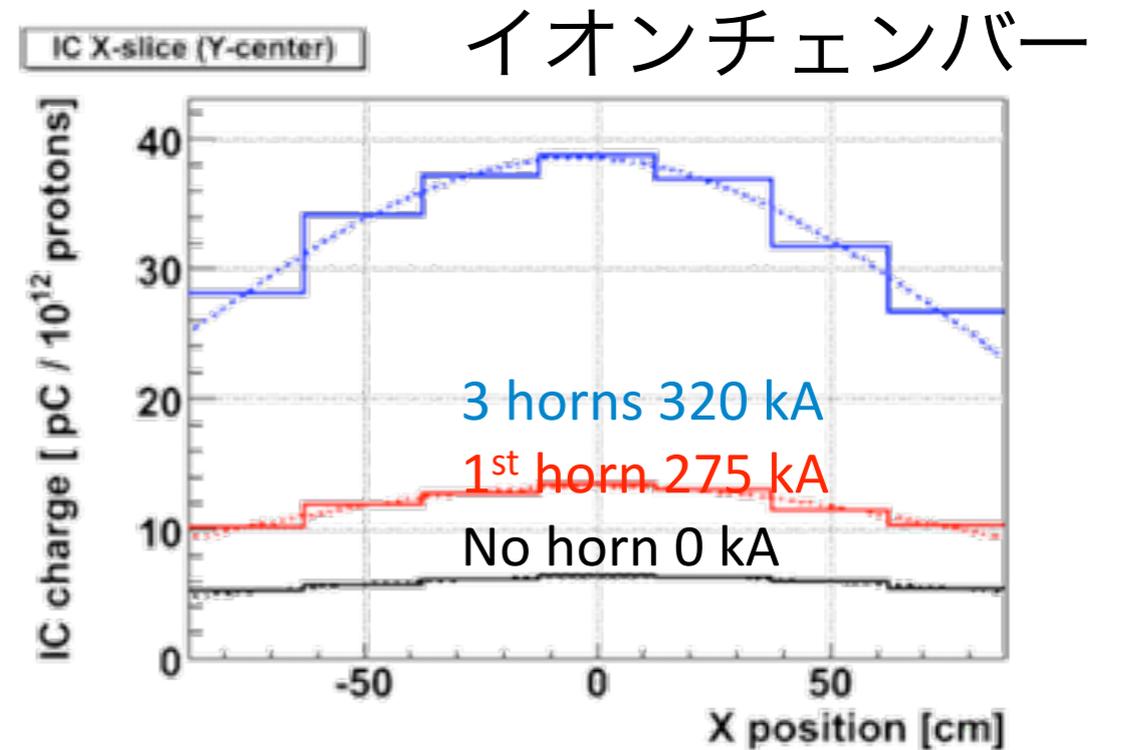
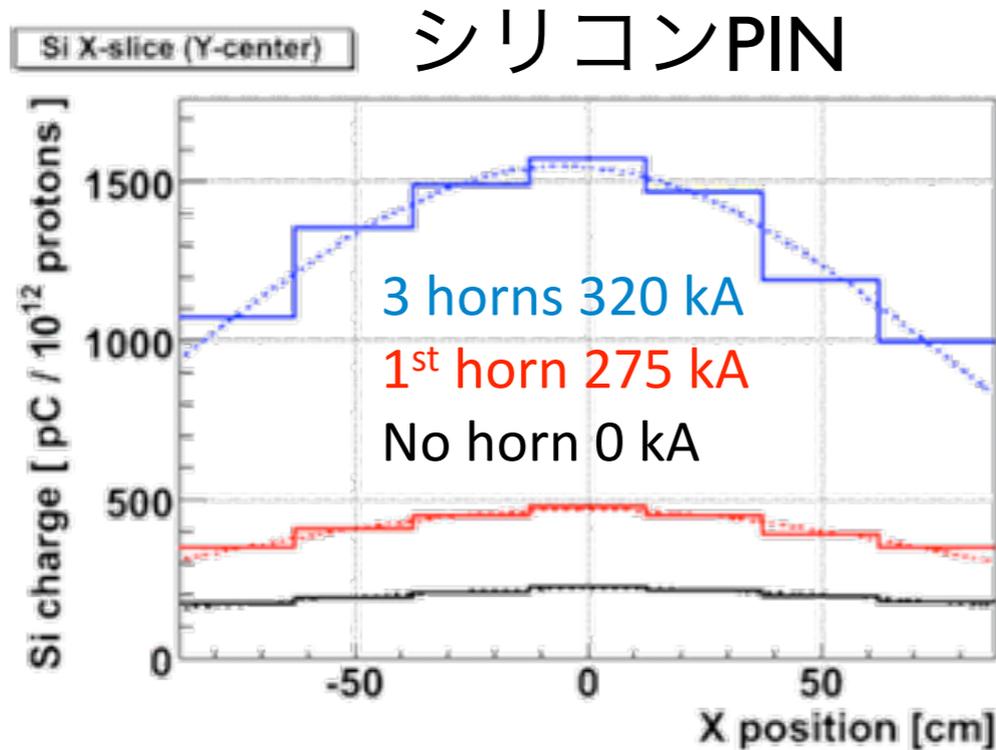


久保



ビーム方向の確認
電磁ホーンによる収束効果

OK!

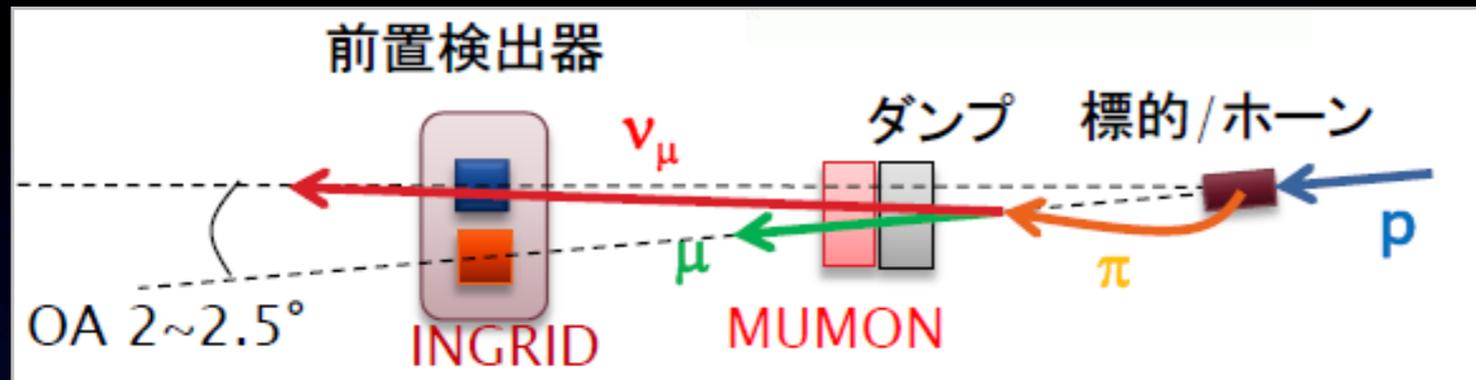


ミュオンモニターによるY方向プロファイル

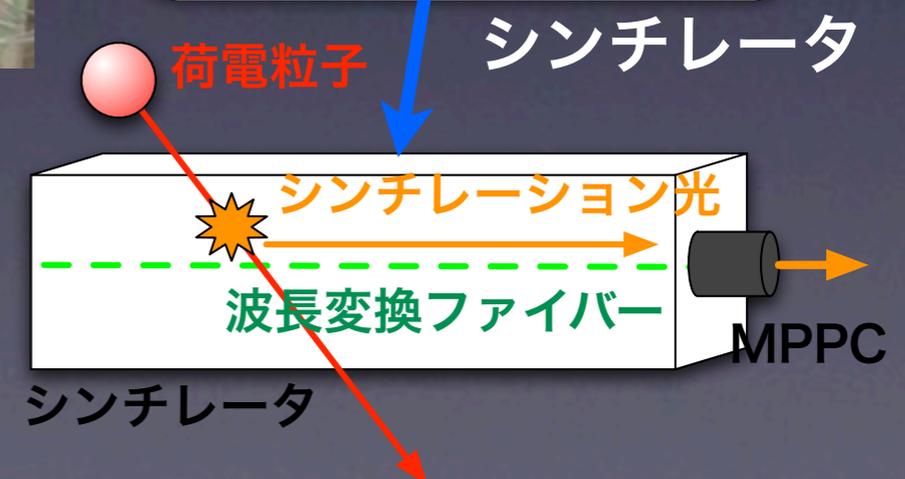
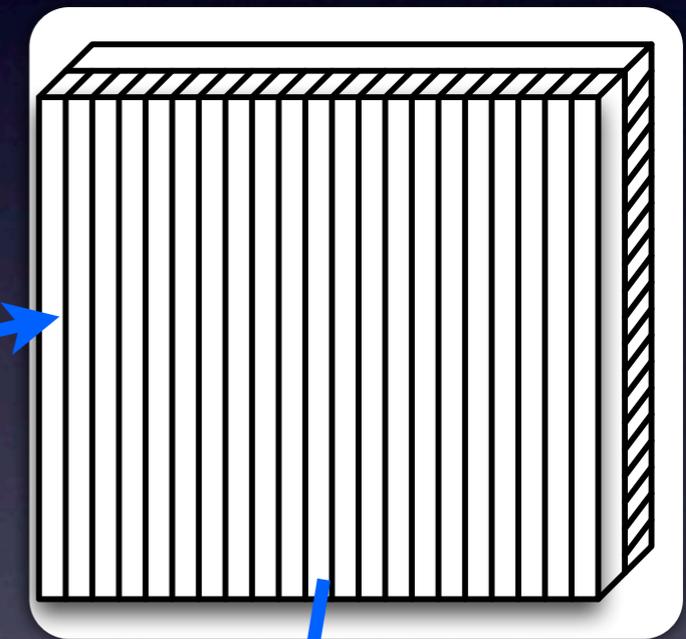
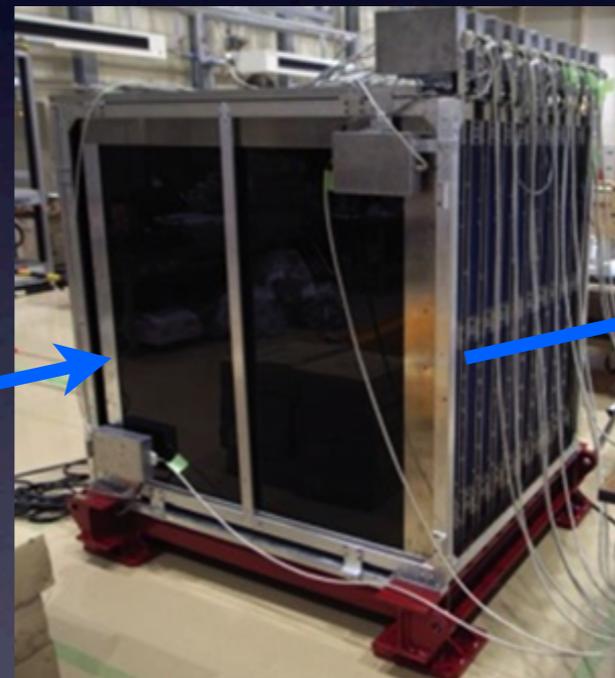
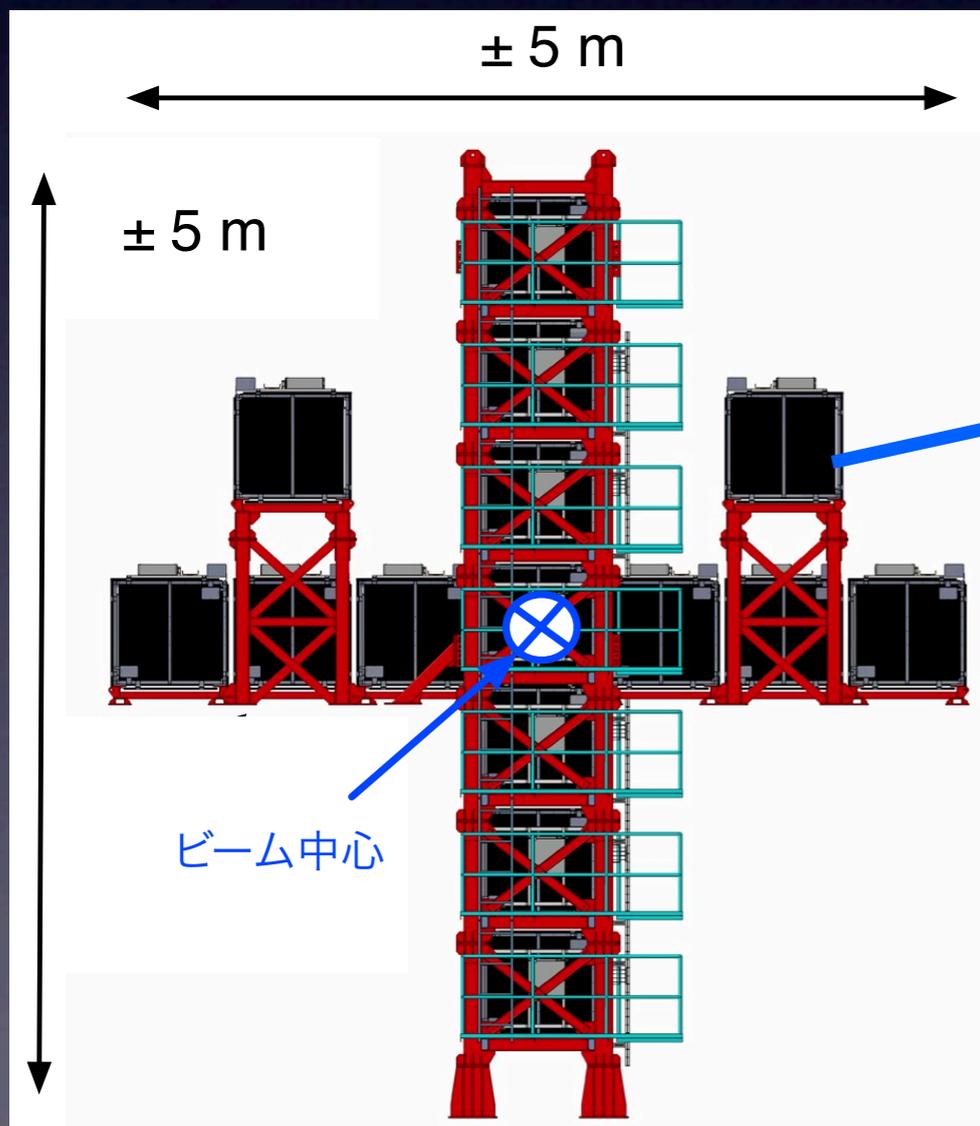


INGRID(南野、大谷、村上)

- ニュートリノの直接測定 → 方向と強度を測定



シンチレータが縦横に並んだ層と鉄層のサンドイッチ構造になっている。



INGRID

First INGRID neutrino event candidate



見た図

v bear

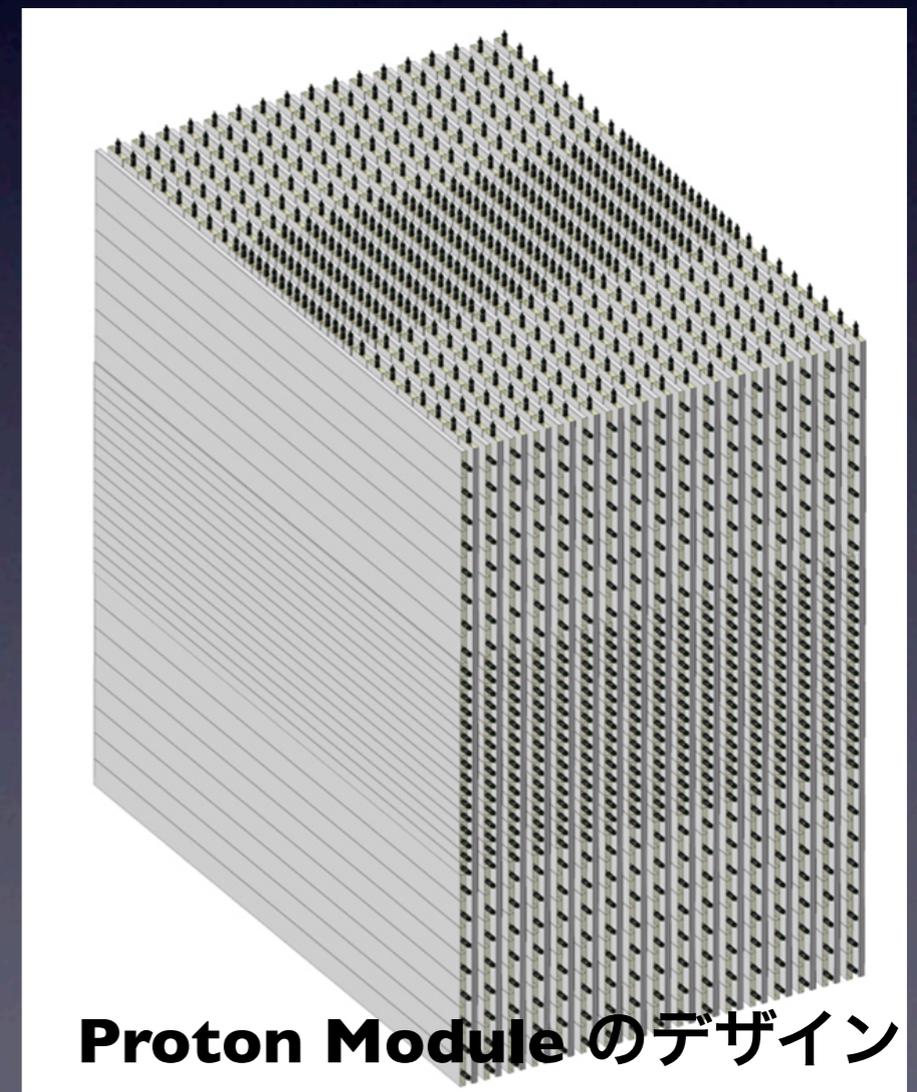
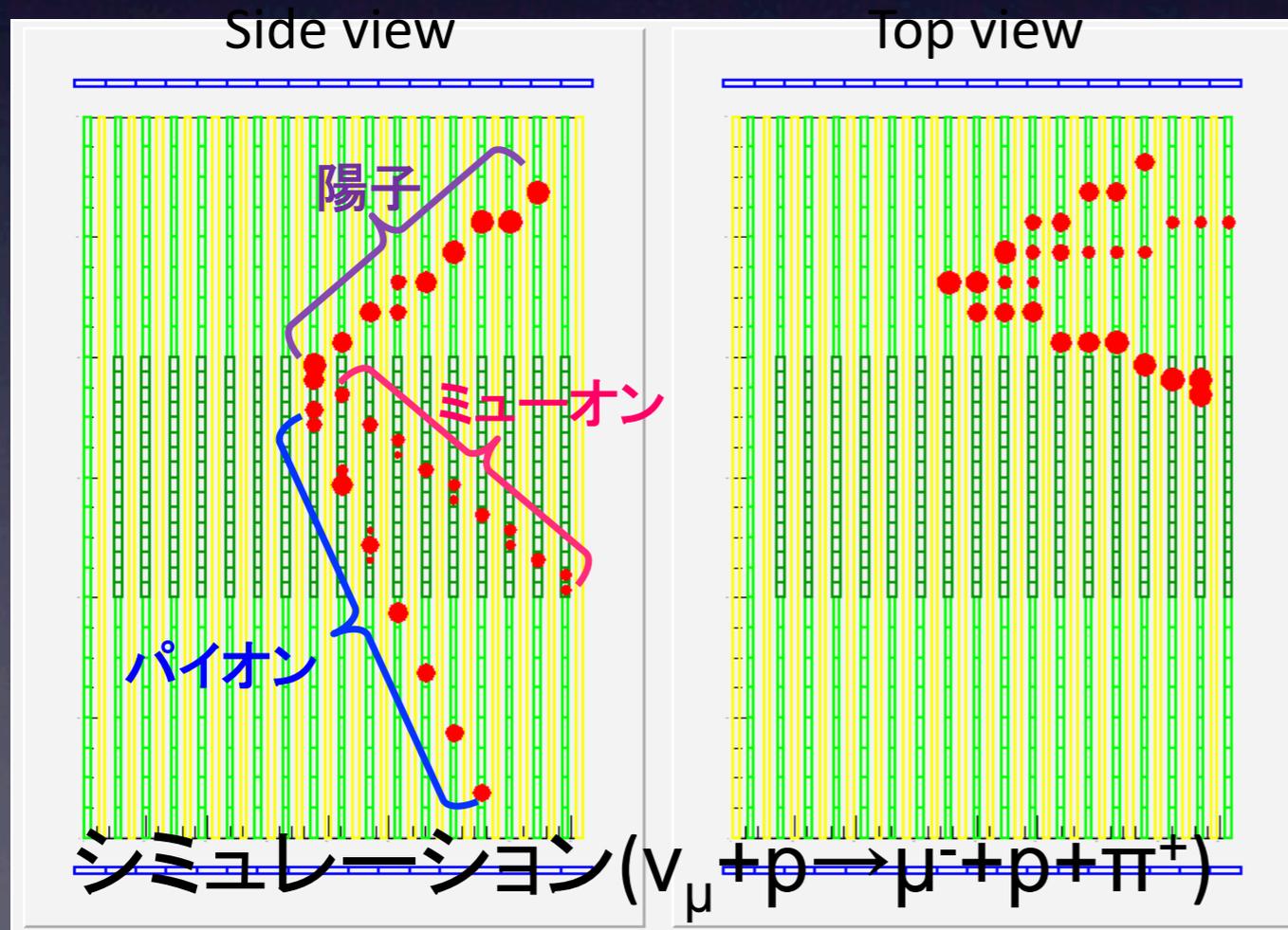
ビーム方向の測定開始・解析中

120
cm

(with 0.5 Hz 57210 p/s)

Proton Module (南野、木河)

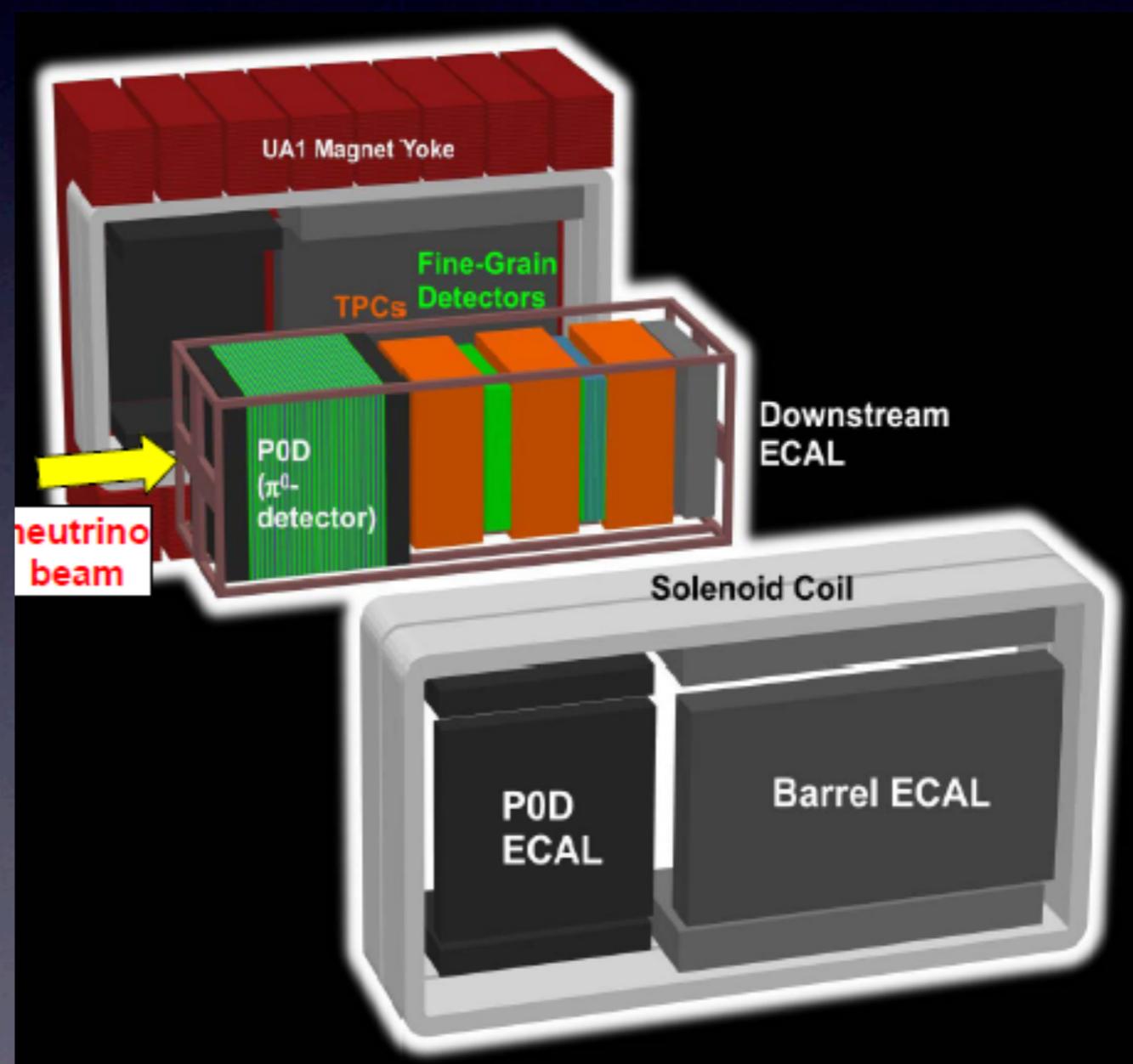
- INGRIDにおいてはニュートリノ反応で生成された陽子やパイオンが強い相互作用により鉄で止まってしまうため、検出できない。
- 鉄のない新型モジュール Proton Module を開発中



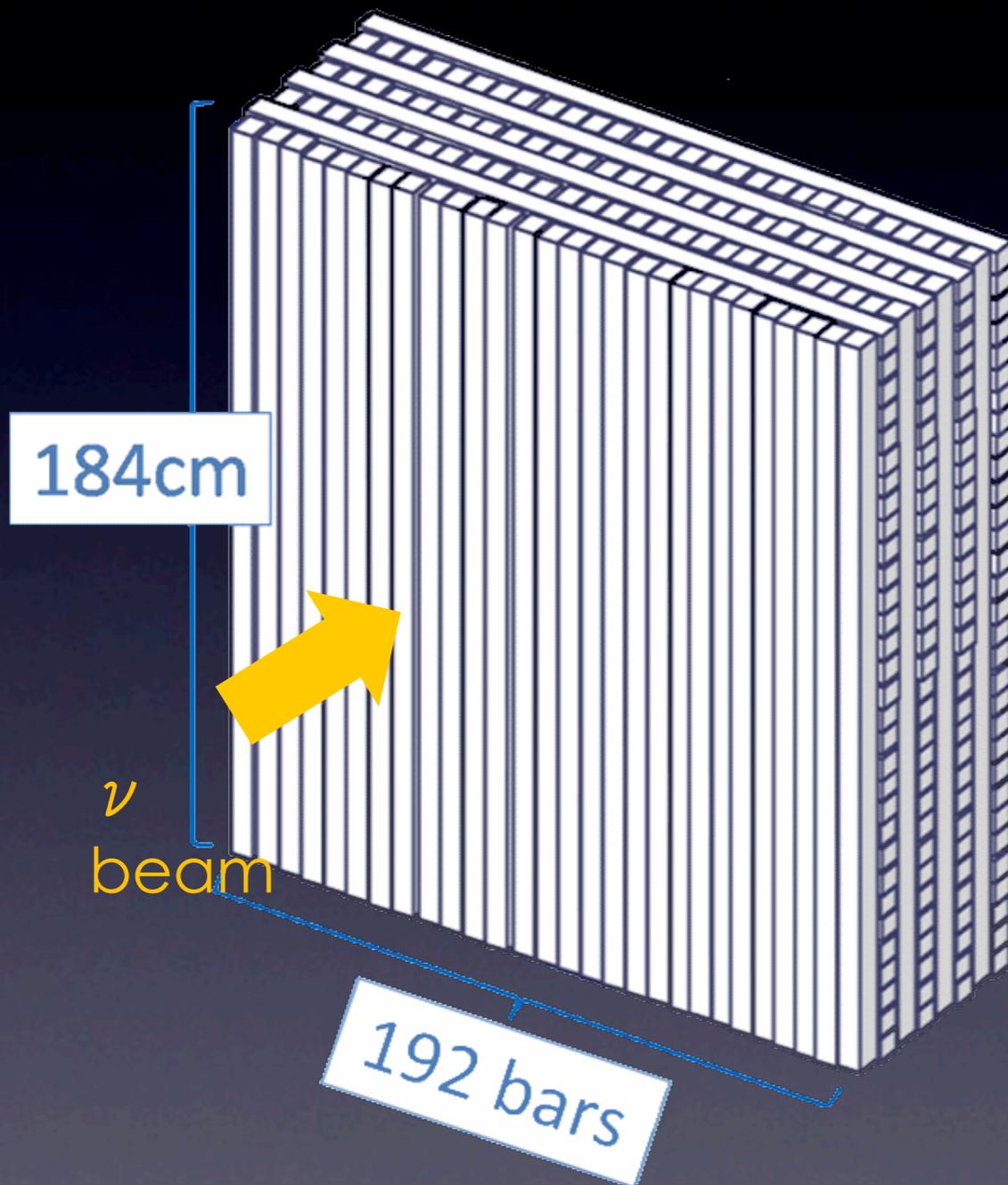
前置ニュートリノ検出器群

- ニュートリノビームのフラックスとスペクトルの測定
- バックグラウンド反応の測定

ニュートリノ反応で発生する様々な粒子を検出するためのいくつかの検出器から成る。



FGD (Fine-Grained-Detector)



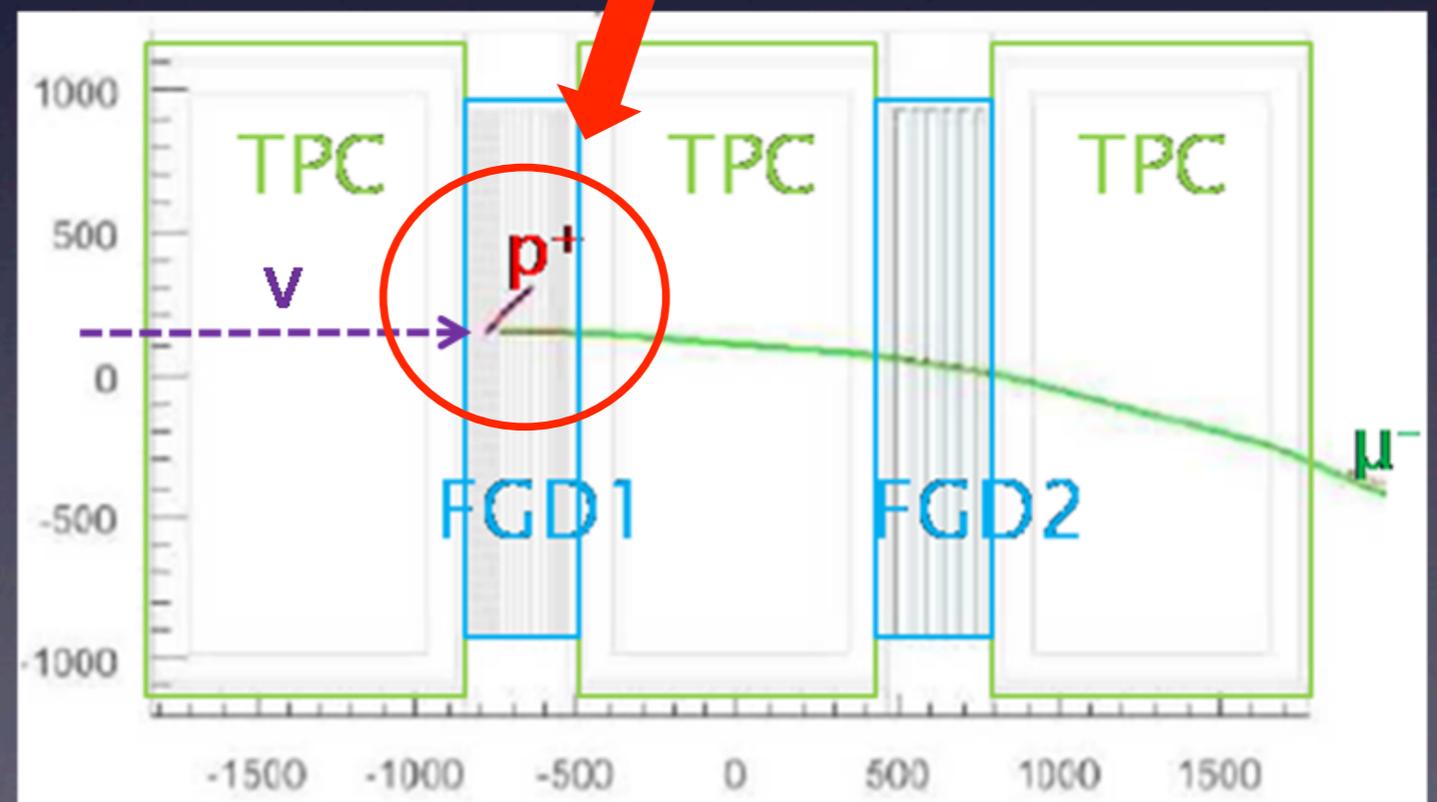
構造：シンチレータ—8448本

役割： ν 反応 ($\nu + n \rightarrow \mu + p$) を観測

反応レート \Rightarrow ビームのフラックス

μ 運動量 \Rightarrow ν エネルギー
を測定

反応点付近の短い軌跡を観測



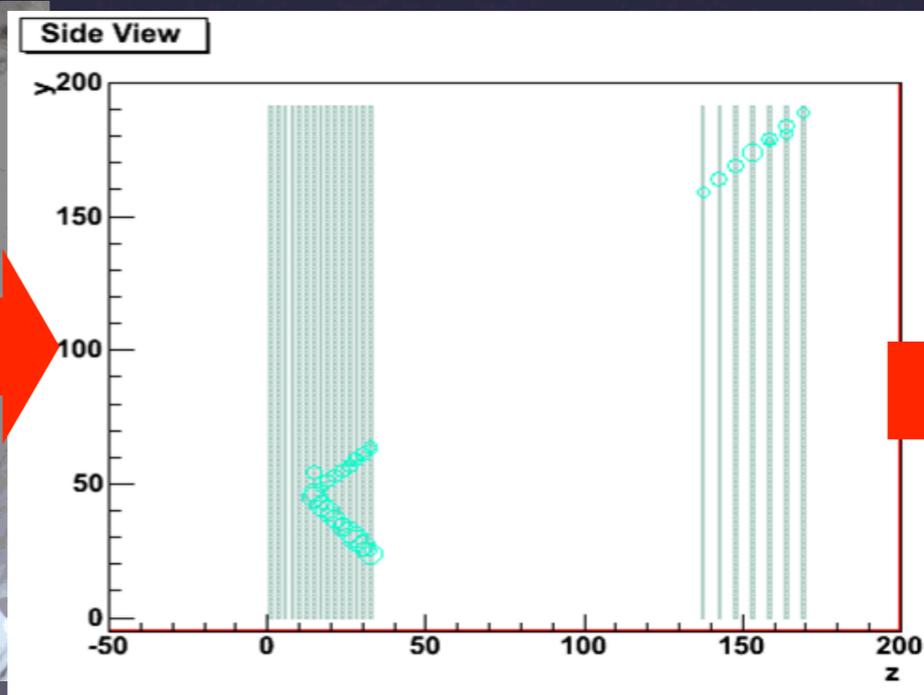
FGD (池田、家城)

Re-assembly



2009年度: インストールと初 ν イベント観測!

2010年度: T2K 初年度の ν ビームラン
現場でのデータ取得と解析
 π 反応をよく理解するためカナダでビームテスト(池田さん)



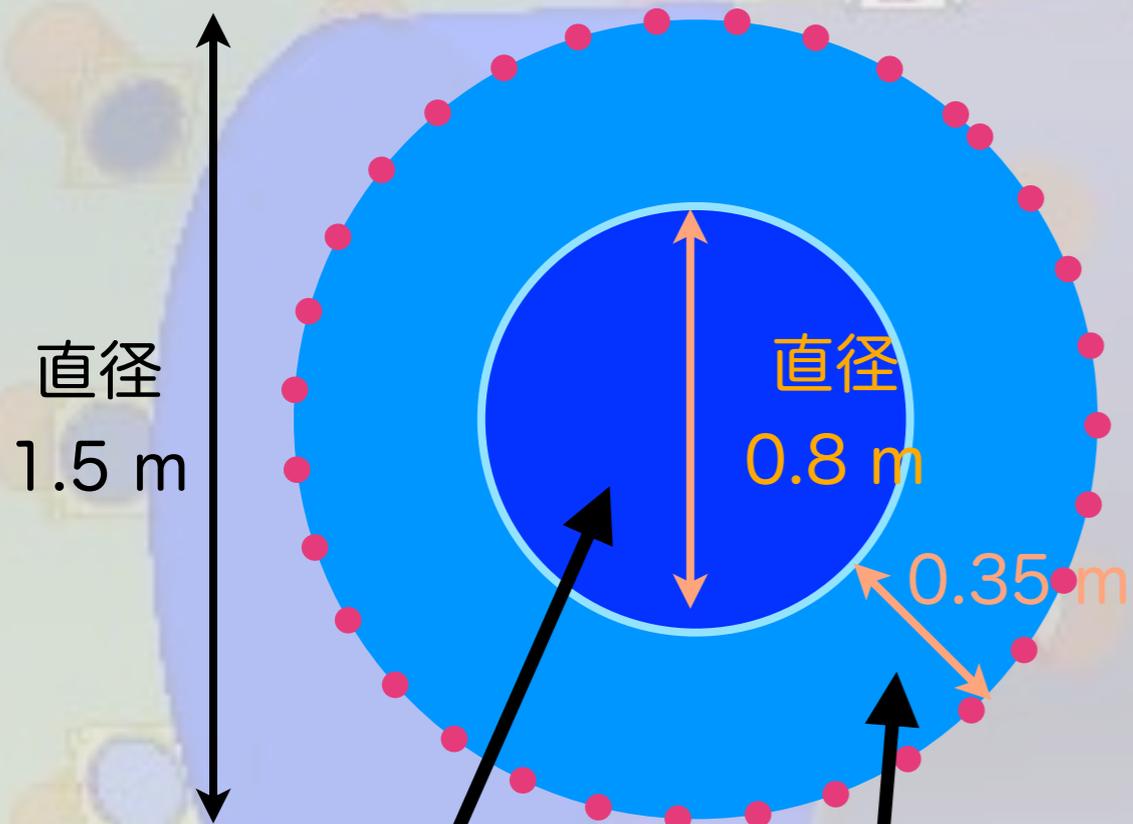
Beam test



しよーたくんの

前置水チェレンコフ検出器

前面図



直径
1.5 m

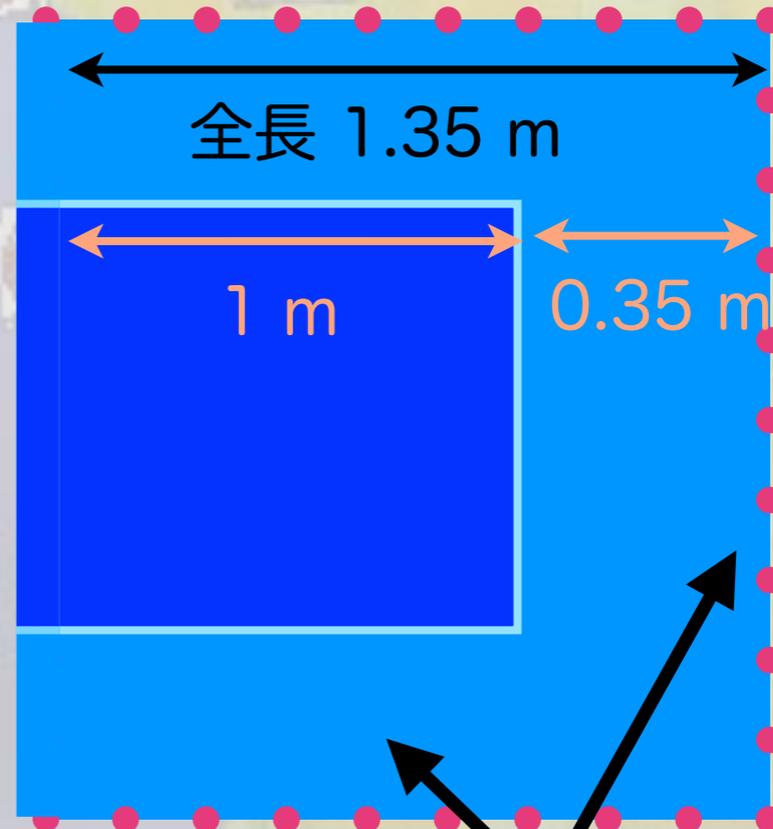
直径
0.8 m

0.35 m

Fiducial Volume 500kg
(Fiducial領域はアクリルで囲う、
水の抜き差しでBackground数を評価)

周りの水はFiducial Volumeの端で反応した
 μ のチェレンコフ光を検出するため

側面図



全長 1.35 m

1 m

0.35 m

側面と下流面を3in. PMT 150本で覆う
(coverage ~7%)

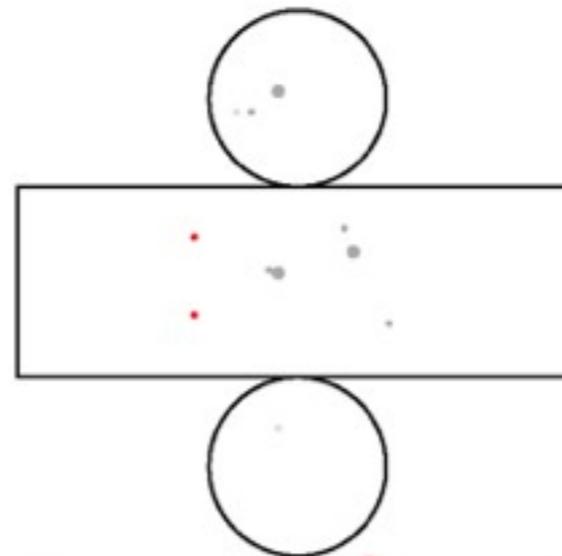
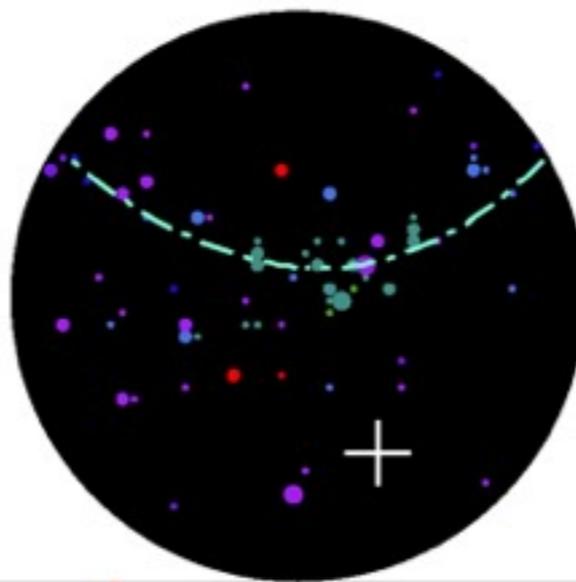
SHOCOTANDE?

2010年2月24日

初ニュートリノ事象@SK

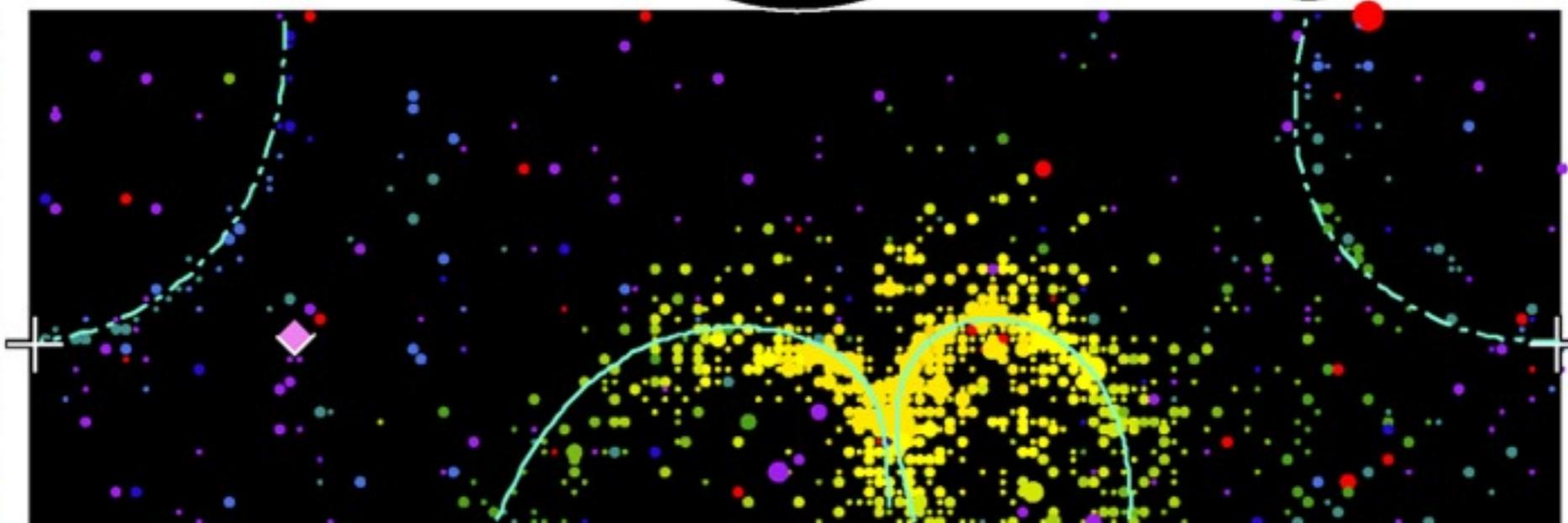
Super-Kamiokande IV

T2K Beam Run 0 Spill 1143942
Run 66498 Sub 160 Event 37004533
10-02-24:06:00:06
T2K beam dt = 2362.3 ns
Inner: 1265 hits, 2344 pe
Outer: 2 hits, 1 pe
Trigger: 0x80000007
D_wall: 650.8 cm

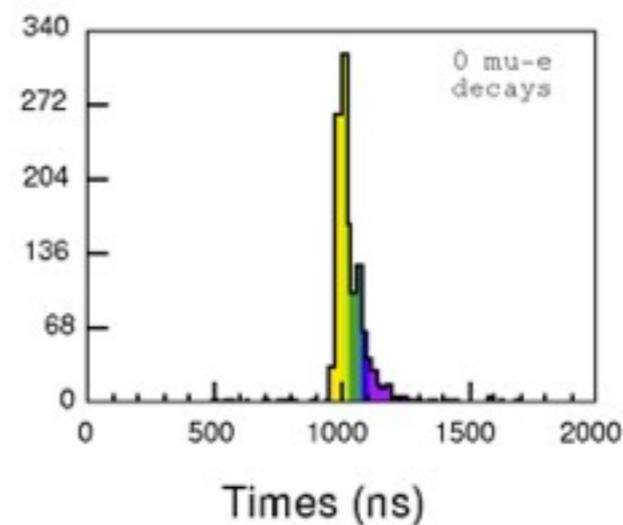
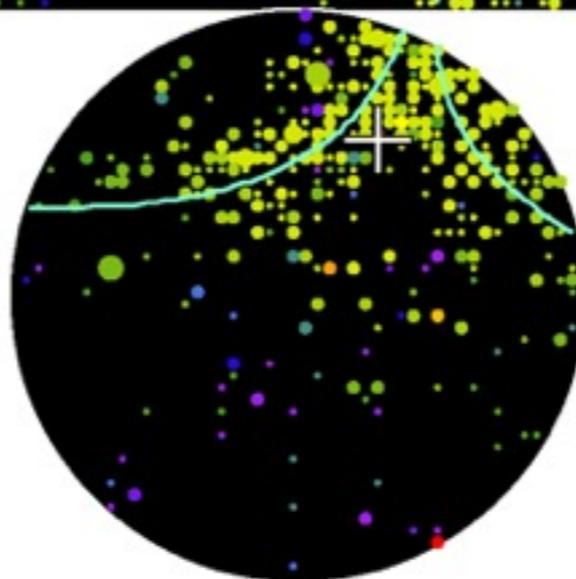


Time (ns)

- < 921
- 921- 935
- 935- 949
- 949- 963
- 963- 977
- 977- 991
- 991-1005
- 1005-1019
- 1019-1033
- 1033-1047
- 1047-1061
- 1061-1075
- 1075-1089
- 1089-1103
- 1103-1117
- >1117



Fully contained,
inside fiducial volume,
on time



T2K実験の今までと今後

- 2009年：ビームの制御・モニターの応答の確認
 - 2009年末：INGRID, 前置ニュートリノ検出器でニュートリノ観測に成功
- 2010年初頭：物理ランの開始
 - 2010年2月：スーパーカミオカンデでニュートリノ観測に成功
- 2010年夏：世界最高感度での電子ニュートリノ探索の結果を出す！
- 2010年以降：世界初の $\nu_e \rightarrow \nu_\mu$ 振動モードの発見

ダブルベータ探索実験に向けた、 CdTe(テルル化カドミウム)検出器の開発・研究

ニュートリノを伴わないダブルベータ崩壊

ニュートリノがマヨラナ粒子($\nu = \bar{\nu}$)の時にのみ起こる。

見つければノーベル賞級

めったに起きないので、大きなmass, 高いエネルギー分解能が要求される。

CdTe 半導体検出器

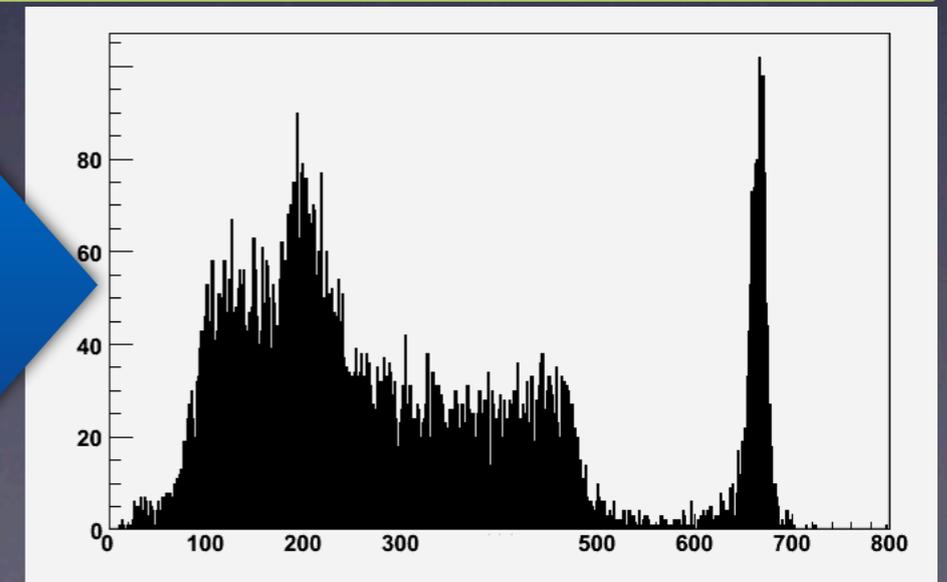
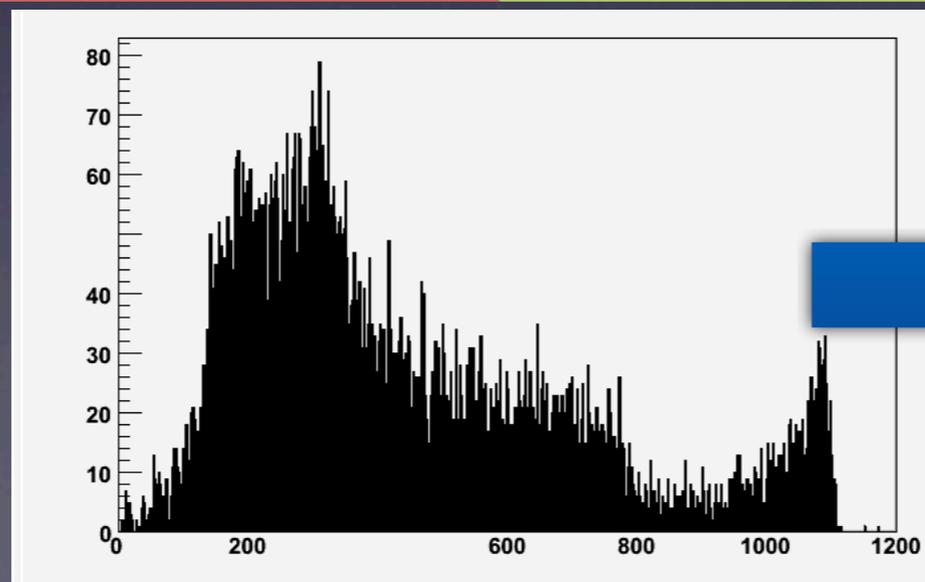
波形の情報を活用して、厚くても高い分

現メンバー：木河、市川

木河君はまもなく卒業(さようなら木河君、きみのことは決して忘れないよ。)

•厚くすると分解能が悪くなるため
た。(<2mm)

今年目標：10mm角を作って2%よりもさら
に高い分解能



ミーティング

- **ND280-J meeting (毎週火曜日 13:30 ~)**
 - 京大、神戸大、大阪市大、J-PARC間での日本人のビデオミーティング。
 - 各人の研究状況を報告。
- **Collaboration meeting (年数回)**
 - T2Kコラボレーターが集まってのミーティング
 - 状況報告・今後の方針を議論。次回は4月20~25日
- 他、各検出器グループ内でのミーティング

MIの皆さんへ

京都ニュートリノグループはニュートリノ物理の全貌解明
を目指して、日々研究を行っています。

T2K実験は日本の素粒子実験の今後を占う非常に重要な
実験であり、世界の最先端をいく実験。

2010年夏に最初の実験結果を世界に発信！

T2K実験とは別のアプローチでの研究も進行中。今後も
新たなアプローチが生まれるかも。

是非一緒に研究しましょう！