

ニュートリノグループ

廣田、南野

2015年4月21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
- 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 (Super-Kamiokande x 20倍)
 - AXEL

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						
南野						
中村						研究員
Nikhul						
Son						
Benjamin						
久保						

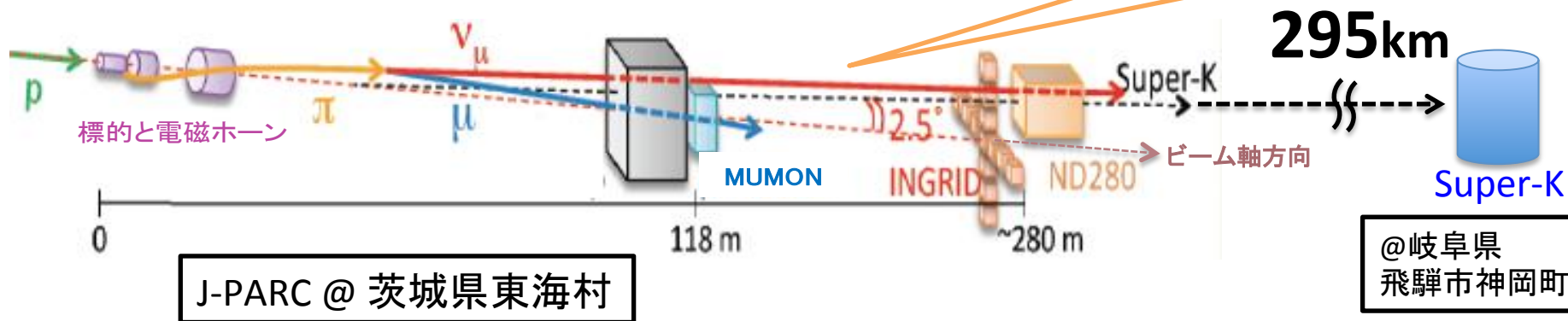
メンバー紹介(学生)

	T2K	SK	HK	J-PARC acc.	AXEL	
鈴木						博士
黄						
廣田						
平木						
仲村						
林野						
石山						修士
江						
近藤						
羽田						
潘						
柳田						
山本						

T2K実験とは

- ν_μ ビームを用いたニュートリノ振動実験

2.5度 Off Axis法
Super-Kはビーム軸から2.5度の方向。
ビームエネルギーを0.6GeV付近に絞る。



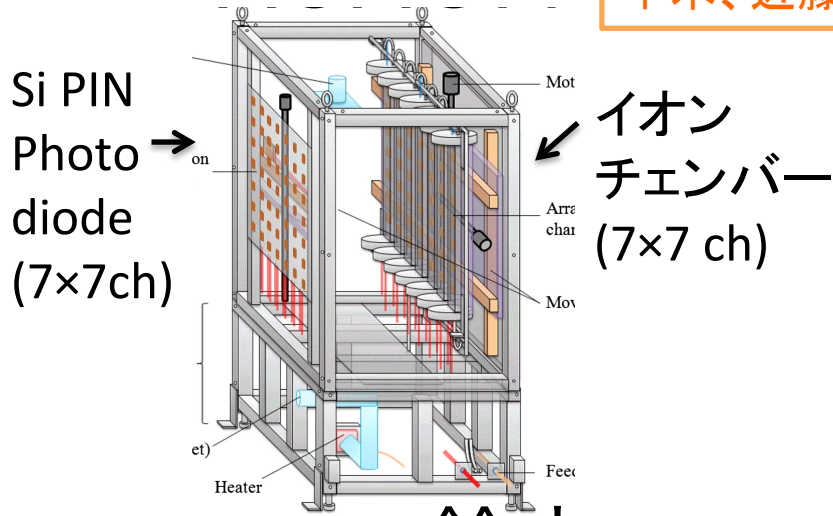
- $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$
– Super-Kでの電子ニュートリノの出現を測定する。
- $\nu_\mu \rightarrow \nu_x$
– N_μ がSuper-Kでどれだけ減ってしまったかを測定する。
- ニュートリノ反応断面積の測定
– 前置検出器(INGRID)やSuper-Kで。
– T2Kや他の実験、観測へのインプットになる。

振動実験

ニュートリノビームモニター

MUMON: μ を測定

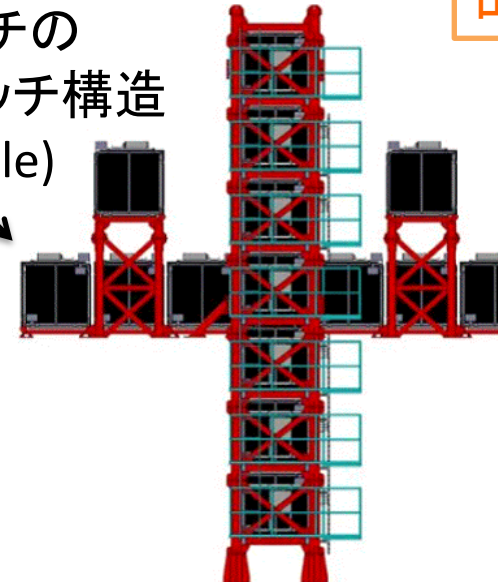
Nik、鈴木、
平木、近藤



INGRID: ν を測定

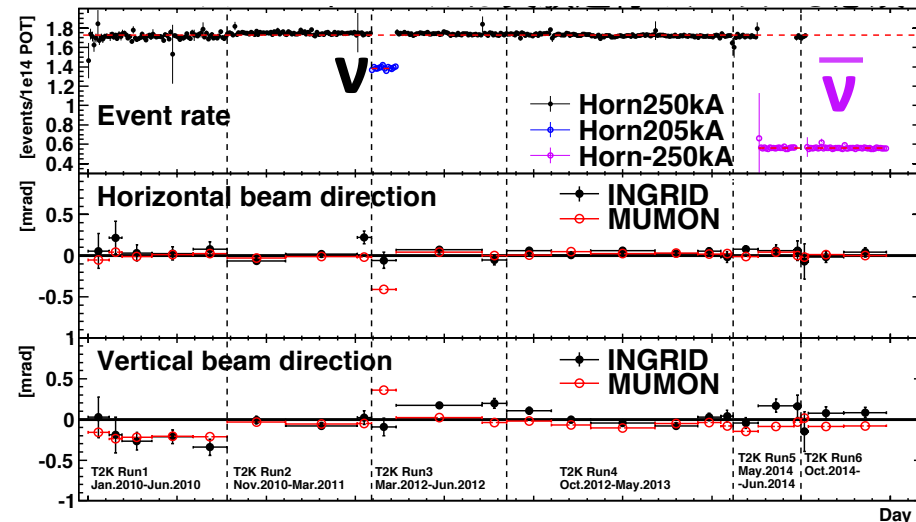
Son、林野、
山本

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

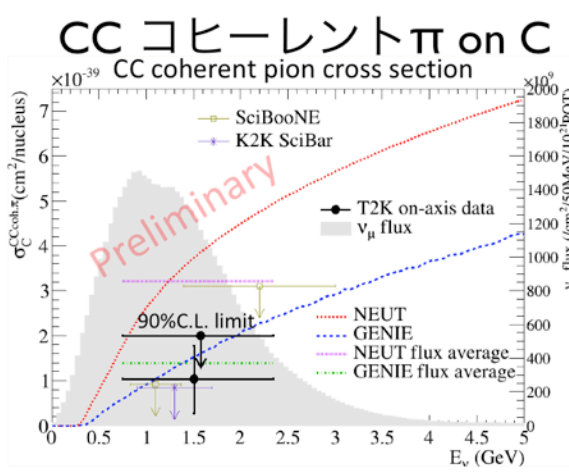
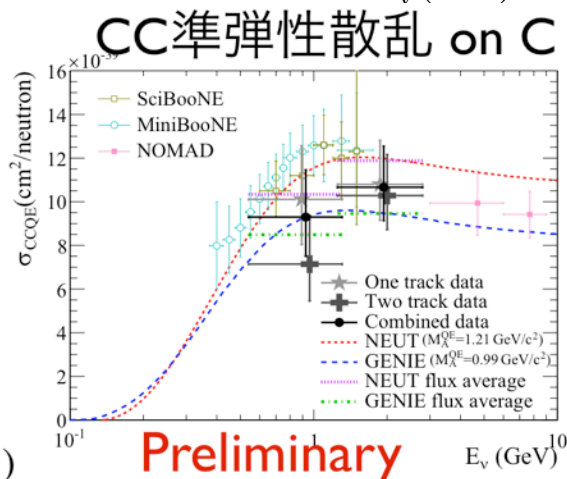
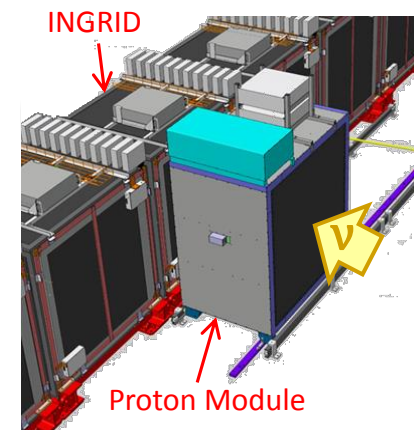
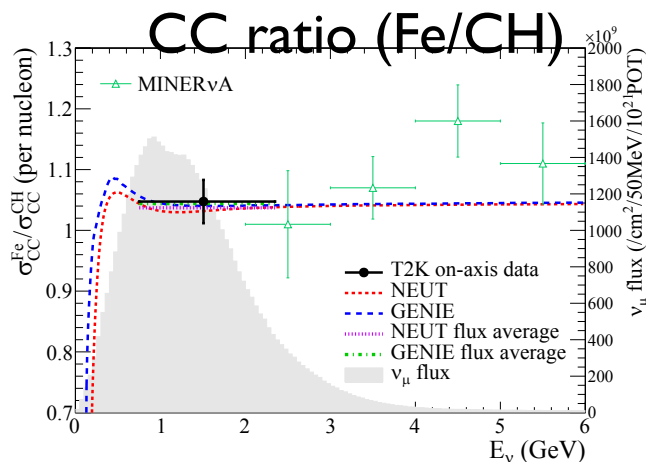
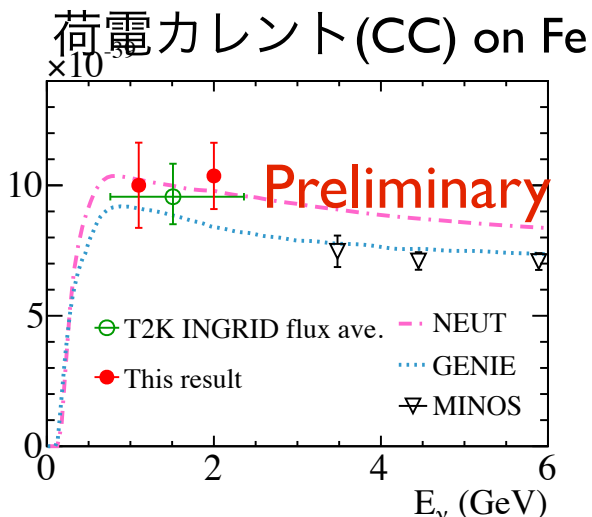
- OnAxis検出器
- 京大グループで開発、建設、維持
- 安定したビームは実験に必須！



ニュートリノ反応断面積測定

Son,
Benjamin
鈴木
木河 (卒業)

- 前置検出器によるニュートリノ反応断面積測定



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

これまでの成果

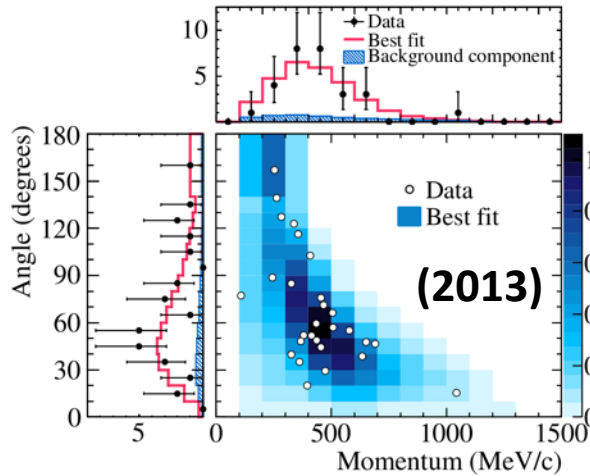
- ν_e 出現事象の**世界初観測** (2011)



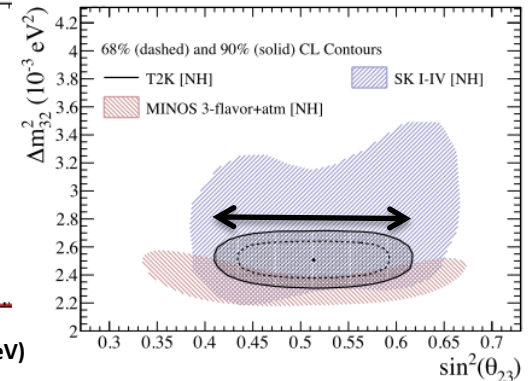
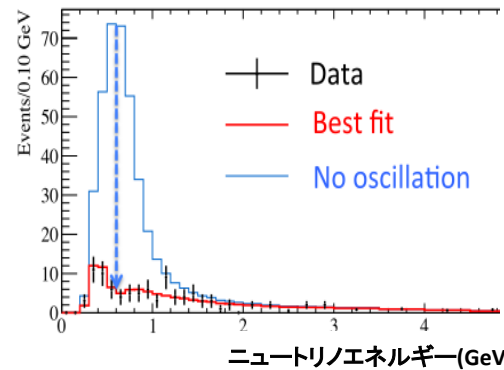
中家さん

KEK小林氏

2013には**7.3 σ** で存在を確立！

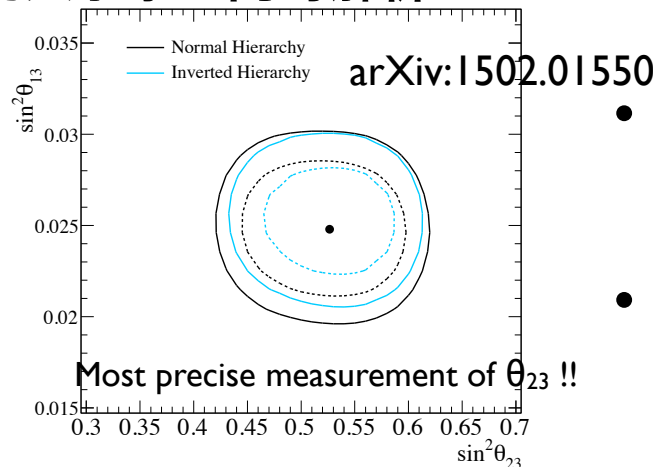
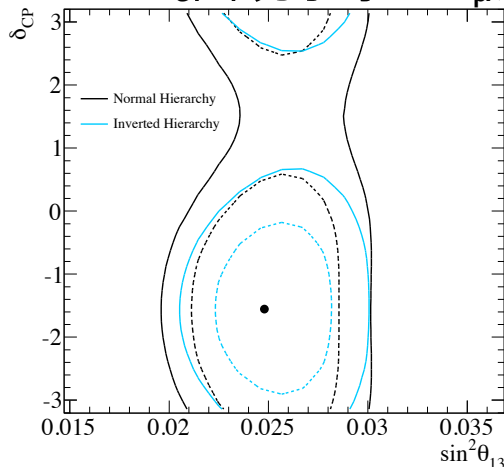


- ν_μ 消失事象の**世界最精密測定** (2013)



- 最新の結果 (2014)**

ν_e 出現事象と ν_μ 消失事象の**同時解析**



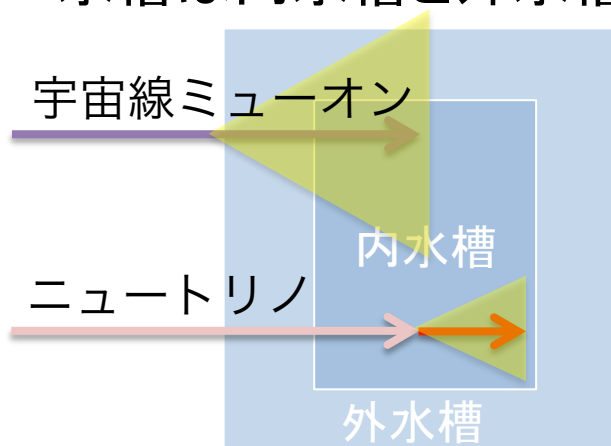
- CP位相 δ に先陣を切って制限！

- 世界一の精度での混合角 θ_{23} の測定！

大型水チェレンコフ検出器 スーパーカミオカンデ

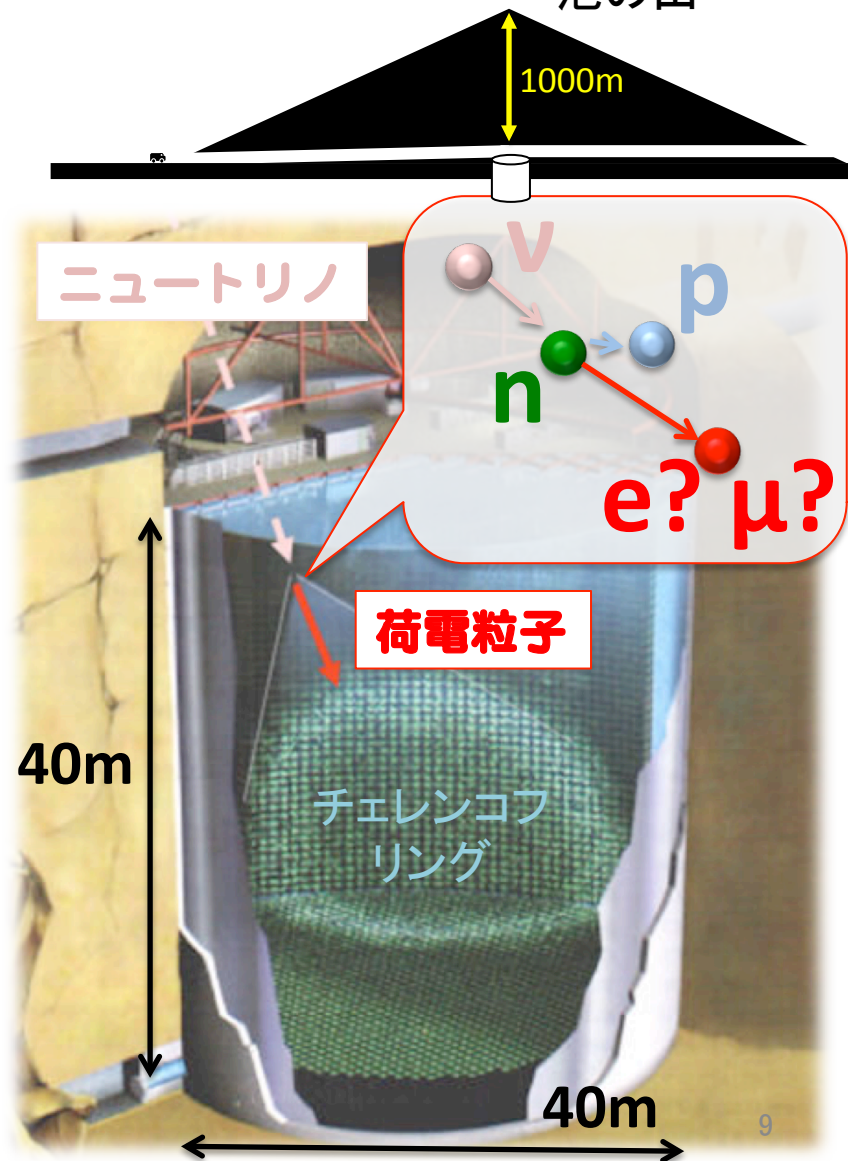
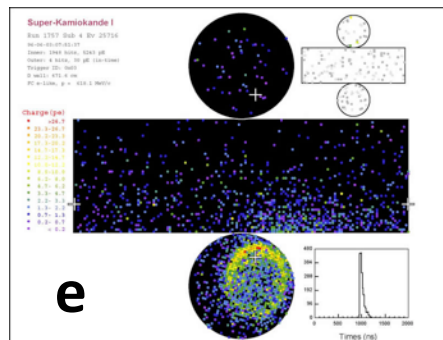
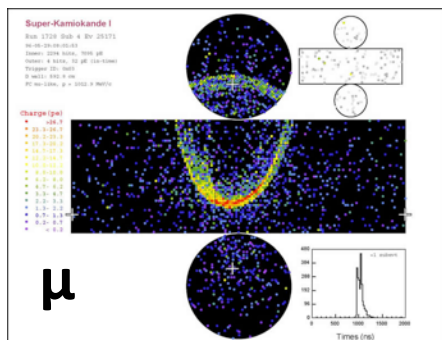
@岐阜県飛騨市神岡町
池の山

- 巨大水タンクとタンク内壁の光センサ
- 水槽は内水槽と外水槽

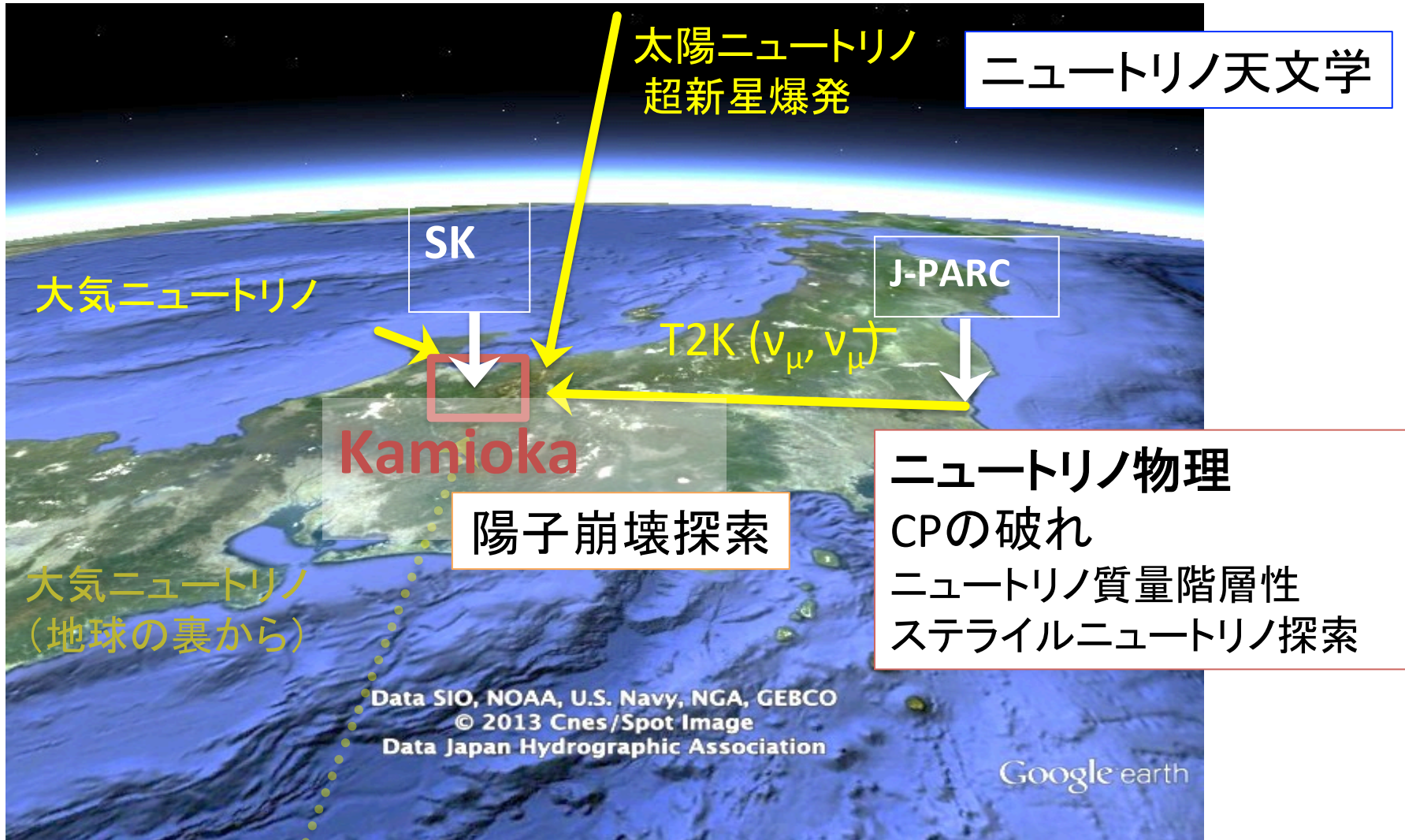


ニュートリノ事象
を選択できる！

- リングパターンで粒子の種類を識別



スーパーカミオカンデでできる物理



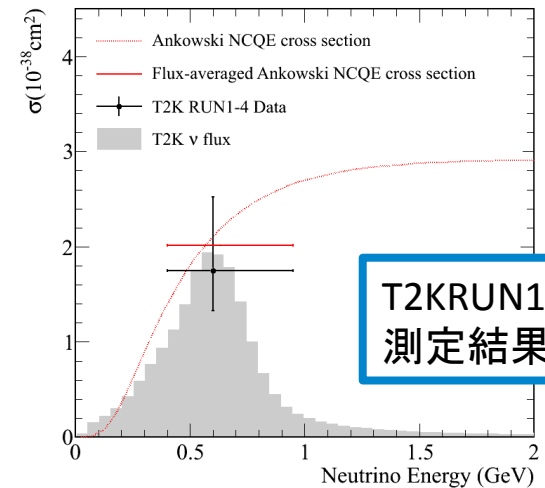
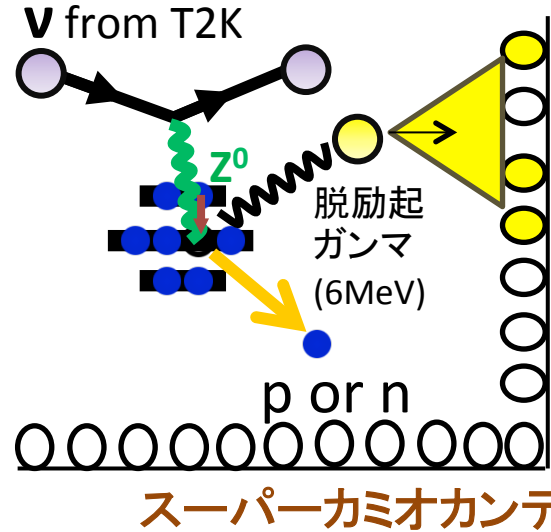
スーパーカミオカンデを使った研究

- T2Kビームを用いた中性カレント準弾性反応測定

黄

モチベーション

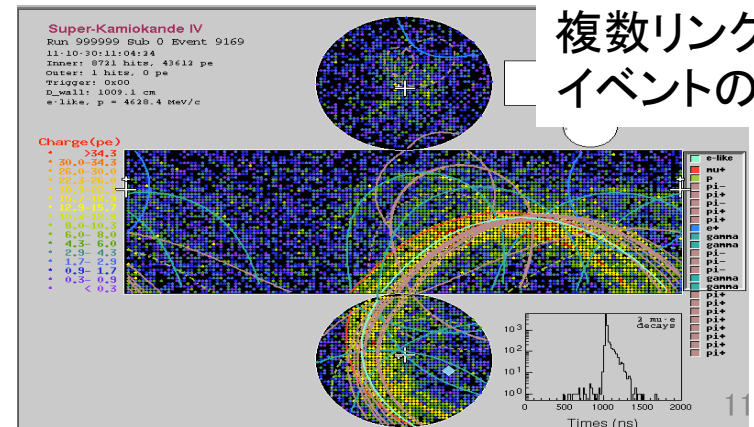
- ステライルニュートリノ探索
- 暗黒物質探索
- 超新星背景ニュートリノ測定



- 質量階層性決定に向けたアルゴリズム開発

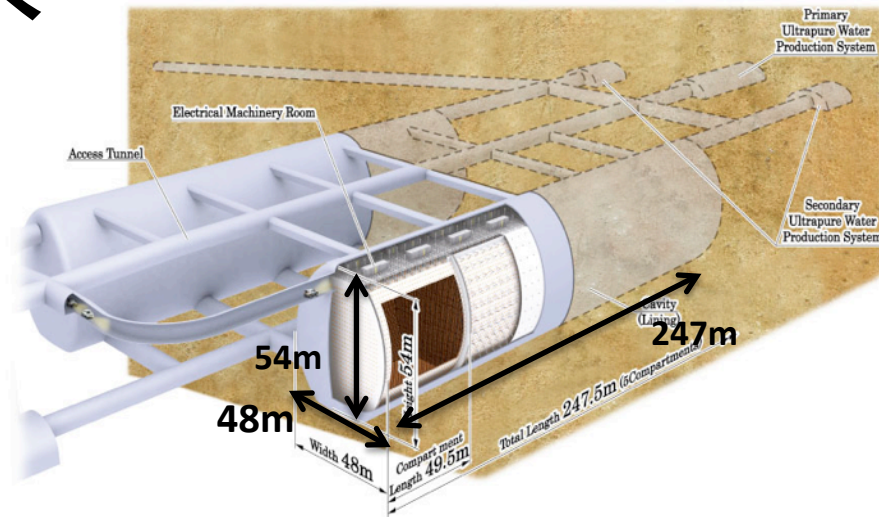
廣田、江

- 高いエネルギー領域 (数GeV) の大気ニュートリノ測定
- 複数リングイベント
- イベント再構成アルゴリズム開発
- 従来アルゴリズムに時間情報を追加
- 全てのパラメータを同時フィットする新型アルゴリズム開発



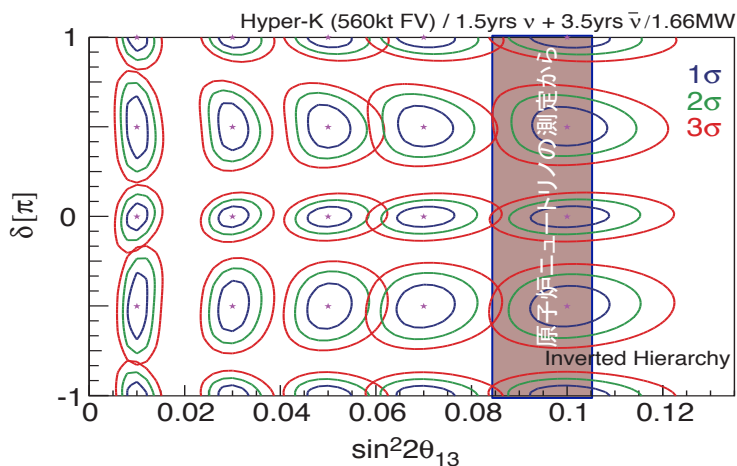
スーパーカミオカンデから ハイパーカミオカンデへ

- スーパーカミオカンデでの技術を土台に確実に成果を出す。
- 1桁多い統計量
 - 容積: 50 kton → 1 Mton (20倍!)
 - 光センサ数: 10000本 → 99000本

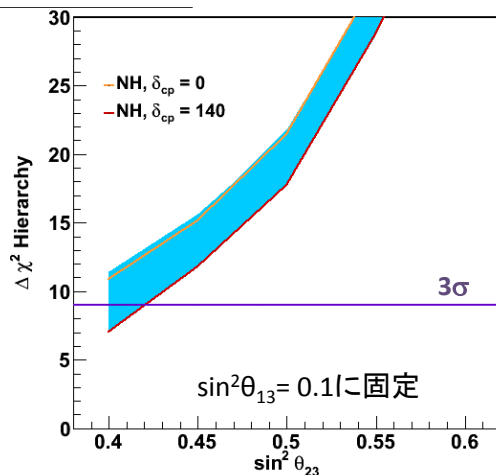


- 統計量が増えることで決定的な結果を。

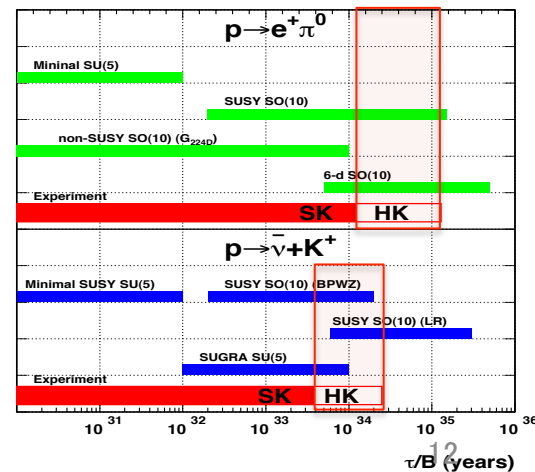
- CP位相 δ
3 σ での測定可能領域が増大!



- 質量階層性
ほぼ3 σ 以上での測定



- 陽子崩壊
検証可能なモデルが増える!



M1の研究テーマ

修士、博士での研究

M1 2015 M2 2016

D1 2017 D2 2018

D3
2019

M論

D論

自分のシステム
を構築

グループで
研究

研究を主導
物理結果

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

木河氏の修士、博士での研究

M1 M2
2009 2010

D1 D2 D2 **D4**
2011 2012 2013 **2014**

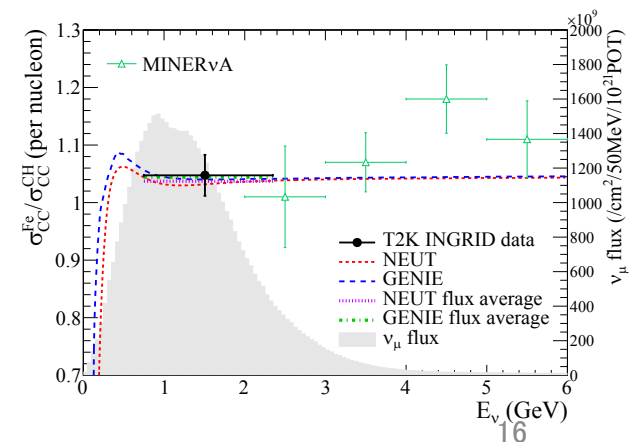
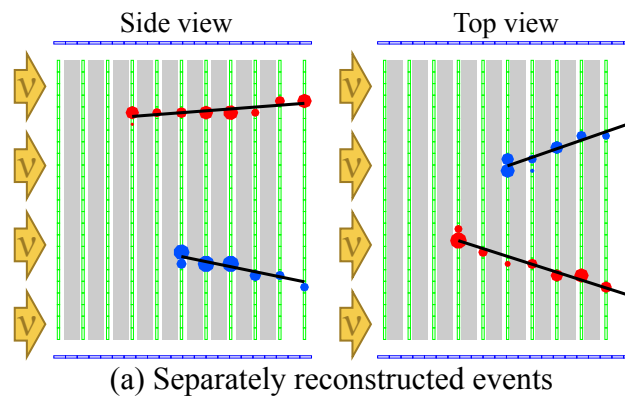
M論

D論

- CdTe project
- Proton moduleを
開発/建設

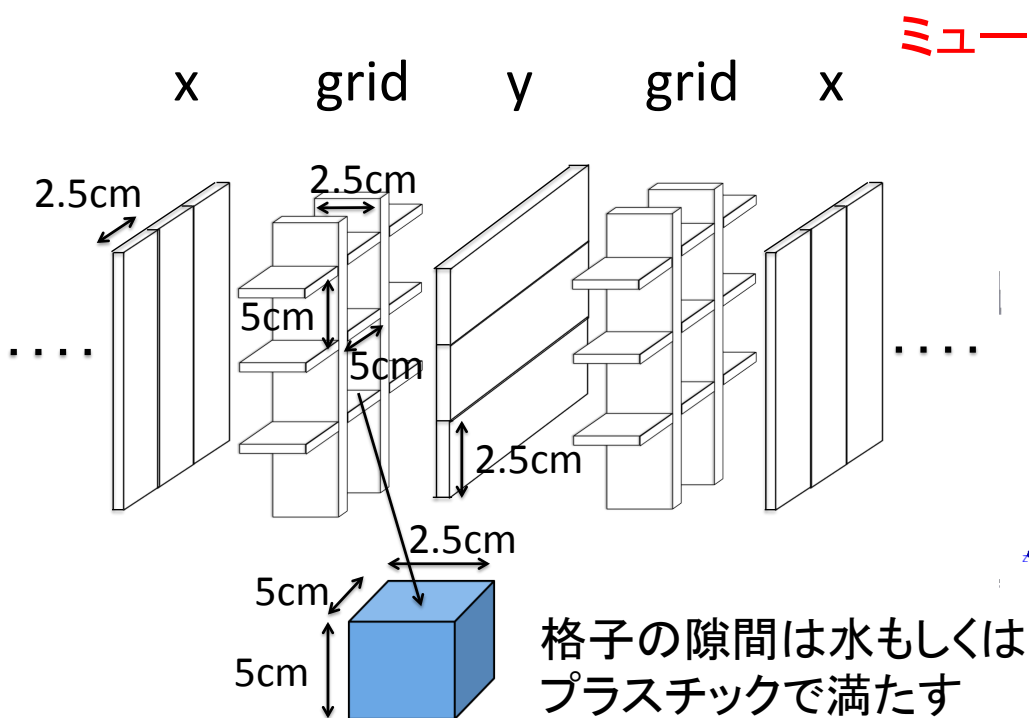
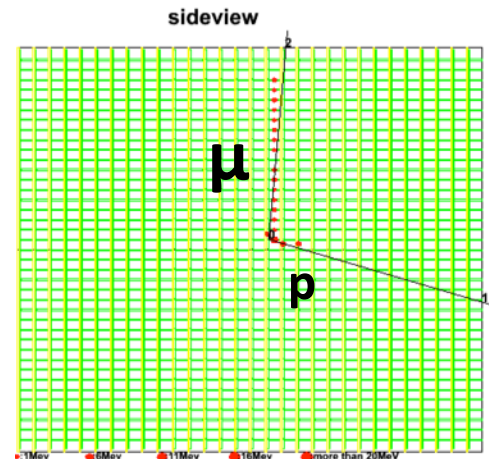
- INGRIDの運転/保守
- INGRIDを用いて
ビーム品質を保証
- Proton module解析

- T2K ν_e 出現 ν_μ 消失同時解析
- INGRID/Proton module
を用いた ν 反応断面積測定
(投稿論文3本分の結果)

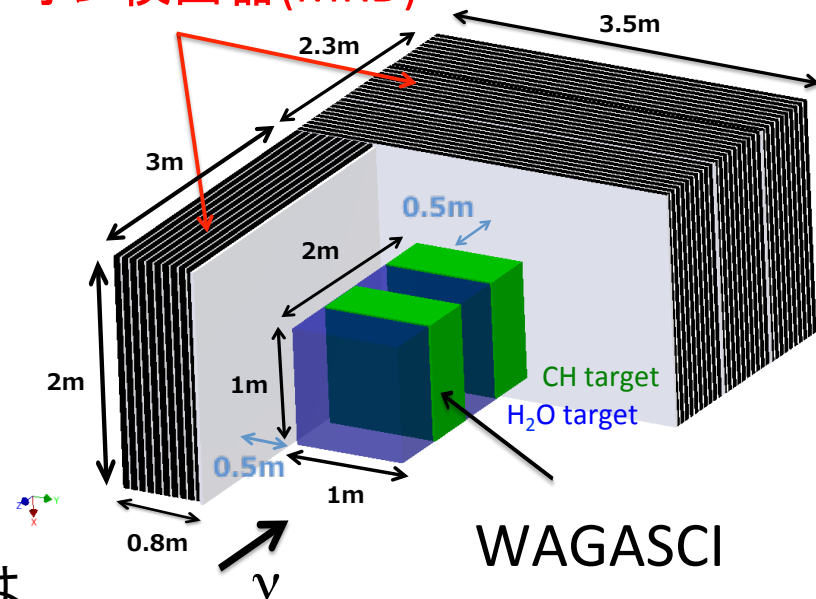


WAGASCI実験

- 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)



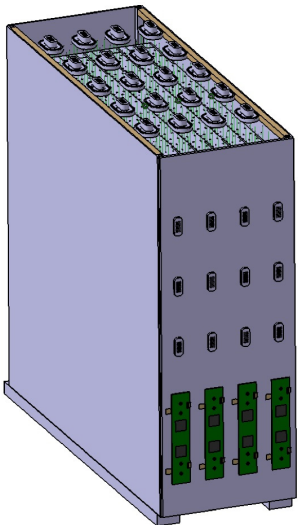
T2K前置検出器棟地下2階に設置

WAGASCI実験

- スケジュール

- 2015/8 - 9: WAGASCI module 4台中1台を製作
- 2015年末～: WAGASCI module 1台でニュートリノ測定
- 2015/10 – 2016/7: 残りのWAGASCI moduleとMRDを製作
- 2016/8,9: 全WAGASCI moduleとMRDを設置、試運転
- 2016/10: ニュートリノ測定開始

WAGASCI module

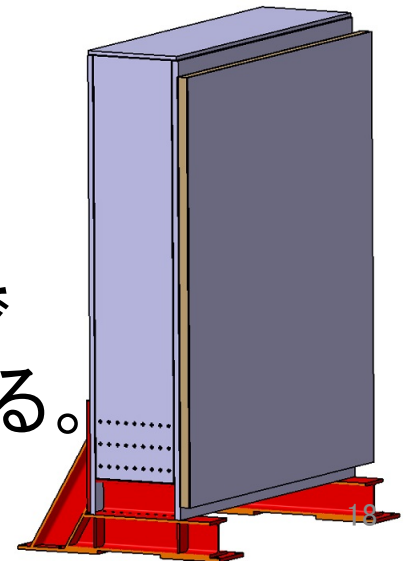


1 Module 1280ch

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。

MRD

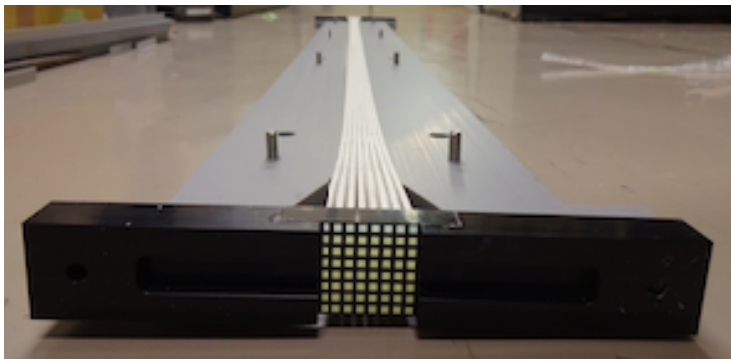


シンチレーションファイバー検出器

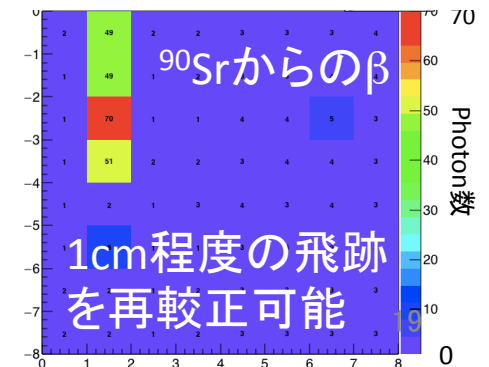
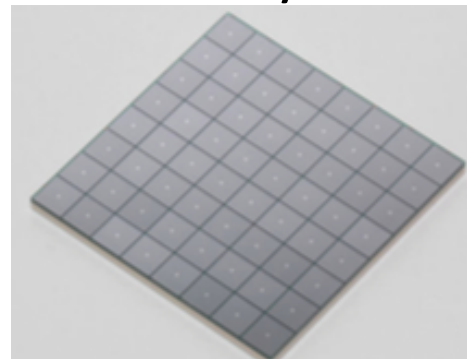
山本

- 特徴: T2K前置ニュートリノ検出器の約10倍の位置分解能
- 目的: ν 反応点周りの理解を進め、 ν 反応の誤差を低減
- 目標: Hyper-K + J-PARC実験の前置検出器として運転(~10万ch)
- スケジュール
 - 2014年度: 64ch プロトタイプが完成 -> β 線源を使って性能試験
 - 2015~2016年度: 陽電子ビームテスト @ 東北大
J-PARCハドロンホールで陽子ビーム試験 } 検出器性能実証
 - 320ch プロトタイプを製作 -> ニュートリノ測定@J-PARC
 - 2017年度以降: さらなる大質量(多チャンネル)化 -> 物理結果

64ch プロトタイプ



64ch array MPPC イベントディスプレイ



ハイパーカミオカンデに向けた光センサ開発

新しい光センサ

- よりよい時間分解能、1光子感度
 - 光電面の量子効率 $\sim 20\% \rightarrow \sim 30\%$
 - 1光子時間分解能 $\sim 2\text{ns} \rightarrow \sim 1\text{ns}$
 - 1光子電荷分解能 $\sim 60\% \rightarrow >20\%$
- 数が多いので低コスト化を目指す

開発要素

- HPD

- アバランシェダイオードの特性評価 (温度特性など)
- 優れた性能を保つアンプ
- 低ノイズのHV開発

- HPD, B&L PMT共通

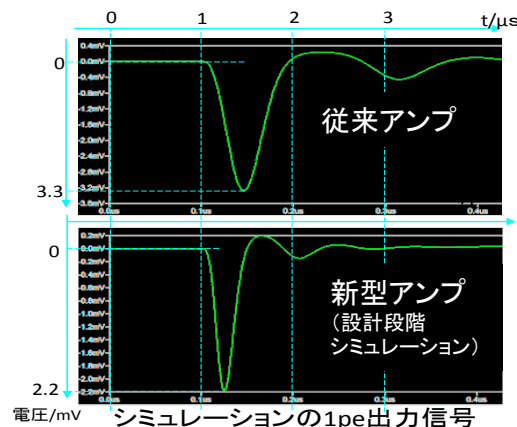
- 実用性評価
- 水圧試験

センサ開発、HKシミュレーション
へフィードバック

B&L PMT (Box&Line型PMT)

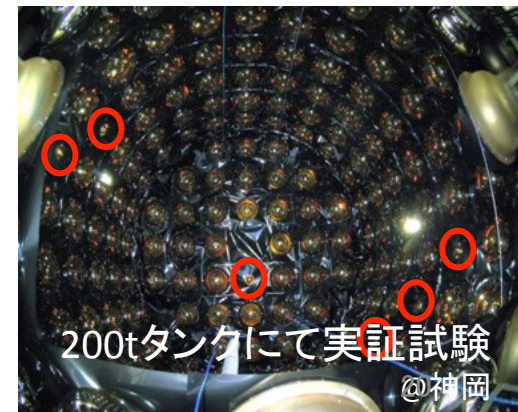


SK型とは違うダイノード



HPD (廣田)、江

(ハイブリッド光検出器)



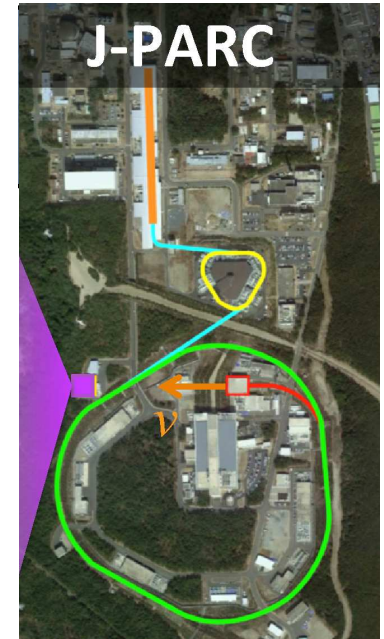
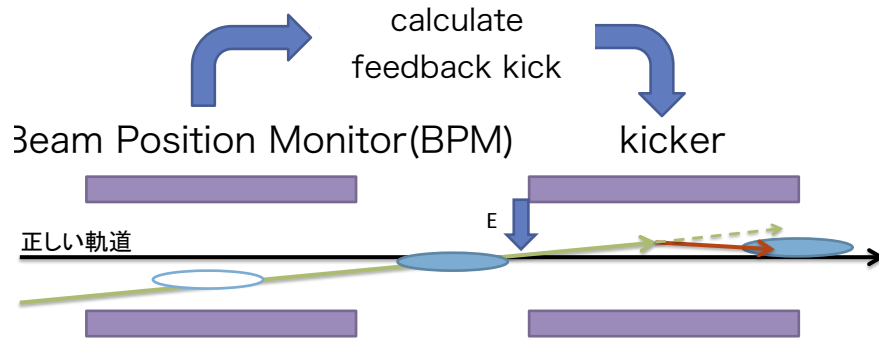
J-PARC加速器の高強度化

仲村

• J-PARC MR

Bunch内の振動（ビーム位置のズレ）を検出し、
周回ごとに補正をかけ、ビームロスを削減

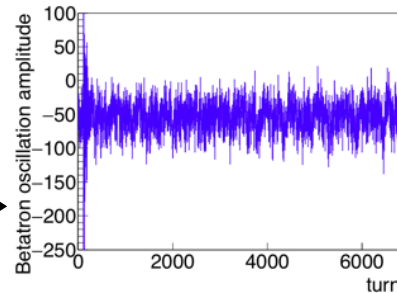
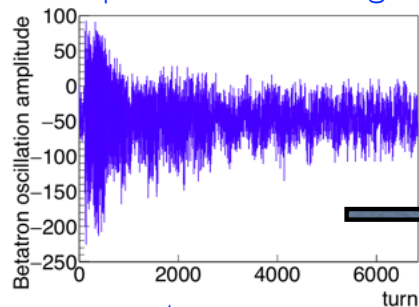
より高周波な帯域に感度を持つBPMを開発



Feedback off

Intra-bunch
feedback

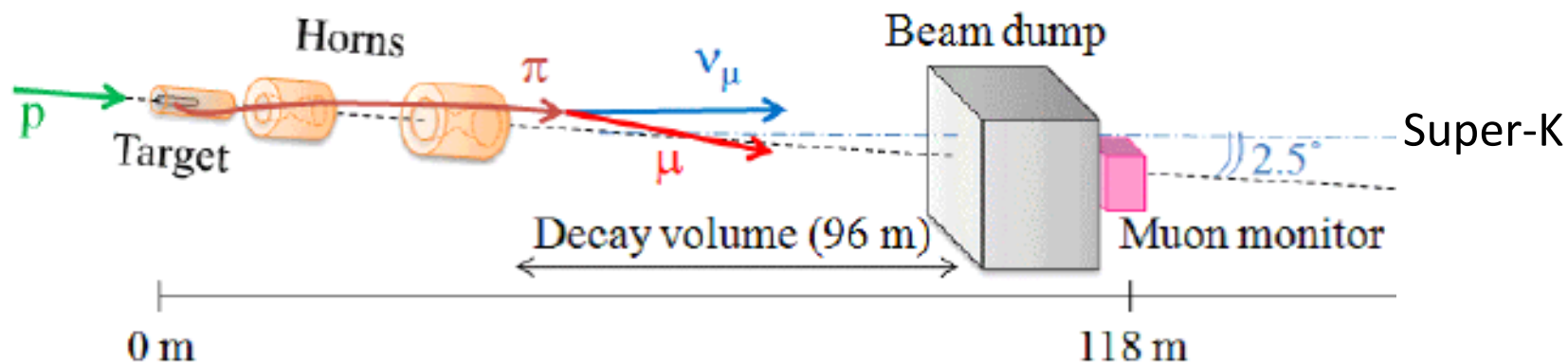
Amplitude of BPM signal



今後

- 汎用コントロールボードの開発
- 広帯域キッカーの開発
- など

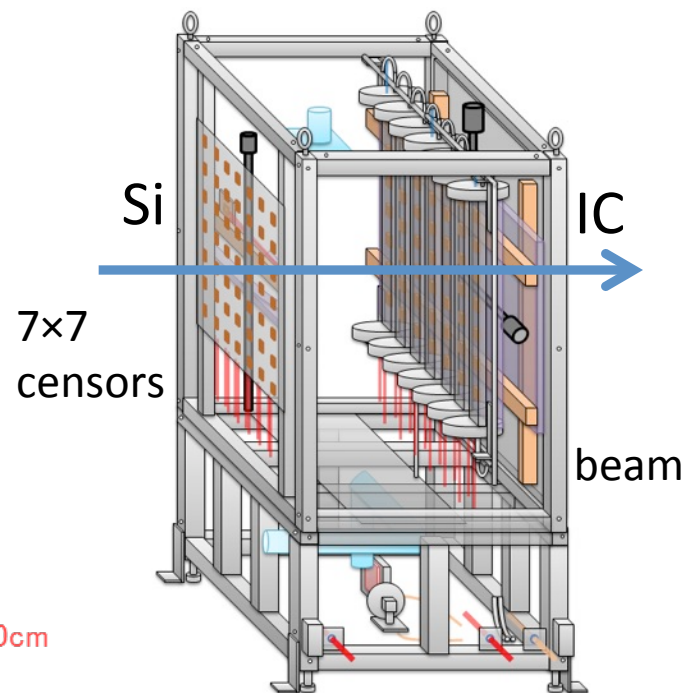
muon monitor (MUMON)



- Si PIN photodiodeとイオンチェンバーからなるが、ビーム強度が上がってSi PIN photodiodeの放射線耐性が問題になってきたので、次期検出器が望まれる。

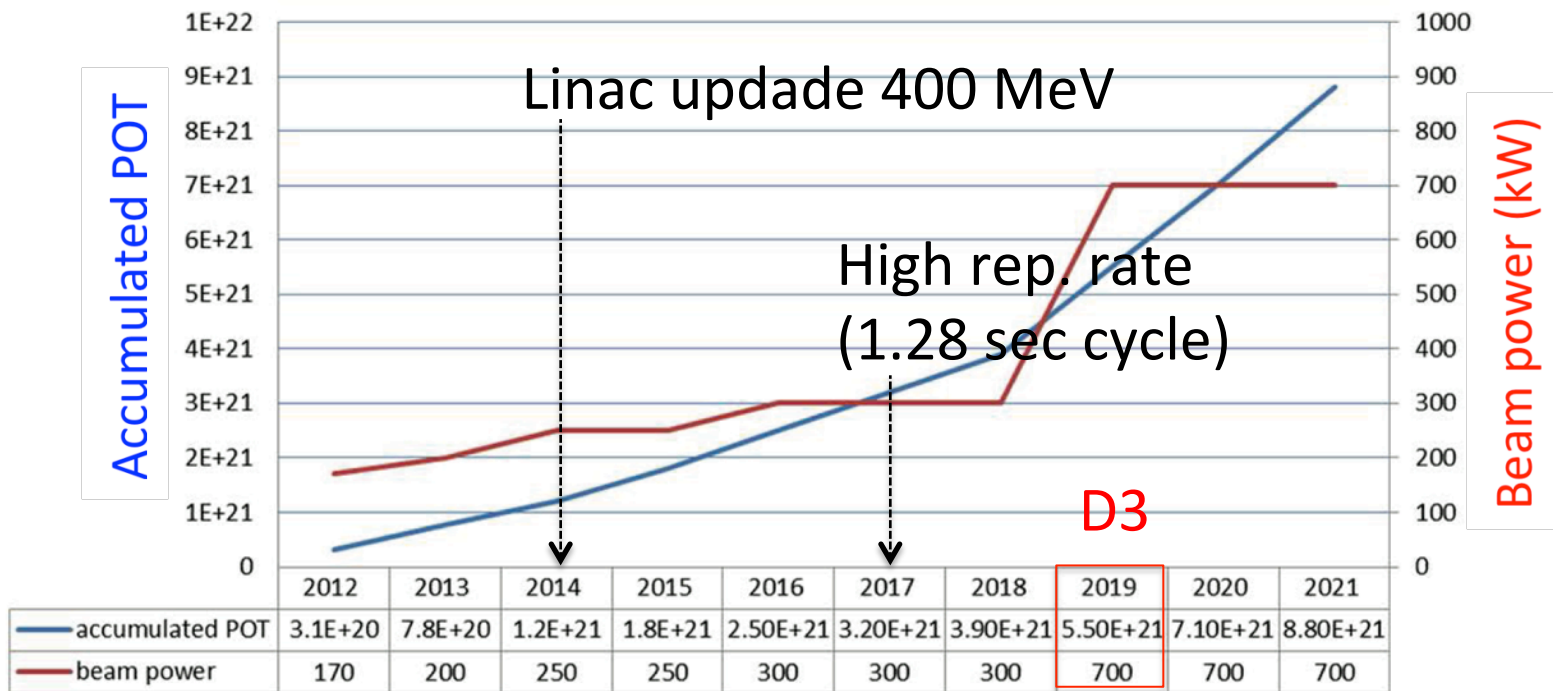
候補

- diamond, SiCなどwide bandgapな半導体
- 電子増倍管もどき (先週、思いついた。ミュオンによる2次電子放出を捉える)



Profile width: ~100cm

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

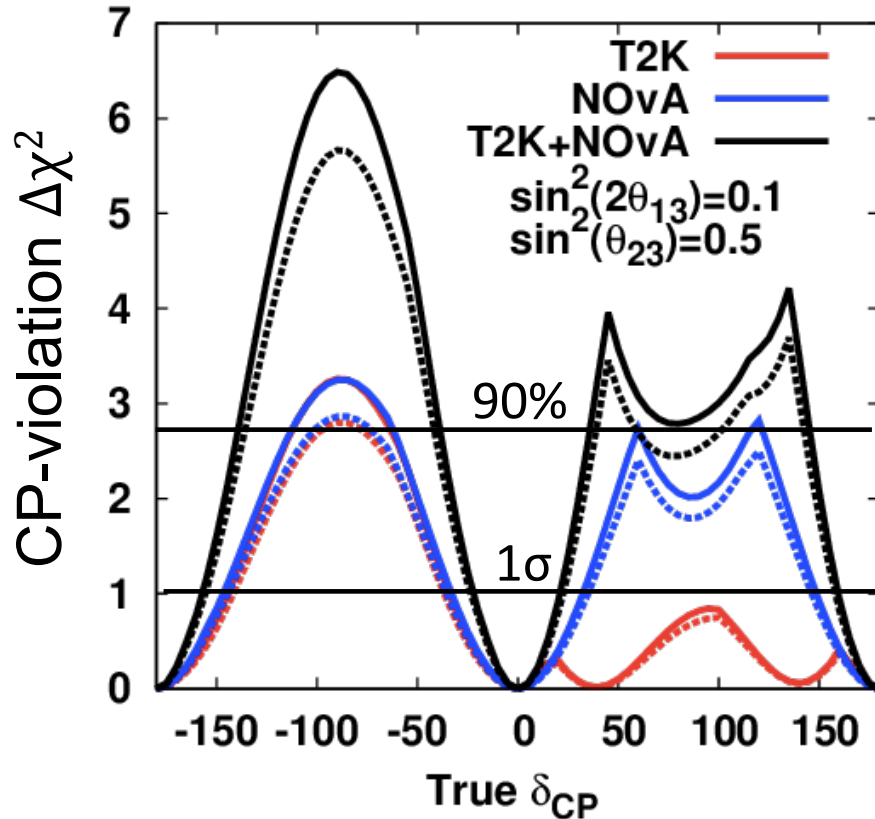
2015年4月現在

Beam power > 300 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

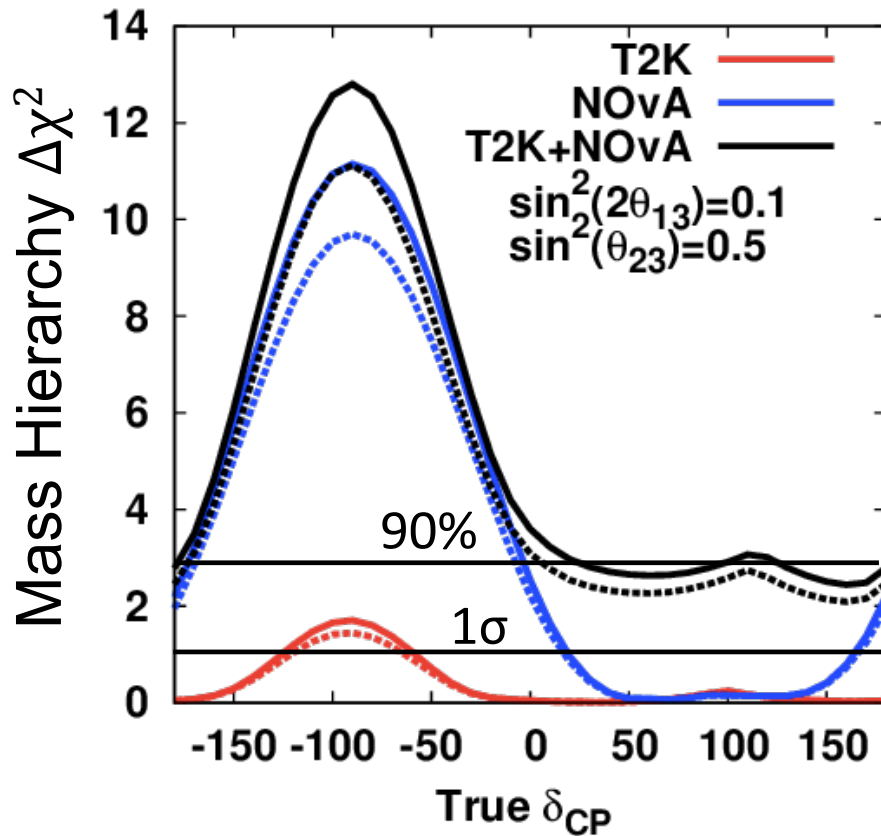
- 点線 (実線): 系統誤差あり(なし)
- $\sin^2 2\theta_{13} = 0.1$ w/ ultimate reactor prec.
- $\sin^2 \theta_{23} = 0.5$
- $\Delta m^2 = 2.4 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$
- 標準質量階層性
- T2K
 - 7.8×10^{21} POT (50% ν -50% anti- ν)
- NOvA
 - 3.6×10^{21} POT (50% ν -50% anti- ν)

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

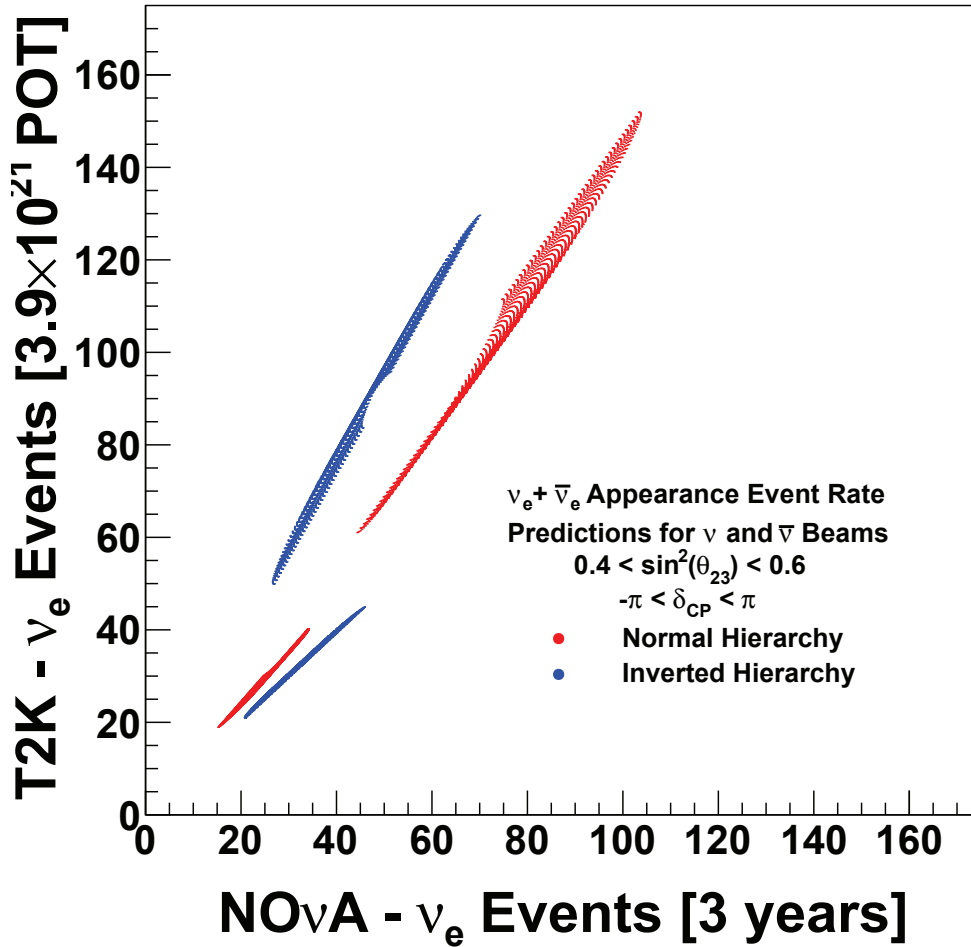


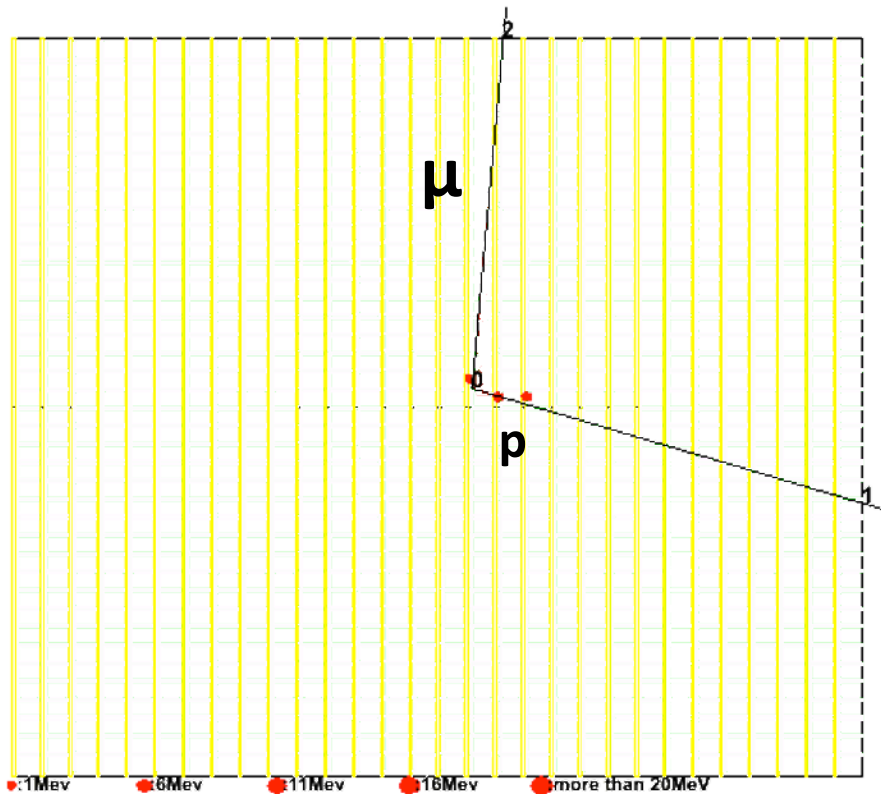
Figure 27: Relation between the expected number of events of T2K and that of NO ν A for various values of δ_{CP} , $\sin^2 \theta_{23}$ and mass hierarchy. The two blue and red upper bands are for the neutrino-mode run events and the red and blue bottom bands are for the antineutrino-mode run events.

T59: 3D grid-detector: WAGASCI

Event display (same CCQE event)

w/o grid layer

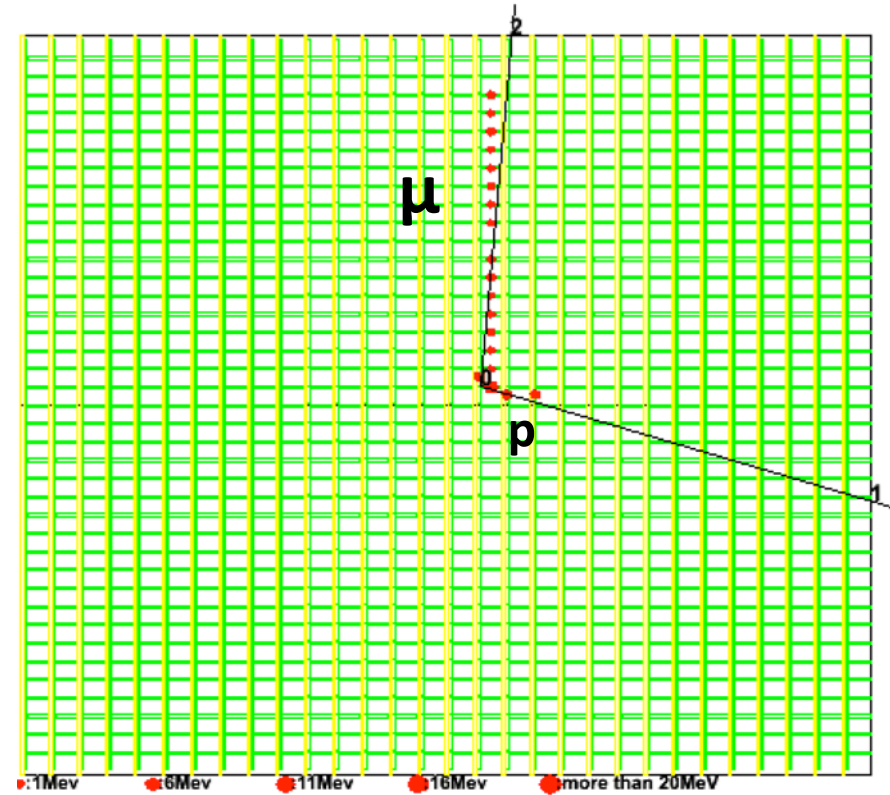
sideview



hard to track
large scattering μ

with grid layer

sideview



easy to track
large scattering μ

この一年のニュース

- 2014.11.11
 - 中家教授 **仁科賞受賞**
 - KEK小林氏、物一の松田教授と共に
- 2015.2.17
 - 中家教授 **戸塚賞受賞**
 - KEK小林氏、東大塩澤教授と共に
- 番外編
 - 京都大学総長杯ボーリング大会
 - 市川准教授 **女子の部優勝** (2大会連続)
 - 温子の部屋SP **団体戦優勝**



KEK小林氏



順位	チーム コード	名称	ゲーム数	チーム HDCP	トータル HDCP	スクラッチ トータル	HD込 トータル	スクラッチ AVE	HD込 AVE	スクラッチAVE (団体)	HD込AVE (団体)	H/G	L/G	H/S	L/H 差	ストライク 数	スペア 数
1	035	温子の部屋SP	8		40	1232	1272	154.00	159.00	616.00	636.00	637	595		42	30	22
2	013	情報部ホウリンク同好会	8		40	1195	1235	149.38	154.38	597.50	617.50	611	584		27	21	29
3	039	財務部A	8		40	1135	1175	141.88	146.88	567.50	587.50	606	529		77	19	32
4	014	チームN	8		120	1037	1157	129.63	144.63	518.50	578.50	536	501		35	17	22
5	031	施設部A	8		0	1139	1139	142.38	142.38	569.50	569.50	572	567		5	18	26