



T2K実験新ニュートリノ検出器の開発及び製作と それを用いたニュートリノ反応の研究 (測定器開発優秀修士論文賞受賞講演)

京大理 木河達也

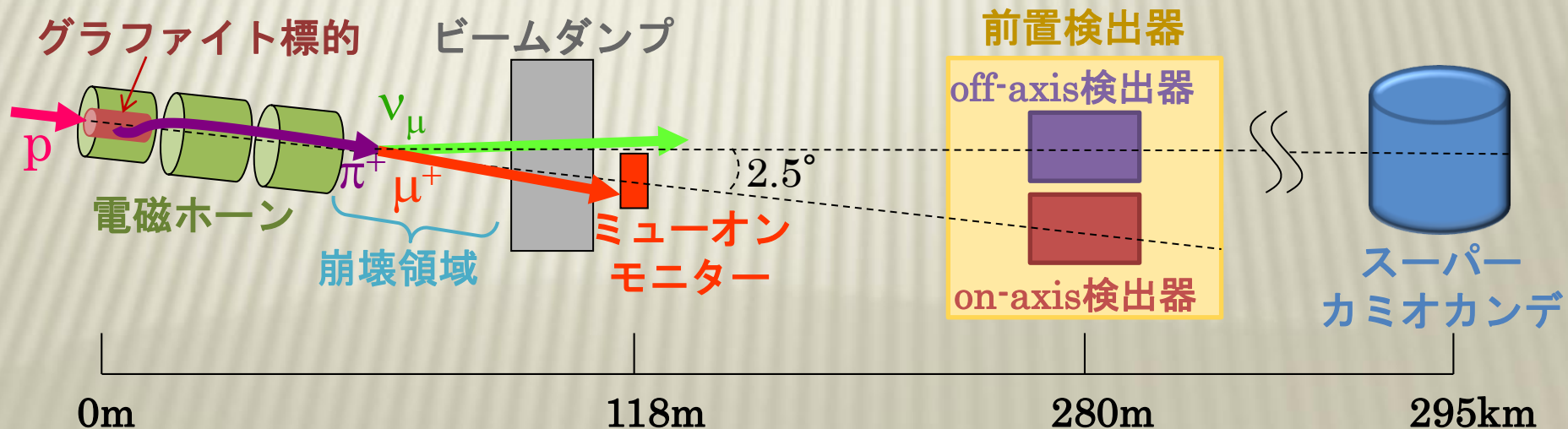
2011年9月19日

日本物理学会2011年秋季大会 @弘前大学

イントロダクション

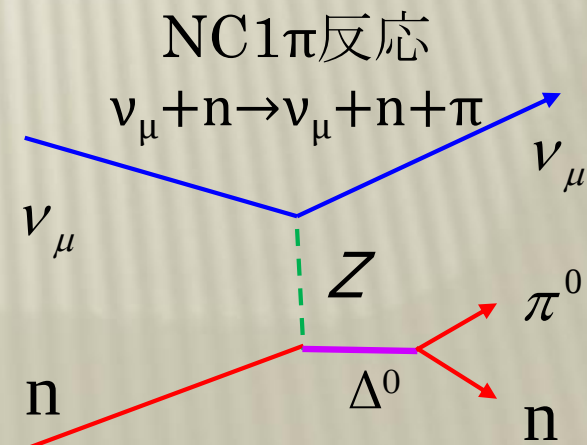
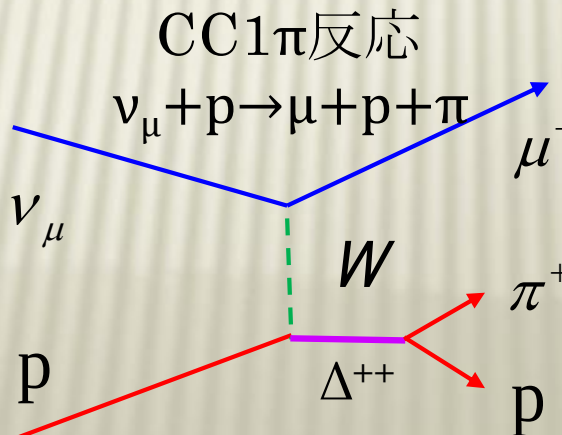
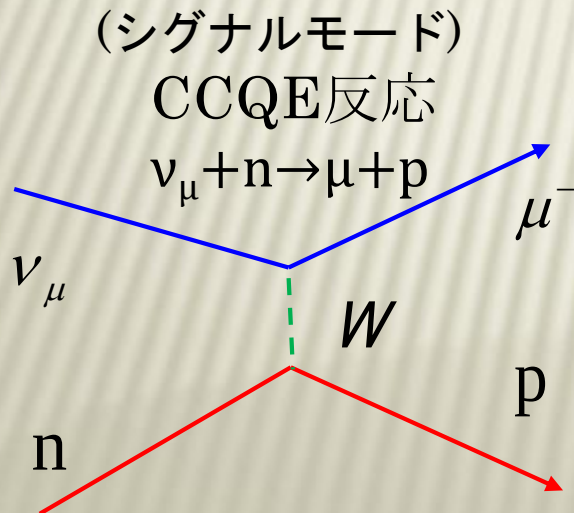
T2K長基線ニュートリノ振動実験

- × J-PARC (@東海) でミューニュートリノを生成
 - × 直後の前置検出器と295km離れたスーパーカミオカンデ (@神岡) でニュートリノを観測
- 電子ニュートリノ出現事象の探索
ミューニュートリノ消失事象の精密測定



ニュートリノ反応の不定性

- × ニュートリノの反応には様々なモードがある
- × 各モードの反応断面積に15~30%の不定性
→ T2Kの振動解析において系統誤差を生む
- × 新型ニュートリノ検出器Proton Moduleを導入し、それぞれの反応断面積を精密に測定



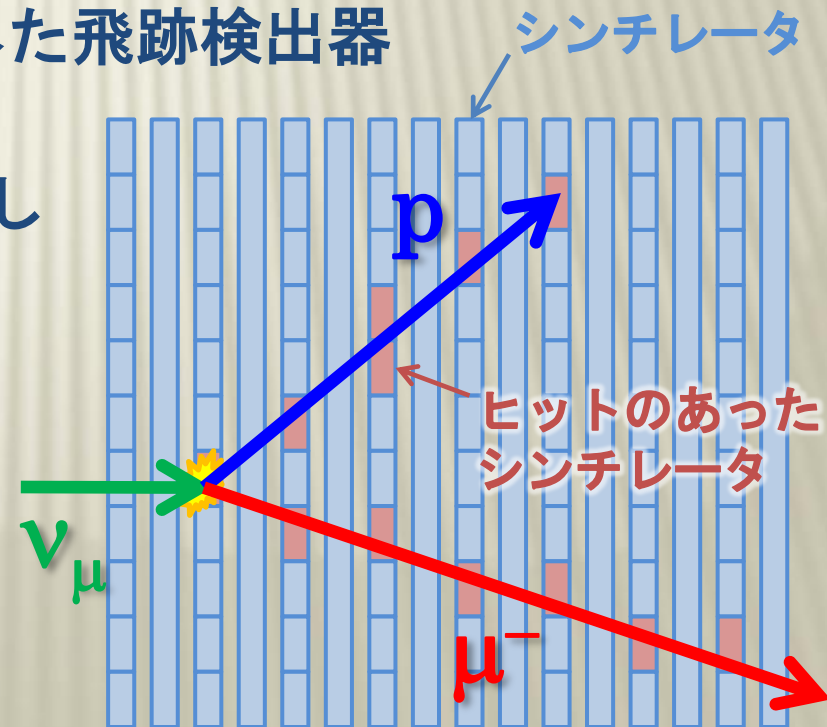
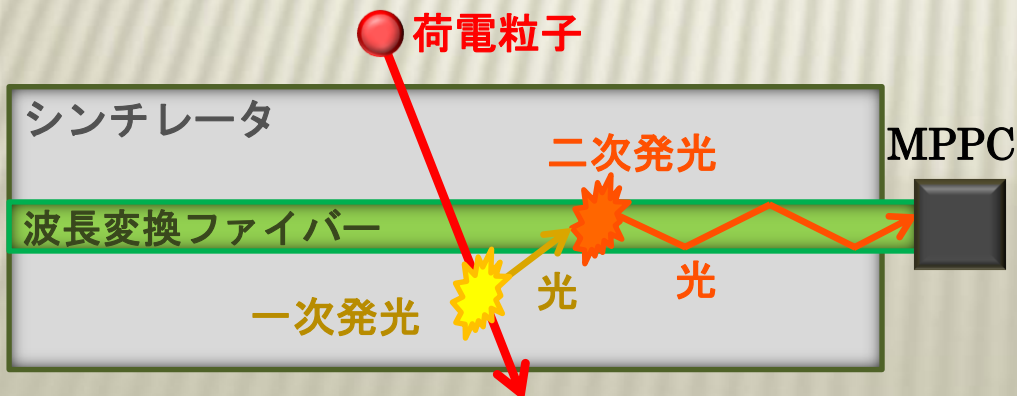
新型ニュートリノ検出器Proton Module

× 要請

- + ニュートリノ反応点からの全ての荷電粒子を高効率で検出し、ニュートリノ反応モードを識別可能

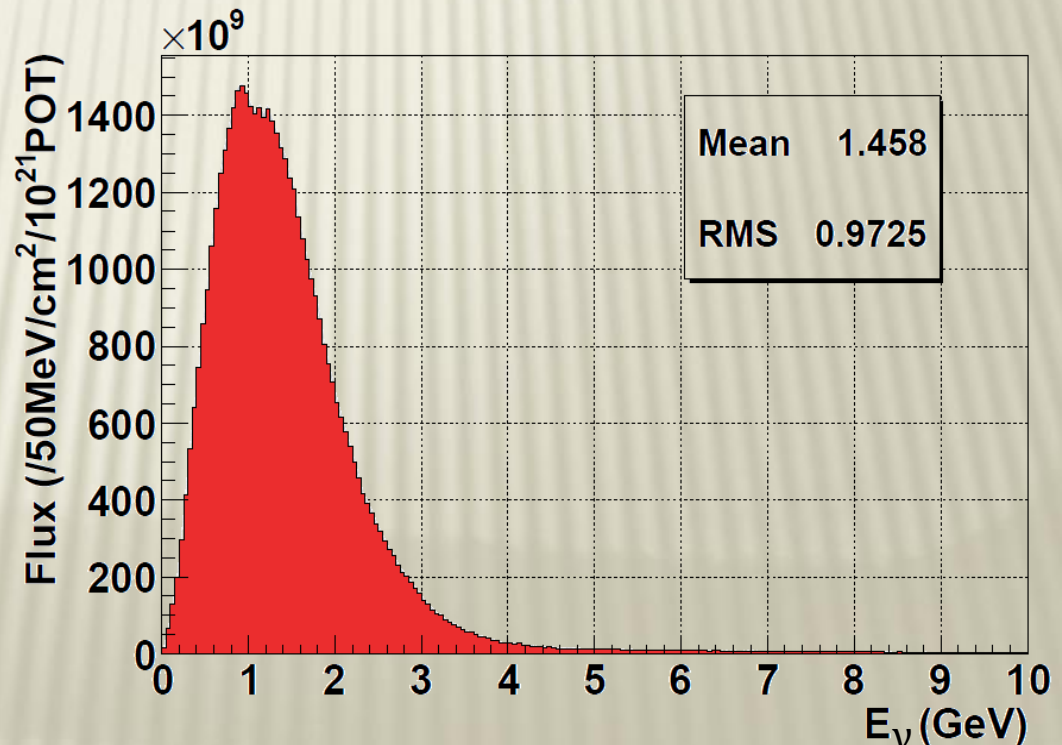
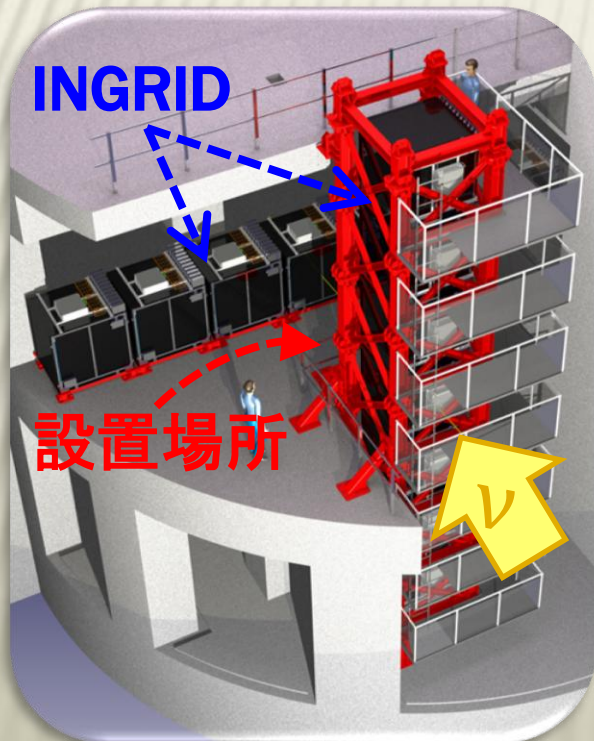
× 構造

- + 細長いシンチレータを並べた飛跡検出器
→ 不感領域がない
- + ファイバー・MPPC読み出し
→ 十分な光量を得るため



設置場所

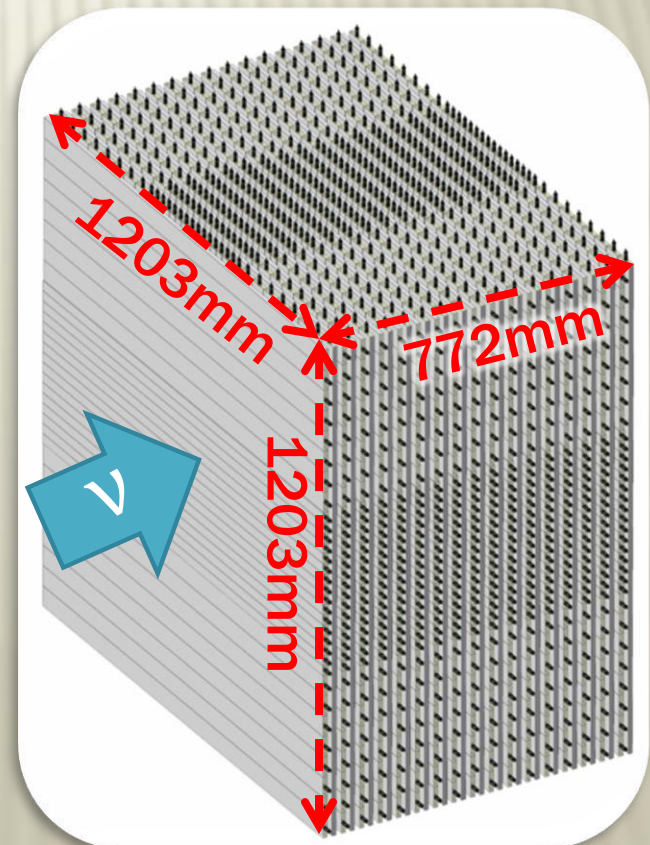
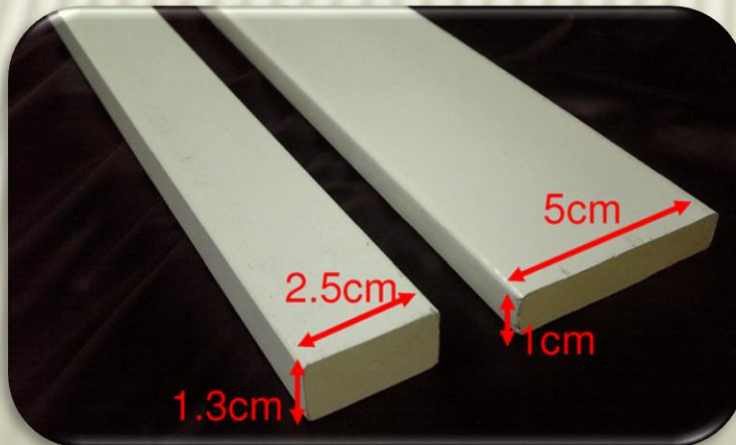
- × 前置検出器ホールのビーム中心軸上に設置
→ 1~4GeVのニュートリノの反応断面積を測定
- × 下流に設置されているINGRID (鉄とシンチレータのサンドイッチ型検出器)も解析に利用



デザインの決定

トラッキングプレーンのデザイン

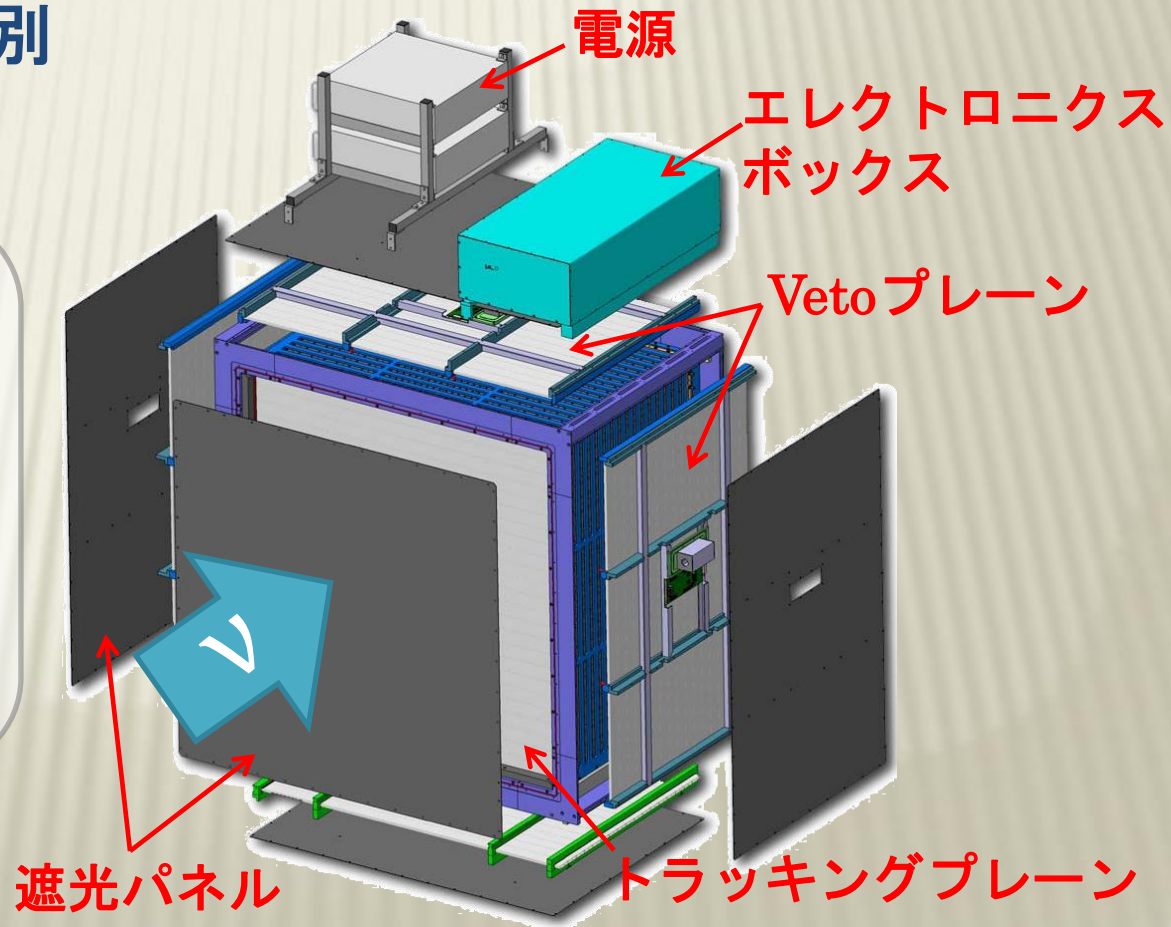
- × 使うことができるシンチレータは
 $10 \times 50 \times 1203\text{mm}^3$ と $13 \times 25 \times 1203\text{mm}^3$ の2種類
- × モンテカルロ・シミュレーション(後述)によりデザインを最適化
 - + 縦向き層と横向き層を交互に
23mmずつ離して36層配置
 - + $13 \times 25 \times 1203\text{mm}^3$ のものを
層の中央に配置



全体のデザイン

- × 全体を囲むようにVetoプレーンを設置
→ 外部から入射する粒子を検出し、ニュートリノイベントと区別

- 総チャンネル数
1204
- シンチレータの総質量
556kg
- 全体のサイズ
 $1.42\text{m} \times 1.42\text{m} \times 0.96\text{m}$

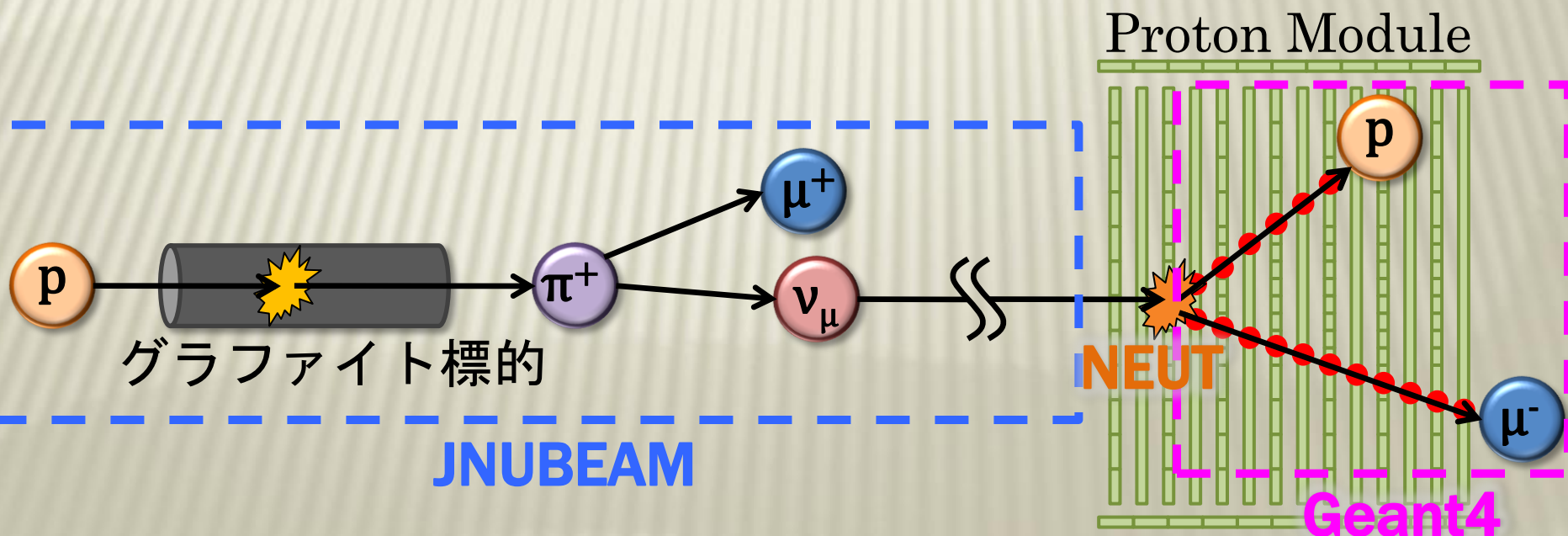


モンテカルロ・シミュレーション

モンテカルロ・シミュレーション

- × JNUBEAM : ビームラインシミュレーション
- × NEUT : ニュートリノ反応シミュレーション
- × GEANT4 : 検出器シミュレーション

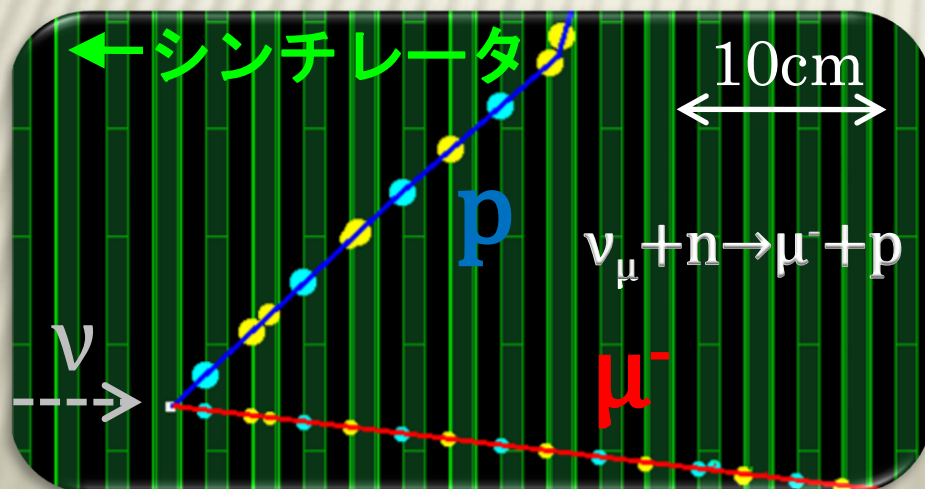
+ シンチレータのクエンチング、ファイバー中での光の減衰、MPPCの暗電流も再現



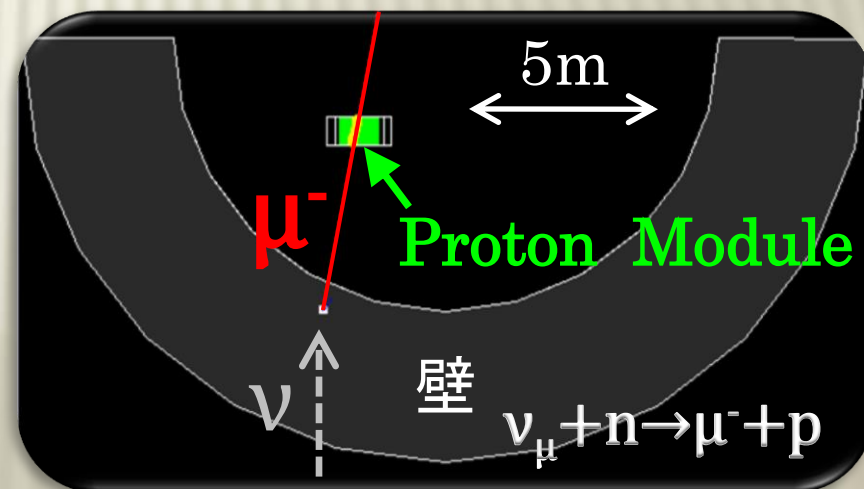
期待されるイベント数

× シミュレートしたイベント

- + Proton Moduleにおけるニュートリノ反応
→ 8.6×10^4 /年@100kW運転 → 統計的に十分
- + 前置検出器ホール壁におけるニュートリノ反応
→ 壁におけるニュートリノ反応による生成粒子が Proton Moduleに入射するバックグラウンド候補
→ 1.1×10^6 /年@100kW運転 → 解析で除去(後述)



Proton Moduleにおけるニュートリノ反応



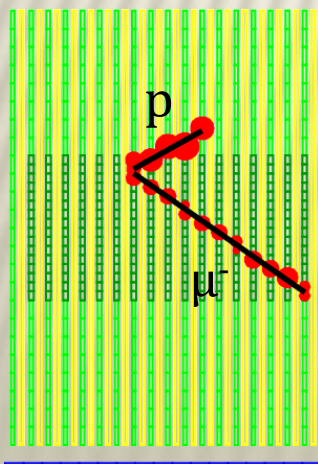
壁におけるニュートリノ反応

飛跡の再構成

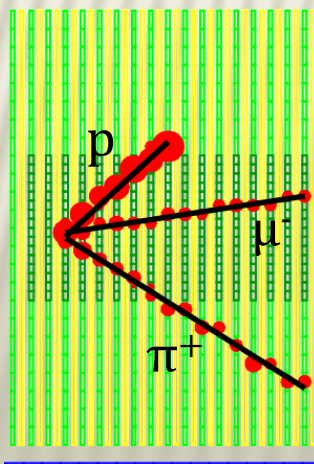
- × セル・オートマトン(離散的計算モデル)を応用した飛跡再構成方法を確立
- × あらゆる反応モードにおいて反応点からの粒子が高効率で再構成できる

※左がビーム上流

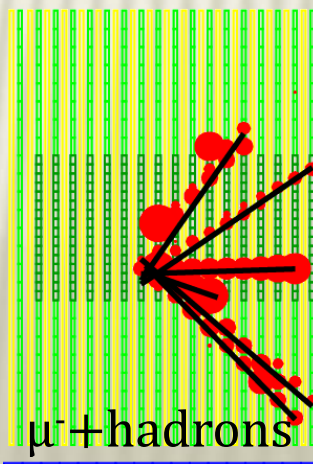
CCQE
($\nu_\mu + n \rightarrow \mu^- + p$)



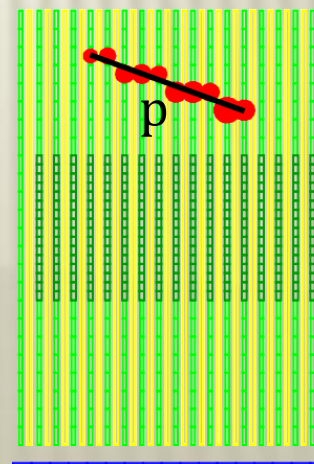
CC1 π^+
($\nu_\mu + p \rightarrow \mu^- + p + \pi^+$)



CC DIS
($\nu_\mu + N \rightarrow \mu^- + \text{hadrons}$)



NC elastic
($\nu_\mu + N \rightarrow \nu_\mu + N$)



NC1 π^0
($\nu_\mu + N \rightarrow \nu_\mu + N + \pi^0$)



製作・試験・データ取得

製作

× 2010年4月から7月にかけて製作

シンチレータの取り付け



ファイバー入れ



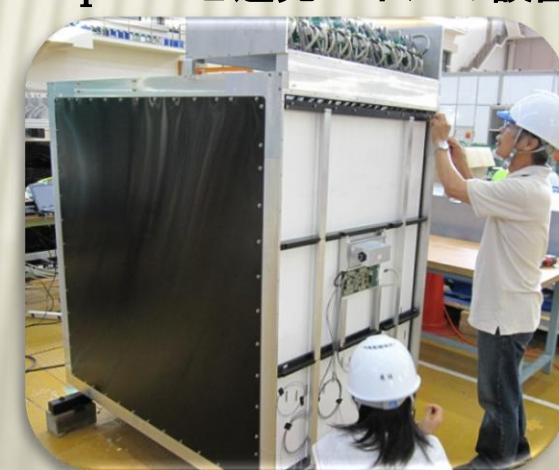
ケーブルとボードの接続



完成 (2010年7月30日)



Veto planeと遮光パネルの設置



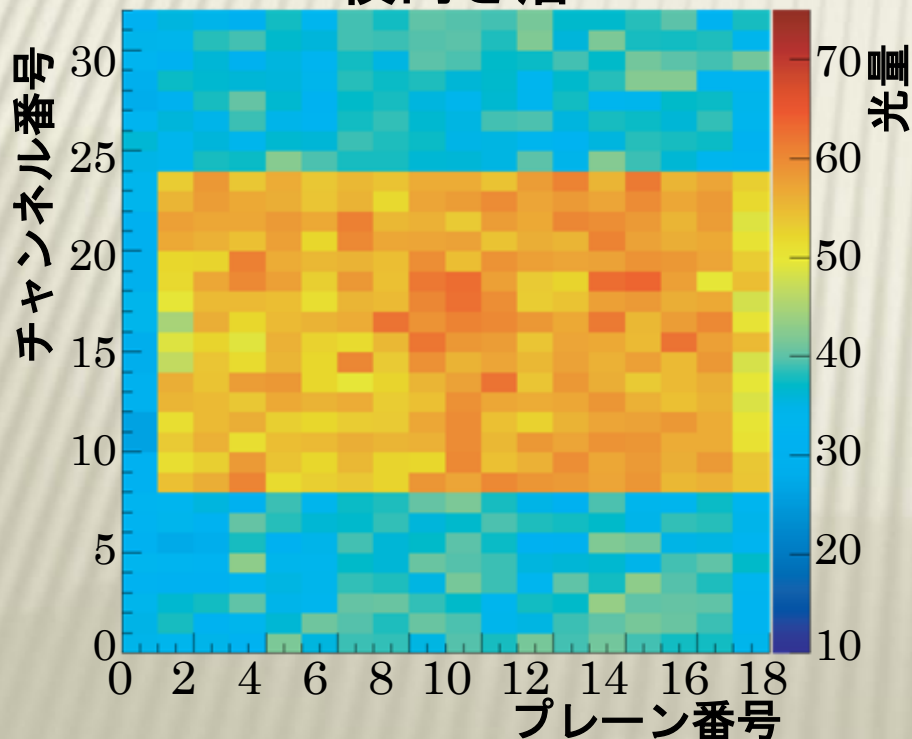
ケーブルリング



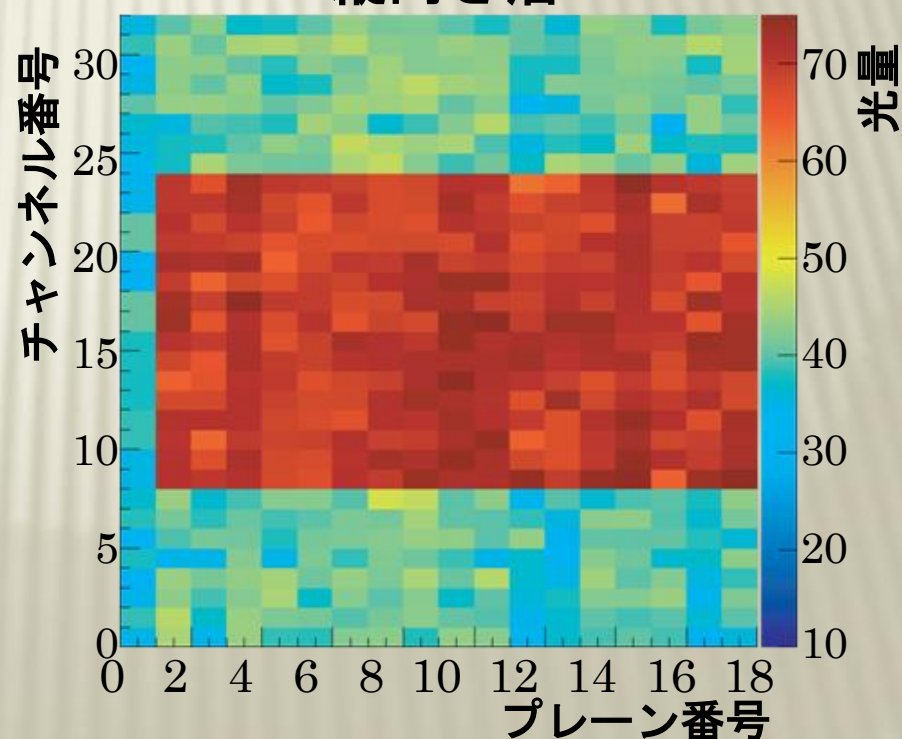
試験

- × 宇宙線を用いて光量を試験
→ 全チャンネルで十分な光量 ($>20\text{p.e.}$)
- × 試験後、前置検出器ホールにインストール

横向き層



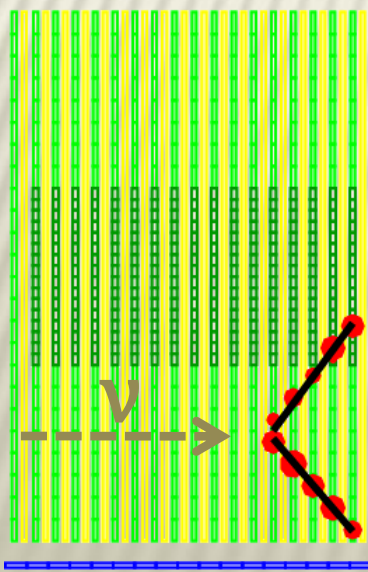
縦向き層



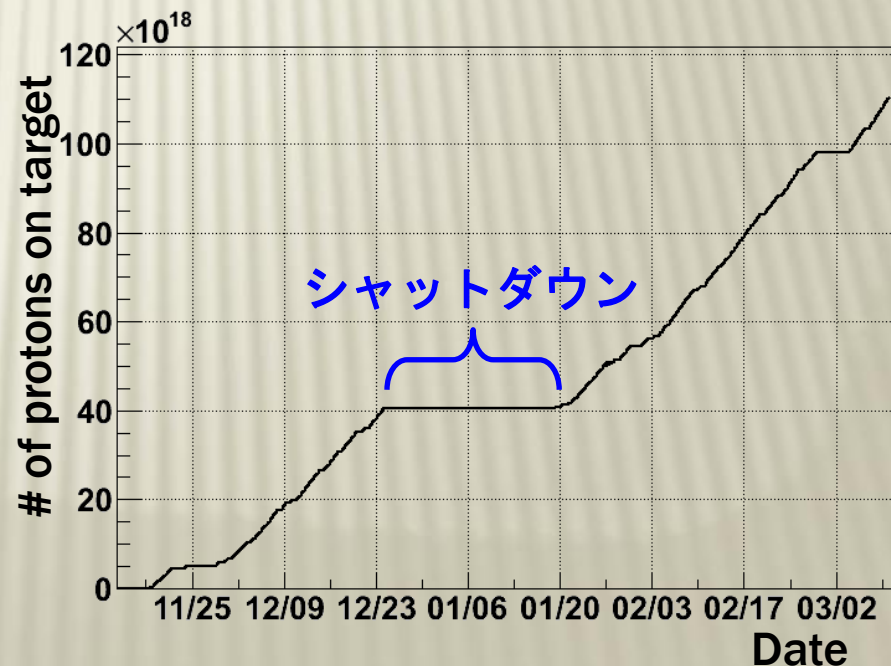
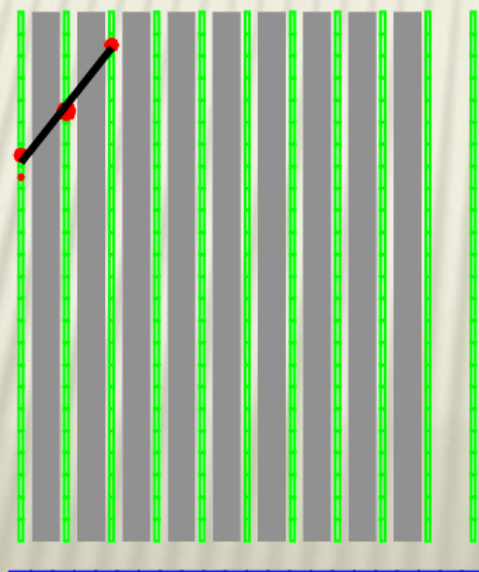
データ取得

- × 2010年11月16日からデータ取得を開始
- × 2011年3月11日に震災により中断
- × 1.1×10^{20} POT (Protons On Target) のデータ を取得

Proton Module



INGRID



最初のニュートリノイベント候補 (2010/11/18)

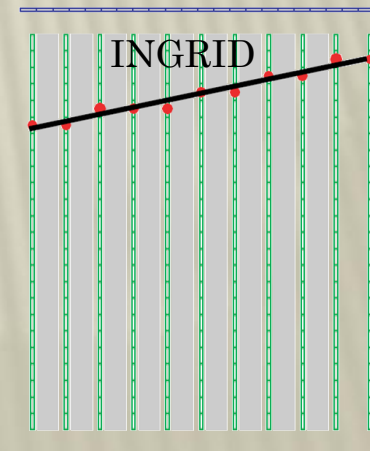
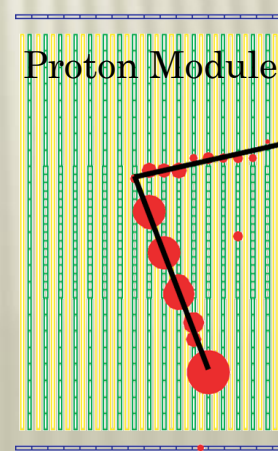
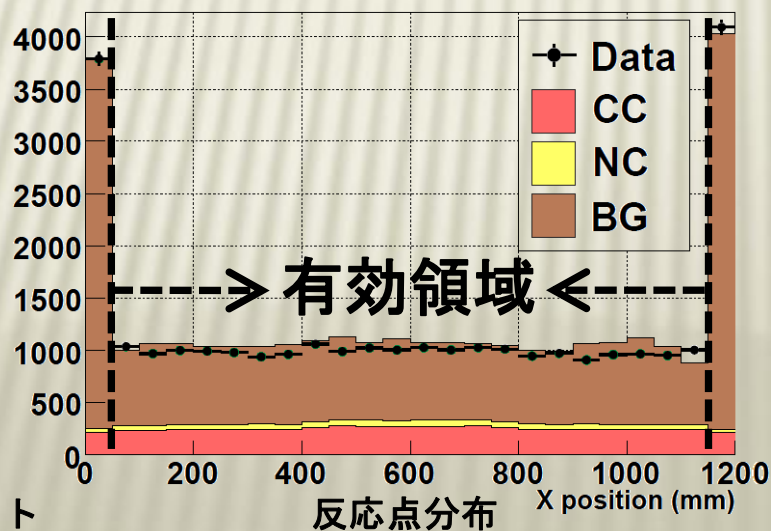
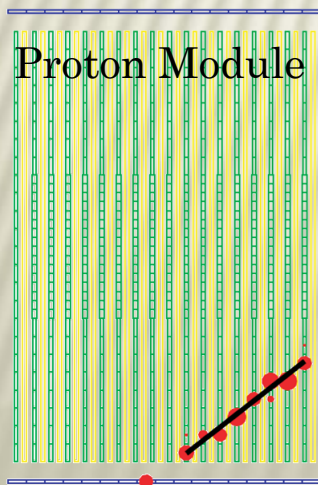
累積照射陽子数の推移

解析

ニュートリノイベント選択

× 壁からのバックグラウンドを排除

イベント選択基準	ビームデータ	モンテカルロ・シミュレーション			
		ニュートリノイベント	バックグラウンドイベント	計	純度
0. Proton Moduleに飛跡がある	495910	21337	477585	498923	4.2%
1. Vetoプレーンによるカット	75907	18320	61016	79337	23.1%
2. 反応点が有効領域内	34617	14478	23627	38106	38.0%
3. INGRIDに飛跡がある	7084	6343	669	7012	90.4%

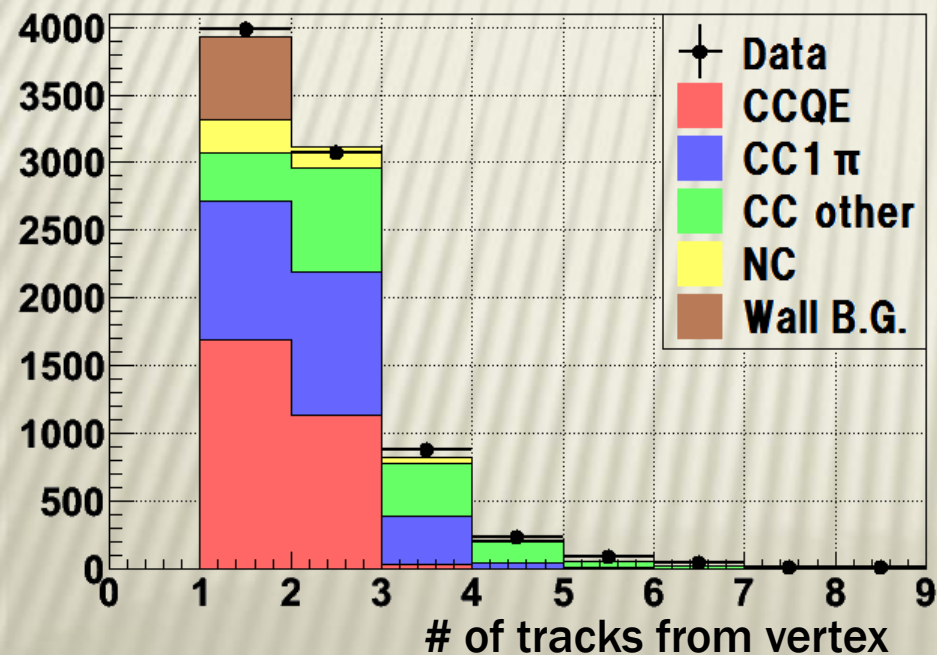


INGRIDに飛跡があるイベント

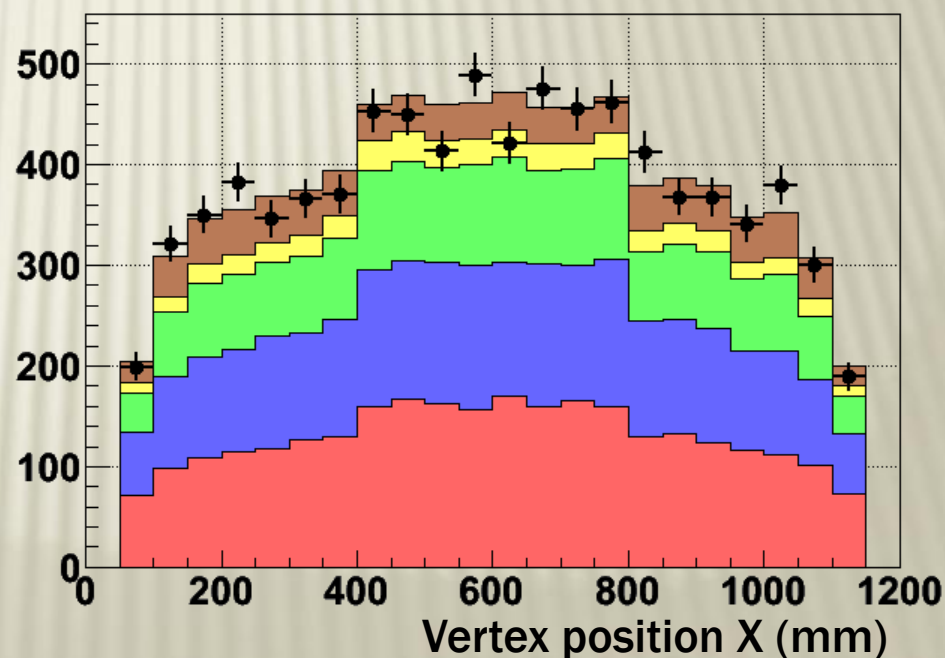
Vetoプレーンによるカット

モンテカルロ・シミュレーションとの比較

- × 基本分布をビームデータとモンテカルロ・シミュレーションで比較
 - ほぼ一致している
 - 想定外のバックグラウンドがない



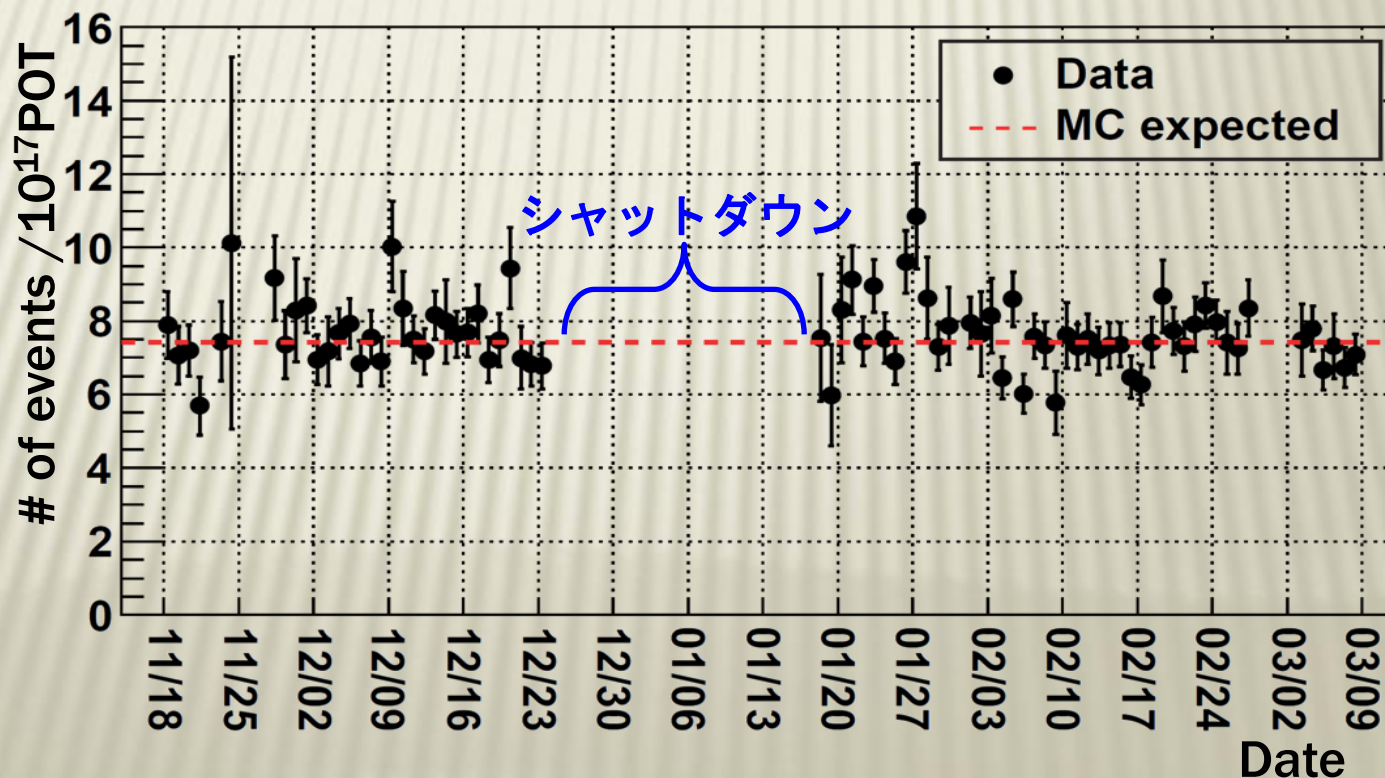
飛跡数分布



反応点分布

安定性評価

- × 各日のイベント数を加速器から照射された陽子数で規格化
 - 統計誤差の範囲で安定
 - 安定してデータが取得できている



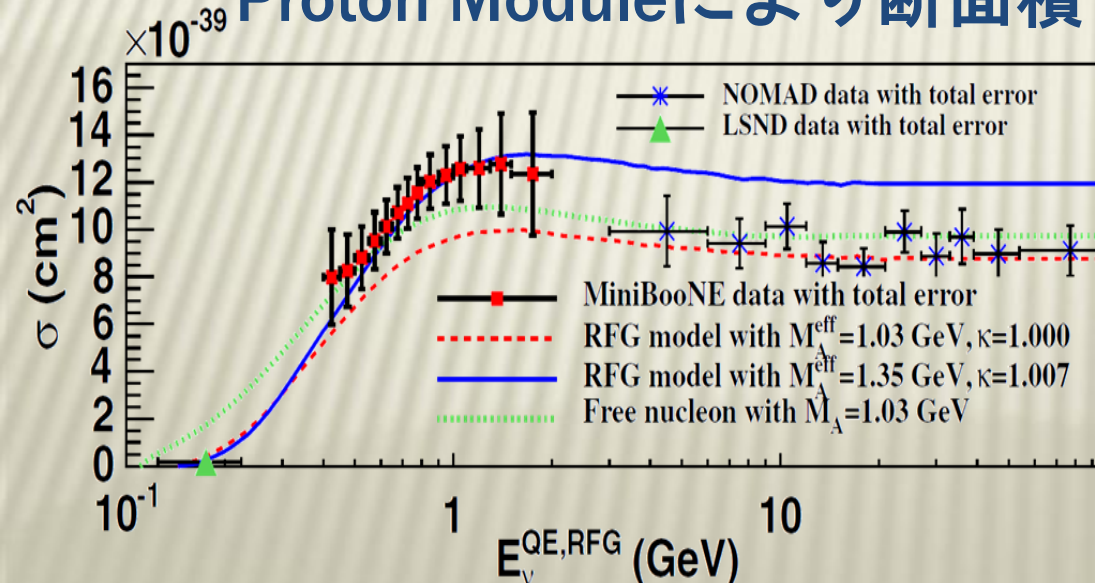
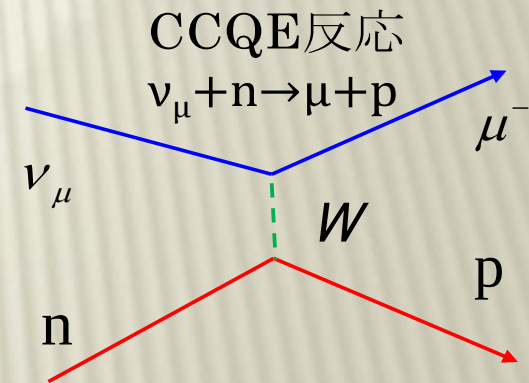
まとめ

- × T2K実験の振動解析において系統誤差を生む、ニュートリノ反応の不定性を抑制するために、新ニュートリノ検出器Proton Moduleを開発した
- × モンテカルロ・シミュレーションを元にデザインを最適化し、十分な性能が期待できることを確認
- × 2010年4月から7月にかけて実機を製作
- × 全チャンネルが正常に動作していることを確認
- × データとモンテカルロ・シミュレーションがよく一致しており、想定外のバックグラウンドがない
- × 安定してデータが取得できている
- × 現在はCCQE反応断面積を解析中 (18pSD-1で発表)

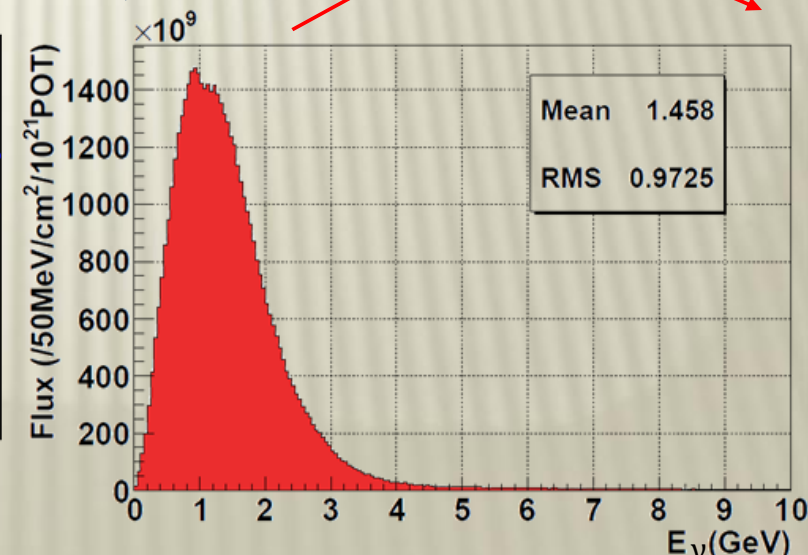
バックアップ

CCQE反応断面積

- × MiniBooNE, NOMAD, LSNDで測定された炭素とのCCQE反応断面積は単独のモデルで説明できない
- × T2Kビーム軸上のニュートリノは未測定の1.5~4GeVの領域をカバー
- × ビーム軸上のニュートリノ検出器Proton Moduleにより断面積を測定



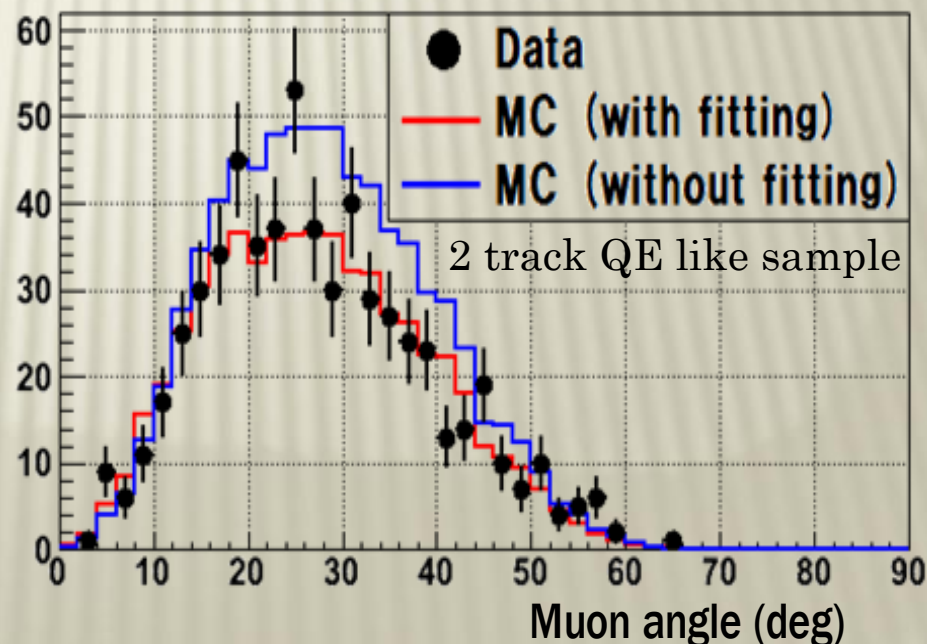
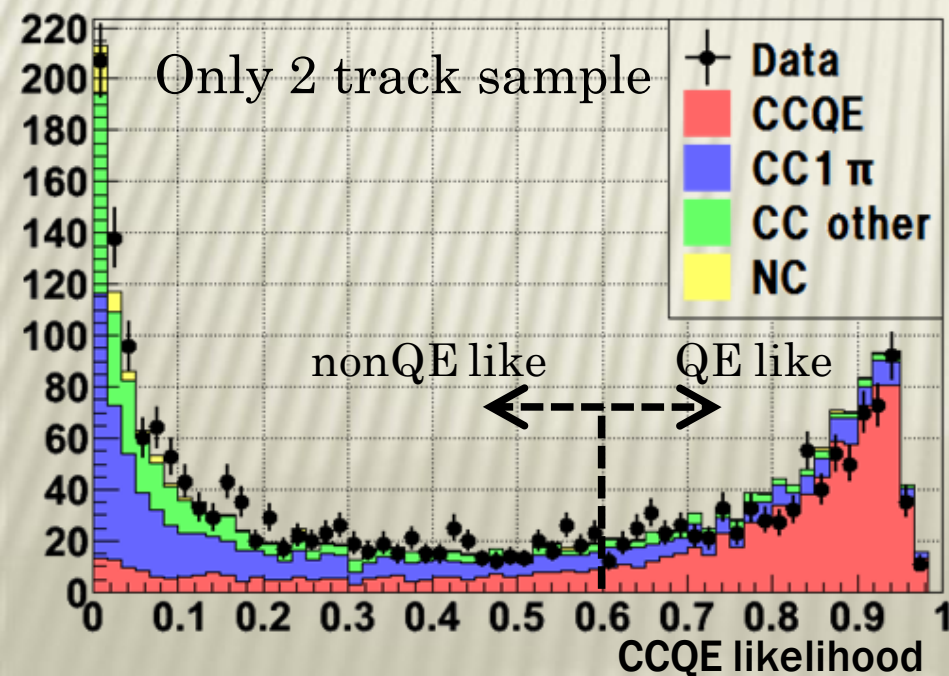
CCQE反応断面積の測定値



T2Kビーム軸上のニュートリノ

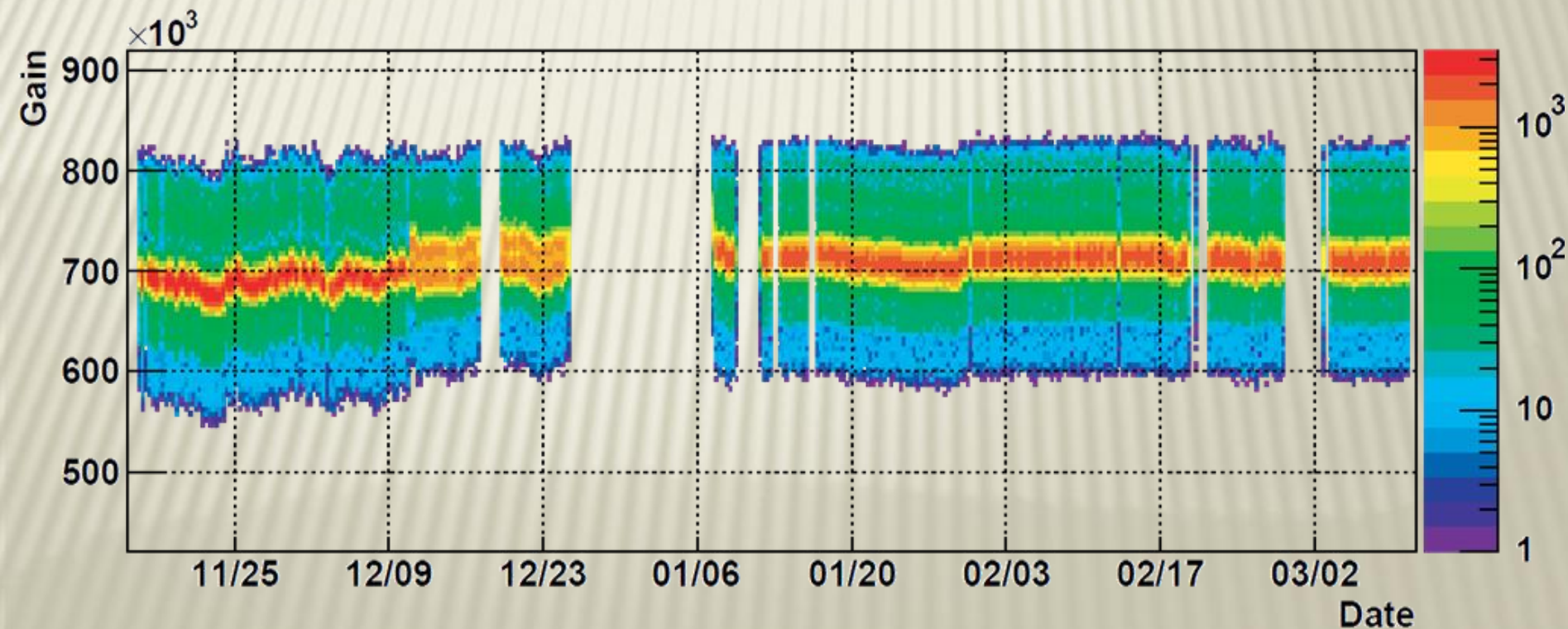
反応断面積解析の現状

- × まずはシグナルモードであるCCQE反応の反応断面積を解析
- × 飛跡数やLikelihoodからCCQE反応を高純度で抽出
- × データの θ_μ 分布をモンテカルロでフィットすることで反応断面積を解析中



安定性評価

- × データ取得中は常にMPPCのゲインを監視
→ すべてのMPPCが安定して動作



試験

- × 暗電流を用いて全MPPCのゲインを測定し、組立前の測定値と比較
→ 全チャンネルで組立前の測定値と一致

