

# T2K実験ニュートリノビームモニター INGRIDにおけるビーム測定結果I

京大理, 東大理<sup>A</sup>, 阪市大理<sup>B</sup>

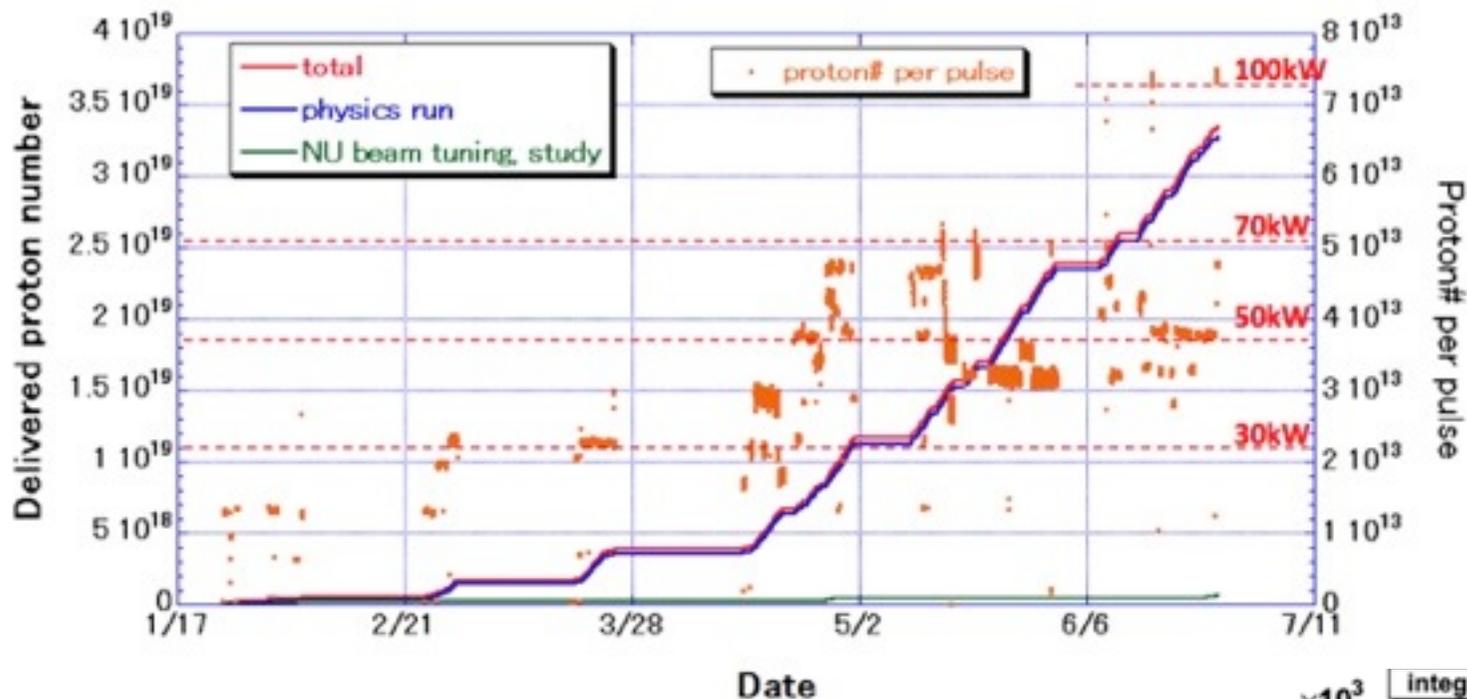
村上明, 大谷将士, 松村知恵<sup>B</sup>, 木河達也, 鈴木研人, 高橋将太,

南野彰宏, 横山将志<sup>A</sup>, 山本和弘<sup>B</sup>, 市川温子, 中家剛

他T2Kコラボレーター

# データ取得

T2K実験：2010年1月より物理ラン開始



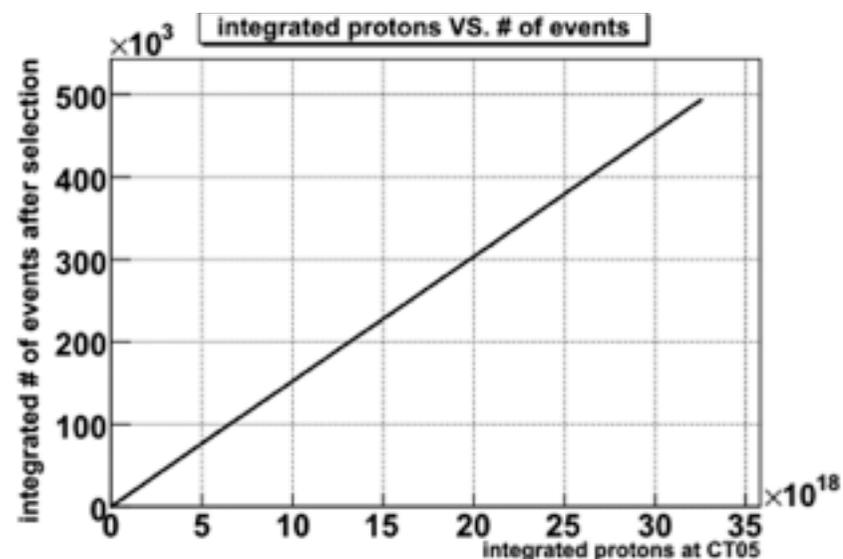
Horn:  
250kA&250kA

Max.intensity:  
100kW

Stable operation:  
< 50kW

INGRID : 2010年1月より測定開始

- 99.9% data taking efficiency
- Total delivered protons:  $\sim 3.3 \times 10^{19}$
- Neutrino events :  $\sim 4.9 \times 10^5$

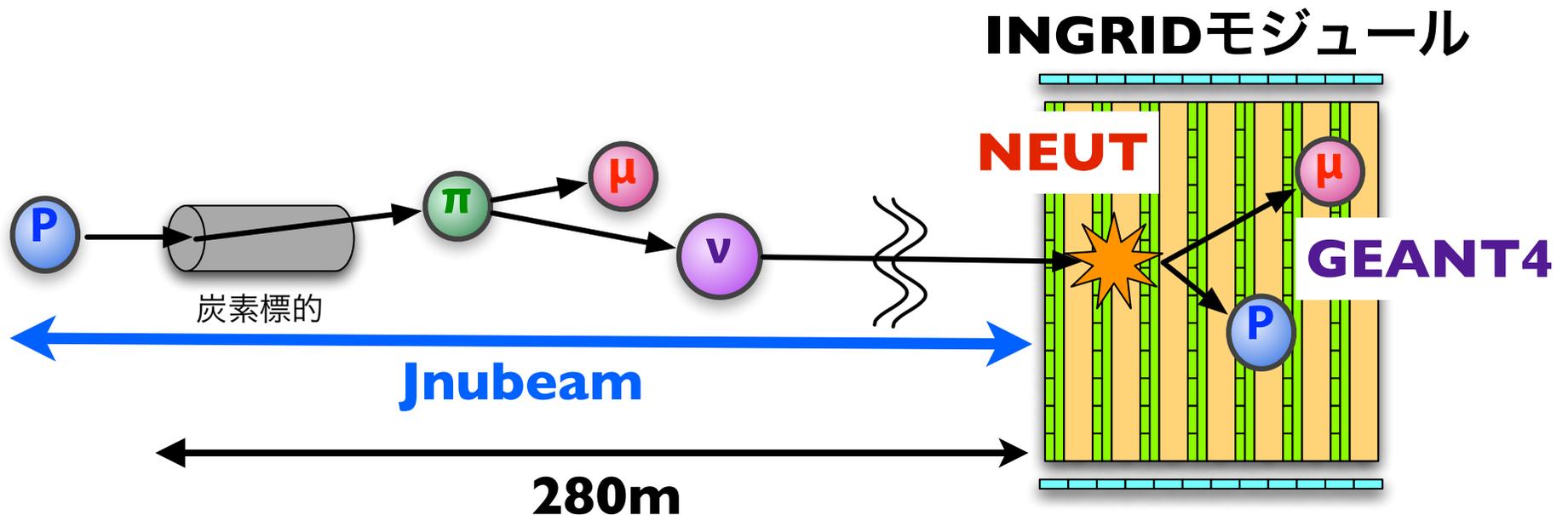


# ニュートリノ観測数の見積もり

- 前回の学会から統計増 → ニュートリノ観測数の統計誤差小
- 観測したイベントがモジュール内でのニュートリノ反応であることの保証したい。
- 検出シミュレーションとデータの比較を行うことで検出
  - シグナルの理解、観測数の見積もり
- バックグラウンド数の見積もり(現在進行中)
  - 主なバックグラウンド：モジュール外でのニュートリノ反応で出てくる粒子がモジュールと反応.

# 検出器シミュレーション

- INGRIDでのニュートリノ検出のシミュレーションの構成
  - ニュートリノ生成→INGRID : Jnubeam (GEANT3)
  - INGRIDとニュートリノの反応 : NEUT
  - ニュートリノ反応で生成された粒子の運動 : GEANT4
- モジュール内で起きたニュートリノ反応のみを扱う。
  - 壁でのニュートリノ反応は考慮していない(Study中)

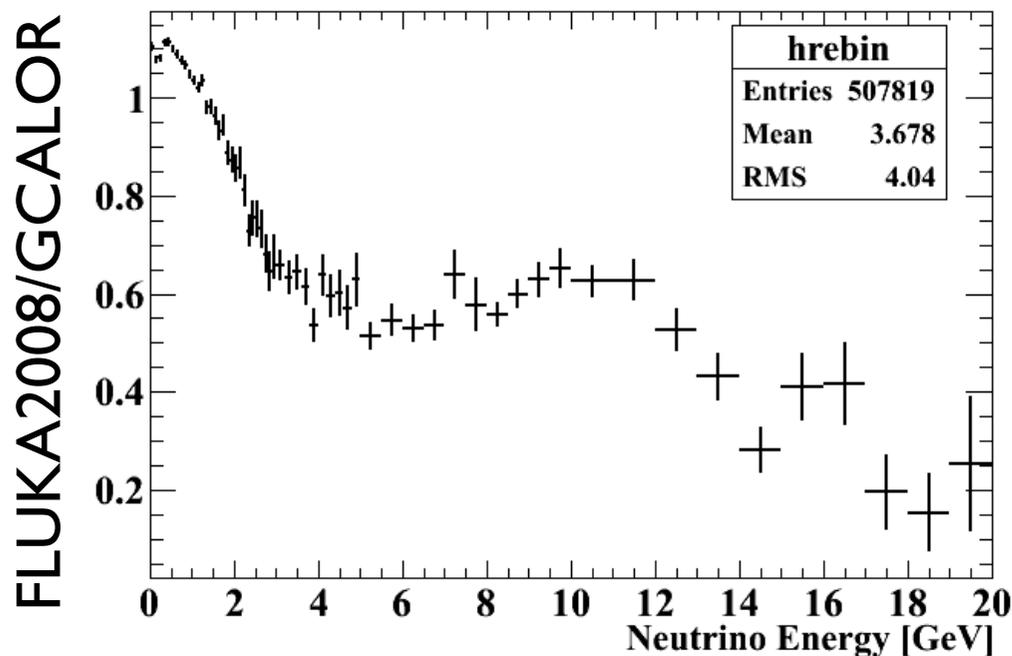


# シミュレーションの不定性

- 主なシミュレーションの不定性として考えられるものの中で、主なもの
  - ニュートリノフラックス：~25%
    - ニュートリノの親ハドロン粒子生成に関する不定性.
  - ニュートリノ反応断面積：~30%
    - 全反応断面積の絶対値の不定性.
- 今回はハドロン生成に関する不定性について考慮する。

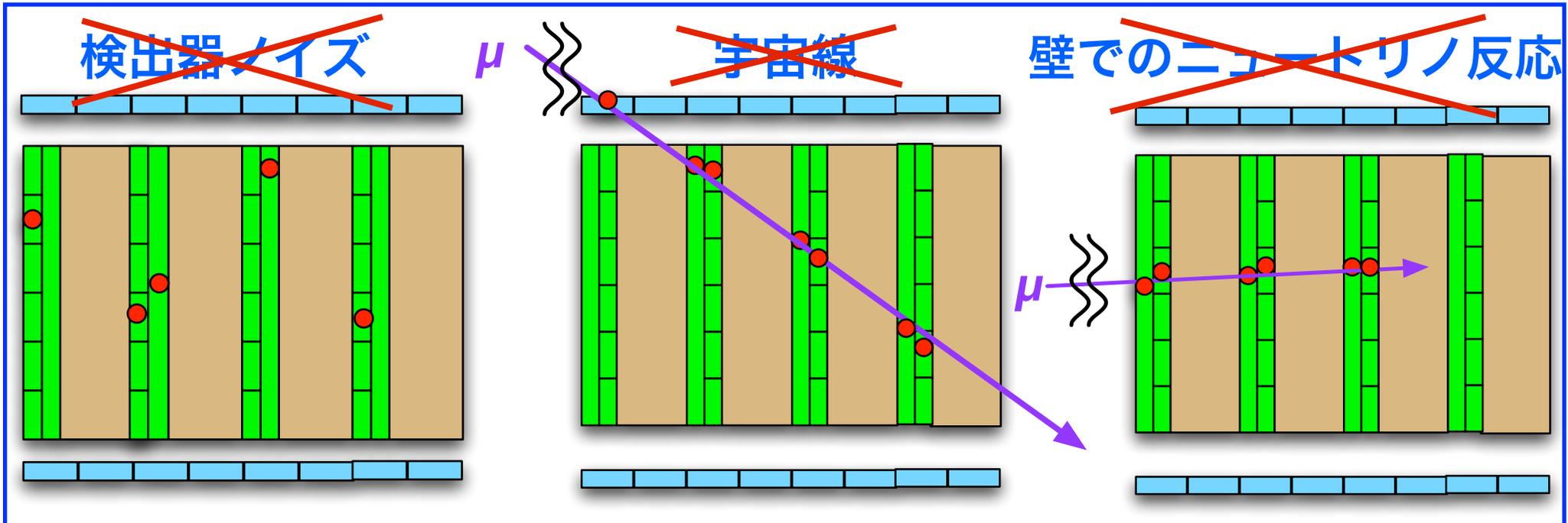
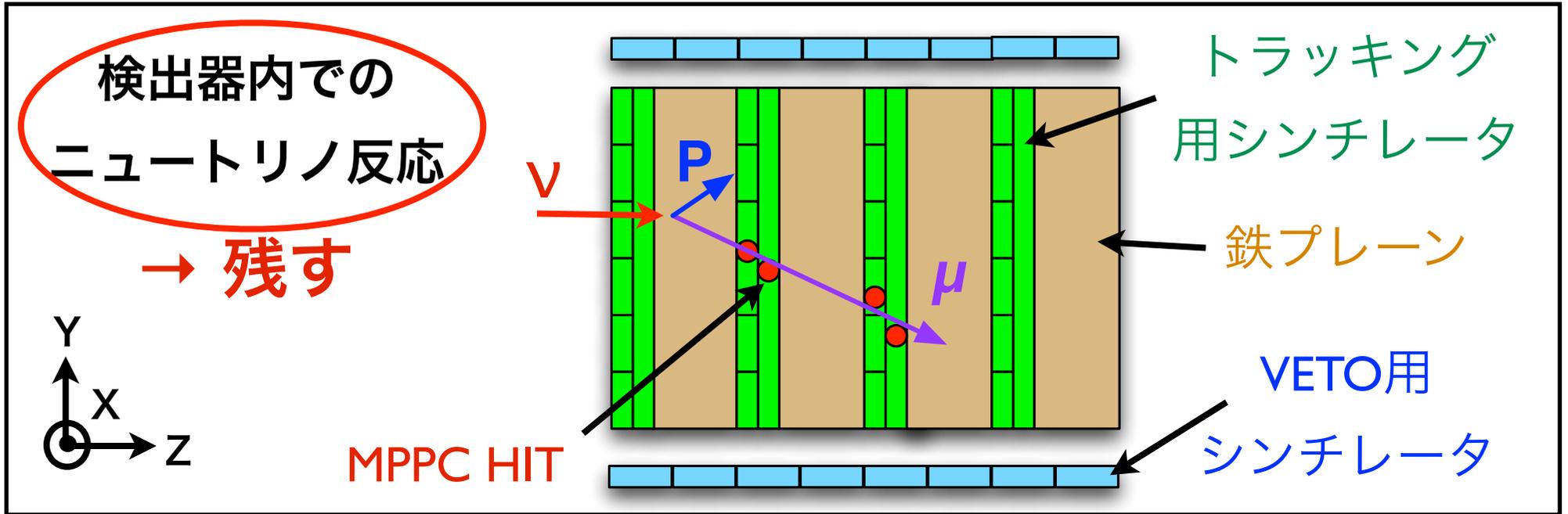
# ニュートリノ生成の不定性

- T2K実験 :  $P(30\text{GeV}) + C(\text{Target}) \rightarrow \text{Hadron}(\pi, K, \dots) \rightarrow \nu$
- $P+C$  を GCALORのハドロン生成モデルを用いて予測.
- モデルの違いによる不定性は大きく、実験で測定する必要あり (NA61@CERN).
- 別のモデル (FLUKA2008) は実験データを良く再現。
- 今回は2種類のモデル (GCALOR, FLUKA2008) を使用



← INGRIDに到達するニュートリノのエネルギースペクトル比 (FLUKA2008/GCALOR)

# 解析方法



# イベントセレクション

Make timing cluster  
(more than 4 hits within  
100nsec)

# of active planes > 2 &&  
p.e. / active layer > 6.5

Tracking

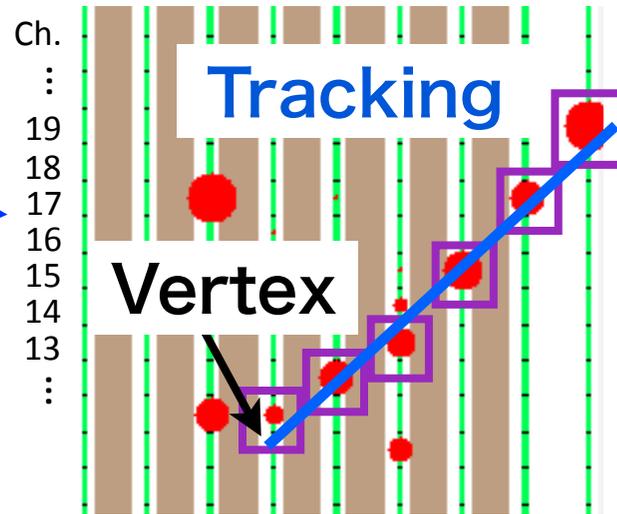
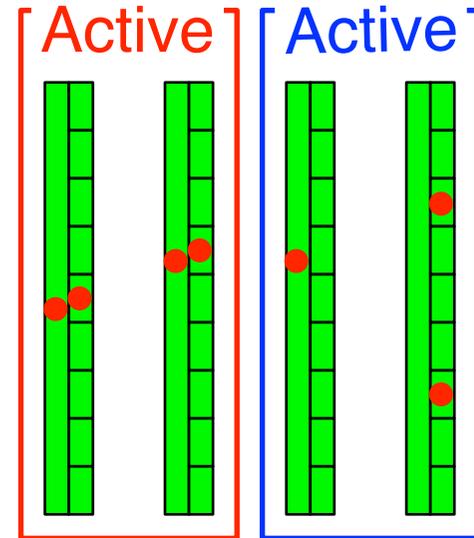
Track matching

On time cut

Upstream VETO cut

Fiducial volume cut

- MPPCノイズを除去
  - 連続3PlaneにHIT
- ➡ Tracking



ビームタイミングと同期した  
イベントのみを選択

# イベントセレクション

Make timing cluster  
(more than 4 hits within  
100nsec)

# of active planes > 2 &&  
p.e. / active layer > 6.5

Tracking

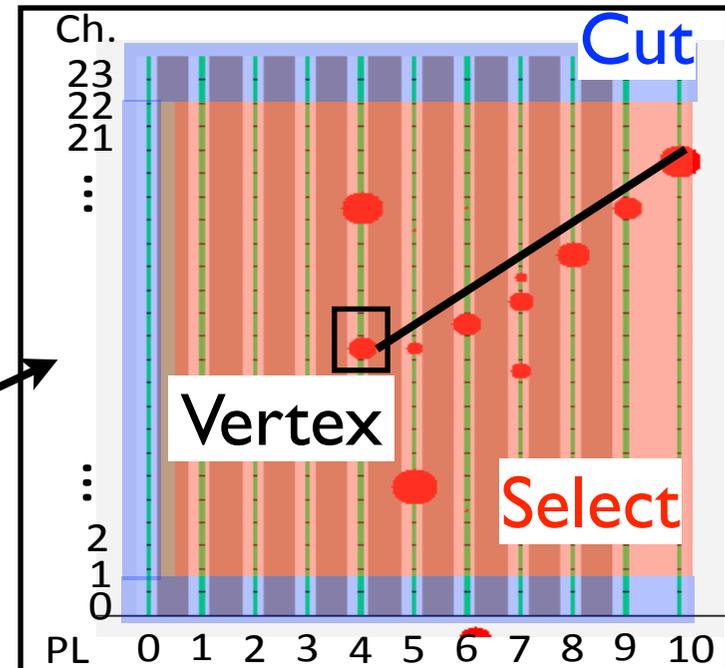
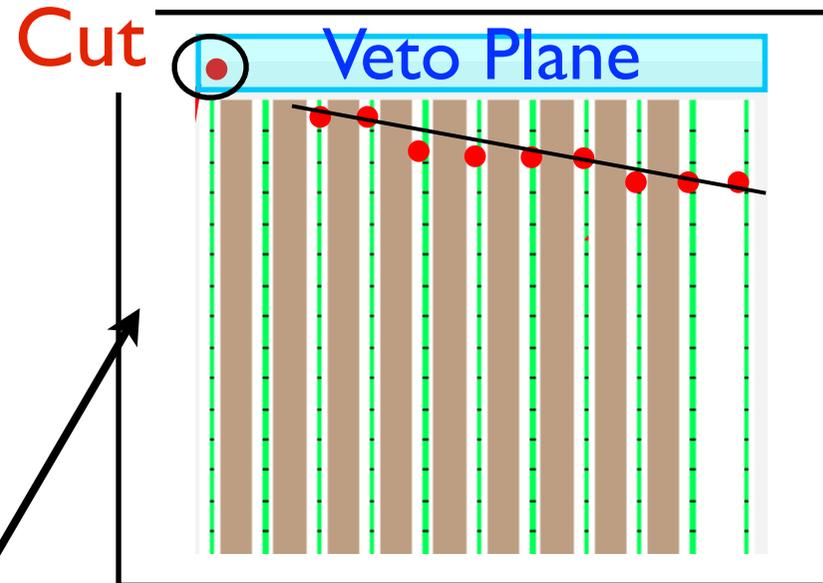
Track matching

On time cut

Upstream VETO cut

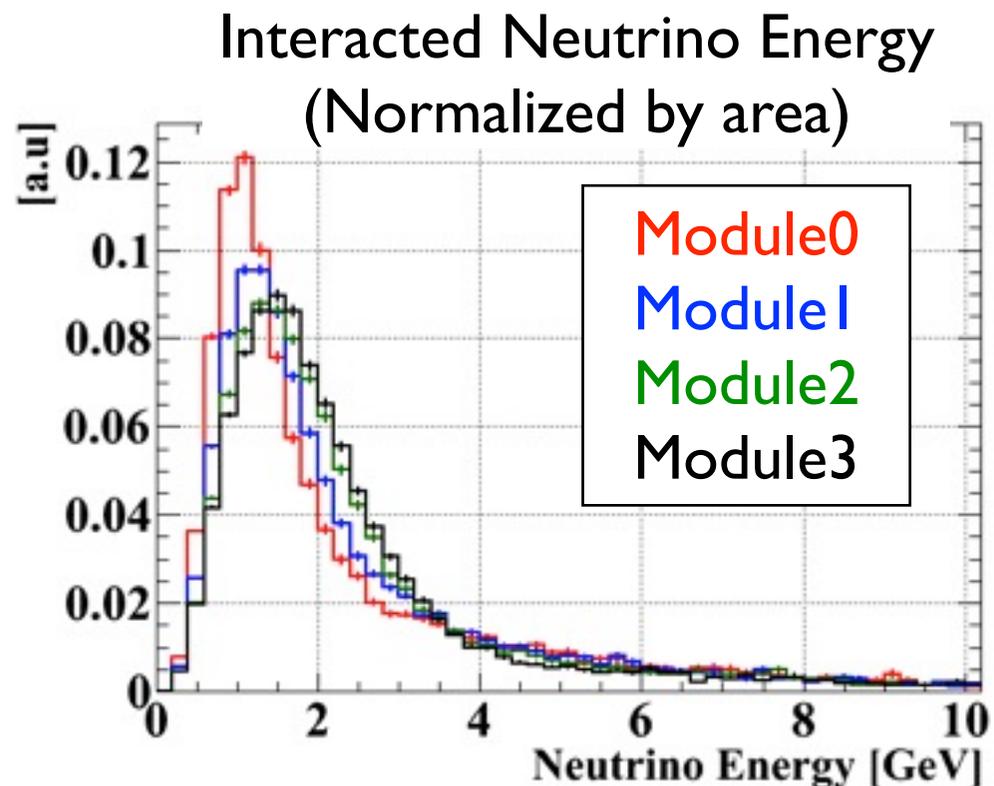
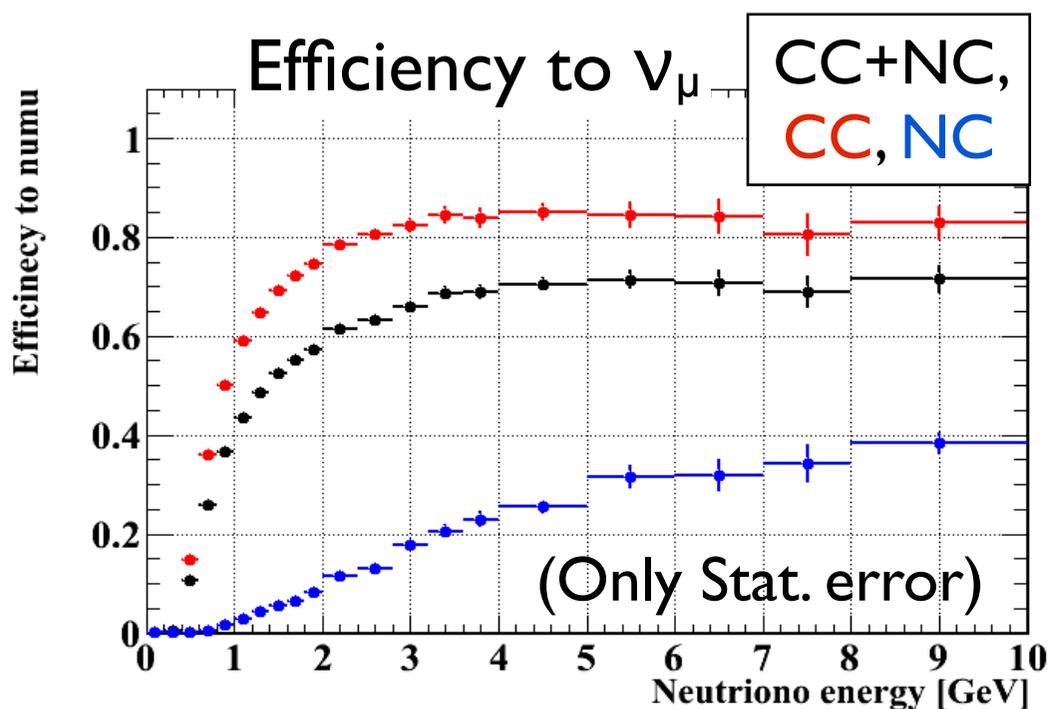
Fiducial volume cut

- 宇宙線・壁からのミュオンを除去



# 検出効率

(# of events after event selection) / (# of interaction in Fiducial volume)



各水平モジュールでの検出効率(スペクトル平均)

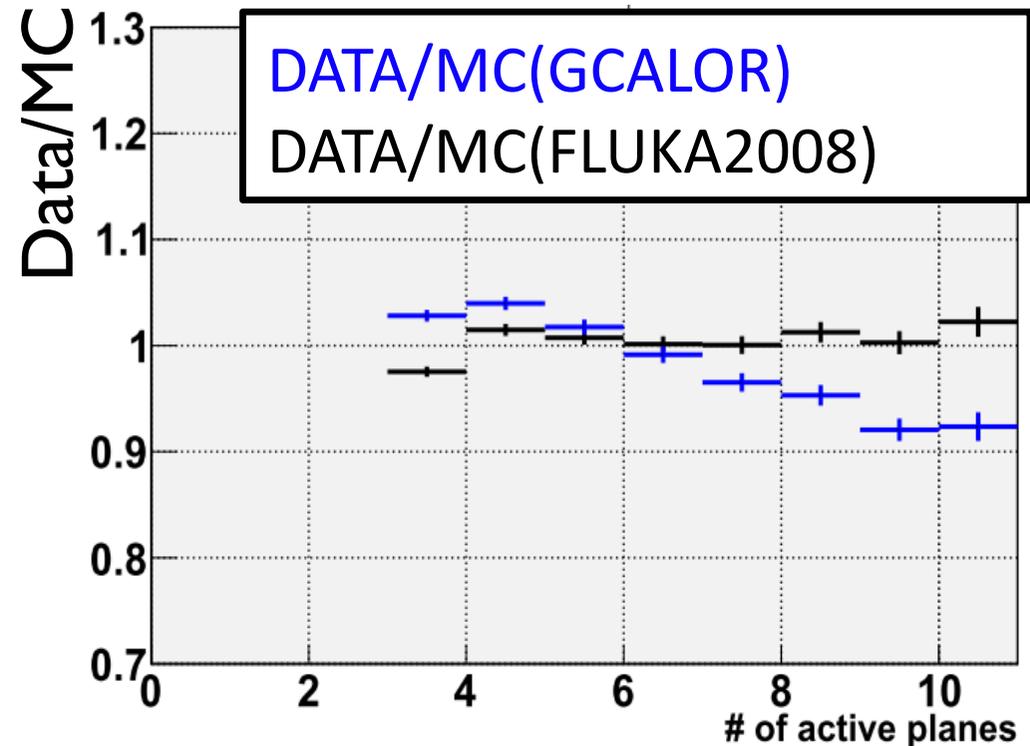
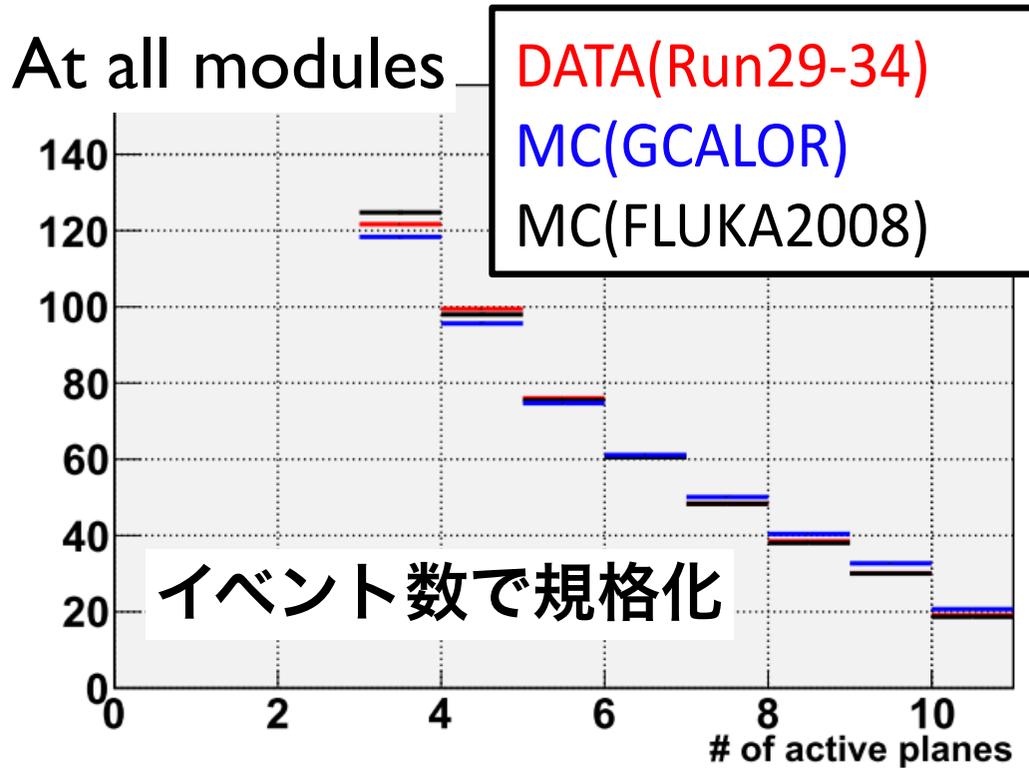
| Module#        | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Efficiency [%] | 48.3 | 50.7 | 52.3 | 52.2 | 52.1 | 50.8 | 48.0 |

→ ~50%程度の検出効率が見込まれる。

# データ vs シミュレーション

- イベントセレクション後の各種変数の分布の比較
- データ : 2010年1月~6月の物理データ
- シミュレーション :  $\nu_\mu$  のみ
  - anti- $\nu_\mu$  : 5%.  $\nu_e$  : 1%. anti- $\nu_e$  : 1%以下 (at Flux to INGRID)
  - 2種類のニュートリノの親ハドロン粒子の生成モデルを使用 (GCALOR, FLUKA2008)
- イベント数で規格化
  - 分布の形が両者でどの程度合っているかを検証.

# # of active plane



GCALORでは最大~8%の差(at high # of active plane)

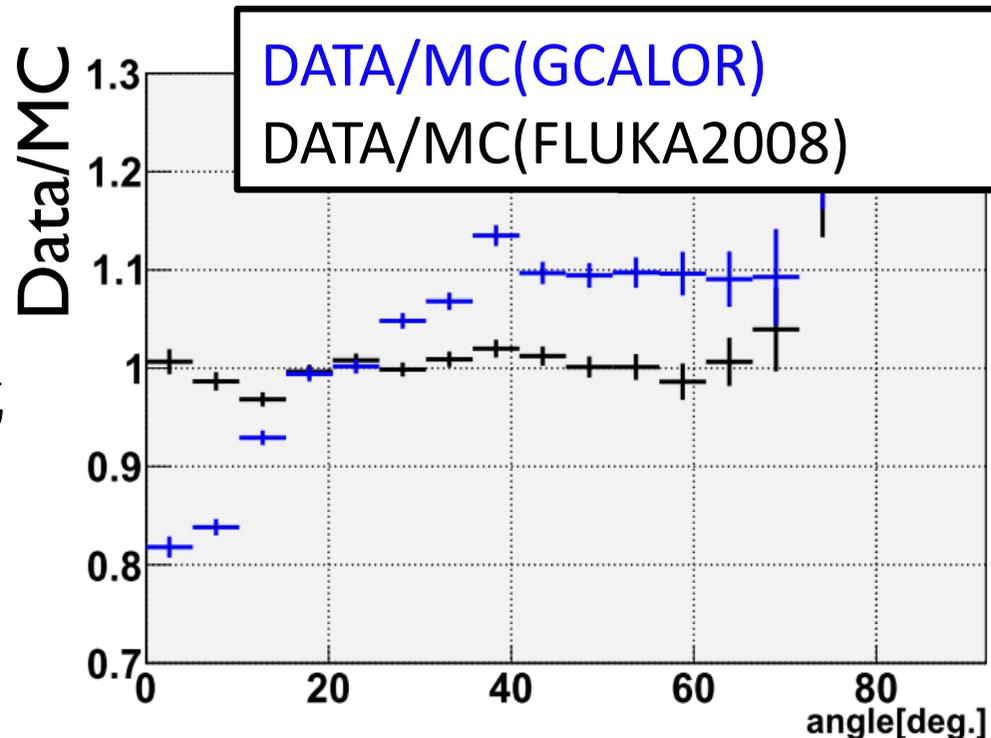
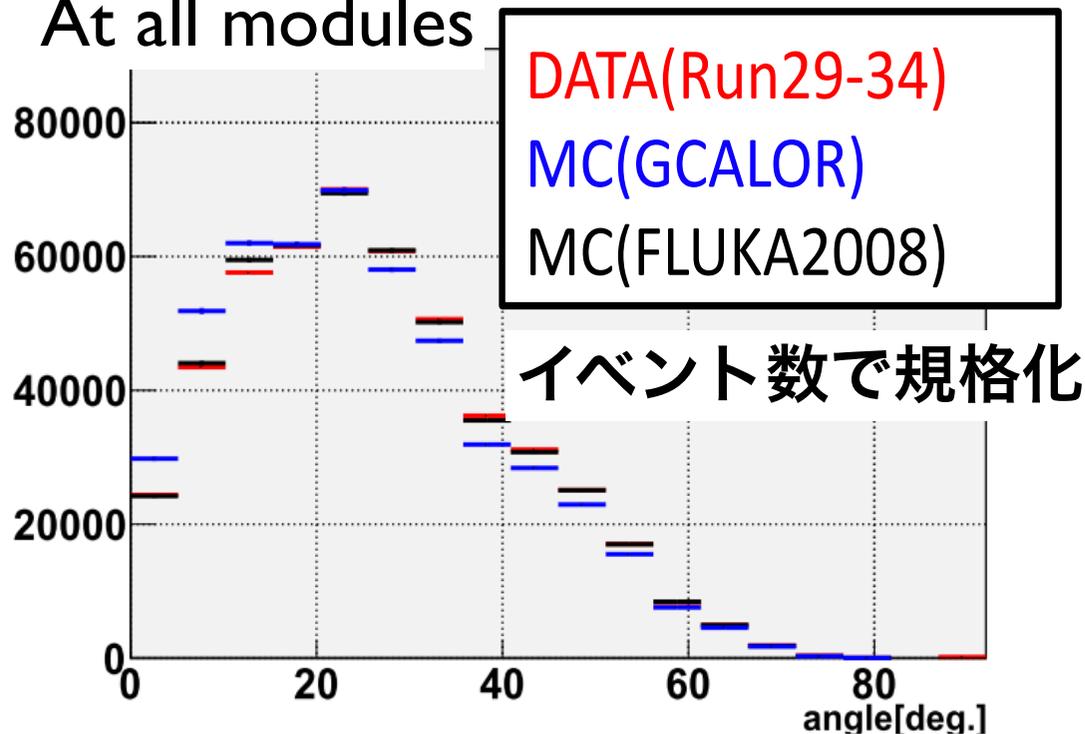
→ FLUKA2008では良く (**3%以内で**)再現

▶ 高エネルギーのニュートリノの割合の違い

(High energy  $\nu$  → High energy  $\mu$  → Long Track)

# Tracking angle

At all modules



GCALORでは最大~18%(at Low tracking angle)の差

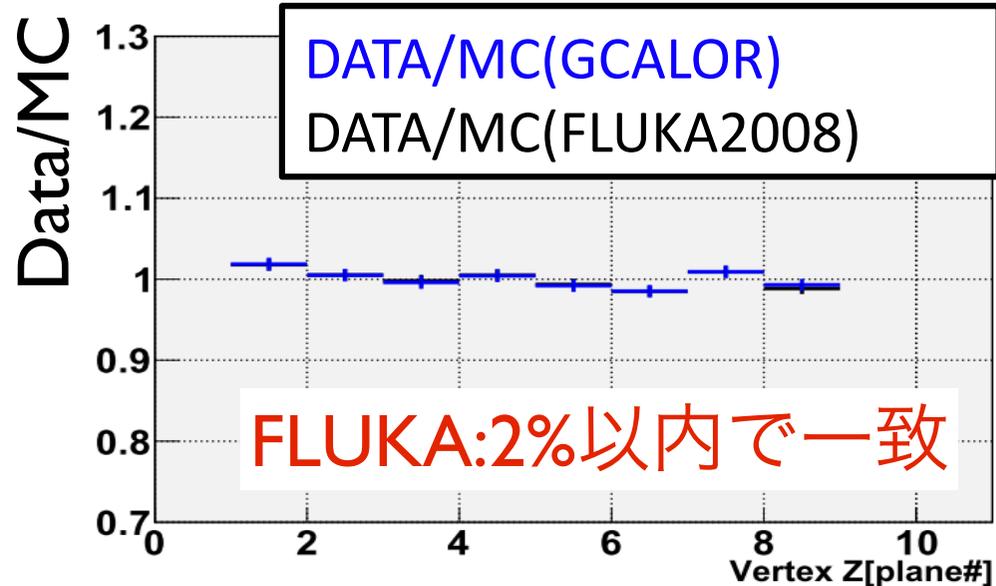
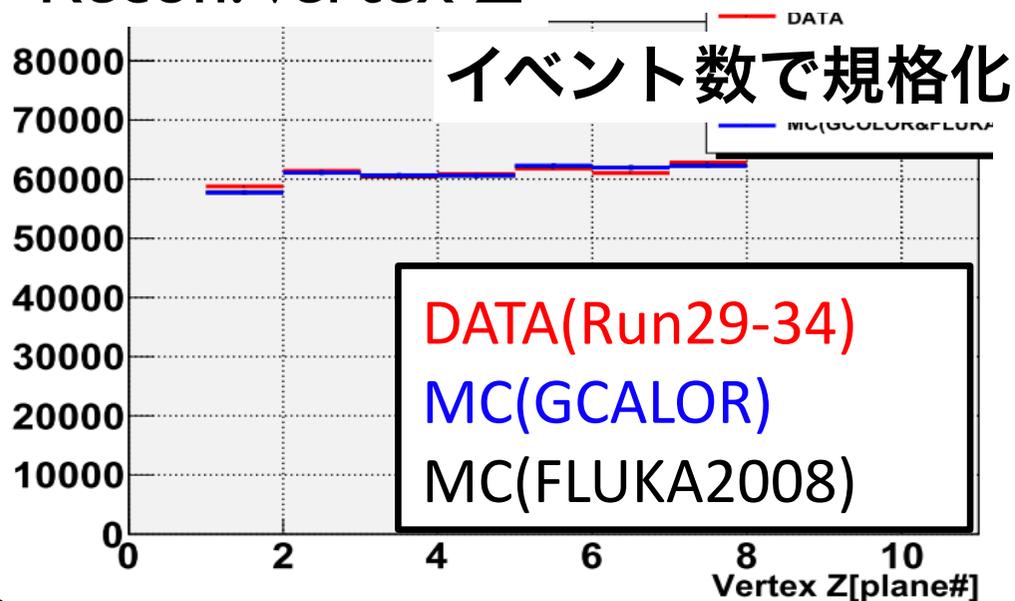
→ FLUKA2008では良く (**3%以内**)再現

▶ 高エネルギーのニュートリノの割合の違い

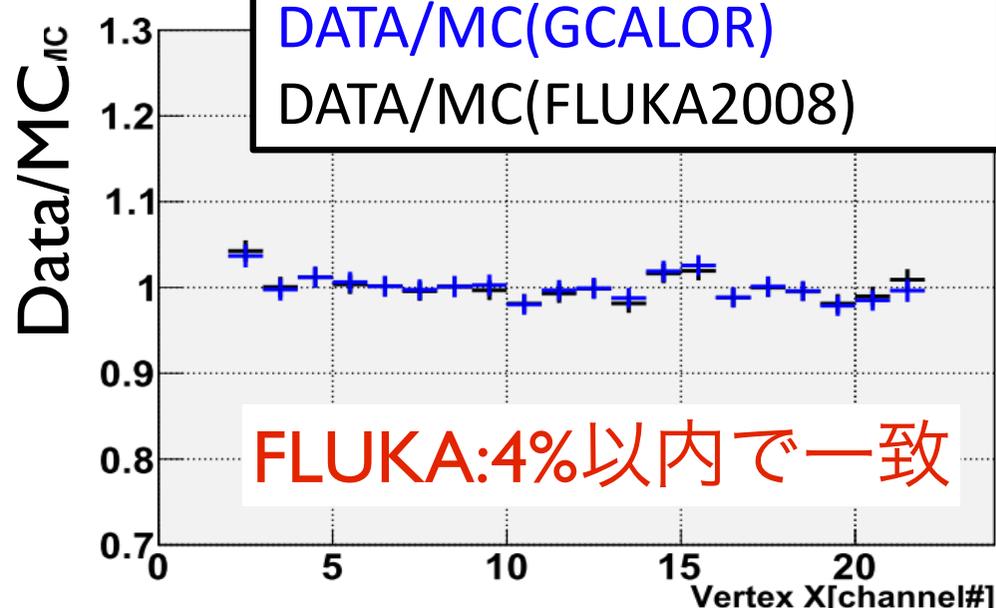
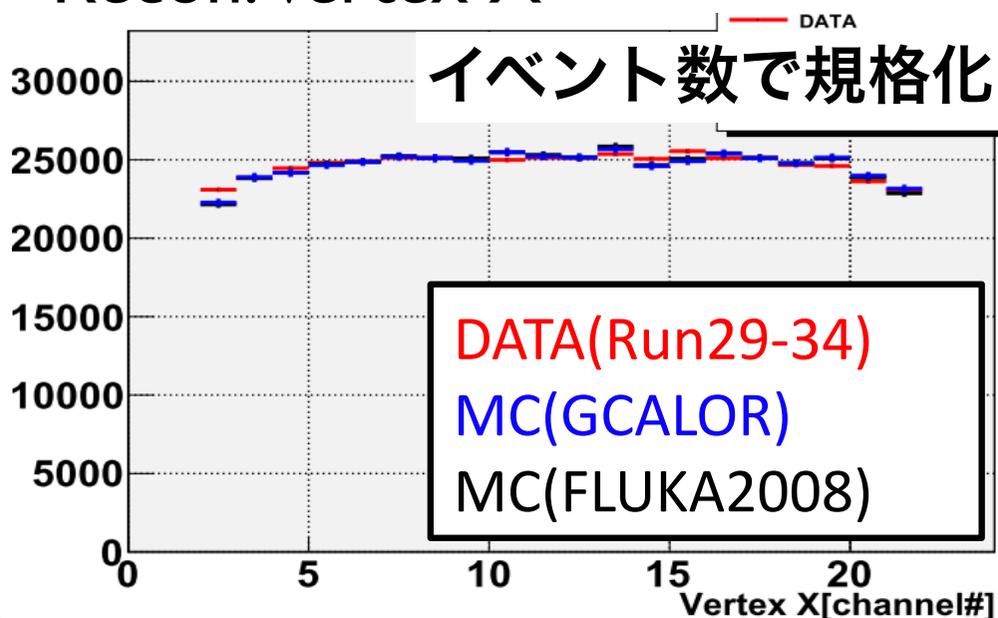
(High energy  $\mu$  → ビーム前方に飛ぶ → Low angle)

# Reconstructed vertex

## Recon. vertex Z



## Recon. vertex X



# 観測数(Nobs)の見積もり

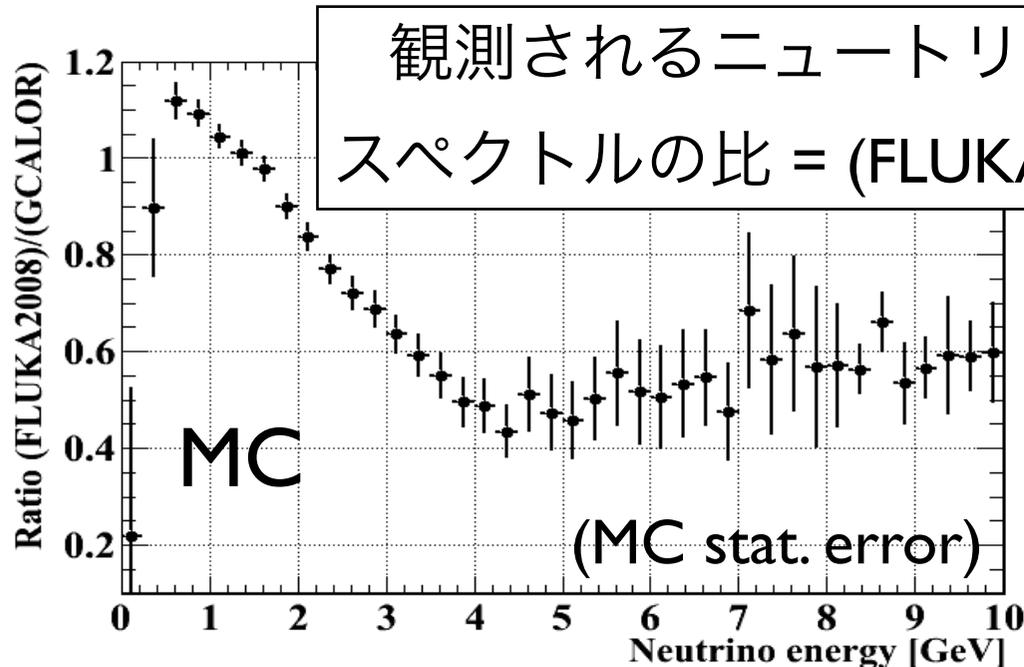
検出器シミュレーション( $\nu_\mu, \text{anti-}\nu_\mu$ のみ)を用いたニュートリノ

観測数(Nobs)の見積もり

|                       | MC(GCALOR) | MC(FLUKA2008) | Data |
|-----------------------|------------|---------------|------|
| Nobs[/ $10^{14}$ POT] | 1.78       | 1.41          | 1.51 |

DataとMC(FLUKA2008)で**~7%**の違い

→系統誤差の考慮が必要(進行中)



ハドロン生成モデルの違い

→**~21%**の観測数の違い

→

# Summary

- INGRIDはニュートリノを直接観測することで、ビーム方向を測定する唯一のニュートリノビームモニターである。
- 2010年からの物理ランにおいて、安定してデータ取得(99.9% data tacking efficiency)を行うことが出来た。
- 検出器シミュレーションによるニュートリノイベントの再現
  - Shape : 3~4%内で一致
  - Normalization → 7%の差. 系統誤差はスタディ中.
    - ハドロン生成モデル(一次反応、二次反応)、陽子ビーム、ニュートリノ反応モデル.
- バックグラウンドの見積もりも平行して進める。

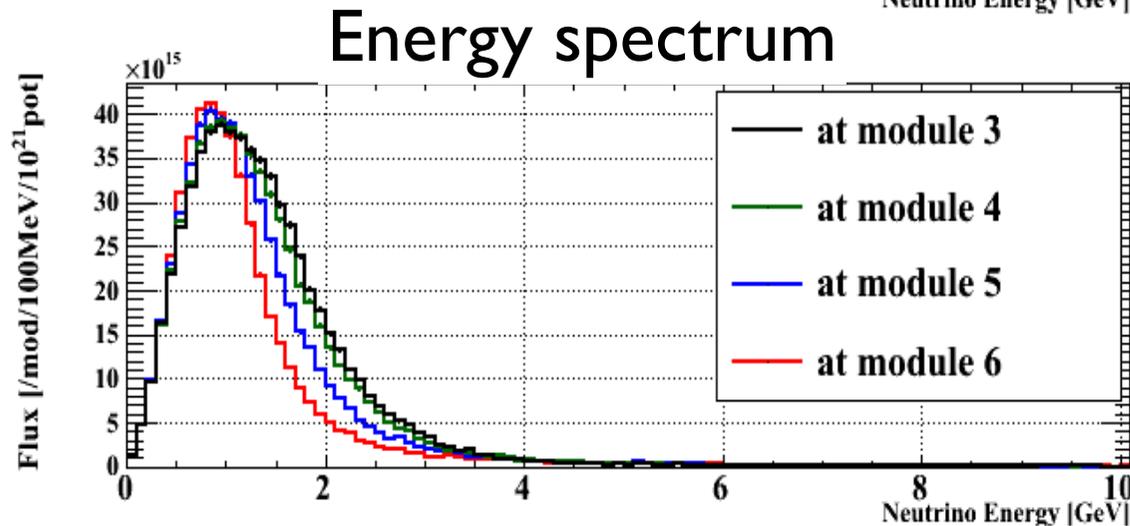
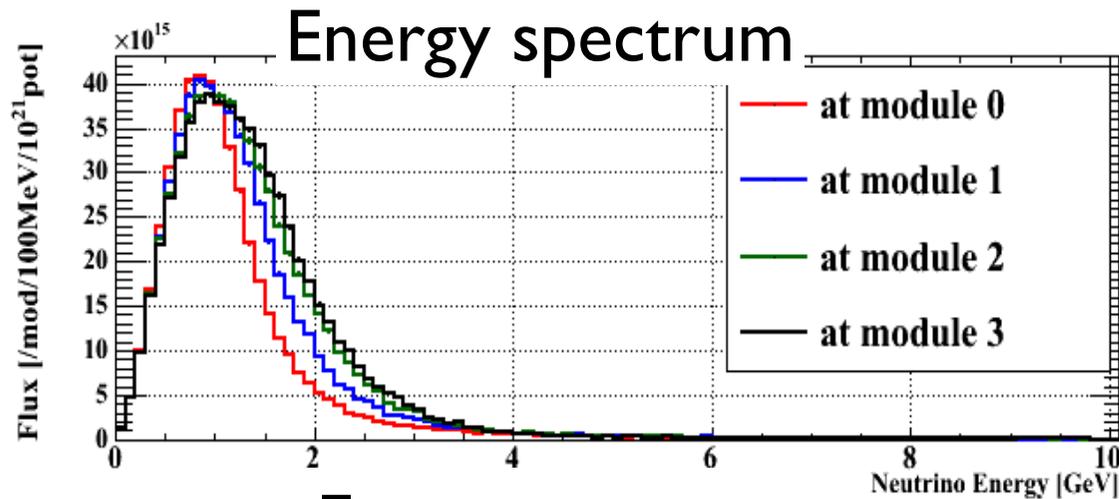
**Back up**

# フラックスで平均した各水平モジュールでの検出効率

| Module#        | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Efficiency [%] | 48.3 | 50.7 | 52.3 | 52.2 | 52.1 | 50.8 | 48.0 |

| Module#        | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Efficiency [%] | 49.4 | 51.3 | 52.2 | 51.4 | 51.8 | 50.9 | 48.4 |



INGRIDに到達する  
ニュートリノのエネルギー  
ギースペクトル

