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[A]，阪市大理[B]

村上明，大谷将士，松村知恵[B]，木河達也，鈴木研人，高橋将太，

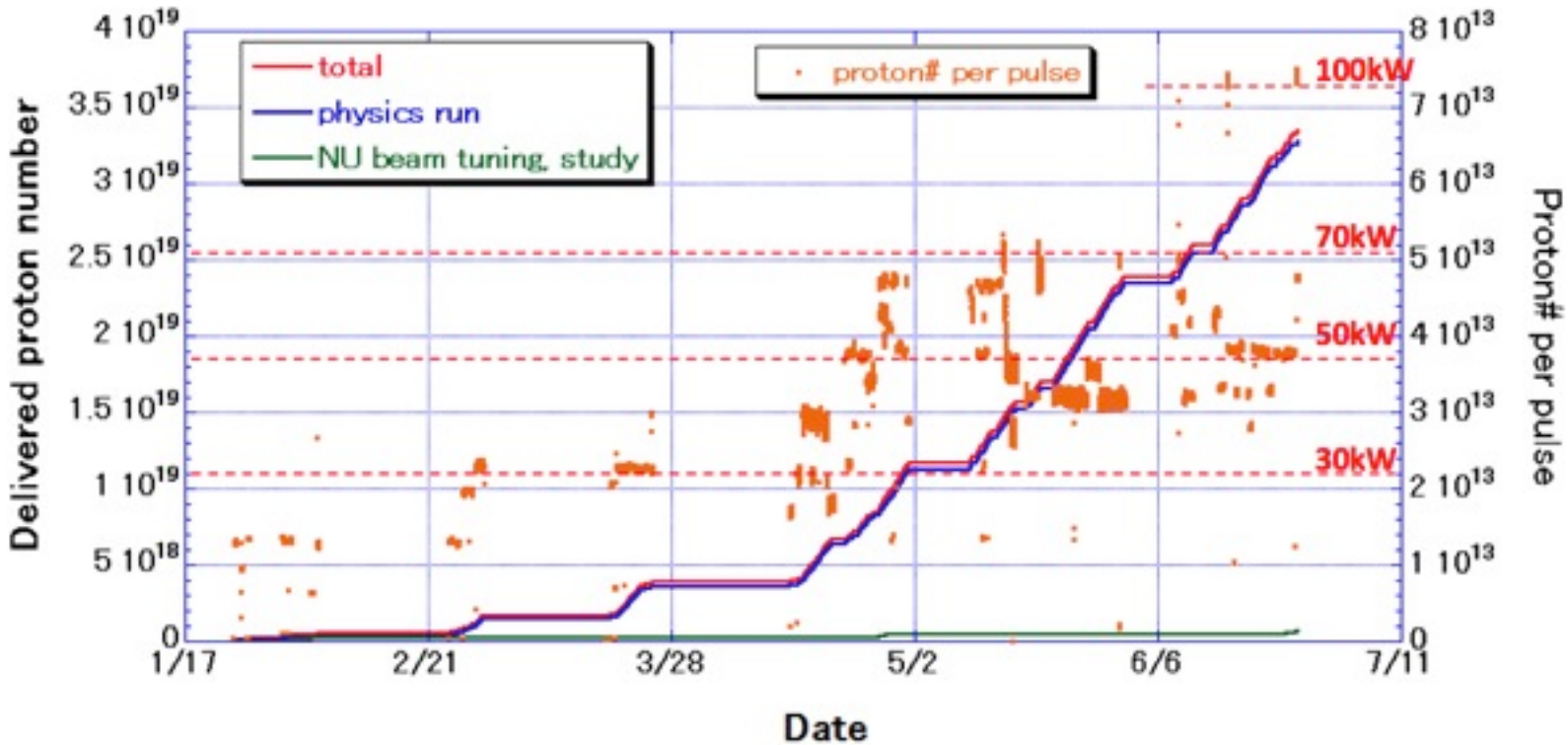
南野彰宏，横山将志[A]，山本和弘[B]，市川温子，中家剛

Contents

- INGRID data taking
- Data Analysis method (event selection)
- Detector simulation
- Basic plot (Data vs MC)
- Uncertainty of expected # of neutrino observation
- Summary

Data taking

T2K実験：2010年1月より物理ラン開始



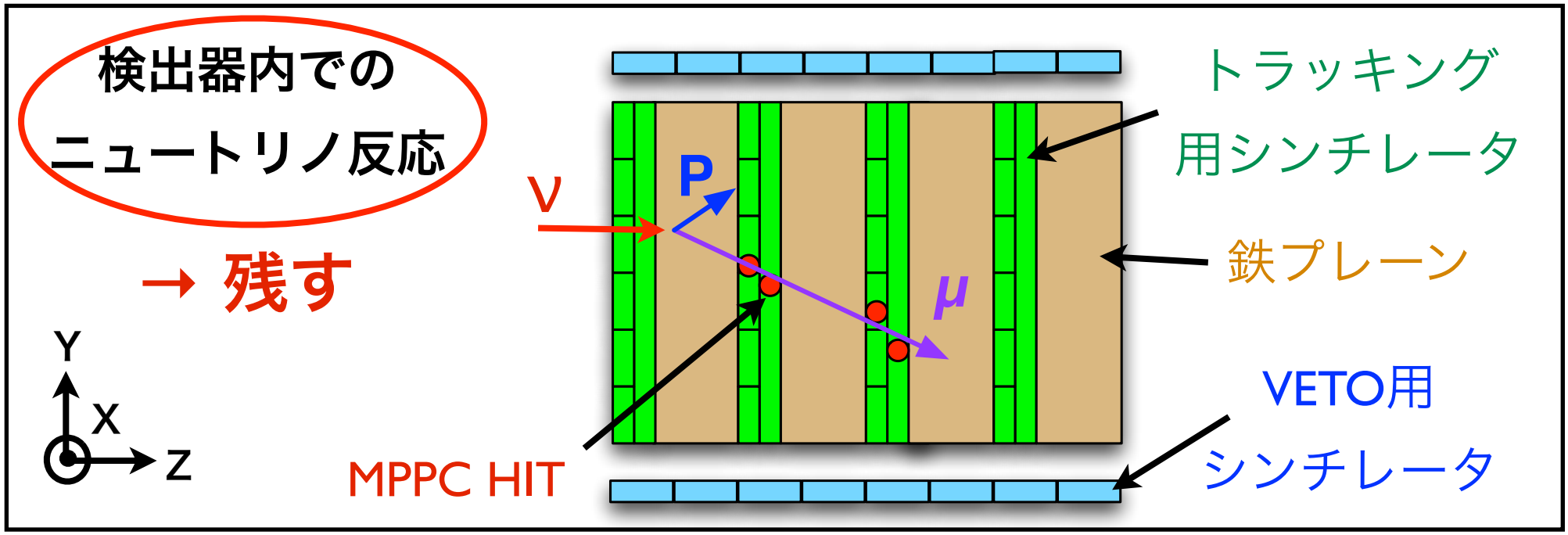
Horn:
250kA&250kA

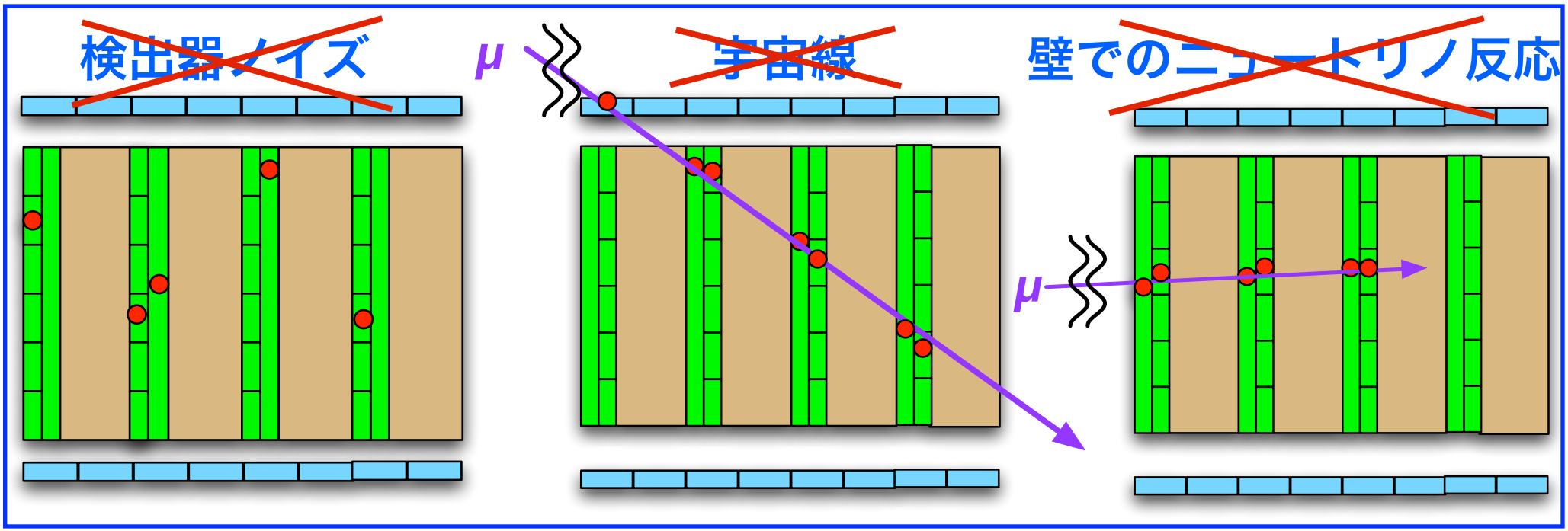
Max.intensity:
100kW
Stable operation:
< 50kW

INGRID : 2010年1月よりデータ取得開始

- 安定したデータ所得 → 99.9% data taking efficiency
- Total number of protons for analysis : 3.26×10^{19}

Data analysis method





Event selection

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

↓

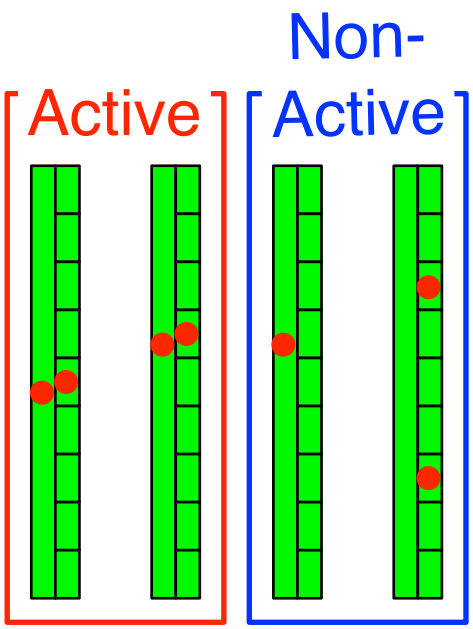
Upstrem VETO cut

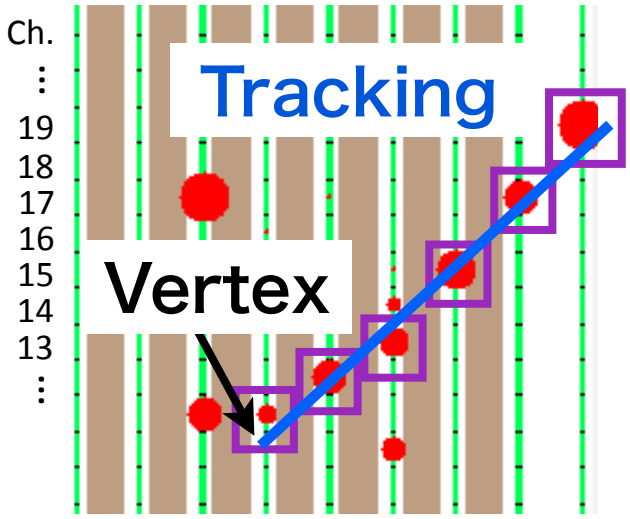
↓

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

Event selection

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

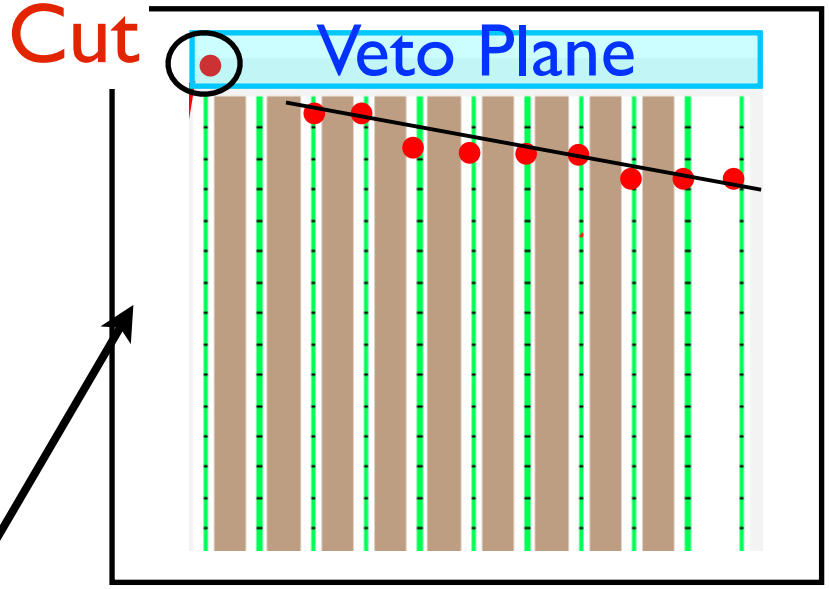
↓

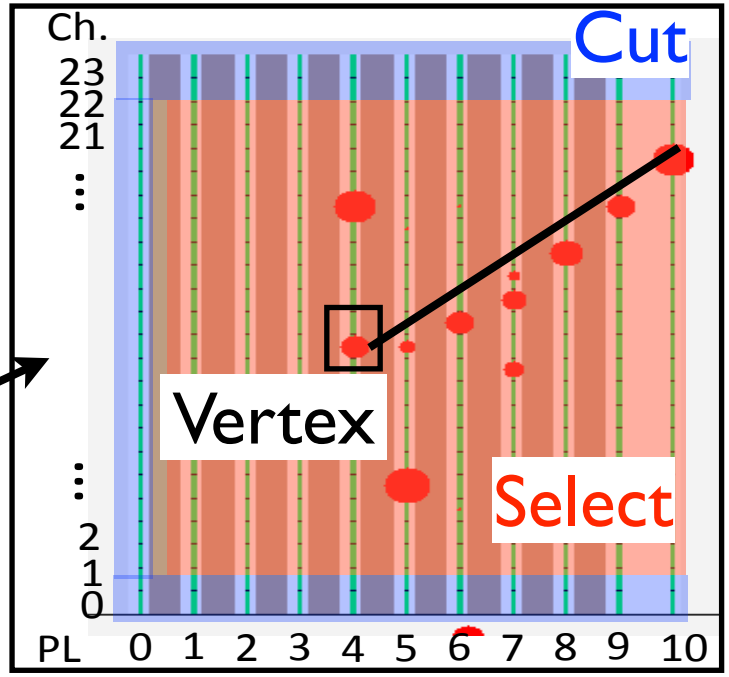
Upstrem VETO cut

↓

Fiducial volume cut

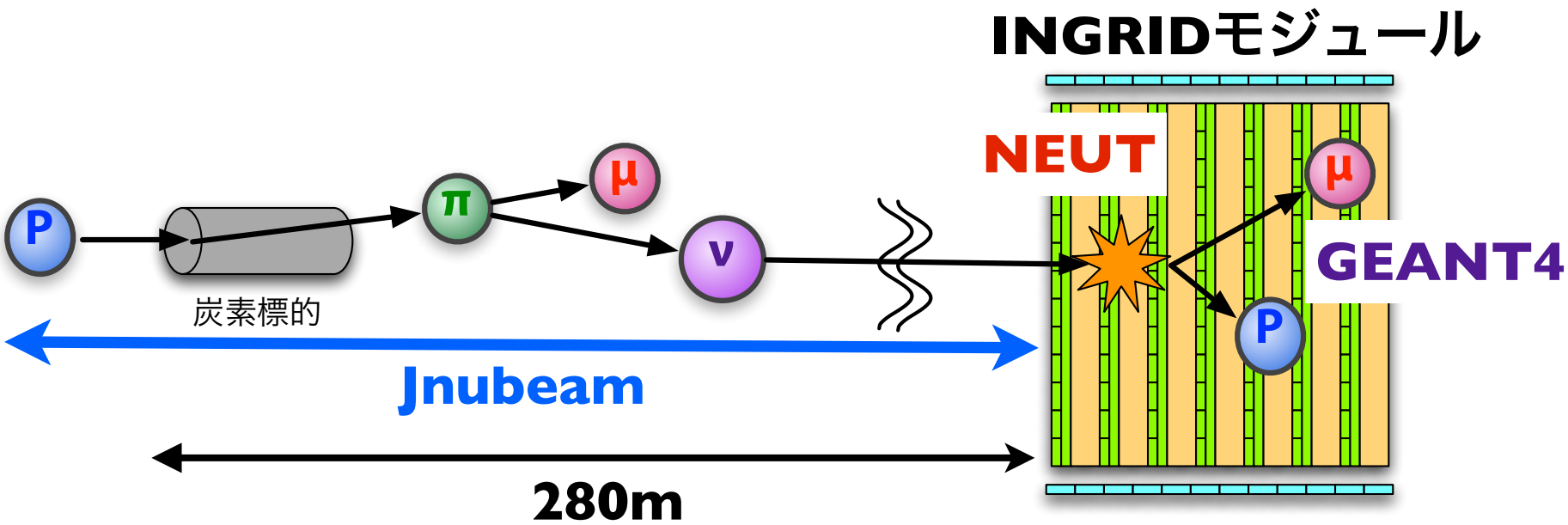
- 宇宙線・壁からのミューオンを除去





Detector Simulation

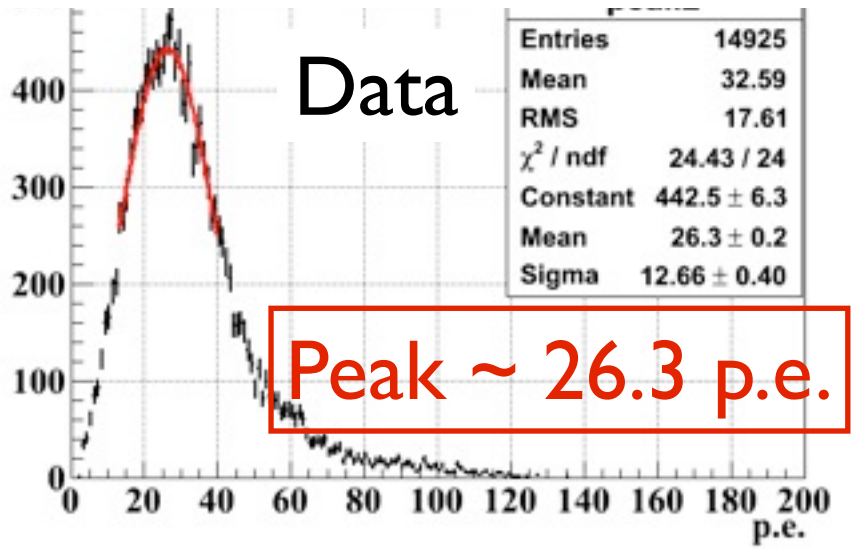
- INGRIDでのニュートリノ検出のシミュレーションの構成
  - ニュートリノ生成→INGRID：Jnubeam (GEANT3)
  - INGRIDとニュートリノの反応：NEUT
  - ニュートリノ反応で生成された粒子の運動：GEANT4
- モジュール内で起きたニュートリノ反応のみを扱う。
  - **壁でのニュートリノ反応は考慮していない(Study中)**



Energy → photon

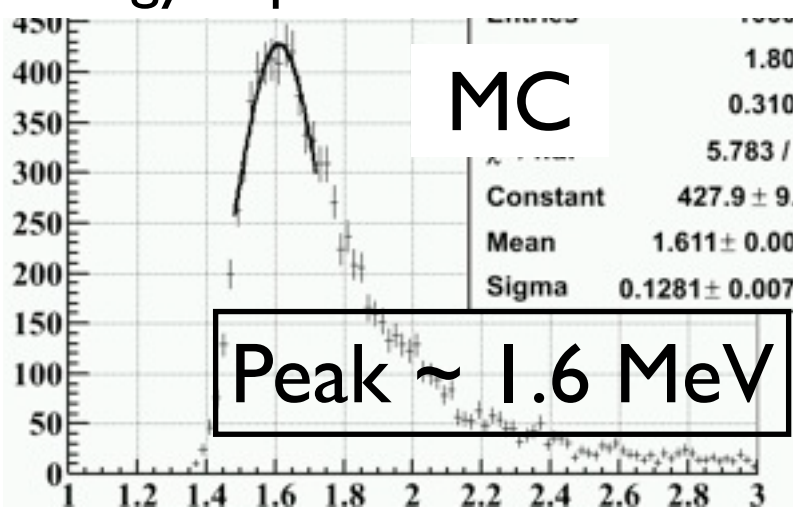
ミューオンによるHITの光量を用いて調整

先頭のTracking Planeでの光量



- 外からのミューオンのHITを選択
- Scintillator内のトラックの長さの違い、ファイバーによる減衰を補正した光量分布
  - ピークの光量を使用

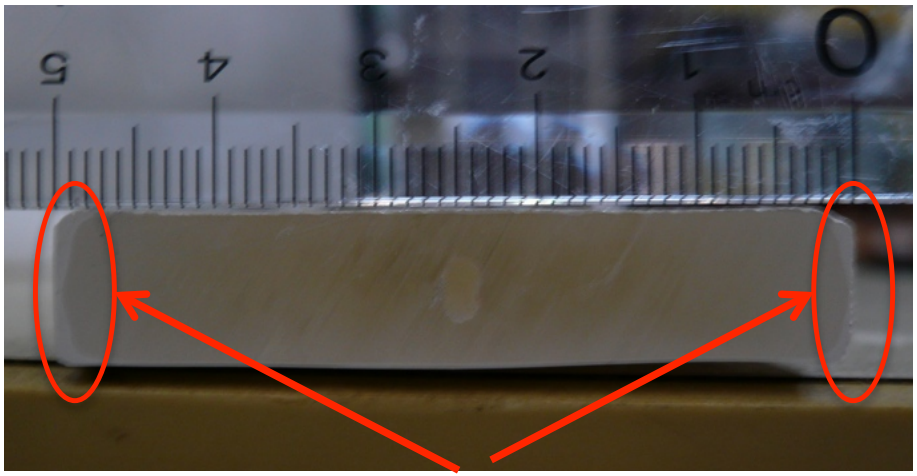
Energy deposit of 1scintillator



- MCで1シンチレータ内でのミューオンによるエネルギー損失量を求める.
- データの光量に合うようにMCのenergy → photonの変換を調整

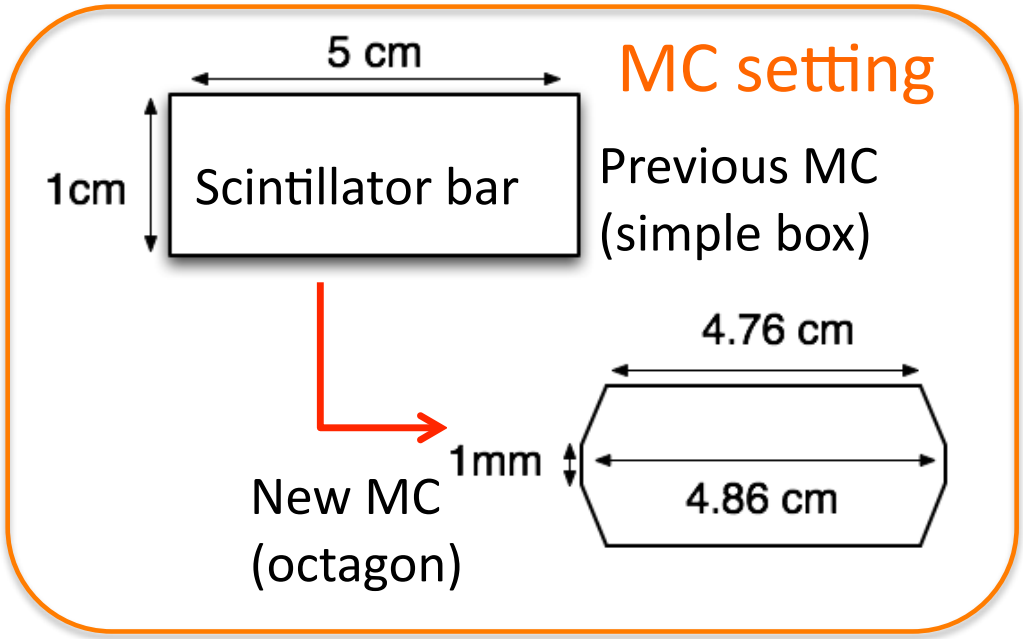
Real scintillator shape

Photo : surface of scintillator bar

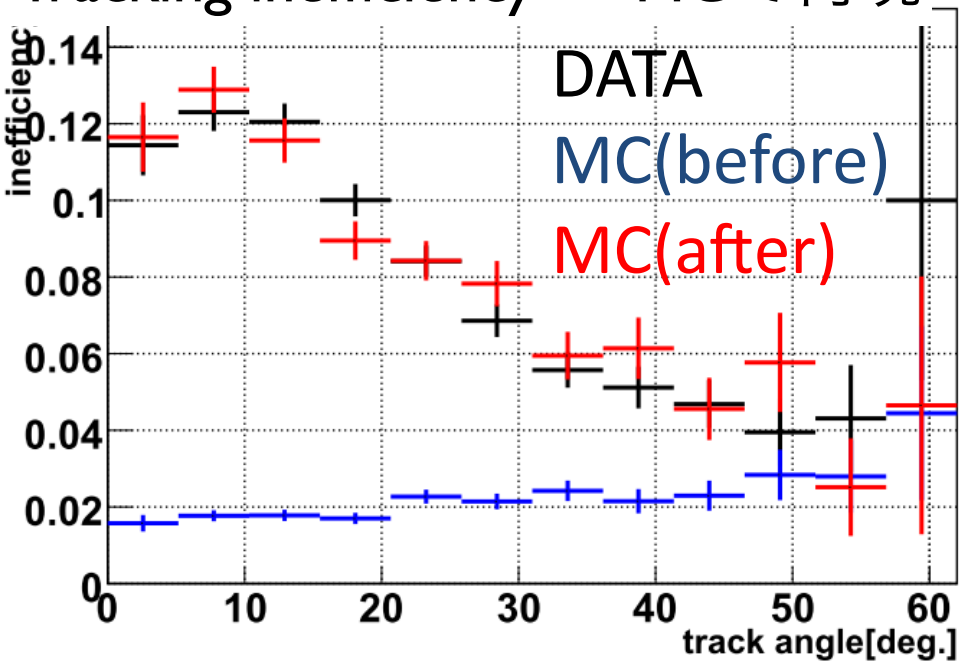


white area : the reflective material.

- 実際のScintillator barの端は反射材の層が厚く、不感領域。
- Tracking inefficiencyに角度依存。
- MCのScintillatorの形を実際に感度のある部分の形に似せた。



Tracking inefficiency → MCで再現

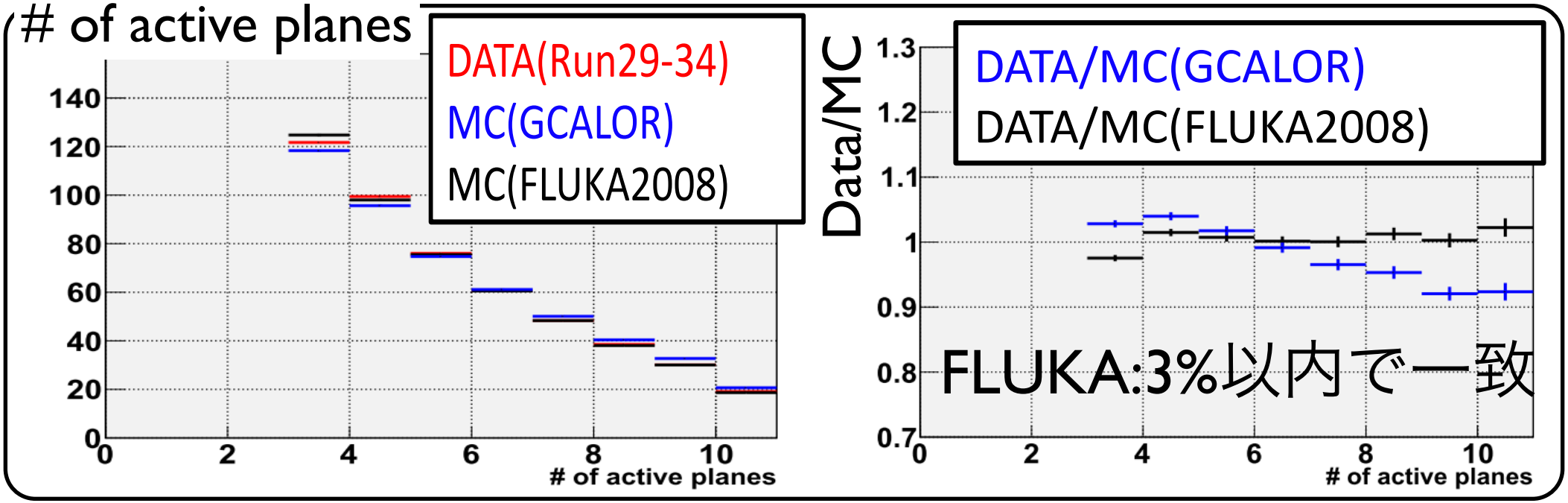


Basic plot

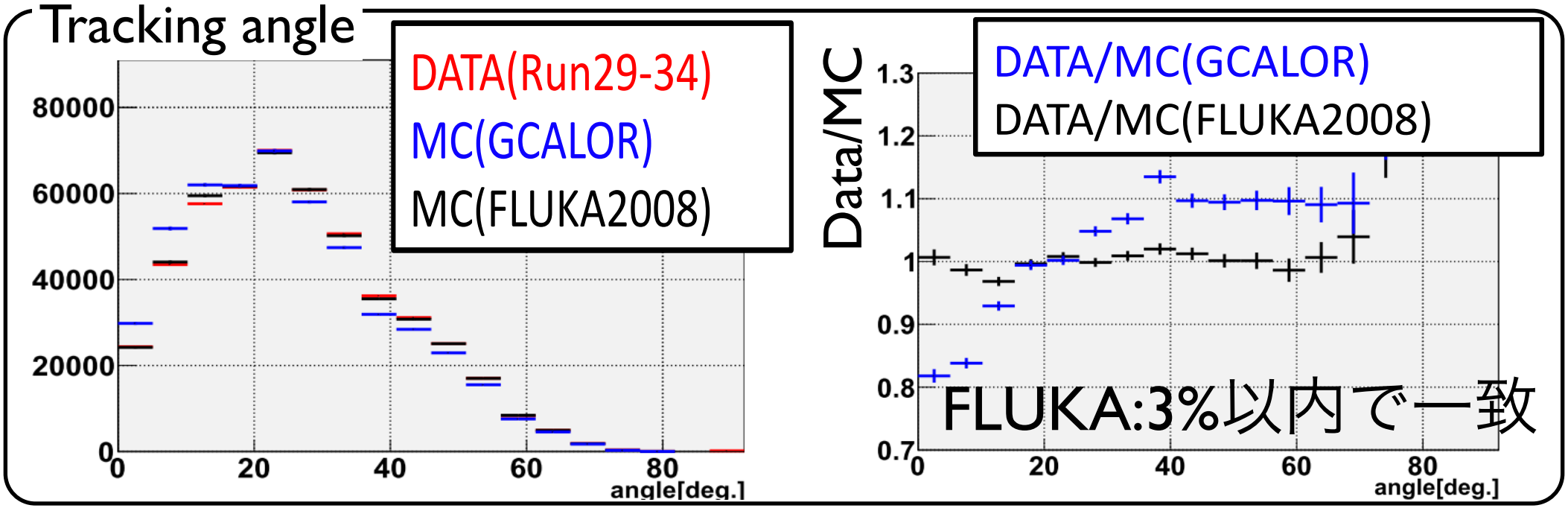
- イベントセレクション後の各種変数の分布
  - DataとMCの分布
- Data : 2010年1月~6月の物理データ
- MC : ν_μ のみ
  - aniti-ν_μ : 5%. ν_e : 1%. anti-ν_e : 1%以下 (at Flux to INGRID)
  - 2種類のハドロン生成モデルを使用(GCALOR, FLUKA2008)
- イベント数で規格化
  - ShapeがDataとMCでどの程度合っているかを検証.

Basic plot of all modules

of active planes

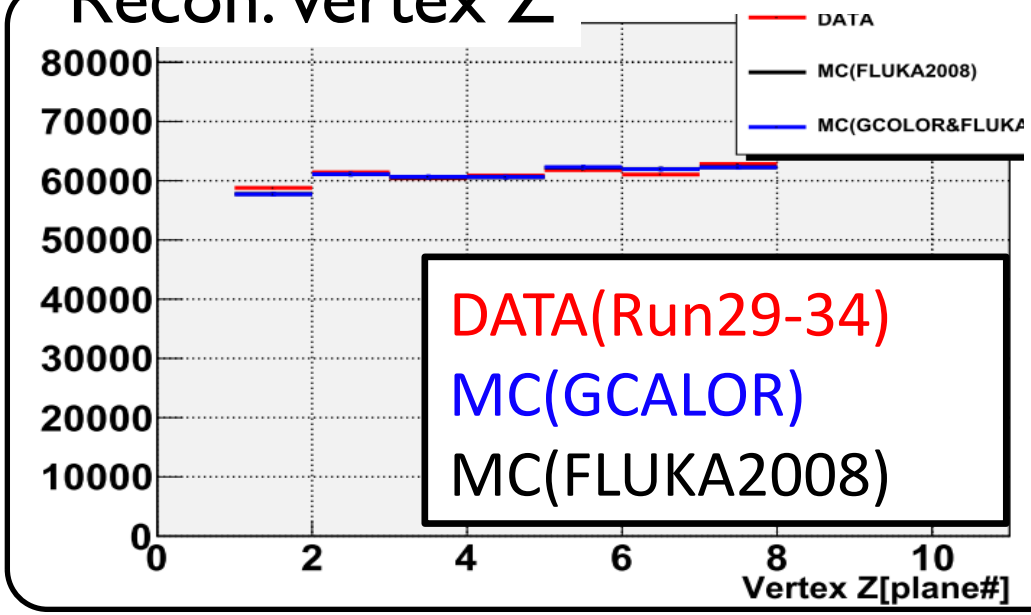


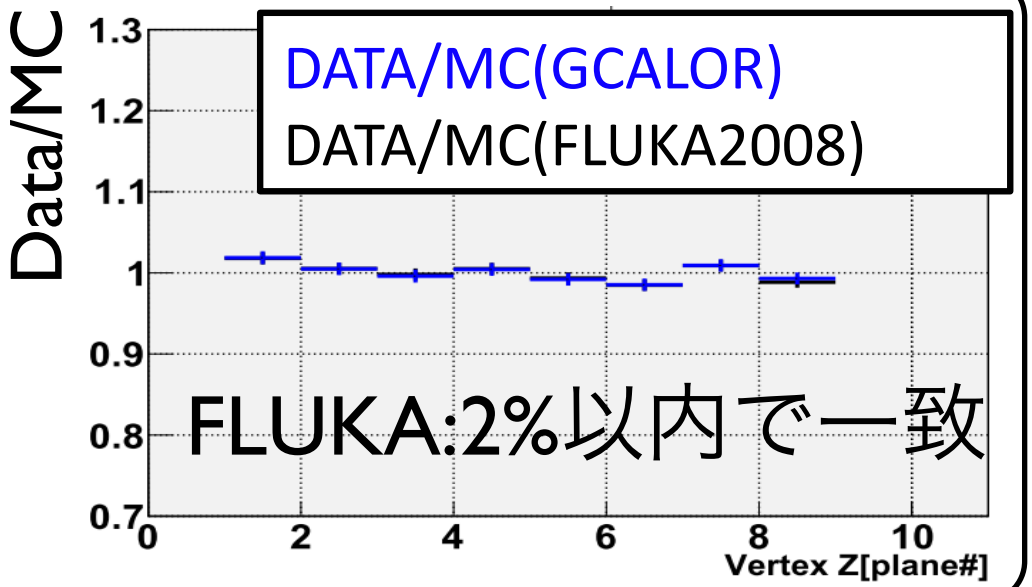
Tracking angle



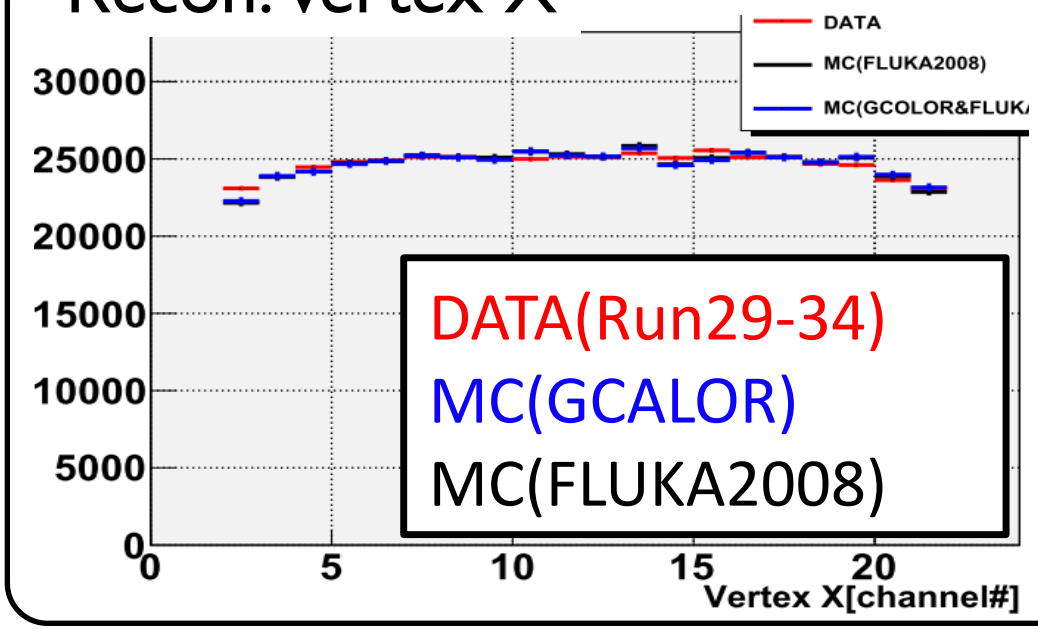
Basic plot of all modules

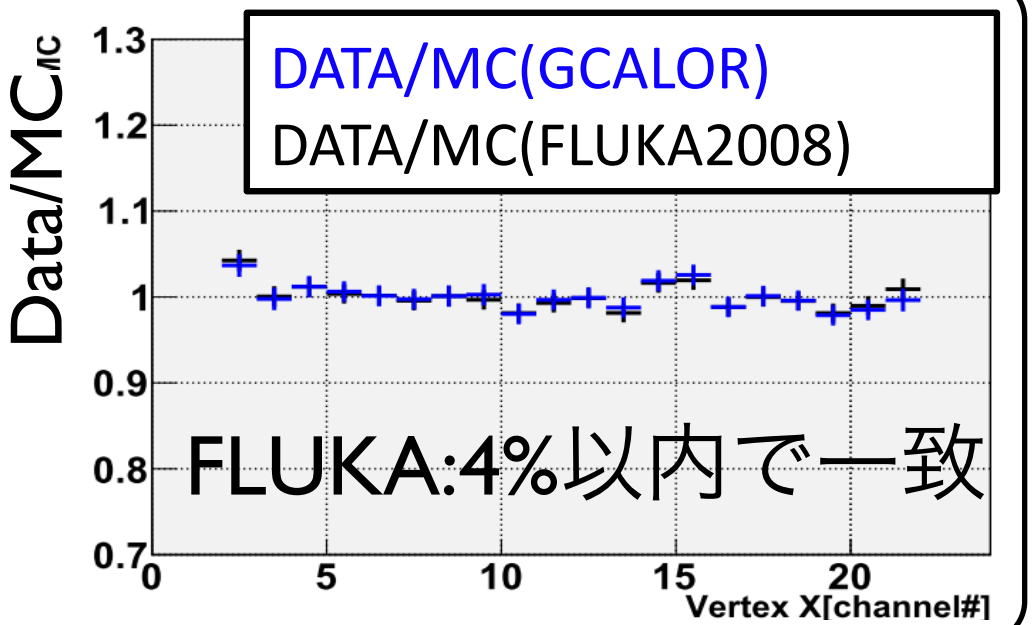
Recon. vertex Z





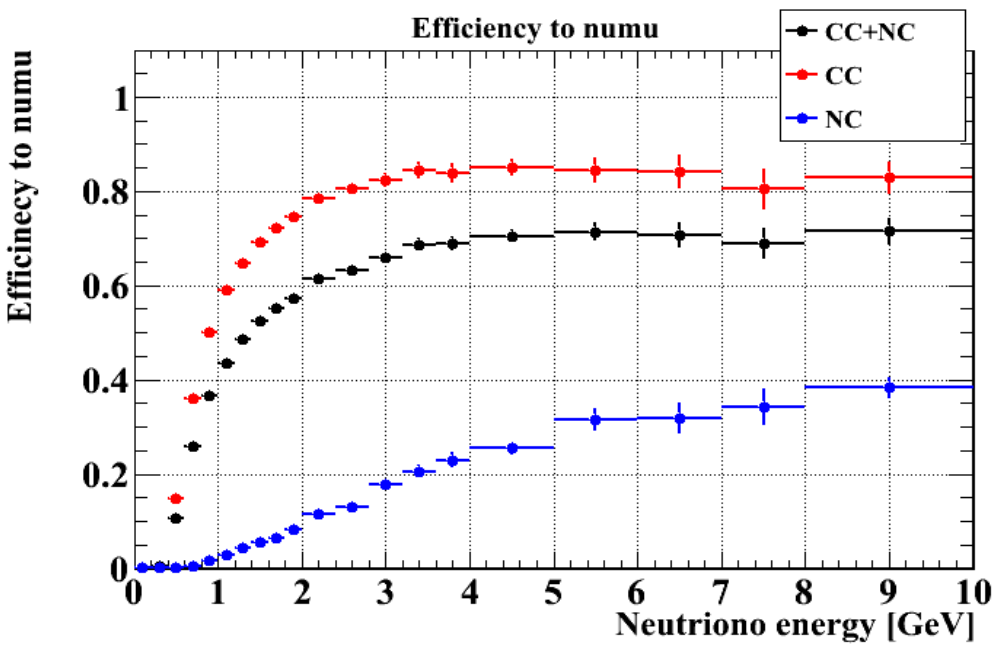
Recon. vertex X

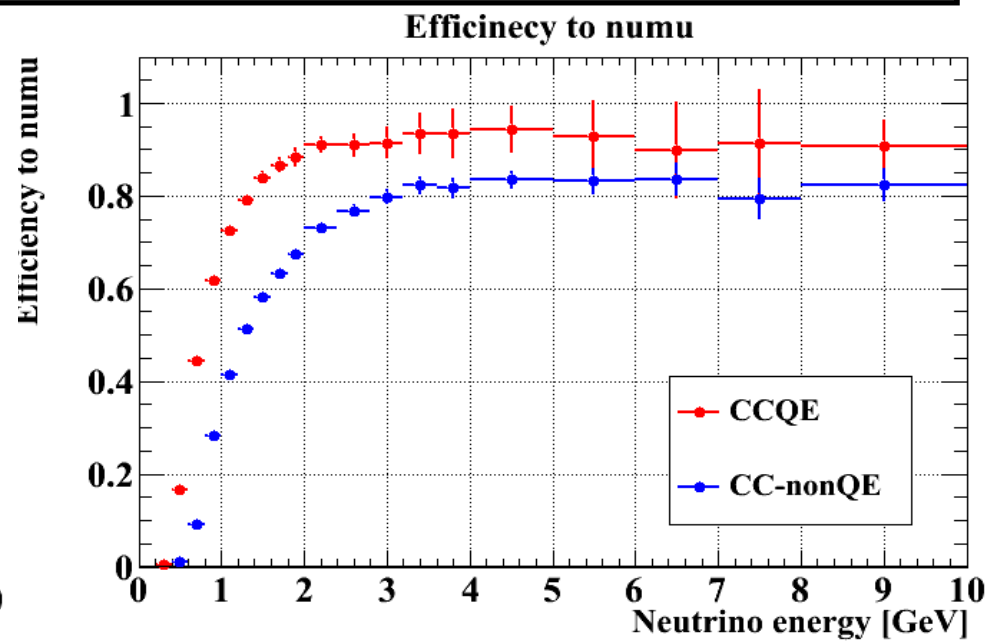




Efficiency to ν_μ

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





Flux averaged efficiency for each module

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

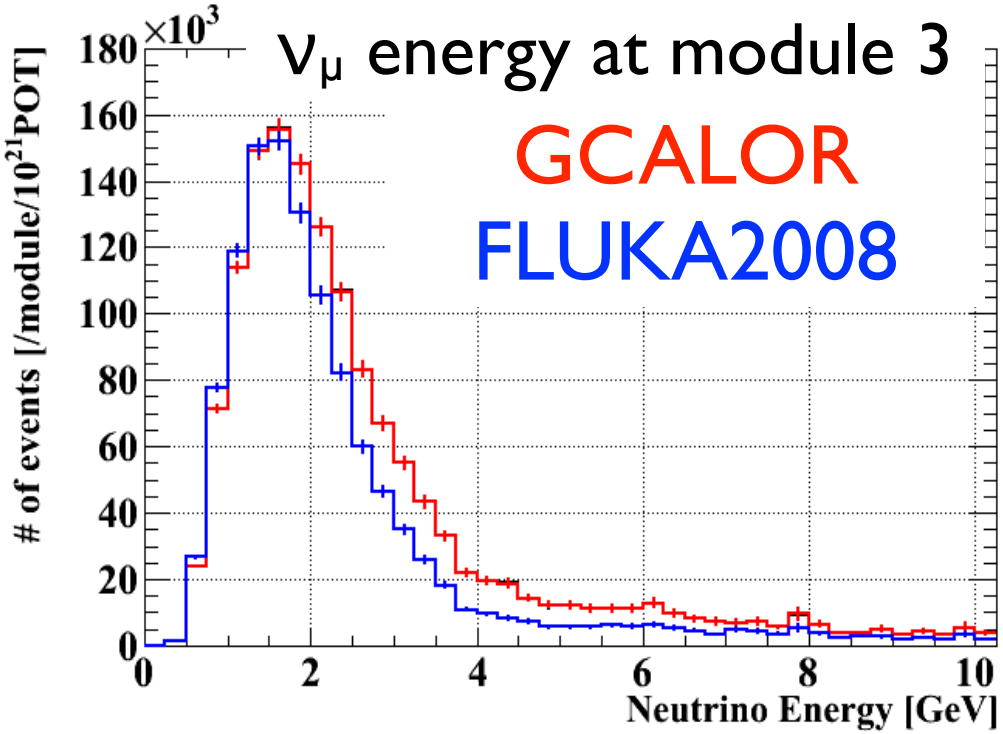
Module#	7	8	9	10	11	12	13
Efficiency [%]	49.4	51.3	52.2	51.4	51.8	50.9	48.4

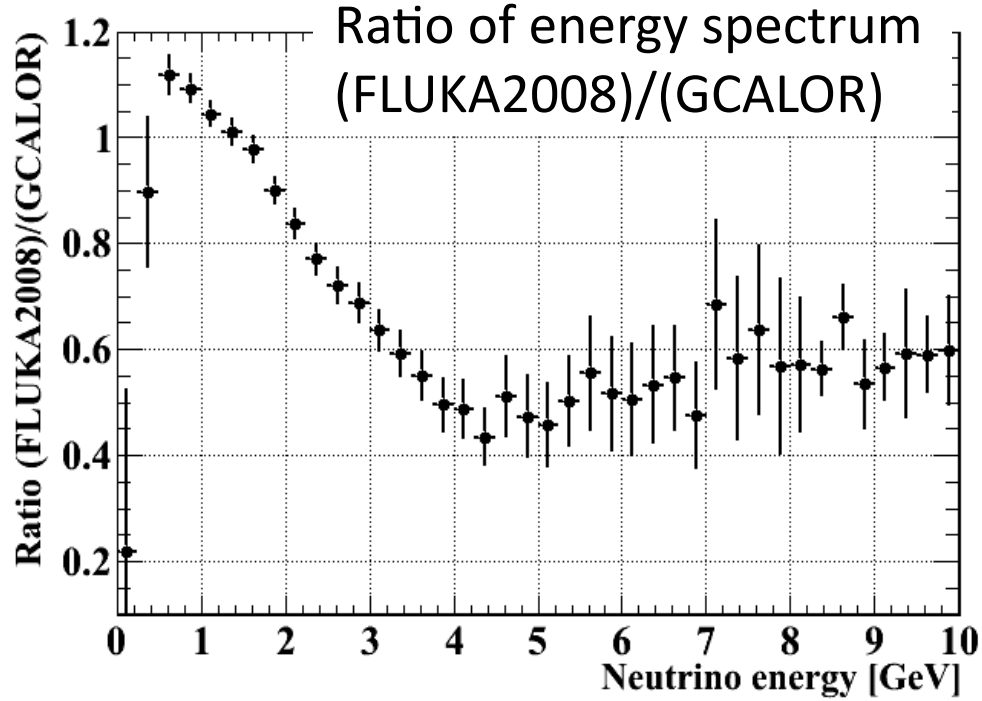
→ Averaged efficiencyの違いはエネルギースペクトルの違いに起因

Uncertainty of Nobs

ハドロン生成モデル(GCALOR, FLUKA2008)の違いによる、

INGRIDでのニュートリノ観測数(Nobs)の違い





Ratio of # of observations (FLUKA2008)/(GCALOR)
~79% (for ν_μ + anti-ν_μ)

ハドロン生成の測定実験ではFLUKA2008がDataを良く再現

→FLUKA2008を使用

Uncertainty of Nobs 2

ニュートリノの各反応断面積の絶対値を変化させた際の、INGRID でのニュートリノ観測数の違い (including ν_μ, anti-ν_μ, ν_e, anti-ν_e)

	Diff. from original Nobs	参考値 : Diff. at SK (FCFV cut)
CCQE + 10%	3.7%	2.6%
CC1π + 20%	5.7%	4.4%
CC Other + 20%	5.7%	
NC + 30%	1.8%	7.5%

→スタディを継続(相対的な割合の変更)

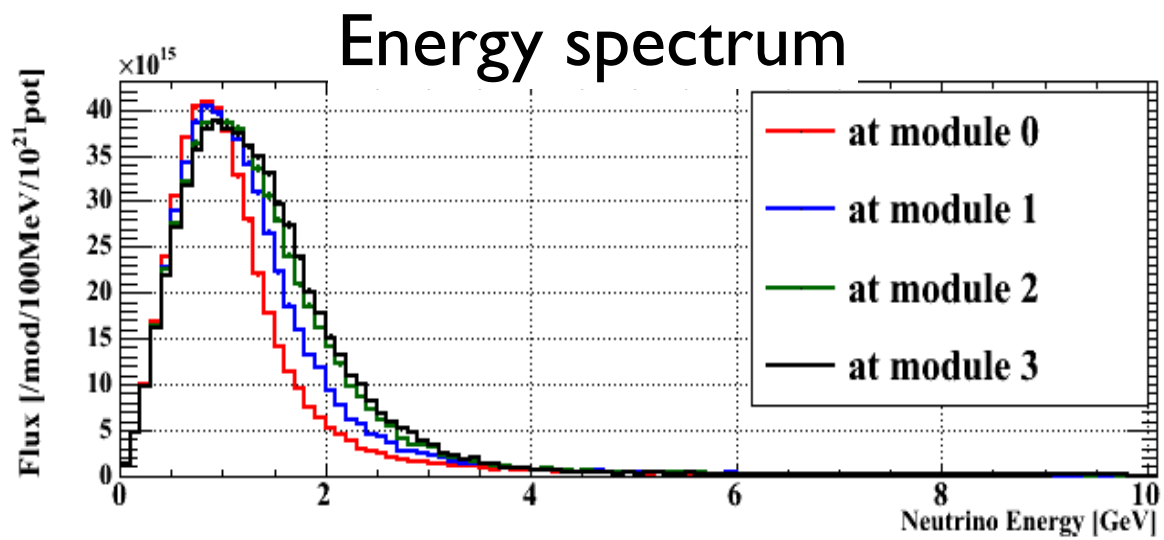
→ 反応断面積から来る系統誤差の見積もり

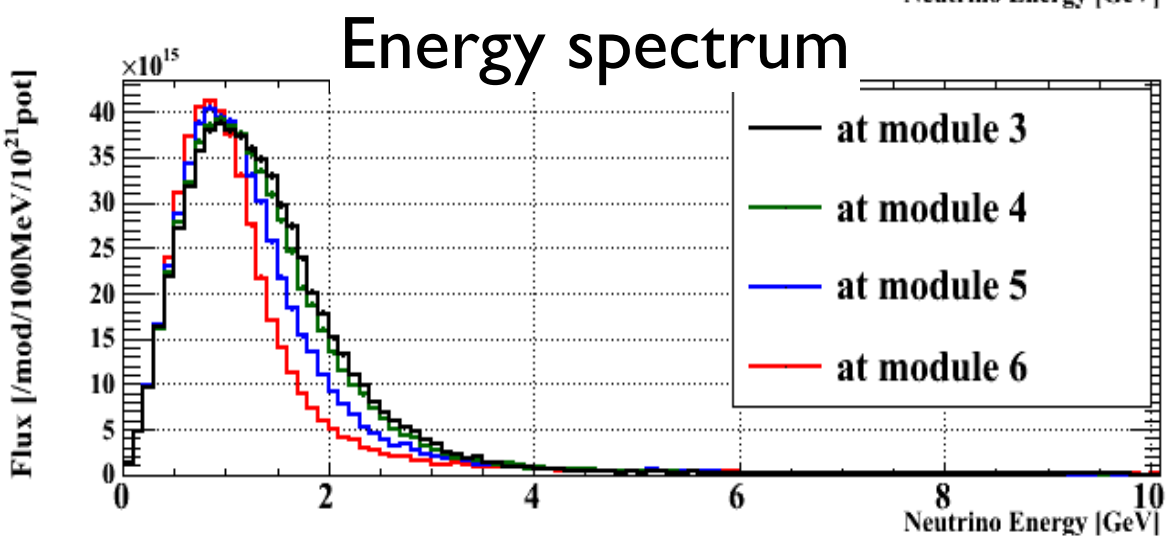
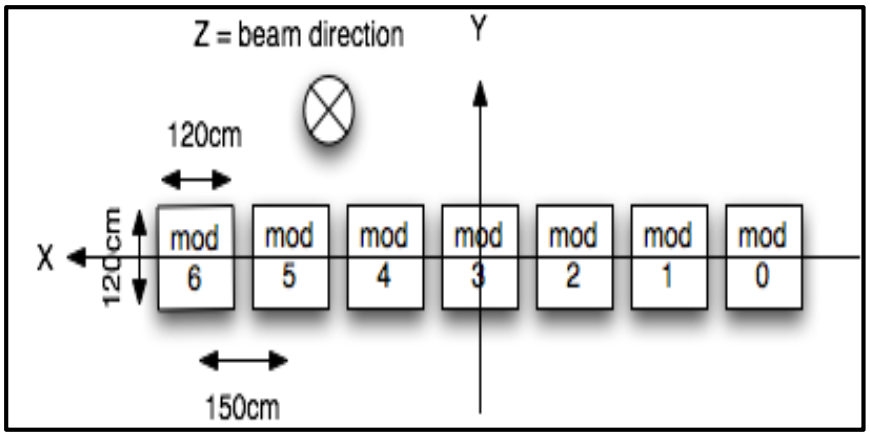
Summary

- INGRIDはニュートリノを直接観測することで、そのビーム方向を測定するT2K実験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、INGRIDとして安定してデータ取得を行うことが出来た。
- 検出器シミュレーションによる各変数の分布(Shape)は実データと3~4%で良く再現出来ている。
- 期待ニュートリノ観測数の不定性をスタディ中
  - ハドロン生成モデル、ニュートリノ反応モデル.

Back up

Neutrino energy spectrum at each modules





INGRIDに到達する
ニュートリノのエネル
ギースペクトル