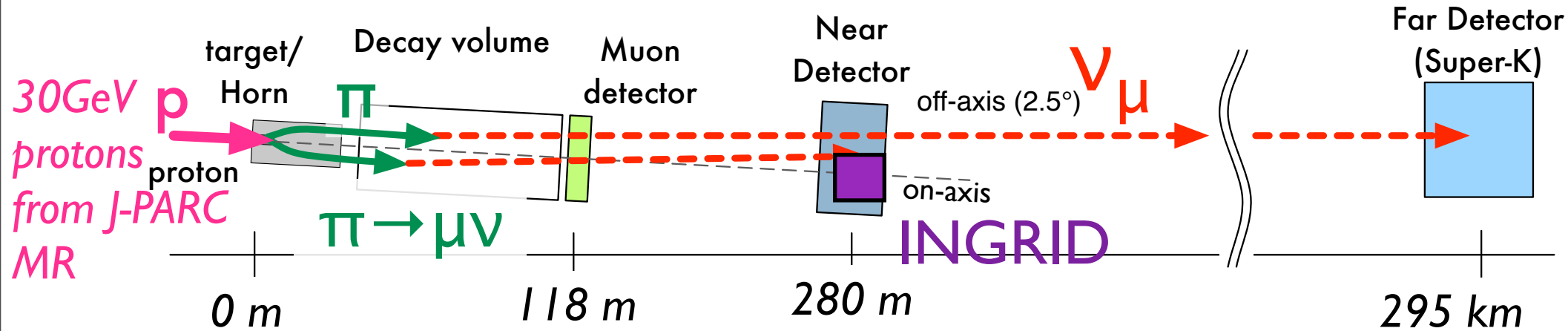


T2K実験INGRIDを用いた ニュートリノ反応断面積の測定

村上明, 他T2K Collaboration

T2K experiment

東海村J-PARCと神岡Super-Kamiokande間の長基線ニュートリノ振動実験



Physics run start from 2010.1.

Goals

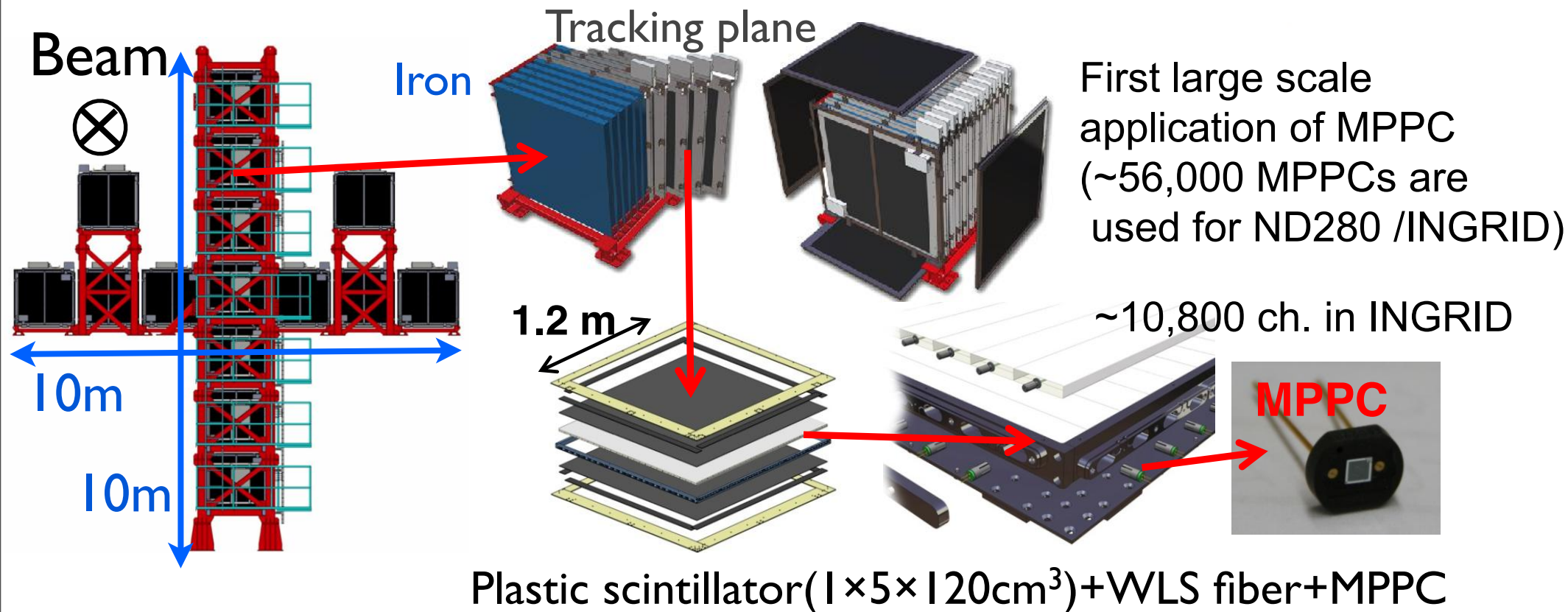
Search for ν_e appearance ($\nu_\mu \rightarrow \nu_e$)

Precise measurement of ν_μ disappearance ($\nu_\mu \rightarrow \nu_x$)

→ First results in 2011

INGRID (On-axis near detector)

ニュートリノビームの強度・方向をモニター

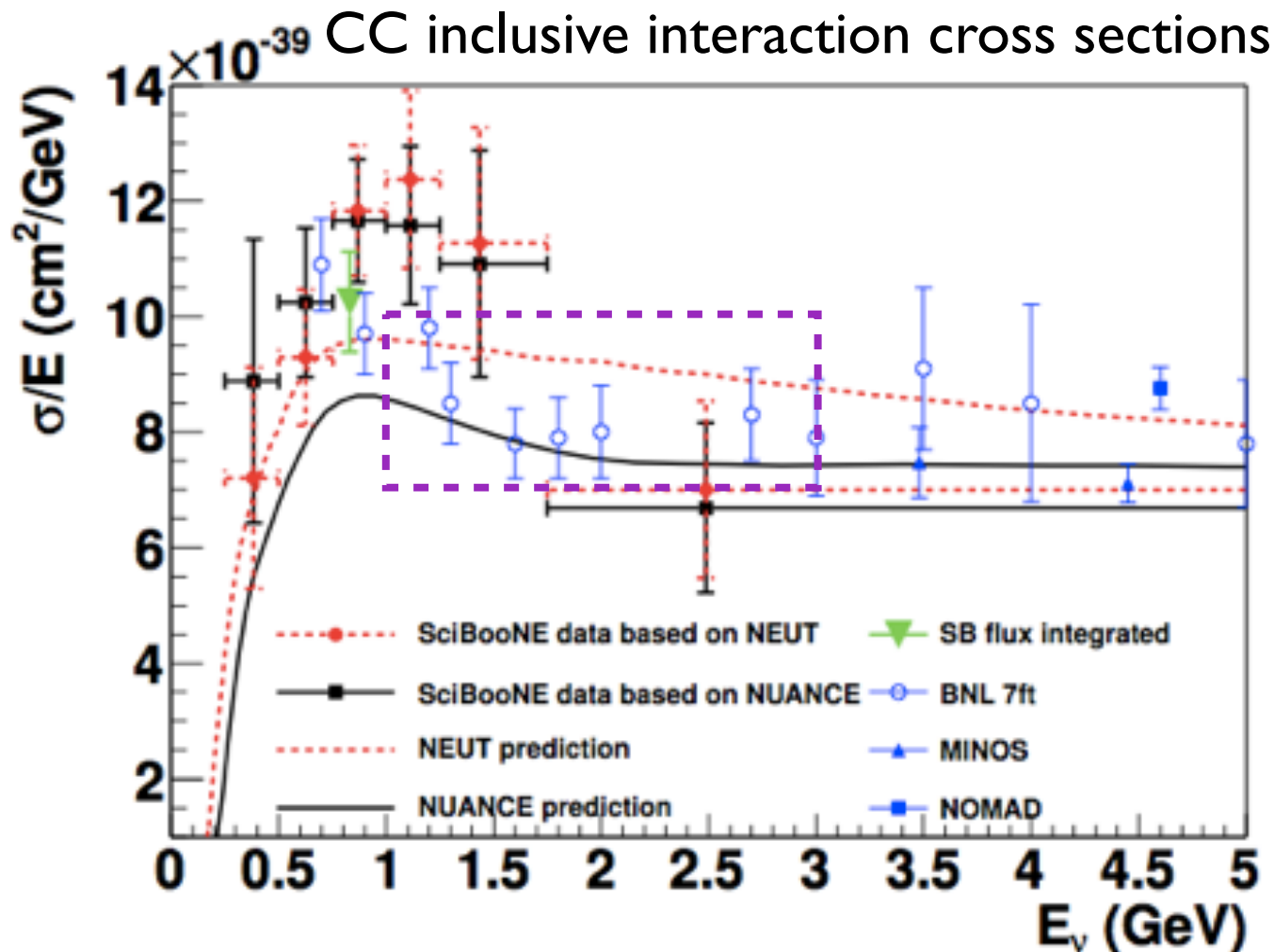


- 14+2のニュートリノ検出器モジュール
- シンチレータ層(トラッキング)+鉄層(ターゲット)

INGRIDを用いてニュートリノの反応断面積を求める。

本解析の動機

ニュートリノ反応の荷電カレント(CC)反応モードの反応断面積について、モデル間で2GeV付近に違いが見られる。



ニュートリノ検出器であるINGRIDを用いて、**1~3GeVの領域**の反応断面積を求めたい。

原理

水平モジュール
の概略(一部)

ビーム中心

1.5m

modu
le#0

modu
le#1

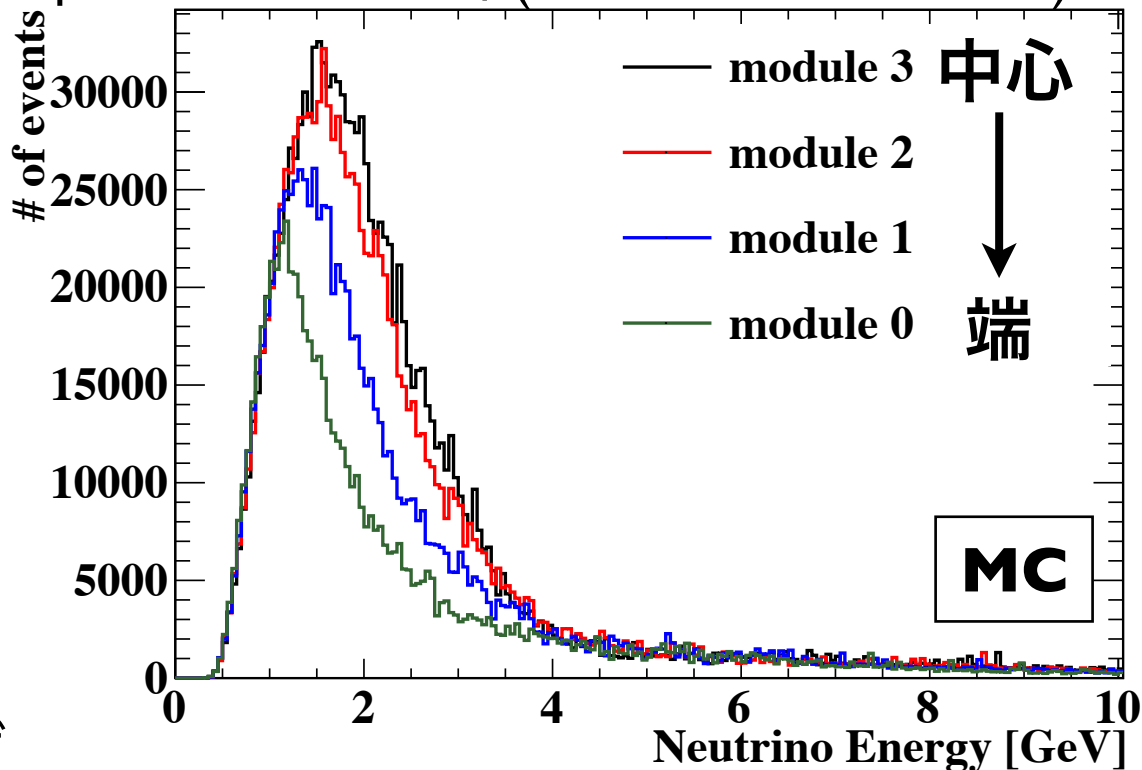
modu
le#2

modu
le#3



- ビーム中心から離れる程、ニュートリノのエネルギーは親粒子(π, K)のエネルギーに寄らず一定に → シャープなスペクトル
- 1GeV以下、4GeV以上の分布はモジュール毎で同じだが、1~4GeVの分布が異なる。

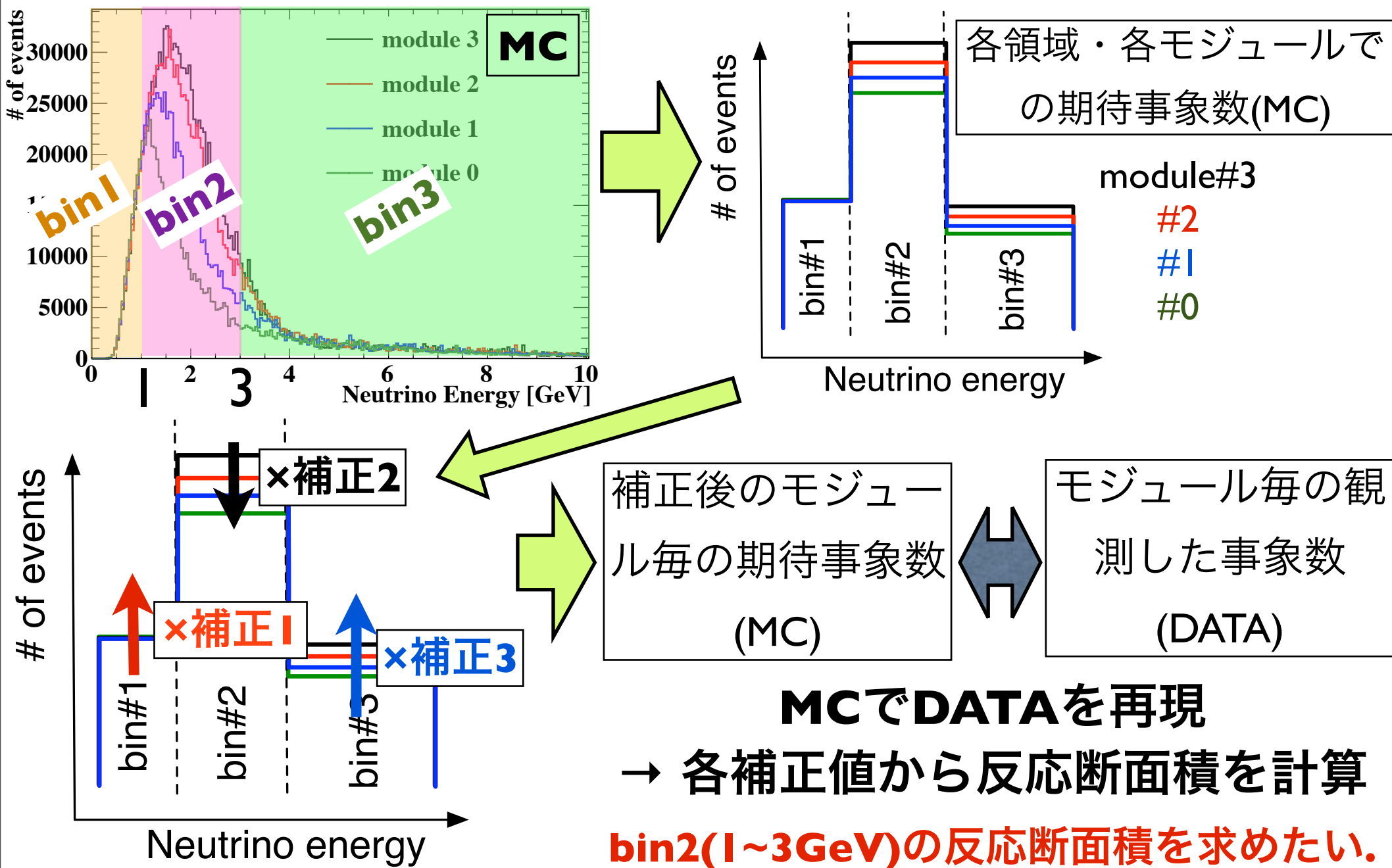
ν_μ エネルギー分布(ニュートリノ選択後)



→ この違いを利用して、

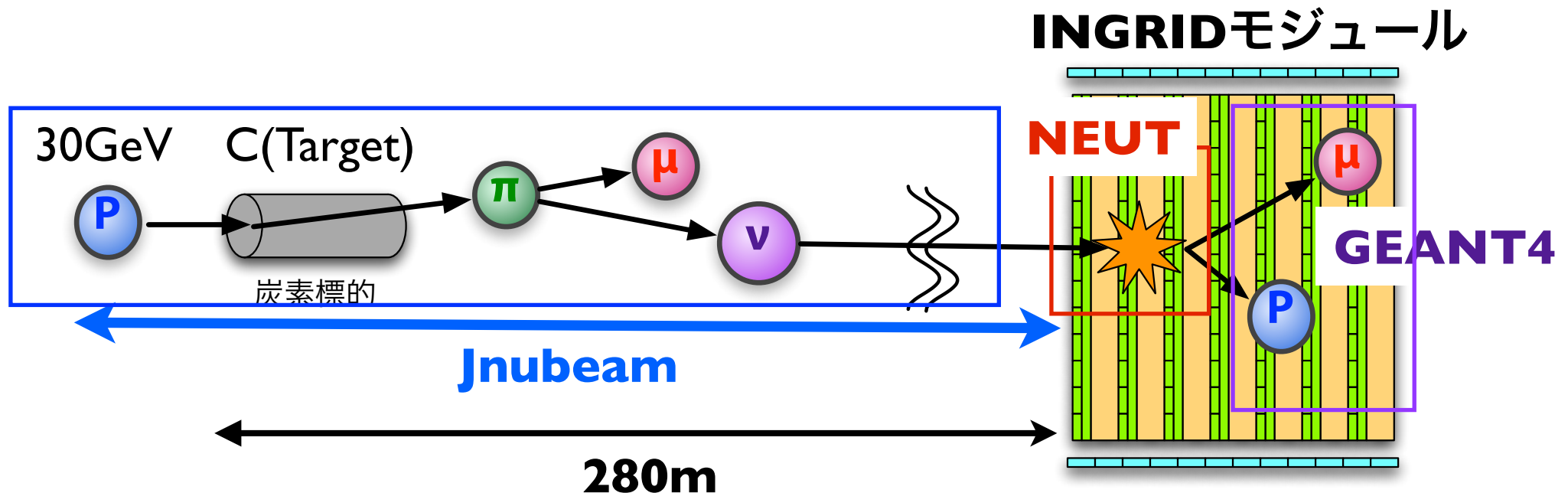
**1~3GeVでの荷電カレント反応
の断面積を求めたい。**

原理

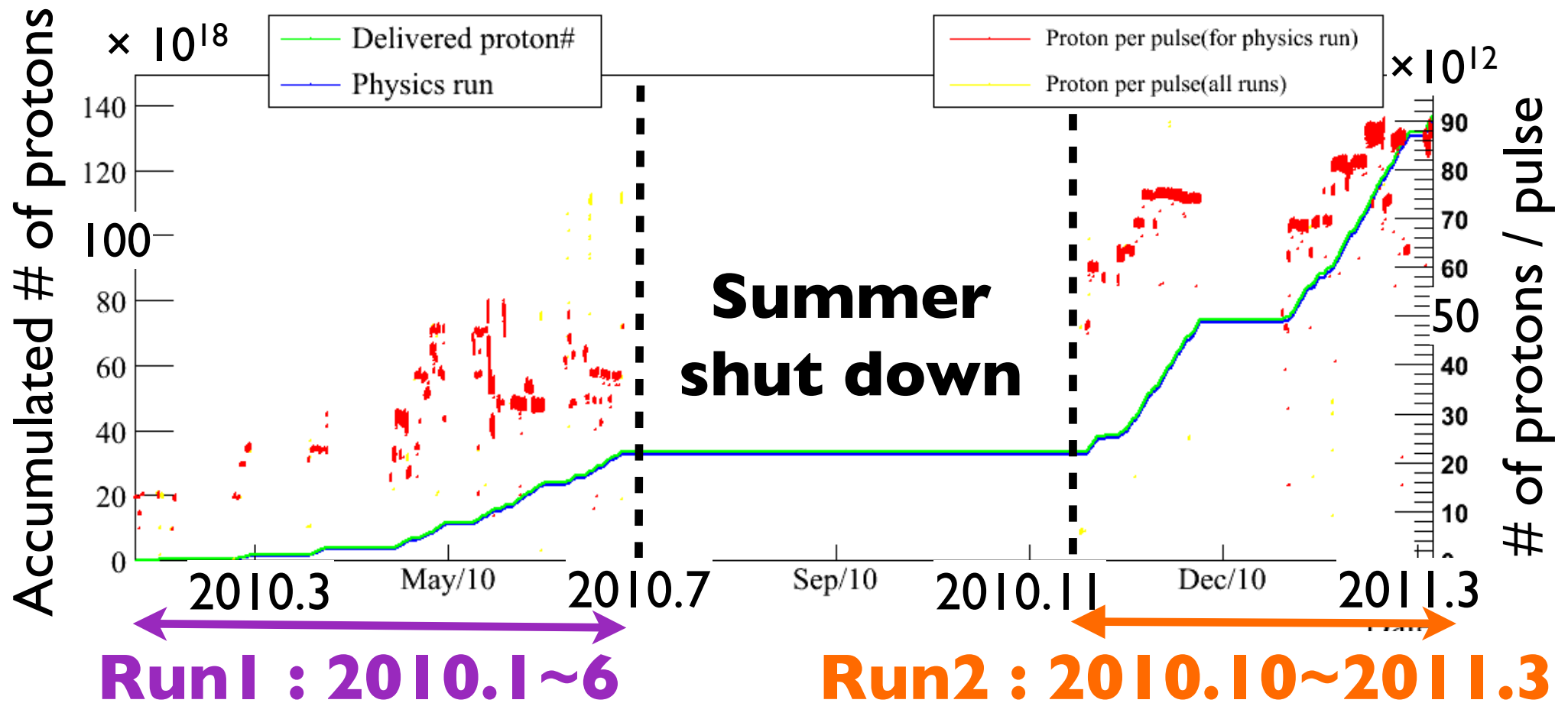


シミュレーション(MC)

- INGRIDでのニュートリノ事象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の生成粒子に対する応答 : GEANT4



DATAの統計量

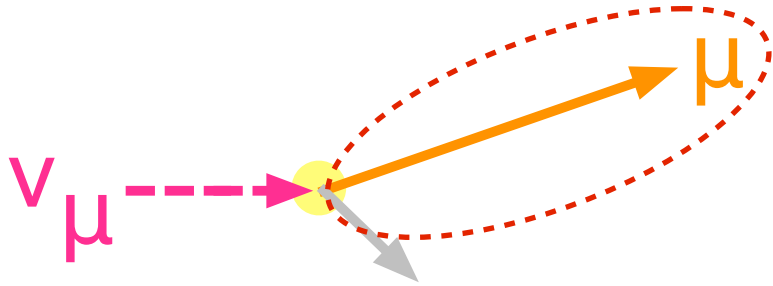


総陽子数(~ 2011.3) = 1.43×10^{20}

→ INGRIDで 2.18×10^6 のニュートリノ事象を観測

ニュートリノ事象選択

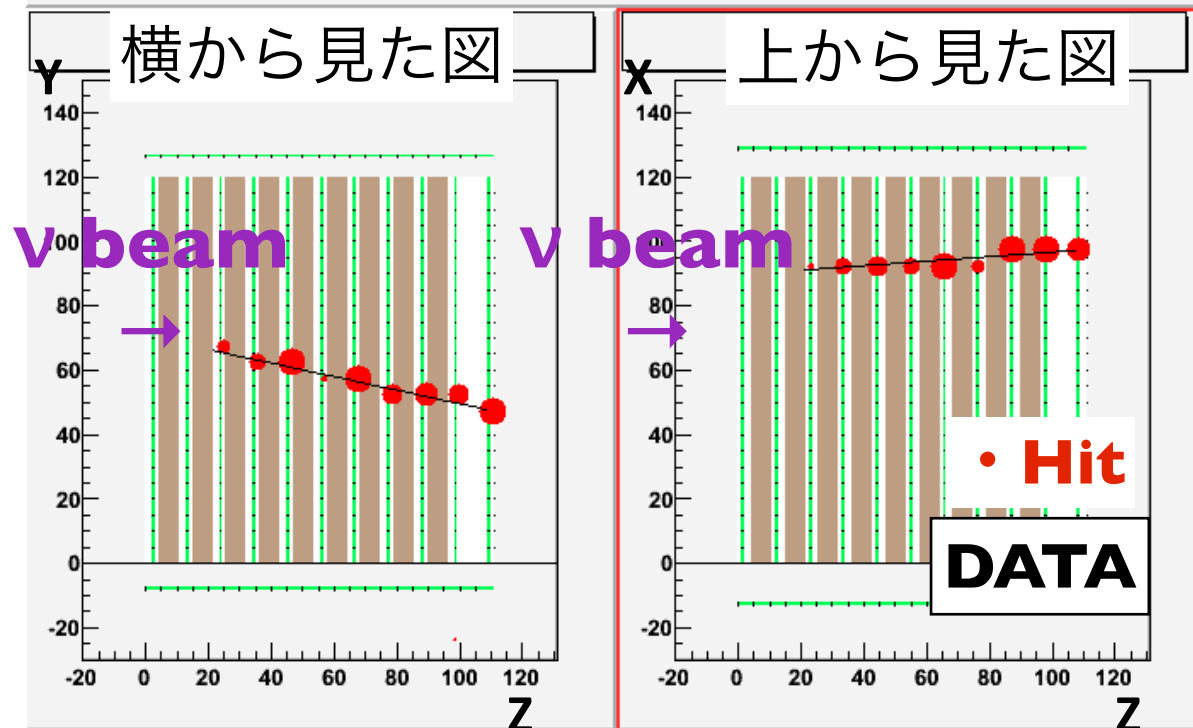
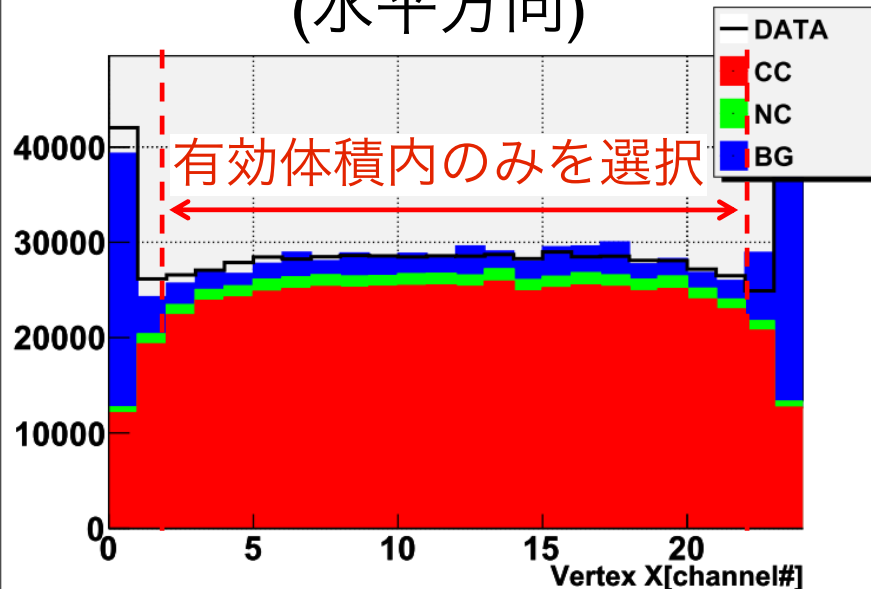
荷電カレント反応



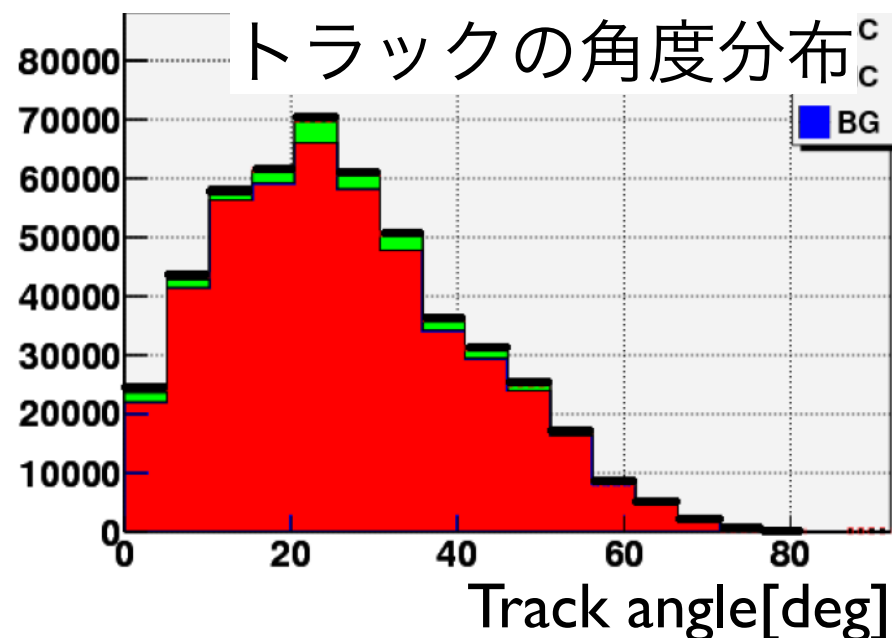
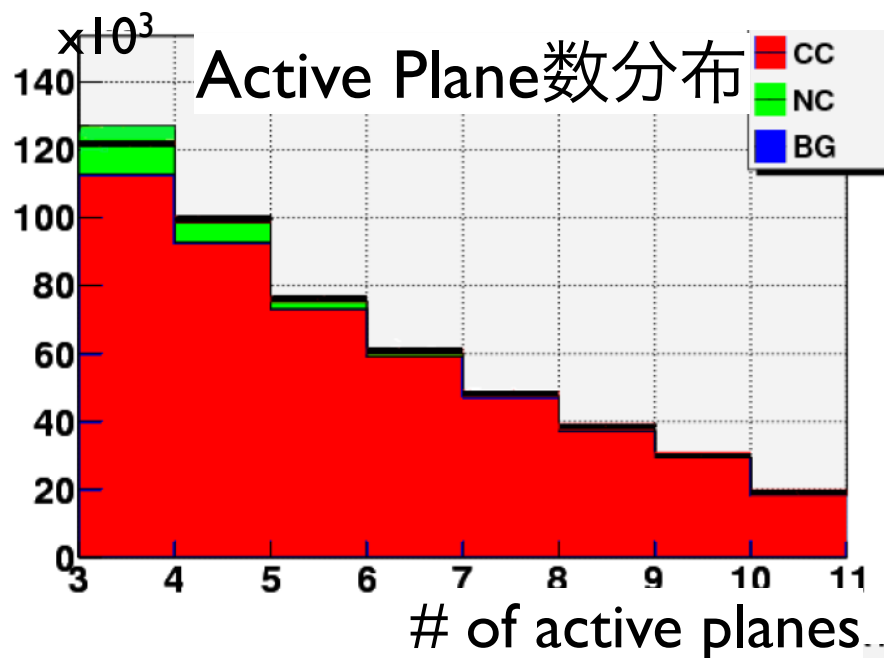
- 1本の飛跡を再構成
- 再構成した反応点が有効体積(FV)内
➡ 外部からの荷電粒子(宇宙線, 壁でのニュートリノ反応)を排除

選択したニュートリノ事象の例

再構成した反応点分布
(水平方向)



ニュートリノ事象選択後の基本分布の比較

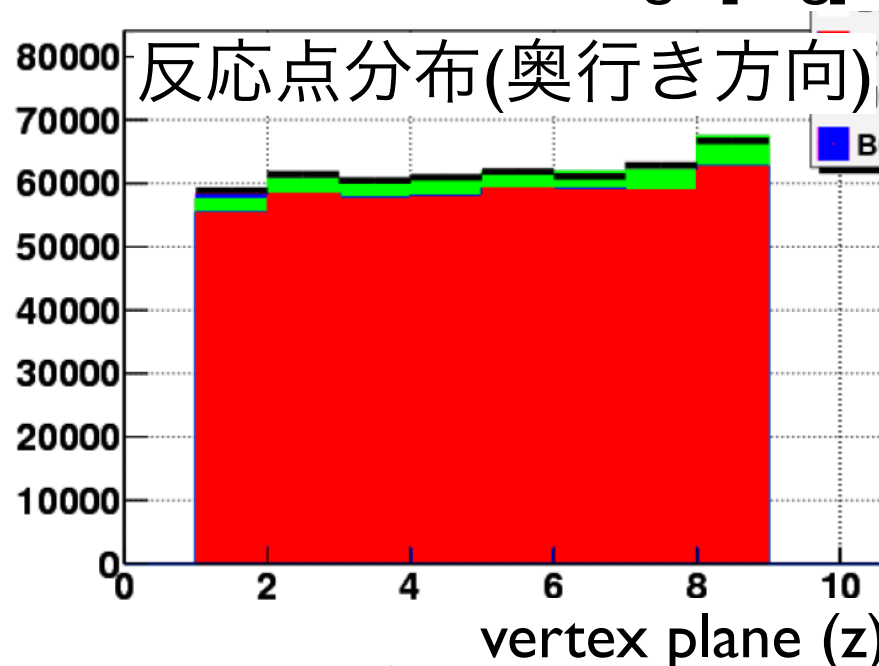
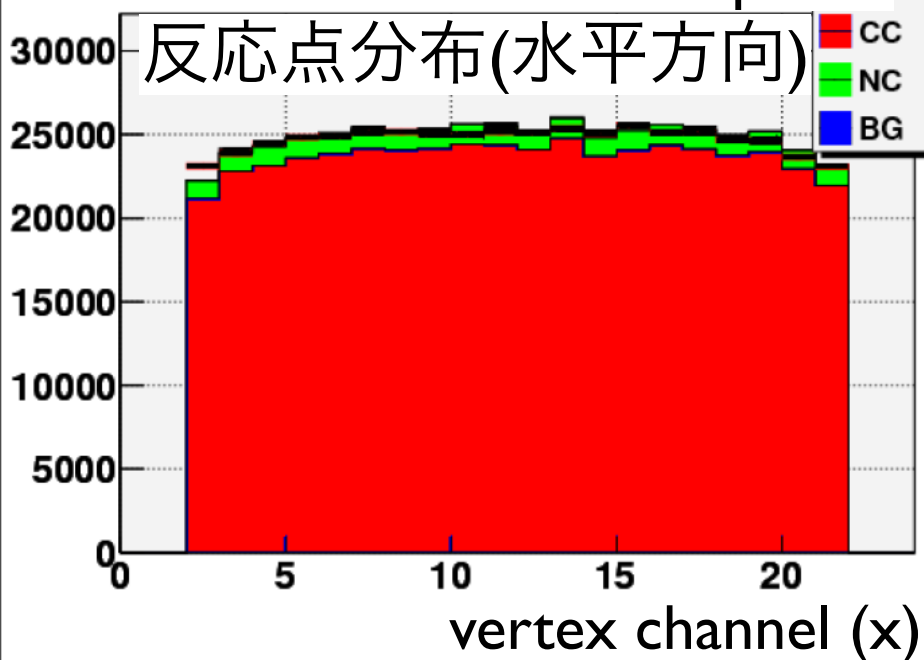


DATA

CC

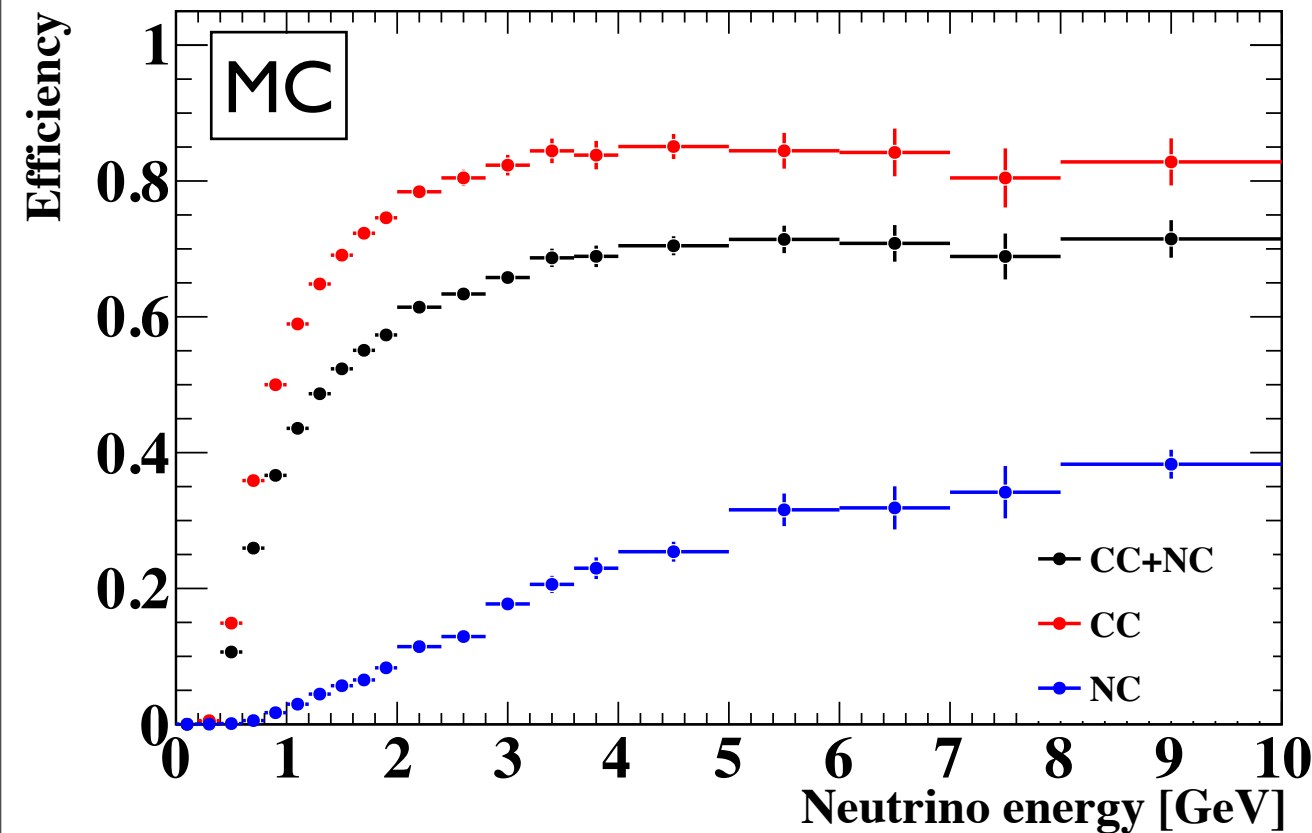
NC

BG



→ DATA/MCで良く一致。

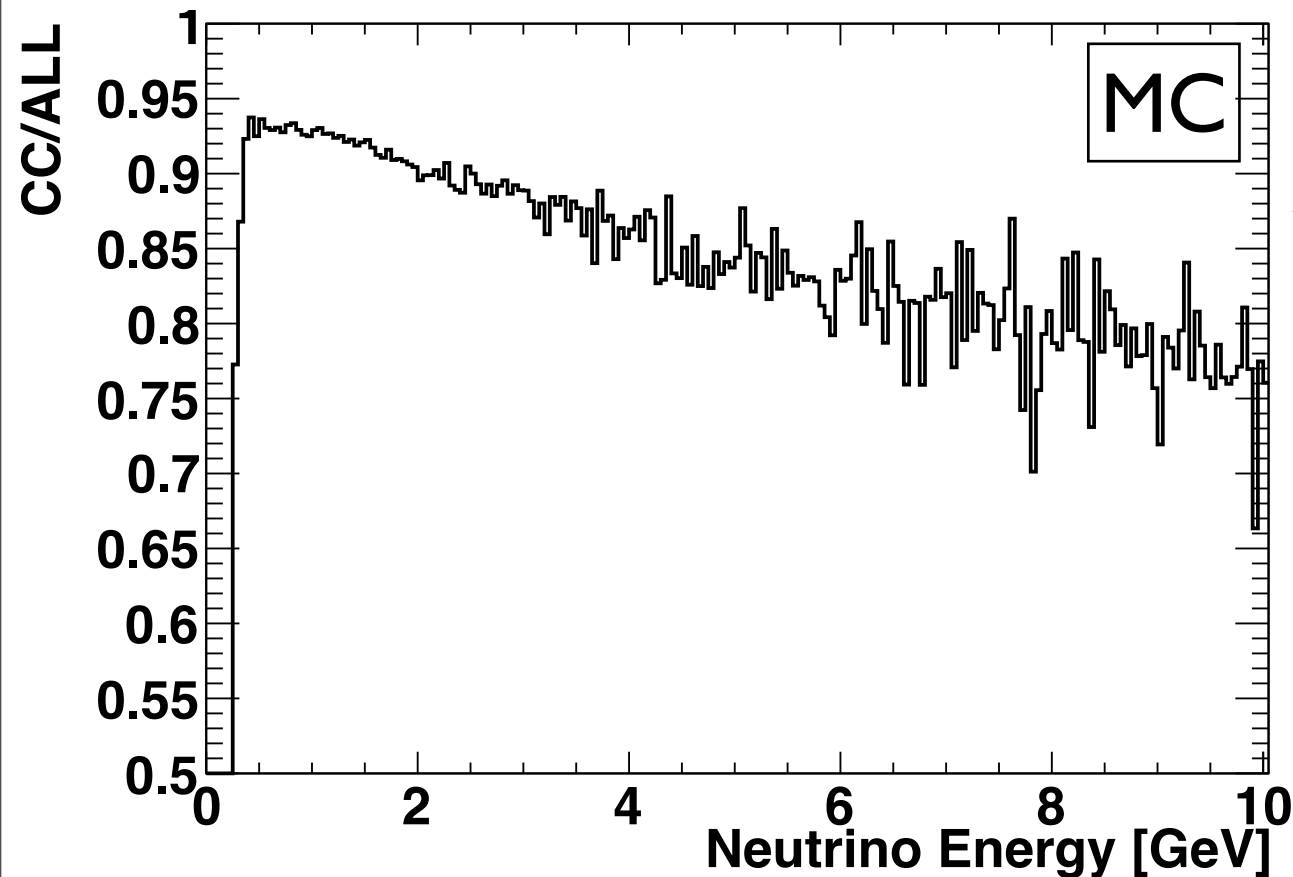
ニュートリノ検出効率



有効体積内で反応した
ニュートリノに対する
検出効率

1 GeV付近のニュートリノに対して40%程度の検出効率
それ以上高いエネルギーのニュートリノは70%程度で検出できる。

荷電カレント反応(CC)の割合

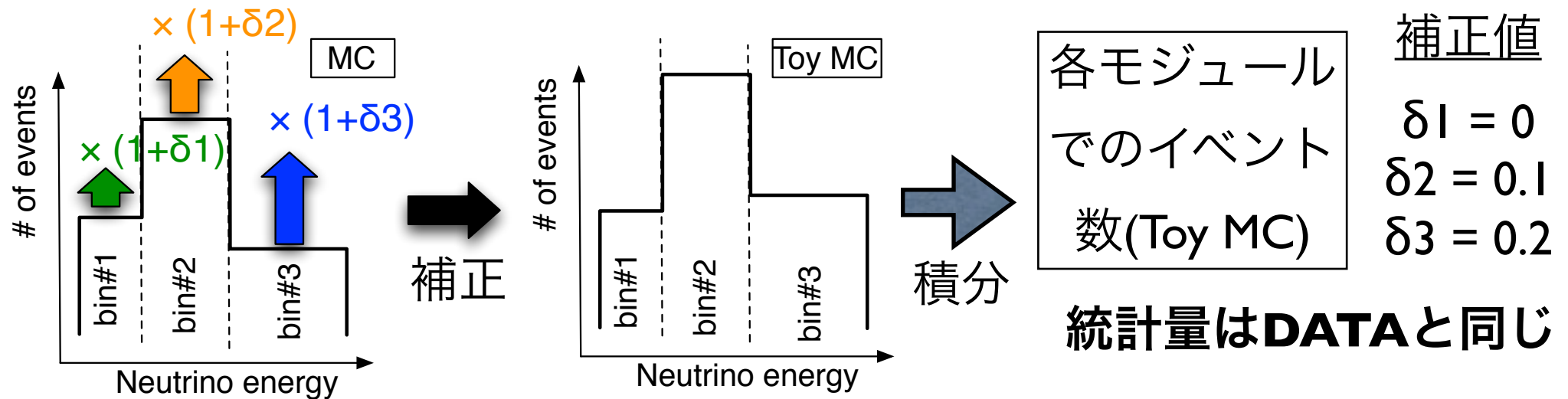


ニュートリノ事象選択後で
残った事象の中の荷電カレン
ト反応の割合

1~3GeVの領域でニュートリノ事象選択後に残る事象の約90%が
荷電カレント反応

Toy MCを用いた解析

- MCのスペクトルから作った疑似信号(Toy MC)をDATAとして用いて解析を行い、本解析の有効性をチェックする。



DATAの事象数をMCでフィットする際に、統計誤差と検出器の3.7%の系統誤差(モジュール共通)を考慮する。

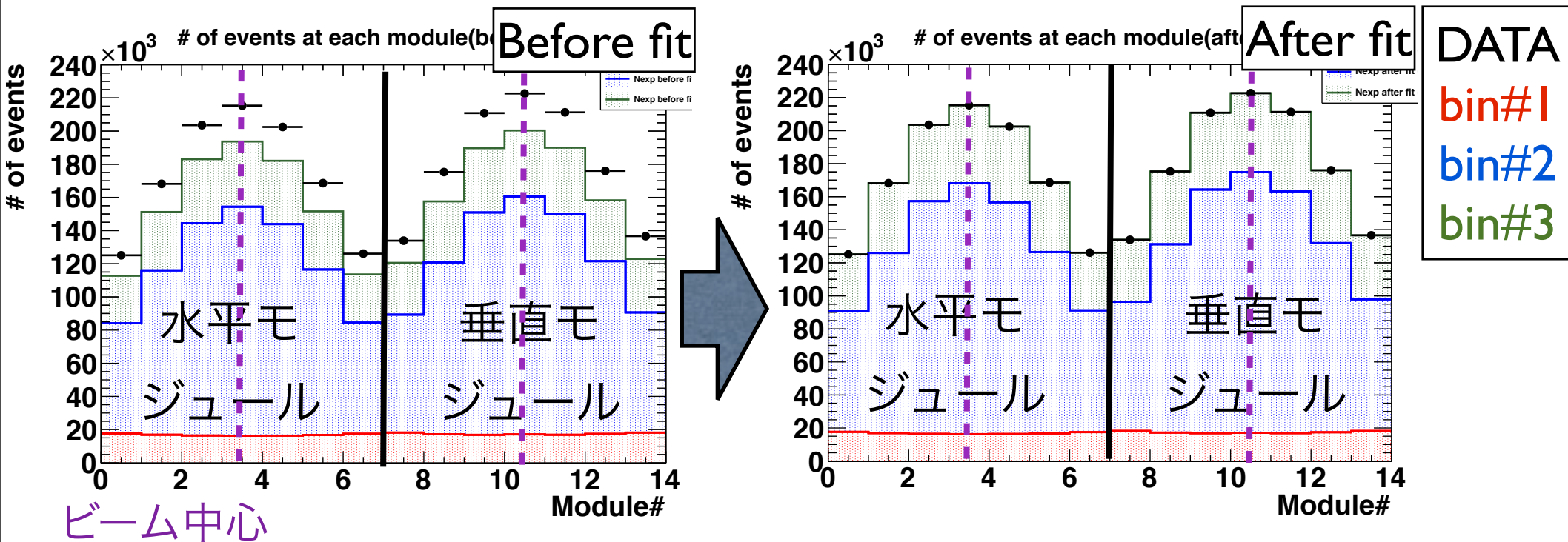
Minimum χ^2 fitting

$$\chi^2 = \sum_m^{\text{module}} \log(N_m^{MC}) + \frac{(N_m^{DATA} - N_m^{MC})^2}{N_m^{MC}} + \left(\frac{f_{det}}{\sigma_{det}} \right)^2$$

$$N_m^{MC} = (1 + f_{det}) \sum_i^{E_{bin}} \int_i \phi_m(E) (1 + f_i) \sigma(E) \epsilon(E) dE$$

f_i = parameters of normalization for each energy region.
 f_{det} = nuisance parameter of common detector systematic error
 σ_{det} = common detector systematic error

結果(with module#0~14)



INPUT Toy MC
bin#1 x 1
bin#2 x 1.1
bin#3 x 1.2

	補正定数	誤差
bin#1	1.000	+0.14/-0.14
bin#2	1.100	+0.047/-0.044
bin#3	1.200	+0.13/-0.13

補正定数がToy MCと一致.

求めたいbin#2の補正定数が精度よく決まっている.

系統誤差

$$\boxed{\text{CC反応断面積}} = \boxed{\text{補正定数}} \times \frac{\boxed{\text{検出事象数}} \times \boxed{\text{CCの割合}}}{\boxed{\text{フラックス}} \times \boxed{\text{検出効率}} \times \boxed{\text{反応標的数}}}$$

→フィット誤差

→MC,DATAで誤差の見積もり

反応断面積の系統誤差の主なソース

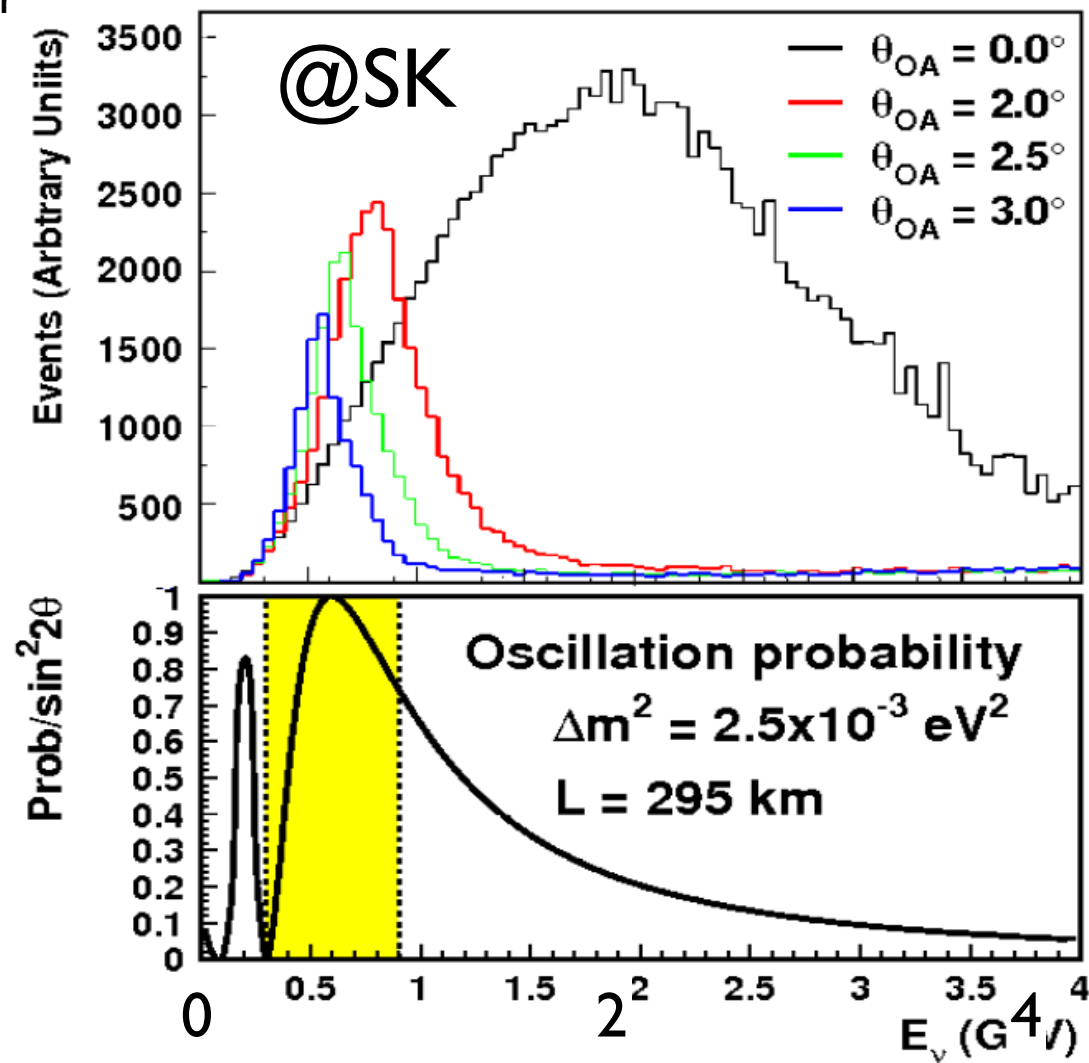
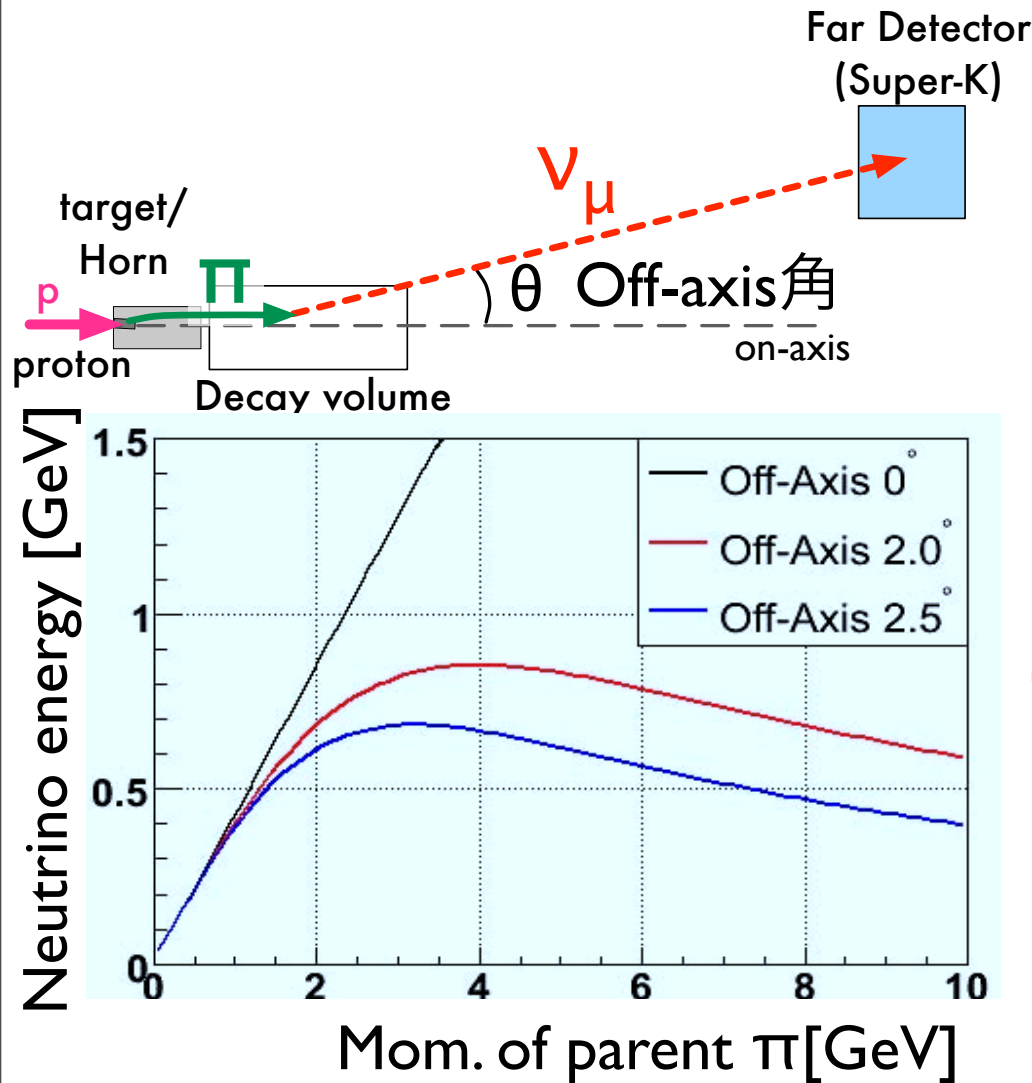
- 検出効率：**3.7%** (モジュール共通)
 - 主なソース：Tracking(1.4%)&Tracking matching(2.7%)
- ニュートリノフラックス：**15%~**
- CC反応の割合：中性カレント反応(NC)との比に対して ~30%
 - NC反応の数が5%程度なので効果は1.5%程度

Summary

- T2K実験のニュートリノビームモニターINGRIDを用いて荷電カレント反応の反応断面積を求める。
- 異なる位置に設置した検出器毎のニュートリノスペクトルの違いを利用して特定のエネルギー領域での反応断面積を求める。
- Toy MCを用いて解析の有効性をチェック。期待通りの結果を得た。
- 全ての不定性を考慮し、DATAを用いて1~3GeVでの反応断面積を求める。

Back up

Off-axis beam



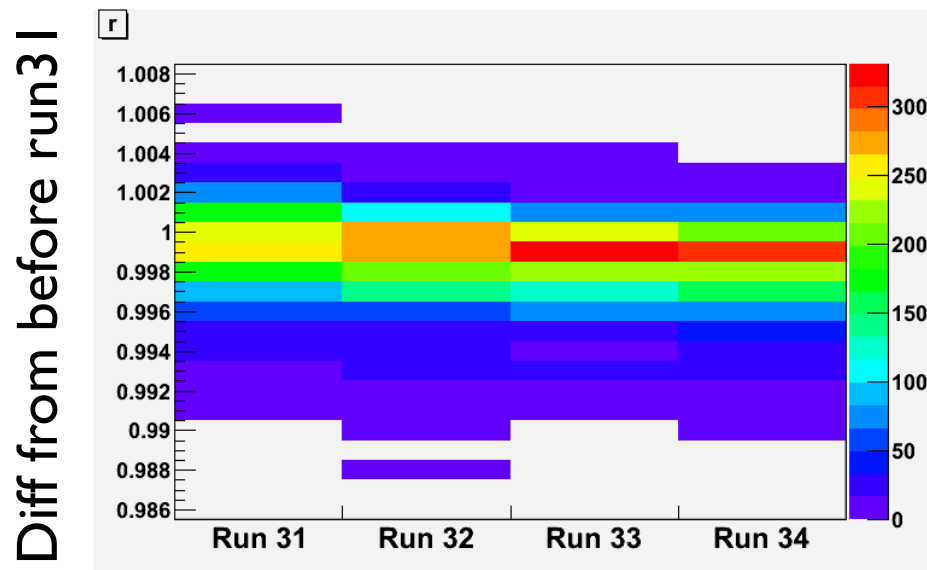
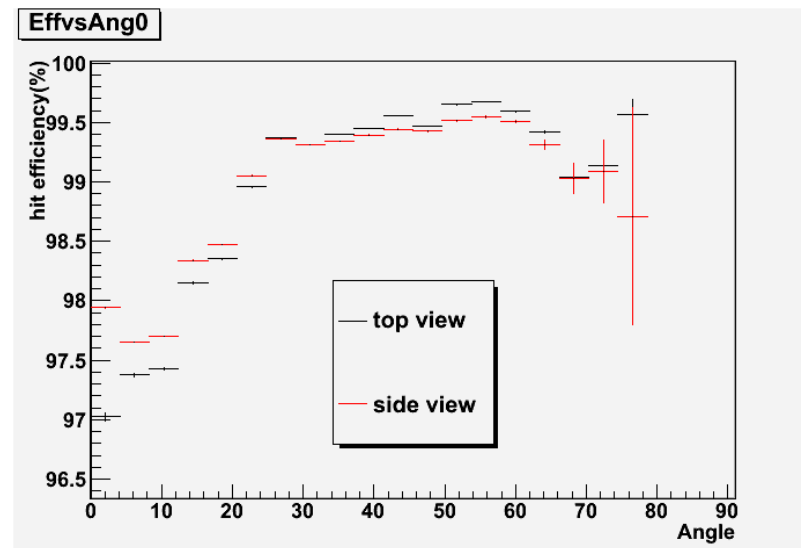
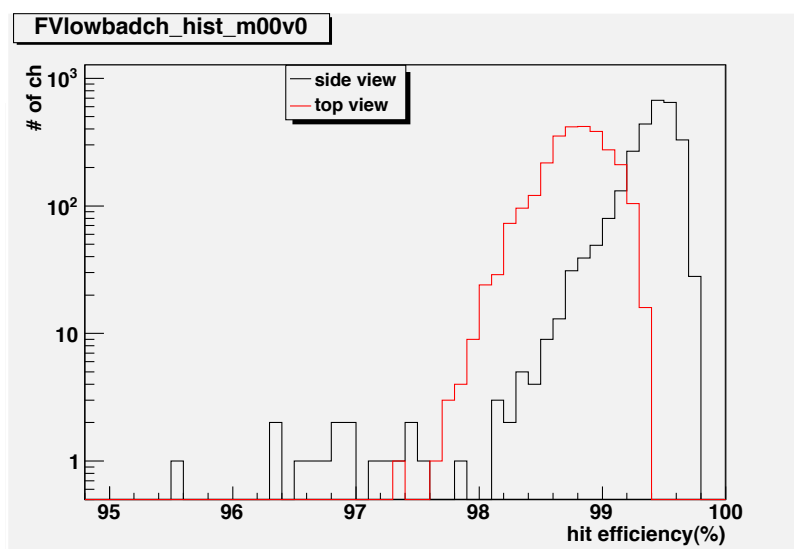
ビーム軸からずれるほどニュートリノのエネルギーはシャープに。

(INGRIDの端のモジュールでOff-axis角~0.9°)

INGRID Performance

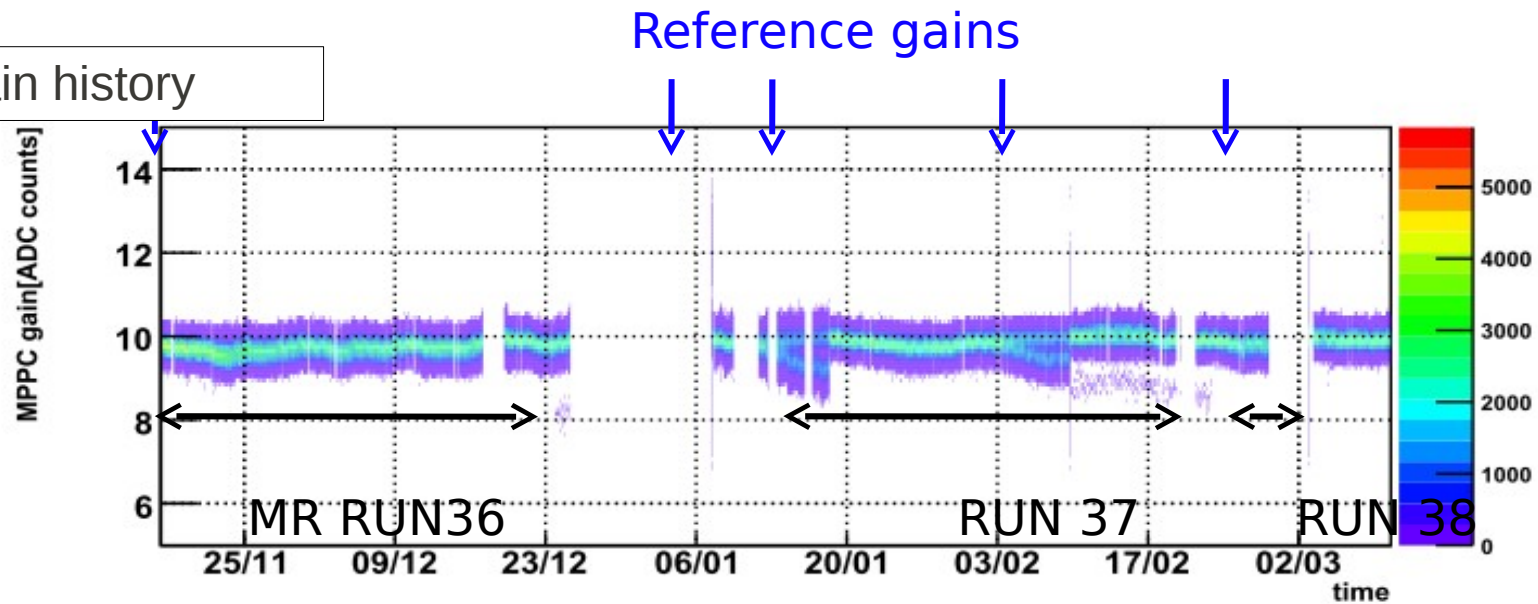
Detector	Total ch.	Bad ch.
INGRID	10796	0.17%

Hit efficiency

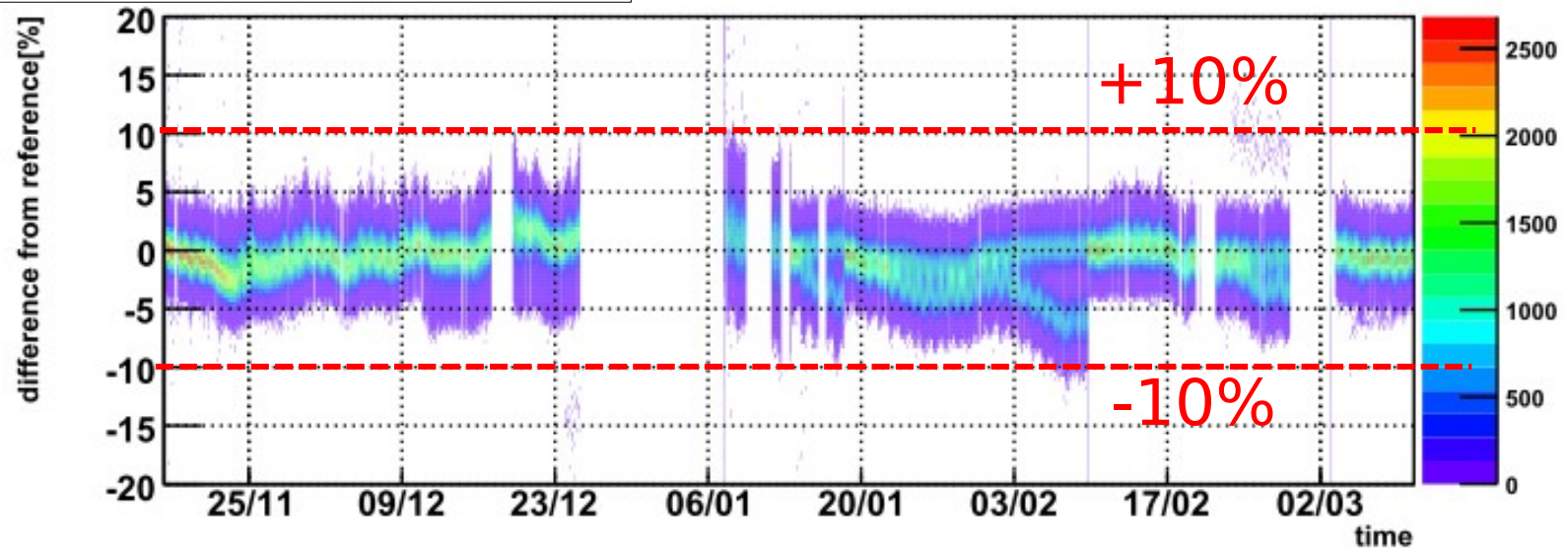


INGRID Performance

Gain history



Difference from reference gain



→ オフライン解析時には温度による補正をかける