J-PARCにおける小型水チェレンコフニュートリノ検出器の性能評価

京大理, KEK[A], 村上明, 高橋将太, 市川温子, 小林隆[A],
坂下健[A], 中家剛, 南野彰宏, 山内隆寛

Outline

- Mizuche実験について
- 実験原理の説明と検証
- バックグラウンドの見積もり

→ 本発表

- 検出器の設計
- PMTのゲイン測定
- 実験の現状

→ 京都大学
高橋将太の発表

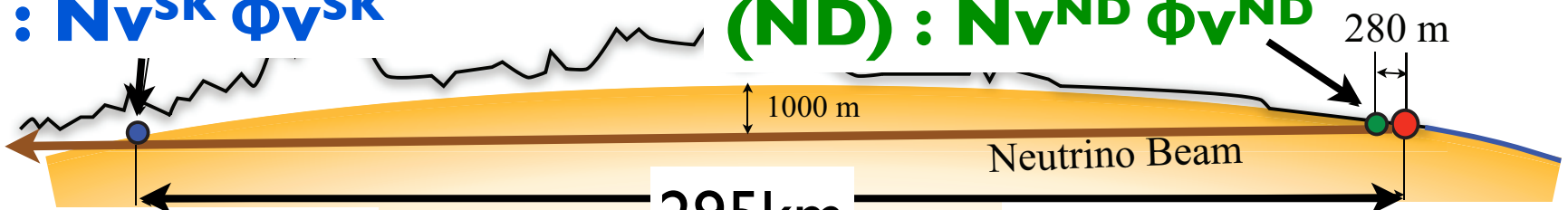
Mizuche 実験

T2K実験：東海-神岡間でのニュートリノ振動実験

Super-Kamiokande (SK) : $N\nu^{SK}$ $\Phi\nu^{SK}$

Near Detector (ND) : $N\nu^{ND}$ $\Phi\nu^{ND}$

J-PARC



水チェレンコフ

シンチレータ＋TPC

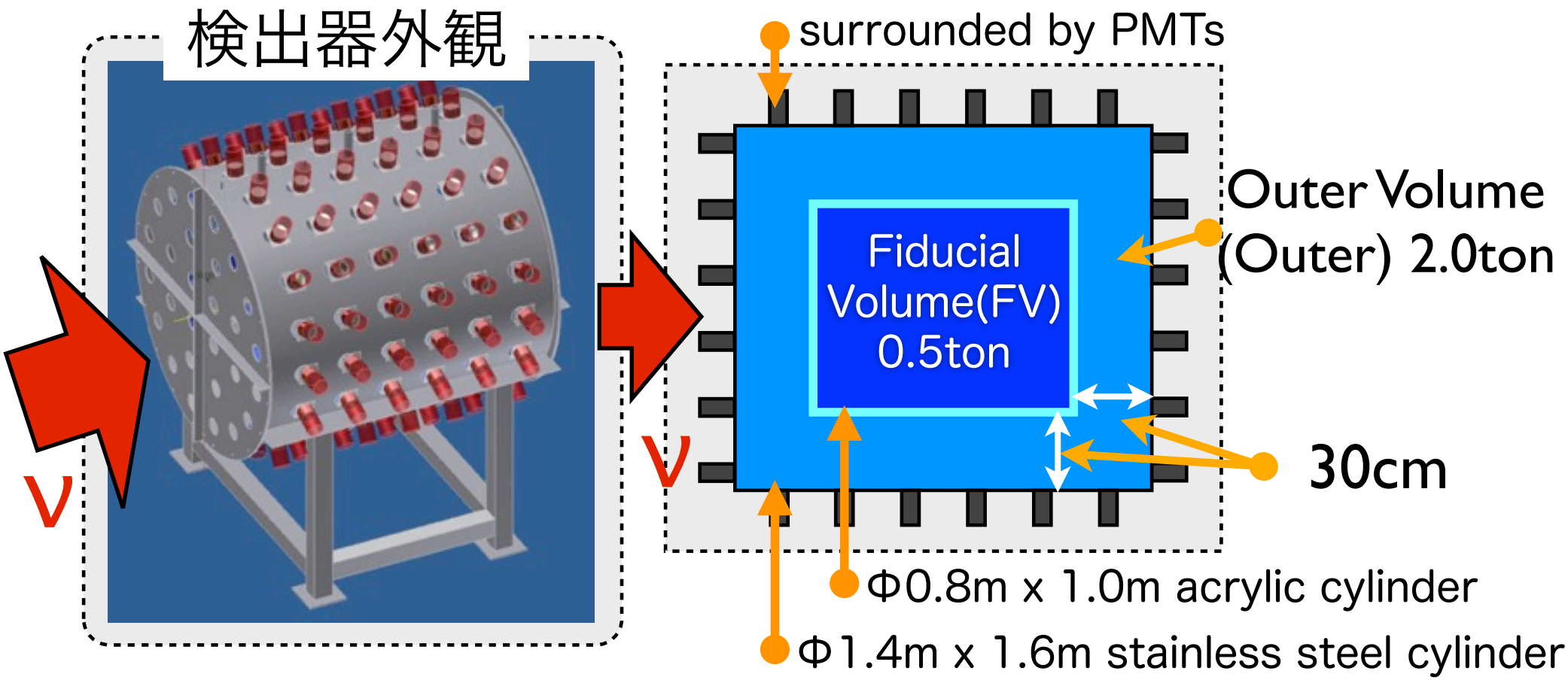
NDでのニュートリノ測定数をSKに外挿

$$N_{SK}^{EXP} = \frac{\int \Phi_{SK}^{MC} \times Prob(\Delta m^2, \theta) \times \sigma_{Water}^{MC} \times \epsilon_{SK}^{MC} dE}{\int \Phi_{ND}^{MC} \times \sigma_{CH}^{MC} \times \epsilon_{ND}^{MC} dE} \times N_{ND}^{DATA}$$

→ ターゲット・検出原理の違いからくる系統誤差が振動解析時の誤差に影響.

→ Super-Kamiokandeと同じターゲット・検出原理を用いることでその誤差を抑える(目標2%以内). = “Mizuche実験”

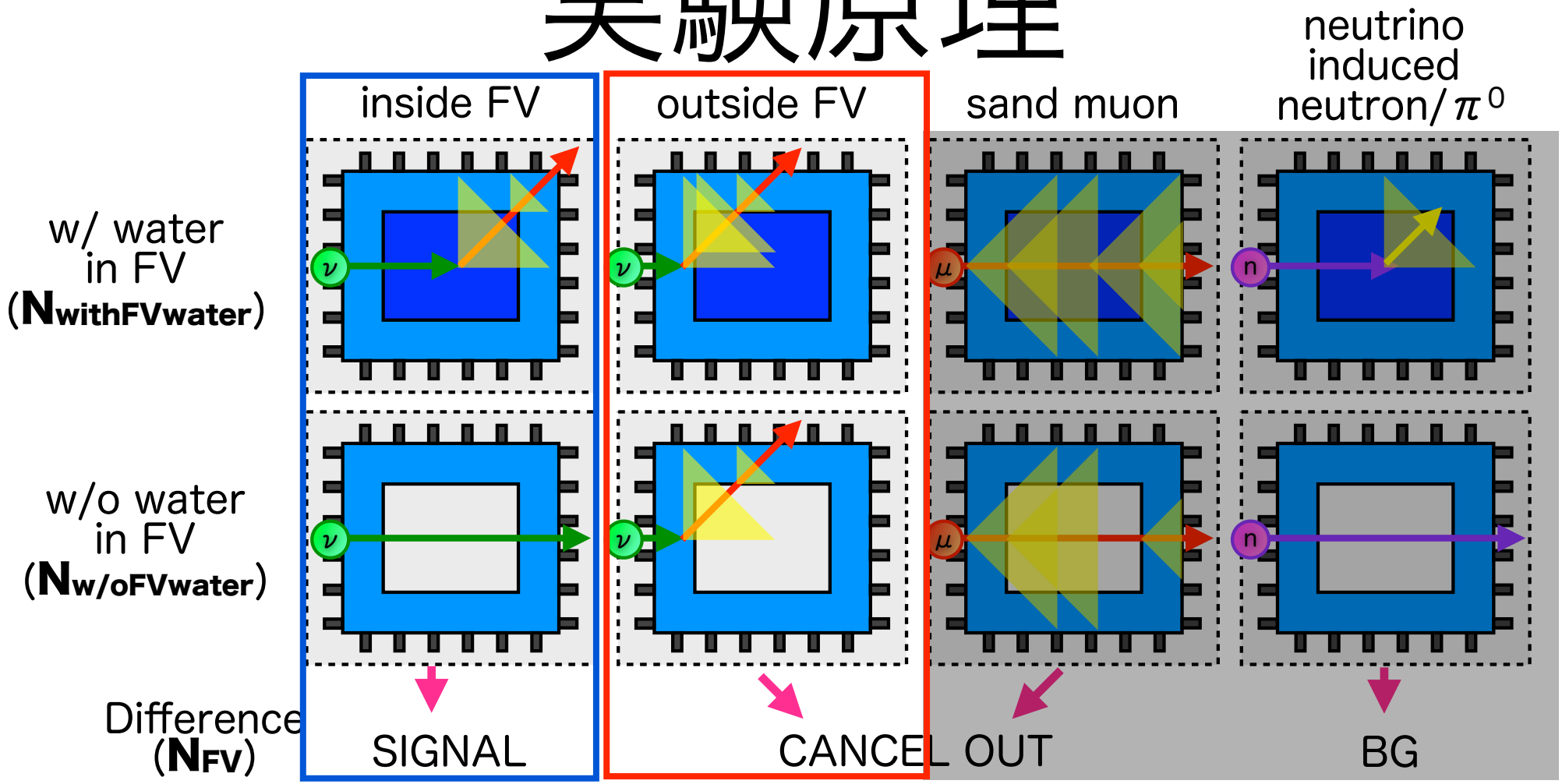
実験原理



Fiducial volume (FV)内で反応したニュートリノ数を、FVの水の抜き差しでのイベント数の差を取って求める.

$$N_{FV}^{obs} = N_{Tank,w/FV\,water}^{obs} - N_{Tank,w/oFV\,water}^{obs}$$

実験原理



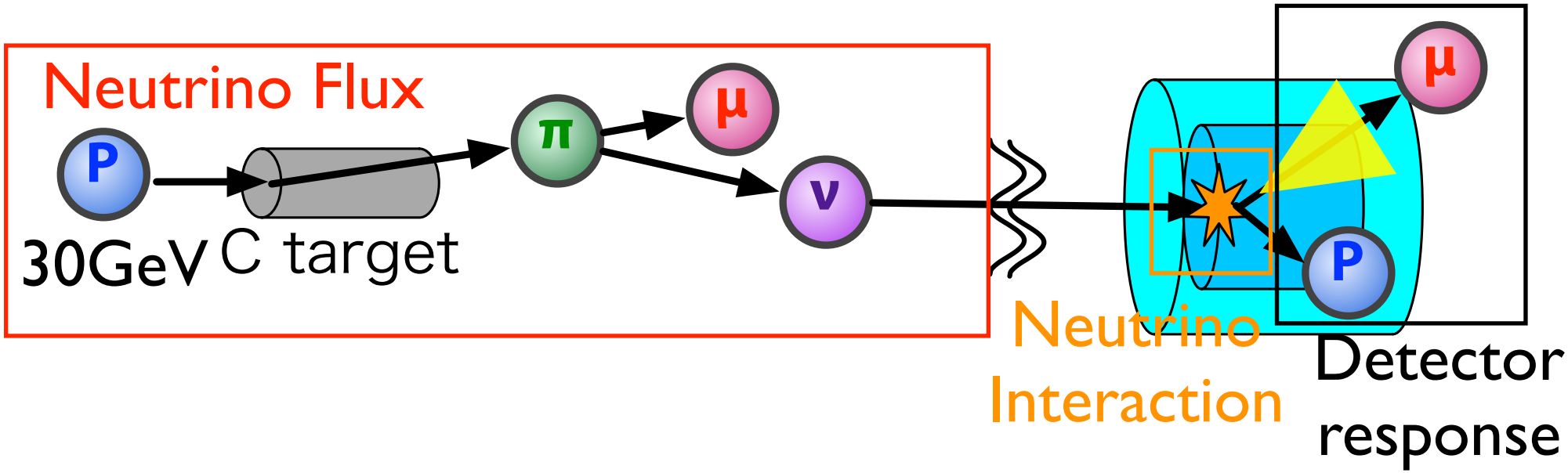
$$N^{obs}_{w/FVwater} = N^{int}_{FV} \times \epsilon_{FV} + N^{int}_{Outer} \times \epsilon^{Outer}_{w/FVwater}$$

$$N^{obs}_{w/oFVwater} = N^{int}_{Outer} \times \epsilon^{Outer}_{w/oFVwater}$$

Outerの検出効率が水あり・水なしで一致する必要あり.

→ シミュレーションによるスタディ.

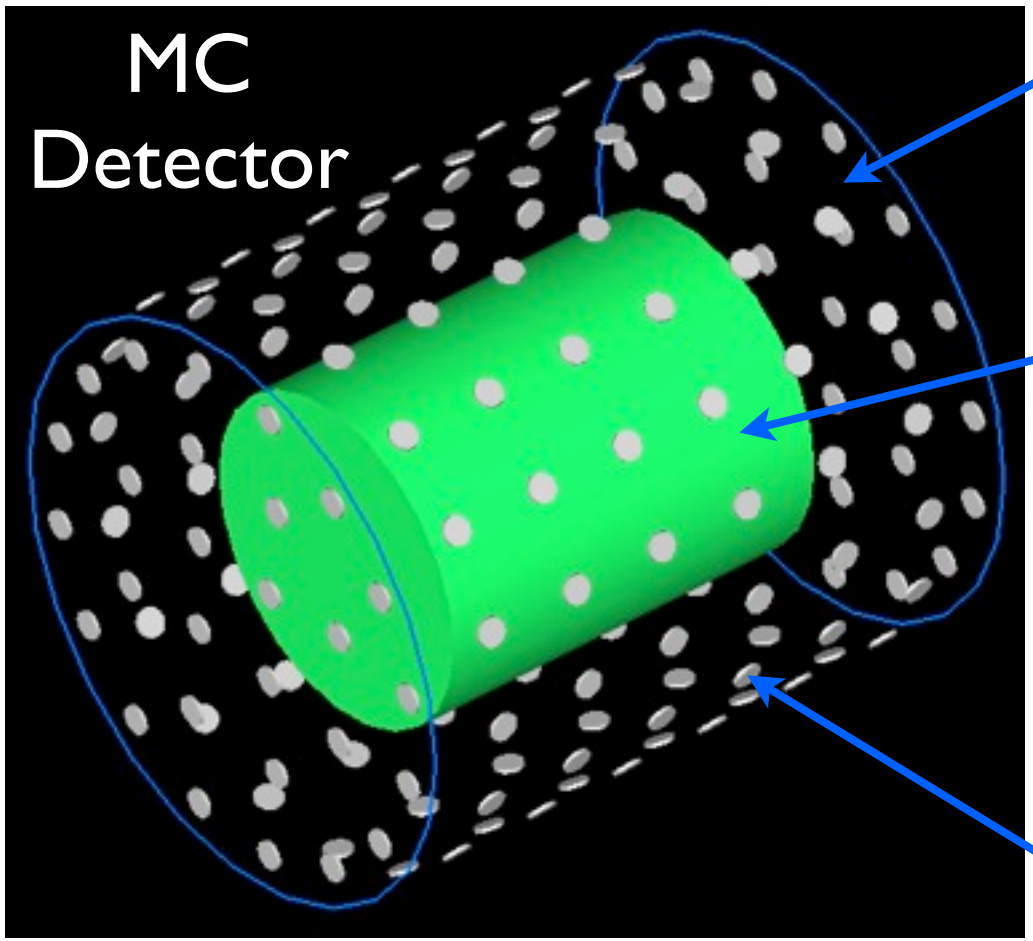
シミュレーション概要



- Neutrino Flux (GEANT3) : 実際の場所でのフラックス (T2K実験で使用しているMC)
- Neutrino interaction (NEUT) : フラックス情報を元に水でのニュートリノ反応をシミュレート.
- Detector response (GEANT4) : 荷電粒子による水中でのチェレンコフ光生成をシミュレート.

Detector MC : Geometry

- タンク、Fiducial volume (FV)のスペック、PMTの設置位置は実機スペックをGEANT4で再現.



タンク：
半径70cm, 長さ1.6m

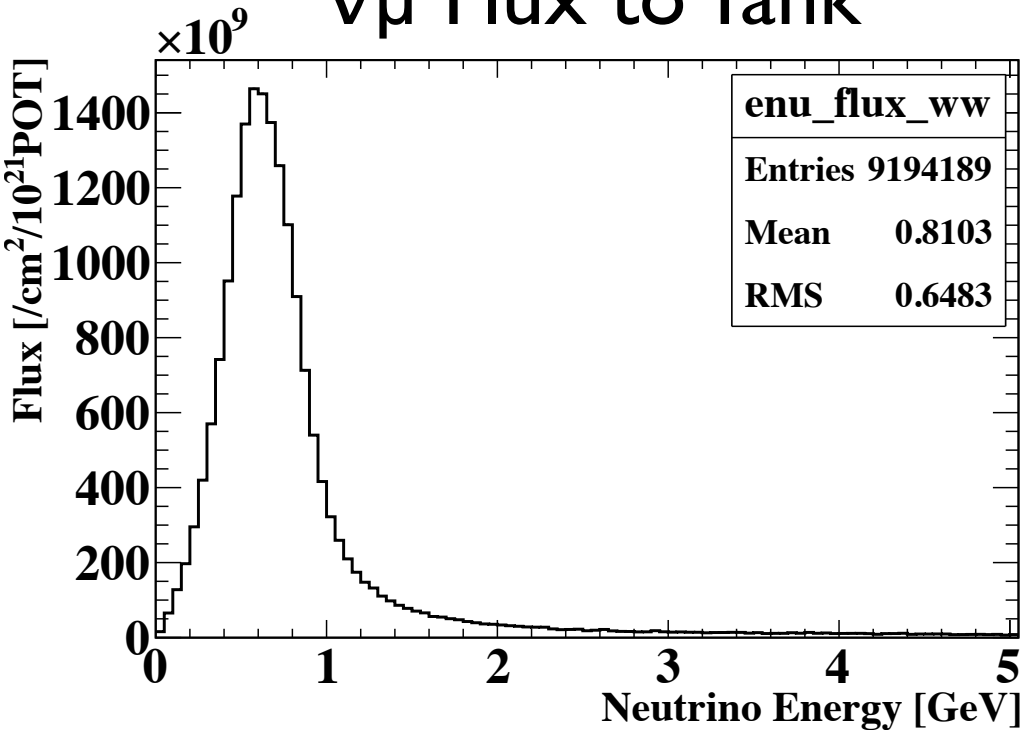
FV(アクリルチューブ)：
半径40cm, 長さ1m, 厚さ5mm,8mm

PMT × 164本：
窓の半径3.5cm

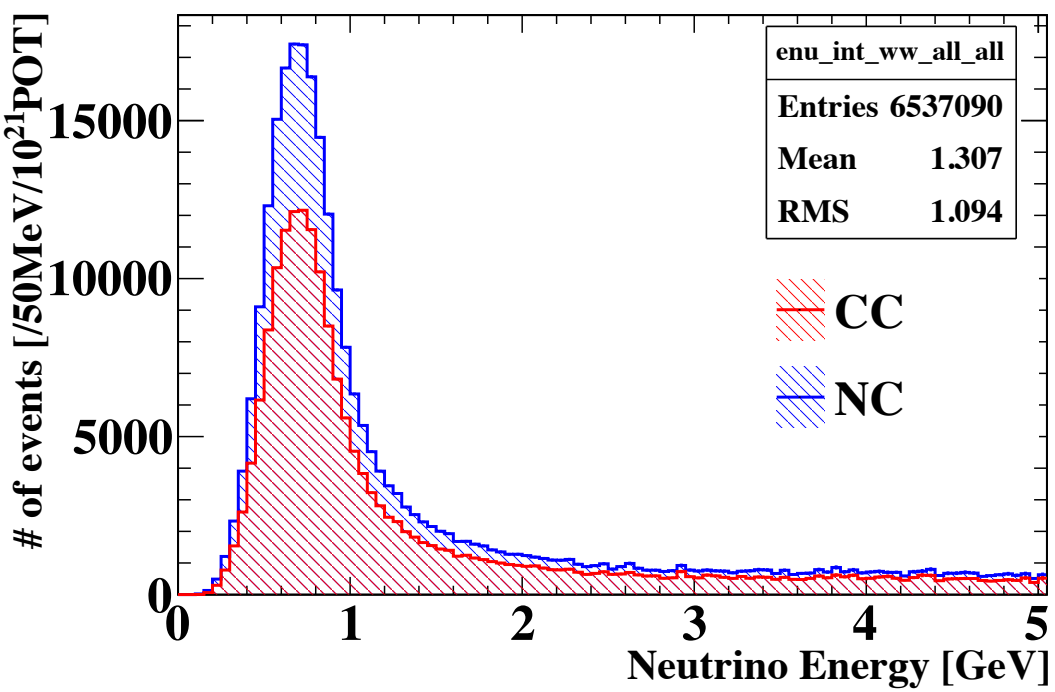
Neutrino interaction MC

- 同じミューオンニュートリノ反応サンプルに対して、FVに水あり・なしの二通り.
- GEANT4でのニュートリノ反応点はタンクの水中で一様に分布させる.

νμ Flux to Tank

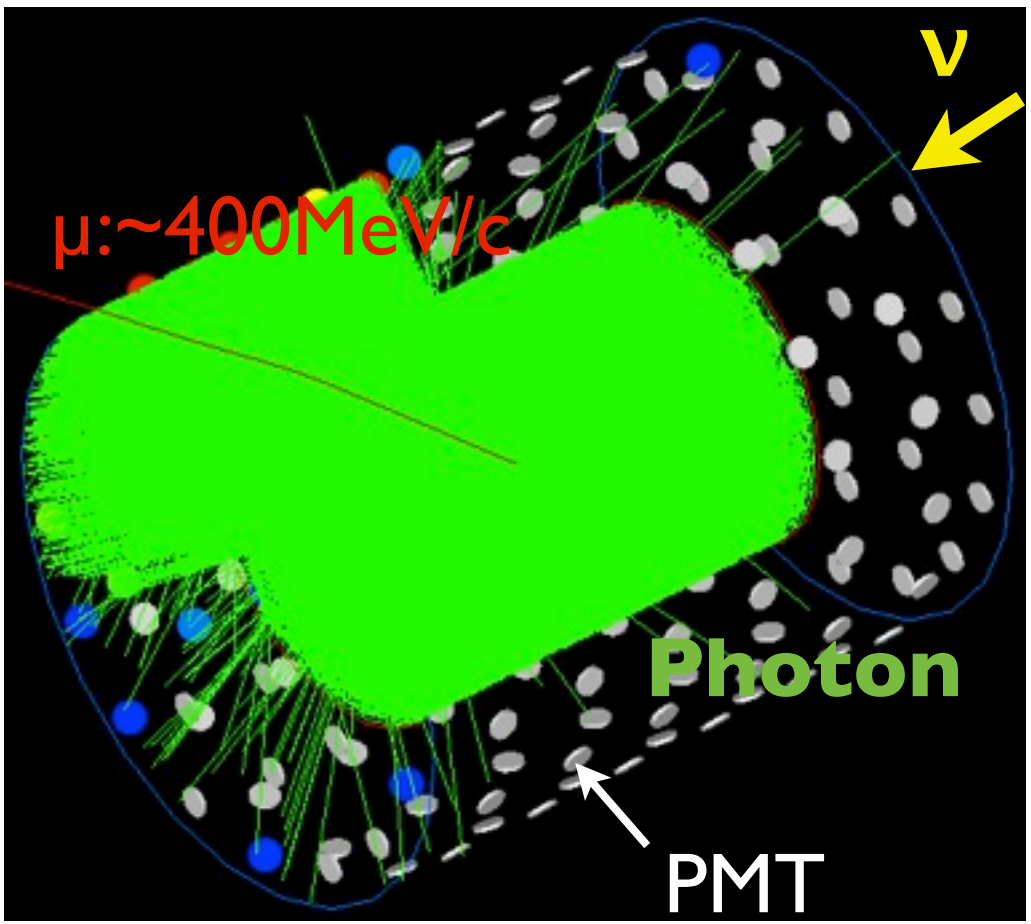


Interaction



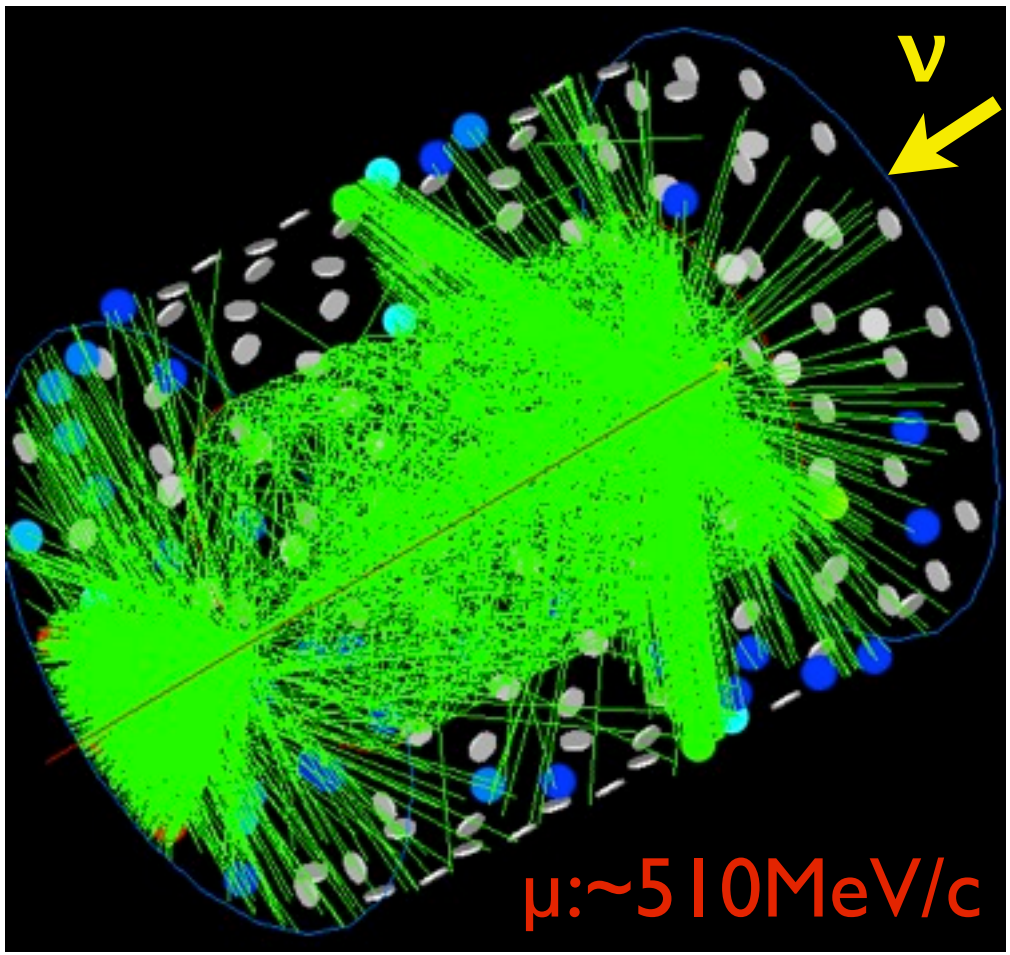
Geant4 Event display

ν:0.54GeV, in FV
with Water in FV



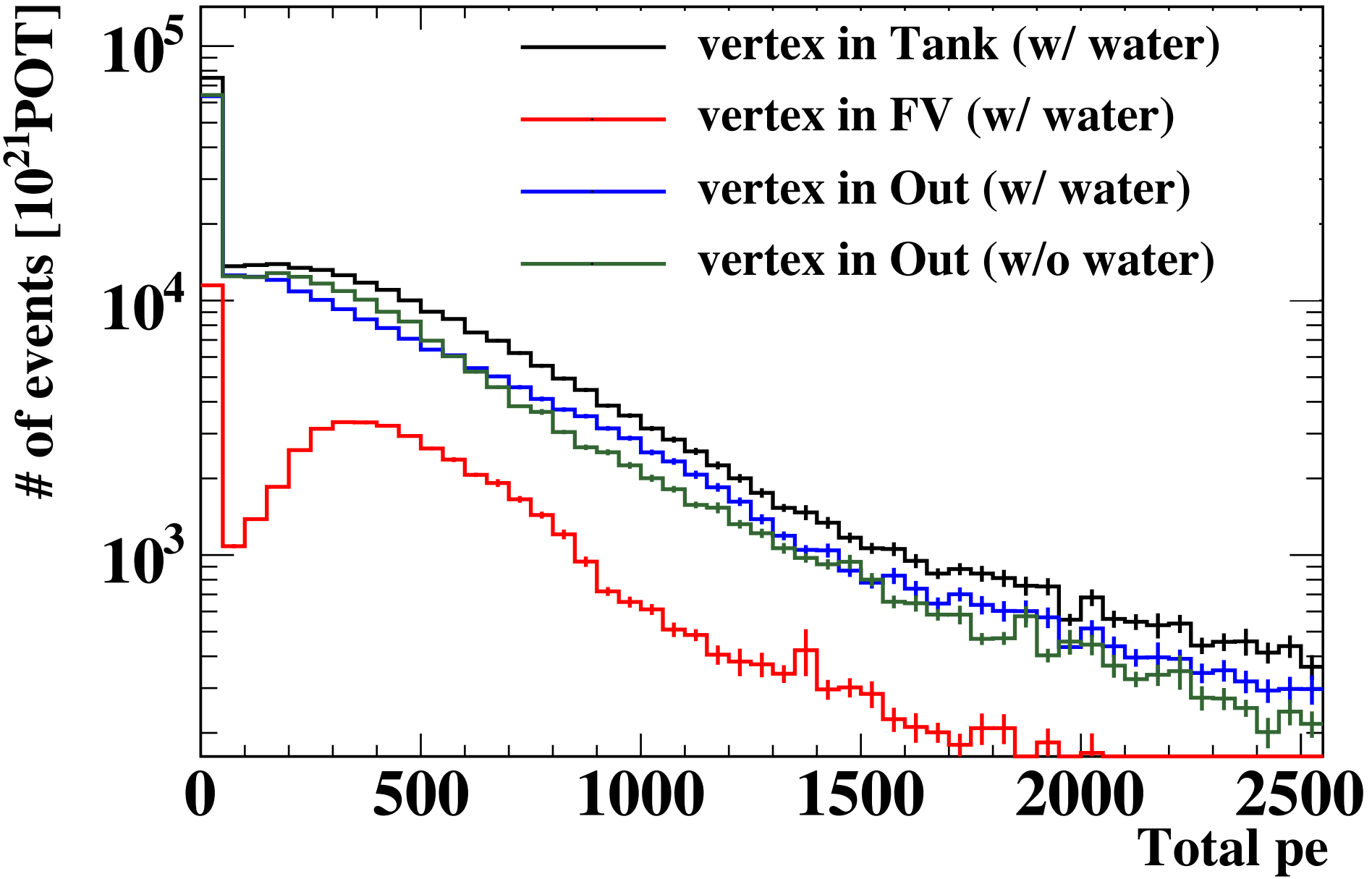
Total p.e.=458

ν:0.56GeV, in Outer
without Water in FV



Total p.e.=273

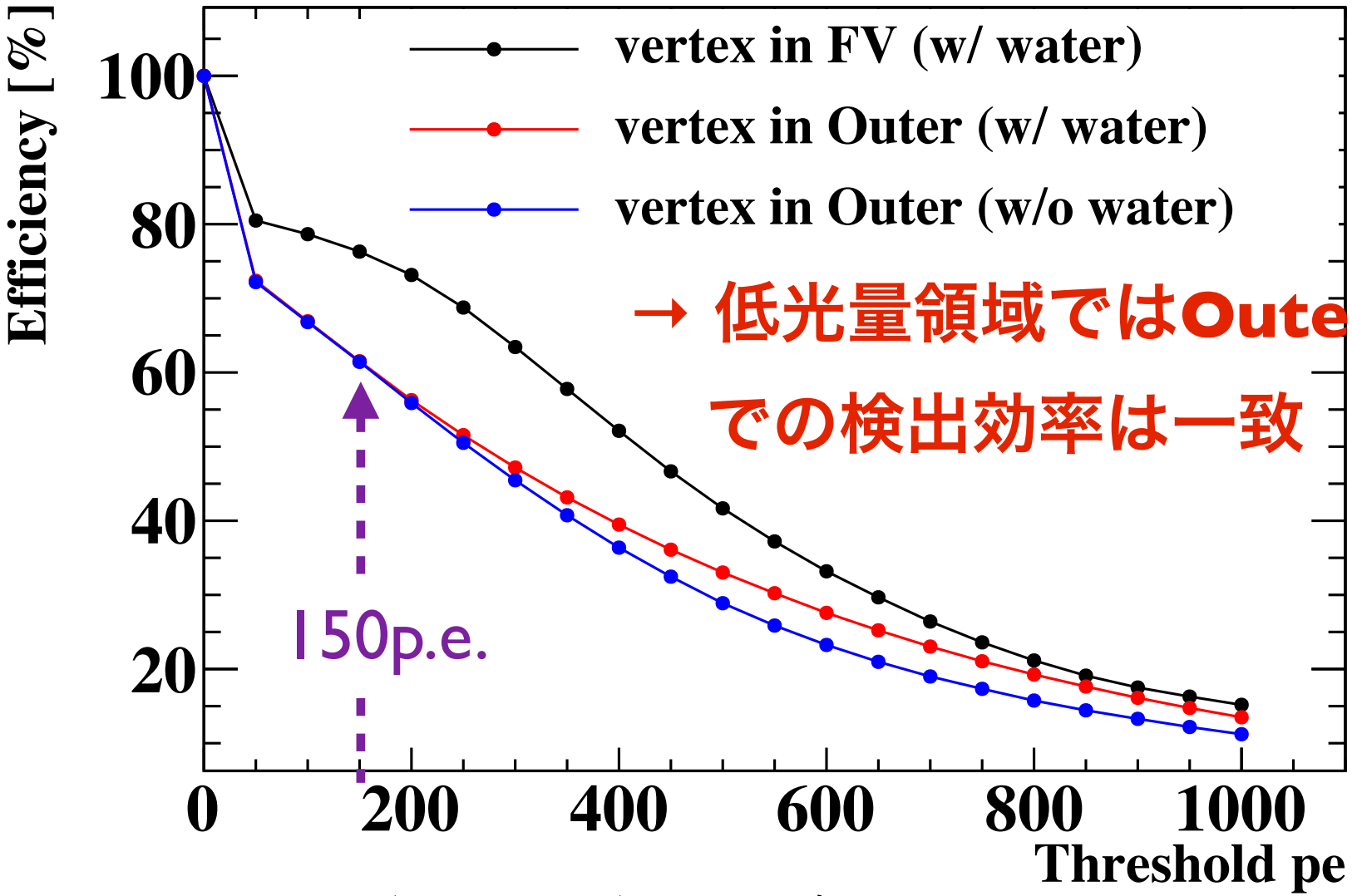
Total p.e. distribution



黒線(水あり)と赤線(水なし)を観測する.

Efficiency vs total p.e. threshold

反応数に対する、threshold以上の光量が出るイベント数

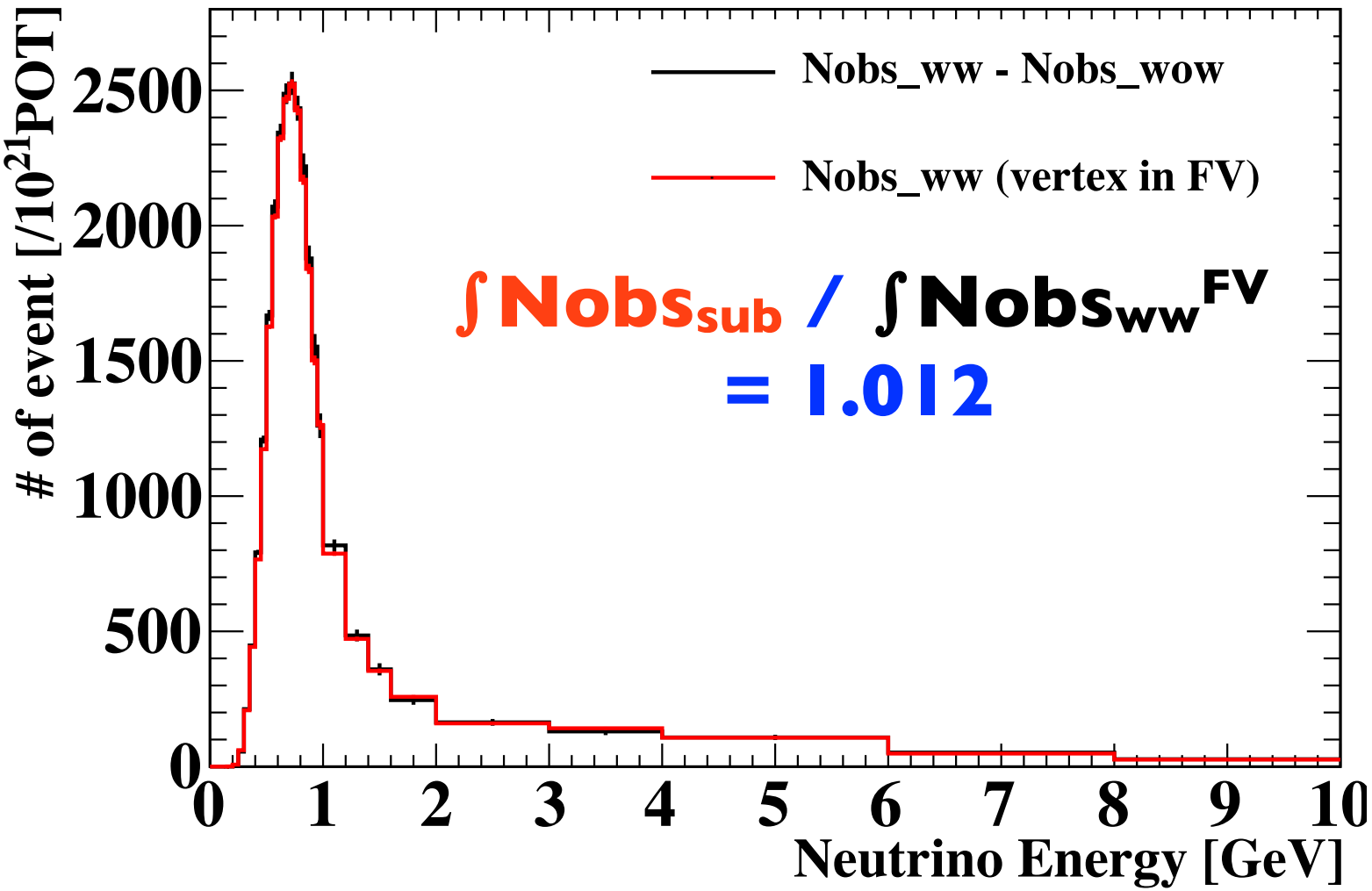


Total p.e.>150 (μが30cm飛行した際のチェレンコフ光の光量)

の時、FVイベントに対する検出効率は**~75%**

Observed neutrino energy (CC+NC)

Total p.e.>150のカットで残るニュートリノのエネルギー



→ 水あり・なしの観測数の差は1%程度でFV内の反応に対する観測数と一致する.

of expected events / day

ビームパワー **150kW** (~ 1.1 e17 POT/hour) x 1day

(=24hours) を仮定すると,

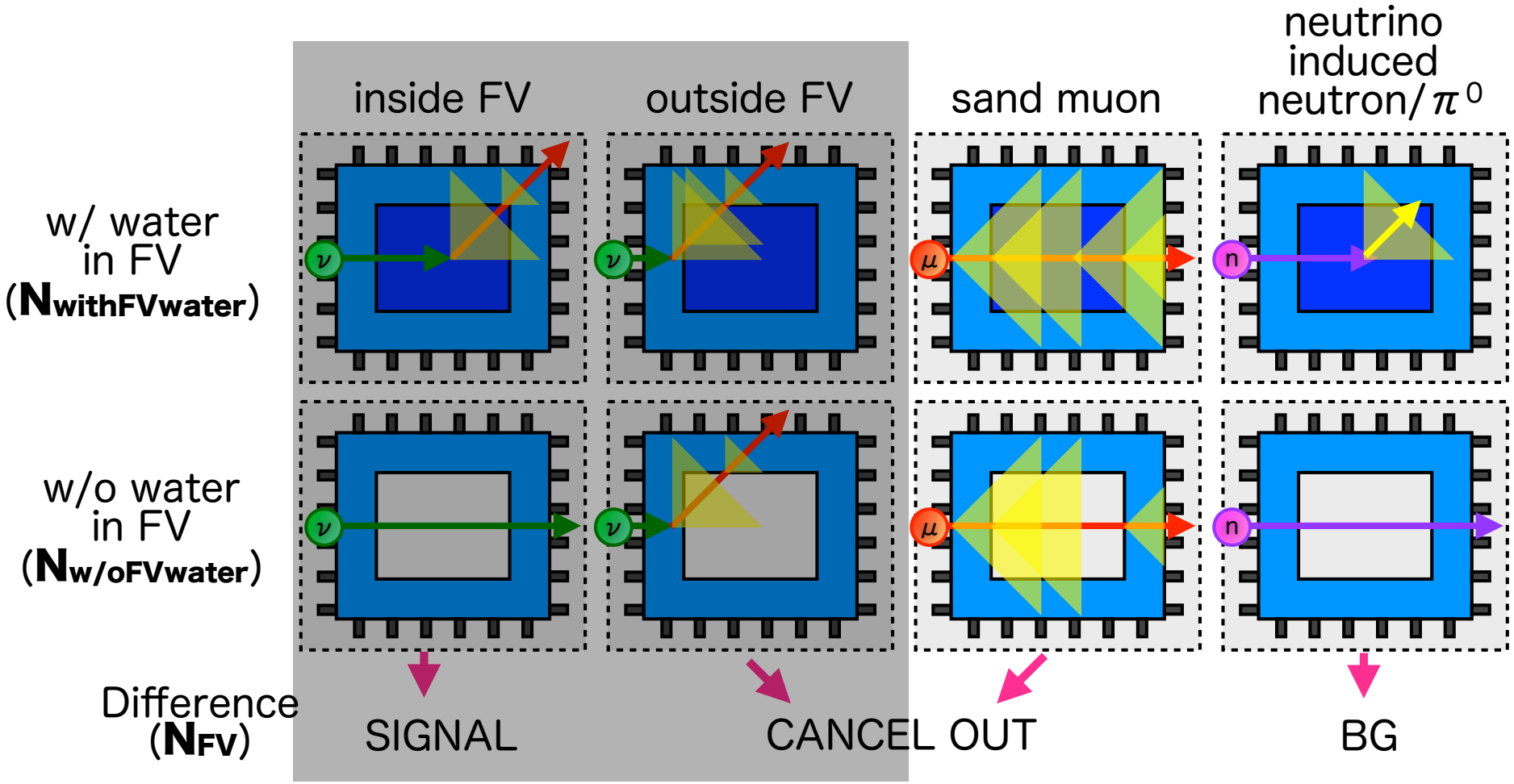
Use this MC	Interactions/day in Tank	Observations/day in Tank
w/ FVwater	630 /day	396 /day
w/o FVwater	503 /day	300 /day

100日(水あり:56日, 水なし44日)運転できたとすると、

差し引きで得られるイベント数は **8667 ± 188 (stat)**.

→ 統計誤差が2%程度に抑えることができる.

バックグラウンド



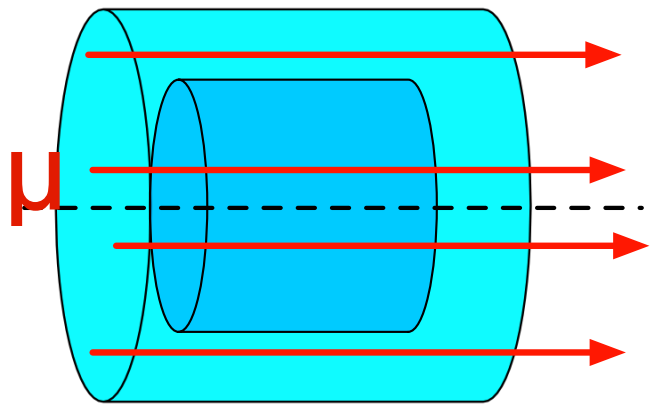
差し引きで残るイベントの他に、**外からくる粒子(μ, N, γ)**

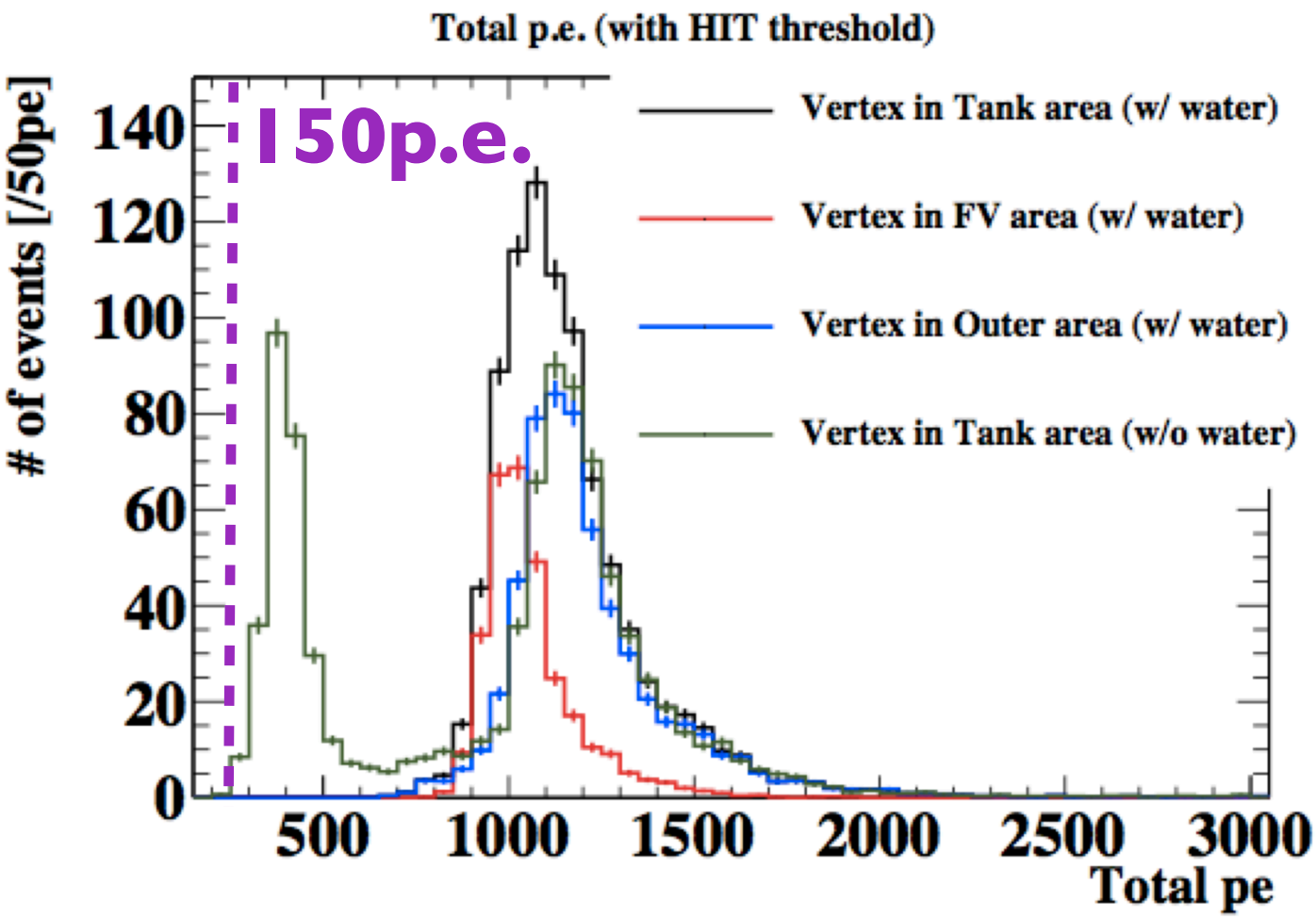
が主なバックグラウンド.

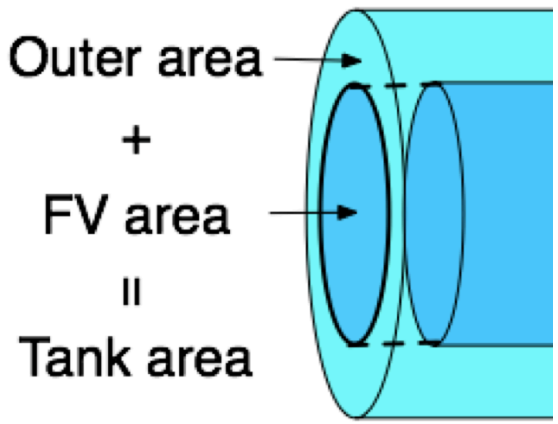
→MCとデータを用いてスタディ中.

バックグラウンド (μ)

- MCで,突き抜け**μ(450~1450MeV/c)**を蓋上で一様に生成した時の総光量を求める.
- FVに水あり・なしの両方.



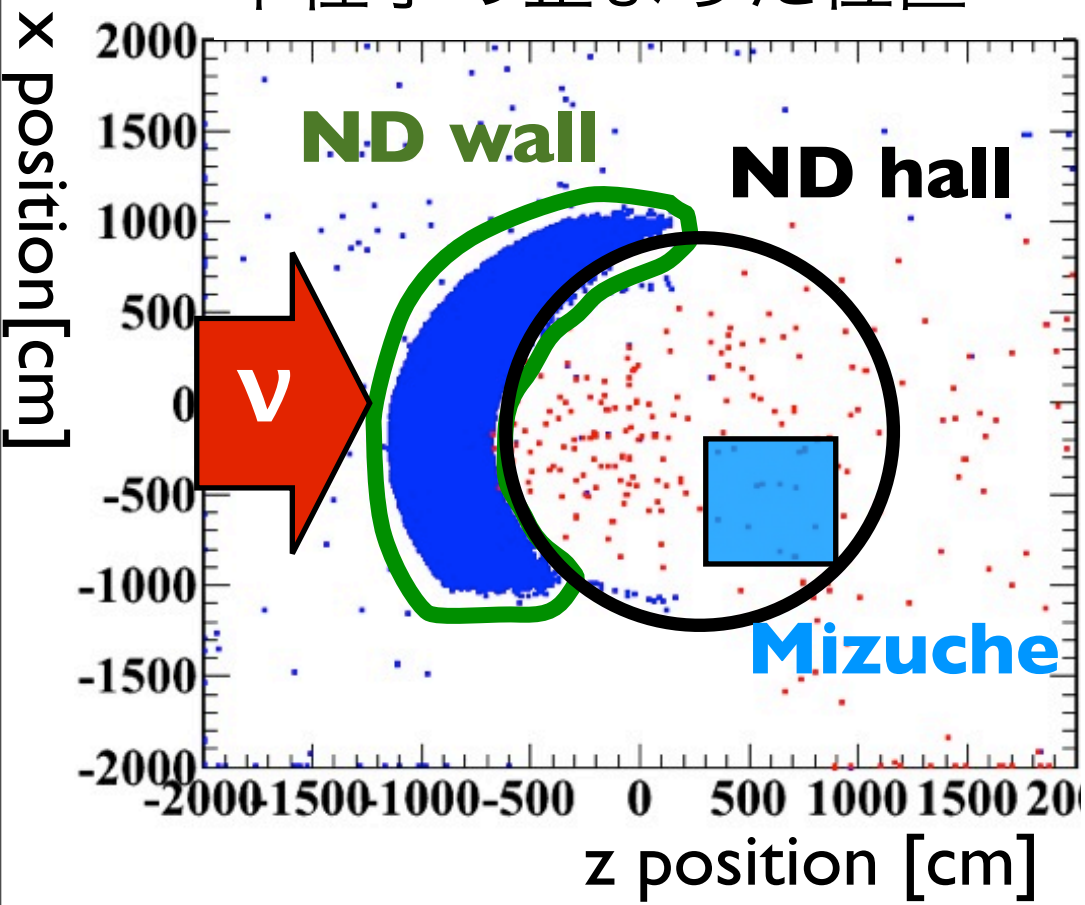




Total p.e. >150のカットなら水ありなしの差を取ればキャンセルできる.

バックグラウンド (N)

中性子の止まった位置



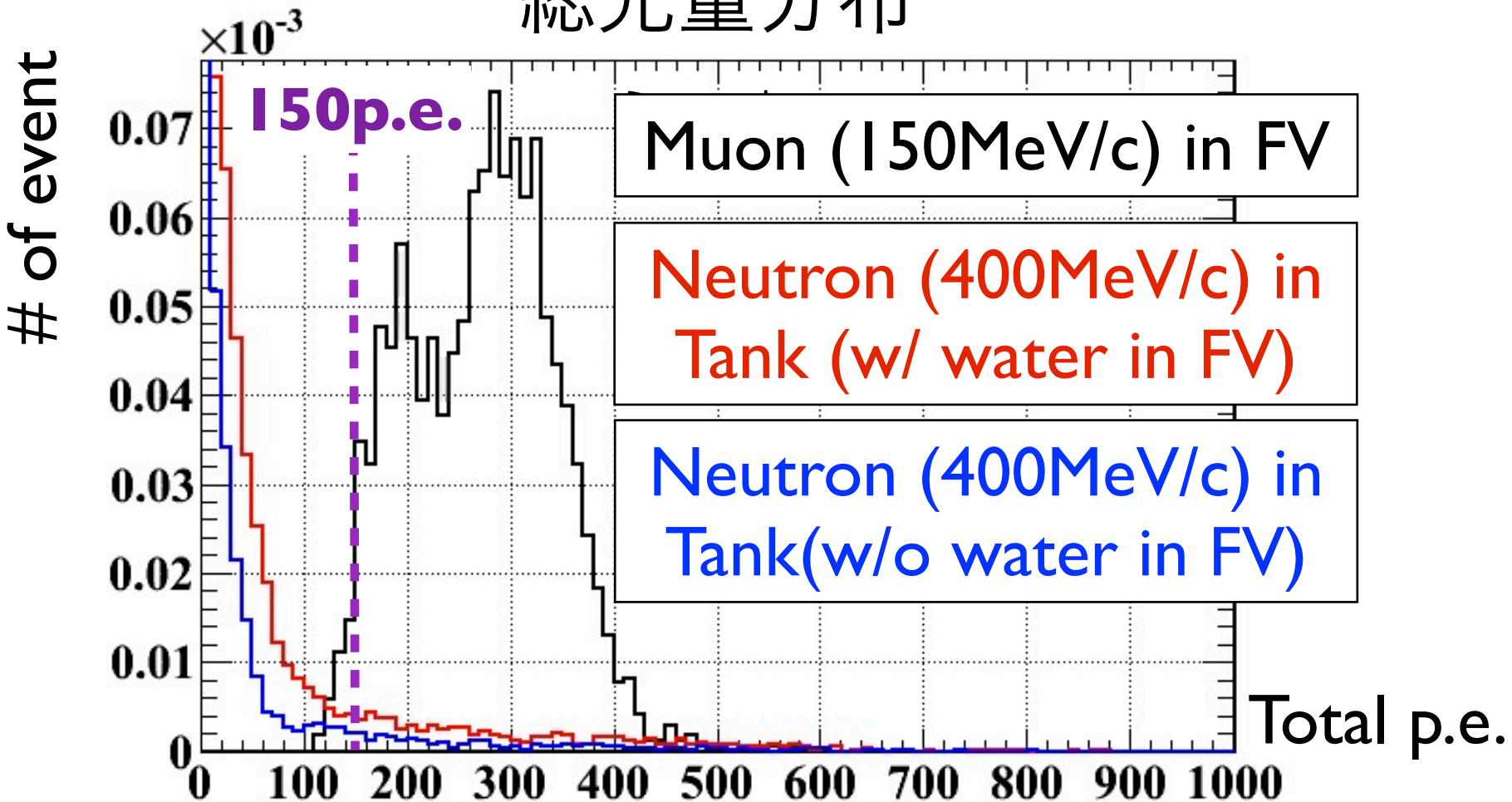
壁でのニュートリノ反応数は

壁の質量から概算.

1. NDホールの壁でのニュートリノ反応をシミュレート、出てくる中性子の内、ホール内に入ってくる数(赤点)を調べる.
2. MCで赤点の平均運動量(400MeV/c)の中性子に対して観測する光量を調べる.
3. MCでFV内で生成したミューオン(150MeV/c)に対して観測する光量を調べる.

バックグラウンド (N)

総光量分布



Total p.e.>150 : (残る中性子数)/(FV内反応の観測数) ~ **4%**

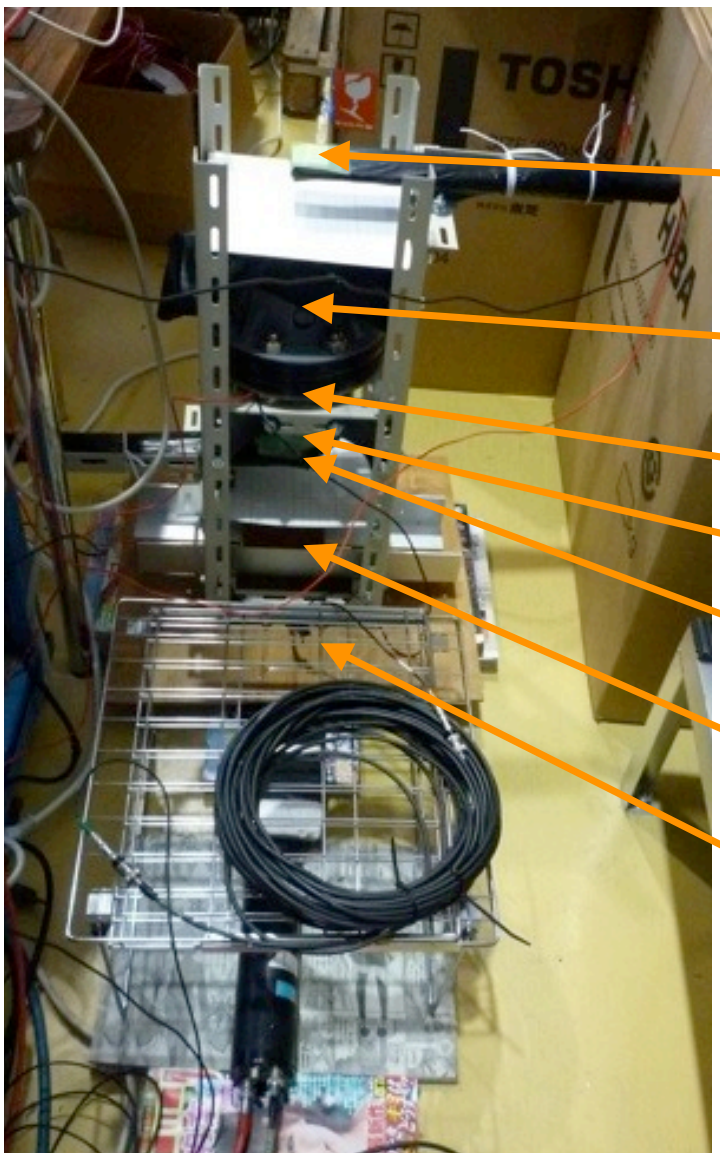
→ 継続してスタディ中

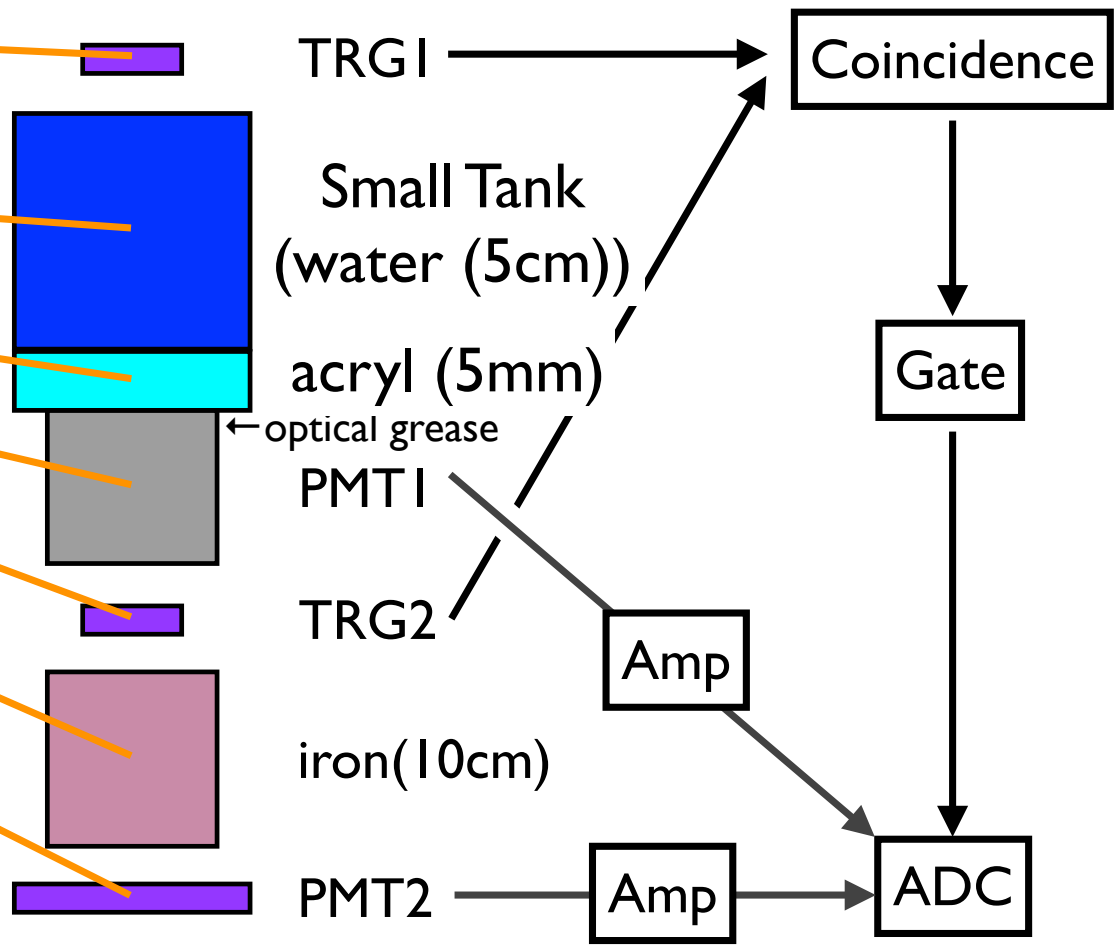
Summary

- 小型水チェレンコフ検出器をT2K実験の前置検出器ホールに設置、振動前のニュートリノをSuper-Kamiokandeと同じ原理を用いることで、振動解析時の系統誤差を抑えることが期待できる.
- タンクのFV内の水を入れた場合と抜いた場合でのニュートリノ観測数の差を取るだけで、FV内での反応数を精度良く見積もることができる.
- バックグラウンドのスタディは今後も継続して行う.

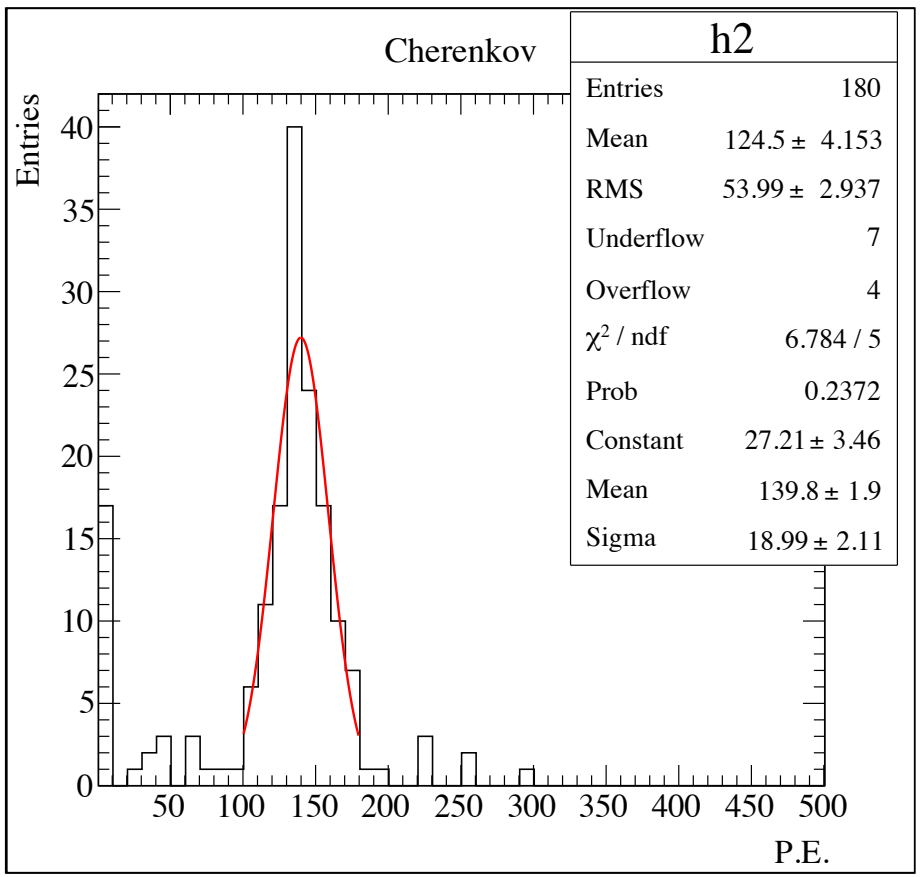
Back up

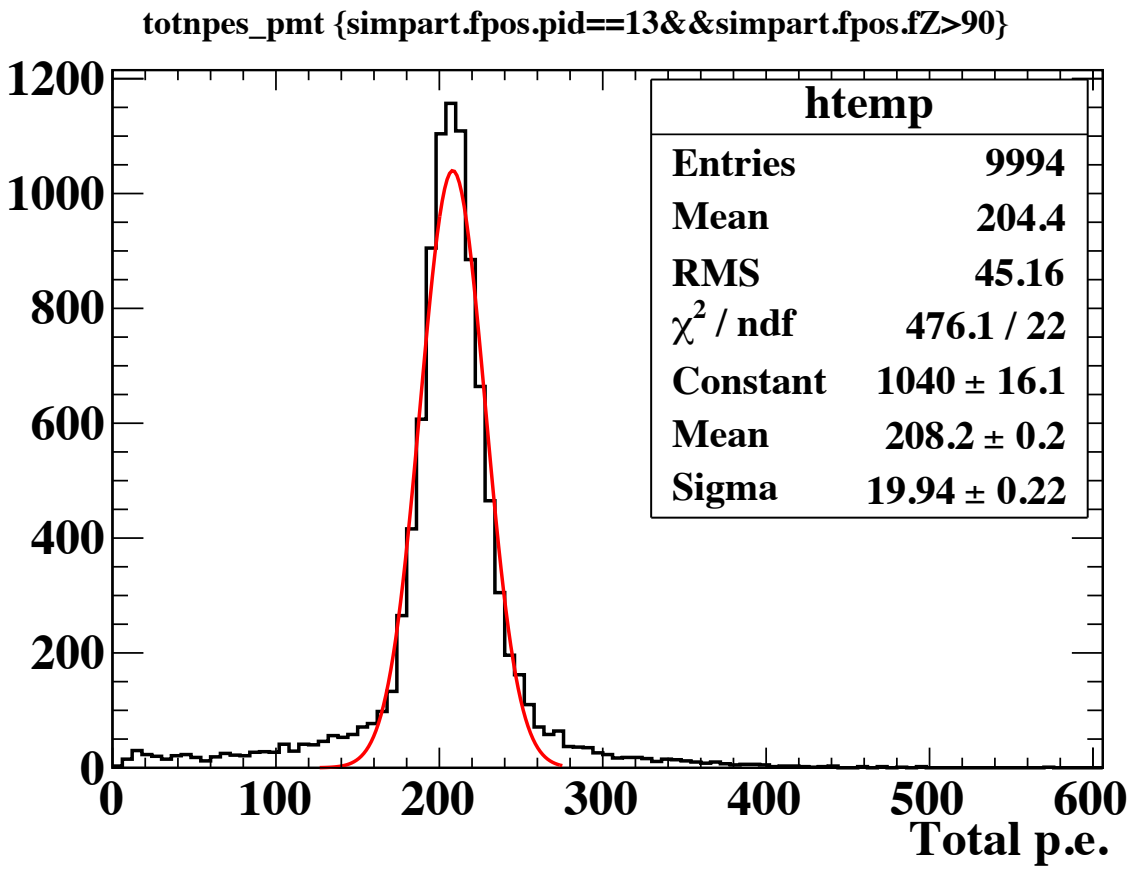
宇宙線測定のセットアップ





宇宙線測定結果





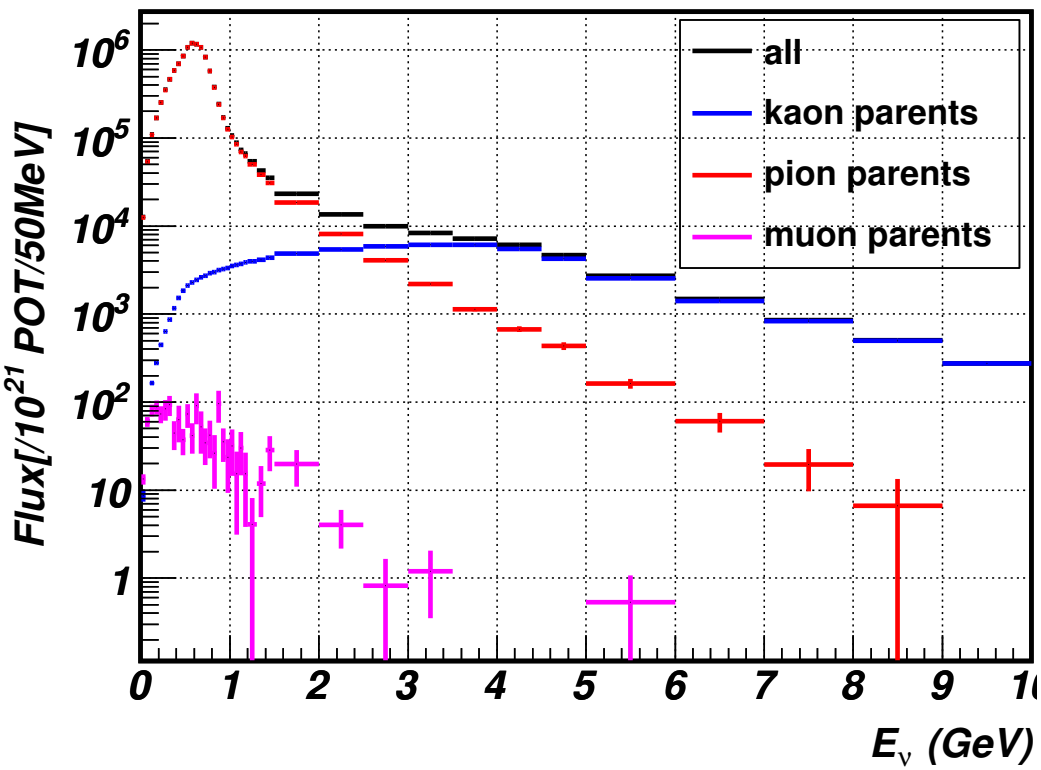
Data(高橋): 140p.e.

MC: 208p.e.

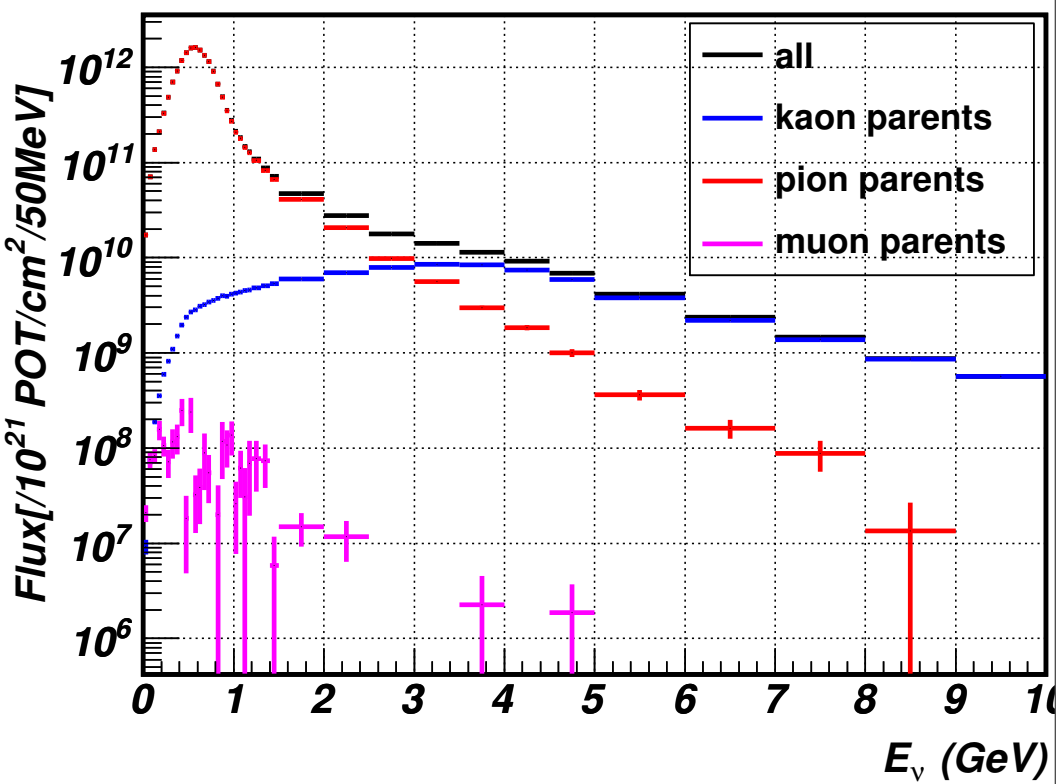
Data/MC ~ 0.67

νμ Energy spectrum @SK, ND

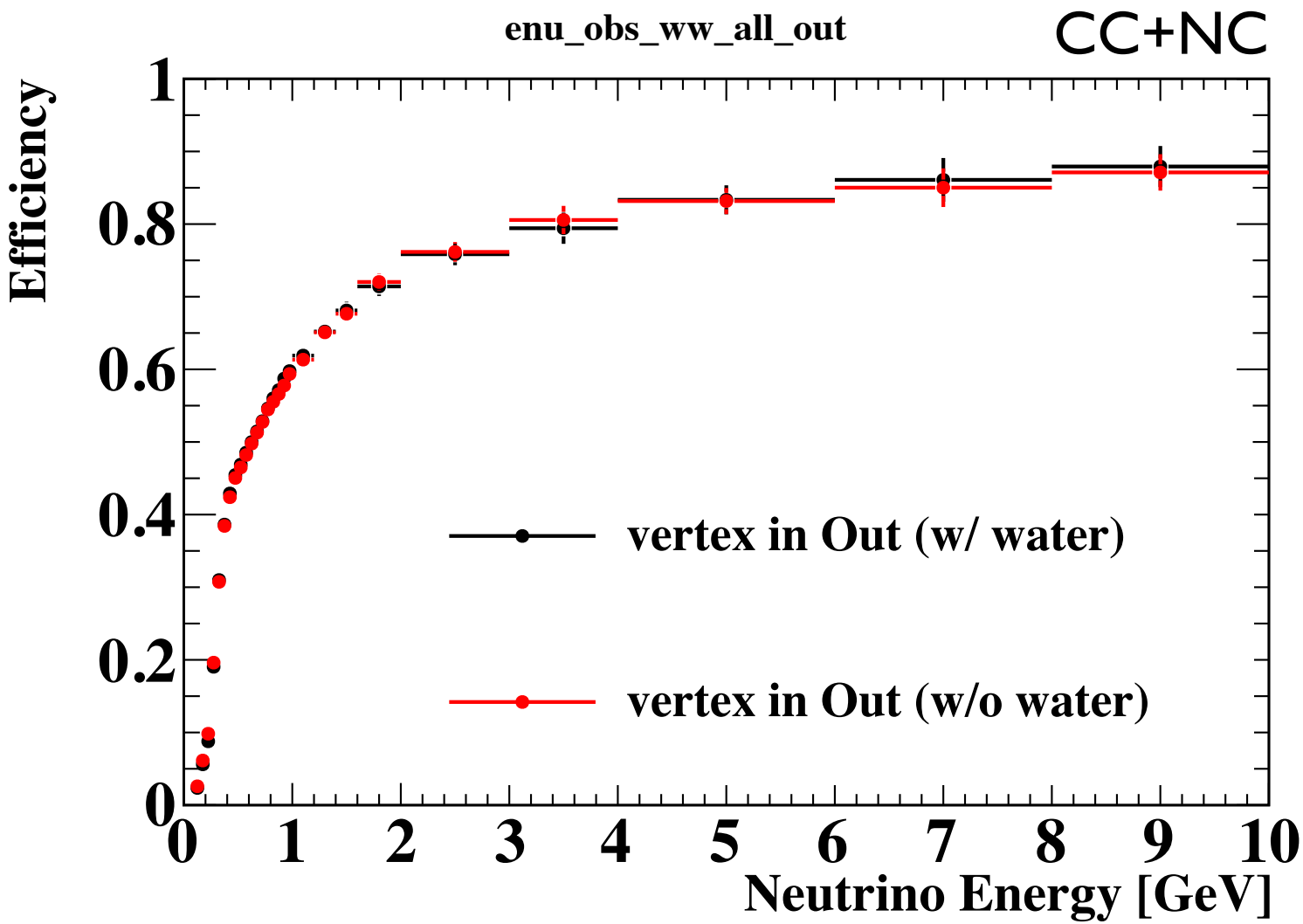
SK: ν_μ



ND OA: ν_μ



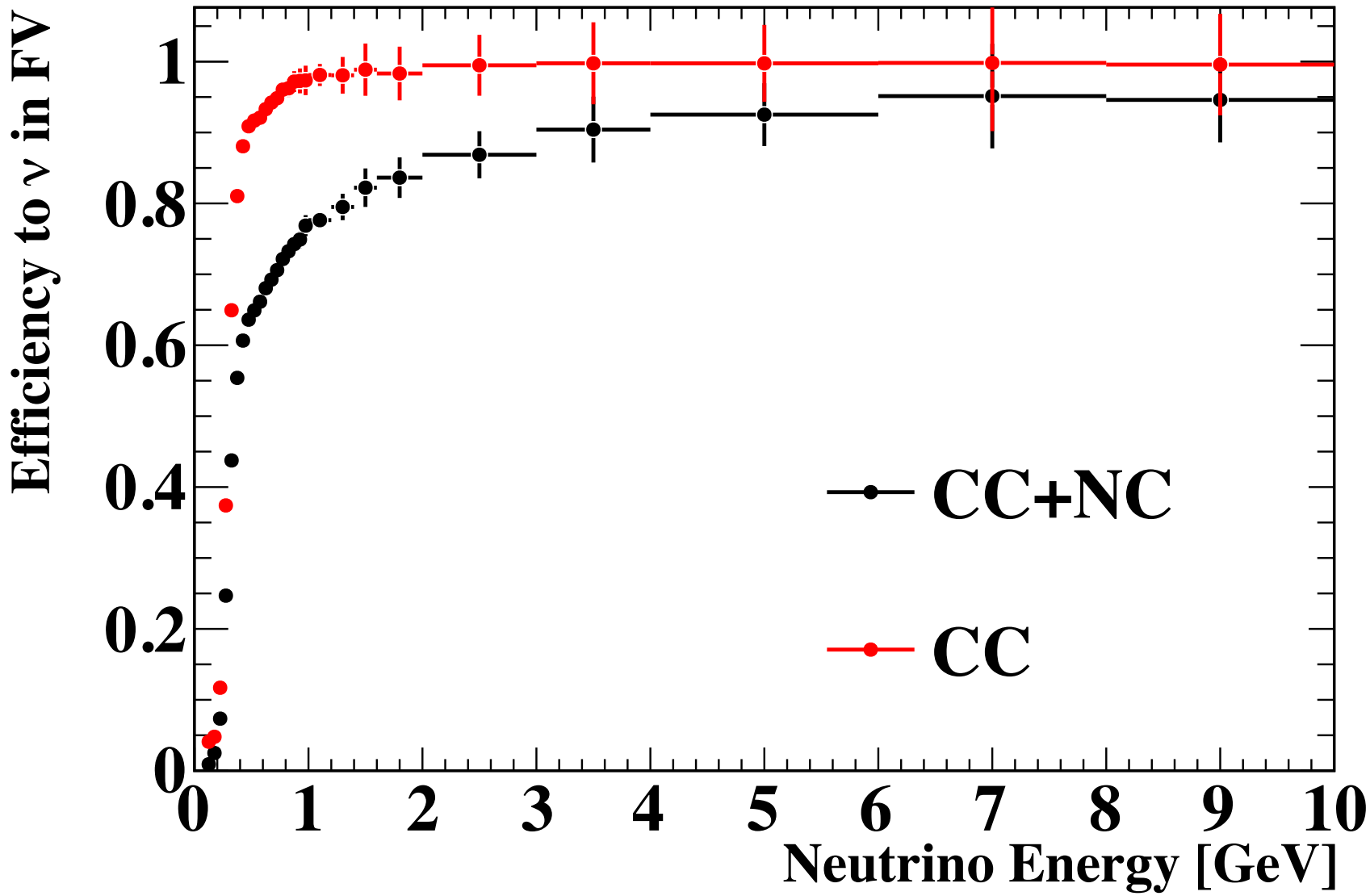
Efficiency (total p.e.>150) to neutrino interacted **in Outer**



Outerでの検出効率は**全エネルギー領域で一致**

→Total p.e.>150 のカットで上手くFVでの反応数を求められる.

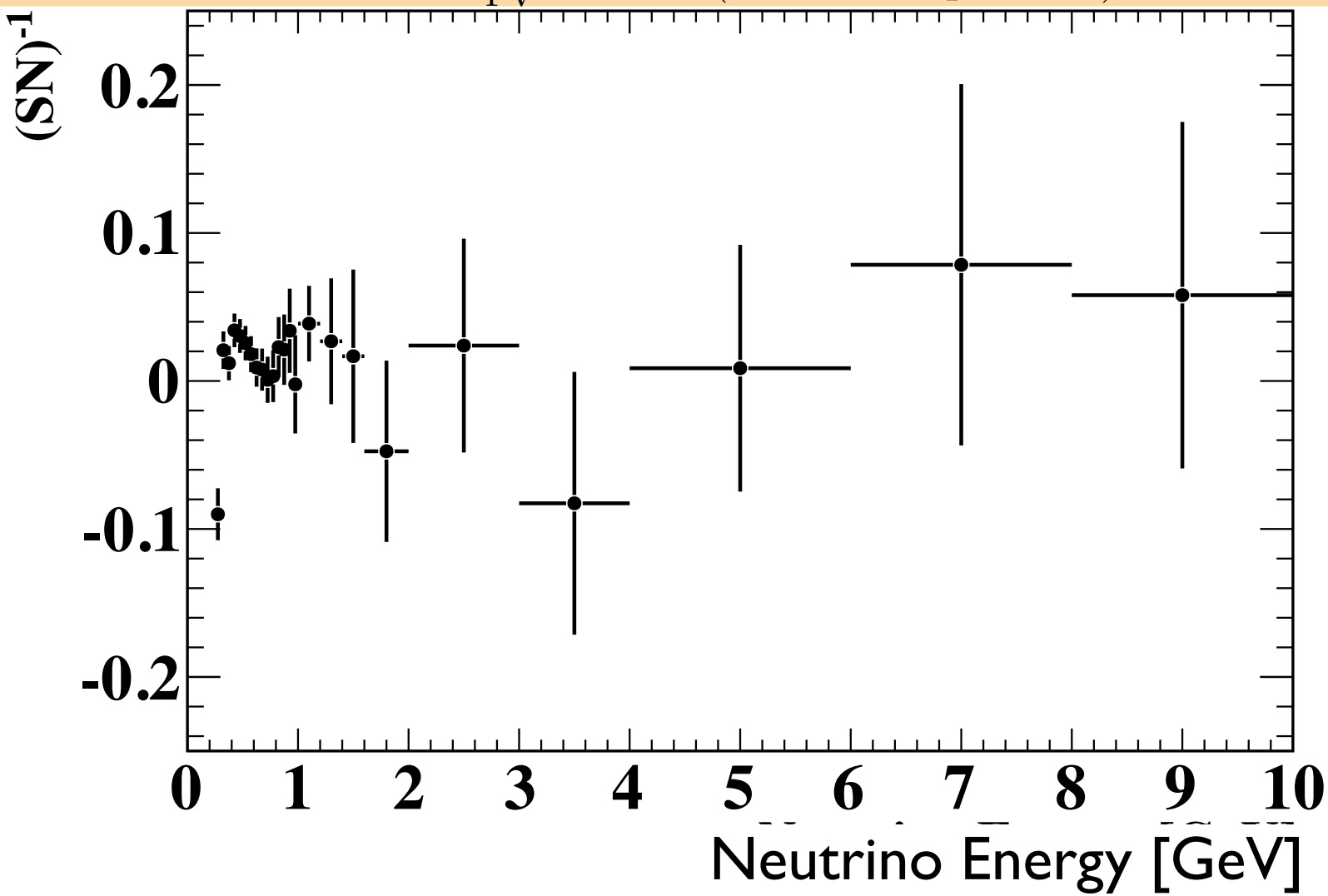
Efficiency (total p.e.>150) to neutrino interacted **in FV**



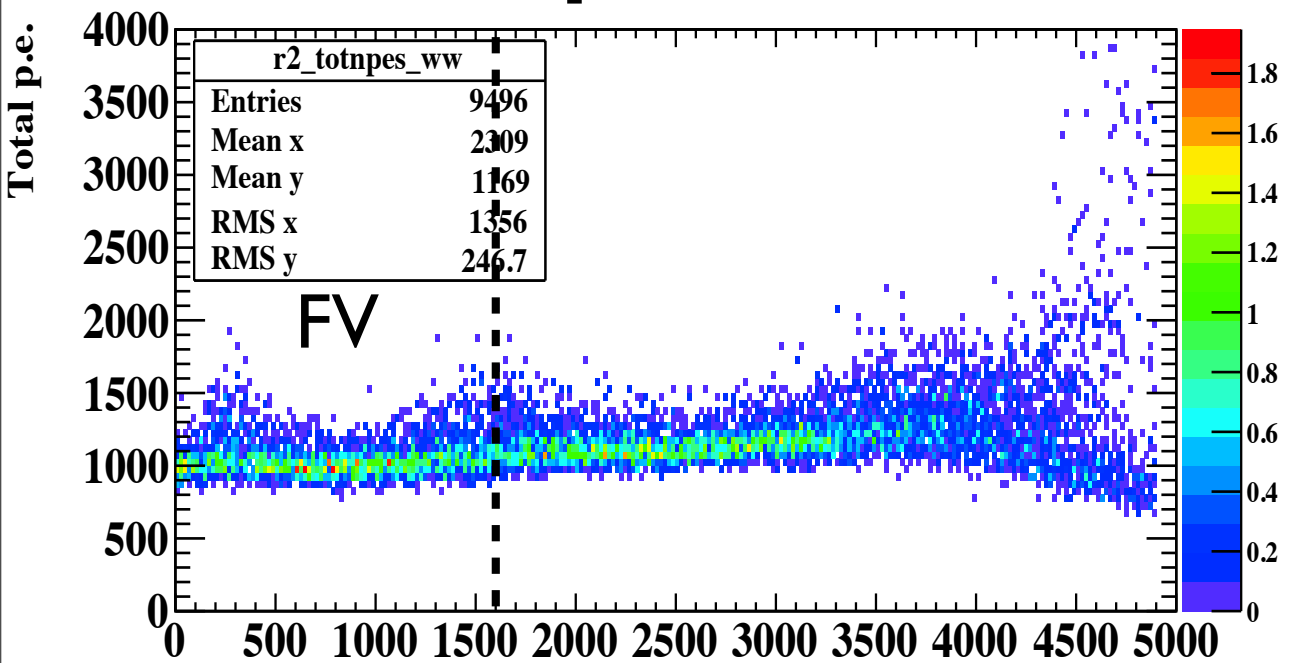
低エネルギー領域から高い検出効率での測定が期待できる.

S/N

$$(S/N)^{-1} = \frac{N_{\mathrm{OV}}^{(\mathrm{w/\ FVwater})}(\text{after total p.e. cut }) - N_{\mathrm{OV}}^{(\mathrm{w/o\ FVwater})}(\text{after total p.e. cut})}{N_{\mathrm{FV}}^{(\mathrm{w/\ FVwater})}(\text{after total p.e. cut})}$$

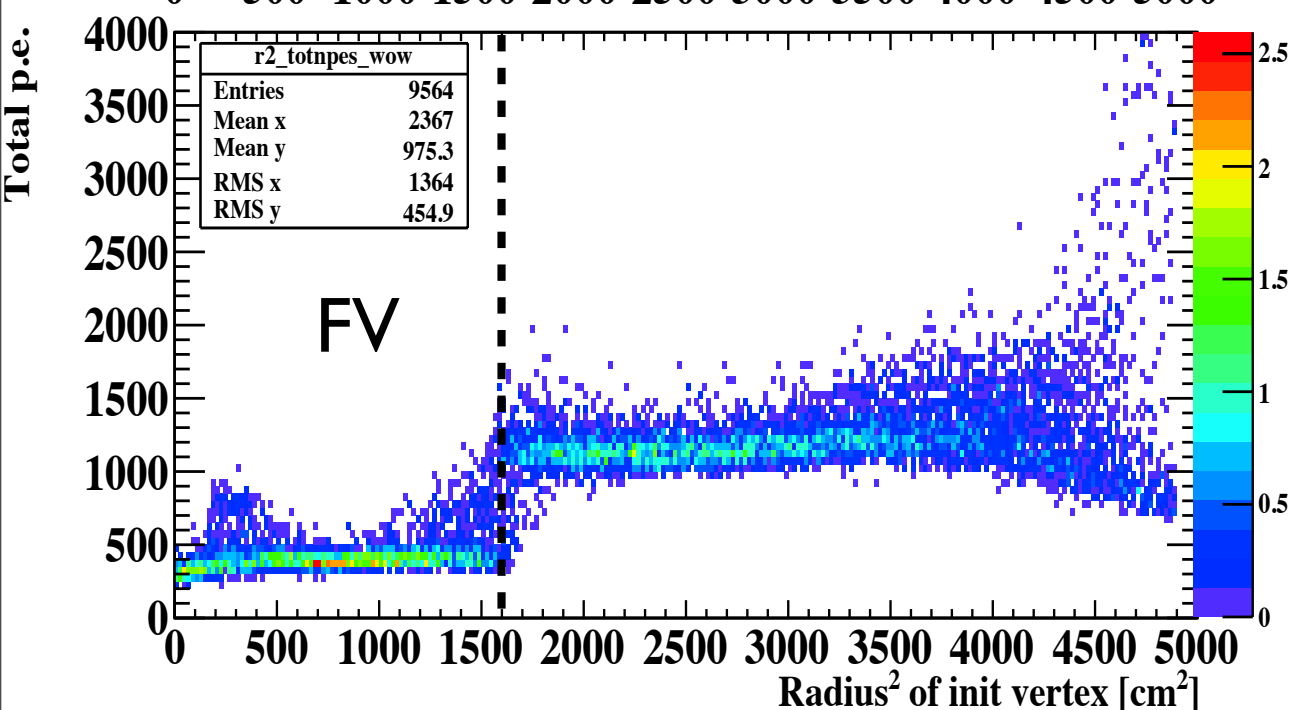


μ from outside



Total p.e. vs (Radius)^2

w/ water in FV



w/o water in FV