

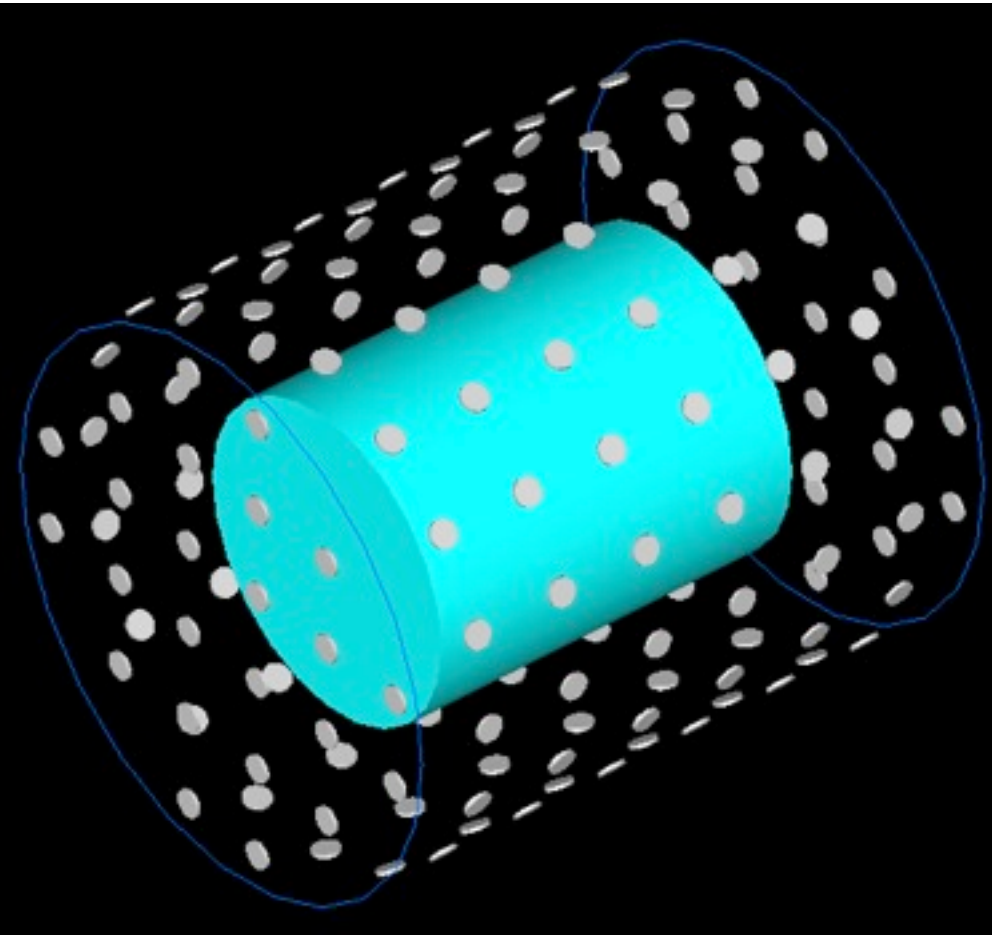
Mizuche MC work log

A.Murakami

Contents

- タンク内のFV
- Change Physics list
- Neutron back ground

タンク内のFV



- $\Phi=80\text{cm}$, z length = 1m
- 中身：水か空気
 - 水：タンクと同じ
 - 空気：屈折率を入力
- 今はアクリルによる仕切りはなし

```
G4double X_RINDEX_AIR2[N_RINDEX_AIR2] = {2.*1E-9*GeV,5.*1E-9*GeV};
```

```
// Wavelength in nanometers
```

```
G4double RINDEX_AIR2[N_RINDEX_AIR2] = {1.0003, 1.0003};
```

```
G4MaterialPropertiesTable *MPT_Air2 = new G4MaterialPropertiesTable();
```

```
MPT_Air2->AddProperty("RINDEX", X_RINDEX_AIR2, RINDEX_AIR2, N_RINDEX_AIR2);
```

```
Air2->SetMaterialPropertiesTable(MPT_Air2);
```

Change Physics list

- 壁からの中性子によるタンク内の振る舞いを調べたい。
- しかし、今のPhysics model(T2KWCPHysicsList)にはハドロンに関する反応は含まれていない。
- とりあえず、自分で適当に入れてみた。
 - が、反応途中でループしてしまう。何かが足りない様子。
- GEANT4で用意されているPhysics model package, QGSPに今使用しているチェレンコフプロセスをくっつけることに(→ T2KWCPHysicsListCustom)。
- QGSPはよく使用されるpackage. SciBooNEでも使用。
- チェレンコフプロセスは、今まで使用していたPhysic modelの中から、Cerenkov process(for all charged particle), Absorption, RayleighScattering, Boundary (for optical photon) process の部分だけを取ってきたもの。

T2KWCPhysicsCustomList

```
// EM Physics
this->RegisterPhysics( new G4EmStandardPhysics(ver));

// Synchrotron Radiation & GN Physics
this->RegisterPhysics( new G4EmExtraPhysics("extra EM"));

// Decays
this->RegisterPhysics( new G4DecayPhysics("decay",ver) );

// Hadron Elastic scattering
this-> RegisterPhysics( new G4HadronElasticPhysics("elastic",ver,false));

// Hadron Physics
G4bool quasiElastic;
this->RegisterPhysics( new HadronPhysicsQGSP("hadron",quasiElastic=true));

// Stopping Physics
this->RegisterPhysics( new G4QStoppingPhysics("stopping"));

// Ion Physics
this->RegisterPhysics( new G4IonPhysics("ion"));

// Neutron tracking cut
this->RegisterPhysics( new G4NeutronTrackingCut("Neutron tracking cut", ver));
```

QGSPのコピー

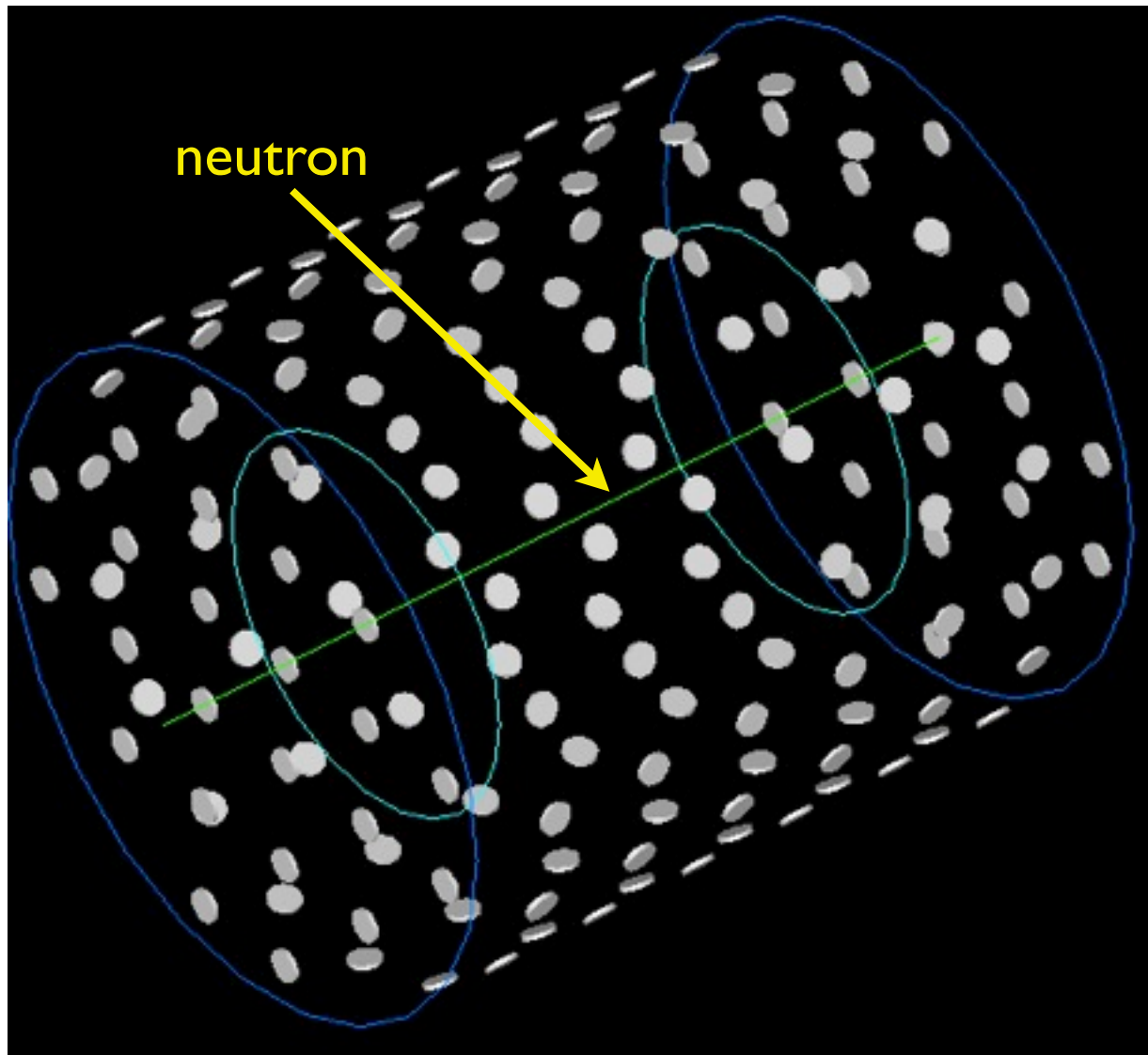
```
// Cerenkov
this->RegisterPhysics( new T2KWCOpPhysics());
```

チェレンコフプロセス

MC process

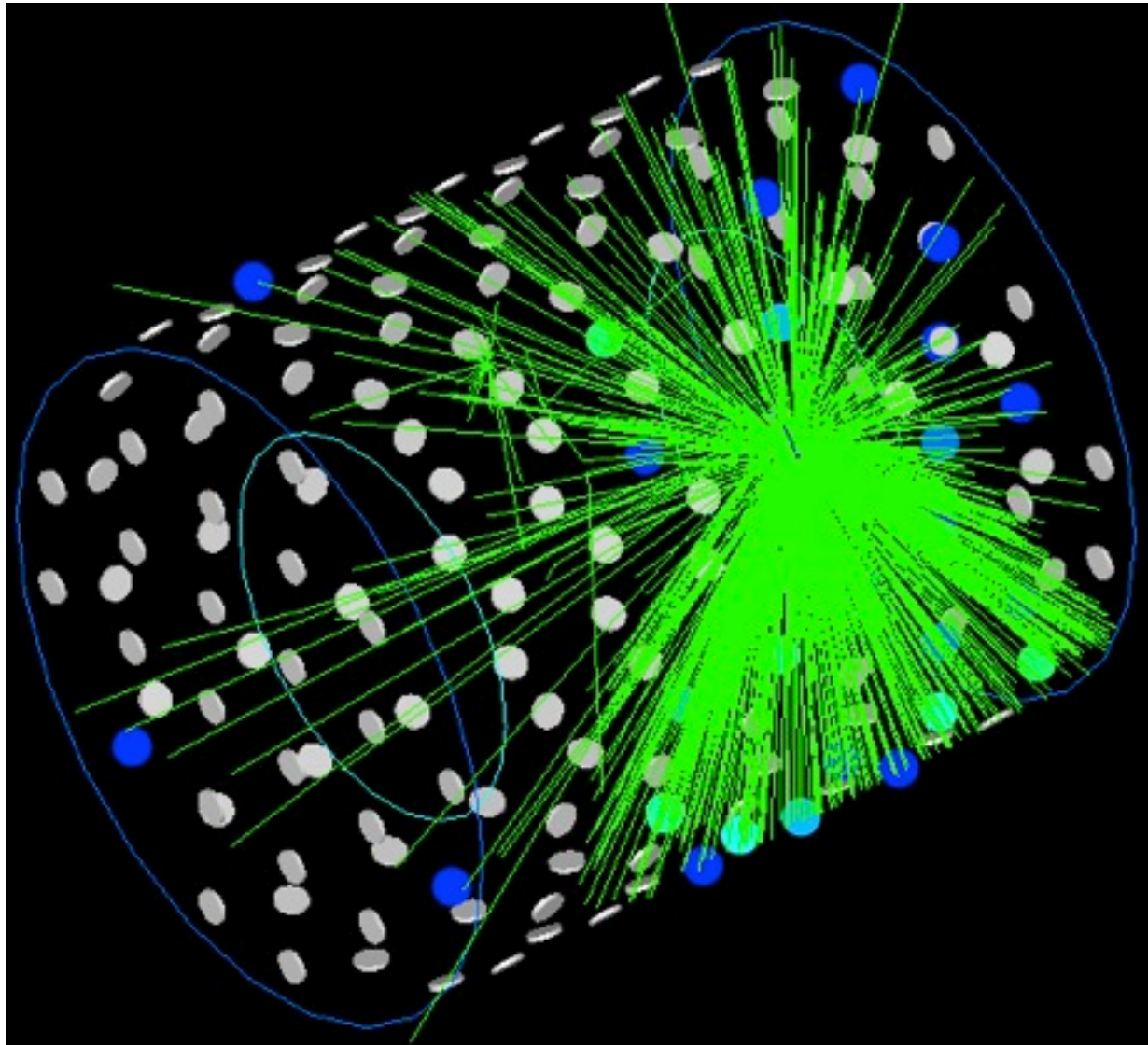
- 新しい Physics model で欲しいプロセスが起こるか。
 - Default model (T2KWCPHysicslist) → 中性子スルー.
 - QGSP model → 中性子が反応するも、チェレンコフはない.
 - Custom model (QGSP + Cerenkov) → ハドロン反応で生成された荷電粒子によってチェレンコフ発生を確認.
- 次に、二つのPhysics model (Default model, Custom model) に対して、同様の設定でMCを振った際の生成光子数を比べる。

Event display (Default model)



Neutron :
Kinetic energy = 433MeV
vertex = (0,0,-90cm)
= タンクの上流10cm
→ Neutron は反応することなく、スルー

Event display (Custom model)



Neutron :

Kinetic energy = 433MeV

vertex = (0,0,-90cm)

= タンクの上流10cm

Hadronicな反応により荷電

粒子が生成

→ チェレンコフ

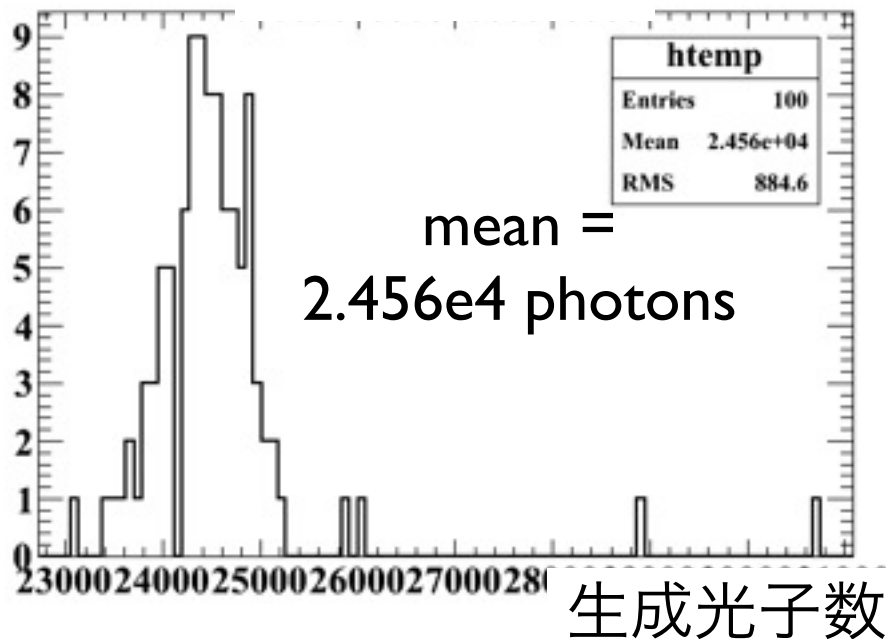
of optical photons
produced in this event : 4901

of photo-electrons
produced in this event : 928
Total # of p.e. into PMTs 69

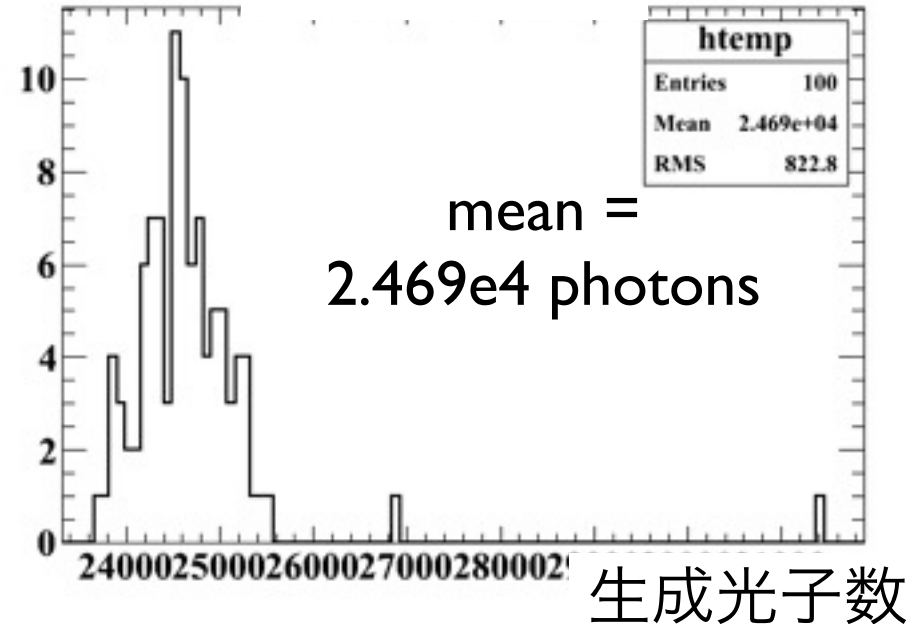
生成光子数

- Muon
- Momentum = (0, 0, 300 MeV/c)
- vertex = the center of Tank
- Geometry : PMTの間隔を 23 → 24cm に変更。
 - 生成光子数としては変化なし。とりあえずこのモデルを使用することに。

Default module



Custom model

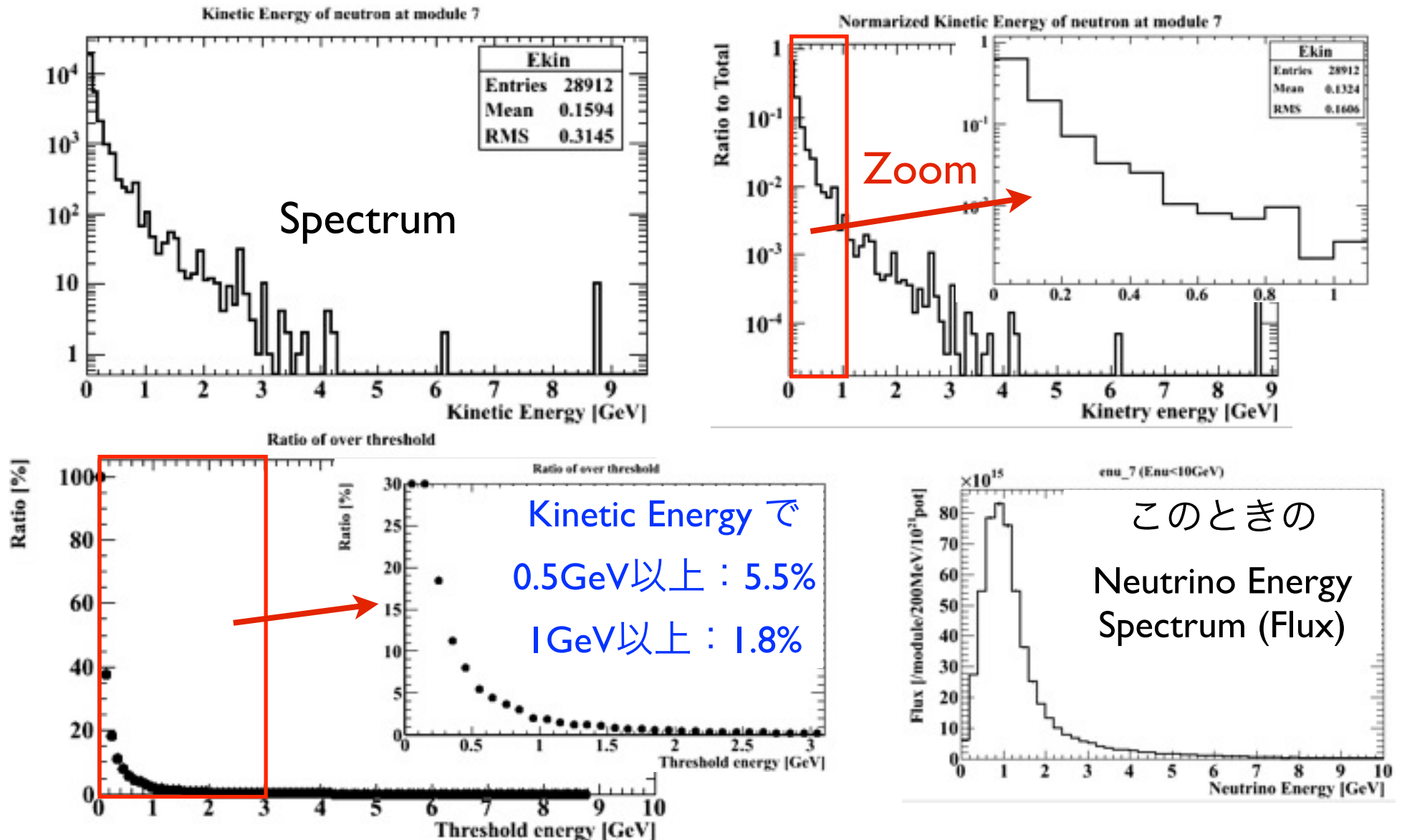


Neutron Back Ground Study

- 壁から来る中性子(壁でのニュートリノ反応)がタンク内で反応した際に、どの程度の光量が出るか。
- 壁でのニュートリノ反応で出てくる中性子のエネルギー：INGRID MC のNEUT file (Target : Fe)を参照。
- FV内に水があるかないかでの違いを見る。

Kinetic energy of Neutron

module 7(vertical module 一番下) でのニュートリノ反応で出てくる中性子の Kinetic Energy とあるKinetic energy 以上の割合



MC setting

- まずは、NeutronのKinetic Energy = 0.5, 1 GeV の際のイベントを確認する。
- MC
 - Neutron, (Kinetic Energy = 0.5 or 1 GeV)
 - Vertex = (0,0,-90cm) = タンク上流10cm, on beam-axis
 - Direction = (0,0,1)
 - Geometry : $\Delta\text{PMT}=24\text{cm}$, タンク側面: 108本, タンク蓋: 24×2本
 - これは高橋くんの設計を元にアップデートする必要あり。

Kinetic Energy = 0.5GeV

プロセスのログの一部を抜きだし。

```
*****
* G4Track Information: Particle = neutron, Track ID = 1, Parent ID = 0
*****
```

Step#	X	Y	Z	KineE	dEStep	StepLeng	TrakLeng	Volume	Process
0	0 fm	0 fm	-90 cm	500 MeV	0 eV	0 fm	0 fm	World	initStep
1	0 fm	0 fm	-80 cm	500 MeV	0 eV	10 cm	10 cm	World	Transportation
2	0 fm	0 fm	-50.7 cm	462 MeV	0 eV	29.3 cm	39.3 cm	Tank	hElastic
3	-808 um	-1.49 mm	-50 cm	462 MeV	0 eV	6.82 mm	40 cm	Tank	Transportation
4	-2.34 cm	-4.31 cm	-31.5 cm	0 eV	0 eV	19.1 cm	59.1 cm	Tank	NeutronInelastic

```
*****
* G4Track Information: Particle = pi0, Track ID = 4, Parent ID = 1
*****
```

Step#	X	Y	Z	KineE	dEStep	StepLeng	TrakLeng	Volume	Process
0	-2.34 cm	-4.31 cm	-31.5 cm	26.2 MeV	0 eV	0 fm	0 fm	Tank	initStep
1	-2.34 cm	-4.31 cm	-31.5 cm	26.2 MeV	0 eV	74.6 nm	74.6 nm	Tank	Decay

```
*****
* G4Track Information: Particle = gamma, Track ID = 2037, Parent ID = 4
*****
```

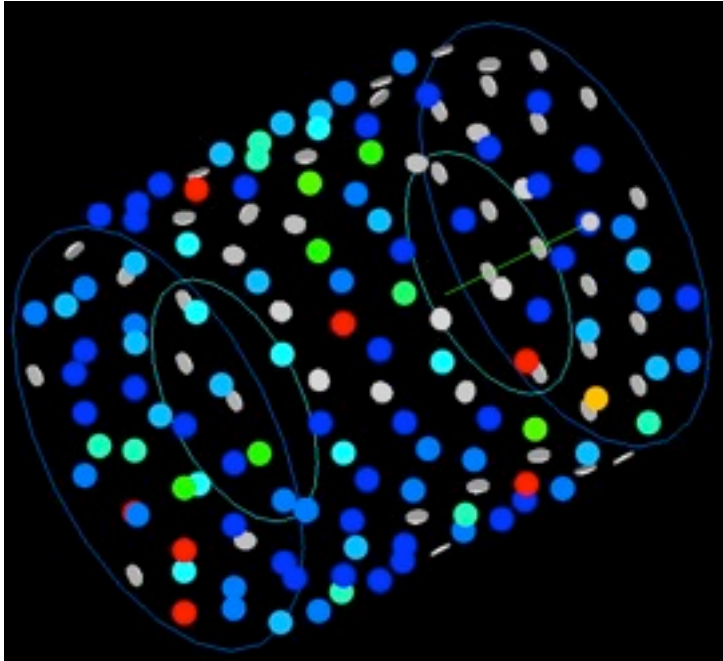
Step#	X	Y	Z	KineE	dEStep	StepLeng	TrakLeng	Volume	Process
0	-2.34 cm	-4.31 cm	-31.5 cm	91.8 MeV	0 eV	0 fm	0 fm	Tank	initStep
1	3.45 cm	11.4 cm	-20.2 cm	0 eV	0 eV	20.2 cm	20.2 cm	Tank	conv

```
*****
* G4Track Information: Particle = e-, Track ID = 2039, Parent ID = 2037
*****
```

Step#	X	Y	Z	KineE	dEStep	StepLeng	TrakLeng	Volume	Process
1	3.57 cm	11.7 cm	-20 cm	87.6 MeV	0 eV	0 fm	4.05 mm	Tank	initStep
2	3.75 cm	12.2 cm	-19.6 cm	81.7 MeV	1 MeV	6.15 mm	1.02 cm	Tank	eloni
3	3.95 cm	12.7 cm	-19.3 cm	80.5 MeV	1.18 MeV	6.53 mm	1.67 cm	Tank	Cerenkov
4	4.16 cm	13.2 cm	-18.9 cm	79.2 MeV	1.34 MeV	6.53 mm	2.33 cm	Tank	Cerenkov

generated photon : 17076, pe:3229,
measured pe : 258

Kinetic Energy = 1 GeV



```
*****
* G4Track Information: Particle = neutron, Track ID = 1, Parent ID = 0
*****
```

Step#	X	Y	Z	KineE	dEStep	StepLeng	TrakLeng	Volume	Process
0	0 fm	0 fm	-90 cm	1e+03 MeV	0 eV	0 fm	0 fm	World	initStep
1	0 fm	0 fm	-80 cm	1e+03 MeV	0 eV	10 cm	10 cm	World	Transportation
2	0 fm	0 fm	-50 cm	1e+03 MeV	0 eV	30 cm	40 cm	Tank	Transportation
3	0 fm	0 fm	-32.9 cm	0 eV	0 eV	17.1 cm	57.1 cm	Tank	NeutronInelastic

```
*****
* G4Track Information: Particle = neutron, Track ID = 16, Parent ID = 1
*****
```

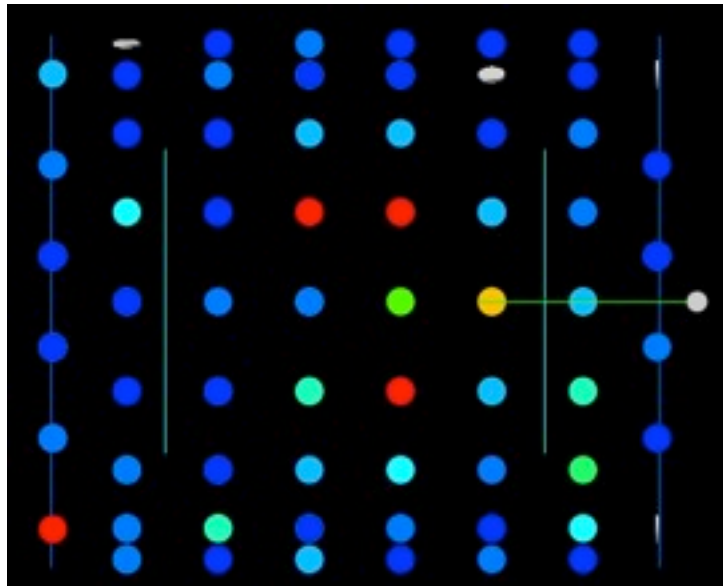
Step#	X	Y	Z	KineE	dEStep	StepLeng	TrakLeng	Volume	Process
0	0 fm	0 fm	-32.9 cm	68.6 MeV	0 eV	0 fm	0 fm	Tank	initStep
1	-3.95 cm	-2.37 mm	-17.1 cm	0 eV	0 eV	16.3 cm	16.3 cm	Tank	NeutronInelastic

```
*****
* G4Track Information: Particle = gamma, Track ID = 18, Parent ID = 16
*****
```

Step#	X	Y	Z	KineE	dEStep	StepLeng	TrakLeng	Volume	Process
0	-3.95 cm	-2.37 mm	-17.1 cm	49.7 MeV	0 eV	0 fm	0 fm	Tank	initStep
1	-6.52 cm	-1.3 cm	-15.5 cm	2.83 MeV	0 eV	3.18 cm	3.18 cm	Tank	compt

```
*****
* G4Track Information: Particle = e-, Track ID = 19, Parent ID = 18
*****
```

Step#	X	Y	Z	KineE	dEStep	StepLeng	TrakLeng	Volume	Process
0	-6.52 cm	-1.3 cm	-15.5 cm	46.8 MeV	0 eV	0 fm	0 fm	Tank	initStep
1	-7.06 cm	-1.49 cm	-15.2 cm	45.8 MeV	1.05 MeV	6.53 mm	6.53 mm	Tank	Cerenkov



generated photon :36804, pe:7108,
measured pe :521

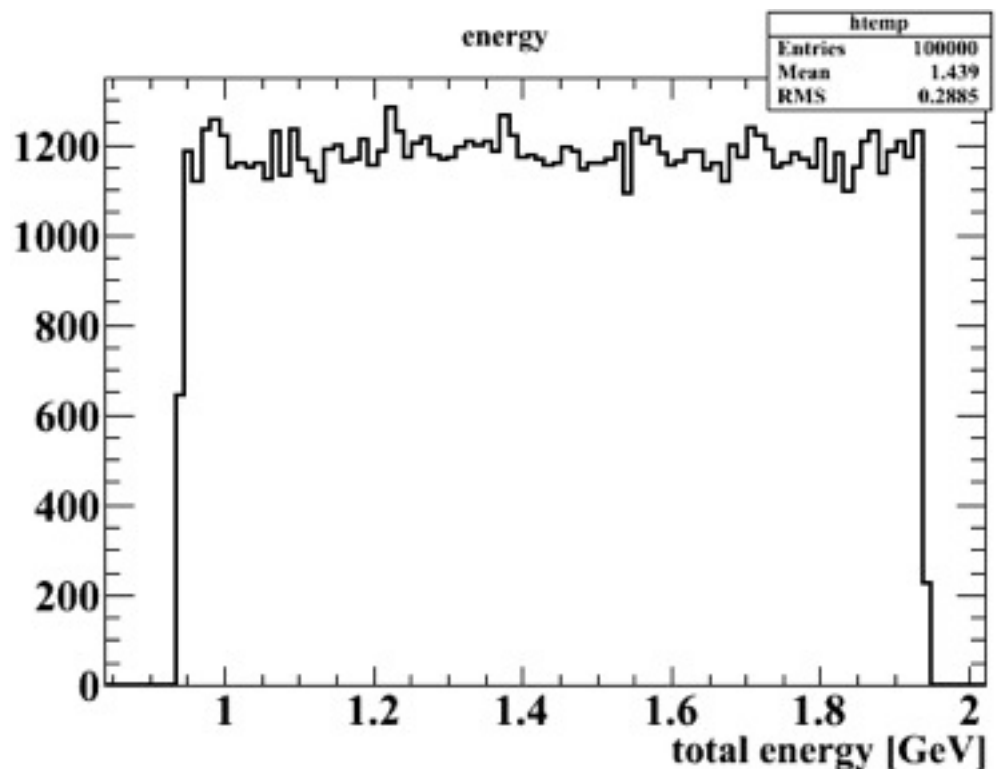
- 主に、電子によってチェレンコフ光が発生。陽子によるチェレンコフ光はよほどの高エネルギーの中性子でないと、ほとんどない(少なくとも1 GeV neutron ではあまり見られなかった).
- 次に、Neutron の Kinetic Energy を 0 ~ 1 GeV の範囲で一様に乱数をふって決め、どの程度の光量が観測されるかを見る。

Vertex = (0,0,-90cm)

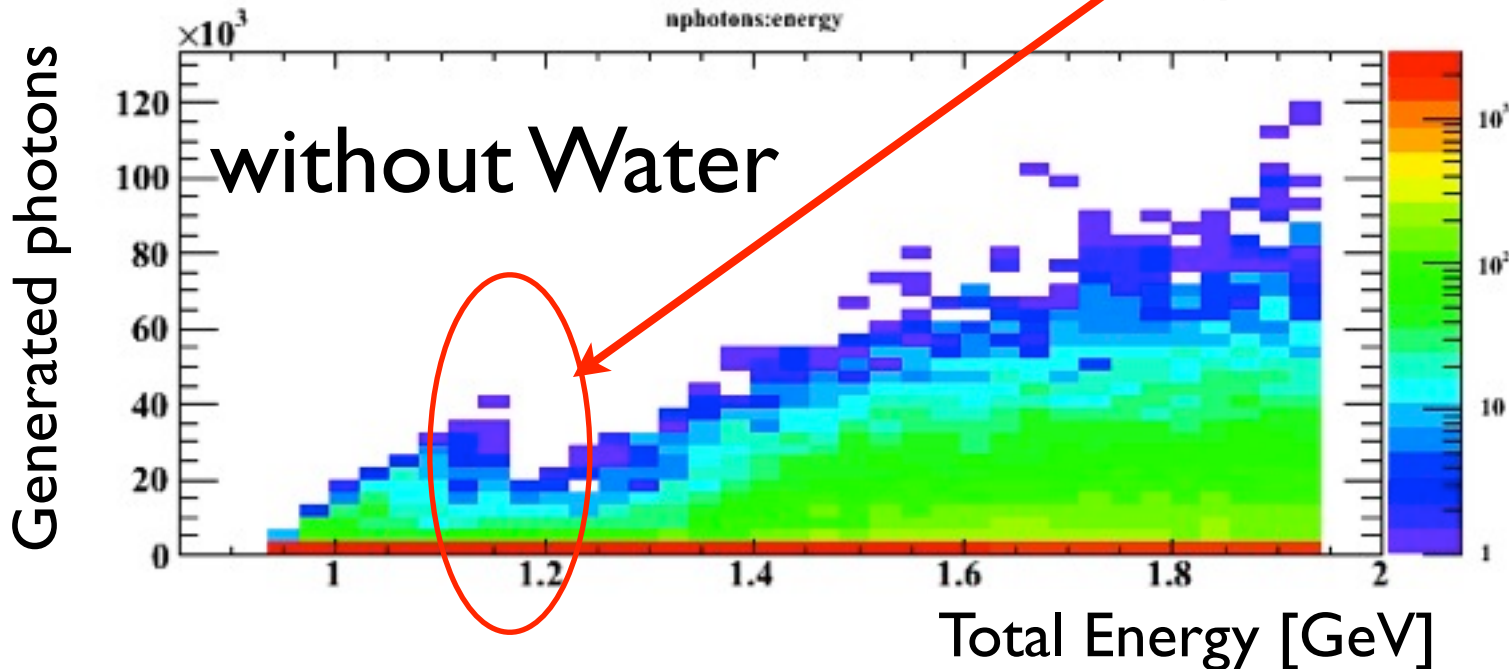
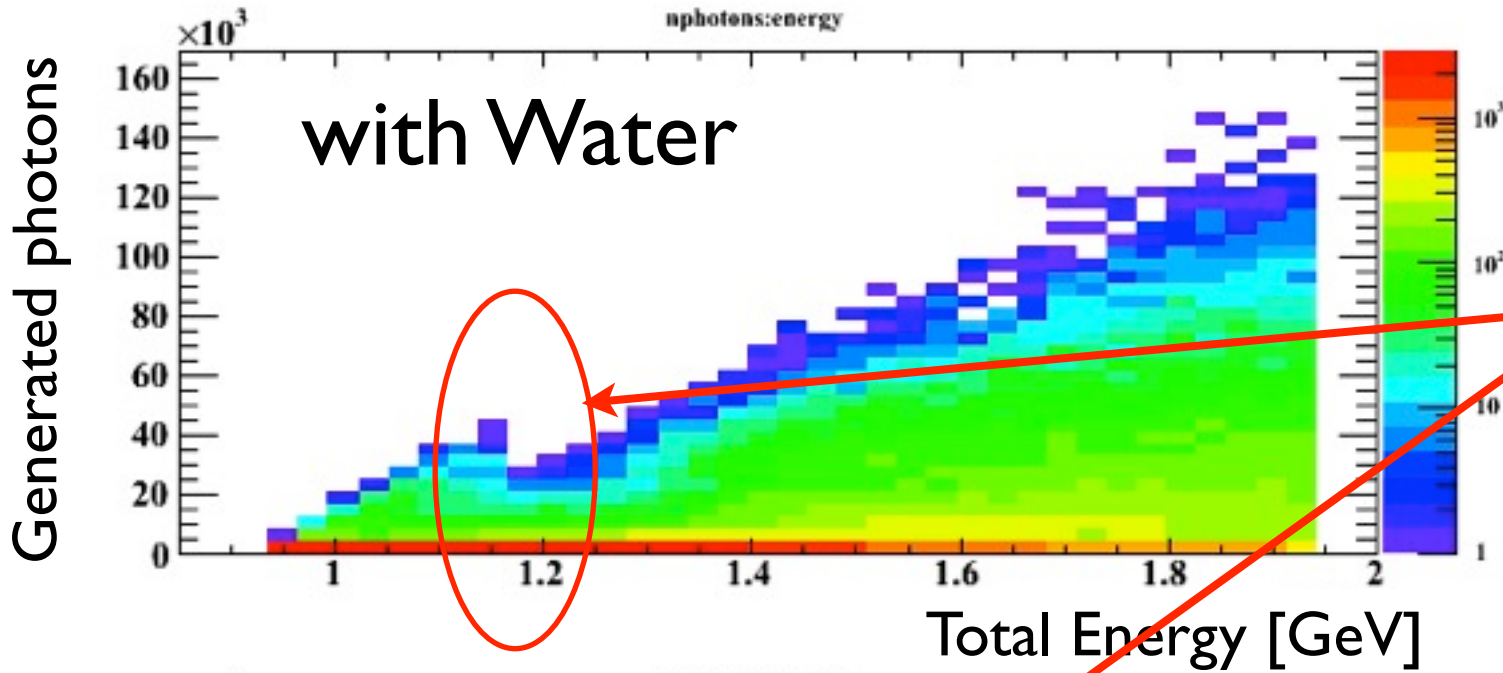
Direction = (0,0,1)

MC Statistics = 1e4 particles × 10
file = 1e5 particles

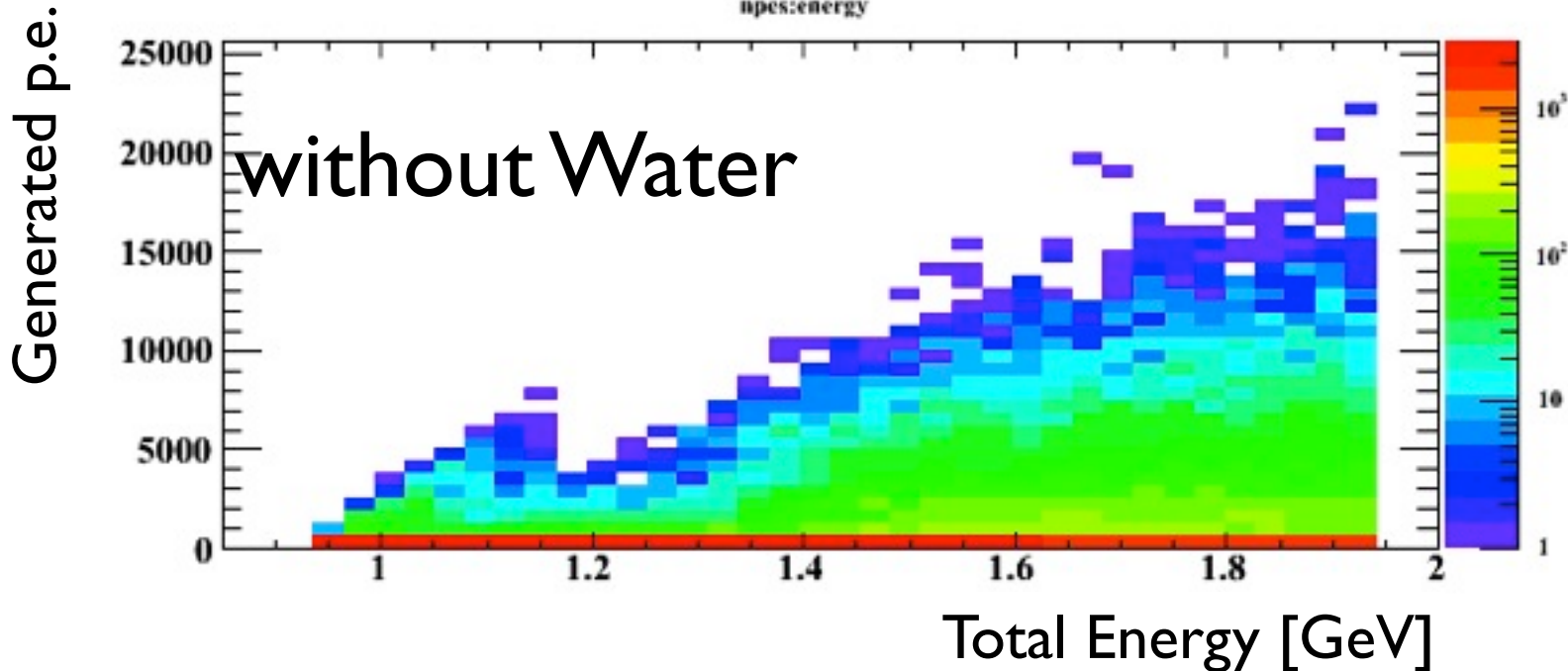
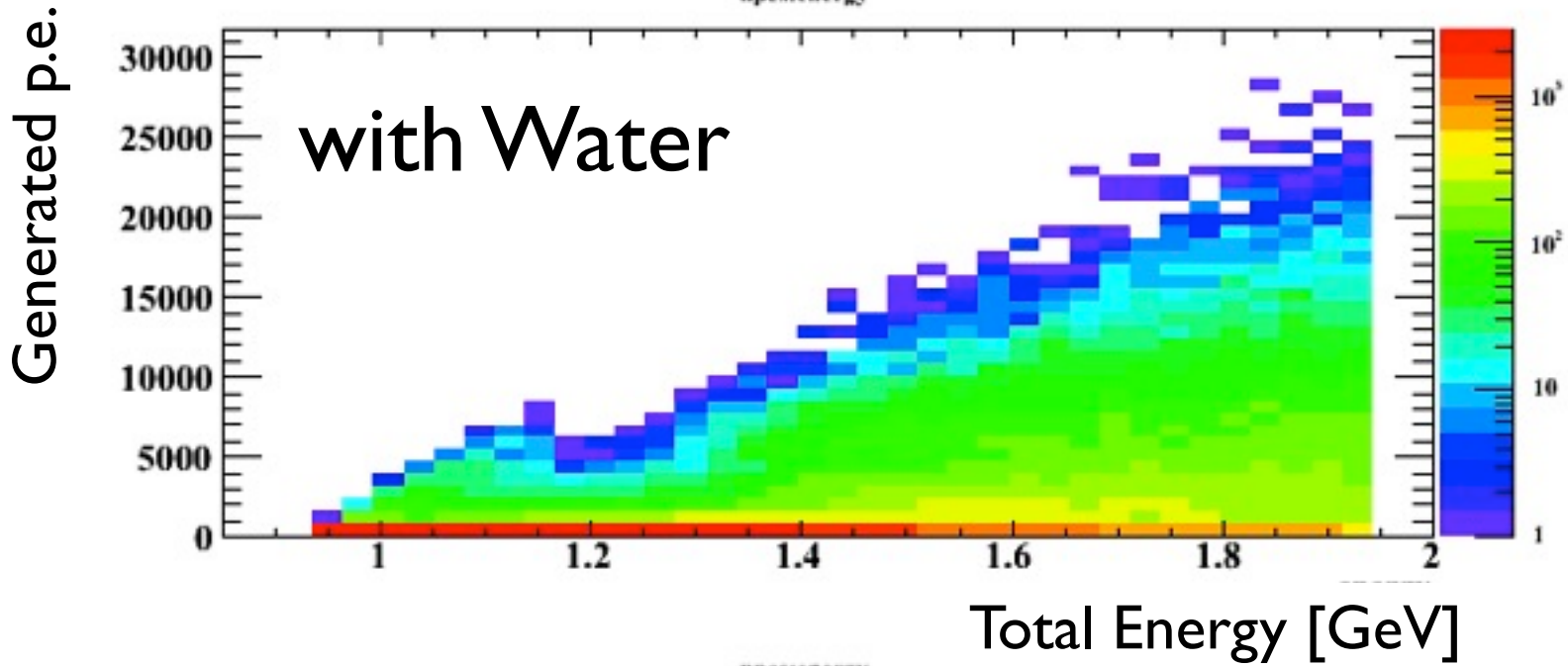
FV内の水ありの場合と、なしの場合の二通りの結果を並べる。



Generated photons



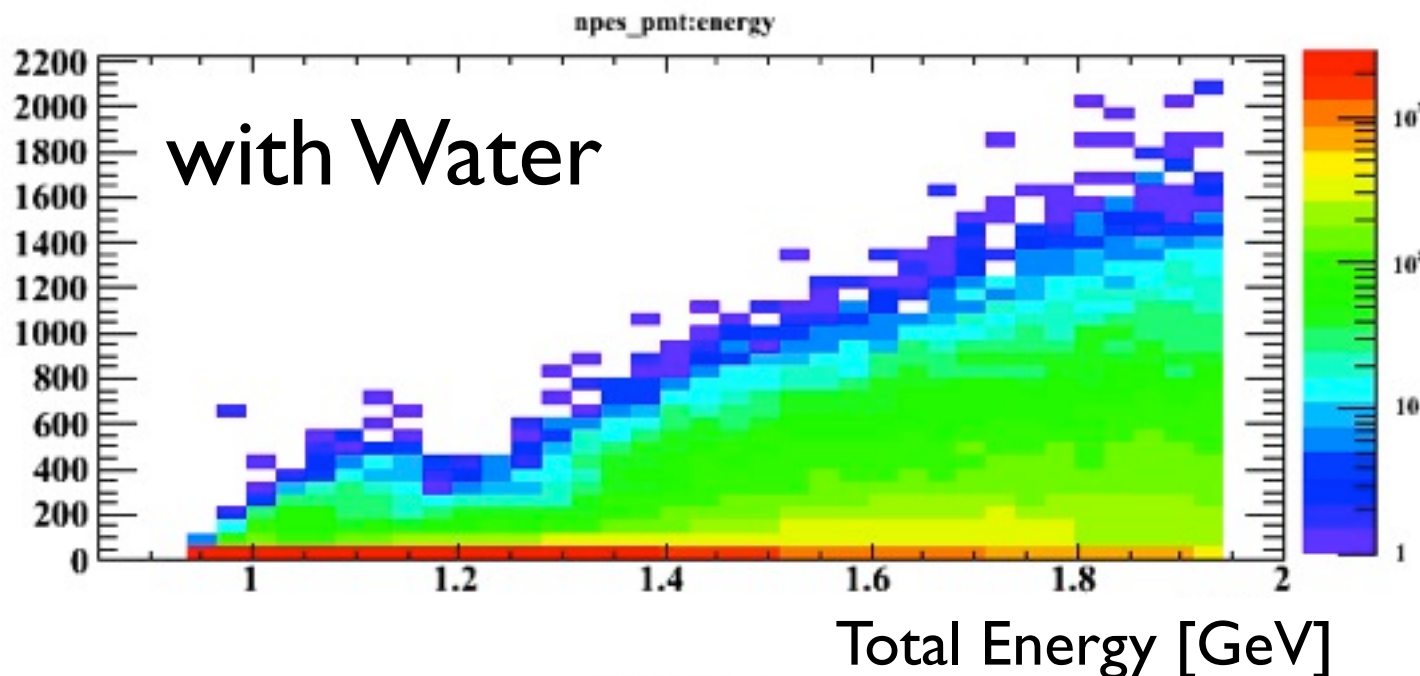
Generated p.e.



Total measured p.e.

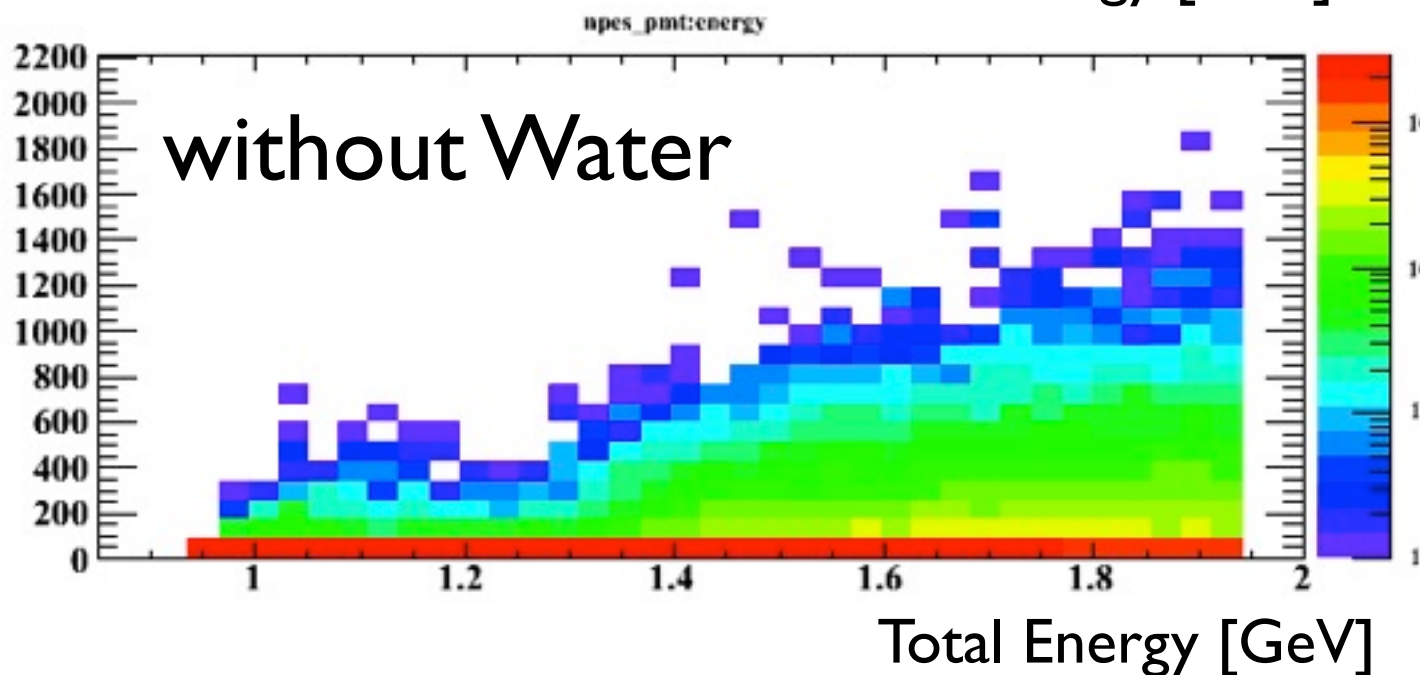
total measured p.e.

total measured p.e.

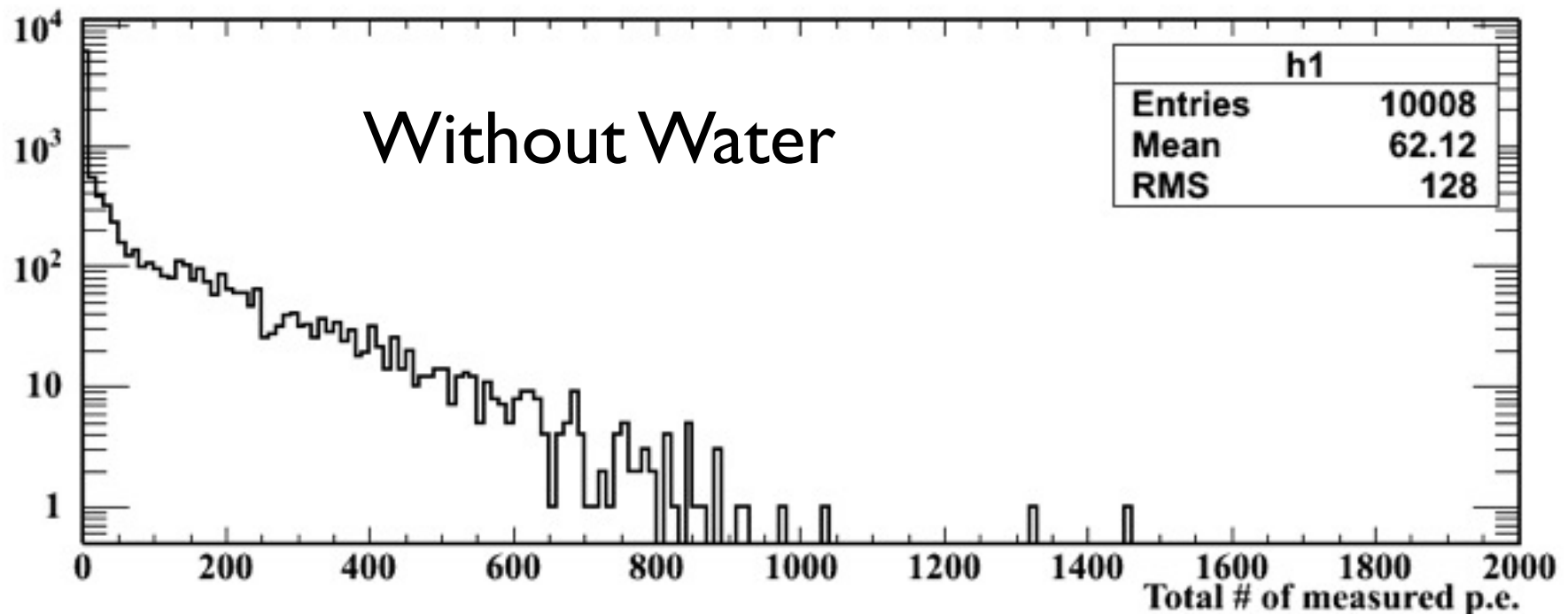
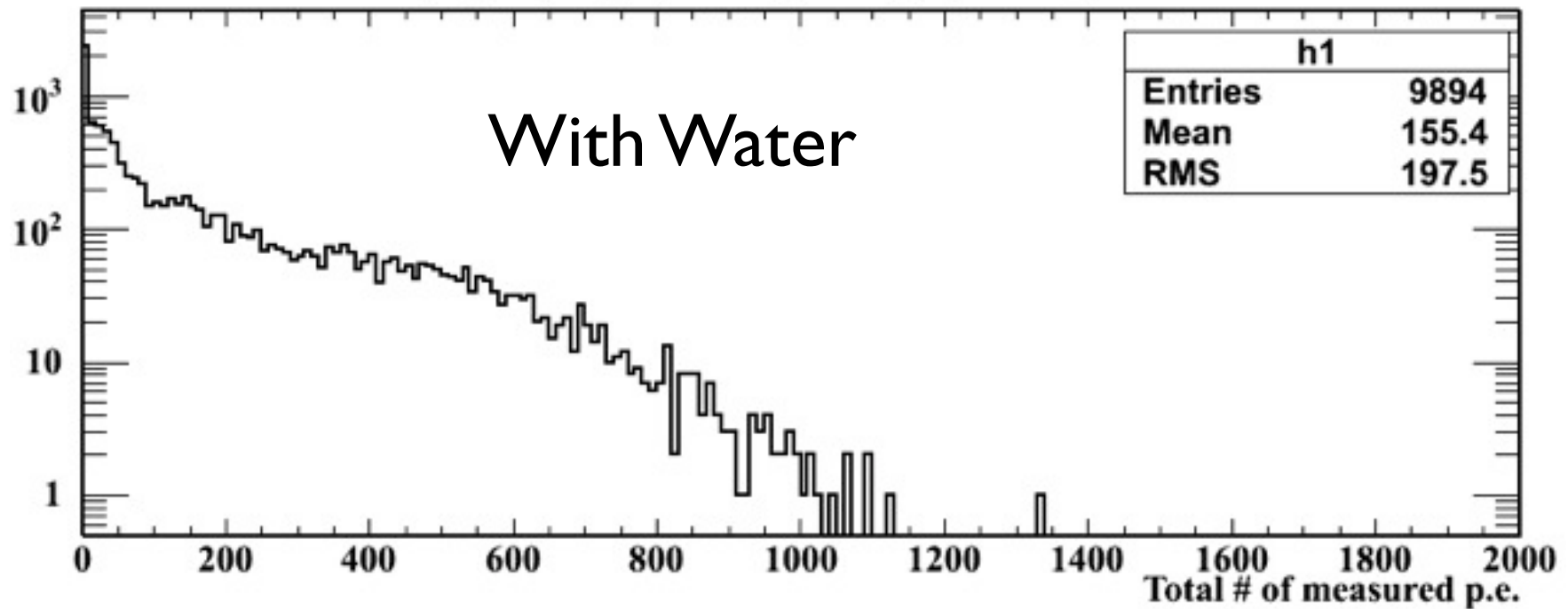


全PMTで捉えた
p.e.の総光電子

「2 p.e. 以上の光電
子を観測したPMT」
といったカットは
かけていない。

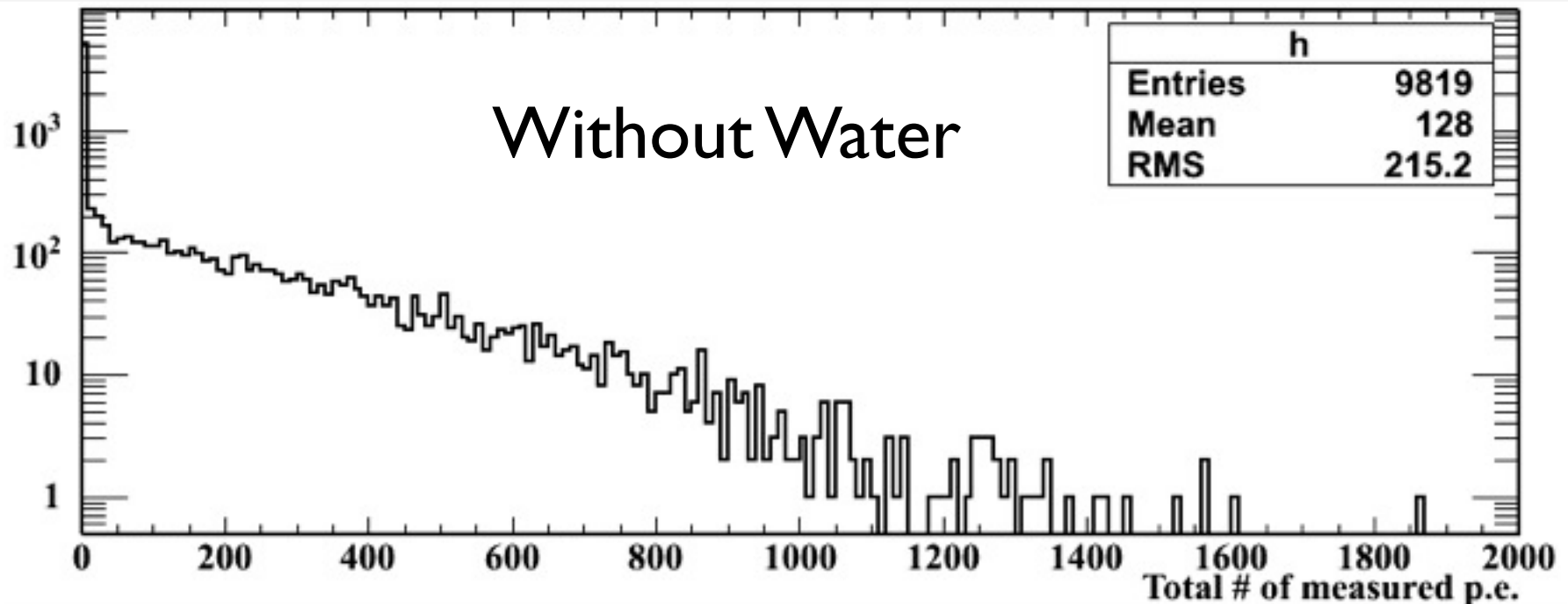
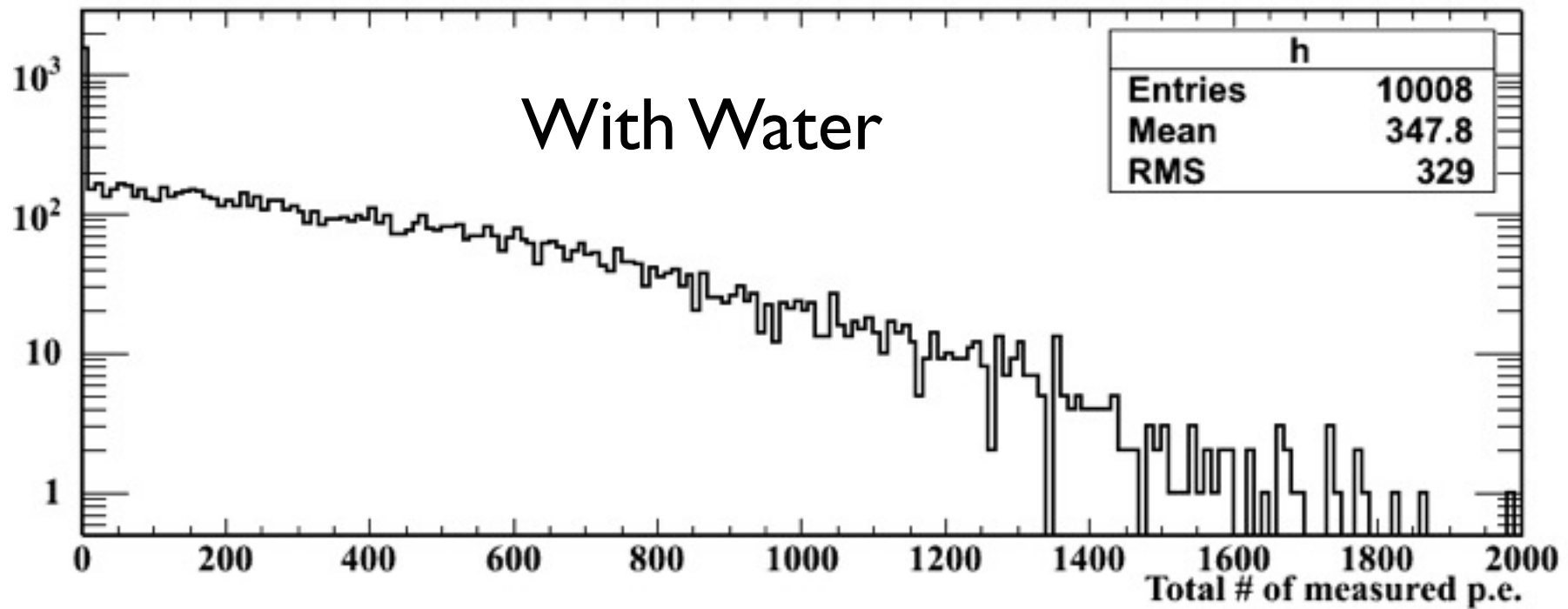


$0.5\text{GeV} < \text{Kinetic energy} < 0.6\text{GeV}$



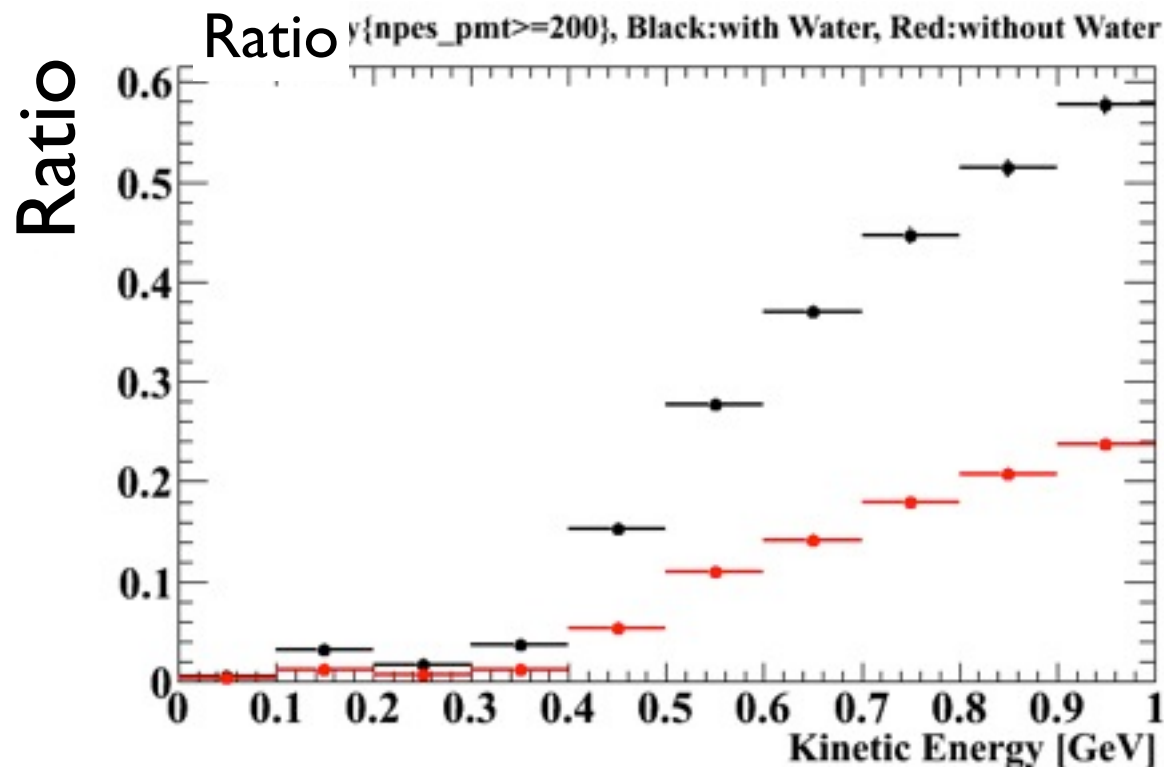
$0.9\text{GeV} < \text{Kinetic energy} < 1\text{GeV}$

npes_pmt {energy>(0.9+0.940)&&energy<(0.940+1.)}



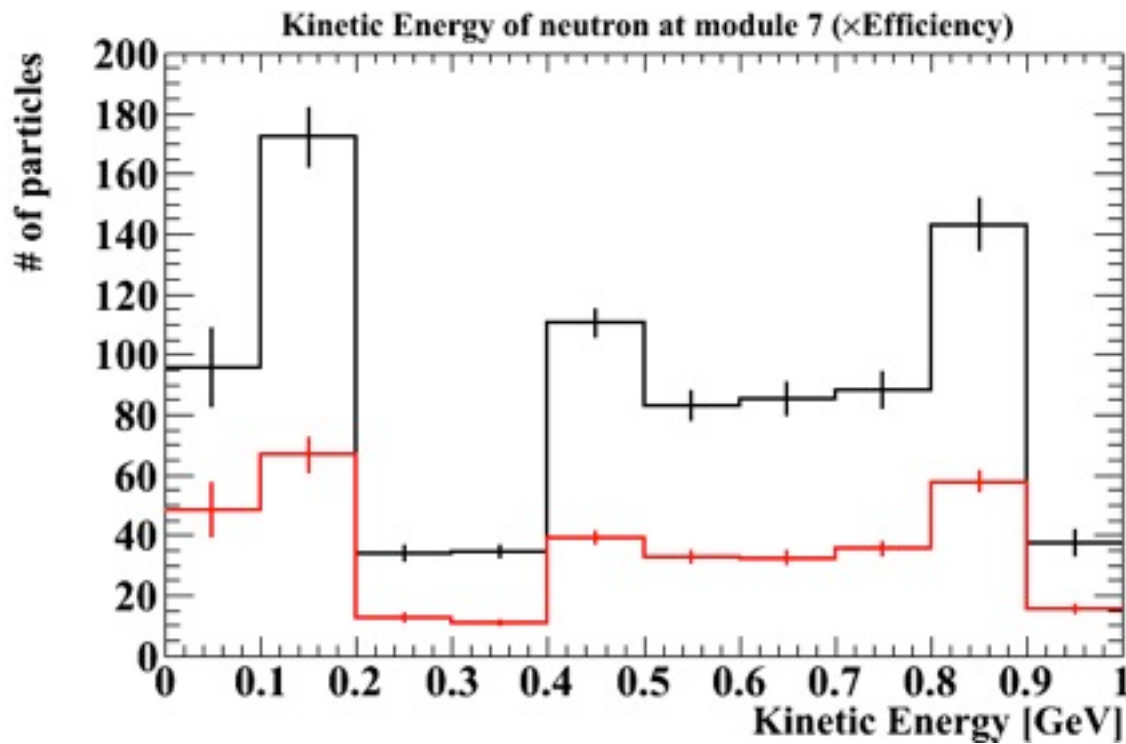
of neutron after simple cut

- 単純なカット「測定した総光電子数が200p.e.以上である」をかけた後に残った中性子の数を数える。
- FVに水ありなしの場合で数えた数と Generateした中性子の数の比を取る。
- この比に水の体積比を考慮すると Efficiency になる。



of neutron after simple cut

- さらに、先ほど求めた比をNeutronのKinetic Energy Spectrumにかけることで、残ったNeutronの数を数える。



1. FV水あり : 882 particles

2. FV水なし : 351 particles

1. - 2. = 531 particles

元々のNeutronの数

= 28393 particles

(Kinetic energy < 1 GeV, 2.4e18 pot)

(このときのニュートリノ反応数=5931)

→ 残った中性子の割合 = $531 / 28393 \sim 1.9\%$

- FVに水ありなしの場合の検出数の差をとっても、2%程度の壁からの中性子が残ってしまう → 検出したニュートリノの数として間違ってしまう。
- カット方法を変えてみる。
 - 実機に則した解析、2p.e.以上のヒットがあったPMTのみを使用する。
 - ヒット分布からイベントをある程度再構成できないか。
- 壁からの中性子がどのくらいくるのかを見積もる。
 - 今のところ、ノーアイディア。。。。

Back up

Cherenkov Threshold Table

Particle	mass [MeV/c ²]	Threshold energy [MeV]	Threshold Kinetic Energy [MeV]
proton	938	1422	484
muon	106	160	54
pion	139	211	72
electron	0.5	0.76	0.26

$$\beta = 1/n$$

$$\gamma = 1/\sqrt{1 - \beta^2}$$

$$E_{threshold} = \gamma m = \frac{nm}{\sqrt{n^2 - 1}}$$

$$K_{threshold} = E - m$$