

Mizuche Cosmic

A.Murakami

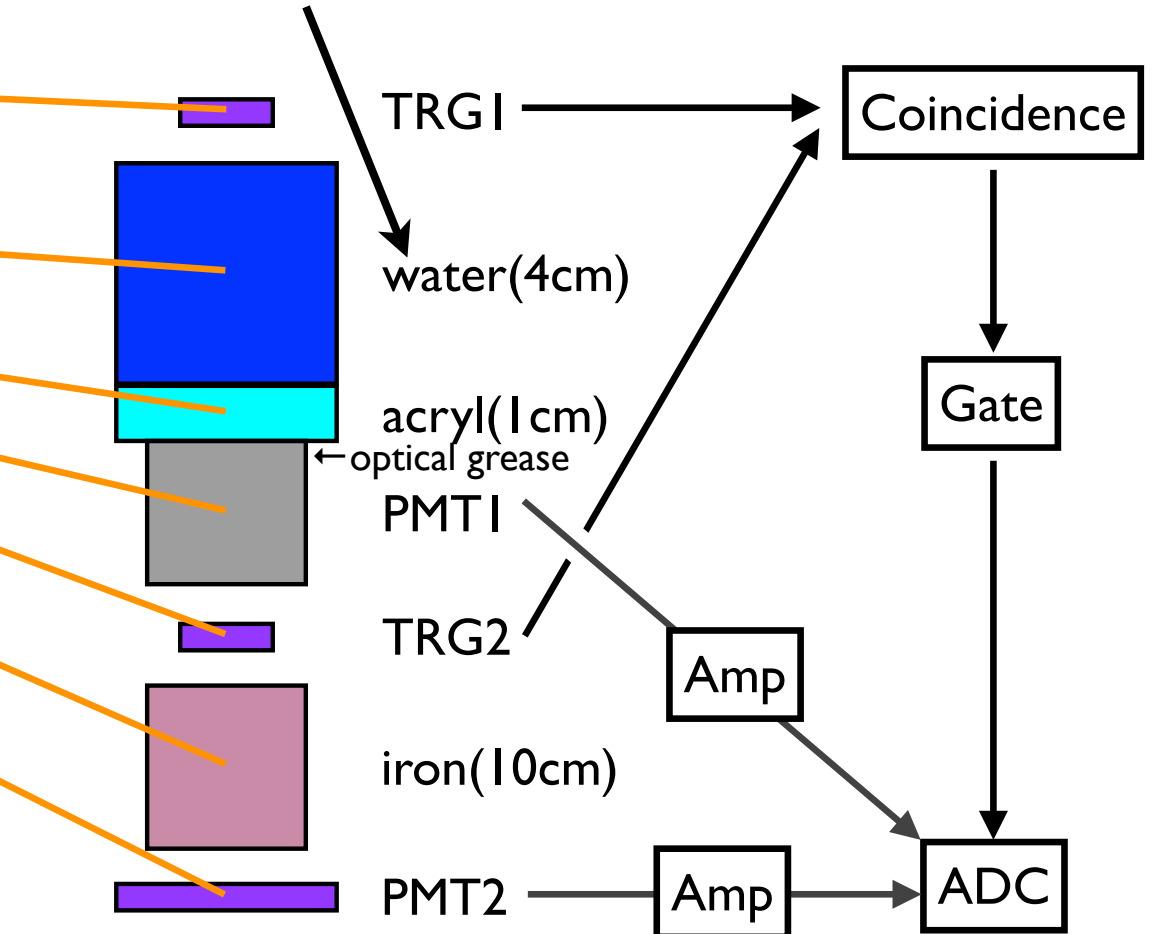
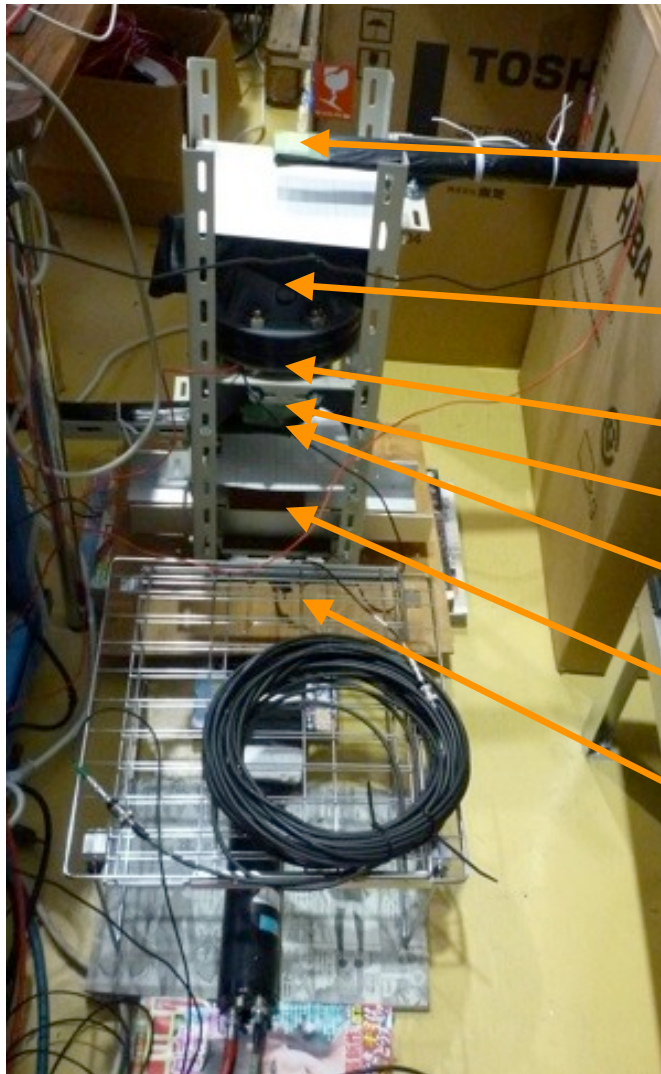
- 宇宙線の再測定
- 宇宙線MC

宇宙線測定

- 高橋くんが以前行った宇宙線測定の再測定
 - 検出器のセットアップ、PMTのHVの設定は一部を除き、すべて前回の測定と同じ。
 - 水層の厚さを(私の勘違いから)今回は5cmにした(前回は4cm).
- 以前のDAQにはバグがあったので、それを直して測定結果に変化があるかをチェック
- 前回はPMTの読み出しにアンプを使っていたが、ゲイン測定よりアンプなしでも十分な光量が得られることがわかったため、アンプなしで測定を行う。

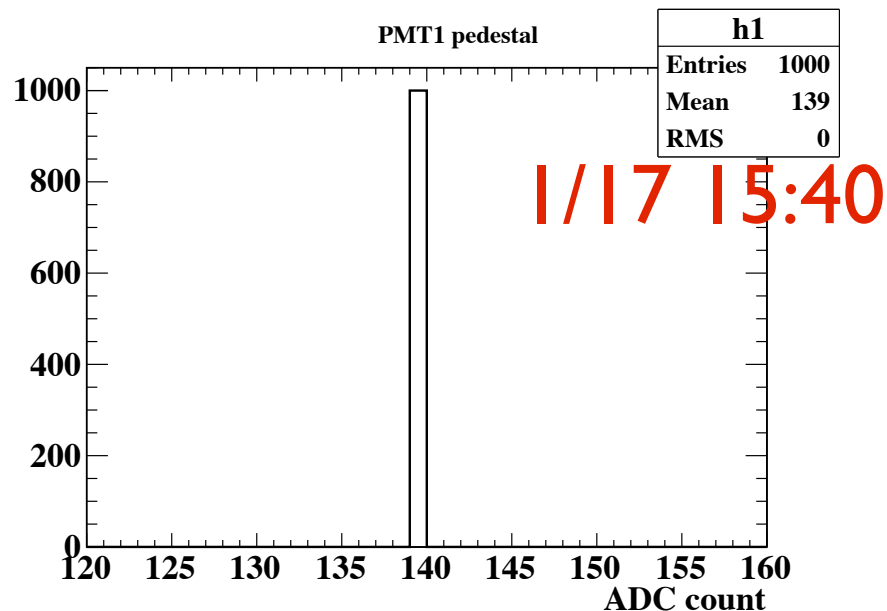
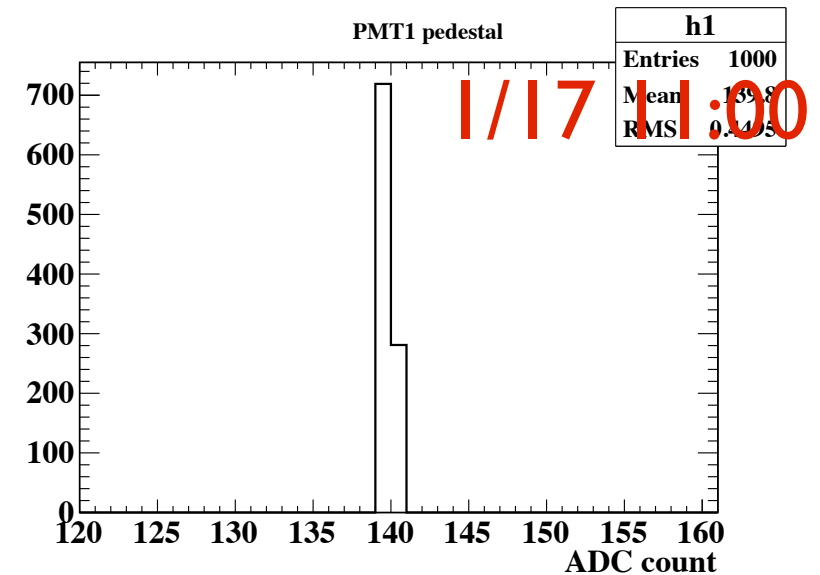
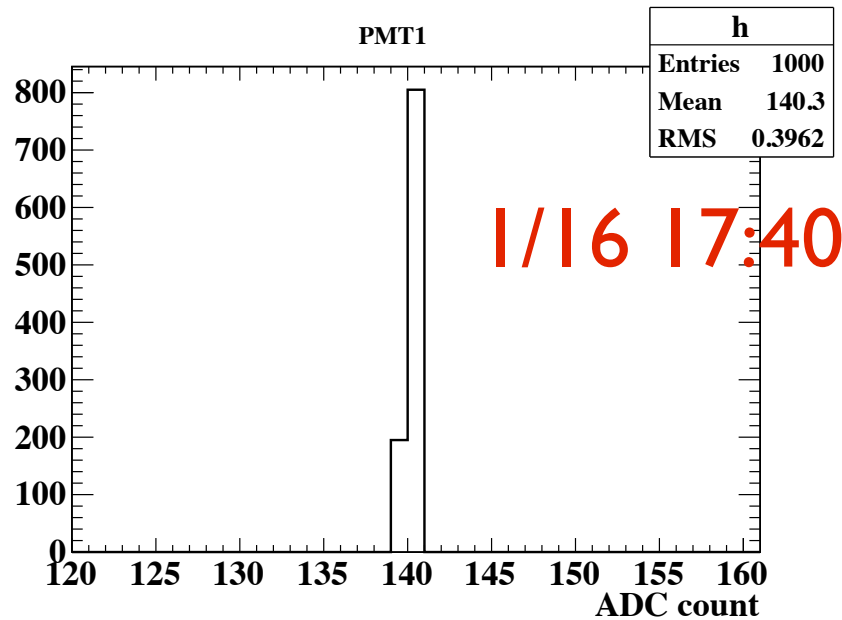
セットアップ (おさらい)

今回の測定は water:5cm



Pedestal stability (PMT1)

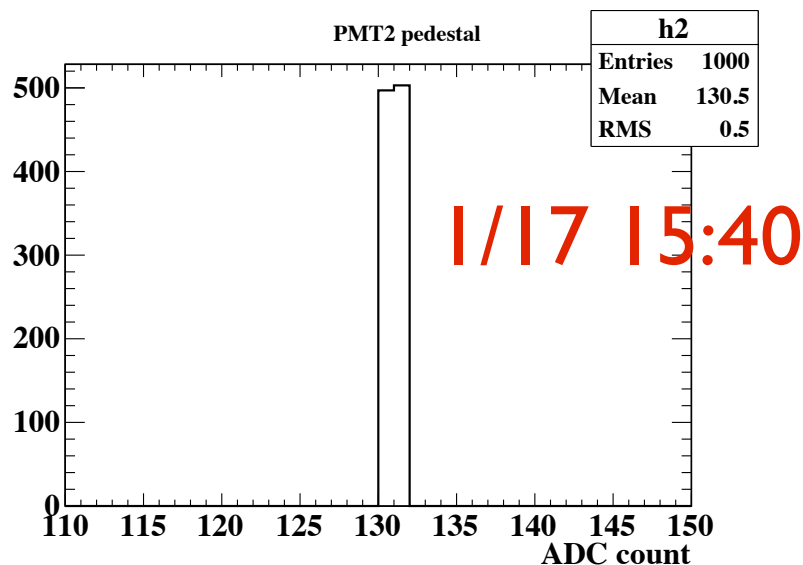
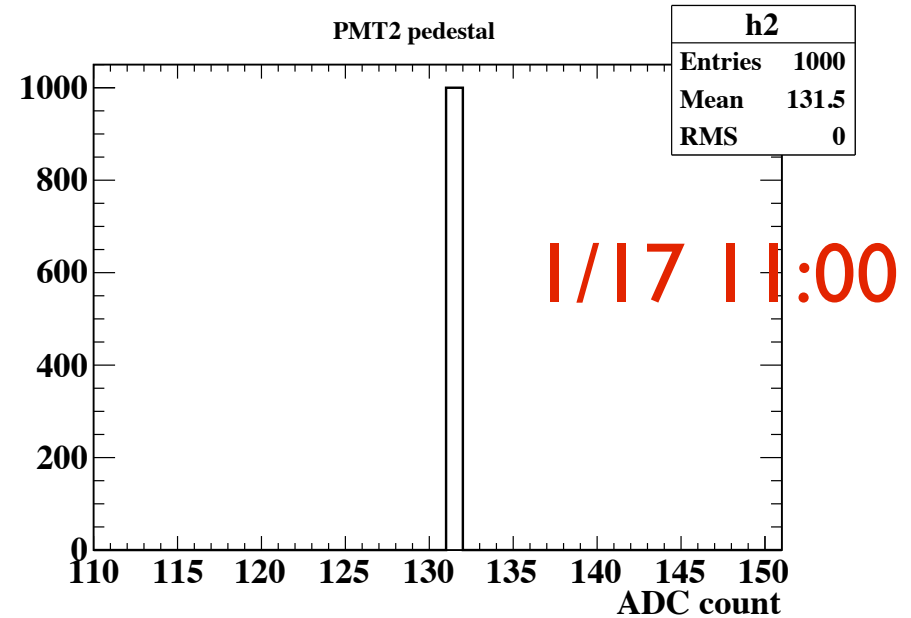
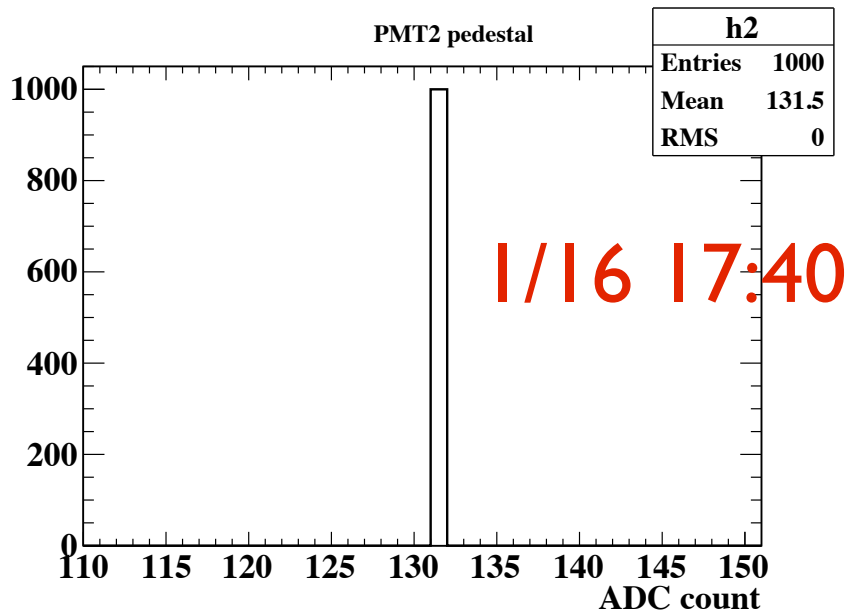
宇宙線測定中、何度かペデスタルを測定 (1000イベント/測定).



Average=139.7
を解析に使用

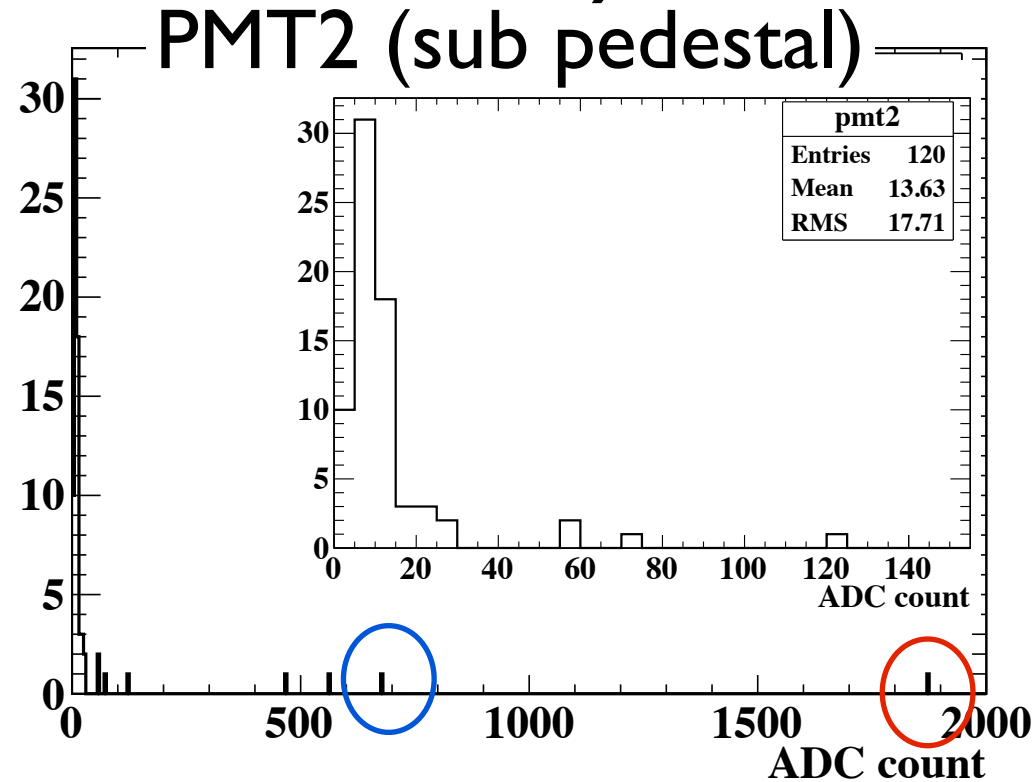
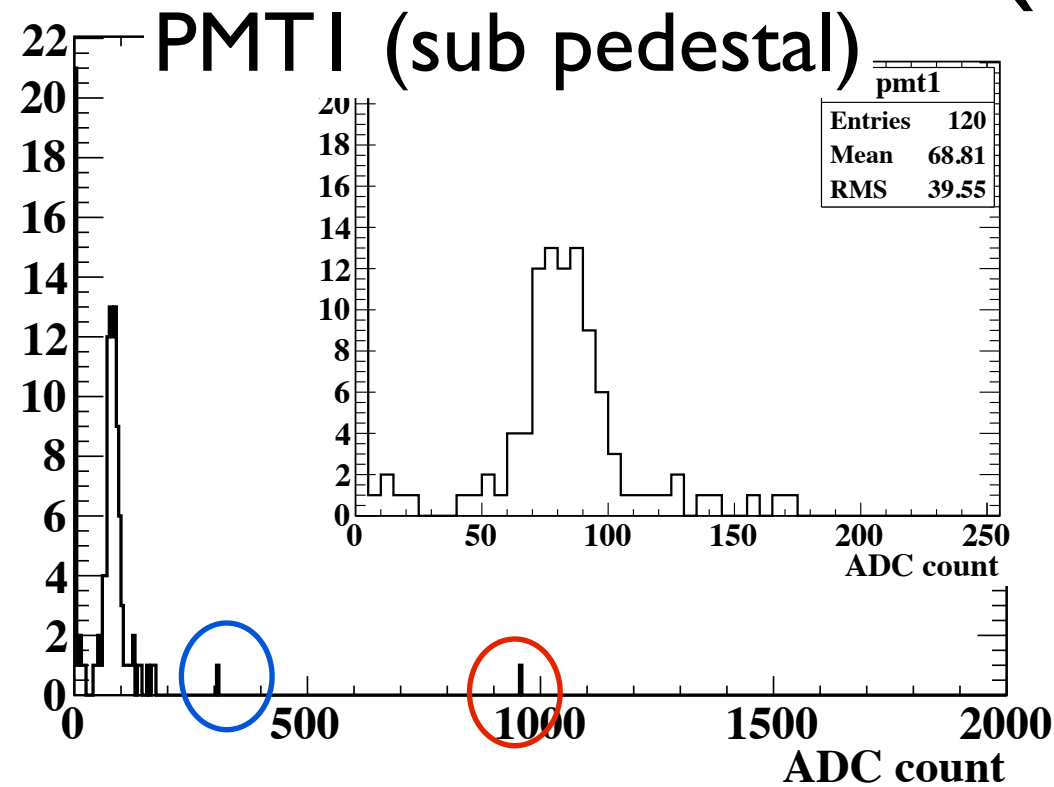
pedestal stability (PMT2)

宇宙線測定中、何度かペデスタルを測定 (1000イベント/測定).



Average=131.2
を解析に使用.

Cosmic (with Iron)



前回の高橋くんの測定時と同様に、
PMT1のADC分布に0peakが見られる。

→ AccidentalにTRG1,2が同時になっ
てしまったのが原因か

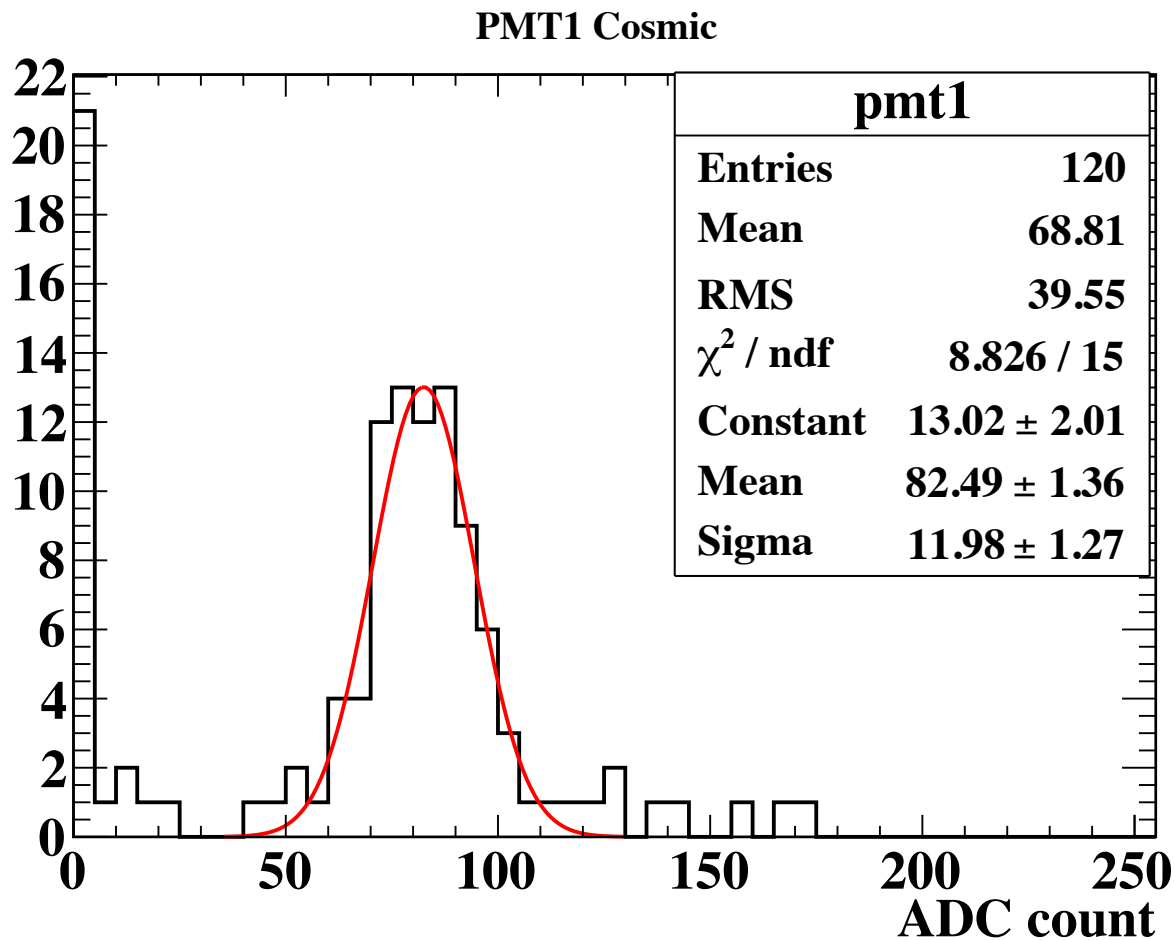
ADC of PMT2 > 400

* Row *	(PMT1-139	(PMT2-131
*****	*****	*****
* 5 *	171.3	560.8
* 11 *	115.3	469.8
* 70 *	956.3	1873.8
* 77 *	309.3	676.8
*****	*****	*****

鉄中で宇宙線による電磁シャワー→ PMT2 ADC 大 か？ → 鉄なしでの測定。

Cosmic (PMT1, w/Iron)

ADC分布のピークがどの程度の光量かを計算
PMT2のADCカウントによるカットはしない。



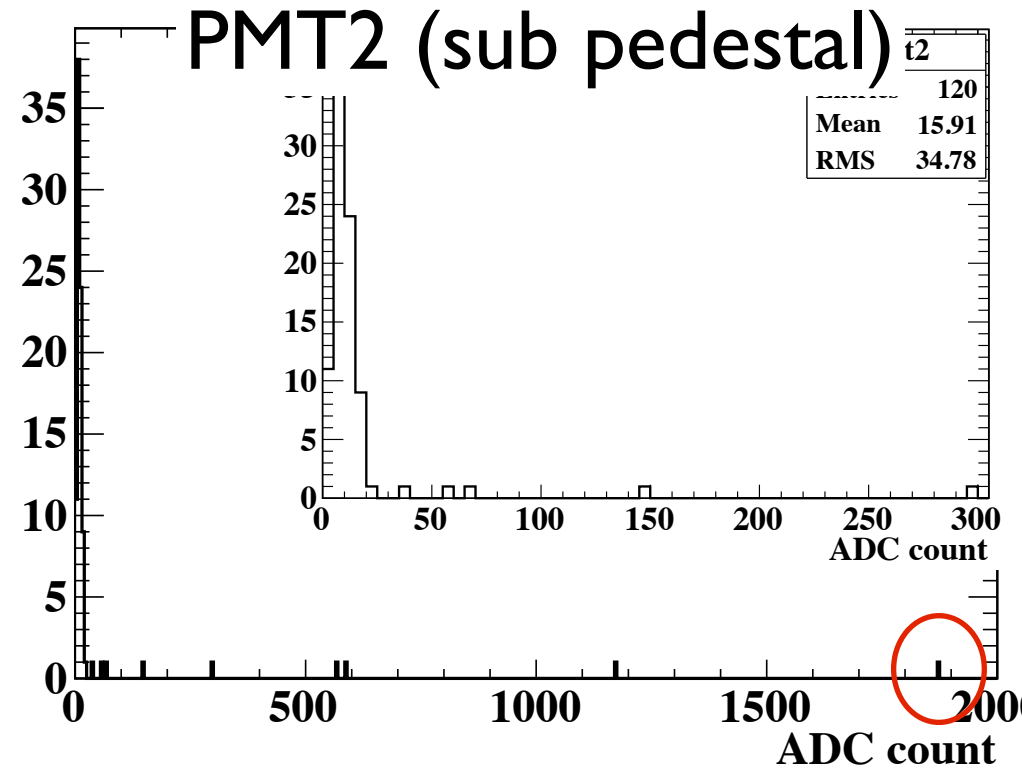
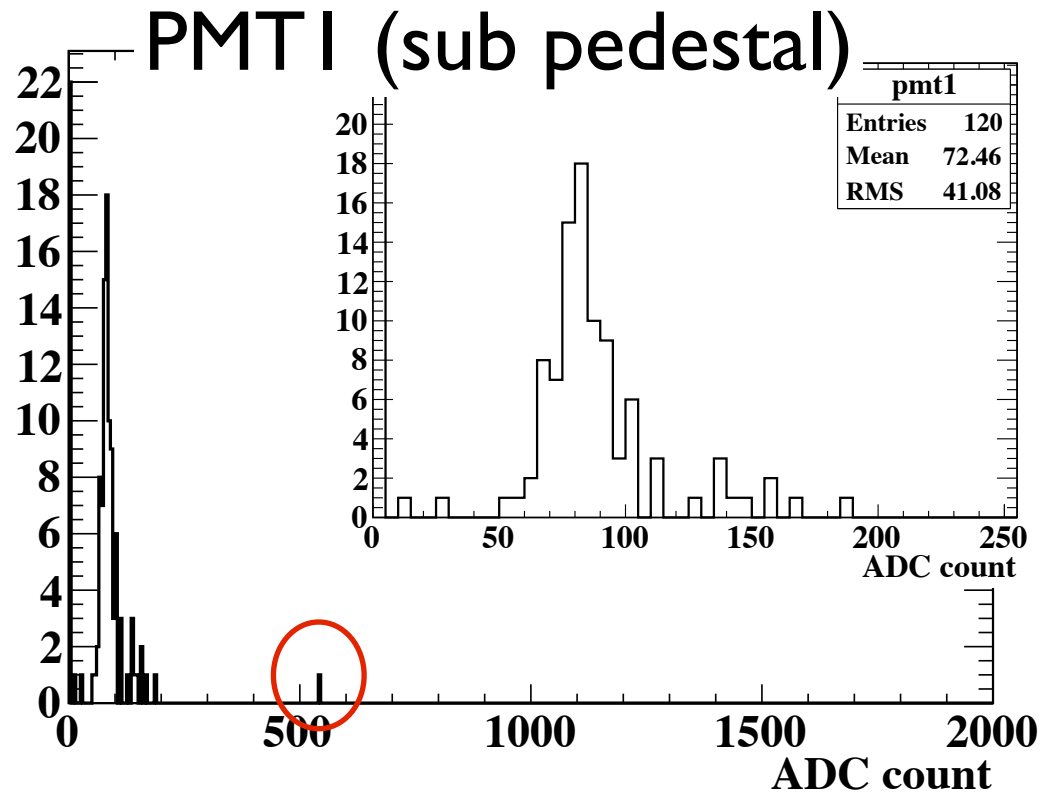
Charge / ADC = 0.25pC
PMT Gain = $9e5$

Peak ADC count got by
Gaussian fitting
→ peak = 82.5 count

Calc. p.e. from ADC count:
 $\text{count} \times 0.25\text{pC} \div 1.6e-19 \div 9e5$

Peak p.e. = 143p.e. /
水5cm+アクリル1cm

Cosmic (without Iron)



ADC of PMT2 > 400

```
*****
*      Row      * PMT1-139. * PMT2-131. *
*****
*          12 *      158.3 *      569.8 *
*          54 *      135.3 *      588.8 *
*          70 *      544.3 *     1874.8 *
*          75 *      156.3 *     1170.8 *
*****
```

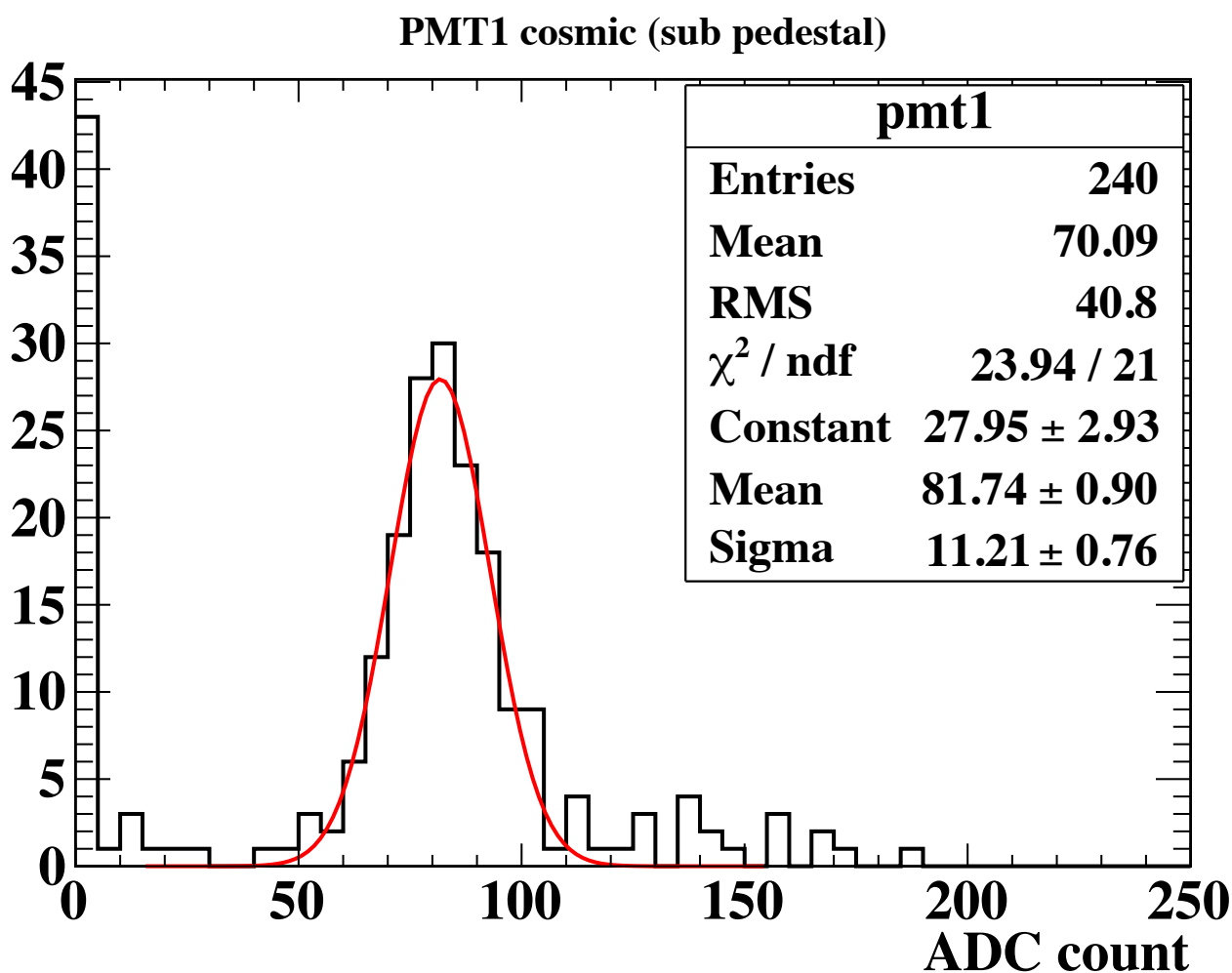
鉄がない場合でも、ある場合と同様に
PMT2のADCが大きい場合が見られる。

Cosmic (PMT1, w/ or w/o Iron)

鉄ありなしの場合のデータを合わせて、

PMT1のADC分布のピークがどの程度の光量かを計算.

PMT2によるカットはしない.

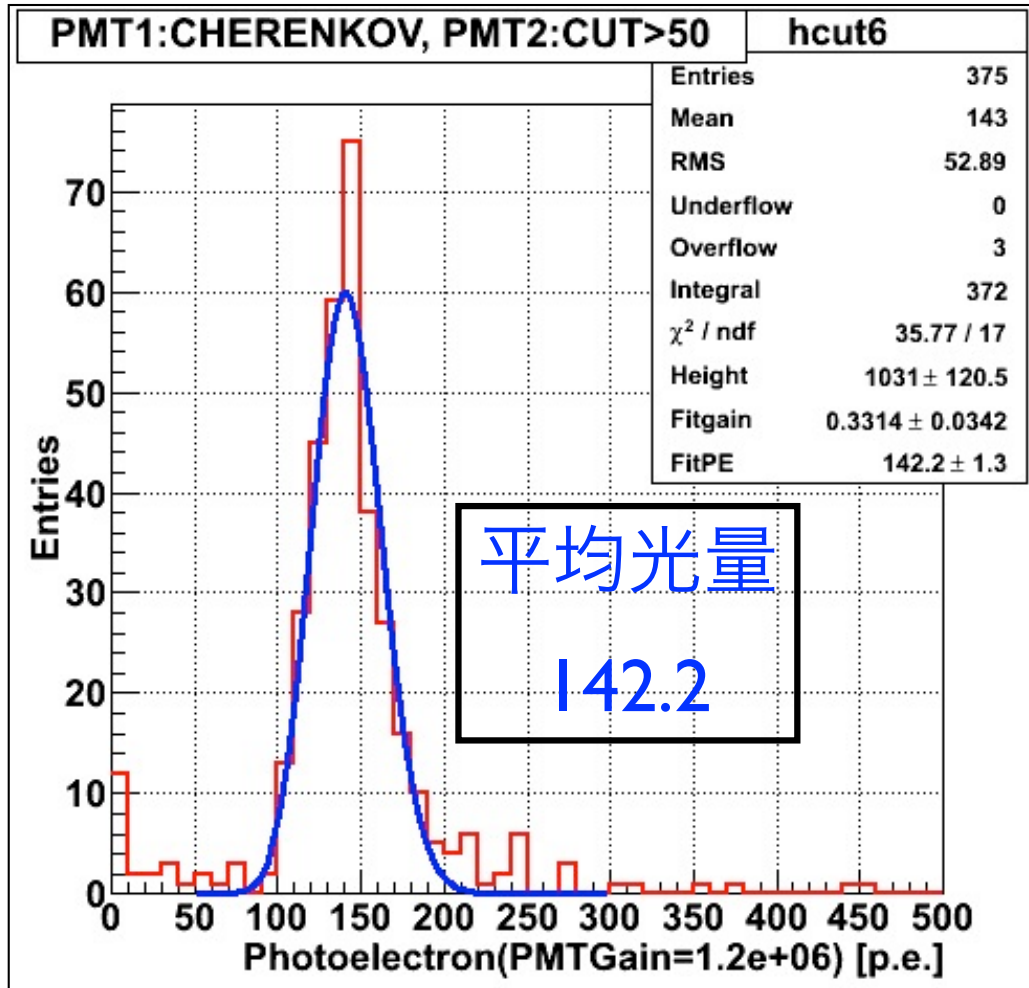


Peak ADC count = 81.5
(by Gaussian fitting)

Peak p.e. = 141 p.e. /
水5cm+アクリル1cm

高橋くんによる宇宙線測定

2010.10.06



カット後のヒスト情報

Mean=143

Sigma=52.3

Sigma/Mean=0.37

光量のばらつきが大きいためか、
ゲインをうまく具合に
計算できなかったのも、
LEDを使った測定より
PMT1のゲインは $1.2e6$ とした

水の層が4cm,
PMT2によるカットあり

Peak p.e. = 142.2 / 水4cm+アクリル1cm

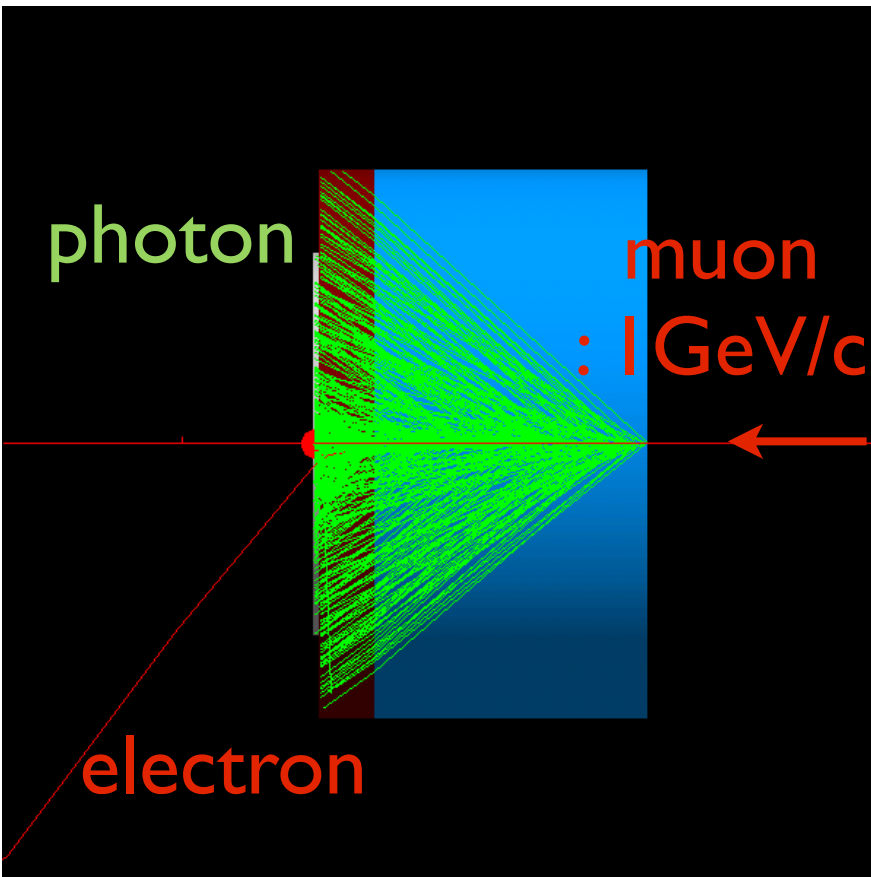
→ 水の厚さの違いをMCで確認.

Cosmic MC

- MCと測定とを比較
 - 水の層の厚さの違いがどの程度光量の差に聞いてくるのかをMCで確認.
- 同時にMCのバグ修正とチューニングを行った。

Cosmic MC

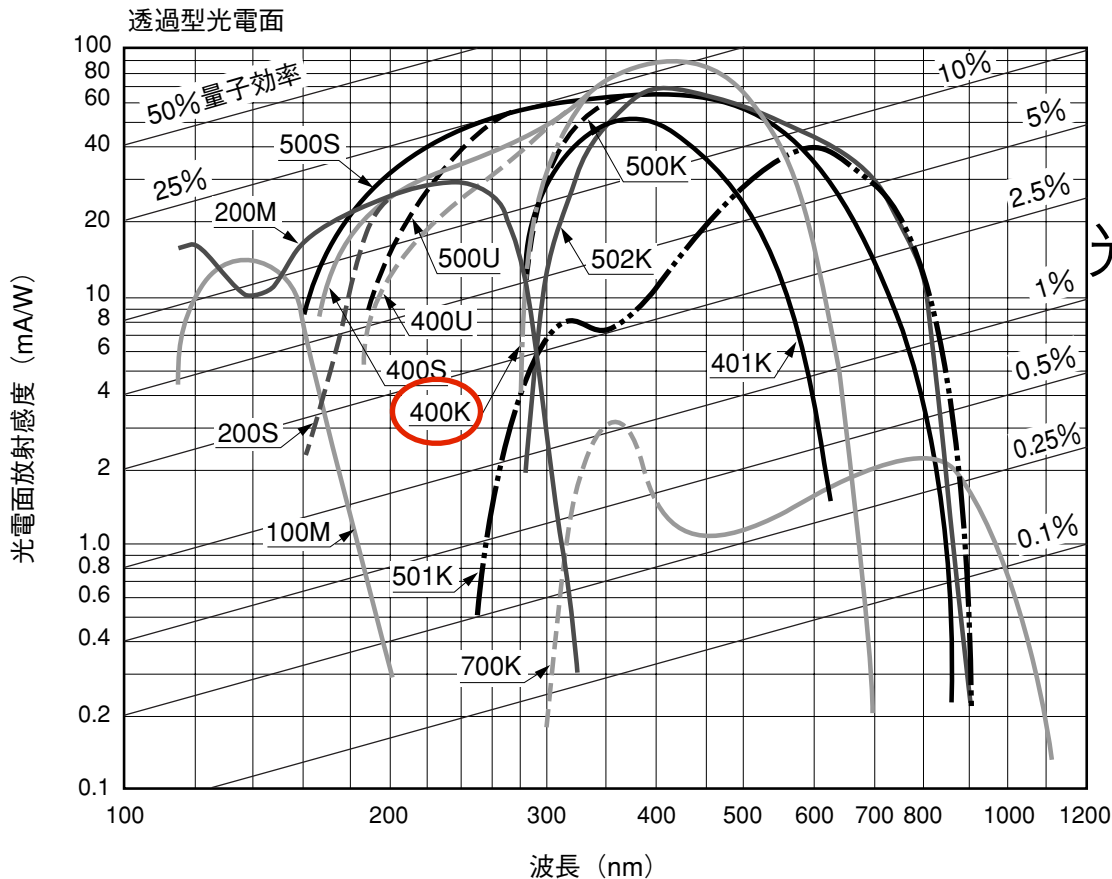
- Geant4で宇宙線測定ベンチを再現、外からミューオンを打ち込んで、測定光量を見積もる。



- Geometry : テストベンチと同じ
 - 水層 : 4cm, 5cm
 - アクリル層 : 1cm
- PMT : 使用したPMTと同じ
- QE, ガラス面の透過率 : 浜ホトPMTハンドブックより(次頁)
- 屈折率
 - 水(次次頁)、アクリル=1.49
- 水-アクリルの境界面は滑らかな。
- タンク内壁では反射はしない

PMT QE

- 浜ホトのPMTハンドブックから値を読み取る。



使用PMT : 400K

光電面放射感度(S_k)を読み取った後、
以下の計算式でQEを求める。

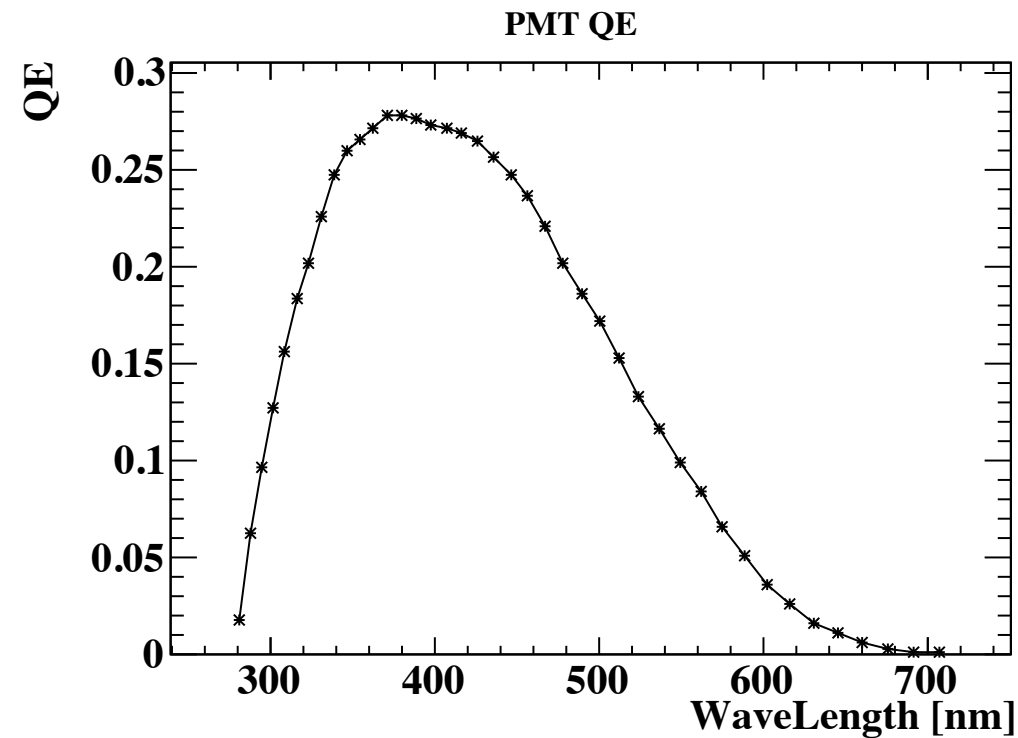
$$\eta (\%) = \frac{h \cdot c}{\lambda \cdot e} \cdot S_k = \frac{1240}{\lambda} \cdot S_k \cdot 100 (\%)$$

(浜ホトPMTハンドブックP.38より)

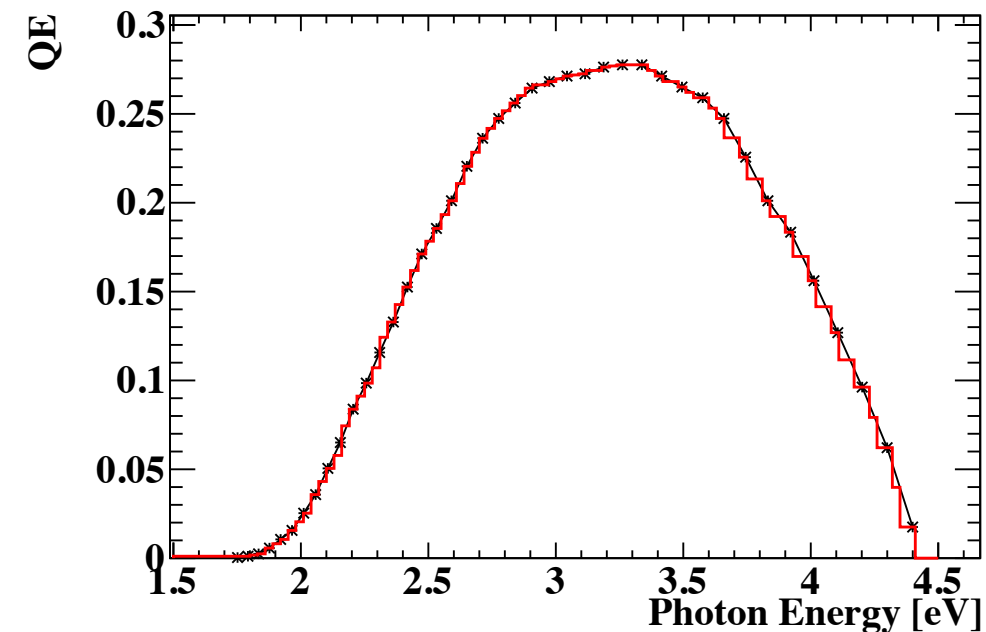
図 4-2(b) 透過型各種光電面分光感度特性

(浜ホトPMTハンドブックP.33より)

PMT QE



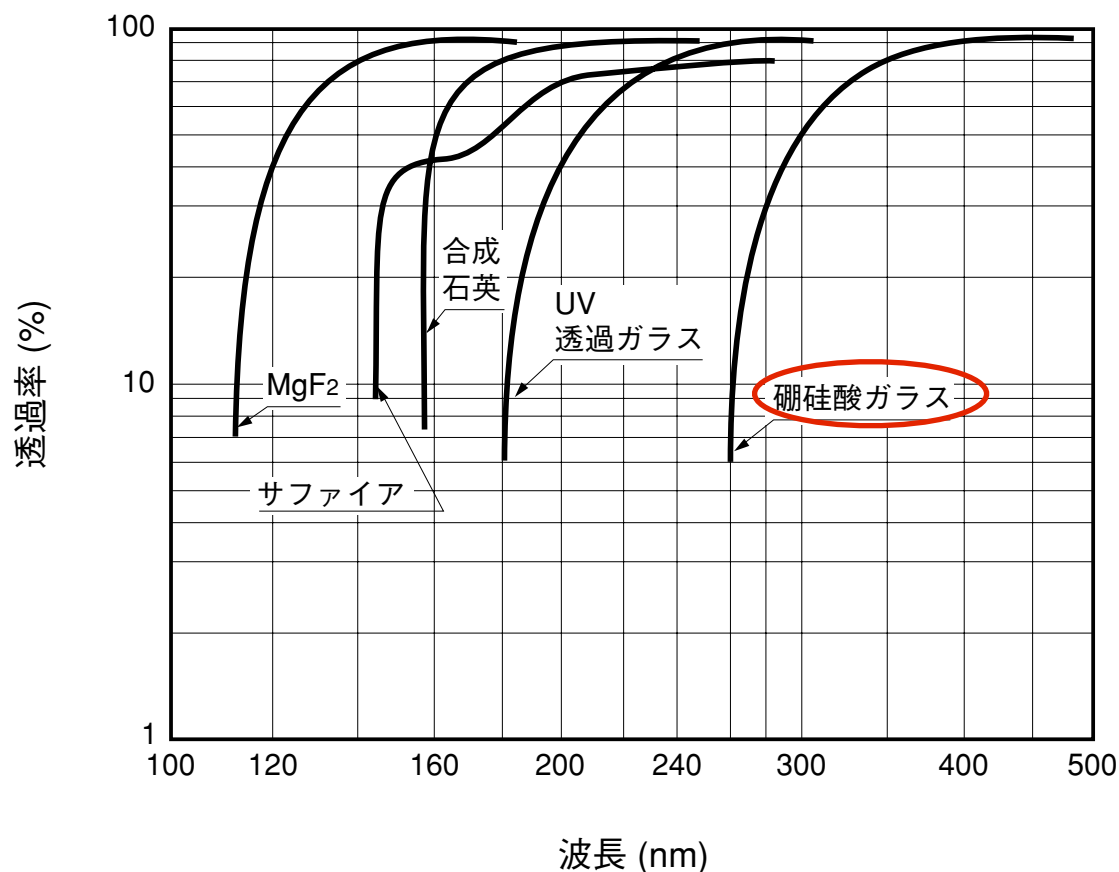
← 読み取った点から求めた
QE vs 波長のプロット



← 上のプロットの横軸を光子のエネルギーに変換し、さらにMCで使用する
ために赤線のようにbinningを行った.

Transmission of PMT Window

- PMT窓の透過率の値もハンドブックより読み取る.
- 今までのMCにはこの透過率は入れていない.



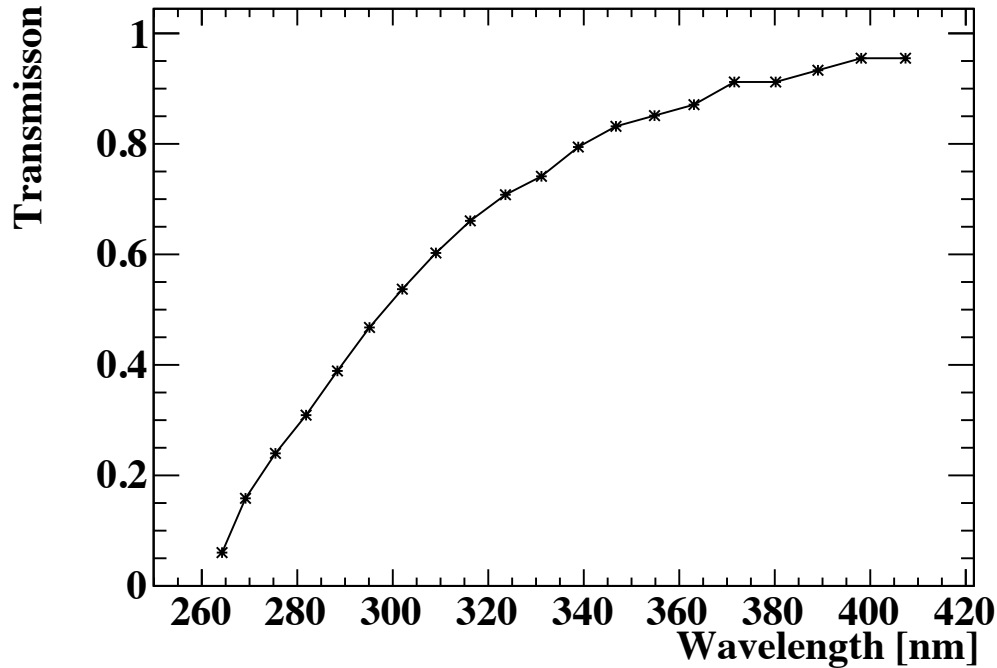
使用PMT窓：
硼硅酸ガラス

THBV3_0405JA

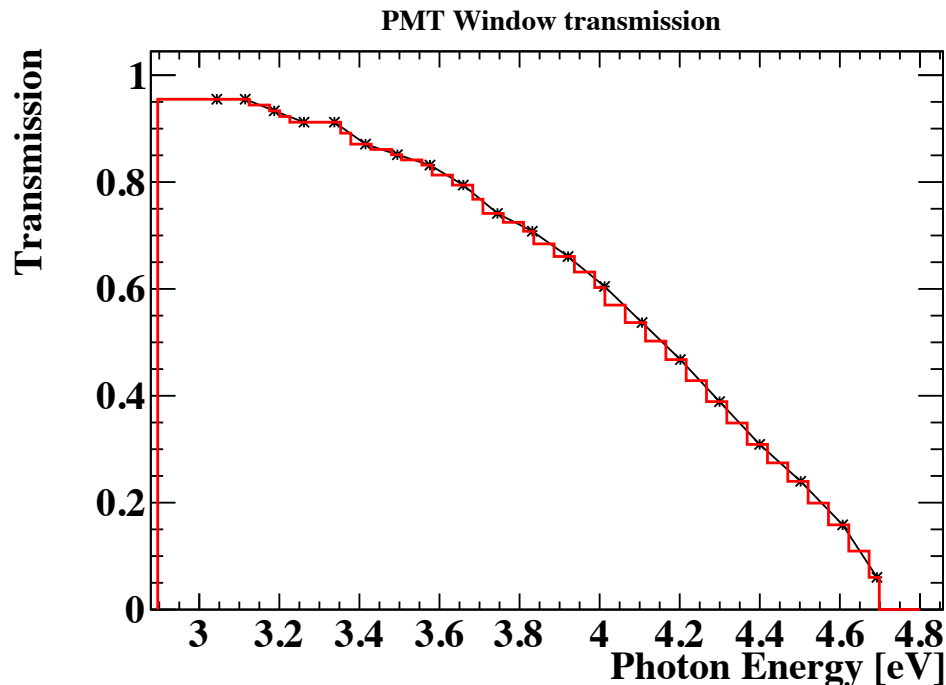
図 4-5 入射窓材の透過率

(浜ホトPMTハンドブックP.37より)

Transmission of PMT Window



← 読み取った点から求めた
透過率 vs 波長のプロット



← 上のプロットの横軸を光子のエネルギーに変換し、さらにMCで使用する
ために赤線のようにbinningを行った.

低エネルギー領域でプロットから見切
れている範囲は最大値の0.95とする.

水の屈折率(バグ修正)

- 水の屈折率のテーブルが一部おかしかった.

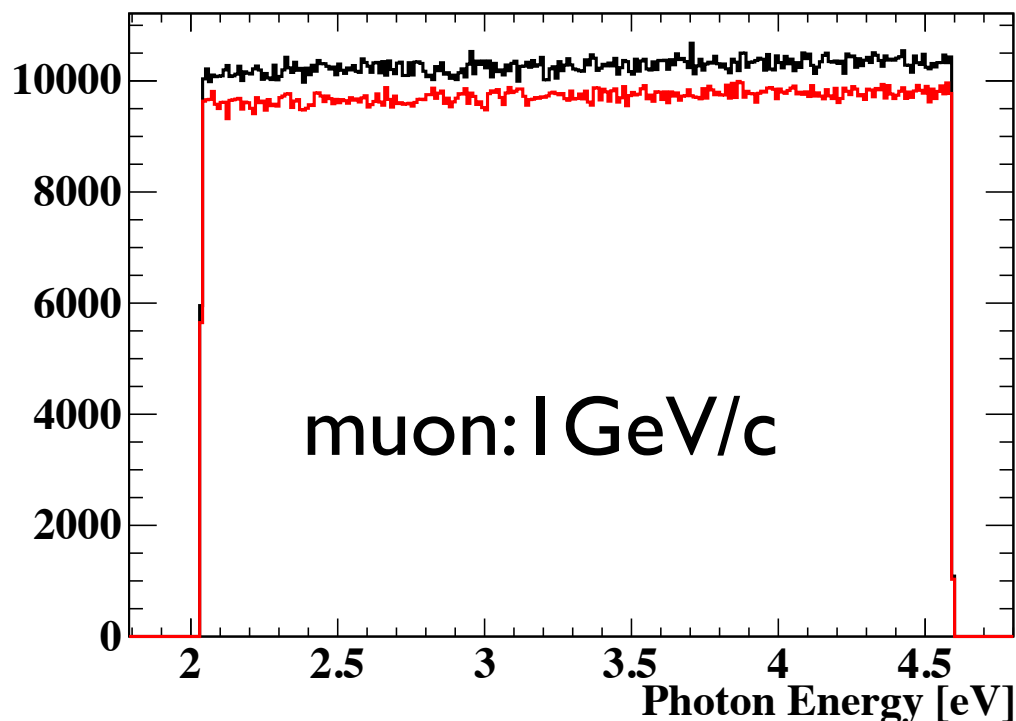
G4double RefractiveIndex1[34] =

```
{ 1.3435, 1.344, 1.3445, 1.345, 1.3455,  
 1.346, 1.3465, 1.347, 1.3475, 1.348,  
 1.3485, 1.3492, 1.35, 1.3505, 1.351,  
 1.3518, 1.3522, 1.3530, 1.3535, 1.354,  
 1.3545, 1.355, 1.3555, 1.356, 1.3568,  
 1.3572, 1.358, 1.3585, 1.359, 1.3595,  
 1.36, 1.3608, 13608, 1.3608, 1.3608};
```

photon

photon energy :
2.03eV([0]) ~ 4.59eV([34])

→ 小数点が抜けている...



黒：修正前

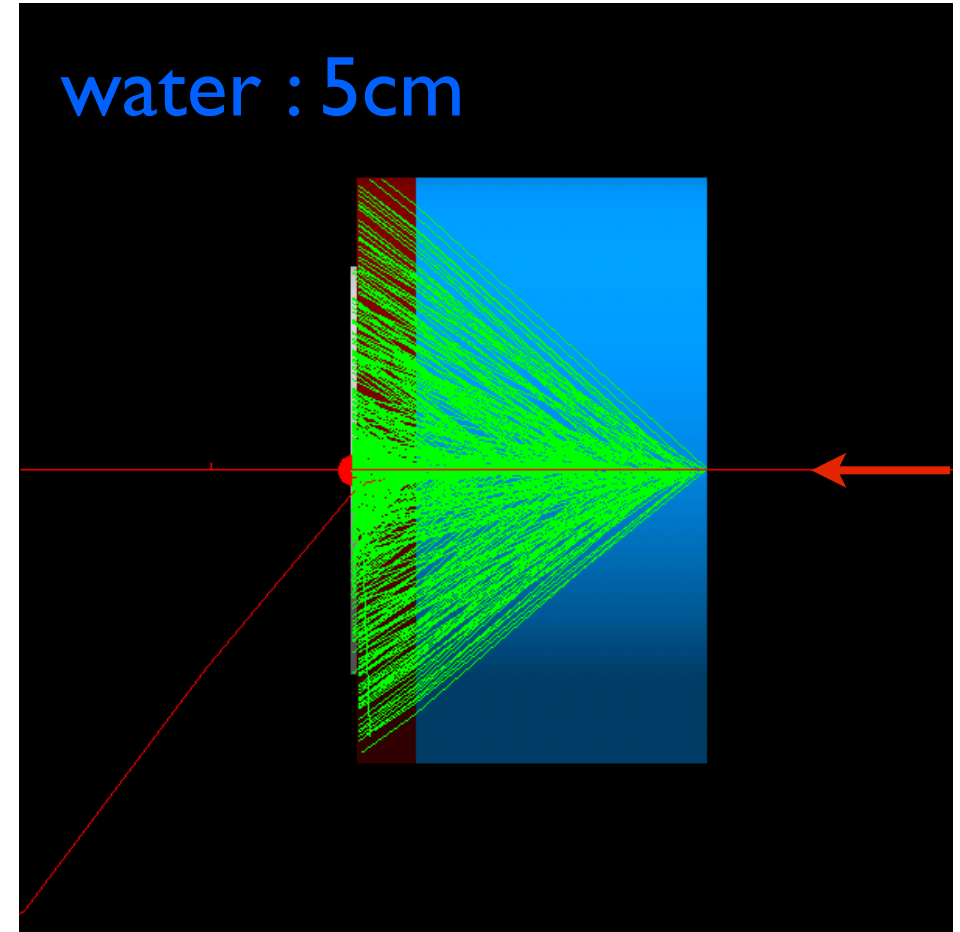
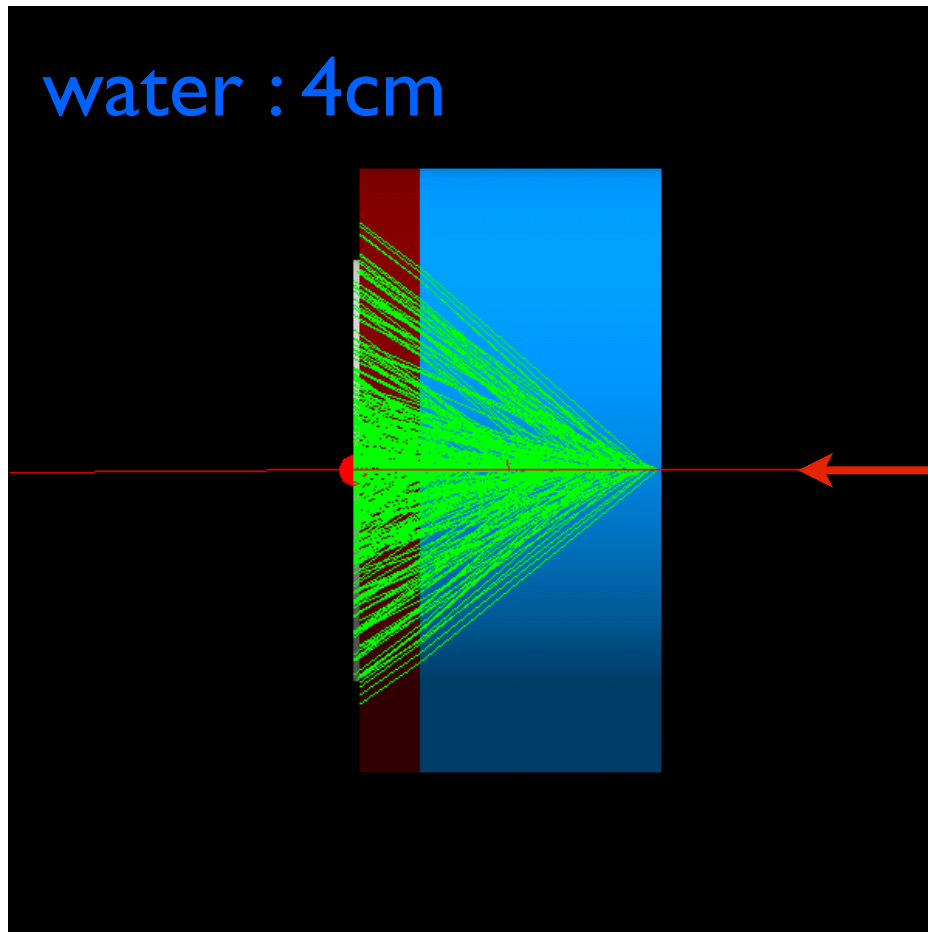
赤：修正後

Photon数の比(黒/赤)

= 0.947

Event display

Muon : 1 GeV/c



水層上流で発生したチェレンコフ光はPMTに入らない

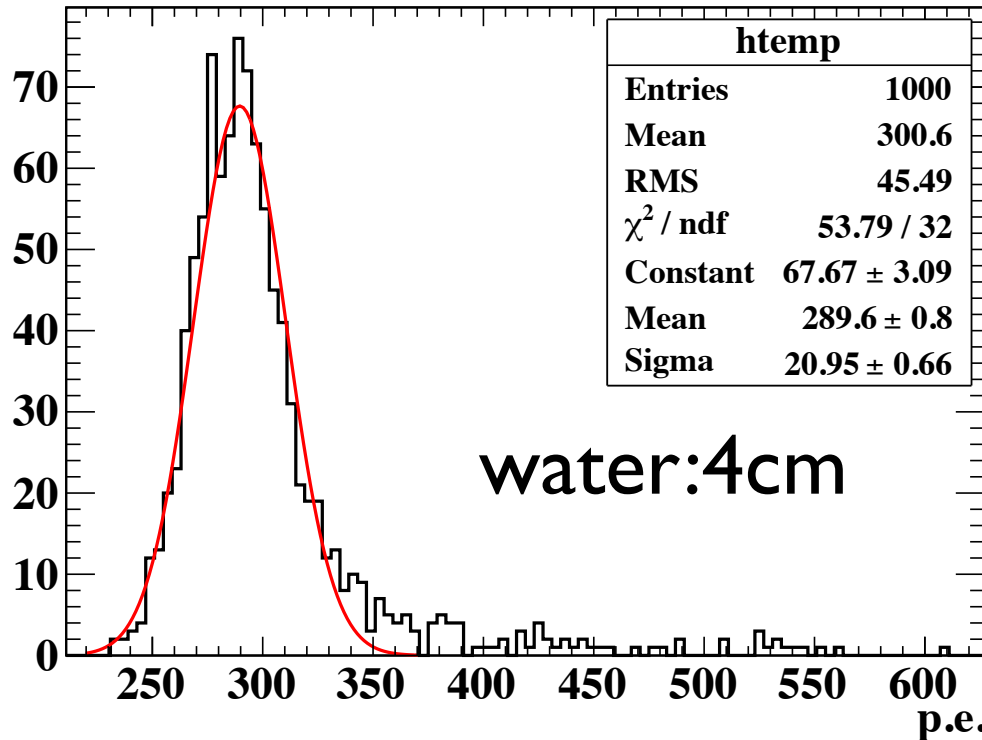
Cosmic MC

- とりあえず以下のミューオンを1000発打ち込む
 - momentum : 1000 MeV/c
 - direction : (0, 0, 1) (中心軸にまっすぐ)

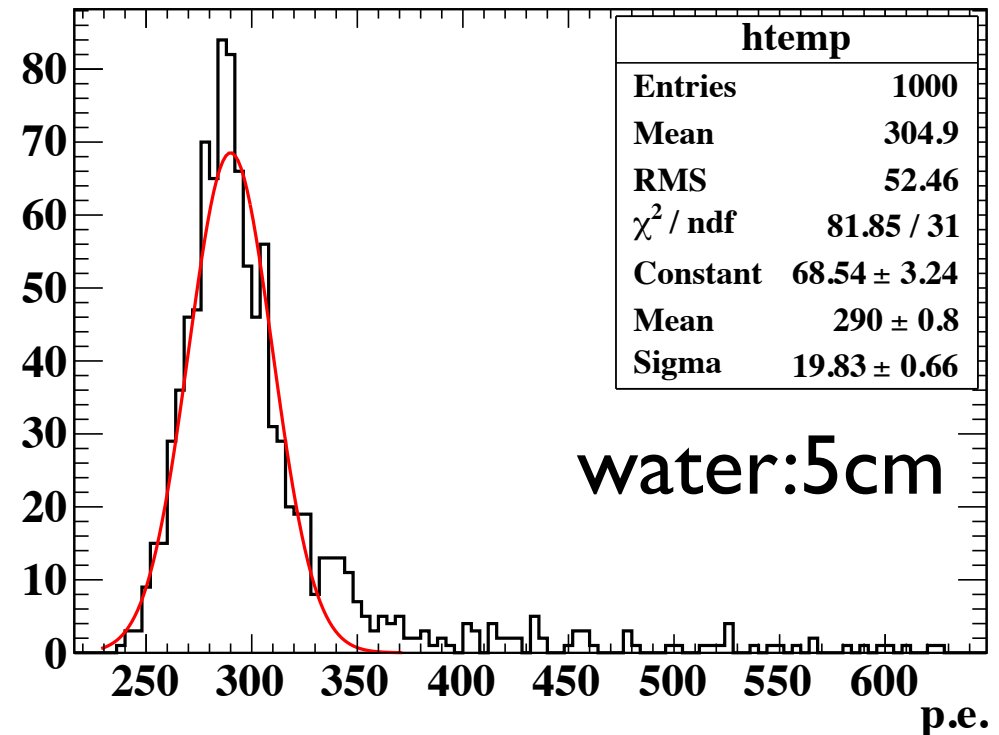
p.e. distribution

muon:1GeV/c

PMT p.e. distribution (muon:1GeV/c, water:4cm)



PMT p.e. distribution (muon:1GeV/c, water:5cm)



Peak p.e. from Gaussian fitting

→ peak p.e. 水層4cm, 5cmで同じ = 290p.e.

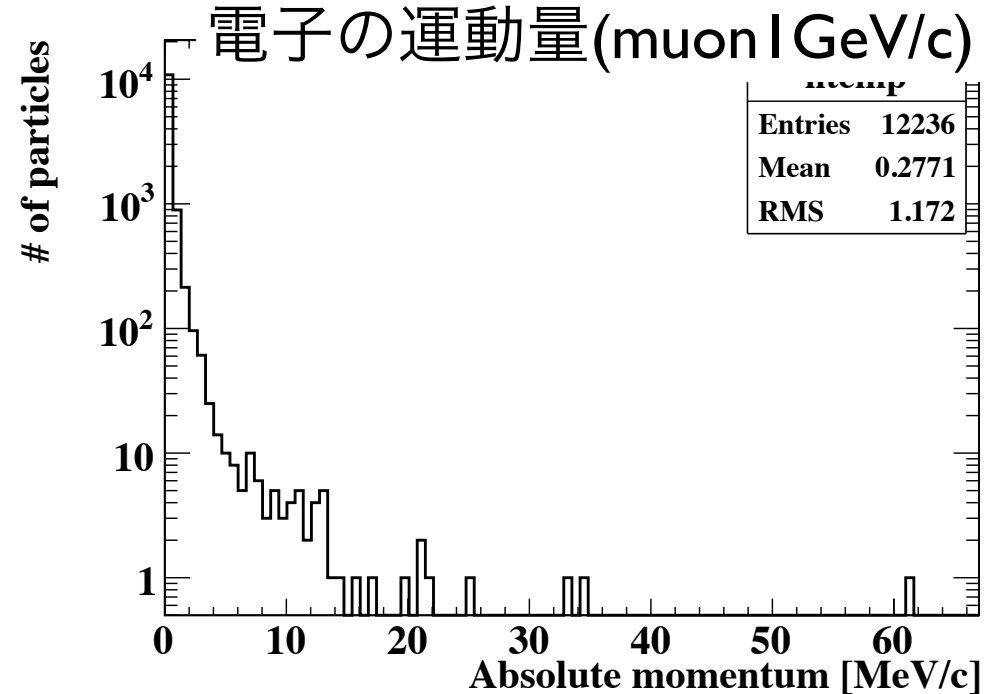
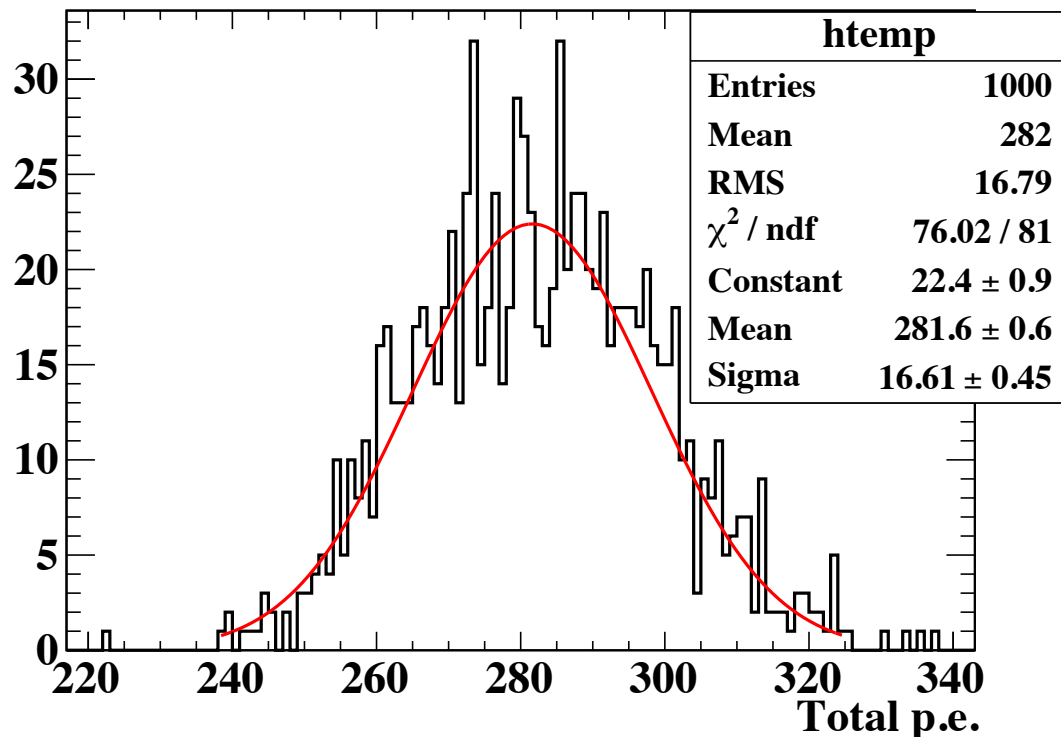
= 宇宙線測定 of 約2倍.

高光量領域(>400p.e., 全体の約5%)のテールの原因は？

p.e. distribution (by only muon)

チェレンコフ光はミューオンだけでなく生成された電子によっても起こる。
→ ミューオンによるチェレンコフ光のみを考慮する。

p.e. distribution (Cherenkov from only muon:1GeV/c)

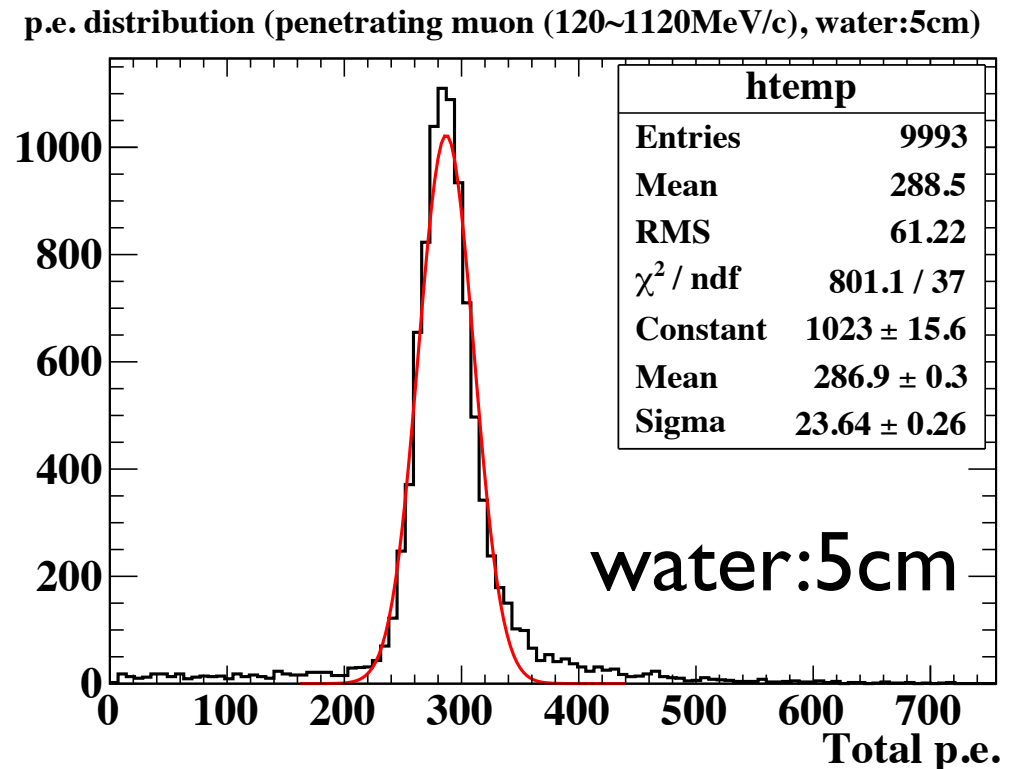
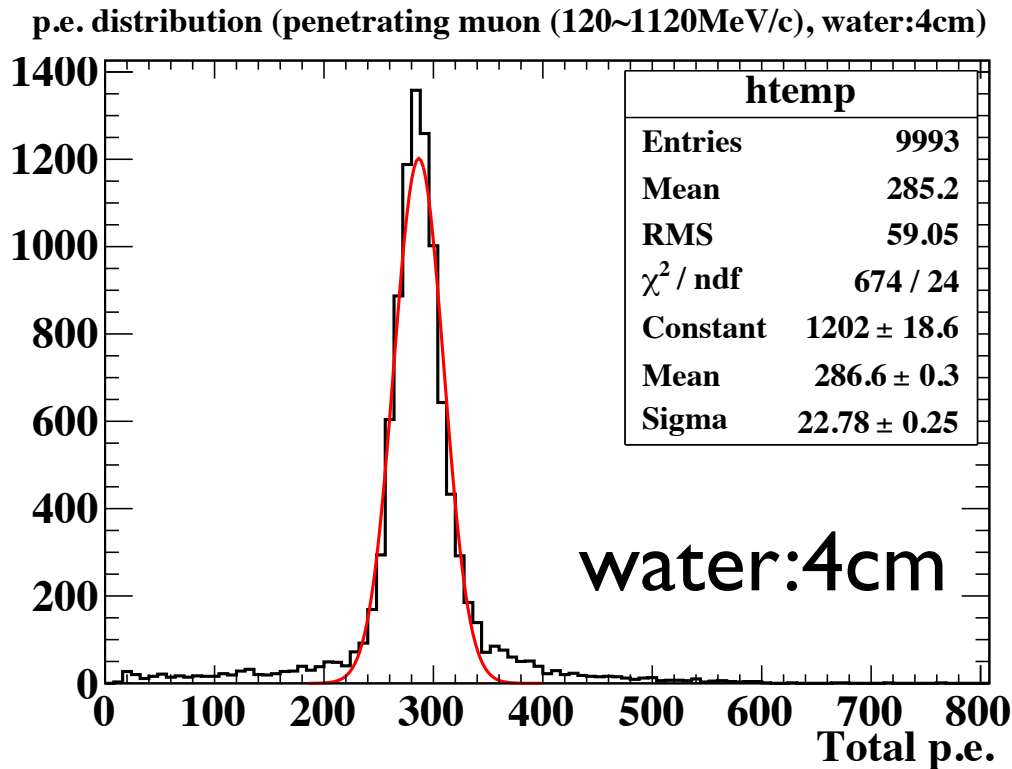


→ 先ほどの高光量領域のテールは見られなくなった。
→ 宇宙線測定時に見られた高い光量のイベントは、高い運動量の電子が原因か。

Cosmic MC

- 次は、ミューオンの運動量をチェレンコフ閾値 $120\text{MeV}/c$ から $1120\text{MeV}/c$ の $1\text{GeV}/c$ の間で一様乱数を振って決定する。
- 方向は先ほどと同じく、中心軸に沿ってまっすぐ
- 宇宙線測定時を再現するために、タンクを突き抜けたミューオンのイベントのみを選択。
- ミューオンが止まった位置がタンク外部であることを要求。
- 宇宙線測定時は下段のトリガーシンチの信号が 100mV 以上であることを要求しているため、正しくは突き抜けたミューオンの運動量に対してもカットをかけるべき。
- ミューオンだけでなく、電子によるチェレンコフ光も考慮。

p.e. distribution



→ peak p.e. 水層4cm, 5cmで同じ = 287p.e.
= 宇宙線測定 of 約2倍.

低光量のイベントは、低い運動量のミュオンが運動中にエネルギーを失い、運動量がチェレンコフ閾値以下になったため.

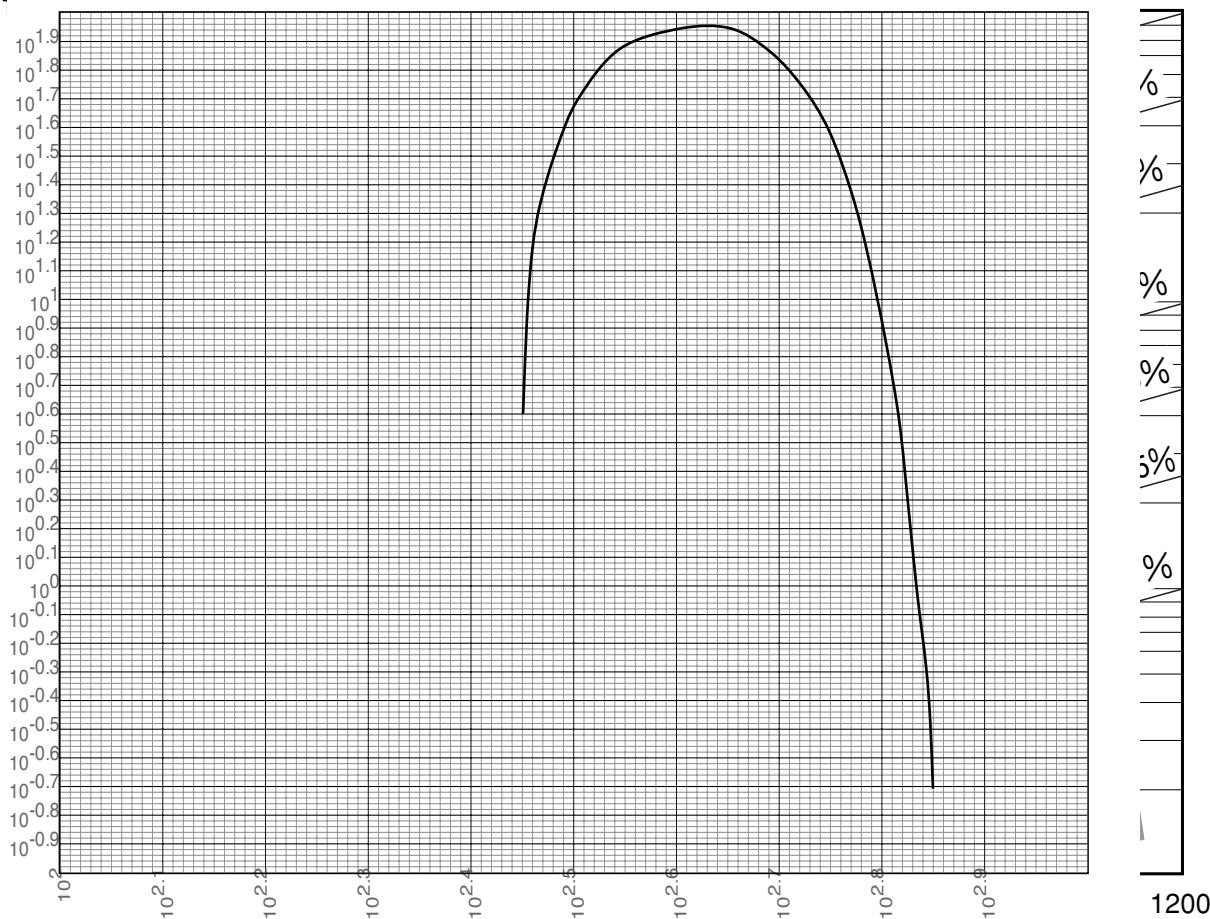
まとめ & ToDo

- 宇宙線測定から、データの光量がMCの半分しかない.
 - 手計算はMCに近い.
- 測定で疑うべきは
 - PMTのQEが低い？
 - PMTのゲイン測定で何か間違いがある？ → FADCを用いて1p.e.の波形を確認する.
 - ADCがおかしい？ → QT使ってキャリブレーション？
- MCで疑うべきは
 - バグチェック
 - UVアクリルの屈折率の波長依存性 → が、ほぼ効かないと思う.

back up

QE読み取り方法

- Log-Logの座標系の画像を用意。
- プロットをコピーしてきて、400Kのラインをなぞる。
- なぞった線をLog-Log座標系の上にコピー



Photon generation @Geant4

Geant4のマニュアルより

Step 1. 定義された物質の屈折率を元に,次の式に従って
平均光量を求める.

$$\frac{dN}{dx} \approx 370z^2 \int_{\epsilon_{min}}^{\epsilon_{max}} d\epsilon \left(1 - \frac{1}{n^2\beta^2} \right) = 370z^2 \left[\epsilon_{max} - \epsilon_{min} - \frac{1}{\beta^2} \int_{\epsilon_{min}}^{\epsilon_{max}} \frac{d\epsilon}{n^2(\epsilon)} \right]$$

Step 1.1. 上で求めた平均光量にパスの長さをかけたものをPoisson分布を元に変化させる.

Step 2. 次の関数を元に各生成Photonのエネルギーを決定

$$f(\epsilon) = \left[1 - \frac{1}{n^2(\epsilon)\beta^2} \right]$$

Photon generation @Geant4

コード(G4Cerenkov)の中で,Step2はどう処理されているかというと

```
do {  
  rand = G4UniformRand\(\);  
  sampledMomentum = Pmin + rand * dp;  
  sampledRI = Rindex->GetProperty(sampledMomentum);  
  cosTheta = BetaInverse / sampledRI;  
  
  sin2Theta = (1.0 - cosTheta)*(1.0 + cosTheta);  
  rand = G4UniformRand\(\);  
  
} while (rand*maxSin2 > sin2Theta);  
  
maxSin2=  
(1-(n_max*beta)-1)(1+(n_max*beta)-1)
```

修正前のコードでは n_max=13608となる.

- 修正前：エネルギーは一様分布
- 修正後：エネルギーは右図のように分布するが、divergenceは小さい = ほぼフラット

