

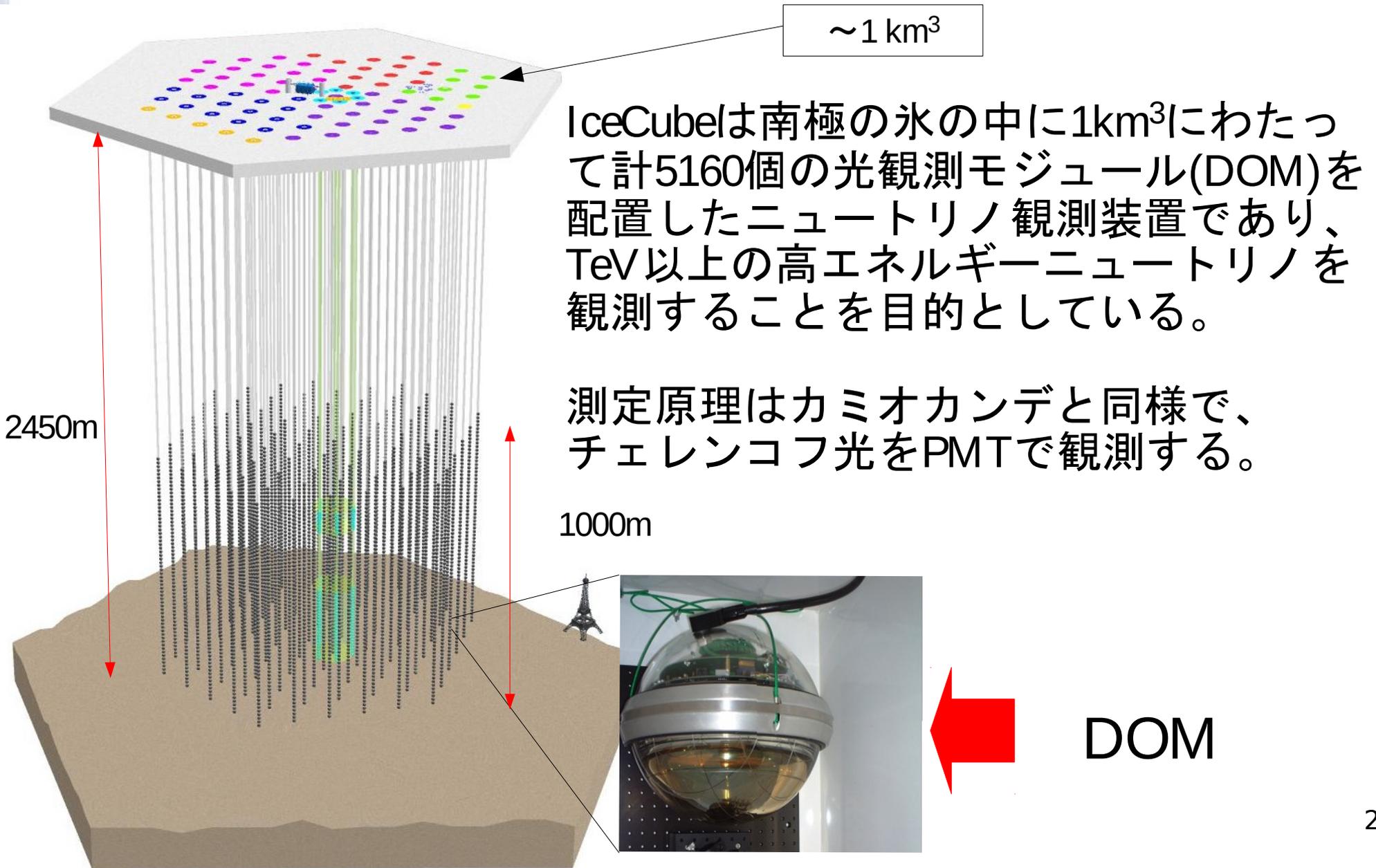
新学術領域研究
「ニュートリノフロンティア」
研究会
15:00~15:15

IceCube 実験におけるPMT信号の サチュレーション補正の研究

千葉大理、IceCube Collaboration
M1 大和久耕平

間瀬圭一、石原安野、吉田滋、他IceCube Collaboration

IceCube Overview



$\sim 1 \text{ km}^3$

IceCubeは南極の氷の中に 1 km^3 にわたって計5160個の光観測モジュール(DOM)を配置したニュートリノ観測装置であり、TeV以上の高エネルギーニュートリノを観測することを目的としている。

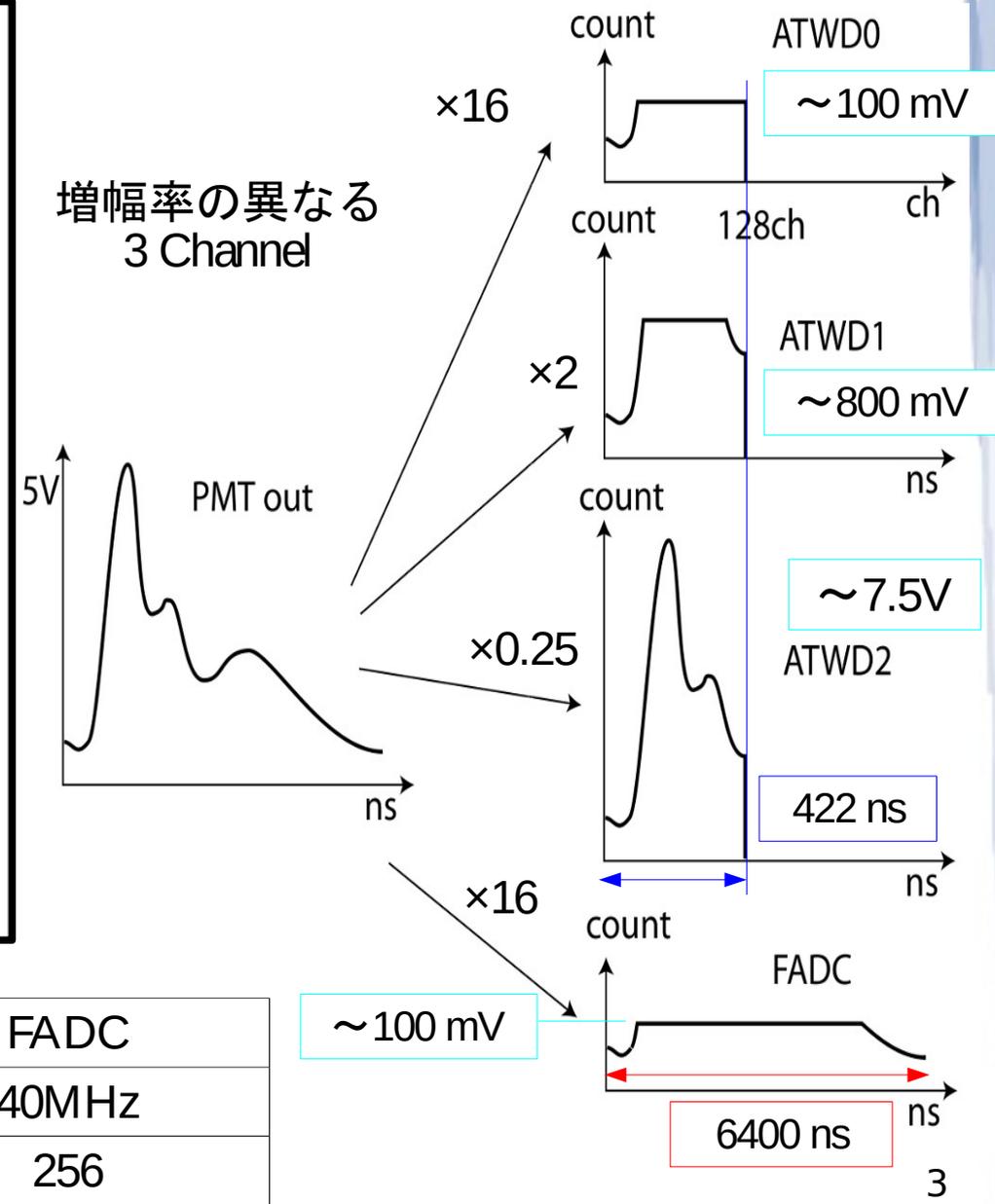
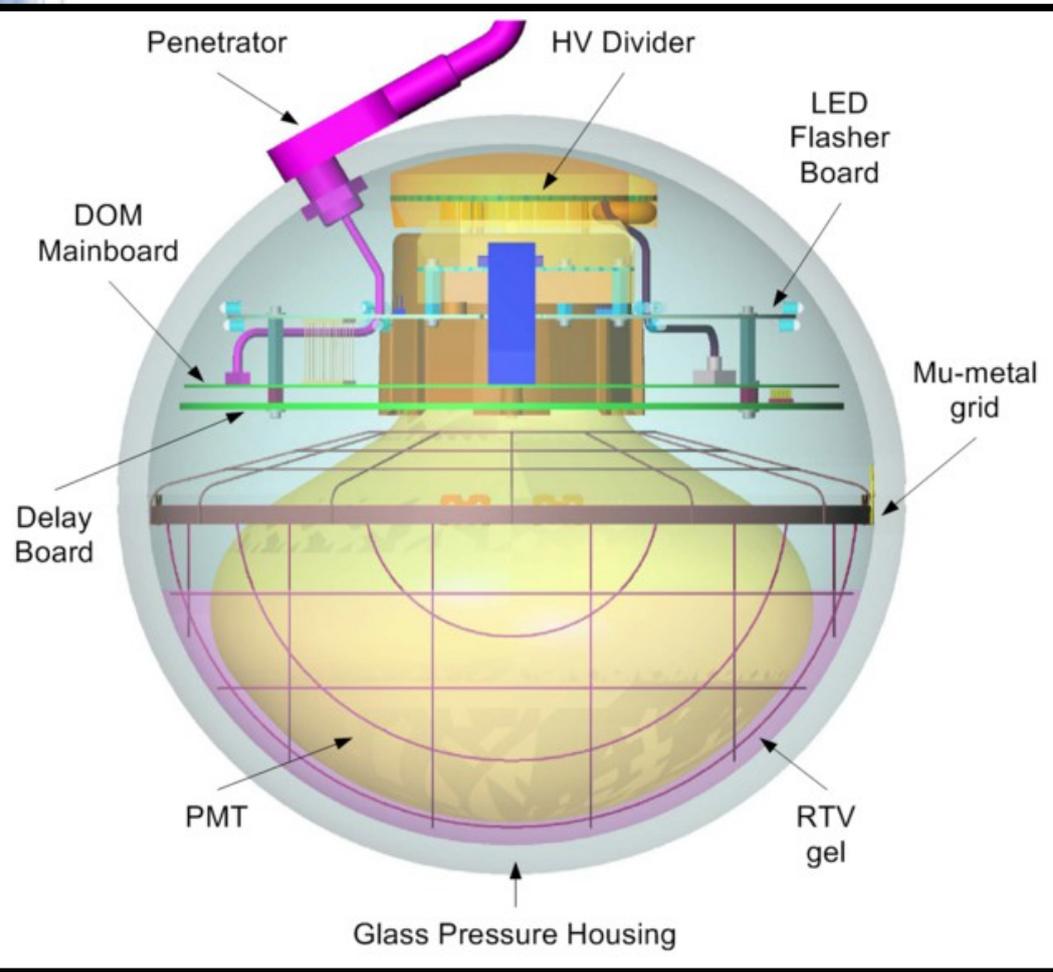
測定原理はカミオカンデと同様で、チェレンコフ光をPMTで観測する。

1000m

2450m

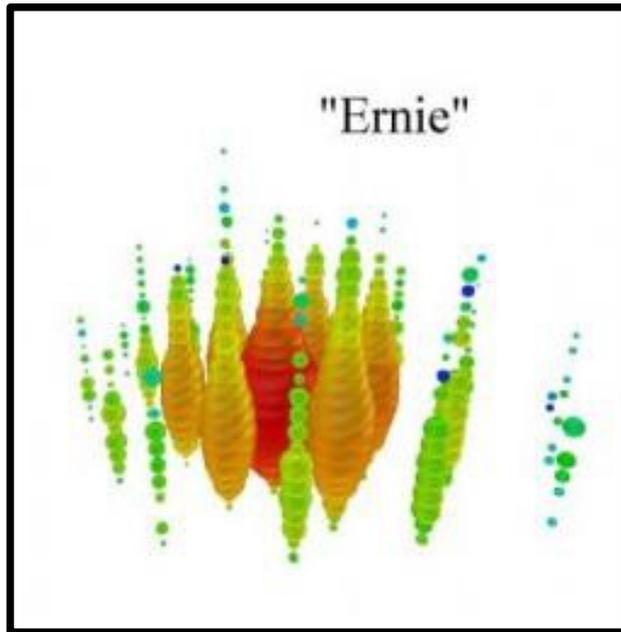
DOM

DOM (Digital Optical Module)



	ATWD	FADC
Sampling rate	300MHz	40MHz
Sampling points	128	256
Resolution	10 bit per channel	

UHE neutrino event

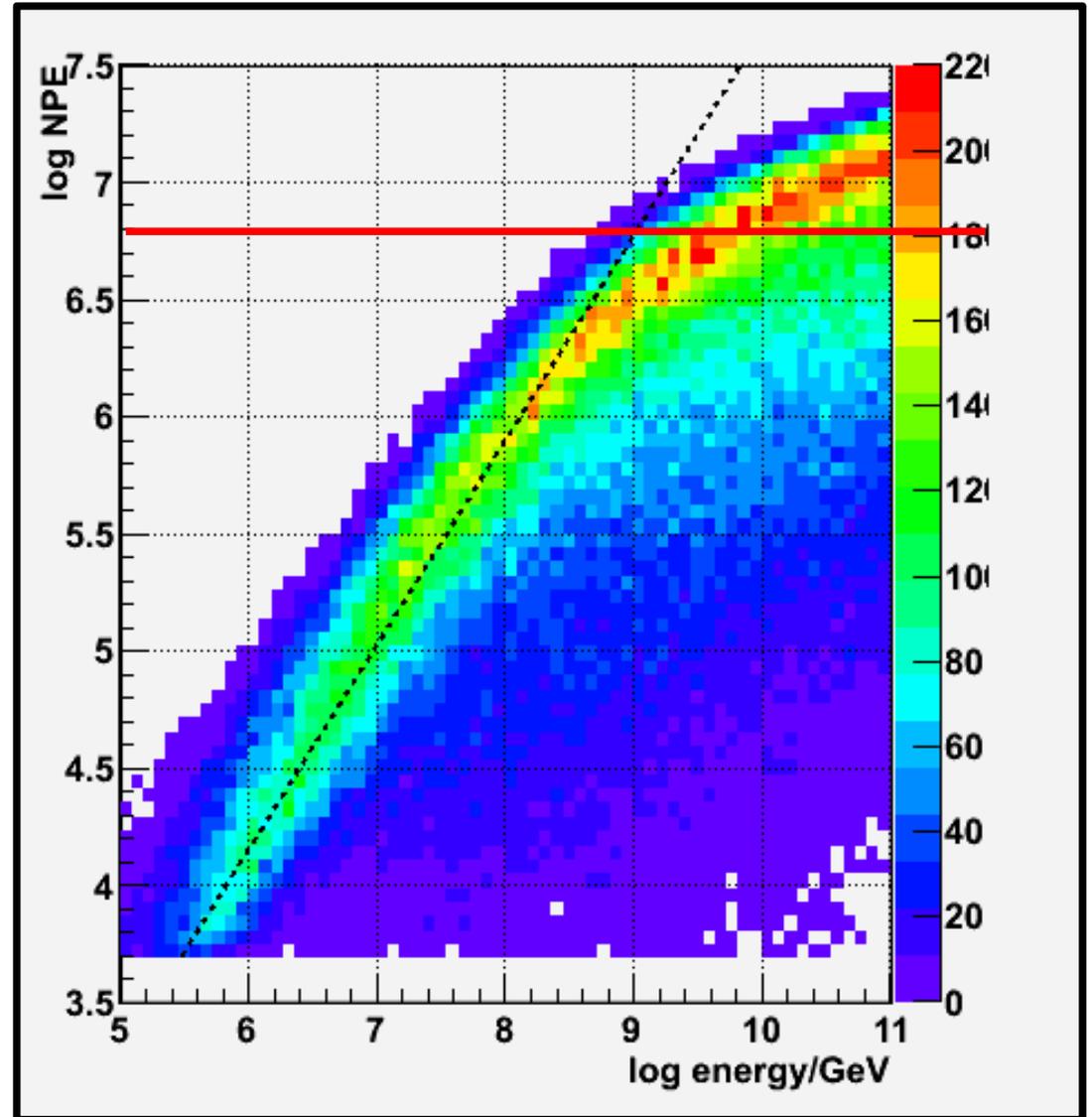


Date 1/3 2012

Total number of pe 9.6×10^4

Reconstructed energy 1.14 ± 0.17 PeV

Cascade event



Track event

Outline

Saturationした波形から入射光量を見積もる

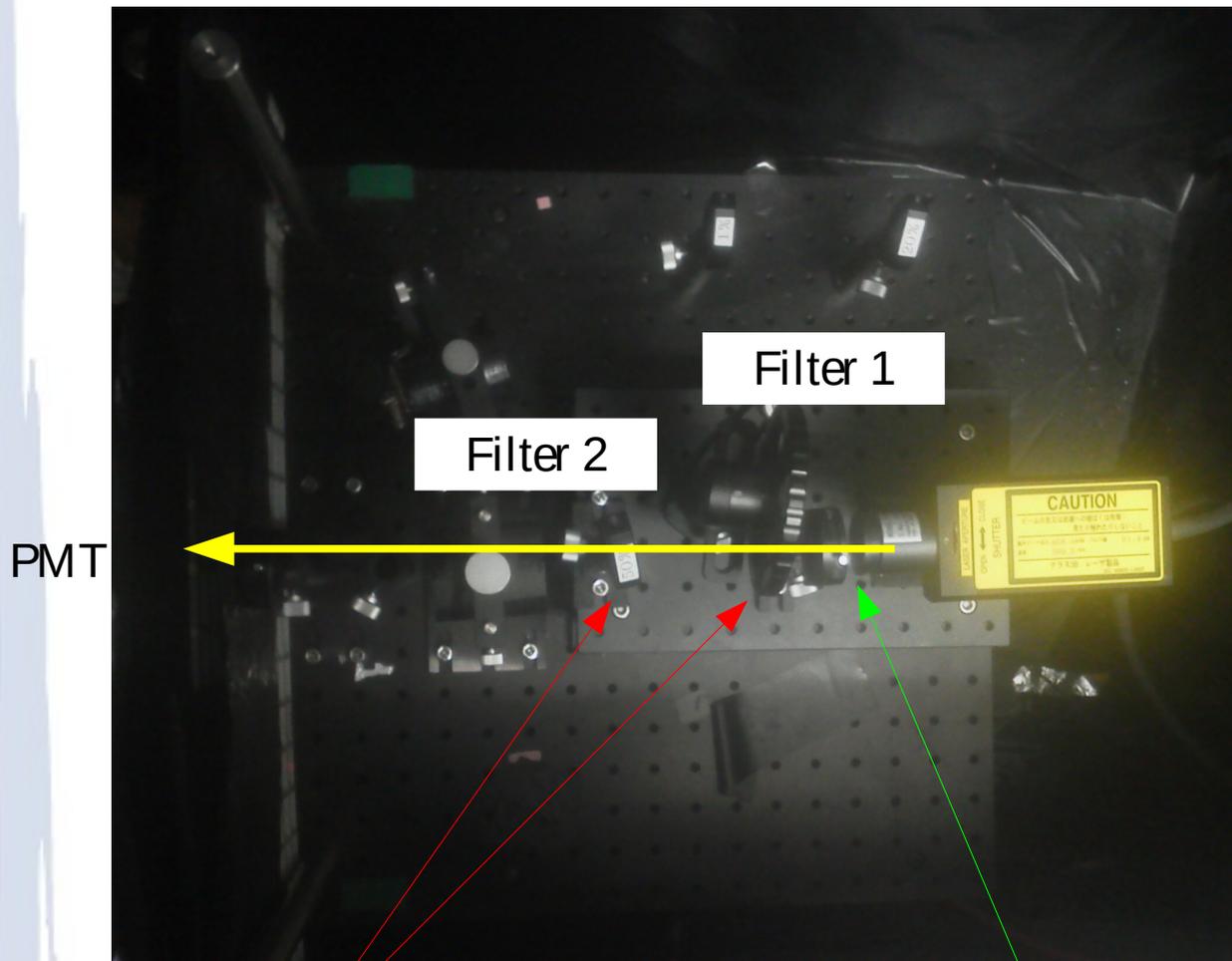
1. そのために入射光量の calibrationから行った。

今回は光源としてライトパルサーとを使用した。
光量は複数のNDフィルターを組み合わせることで変化させた。
→NDフィルターの calibrationが必要になった。

2. 波形を積分して推定された光量と calibrationされた入射光量との比較から saturationの影響を確認し、光量の補正方法を検討する。

3. まとめと今後の展望

ND Filter & Light Pulsar



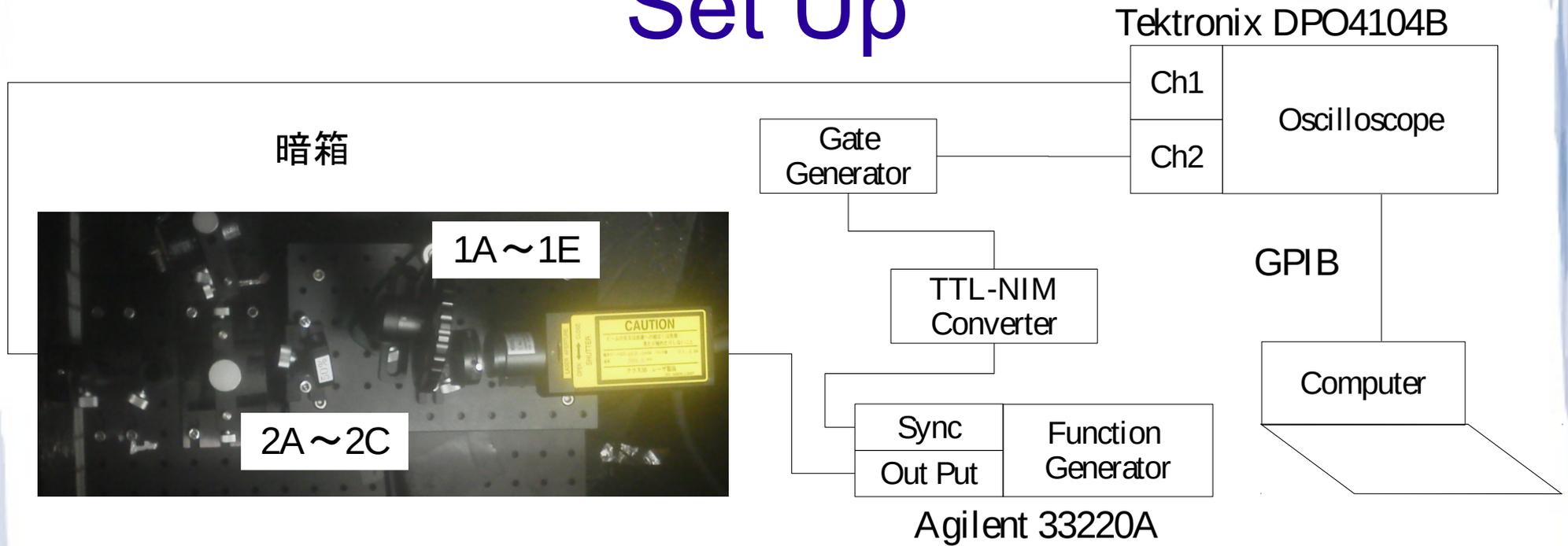
光源
ピコ秒ライトパルサ PLP-10
(浜松ホトニクス製)
パルス幅 61.4 ps
波長 $\lambda=399.5$ nm



ND filter(Neutral Density filter)
波長依存性の少ない減光フィルター

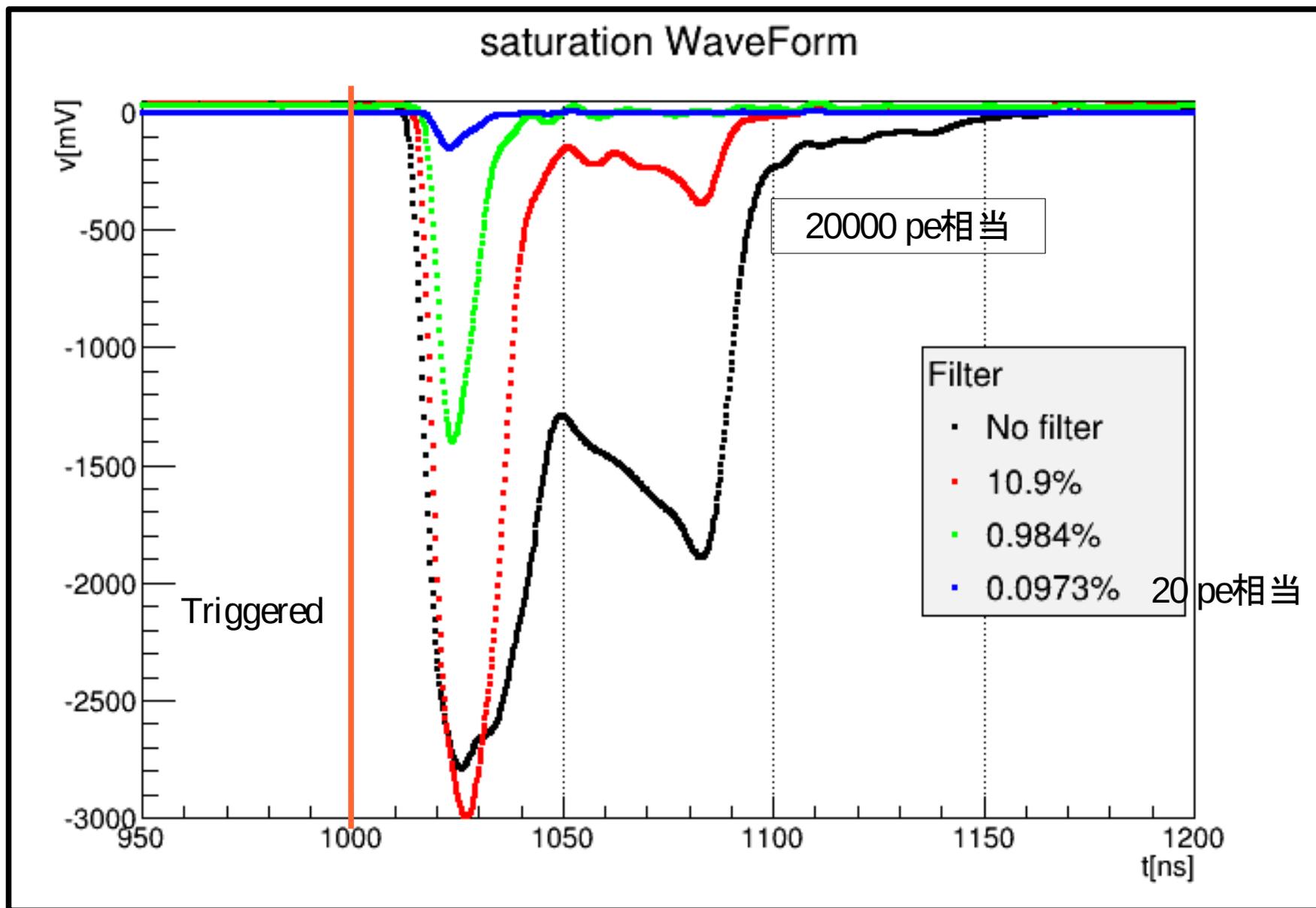
Iris(絞り)

Set Up



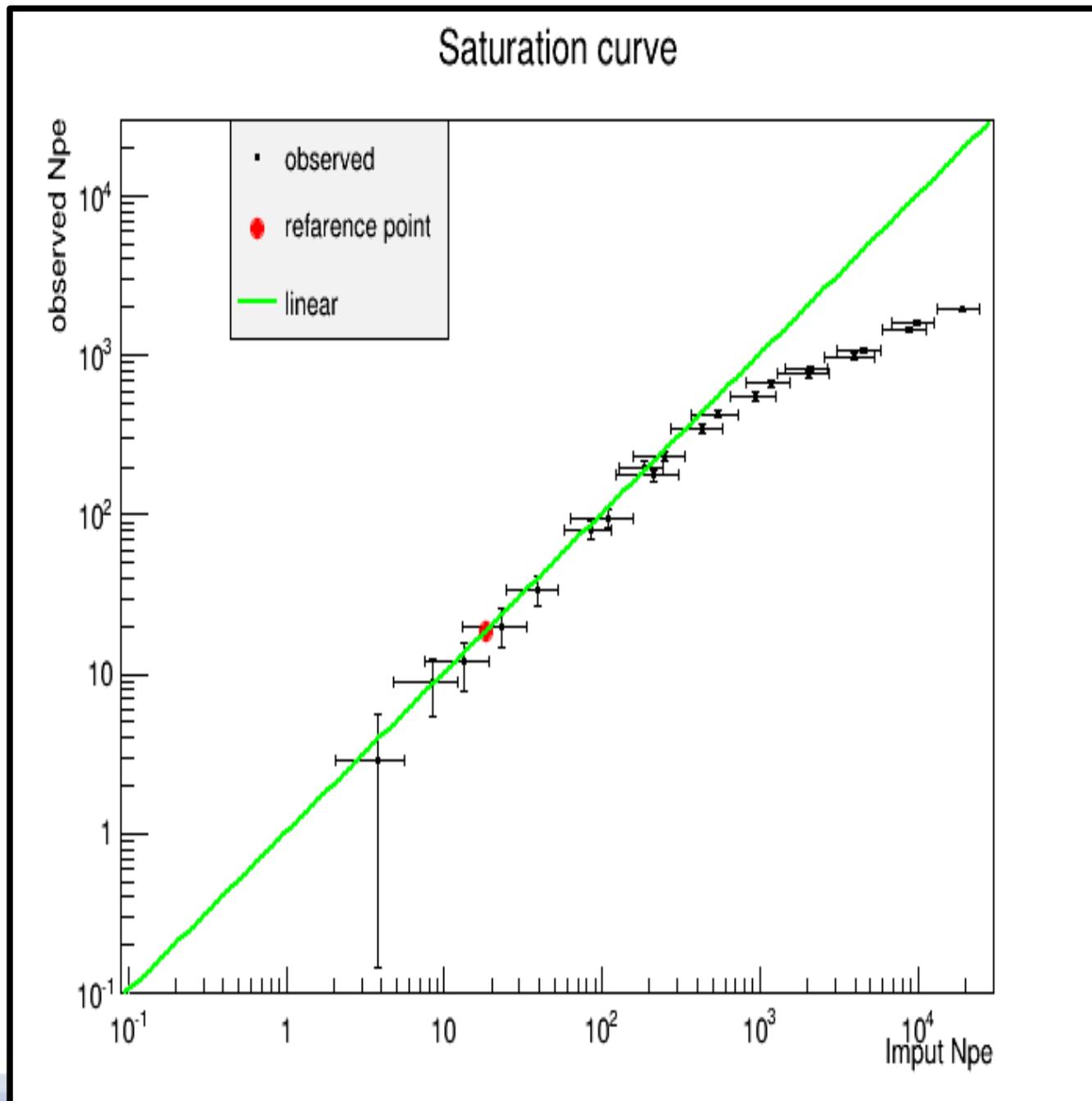
Filter ID	Expected Transmission(%) ($\lambda=500$ nm)	Calibrated Transmission(%) ($\lambda=399.5$ nm)
1A	50	51.6 \pm 2.35
1B	10	10.9 \pm 0.60
1C	5	6.27 \pm 0.515
1D	1	0.984 \pm 0.0826
1E	0.1	0.0973 \pm 0.0293
2A	50	45.8 \pm 3.85
2B	20	20.7 \pm 3.90
2C	1	1.12 \pm 0.339

Saturation Waveform



PMT Gain 1.0×10^7

Saturation Curve



Correction using after pulse1

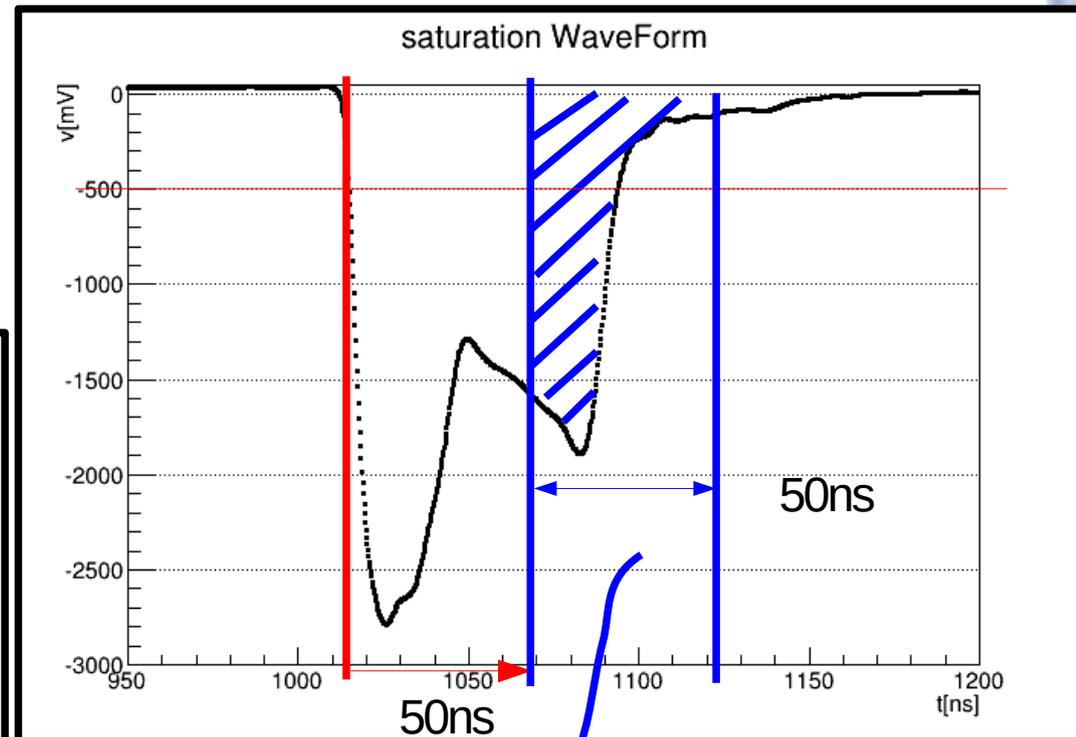
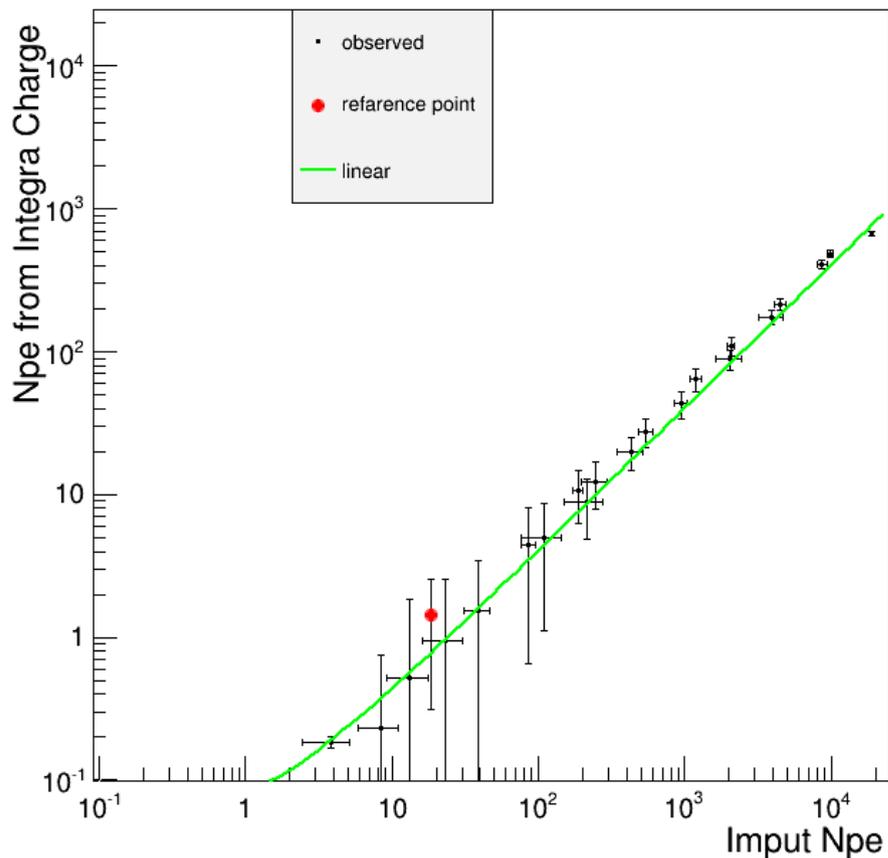
Fitting function

$$Y = A * X + B$$

$$A = (3.96 \pm 0.110) * 10^{(-2)}$$

$$B = (3.67 \pm 5.58) * 10^{(-2)}$$

Charge after pulse 50ns after



Integral

Correction using after pulse 2

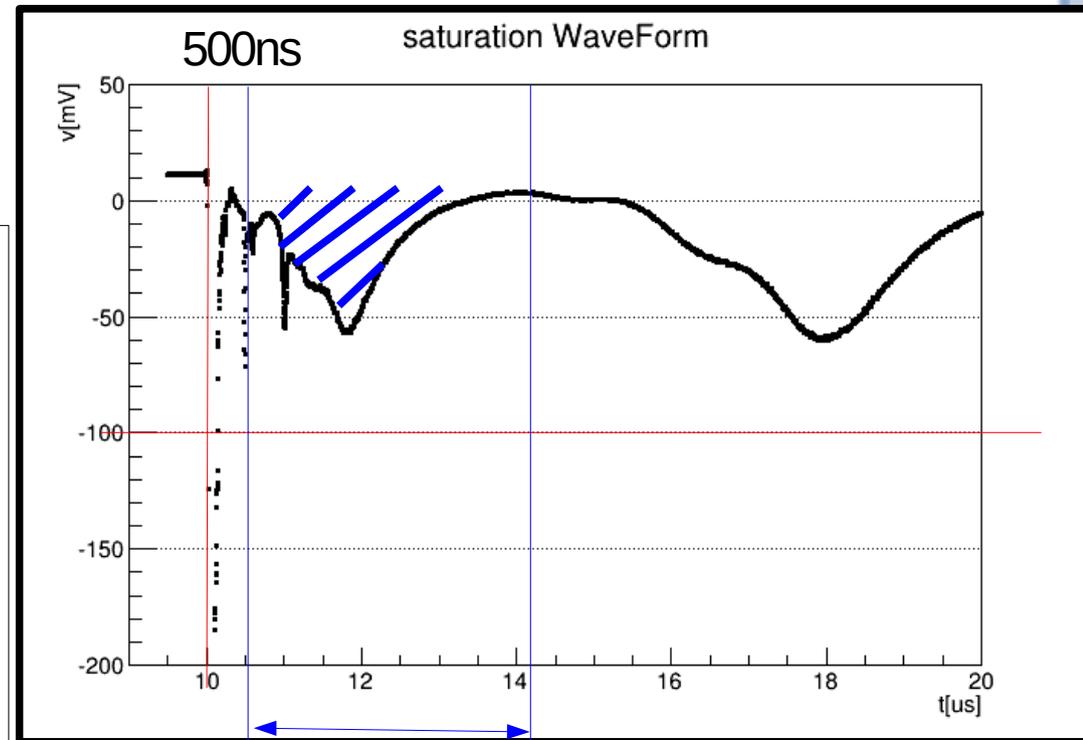
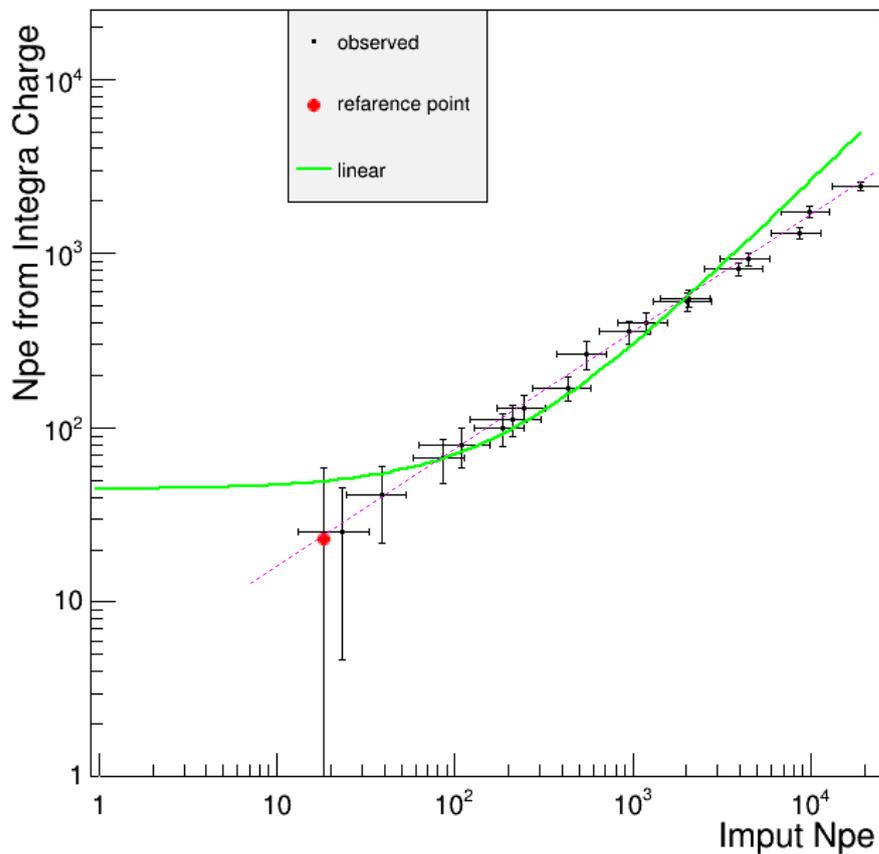
Fitting function

$$Y = A * X + B$$

$$A = (0.255 \pm 0.0358)$$

$$B = (44.4 \pm 10.5)$$

Charge after pulse 05 us after

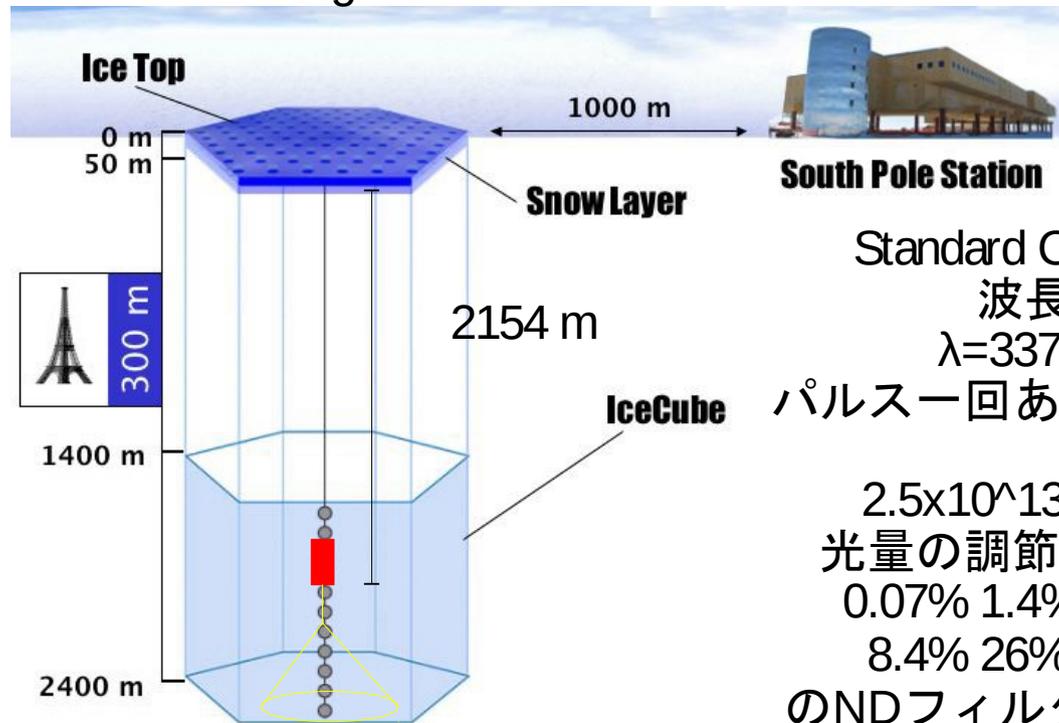


3500ns

Standard Candle



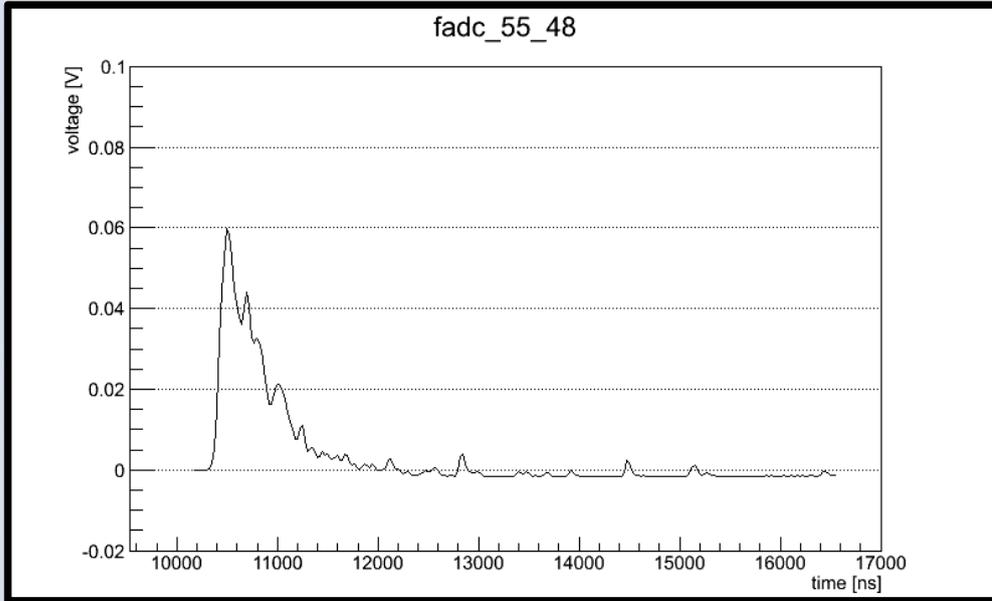
Standard Candle II location
String 55 between DOM number 42 and 43



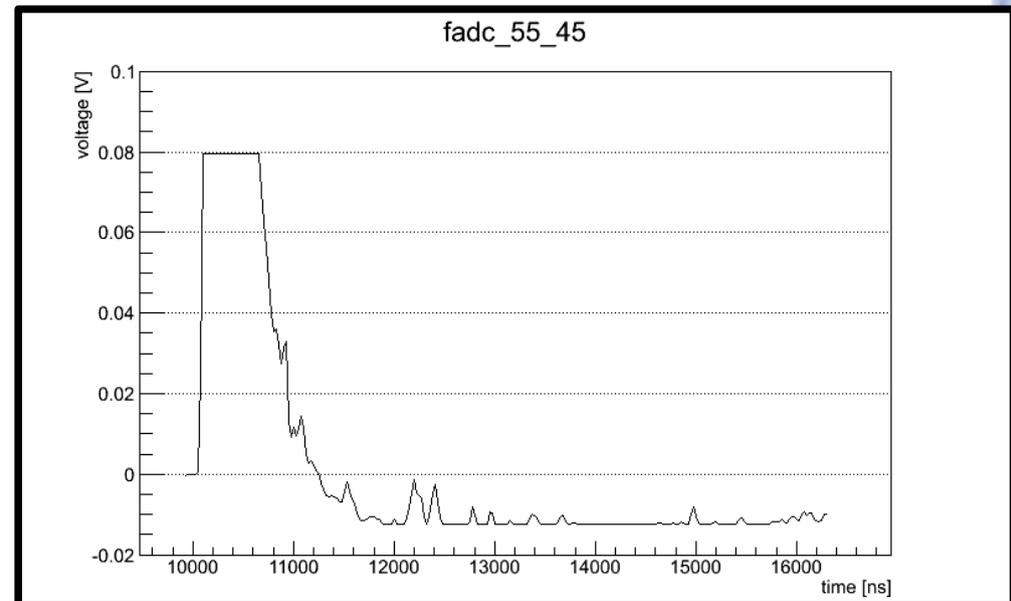
次のスライドで
Standard Candleと同じString 55の
DOM number 45と48で測定した波形を示す。
この時のNDフィルターの値は 0.07%である。

Real waveform example

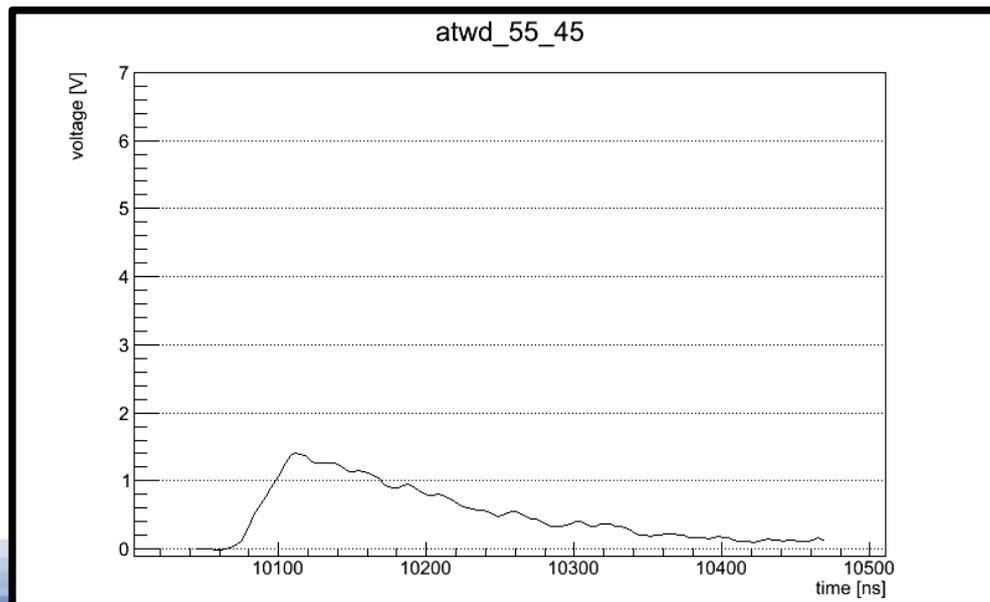
FADC Waveform DOM 48



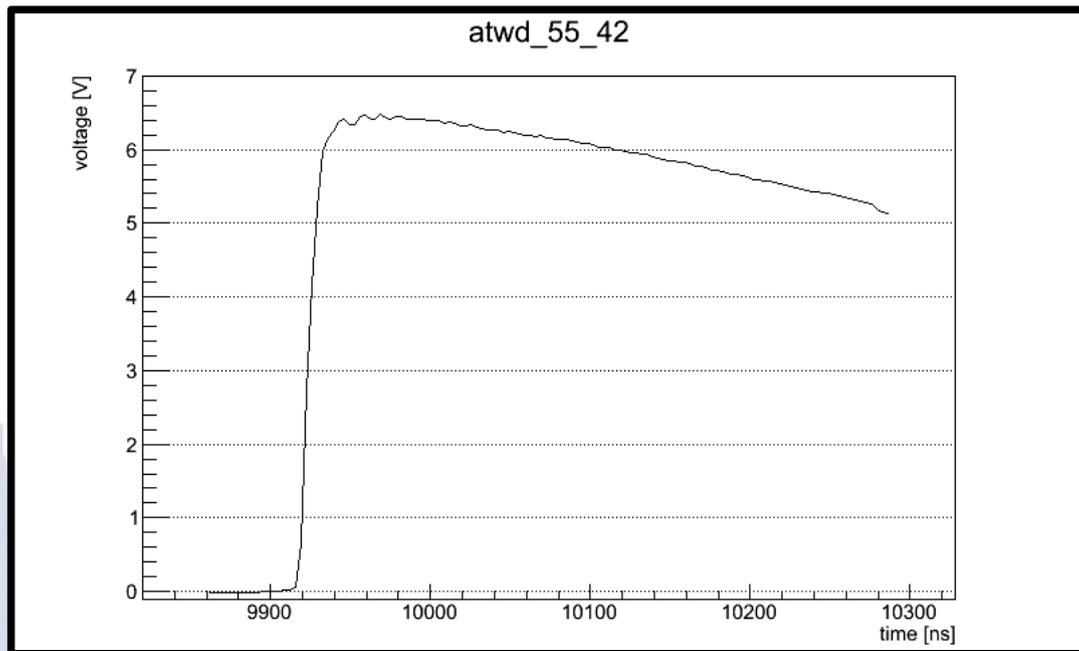
FADC Waveform DOM 45



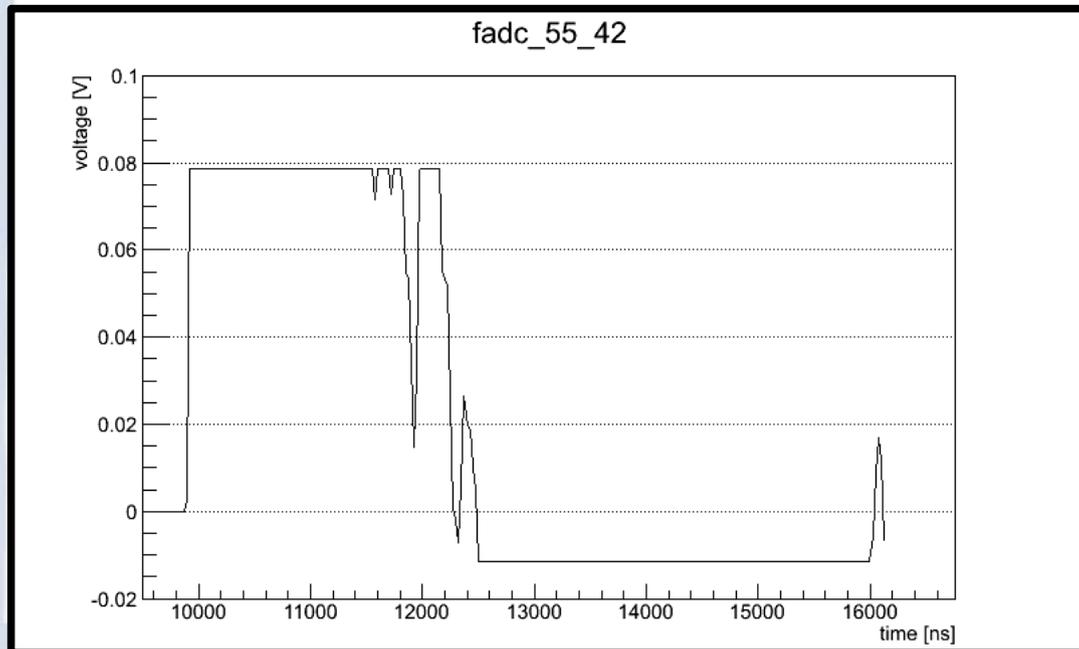
ATWD Waveform DOM 45



Real Waveform



Main pulseに近い部分の
After pulseが見えない



FADCのUnderflowとbottomed out
の効果で正しいafter pulseの
photon数が計測できない

Scattered photonが計測されてし
まい正しいafter pulseのphoton数
が計測できない

Summary

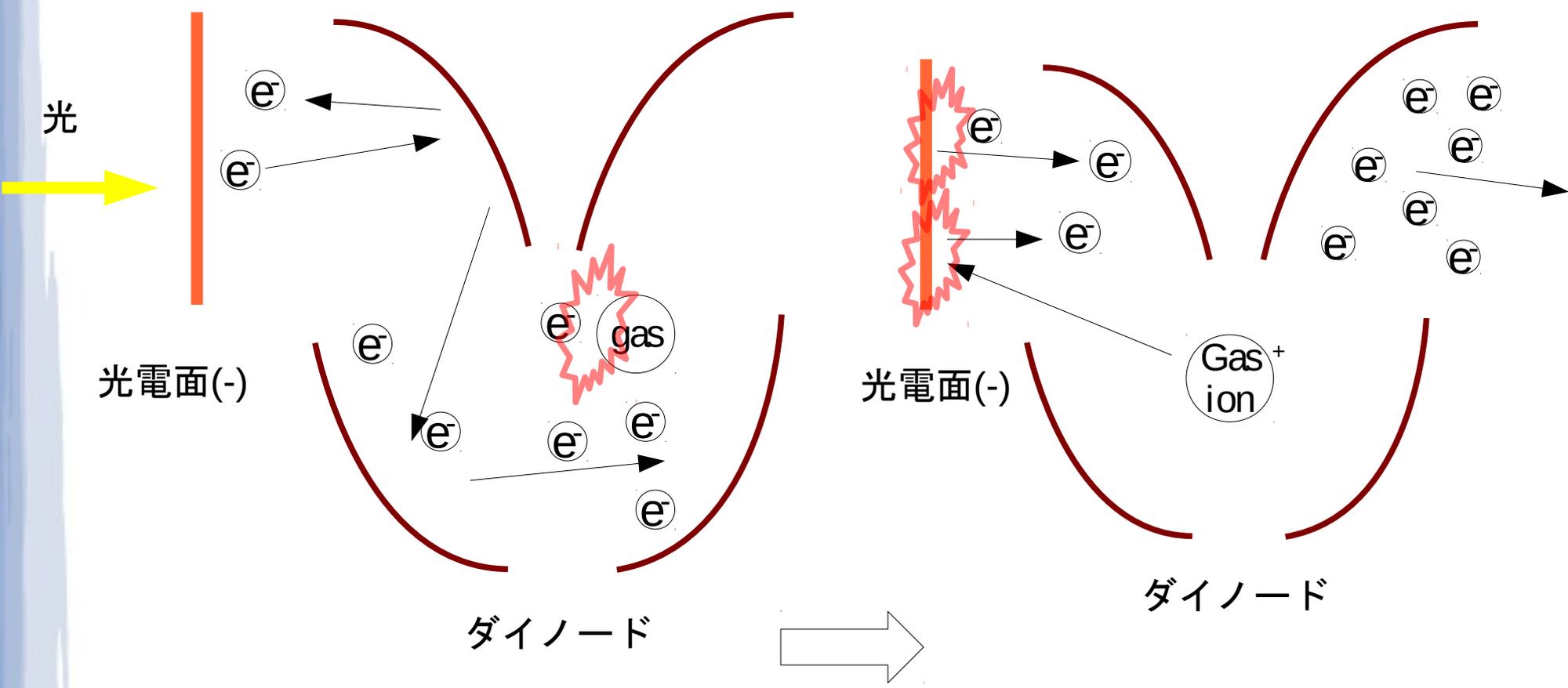
- NDフィルターを 20%程度の精度で calibration し PMT saturationの効果を測定した
- Afterpulseを使って、Saturationを補正する方法を 2種類考案した
- 考案した方法が実際のIceCubeでの測定で使用できるか Standard Candleを用いて検証した

Outlook

- ND Filterのcalibration精度向上
- IceCube実験のdigitizerであるFADCを使った補正の検証を行う

Back up

Afterpulse



Energy and Photoelectron

- チェレンコフ光の放射条件

$$\cos\theta = 1/(n\beta) \quad \theta: \text{放射角}$$

- 放出光子数

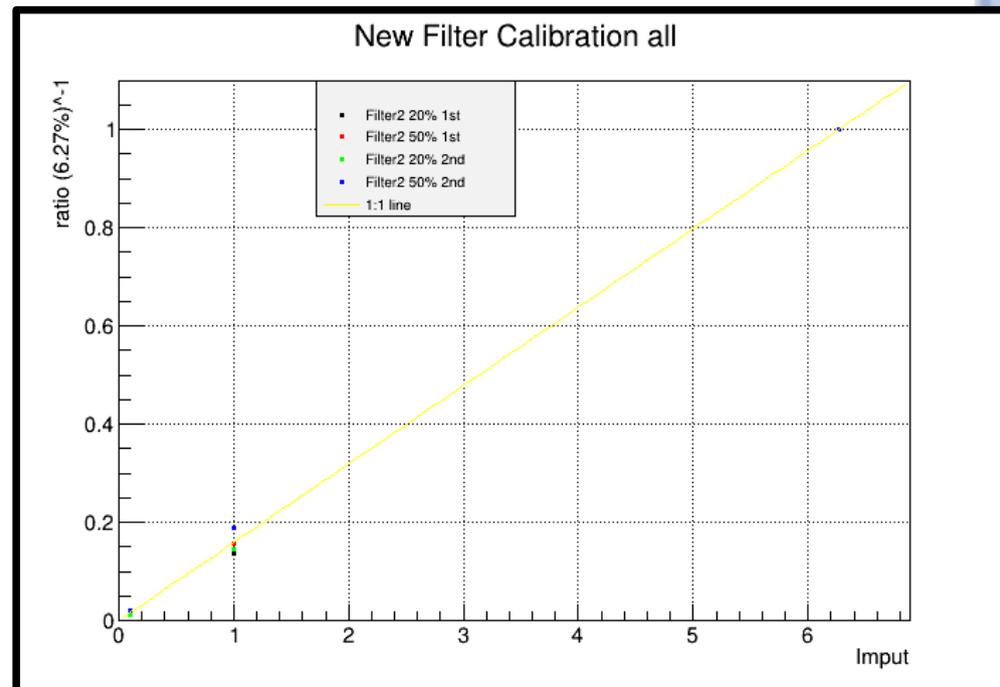
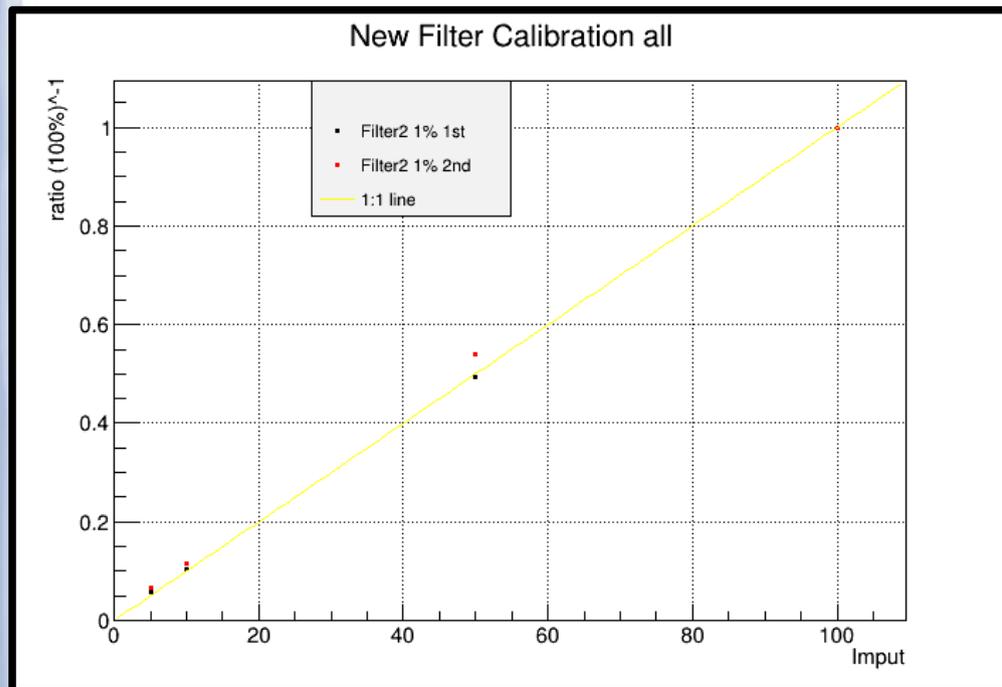
$$d^2N_{pe}/dLd\lambda = 2\pi\alpha(Z^2/\lambda^2)\{1 - 1/(n\beta)^2\}$$

$$N_{pe} = 2\pi\alpha Z^2 L \{(1/\lambda_2) - (1/\lambda_1)\} \{1 - 1/(n\beta)^2\}$$

α : 微細構造定数 = $1/137$, Z : 粒子の電荷

$$\beta^2 = 1 - mc^2/E^2$$

ND Filter Calibration



Filter ID	1回目	2回目	平均
1A(50%)	0.493	0.540	0.516
1B(10%)	0.103	0.115	0.109
1C(5%)	0.0575	0.0678	0.0678

$$0.0627 \times 0.157 = 0.00984$$

$$0.0627 \times 0.0155 = 0.000973$$

Filter ID	1回目	2回目	3回目	4回目	平均
1C(5%)	1	1	1	1	-
1D(1%)	0.136	0.155	0.146	0.190	0.157
1E(0.1%)	0.0119	0.0171	0.0122	0.0209	0.0155