

チェレンコフ望遠鏡焦点面検出器 に向けた半導体光検出器MPPCの 性能評価

日高直哉

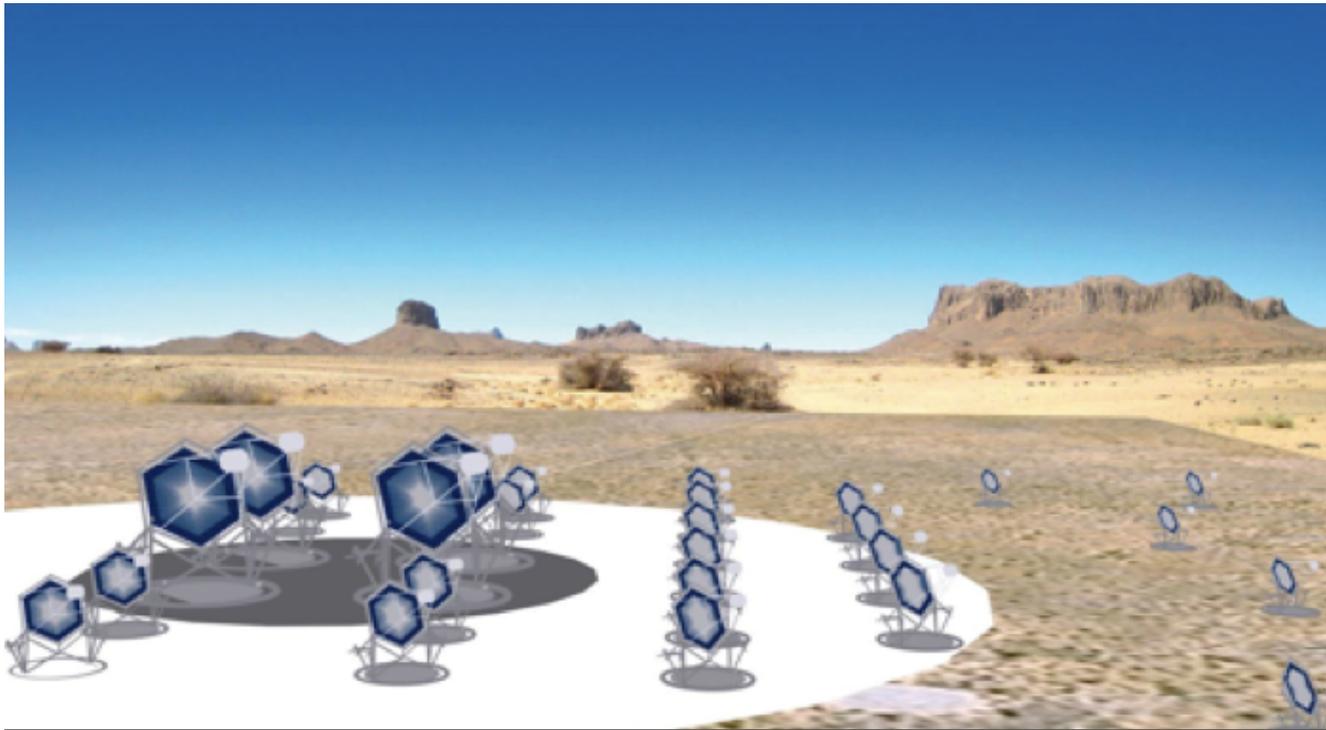
(名大STE研)

田島宏康、奥村 暁

CTA Consortium

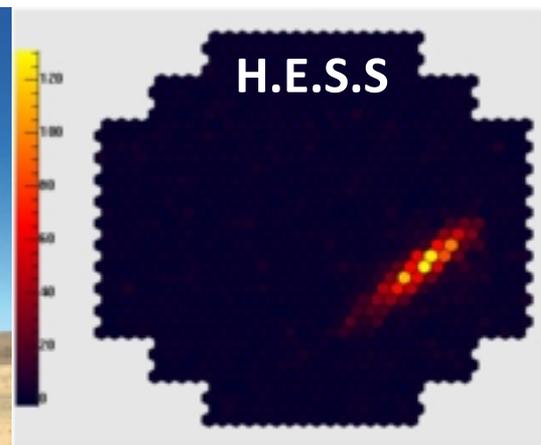
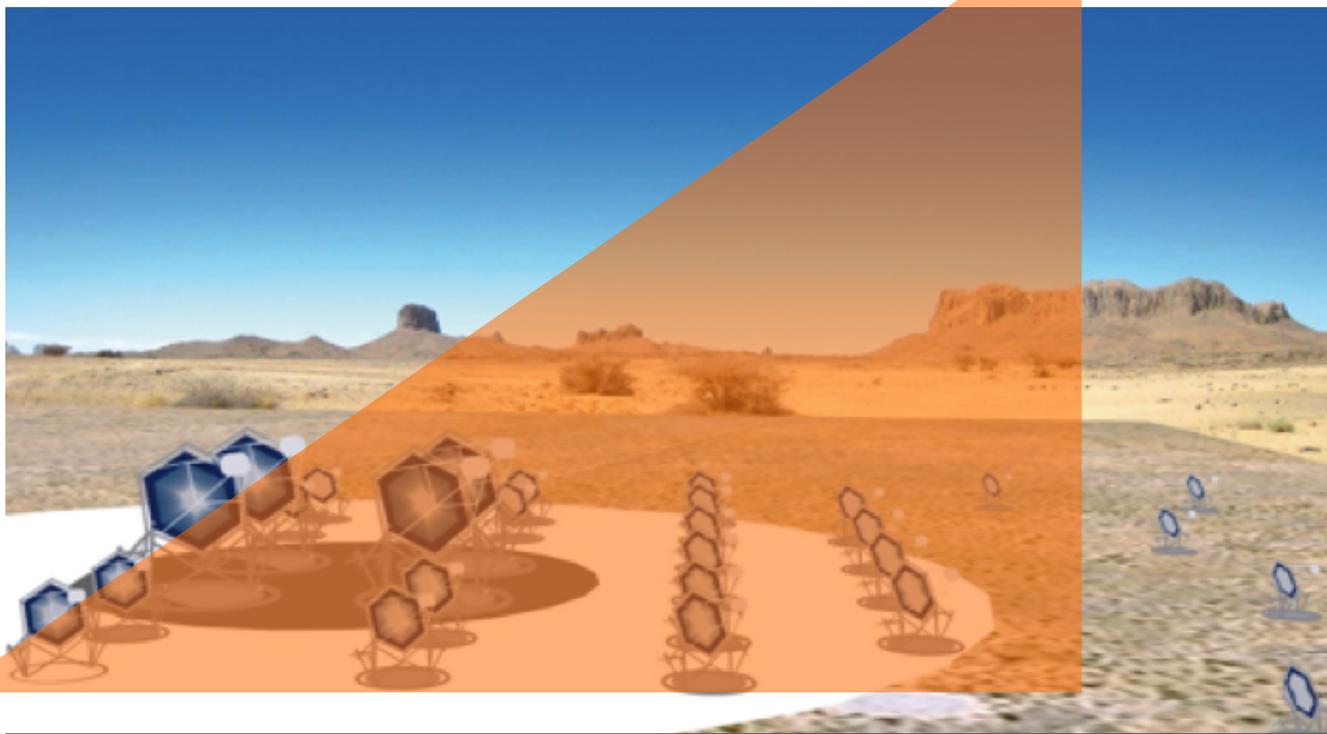
CTA (Cherenkov Telescope Array)

- GeV~TeVのエネルギー領域のガンマ線を観測
日米欧を中心とした国際共同実験
- 複数の望遠鏡でガンマ線シャワーイメージを再構築
10 km² エリアに60の望遠鏡
- 現在稼働中のチェレンコフ望遠鏡から10倍の感度向上を目指す。



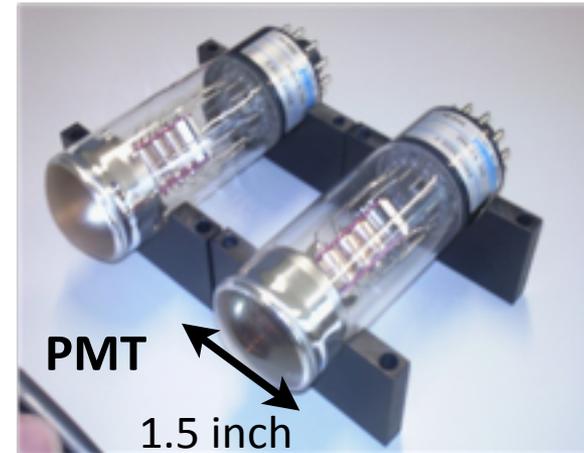
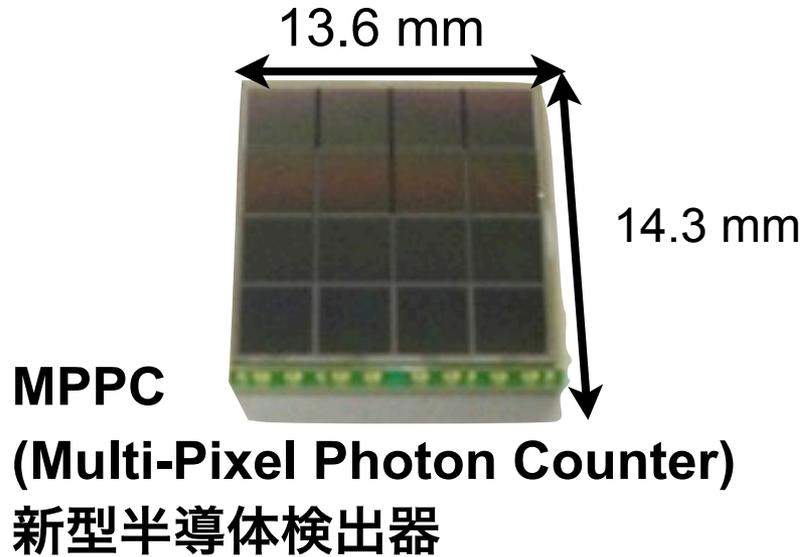
CTA (Cherenkov Telescope Array)

- GeV~TeVのエネルギー領域のガンマ線を観測
日米欧を中心とした国際共同実験
- 複数の望遠鏡でガンマ線シャワーイメージを再構築
10 km² エリアに60の望遠鏡
- 現在稼働中のチェレンコフ望遠鏡から10倍の感度向上を目指す。



12 m Telescopes
1 TeV gamma ray
→ ~5000 photons
5~10 ns

MPPCによる性能向上



高い検出効率

(=量子効率 × 開口率 × 励起確率)

CTAの更なる性能向上

- ・ 観測可能なガンマ線のエネルギーの閾値を下げる
- ・ コストパフォーマンスの向上

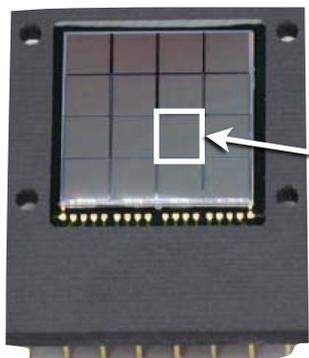
本研究の目的

検出効率

- チェレンコフ望遠鏡でのMPPCの採用の決め手
- カタログ値で考慮されていない特性
 - MPPCのアフターパルス、ダークレートの影響
 - 波長特性

→ 検出効率を測定によって得ることで、
MPPCの性能を実証する

検出効率比の測定

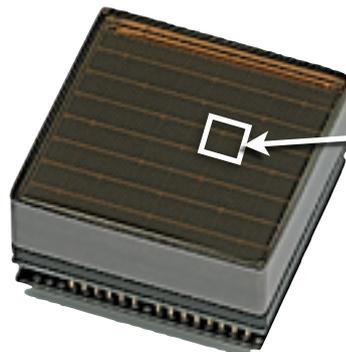


MPPC

S11827-3344MG

3 mm × 3 mm /ch

4 ch × 4 ch



MAPMT

H8500-D

6.08 mm × 6.08 mm /ch

8 ch × 8 ch

焦点面検出器の候補の一つ

同じ光量を照射した時の面積あたりの検出光子数の比を求める。

- **波長特性**

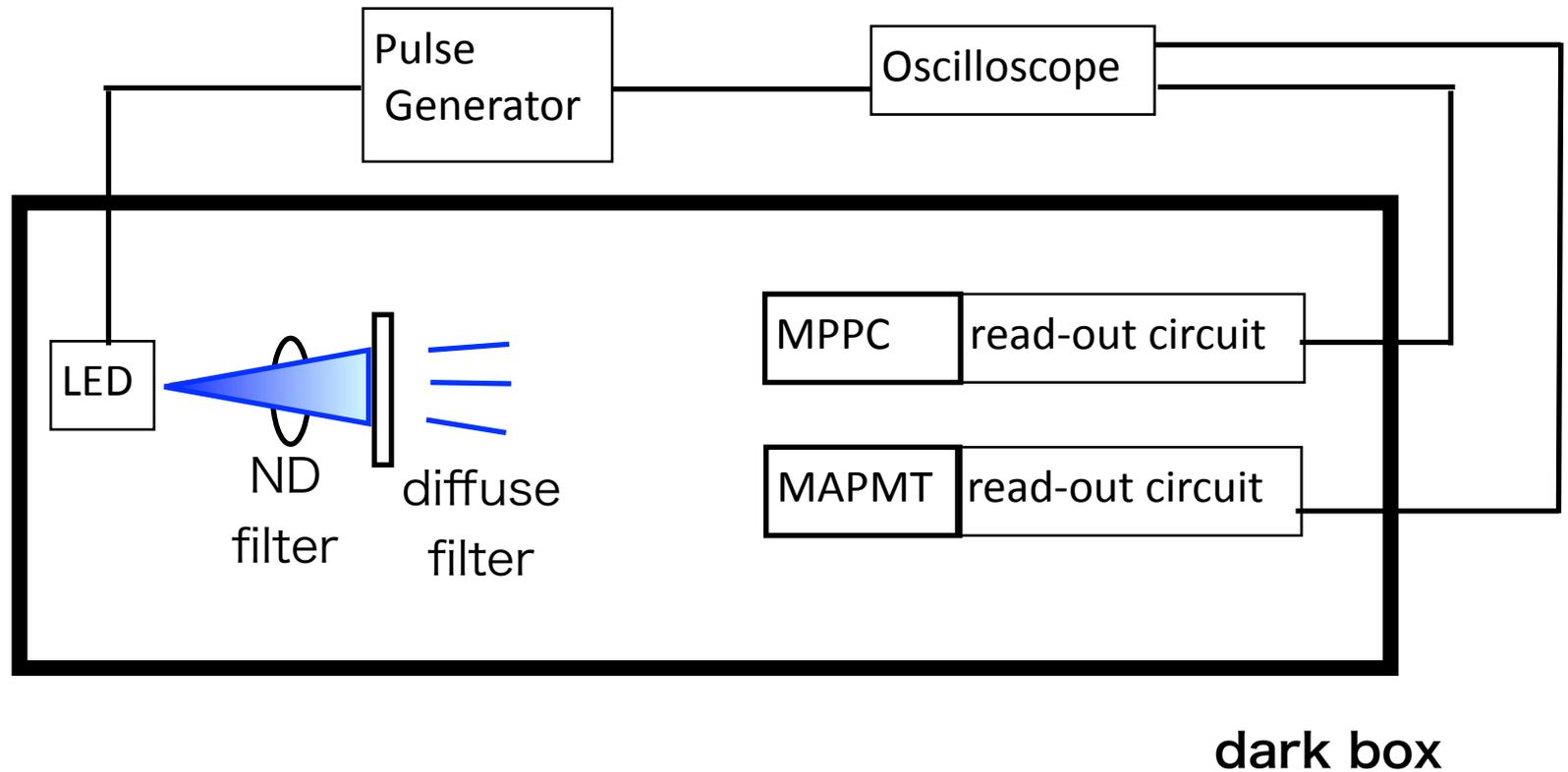
波長の異なるLEDを用いる (355,400,465,500,635 nm)

- **測定の評価方法**

測定によって得られた検出効率の比から、

チェレンコフ光のスペクトルに対しての検出光子数の比を求める。

測定方法



LEDをパルスジェネレータで光らせ、同期信号でトリガーした時のMPPC、MAPMTの出力波形を測定する。

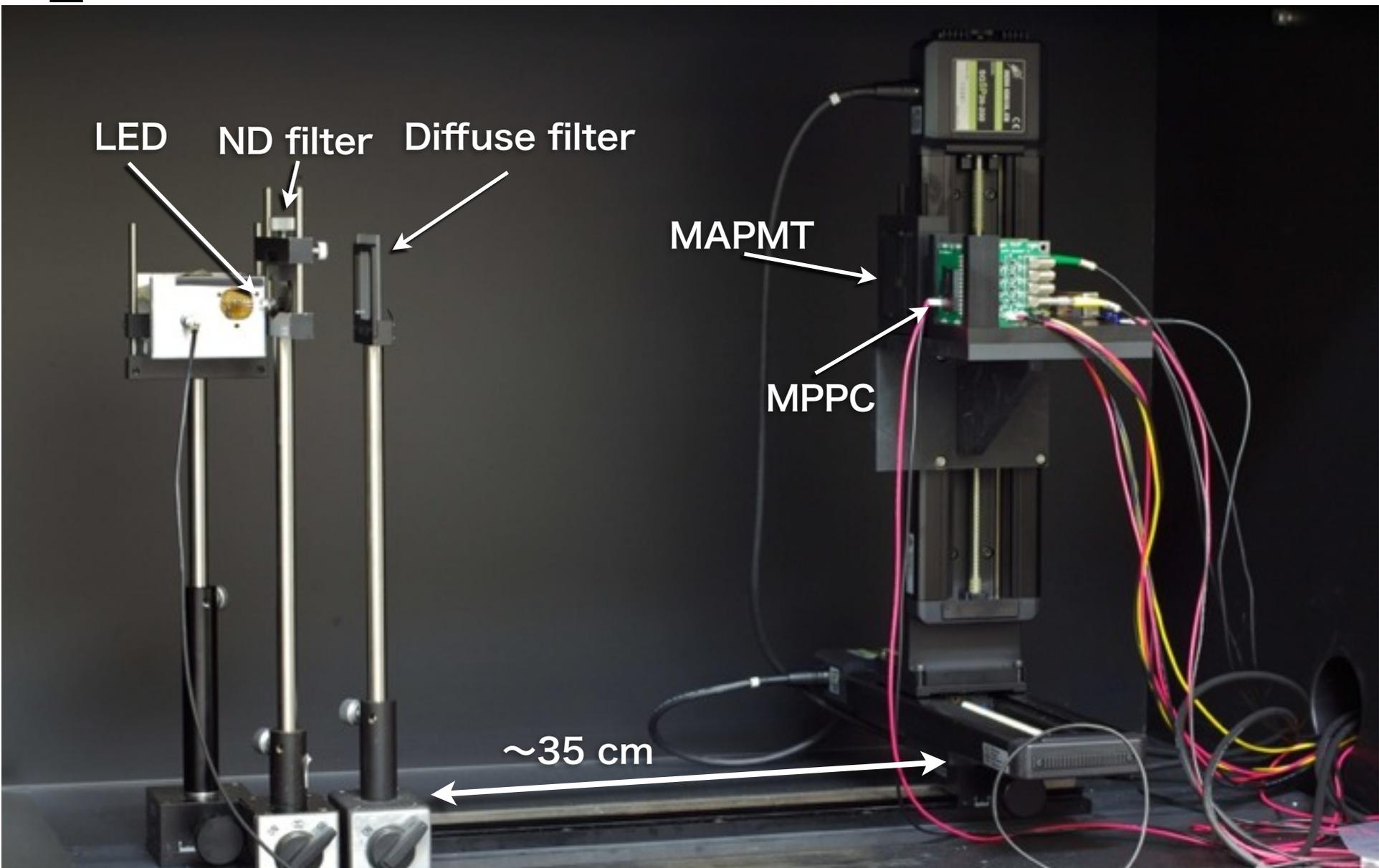
測定系

LED ND filter Diffuse filter

MAPMT

MPPC

~35 cm



測定系

LED ND filter Diffuse filter

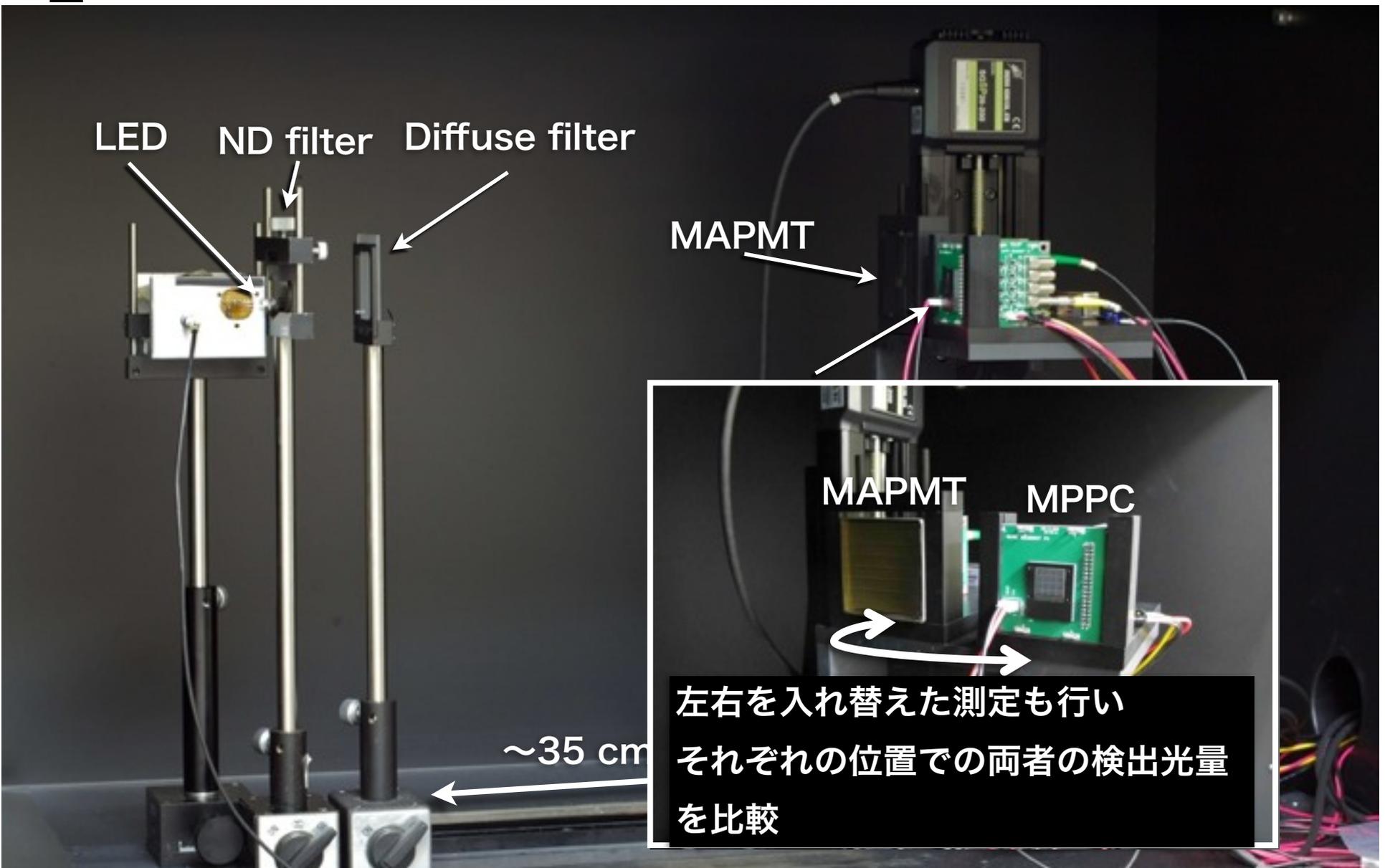
MAPMT

MAPMT

MPPC

~35 cm

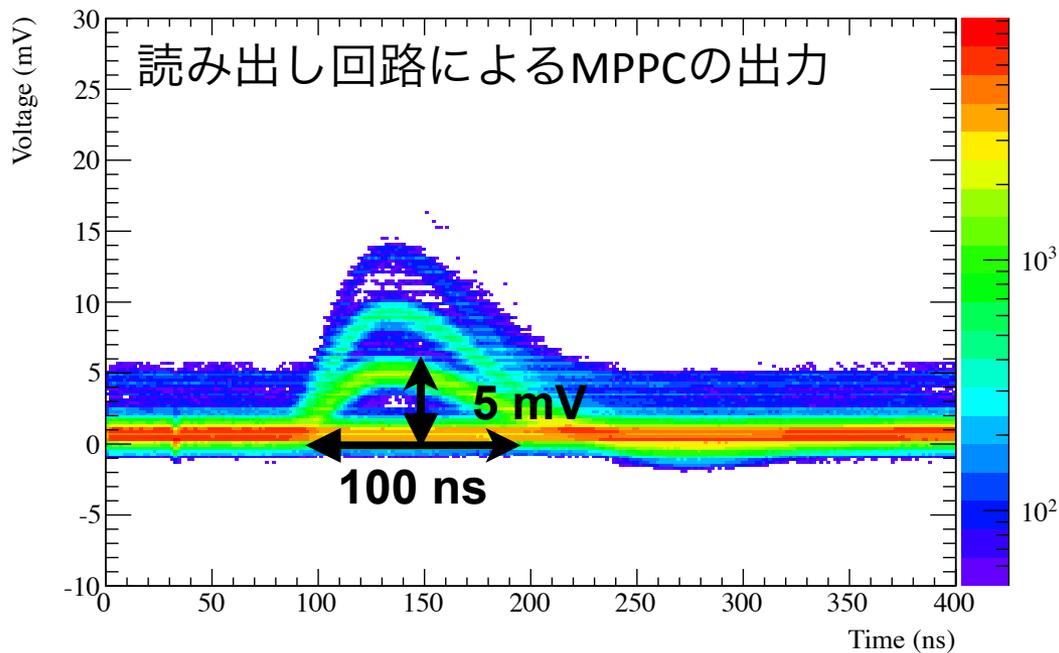
左右を入れ替えた測定も行い
それぞれの位置での両者の検出光量
を比較



測定用基板

- MPPC アダプター基板
- 読み出し基板
 - MPPC、MAPMTに接続可能
 - チャージアンプ

電荷に応じた波高値を出力



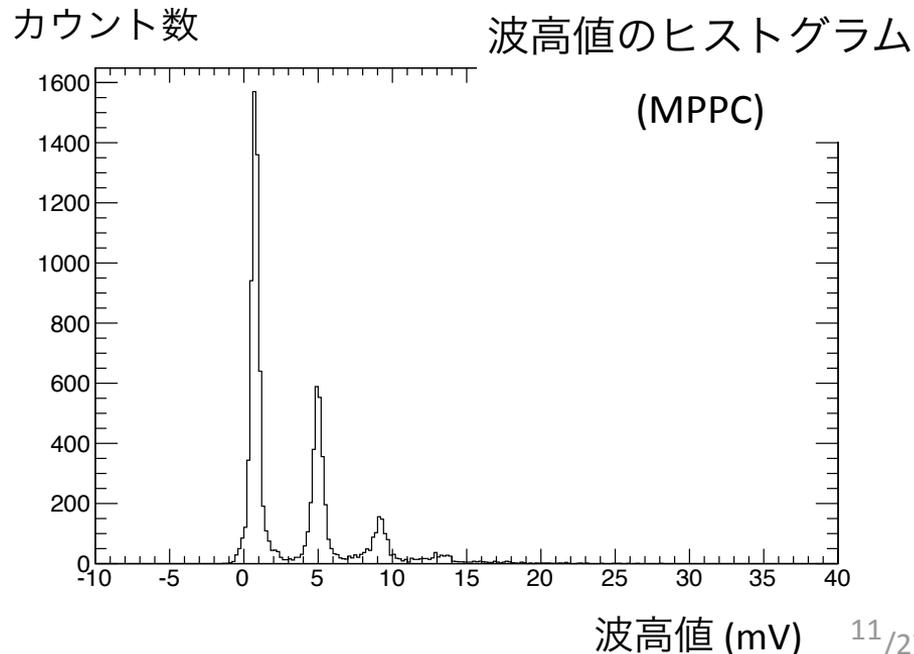
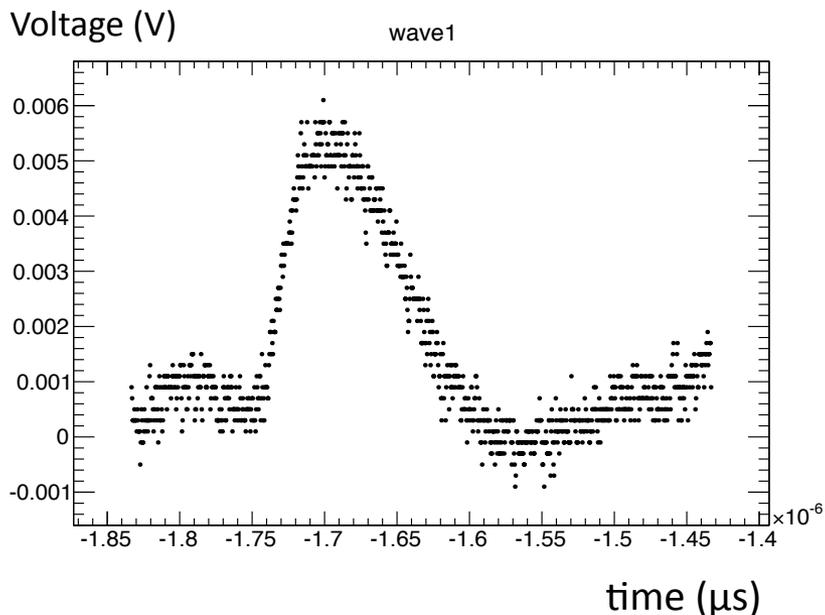
MPPCアダプター基板



読み出し基板

データ解析

1. オシロから波形データを取得
2. 波形データのピーク近傍の波高を平均
3. 平均値のヒストグラムを作る
4. 得られたヒストグラムから検出光子数を求める



検出光子数の求め方 1

Poisson関数によるフィッティング

$$N \sum_k \left[P(k, \lambda) \times G \left(\mu_0 + k\Delta\mu, \sqrt{\sigma_{\text{ped}}^2 + k\sigma_{1 \text{ p.e.}}^2} \right) \right]$$

$$P(X = k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!} \quad f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

N: 全イベント数

σ_{ped} : ペDESTALの標準偏差

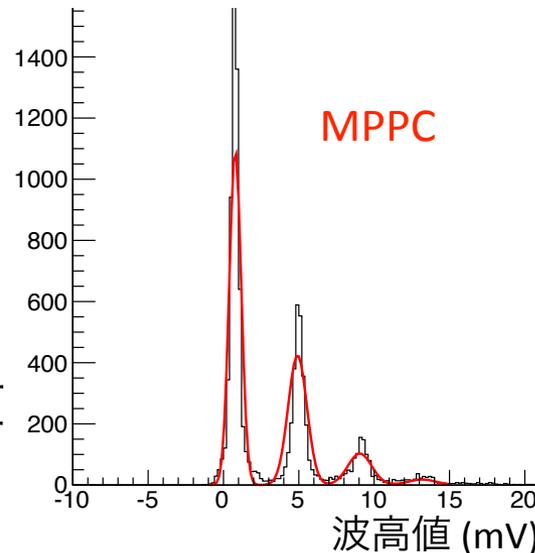
μ_0 : ペDESTALの波高値

λ : 検出光子数の平均

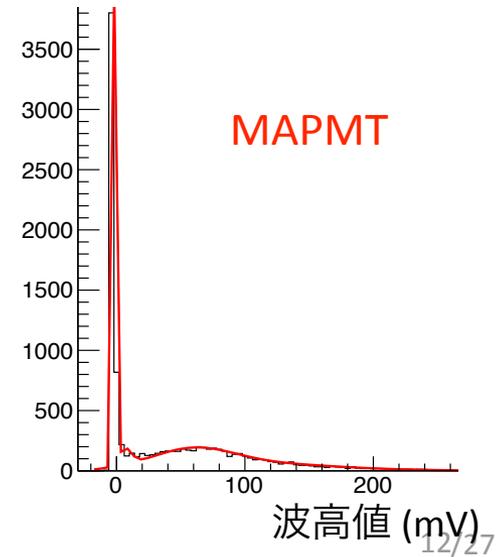
$\sigma_{1 \text{ p.e}}$: 1 p.e 信号の標準偏差

$\Delta\mu$: 1 p.e eventに相当する波高値

カウント数



カウント数



検出光子数の求め方 1

Poisson関数によるフィッティング

$$N \sum_k \left[P(k, \lambda) \times G \left(\mu_0 + k\Delta\mu, \sqrt{\sigma_{\text{ped}}^2 + k\sigma_{1 \text{ p.e.}}^2} \right) \right]$$

$$P(X = k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!} \quad f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

N: 全イベント数

σ_{ped} : ペDESTALの標準偏差

μ_0 : ペDESTALの波高値

λ : 検出光子数の平均

$\sigma_{1 \text{ p.e.}}$: 1 p.e 信号の標準偏差

$\Delta\mu$: 1 p.e eventに相当する波高値

λ / 有効面積 の比

= 検出光子数の比

= 検出効率の比

MPPCではダークカウントレートの分を引いている。

*クロストークの影響あり

検出光子数の求め方 2

ペDESTALのカウンT数から求める

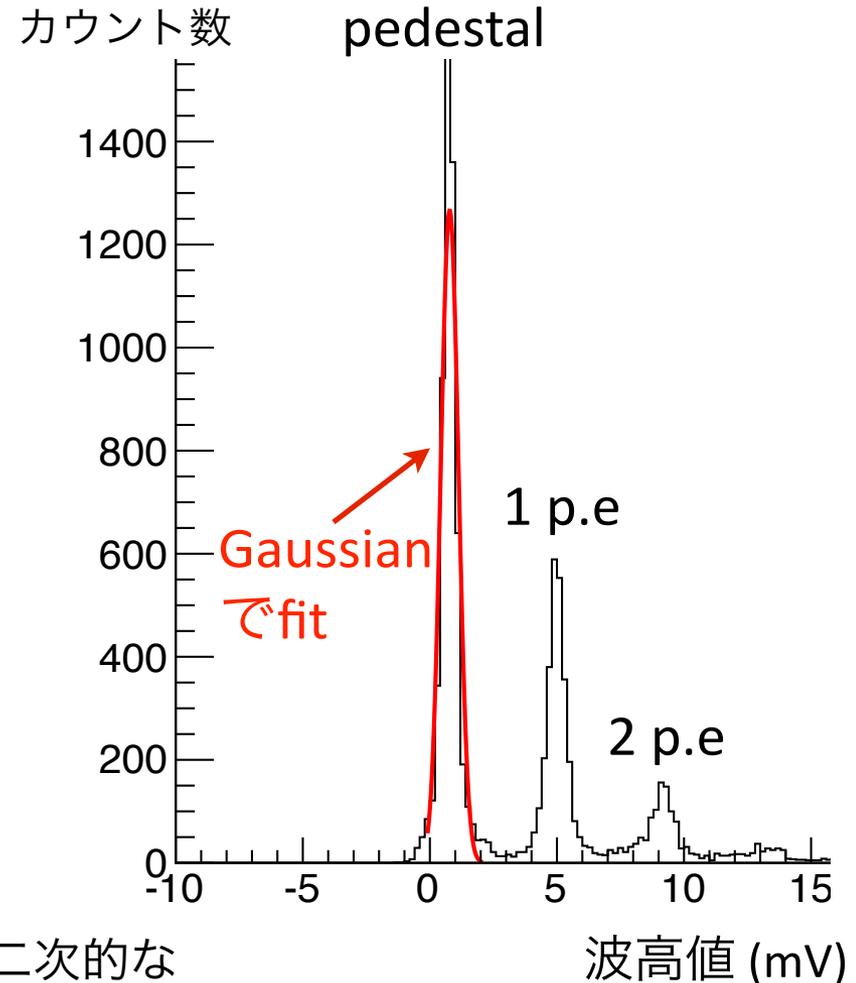
Poisson 分布

$$P(X = k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}$$

平均 λ 個の光子の入射に対して
k 個の光子を観測する確率

$$P(0) = \frac{(\text{ペDESTALのカウンT数})}{(\text{全カウンT数})}$$

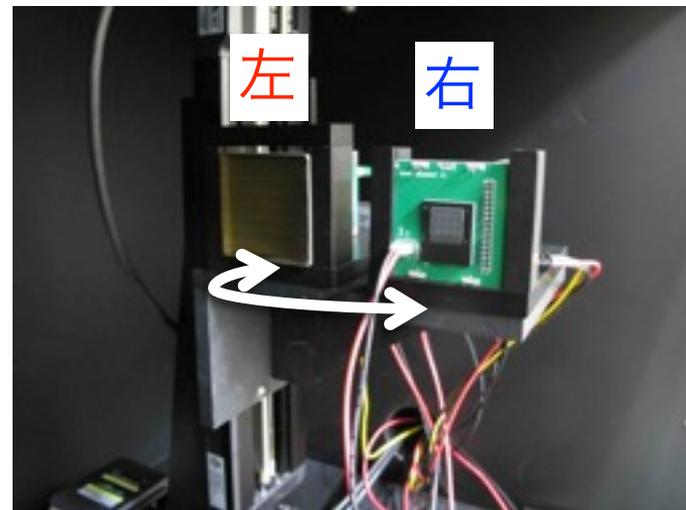
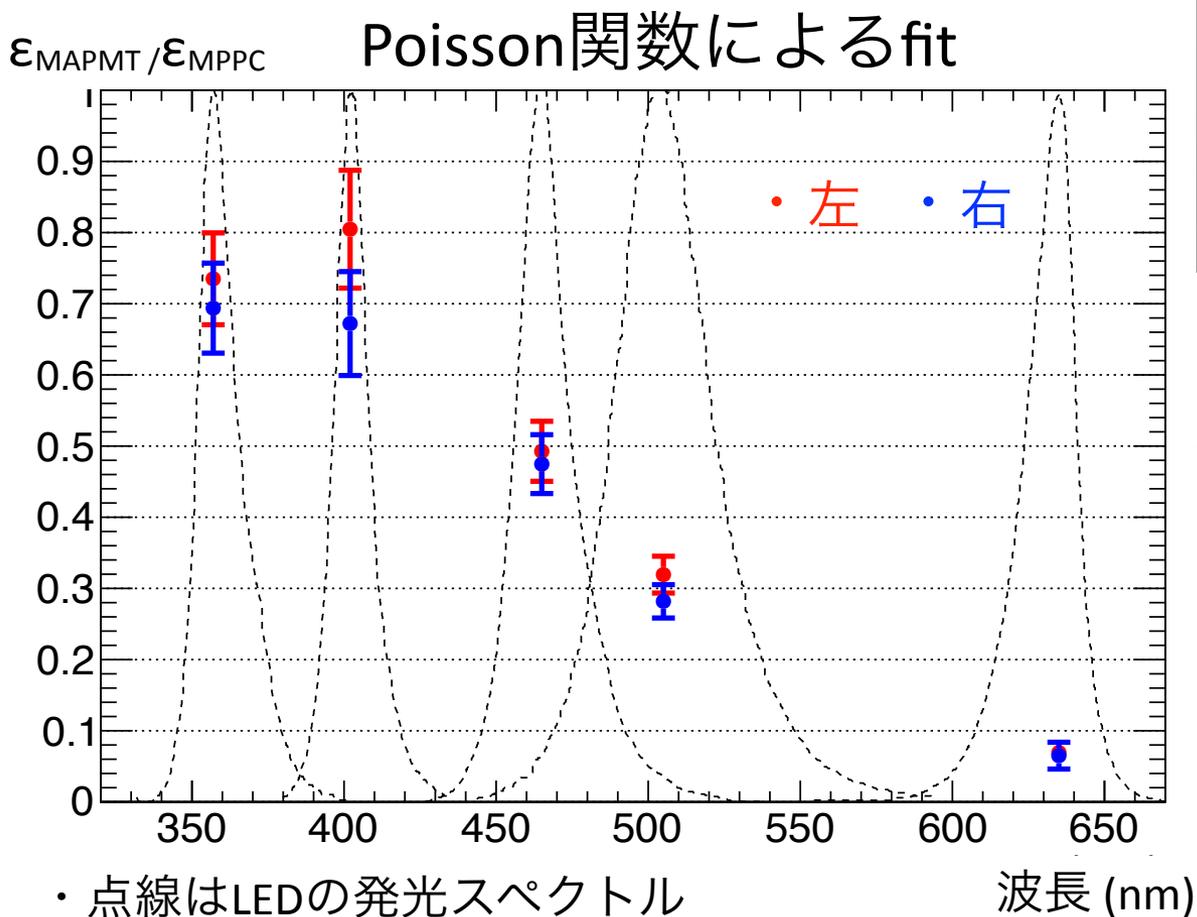
ペDESTALのカウンT数のみによるので、
クロストークやアフターパルスなどの光子の二次的な
増幅過程の影響がない



検出効率比の測定結果

MAPMTの検出光子数
MPPCの検出光子数

のプロット

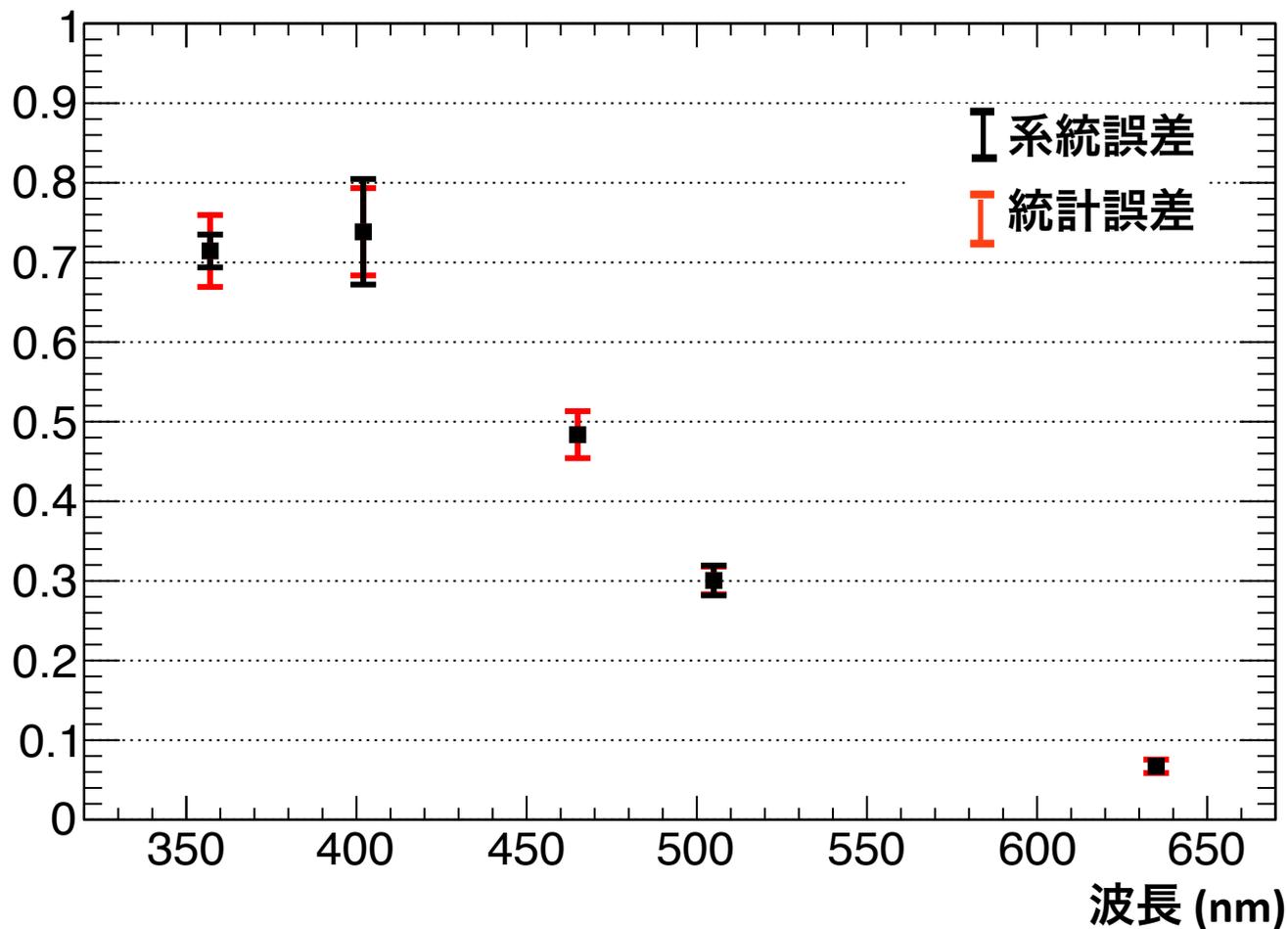


同じ位置での両者の測定
値を比較

検出効率比の測定結果

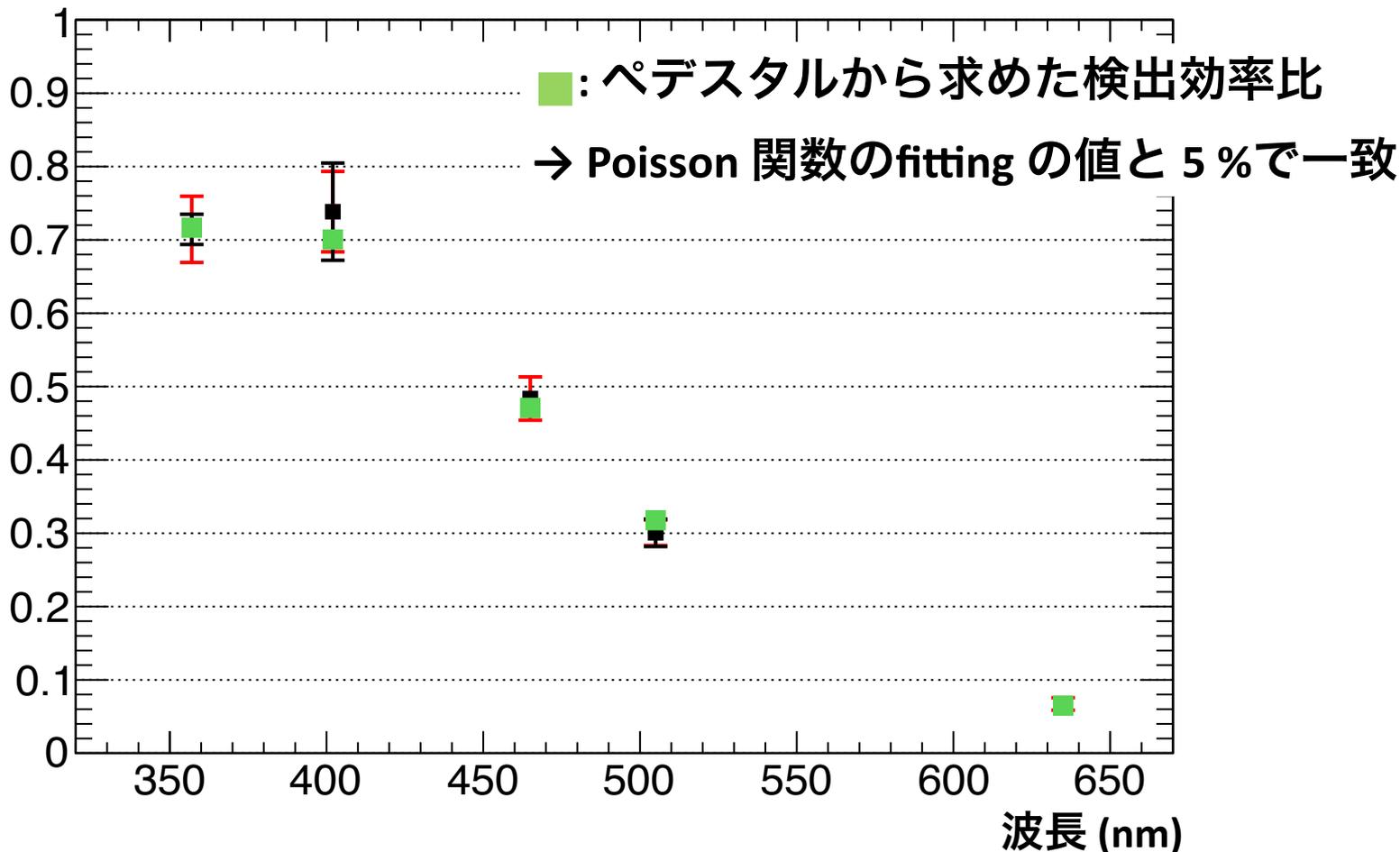
$\epsilon_{\text{MAPMT}} / \epsilon_{\text{MPPC}}$

左右の平均値



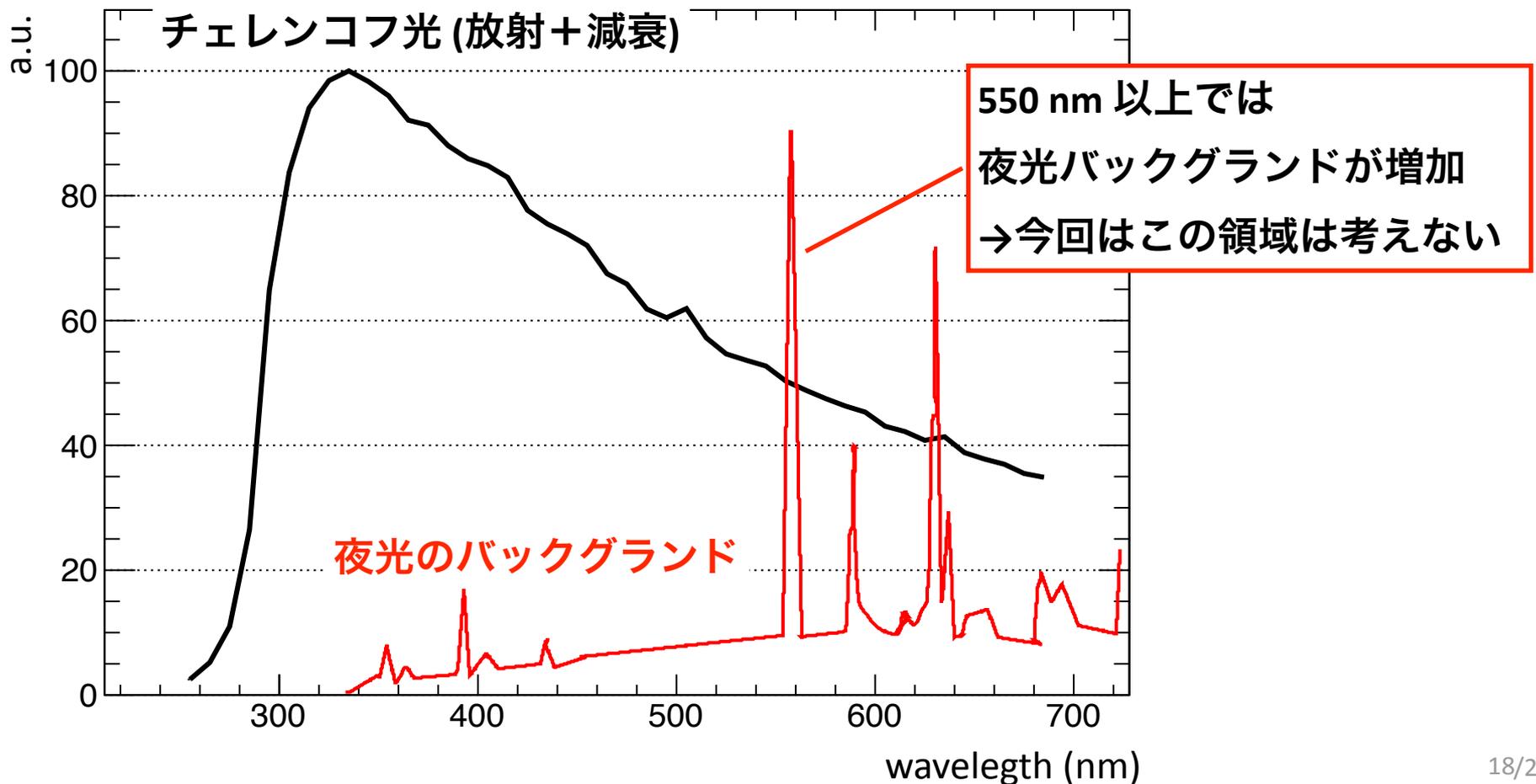
検出効率比の測定結果

$\epsilon_{\text{MAPMT}} / \epsilon_{\text{MPPC}}$



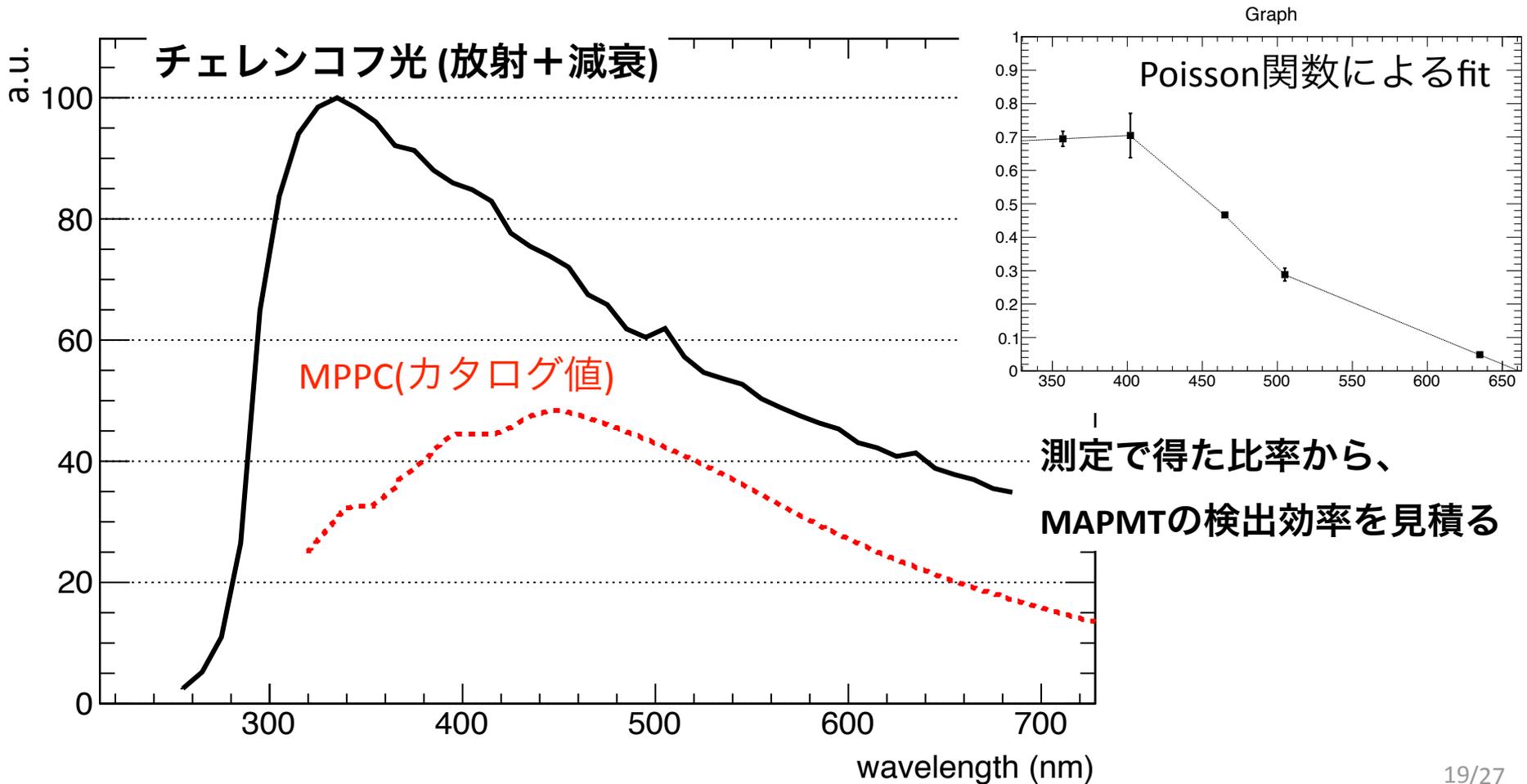
チェレンコフ光観測時の検出光子数比

検出効率比のプロットから、他の波長での検出効率比を概算し、
チェレンコフ光の検出光子数を計算



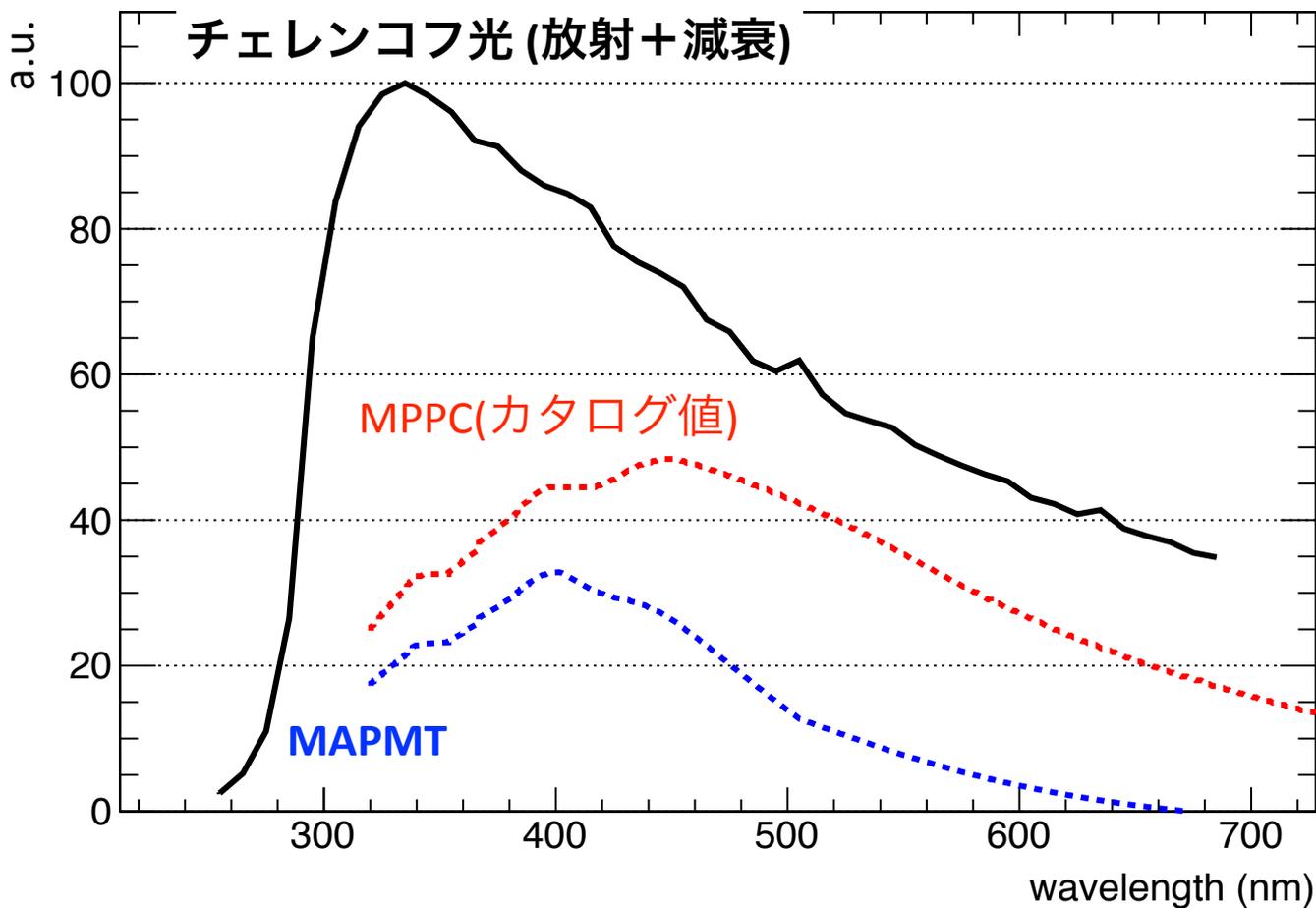
チェレンコフ光観測時の検出光子数比

検出効率比のプロットから、他の波長での検出効率比を概算し、
チェレンコフ光の検出光子数を計算



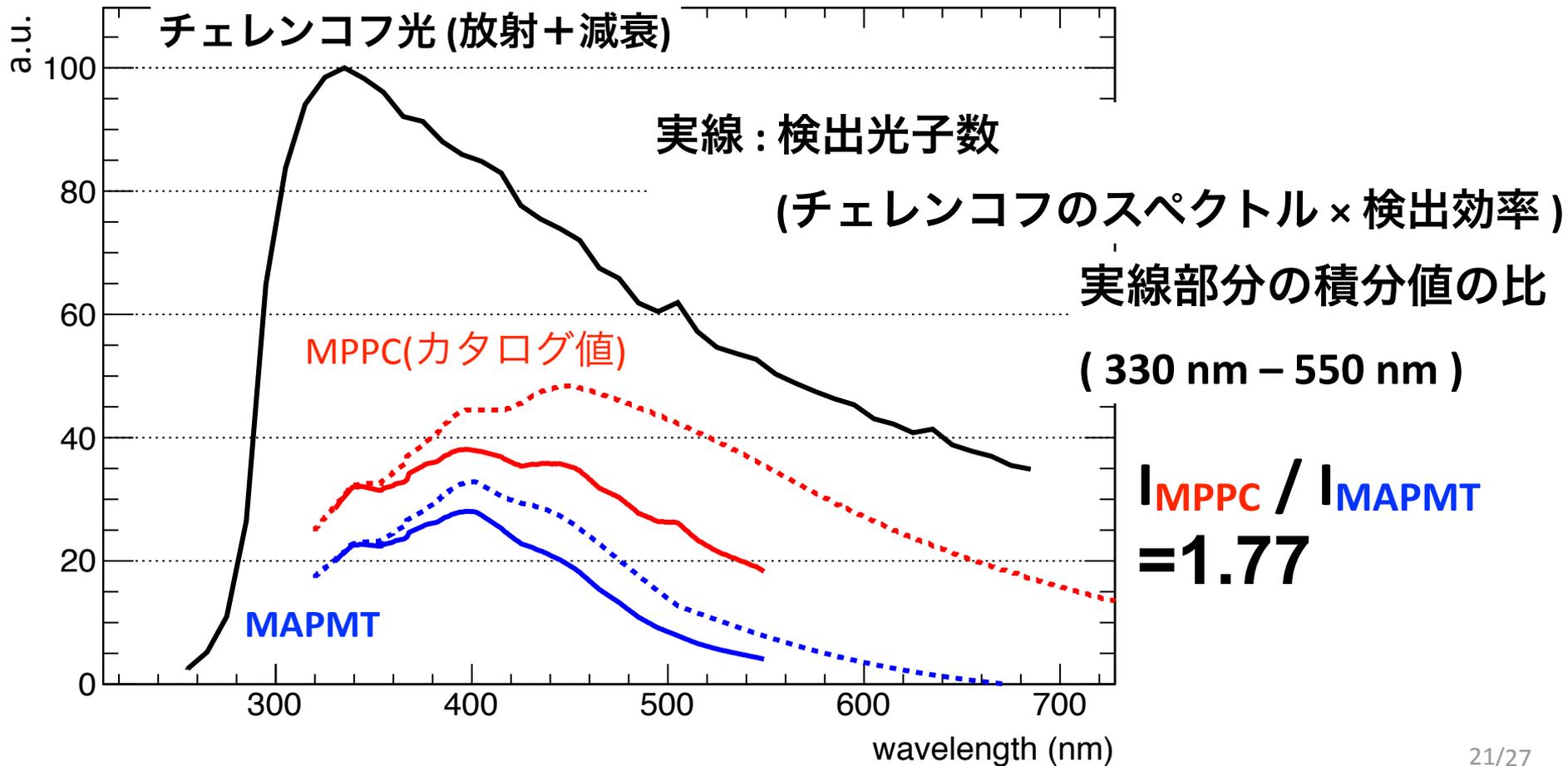
チェレンコフ光観測時の検出光子数比

検出効率比のプロットから、他の波長での検出効率比を概算し、
チェレンコフ光の検出光子数を計算



チェレンコフ光観測時の検出光子数比

検出効率比のプロットから、他の波長での検出効率比を概算し、
チェレンコフ光の検出光子数を計算



チェレンコフ光観測時の検出光子数比

検出効率比のプロットから、他の波長での検出効率比を概算し、
チェレンコフ光の検出光子数を計算

有効領域の割合 (受光面 / 想定外形寸法)

MPPC 89 %

MAPMT 69 %

を含めると

1.37

実線部分の積分値の比

(330 nm – 550 nm)

$$\frac{I_{\text{MPPC}}}{I_{\text{MAPMT}}} = 1.77$$

測定結果のまとめ

Poisson : Poisson関数のfitによる値

ped : ペDESTALのカウント数からの値

catalogue : カタログ値から求めた値

	Poisson	ped	catalogue
MPPC (50 μm type)	1.37	1.39	1.49
MPPC (100 μm type)	2.17	2.20	2.37

Pixel pitchが大きいタイプ、
開口率が高いため検出効率が高い

まとめと展望

CTA計画でのMPPCの使用による性能向上を評価するため、**MPPCとMAPMTで検出効率の比を測定した。**

MPPCを使用した場合に、**チェレンコフ光による検出光量が約 1.4 ~ 2 倍** となることが分かった。

今後

- より詳細な評価

測定波長、fit関数の改善 (クロストークの影響を考慮)

- MPPCの諸特性の詳細な測定

ダークレート、Gain の温度依存性、時間分解能など