

宇宙線ミューオンの電荷比測定

CHARGE RATIO OF COSMIC MUONS

山中卓研 2010年度

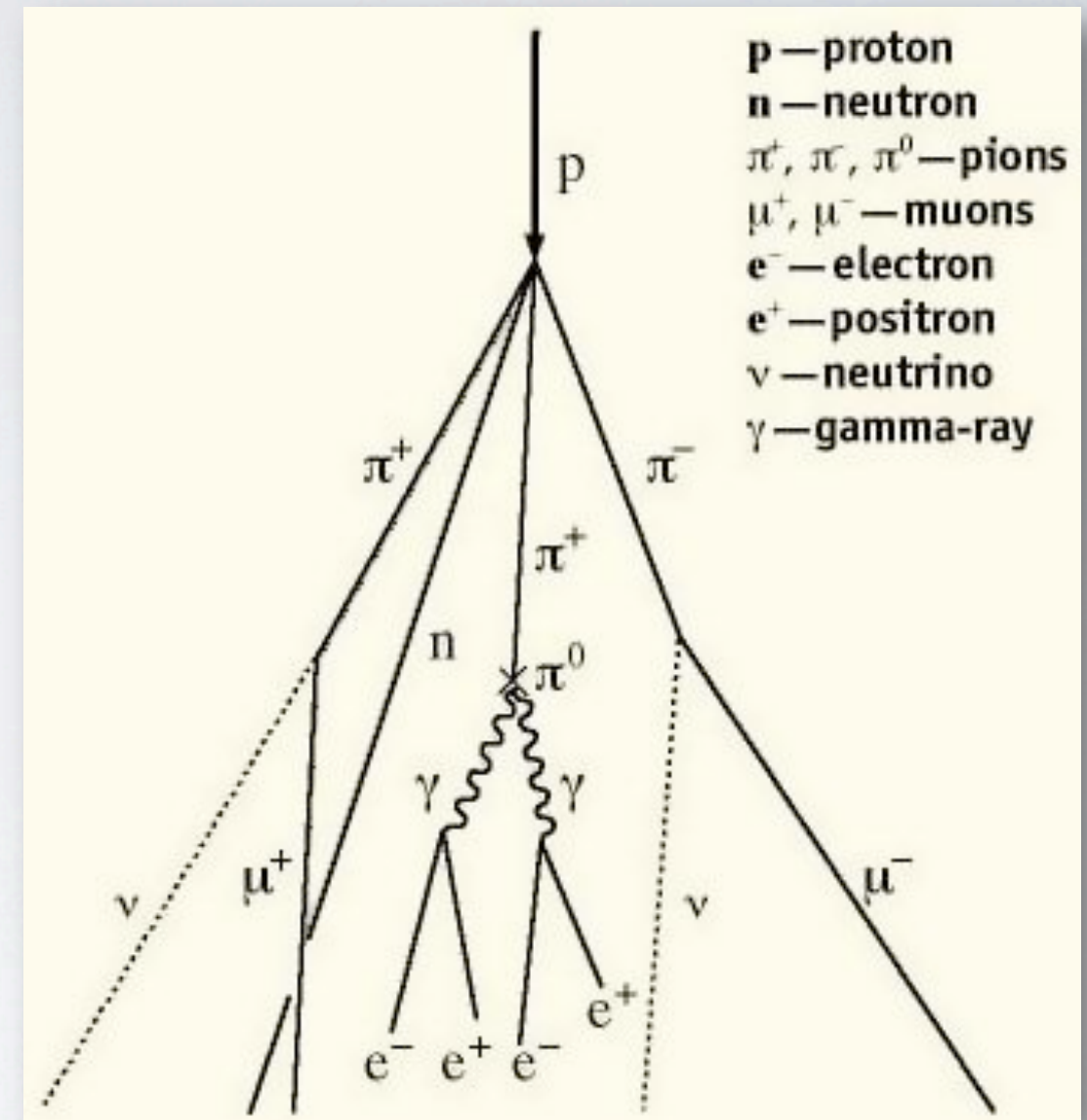
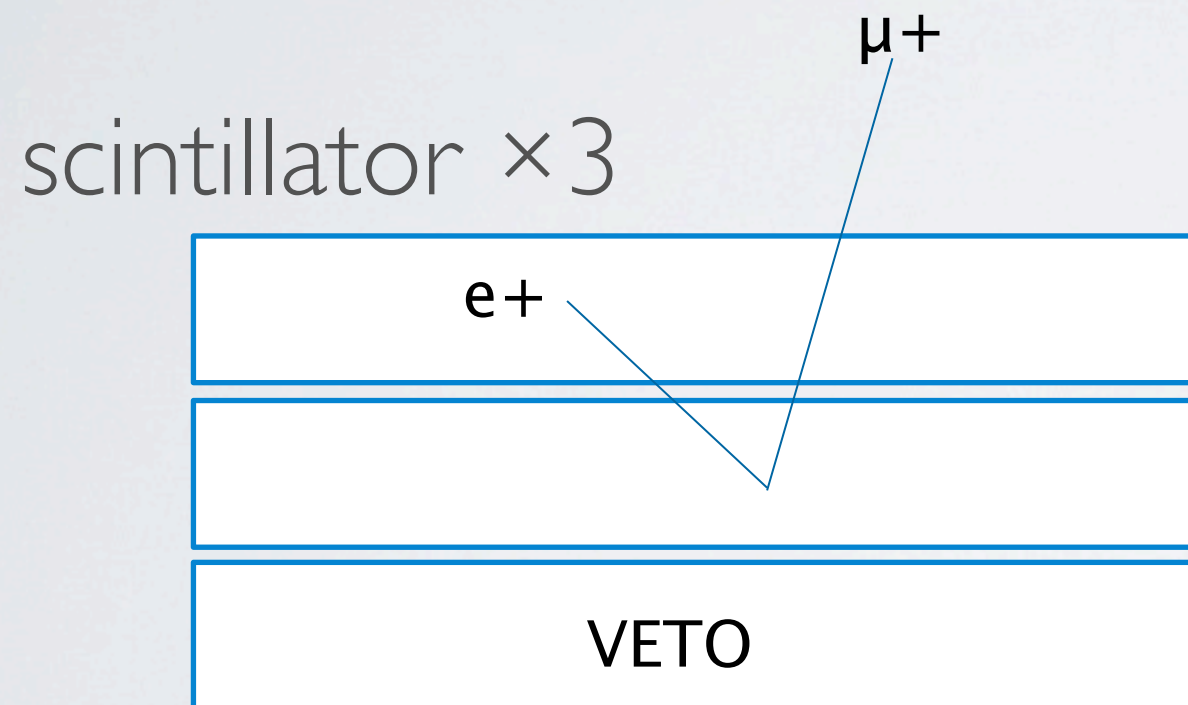
鎌倉 恵太 伴野 真太郎 東野 聡

目次

- 実験の概要
- 検出器
- 測定と解析
- 結論

実験の概要 - 予備実験

μ の寿命測定



宇宙線 μ を検出 Lifetime で同定

実験の概要 - 予備実験の結果

500 Events

$$N = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

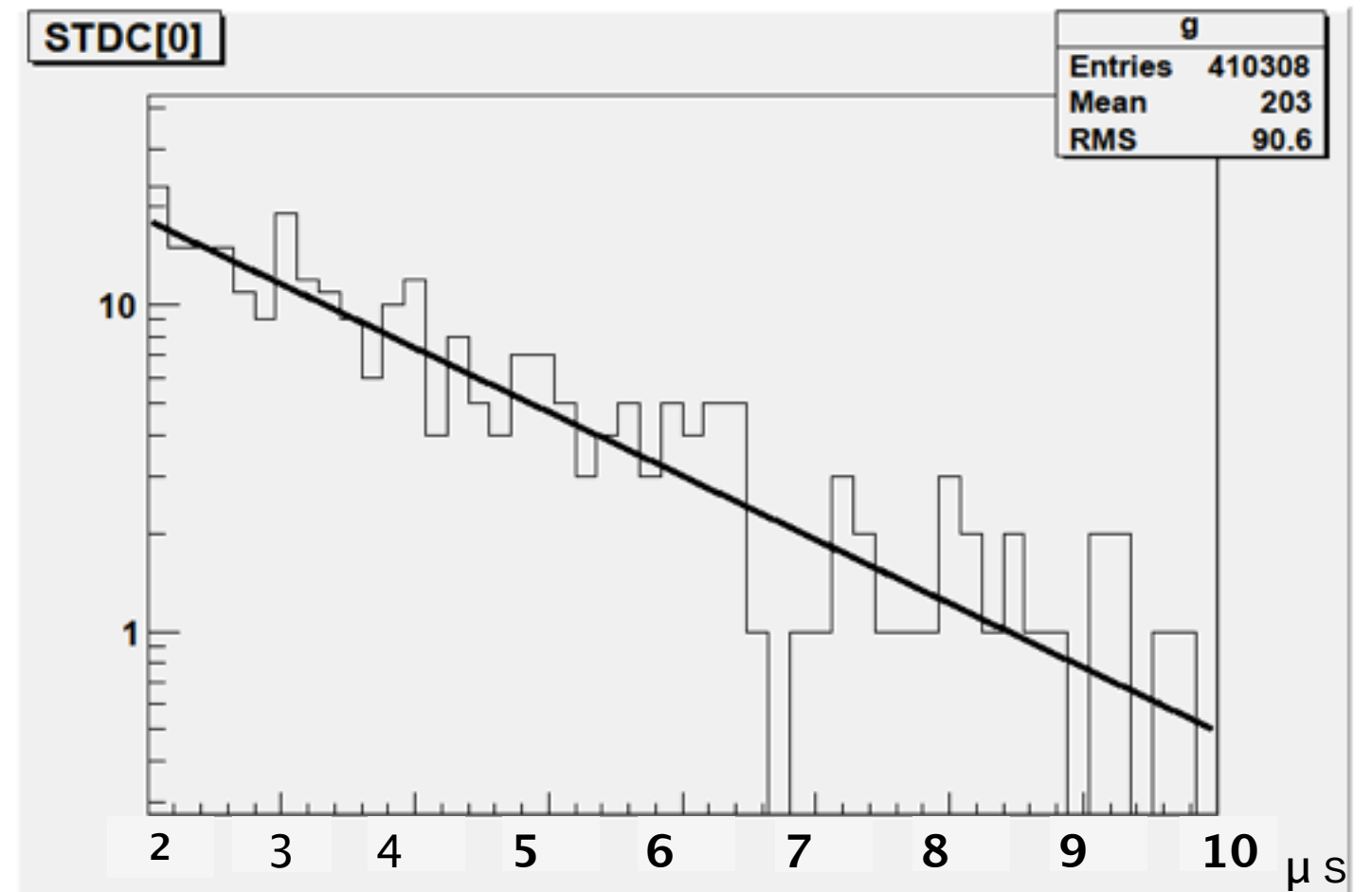
$$\log N = -\frac{1}{\tau} t + \log N_0$$



fitting

$$\tau = 2.2 \pm 0.2 [\mu s]$$

文献値： 2.197 μs



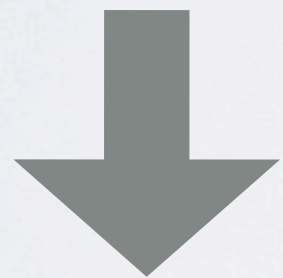
電荷は区別できず

実験の概要 - 電荷比の測定方法

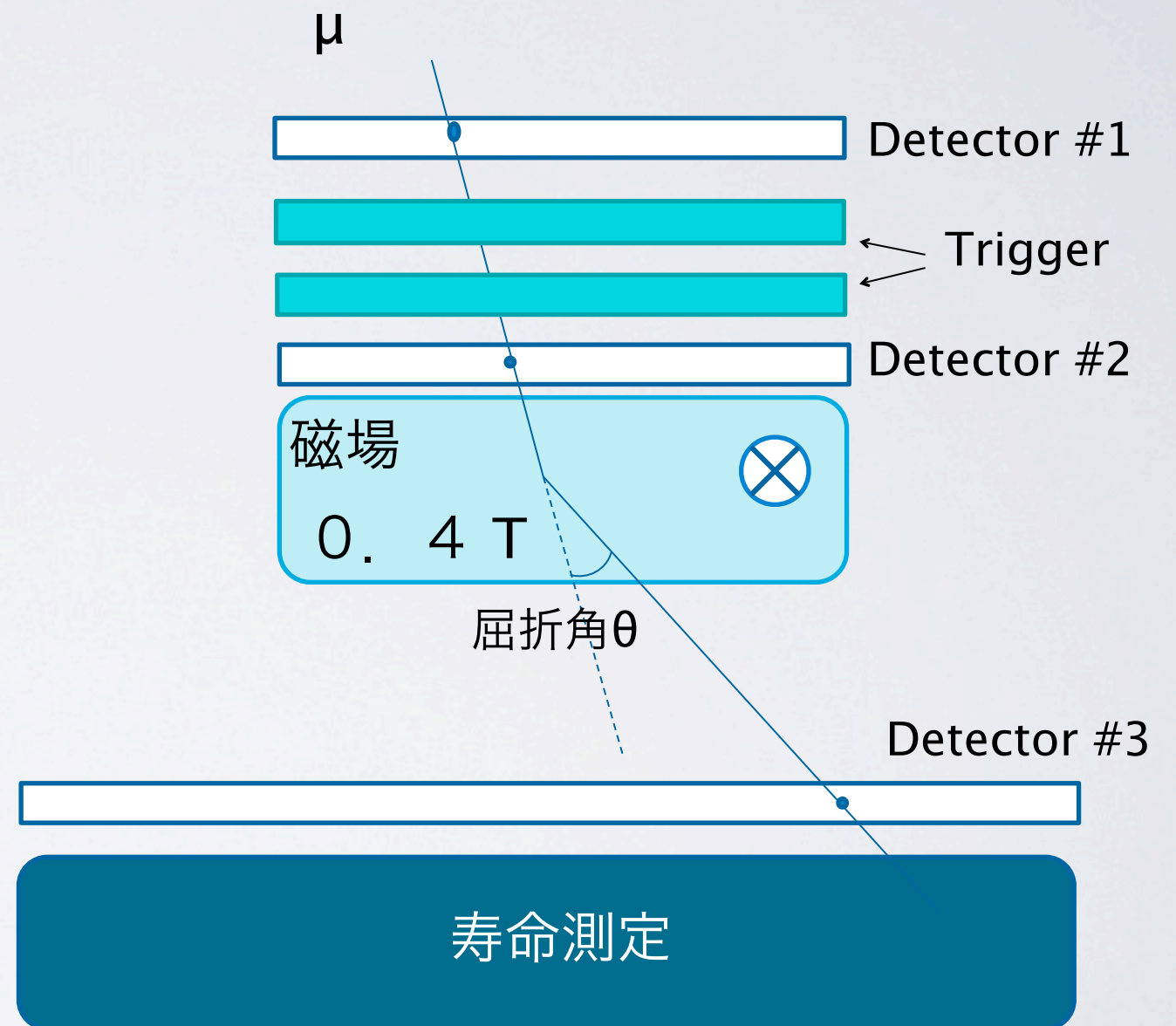
磁場を用いて測定



屈折角を評価



位置測定用の
検出器が必要！



本実験の概要

- 位置測定用の検出器の作成
- μ^+ と μ^- の存在比（電荷比）の測定
- 物理的考察：得られた電荷比から対称性を吟味

検出器 - 設計にあたって

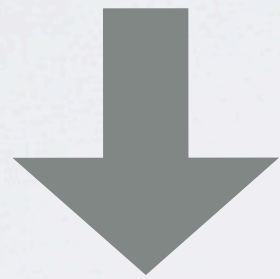
どのタイプの検出器を作成するか？



- サイズの決定
- 角度分解能の決定

検出器 - 位置測定の方法

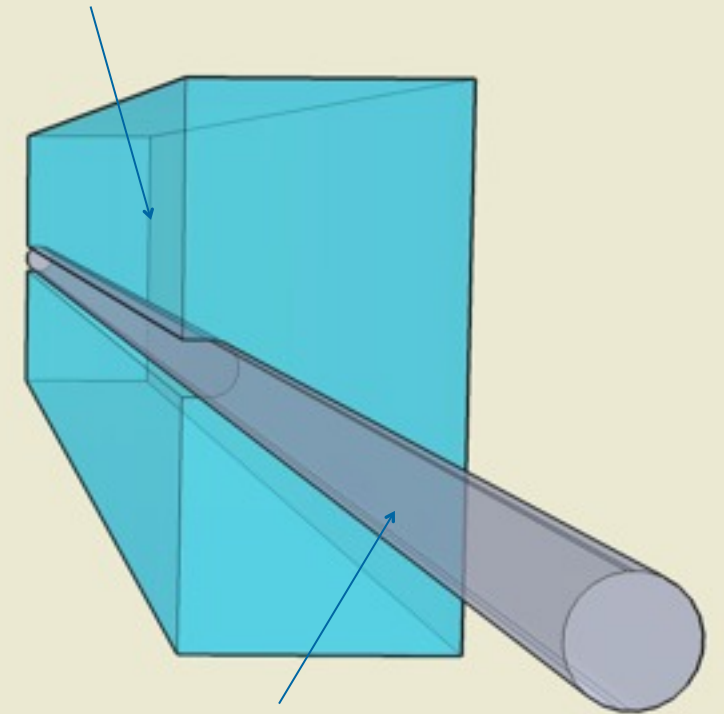
ファイバーをライトガイドとして、
たくさん検出器を並べる



位置測定が可能

幅 1.0 cm の検出器を並べていく
(0.3 cm の位置分解能)

Plastic Scintillator



Wavelength
shifting fiber

※使う磁石

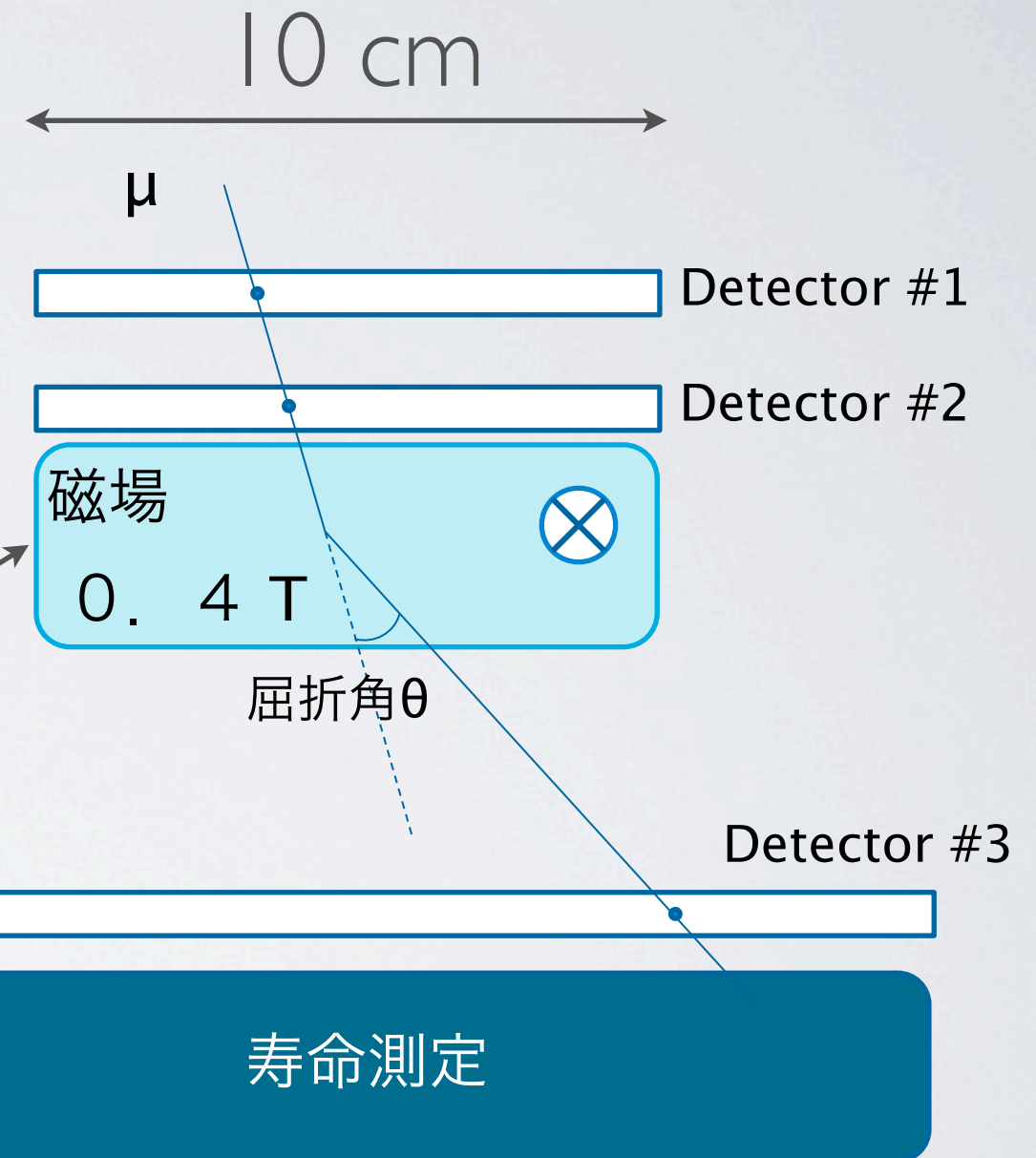
磁場領域

$10 \times 13 \times 10 \text{ cm}^3$
約 0.4 T



検出器 - サイズの決定(1)

- 天頂角分布 $\propto \cos^2 \theta$
- 十分な統計量
→ 5 cm 以内



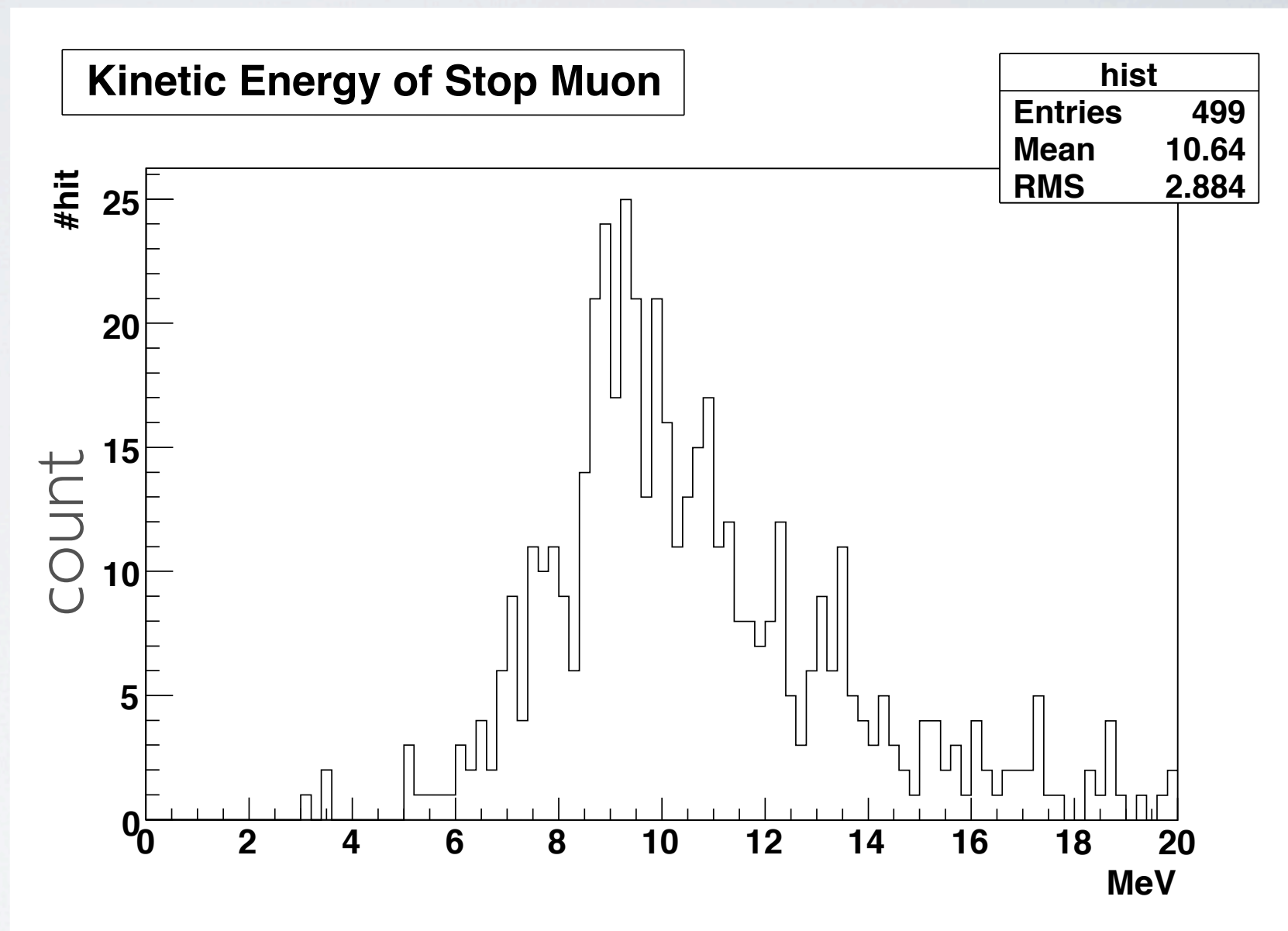
磁場領域

$10 \times 13 \times 10 \text{ cm}^3$

屈折角の大きさを考慮して決定

検出器 - サイズの決定(2)

予備実験で得られた
stop μ の
エネルギー分布



$p = \sqrt{(E^2 - m^2)}$ より、運動量は45MeV

検出器 - 曲率半径

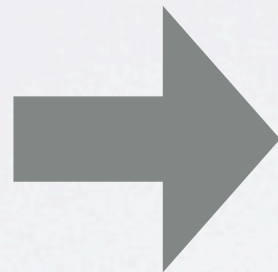
$$p = 0.3BR$$

p ; 運動量 [GeV]

B ; 磁場 [T]

R ; 曲率半径 [m]

$$\begin{aligned} p &= 45 \text{ MeV} \\ B &= 0.4 \text{ T} \end{aligned}$$



$$R = 37.5 \text{ cm}$$

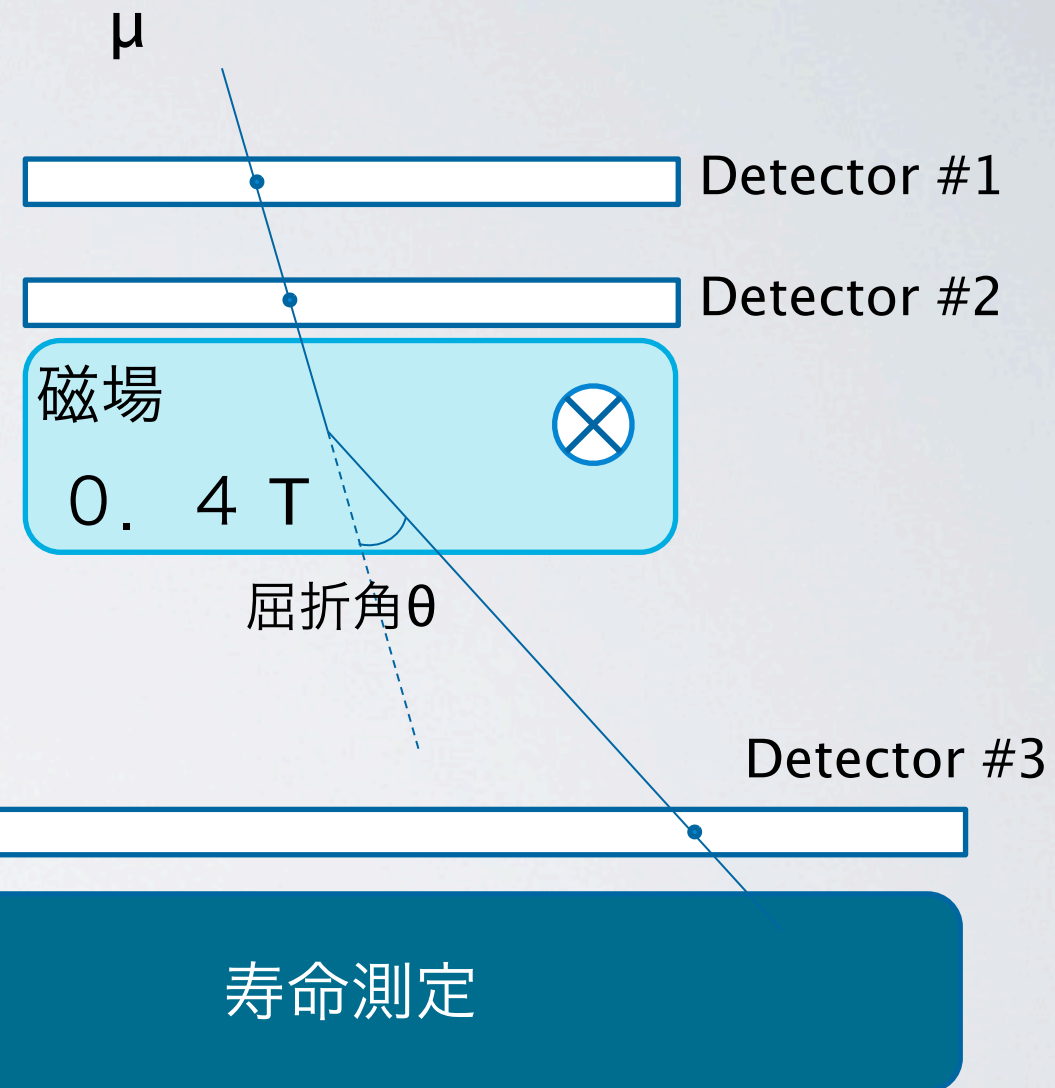
10 cm の磁場領域ならば、屈折角 $\simeq 15.5^\circ$

検出器 - サイズの決定(3)

10 cm × 10 cm の検出器 ×2 (

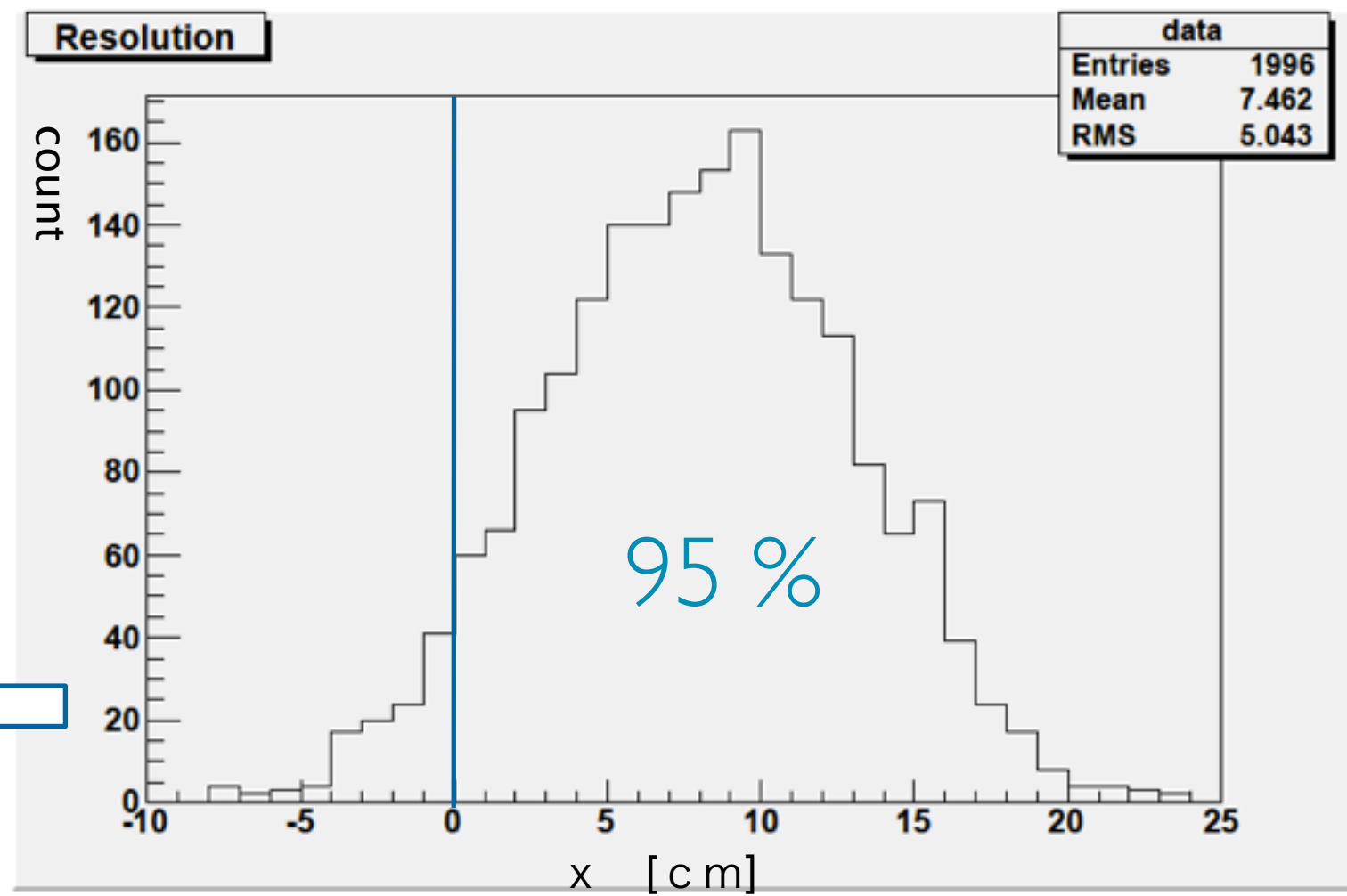
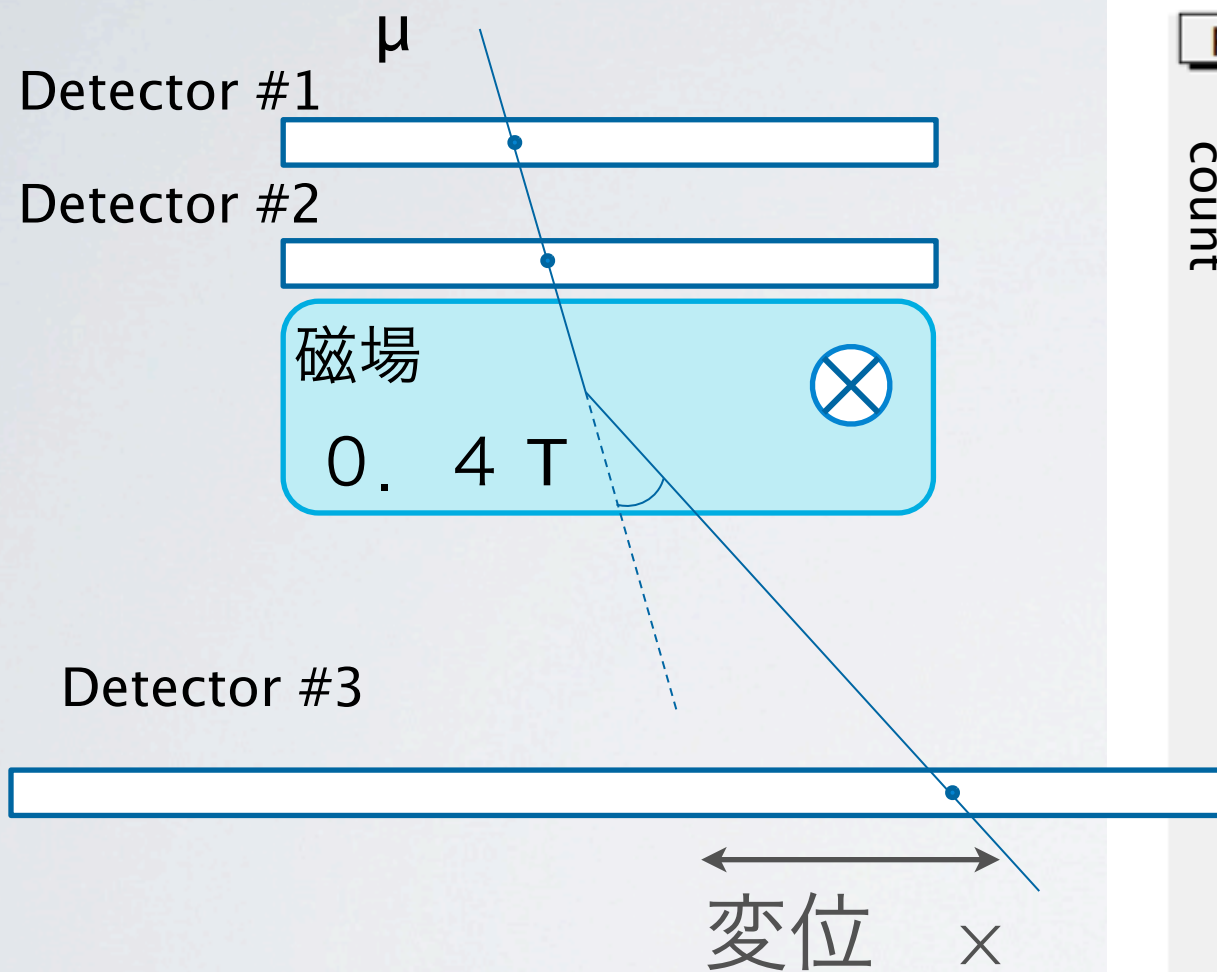
曲率から収率を概算

40 cm



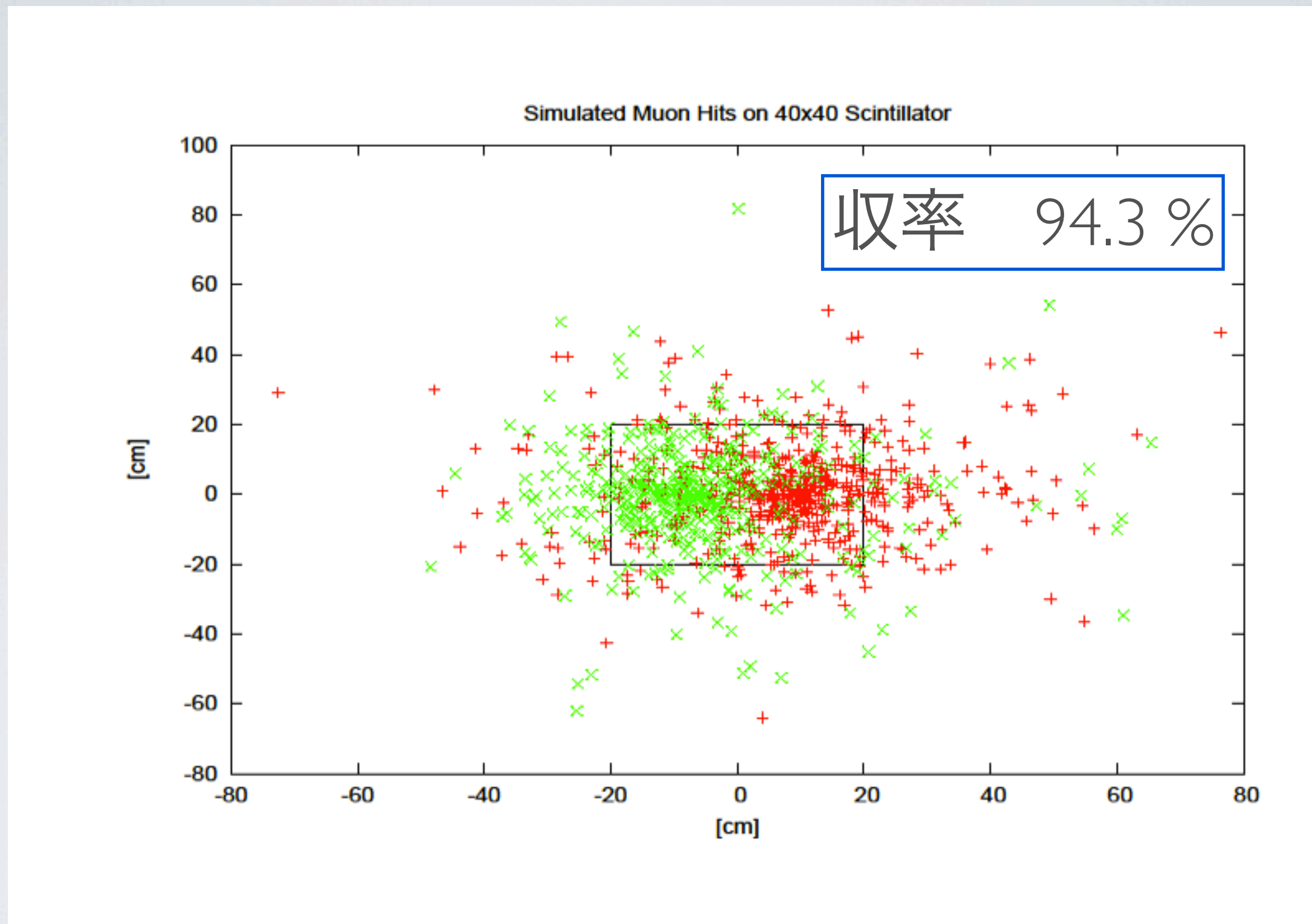
40 cm × 40 cm の検出器(厚さ 1 cm)
(磁場の装置の大きさから決定)

検出器 - サイズと分解能



95 % の信頼性がある Set up

検出器 - サイズの決定(4)



stop μ の運動量を用いたシミュレーション

検出器 - 角度分解能(1)

μ^+, μ^- の区別に必要な角度分解能

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{m.s}^2 + \sigma_{det}^2)}$$

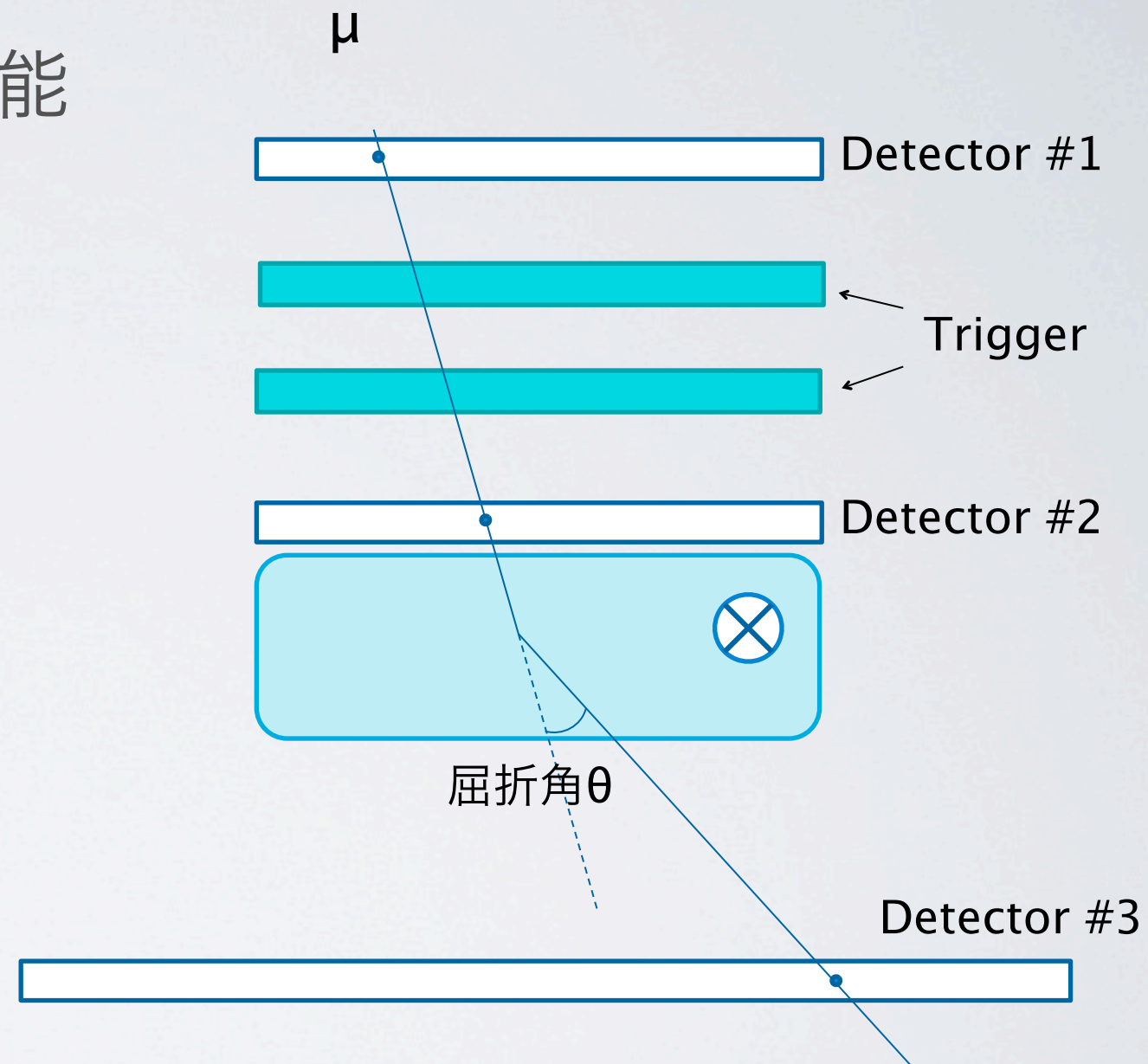
$\sigma_{m.s}$; 多重散乱角

σ_{det} ; 検出器の角度分解能

$$\sigma_{m.s} = 4.6^\circ$$

$$\text{屈折角 } \theta = 15.5^\circ$$

$\sigma < \theta$ が必要



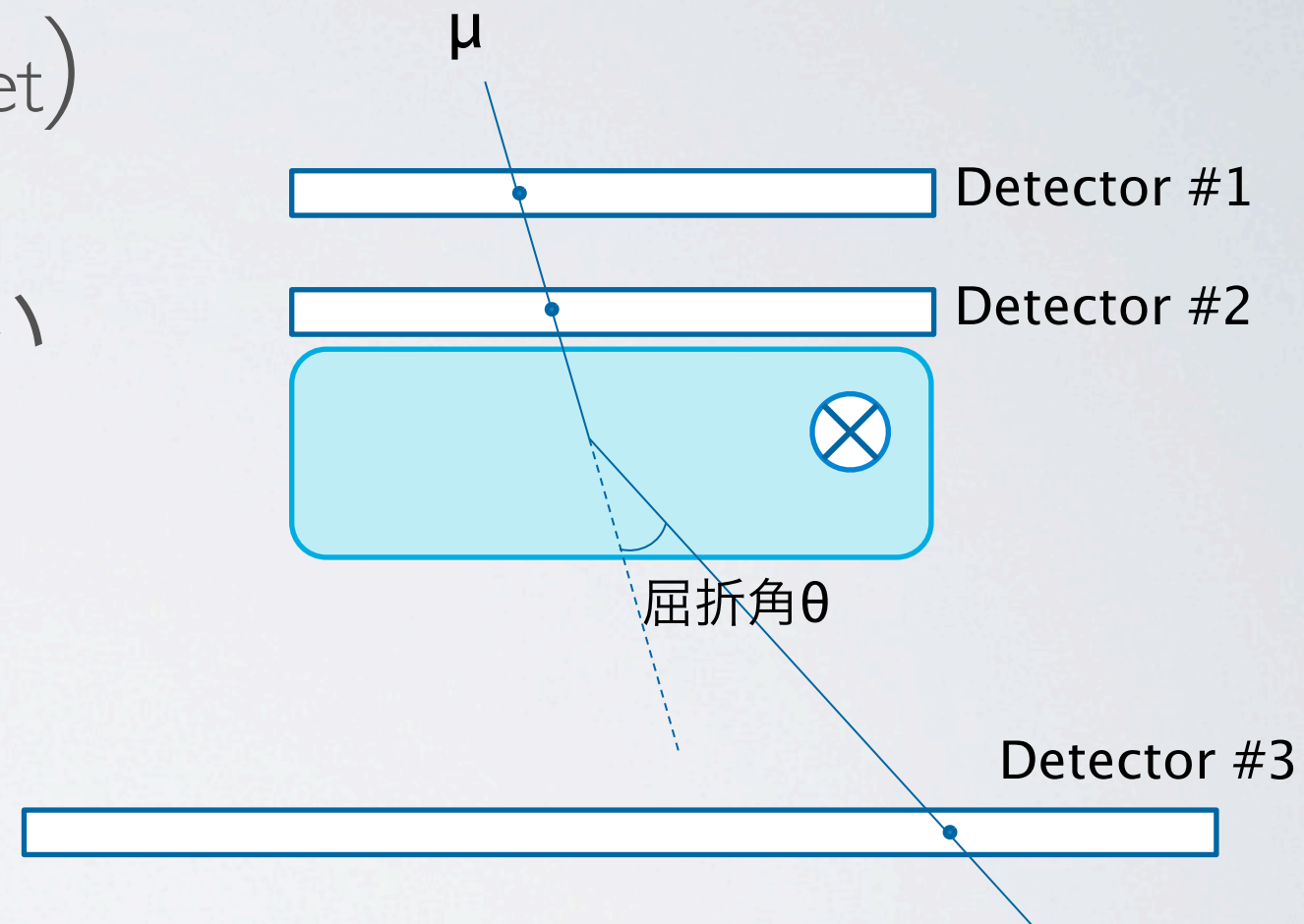
検出器 - 角度分解能(2)

$$\theta = 15.5 > \sqrt{(\sigma_{m.s}^2 + \sigma_{det}^2)}$$

$\sigma_{det} < 14.8^\circ$ であればよい

検出器の位置分解能

0.3 cm



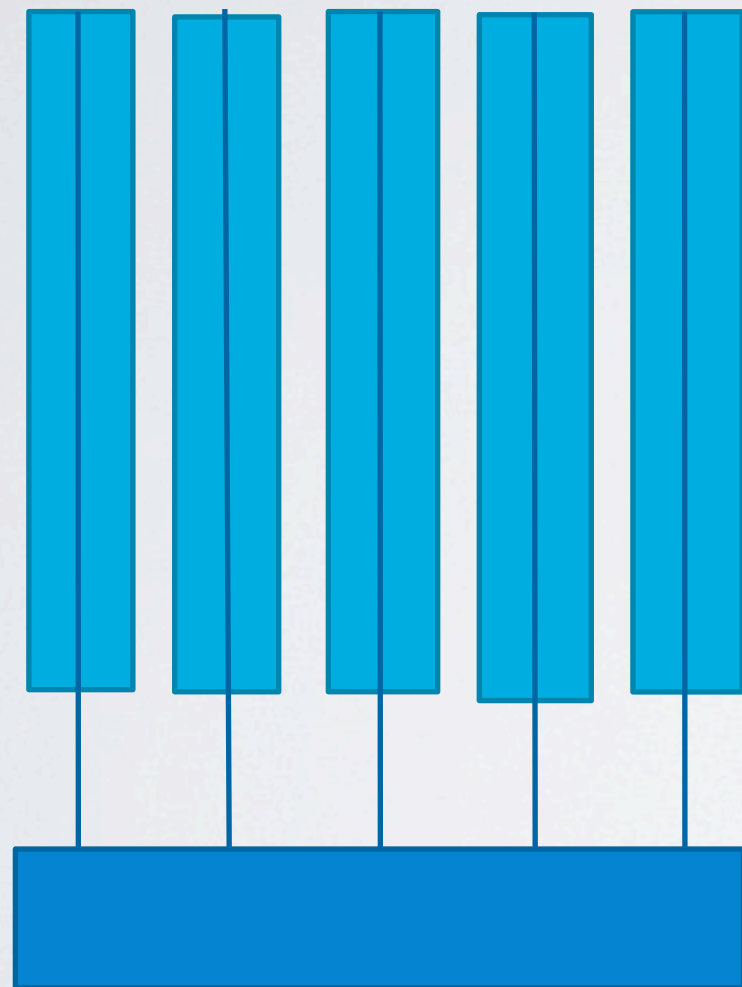
Detector #1~3 の角度分解能の誤差伝搬より

$$\sigma_{det} < 3.7^\circ \rightarrow \sigma < 5.9^\circ$$

検出器の作成

検出器 - シンチファイバー 検出器

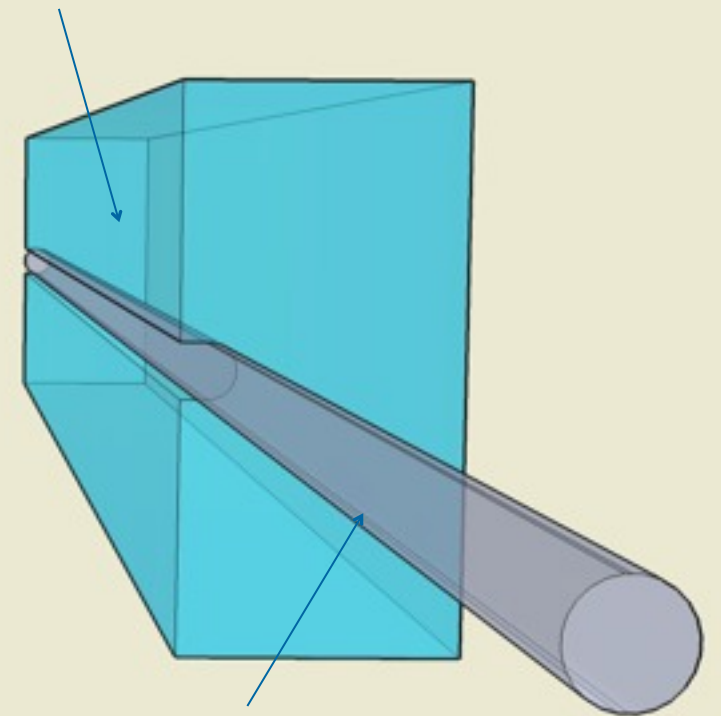
シンチでの発光を
MA-PMTで読み出す



Multi Anode
PMT

One Part

Plastic Scintillator



Wavelength
shifting fiber

- 加工しやすい
- 十分な分解能

検出器 - MA-PMT(1)

多チャンネル読み出し可

浜松ホトニクス製

H7546B

管径 30 mm × 30 mm

受光面サイズ 2 mm × 2 mm

アノードの数 $8 \times 8 = 64$ ch

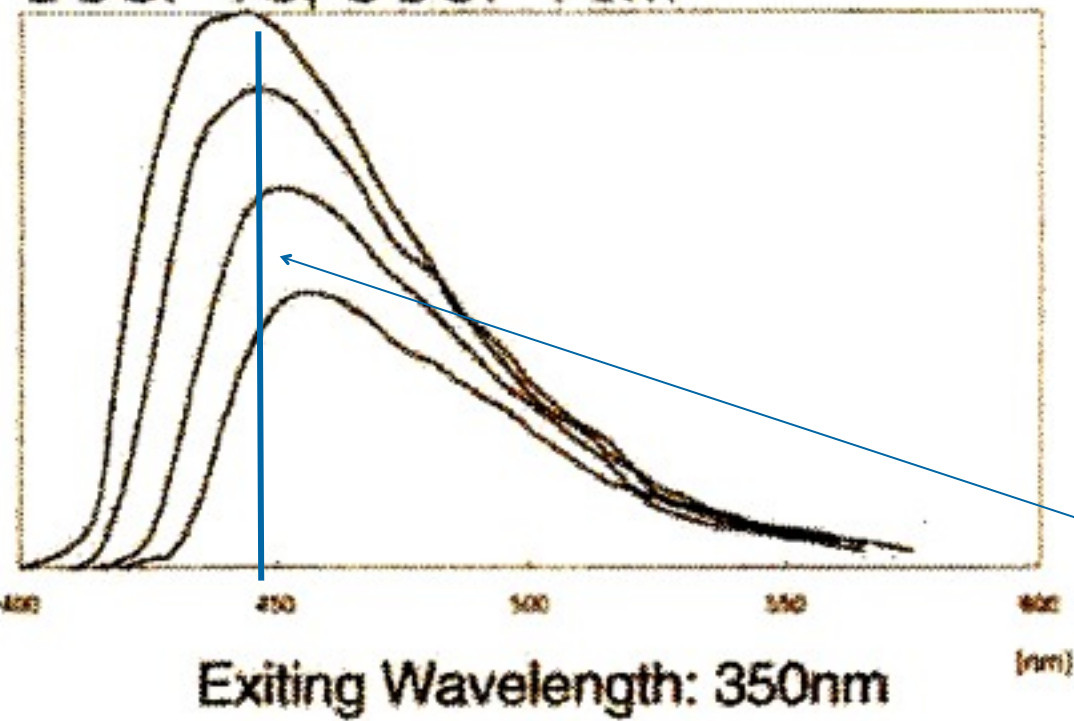


検出器 - MA-PMT(2)

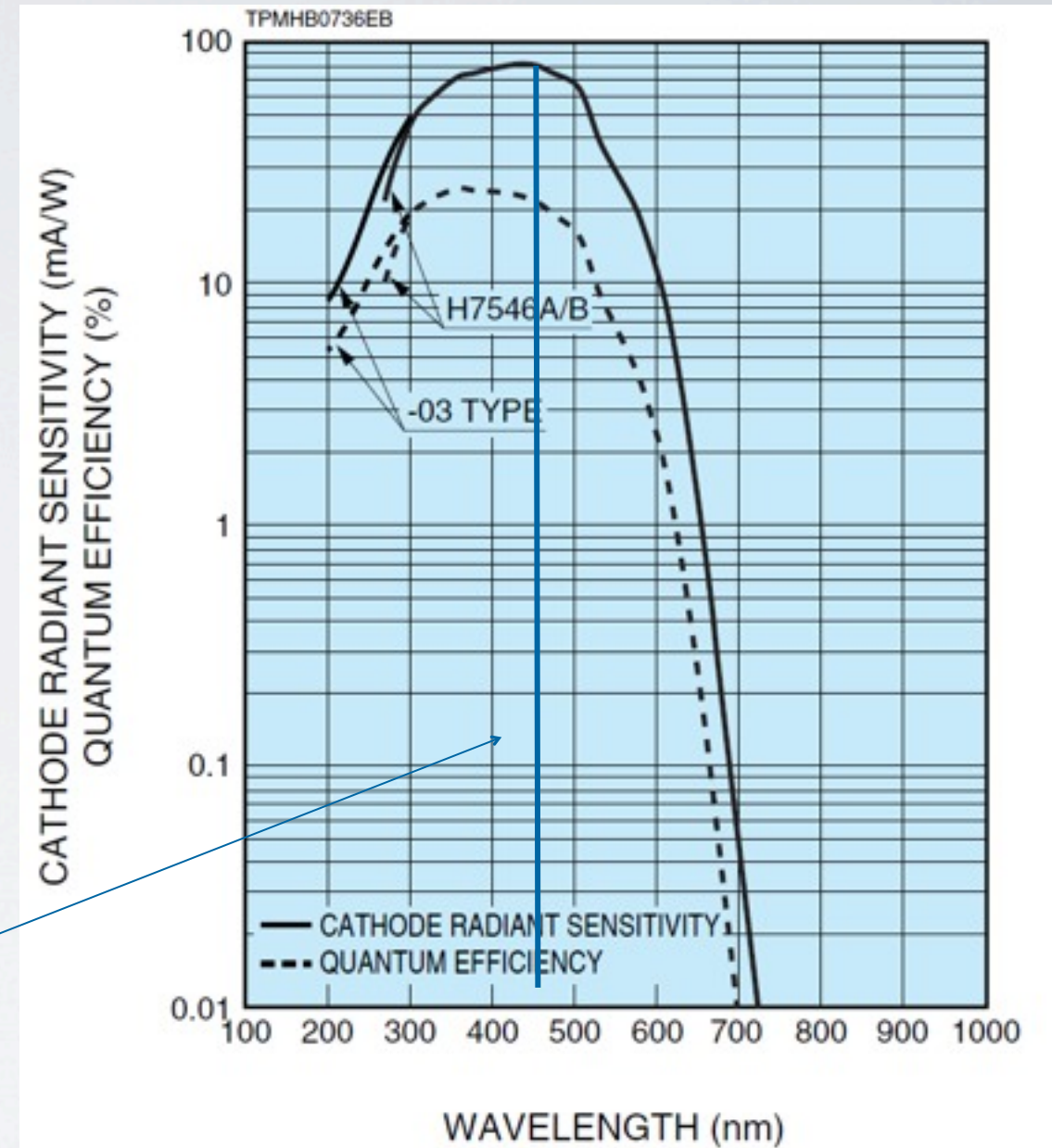
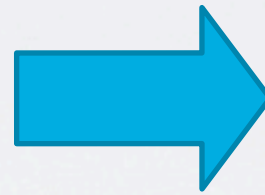
Scintillator が紫外発光



SCSF-78, SCSF-78M



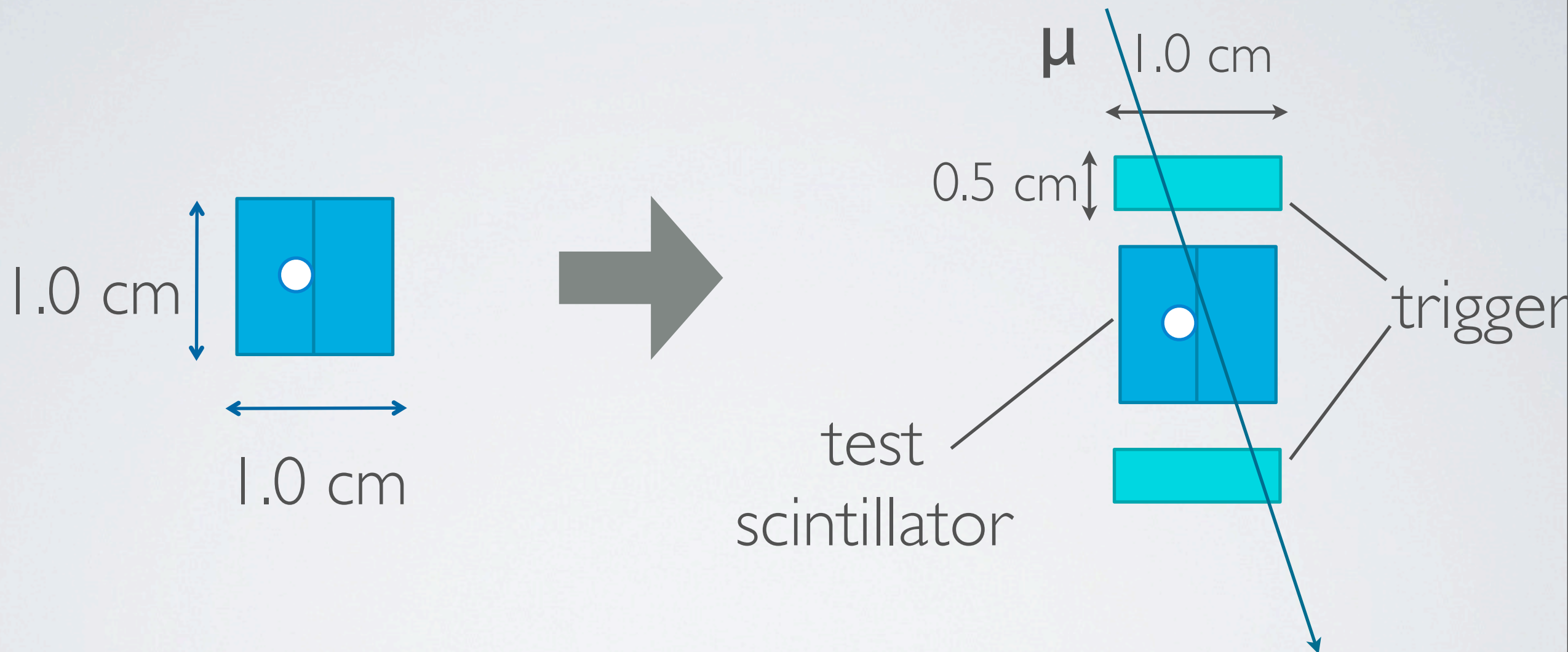
450
nm



Wavelength
shifting Fiber
SCSF-78

Multi Anode PMT

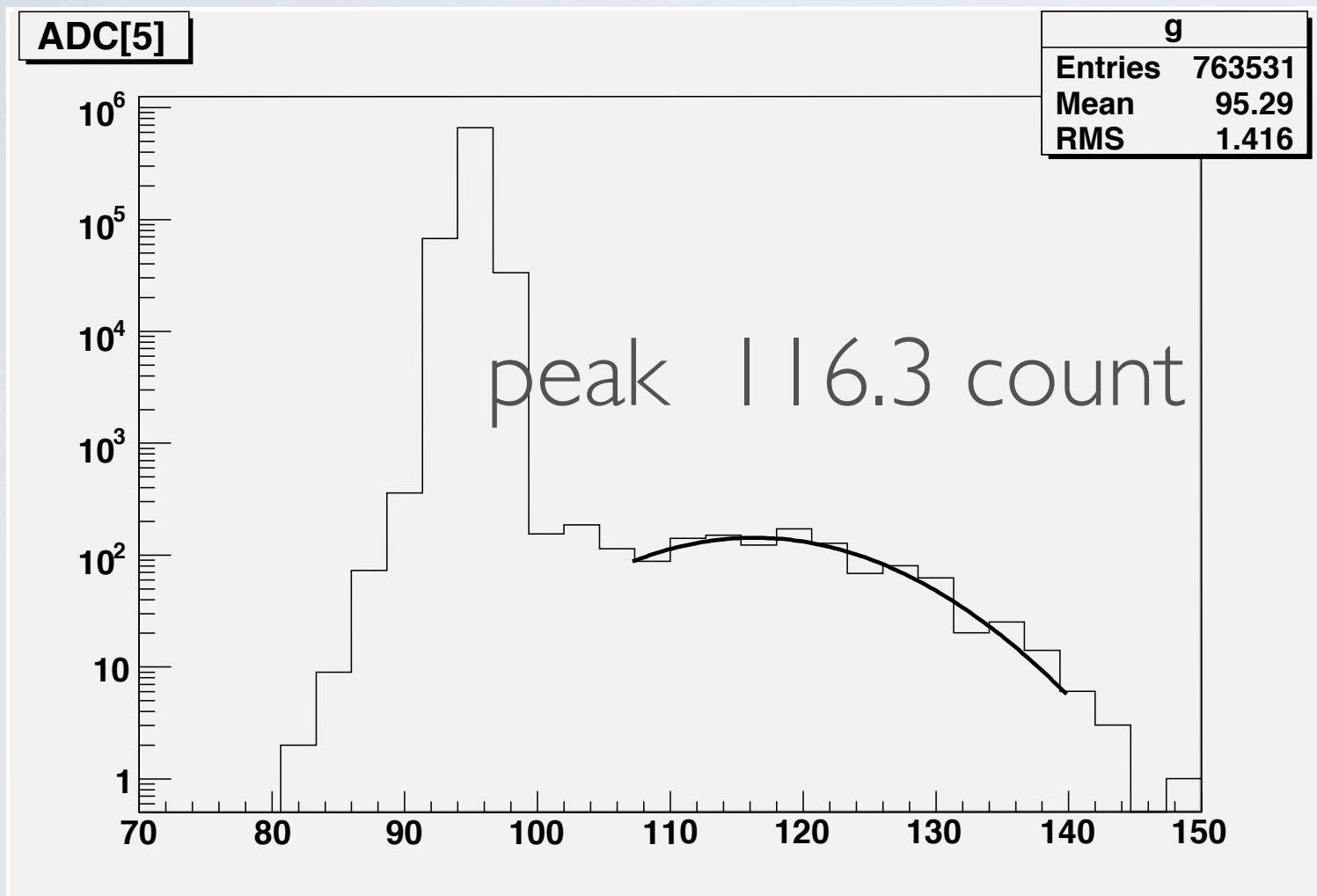
検出器 - シンチレーターの光量



光量が十分あるか確認

検出器 - 光量の評価

Single photo-electron



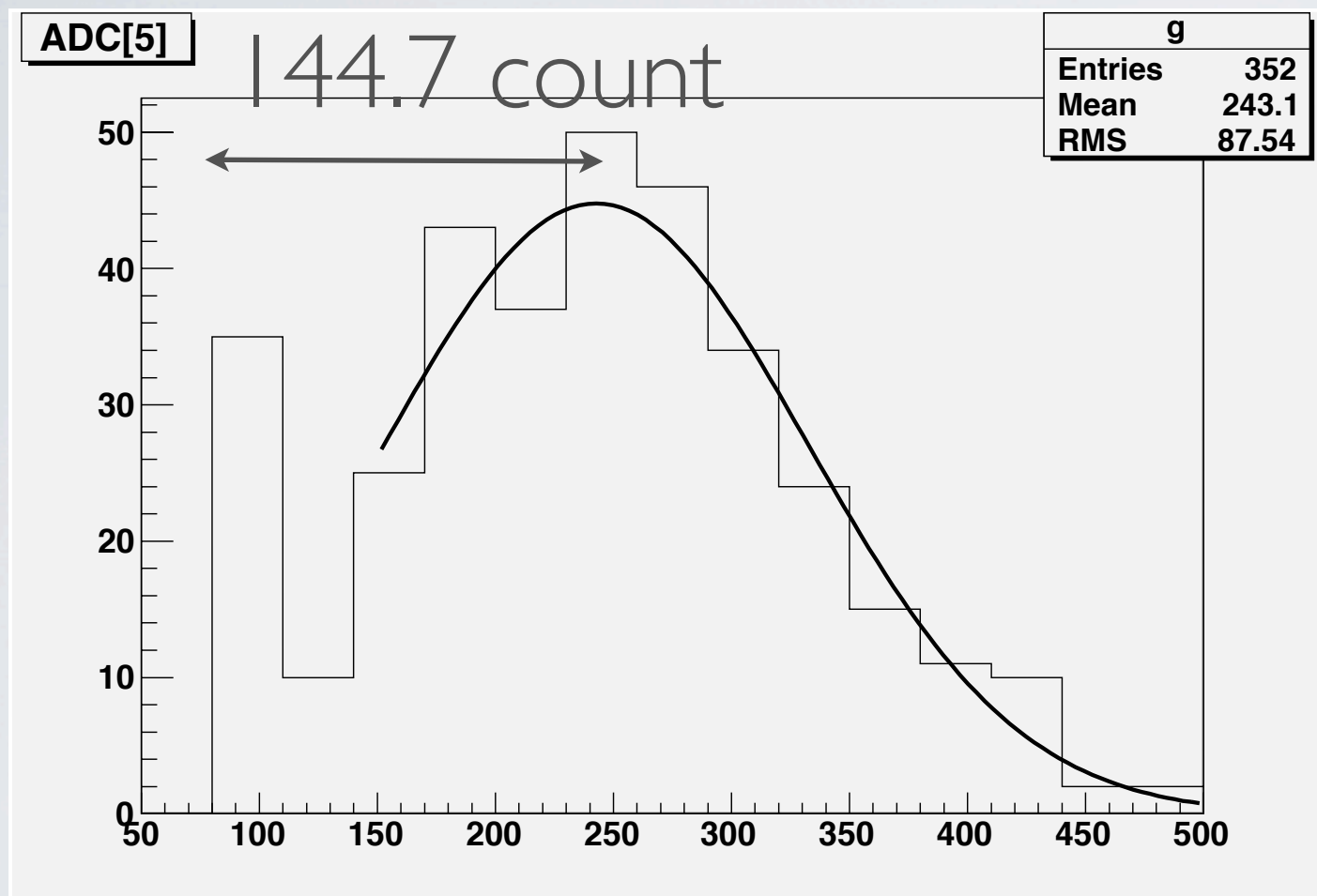
LEDの光を使用
光電面から遠ざけて
光量を下げる



1 photo-electron (p.e)
1 p.e = 20.7 count

ここで定義した単位で定量的に評価

検出器 - 光量の確認



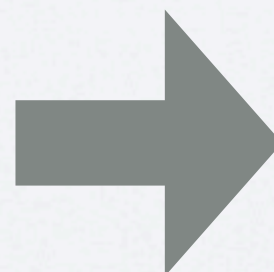
突抜け μ

によるADC分布

1 p.e = 20.7 count

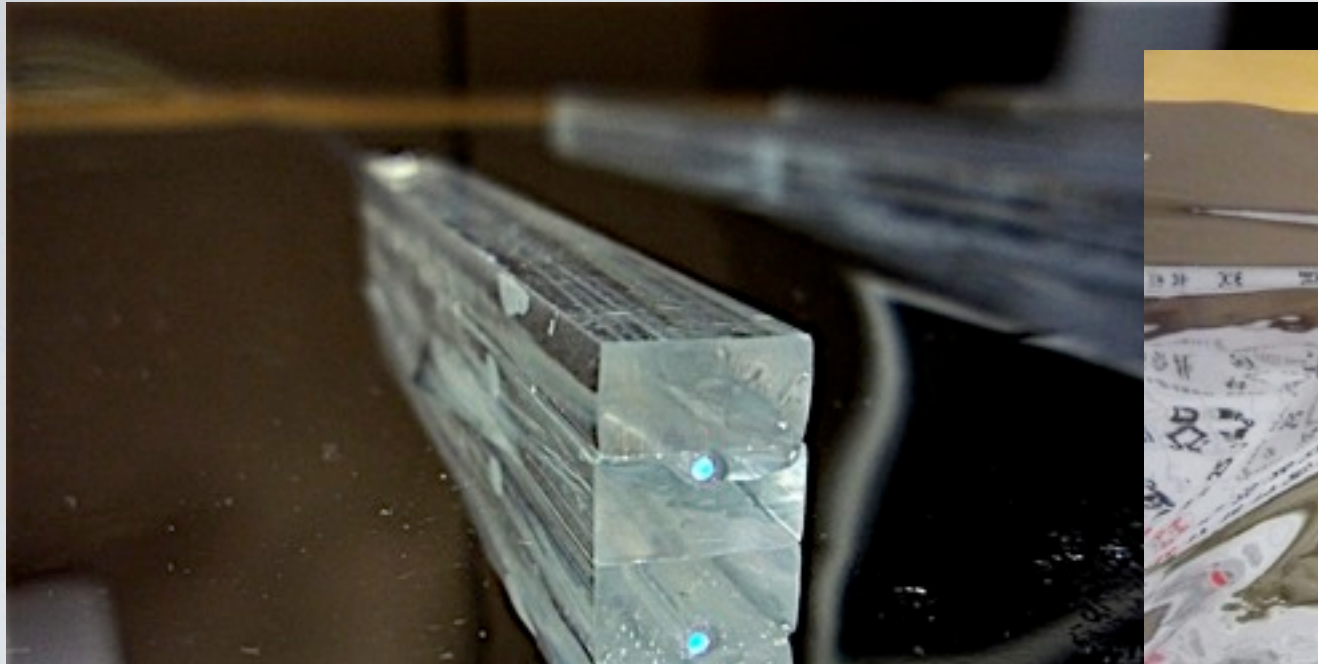
$$\rightarrow 144.7 / 20.7 = 6.99 \text{ p.e}$$

光量は十分！



形状の決定

検出器 - 作成



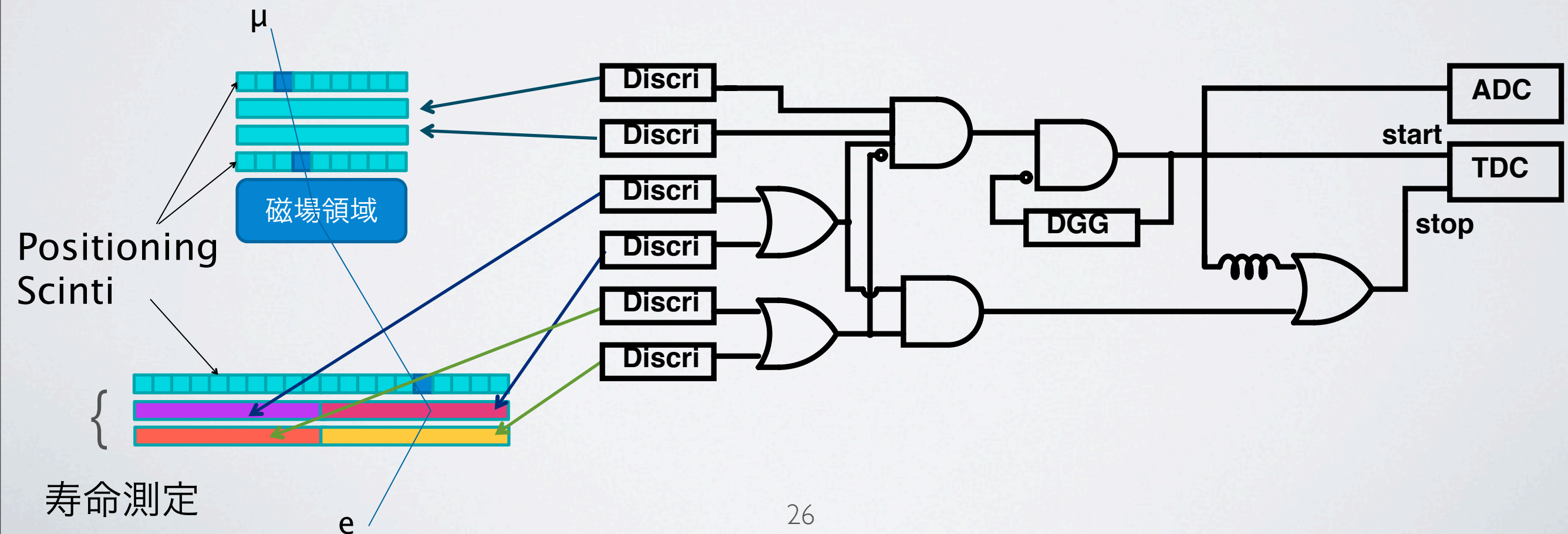
測定と解析 - 測定方法

位置読みとは別に
Triggerシンチを使用

Positioning Scinti



Trigger Scinti



測定と解析 - 本実験SET UP



解析

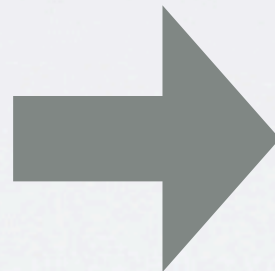
測定と解析 - 解析方法(1)

Event Selection

寿命

崩壊電子の
energy deposit

trigger scinti
でカット



各位置読みが
閾値以上

各レイヤーで
1 ヒット

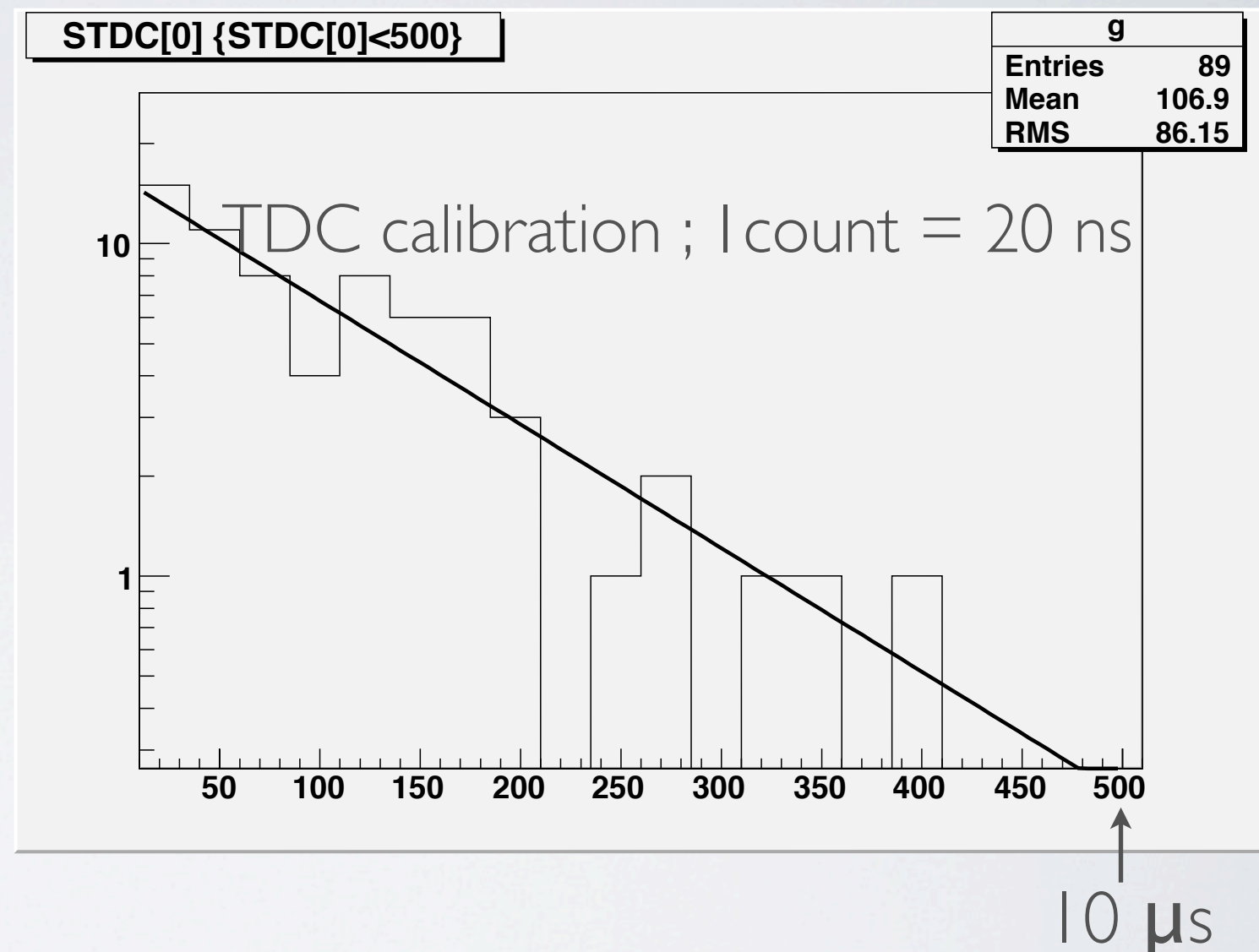
positioning scinti
でカット

測定と解析 - 寿命測定 (磁場あり)

全エントリー数

53,104 event

平均寿命 $2.3 \pm 0.5 \mu\text{s}$



寿命測定によって μ を同定, $10 \mu\text{s}$ の
イベントのみ選出

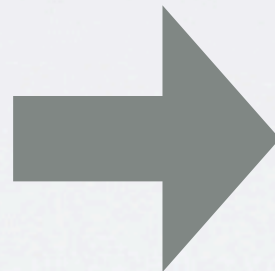
測定と解析 - 解析方法(2)

Event Selection

寿命
(TDC 10 μ s 以下)

崩壊電子の
energy deposit
(1.8 MeV 以上)

trigger scinti
でカット

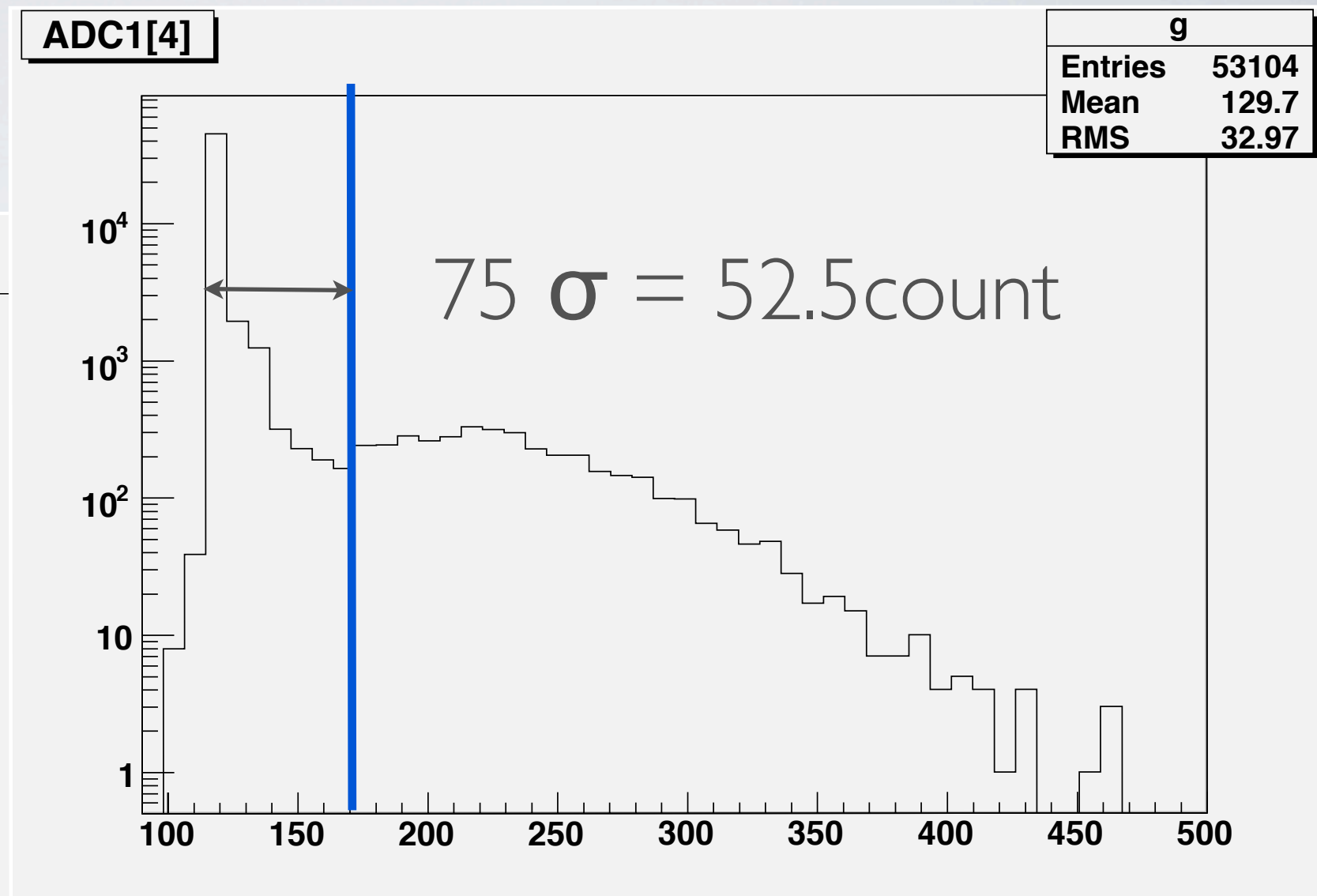
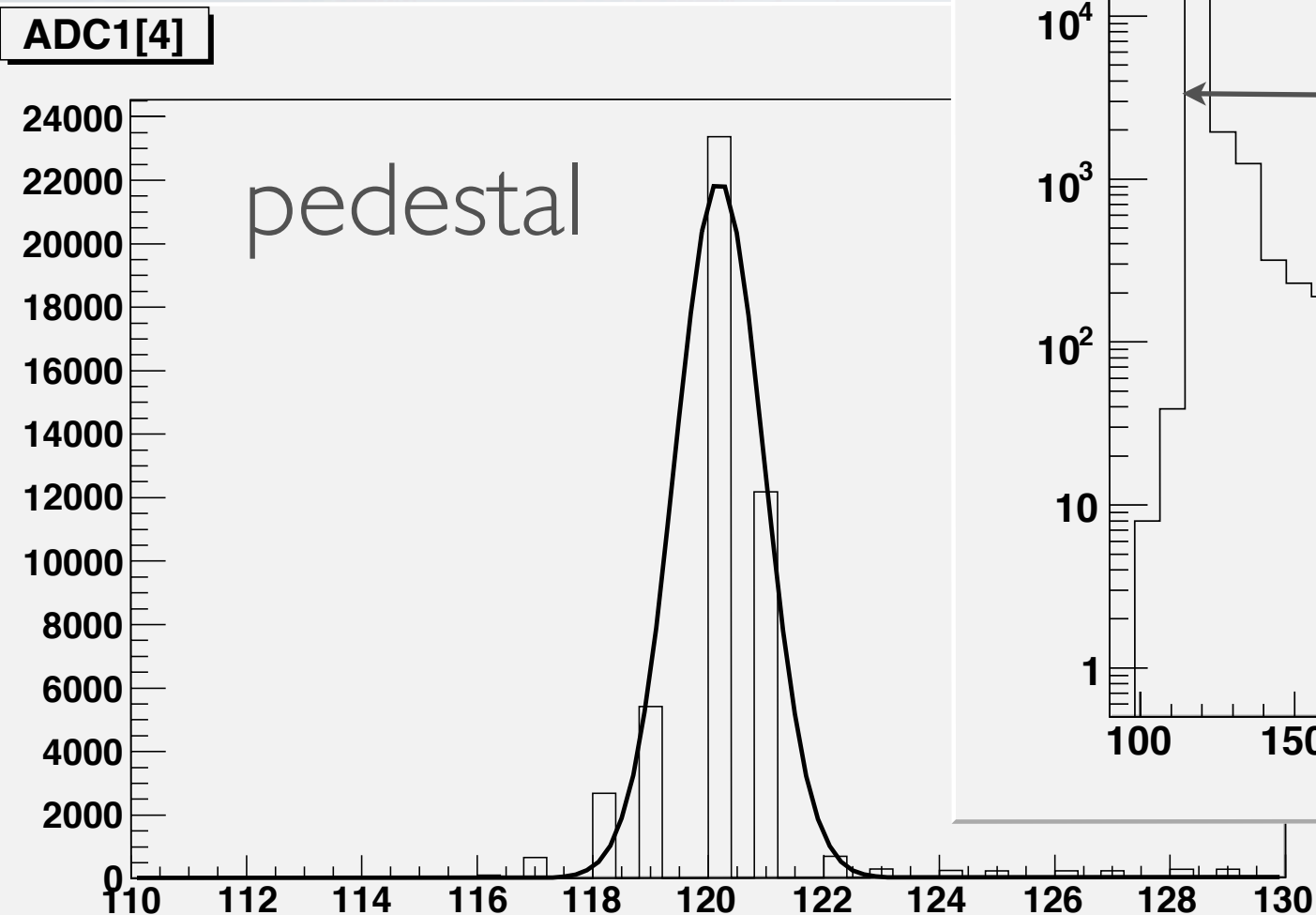


各位置読みが
閾値以上

各レイヤーで
1 ヒット

positioning scinti
でカット

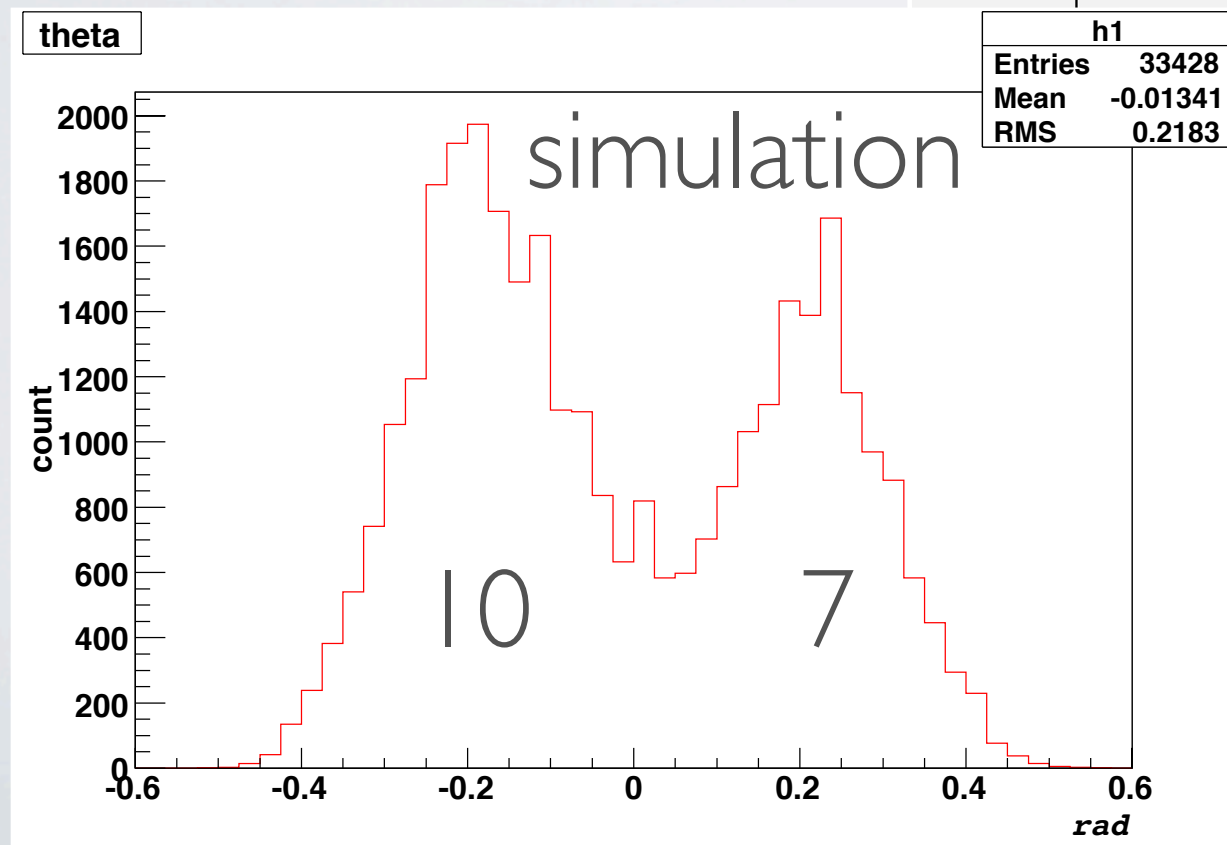
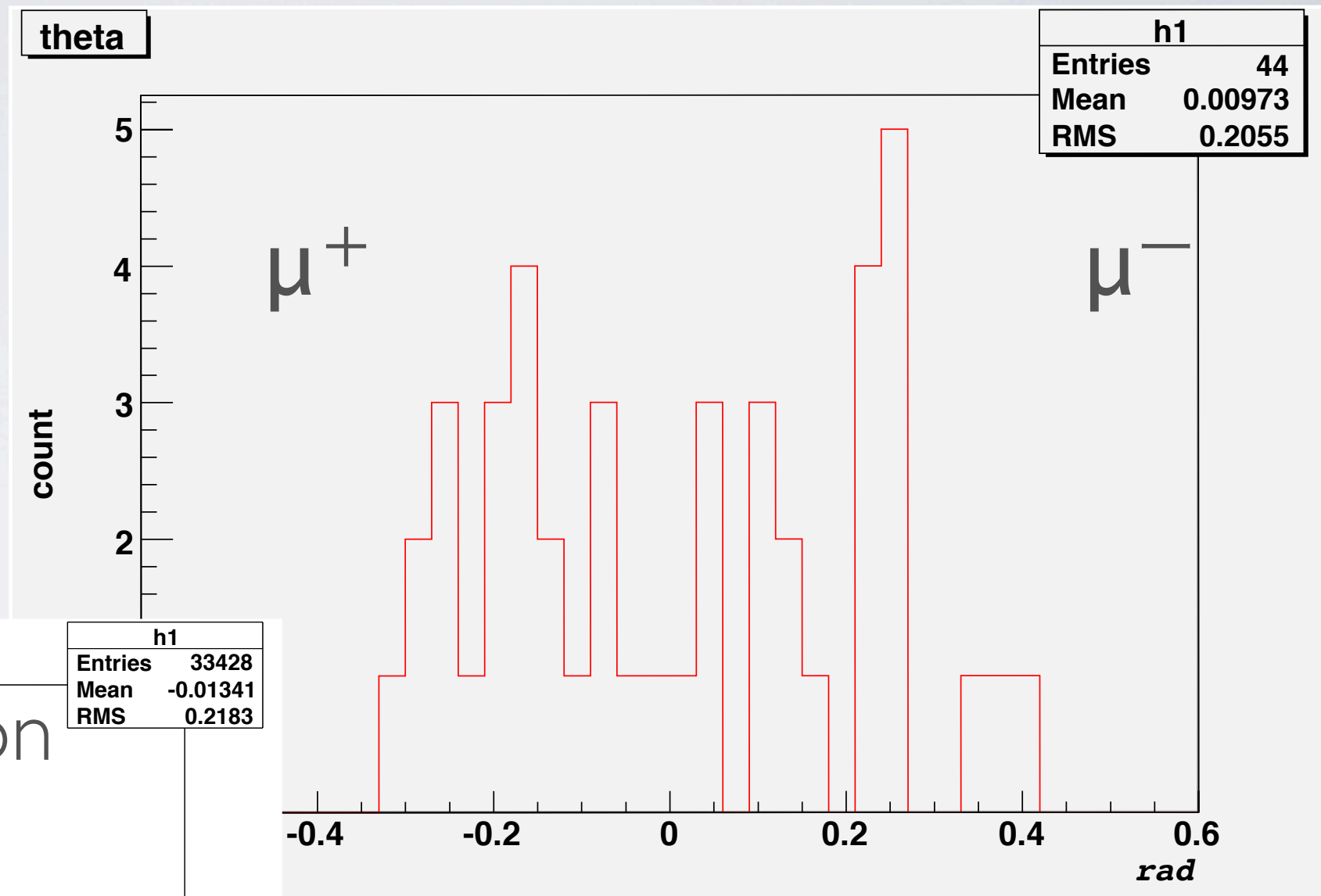
測定と解析 - 解析方法(3)



ペデスタルより 75σ の ADC count が閾値

測定と解析 - 角度分布 (磁場あり)

simulationと比較



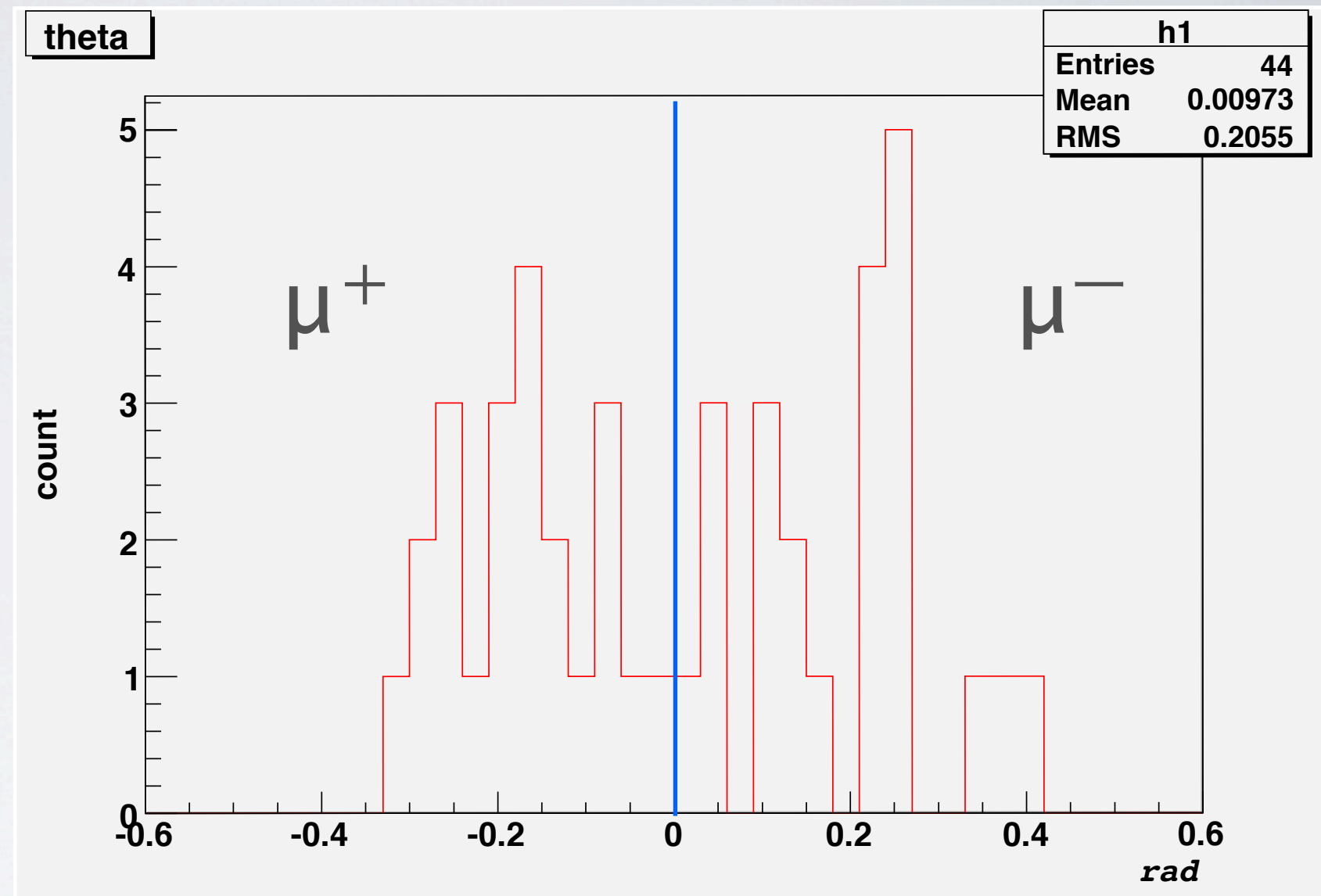
測定と解析 - 電荷比の概算

屈折角の正負で
電荷比を概算

$$\mu^+ : \mu^- = 22 : 22$$

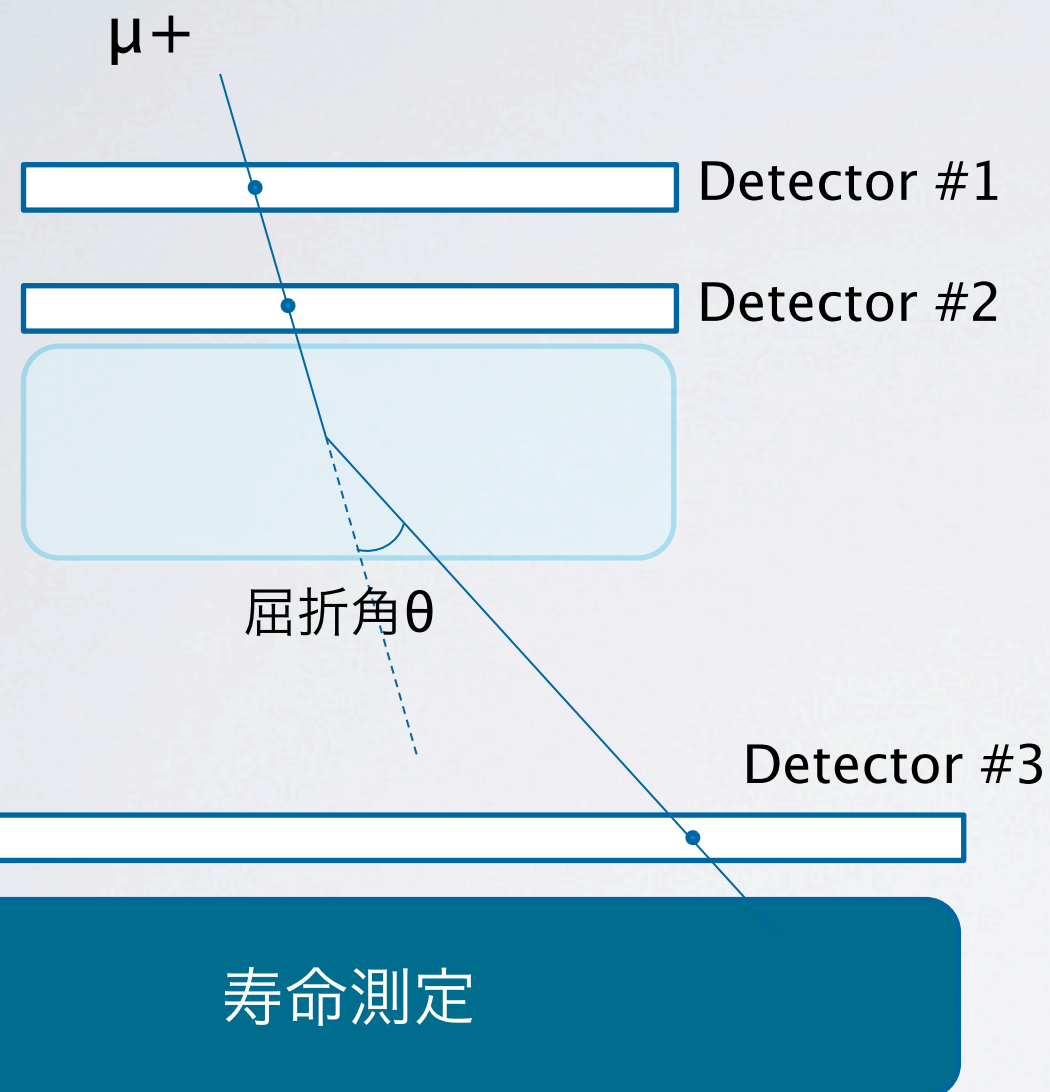
運動量 45 MeV付近
で

$$\mu^+/\mu^- = 1.0 \pm 0.3$$



※文献値 : $\mu^+/\mu^- \approx 1.27$

測定と解析 - 検出器の挙動確認

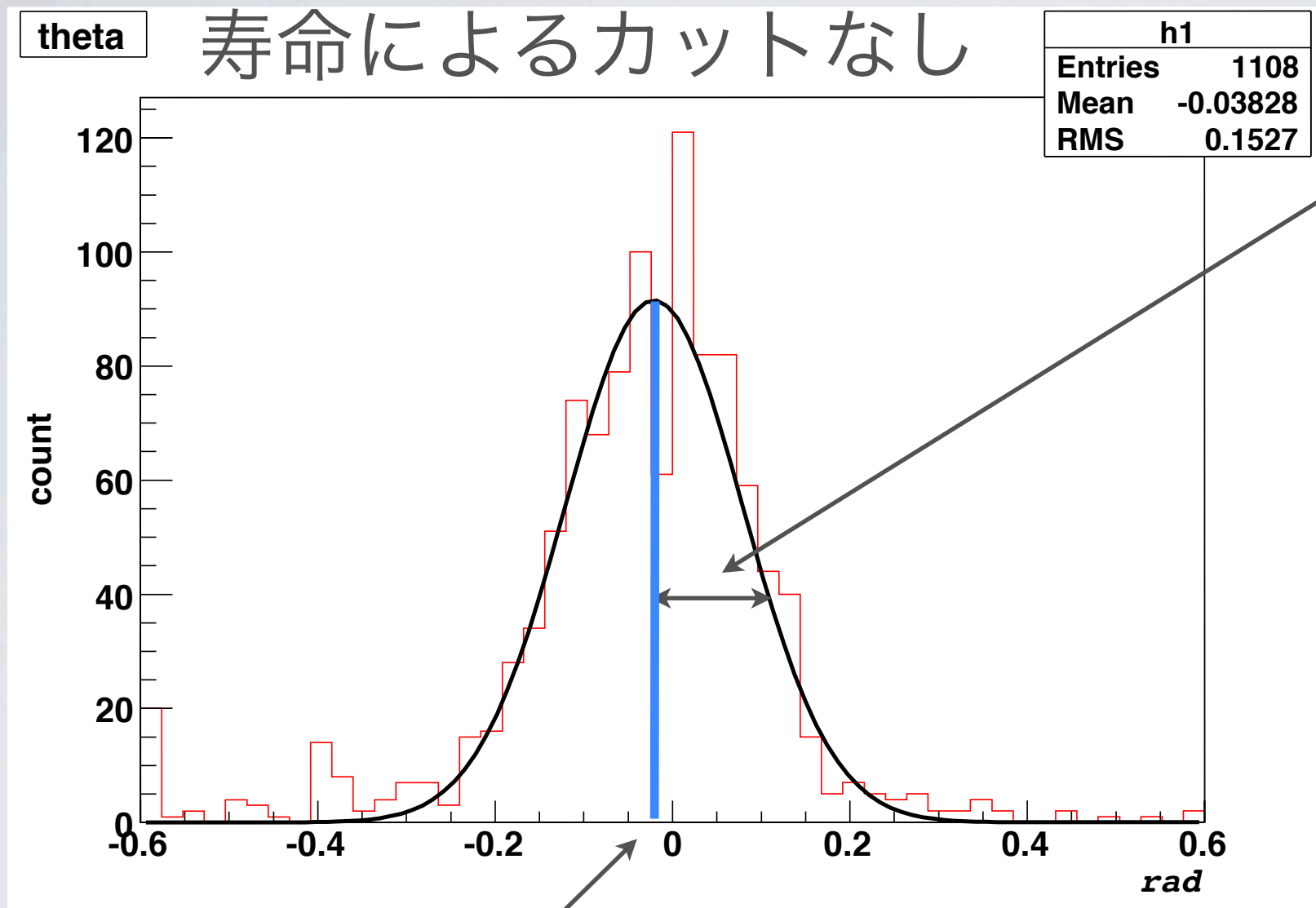


磁場なしの状態での測定



角度分布をみる → 屈折角は 0° であるはず

測定と解析 - 角度分布 (磁場なし)



測定より

$$\sigma = 5.7^\circ$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{\text{m.s}}^2 + \sigma_{\text{det}}^2)}$$

$$\sigma_{\text{m.s}} = 4.6^\circ$$

$$\rightarrow \sigma_{\text{det}} = 3.4^\circ$$



予想された角度分解能 $< 3.7^\circ$ を満たす
位置分解能 $\sim 0.3 \text{ cm}$ の検出器が完成

測定と解析 - 改善点

- 各位置読みシンの閾値の調整
- 統計を貯める ... 現在も測定中
- → 磁場の向きを反転して測定

結論

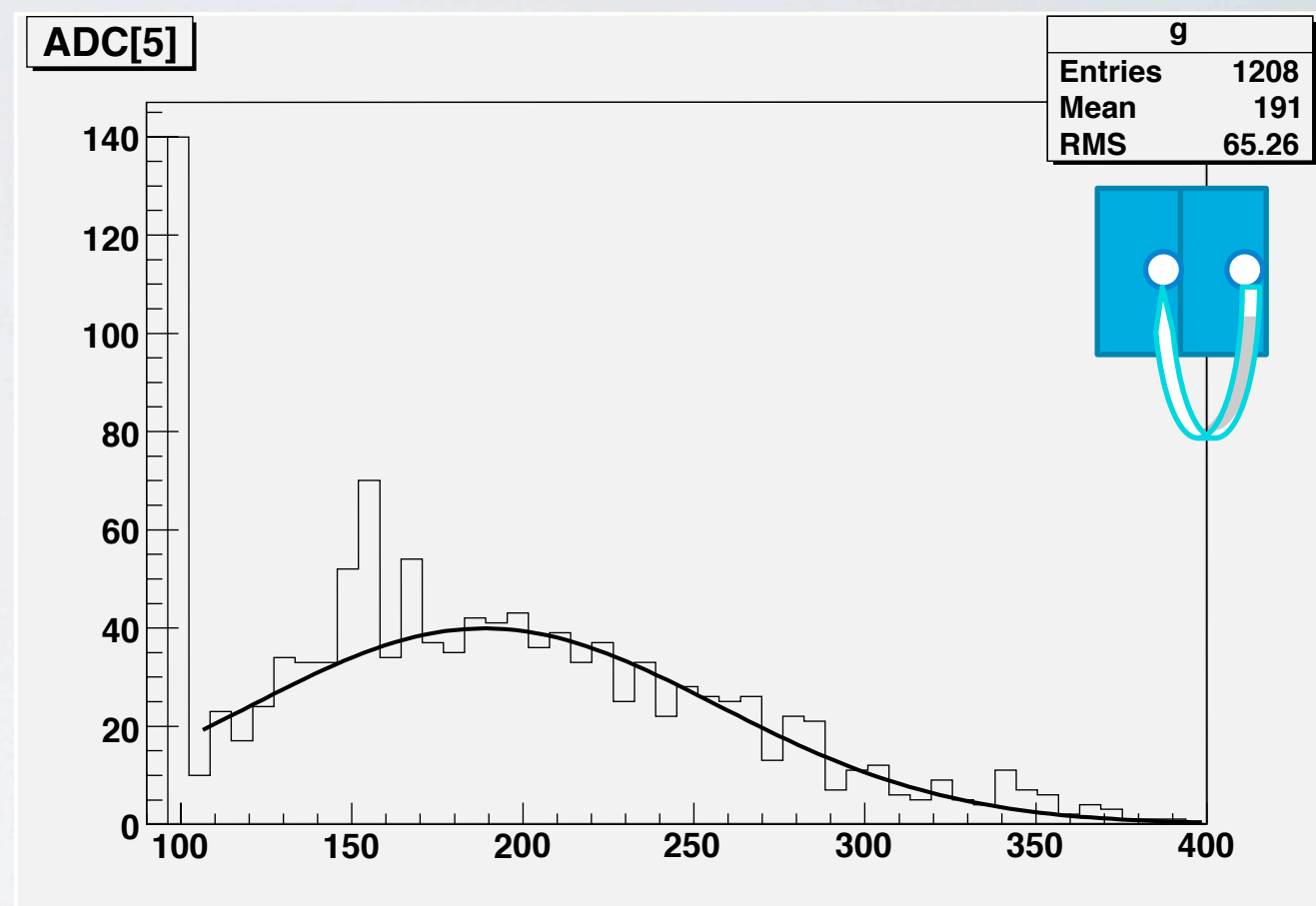
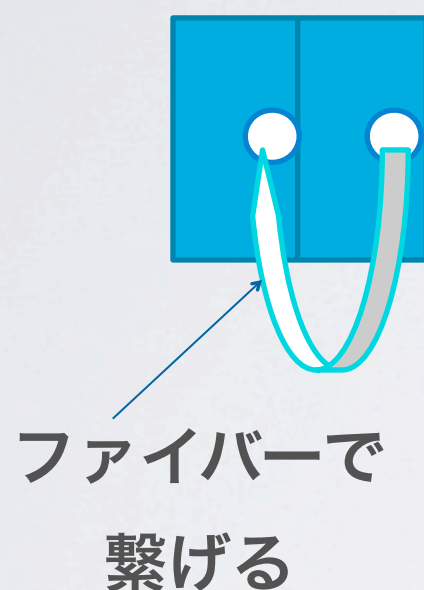
- MA-PMTを用いたシンチファイバー検出器を作成
位置分解能 0.3 cm を獲得 予想と一致
- 磁場を用いて μ の電荷比を測定 $\mu^+/\mu^- = 1.0 \pm 0.3$ が得られ、誤差の範囲で文献値と一致
データ収集期間 9 日

ご清聴ありがとうございました

Buck up

検出器（補足） - シンチの形状

これらの光量



4.5 p.e

ファイバーにおける減衰
ファイバーにキズ etc...

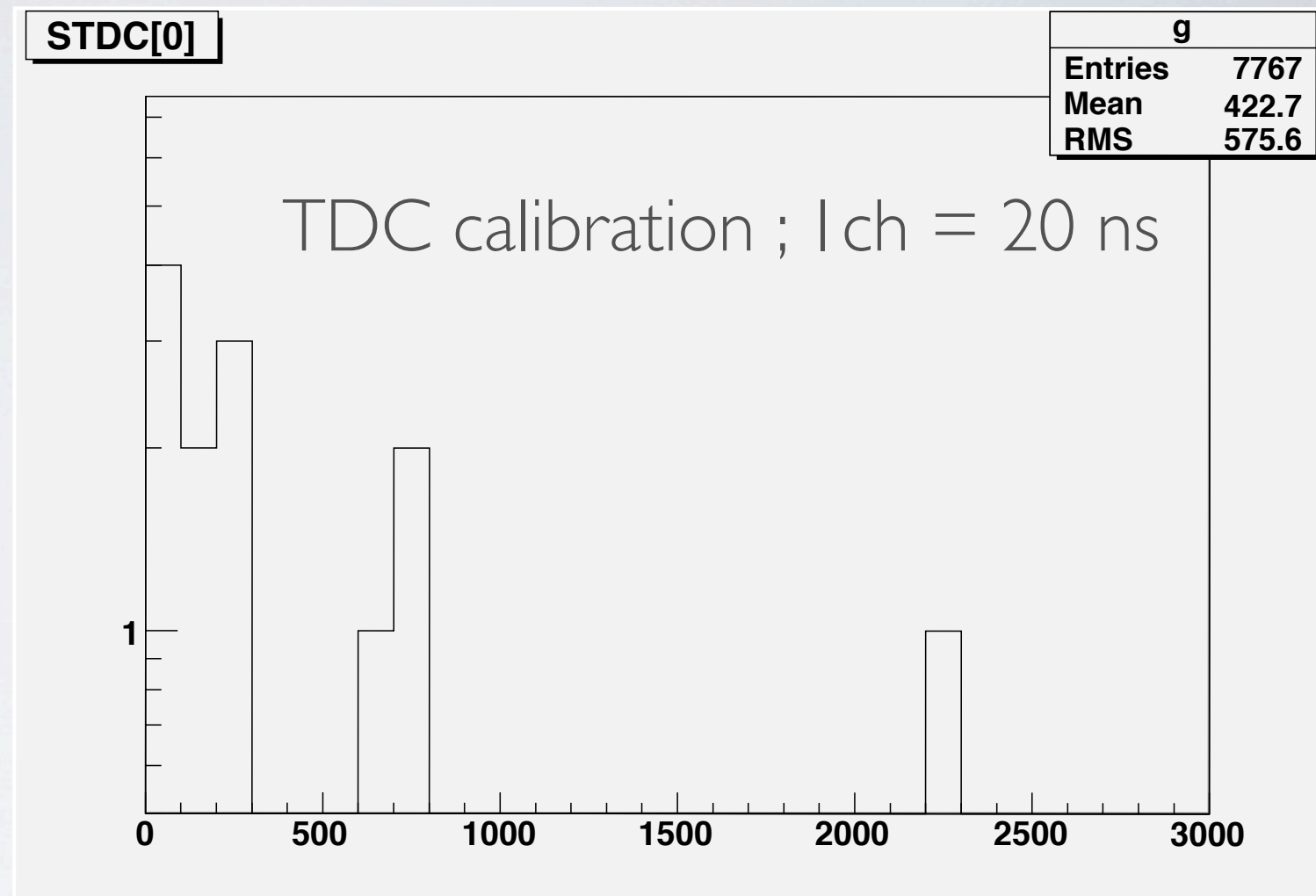
セットアップが困難

補足 - 寿命測定 (磁場なし)

ADC count : 1 ch = 20 ns

10 μ s (500 ch)
以内に 9 events

寿命測定もできて
いると判断



※ エントリー数に比べて μ 崩壊イベントが少ない
→ trigger scinti のthreshold の
調整ができていなかった