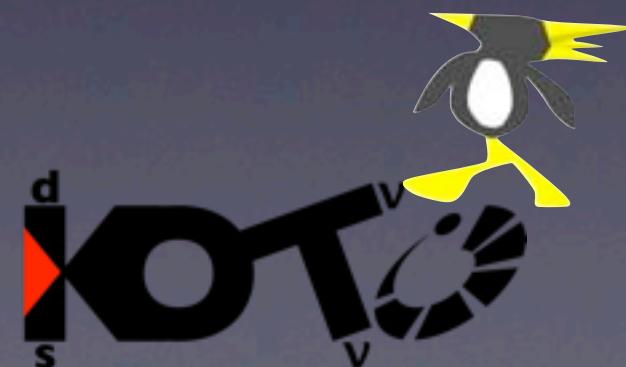
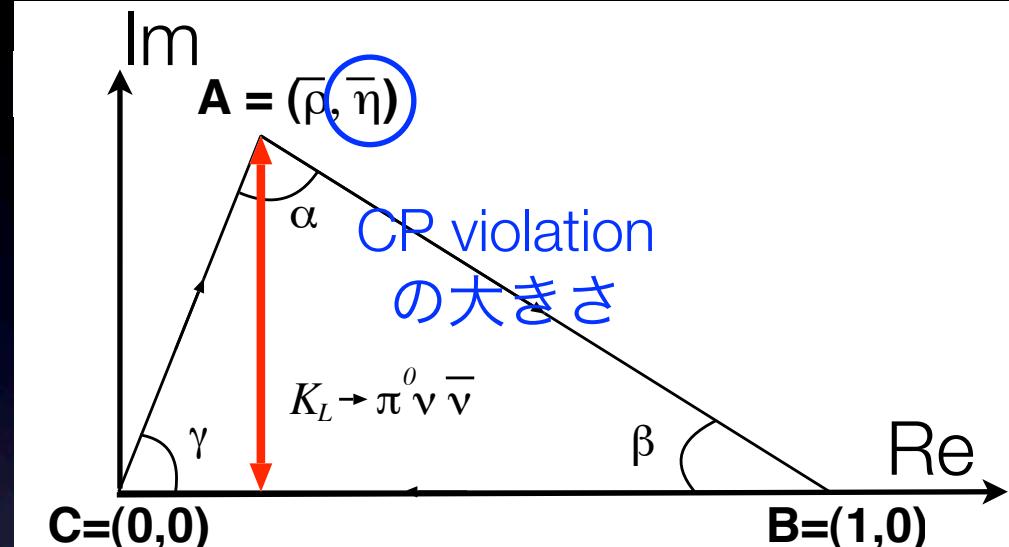
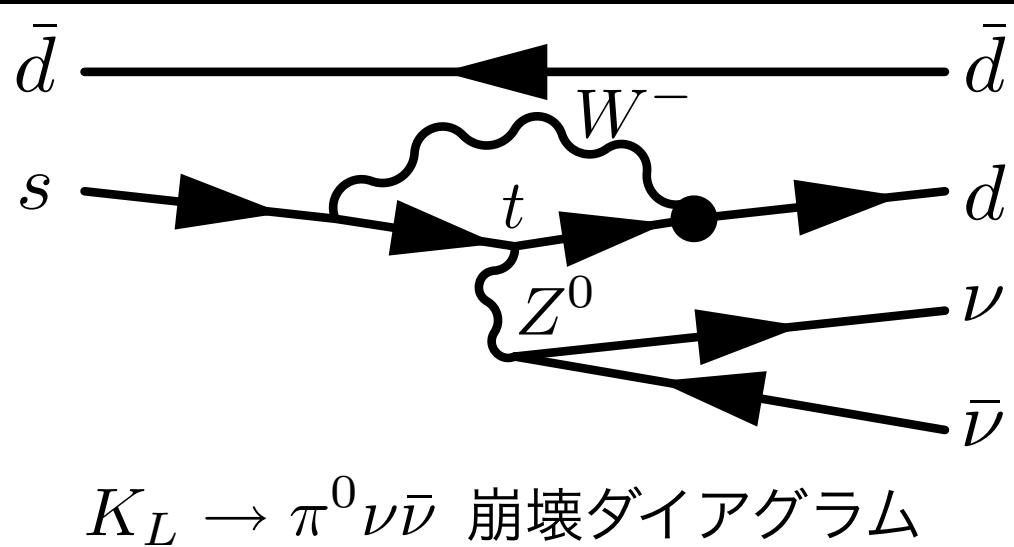


# The CsI calorimeter for the KOTO experiment

12/19/2011, 年末発表会  
山中卓研究室 D5 岩井瑛人

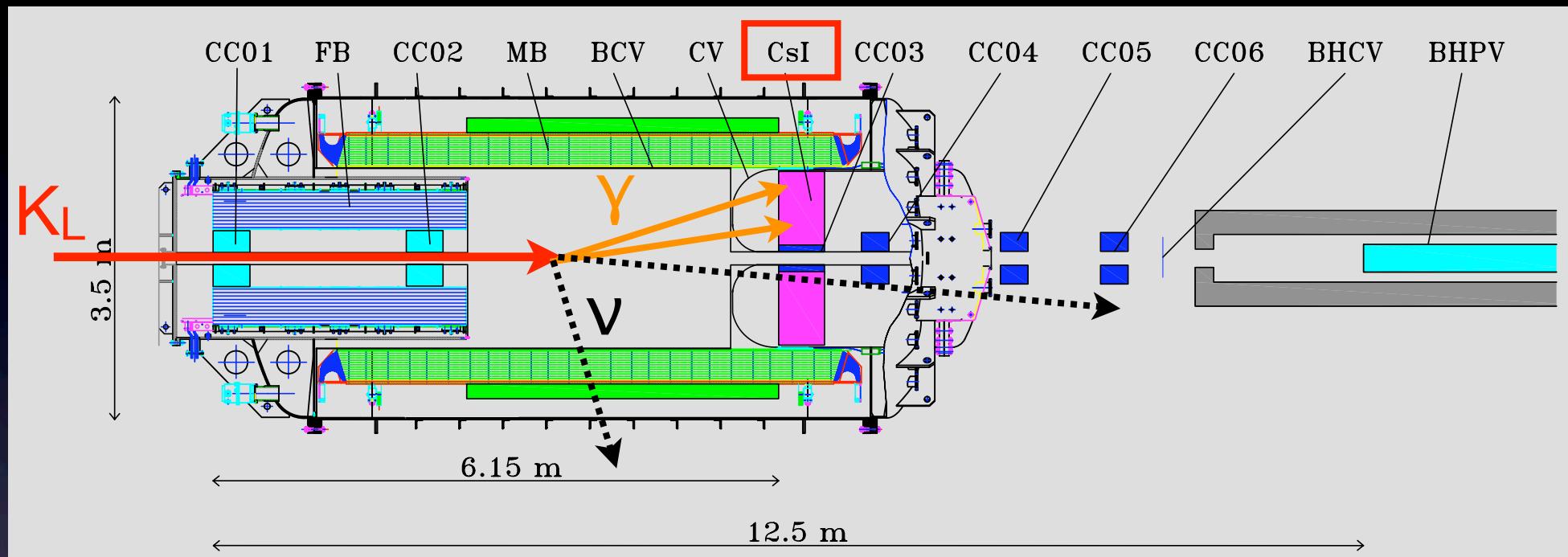


# $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊とは？

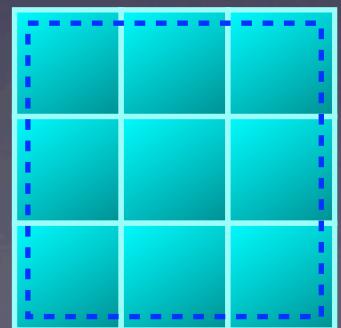


- ループを含むダイアグラム：New Physicsに感度がある！
- CPの破れの大きさを決めるCKM行列の複素成分  $\eta$  を小さな理論的不定性で決定できる
- 標準理論とそれを超える物理への良いプローブ：Golden Mode
- 非常に稀な崩壊 + 全てが中性の粒子：意欲的な実験！  
 $\text{Br} \sim 3 \times 10^{-11}$

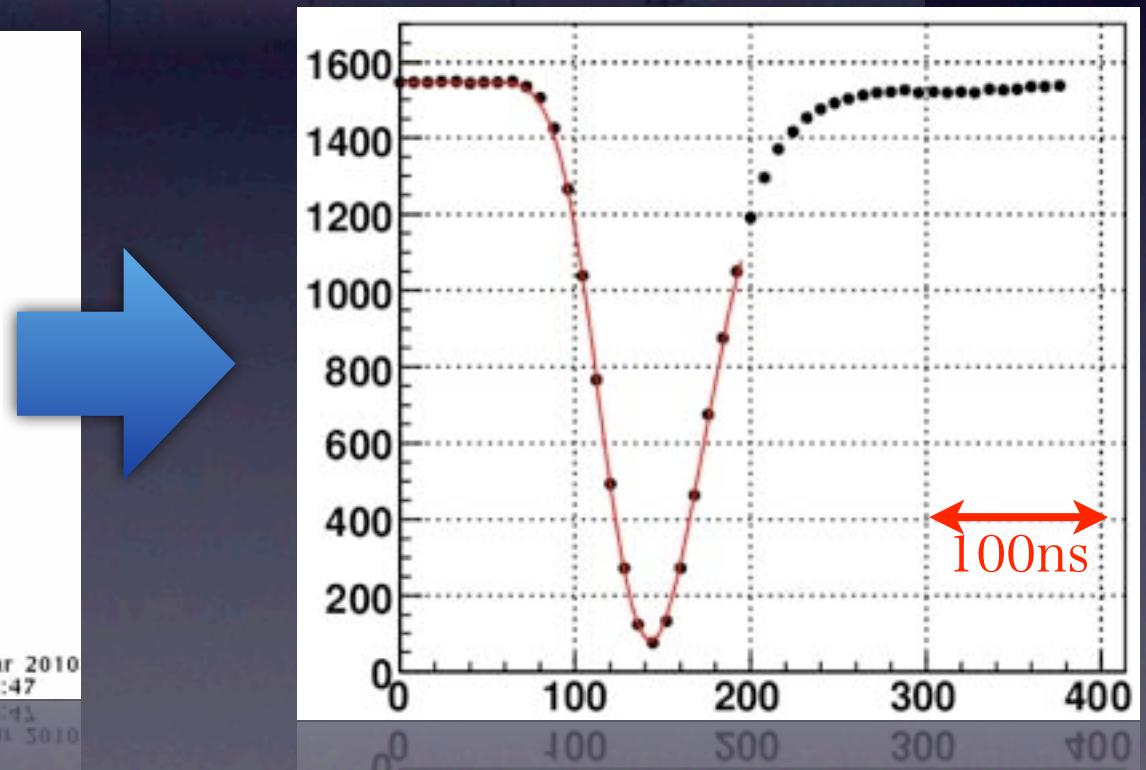
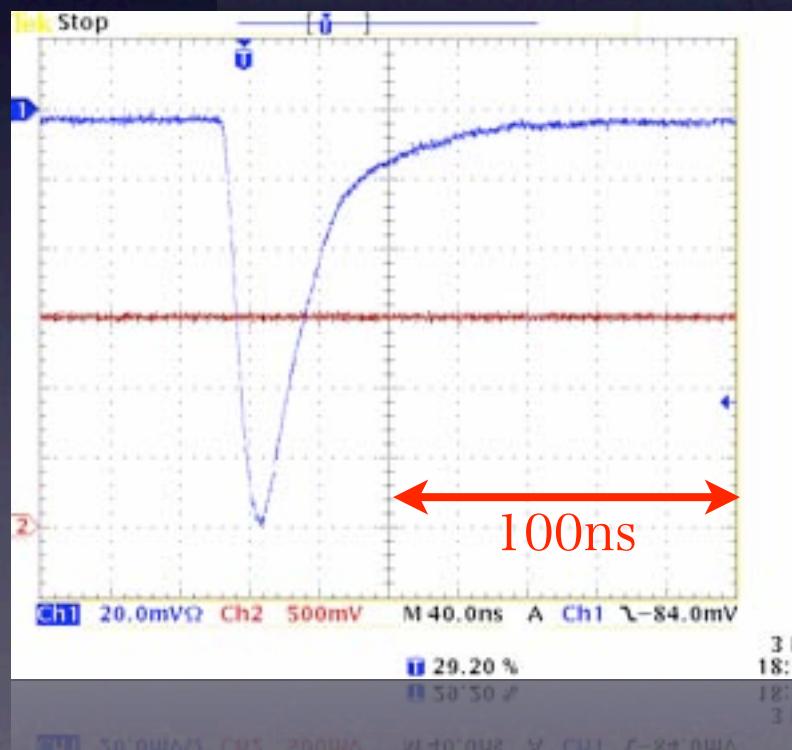
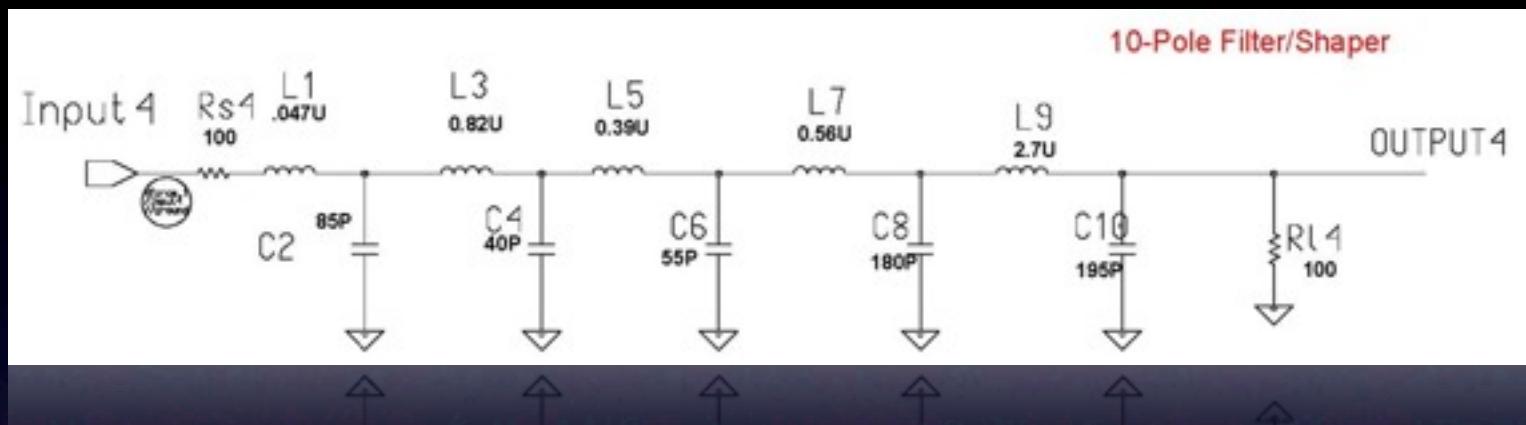
# KOTO detector



- シグナル事象： $\pi^0$ からの2つの $\gamma$ 線のみ
- 入射する $\gamma$ 線のエネルギーと位置を測定：CsIカロリメータ
- カロリメータのe391a実験からの改良点
  - $7 \times 7 \times 30 \text{ cm}^3 \rightarrow 2.5 \times 2.5 \times 50 \text{ cm}^3 (+5\text{cm角})$
  - 波形読み出し

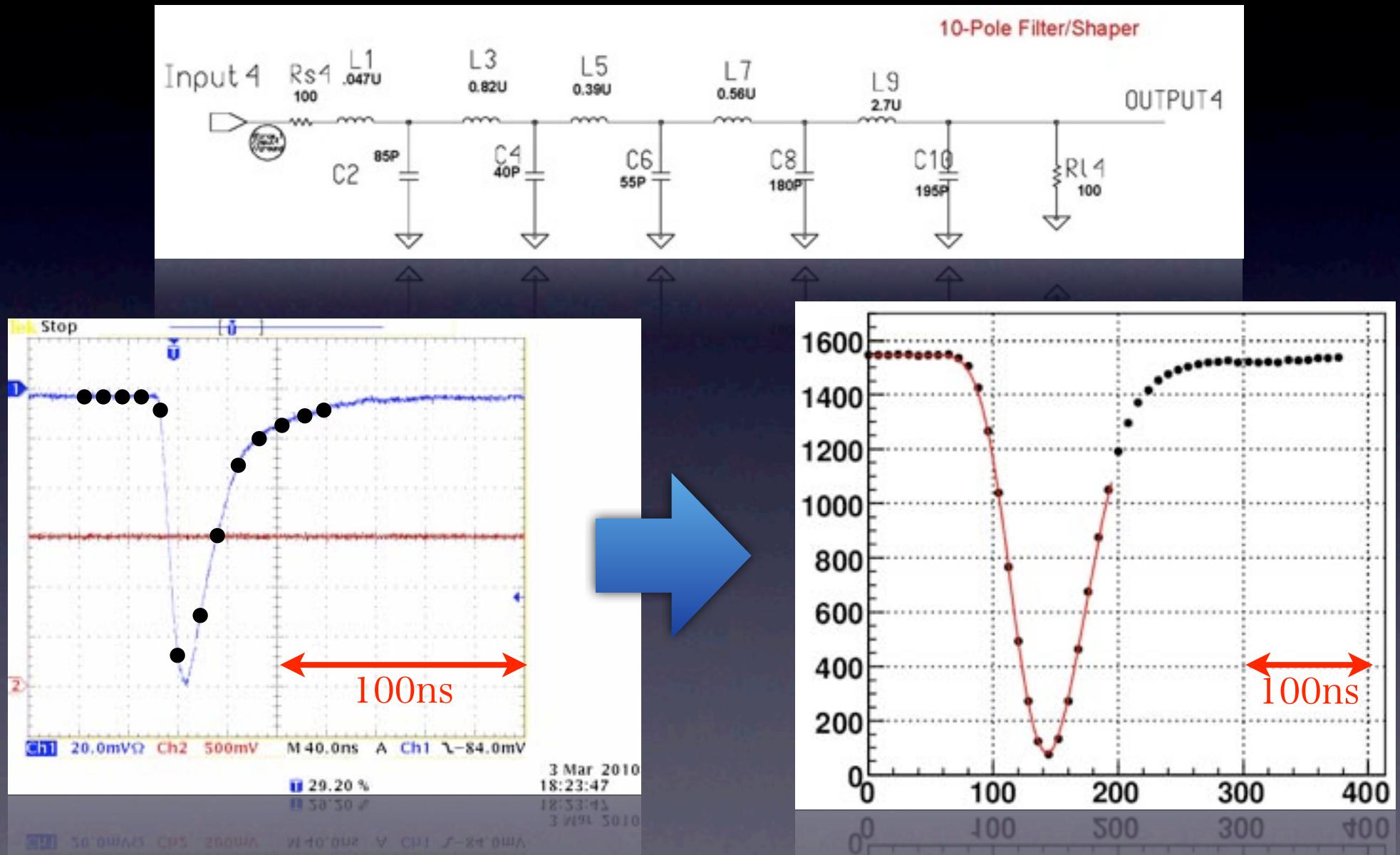


# Bessel filter



- Bessel filterを通した出力を125MHzのFADCで記録

# Bessel filter



# トークの内容

- カロリメータのアップグレード
  - 統合試験、性能評価のためのビームテスト
- 波形読み出し
  - Bessel filterを用いた波形読み出しで得られる性能って？
- 25mm角の小さな結晶による fine granularity
  - KOTO実験のカロリメータのための新たな解析手法
- 数字は全て preliminary という事で。。。.

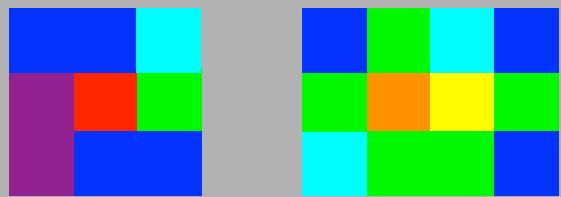
# ビームテスト

# CsI beam test

- LNS, 東北大学
- beam time : 2010/04
- energy : 最大 800MeV の positron
  - (0,10,15,20,30,40) [deg] × (100,200,300,460,600,800) [MeV]
- setup
  - 144本 (12×12) の CsI 結晶
  - scintillating fibers 位置検出器
  - 時間のreference用シンチレータ  
(500MHz FADCで記録)



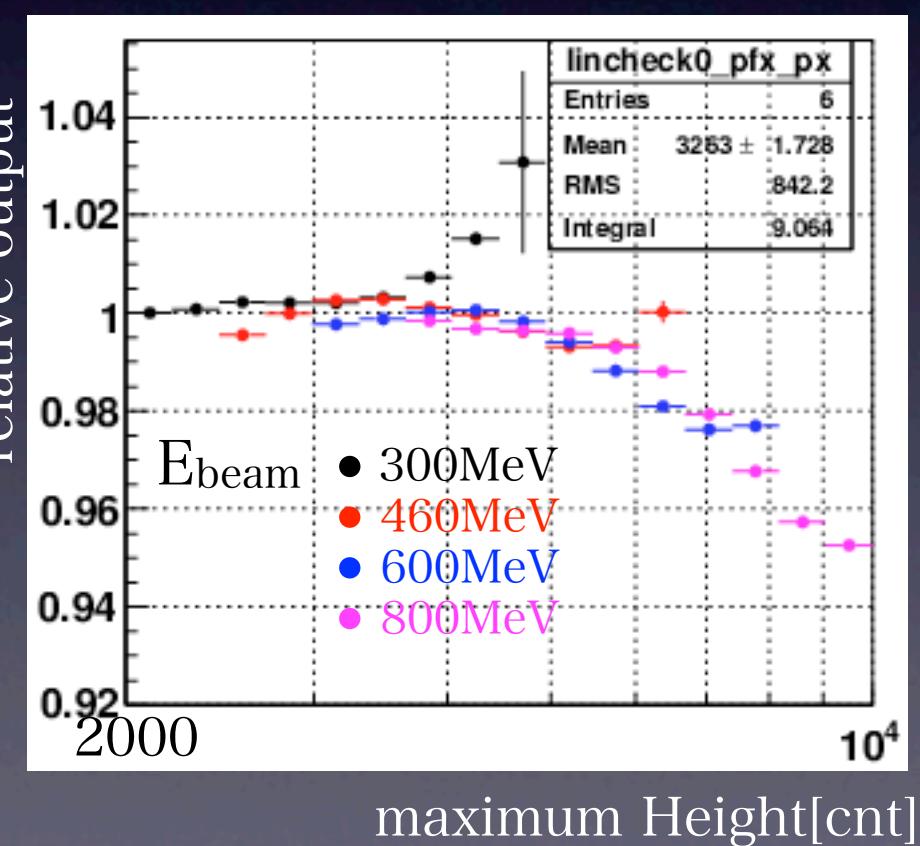
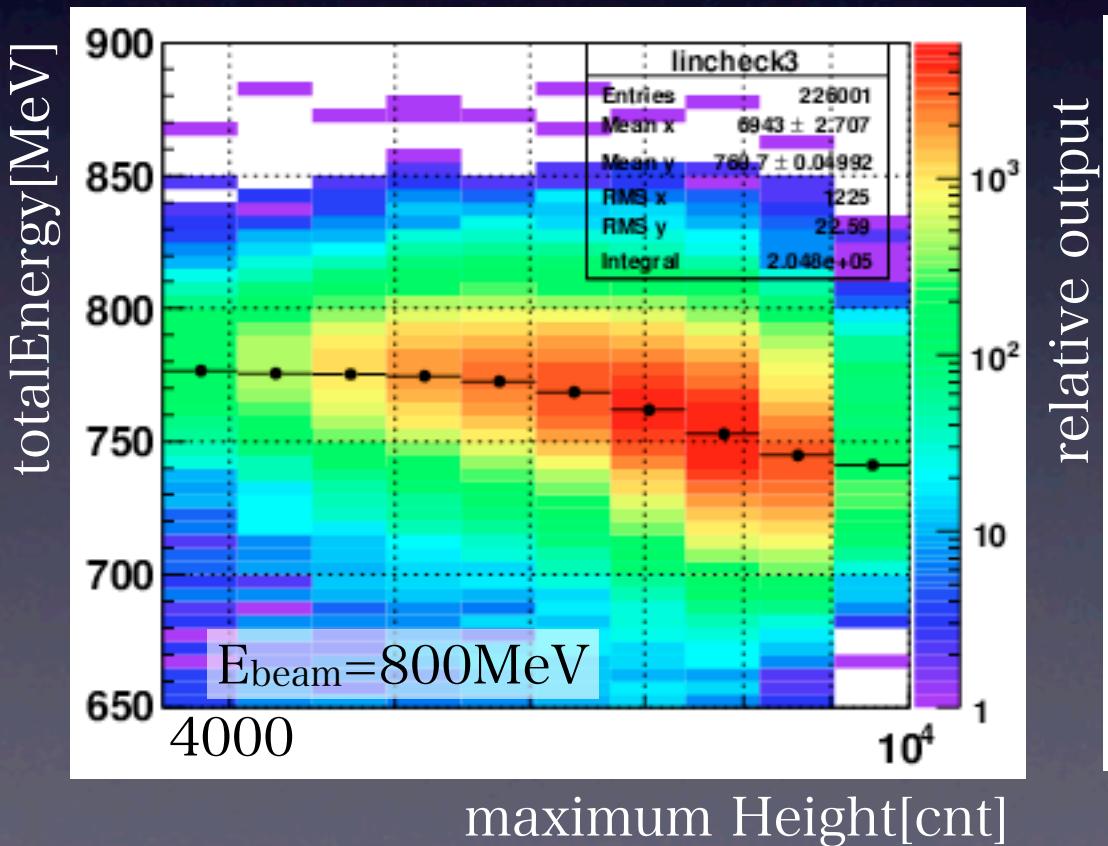
# non-linearity



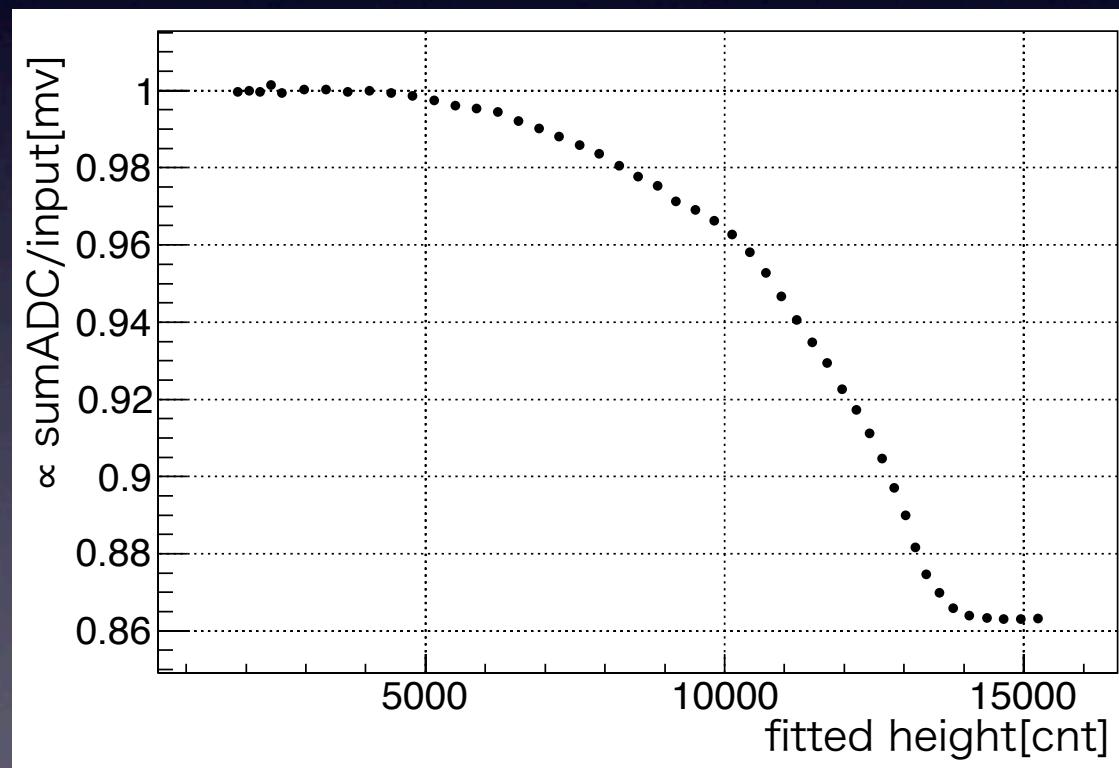
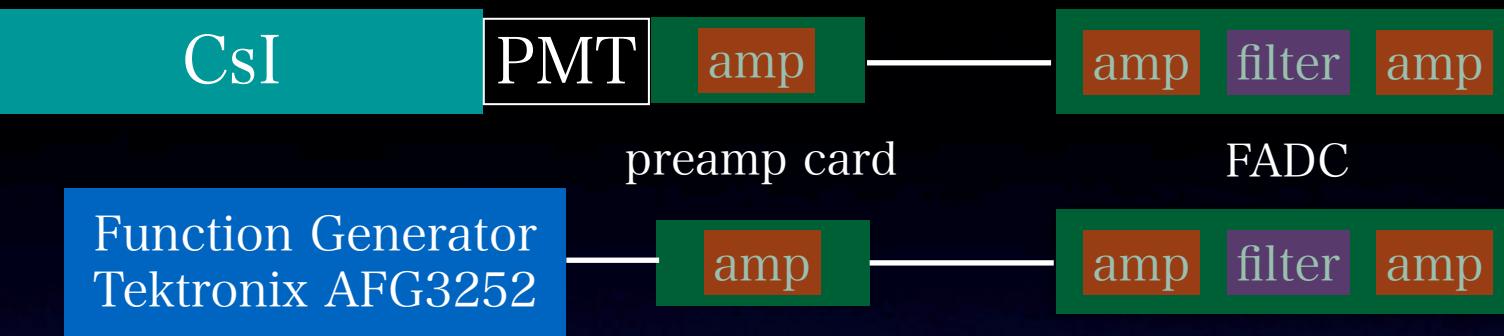
$$E_i < E_j ??$$

- non-linearityはその波高と相関がある

→ 各イベントでの、最大の波高とエネルギー和の相関

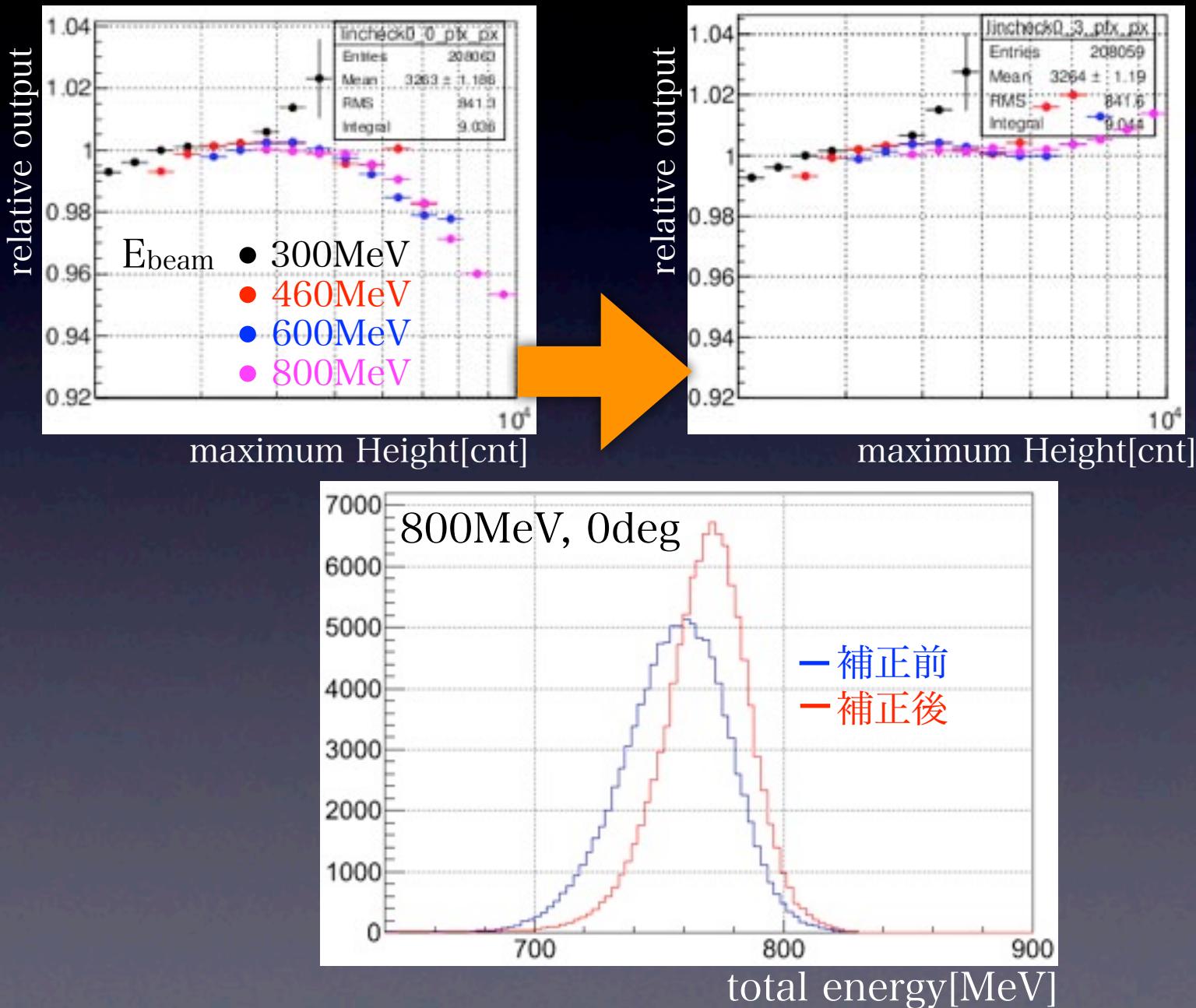


# Function Generatorを用いた追検証

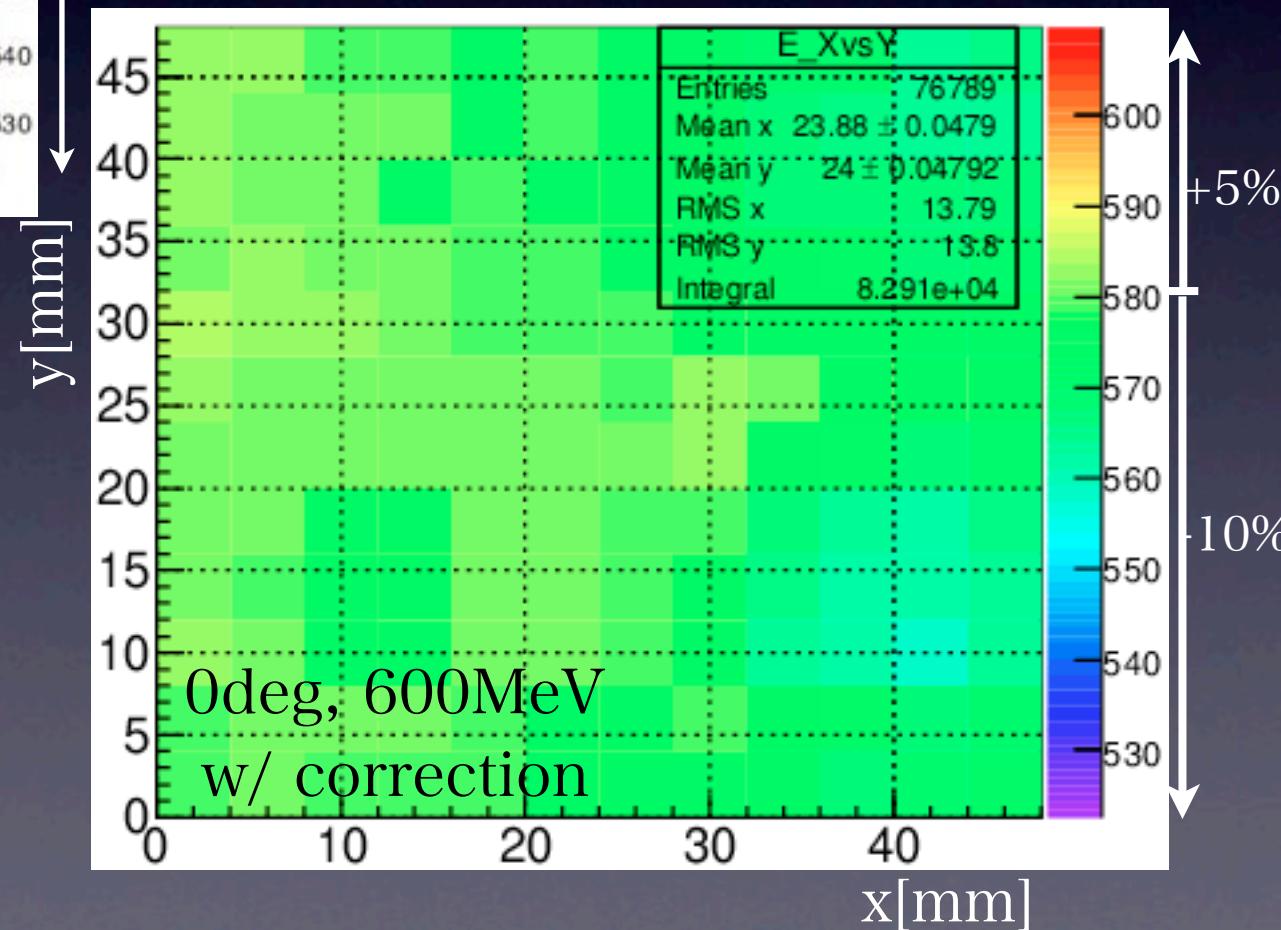
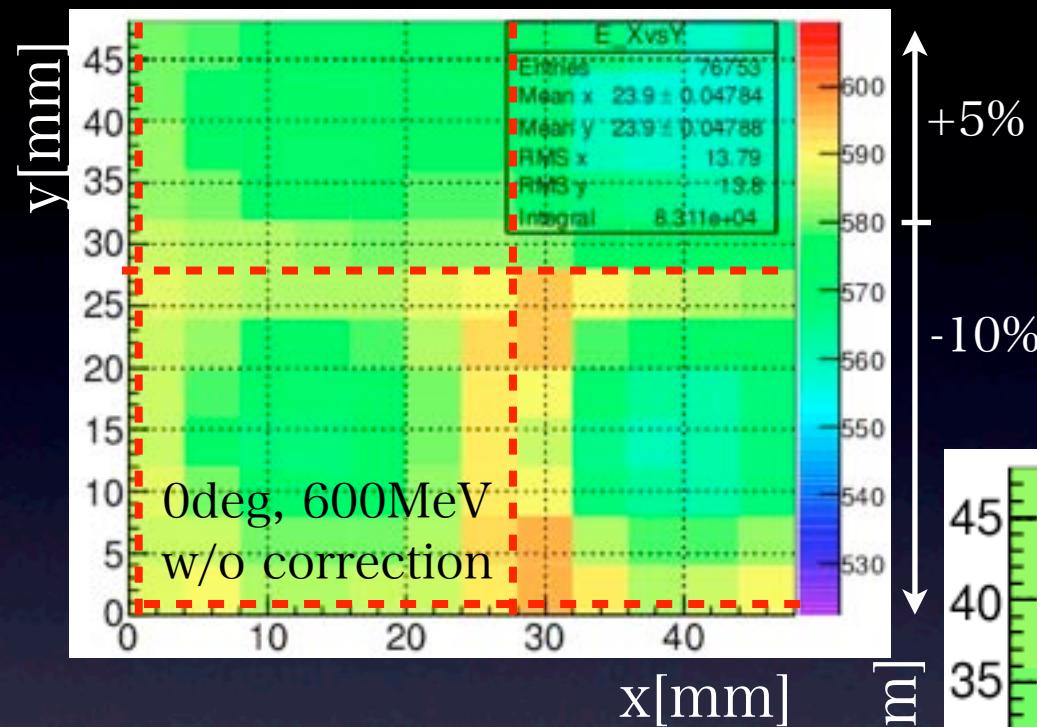


- ビームデータが示すnon-linearityは説明可能

# non-linearityを考慮したcalibration

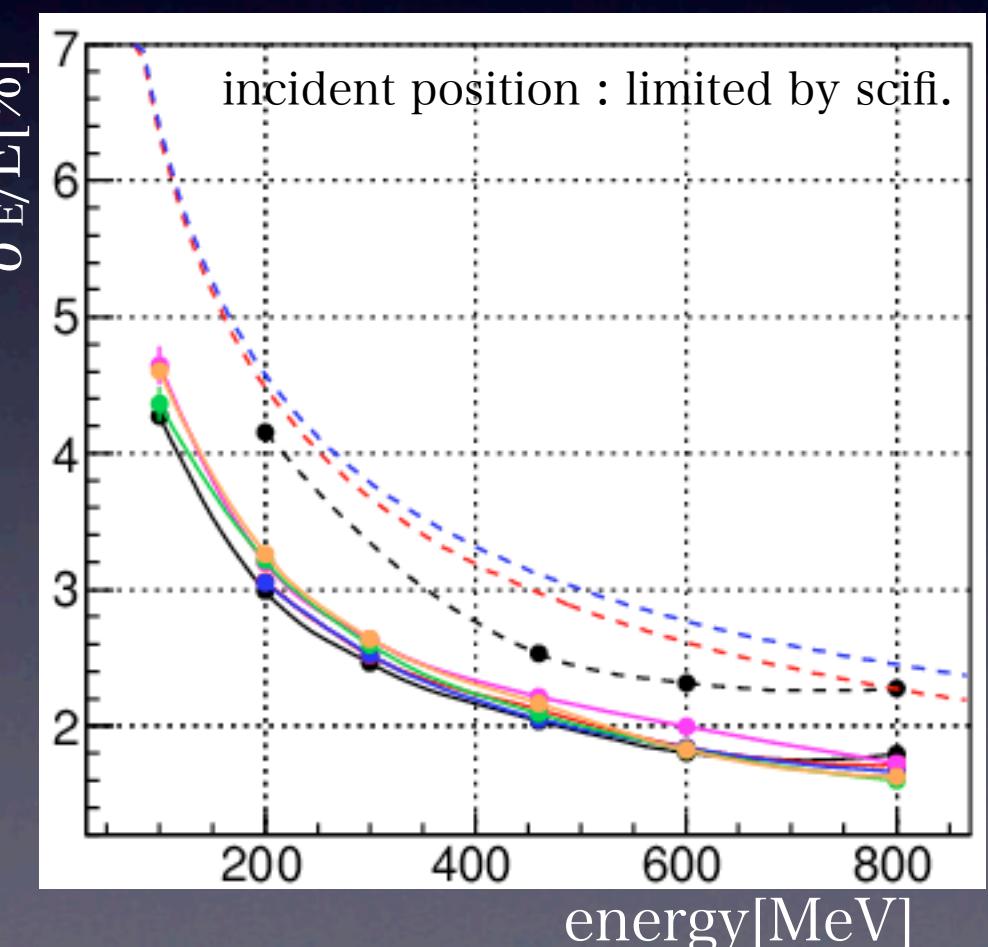
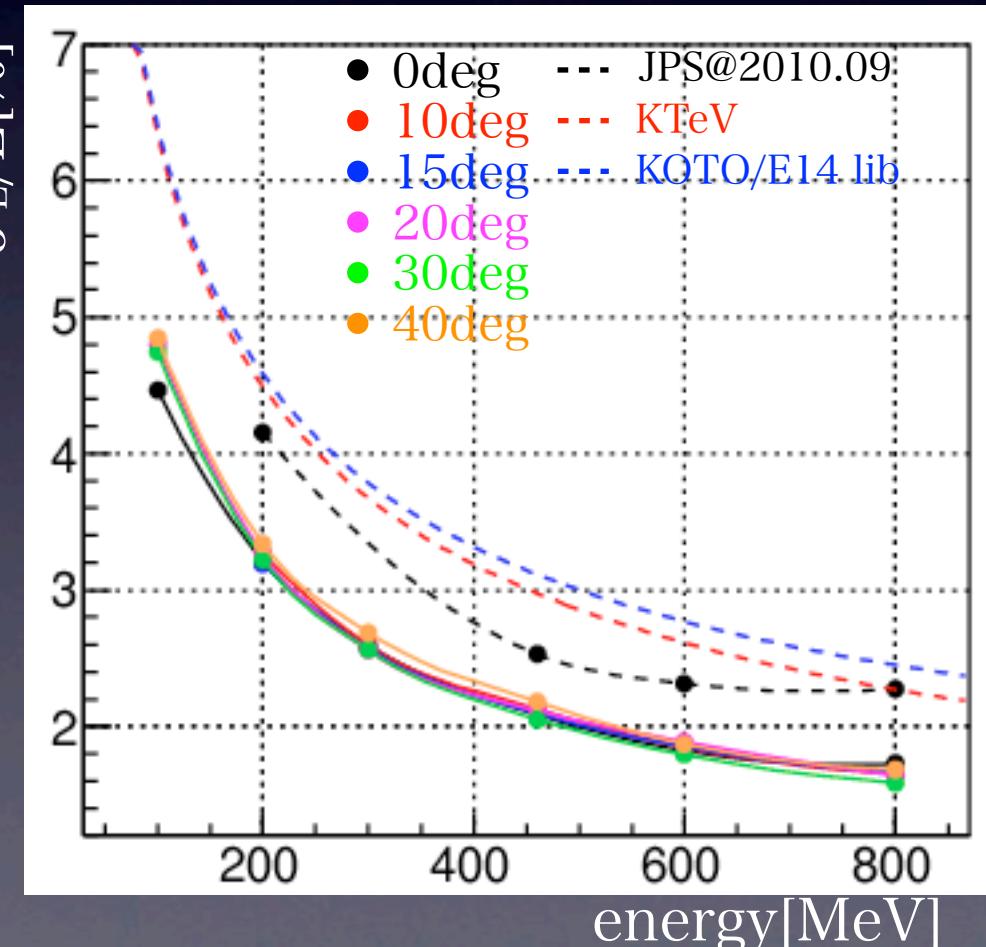


# incident position dependence



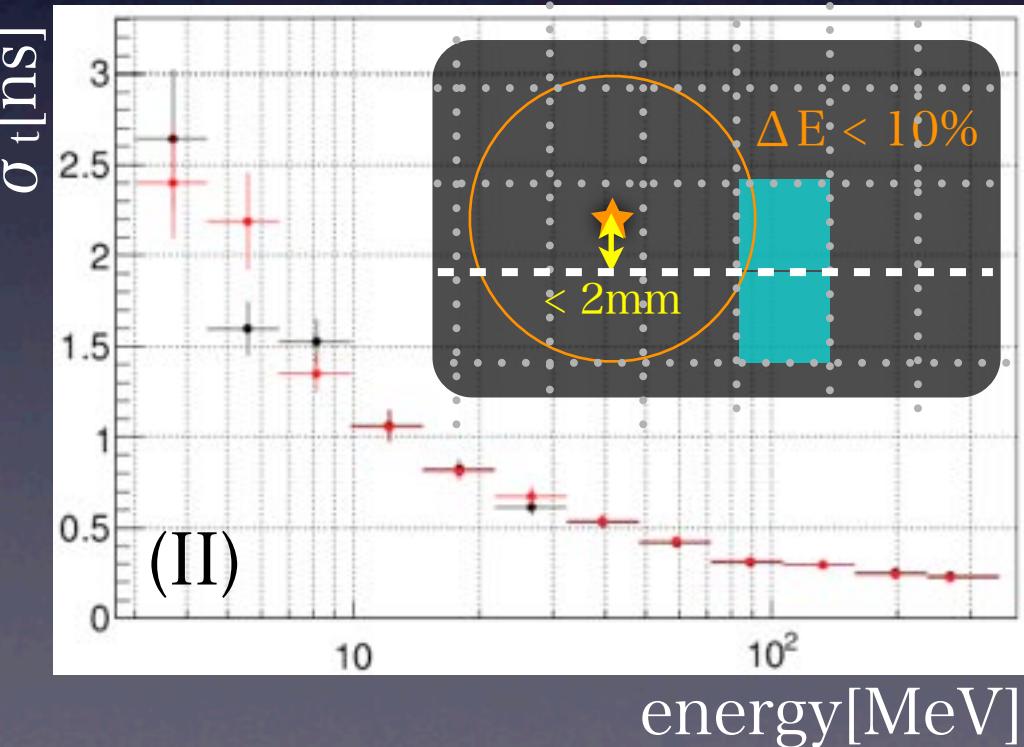
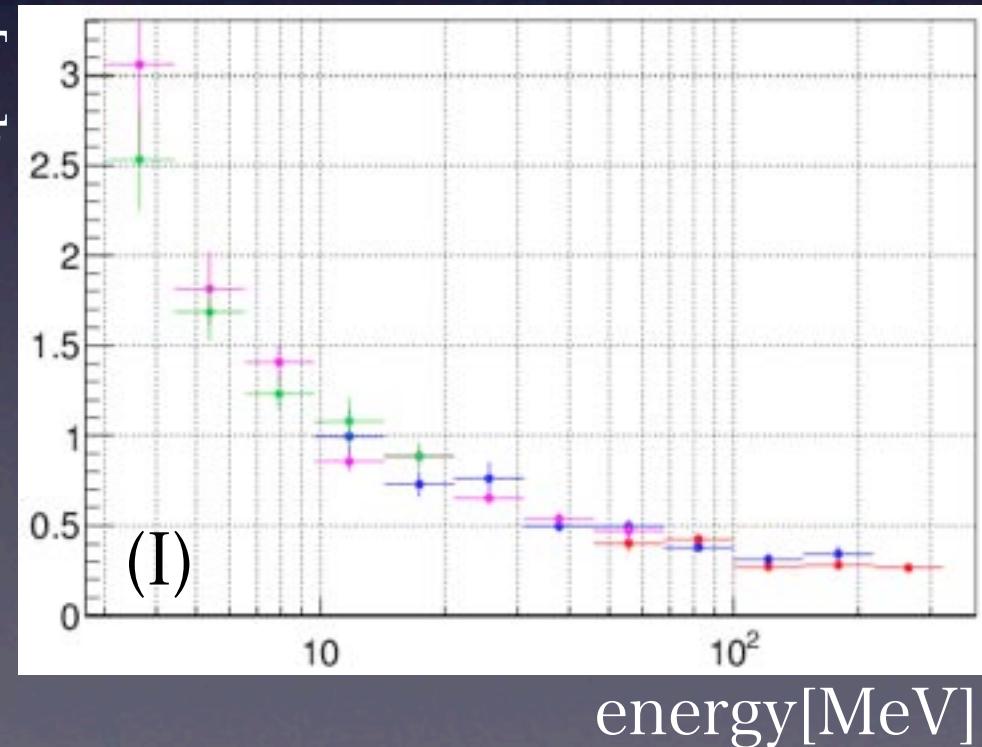
# energy resolution

- right : incident position is limited by scifi. tracker
  - might be suffered by calibration error for a certain channel
- left : incident position is not limited
  - might be suffered by shower leakage



# timing resolution

- 2つの方法で時間分解能を評価
  - (I) reference 用シンチレータとの時間差の広がり
  - (II) 隣り合う特定の2つの結晶の時間差の広がり
    - ✓ 時間分解能の要因（光量, ノイズ量, Gainなど）が同じ結晶  
(いずれもK<sup>0</sup>TO実験のCsIカロリメータの標準的な値)



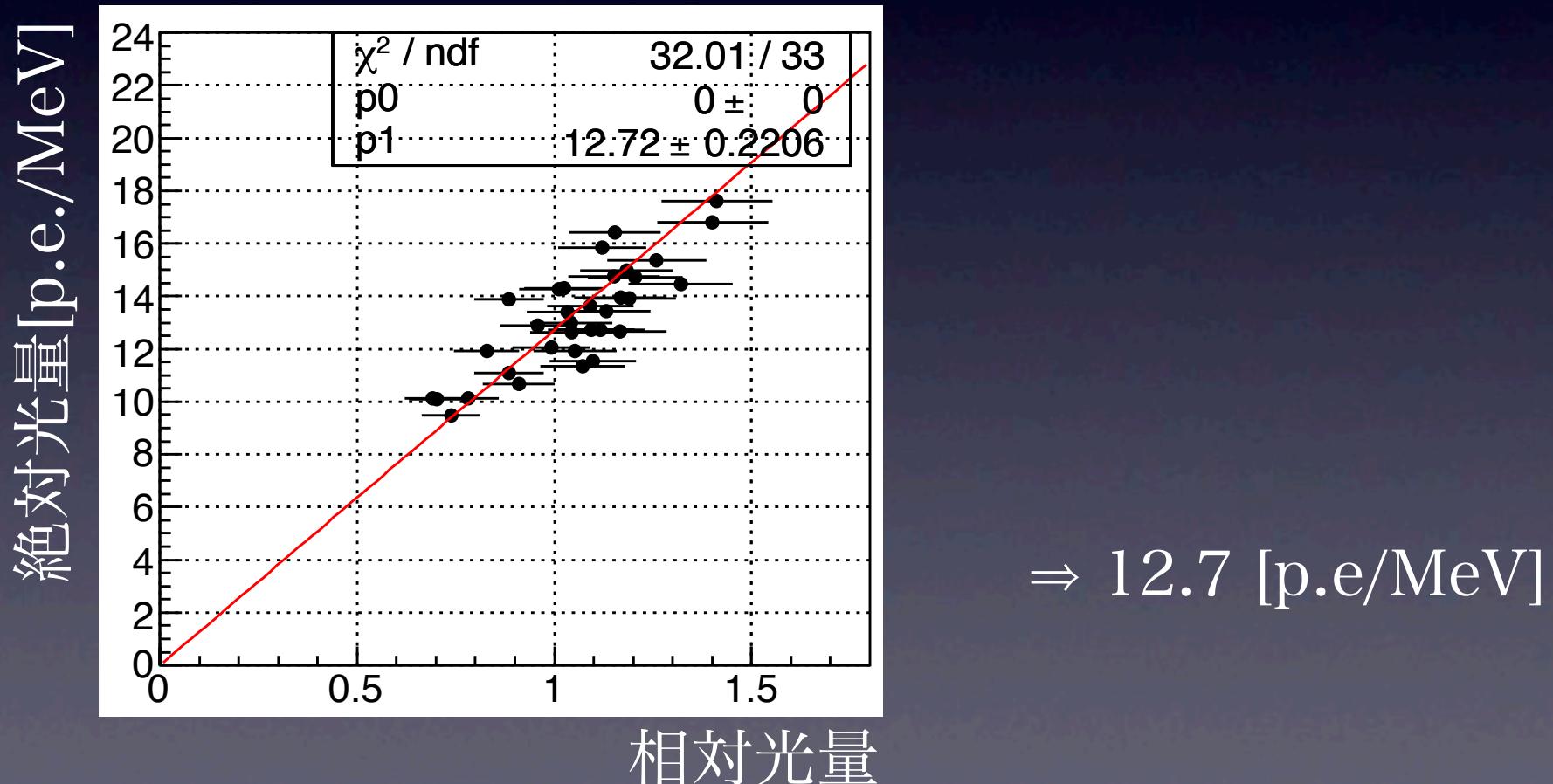
# 波形読み出し

# 波形読み出しの性能は何によって決まるか？

- Bessel filter を用いる
- 分解能を決める主な要因
  - 光量
  - ノイズレベル（高周波）
  - single photoelectron の 時間の確率密度分布
  - single photoelectron の Bessel filterを通した波形

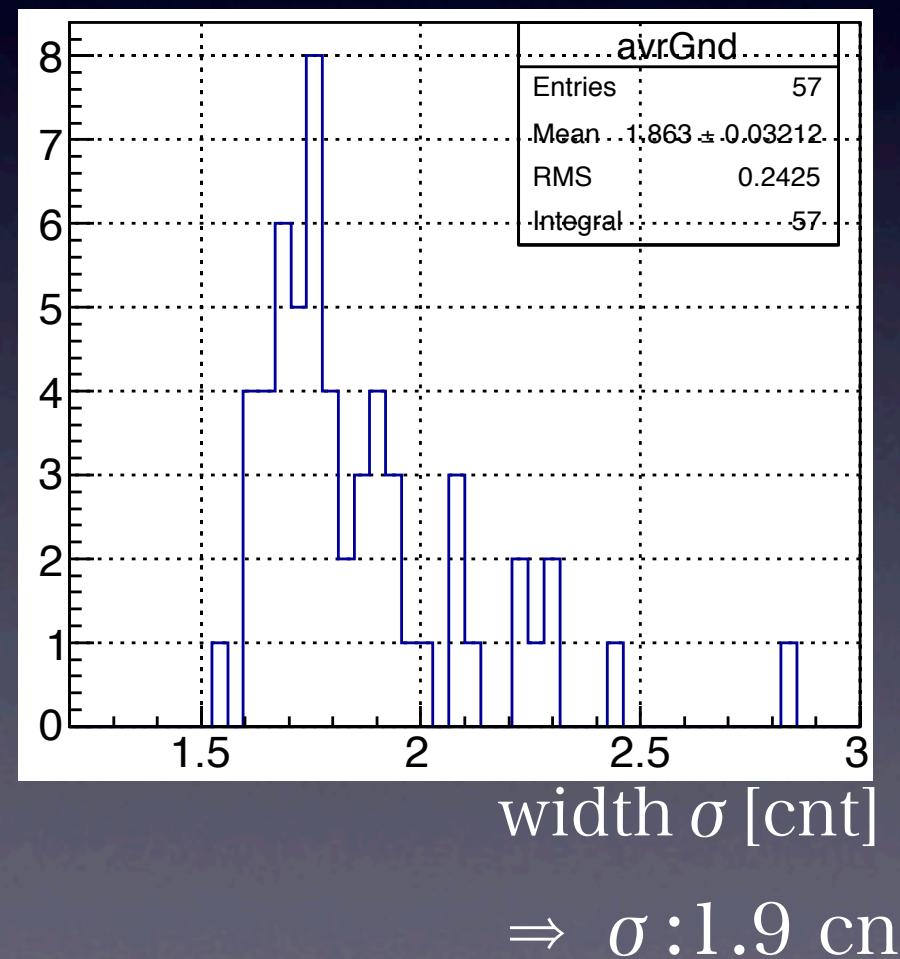
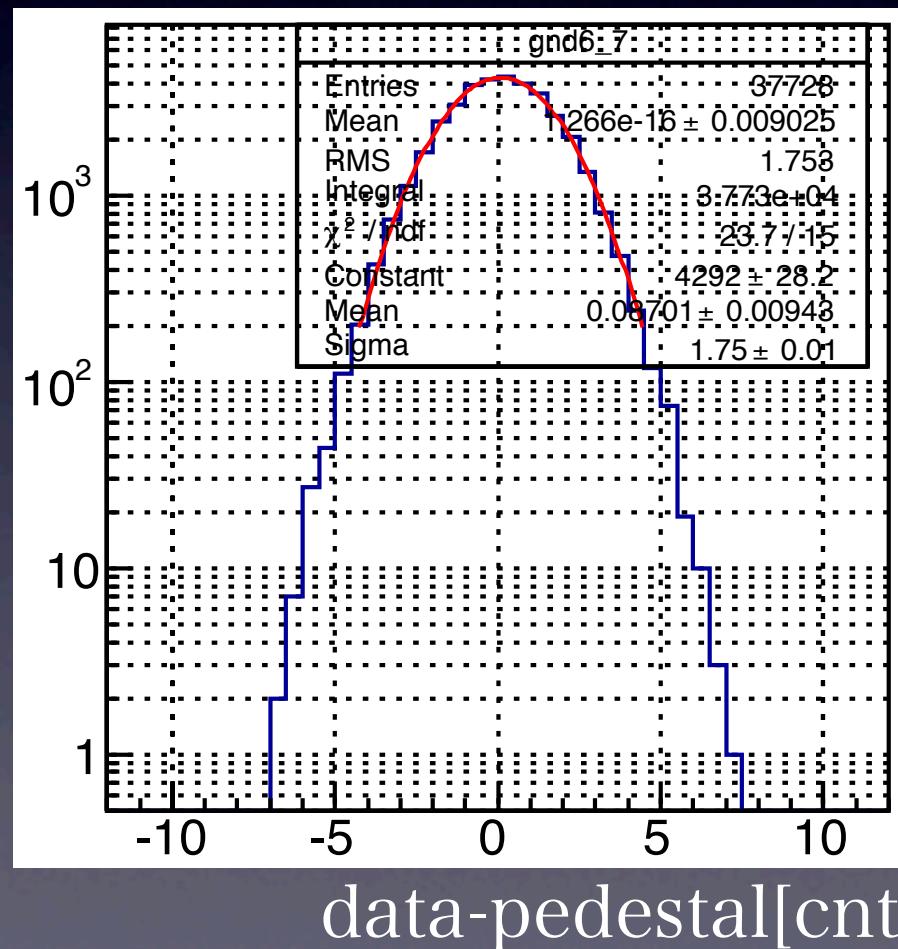
# 絶対光量測定

- KOTO実験で用いるCsI結晶：相対光量は測定済
- いくつかサンプリングして絶対光量を測定

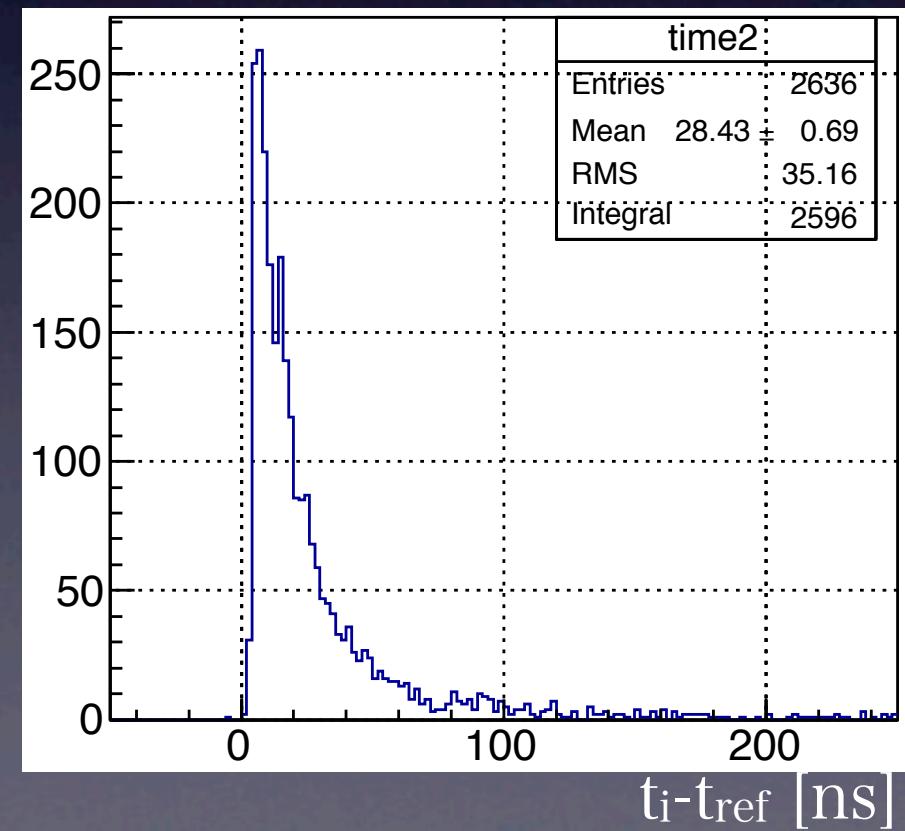
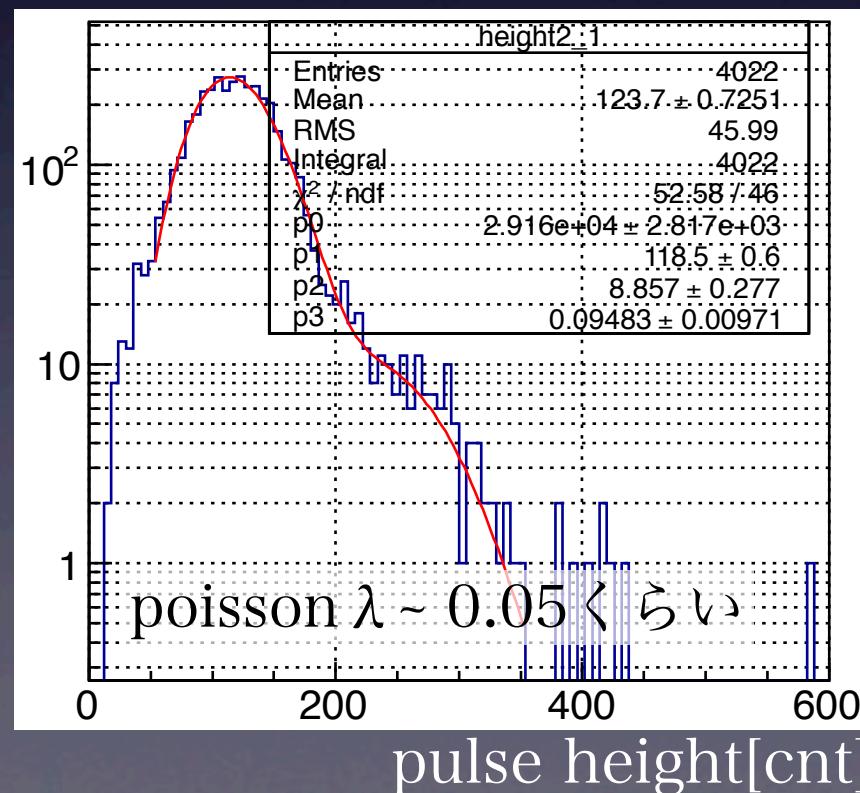
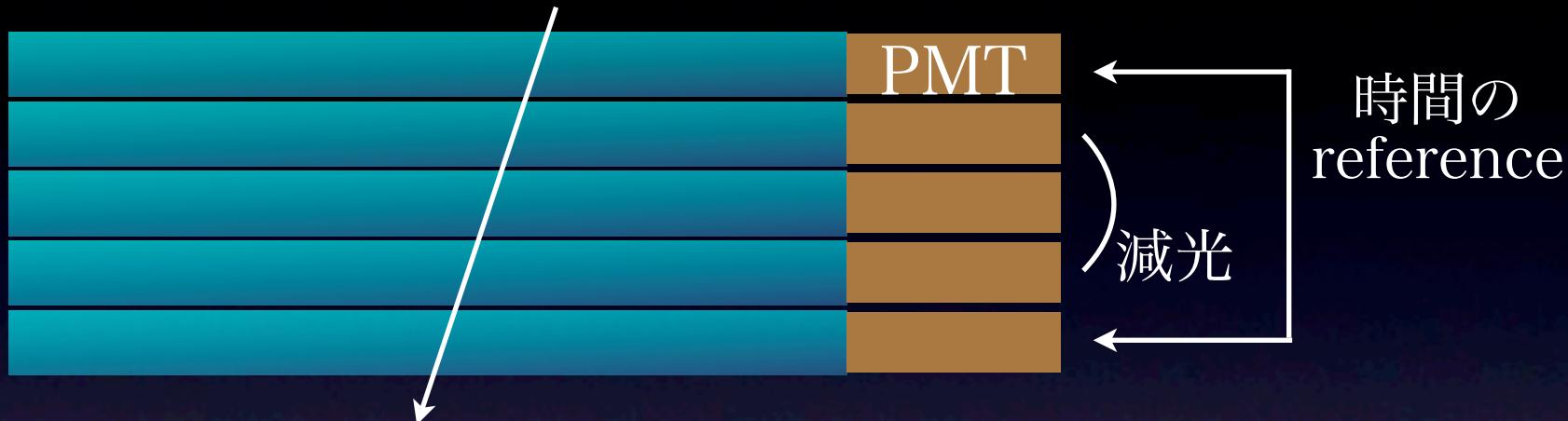


# ノイズレベル

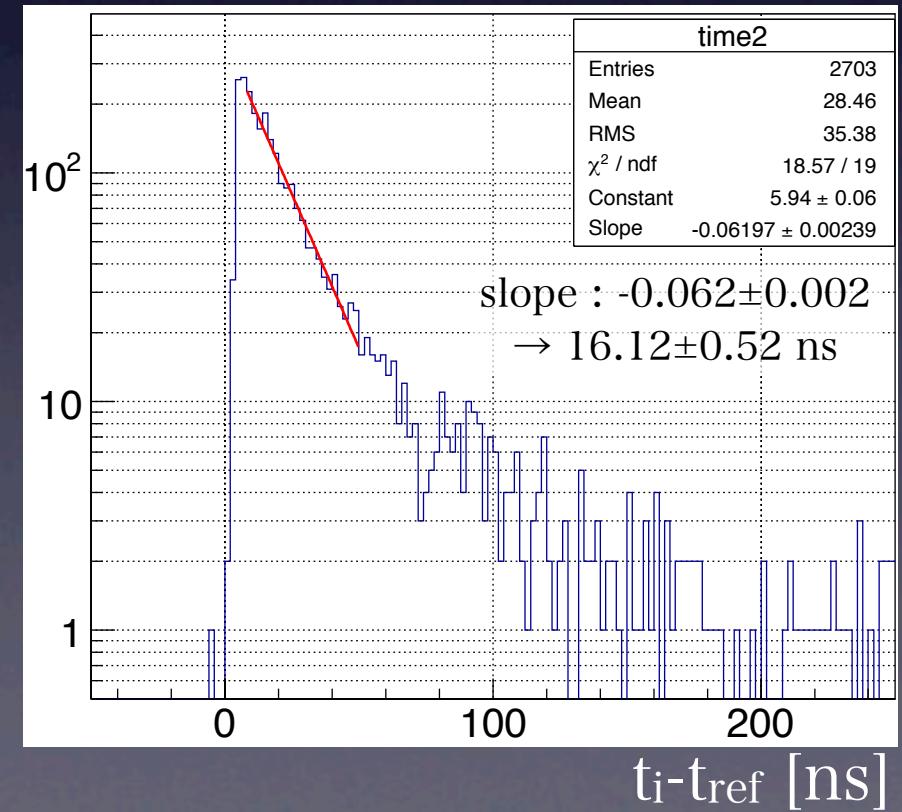
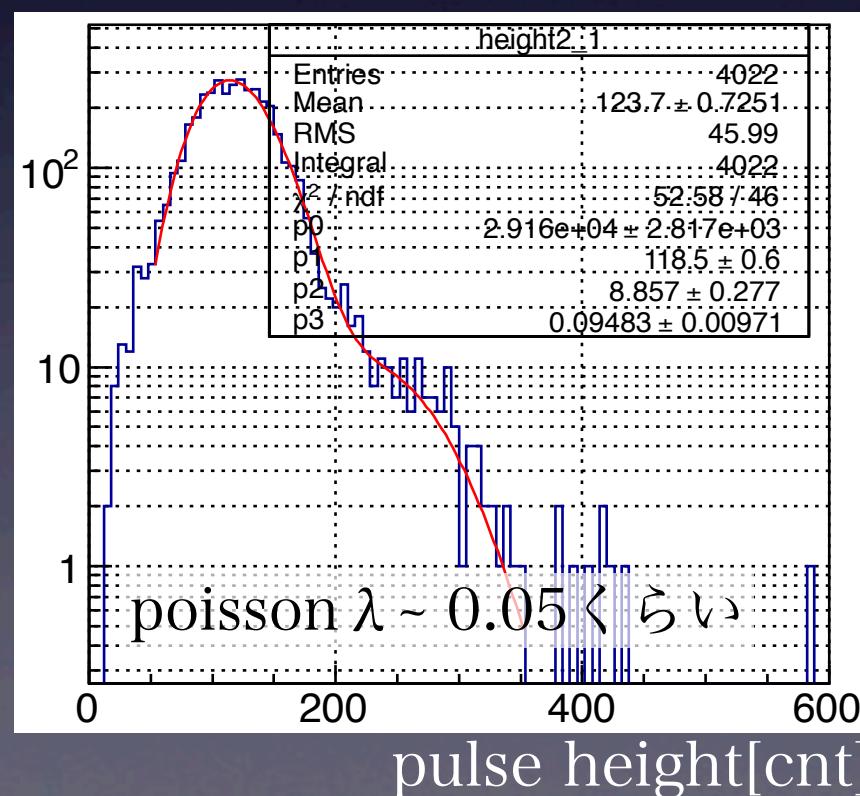
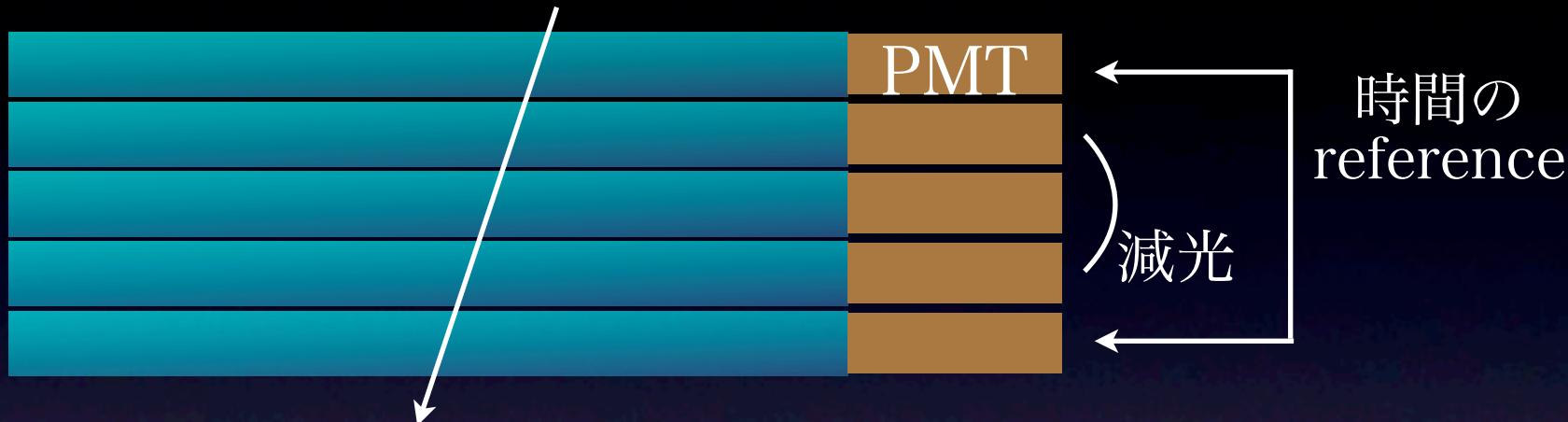
- FADCで記録したペデスタル周りの揺らぎで評価
- 低周波 ( $\Leftrightarrow 125\text{MHz}$ ) は問題にならない



# single photoelectron の 時間の確率密度分布

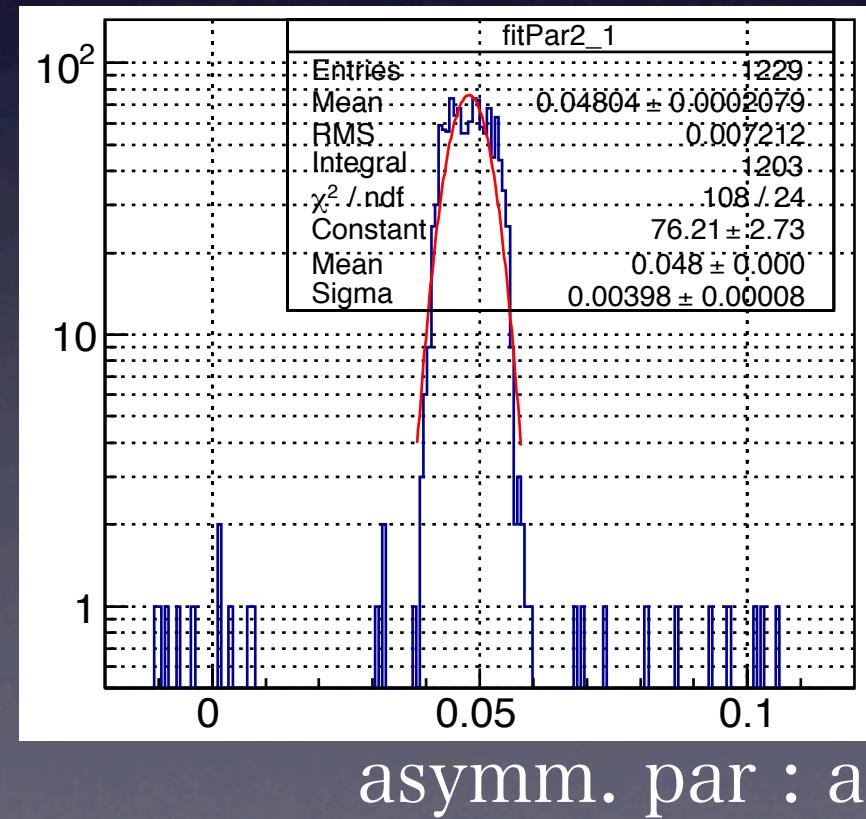
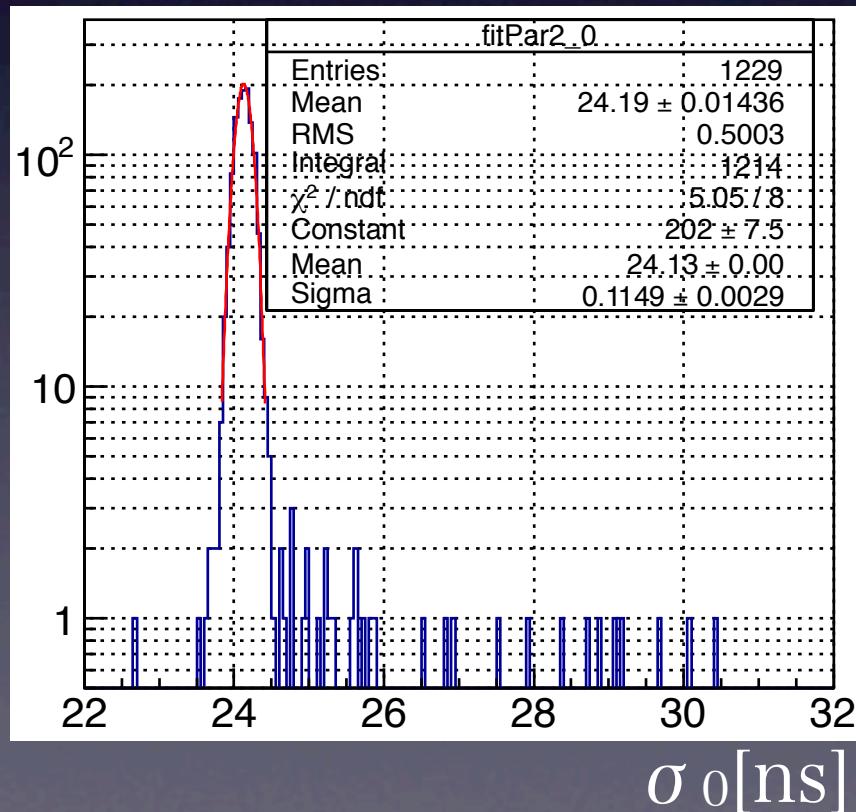


# single photoelectron の 時間の確率密度分布



# single photoelectron の filterを通した波形

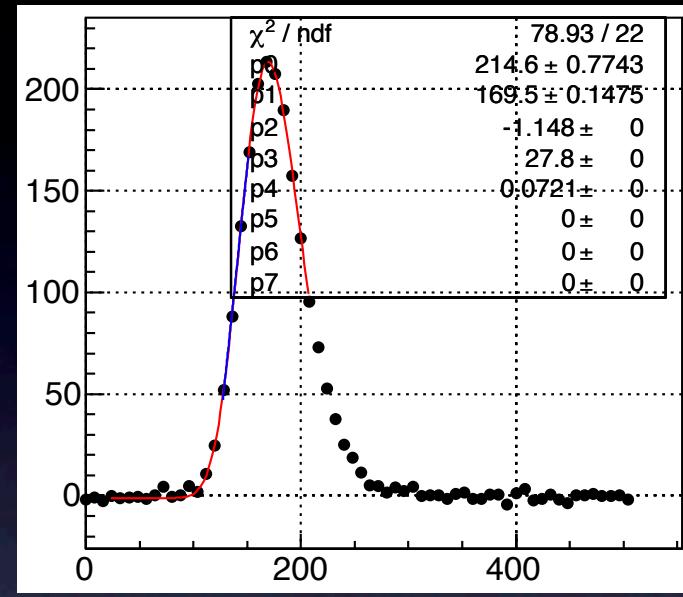
- 適当な関数でパラメータ化
  - 非対称ガウシアン
    - $\text{Gaussian}(\mu, \sigma(t))$
    - $\sigma(t) = a(t - \mu) + \sigma_0$



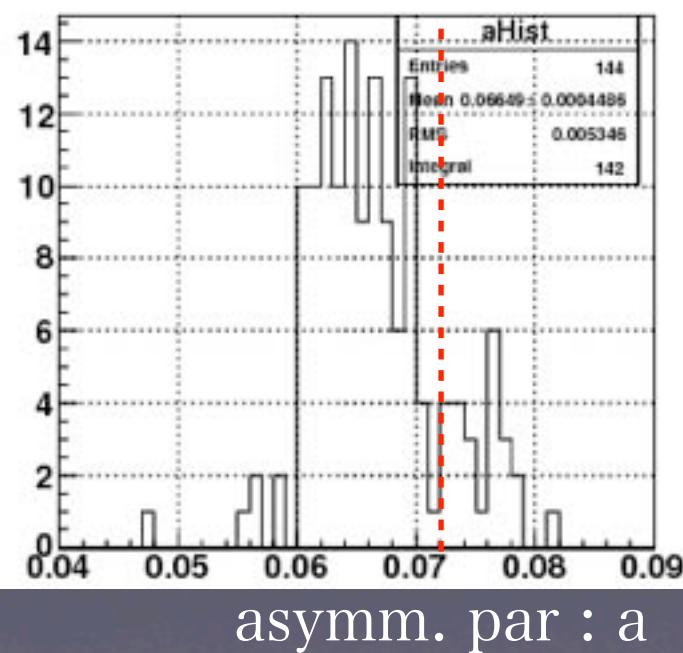
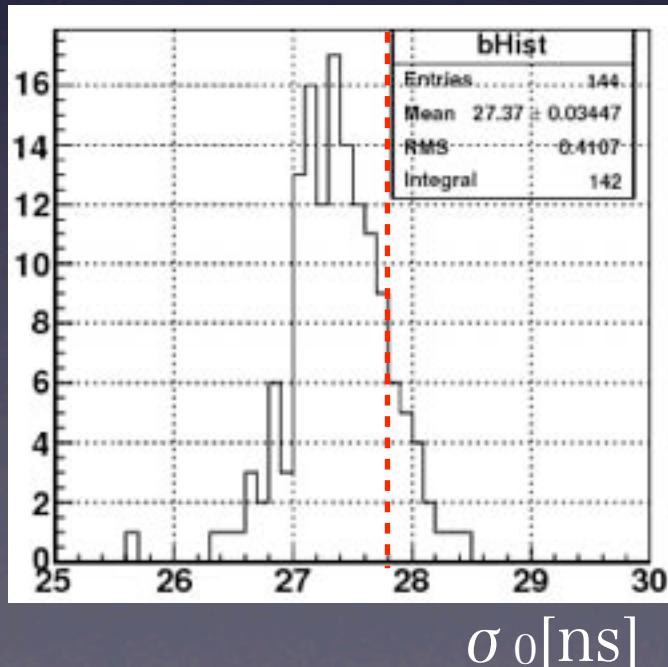
# 波形シミュレーション

- 波形を生成してみる
- ビームテストのデータと比較

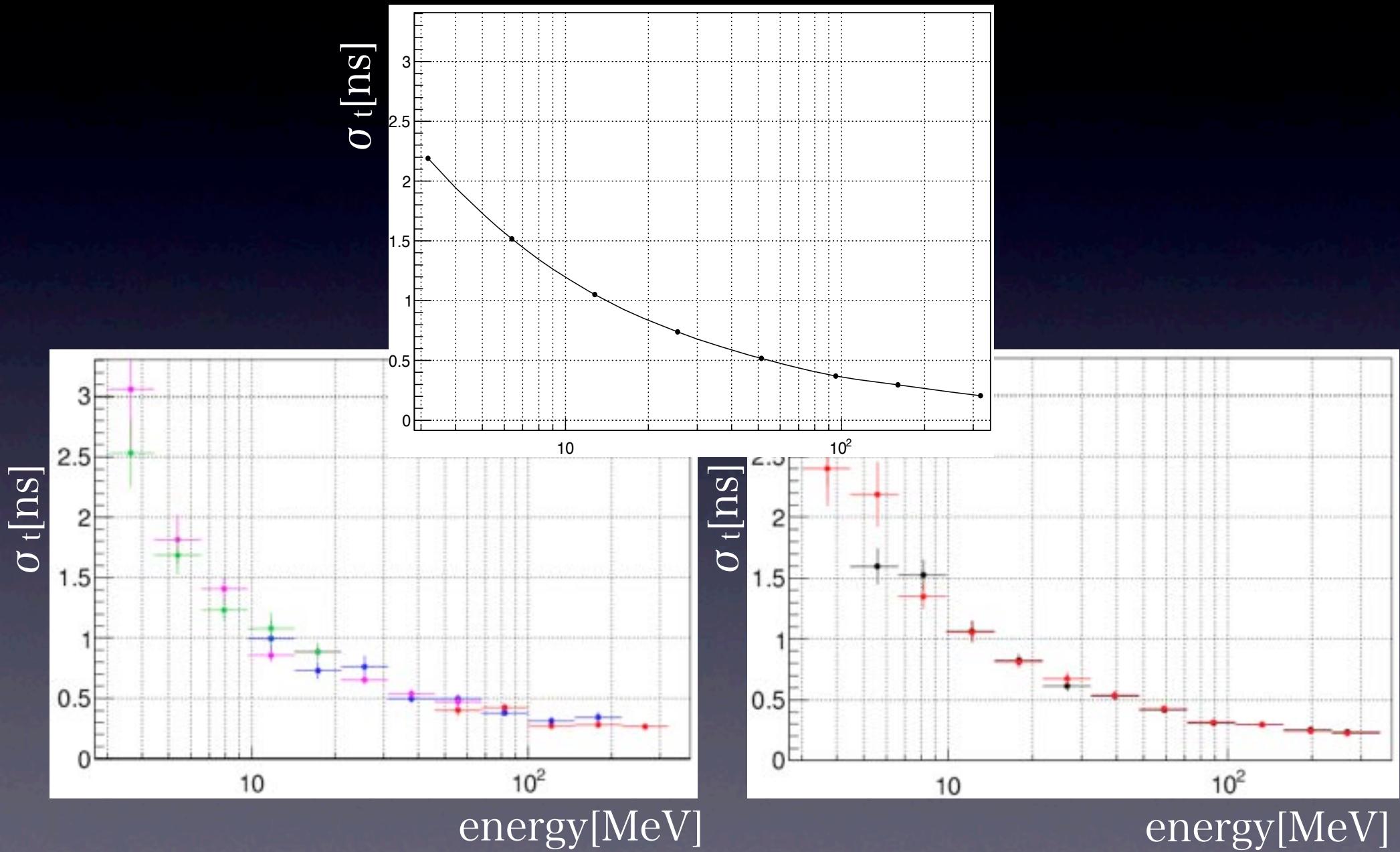
生成した波形 (~MIP)



ビームテストの波形パラメータ

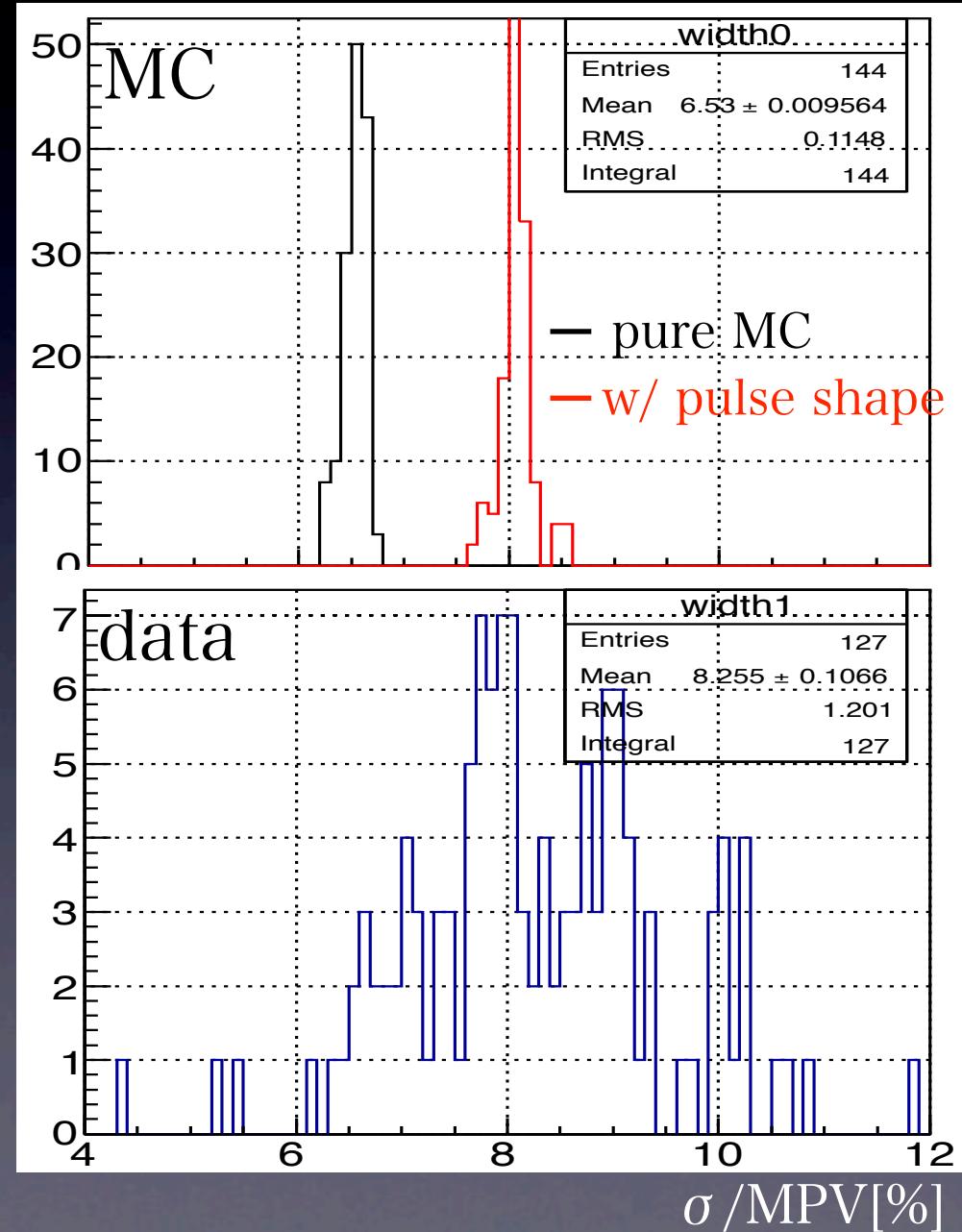
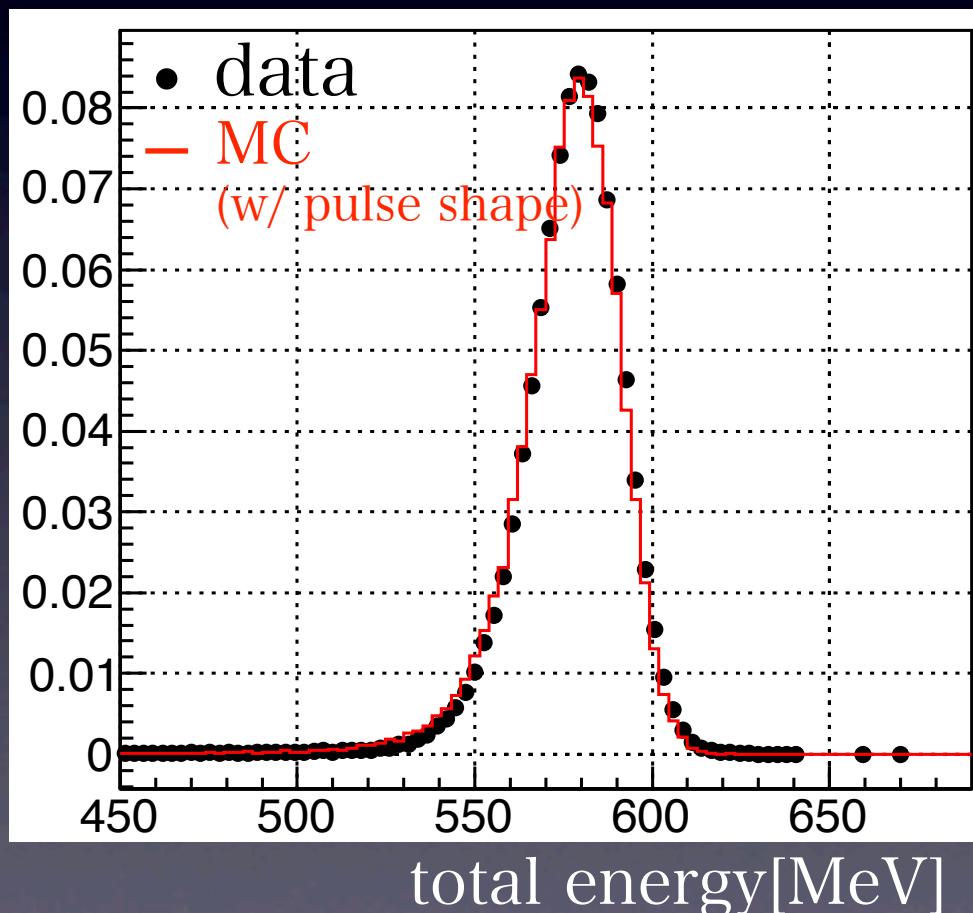


# 時間分解能



# エネルギー分解能

宇宙線のエネルギー分布を  
Landauでフィット

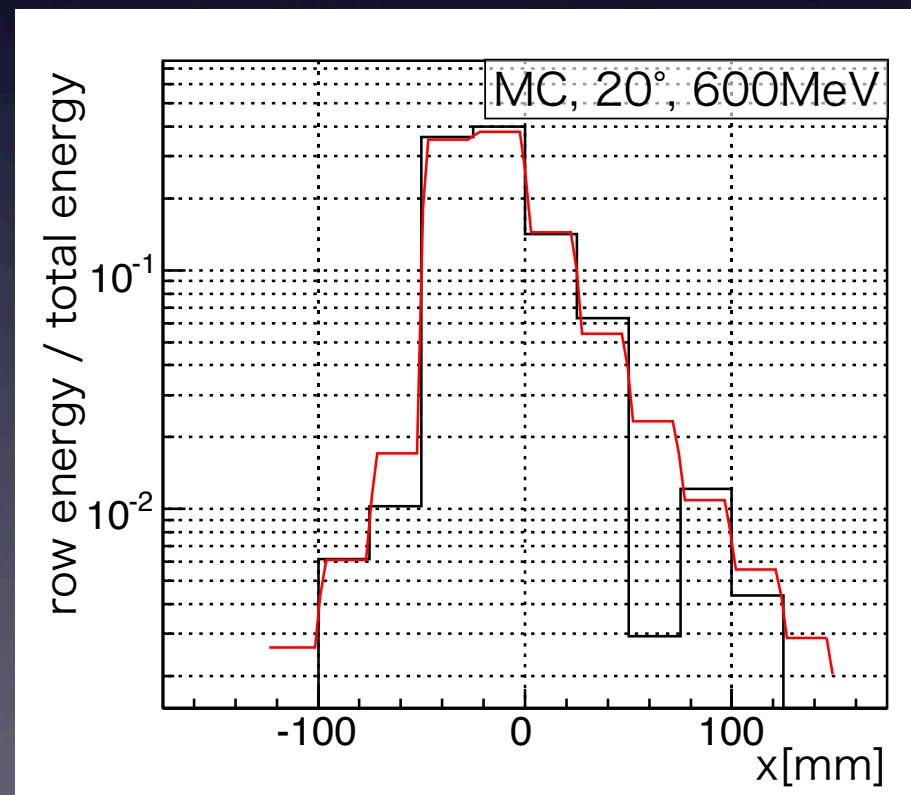
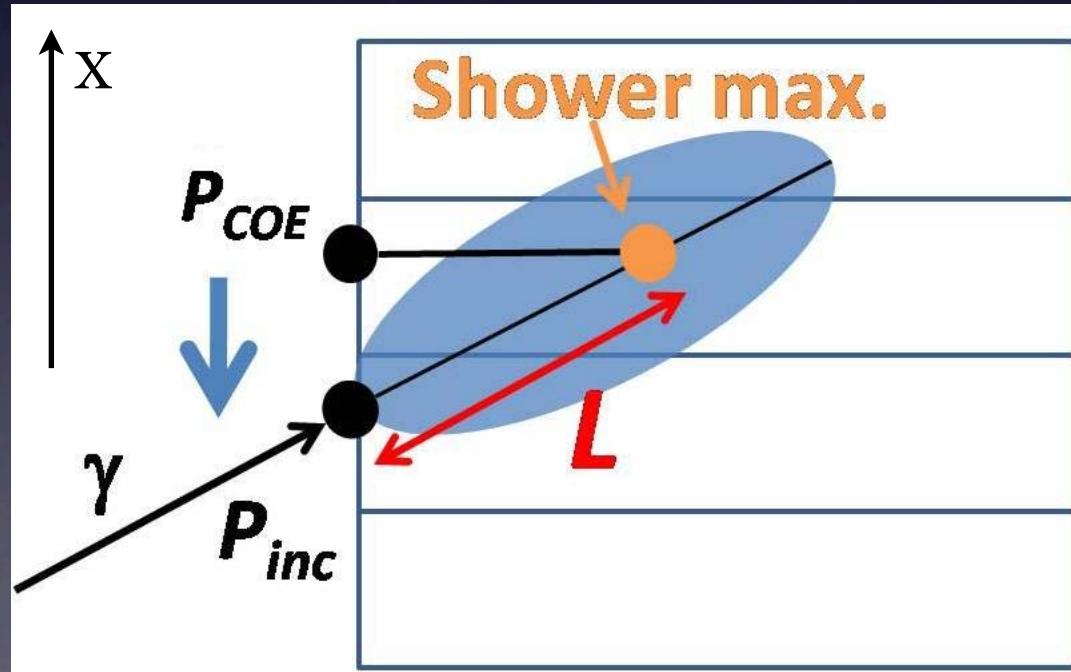


# 新たな解析手法

# Fittingによる入射位置の決定

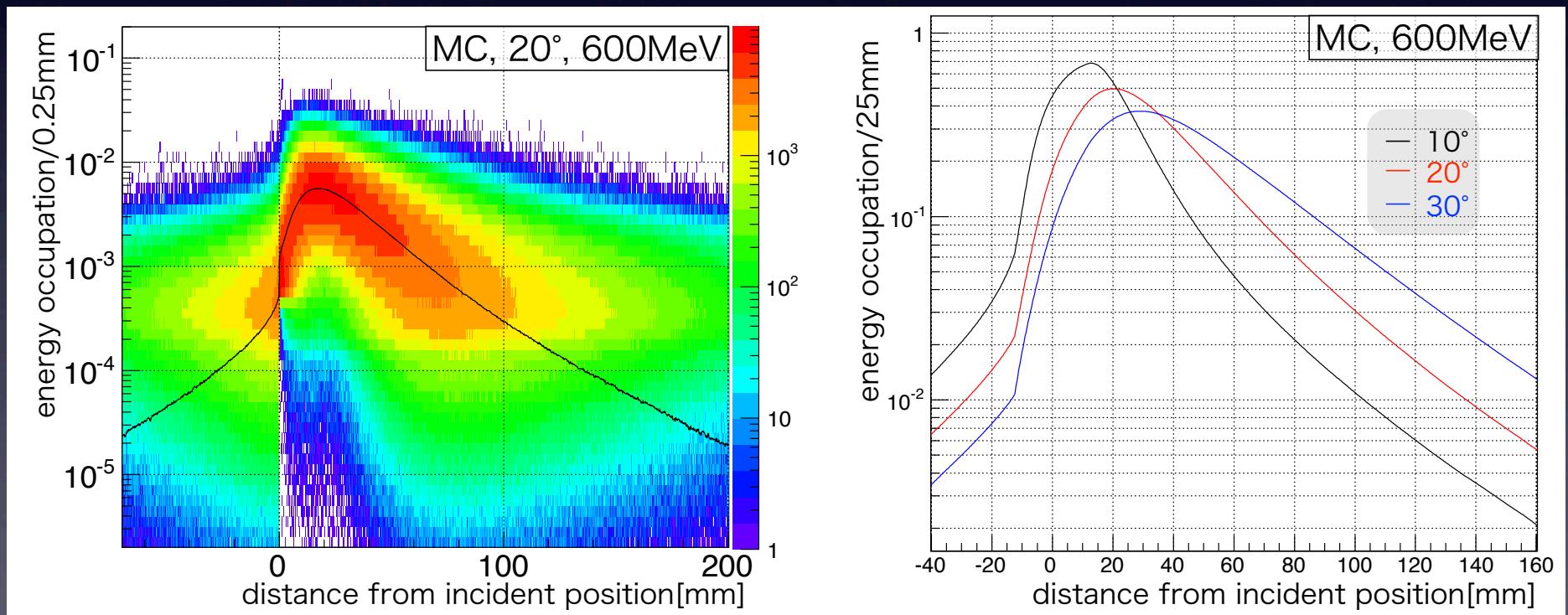
- 従来はエネルギー重心を用いて入射位置を決定していた
  - 角度に応じたシャワーの長さの補正を適用
  - Fittingで入射位置を決められないか？

“列エネルギー”をFitしている様子



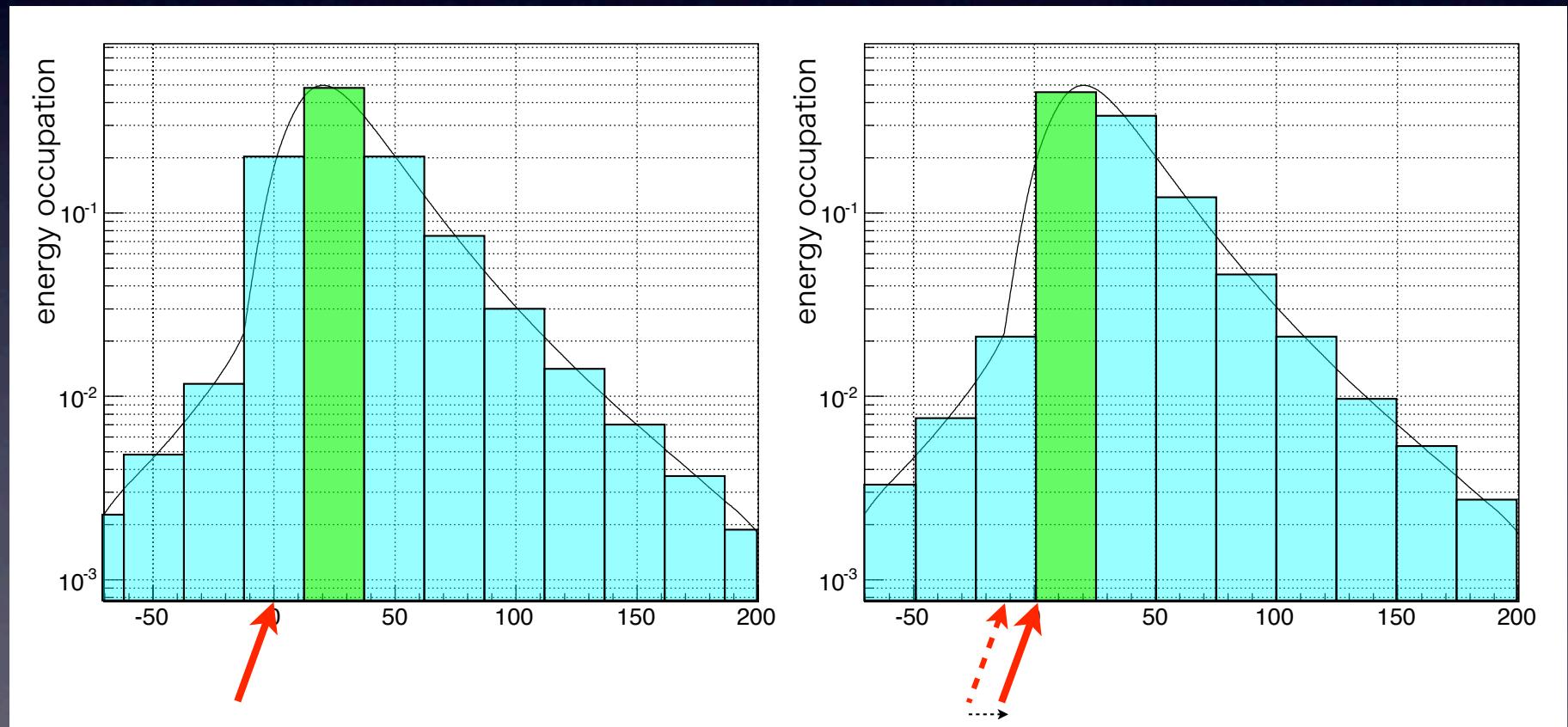
# Fittingによる入射位置の決定

- $E, \theta, \phi$  每にシャワーの典型的な広がりをしらべる

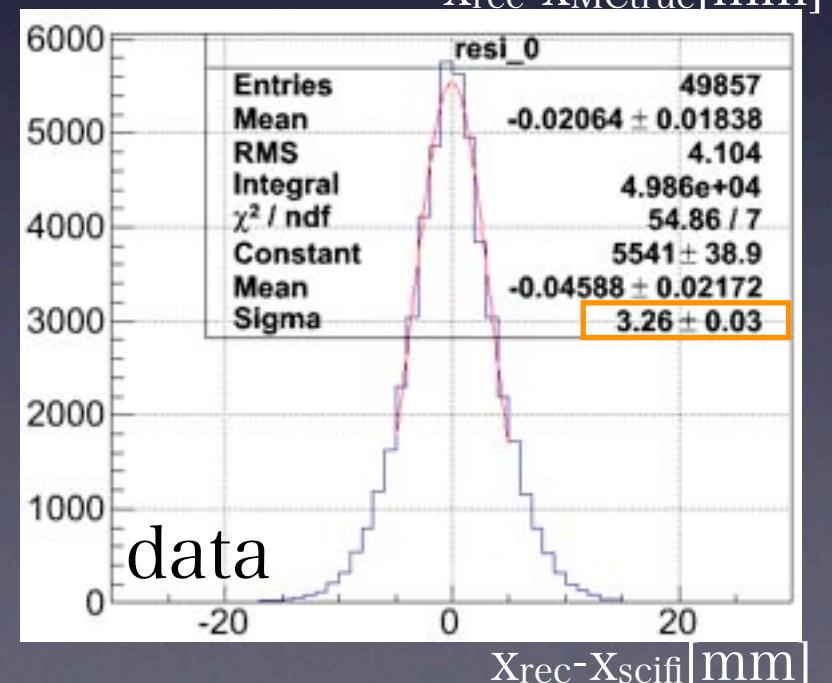
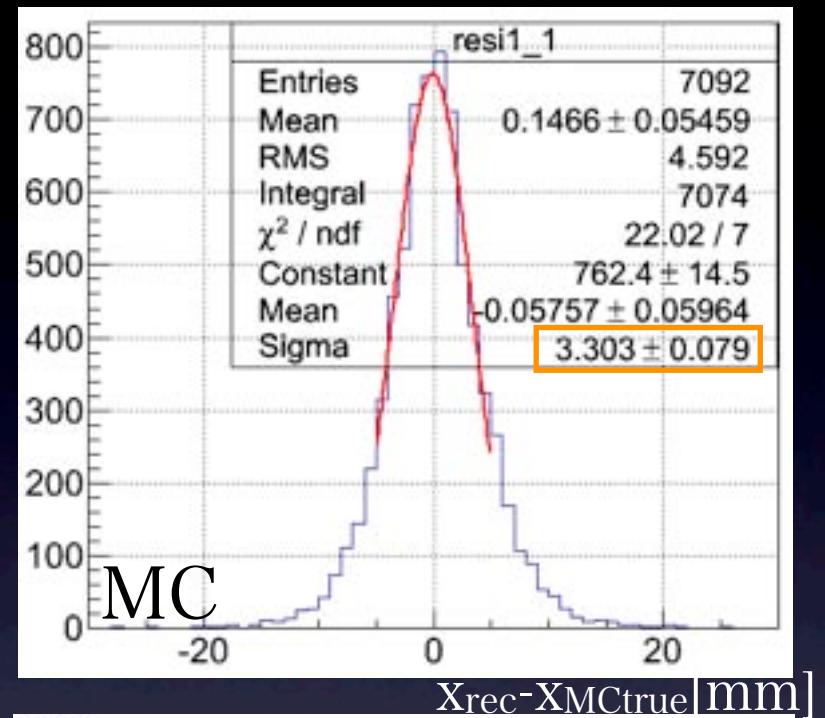
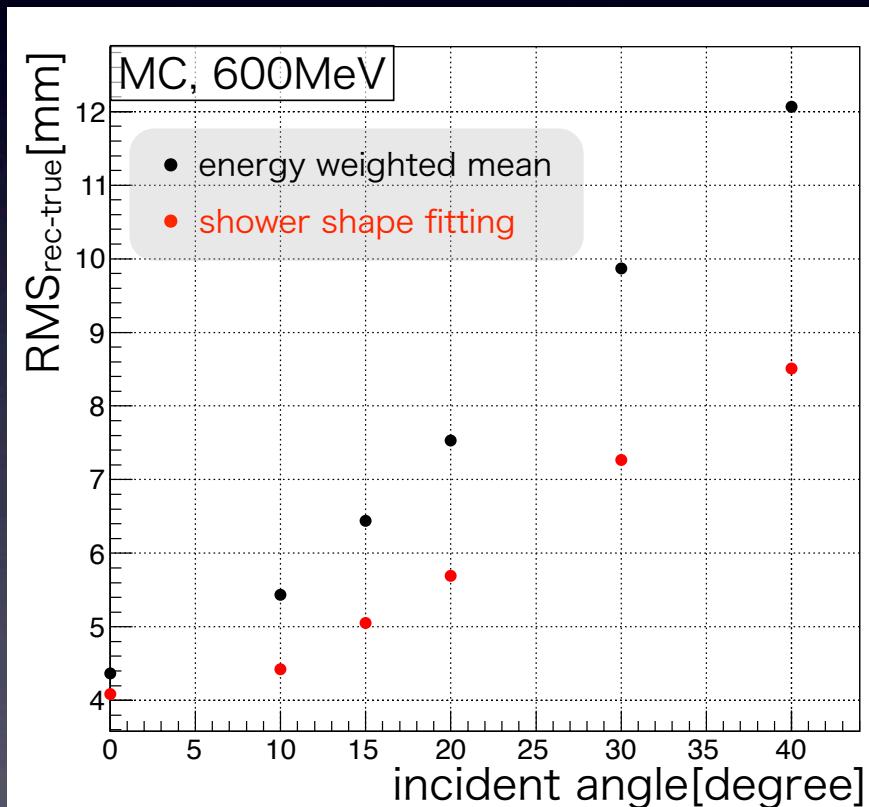


# Fittingによる入射位置の決定

- $E, \theta, \phi$  每にシャワーの典型的な広がりをしらべる
- 入射位置に応じたテンプレートを動的に生成

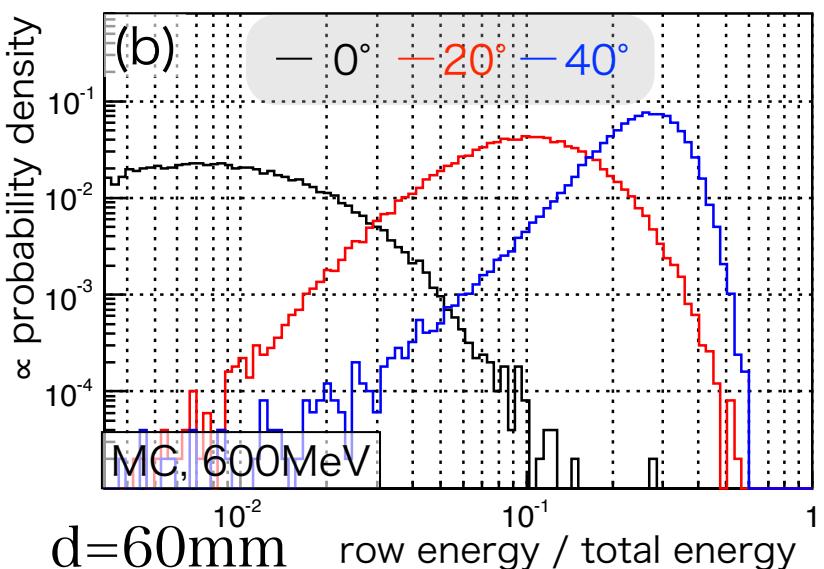
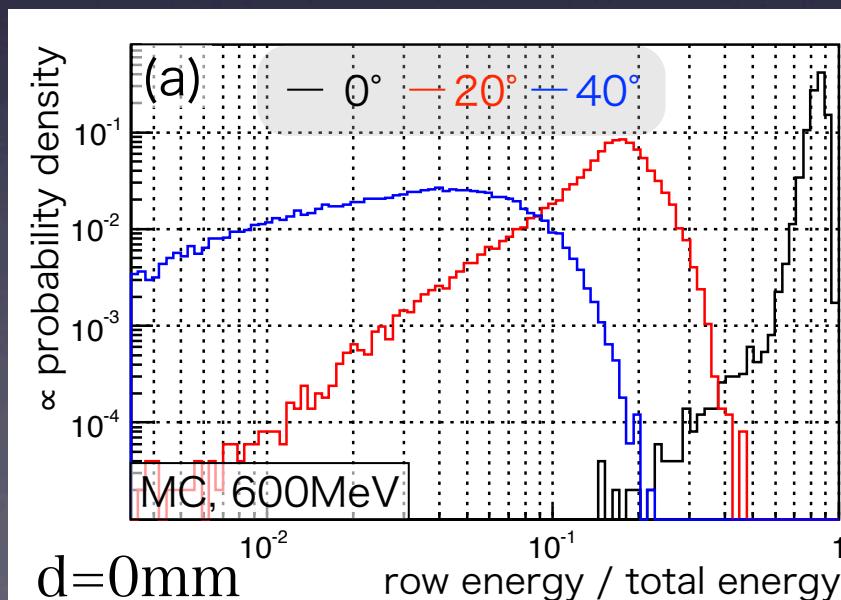
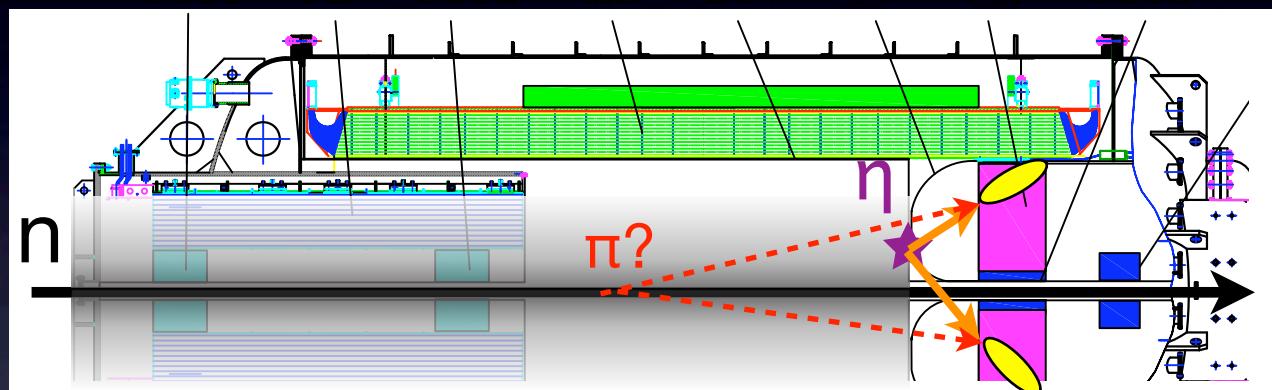


# Fittingによる入射位置の決定



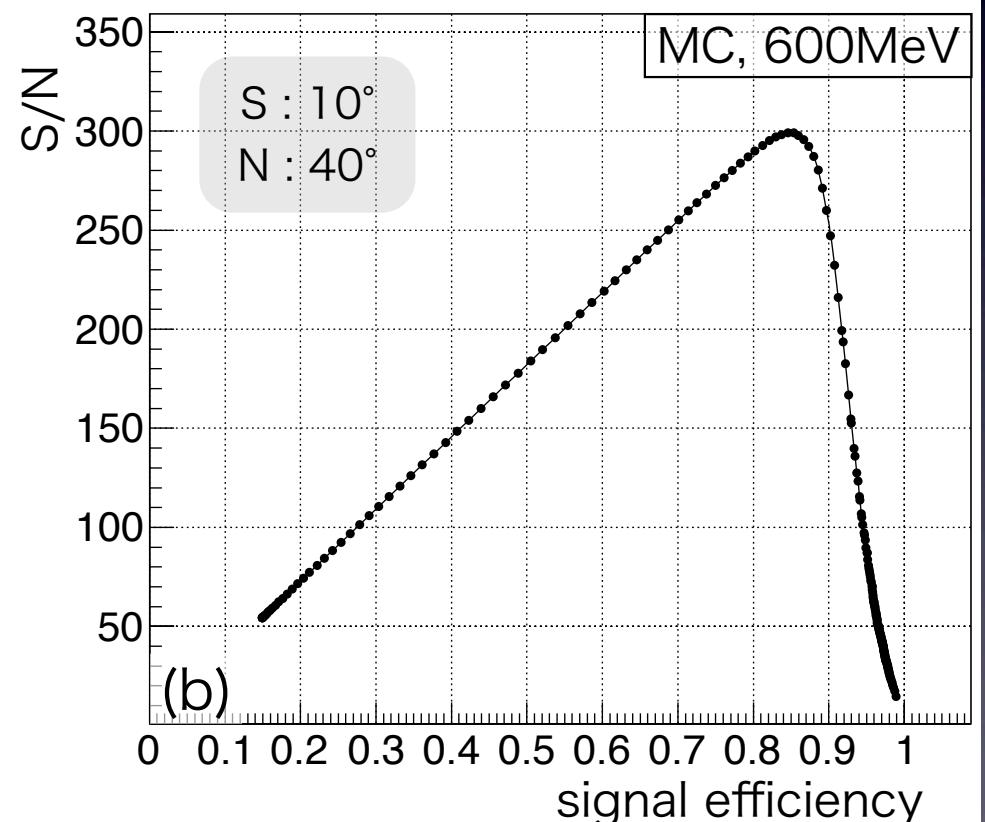
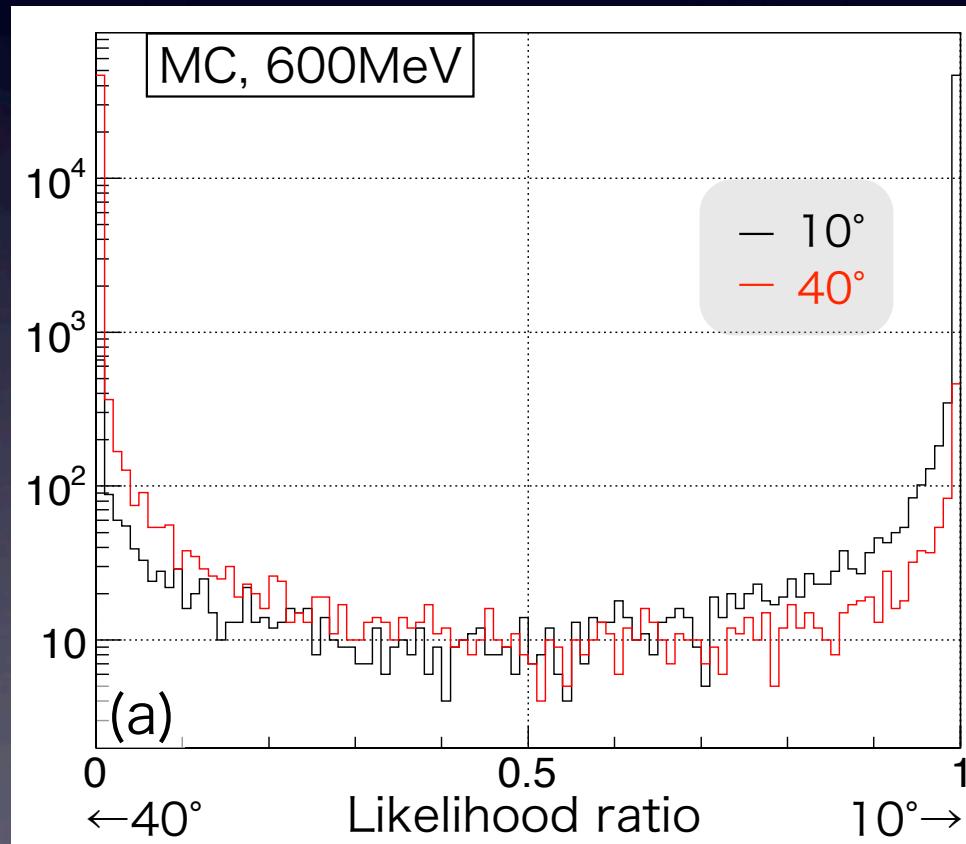
# shower shapeによる入射角度の識別

- shower shape templateの応用
- 入射角度  $\theta$ ,  $\phi$  を間違えるタイプのバックグラウンド



# shower shapeによる入射角度の識別

- signal/BGを仮定した時の列エネルギーのLikelihoodの比を取る



# まとめ

- KOTO実験のCsIカロリメータについて研究を行った
  - アップグレード → ビームテストによる統合試験
  - non-linearityを発見するも対処し、目標精度を達成
- 波形読み出し → 波形・分解能の理解
  - 分解能の要因を明らかにし、その測定方法を確立
- 25mm角の小さな結晶 → 新たな解析手法の開発
  - shower shape fittingによる入射位置導出
  - shower shape likelihood ratioによる入射角度識別