

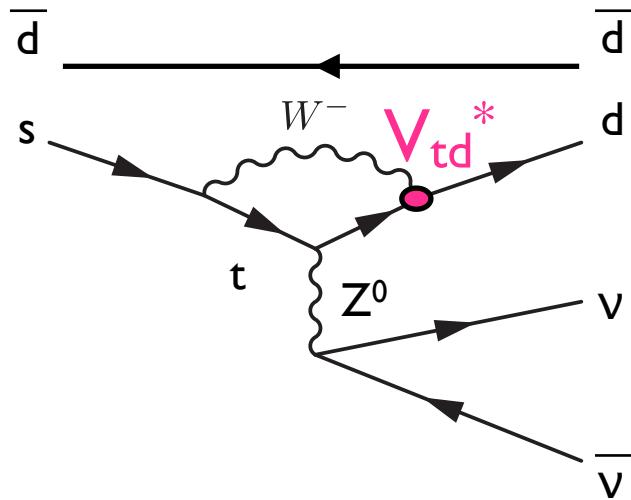
スペクトロメータを用いた KOTO実験CsIカロリメータの性能試験

山中研 佐藤和史

19. Dec. 2011

$K_L \rightarrow \pi^0 \bar{v}v$

KOTO実験：J-PARCで予定される $\text{Br}(K_L \rightarrow \pi^0 \bar{v}v)$ を測定する実験



SMではCP対称性の破れはCKM行列
の複素成分($\text{Im}(V_{td})$)によって引き起こされる

$$\text{Br}(K_L \rightarrow \pi^0 \bar{v}v) \propto |\text{Im}(V_{td})|^2$$

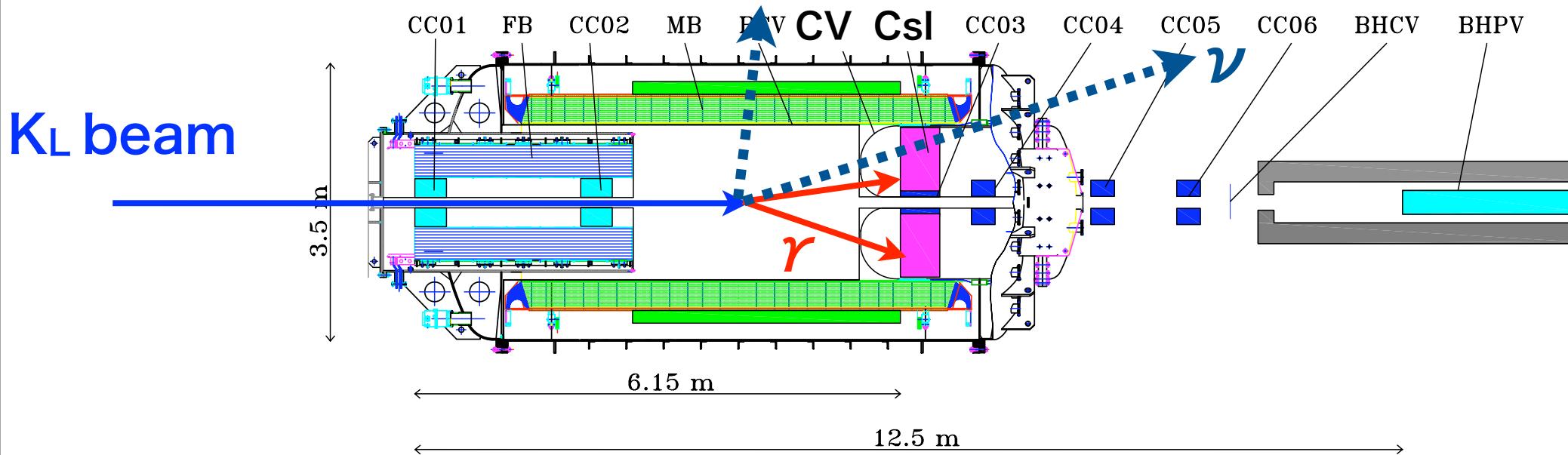
☆ theoretical uncertainty $\sim 2\%$

⇒ Clean process !

☆ SMの予測値 $\text{Br}(K_L \rightarrow \pi^0 \bar{v}v) = 3 \times 10^{-11}$

⇒ new physicsに感度がある

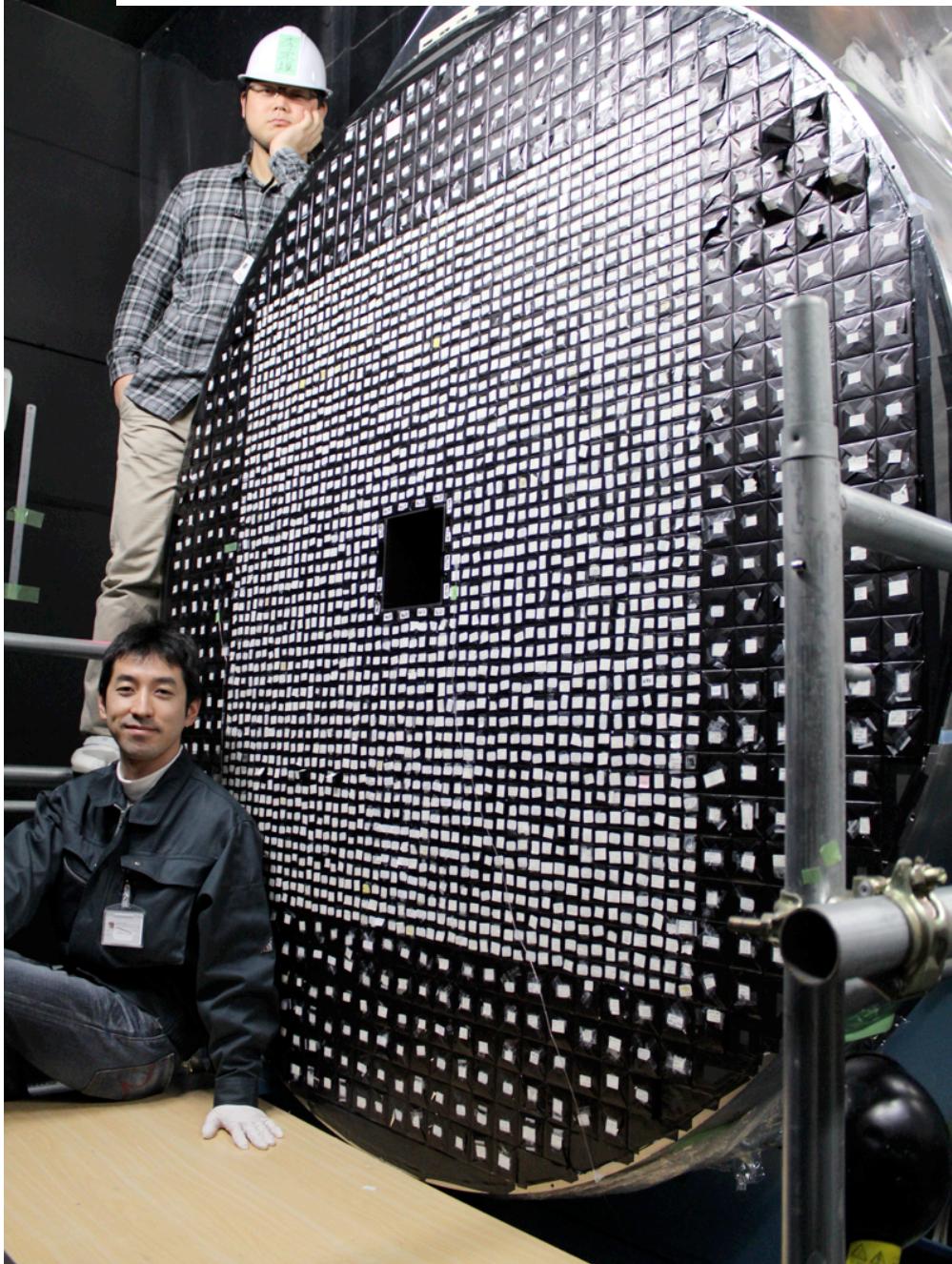
実験原理



- ★ π^0 からの 2γ をCsI結晶電磁力口リメータで測定
- ★ π^0 を再構成し、横方向運動量を持つことを確認
⇒ 2γ 以外の粒子がある
- ★ 全立体角を覆うveto検出器で他に検出可能な粒子は無いと確認

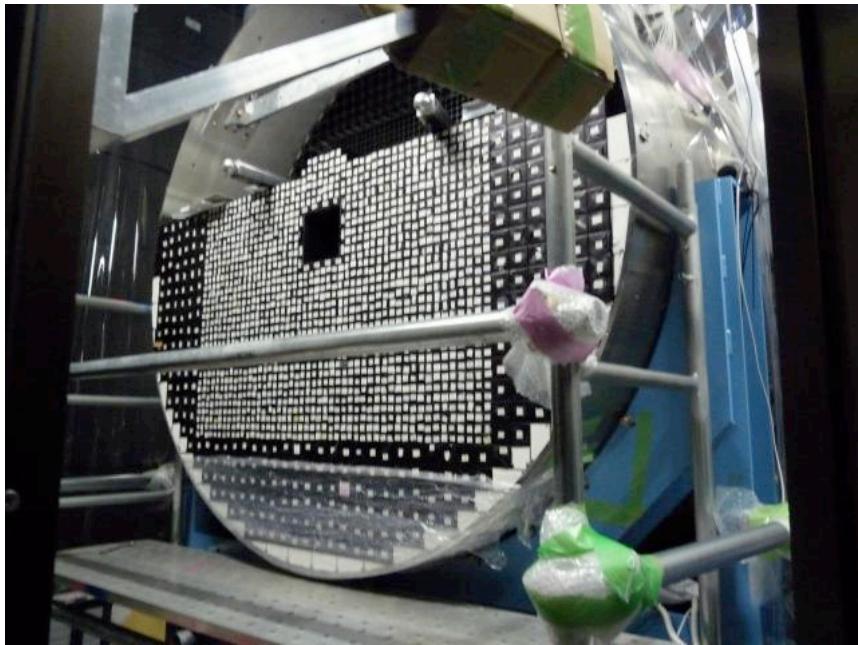
終状態が $2\gamma + \text{invisible}$ は $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ のみ

CsI 力口リメータ

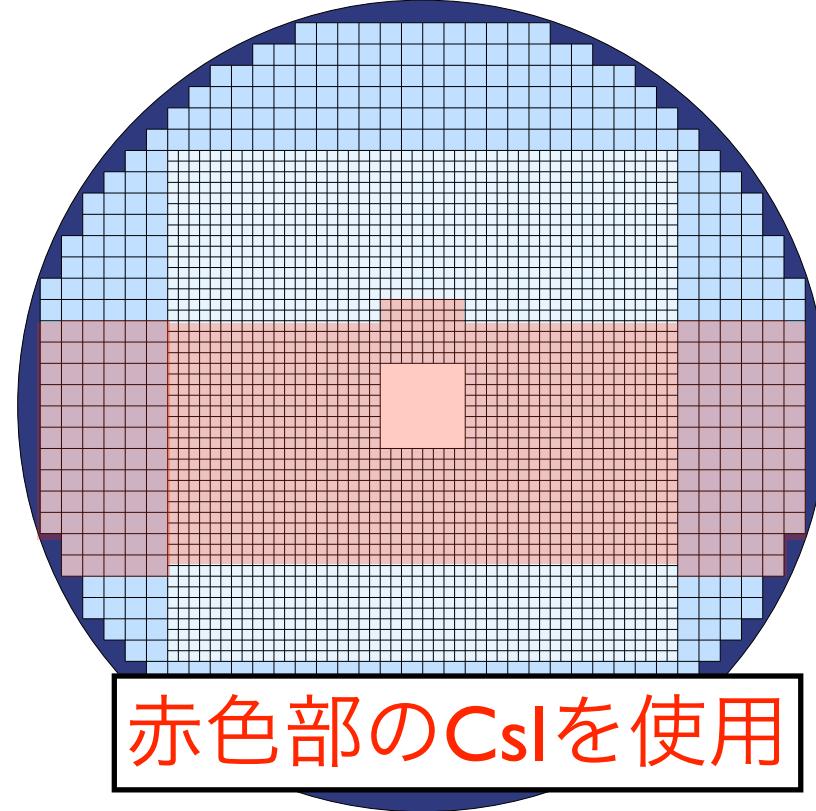


- 2.5x2.5x50cm-CsI : 2240本
5x5x50cm-CsI : 476本
- 2011年2月全結晶の積載
が完了
- 震災も影響無し
- FADCで各結晶の波形を
記録
- γ の入射位置、エネルギー
を測定可能

engineering run in Fall 2010



2010年10月の状況



赤色部のCsIを使用

- 電磁シャワーを測定し、各結晶のcalibration constant (ADC count → energy)を決定する
- 建設途中の2010年10~11月にKLビームを用いてテスト
- 中心付近のCsI~1200本を使用

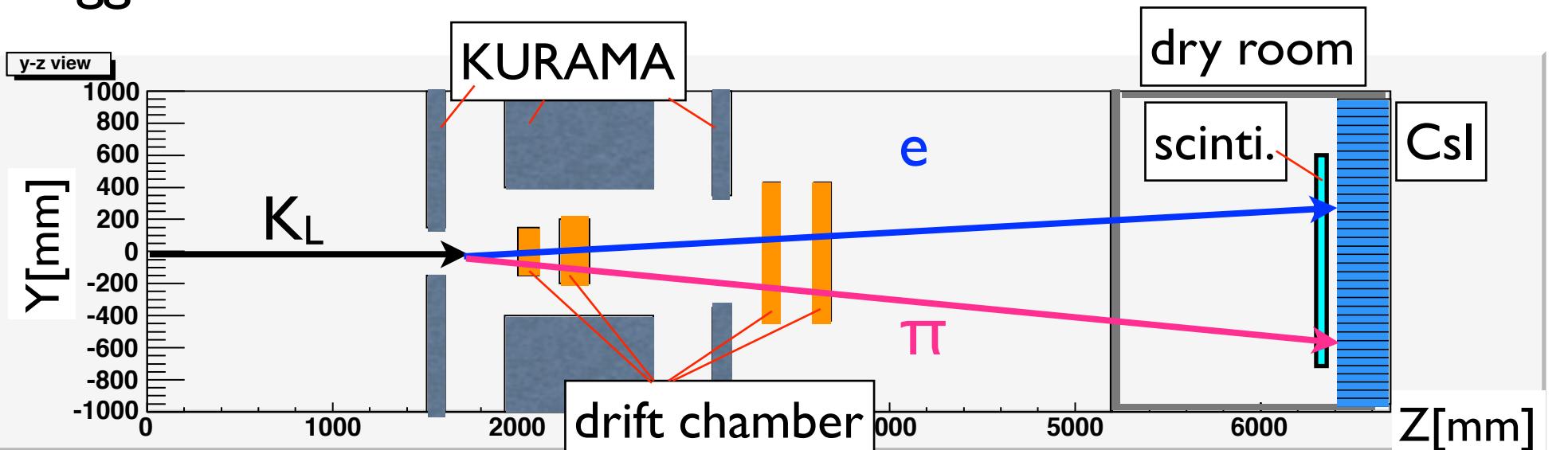
Ke3を用いたCsI calibration

- Ke3崩壊($K_L \rightarrow \pi e \nu$: Br~40.6%)で生成される電子の...
 - エネルギー(E)をCsI calorimeterで測定
 - 運動量(p)をspectrometerで測定

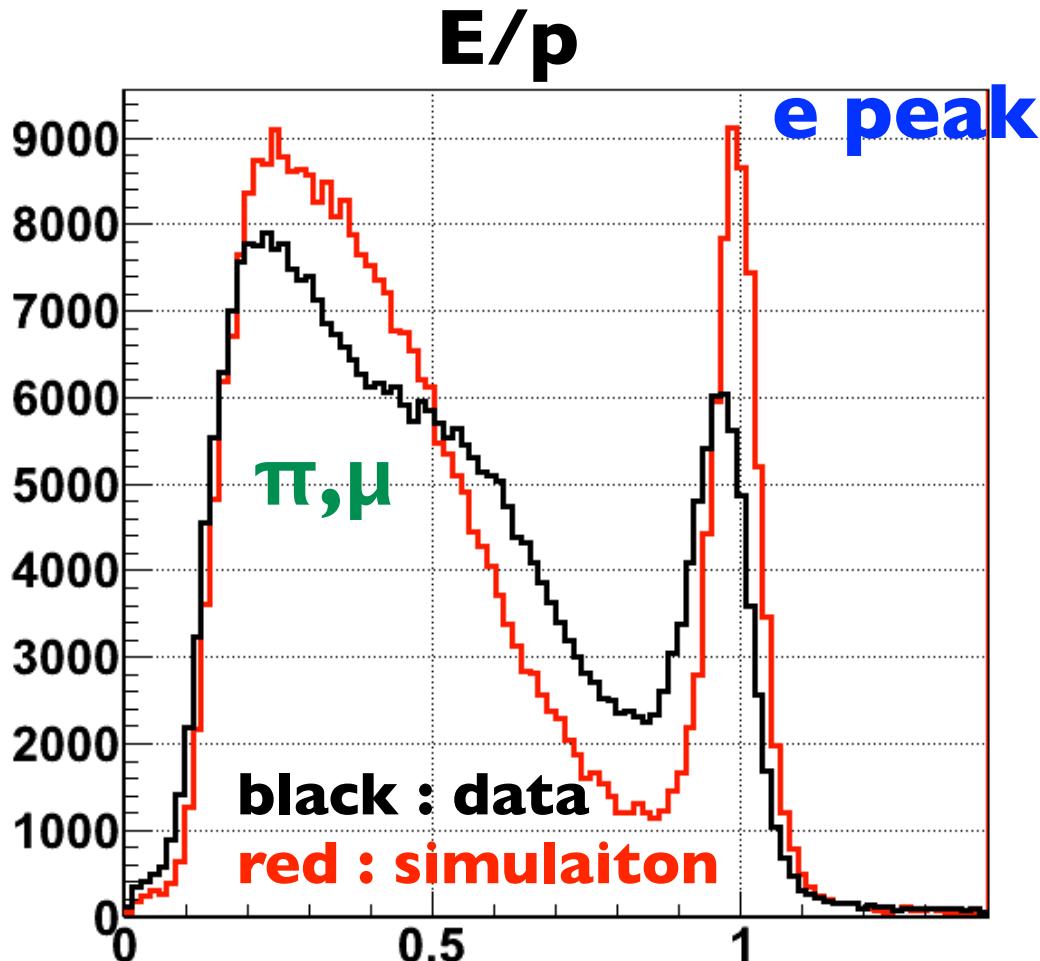
⇒ $E/p = 1$ となるようCsIのcalibration constantを最適化

spectrometer setup

- ★ track electrons by 4 drift-chambers (3~4m upstream of CsI)
- ★ 0.7 T magnet (KURAMA) around chambers.
- ★ trigger scintillators in front of CsI



E/p分布



★electronは電磁シャワーを作り全エネルギーをCsIに落とすのでE/p~1

* CsIのcalibration constantは宇宙線MIP peakから算出

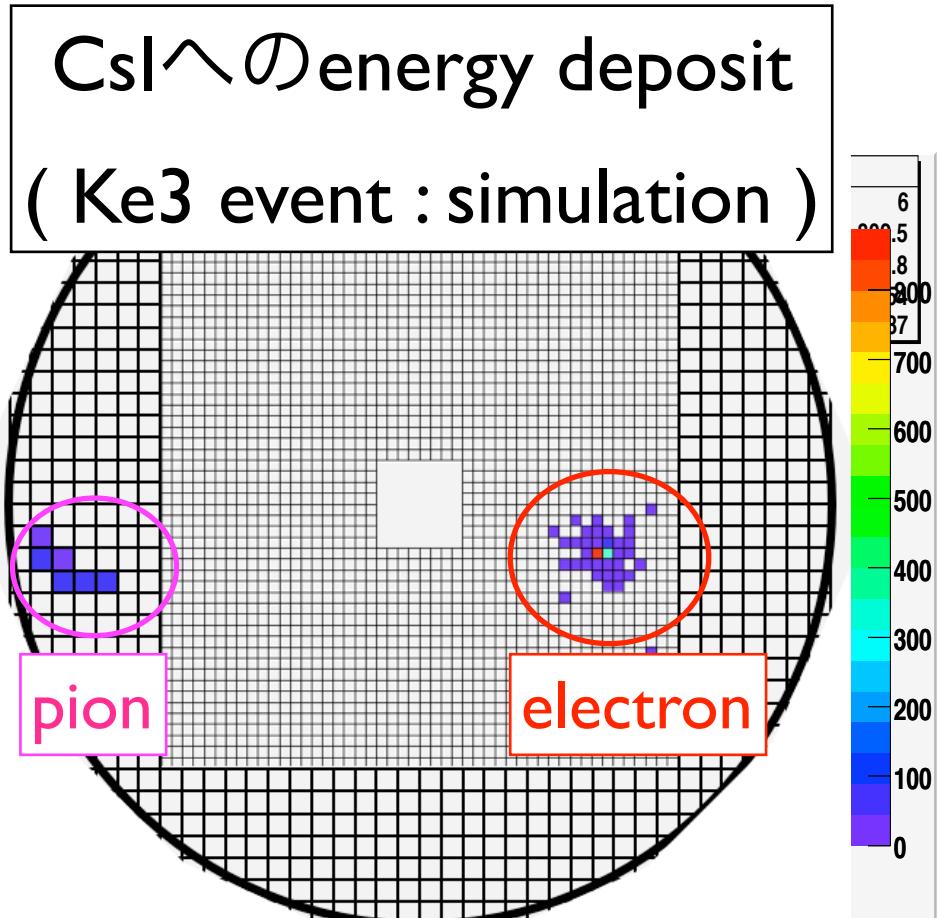
★ π 、 μ のtail

⇒eとの識別が必要

★tailは K_L decay mode起因

$\pi e\nu$ (Ke3)	40.55%
$\pi \mu\nu$ ($K\mu 3$)	27.04%
$\pi^+ \pi^- \pi^0$	12.54%

クラスター形状によるelectron ID



近くにある結晶をひとつに
まとめて(クラスター),
energyと入射位置を読み出す

★クラスターの形状がeと π, μ で
異なる

- **electron**

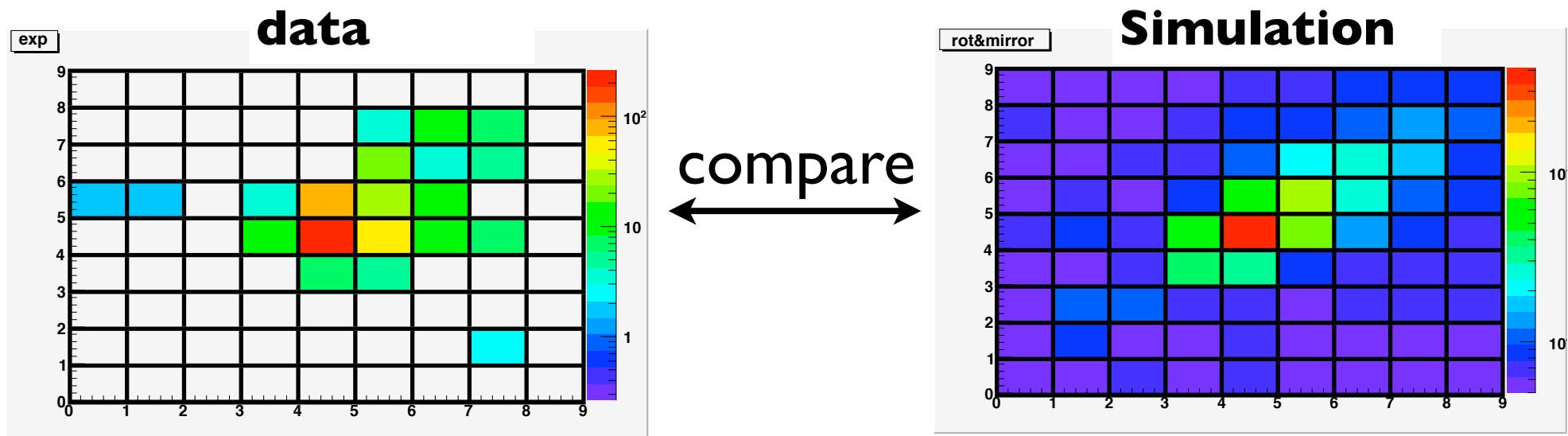
- ⇒ 電磁シャワー

- π, μ

- ⇒ MIPとして突き抜ける
 - ハドロンシャワー

cut①:shape χ^2

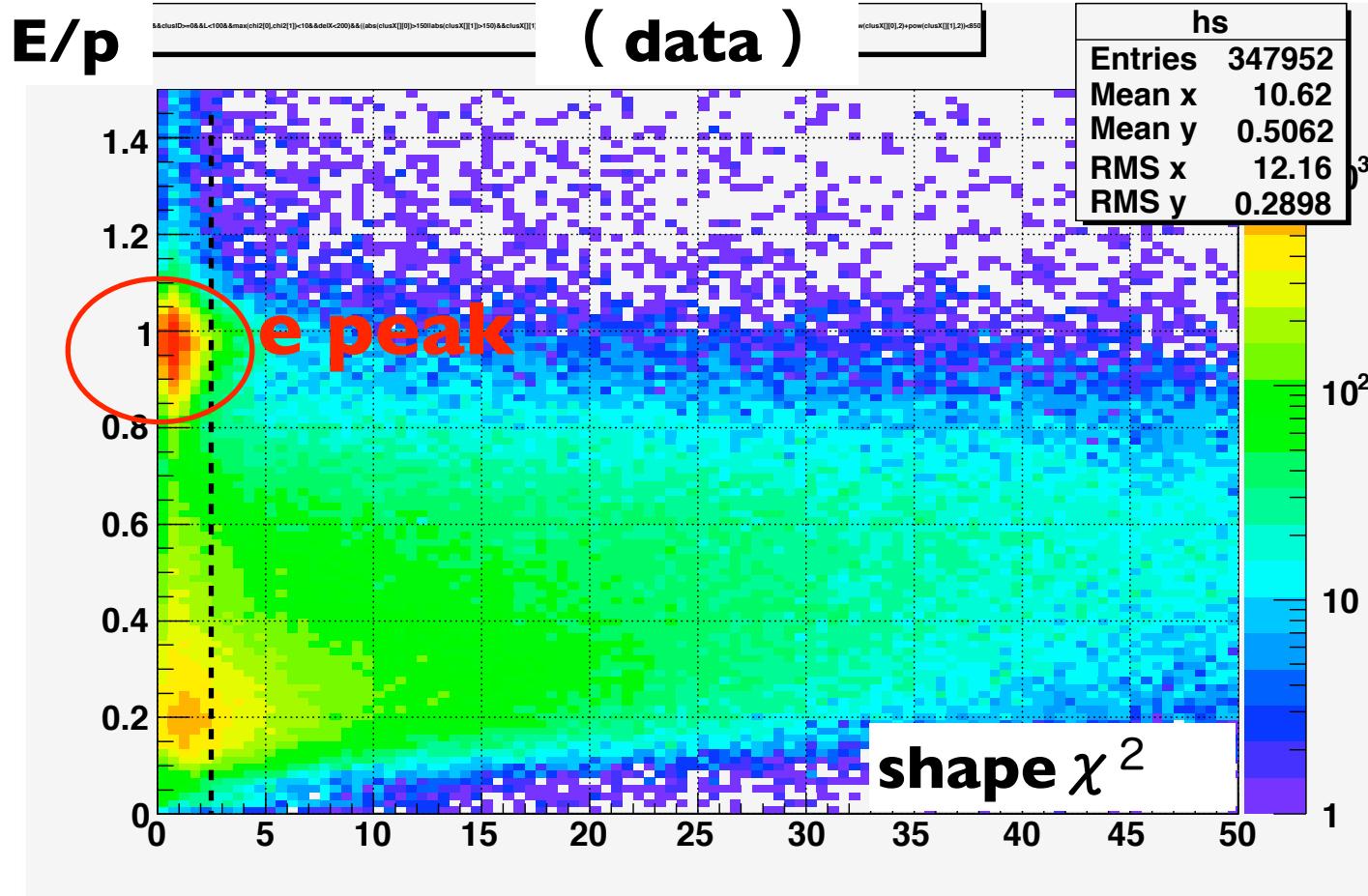
測定されたクラスター形状をsimulationで得られたクラスター形状と比べる



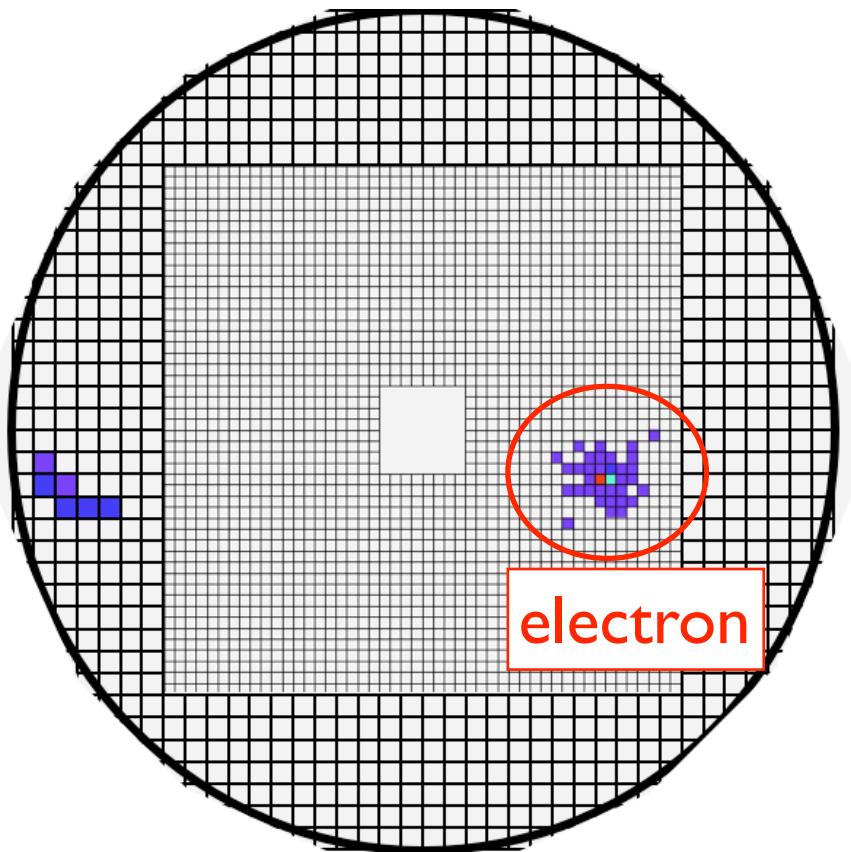
$$\chi^2 = \sum_{CsI} \left(\frac{E_{measured} - E_{simulated}}{RMS_{simulated}} \right)^2$$

(the summation is taken over all crystals in the measured cluster.)

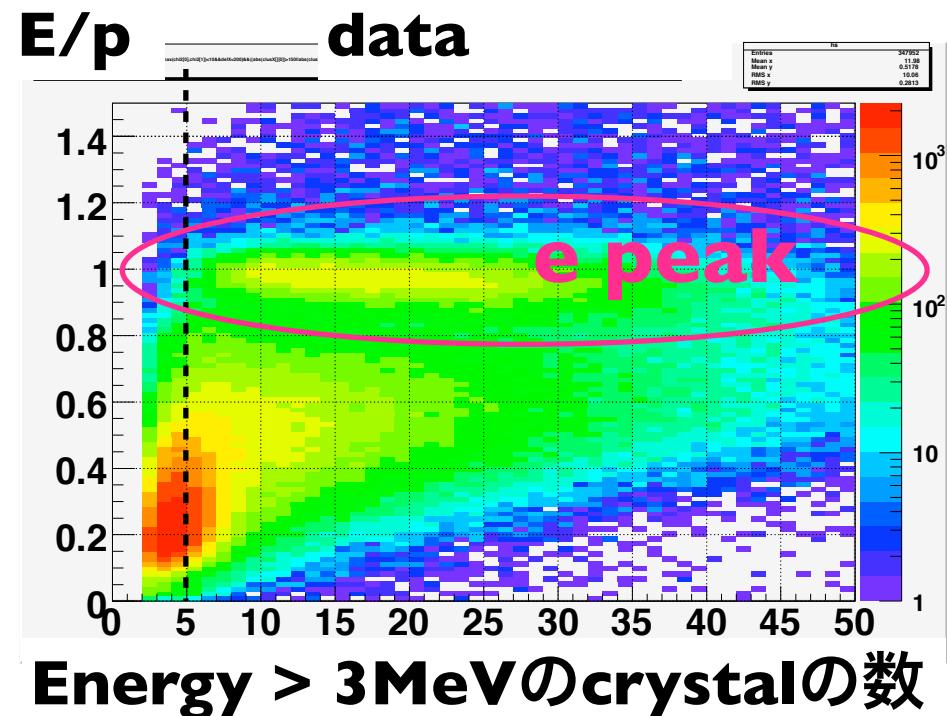
cut①:shape χ^2



cut②: # of hit crystals

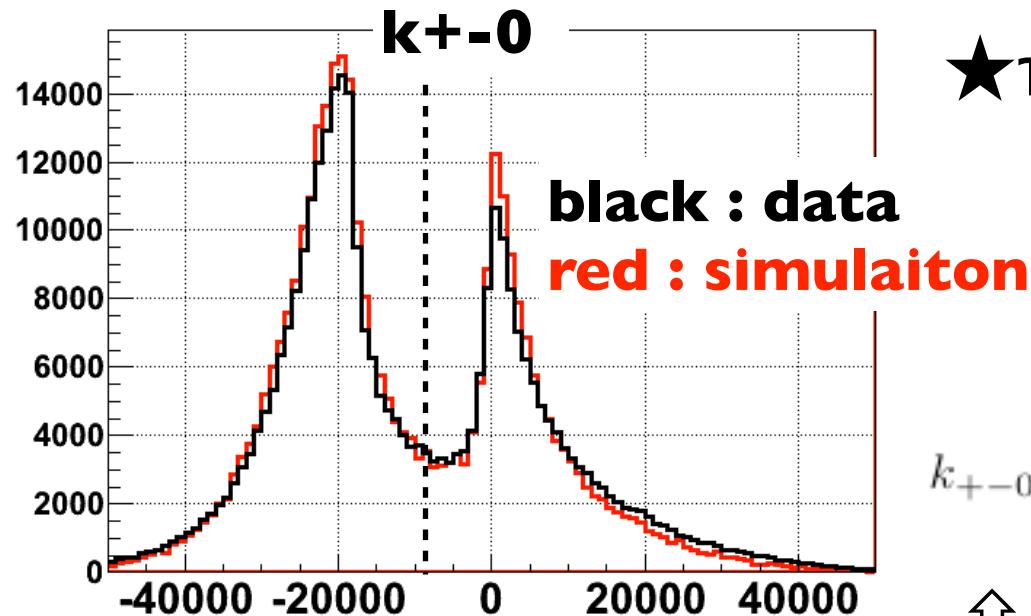


★showerの広がりの分
複数のCsIが鳴る



3MeV以上のエネルギーを持つcrystalが5以上を要求

cut③: $\pi^+\pi^-\pi^0$ kinematic



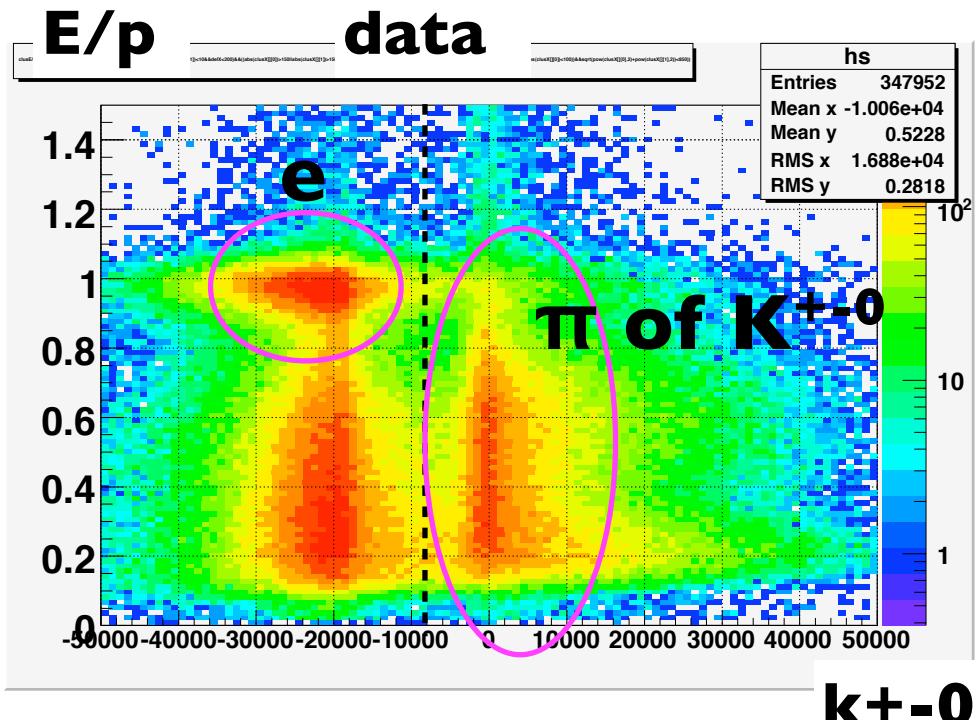
★ π^+0 崩壊はkinematicで識別可

chamberの情報を使い

↓以下の物理量を計算

$$k_{+-0} = \frac{(m_K^2 - m_{\pi\pi}^2 - m_{\pi^0}^2)^2 - 4m_{\pi\pi}^2 m_{\pi^0}^2 - 4m_K^2 p_t^2}{4(m_{\pi\pi}^2 + p_t^2)}$$

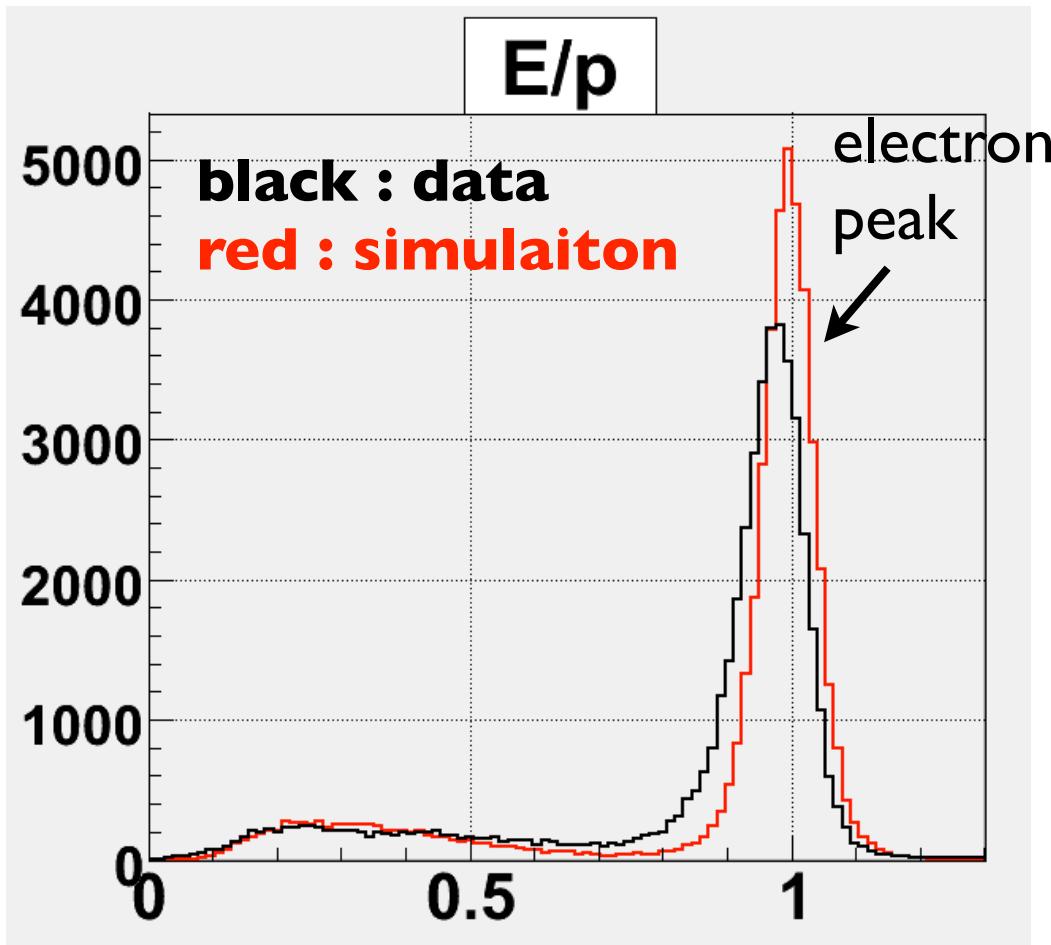
合とある系で見た π^0 のビーム軸方向運動量二乗。Ke3,Kμ3の場合、物理的におかしい値になる。



★ $k_{+-0} < -9000$ を要求

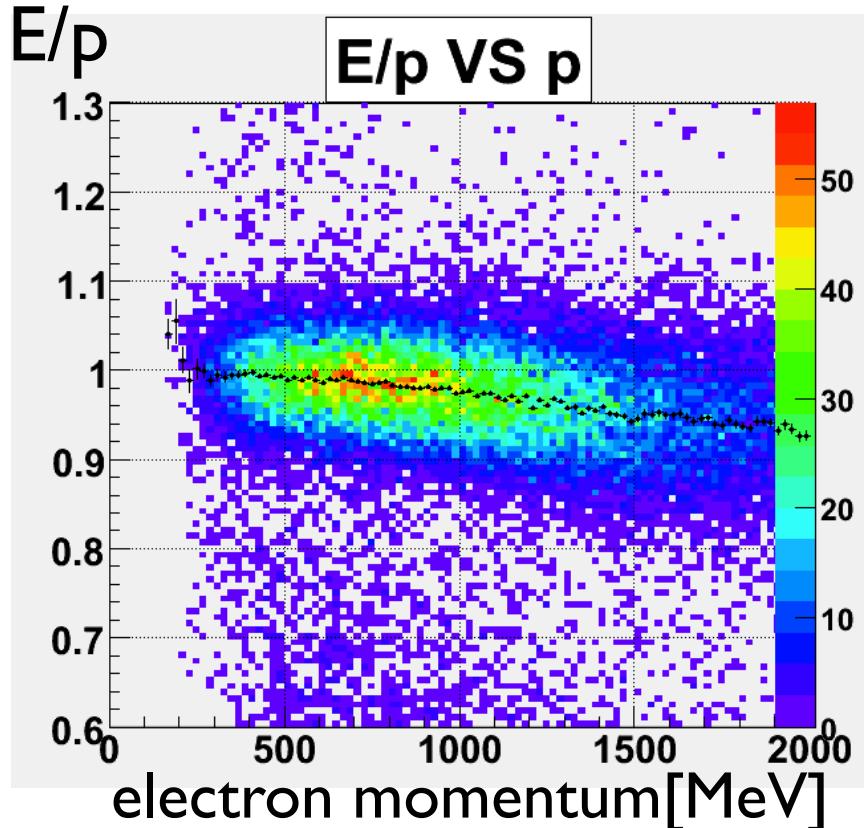
E/p分布

★cut後のE/p 分布



- ★# of electron ~ 40,000 events
- ★electron peakが $E/p < 1$ に偏っている

non-linearity



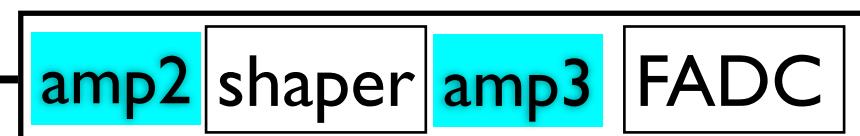
★ p が大きいほど E/p が小さくなる傾向が見える
⇒non-linearity

★PMT-FADC間にあるAMPが原因と考えられる

PMT cw-base

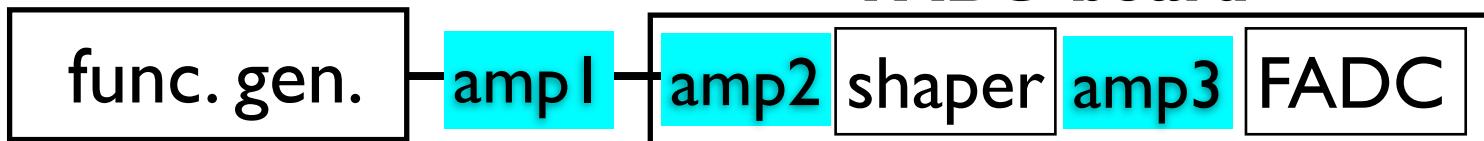


FADC-board

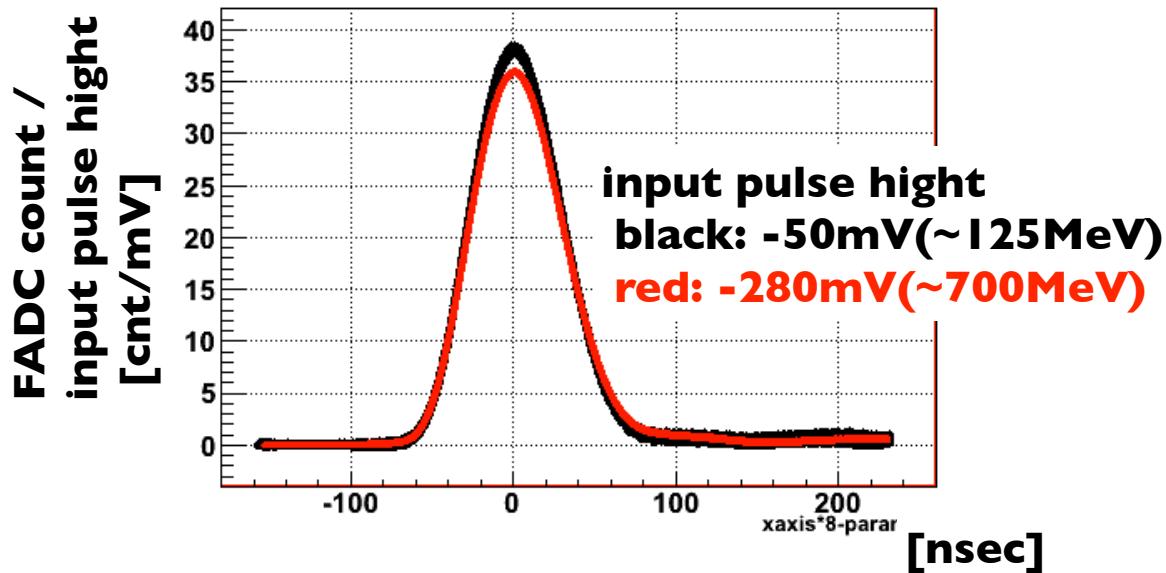


non-linearity測定

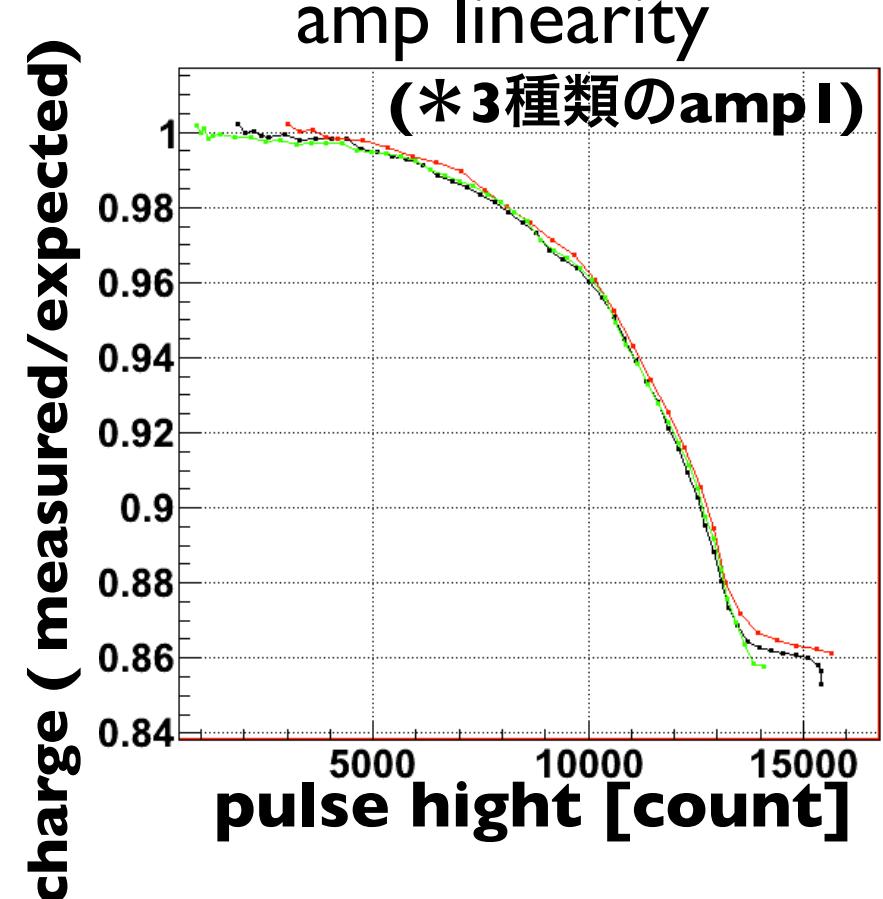
FADC-board



FADCに記録されたパルス形状

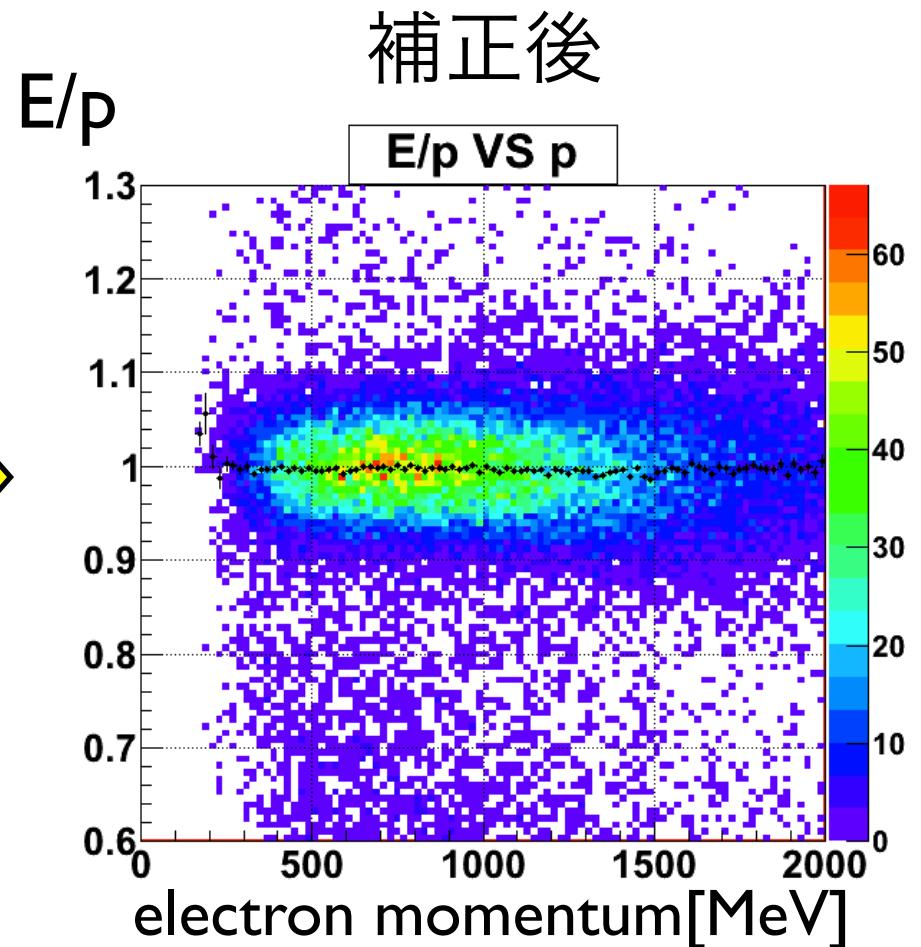
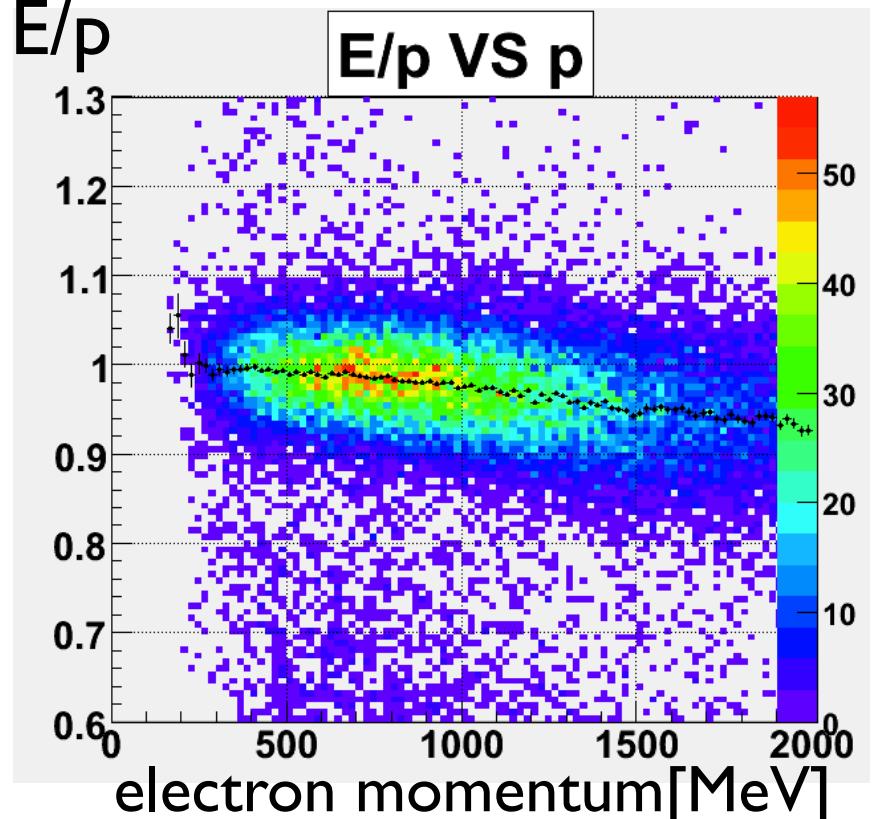


amp linearity



★ non-linearity ~5%@ 700MeV(~11000 count)

Linearity補正結果



- ★non-linearityはほぼ消えた
- ★electron peakはE/p ~ 1 に

calibration constantの最適化

CsIのcalibration constantの最適化には最小自乗法を用いる

★全eventのelectron like なclusterについて χ^2 を計算

$$\chi^2 = \sum_{event} \left(\frac{E_{chamber} - E_{CsI}}{\sigma} \right)^2 = \sum_{event} \left(\frac{E_{chamber} - \sum_{cluster} \Delta_i e_i}{\sigma} \right)^2$$

(e: 各結晶のedep [count] , Δ :calibration constant [MeV / count])

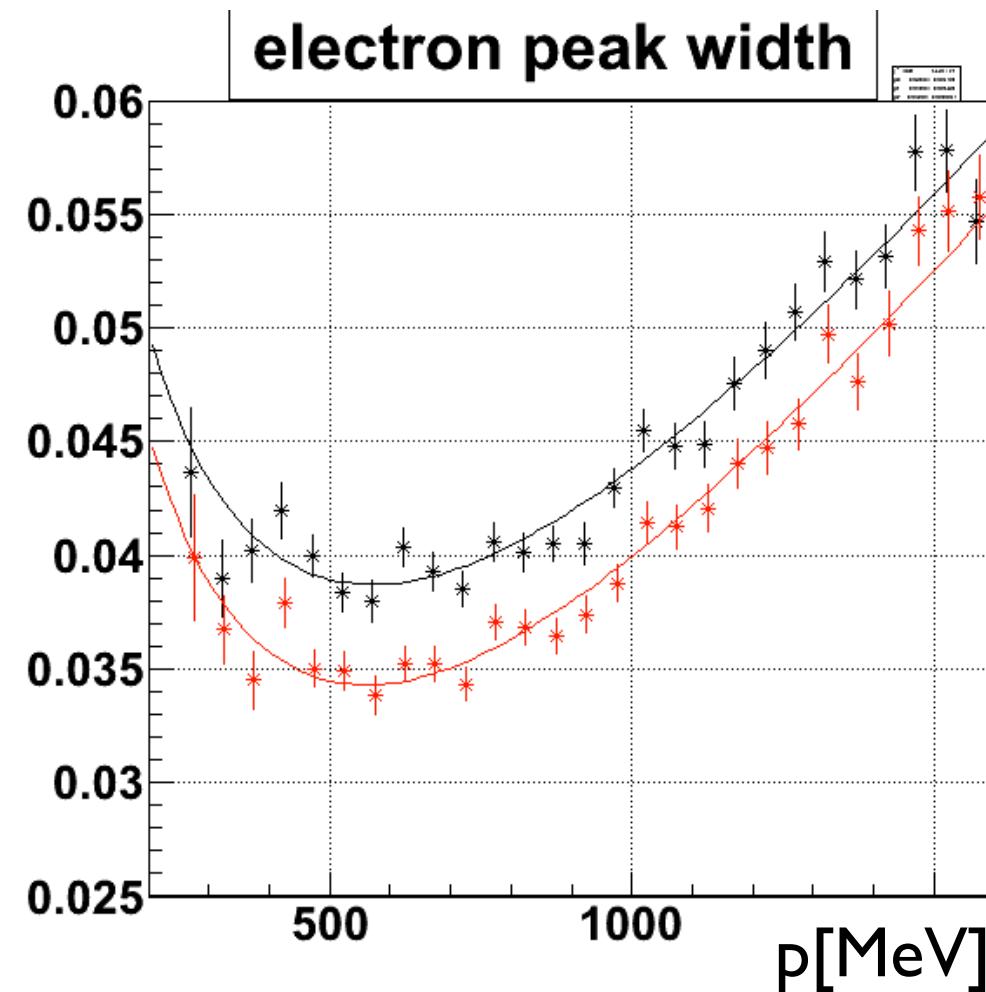
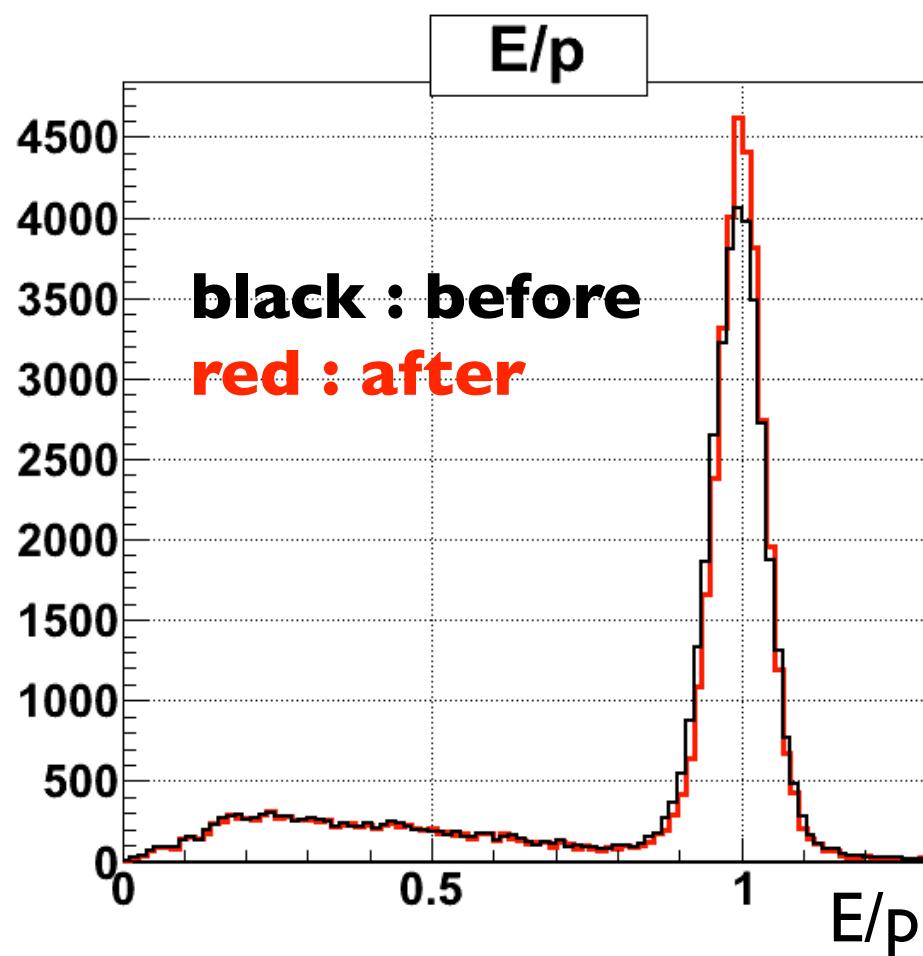
χ^2 を最小にする $\{\Delta\}$ は次の式を満たす。

$$\frac{\partial \chi^2}{\partial \Delta_n} = \sum_{event} 2 \left(\frac{E_{chamber} - E_{CsI}}{\sigma^2} \right) \cdot e_i = 0$$

⇒ 1200個の連立方程式。解析的に解く。

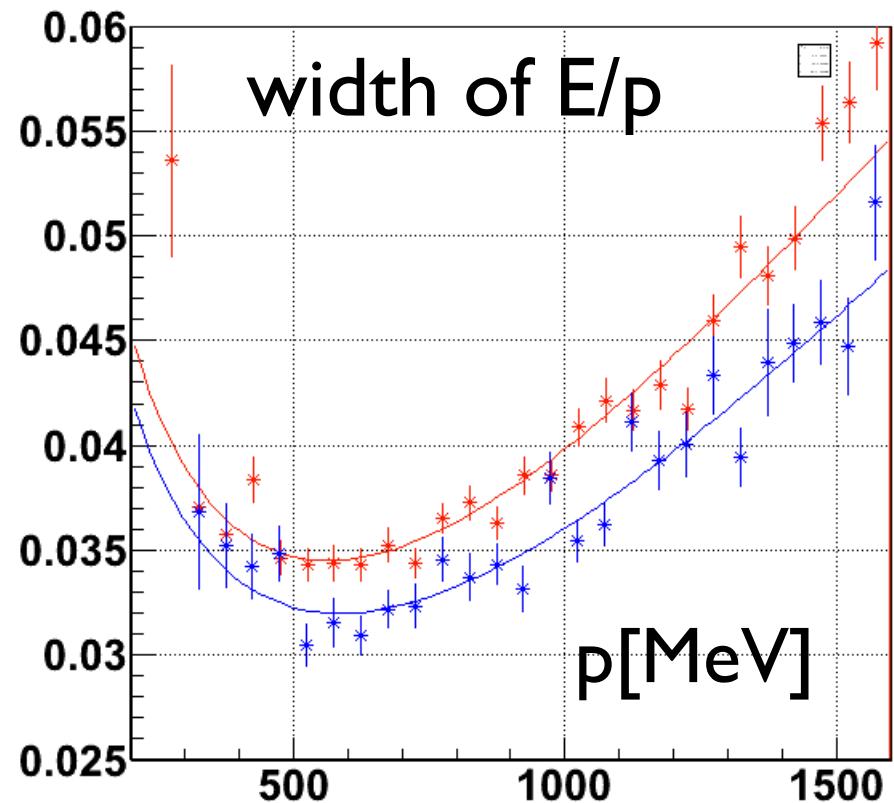
CsI calibration

$0.9 < E/p < 1.1$ の track について前ページの方法を適用



⇒ electron peakが細くなった = エネルギー分解能が向上

CsI E分解能



red : data (with calibration)

blue : simulation

(assuming 12 p.e /MeV)

(calib. const. are correct)

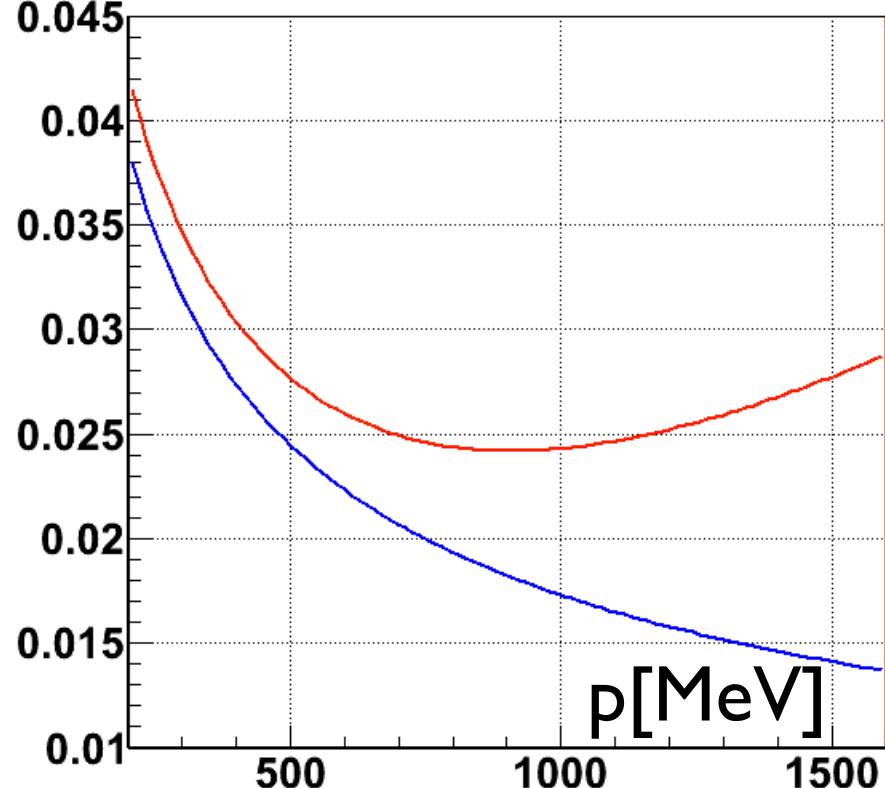
fit for

$$p1 \oplus p2/\sqrt{E[GeV]} \oplus p3 \cdot E[GeV]$$

	p1 [%]	p2 [%]	p3 [%]
data	1.44±0.35	1.90±0.12	3.20±0.08
simulation	1.78±0.23	1.60±0.12	2.76±0.07

CsI E分解能

CsI E resolution



★spectrometer p resolution

$$1.59\% \oplus 2.73\% \cdot E[GeV]$$

(based on simulation)

を差し引いて...

red : data with calibration
blue : simulation

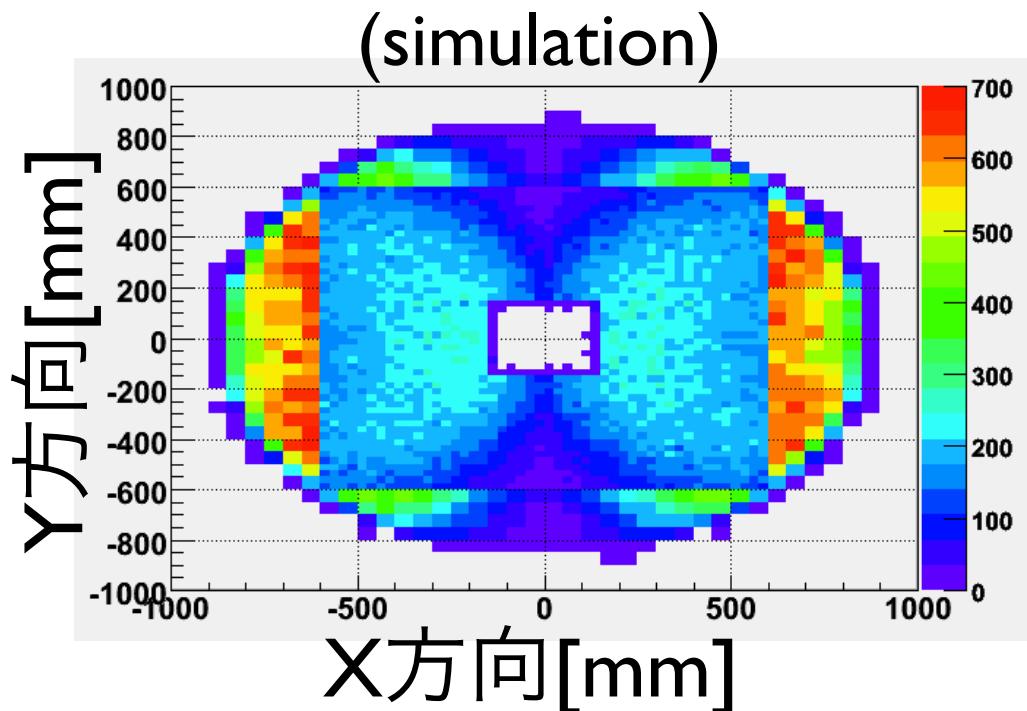
⇒CsI E分解能がEに比例して悪くなる

- spectrometer p分解能を小さく見積もりすぎている？

run in the beginning of 2012

★J-PARC加速器の復旧を待ち(来年初頭？)、CsI全数を用いて同様の試験を計画中

electron 入射位置の分布



★全体の3/4の結晶について

1%以内の精度で

calibration constantを決定

★E分解能,位置分解能を場所依存性も含めて測定

★small-large境界, 外周部付近での挙動

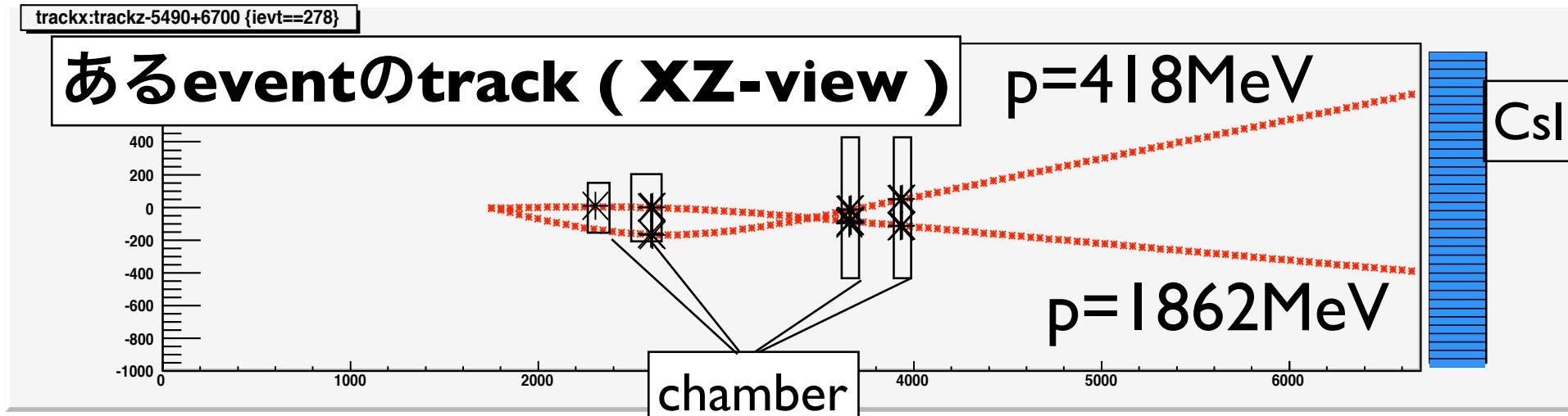
summary

- ★2010 10~11月にかけKOTO実験CsIカロリメータの動作試験をJ-PARCで実施
- ★Ke3崩壊のelectronを利用し、CsIのcalibration constantを最適化
- ★calibrationによりCsIのE分解能は
 $1.43\% \oplus 1.97\% / \sqrt{E[GeV]} \oplus 1.79 \cdot E[GeV]$ から
 $\rightarrow 1.85\% / \sqrt{E[GeV]} \oplus 1.61 \cdot E[GeV]$ に向上
- ★E分解能がEに比例して増加している(ように見える)
原因を調査中
- ★来年初頭、CsI全数を用いて同様の試験を計画中

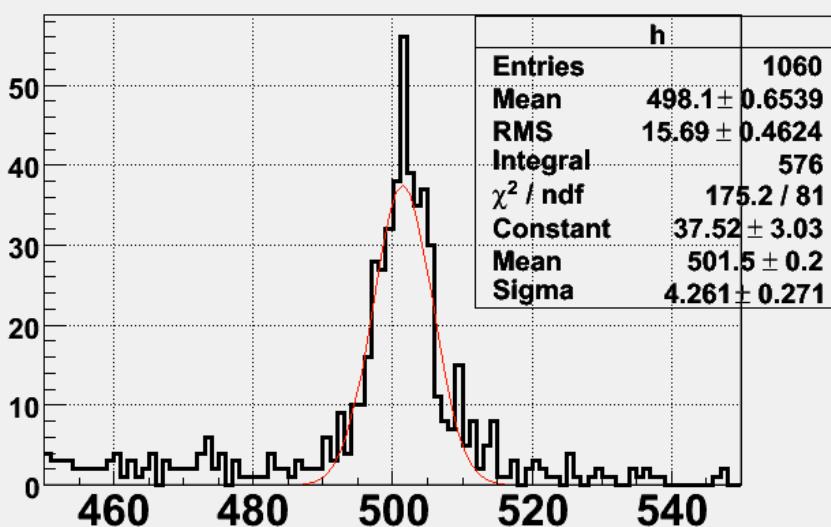
backup

spectrometer

👉 trackの曲率から荷電粒子の運動量が測定可能



inv. mass ($Pt^2 < 20\text{MeV}^2$)



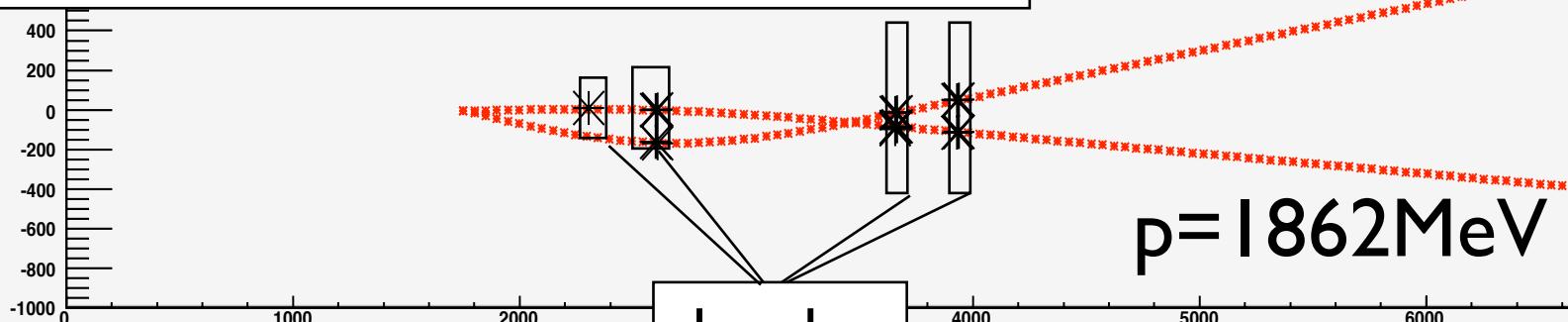
👉 calibrationには $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^-$ を利用
2 charged trackの不变質量が
 K_L に一致するようscaleを調整

event sample

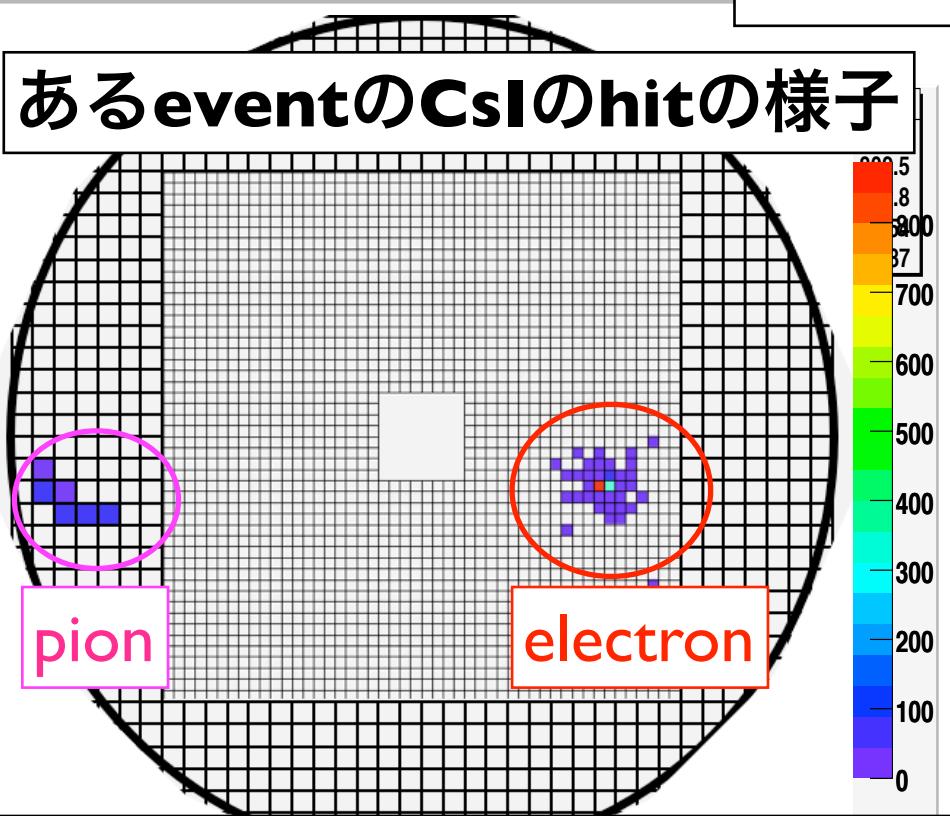
↓ trackの曲率から荷電粒子の運動量が測定可能

trackx:trackz-5490+6700 {ievt==278}

あるeventのtrack (XZ-view) $p=418\text{MeV}$

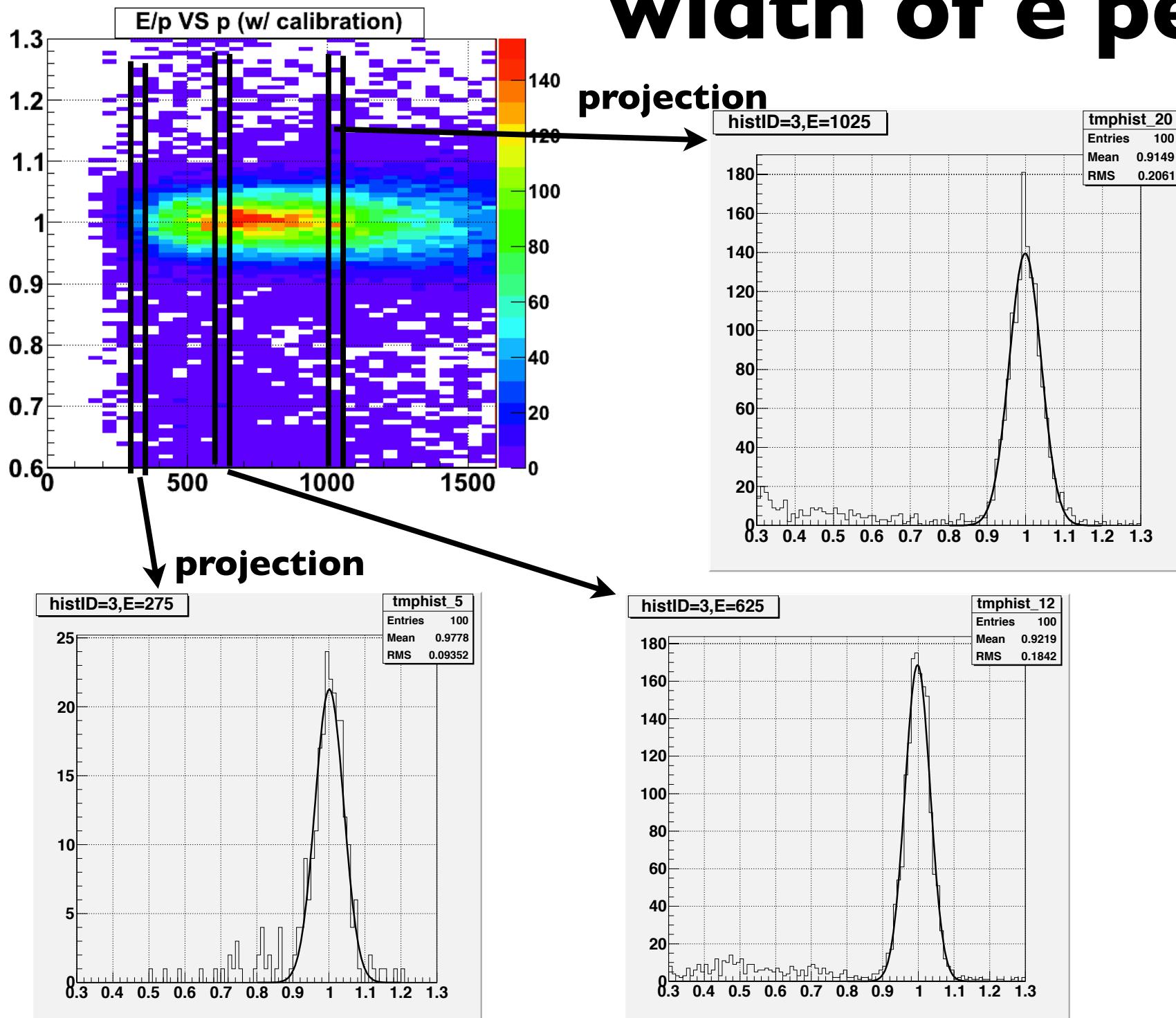


あるeventのCsIのhitの様子

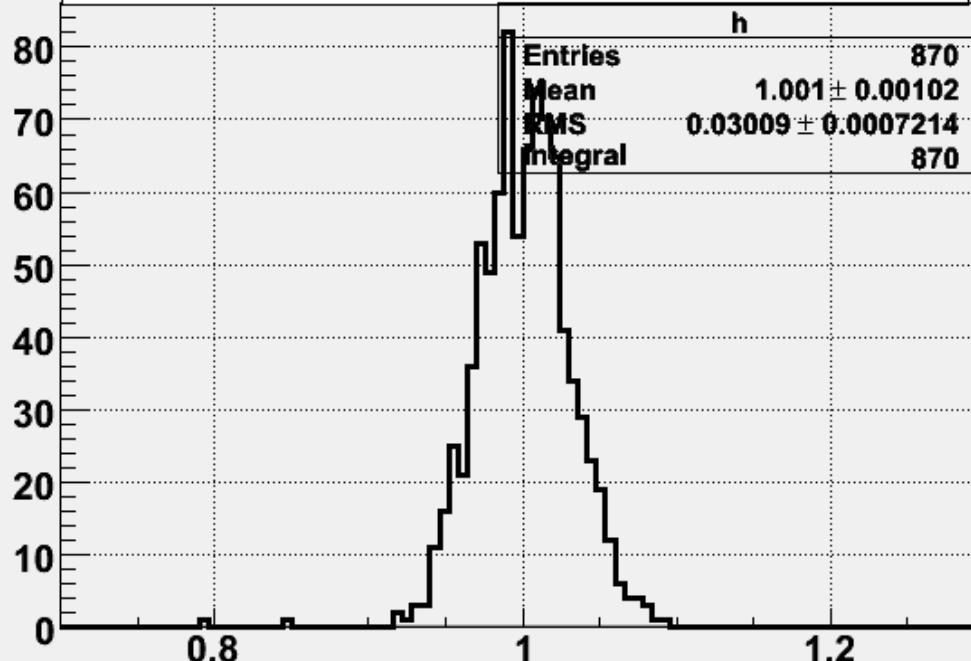


←近くにある結晶をひとつに
まとめて(クラスター),
energyと入射位置を読み出す
★入射粒子が**electron**なら
電磁シャワーを作る

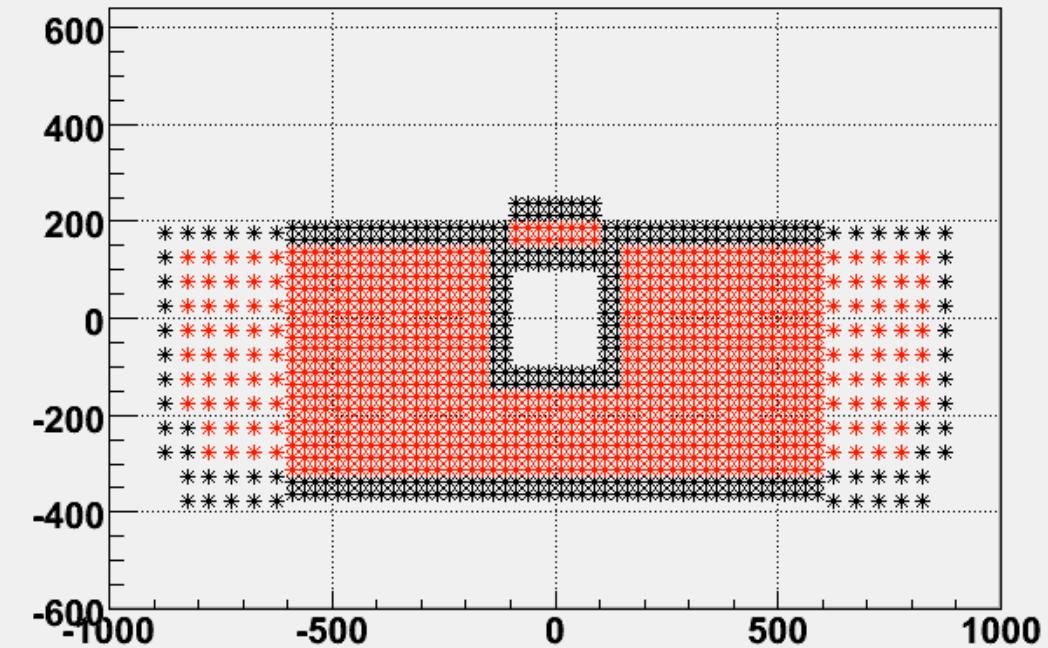
width of e peak



calib. correction factor (fidutial only)



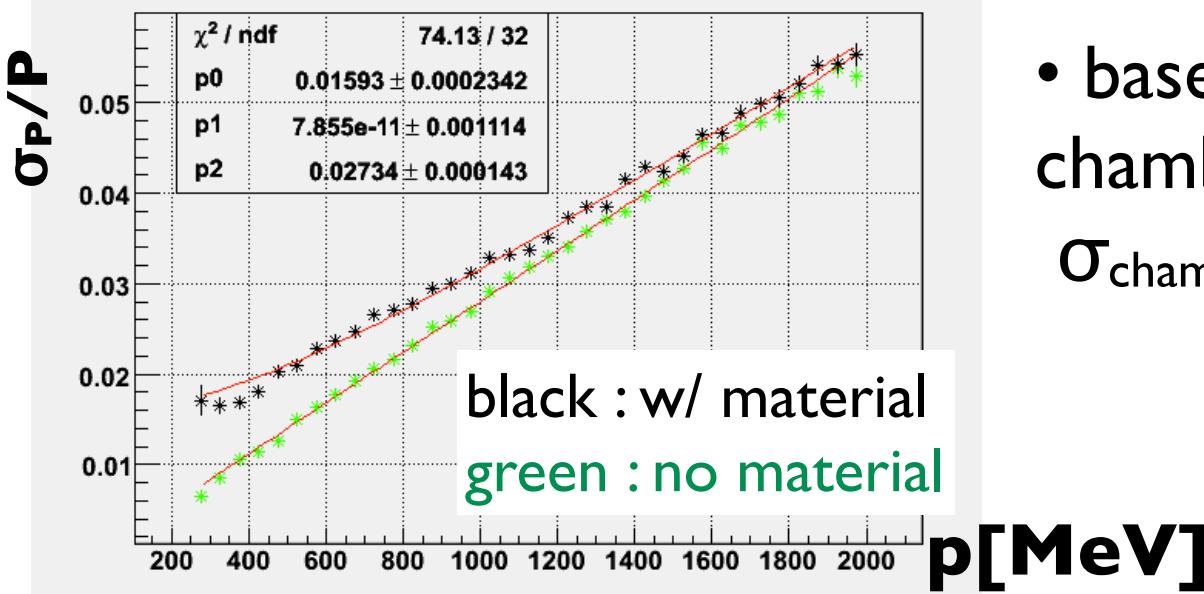
Csl fidutial region



chamber resolution

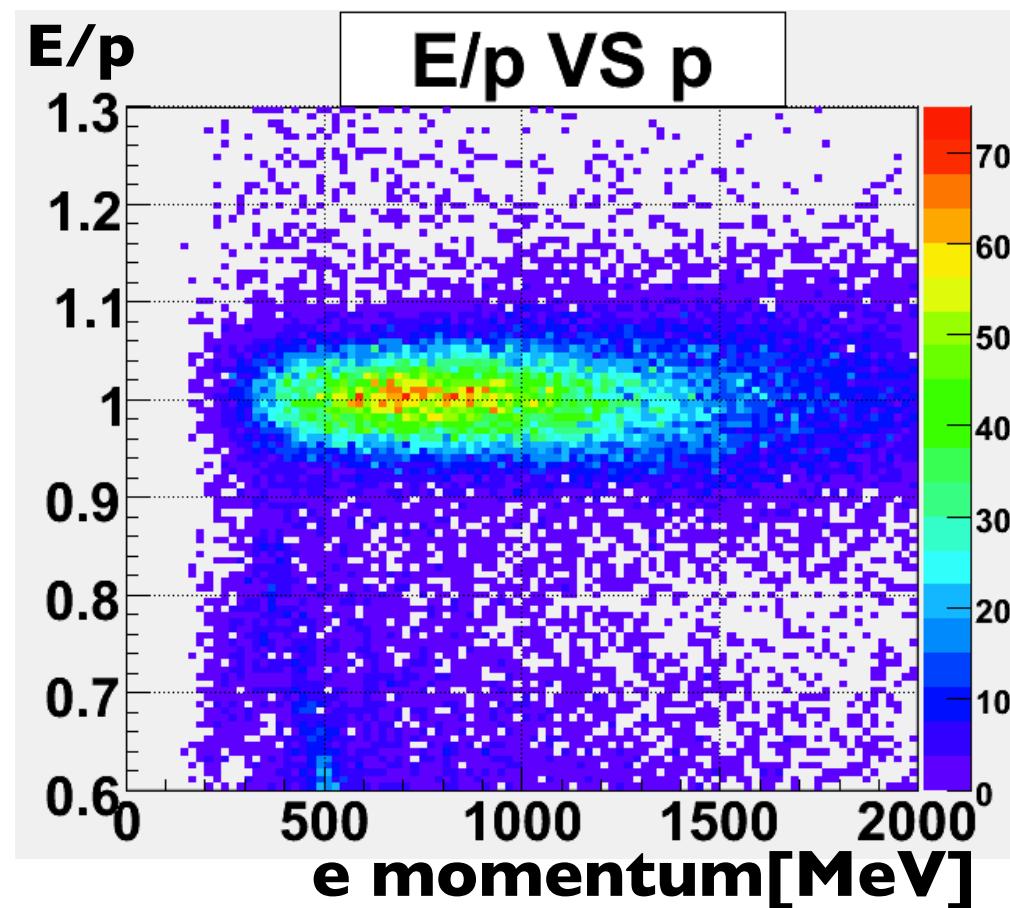
- subtract the contribution of chambers resolution

p resolution of chambers (simulation)

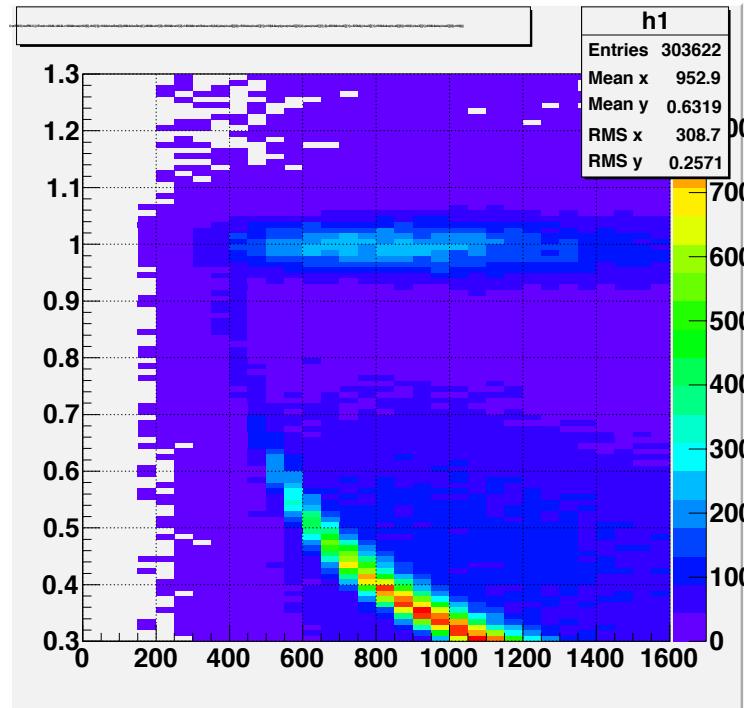


- based on simulation
chamber p resolution is
- $$\sigma_{\text{chamber}} = 1.59\% \oplus 2.73\% * E[\text{GeV}]$$

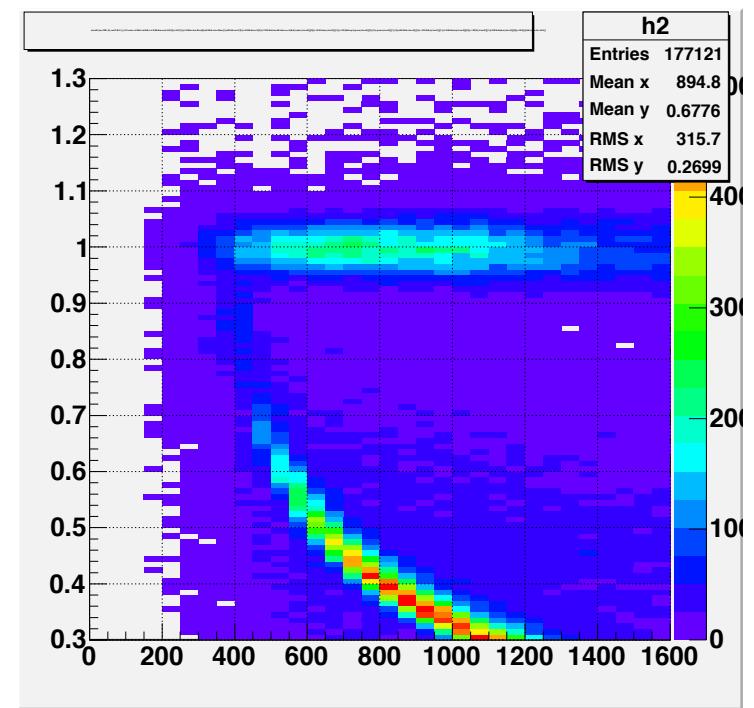
E/p VS p after calibration



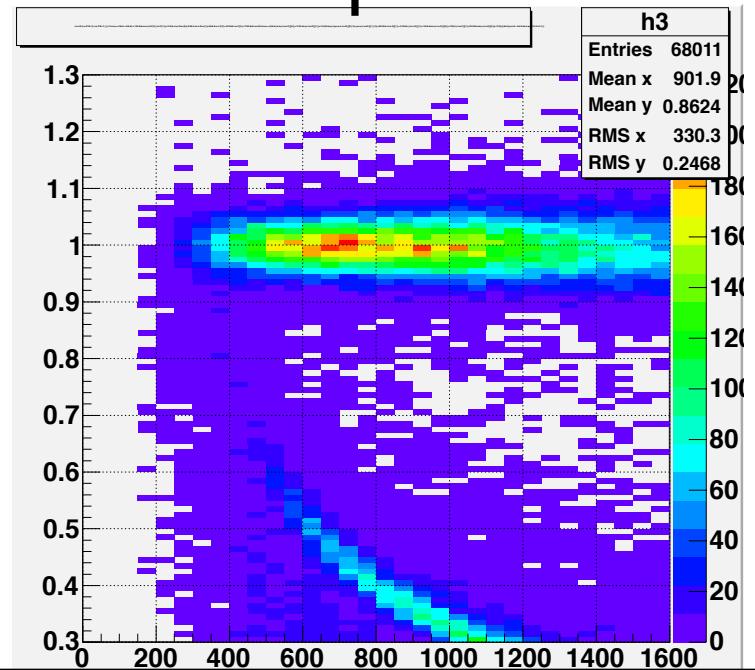
without e selection cut



with $\pi\pi\pi\pi$ kinematic cut



&& shape chi2



&& cluster size cut

