

2pi0 fusion background
reduction
by cluster shape

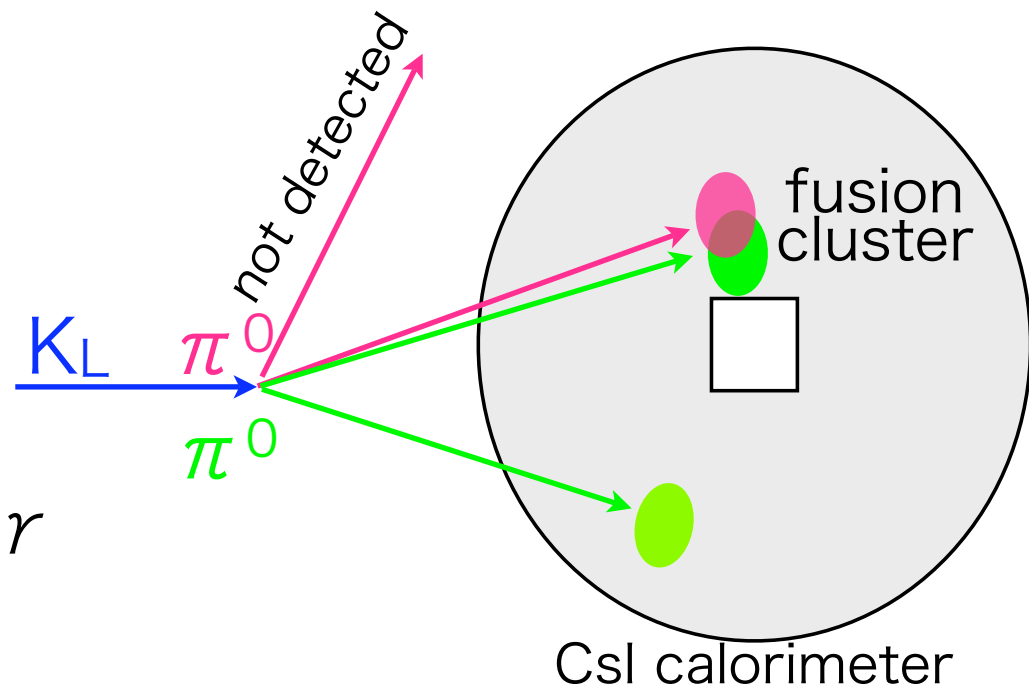
6 Mar. 2008

fusion background

Fusion event is one of major background sources in E14 experiment. This event takes place in $K_L \rightarrow 2\pi^0 \rightarrow 4\gamma$

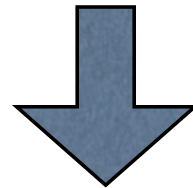
★ 2γ are fused and looks like 1γ

★ We can veto only 1γ

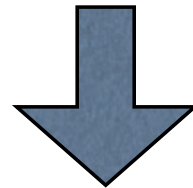


shower shape map

fusion clusters include 2γ and their shapes are different from clusters made by single γ



simulate average cluster shape of single gamma by MC and record them
(shower shape map)

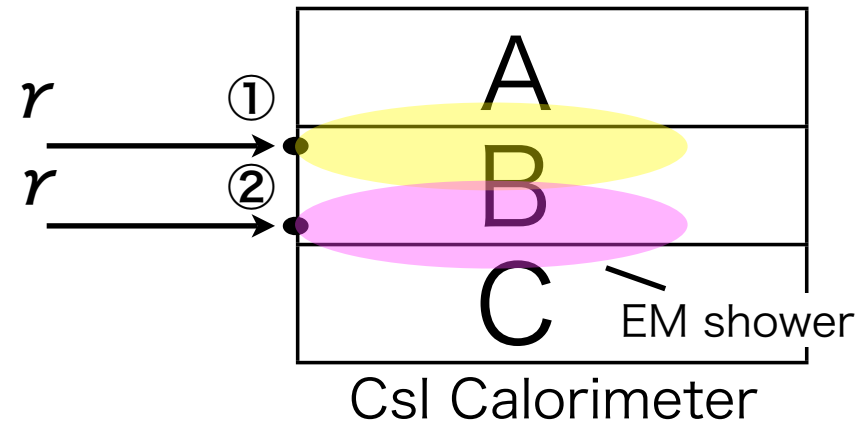


compare

factors deciding cluster shape

there are various factors that change shape of 1γ cluster.

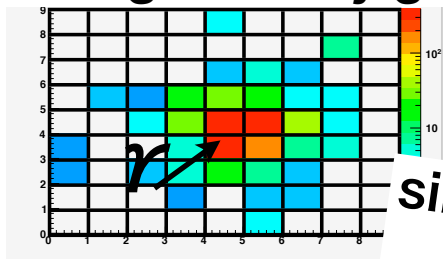
- **Energy (E)** changes shower length
- **incident angle (θ)** changes inclination of shower.
- **azimutial angle (Φ)** along beam axis,
- **position(x, y) of center of cluster in a crystal** changes energy distribution.



★ divide E, θ, Φ, x and y to some intervals and prepare a shower shape map for each intervals

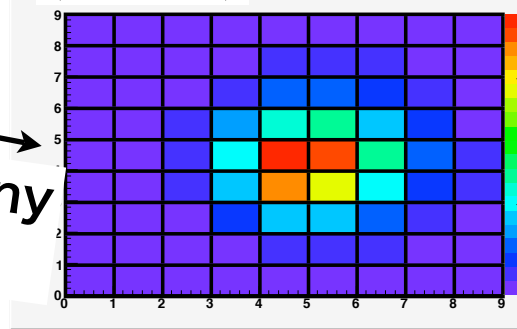
How to make maps

simulate cluster made by
1 gamma by geant4

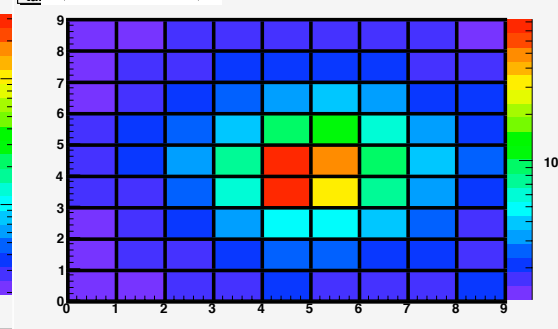


simulate many
(7×10^8)

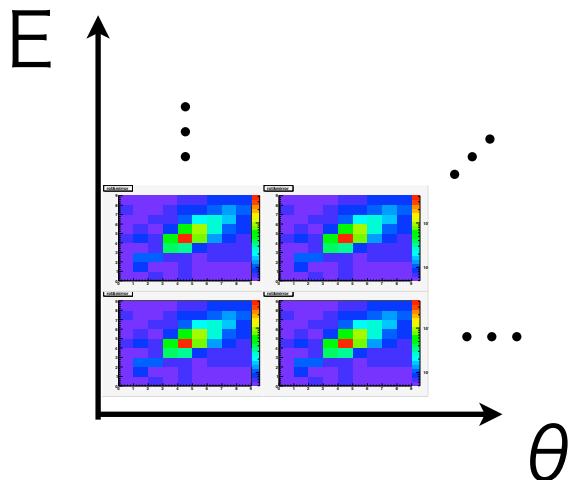
(R_{mean})



(R_{rms})

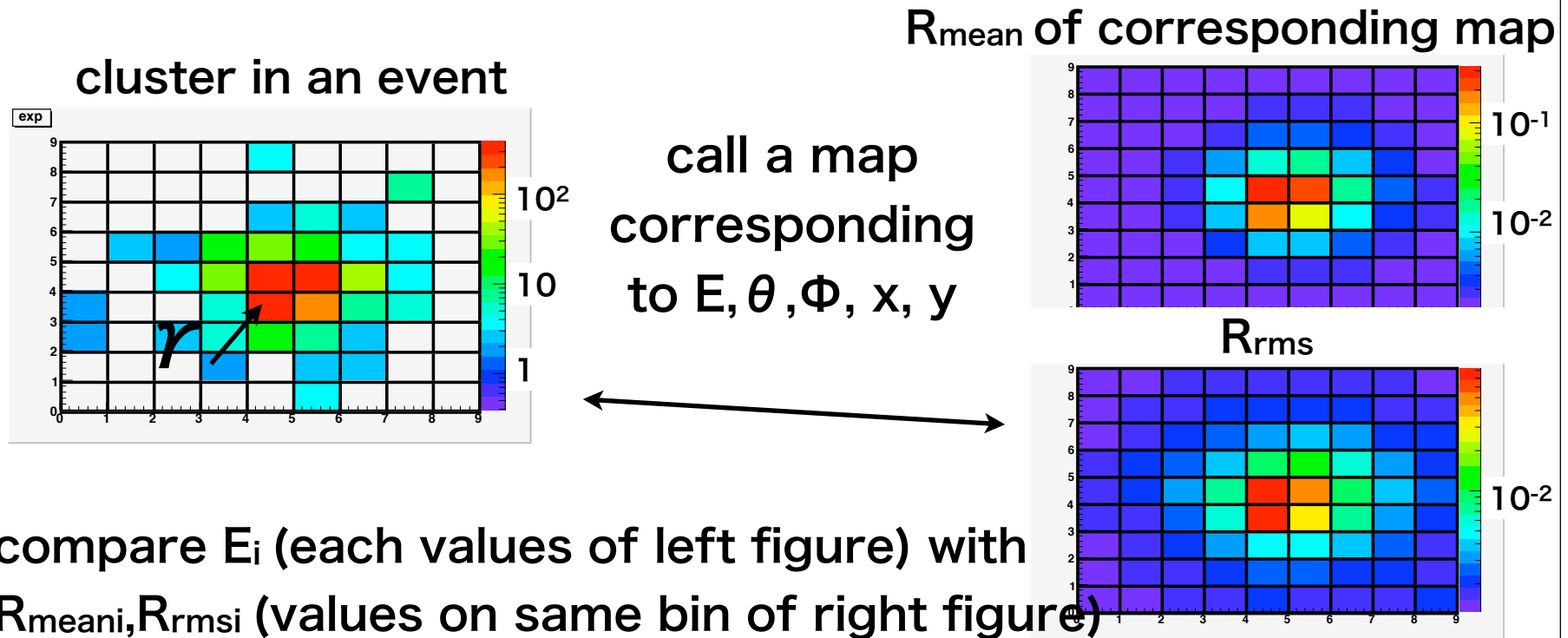


record mean($R_{\text{mean}i}$) and RMS($R_{\text{rms}i}$) of
ratio of E deposit of each crystals



prepare maps for each
 E, θ, Φ, x, y intervals
(totaly 60000 intervals)

How to use maps... χ^2



$$\chi^2 = \sum_{CsI \text{ in cluster}} \left(\frac{E_i / E_{\text{cluster}} - R_{\text{mean}i}}{R_{\text{RMS}i}} \right)^2 \div N_{\text{csi}}$$

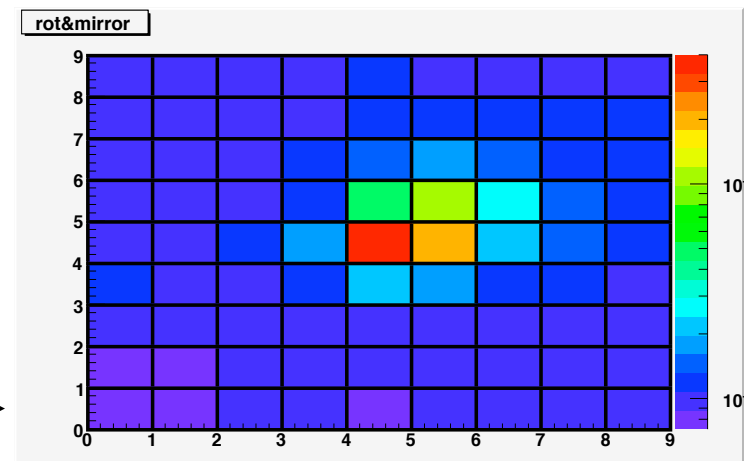
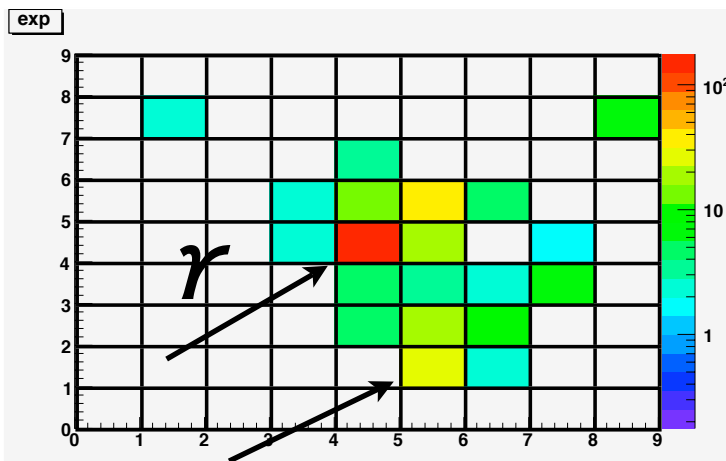
for fusion events

apply same way to fusion cluster...

R_{mean} of a

corresponding map

a fusion cluster

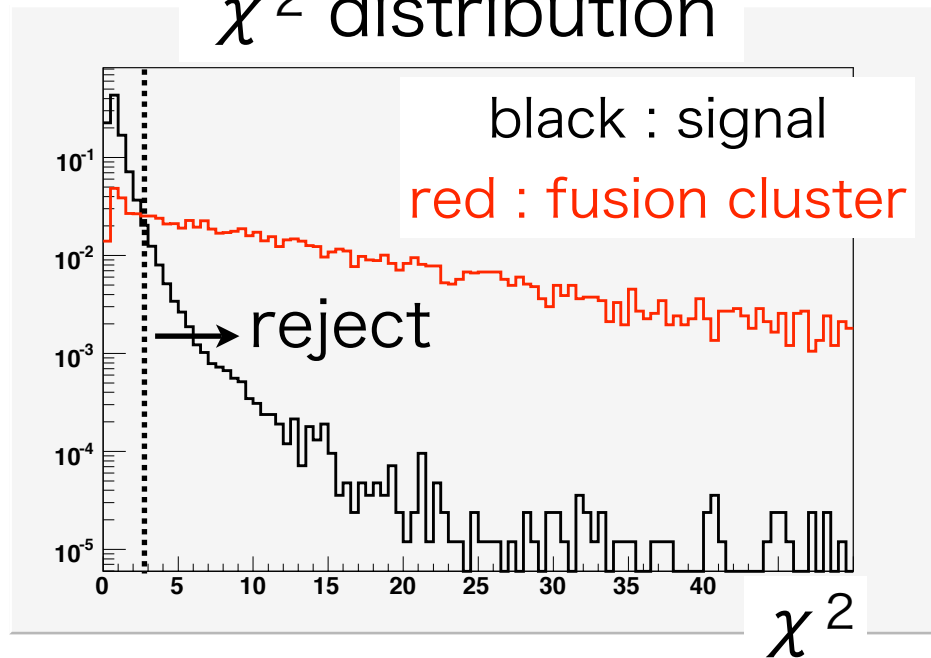


shapes are different

$\Rightarrow \chi^2$ become larger

estimate # fusion BG

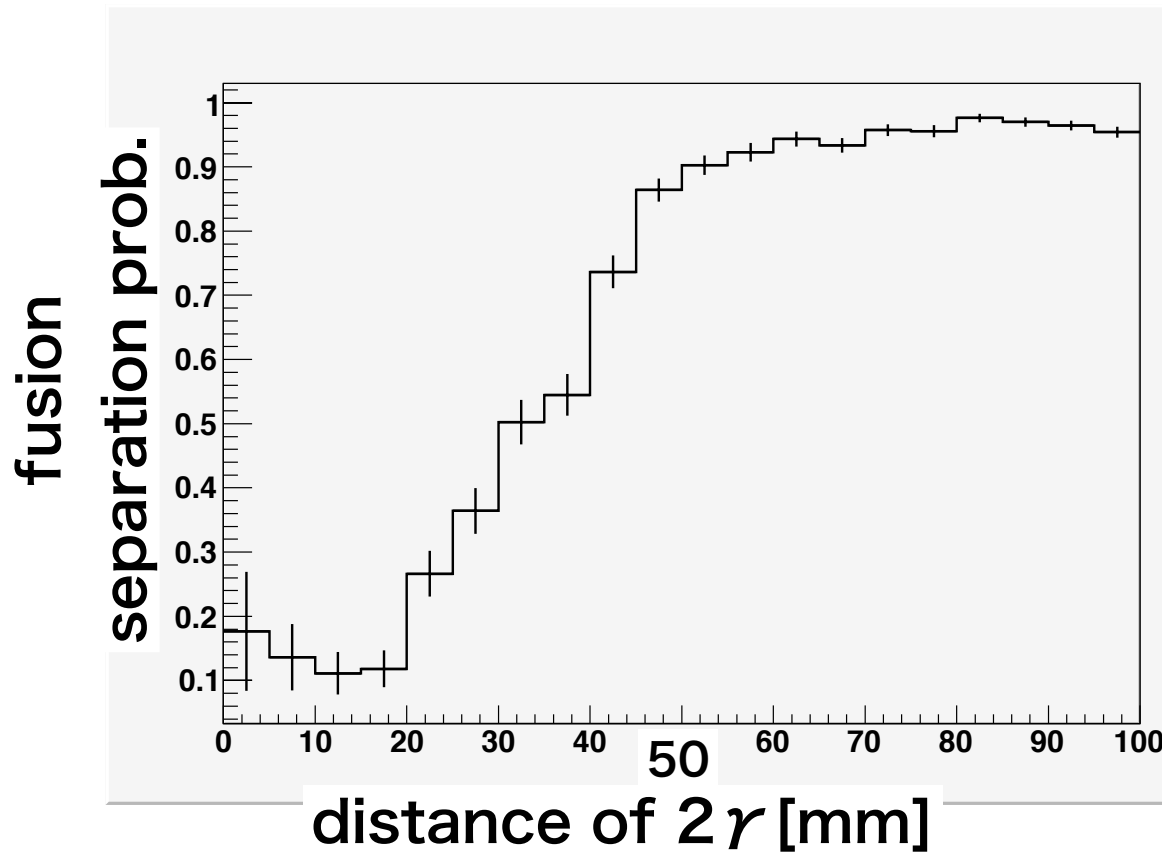
χ^2 distribution



cut
(90% signal acceptance)

signal	fusion	fusion/signal
4.16 ± 0.02	1.08 ± 0.05	0.26 ± 0.01

2γ distance



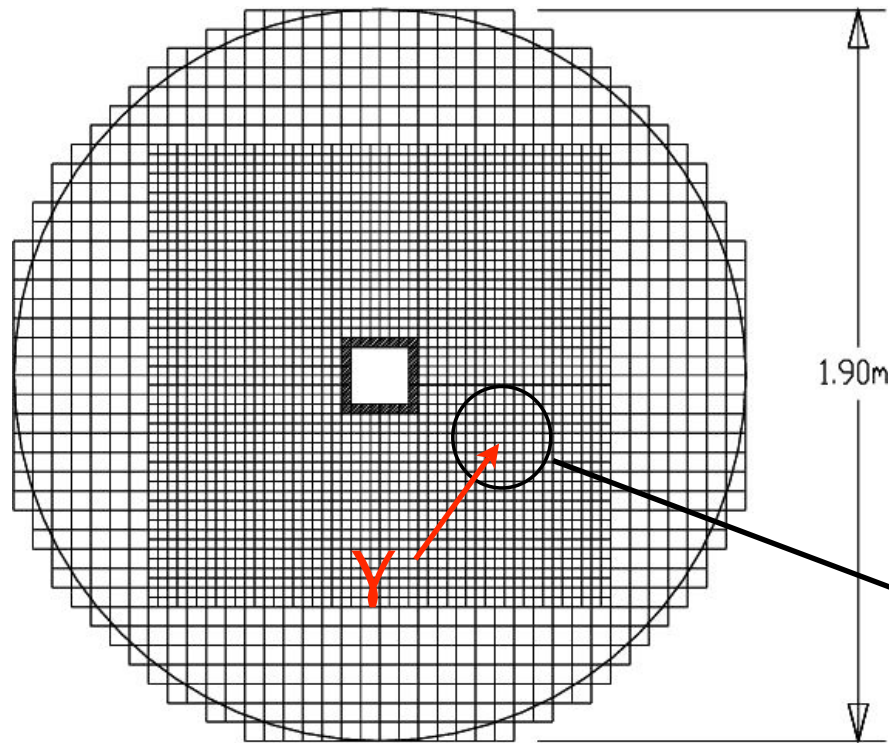
fusion separation efficiency strongly depends on distance between 2 incident gammas in fusion cluster

summary

- made **shower shape maps** which record average shapes of clusters made by various 1γ
- separated fusion background events by comparing with shower shape maps
- estimated $\#fusion/\#signal = 0.26 \pm 0.01$
(signal 4.16 event, fusion 1.08 event)

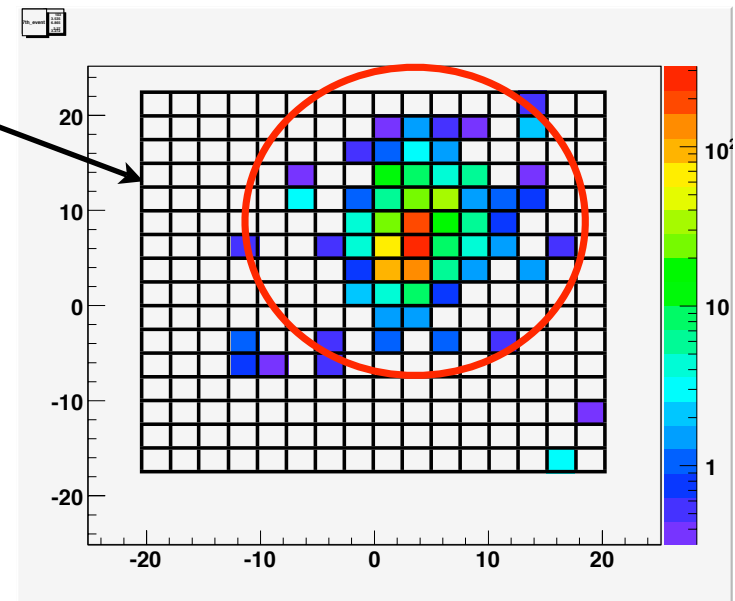
back up

CsI カロリメータ

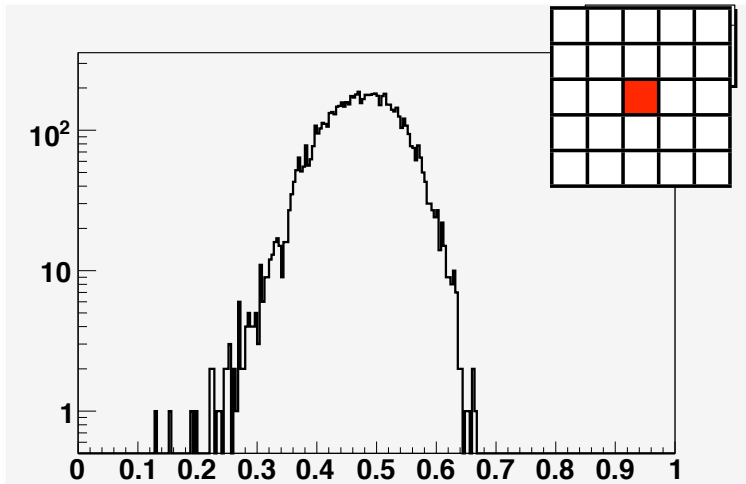


2.5x2.5x50cm
および5.0x5.0x50cm
のCsI結晶
を積み上げたもの

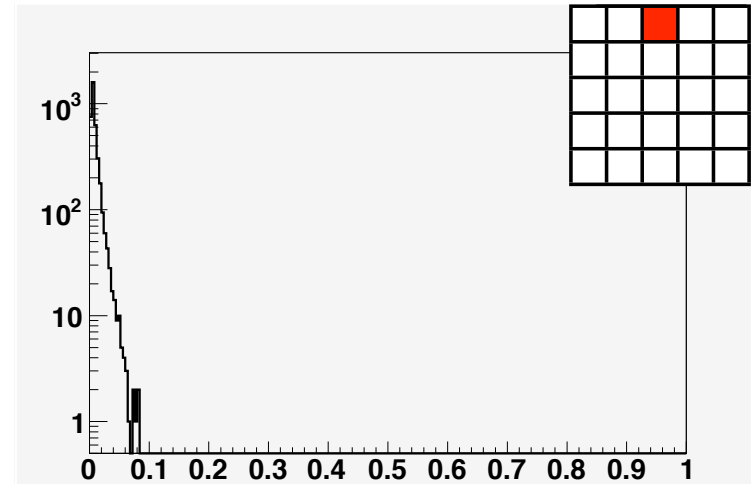
近接するCsIへのE depositを
一つの光子によるものと見なし
クラスターとしてまとめる



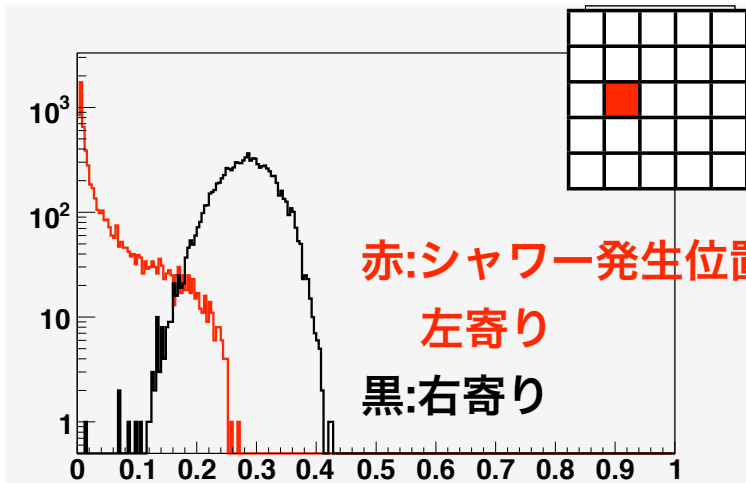
さらに改善するには



energy deposit [ratio of gamma energy]



energy deposit [ratio of gamma energy]



energy deposit [ratio of gamma energy]

赤:シャワー発生位置が
左寄り
黒:右寄り

mapにはエネルギー分布の
meanとRMSのみを記録
⇒分布の形を記録して
likelihoodを用いることで
更なる改善を期待

fusion事象数の見積もり

fusion事象はどの程度問題になるだろうか？

⇒geant4によるシミュレーション

(簡単のためCslカロリメータは全て2.5cm角の結晶で構成)

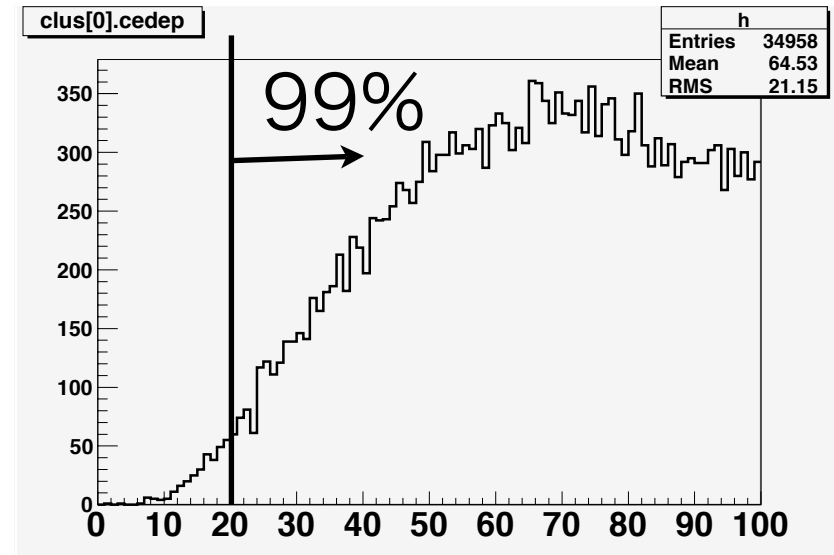
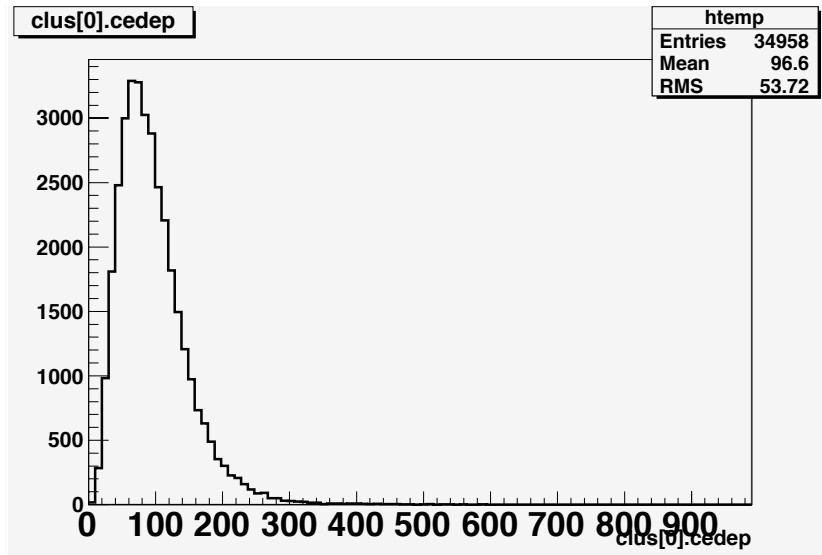
・ 2γ の入射位置が10cm以内のものをfusion事象と見なし
クラスターをシミュレーション

veto & kinematic cutをかけた状態で残った事象数は. . .

	signal	fusion	fusion/signal
事象数	4.63 ± 0.02	6.3 ± 0.1	1.36 ± 0.02

⇒veto検出器以外のcutが必要

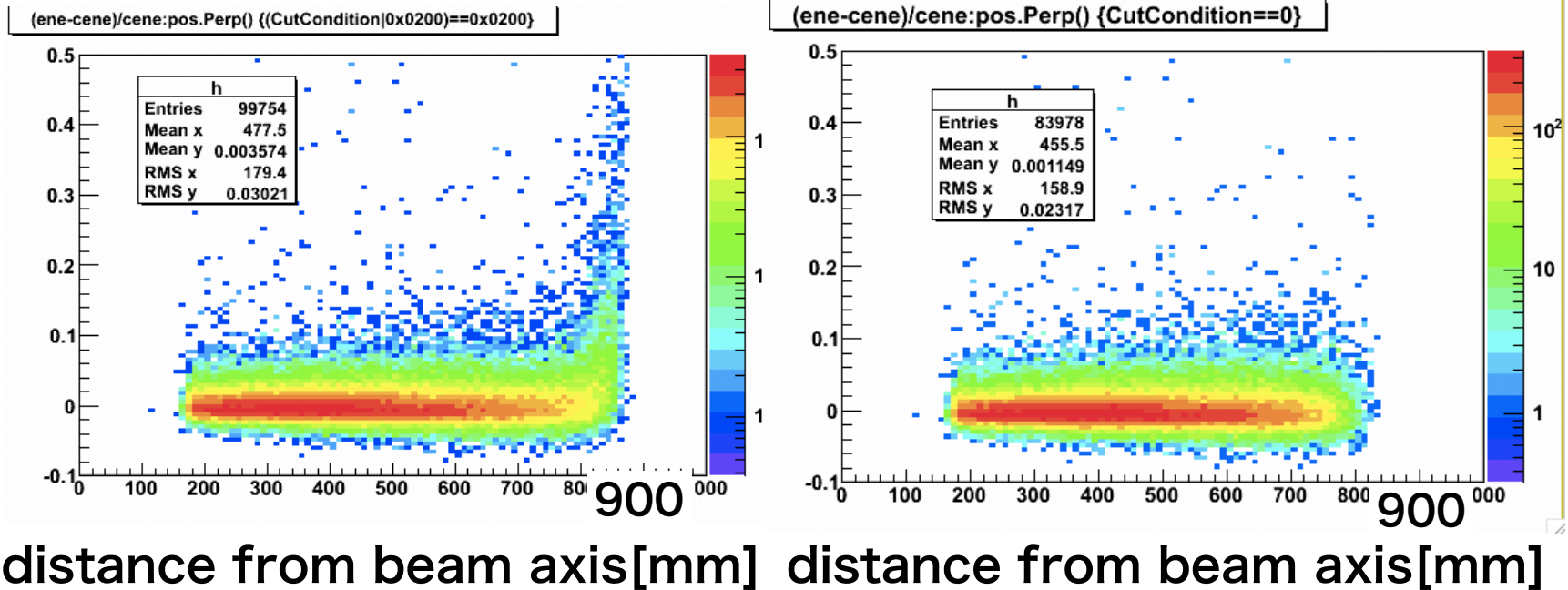
csi photon veto



$E_{\text{inc}} > 100 \text{ MeV}$ のクラスター以外に
 $E_{\text{dep}} > 20 \text{ MeV}$ のクラスターはない

シャワー漏れのカット

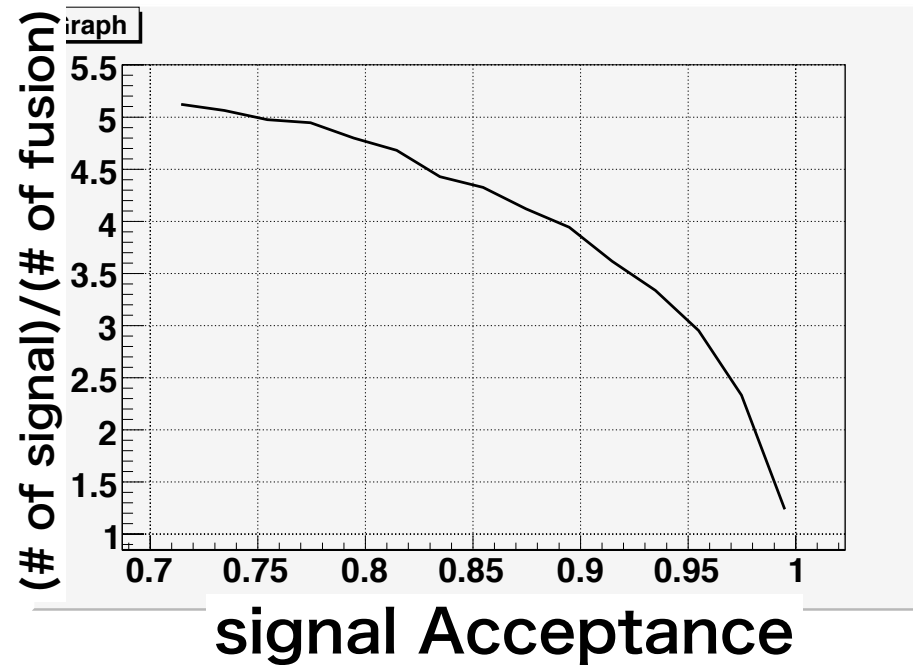
88cm以上のCsIに1.5MeV以上のEdepが無い



signal 89%

fusion 85%

cut値を動かすと

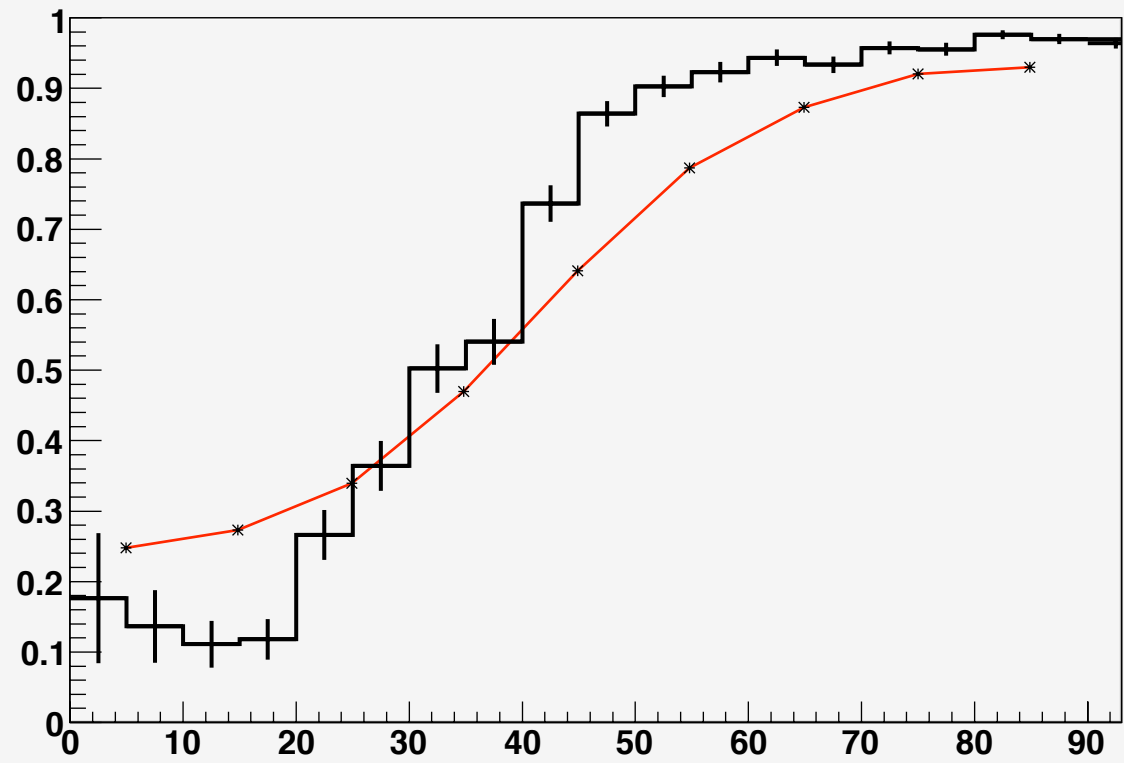


acceptanceを下げて行くとS/N比は改善するが
その傾きは緩やかに

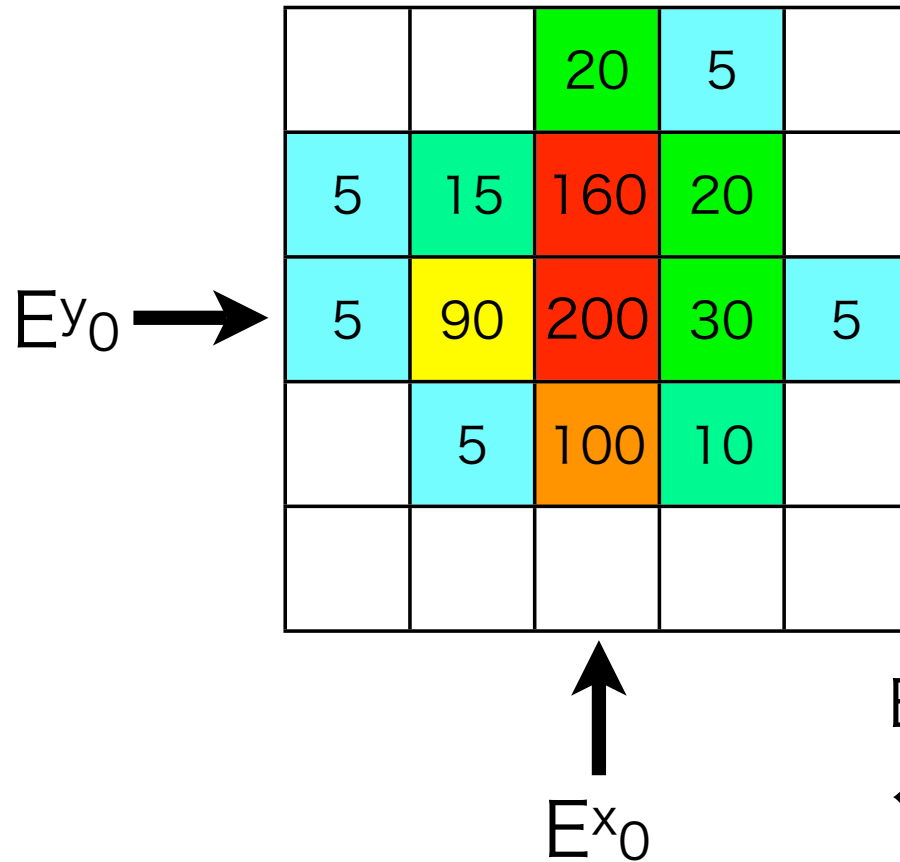
⇒cut値を強くしても大きな改善は得られない

Graph

IN
E4044 1002
Mean 63.43
RMS 23.52



マップの中心の結晶



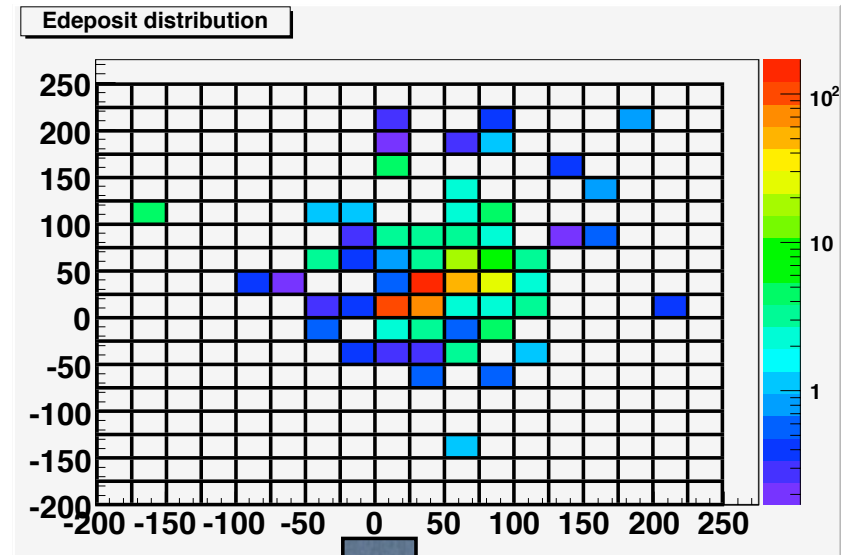
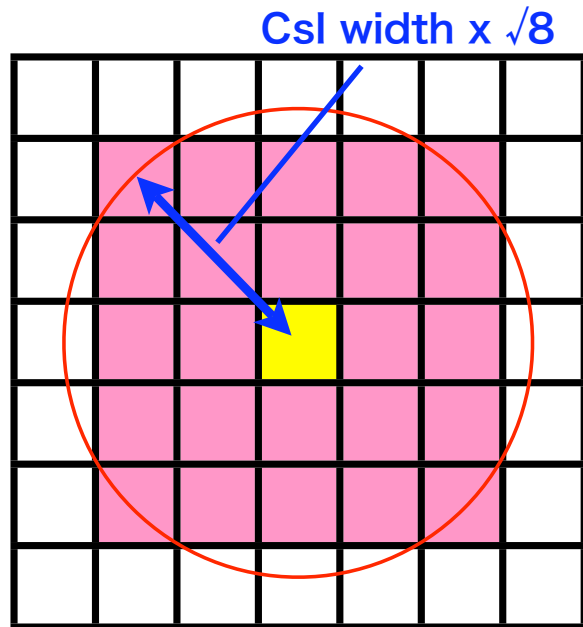
クラスターに含まれるCsIに
落とされたエネルギーを列毎に
足し合わせ、最大の列を探す

E^x_0 と E^y_0 の列の交わる結晶を
クラスターの中心結晶とする

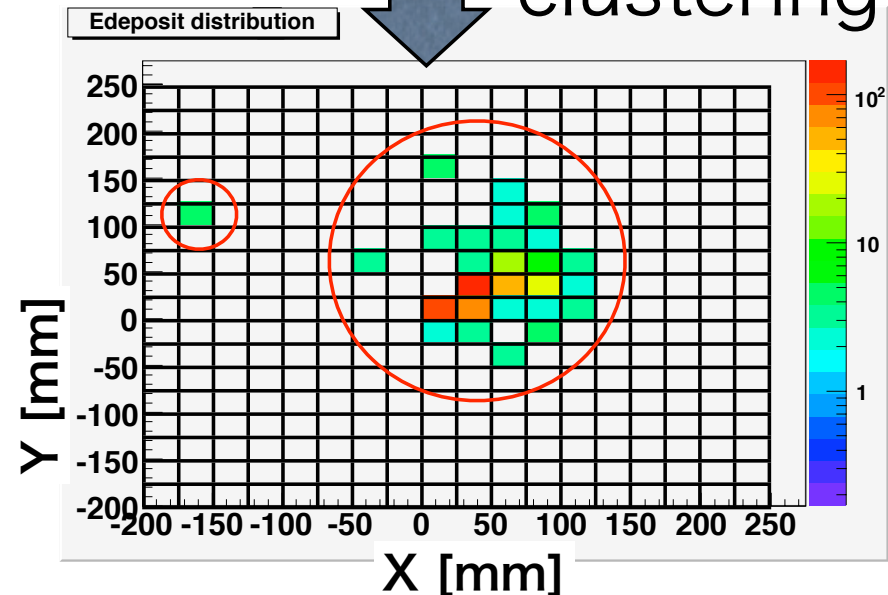
中心結晶周りの9x9本のCsIについてmapを作る

クラスタリング

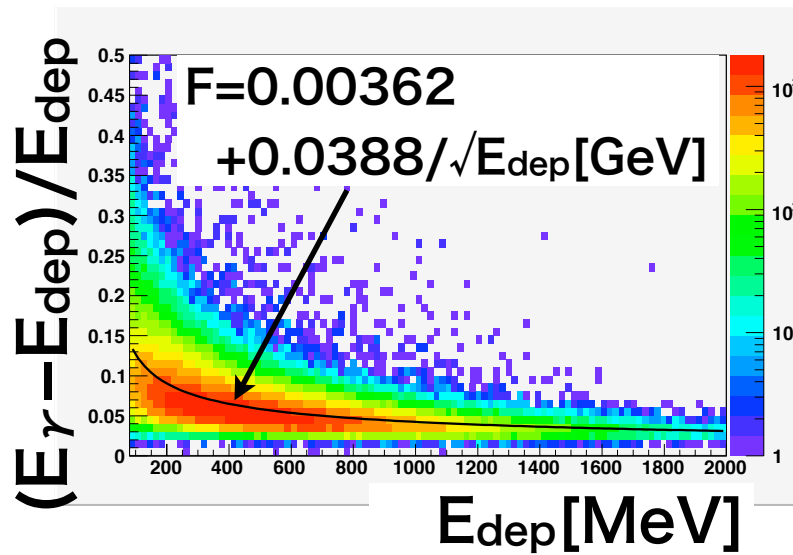
1.5MeV以上のエネルギー
を持つ結晶のうち、互いの距離が $2.5\text{cm} \times \sqrt{8}$ のものをまとめる



clustering

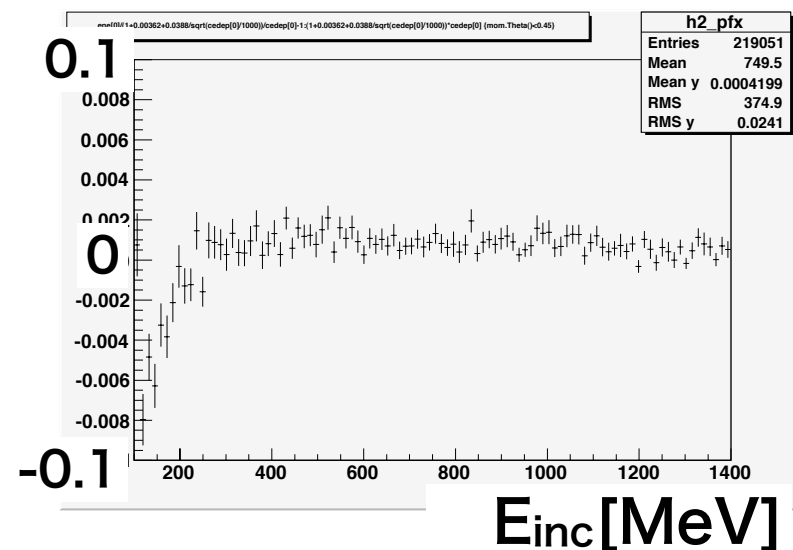
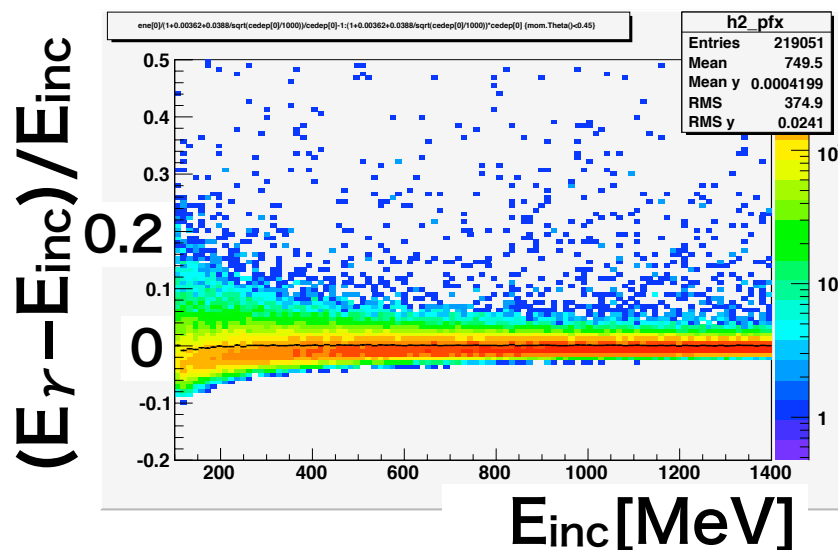


エネルギーの補正



クラスターに含まれる
energy deposit(E_{dep})
と入射エネルギーとの差を補正

$$E_{\text{inc}} = (1 + F) E_{\text{dep}}$$



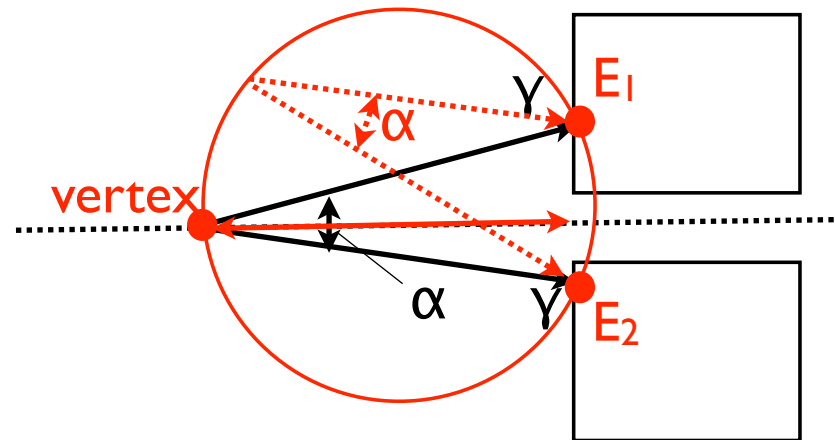
入射角度の読み出し

観測された 2γ が π^0 から発生したと仮定

4元運動量の保存から

$$P_{\pi} = P_{\gamma 1} + P_{\gamma 2}$$

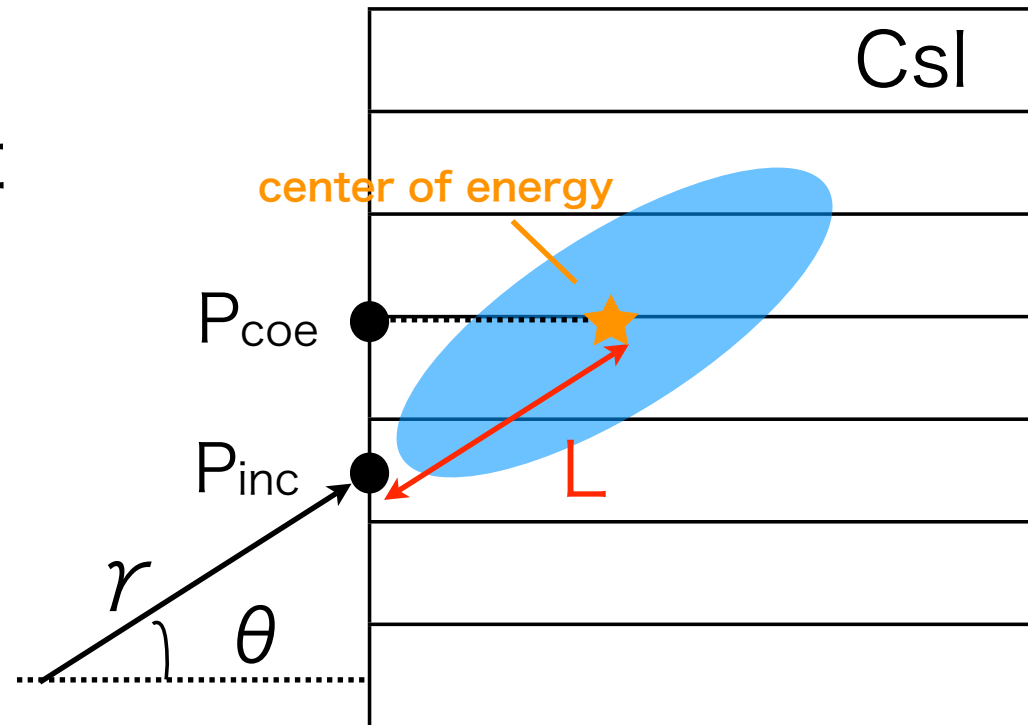
$$\rightarrow \cos\alpha = 1 - M_{\pi}^2 / 2E_1 E_2$$



クラスターの重心を通り、円周角が α の円と
ビーム軸との交点を π^0 の崩壊点とする

入射位置の補正

クラスターのエネルギー重心を使って π^0 を組んだが、シャワーの長さ分、重心と入射位置はずれる。

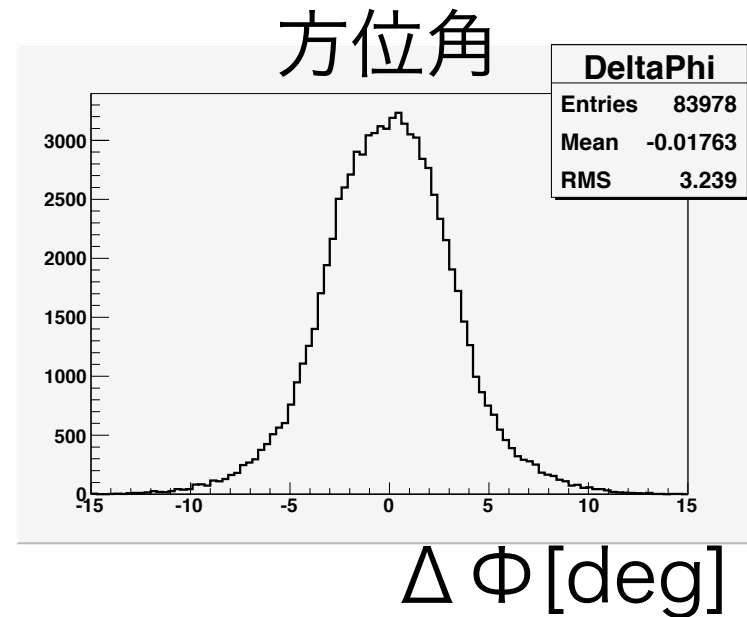
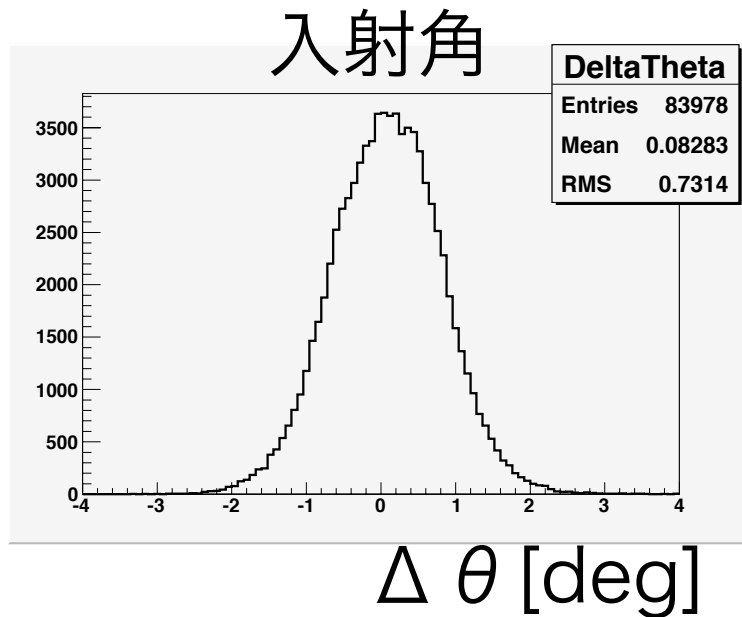
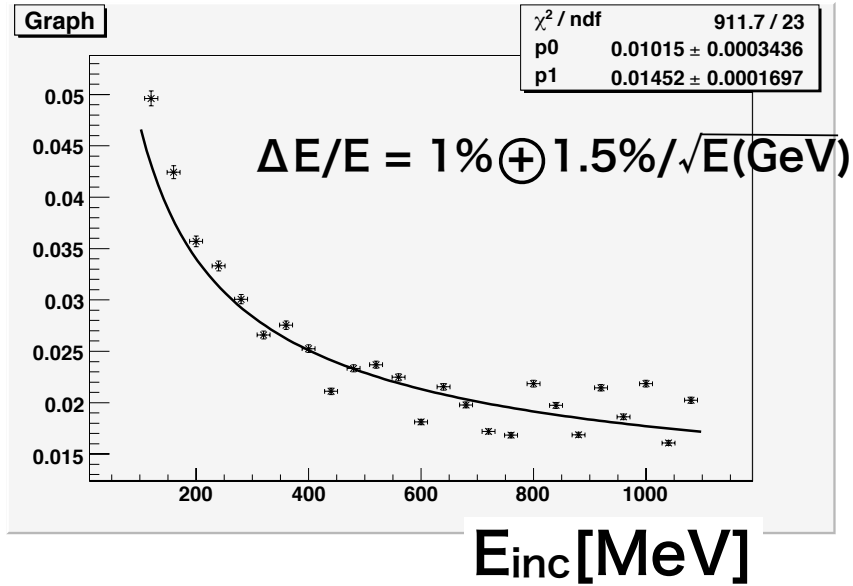


$$P_{inc} = P_{coe} - L \sin \theta'$$

$$L[\text{cm}] / X_0 = 6.490 + 0.993 \text{Log}(E[\text{GeV}])$$

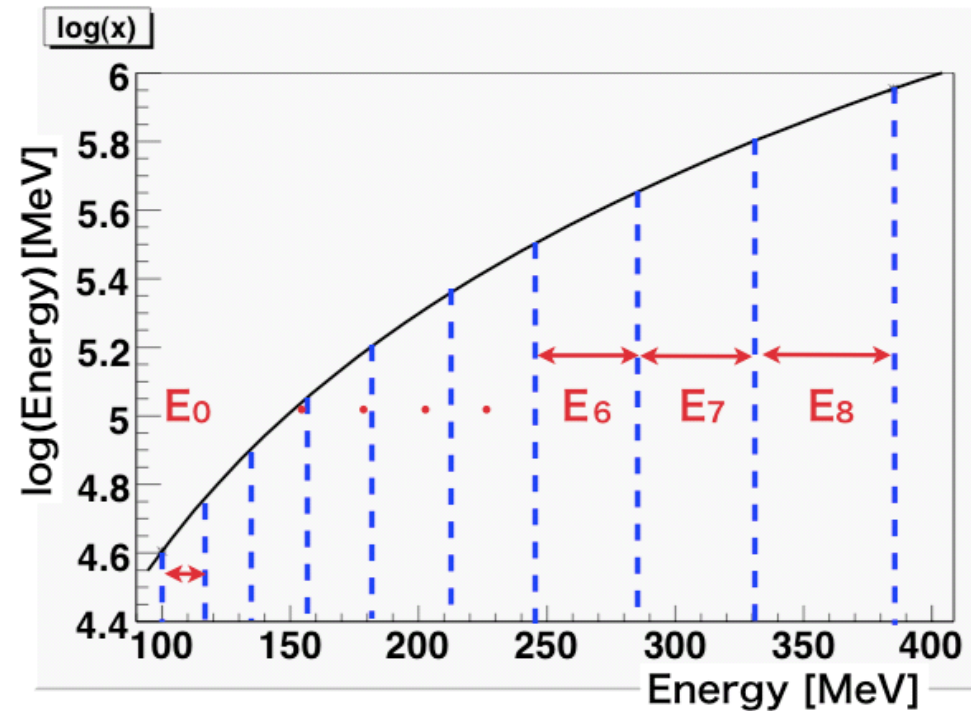
θ' : エネルギー重心を使って求めた入射角

分解能



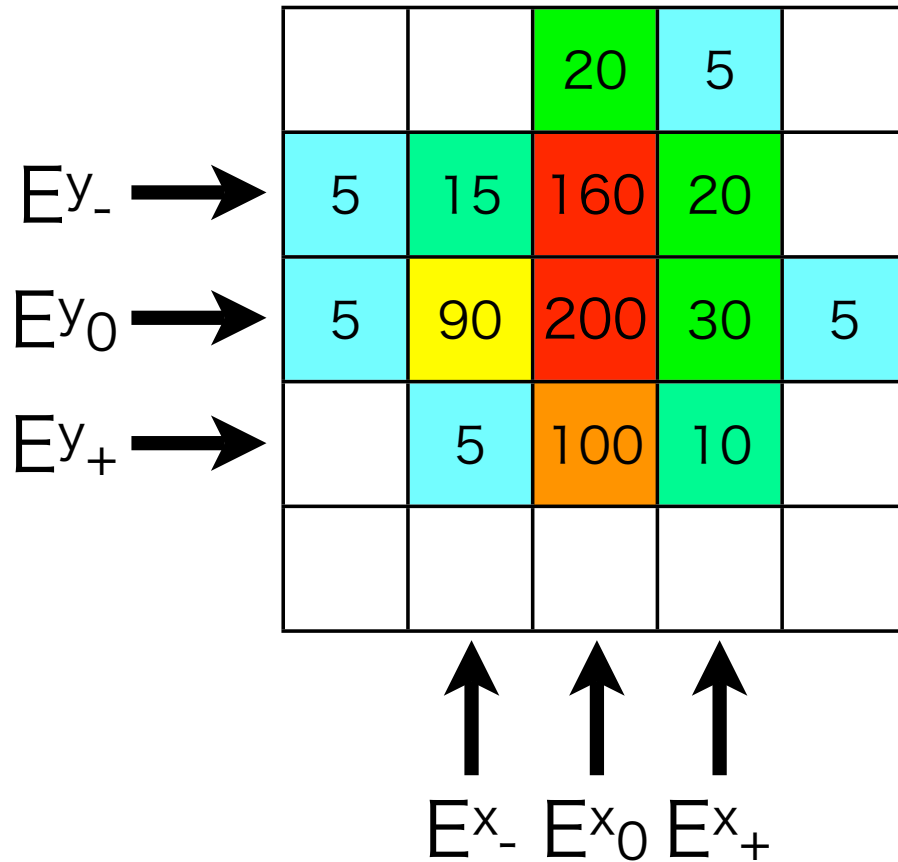
E, θ , ϕ のマップ区間分け

- ・Eは対数の変化が一定になるように100~2000MeVを20binに



- ・入射角 θ は2.5~42.5度を2度刻みで20bin
- ・方位角 ϕ は0~45度を7.5度刻みで6bin

シャワー発生位置の読み出し



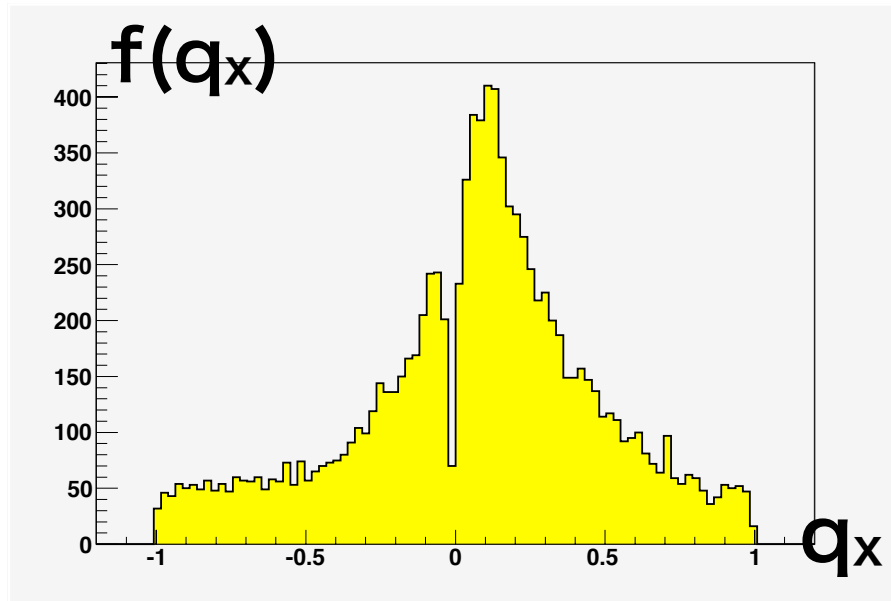
最大のエネルギーの列 E_{x_0} と隣
の列のエネルギー比をとって
シャワーの偏りを計算

$$|q_x| \equiv \frac{\max(E_{-}^x, E_{+}^x)}{E_0^x}$$

$$\begin{aligned} \text{if}(E_{-}^x > E_{+}^x) q_x &= - |q_x| \\ \text{if}(E_{-}^x < E_{+}^x) q_x &= + |q_x| \end{aligned}$$

E_{x_0} と E_{y_0} の列の交わる結晶を**クラスターの中心結晶**とする

列エネルギー比のマップ区間分け



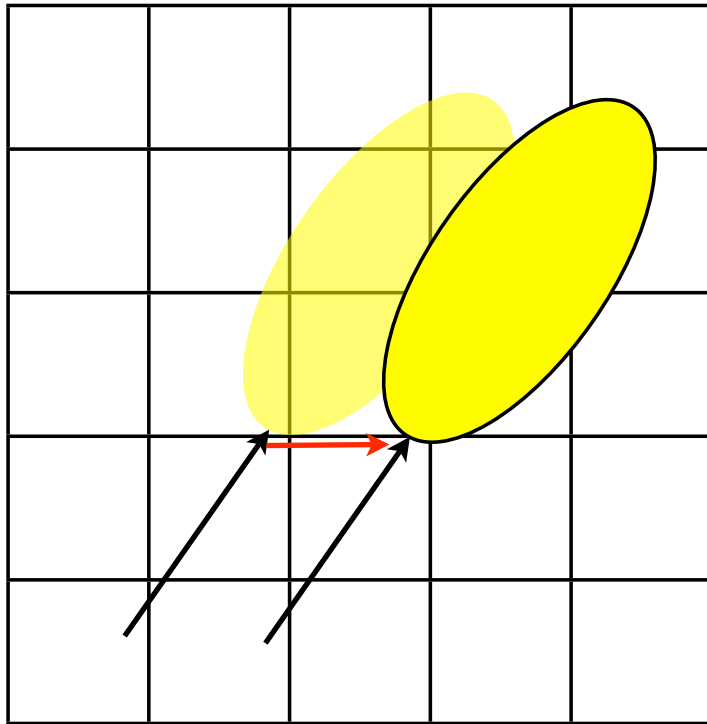
q_x の値は最大のエネルギーの列
に対するシャワーの発生位置に
よって変わる

⇒ q_x の値から発生位置が見積も
れる

シャワーの発生地点の x は

r をCsl結晶に一様に入射させたときに得られる分布 $f(q_x)$ を用いて

列エネルギー比



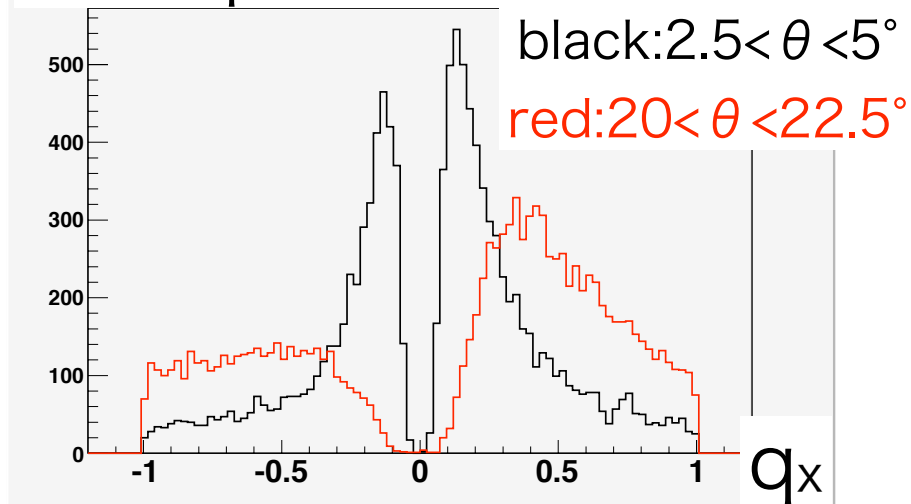
シャワーの発生地点のx座標が
変わると q_x も変化し
1本分動くともとの値に戻る

⇒列エネルギー比は
エネルギー最大の列に対する
シャワーの発生位置を
あらわす量

列エネルギー比 q_x 、 q_y をビン分けしてマップを用意

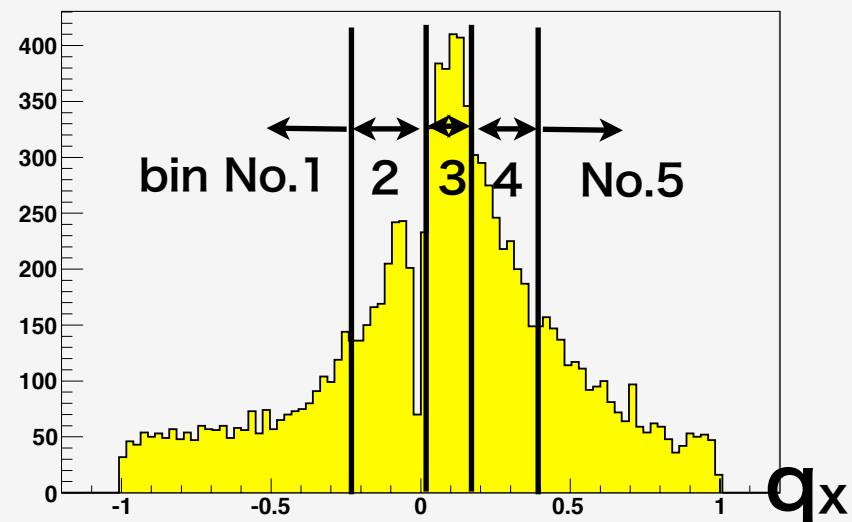
列エネルギー比のマップ区間分け

q_x distribution

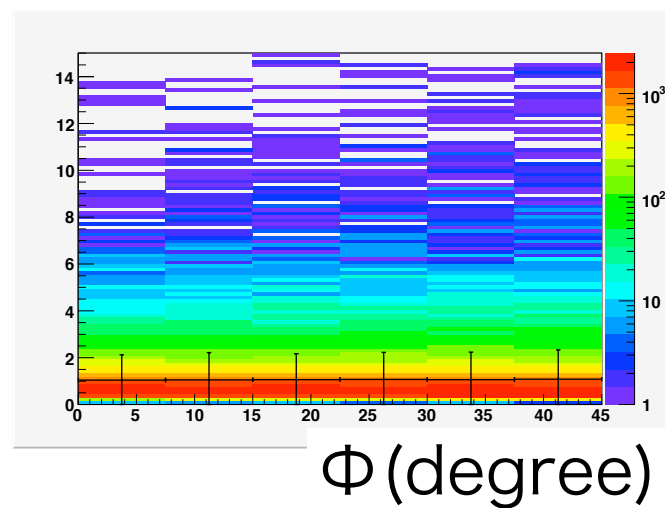
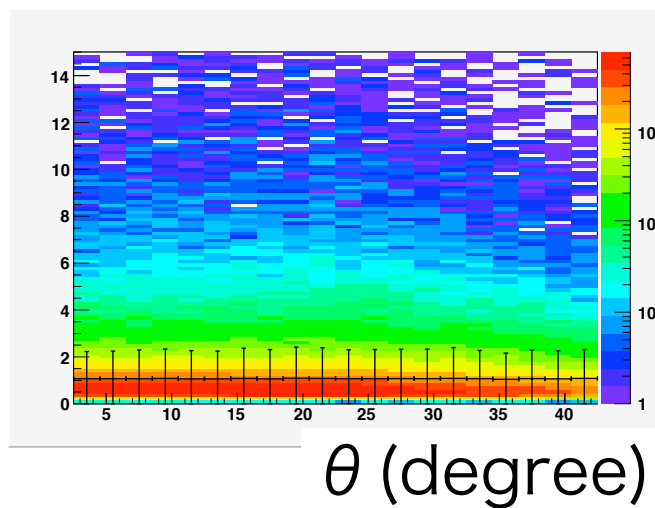
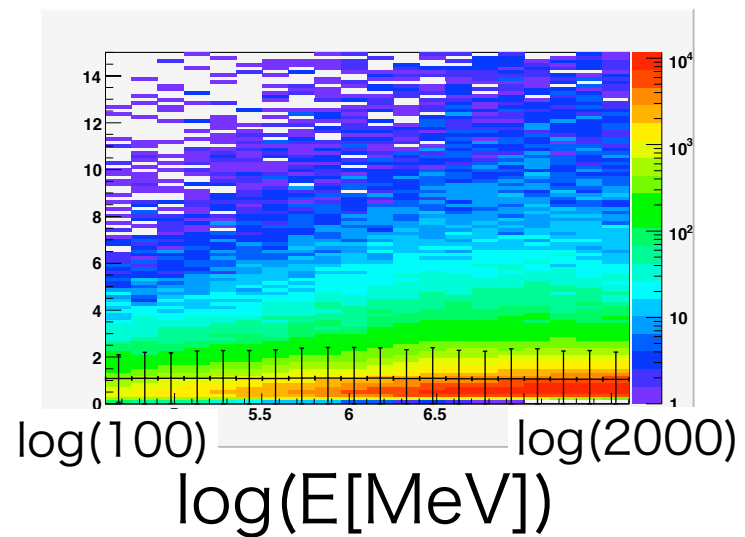


q_x, q_y は r の運動量によって
値は変わる
 $\Rightarrow E, \theta, \phi$ のマップを
用意する区間毎に
 q_x, q_y の分布も用意

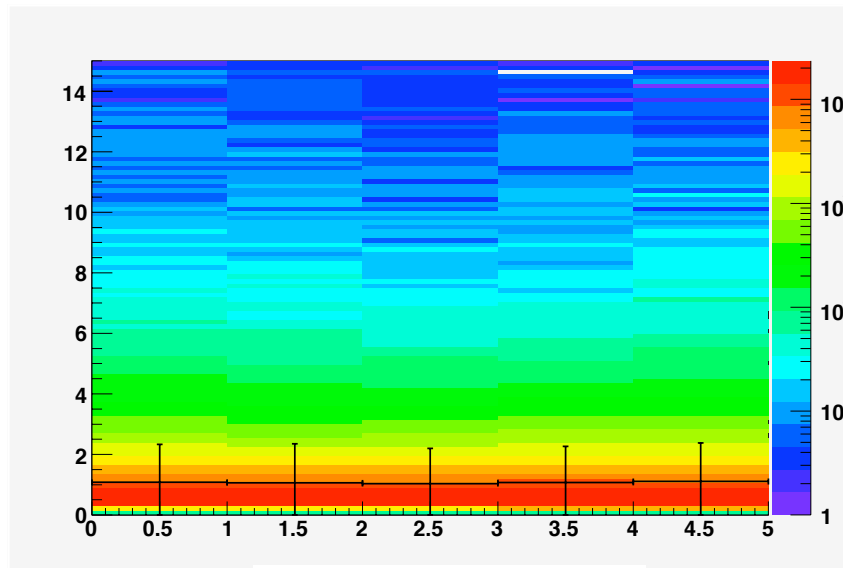
それぞれの分布を
区間内の事象数が同じになるように
5区間に分ける



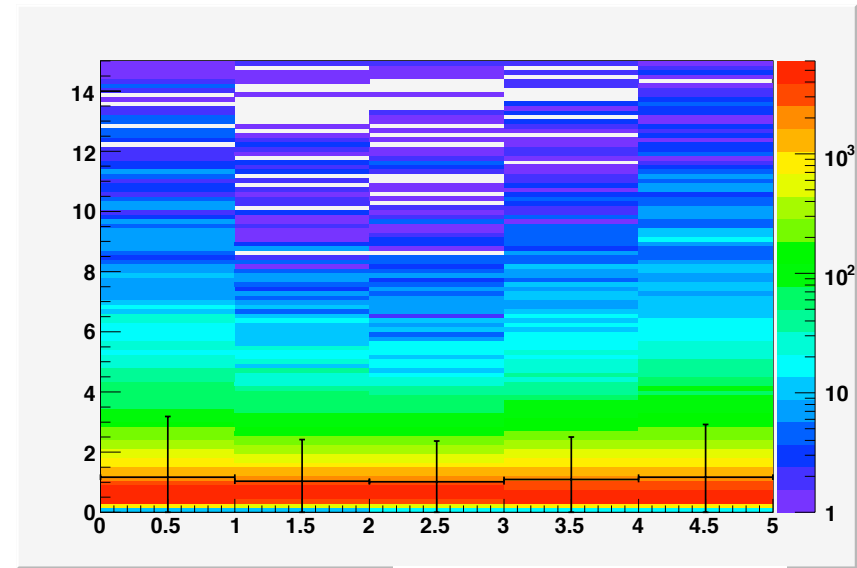
χ^2 の依存性



χ^2 の依存性



q_x (ビン番号)

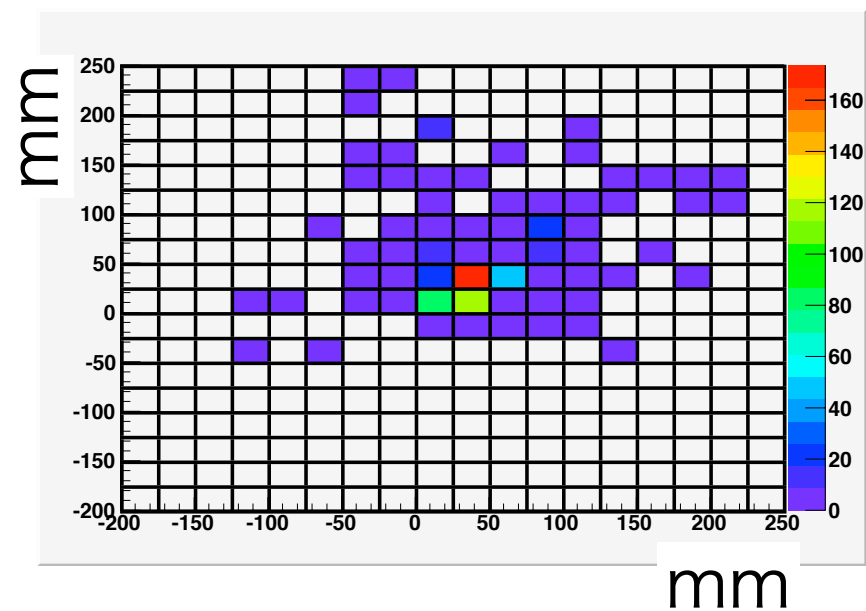
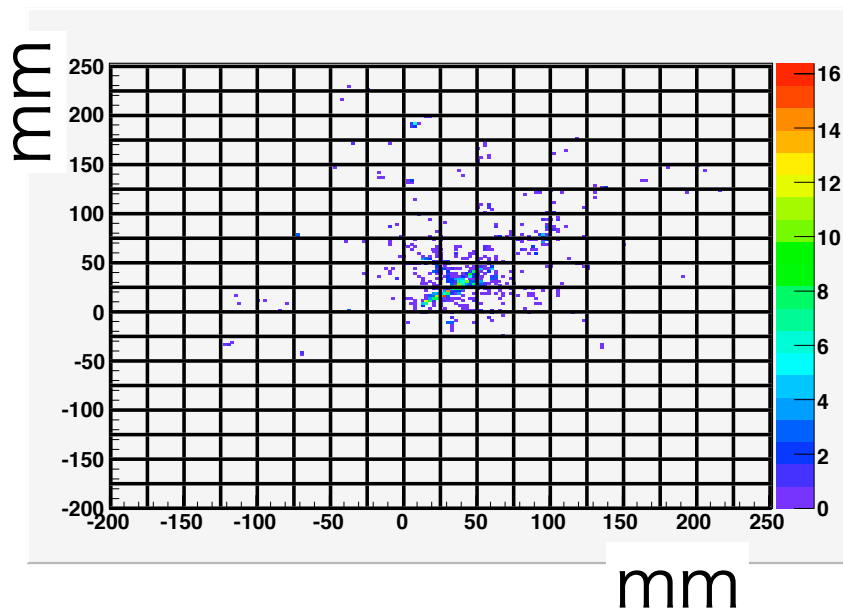


q_y (ビン番号)

map作成時の検出器

2.5mm(実際の1/100サイズ)のCslを隙間無く配置

⇒100本まとめて2.5cm角Cslを再現



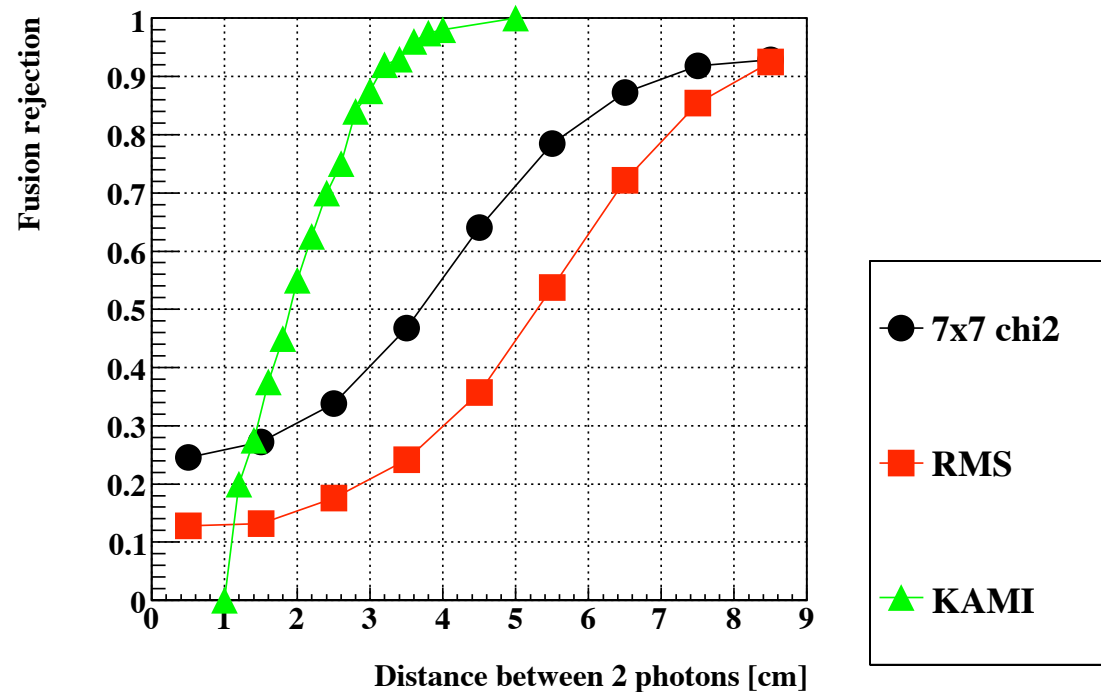
まとめる100本をスライドさせ

1つの r から様々な q_x, q_y のデータを得る

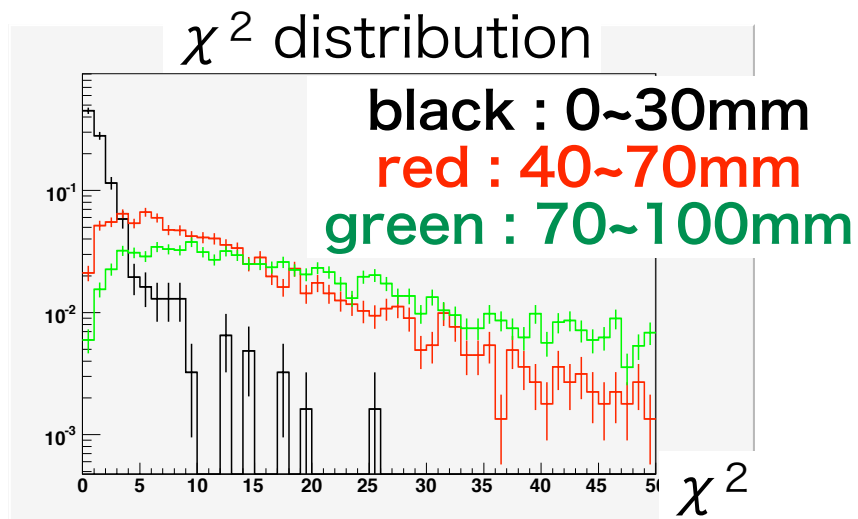
現行の χ^2 カット

fusion function

現行のfusion事象の見積もりは電磁シャワーをシミュレーションせず、fusionをおこした 2γ の入射位置の距離でcutで切る確率を決めている



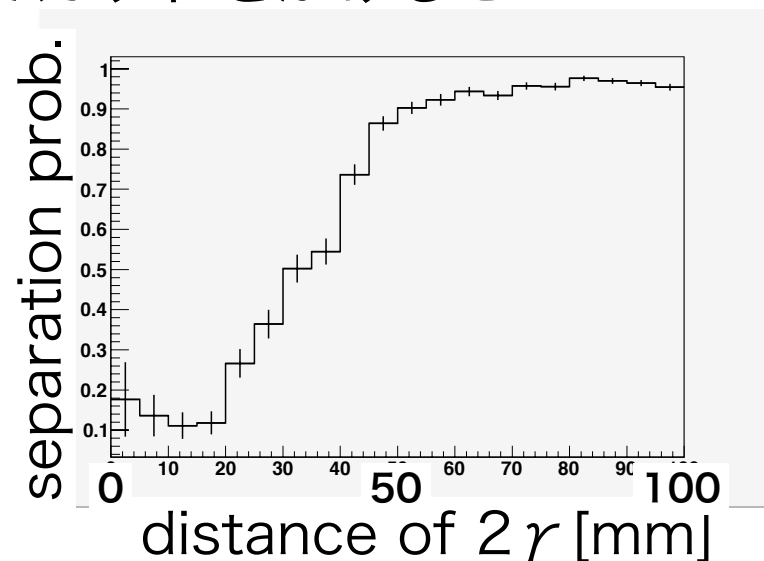
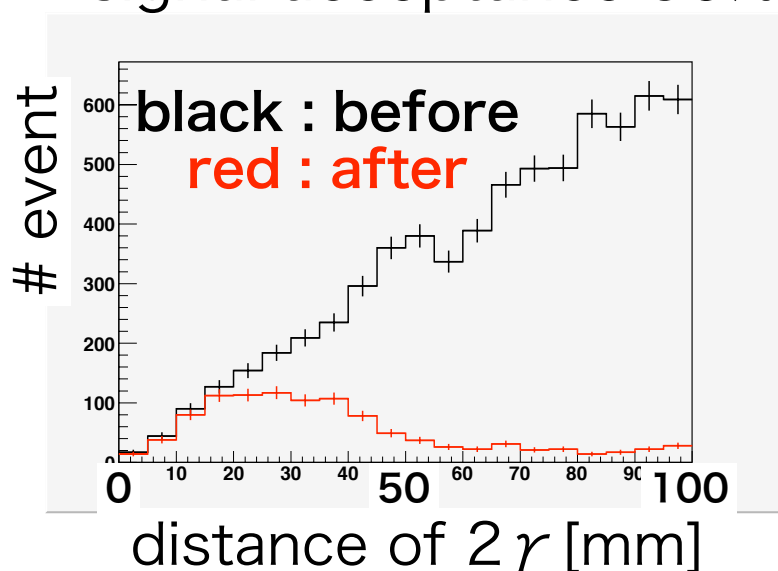
どのようなfusionが判別しにくい？



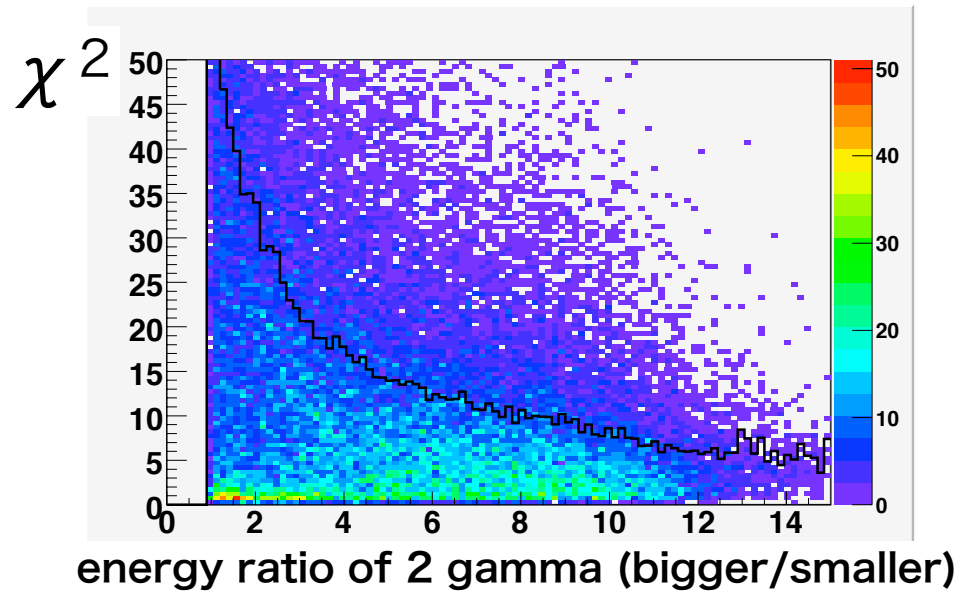
← 2γ の距離別の χ^2 分布

やはり 2γ の距離には
強く依存

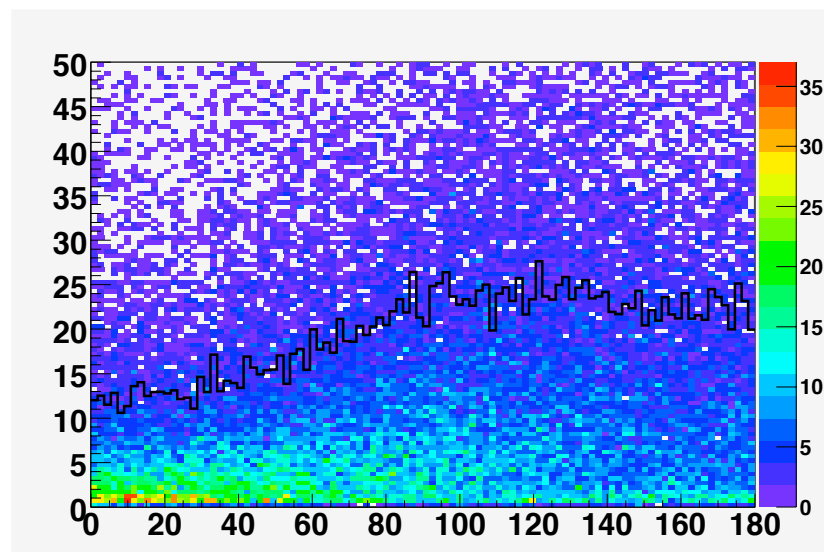
signal acceptance 90%でカットをかけると



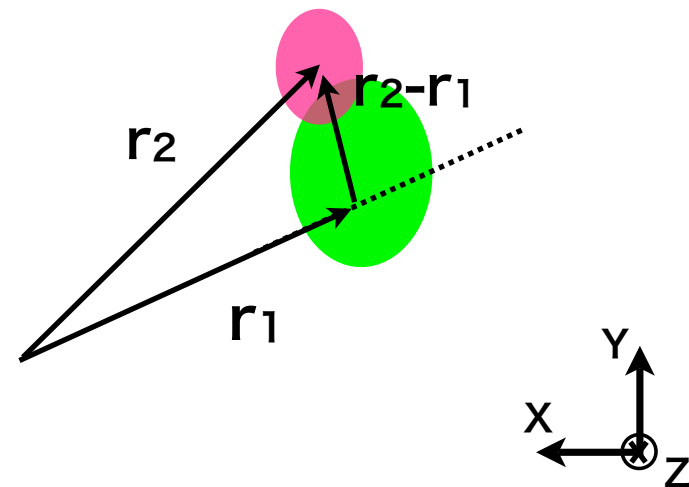
どのようなfusionが判別しにくい？



r の距離以外にも
fusionの判別に影響する
パラメータはある
→今回の結果はより正確



($r_2 - r_1$)と r_1 がx-y平面上でなす角[deg]



irannsuraido

事象の重み

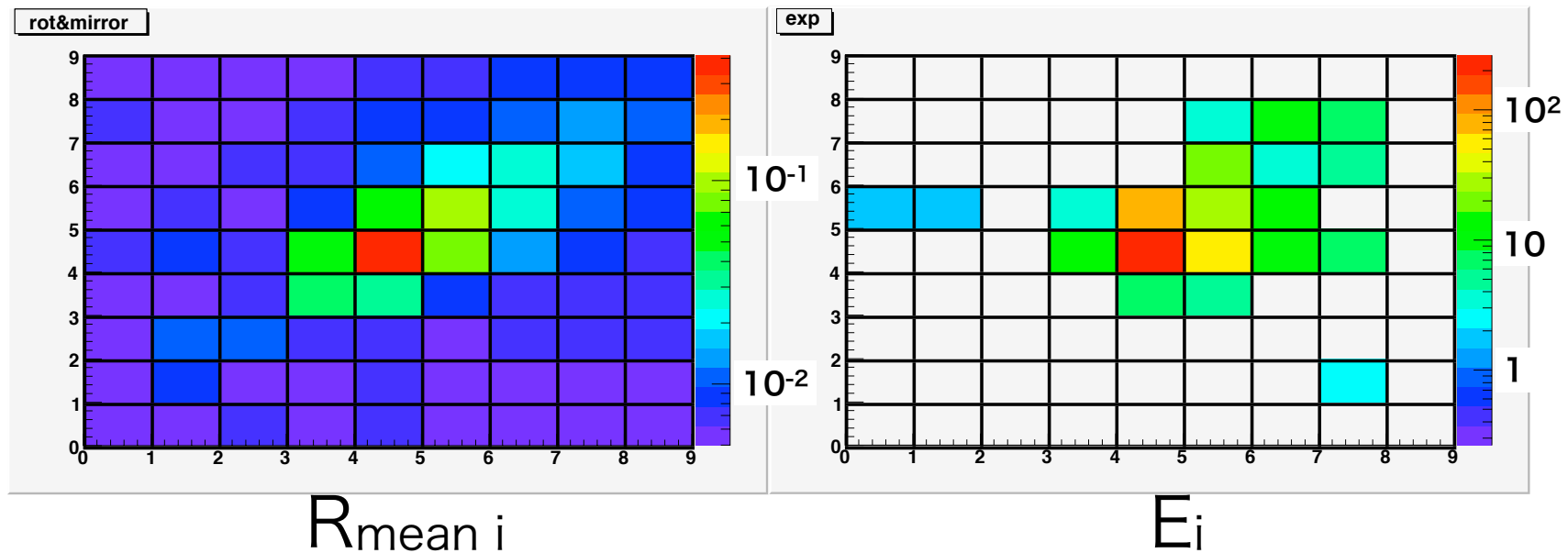
新しいmapの作成

★ r のエネルギー E ・入射角 θ ・方位角 Φ
および結晶中でのシャワーの発生位置を
いくつかの区間にわけ、
その区間毎にmapを用意する

新しいマップを使って χ^2 cutを改善しよう

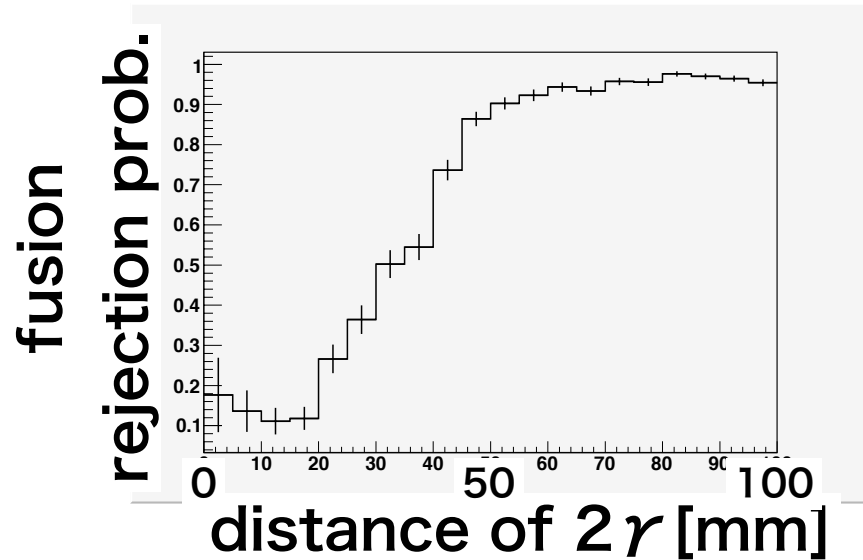
χ^2 cut

$$\chi^2 = \sum_{CsI \text{ in cluster}} \left(\frac{E_i / E_{cluster} - R_{mean i}}{R_{RMS i}} \right)^2$$



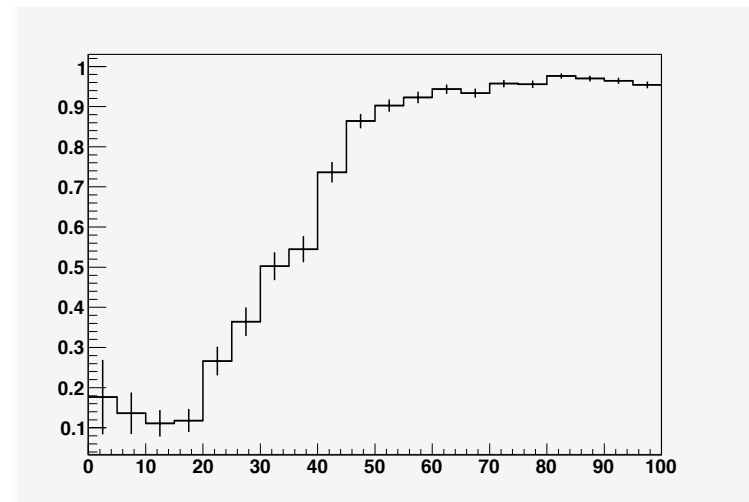
hitのあったCslについて計算する

どのようなfusionが判別しにくい？

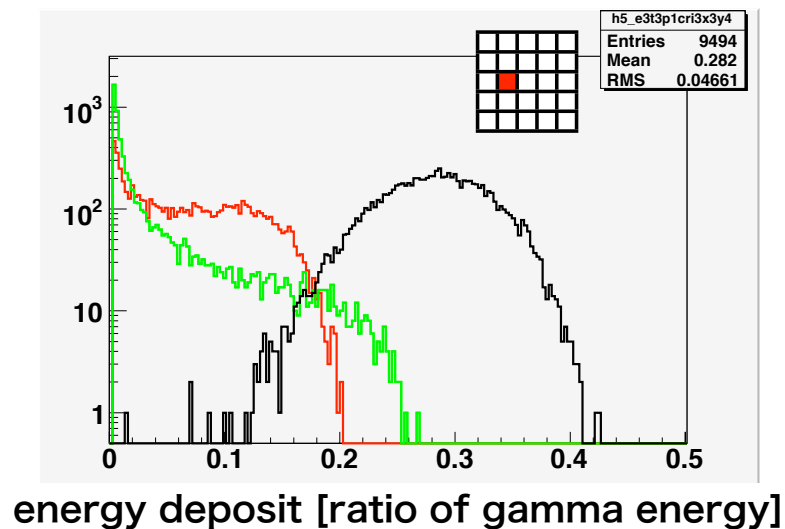
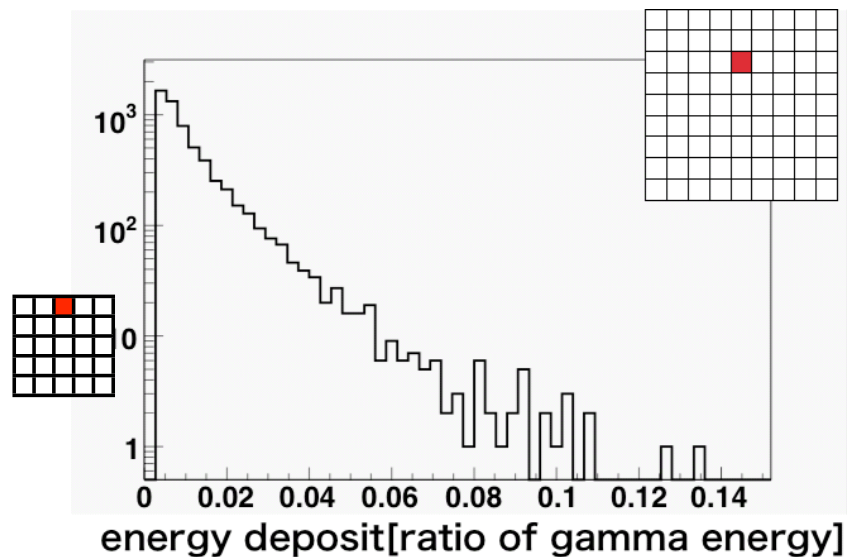
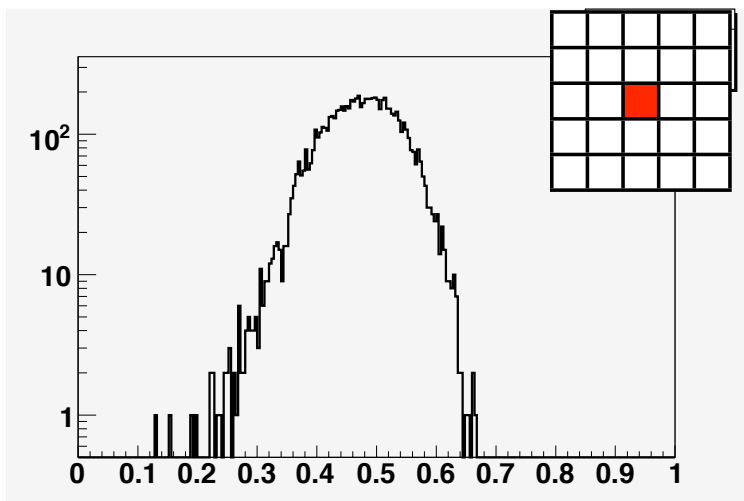


← fusionをおこした
 $2r$ の入射位置が近い
と分けにくい

$2r$ のenergyの比が →
小さいと分けにくい



さらに改善するには



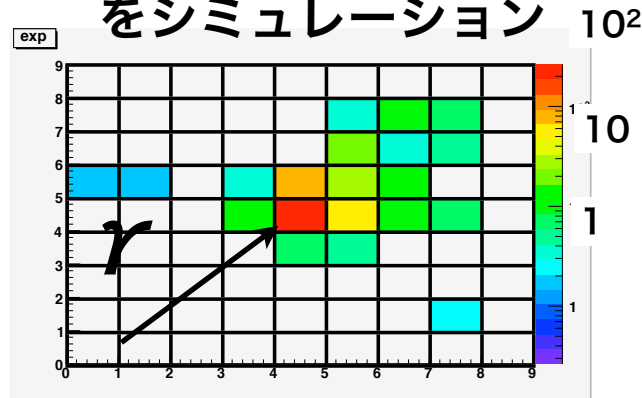
mapにはエネルギー分布の
meanとRMSのみを記録
⇒分布の形を記録して
likelihoodを用いることで
更なる改善を期待

mapの使い方… χ^2

mapとの比較は χ^2 で

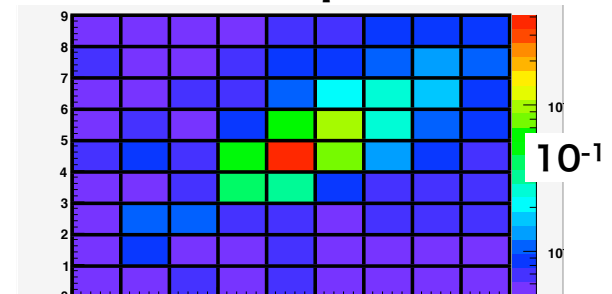
$$\chi^2 = \sum_{CsI \text{ in cluster}} \left(\frac{E_i / E_{cluster} - R_{mean_i}}{R_{RMS_i}} \right)^2 \div N_{csi}$$

シグナル事象が作るクラスター
をシミュレーション

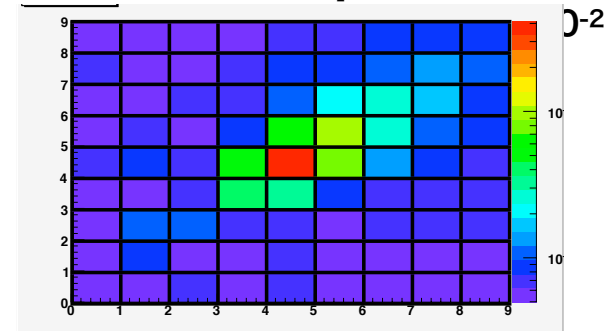


読み出した
 E, θ, Φ, x, y , に
対応するマップ
を呼び出して
比較

対応するmapの R_{mean}



対応するmapの R_{rms}



現行の χ^2 cut

2 γ が重なる分clusterは歪むはず

⇒E14実験ではfusion eventをclusterの形から判別する

χ^2 cut が準備されている

χ^2 cutとは

- ・事前に1 γ の作るクラスターをシミュレーション
- ・エネルギー重心のあるCsIを中心とした
7x7本に落とされるエネルギーの平均値とRMSを記録
(shower shape map)

$$\chi^2 = \sum_{7 \times 7 \text{CsI}} \frac{(E_i - E_{\text{mean}_i})^2}{E_{\text{rms}_i^2}} / 49$$

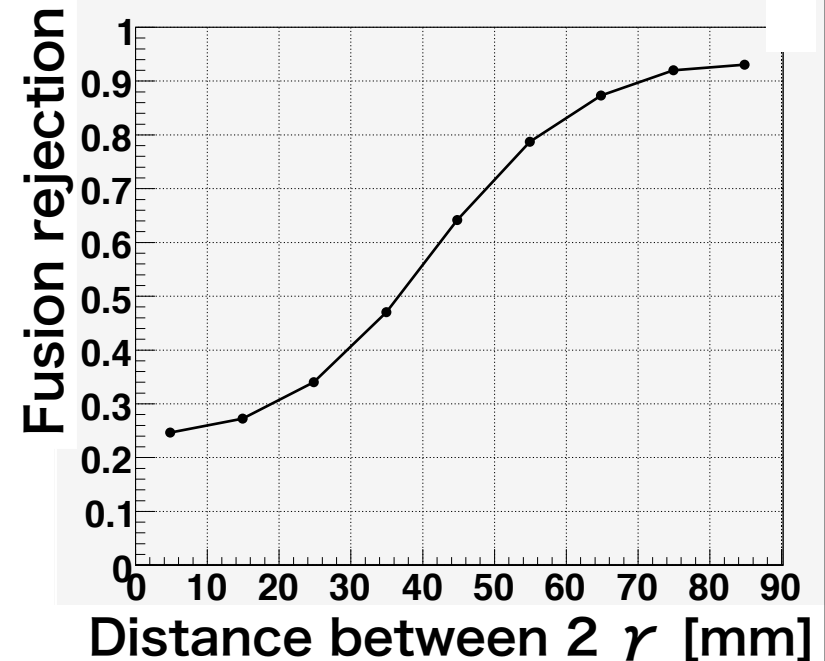
fusion事象の見積も

fusion事象数の見積もり方の問題点

現在の見積もりは電磁シャワー
をsimulationしていない

fusion事象をrejectできるかは
 $2r$ の距離のみによって決める

⇒距離だけで決めていいの？



full simulationで行って、

- ・事象数を見積もろう
- ・cutしにくいfusion事象の特徴をさぐる