PHENIX EMCal を用いた p^0 生成スペクトルの測定

Ken Oyama @ CNS, University of Tokyo

Member List

Suzana Botelho	BNL
Gabor David	BNL
Hideki Hamagaki	CNS
Kensuke Homma	HIROSHIMA
Souichirou Kametani	WASEDA
Stephen Markacs	BNL
Takashi Matsumoto	CNS
Saskia Midouszewski	BNL
Shunji Nishimura	CNS
Takao Sakaguchi	CNS
Craig Woody	BNL

話の内容

1. 見ようとしている現象
2. 解析方法と準備の状況
3. まとめと将来展望

PHENIX・・・今年 6 ～ 9 月に140 A GeV 物理実験を開始

Au＋Au：140 ~ 200 A GeV　L = 0.02 ~ 2 x 10^{26} cm^2s^{-1}

p＋p：　140 ~ 250 GeV　　L = 2 x 10^{31} cm^2s^{-1}

OYAMA・・・現在 D4, 早めに D をとりたい　　従って…

Year 1 Physics として

QGP への相転位 がおきたときに観測されるであろうシグナルのうち、以下の観測を、総合的に行うことを考えている。

1. クォーク物質中におけるジェットの減速効果 (Jet Quenching)

Parton 衝突により発生する Jet が、Quark, Gluon ガスにより減速される "Jet Quenching" 効果により、γ の主なバックグラウンドとなる π^0 の Pt が、大幅に減少。

2. 熱平衡状態の系からの光子放出

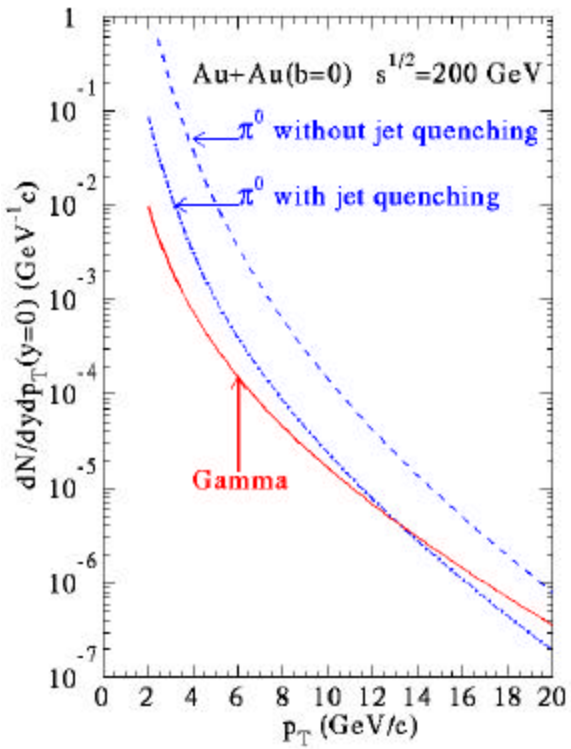
ハドロン相のみの場合に比べ、Pt < 3 GeV/c 程度の運動量を持つ Direct γ Electron pair の生成量が増加。

- Pt ～ 2 GeV : Gluon Compton scattering.
- Pt < 1 GeV　: Thermal Radiation from Hot QGP gas.

***. 上の二つの効果によって、結局、高 Pt における g/p^0 比の増加**

π^0 の測定が、直接、Thermal Photon Radiation 観測のための Background Study につながる。

- One QGP signature (quenching) helps another ⇒
- Large value of γ/π^0 at high p_T :



X.-N. Wang, PRC58(1998)2321

Jet の Energy Loss の大きさ

クォーク物質内ではハドロン物質内に比べて大きく、1GeV/fm 程度と推測される。

衝突系の大きさが、十数 fm あるため、この効果は十分観測可能。

重イオン衝突 → 高 Multiplicity のために Jet 全体を捕らえることは難しく、leading 粒子を捕らえる。

これまで行われてきた測定

CERN WA80 実験、CERES 実験などで行なわれてきた。

その結果、単光子スペクトルは、クォーク相とハドロン相からの両寄与があるとして説明できる。しかしこの結果は、光子生成量の下限が抑えられていないことと、不確定性が大きい事から、確実とはいえず、PHENIX において、精度良く測定可能。

ジェットの減速についても、確実な実験的証拠はまだ無い。

測定量

電磁カロリメータ (EMCal) を用いた π^0 の測定 ($\pi^0 \rightarrow 2\gamma$) を考える (トラッキングは基本的に使用しない)。

Jet Quenching を調べるためには、20 % 程度の精度で収量を測定する必要がある。

7 0 K ev. HIJING によるテストで、すでにある程度の精度は得られそう？ (初年度の測定では、1 M ev. 以上のデータを蓄積)

→ 初年度の RUN において、最も早く結果を出せる可能性がある

光子スペクトルの測定 (将来の予定)

RHIC のルミノシティがデザイン値付近に達すると、単光子の測定が現実のものとなる。このさい、主に $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ がバックグラウンドとなるが、この寄与を消去し、γ スペクトルを求めねばならない。 そのために、先に測定した π^0 スペクトルが欠かせない。

実験データの見積り → 1ヵ月間のデータで、光子生成量を系統誤差 5 % 以内で測定可能。

理論の予想 → QGP が存在すると、およそ 20 % の生成量の増加。

Electromagnetic Calorimeter

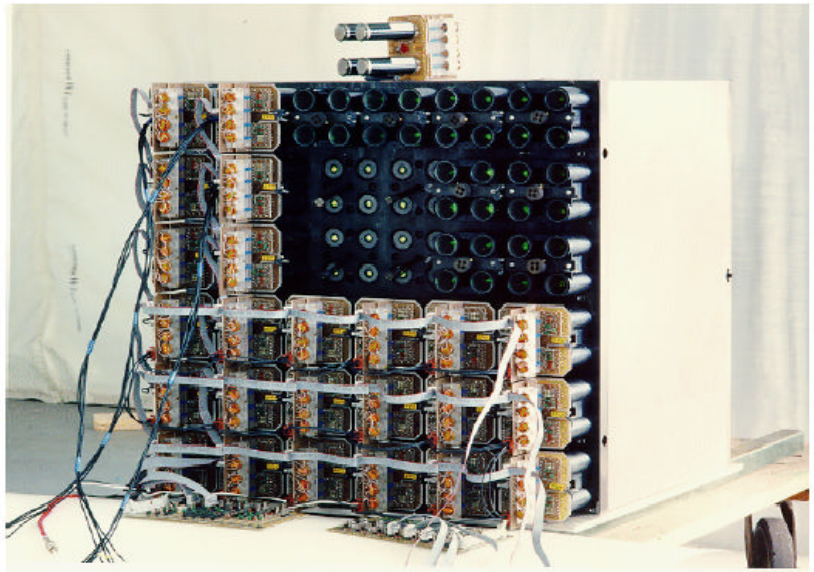
- Pb-Scintillator Shish-Kebab タイプ
- Geometrical Acceptance

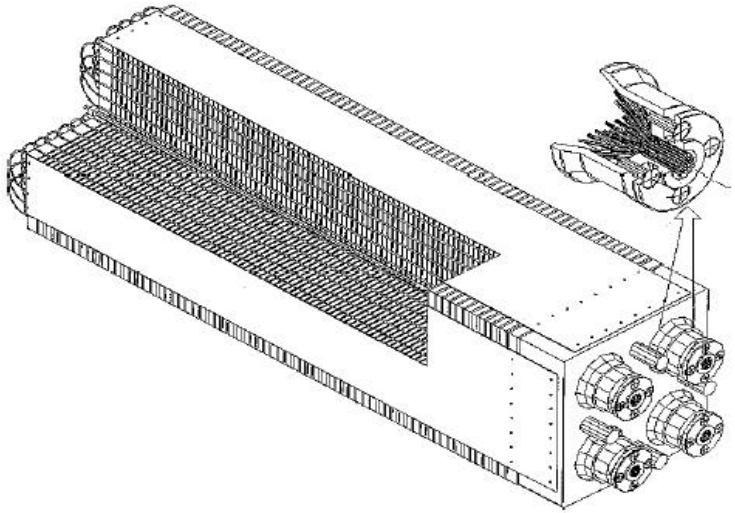
  $-0.35 \le ç \le 0.35 \quad (70° \le è \le 110°) \quad Äj = 135°$
- Energy Resolution $s / E = 7.8\% / \sqrt{E} + 1.5\%$
- Radiation Length 18 X_0
- Straight-through 225 MeV
- WLS Optical Fiber → PMT
- Collision Point からおよそ 5 m の距離に配置
- 15500 channels
- Segment Size 5.25 x 5.25 x 37.0 [cm^3]
- Occupancy - Au+Au central event で 20 % 程度

  全 Pb-Sc EmCal に 400 ～ 600 clusters

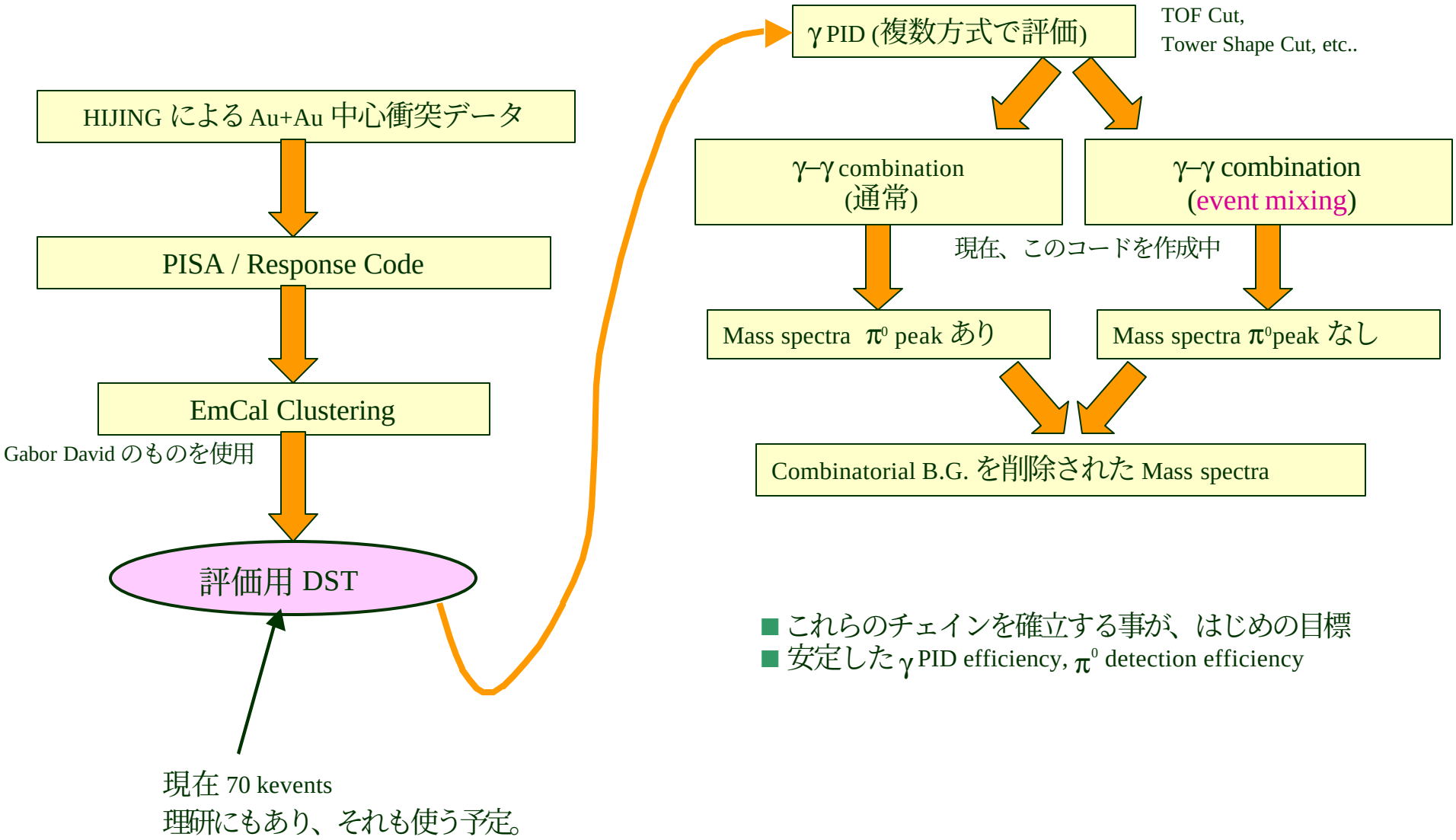
* 今回の解析では、 PbSc のみを使用し、PbGl は使用しなかった。

6 x 6 Super-Module





シミュレーション・解析の方法



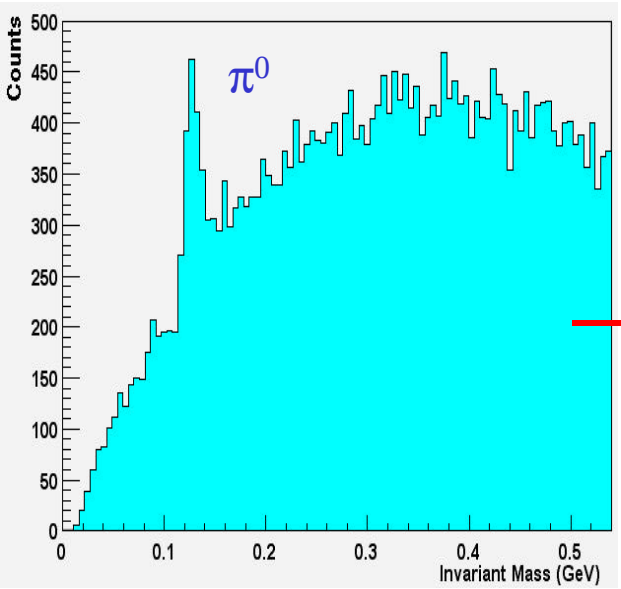
現在 70 kevents
理研にもあり、それも使う予定。

- これらのチェインを確立する事が、はじめの目標
- 安定した γ PID efficiency, π^0 detection efficiency

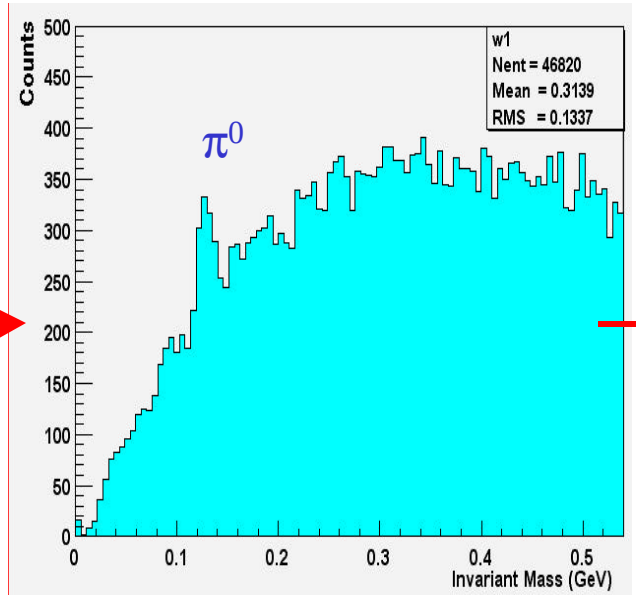
p^0 Reconstruction

- 複数のの γ PID 方式と Energy, Position の測定方式の組み合わせを用い、 EmCal のみを用いて、π^0 の収量を求め、評価する

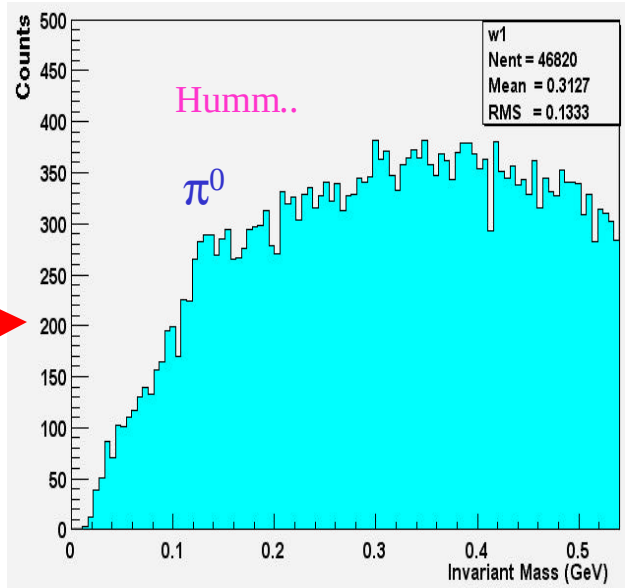
Parfect PID & Perfect Energy



Realistic PID (efficiency / contamination)

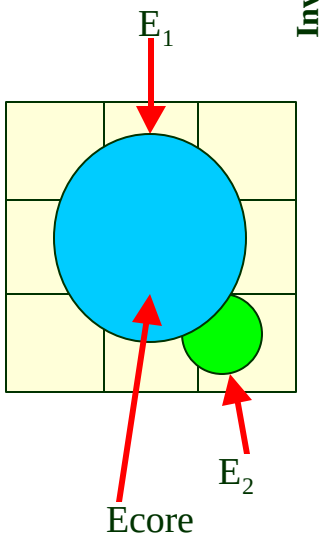


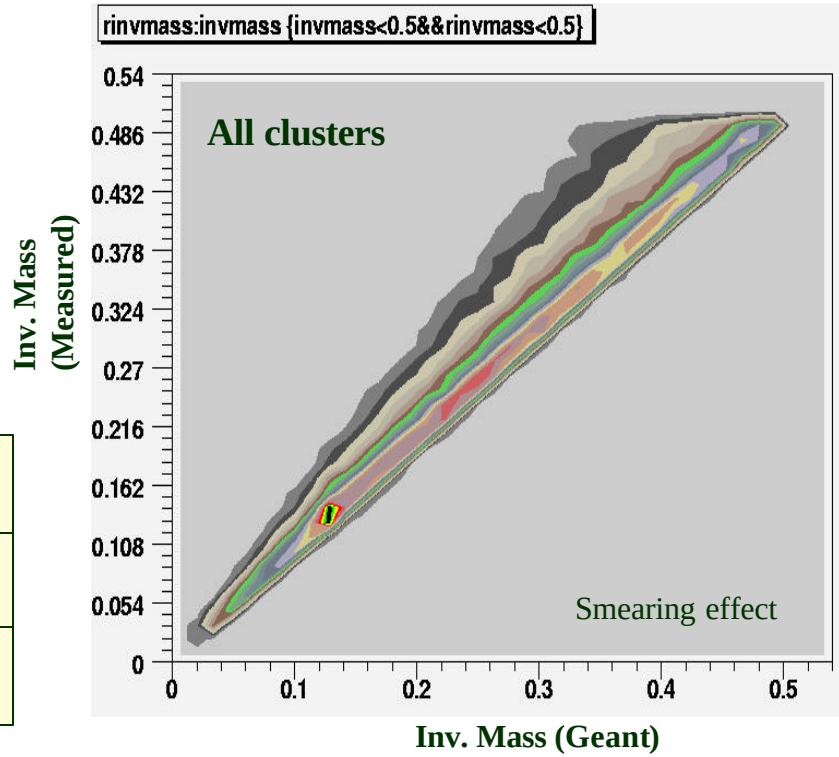
Energy resolution (smearing, etc)

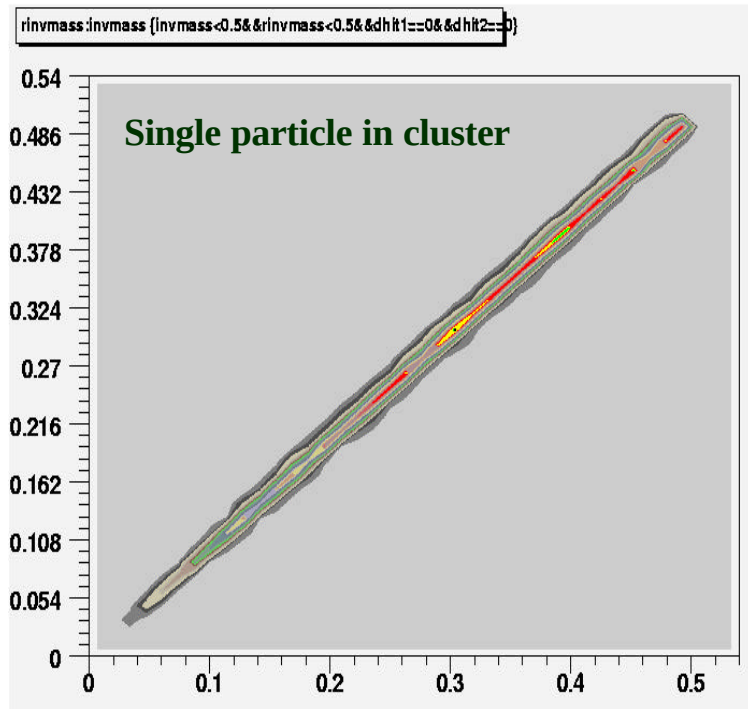


- Condition
  - Pt (γγ) > 2.0GeV/c
  - Asym. < 0.7
  - Au+Au central collisions
    b < 2fm
    ~ 17 k events
- Particle identification
  - Photon efficiency : 70%
  - Contamination : 20%
  - π^0 efficiency : ~ 50%
- Energy resolution
  - FWHM of π^0 peak : ~40MeV

Energy Smearing from Multi-Particle Hits in Cluster





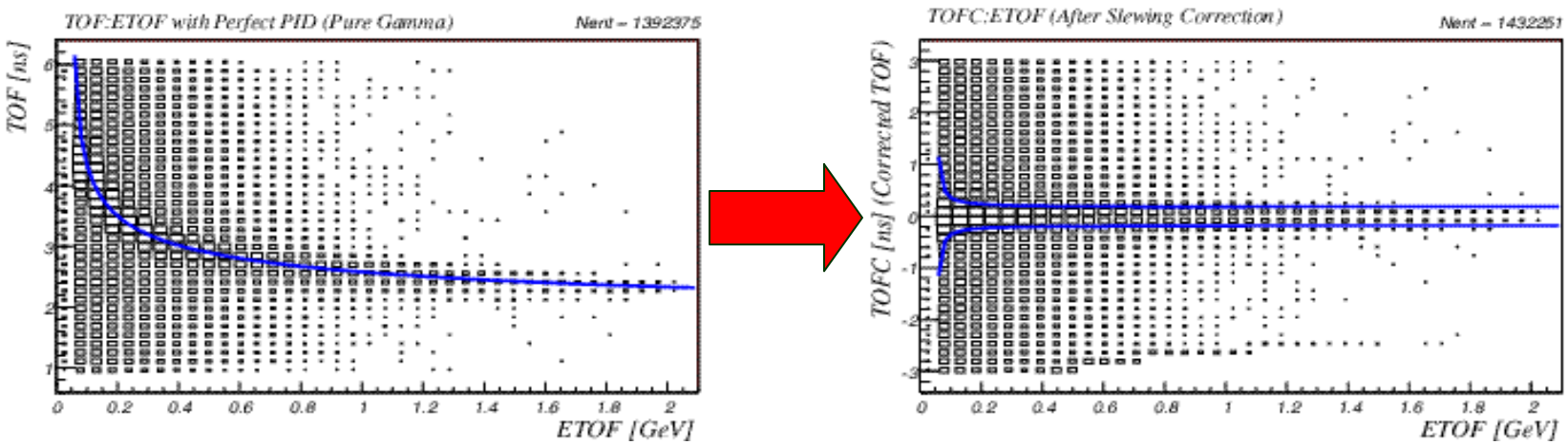


— Serious smearing effect due to muti-particle hits in cluster.
— Can't we improve energy separation in clustering method?

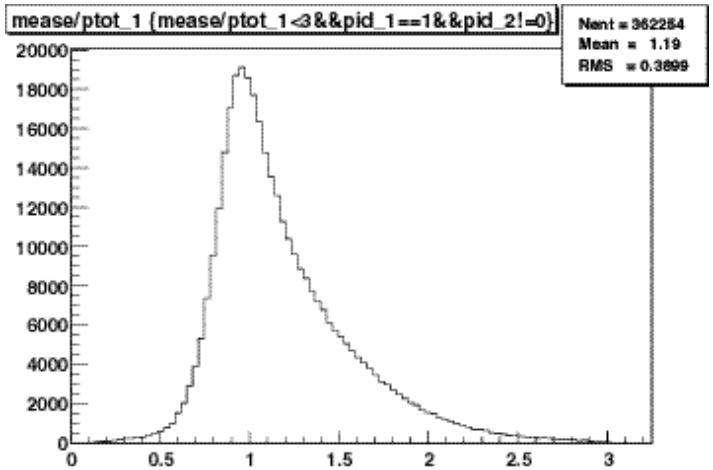
→ より良い、S/N ratio を目指す

g PID

- EmCal Time of Flight (ETOF) に対し、TOF Slewing Correction を施す
  - 適当な関数 $a+b/(\mathrm{ETOF}-c)^d$ を用いて Fit
- Corrected TOF< 2σ を要求
- これによって、90 % の γ Efficiency, 20 % 以下まで Back ground を除去



- そのほかのカットとして、Shower Shape, PC3 などがあるが、これらはまだあまり成功していない。

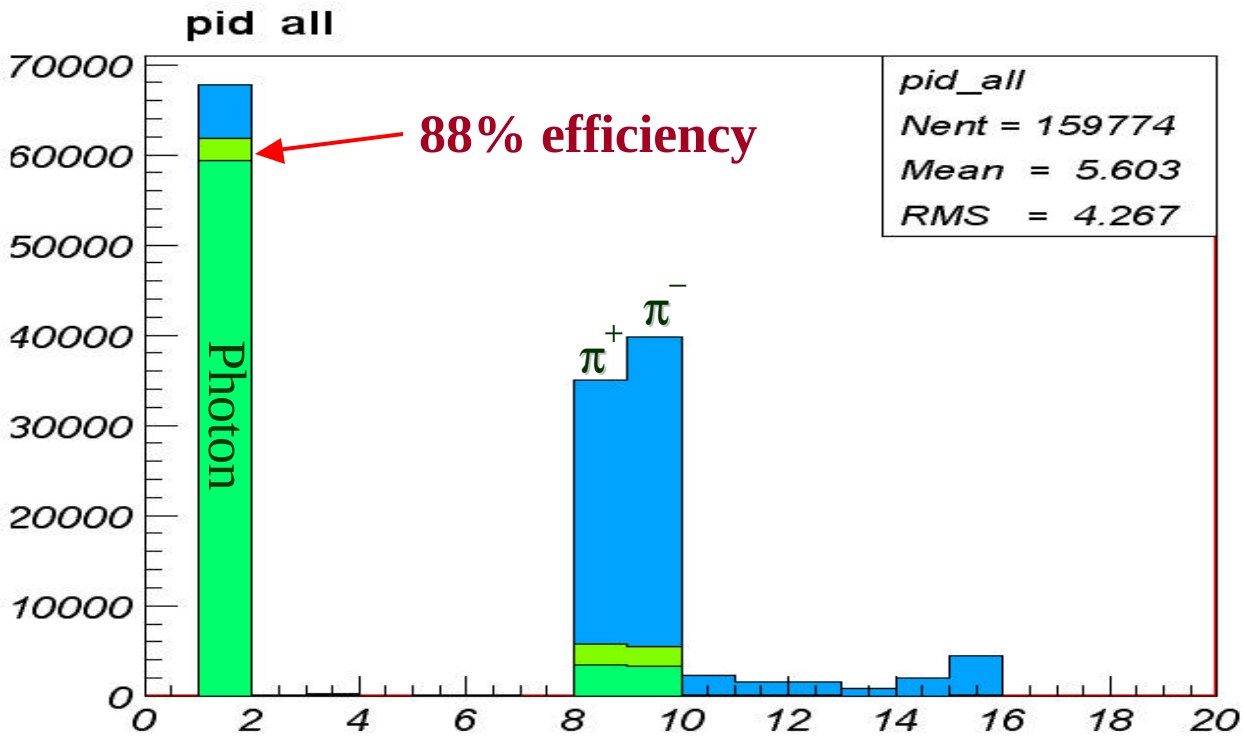


Photon に対して、同一 Cluster に他の粒子が入射している場合の、

測定エネルギー / オリジナルエネルギー

Contamination により、より高いエネルギーに、テールができる。

g PID Efficiency



Step 0. No cut

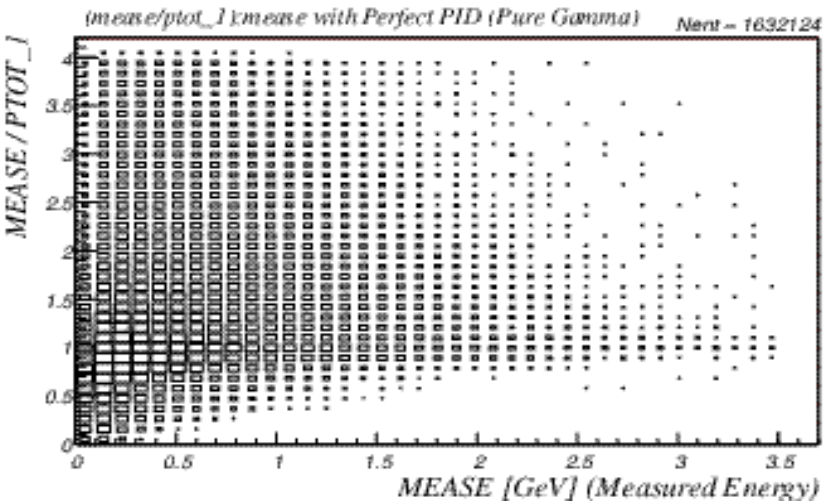
Step 1. TOF cut

Step 2. Cut with
Primary energy dep.
Maximum TOF
PC3 association

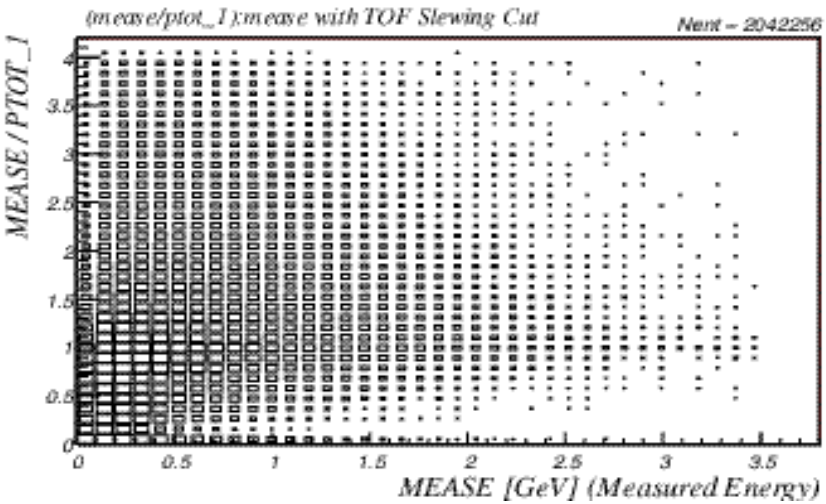
Photon 以外、および、
Vertex 以外からのバックグラウンド: ~20%
Photon efficiency : ~88%

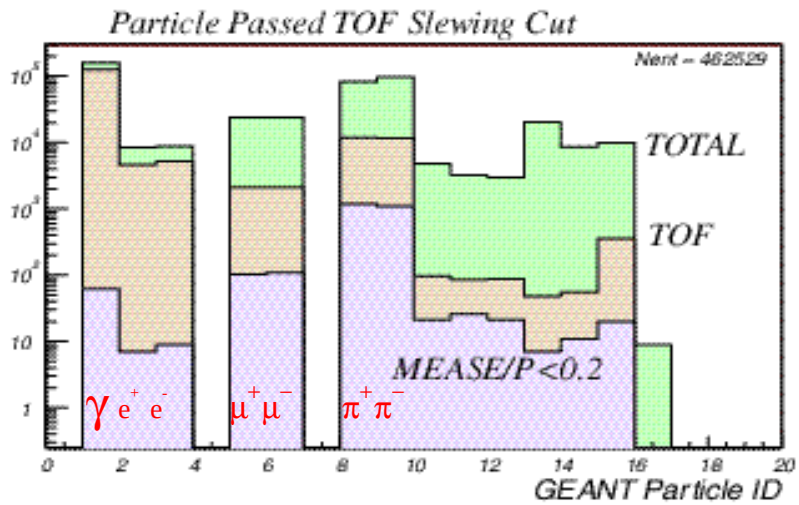
Tower Shape, Maximum contributor of the towers, などのカットは
まだ行っておらず、これからの課題。

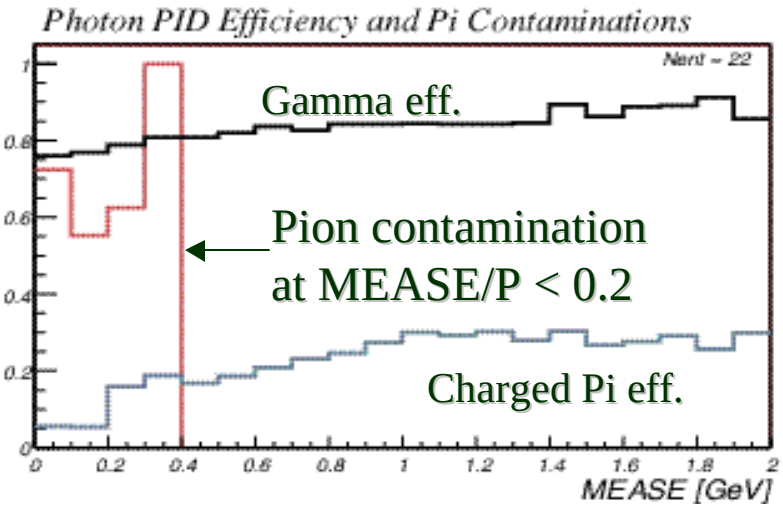
Geant Perfect PID



TOF Cut







Event Mixing ?

- いわゆる、PRDF Mixing ではなく、DST レベルでの Mixing.

- Buffer 100 events.
- Take every combinations of buffered events.

  (ev1)x(ev2) , (ev1)x(ev3) , ,,,, , (ev1)x(ev100),
  (ev2)x(ev3) , (ev2)x(ev4) , ,, , (ev2)x(ev100),
  :
  :
  (ev98)x(ev99) , (ev98)x(ev100),
  (ev99)x(ev100);

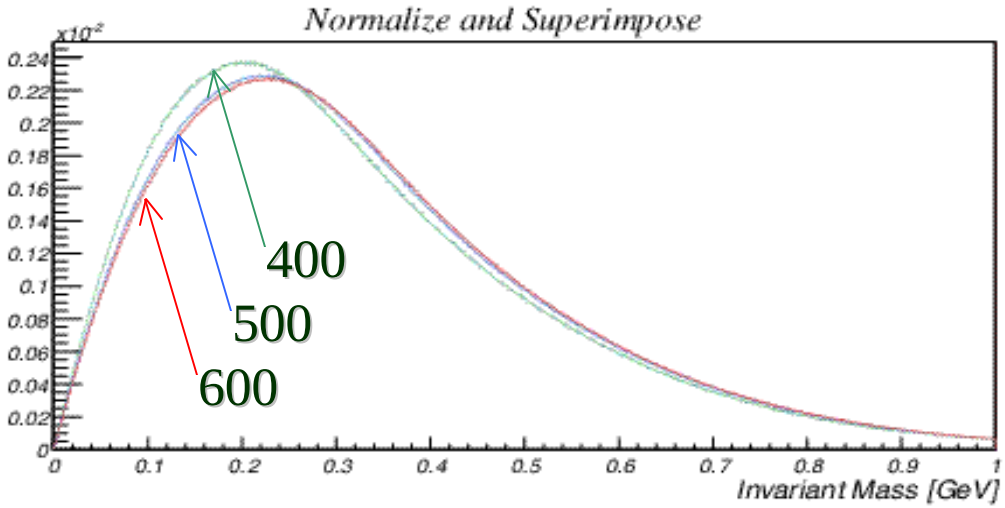
- 非常に高い統計で、B.G. Shape を作成することができる (Effectively 99+98+….+1 = 4950 events).
- ただし、B.G. shapes は、Shower Overlapping により、Multiplicity に依存する。
- もちろん pt, cut などにも強く影響するので、完全に同じ Cut を加えたイベント同士で混ぜる。

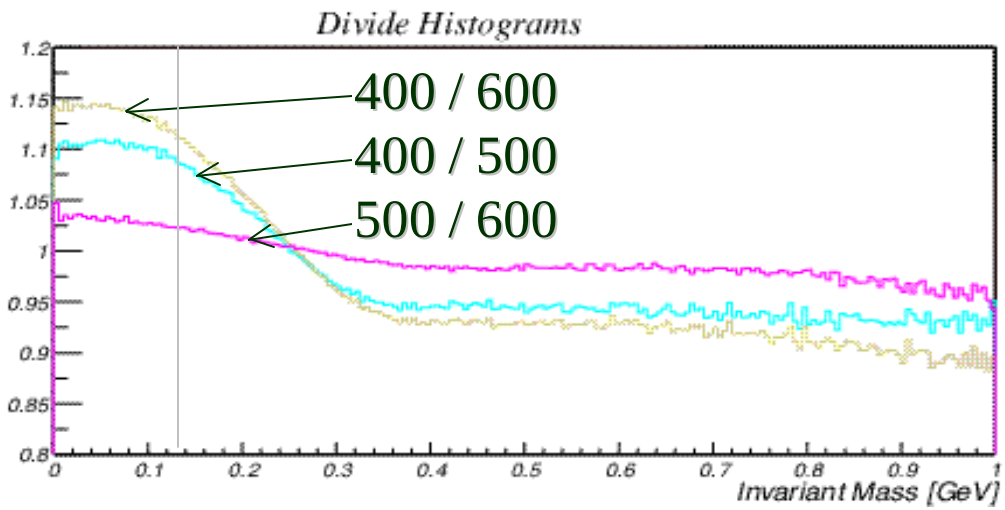
B.G. Shape の Multiplicity 依存性の調査

- 3つの Multiplicity に分割して、B.G. Shape を求めた。
  - 350 to 450 … 400
  - 450 to 550 … 500
  - 550 to 650 … 600
- Invariant Mass > 1.0 GeV.

結果

- Multiplicity に強く依存することがわかった。
- Multiplicity が高い Event のみを集めると、おそらく、Shower Overlapping により、高い Mass にシフトする。

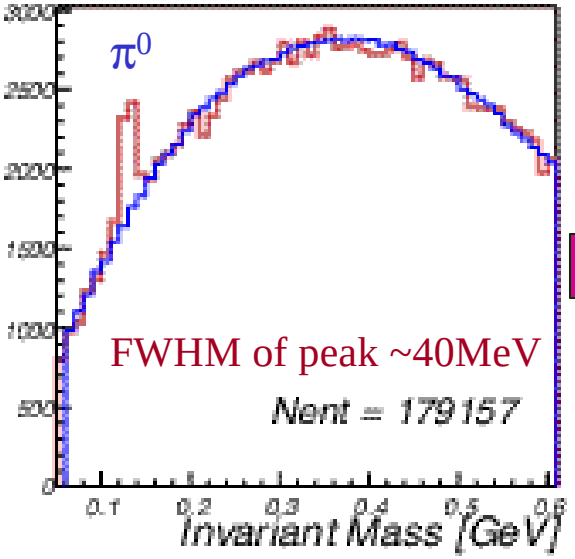




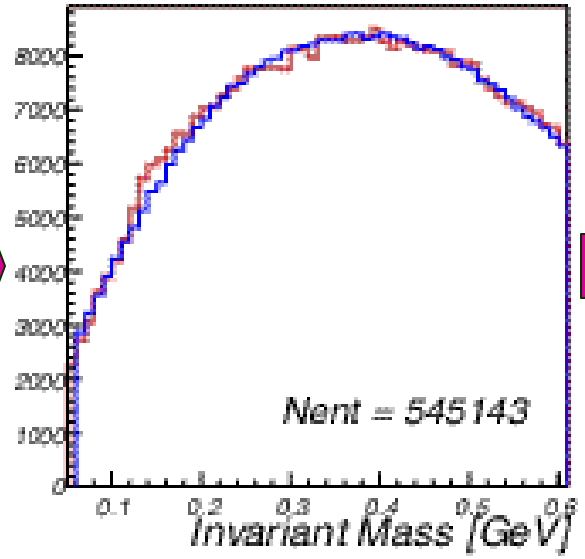
p^0 Reconstruction (Event Mixing 版)

- 3 種類の γ PID 方式を用い、 EmCal のみを用いて、π^0 の収量を求め、評価する

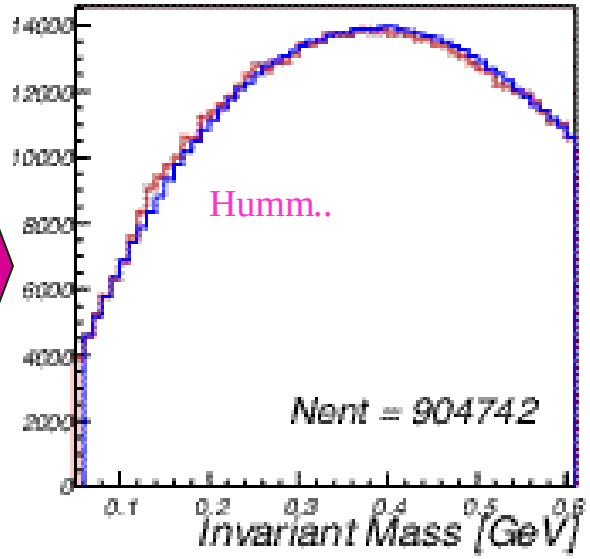
Perfect PID & Perfect Energy



+ Energy/Position Resolution (Smearing, etc)



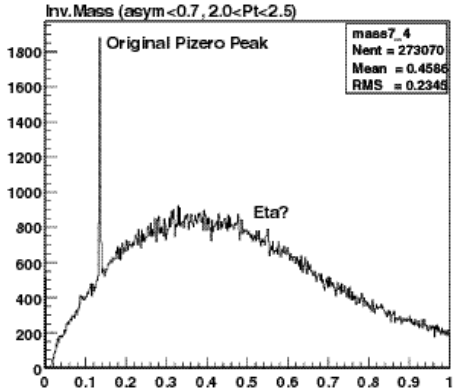
+ Realistic PID (TOF measurement)



- 2.0 < Pt (γγ) < 2.5GeV/c
- Asym < 0.7
- Au+Au central collisions
  - b < 2fm
  - ~ 70 k events

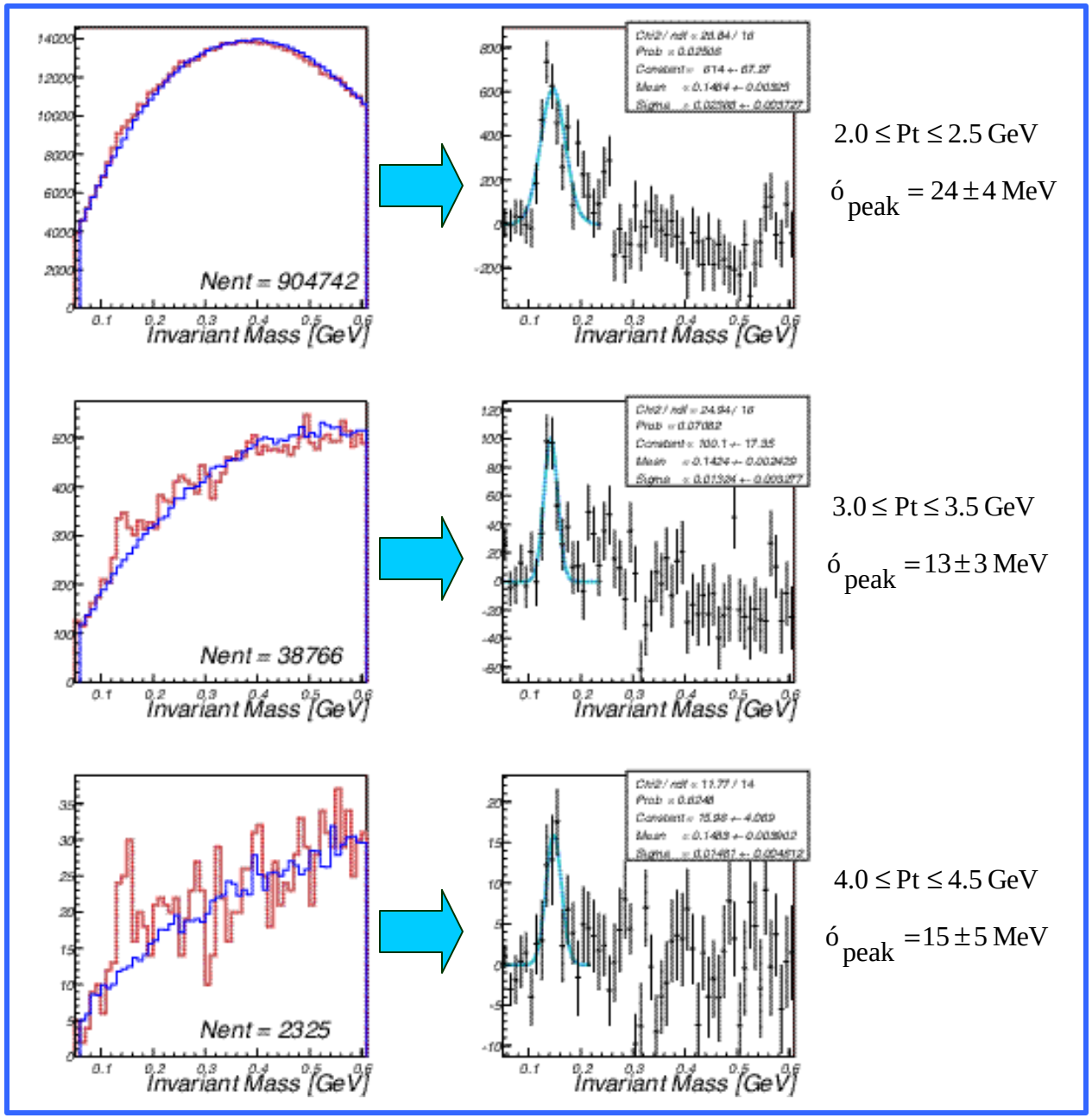
Energy Smearing によって、π^0 peak は、
非常に検出困難になる

Omake→



Event Mixing の結果を引く

- Event Mixing による結果（青線）を、Entry 数で Normalize し、Event Mixing しなかった Histogram から引くことにより、ピークを得る。
- Pt が高い領域はそもそも Event Mixing を使わずとも、問題なく検出可能。
- Pt が低い領域では、 Event Mixing を使えば、効果的。
- 実際に見たい領域は、数 GeV であるが、実際の PHENIX のデータがどこまで Smear したものになるか不明。
- 70 K events の評価では、まだまだ統計が足りないため、今後、さらに努力する必要がある。



$2.0 \le Pt \le 2.5$ GeV

$\sigma_{peak} = 24 \pm 4$ MeV

$3.0 \le Pt \le 3.5$ GeV

$\sigma_{peak} = 13 \pm 3$ MeV

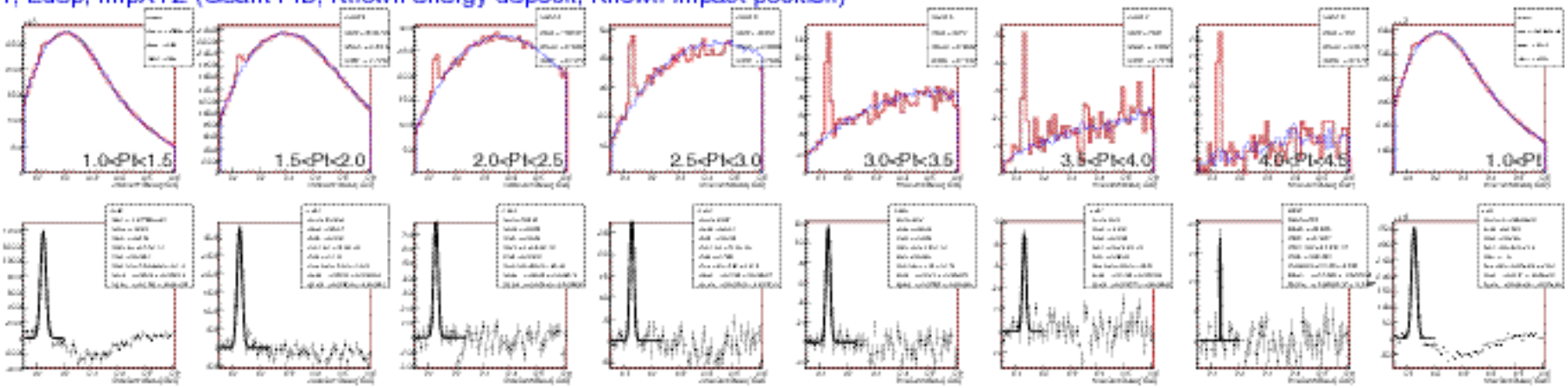
$4.0 \le Pt \le 4.5$ GeV

$\sigma_{peak} = 15 \pm 5$ MeV

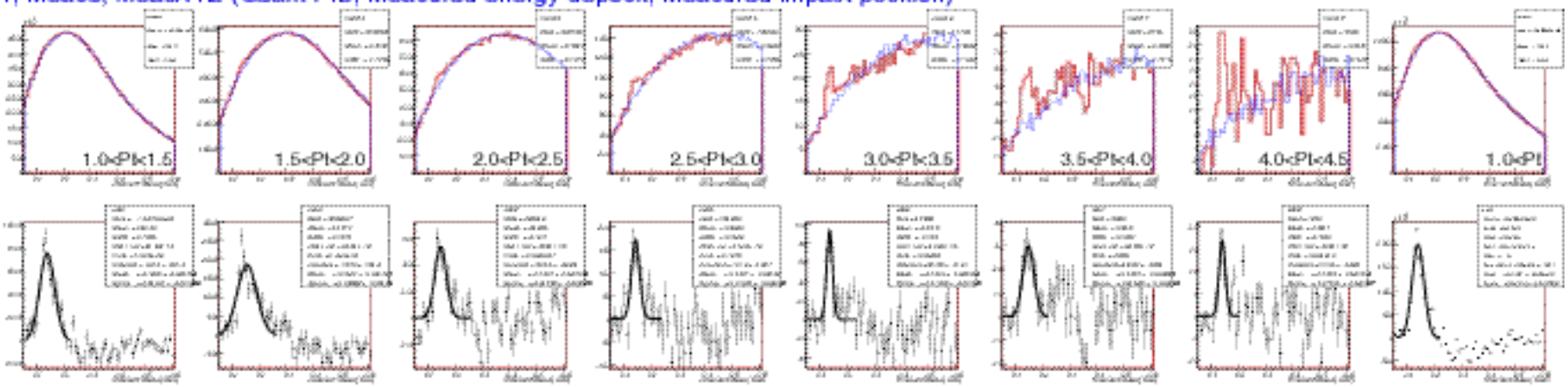
- Asym < 0.7
- Au+Au central
  b < 2fm
  ~ 70 k events

参考資料

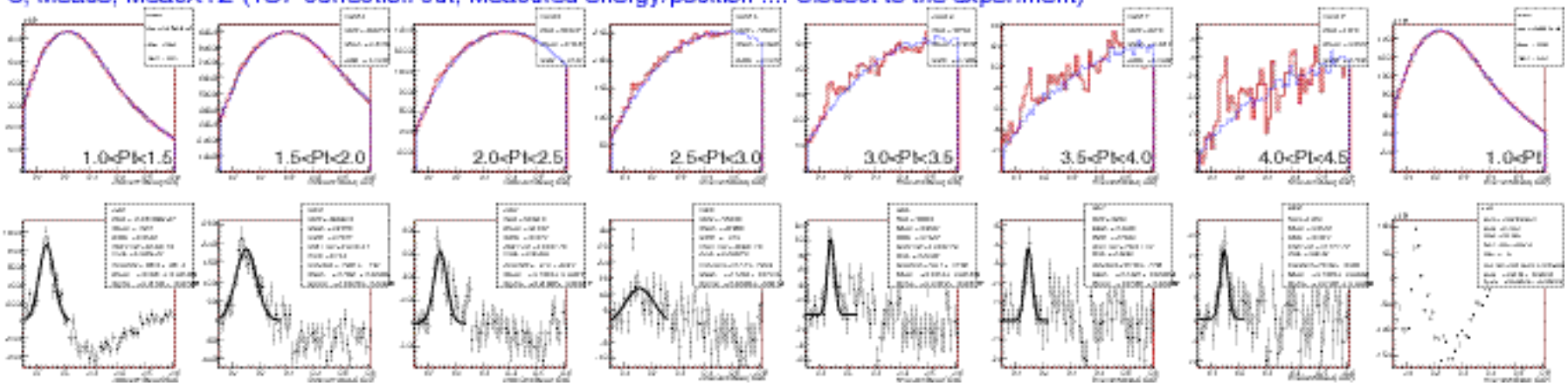
PID1, Edep, ImpXYZ (Geant PID, Known energy deposit, Known impact position)



PID1, Mease, MeasXYZ (Geant PID, Measured energy deposit, Measured impact position)



TOFC, Mease, MeasXYZ (TOF correction cut, Measured energy/position .... Closest to the experiment)



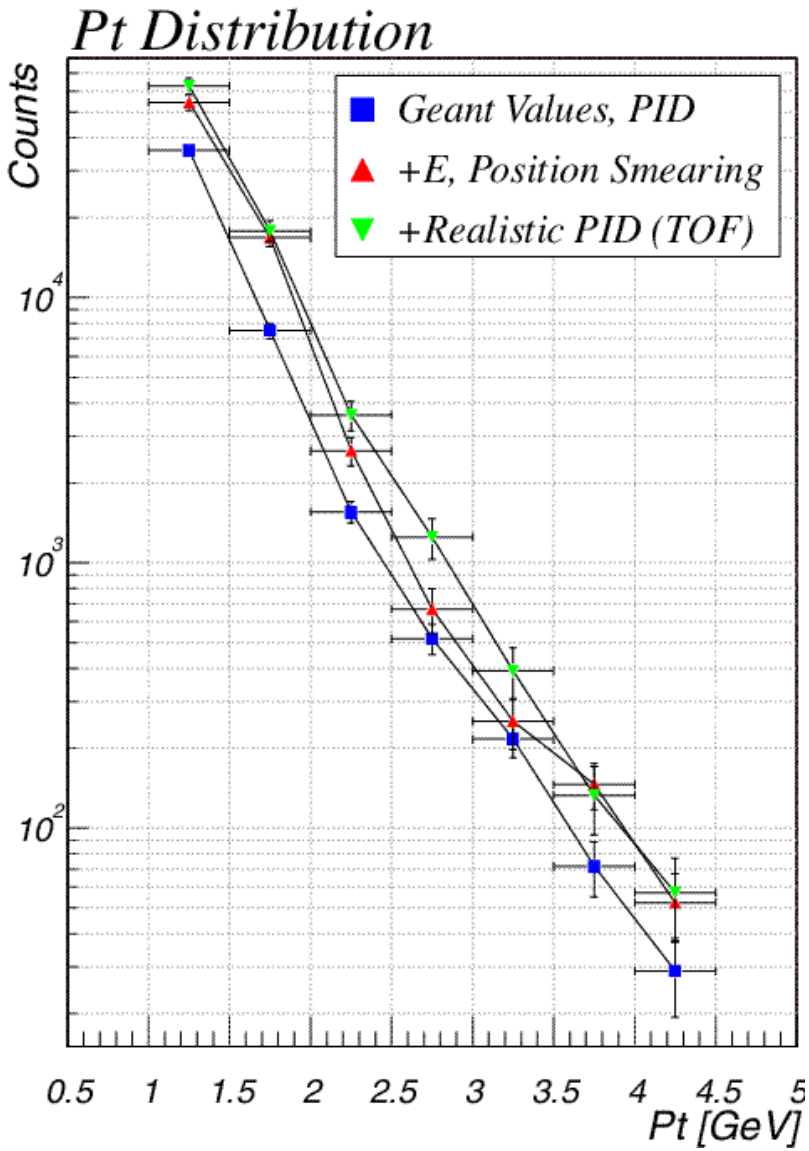
p^0 Pt Spectrum の導出の練習

条件

1. Au+Au central 70 k ev.
2. Single gamma acceptance correction, Pair acceptance correction, Fiducial Volume correction, などはまだされていない
3. Asym<0.7
4. Systematic Error 評価はされていない

結果

1. Energy, Position Smearing により、 Pt distribution は高い方向にシフトする
   → High Occupancy による、バックグラウンド
   → Multiplicity 依存性の Study が必要
2. スロープはほぼ保存



まとめ

- Year-1 Physics として、 π^0 生成スペクトル測定による、Jet Quenching 効果の観測、を目標とし、解析準備をはじめている
- PHENIX EM-Cal を用い、シミュレーション上で、π^0 の生成量測定のための解析チェーンを確立した
- 解析のさいに、バックグラウンドの形を求める方式として、Event Mixing を採用しさまざまな評価を行った
- PID として、 TOF Slewing Correction を用いたカットのみで練習した。その他のカットは現在研究中
- これらのツールを用いて、 70 Kevents Au+Au 衝突における、 Pt 分布の作成を行った

今後追求せねばならない問題

- Geometrical Acceptance (Single, Pair 双方について)
  PISA 上で、粒子を混ぜることにより、 Acceptance を計算
- Pt spectrum の Multiplicity 依存性
  Peripheral Event を用いたり、 p-p のデータを用いる。
- Clustering, PID 方式の確立
  Sasha 方式 (特に Ecore を用いた新たな(しかし苦肉の?)方法) の採用
  Shower Shape などを用いた、より詳しいカット
  PC3 による Charge Veto の採用
- より、実際の実験に即した解析
  EMCal の、実際に動くセクターのみを使用(現在は、 West のみを使用)
  PbGl を使用。 (ToF の性質が違うため) ToF Correction を見直す
  現在は、 PbGl の ToF 値などは正しくシミュレートされていない