

Measurement of prompt photon in $\sqrt{s}=200\text{GeV}$ pp collisions

岡田謙介(理研BNL研究センター)

他PHENIXグループ

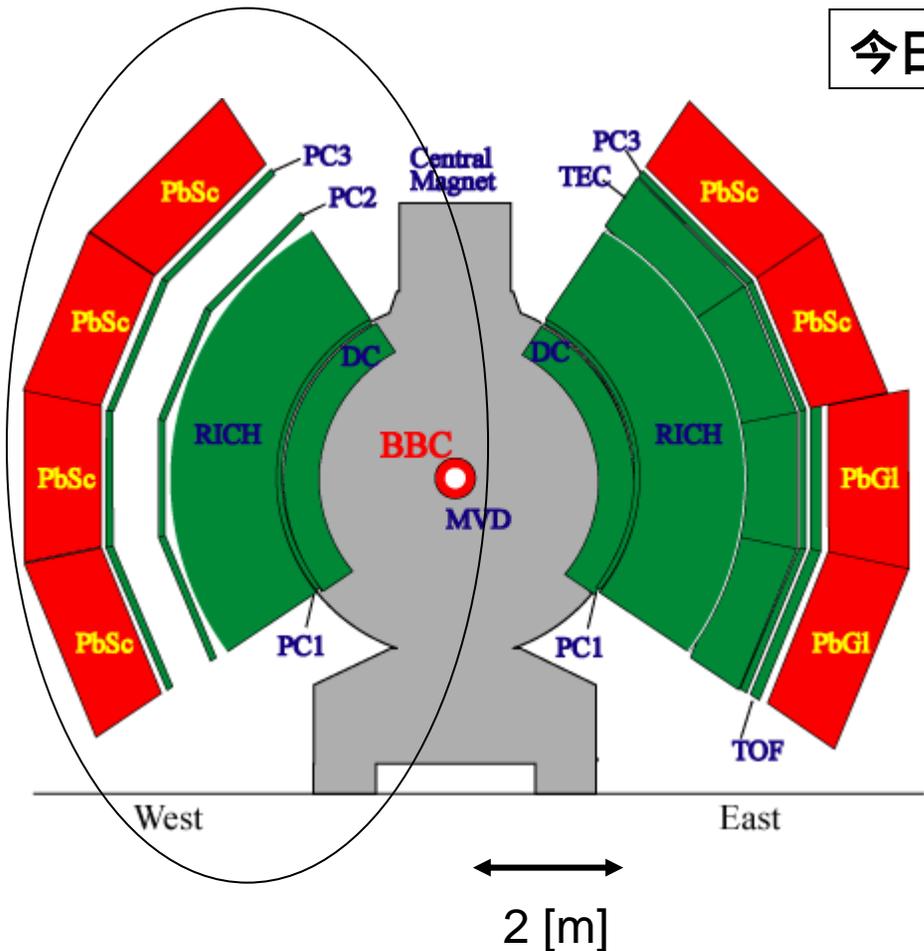
2004年9月27日 日本物理学会

目的

- Prompt photon(直接光子)生成の特徴
陽子衝突において最低次の過程はクォーク、グルーオンスキャタリング。
ハドロン化の影響を受けないので、陽子中のグルーオン分布関数を探るのに最適。
- RHICでは、
重イオン衝突でのQGP探索のリファレンスとして。
偏極した陽子の衝突でグルーオン偏極度測定。

PHENIX 検出器

今日のデータ



中央検出器西アーム

(ラピディティ $|y| < 0.35$)

電磁カロリメータ (EMCal) :

光子の捕獲

高分解能 ($\sim 10 \times 10 \text{ mrad}^2$)

ドリフトチェンバー :

荷電粒子のvetoのため

ビーム前後方

ビームビームカウンター (BBC) :

トリガーと衝突点の決定

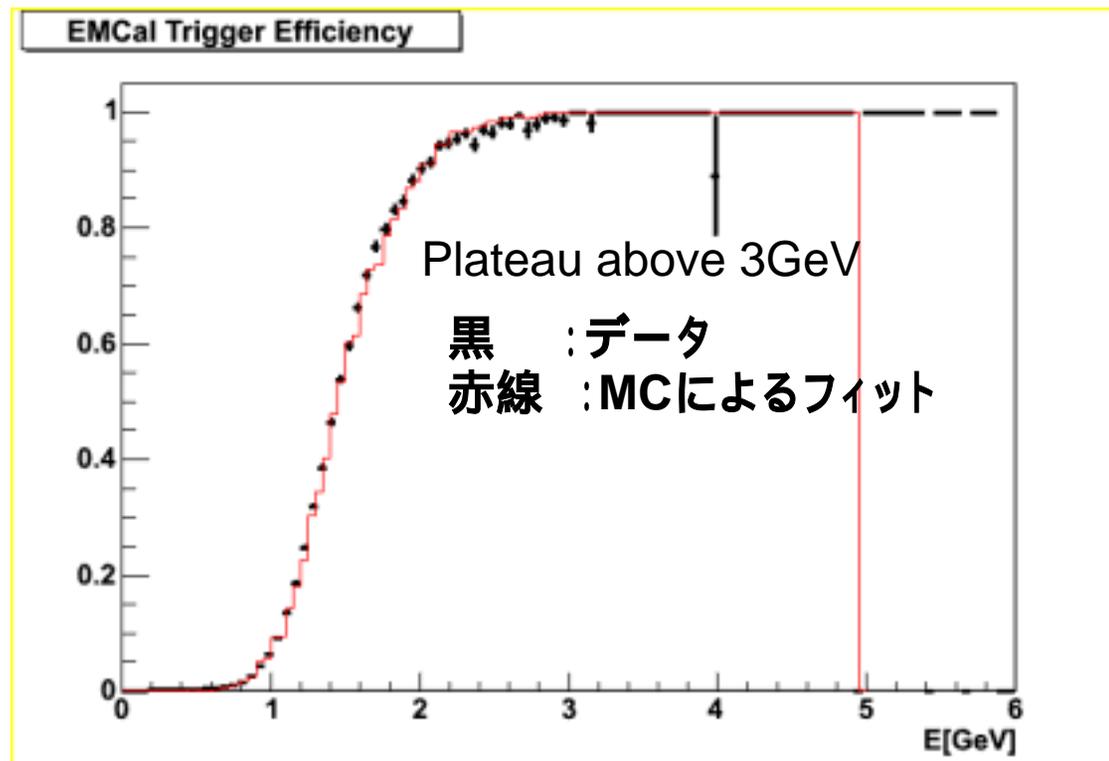
Run3 proton proton run

ビームタイム: 2003年4月、5月

ビーム: 100 GeV陽子どおしの衝突 ($\sqrt{s}=200\text{GeV}$)

PHENIXデータ取得: BBCとEMCalトリガー

使用ルミノシティ: 266nb^{-1} (BBC トリガー換算で 5.450×10^9 反応)



直接光子測定の実験的な難しさ

電磁カロリメータ(EMCal)のヒットの内訳

直接光子(シグナル)

光子以外のバックグラウンド(ハドロニック衝突)

光子のバックグラウンド(π^0, η 等の光子への崩壊)

シグナルとバックグラウンドのおおよその比率(pT dependent) :

S/N 0.2~1 (pt 5 ~17GeV/c)

全ての電磁カロリメータのヒットから既知の成分を除くことによってシグナルを得る。

バックグラウンドの削減

光子以外のバックグラウンド

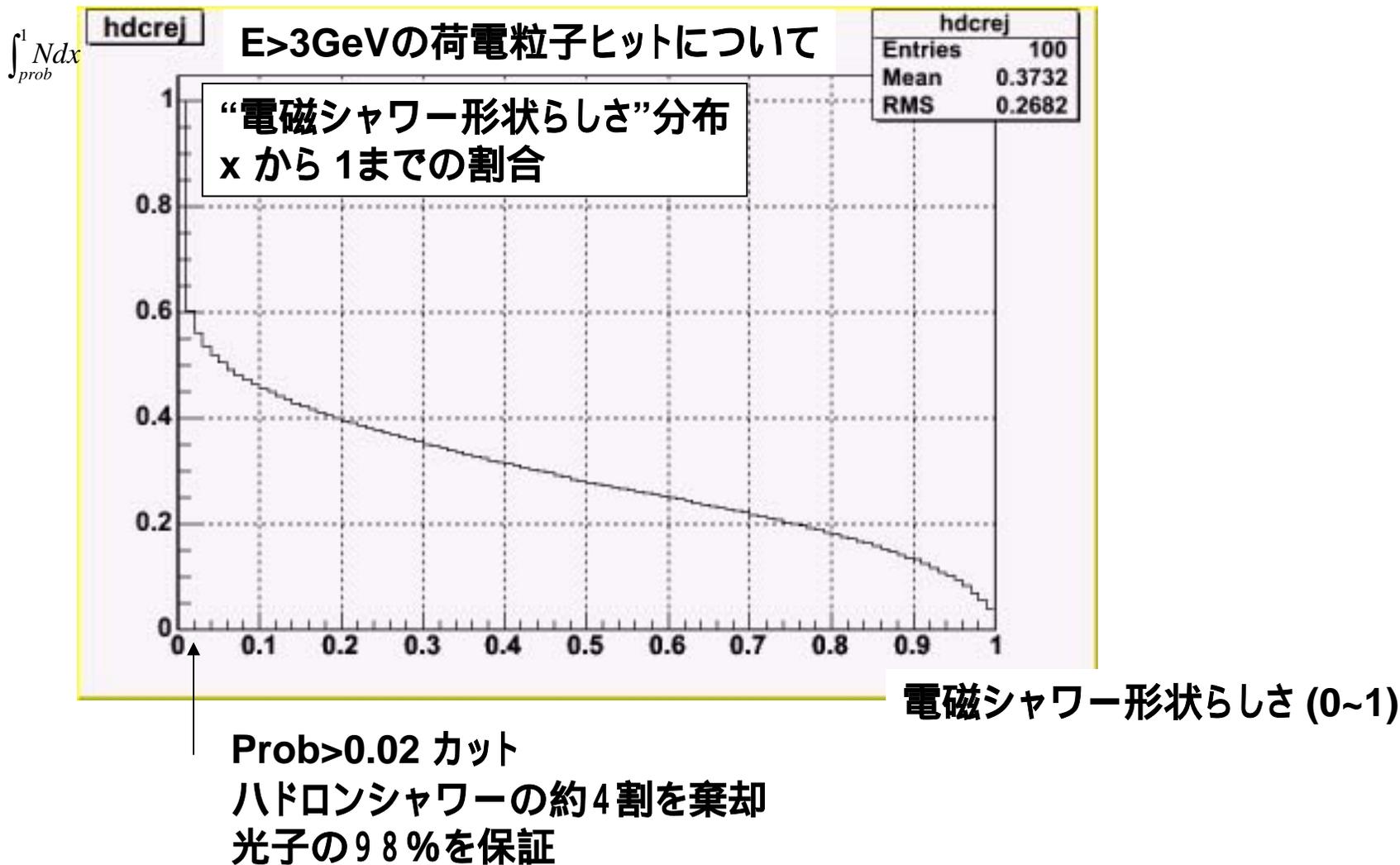
電磁シャワー形状の要求
ドリフトチェンバーによる荷電粒子軌跡の使用

光子のバックグラウンド

相棒光子を見つけて π^0 捕獲
その他 π^0 の取りこぼし、 η 、 ω 等の寄与は π^0 識別されたものを基に算出(MC)

→ π^0 の検出効率が重要。

電磁シャワー形状によるカット



π^0 捕獲

π^0 の相棒を捕らえ損なう理由

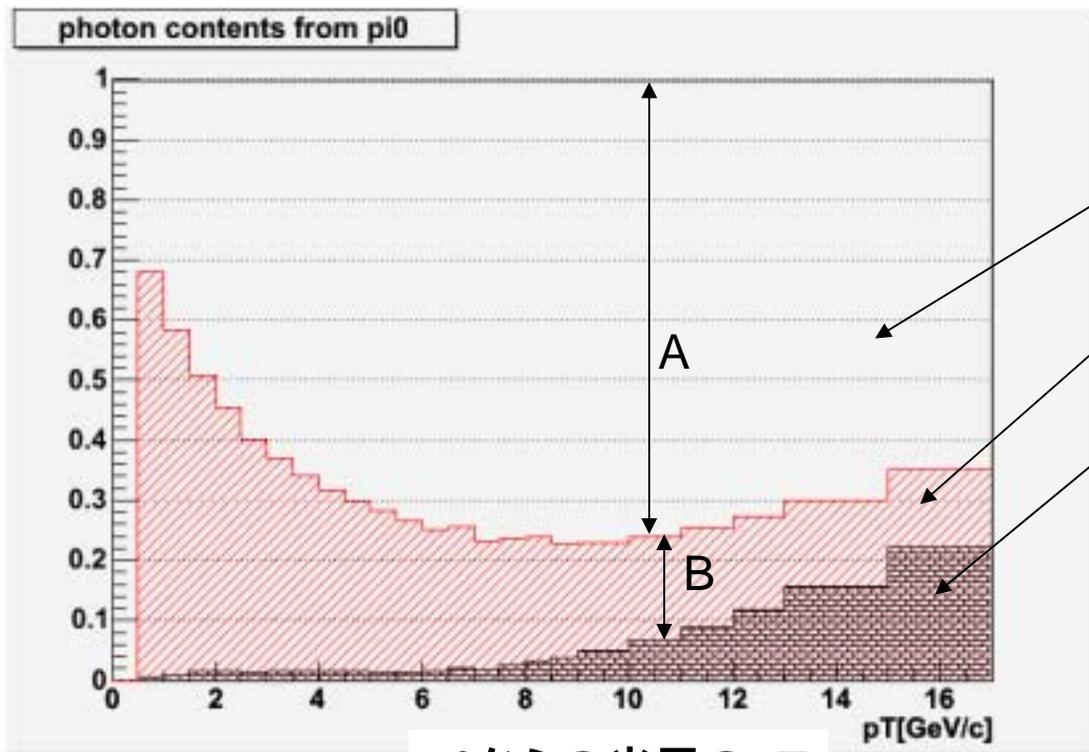
対策

- EMCalの縁から外れる —————→ 有効領域を多少犠牲にし、端の部分を相棒探しのみに当てる (guard region)
- EMCal不良部分 (高ノイズ頻度のPMT等) —————→ 安易に不良部分とせず、慎重に認定
- 検出最低エネルギー以下 —————→ 150 MeVと設定(出来るだけ低く)
- 途中で紛失 —————→ DC以降の電子対生成による減少を取り返すためにEMCal直前での荷電粒子vetoは行わない。
- 2光子の分離失敗 —————→ 今回のデータの運動量領域では重なった2光子は電磁シャワー形状の条件で落とす事が出来る。

π^0 捕獲効率 (MCでの見積もり)

π^0 の生成断面積の測定に使っているものと同じMCプログラム

入力パラメータ: π^0 の生成スペクトラ、エネルギー分解能、電磁シャワーの広がり、EMCal不良領域、アクセプタンス



π^0 からの光子のpT

π^0 起源の光子の内訳

(A) 2光子捕獲

(B) 1光子(相棒をミス)

2光子分離失敗

シャワー形状カットで落ちる
そもそも、ほぼ倍のエネルギー
として扱われる

重要なのは

1光子、2光子の比(=B/A)

40% @ 5GeV/c

20% @ 10GeV/c

η 、 ω 等の寄与

π^0 に対する、生成比と光子への分岐比の掛け算で求められる。

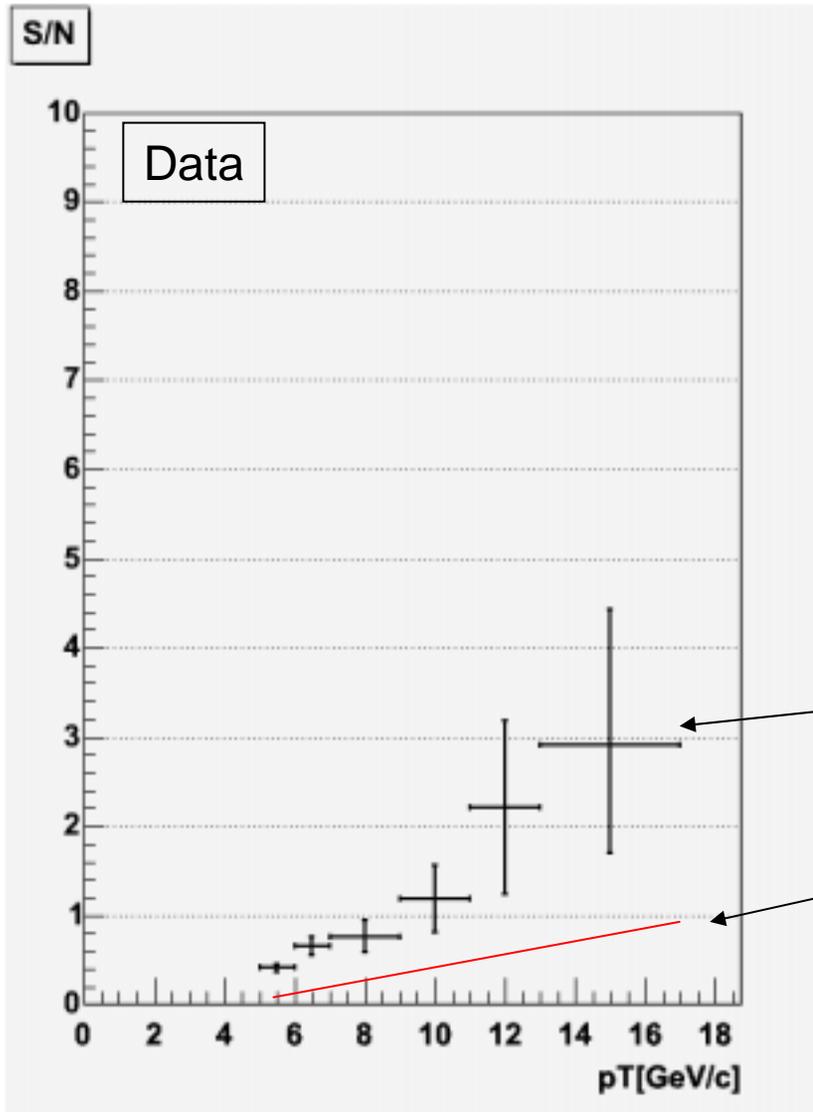
$$\left\{ \begin{array}{l} (\eta \rightarrow 2\gamma)/(\pi^0 \rightarrow 2\gamma) \\ \quad 0.45 (= \text{production ratio}) * 0.394/0.988 (= \text{Decay branching ratio}) = 0.18 \\ (\omega \rightarrow \gamma, \pi^0)/(\pi^0 \rightarrow 2\gamma) \\ \quad 0.8 * 0.087/0.988 * 1/2 = 0.034 \\ \text{etc} \end{array} \right.$$

これらを足し上げて次の値を使用した。

$$\begin{aligned} & (\pi^0 \text{以外のハドロンからの光子の寄与}) / (\pi^0 \text{からの光子}) \\ & = 0.23 \pm 0.05 \end{aligned}$$

これでシグナルを算出する準備が終了

S/N 比



S: シグナル = all - (π^0 , η , etc contributions)
N: シグナル以外の光子から π^0 タグした光子をひいたもの

π⁰タグした場合

何もしないとき

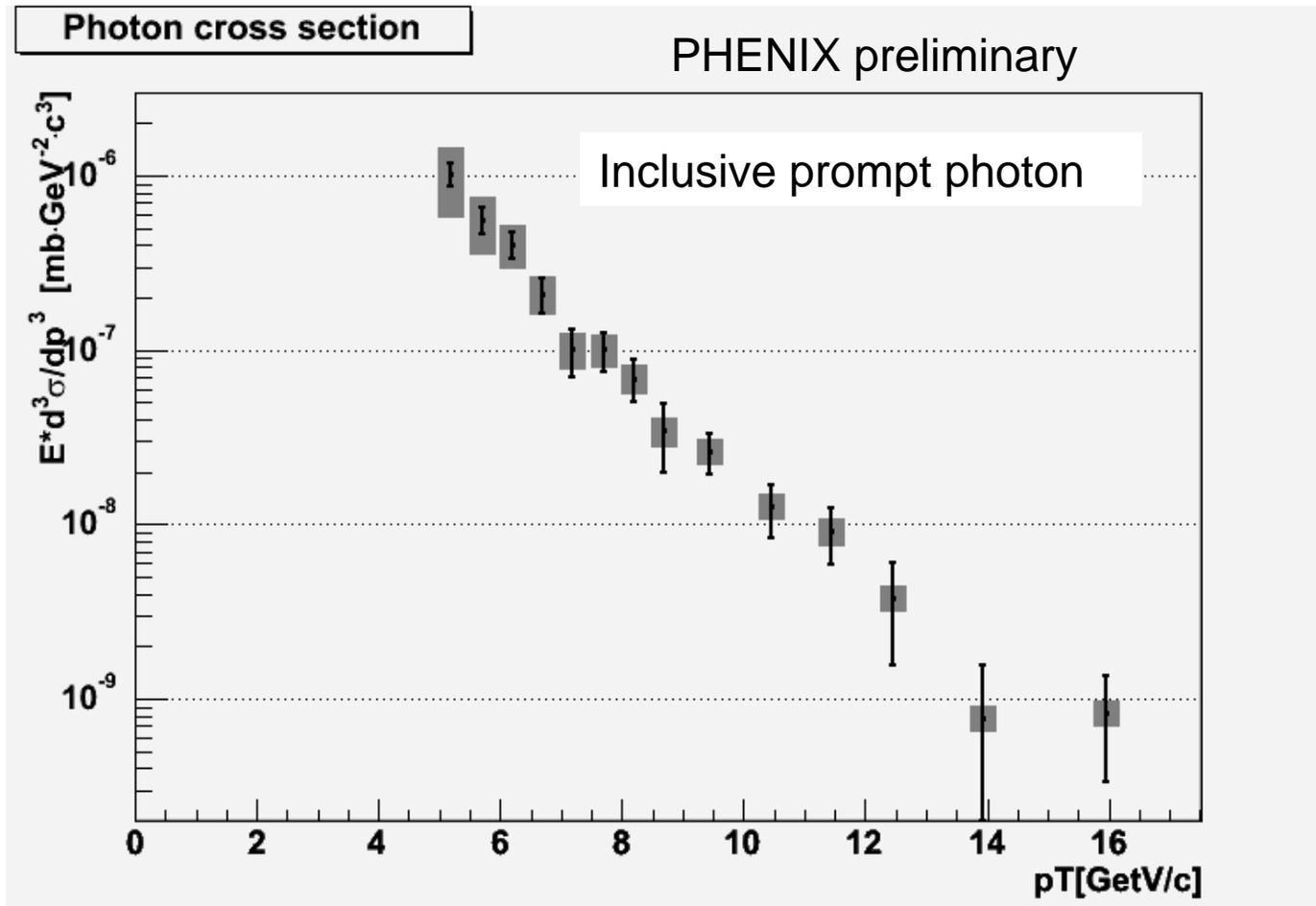
S/Nにおいて大きな改善が得られた。

生成断面積の計算

考慮した因子

1/ルミノシティ	: $1/266\text{nb}^{-1}$ (=5.450e9 events/20.5mb)
1/(BBC トリガーバイアス)	: 1/0.785
1/(アクセプタンスと均し効果)	: 1/0.0982
1/(シャワー形状カットの検出効率)	: 1/0.98
1/(電子対生成の補正)	: 1/0.97

直接光子生成断面積



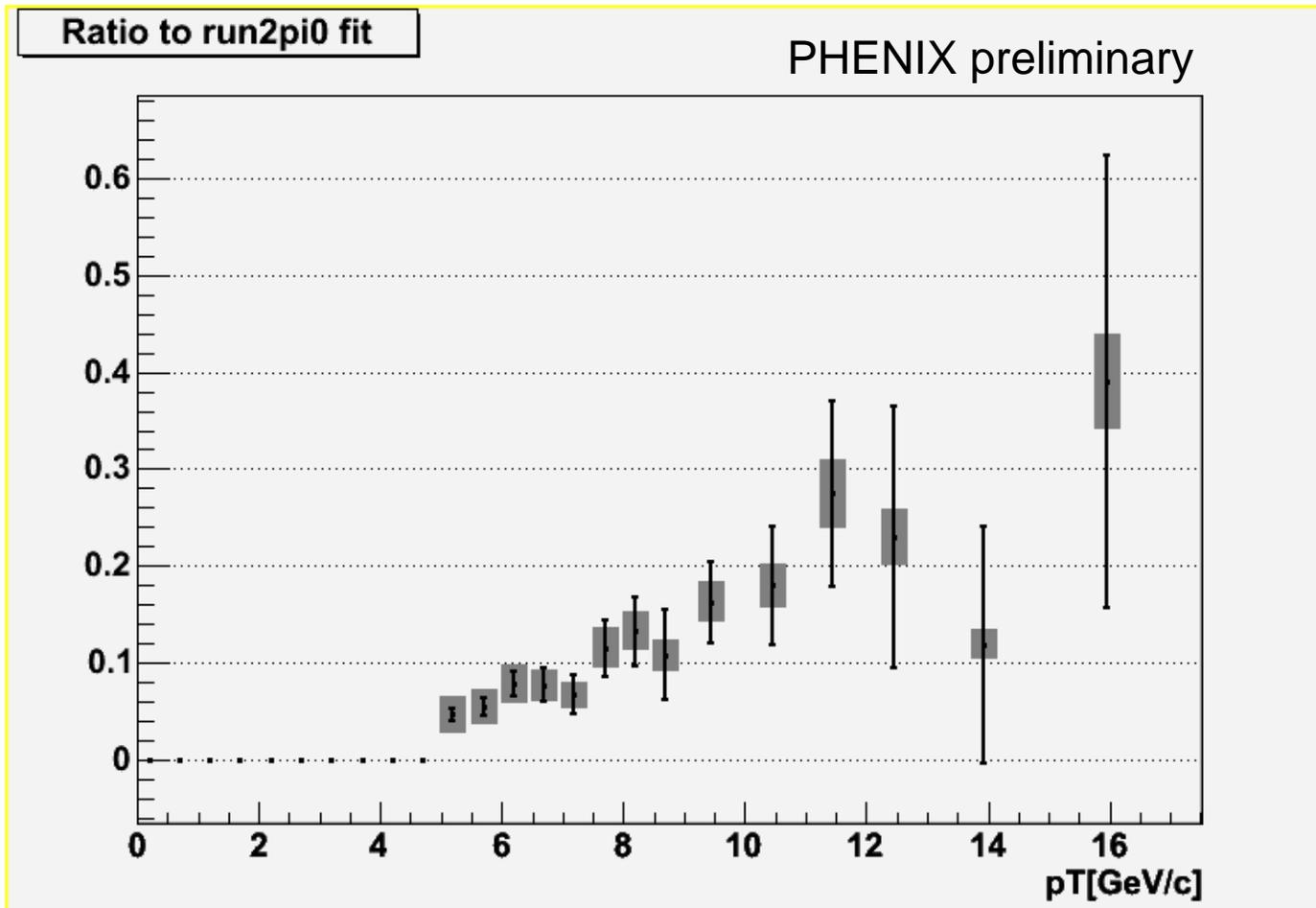
系統誤差の源

	pTの低い所 5-5.5 [GeV/c]	高い所 15-17 [GeV/c]	
π^0 捕獲率	30%	5	各点それぞれ
π^0 以外からの寄与の見積もり	27	6	
光子のアクセプタンスと均し効果	10	10	
電子対生成の補正	1	1	
ルミノシティ測定	12	12	一律
BBC トリガーバイアスの見積もり	3	3	
計	43%	18	

差し引かれるバックグラウンド側に付くエラーは拡大されてシグナルに付くことになるので初めの2項はpTの低いところで特に大きな寄与を持つ。

光子/ π^0 比

PHENIX実験で測った π^0 生成断面積に対する比
($Y=20.39 \cdot pT^{-8.285}$)



まとめ

π^0 タグをしてS/Nを上げる方法で、inclusive prompt photon ($p_T > 5 \text{ GeV}/c$) の生成断面積を導いた。

$\sqrt{s} = 200 \text{ GeV}$ は陽子衝突において過去最高エネルギーである。

次の登壇者(鳥井氏)が、光子に対して孤立条件を掛けた結果について報告する。孤立条件を掛ける事により、prompt photonの内、direct photon成分(\leftrightarrow fragment photon成分)の濃縮が期待される。

またNLO pQCD 計算や他の陽子衝突、陽子反陽子衝突実験の結果との比較も行う。

Backups

S / Nの向上(2)

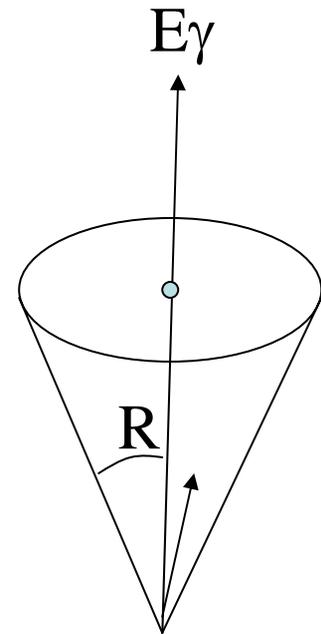
前述の取り組みに加えて、

光子への孤立条件の要求

ジェット中のハドロンからの寄与は同時に他の粒子の生成を伴っている可能性が高いから。

$$R = \sqrt{\Delta\eta^2 + \Delta\phi^2} < 0.5$$

$$E_{sum}(R < 0.5) < E_\gamma \times 0.1$$



孤立条件による検出効率

PYTHIAによる”direct”プロセスに対する見積もり。

比較的高い検出効率、
“direct” component が主となる
High pT 領域では孤立条件を
かけていないものと同様な結果が
期待される。

今回は議論できるほどの精度
(統計、系統誤差)が得られて
いないので定量的には触れない。

CTEQ5L PDF

direct photon production process (MSEL=10)

8×10^7 events, 19.8 pb^{-1}

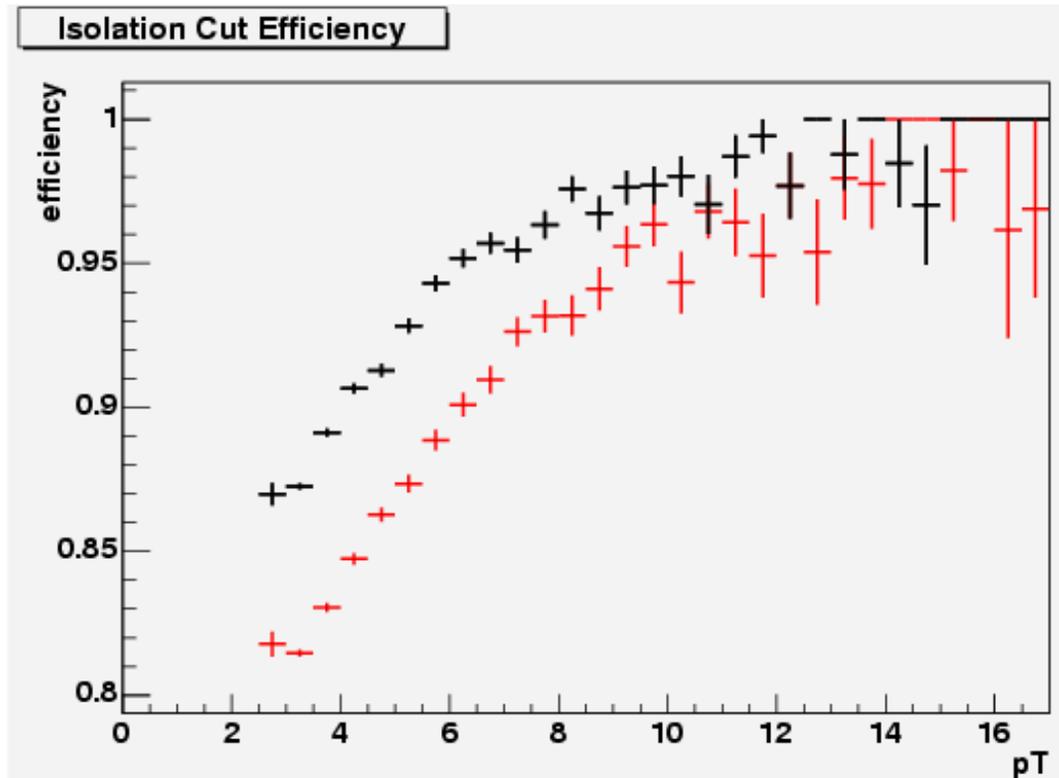
$R = 0.5$, $E_R < 0.1 * E_{\text{gamma}}$

acceptance: $33.75 < |\text{phi}| < 123.75$, $|\text{eta}| < 0.35$

guard region: 55 cm

Efficiency = yield with isolation cut / total yield

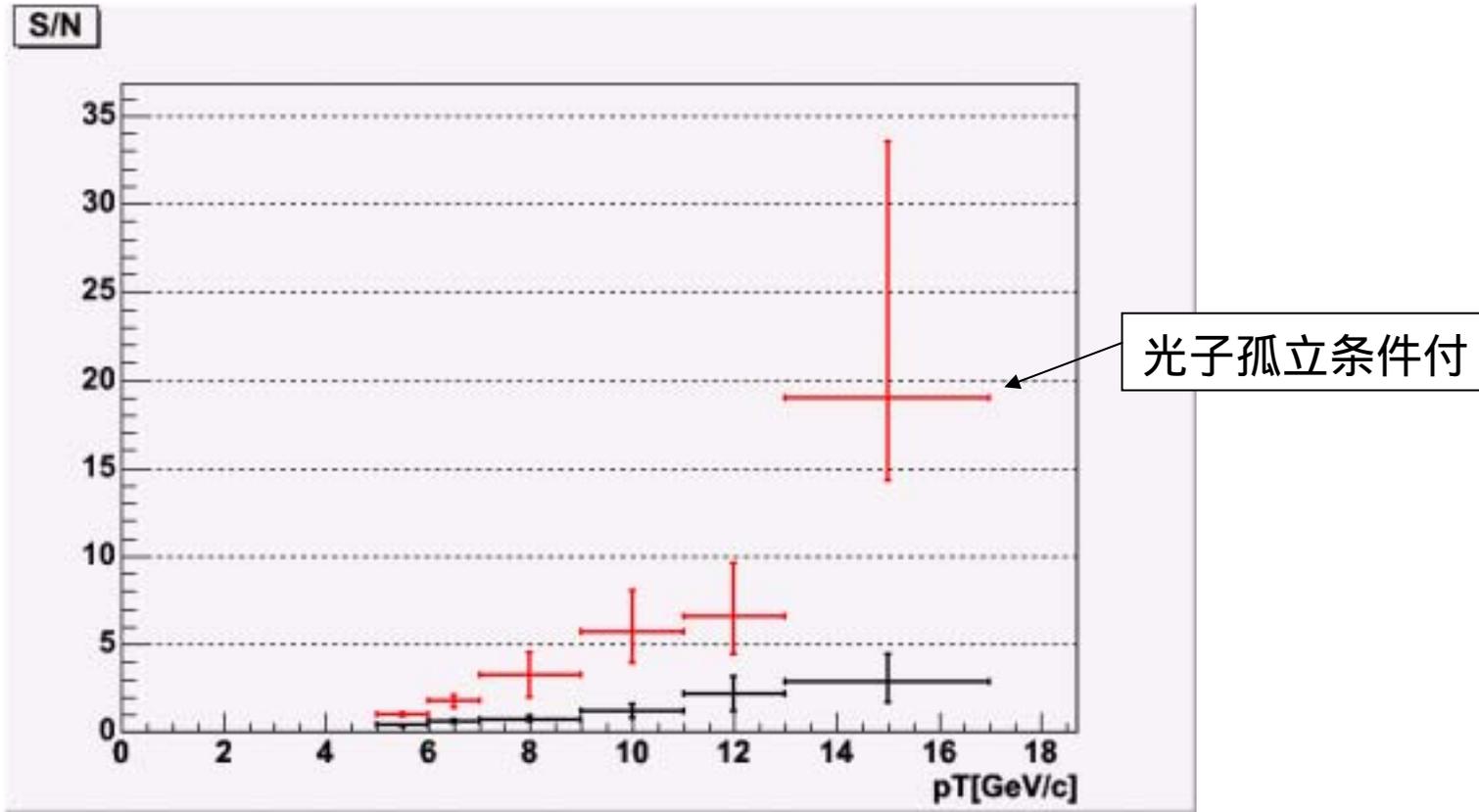
black: PYTHIA default, red: PYTHIA Multi-Parton Interaction tune



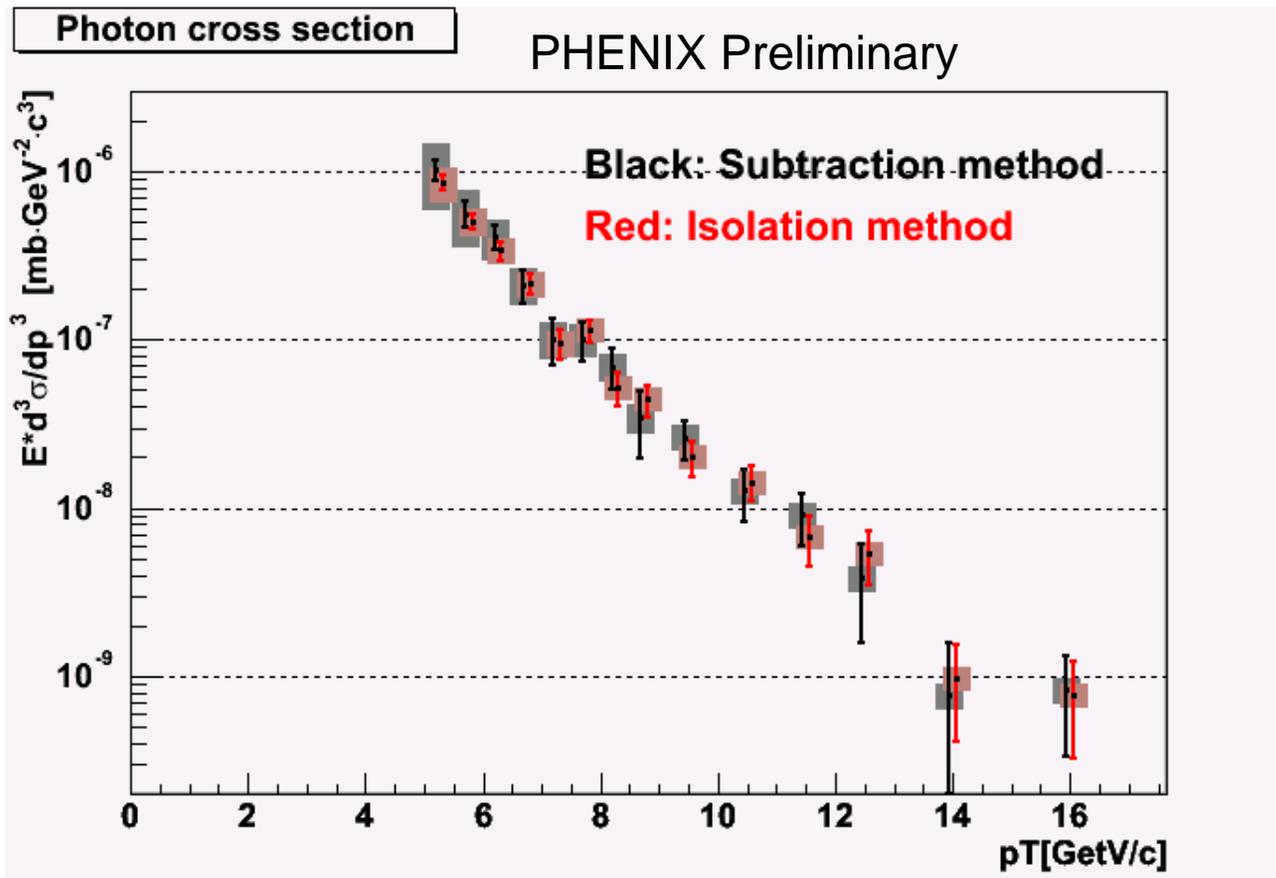
S/N 比

S: シグナル

N: シグナル以外の光子の内、 π^0 タグできなかつたもの

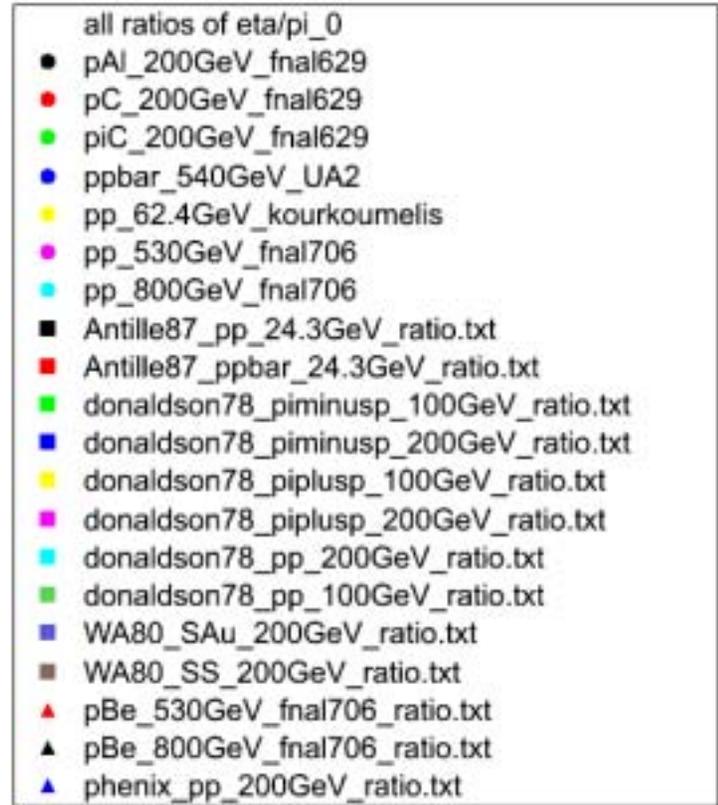
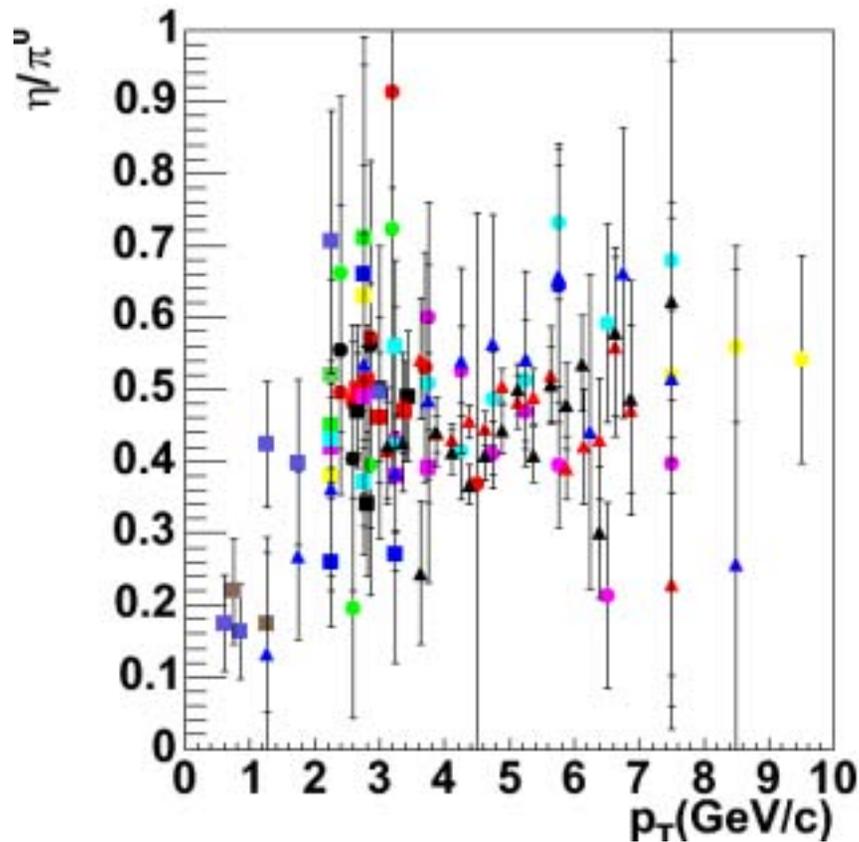


Plot (1)

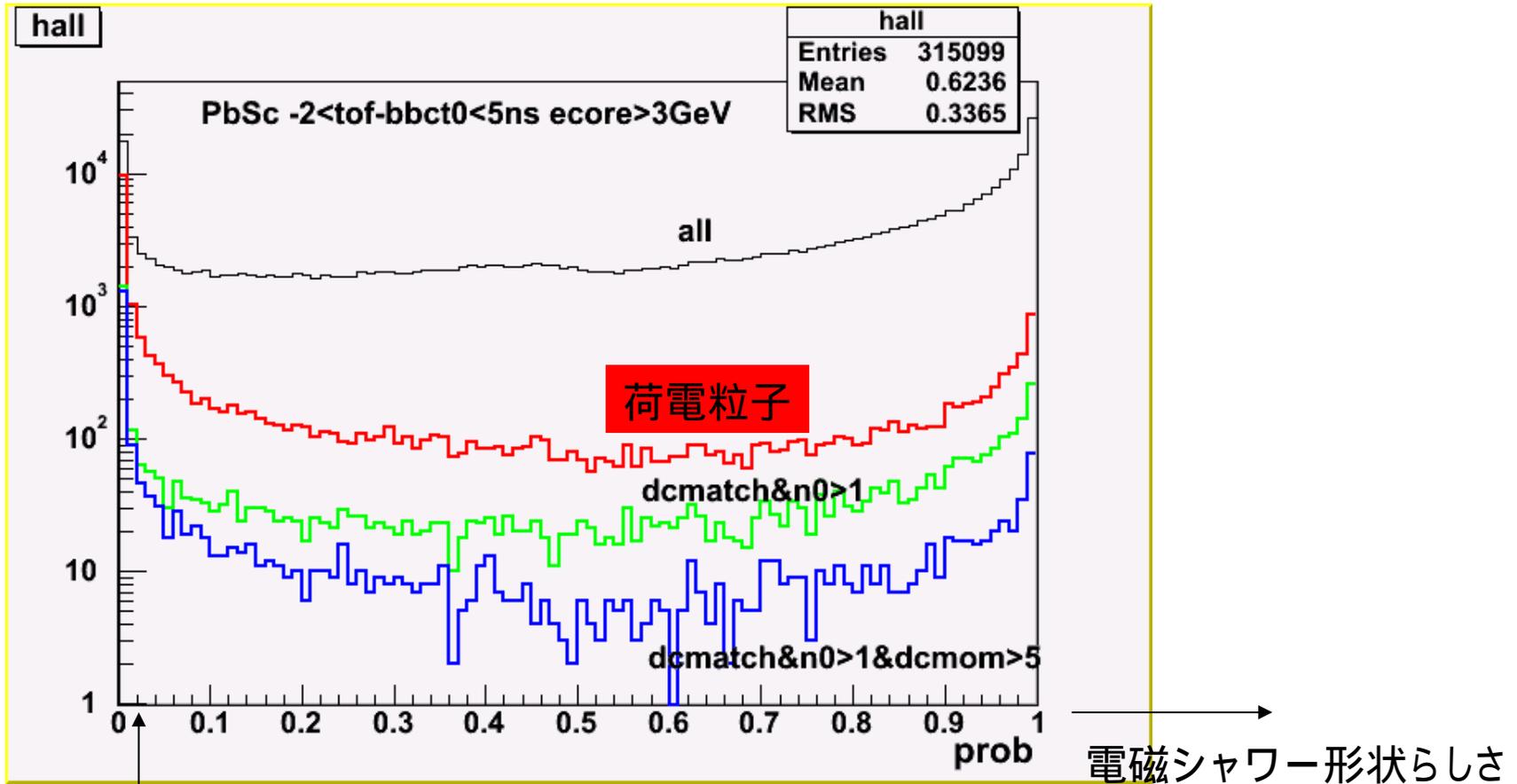


Vertical bin shift correction has been applied (3-4%)

Eta/pi0 ratio



電磁シャワー形状によるカット



Prob>0.02 カット

ハドロンシャワーの約4割を棄却

光子の98%を保証

Counts (PbSc west)

ecore>3GeV

PC3 dead area is masked off.

The difference of 3 converter runs is consistent to electron group's study.

no_cut	tof	prob			
all			1_1	1_2	1_3
pc3match			2_1	2_2	2_3
dcmatch			3_1	3_2	3_3
dcmatch(n0>0)			4_1	4_2	4_3
dcmatch(n0>1)			5_1	5_2	5_3

run87618-88006 40mil

#event 395M

14618 14493 13545 (92%) =1_3/1_1

2510 2491 1926 (77%) =2_3/2_1

1254 1244 770 (61%) =3_3/3_1

405 403 314 (78%) =4_3/4_1

362 361 296 (82%) =5_3/5_1

pc3match ratio : 14% =2_3/1_3

dcmatch ratio : 5.6% =3_3/1_3

electron ratio(n0>0) : 2.3% =4_3/1_3

electron ratio(n0>1) : 2.2% =5_3/1_3

electron/dcmatch(org) : 29% =5_1/3_1

electron/dcmatch : 38% =5_3/3_3

Electron/1M events : 0.75

run88825-89211 10mil

#event 841M

33879 33452 31270 (92%)

5542 5491 4238 (76%)

2630 2618 1533 (58%)

663 659 437 (66%)

565 562 403 (71%)

pc3match ratio : 14%

dcmatch ratio : 4.9%

electron ratio(n0>0) : 1.4%

electron ratio(n0>1) : 1.3%

electron/dcmatch(org) : 21%

electron/dcmatch : 26%

Electron/1M events : 0.48

Run88007-88824, 89212-92466

#event 4315M

170922 168940 157748 (92%)

26880 26666 20221 (75%)

12695 12632 7002 (55%)

2972 2960 1858 (62%)

2488 2477 1678 (67%)

pc3match ratio : 13% **9% conversion**

dcmatch ratio : 4.4%

electron ratio(n0>0) : 1.2%

electron ratio(n0>1) : 1.1%

electron/dcmatch(org) : 20%

electron/dcmatch : 24%

Electron/1M events : 0.39

Counts (energy dependence)

Ecore>3GeV

Ecore>5GeV

Ecore>7GeV

 Run88007-88824, 89212-92466
 #event 4315M
 170922 168940 157748 (92%) photon 97%
 26880 26666 20221 (75%)
 12695 12632 7002 (55%)
 2972 2960 1858 (62%)
 2488 2477 1678 (67%)

 Run88007-88824, 89212-92466
 #event 4315M
 8660 8372 7868 (91%) photon 97%
 1358 1330 1048 (77%)
 577 572 341 (59%)
 267 265 153 (57%)

 Run88007-88824, 89212-92466
 #event 4315M
 1279 1177 1080 (84%) photon 95%
 188 181 141 (75%)
 81 79 45 (56%)
 54 53 34 (63%)

pc3match ratio : 13%
 dcmatch ratio : 4.4%
 electron ratio(n0>0) : 1.2%
 electron ratio(n0>1) : 1.1%

pc3match ratio : 13%
 dcmatch ratio : 4.3%
 electron ratio(n0>0) :
 electron ratio(n0>1) : 1.9%

pc3match ratio : 13%
 dcmatch ratio : 4.2%
 electron ratio(n0>0) :
 electron ratio(n0>1) : 3.1%

electron/dcmatch(org) : 20%
 electron/dcmatch : 24%
 Electron/1M events : 0.39

electron/dcmatch(org) : 46%
 electron/dcmatch : 45%
 Electron/1M events : 0.035

electron/dcmatch(org) : 67%
 electron/dcmatch : 76%
 Electron/1M events : 0.0079

High pT charged pion contamination can be seen in electron/dcmatch ratio.
 Matching behavior looks the same.