



暗黒物質の対消滅を媒介する extra-U(1) gauge bosonの探索

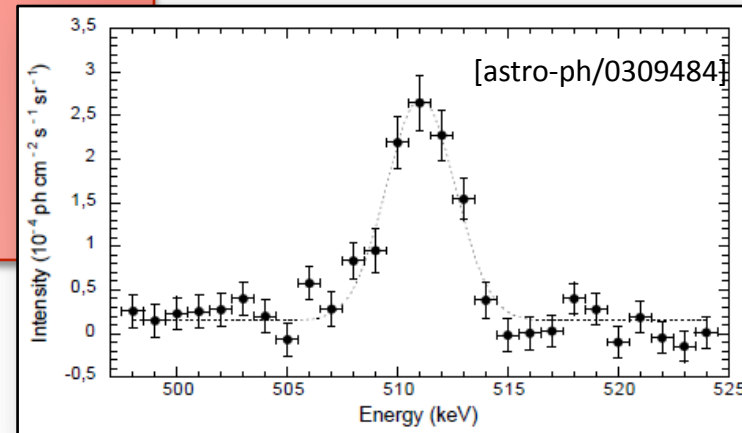
山形大学
博士前期課程 物理学専攻
クォーク核物理学
加藤 泉

研究の背景

γ 線観測衛星INTEGRALで銀河中心から飛来する
大量の511KeV- γ 線が観測された(2003年)

[astro-ph/0309484]

- 10^{43} 個/秒の陽電子生成に相当
- 既知の天体現象では説明が困難



④ 素粒子論的な一つの可能性 [astro-ph/0404490, hep-ph/0305261]

- 数 $\text{MeV}/c^2 \sim 100 \text{ MeV}/c^2$ の暗黒物質(dm)の対消滅を仮定
- $\text{dm} + \text{dm} \rightarrow X \rightarrow e^+ + e^-$ (e^+ 対消滅 $\rightarrow \gamma + \gamma$) \Rightarrow 大量の γ が生成可能

④ 暗黒物質の対消滅を媒介するXの候補: **U-boson**

- 大統一理論で必要になる extra-U(1)対称性起因の Gauge boson
- dmが軽い場合 U-bosonも軽いことが予想されている [hep-ph/0702176]

研究の目的

- ④ 質量が数 $\text{MeV}/c^2 \sim$ 数百 MeV/c^2 領域における短寿命の新粒子(U-boson)を探索
- ④ KEK-PS E391a実験($K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 探索実験)のAl標的データを利用

$$n + \text{Al} \rightarrow U + \dots$$

$$U \rightarrow e^+e^- \quad \text{or} \quad \gamma\gamma$$

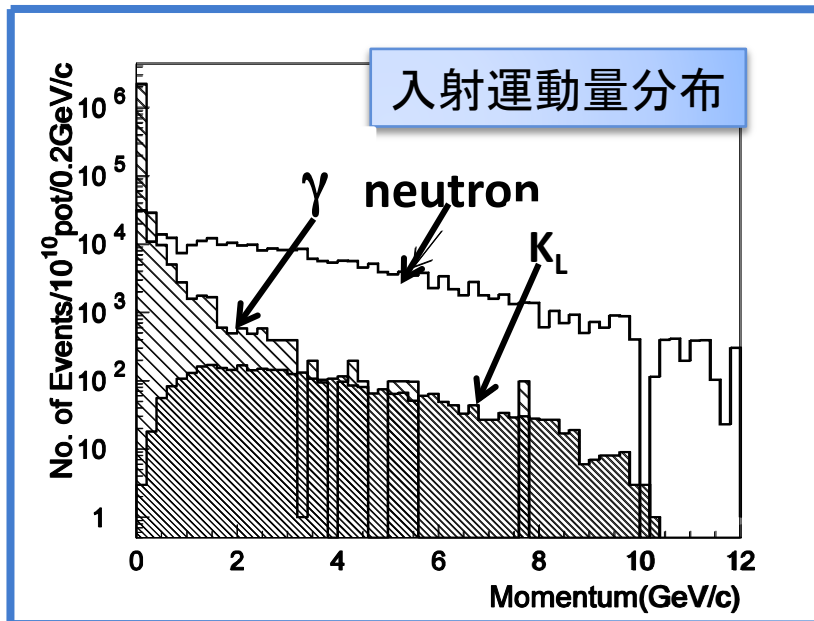
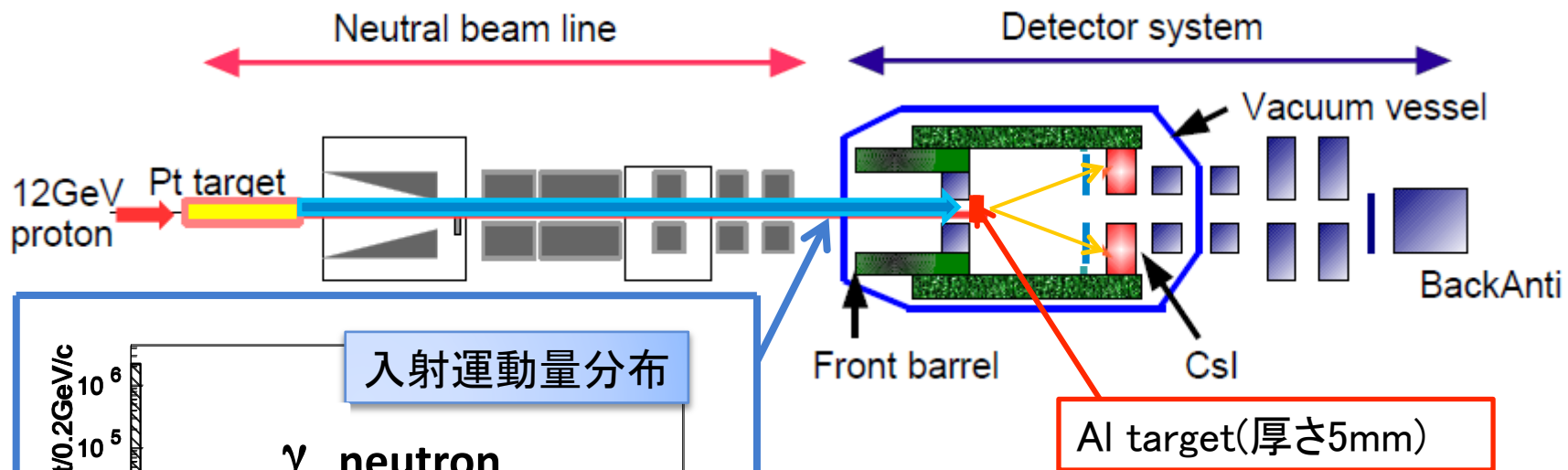


探索実験用SET UP

(E391a 実験装置を利用)

①探索用に一日分のspecial runを行った。

② 3.0×10^{12} 個に相当する中性子がAlターゲットへ入射。



収集したevent数

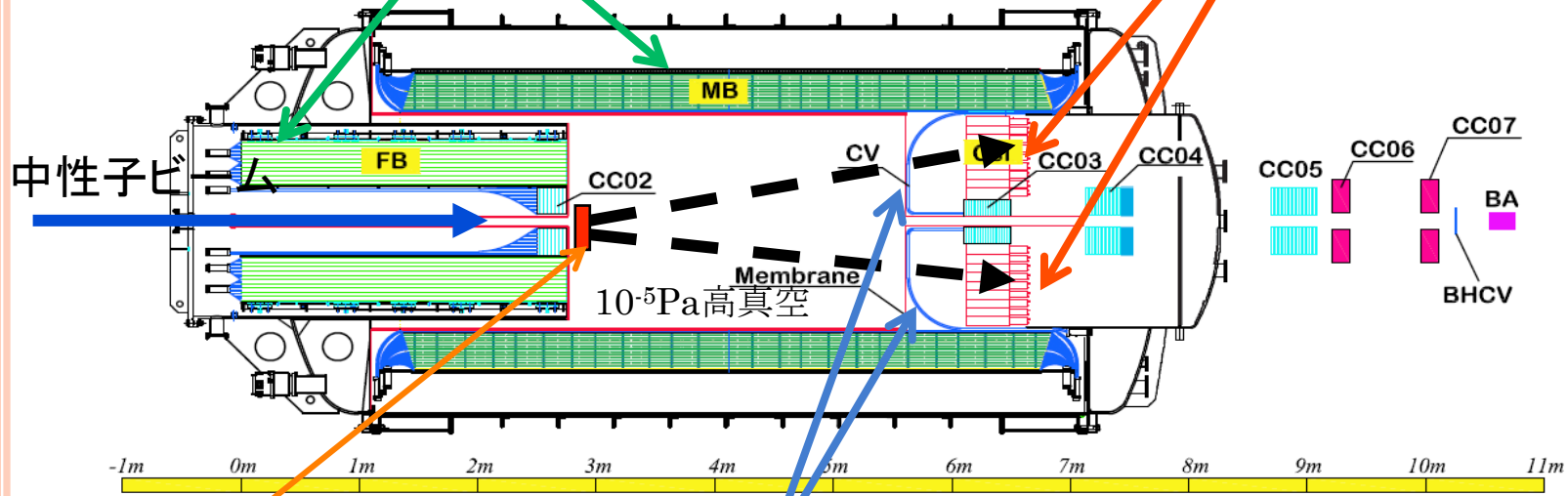
4.2×10^6 events



E391a 検出器

鉛/シンチレータの
サンドイッチ型カロリメータ
➤ 高検出効率(>~99.99%)でveto可能

CsIカロリメータ(576本)
➤ γ 、 e^+ 、 e^- のエネルギー、位置と個数を測定



Alターゲット

荷電粒子識別用plastic scintillator(CV)
➤ 荷電粒子、中性粒子を識別



Eventの再構成方法

U-bosonの崩壊モード $U \rightarrow e^+e^-$ or $\gamma\gamma$

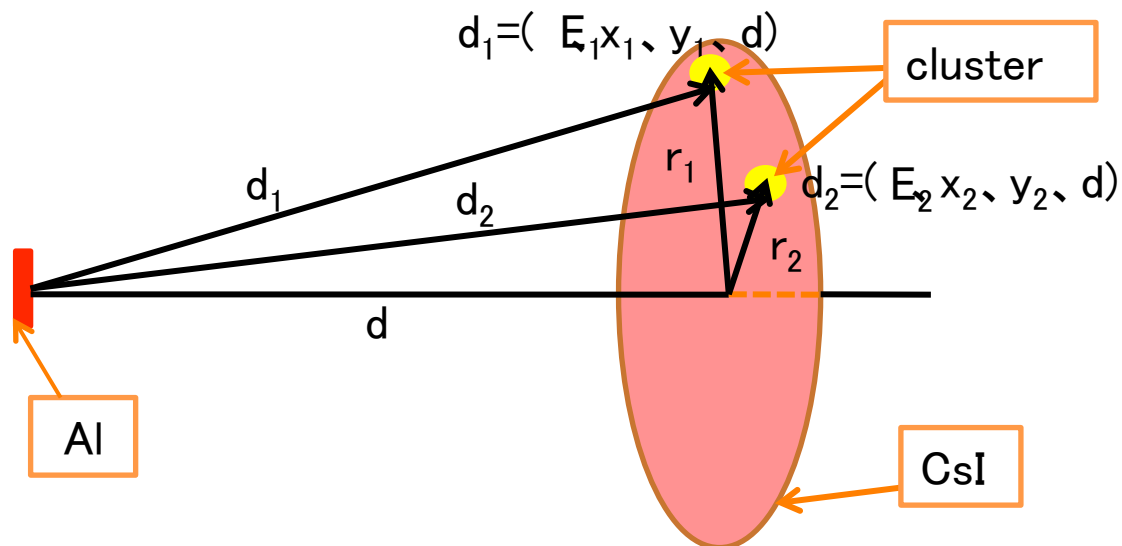
① CsIで各粒子のエネルギー(E_1, E_2)と位置($r_1=(x_1, y_1), r_2=(x_2, y_2)$)を測定する。

② 探索したい粒子(U-boson)を短寿命と仮定し、その崩壊点をAIターゲットの位置と仮定する。

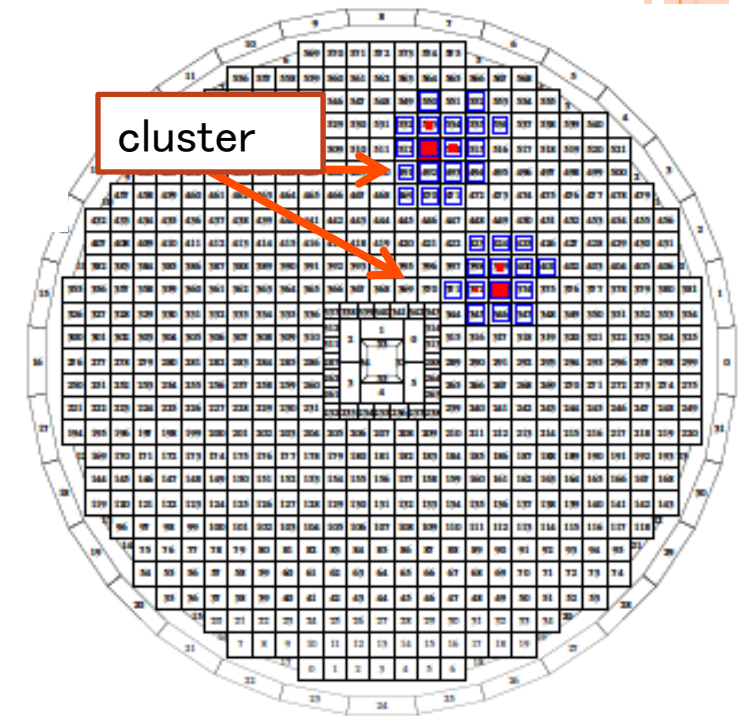
(下図はターゲットからCsIまでの距離をdとしている)

③ もとの粒子の質量を再構成させる。

$$M = (E_1 \cdot E_2 - \mathbf{P}_1 \cdot \mathbf{P}_2)^{1/2}$$



今回は2cluster eventsを解析する



CsI検出器

Eventの選択と背景事象の低減1

CsI上の2clusters events

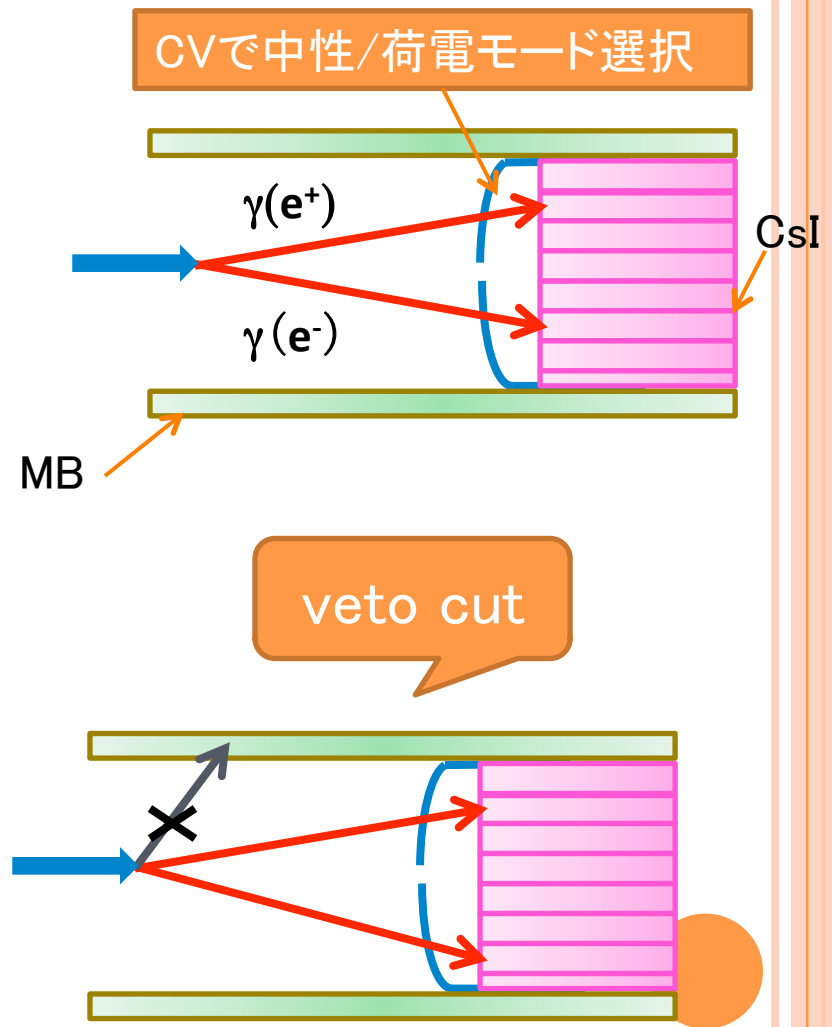


CVで中性モード/荷電モードの分類



Veto cut

終状態が2粒子のみを選択
($K_L \rightarrow 3\pi$ 、 $n \rightarrow$ 多重 π 生成の排除)

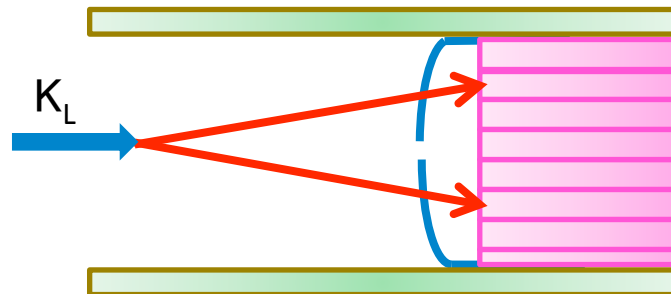


Eventの選択と背景事象の低減 2

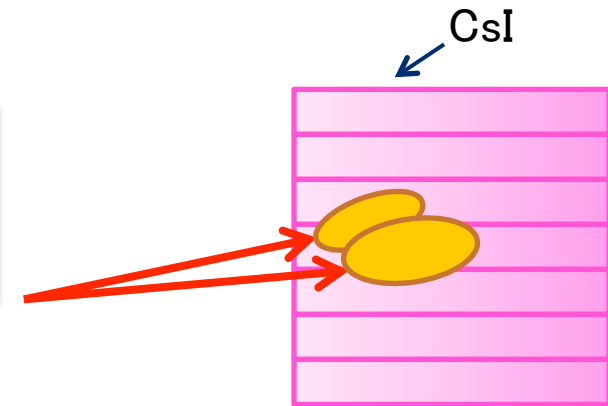
つづき

γ selection cut
electromagnetic(EM) shower の選択
(hadronic showerの低減、fusionの低減、 μ の低減)

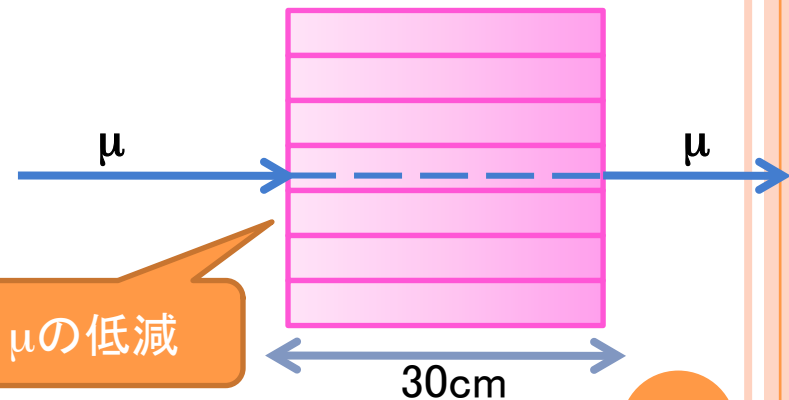
Kinematics cut
運動学的な条件
Uの垂直方向運動量(P_T)等
(K_L 全般のcut)



P_T が小さい K_L -decayをcut



fusion(偽cluster)

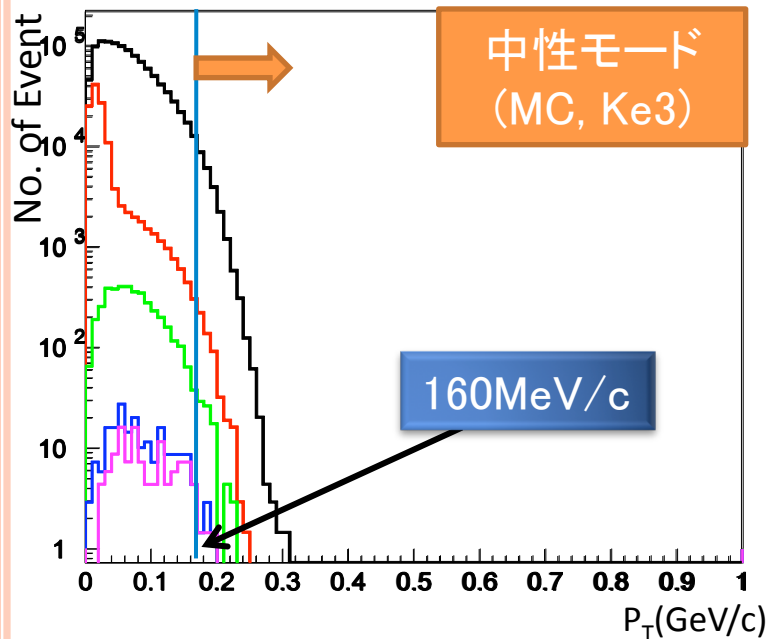
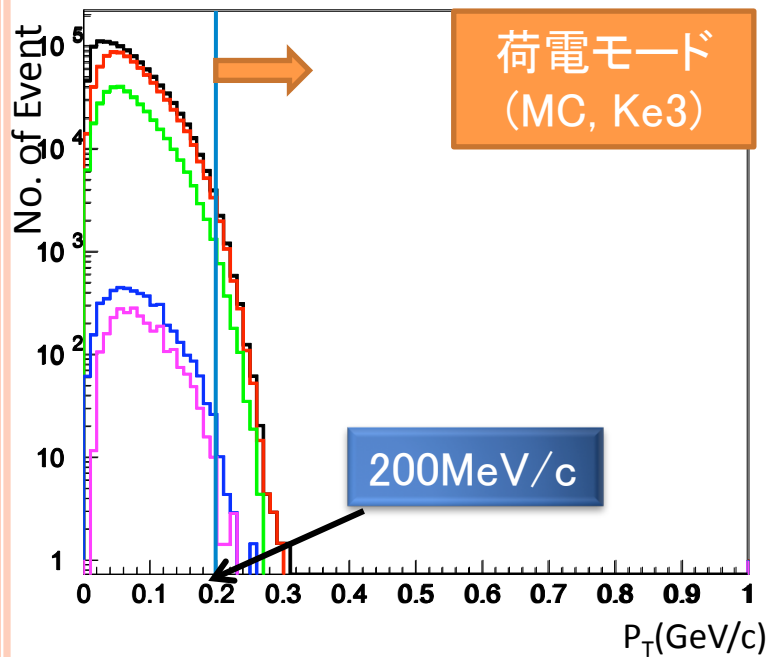


μ の低減

30cmで168MeVのエネルギーを落とす。

Ke3(MC)の P_T 分布

※Ke3とは $K_L \rightarrow \pi^+ e^- \bar{\nu}_e$ または $K_L \rightarrow \pi^- e^+ \nu_e$ (Br38.8%)



黒:cutなし

赤:CVによる荷電モード/中性モードの分類

緑:veto cutにより終状態が2粒子のみを選択

青:EM showerの選択

桃:運動学的な条件をいれる

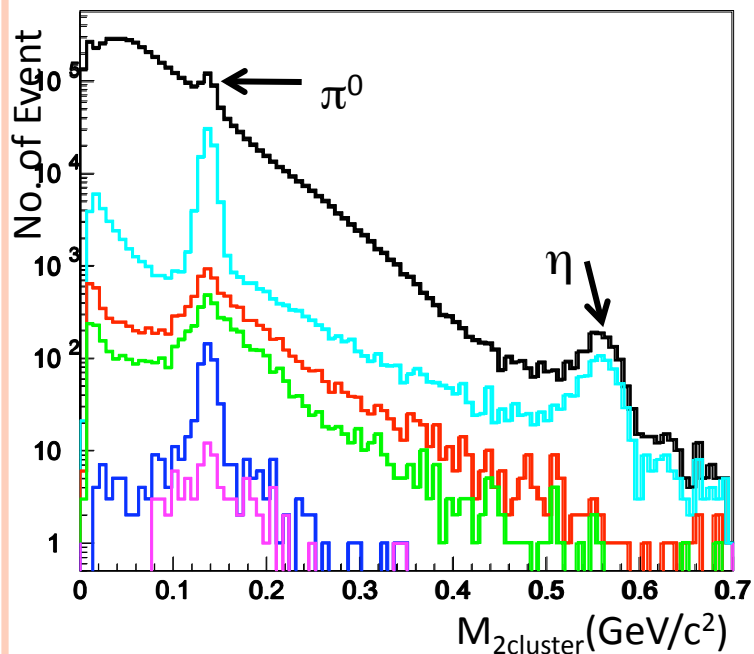
荷電モード $P_T > 200 \text{ MeV}/c$

中性モード $P_T > 160 \text{ MeV}/c$



Ke3 Backgroundを除去!!

荷電モード($U \rightarrow e^+e^-$)解析



黒:cutなし

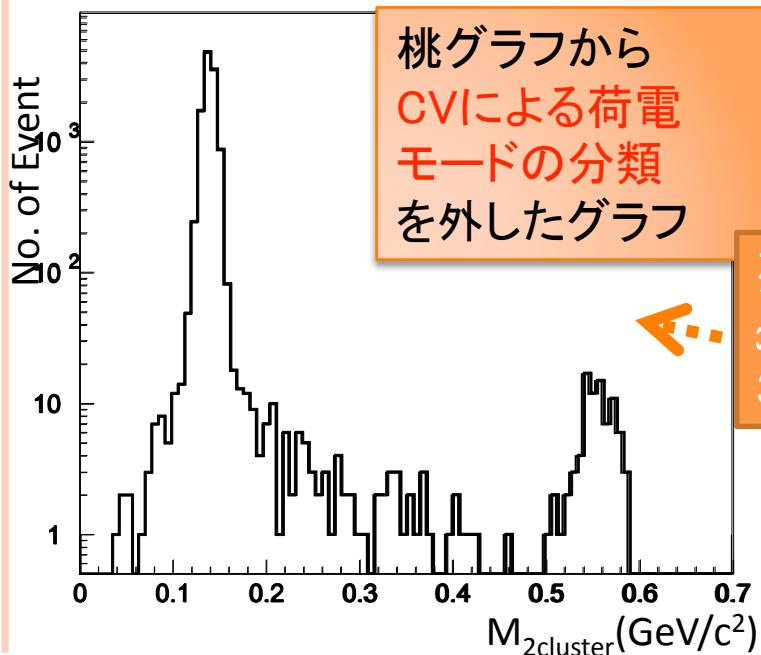
水: $P_T > 200 \text{ MeV}/c$

赤:CVによる荷電モードの分類

緑:veto cutにより終状態が2粒子のみを選択

青:EM showerの選択

桃:運動学的な条件をいれる
CV position cutをいれる

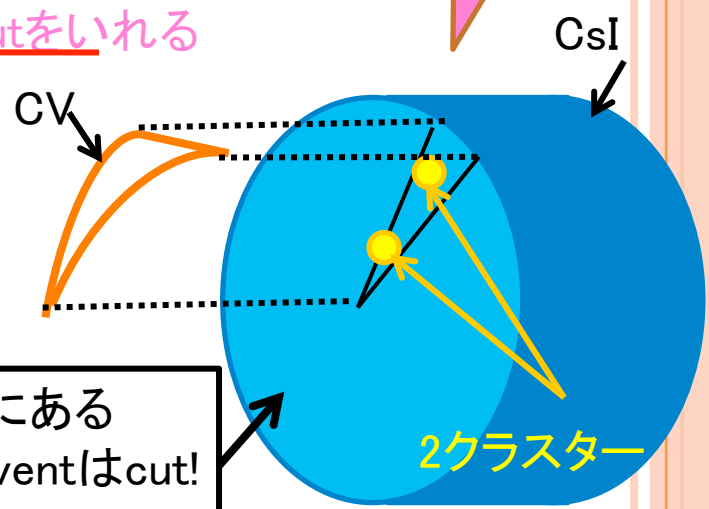


桃グラフから
CVによる荷電
モードの分類
を外したグラフ

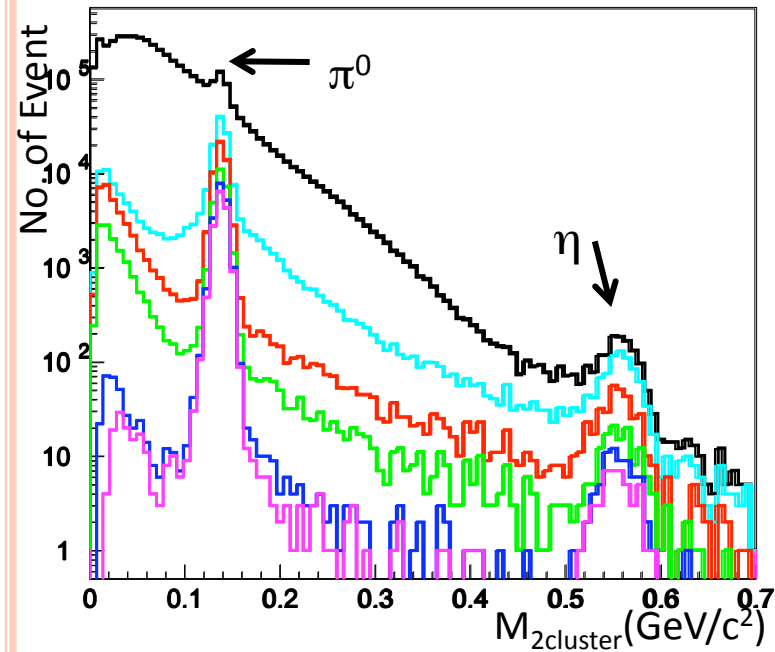
残った数:85events
 π^0 :11320events
 3σ :19.4MeV/c²

同じCV上にある
2cluster eventはcut!

CV
position
cut



中性モード($U \rightarrow 2\gamma$)解析



黒:cutなし



水: $P_T > 160 \text{ MeV}/c$



赤:CVによる中性モードの分類



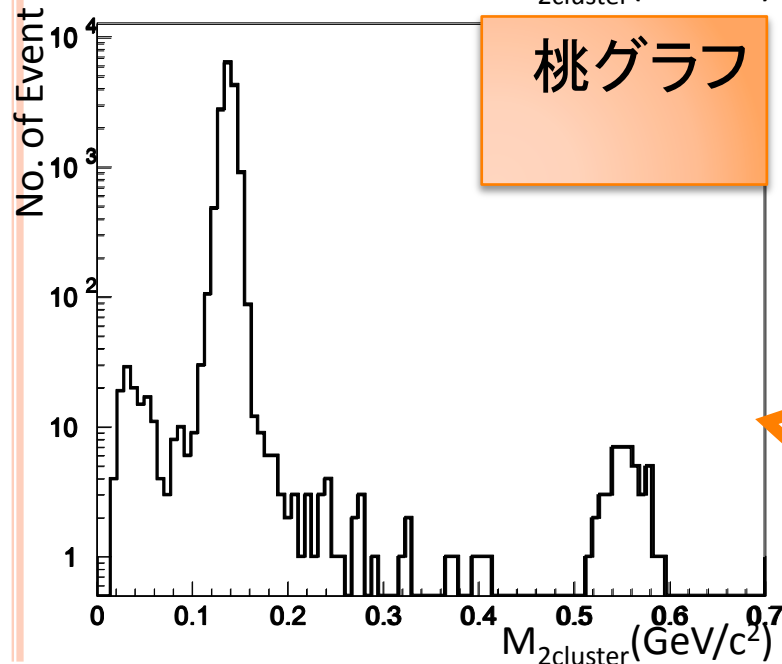
緑:veto cutにより終状態が2粒子のみを選択



青:EM showerの選択



桃:運動学的な条件をいれる



残った数:15362events

π^0 :14945events

3σ :19.8MeV/c²

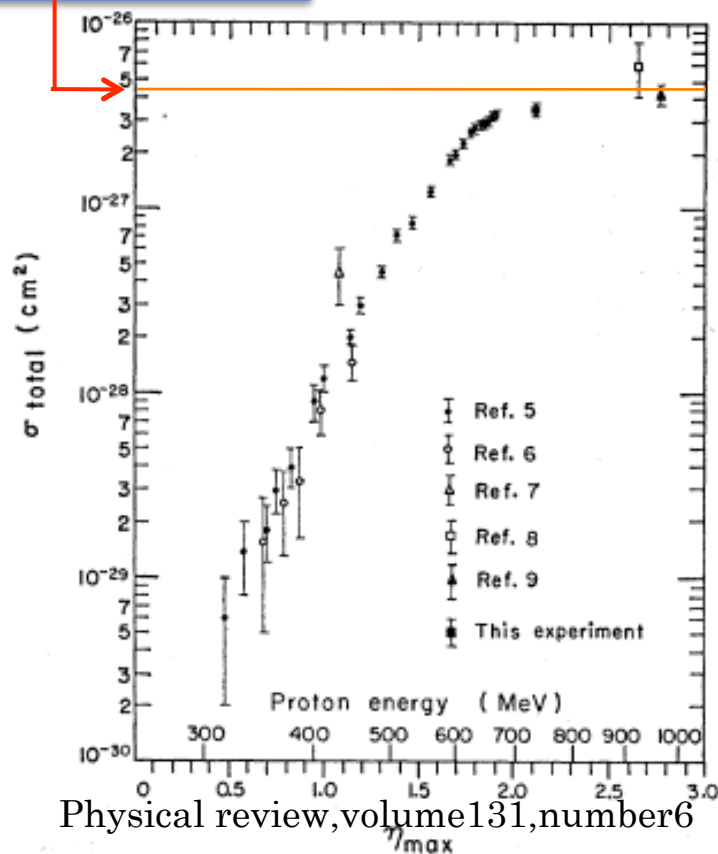


上限値の計算

※ π^0 断面積(4mbarn)と比較することでU-boson断面積の上限値を決める。

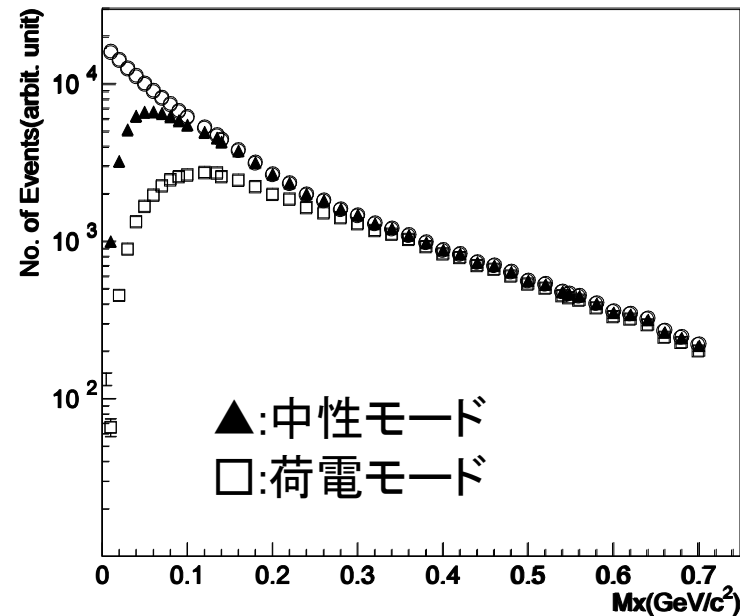
$$\sigma_{U\text{-boson}} < \frac{\pi^0 \text{ 断面積}(4 \times 10^{-3} \text{ barn})}{\pi^0 \text{ イベント数}} \times \text{Acceptance 補正係数}(m_U) \times \text{質量binごとのイベント数の上限値} \text{ [Feldman-Cousins 統計(90\% C.L.)]}$$

$4 \times 10^{-3} \text{ barn}$

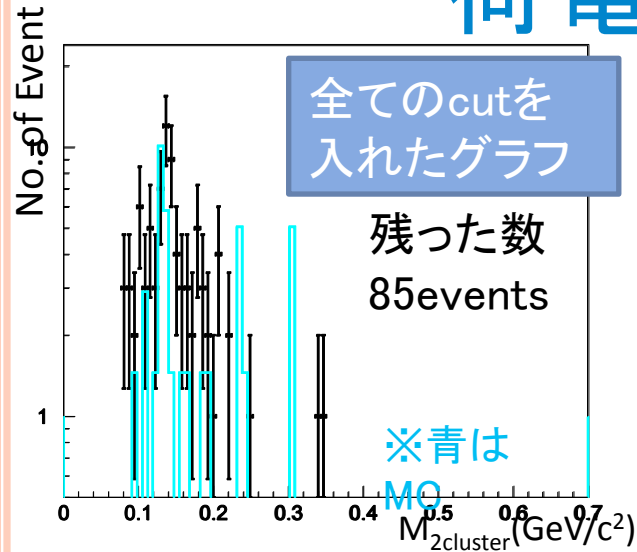


π^0 断面積
($p+p \rightarrow p+p+\pi^0$)

Acceptance 補正係数(m_U)

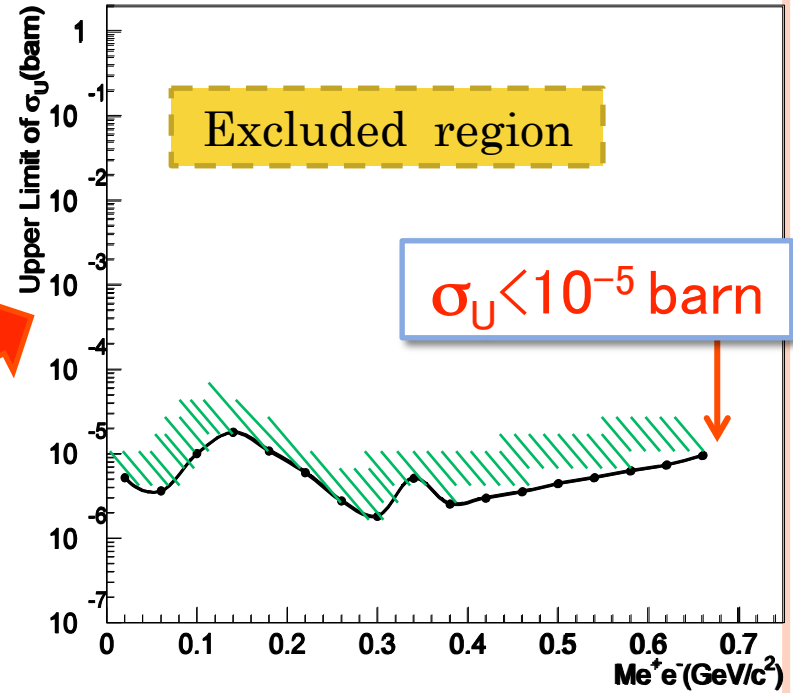


荷電モードの上限値



Upper limit

質量bin
ごとの
イベント数
の上限値

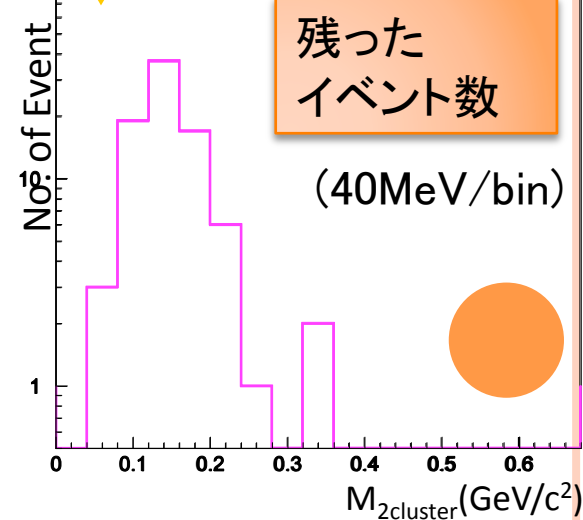
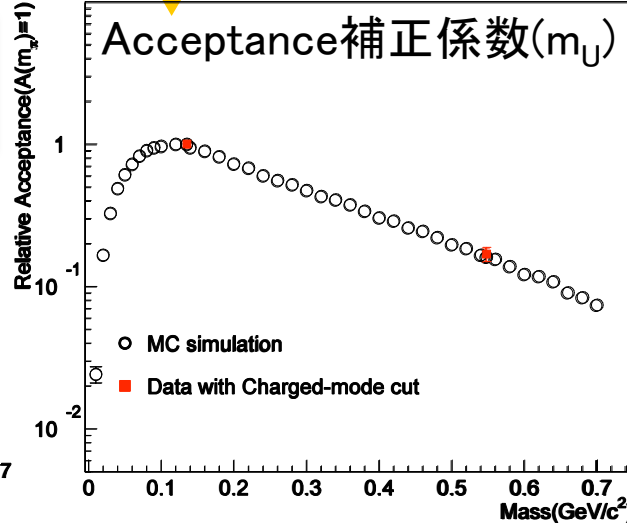
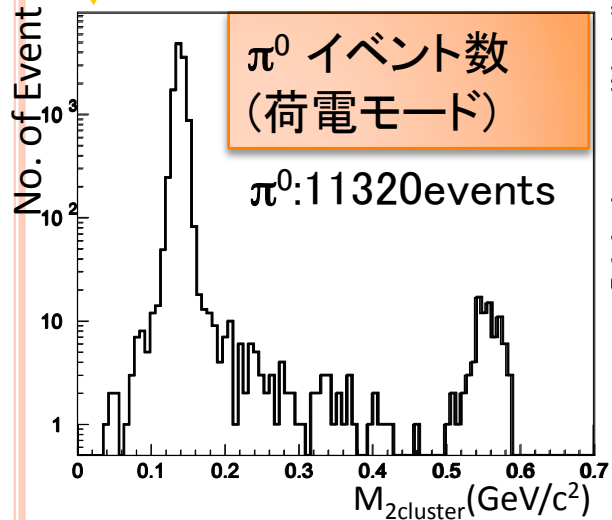


$$\sigma_{\pi^0} (=4 \times 10^{-3})$$

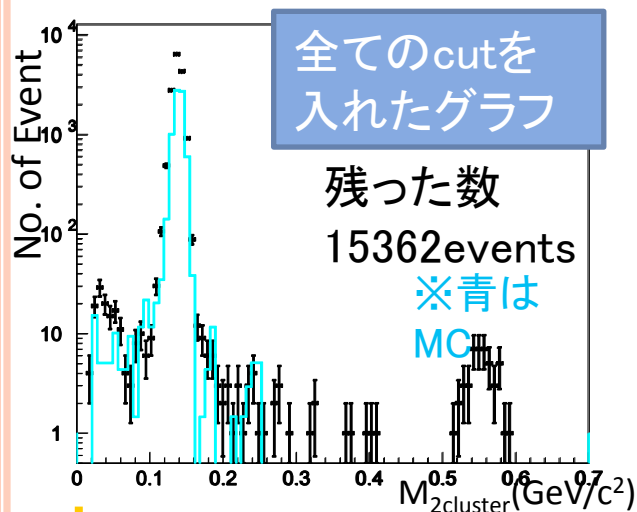
$$N_{\tau^0} (=11320)$$

\times Acceptance \times イベント数

の上限値



中性モードの上限値



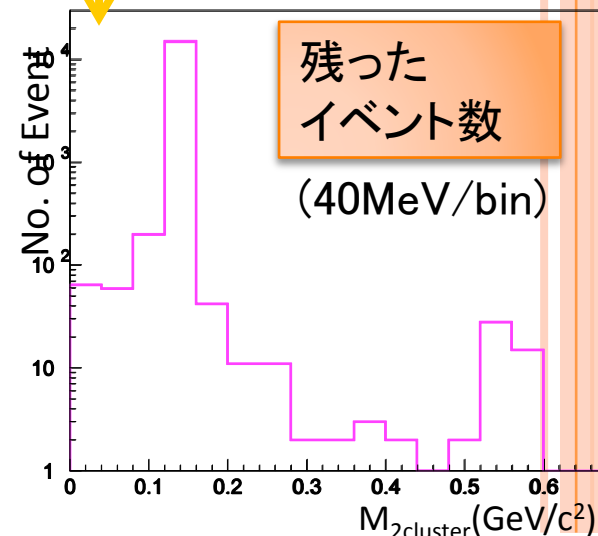
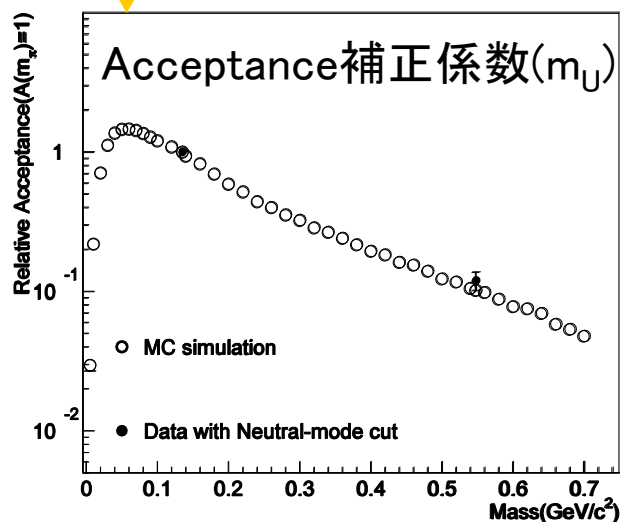
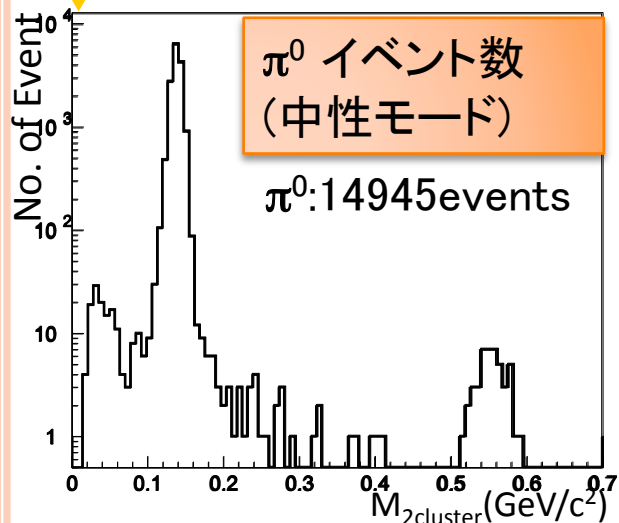
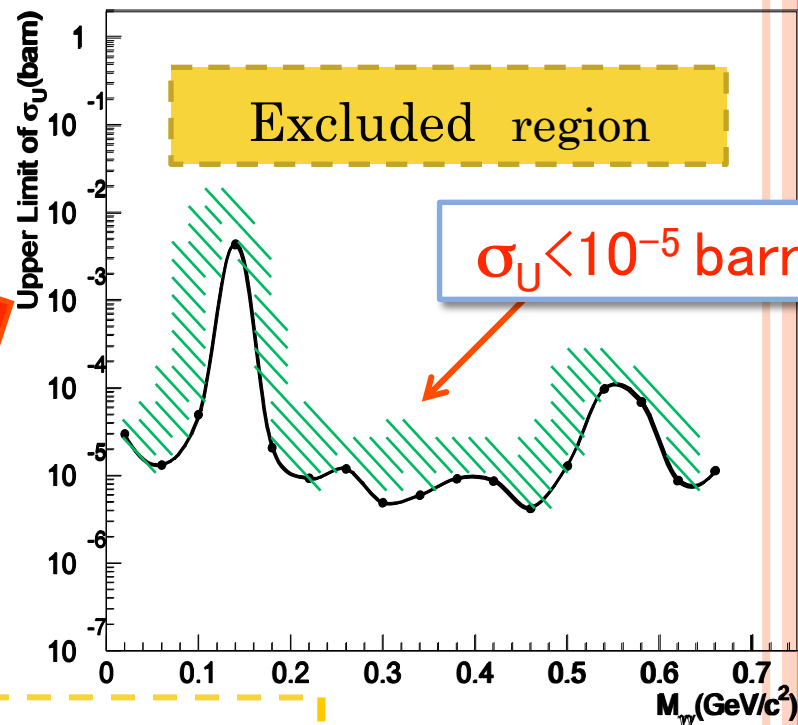
$$\sigma_{\pi^0} (=4 \times 10^{-3})$$

$$N_{\pi^0} (=14945)$$

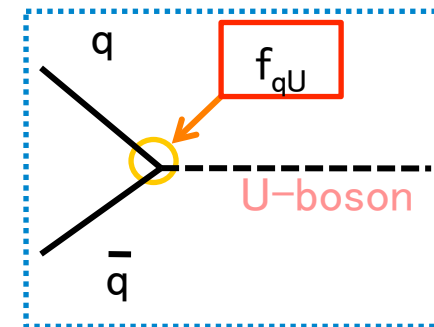
$$\times \text{Acceptance} \times \text{イベント数の上限値}$$

Upper limit

質量bin
ごとの
イベント数
の上限値



他の実験から得られる Coupling constant(f_{qU})への制限



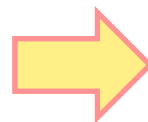
J/ ψ 崩壊実験



$$f_{qU} < 0.9 \times 10^{-2}$$

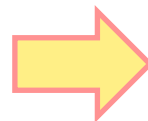
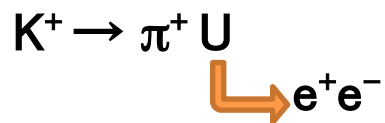
$$(m_U < 1.5 \text{ GeV}/c^2)$$

K⁺ 崩壊実験



$$f_{qU} < 10^{-3}$$

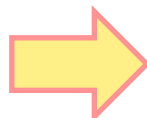
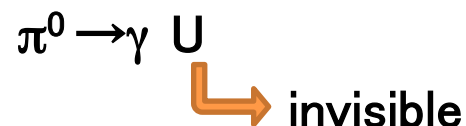
$$(m_U < m_{\pi^0} = 135 \text{ MeV}/c^2)$$



$$f_{qU} < 10^{-3}$$

$$(170 \text{ MeV}/c^2 < m_U < 240 \text{ MeV}/c^2)$$

π^0 崩壊実験

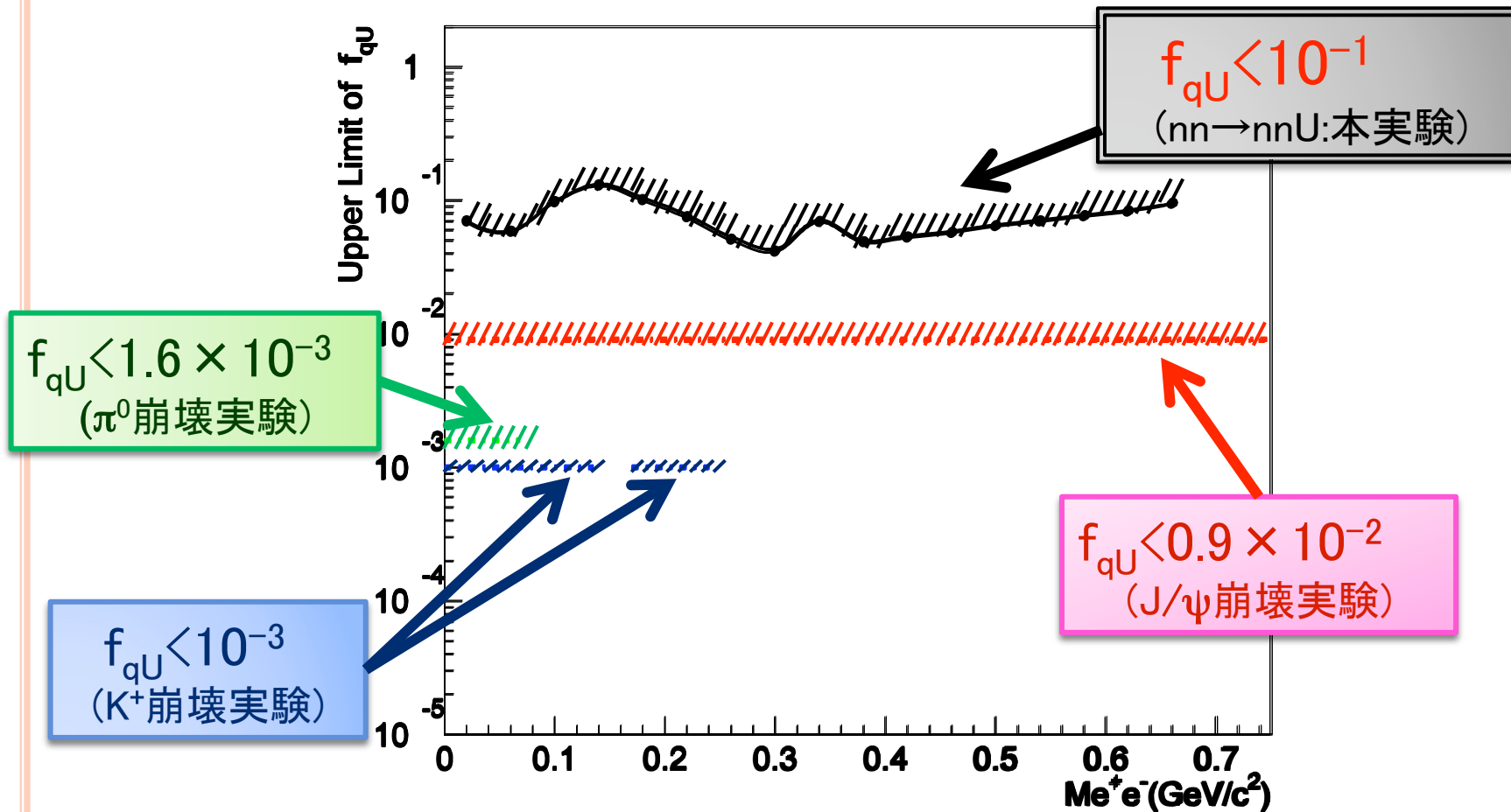


$$f_{qU} < 1.6 \times 10^{-3}$$

$$(m_U < \frac{m_{\pi^0}}{2} = 68 \text{ MeV}/c^2)$$



Coupling constantの比較



Coupling constant(f_{qU})

$$< \sqrt{\frac{4\pi\alpha_s}{N_{\pi^0}} \times \text{Acceptance} \times \text{質量binごとのイベント数の上限値}}$$

まとめ

☉ KEK-PS E391a実験のAI標的Runデータを使い、

$U\text{-boson} \rightarrow e^+e^- \text{ or } \gamma\gamma$

を想定した $0\text{MeV}/c^2 \sim 700\text{MeV}/c^2$ の質量領域で
解析を試みた。

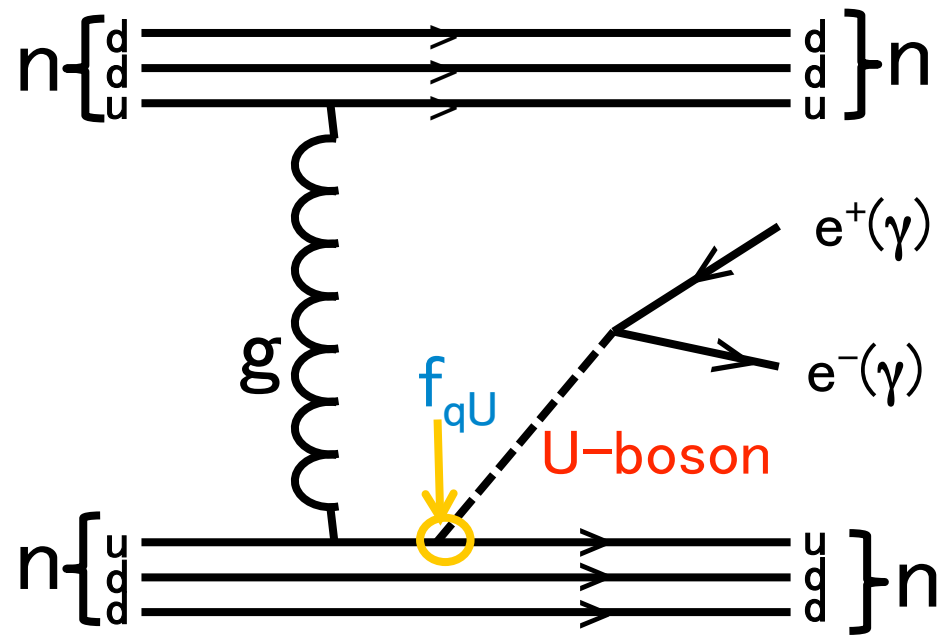
☉ 荷電モード ($P_T > 200\text{MeV}/c$)
中性モード ($P_T > 160\text{MeV}/c$) $\Rightarrow \sigma_U < 10^{-5} \text{ barn}$

☉ Coupling constant (f_{qU}) は 10^{-1} 以下と求められた。
(他の実験より得られる coupling constant
にはおよそ一桁～二桁届かなかった)

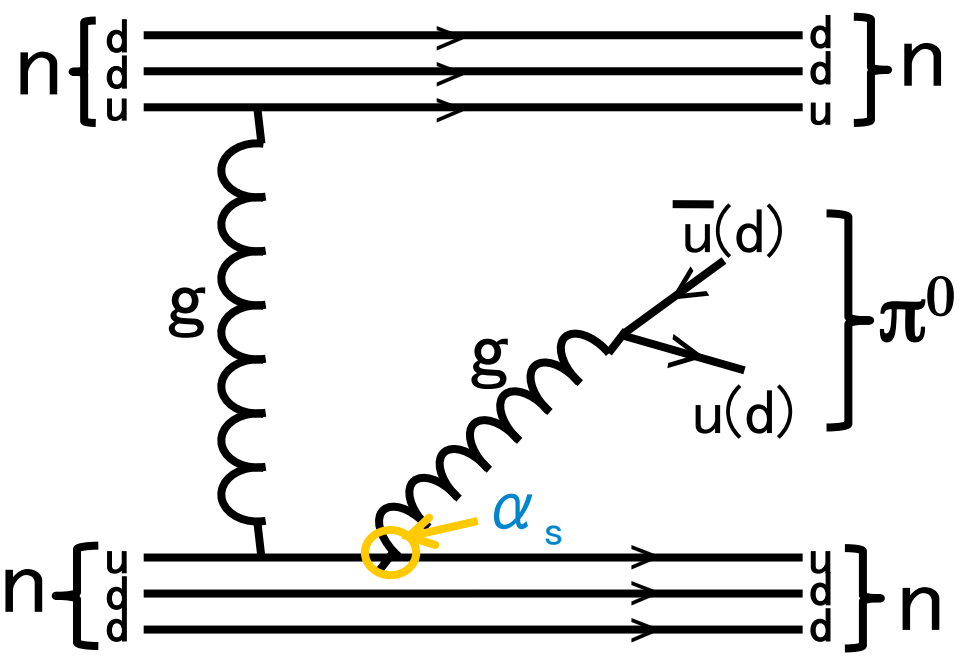


BACK
UP





$$n+n \rightarrow n+n+U$$



$$n+n \rightarrow n+n+\pi^0$$



Coupling constant

$$\frac{\sigma(nn \rightarrow nnU)}{\sigma(nn \rightarrow nn\pi^0)} \sim \frac{f_{qU}^2}{4\pi\alpha_s}$$

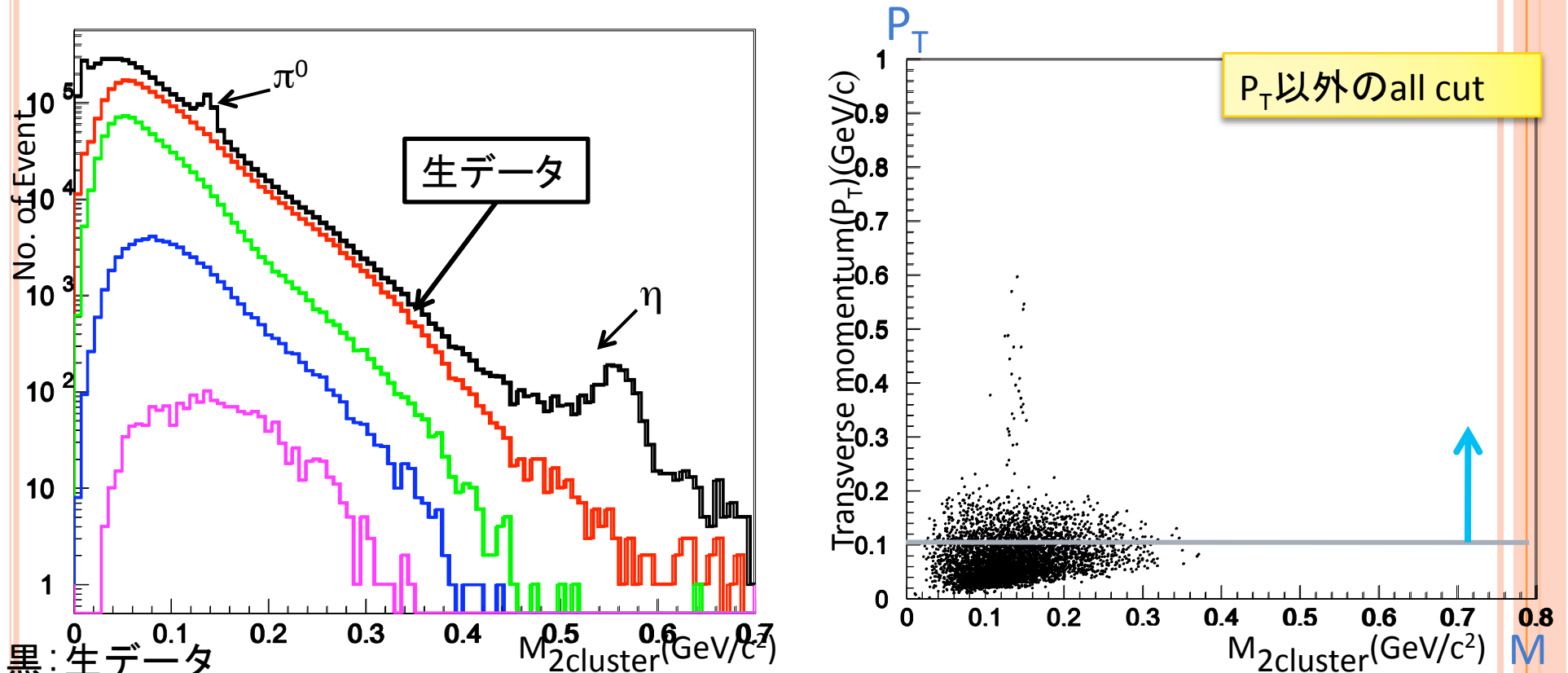
$$f_{qU} \sim \sqrt{4\pi\alpha_s \times \frac{\sigma(nn \rightarrow nnU)}{\sigma(nn \rightarrow nn\pi^0)}}$$



$$f_{qU} < \sqrt{\frac{4\pi\alpha_s}{N_{\pi^0}} \times \text{Acceptance} \times \begin{array}{l} \text{質量bin} \\ \text{ごとの} \\ \text{イベント数} \\ \text{の上限値} \end{array}}$$



e^+e^- 解析(荷電モード, low P_T)



黒: 生データ

赤: 荷電モードの選択

緑: 荷電モードの選択+vetoにより2粒子を選択

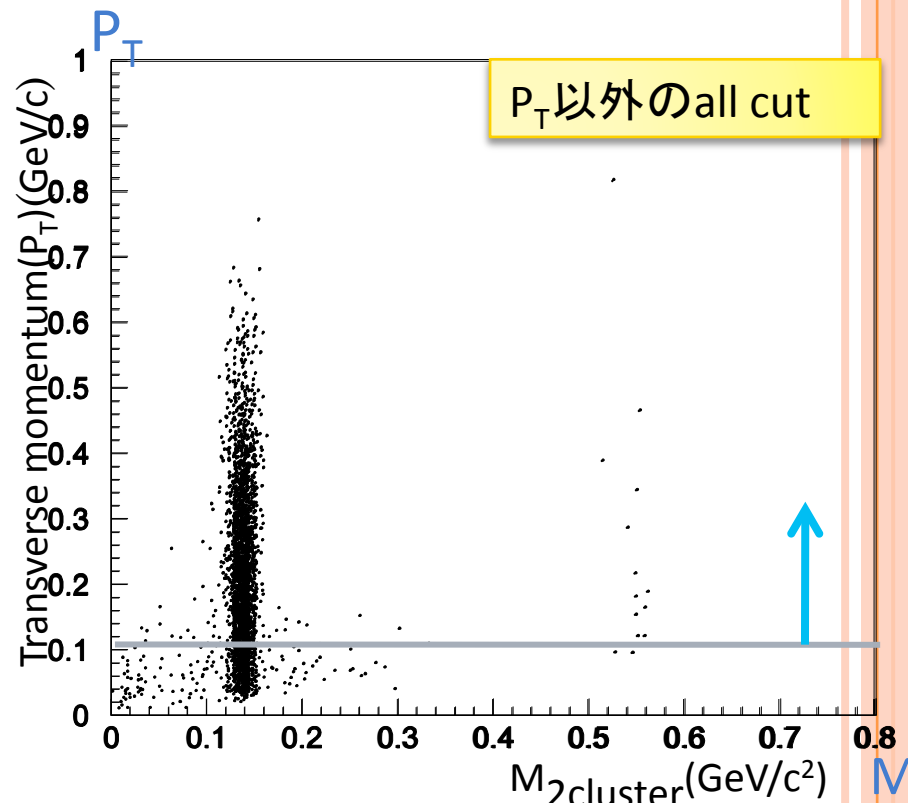
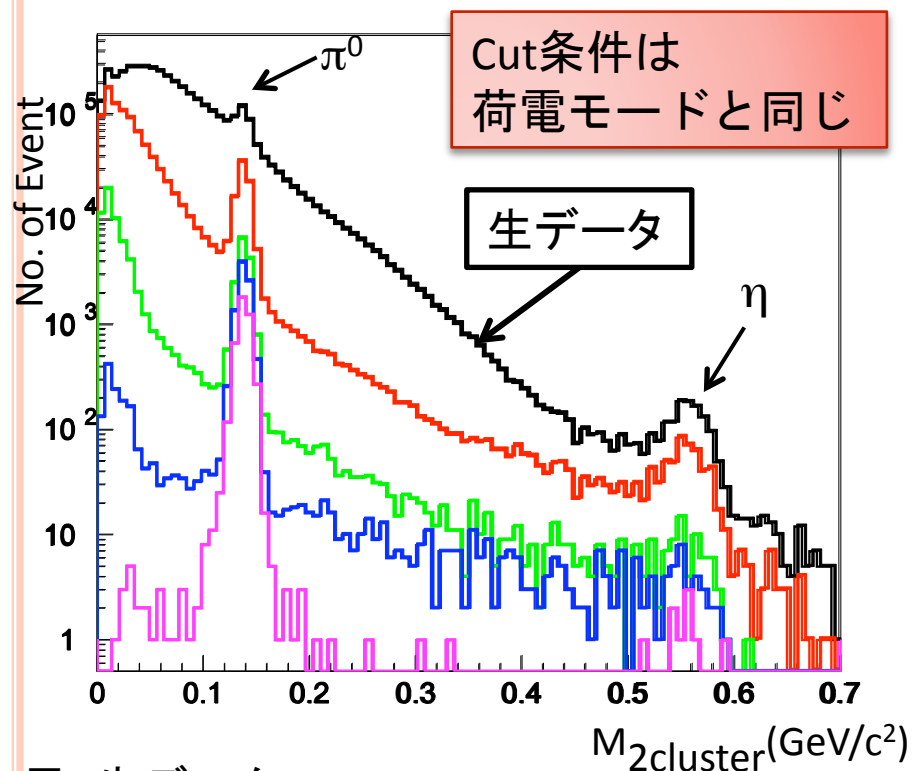
青: 荷電モードの選択+vetoにより2粒子を選択+EM showerの選択

桃: 荷電モードの選択+vetoにより2粒子を選択+EM showerの選択+運動学的な条件

結果

Event selectionの結果1500events程度の連続分布が残った。また、ピークらしきものは見られない。

2 γ 解析(中性モード, low P_T)



黒: 生データ

赤: 中性モードの選択

緑: 中性モードの選択+ vetoにより2粒子を選択

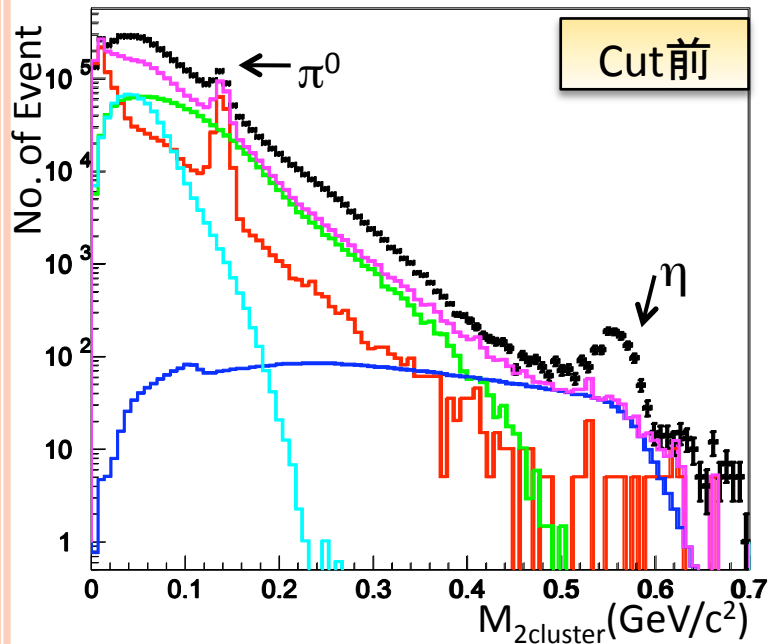
青: 中性モードの選択+ vetoにより2粒子を選択+EM showerの選択

桃: 中性モードの選択+ vetoにより2粒子を選択+EM showerの選択+運動学的な条件

結果

Event selectionの結果、 π^0 と η 以外のpeakは見られない。

MCとの比較



黒： 実験データ

MC (GEANT3)

赤： MC, コア中性子

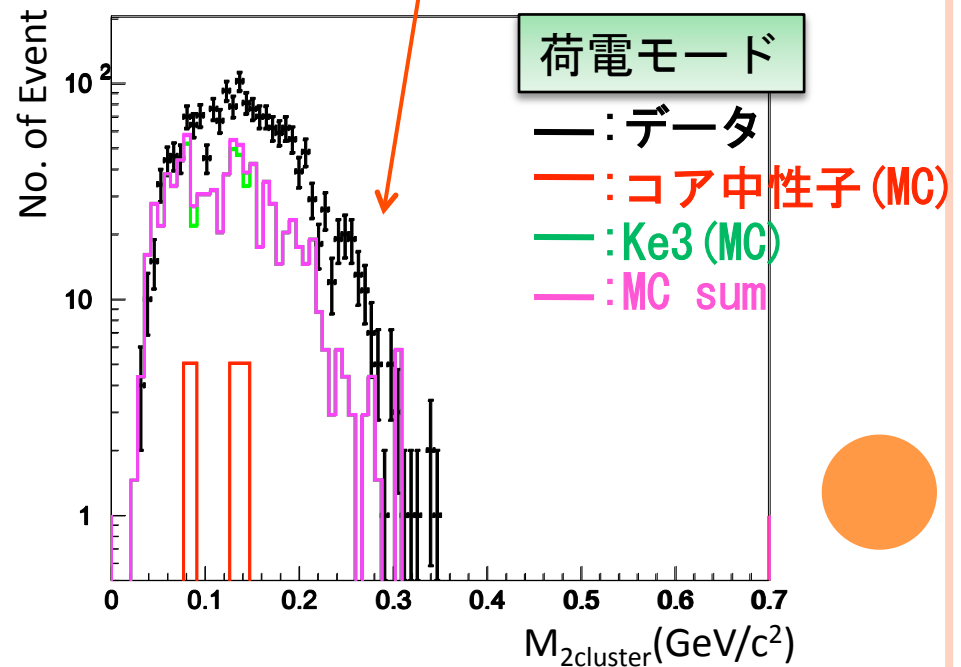
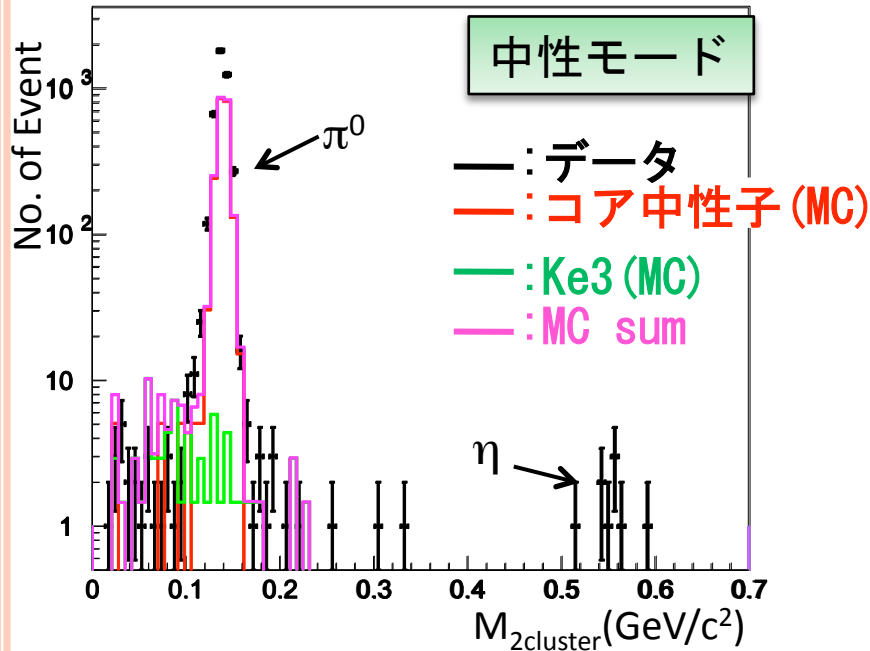
緑： MC, $K_L \rightarrow \pi^\pm e^\mp \nu_e$ (Ke3), BR38.81%

水： MC, $K_L \rightarrow \pi^\pm \mu^\mp \nu_\mu$ (K μ 3), BR27.19%

青： MC, $K_L \rightarrow \gamma\gamma$, BR 5.5×10^{-4}

桃： MC sum

Main background :Ke3source



Eventの再構成

中性モード

$$m = \{(E_1 + E_2)^2 - (Px_1 + Px_2)^2 - (Py_1 + Py_2)^2 - (Pz_1 + Pz_2)^2\}^{1/2}$$

$$\text{ただし、}(Px_1, Py_1, Pz_1) = \left\{ \frac{E_1 x_1}{(x_1^2 + y_1^2 + d^2)^{1/2}}, \frac{E_1 y_1}{(x_1^2 + y_1^2 + d^2)^{1/2}}, \frac{E_1 d}{(x_1^2 + y_1^2 + d^2)^{1/2}} \right\}$$

$$(Px_2, Py_2, Pz_2) = \left\{ \frac{E_2 x_2}{(x_2^2 + y_2^2 + d^2)^{1/2}}, \frac{E_2 y_2}{(x_2^2 + y_2^2 + d^2)^{1/2}}, \frac{E_2 d}{(x_2^2 + y_2^2 + d^2)^{1/2}} \right\}$$

荷電モード

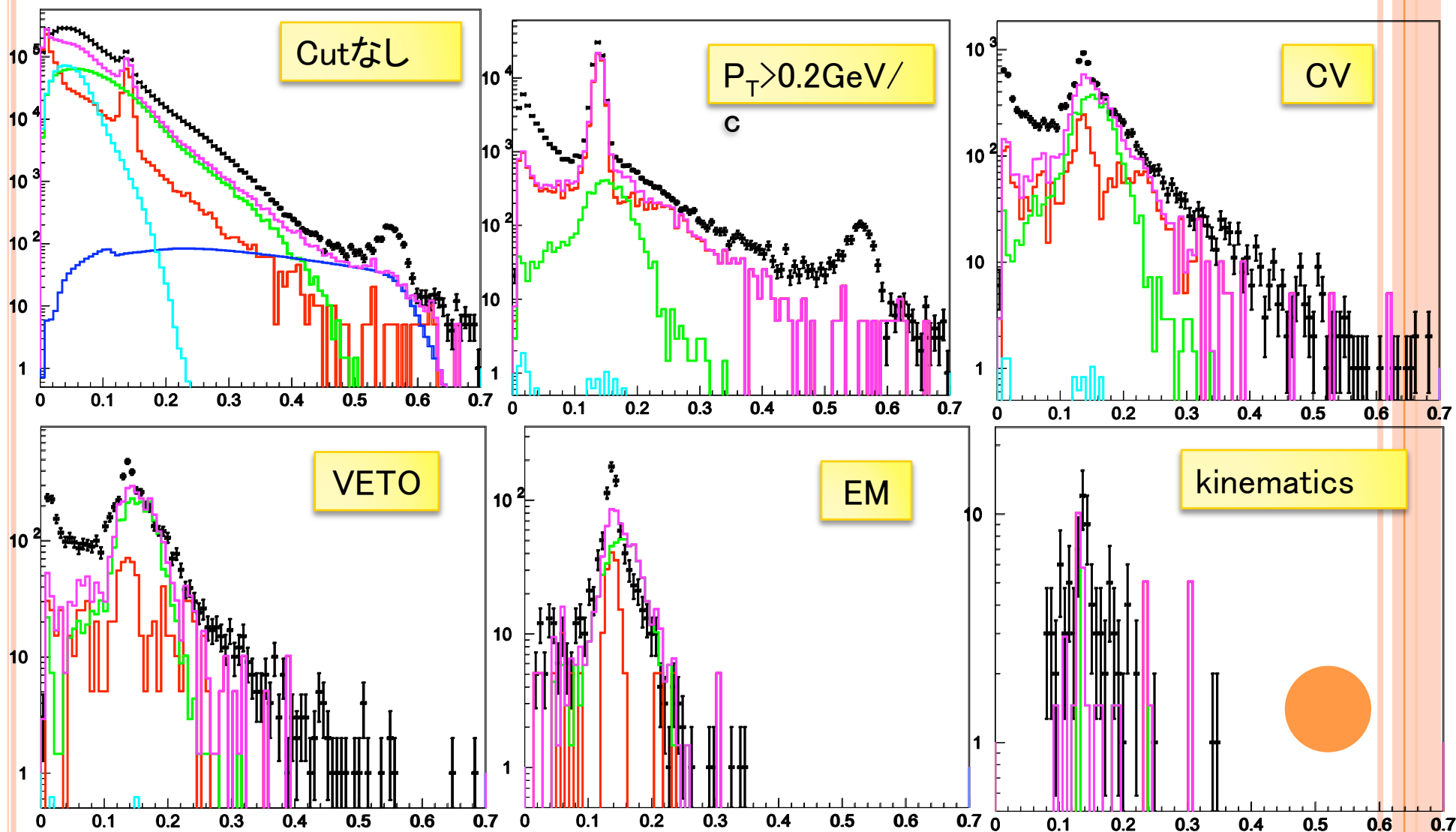
$$m = \{(E_1 + E_2)^2 - (Px_1 + Px_2)^2 - (Py_1 + Py_2)^2 - (Pz_1 + Pz_2)^2\}^{1/2}$$

$$\text{ただし、}(Px_1, Py_1, Pz_1) = \left\{ \frac{(E_1^2 - m_e^2)^{1/2} x_1}{(x_1^2 + y_1^2 + d^2)^{1/2}}, \frac{(E_1^2 - m_e^2)^{1/2} y_1}{(x_1^2 + y_1^2 + d^2)^{1/2}}, \frac{(E_1^2 - m_e^2)^{1/2} d}{(x_1^2 + y_1^2 + d^2)^{1/2}} \right\}$$

$$(Px_2, Py_2, Pz_2) = \left\{ \frac{(E_2^2 - m_e^2)^{1/2} x_2}{(x_2^2 + y_2^2 + d^2)^{1/2}}, \frac{(E_2^2 - m_e^2)^{1/2} y_2}{(x_2^2 + y_2^2 + d^2)^{1/2}}, \frac{(E_2^2 - m_e^2)^{1/2} d}{(x_2^2 + y_2^2 + d^2)^{1/2}} \right\}$$

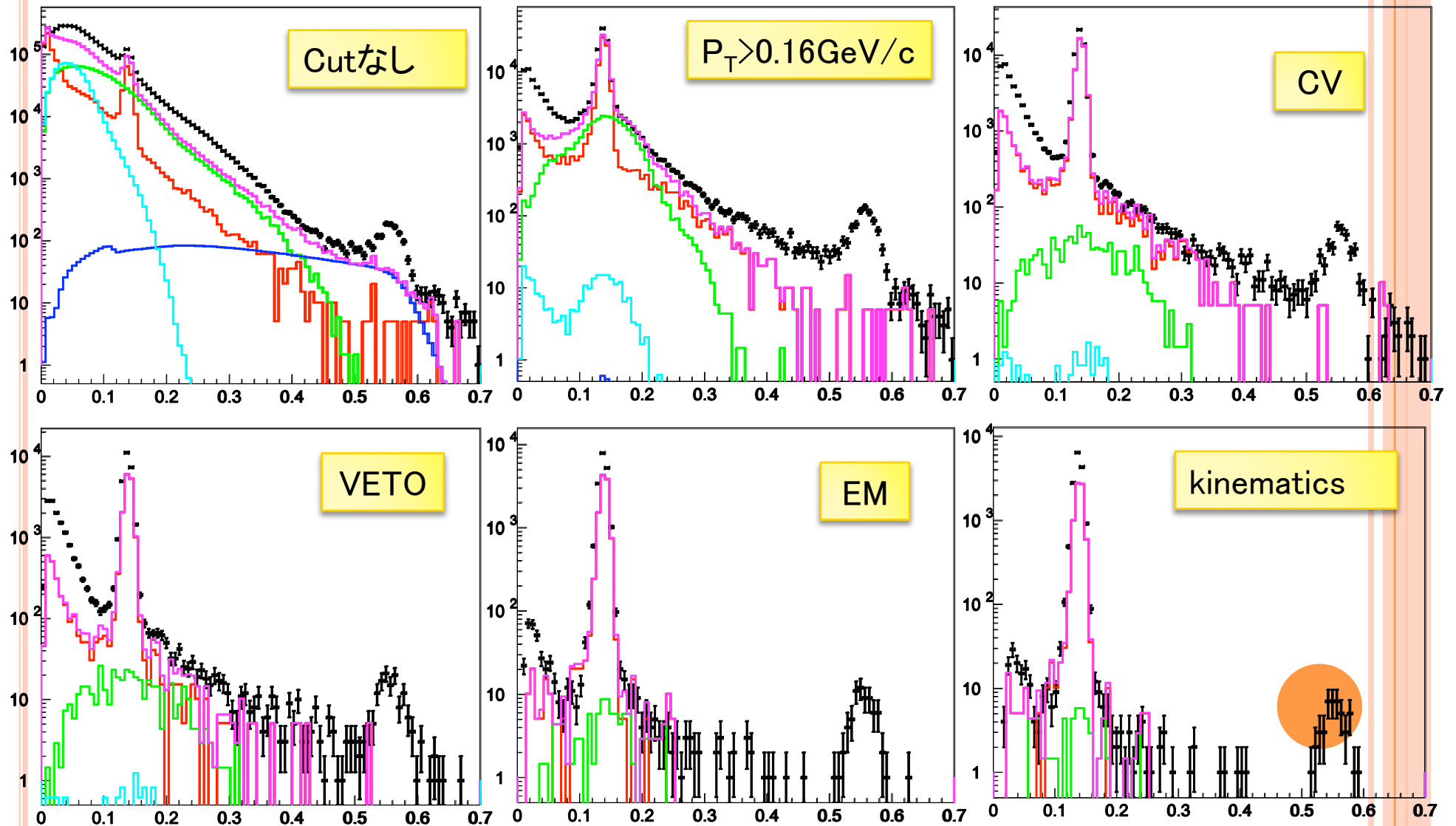
MCとの比較(荷電モード)

黒:DATA、赤:コア中性子、青: $K \rightarrow \gamma\gamma$ 、緑:Ke3、水: $K\mu 3$ 、桃:全MC



MCとの比較(中性モード)

黒:DATA、赤:コア中性子、青: $K \rightarrow \gamma\gamma$ 、緑:Ke3、水: $K\mu 3$ 、桃:全MC



荷電/中性モード分類

- Position matching CV(PMCV)
54.6ns~63.4ns,1~3MeV

2粒子選択

- CC02 73.6ns~94.0ns, 2MeV
- CC03 1.5MeV
- CC04 91.0ns~99.5ns,0.8MeV
- CC04scinti layer 93.0ns~99.2ns,0.7MeV
- CC05 2.0MeV
- CC05scinti layer 0.7MeV
- CC06 81.7ns~97.4ns,2.0MeV
- CC07 94.5ns~126.0ns,25.0MeV
- FB 79.5ns~92.4ns,1.0MeV
- Inner CV 57.3ns~64.5ns,0.1MeV
- MB 69.4ns~87.0ns,5.0MeV
- BAveto 0
- dt -9.117ns~6.129ns
- Sandwich 65.2ns~76.2ns,2MeV
- BCV 74.7ns~89.7ns,1.0MeV
- BHCV 0.1MeV

EM shower選択

- RMS <5.9
- nergy ratio>0.85
- TDI<3.0
- gnid>0.3
- $\Delta\theta$ >-40.0
- Fusion>0.5
- MIP cluster(1),(2) 115MeV~250MeV

Kinematics cut

- R12>23.5cm •acp>20°
- Erat>0.045
- Pt>0.2GeV
- Rcut Csl radius<80.5cm
and
-17.5cm<gamx<17.5cm,
-17.5cm<gamy<17.5cm

Charged mode
optimize cut($P_T > 0.2\text{GeV}$)

荷電/中性モード分類

- Outer CV 51.7s~67.2ns,0.1MeV
- Position matching CV(PMCV) 54.6ns~63.4ns,1~3Me

2粒子選択

- CC02 83.6ns~95.0ns, 2MeV
- CC03 1.5MeV
- CC04 90.9ns~100.0ns,0.8MeV
- CC04scinti layer 91.9ns~100.51ns,0.7MeV
- CC05 2.0MeV
- CC05scinti layer 0.7MeV
- CC06 81.7ns~94.6ns,2.0MeV
- CC07 93.9ns~120.9ns,25.0MeV
- FB 79.0ns~92.4ns,1.0MeV
- Inner CV 48.6ns~67.0ns,0.1MeV
- MB 66.7ns~92.4ns,5.0MeV
- BAveto 0
- dt -9.117ns~6.129ns
- Sandwich 60.4ns~76.6ns,2MeV
- BCV 69.4ns~92.4ns,1.0MeV
- BHCV 0.1MeV

EM shower選択

- RMS <5.3
- nergy ratio>0.85
- TDI<3.0
- gnid>0.3
- $\Delta\theta$ >-40.0
- Fusion>0.5
- MIP cluster(1),(2) 115MeV~250MeV

Kinematics cut

- R12>23.5cm • $\text{acp}>20^\circ$
- Erat>0.04
- Pt>0.16GeV
- Rcut Csl radius<80.5cm
and
-17.5cm<gamx<17.5cm,
-17.5cm<gamy<17.5cm

Neutral mode
optimize cut($P_T>0.16\text{GeV}$)

Selection of neutral or charged

- Outer CV 47.3ns~68.7ns,0.1MeV
- Position matching CV(PMCV)
54.6ns~63.4ns,1~3MeV

Selection of two particle

- CC02 78.3ns~96.0ns, 2MeV
- CC03 1.5MeV
- CC04 84.8ns~101.9ns,0.8MeV
- CC04scinti layer 83.5ns~102.2ns,0.7MeV
- CC05 2.0MeV
- CC05scinti layer 0.7MeV
- CC06 70.6ns~97.9ns,2.0MeV
- CC07 75.1ns~129.7ns,25.0MeV
- FB 59.0ns~118.6ns,1.0MeV
- Inner CV 45.1ns~70.3ns,0.1MeV
- MB 57.8ns~95.6ns,1.0MeV
- BAveto 0
- dt -9.117ns~6.129ns
- Sandwich 51.5ns~81.1ns,2MeV
- BCV 59.5ns~95.3ns,0.5MeV
- BHCV 0.1MeV
- Csl

Selection of EM shower

- RMS <5.0
- nergy ratio>0.9
- TDI<3.0
- gnid>0.5
- $\Delta\theta$ >-20
- Fusion>0.5
- MIP cluster(1),(2) 115MeV~250MeV

Kinematics cut

- R12>25.0cm
- Erat>0.3
- acp>20°
- Pt>0.1GeV
- Rcut Csl radius<80.5cm
and
-17.5cm<gamx<17.5cm,
-17.5cm<gamy<17.5cm



Experime

Selection of neutral or charged

- Outer CV -3.4ns~18.0ns,0.1MeV
- Position matching CV(PMCV)
2.3ns~8.8ns,1~3MeV

Selection of two particle

- CC02 -15.0ns~2.7ns, 2MeV
- CC03 1.5MeV
- CC04 1.4ns~18.5ns,0.8MeV
- CC04scinti layer 2.17ns~20.87ns,0.7MeV
- CC05 2.0MeV
- CC05scinti layer 0.7MeV
- CC06 8.35ns~35.65ns,2.0MeV
- CC07 11.5ns~66.1ns,25.0MeV
- FB 7.3ns~66.9ns,1.0MeV
- Inner CV -6.9ns~18.3ns,0.1MeV
- MB 4.1ns~41.9ns,1.0MeV
- BAveto 0
- dt -9.117ns~6.129ns
- Sandwich -0.6ns~29.0ns,2MeV
- BCV 9.1ns~44.9ns,0.5MeV
- BHCV 0.1MeV
- Csl

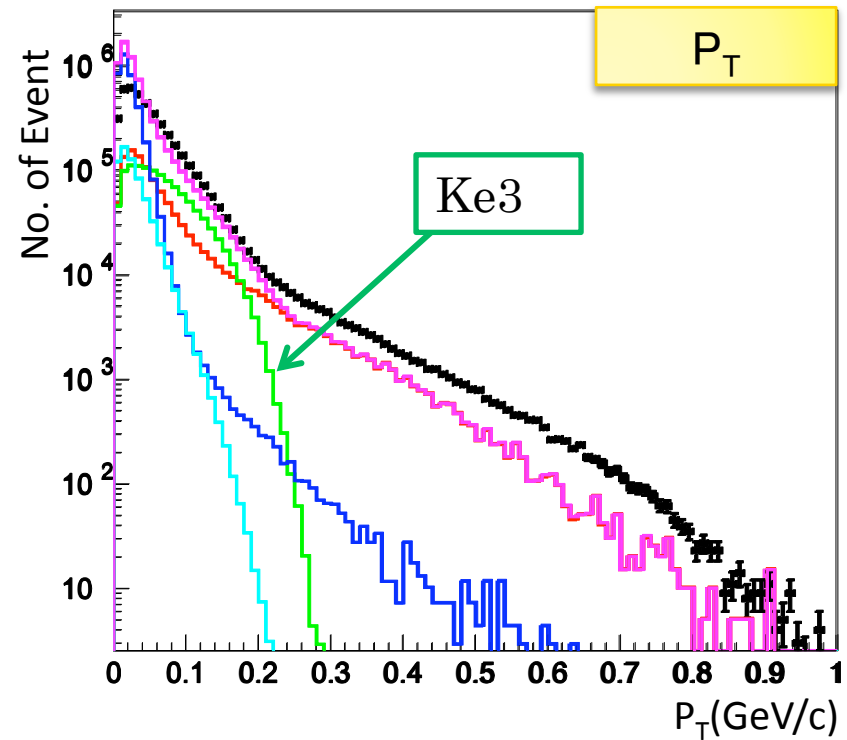
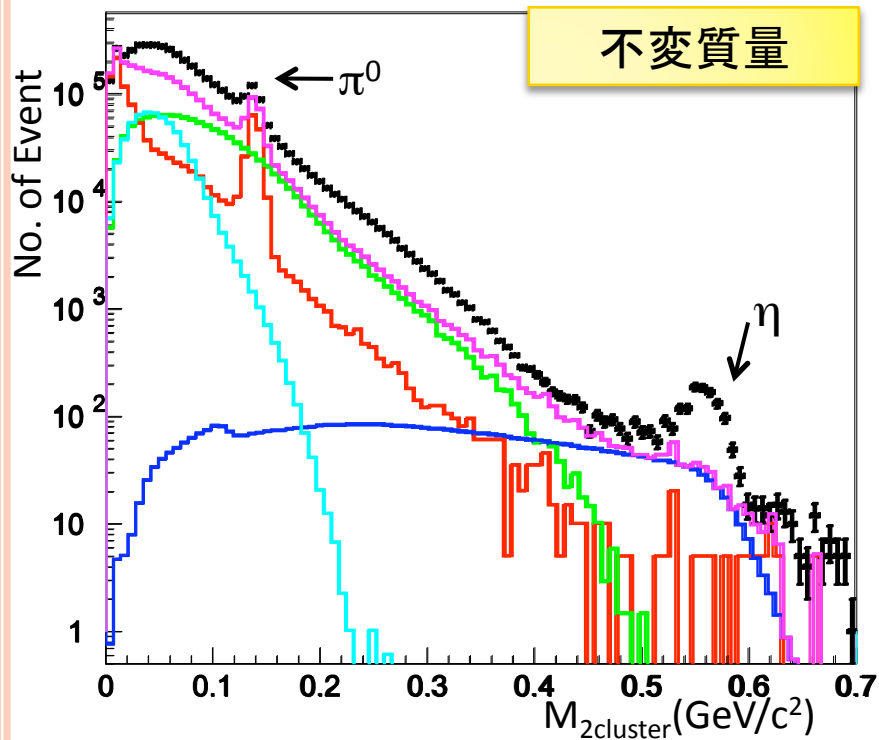
Selection of EM shower

- RMS <5.0
- energy ratio>0.9
- TDI<3.0
- gnid>0.5
- $\Delta\theta$ >-20
- Fusion>0.5
- MIP cluster(1),(2) 115MeV~250MeV

Kinematics cut

- R12>25.0cm
- Erat>0.3
- α p>20°
- Pt>0.1GeV
- Rcut Csl radius<80.5cm
and
-17.5cm<gamx<17.5cm,
-17.5cm<gamy<17.5cm

MCとの比較



Black:experimental data

MC(GEANT3)

Red:MC ,core neutron

Green:MC, $K_L \rightarrow \pi^\pm e^\mp \bar{\nu}_e$ (Ke3), BR38.81%

Cyan:MC, $K_L \rightarrow \pi^\pm \mu^\mp \bar{\nu}_\mu$ (Km3), BR27.19%

Blue:MC, $K_L \rightarrow \gamma\gamma$, BR 5.5×10^{-4}

Pink:MC sum

e^+e^- analysis (Charged mode)

$\rightarrow P_T > 0.2 \text{ GeV}/c$

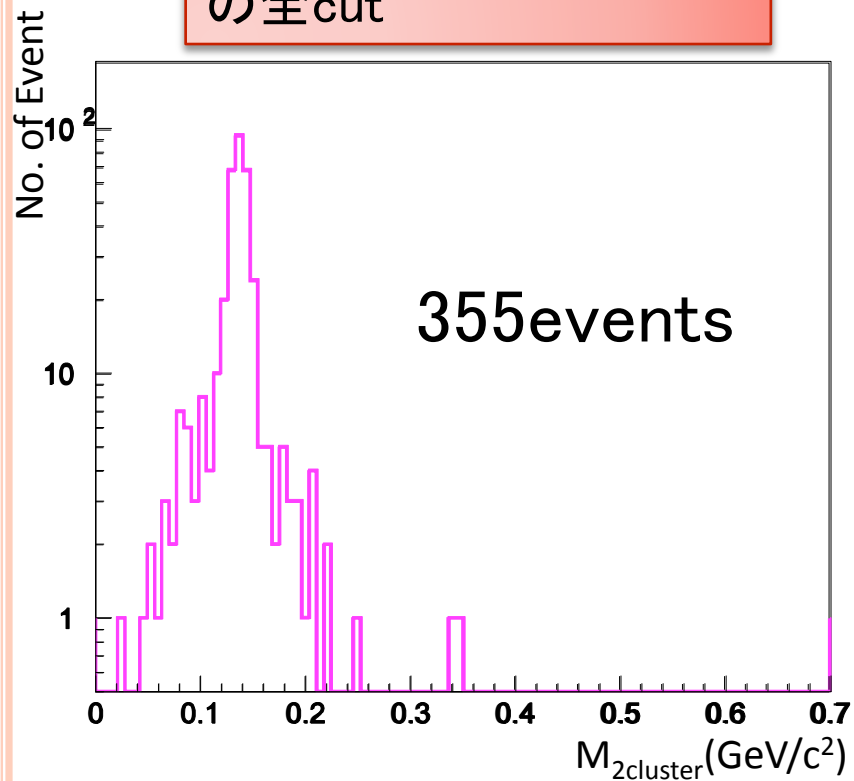
2γ analysis (Neutral mode)

$\rightarrow P_T > 0.16 \text{ GeV}/c$

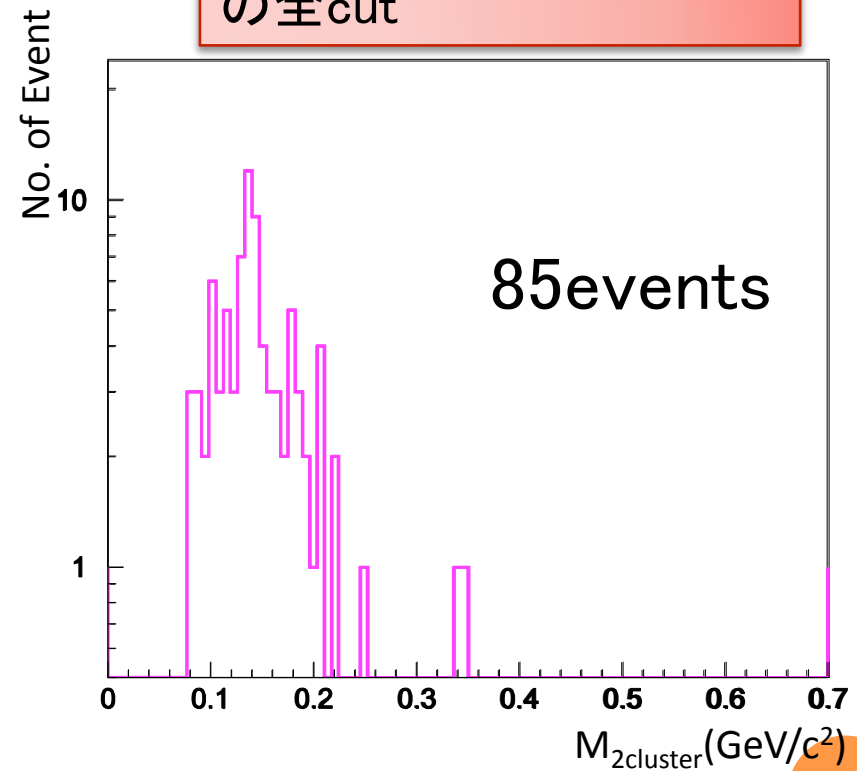
CV position cut

High $P_T > 200 \text{ MeV}/c$ 荷電モード

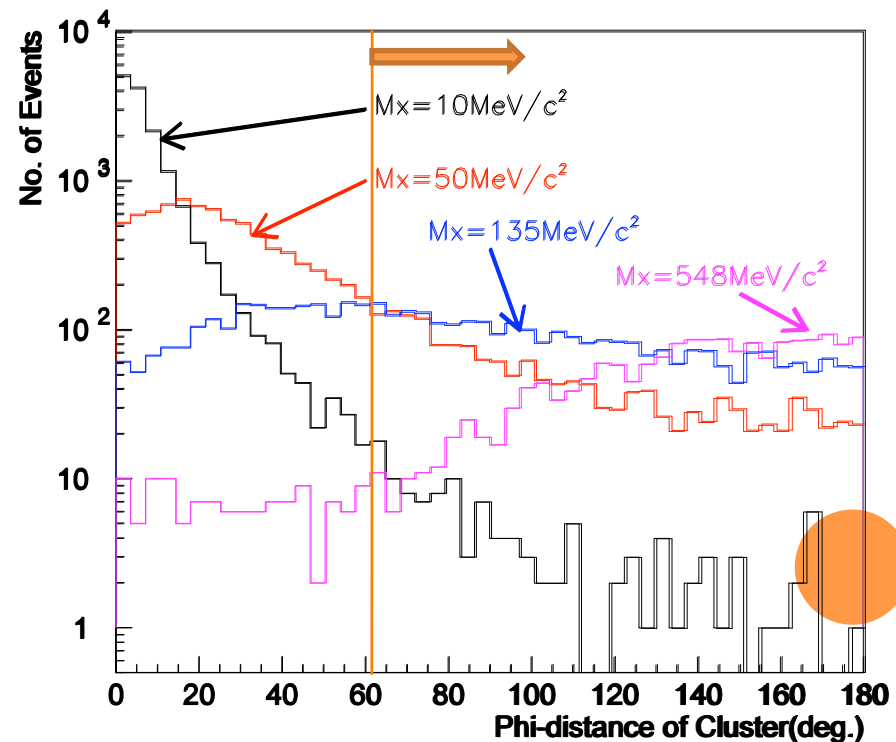
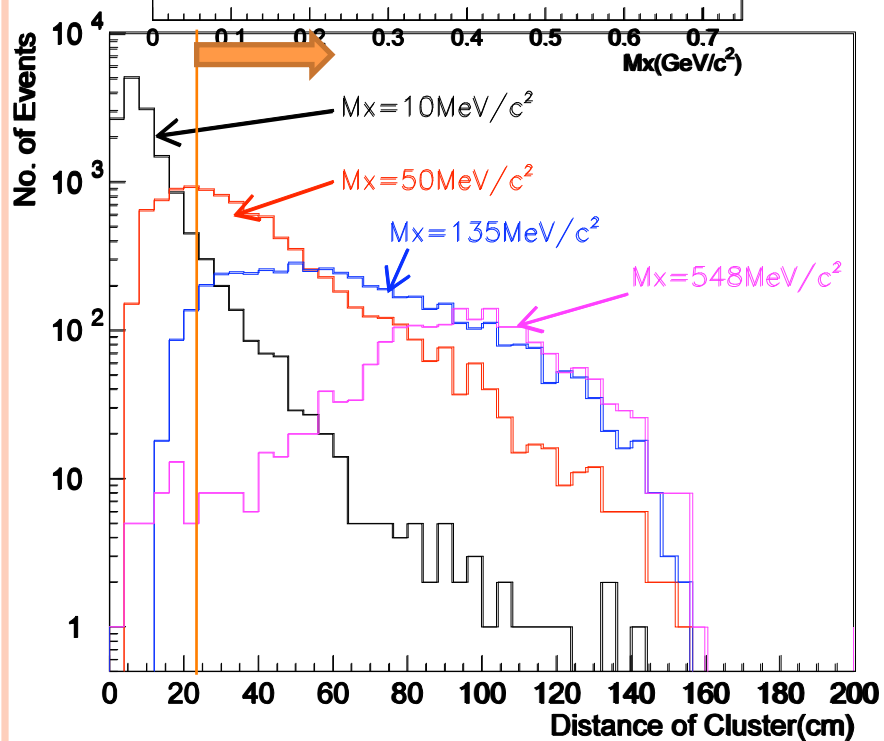
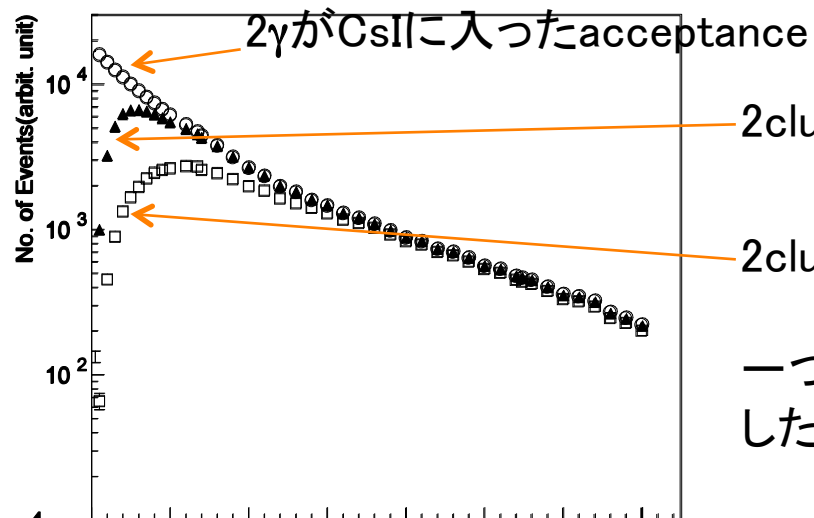
CV position cut なし
の全cut

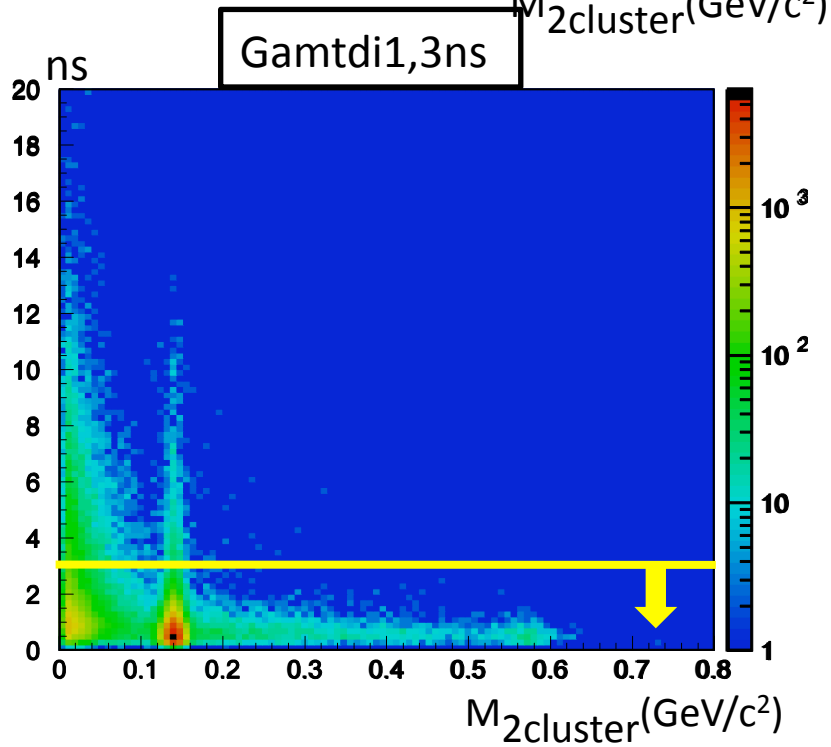
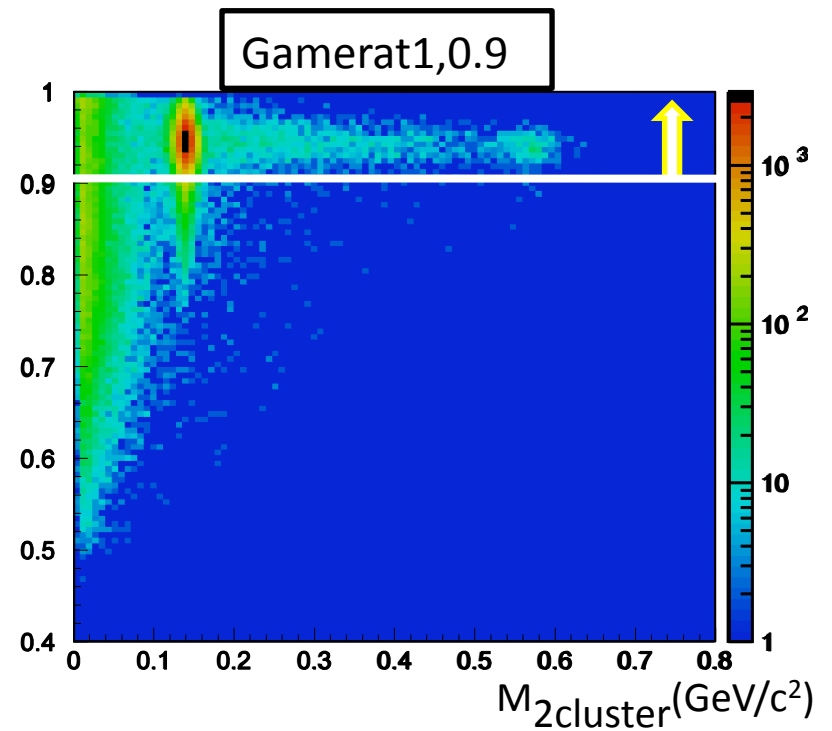
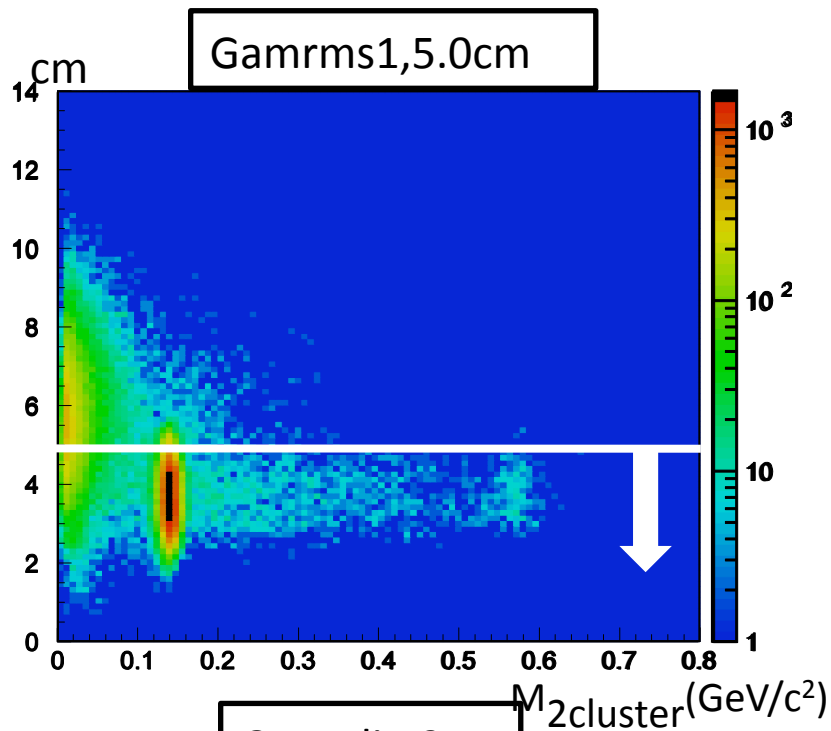


CV position cut あり
の全cut



Acceptance



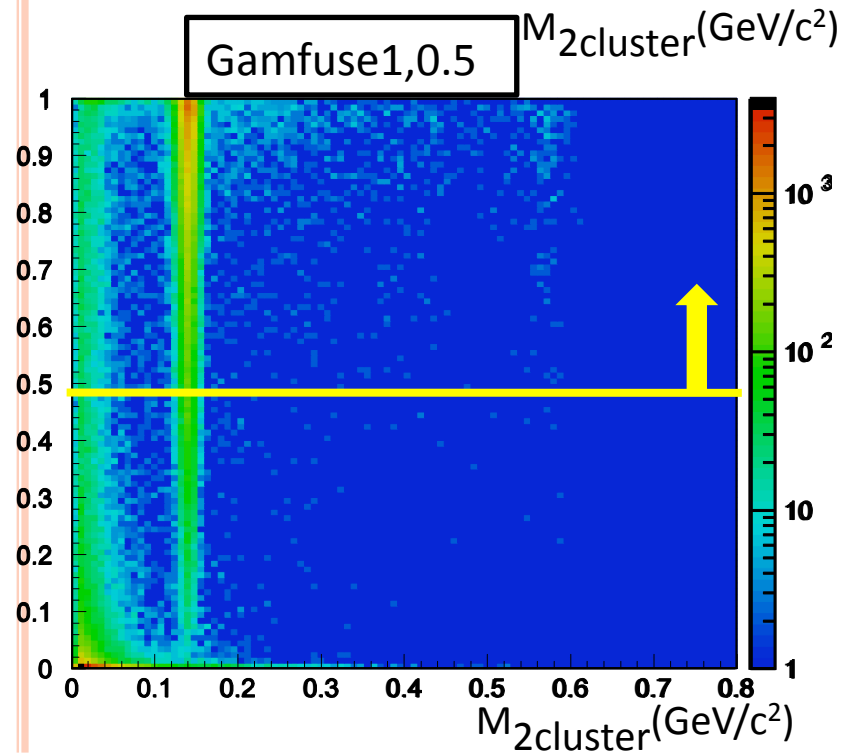
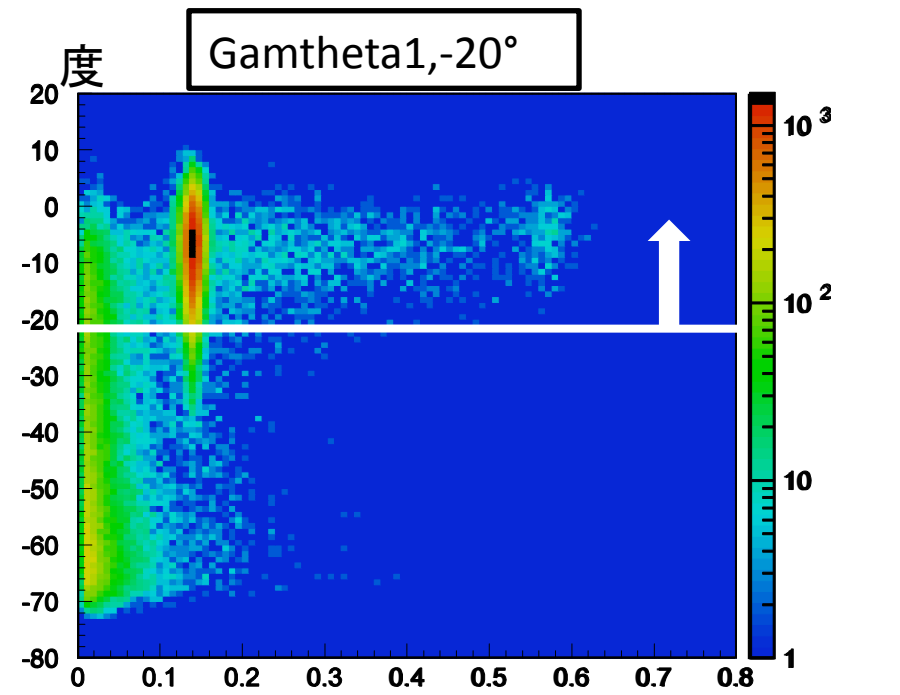
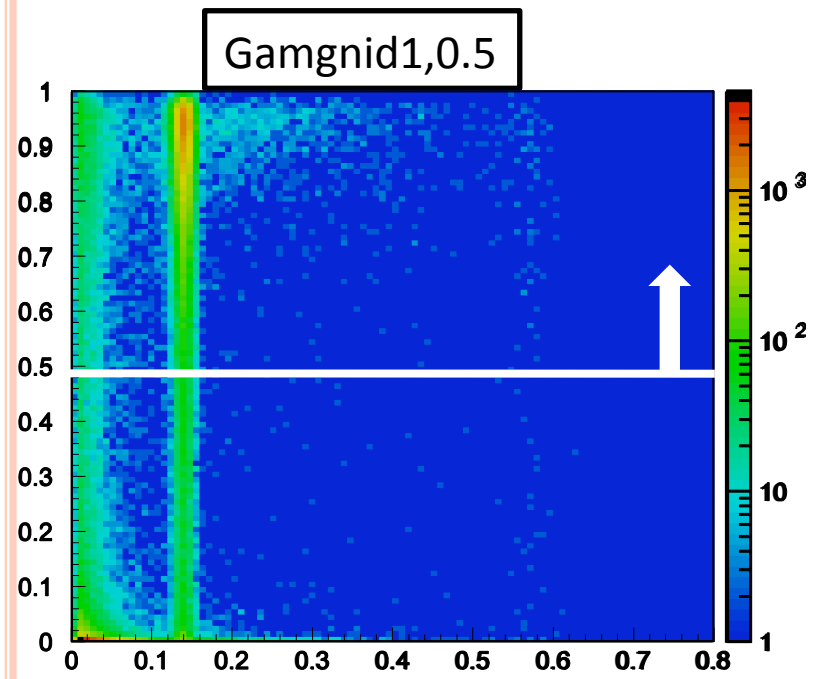


$$\text{gamrms} = \sqrt{\frac{\sum E_i r_i}{E_{\text{total}}}}$$

$$\text{gamerat} = \frac{E_1 + E_2 + E_3}{E_{\text{total}}}$$

$$\text{gamtdi} = \sqrt{\sum (T_i - T_m)^2}$$





gamgnid: $1, \gamma \Leftrightarrow 0, n$
 gamtheta: 座標から作った角度-クラスターから
 作った角度
 gamfuse: $1, 1\text{つの}\gamma\text{で}1\text{cluster} \Leftrightarrow 2, 2\text{つの}\gamma\text{で}1\text{cluster}$

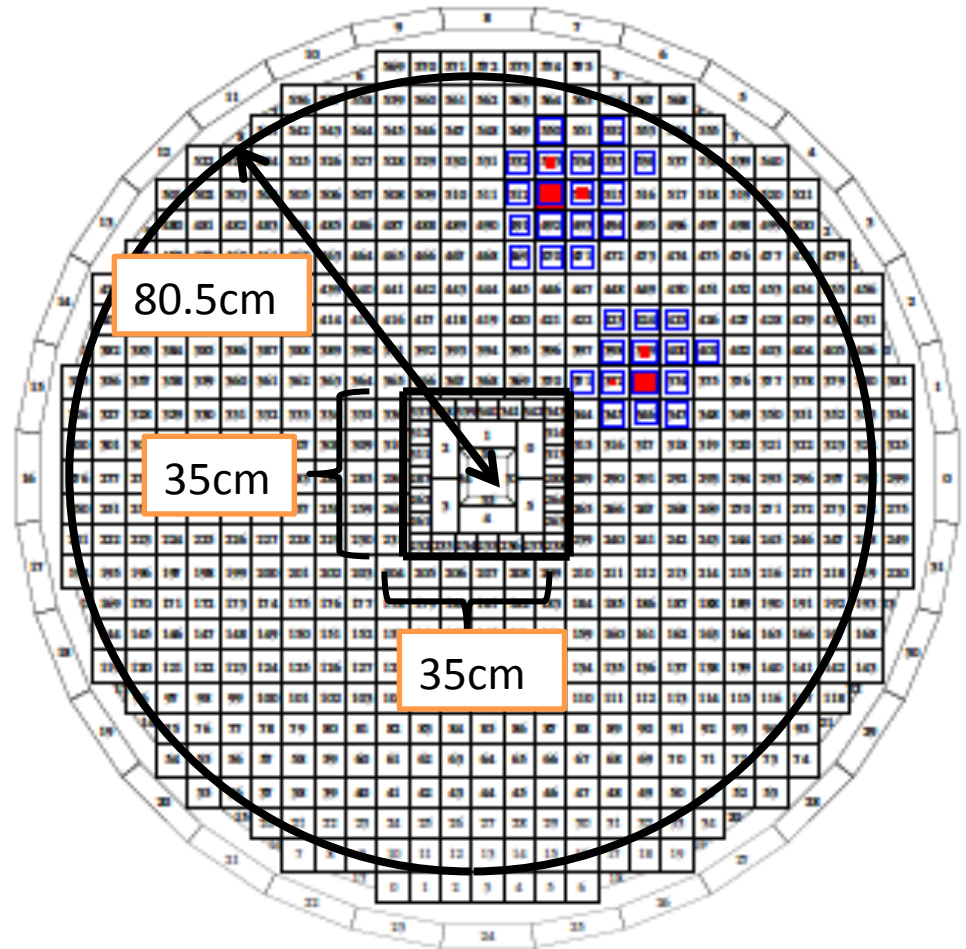


EM showerの選択(γ selection cut)

- gamrms < 5.0
- gamerat > 0.9
- gamtdi < 3.0
- MIP cluster(1),(2) 115MeV ~ 250MeV
- Rcut CsI半径 < 80.5cm
かつ $-17.5\text{cm} < \text{gamx} < 17.5\text{cm}$,
 $-17.5\text{cm} < \text{gamy} < 17.5\text{cm}$ 以外

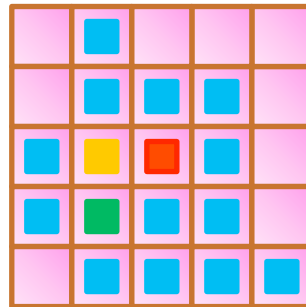
gamrms = $\sqrt{\frac{\sum E_i r_i}{E_{\text{total}}}}$

E_i : CsIのエネルギー
 r_i : cluster中心からCsIまでの距離
 E_{total} : clusterのエネルギー



cluster

gamerat = $\frac{E_1 + E_2 + E_3}{E_{\text{total}}}$



- : cluster内で一番大きいCsIのエネルギー E_1
- : cluster内で二番目に大きいCsIのエネルギー E_2
- : cluster内で三番目に大きいCsIのエネルギー E_3

gamtdi = $\sqrt{\frac{\sum (T_i - T_m)^2}{n}}$

T_i : それぞれのCsIの時間
 T_m : cluster内の全CsIの時間平均

Feldman Cousins 統計

TABLE IV. 90% C.L. intervals for the Poisson signal mean μ , for total events observed n_0 , for known mean background b ranging from 0 to 5.

$n_0 \setminus b$	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0
0	0.00, 2.44	0.00, 1.94	0.00, 1.61	0.00, 1.33	0.00, 1.26	0.00, 1.18	0.00, 1.08	0.00, 1.06	0.00, 1.01	0.00, 0.98
1	0.11, 4.36	0.00, 3.86	0.00, 3.36	0.00, 2.91	0.00, 2.53	0.00, 2.19	0.00, 1.88	0.00, 1.59	0.00, 1.39	0.00, 1.22
2	0.53, 5.91	0.03, 5.41	0.00, 4.91	0.00, 4.41	0.00, 3.91	0.00, 3.45	0.00, 3.04	0.00, 2.67	0.00, 2.33	0.00, 1.73
3	1.10, 7.42	0.60, 6.92	0.10, 6.42	0.00, 5.92	0.00, 5.42	0.00, 4.92	0.00, 4.42	0.00, 3.95	0.00, 3.53	0.00, 2.78
4	1.47, 8.60	1.17, 8.10	0.74, 7.60	0.24, 7.10	0.00, 6.60	0.00, 6.10	0.00, 5.60	0.00, 5.10	0.00, 4.60	0.00, 3.60
5	1.84, 9.99	1.53, 9.49	1.25, 8.99	0.93, 8.49	0.43, 7.99	0.00, 7.49	0.00, 6.99	0.00, 6.49	0.00, 5.99	0.00, 4.99
6	2.21,11.47	1.90,10.97	1.61,10.47	1.33, 9.97	1.08, 9.47	0.65, 8.97	0.15, 8.47	0.00, 7.97	0.00, 7.47	0.00, 6.47
7	3.56,12.53	3.06,12.03	2.56,11.53	2.09,11.03	1.59,10.53	1.18,10.03	0.89, 9.53	0.39, 9.03	0.00, 8.53	0.00, 7.53
8	3.96,13.99	3.46,13.49	2.96,12.99	2.51,12.49	2.14,11.99	1.81,11.49	1.51,10.99	1.06,10.49	0.66, 9.99	0.00, 8.99
9	4.36,15.30	3.86,14.80	3.36,14.30	2.91,13.80	2.53,13.30	2.19,12.80	1.88,12.30	1.59,11.80	1.33,11.30	0.43,10.30
10	5.50,16.50	5.00,16.00	4.50,15.50	4.00,15.00	3.50,14.50	3.04,14.00	2.63,13.50	2.27,13.00	1.94,12.50	1.19,11.50
11	5.91,17.81	5.41,17.31	4.91,16.81	4.41,16.31	3.91,15.81	3.45,15.31	3.04,14.81	2.67,14.31	2.33,13.81	1.73,12.81
12	7.01,19.00	6.51,18.50	6.01,18.00	5.51,17.50	5.01,17.00	4.51,16.50	4.01,16.00	3.54,15.50	3.12,15.00	2.38,14.00
13	7.42,20.05	6.92,19.55	6.42,19.05	5.92,18.55	5.42,18.05	4.92,17.55	4.42,17.05	3.95,16.55	3.53,16.05	2.78,15.05
14	8.50,21.50	8.00,21.00	7.50,20.50	7.00,20.00	6.50,19.50	6.00,19.00	5.50,18.50	5.00,18.00	4.50,17.50	3.59,16.50
15	9.48,22.52	8.98,22.02	8.48,21.52	7.98,21.02	7.48,20.52	6.98,20.02	6.48,19.52	5.98,19.02	5.48,18.52	4.48,17.52
16	9.99,23.99	9.49,23.49	8.99,22.99	8.49,22.49	7.99,21.99	7.49,21.49	6.99,20.99	6.49,20.49	5.99,19.99	4.99,18.99
17	11.04,25.02	10.54,24.52	10.04,24.02	9.54,23.52	9.04,23.02	8.54,22.52	8.04,22.02	7.54,21.52	7.04,21.02	6.04,20.02
18	11.47,26.16	10.97,25.66	10.47,25.16	9.97,24.66	9.47,24.16	8.97,23.66	8.47,23.16	7.97,22.66	7.47,22.16	6.47,21.16
19	12.51,27.51	12.01,27.01	11.51,26.51	11.01,26.01	10.51,25.51	10.01,25.01	9.51,24.51	9.01,24.01	8.51,23.51	7.51,22.51
20	13.55,28.52	13.05,28.02	12.55,27.52	12.05,27.02	11.55,26.52	11.05,26.02	10.55,25.52	10.05,25.02	9.55,24.52	8.55,23.52

KEK-E391a

