

RHIC-PHENIX実験での金+金原子核衝突
 $\sqrt{s_{NN}}=200\text{GeV}$ における重いクォーク起源の
電子の方位角異方性の測定

奈良女子大学大学院 人間文化研究科
物理学専攻 高エネルギー物理学研究室 修士2年
石丸 桜子

目次

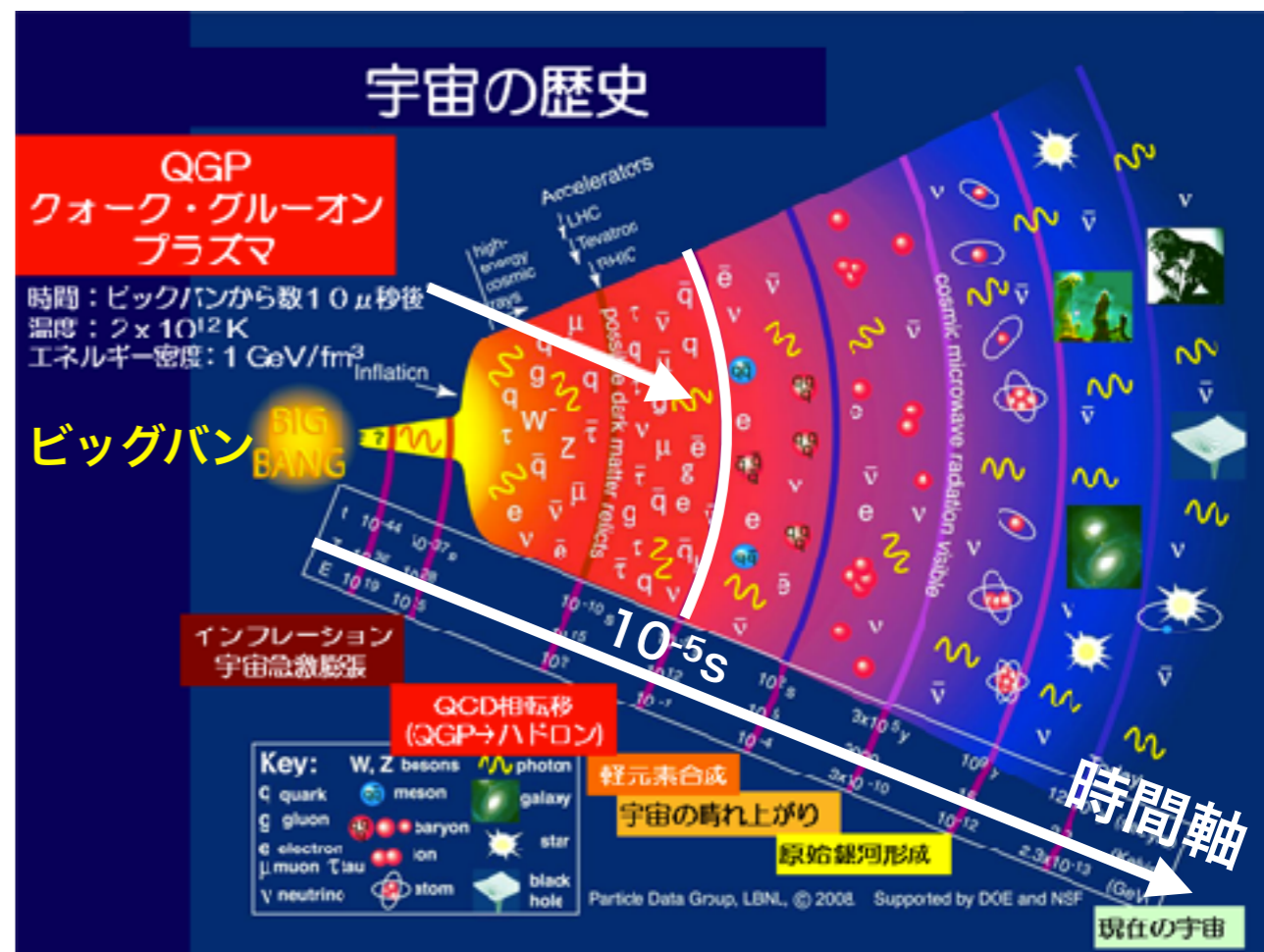
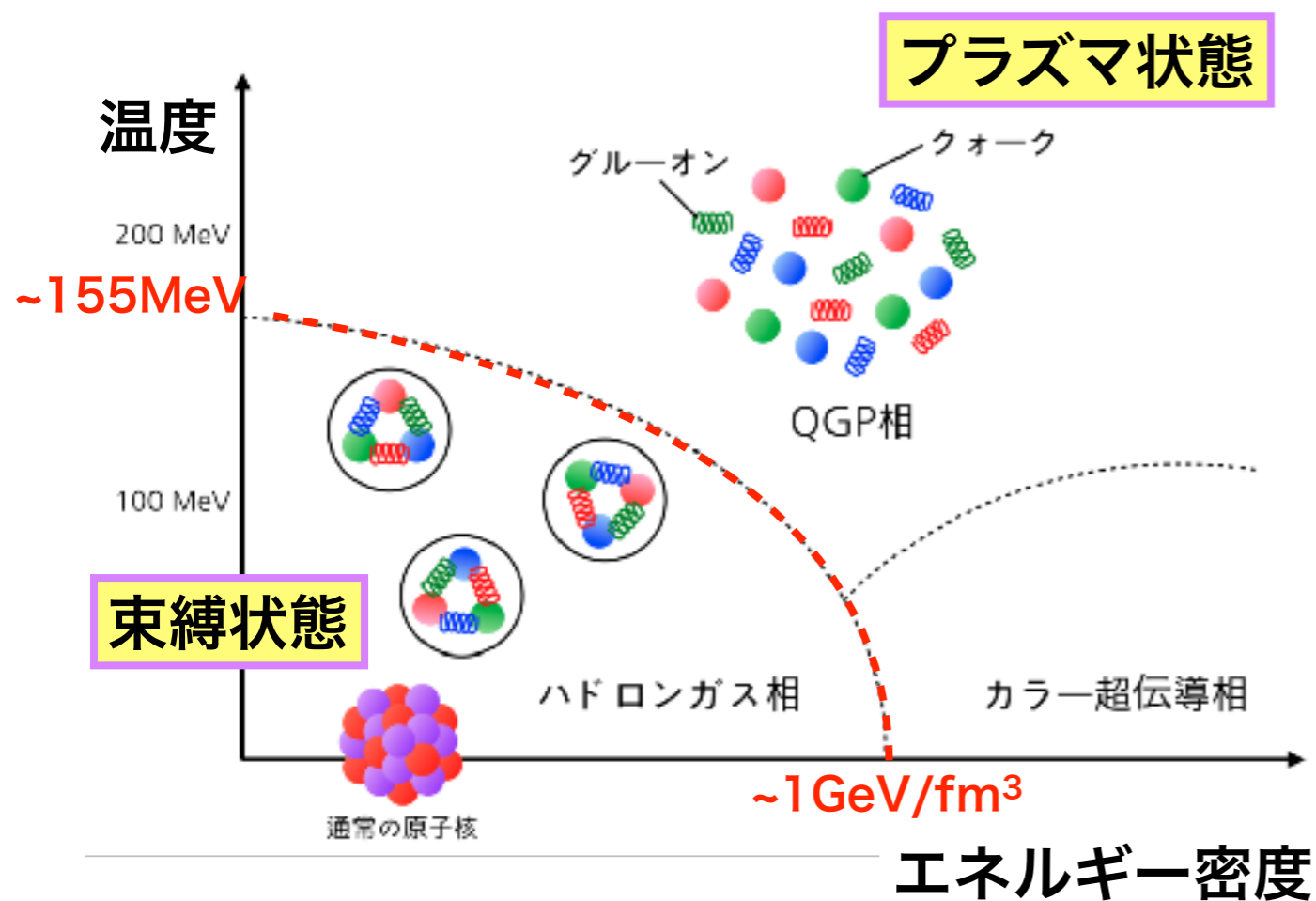
- イントロダクション
 - クォーク・グルーオン・プラズマ (QGP)
 - RHIC加速器 / PHENIX実験
- 研究内容
 - 研究動機
 - 解析方法
- 結果
 - シミュレーションによるPhotonic electron v_2 の見積もりとシグナル抽出
 - チャーム電子とボトム電子の v_2
- まとめ

イントロダクション

- クォーク・グルーオン・プラズマ(QGP)
- RHIC加速器 / PHENIX実験

クォーク・グルーオン・プラズマ (QGP)

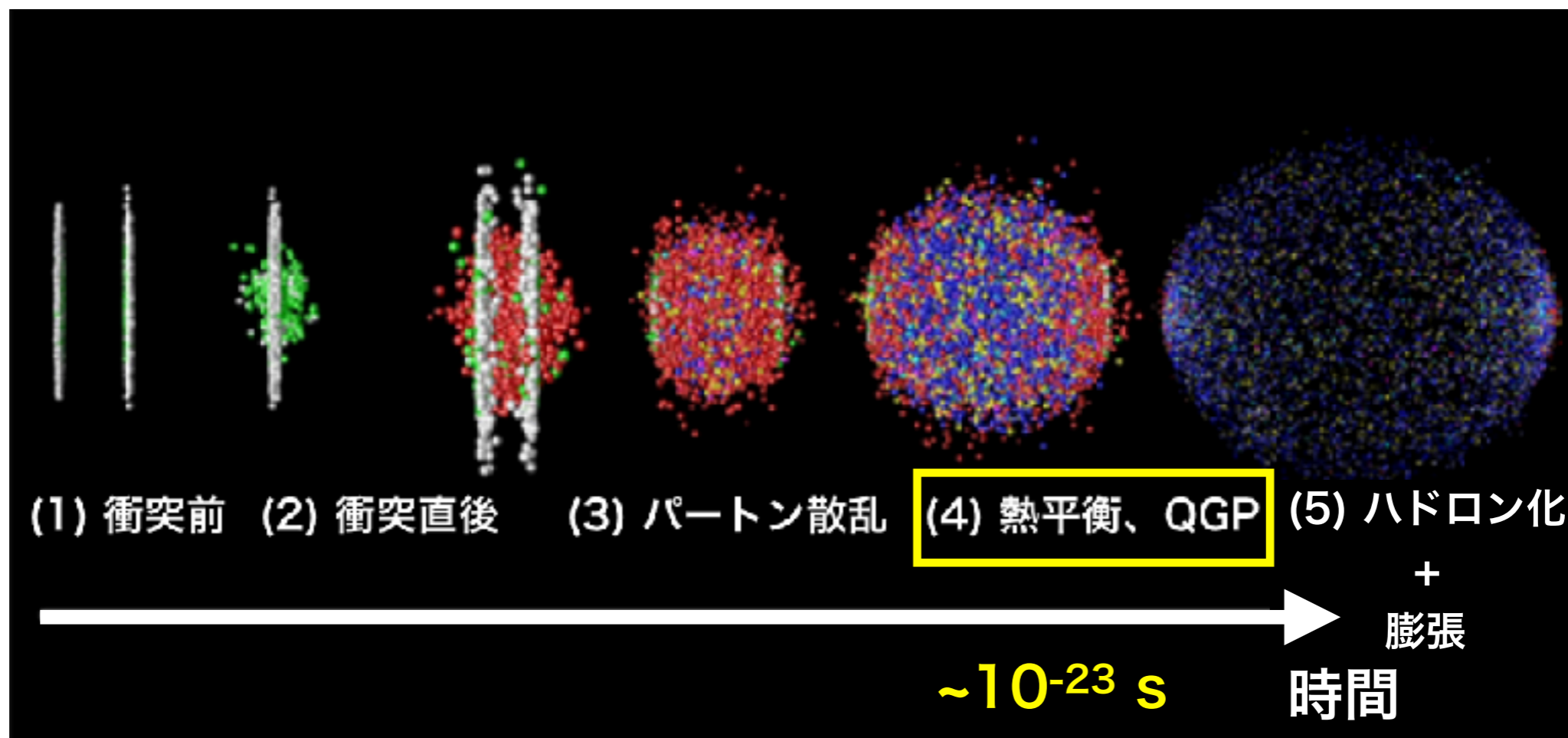
宇宙誕生直後に存在した高温高密度状態



QGPの性質解明は、宇宙創成の解明に繋がる。

高エネルギー重イオン衝突実験

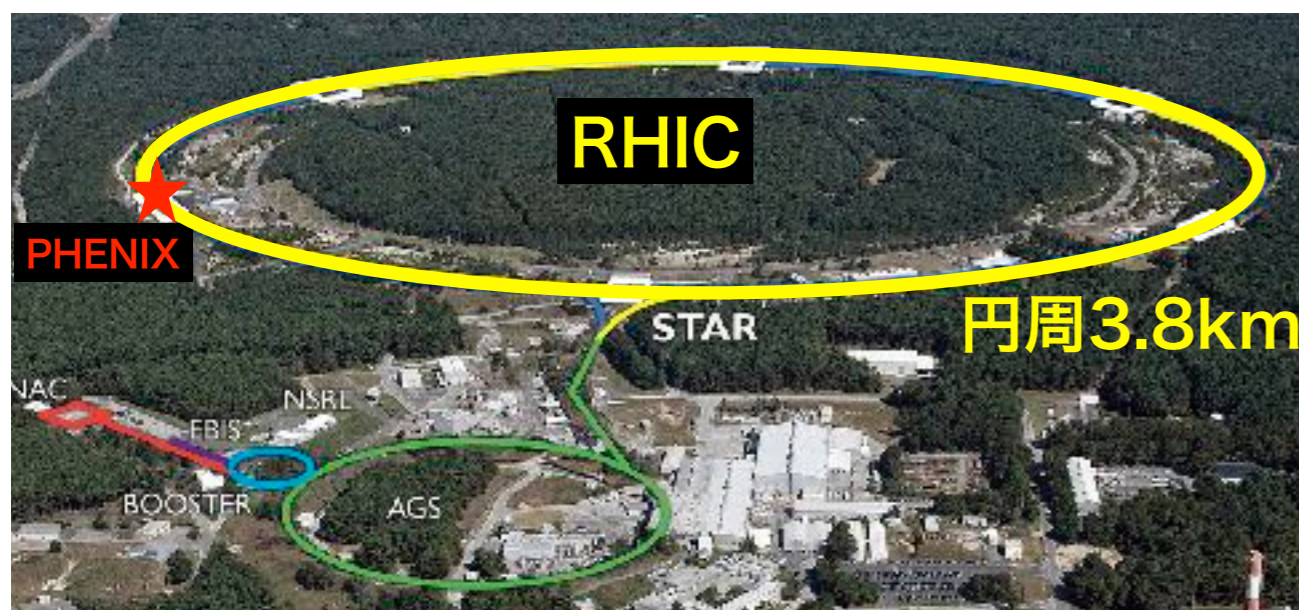
QGPの性質解明



重イオン (=重い原子核) を衝突させることによって、
実験室内でQGPを再現

米国ブルックヘブン国立研究所 (BNL)

Bloockhaven National Laboratory

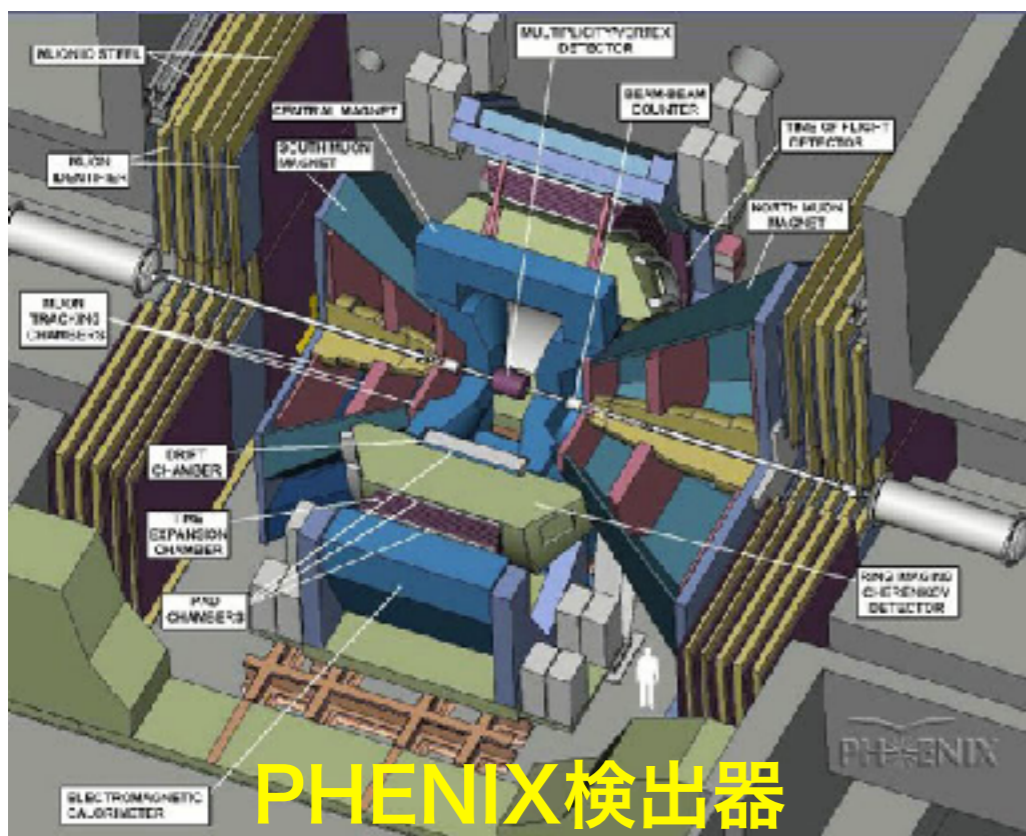


衝突型加速器 (RHIC)

Relativistic Heavy Ion Collider

最高エネルギー：Au+Au@ $\sqrt{s_{NN}}=200\text{GeV}$

p+p@ $\sqrt{s_{NN}}=510\text{GeV}$



PHENIX実験

The **P**ioneering **H**igh **E**nergy **N**uclear
Interaction **E**xperiment

量子色力学 (QCD) をより深く
理解することを目的としたプロジェクト。

研究内容

- 研究動機
- 解析方法

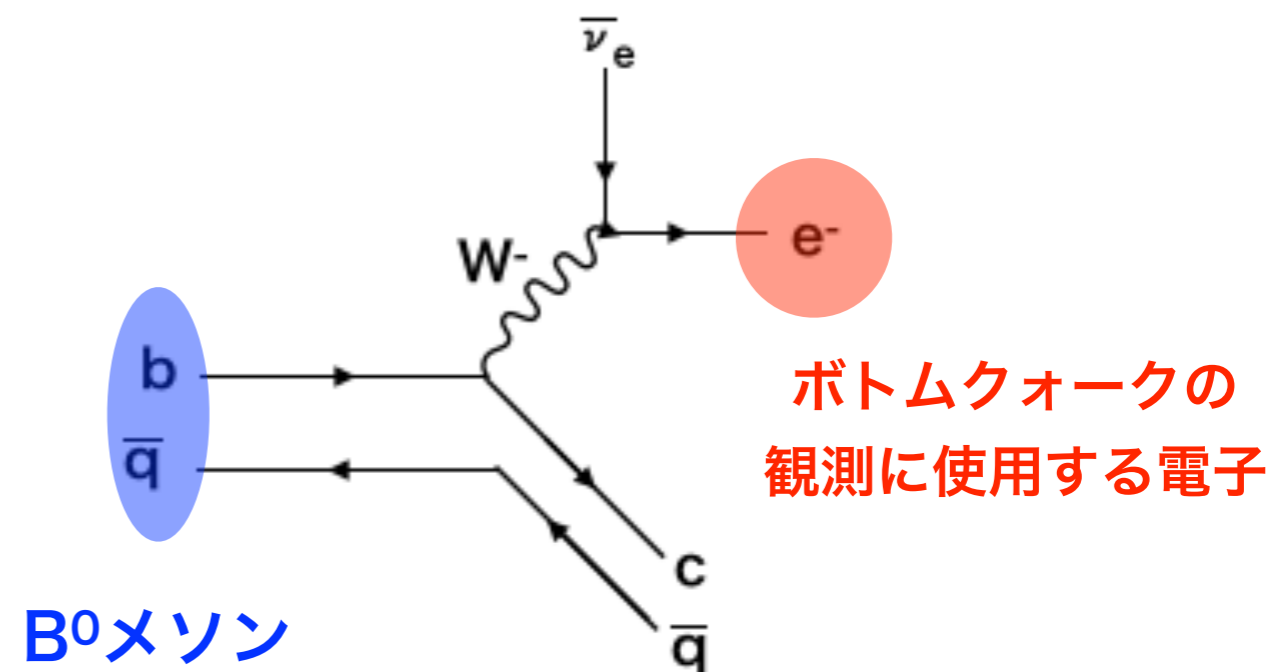
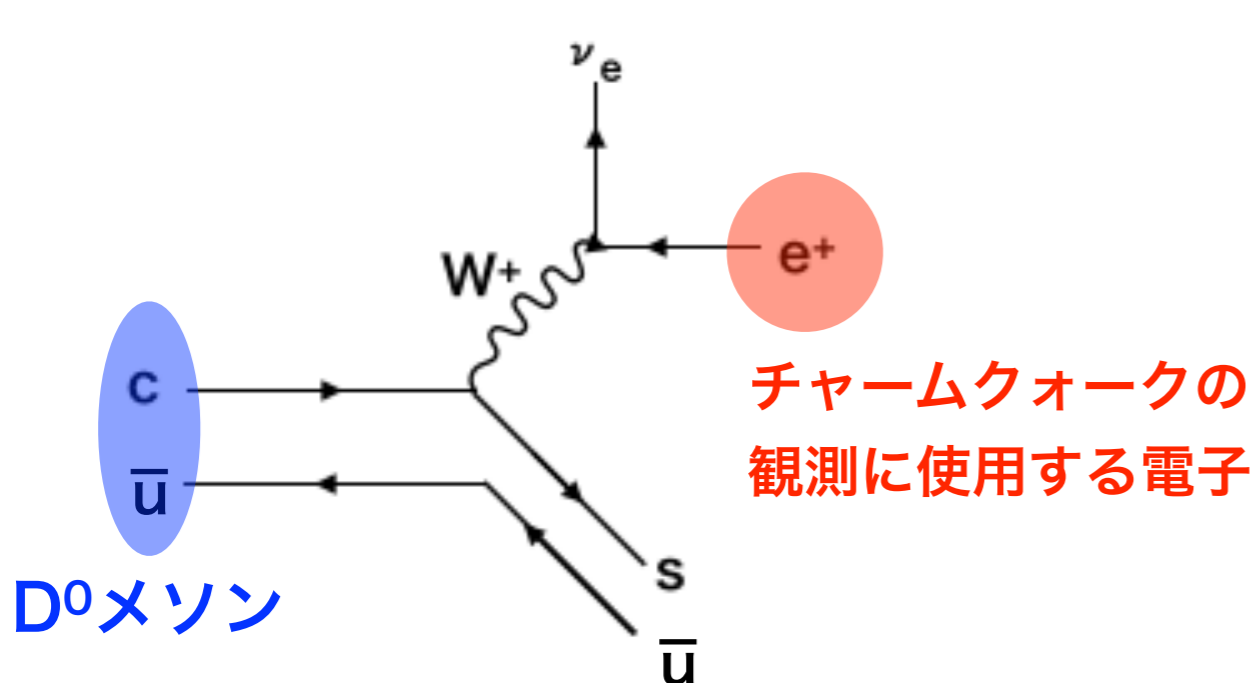
➤ 研究動機

- 重いクォークとQGP
- 本研究の目的

重いクォーク

- チャームクォークとボトムクォークのこと。
(トップクォークは、RHICで生成不可。)
- 質量： $M_c \sim 1.3\text{GeV}$ 、 $M_b \sim 4.2\text{GeV}$ 、 $M_t \sim 173\text{GeV}$
- 観測方法：
 - 重いクォークを含むハドロンがセミレプトニック崩壊した電子を使用する。

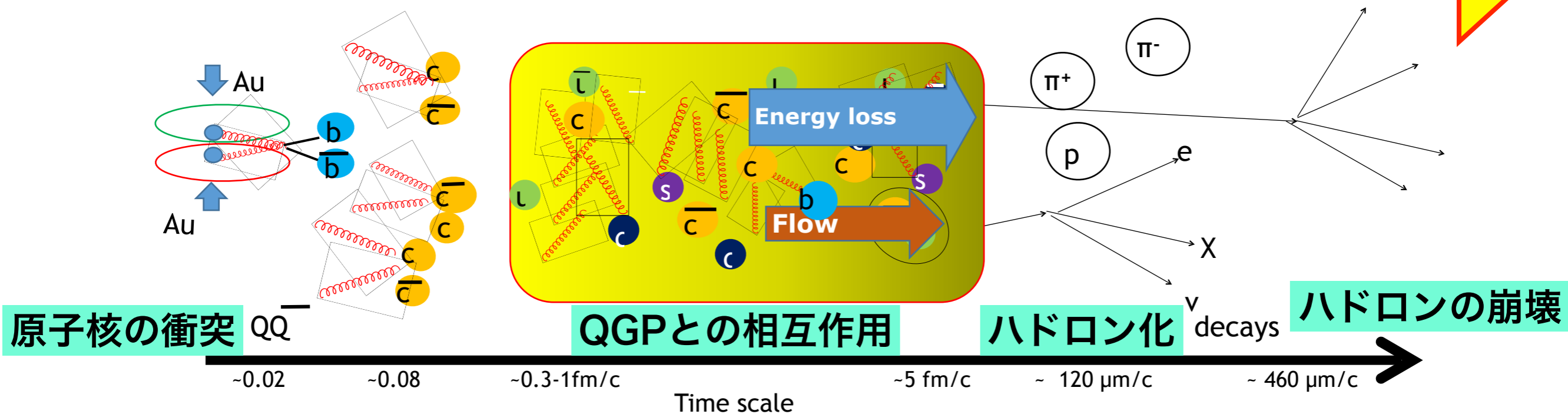
	$-2.3\text{ MeV}/c^2$ $\frac{2}{3}$ u up $\frac{1}{2}$	$-1.275\text{ GeV}/c^2$ $\frac{2}{3}$ c charm $\frac{1}{2}$	$-173.07\text{ GeV}/c^2$ $\frac{2}{3}$ t top $\frac{1}{2}$
Quarks	$-4.8\text{ MeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ d down $\frac{1}{2}$	$-95\text{ MeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ s strange $\frac{1}{2}$	$-4.18\text{ GeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ b bottom $\frac{1}{2}$



重いクォークによるQGP測定

- ハドロン化と膨張によってQGPの情報は失われてしまい、**直接観測は不可能。**
→ 重いクォークをプローブとする。
- 原子核衝突直後に生成後、生成・消滅せずにQGPを通り抜けて観測されるため。
- 重いクォークに反映されるQGPの性質：**圧力勾配による方位角異方性**

次に説明



QGPの性質：

圧力勾配による方位角異方性 (v_2)

原子核の偏心衝突時に、

QGPの膨張圧力が方向により異なる。

→ 生成粒子の方位角分布が非等方的になる。

(方位角異方性)

生成粒子の方位角分布

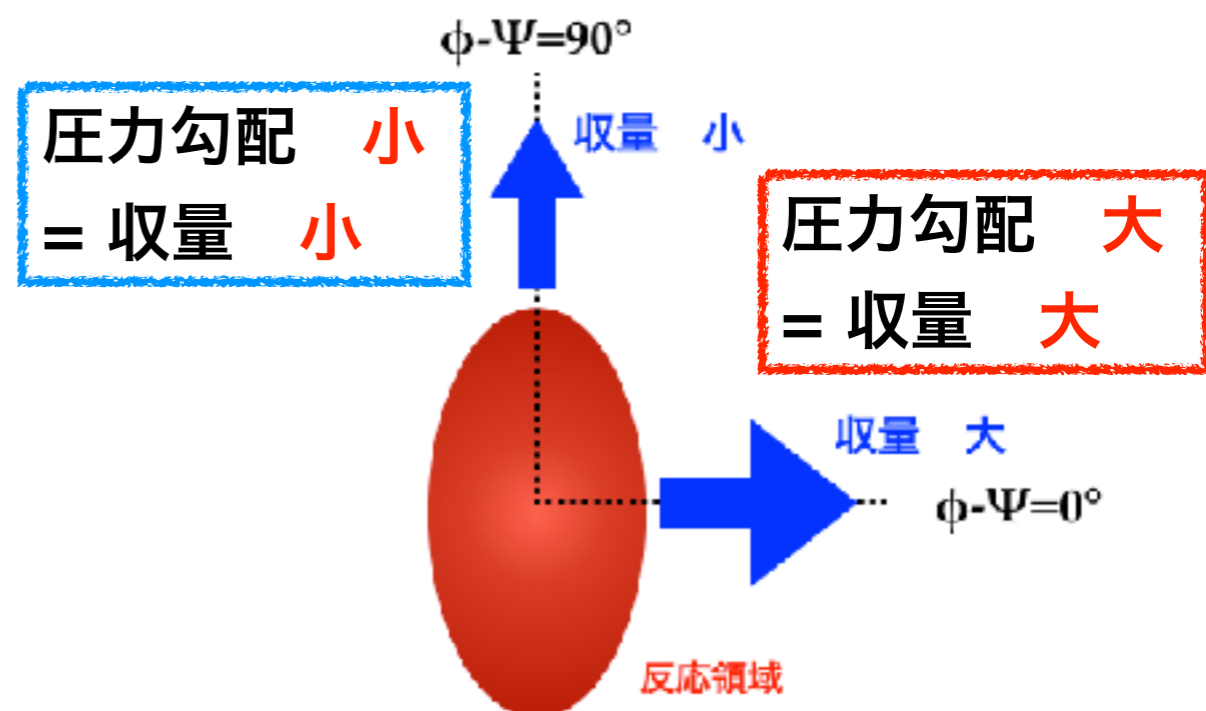
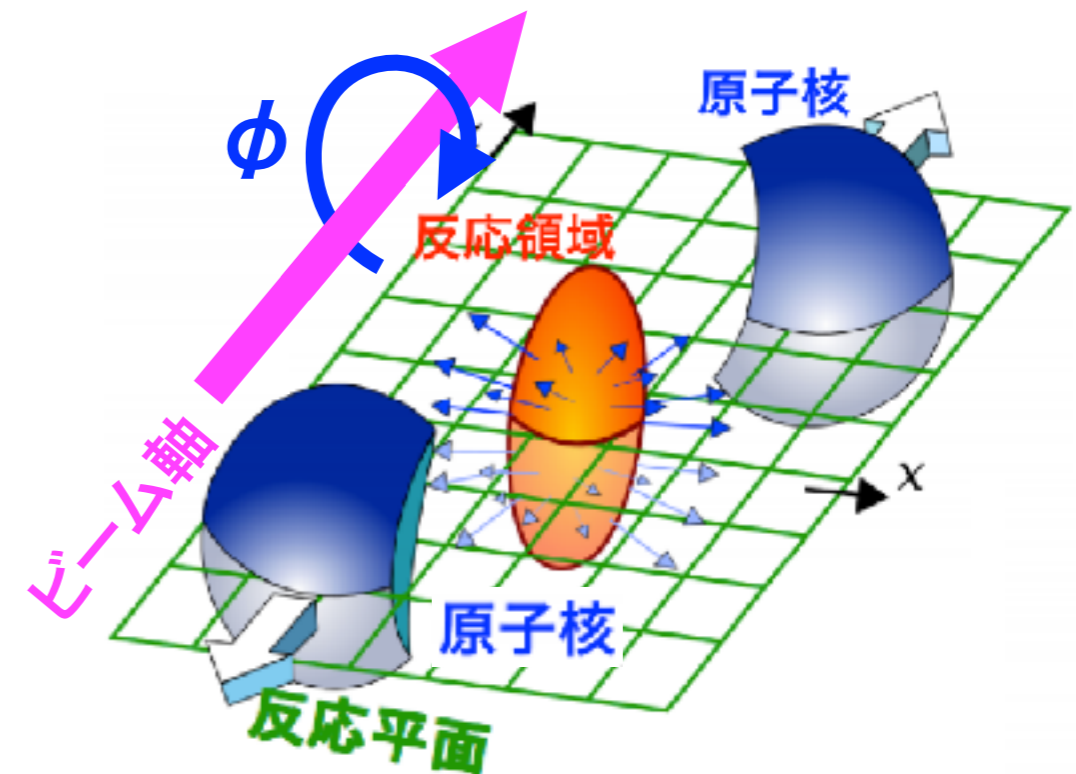
$$\frac{dN}{d(\phi - \Psi)} \propto 1 + 2v_2 \cos 2(\phi - \Psi)$$

フーリエ展開した2次の項

ϕ : 重心系での生成粒子が持つ方位角

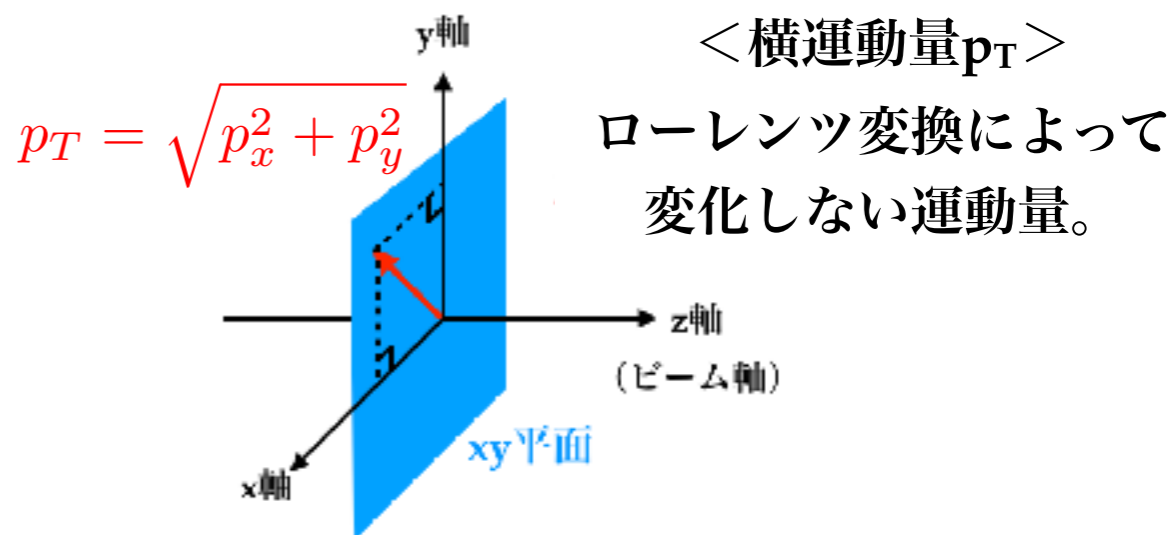
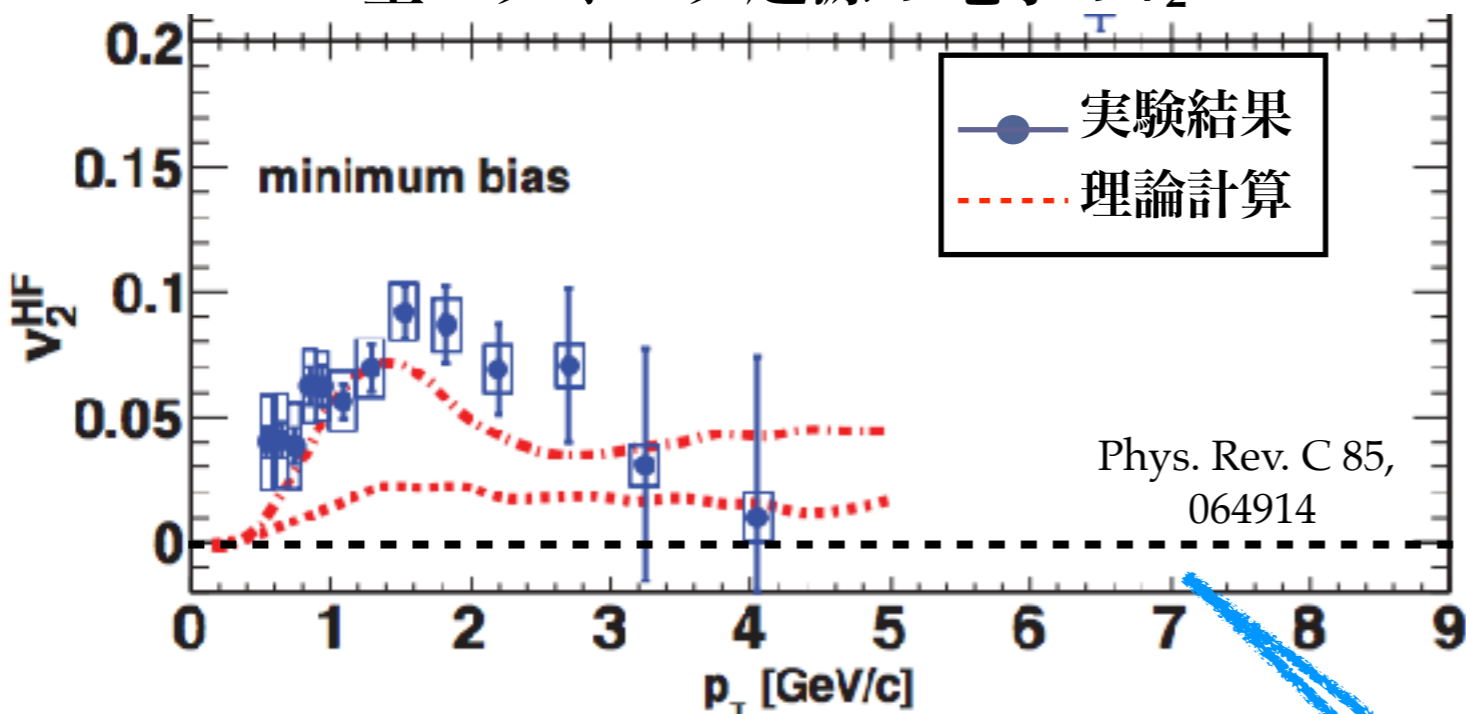
Ψ : 反応平面の方位角

$v_2 = \langle \cos\{2(\phi - \Psi)\} \rangle$: 異方性の強度



先行研究：PHENIX Au+Au@ $\sqrt{s}=200\text{GeV}$ (2012)

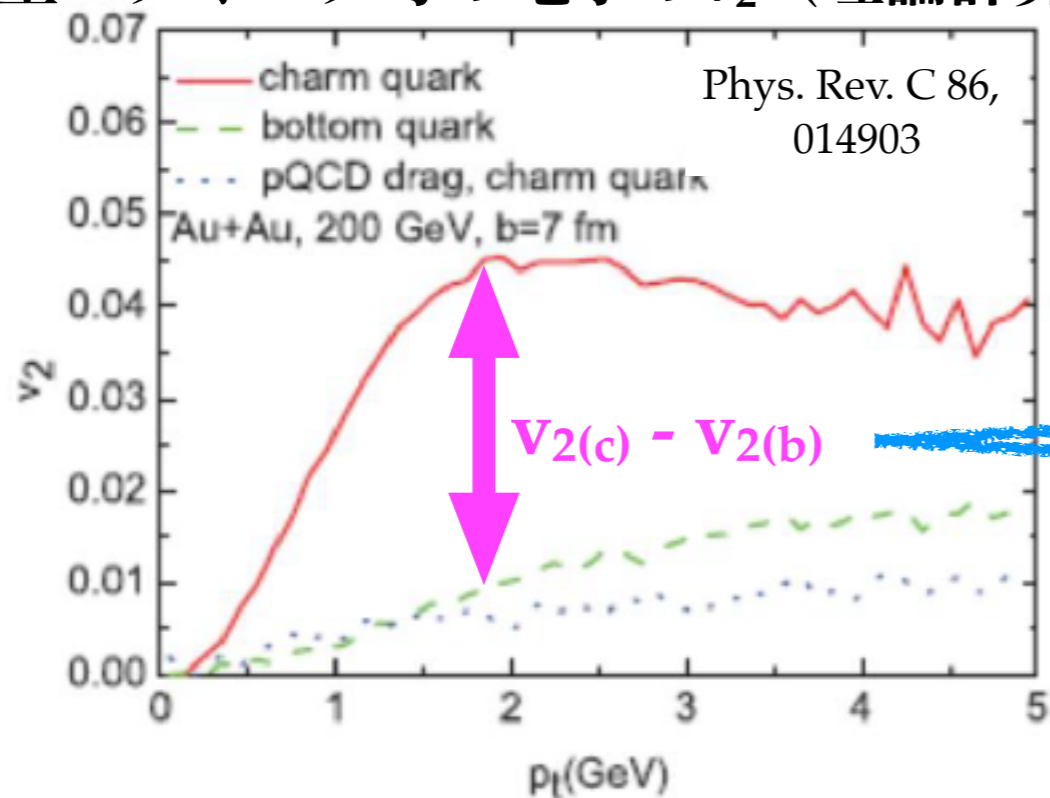
重いクォーク起源の電子の v_2



<予想>

重いクォークは、QGPの圧力勾配の
 影響を受けないのではないか($v_2 \sim 0$)？

重いクォーク毎の電子の v_2 (理論計算)



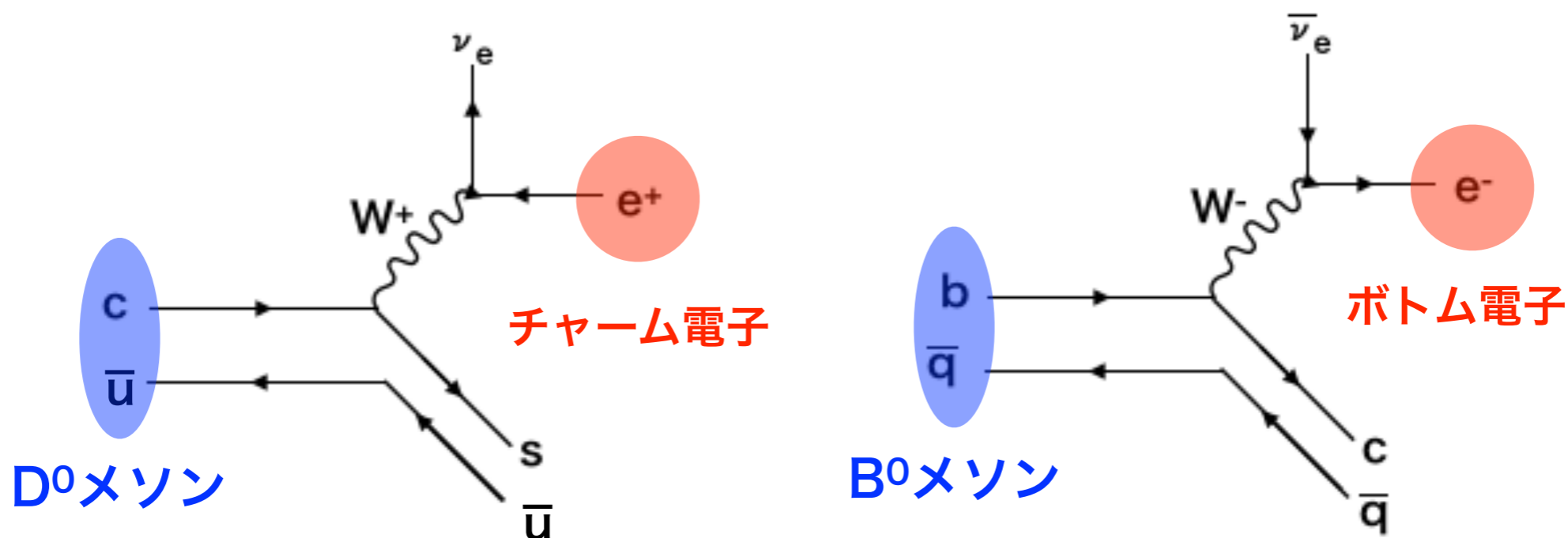
理論計算と実験結果によると、

重いクォークの v_2 はゼロではない。

チャームクォークの方が
 ボトムクォークに比べて v_2 が大きい。

重いクォーク毎に v_2 が異なる。

本研究の目的



< 先行研究 >

PHENIX Au+Au@ $\sqrt{s}=200\text{GeV}$ (2014)のデータを用いて、

チャーム電子とボトム電子の v_2 を測定した。

しかし、バックグラウンドの見積もり精度が低い。



バックグラウンドを最新の知見データを元に見積もり除去し、
チャーム電子とボトム電子の v_2 をより精密に測定する。

➤ 解析方法

- シミュレーションによるバックグラウンド v_2 の見積もり
- シグナル v_2 の成分分け

解析方法

全電子
チャーム電子
ボトム電子

$$\begin{aligned}
 v_2(inc) &= F_c \times v_2(c) + F_b \times v_2(b) \\
 &+ F_{pe} \times v_2(pe) + F_h \times v_2(h)
 \end{aligned}$$

Photonic electron
ハドロン

[
F : 全電子数に占める割合
v₂ : 方位角異方性の強度
]

- シグナル+バックグラウンド：

- ✦ 全電子：電子と識別された粒子全て

- シグナル：

- ✦ チャーム電子とボトム電子

- バックグラウンド：

- ✦ Photonic electron： π^0 や η のDalitz崩壊と、検出器内でのConversion起源の電子

- ✦ ハドロン：誤って電子と識別された荷電ハドロン

解析方法

全電子 チャーム電子 ボトム電子

$$v_2(inc) = F_c \times v_2(c) + F_b \times v_2(b) + F_{pe} \times v_2(pe) + F_h \times v_2(h)$$

Photonic electron ハドロン

[F : 全電子数に占める割合
v₂ : 方位角異方性の強度]

- シグナル+バックグラウンド：
 - ・ 全電子：電子と識別された粒子全て
- シグナル：
 - ・ チャーム電子とボトム電子
- バックグラウンド：
 - ①シミュレーションによって見積もる。
 - ・ Photonic electron： π^0 や η のDalitz崩壊と、検出器内でのConversion起源の電子
 - ・ ハドロン：誤って電子と識別された荷電ハドロン

①シミュレーションによる

$V_{2(pe)}$ の見積もり

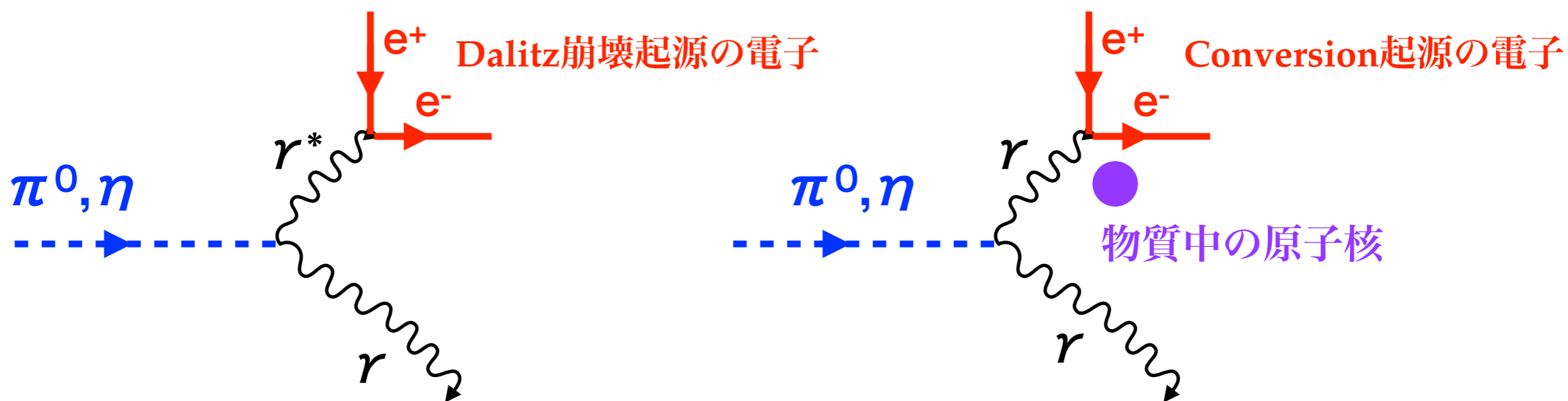
シミュレーションの流れ

最新(2007年)の
 π^0 の v_2 分布を設定

イベントジェネレータに
既知の π^0 と η のpT分布と
 v_2 分布を設定

発生させた π^0 と η を
Dalitz崩壊させる。

崩壊電子について
 $v_2 = \langle 2\cos(\phi - \Psi) \rangle$ を
計算する。



Dalitz崩壊起源の電子とConversion起源の電子の v_2 を見積もった。

解析方法

全電子 チャーム電子 ボトム電子

$$v_2(inc) = F_c \times v_2(c) + F_b \times v_2(b) + F_{pe} \times v_2(pe) + F_h \times v_2(h)$$

Photonic electron ハドロン

[F : 全電子数に占める割合]
[v₂ : 方位角異方性の強度]

- シグナル+バックグラウンド：

- ✦ 全電子：電子と識別された粒子全て

- シグナル：

- ✦ **チャーム電子とボトム電子**

②シグナルの成分分けを行う。

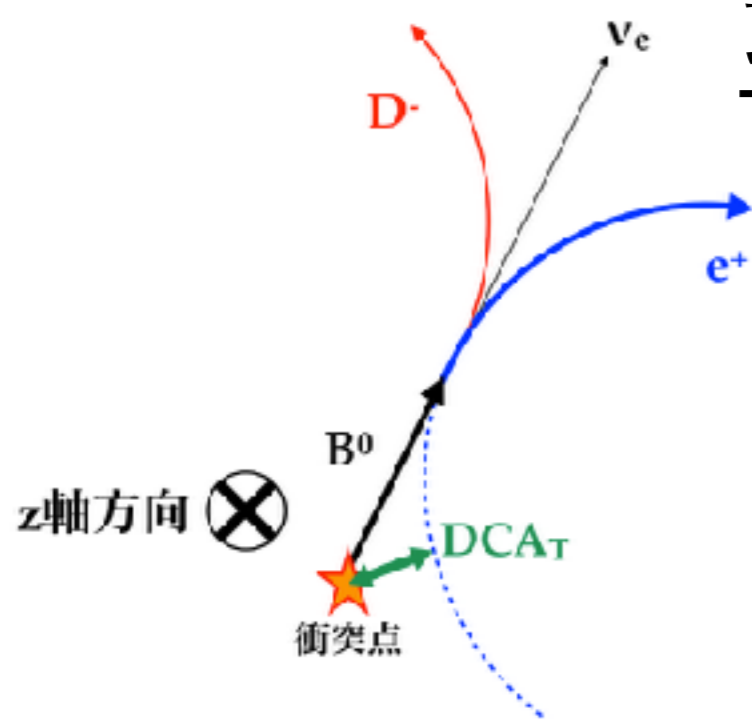
- バックグラウンド：

- ✦ Photonic electron：π⁰やηのDalitz崩壊と、検出器内でのConversion起源の電子

- ✦ ハドロン：誤って電子と識別された荷電ハドロン

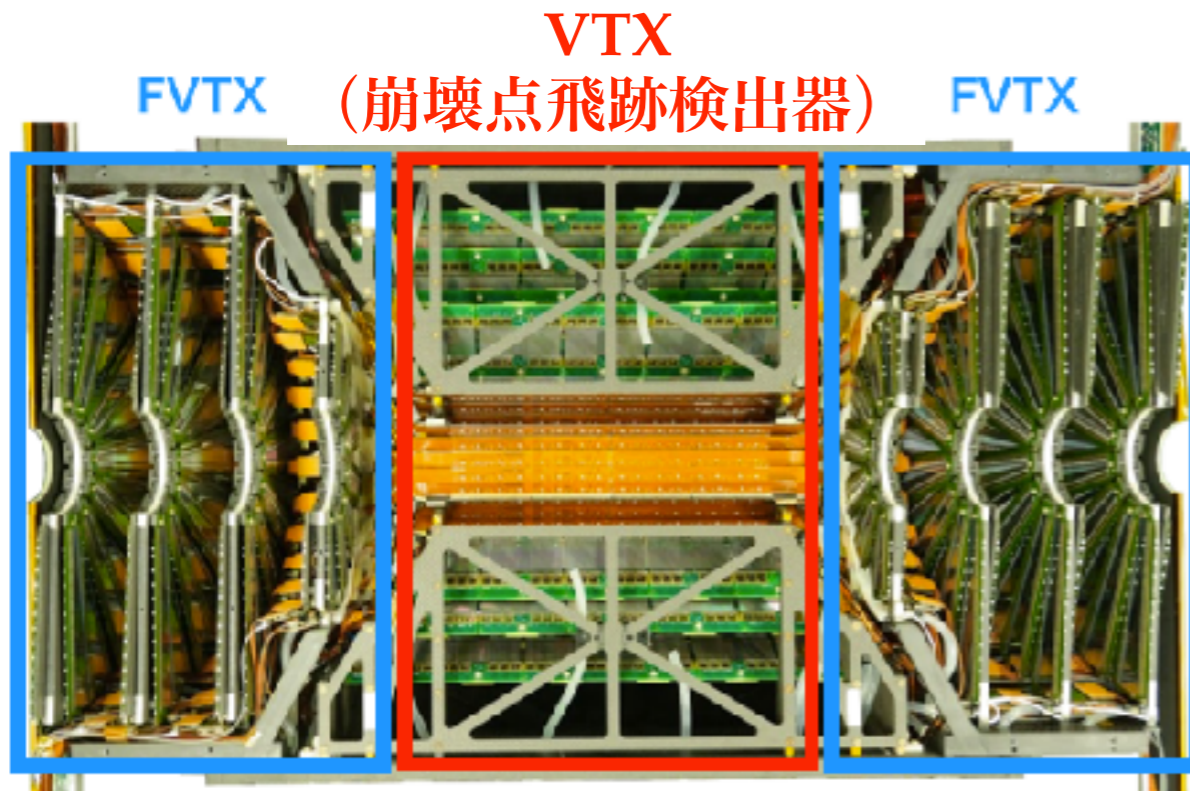
②シグナルの成分分け

最近接距離 (DCA)

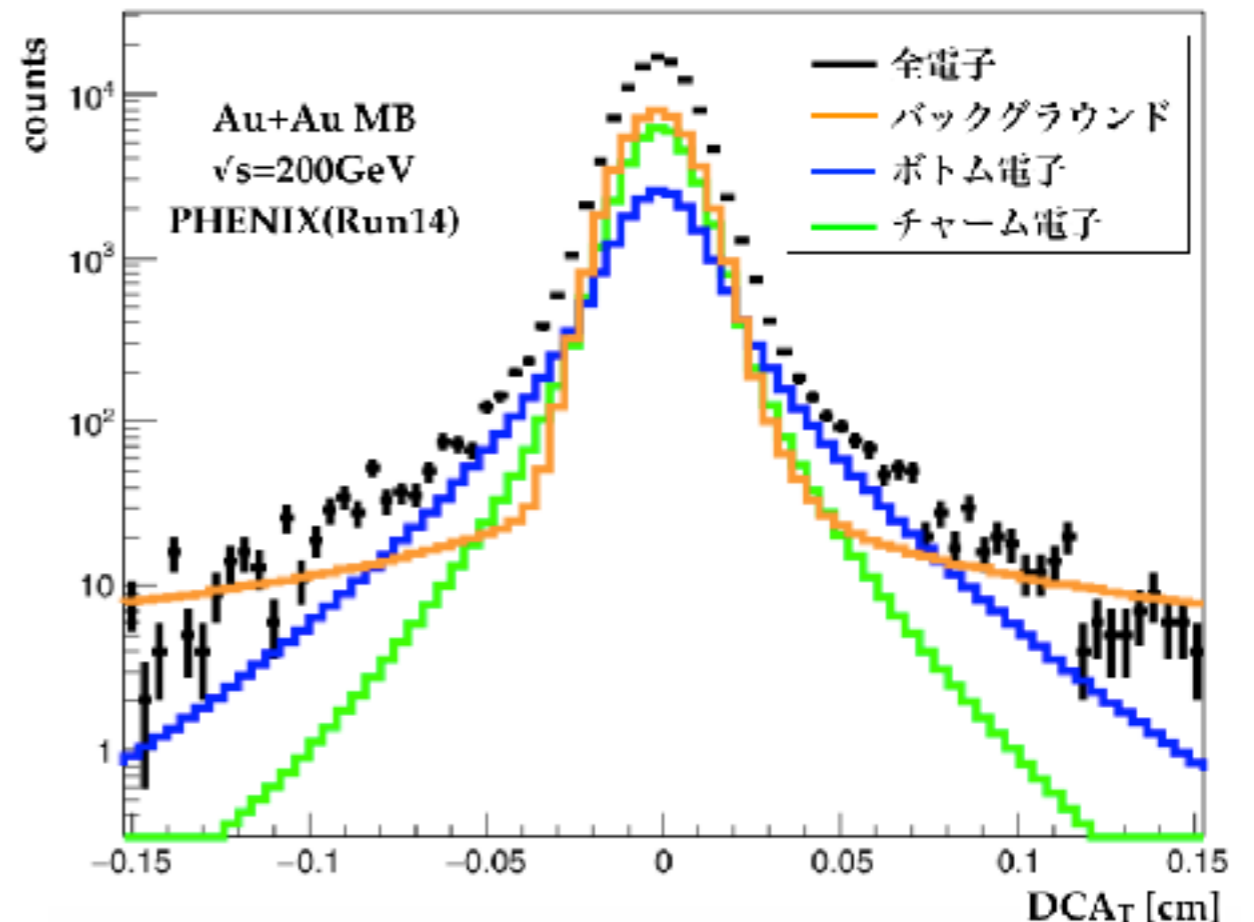


- 粒子飛跡から求められる、衝突点との最近接距離。
- VTXの導入(2011年)により、測定が可能となった。
- 特徴：親粒子の寿命に依存する。 ($D^0=123\mu\text{m}$, $B^0=455\mu\text{m}$)
→長短で**粒子識別**を行うことが可能。

ビーム軸方向から見たDCA = DCA_T



全電子(黒)を成分分けしたDCA_T分布

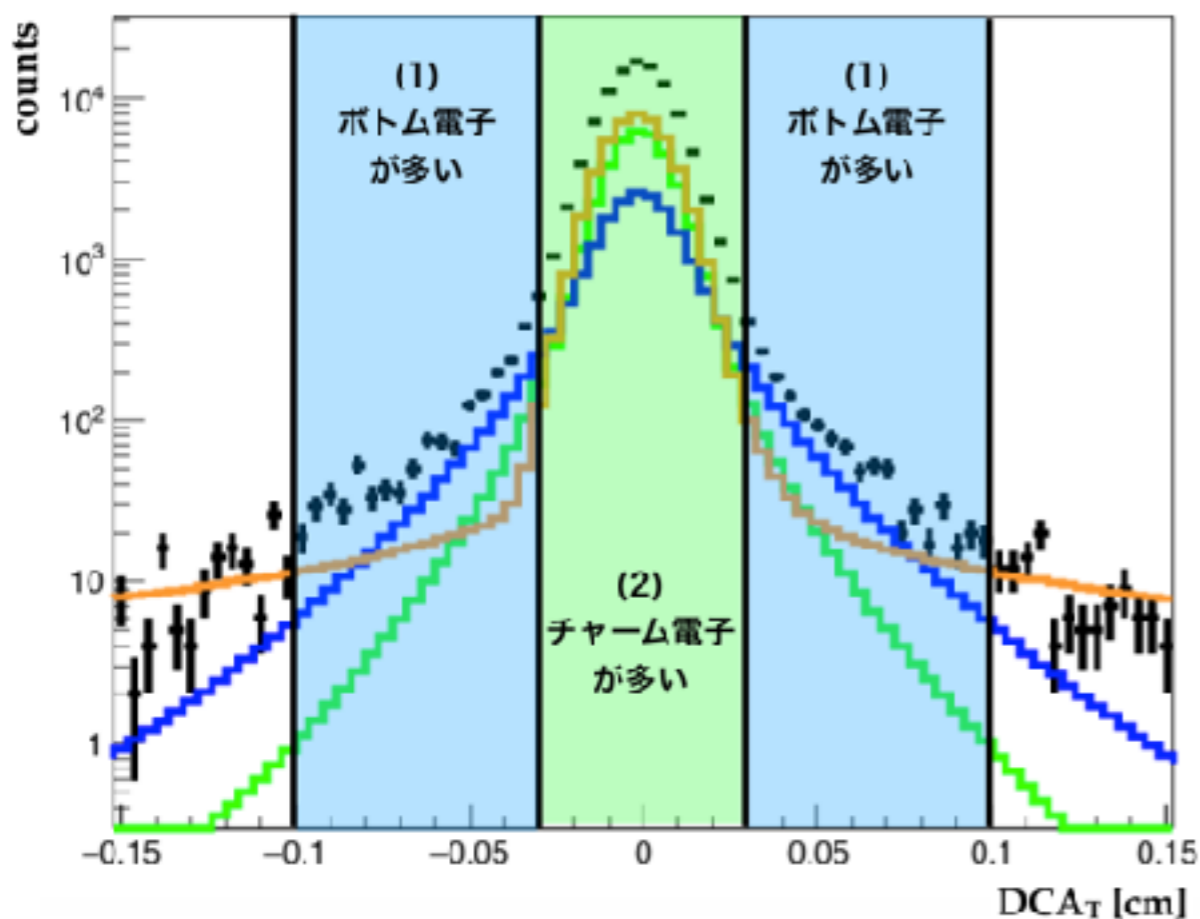


②シグナルの成分分け

DCA_T分布の分割

DCA_T分布を2領域に分割する。

- $|DCA_T| < 0.03 \text{ cm}$: チャーム電子が多い
- $0.03 \text{ cm} < |DCA_T| < 0.1 \text{ cm}$: ボトム電子が多い



$$\begin{aligned}
 \text{全電子} \quad v_2(inc) &= F_c \times \text{チャーム電子} \quad v_2(c) + F_b \times \text{ボトム電子} \quad v_2(b) \\
 &+ F_{pe} \times \text{Photonic electron} \quad v_2(pe) + F_h \times \text{ハドロン} \quad v_2(h)
 \end{aligned}$$

2領域それぞれで v_2 の関係式が成り立つ。

2つの連立方程式を解く。

ボトム電子

$$v_2^b = \frac{f_c(2) \cdot (f_{BG}(1) \cdot v_2^{BG}(1) - v_2^{incl}(1)) - f_c(1)(f_{BG}(2) \cdot v_2^{BG}(2) - v_2^{incl}(2))}{f_c(1) \cdot f_b(2) - f_c(2) \cdot f_b(1)}$$

$$v_2^c = \frac{f_c(1) \cdot (f_{BG}(2) \cdot v_2^{BG}(2) - v_2^{incl}(2)) - f_c(2)(f_{BG}(1) \cdot v_2^{BG}(1) - v_2^{incl}(1))}{f_c(1) \cdot f_b(2) - f_c(2) \cdot f_b(1)}$$

チャーム電子

チャーム電子とボトム電子の v_2 式を
導出できる。

結果

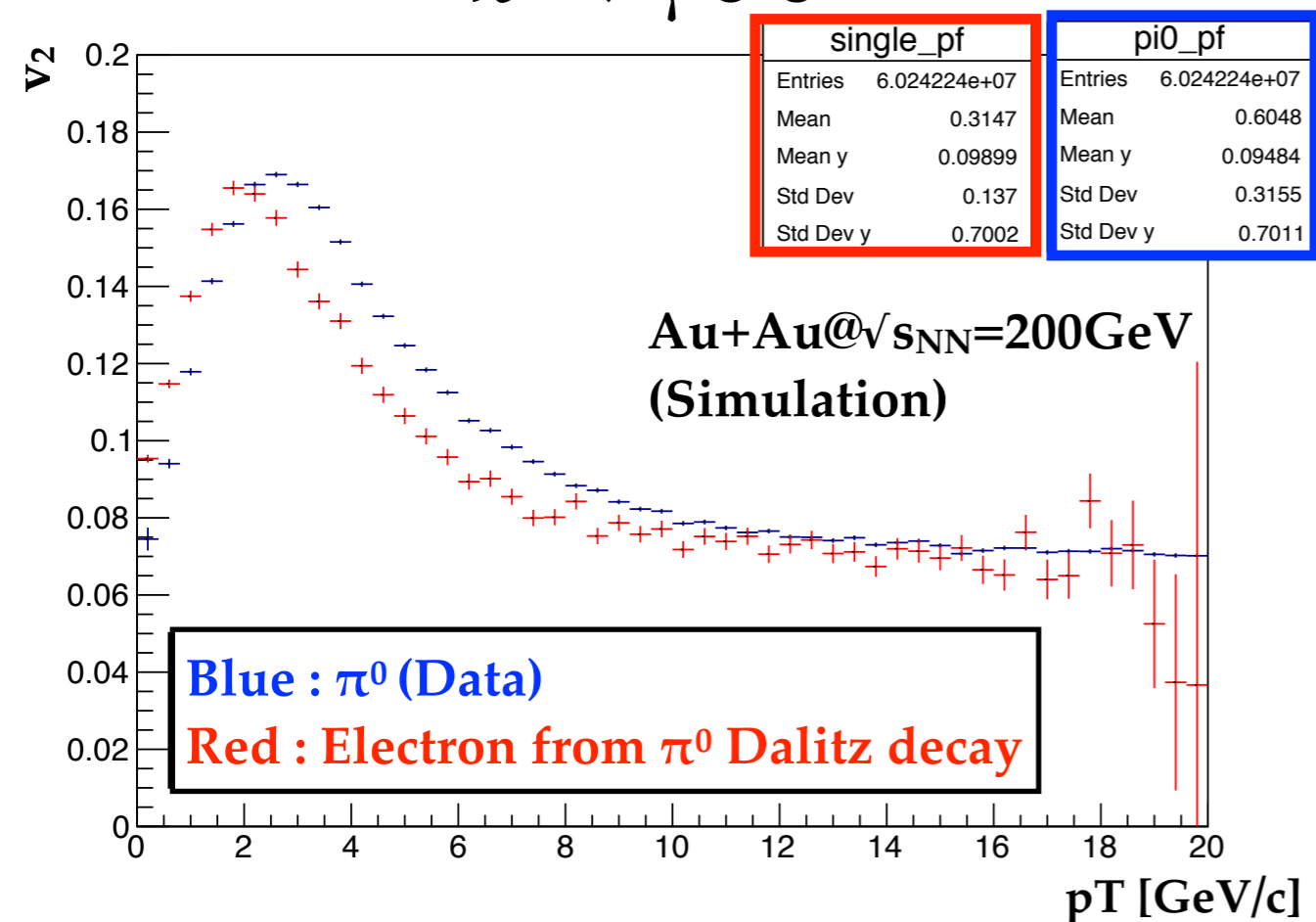
1. シミュレーションによるPhotonic electron v_2 の見積もりとシグナル抽出
2. シグナルの成分分け：チャーム電子とボトム電子の v_2

1. シミュレーションによる
Photonic electron v_2 の見積もりと
シグナル抽出

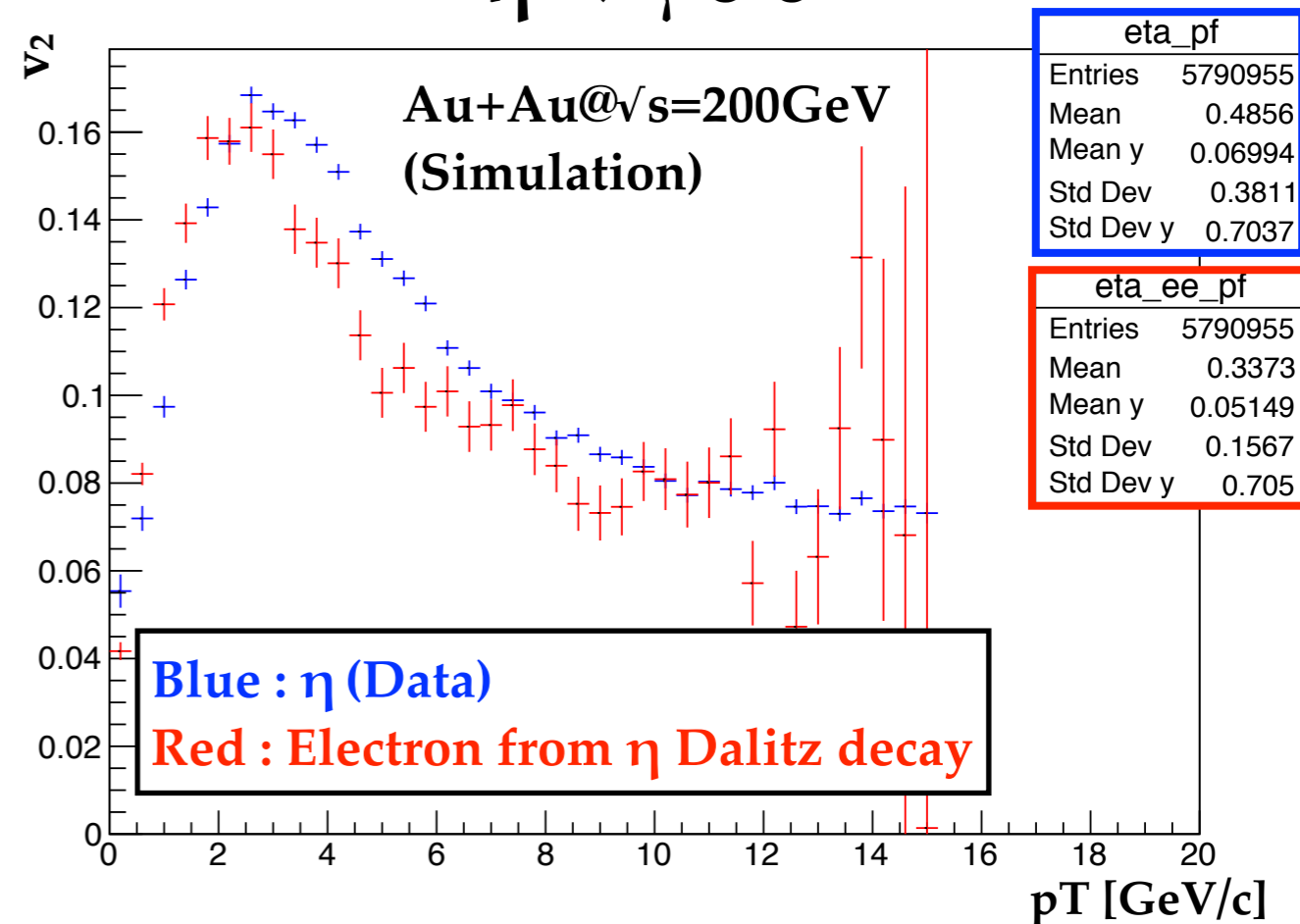
シミュレーション結果

π^0 と η の Dalitz 崩壊起源の電子 v_2

$\pi^0 \rightarrow \gamma e^+e^-$



$\eta \rightarrow \gamma e^+e^-$



v_2 のピーク位置について

(崩壊して生成された電子 v_2) < (親粒子 v_2)
を確認できる。

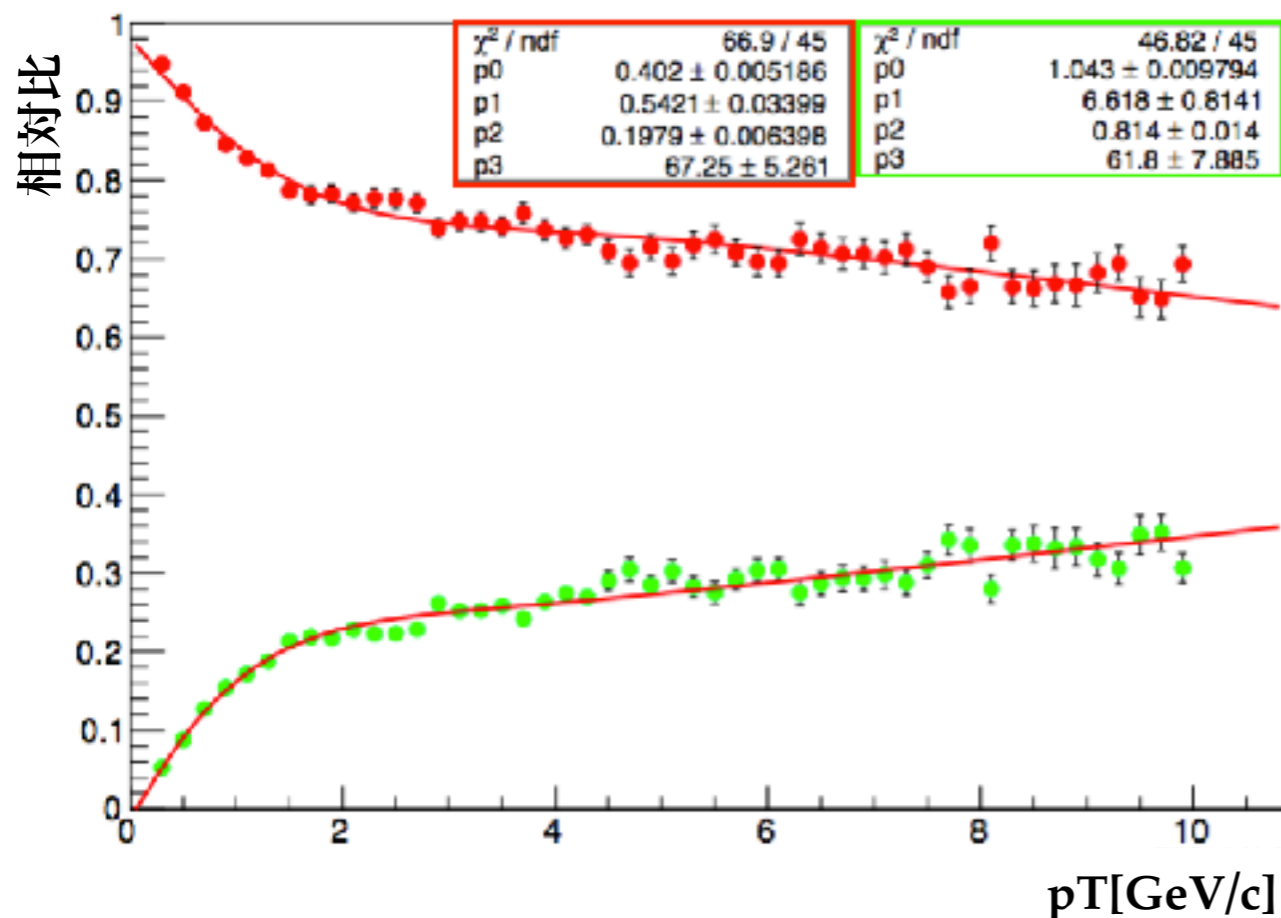
Photonic electron v_2 の算出

Photonic electron v_2

Photonic
electron v_2

$$v_2(\text{Photo}-e) = \frac{N_{e(\pi^0 \text{ Dalitz})} + N_{e(\pi^0 \text{ conversion})}}{N_{e(\text{Total})}} \times v_2(\pi^0 \rightarrow \gamma e^+ e^-) + \frac{N_{e(\eta \text{ Dalitz})} + N_{e(\eta \text{ conversion})}}{N_{e(\text{Total})}} \times v_2(\eta \rightarrow \gamma e^+ e^-)$$

N_e : 電子数、 $N_{e(\text{Total})} = N_{e(\pi^0 \text{ Dalitz})} + N_{e(\pi^0 \text{ conversion})} + N_{e(\eta \text{ Dalitz})} + N_{e(\eta \text{ conversion})}$



実験によって測定された

- Dalitz崩壊起源の電子の総量
- Conversion起源の電子の総量

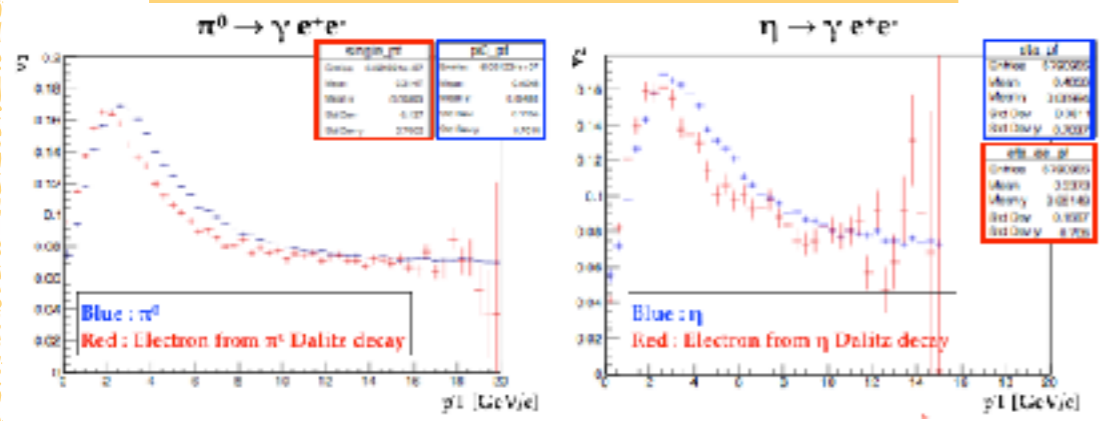
を用いて、それぞれの相対比を計算した。

赤 : π^0 起源の電子
緑 : η 起源の電子

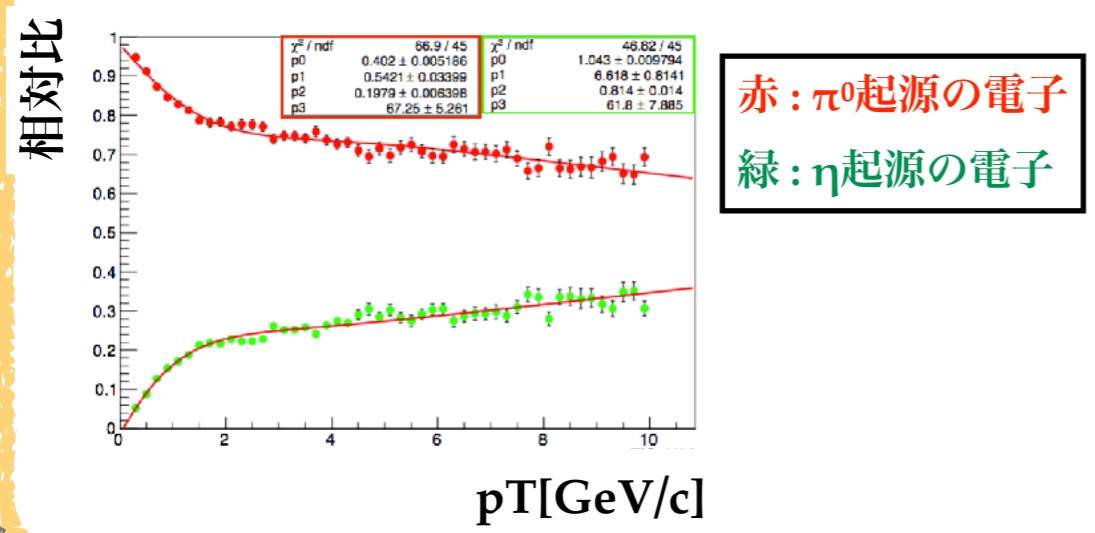
Photonic electron v_2

$$v_2(\text{Photo-e}) = \frac{N_{e(\pi^0 \rightarrow \gamma e^+ e^-)} + N_{e(\pi^0 \text{ conversion})}}{N_{e(\text{Total})}} \times v_2(\pi^0 \rightarrow \gamma e^+ e^-) + \frac{N_{e(\eta \text{ Dalitz})} + N_{e(\eta \text{ conversion})}}{N_{e(\text{Total})}} \times v_2(\eta \rightarrow \gamma e^+ e^-)$$

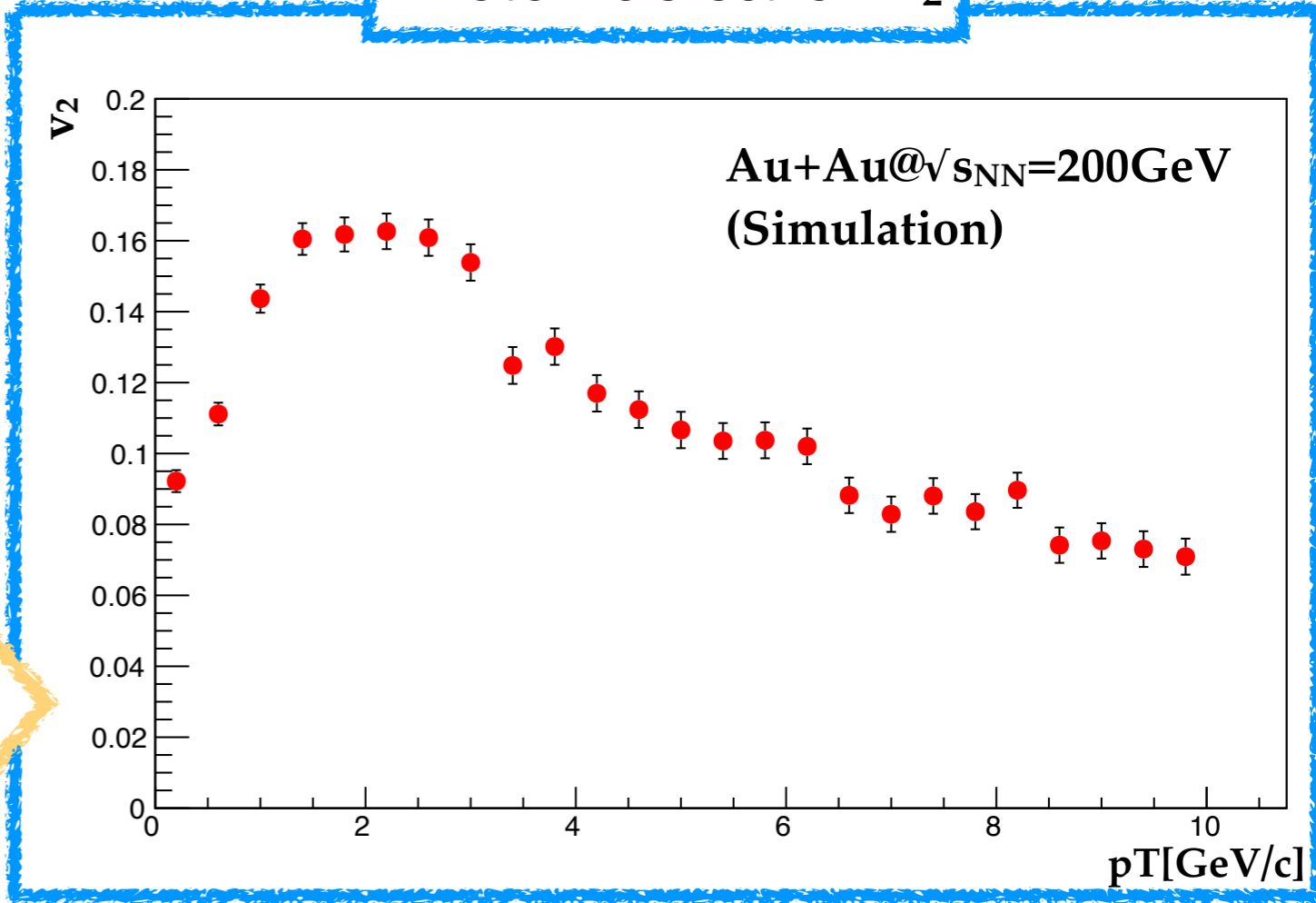
$v_2(\pi^0 \rightarrow \gamma e^+ e^-)$ と $v_2(\eta \rightarrow \gamma e^+ e^-)$



相対比



Photonic electron v_2



シグナル抽出

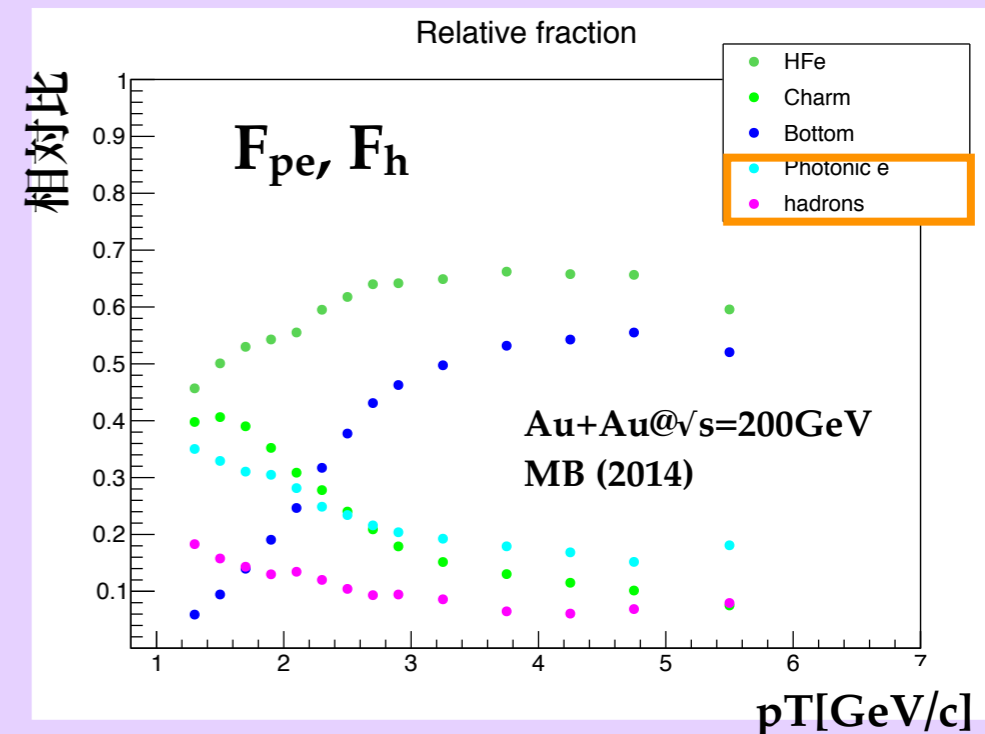
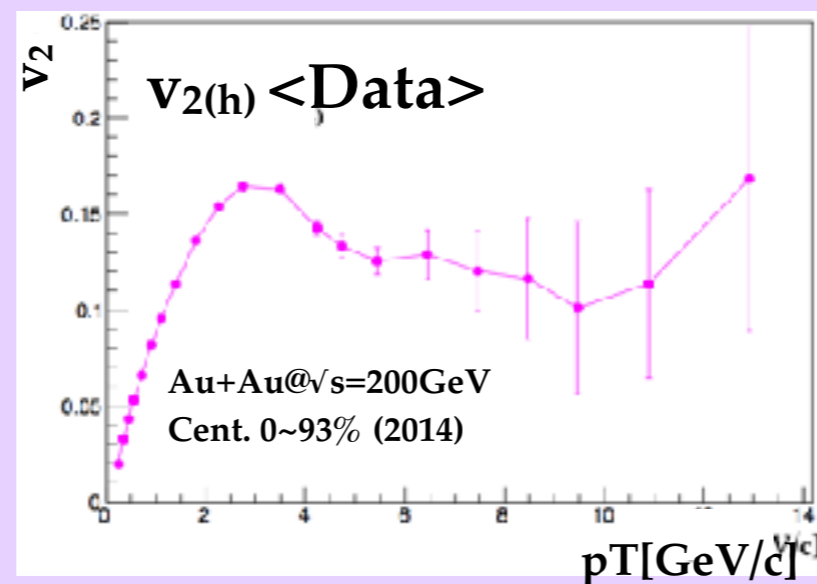
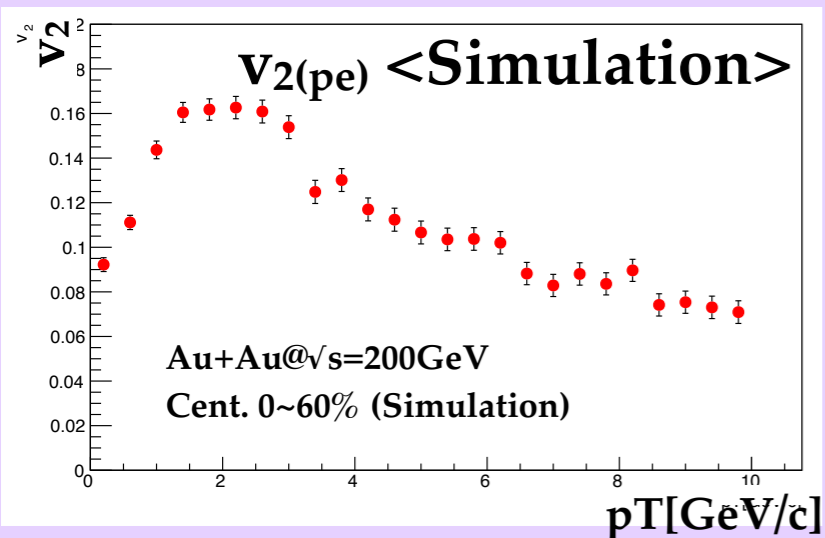
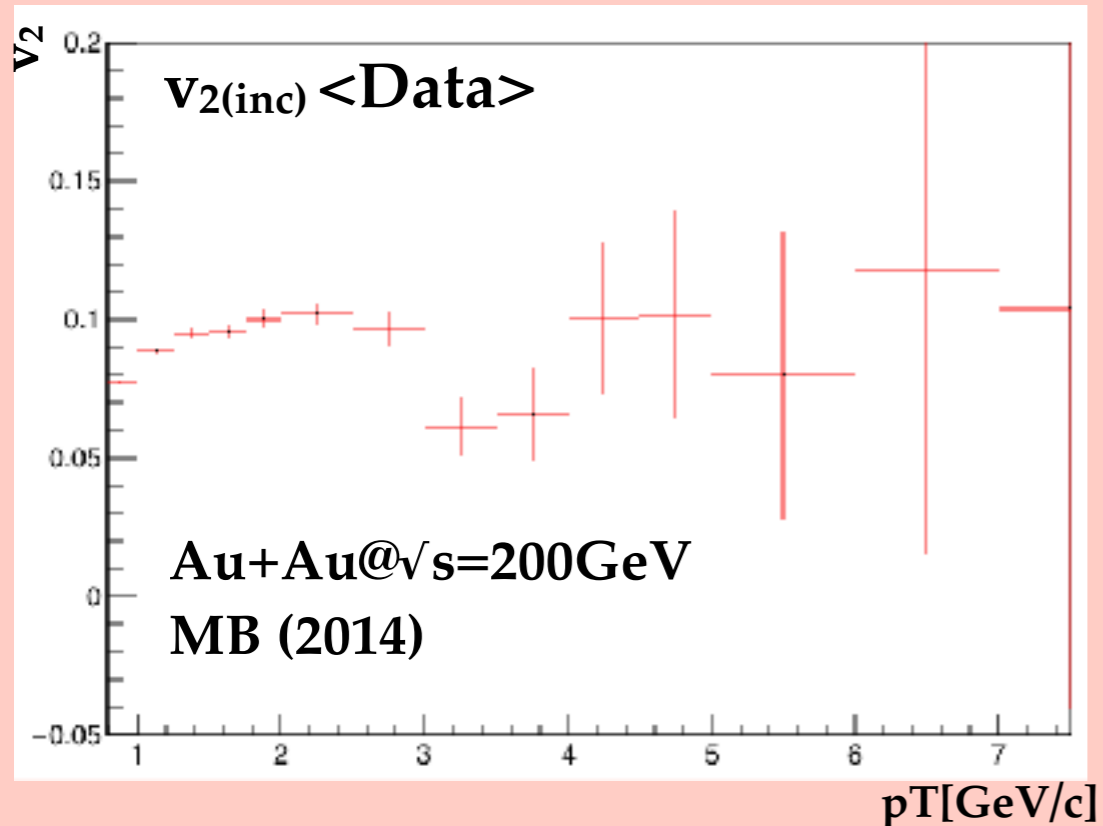
全電子 v_2 とバックグラウンド v_2

重いクォーク起源の電子 v_2 (シグナル)を

全電子 v_2 とバックグラウンド v_2 から算出する。

$$\begin{aligned}
 \text{全電子 } v_2(\text{inc}) &= F_c \times v_2(c) + F_b \times v_2(b) \\
 &+ F_{pe} \times v_2(pe) + F_h \times v_2(h)
 \end{aligned}$$

全電子 チャーム電子 ボトム電子
 $v_2(\text{inc})$ $v_2(c)$ $v_2(b)$
 $v_2(pe)$ $v_2(h)$
Photonic electron ハドロン



全電子 v_2 とバックグラウンド v_2

重いクォーク起源の電子 v_2 (シグナル)を

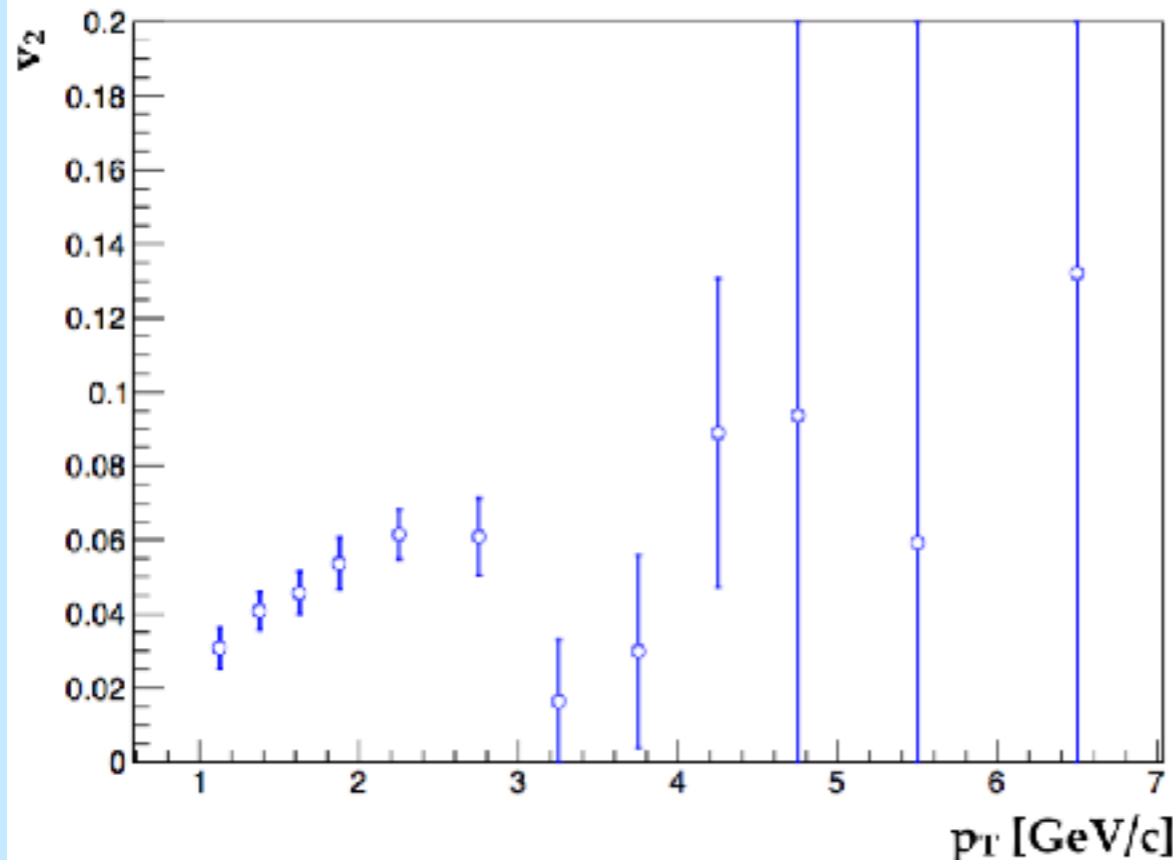
全電子 v_2 とバックグラウンド v_2 から算出する。

$$\begin{aligned}
 \text{全電子 } v_2(\text{inc}) &= F_c \times v_2(c) + F_b \times v_2(b) \\
 &+ F_{pe} \times v_2(pe) + F_h \times v_2(h)
 \end{aligned}$$

チャーム電子
ボトム電子

Photonic electron
ハドロン

重いクォーク起源の電子 v_2



「重いクォークの v_2 はゼロより大きい」
ということが分かった。

チャーム電子とボトム電子
それぞれの v_2 も求めたい。

2. シグナルの成分分け

チャーム電子とボトム電子の v_2

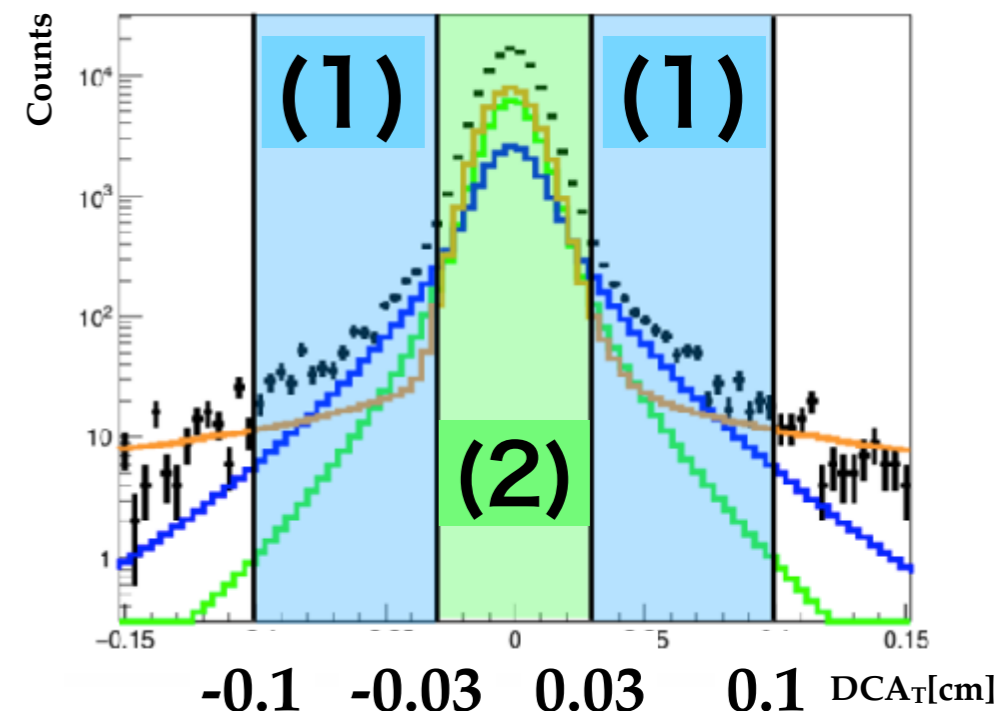
DCA_T範囲毎の

全電子v₂とバックグラウンドv₂

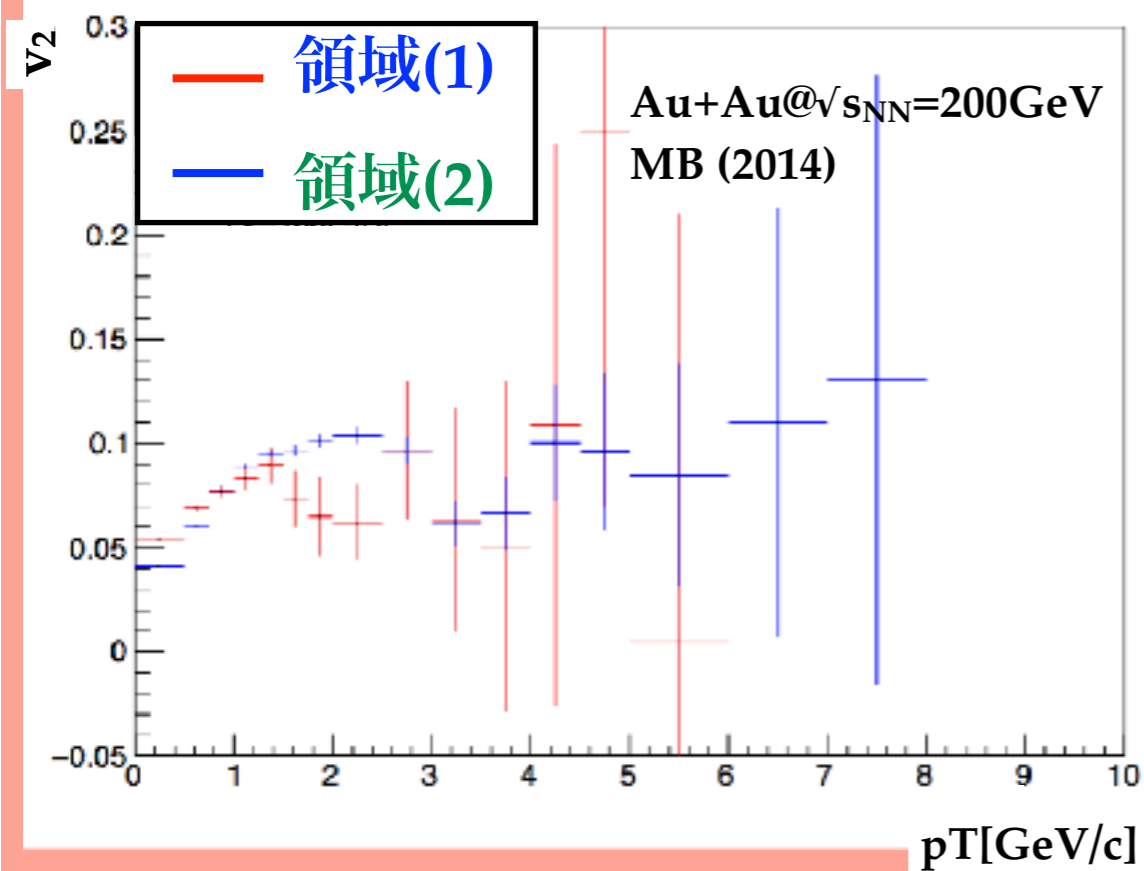
チャーム電子とボトム電子のv₂式

$$v_2^b = \frac{f_c(2) \cdot (f_{BG}(1) \cdot v_1^{BG}(1) - v_2^{incl}(1)) - f_c(1)(f_{BG}(2) \cdot v_2^{BG}(2) - v_2^{incl}(2))}{f_c(1) \cdot f_b(2) - f_c(2) \cdot f_b(1)}$$

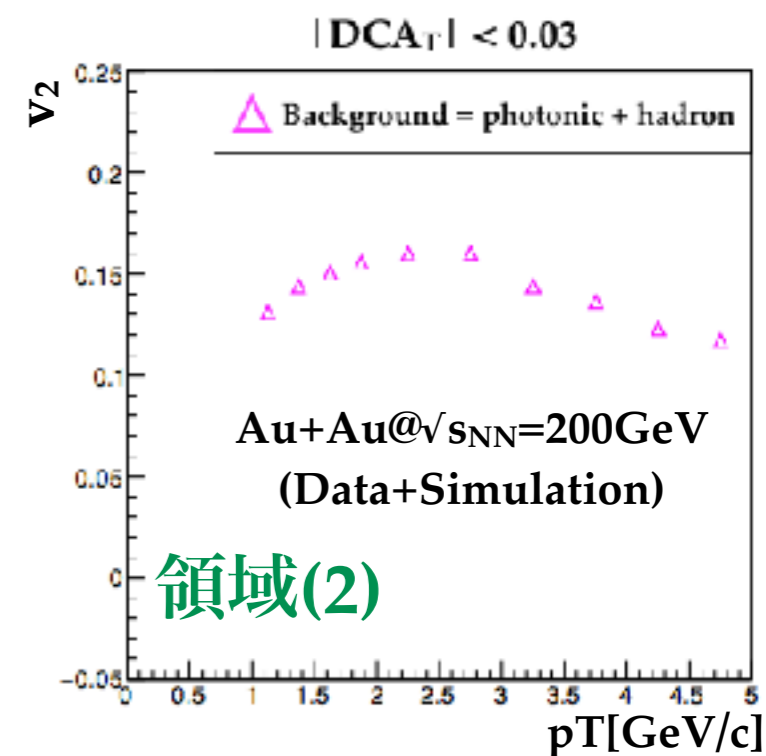
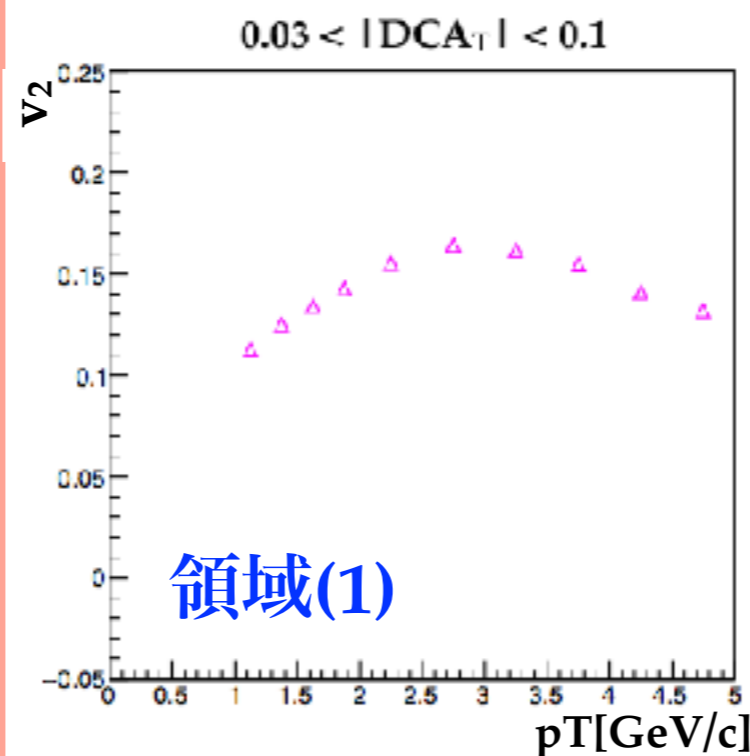
$$v_2^c = \frac{f_b(1) \cdot (f_{BG}(2) \cdot v_2^{BG}(2) - v_2^{incl}(2)) - f_b(2)(f_{BG}(1) \cdot v_1^{BG}(1) - v_2^{incl}(1))}{f_c(1) \cdot f_b(2) - f_c(2) \cdot f_b(1)}$$



全電子 v₂



バックグラウンド v₂



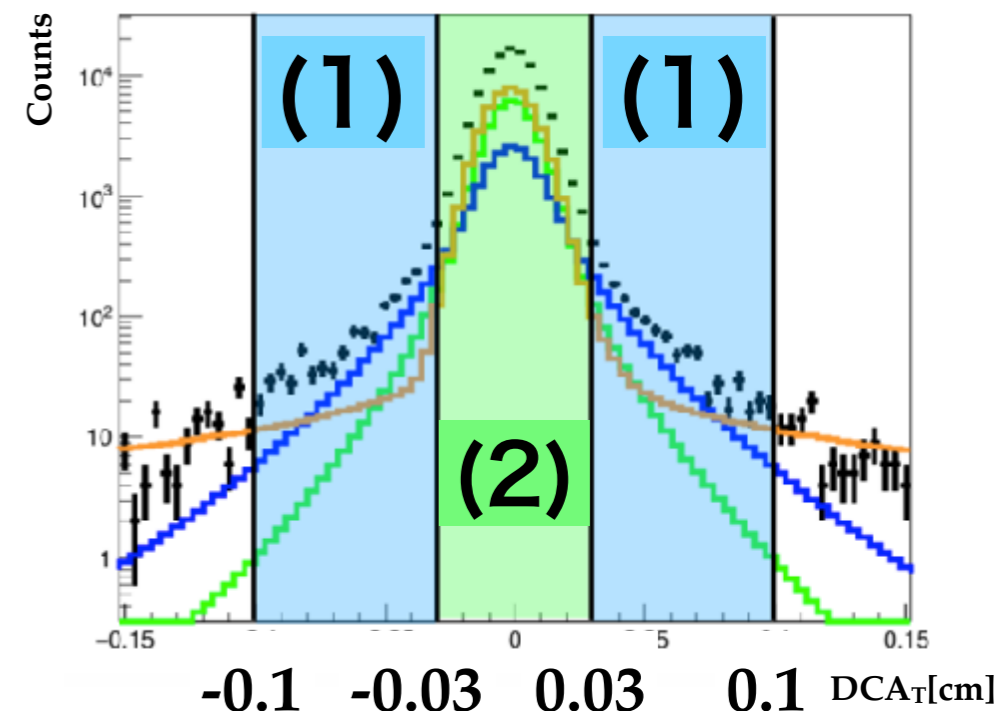
DCA_T範囲毎の

全電子数に占める割合

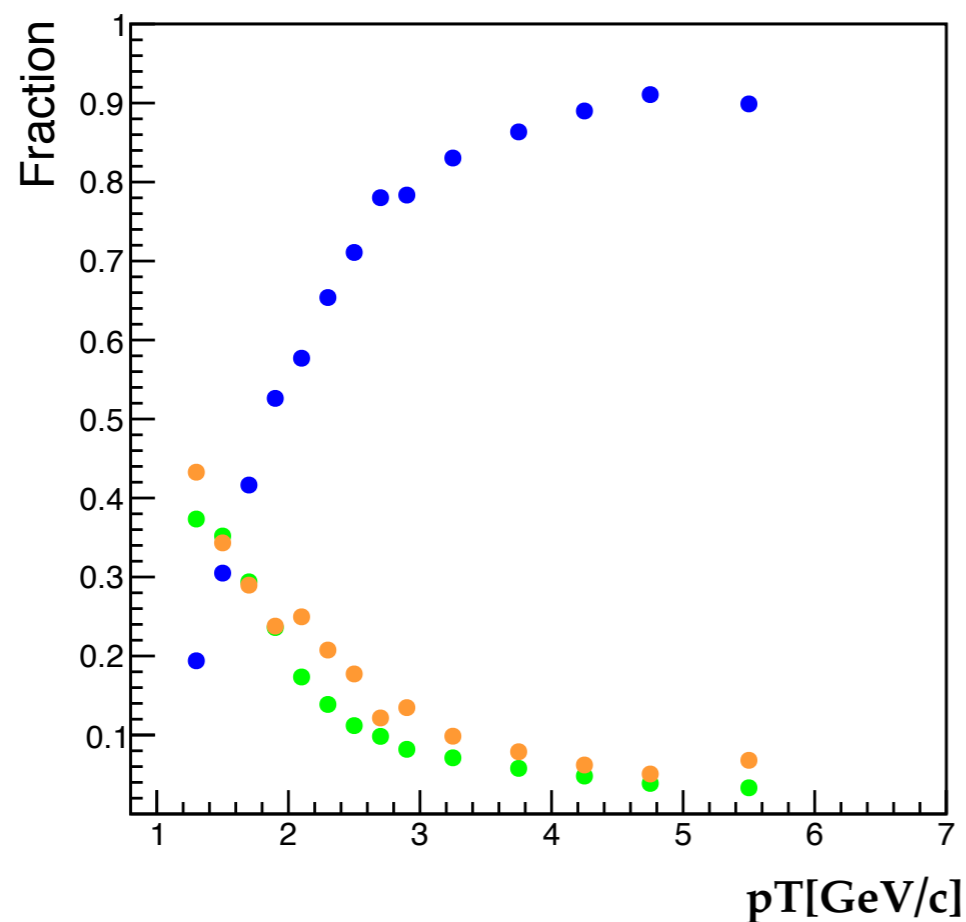
チャーム電子とボトム電子の v_2 式

$$v_2^b = \frac{f_c(2) \cdot (f_{BG}(1) \cdot v_1^{BG}(1) - v_2^{incl}(1)) - f_c(1) \cdot (f_{BG}(2) \cdot v_2^{BG}(2) - v_2^{incl}(2))}{f_c(1) \cdot f_b(2) - f_c(2) \cdot f_b(1)}$$

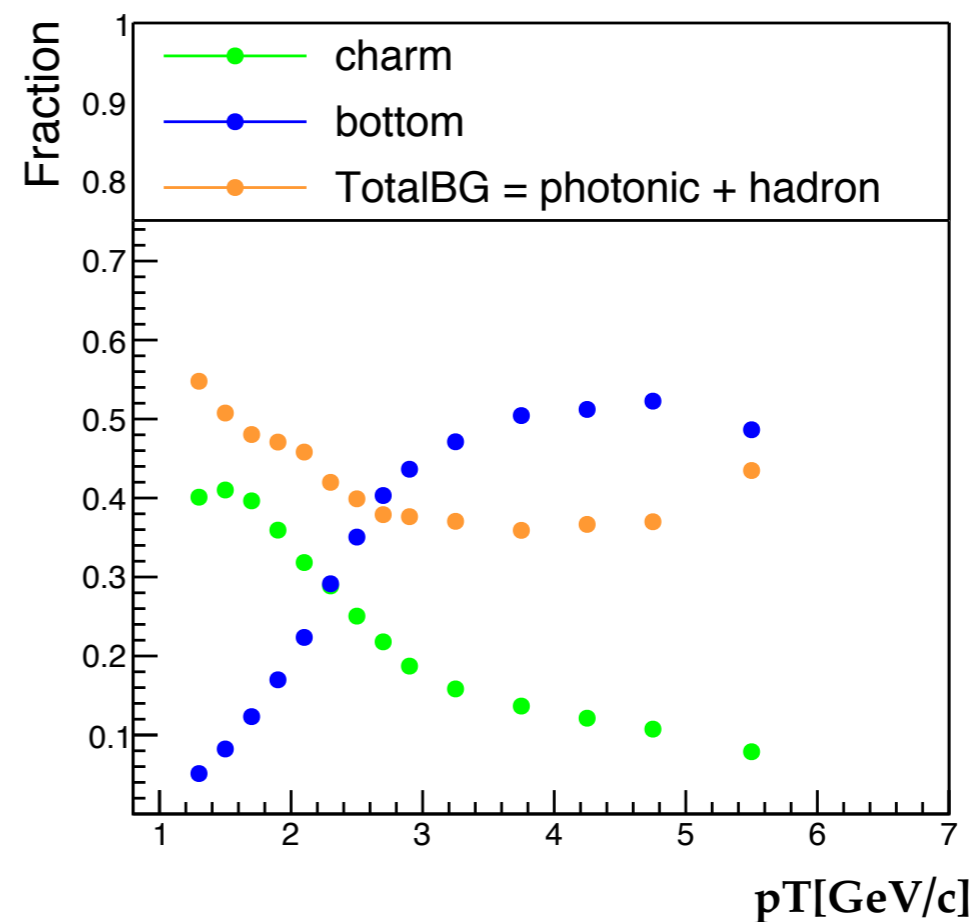
$$v_2^c = \frac{f_b(1) \cdot (f_{BG}(2) \cdot v_2^{BG}(2) - v_2^{incl}(2)) - f_b(2) \cdot (f_{BG}(1) \cdot v_1^{BG}(1) - v_2^{incl}(1))}{f_c(1) \cdot f_b(2) - f_c(2) \cdot f_b(1)}$$



領域(1)での割合

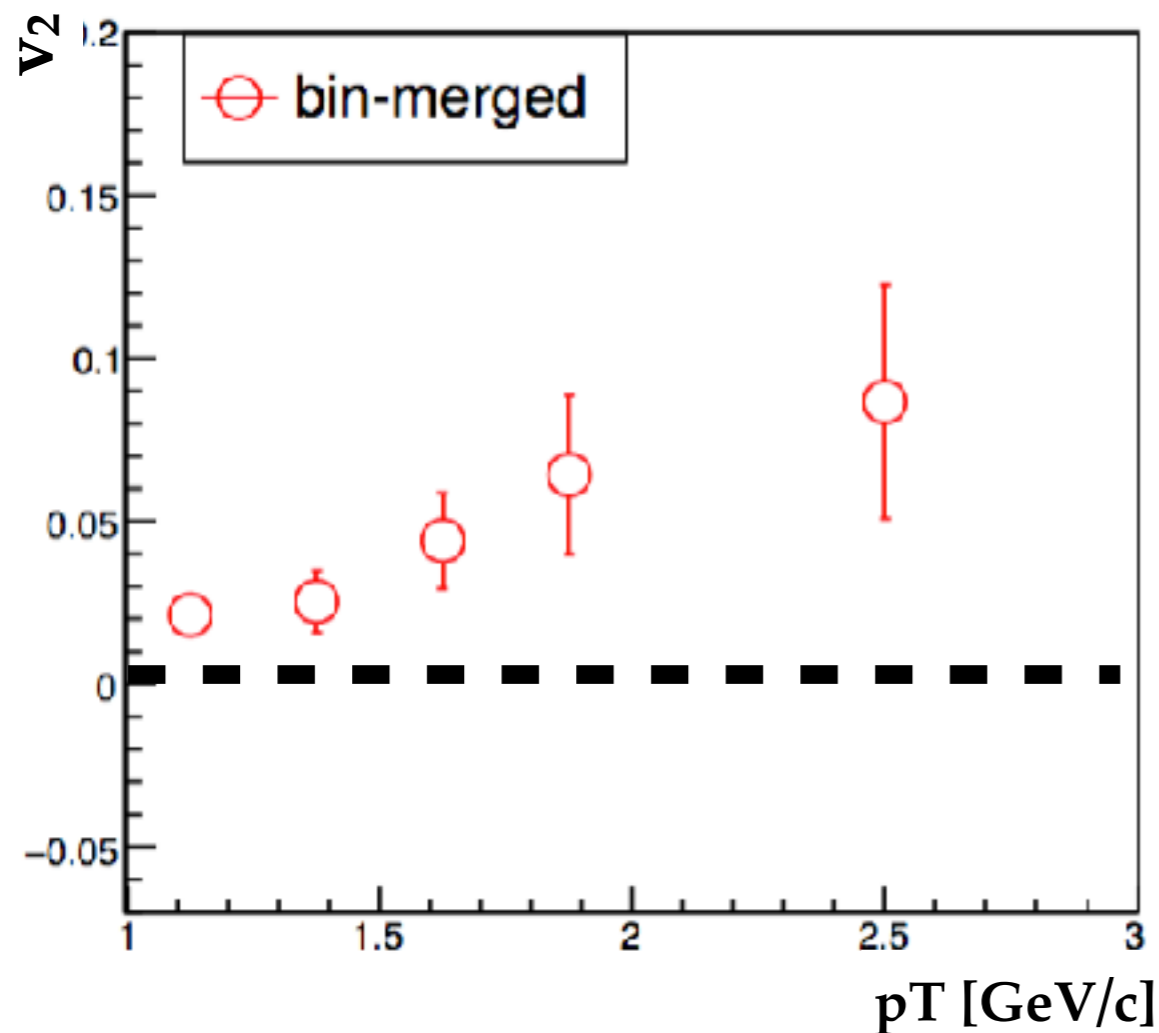


領域(2)での割合

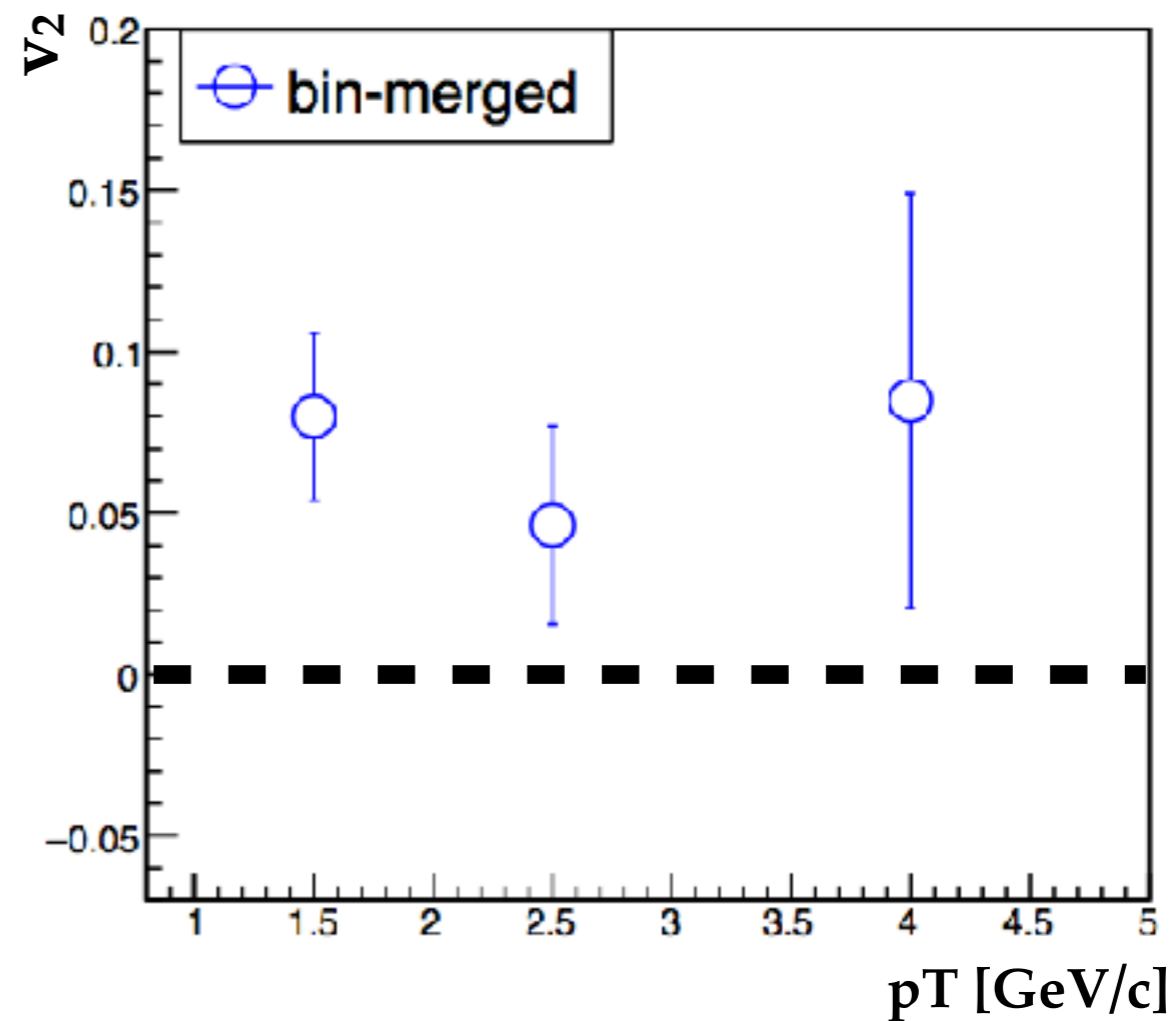


重いクォーク毎の v_2

チャーム電子



ボトム電子



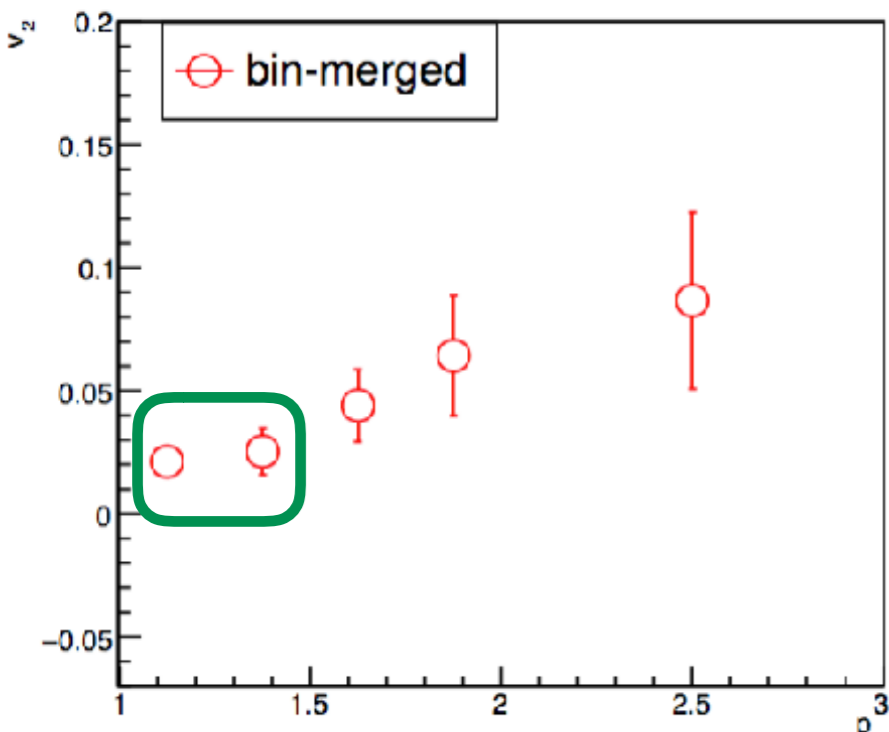
重いクォーク毎の v_2 も
 $v_2 > 0$ であることが分かった。

考察

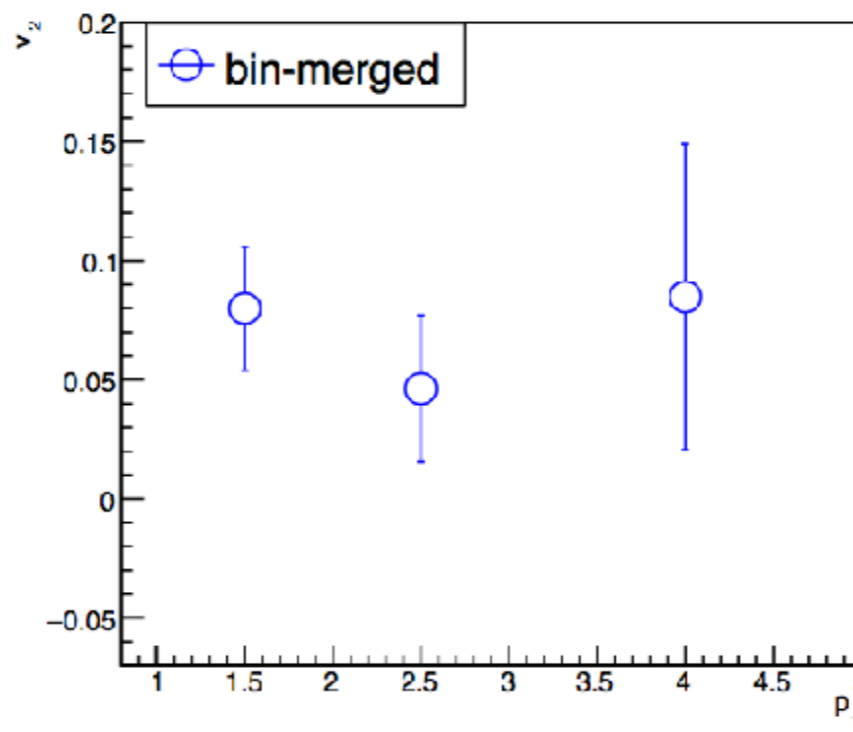
PHENIX Au+Au@ $\sqrt{s_{NN}}=200\text{GeV}$ (2014)

本研究

チャーム電子の v_2

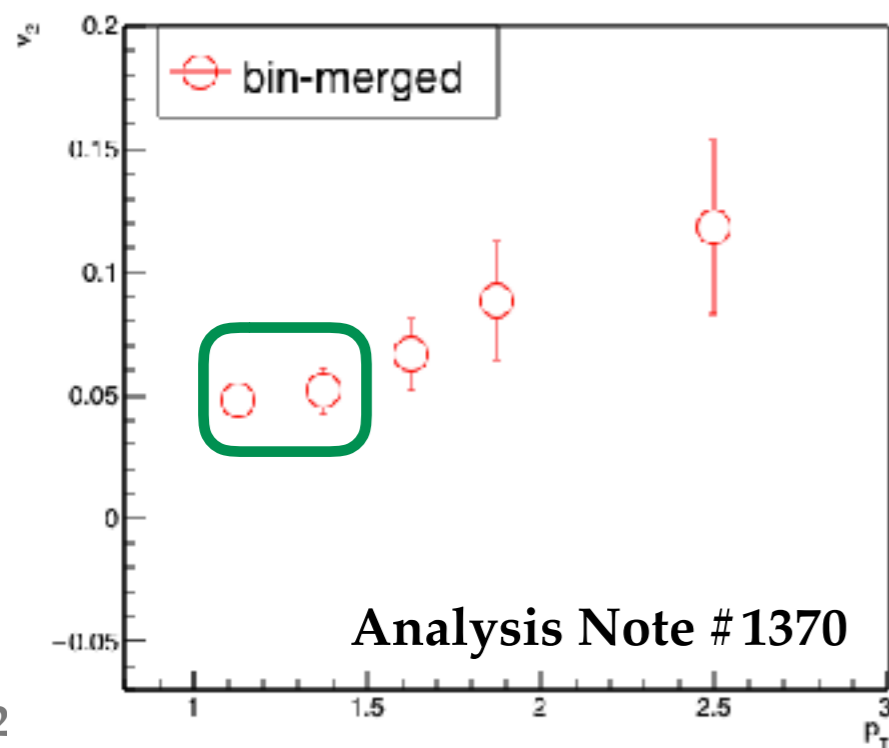


ボトム電子の v_2

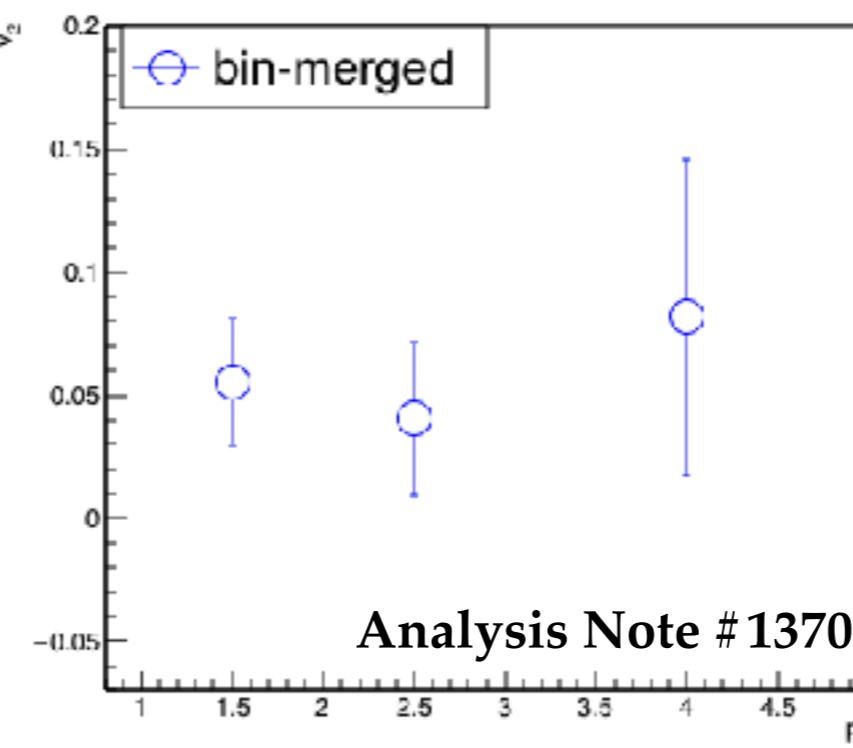


先行研究

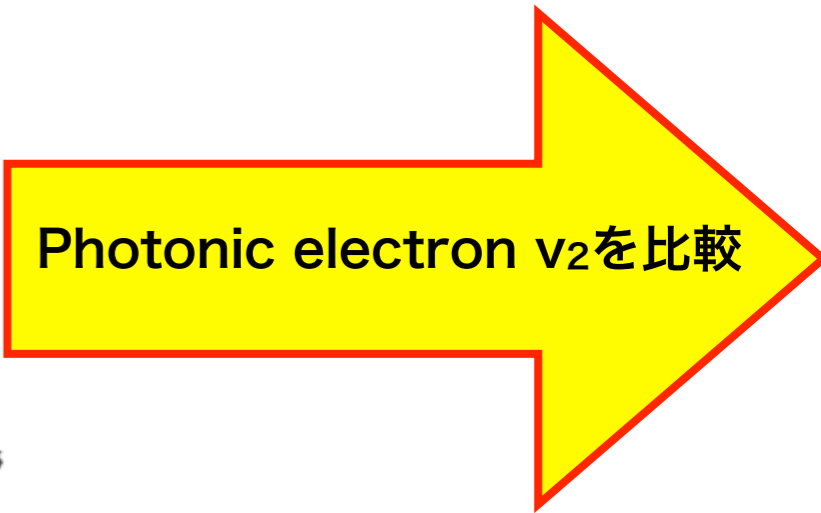
チャーム電子の v_2



ボトム電子の v_2

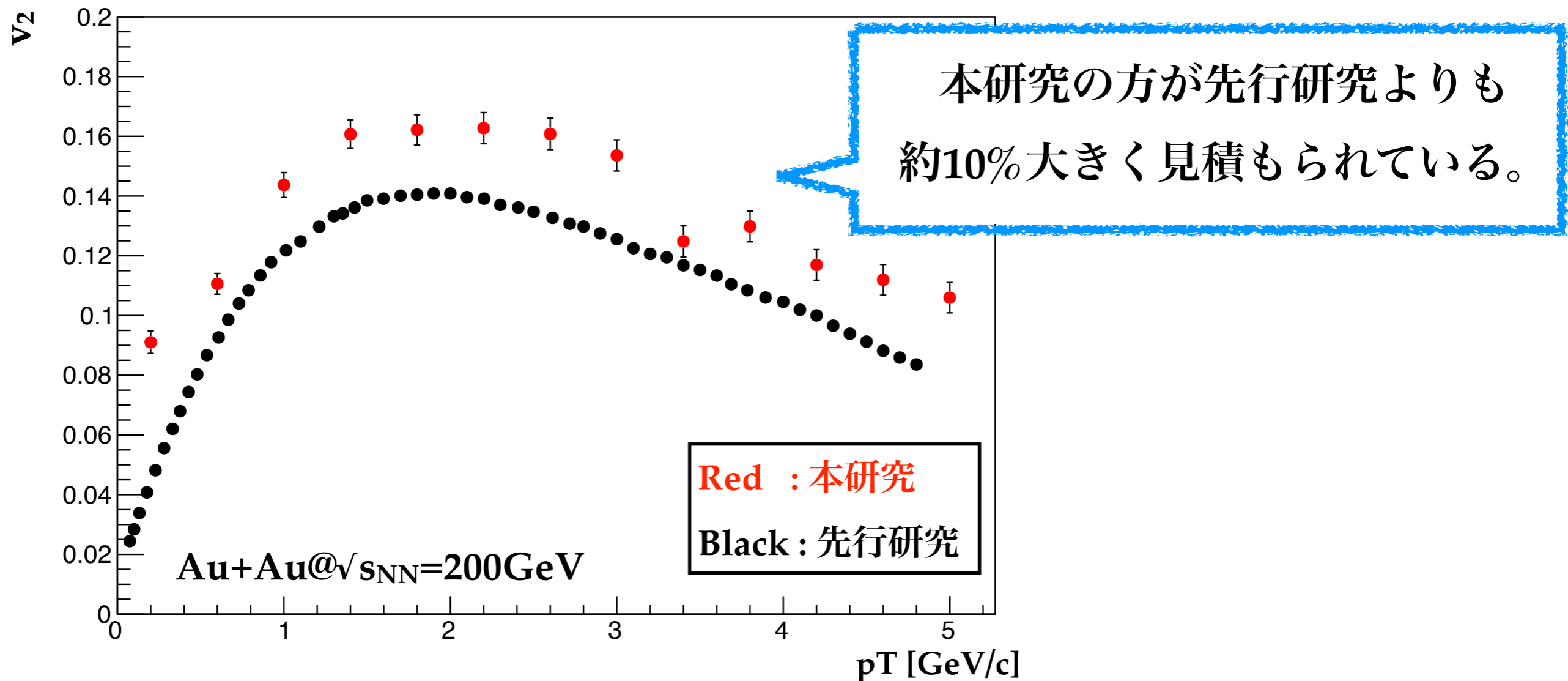


- ボトム電子：
先行研究と本研究
は同じ結果が
得られた。
- チャーム電子：
先行研究に比べ、
本研究の方が
小さい。



先行研究との比較

Photonic electron v_2



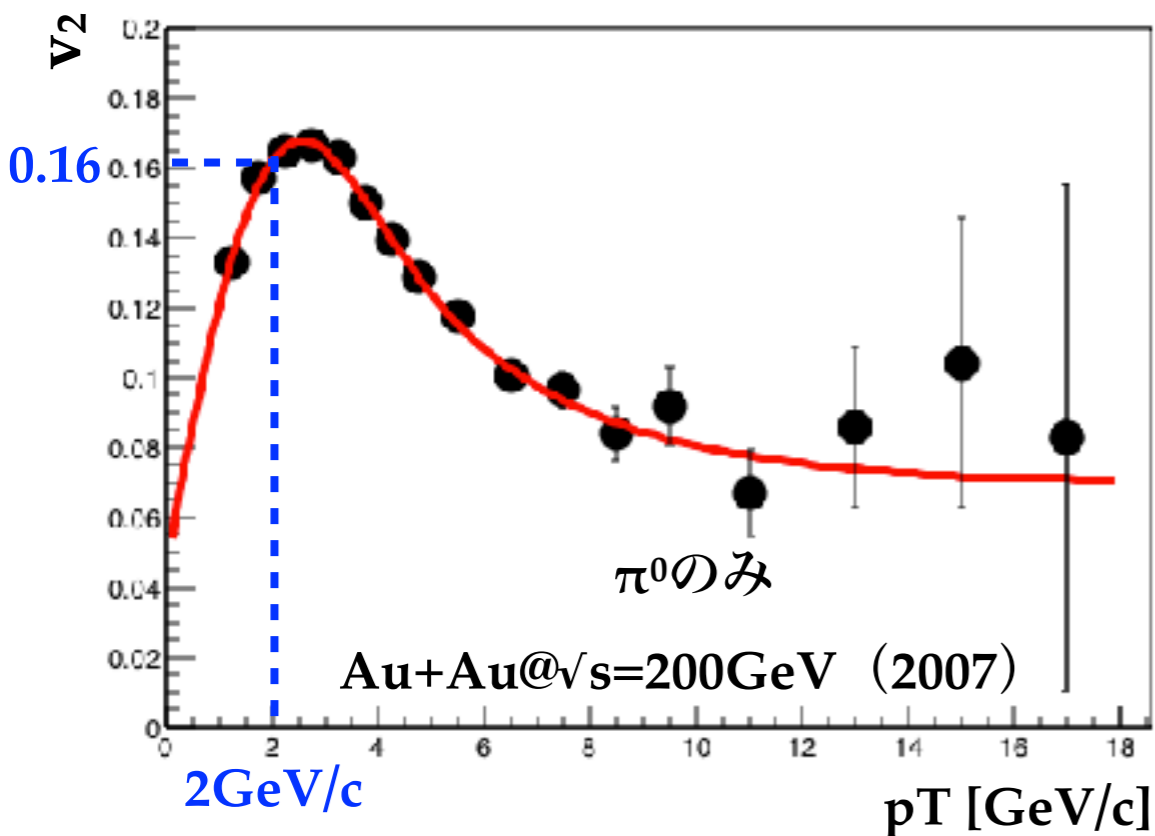
考えられる要因：シミュレーションに設定した π^0 の v_2 分布の違い

- 本研究 : π^0 のみの v_2 分布
- 先行研究 : π^0 と π^\pm を統合させた v_2 分布

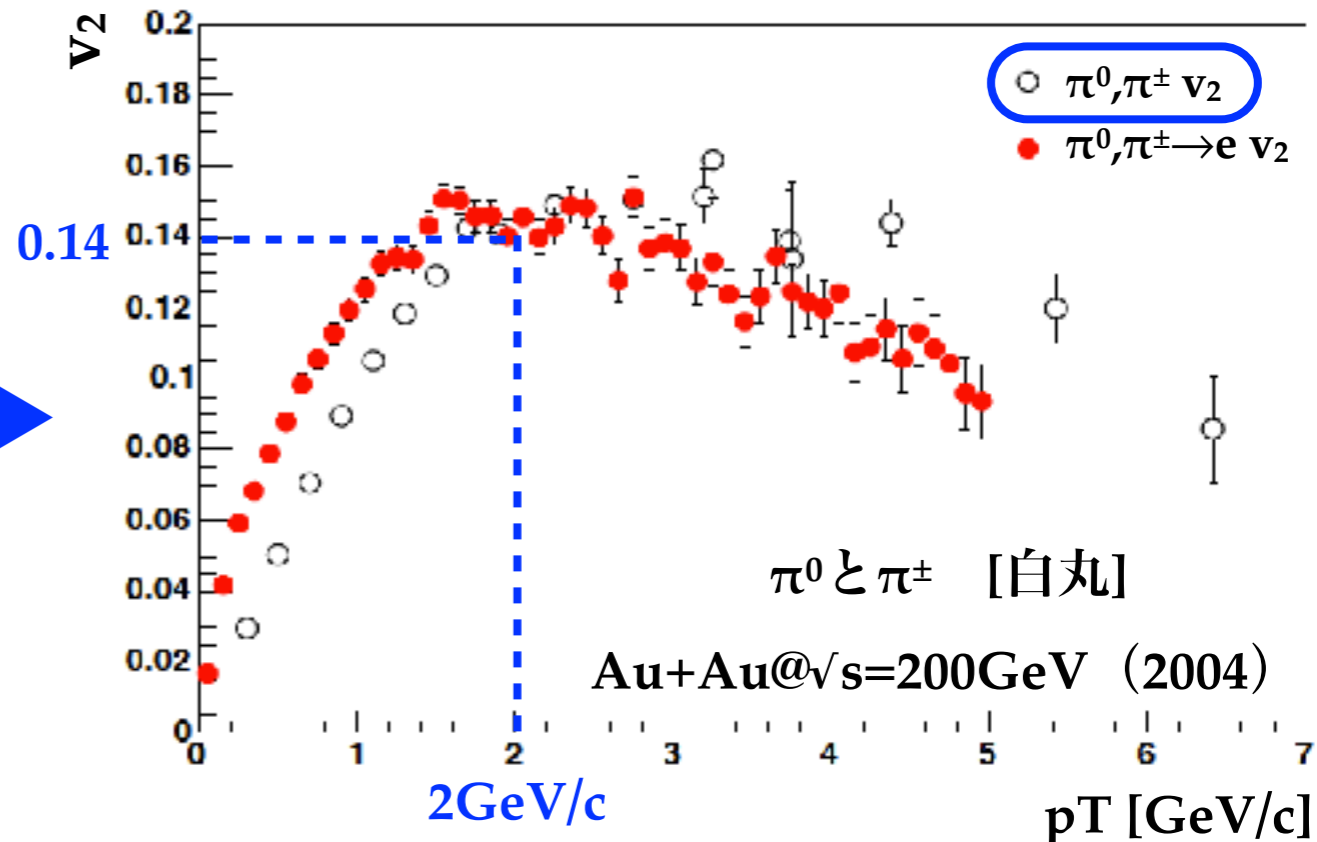
先行研究との比較

シミュレーションに設定した π^0 の v_2 分布

本研究で使用した v_2



先行研究で使用した v_2



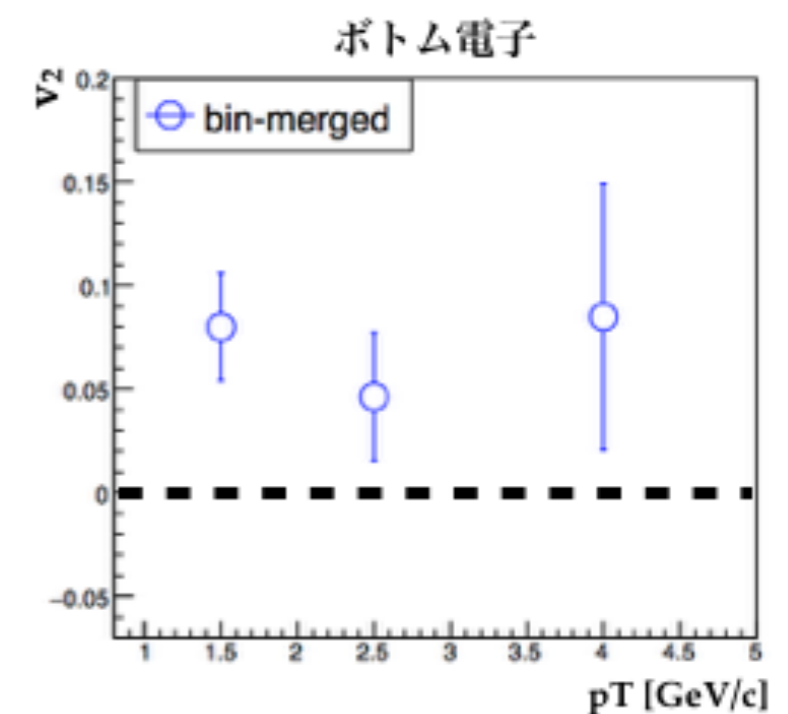
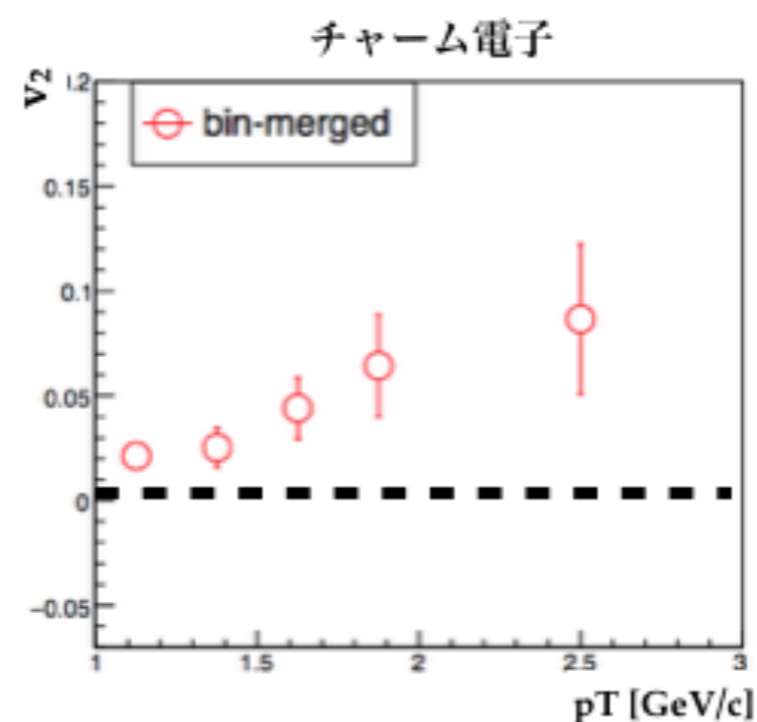
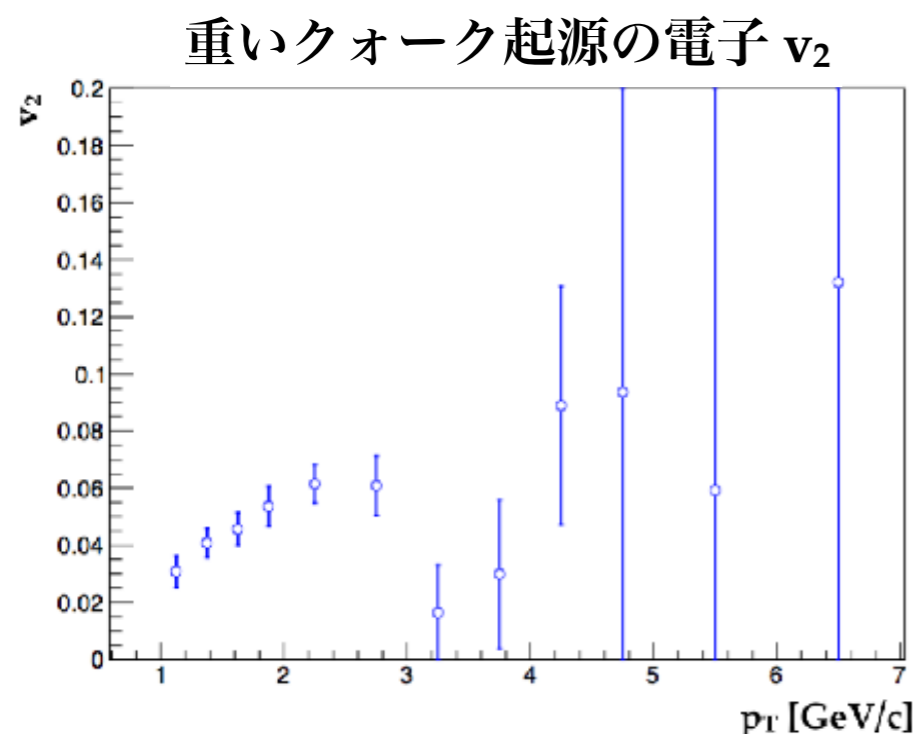
π^\pm の v_2 を含んでいなかったため、
本解析のバックグラウンド v_2 が先行研究よりも
大きく見積もられたと考えられる。

まとめ

1. 解析結果
2. 考察結果
3. 今後の課題

まとめ①：解析結果

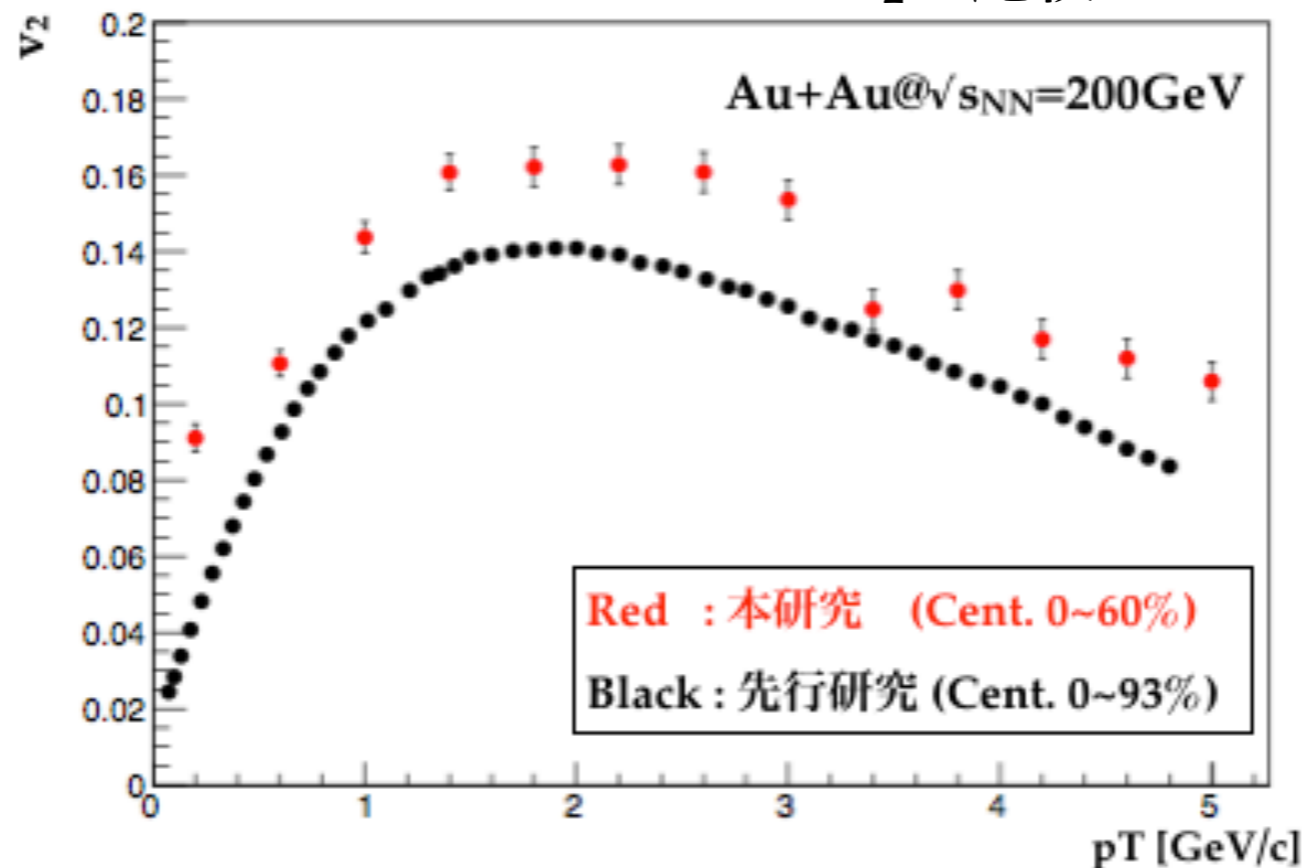
- 2007年に測定された最新の π^0 の v_2 分布を用いて、Photonic electron v_2 をシミュレーションによって見積もり、重いクォーク起源の電子の v_2 を算出することができた。
- DCA_T を用いてチャーム電子とボトム電子の v_2 をそれぞれ求めることができた。
 - 重いクォーク起源の電子 v_2 は $v_2 \sim 0$ と予想されたが、 $v_2 > 0$ ということが分かった。
 - クォーク毎に見ても、 $v_2 > 0$ ということが分かった。



まとめ②：考察結果

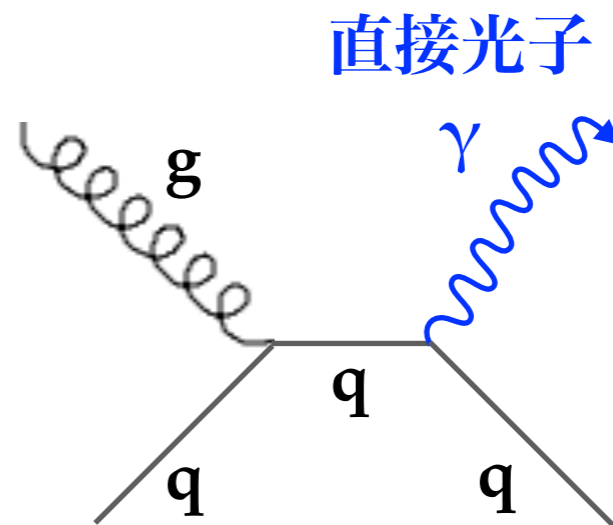
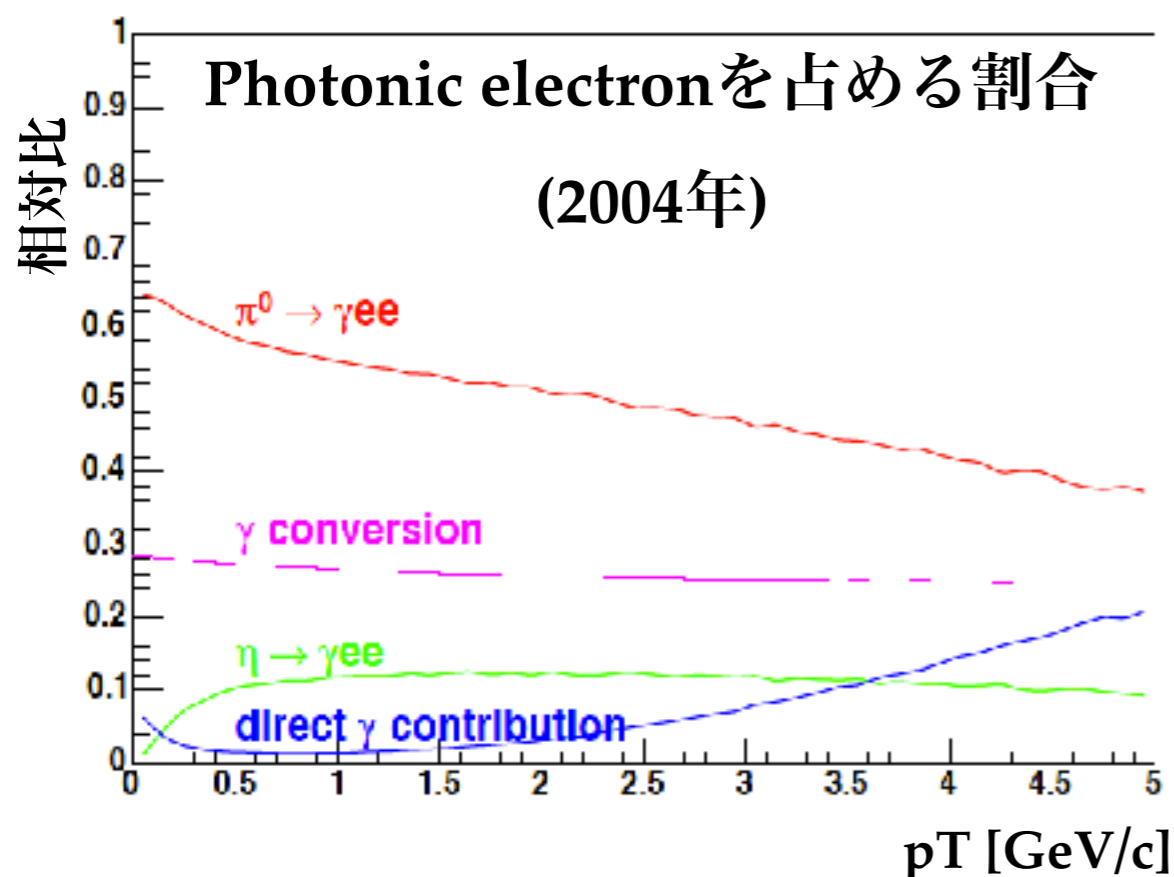
- 先行研究に比べ、本研究の方がPhotonic electron v_2 が大きく見積もられていた。
 - 要因は、シミュレーションに設定した π^0 の v_2 分布が、先行研究よりも大きい v_2 分布を設定していたためだと考えられる。
 - 最新の π^0 の v_2 分布を使用したため、先行研究よりも精密に見積もることができたと思われる。（本研究：2007年のデータ、先行研究：2004年のデータ）

Photonic electron v_2 の比較



まとめ③：今度の課題

- 直接光子の崩壊起源の電子 v_2 をPhotonic electron v_2 の成分に追加し、Photonic electron v_2 をより精密に見積もる必要がある。
- チャーム電子とボトム電子の v_2 分布をより精密に調べるために、実験での統計量をより増やす必要がある。



※直接光子：QGPから直接出てくる光子。

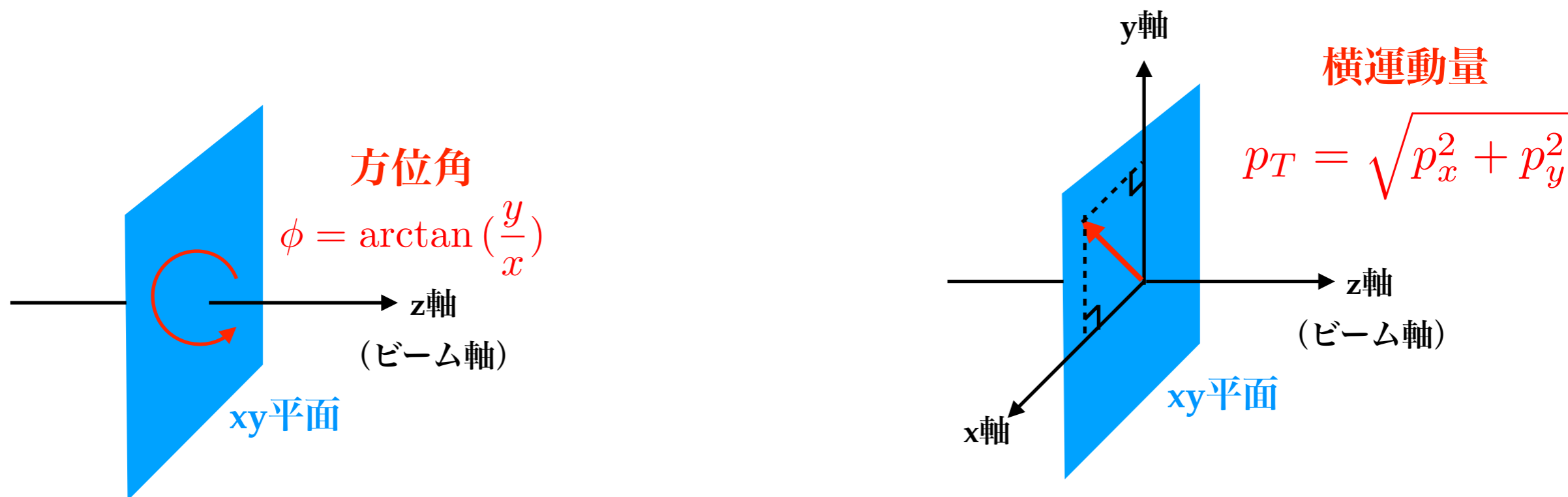
$p_T > 3.5 \text{ GeV}/c$ でPhotonic electronの10%以上を占める。

ご静聴

ありがとうございました。

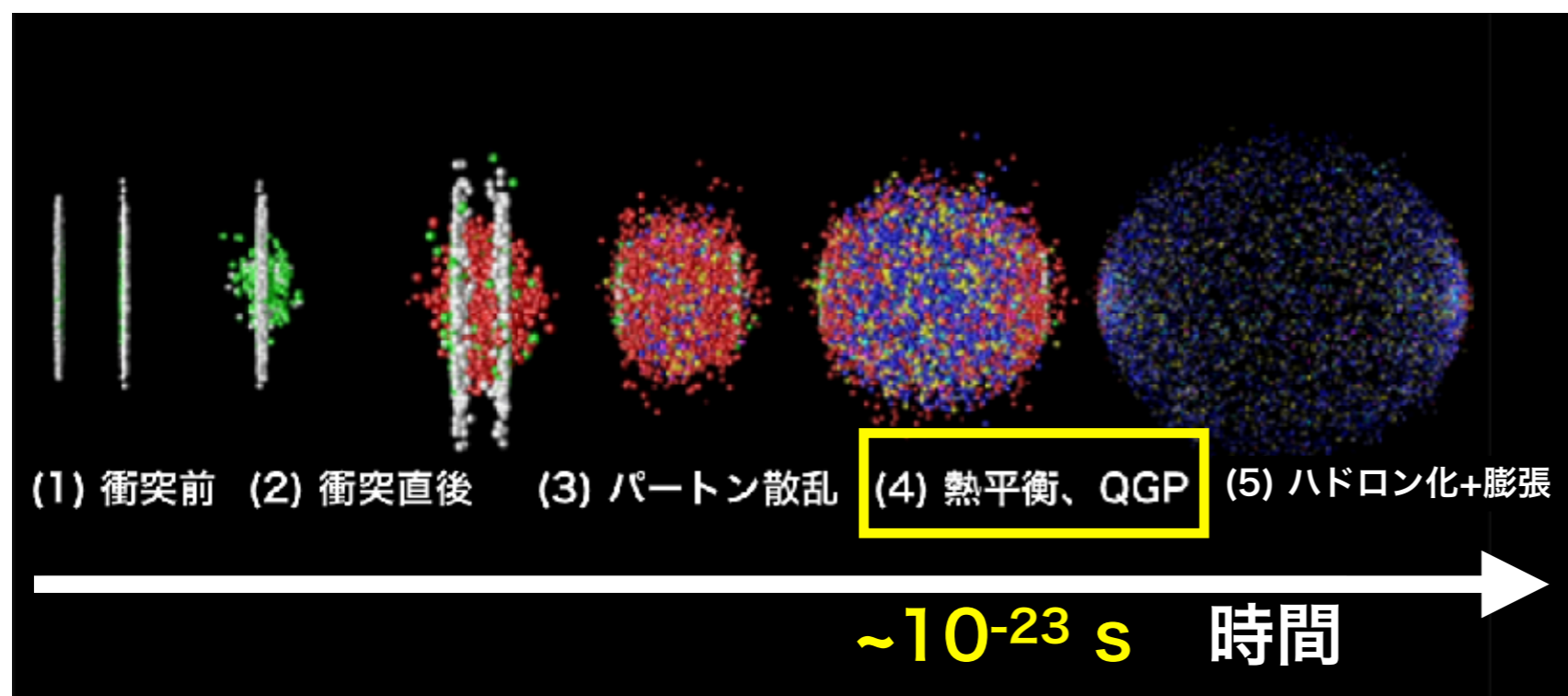
Back up

方位角と横運動量



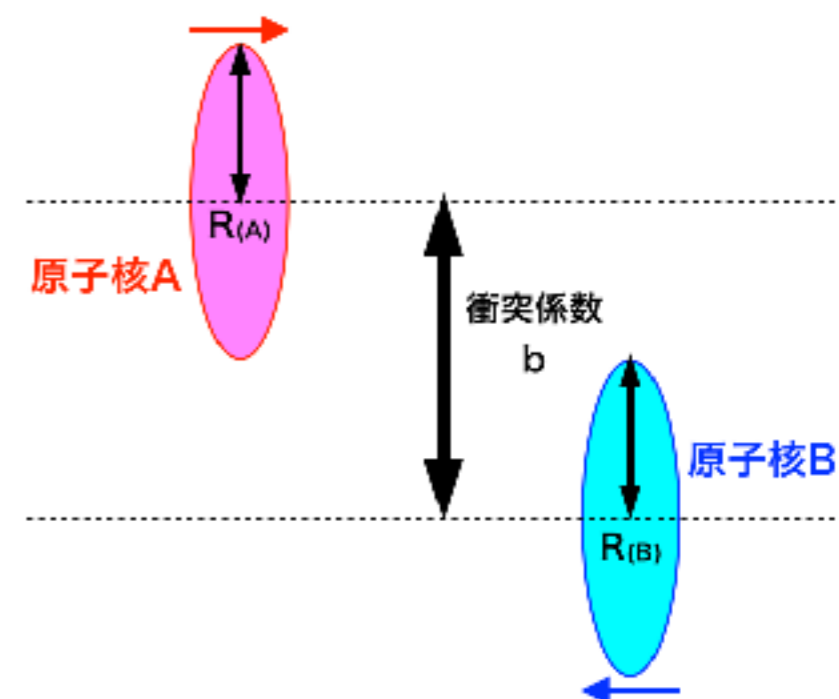
高エネルギー重イオン衝突実験

QGPの性質解明



重イオン (= 重い原子核) を衝突させて、
実験室内でQGPを再現

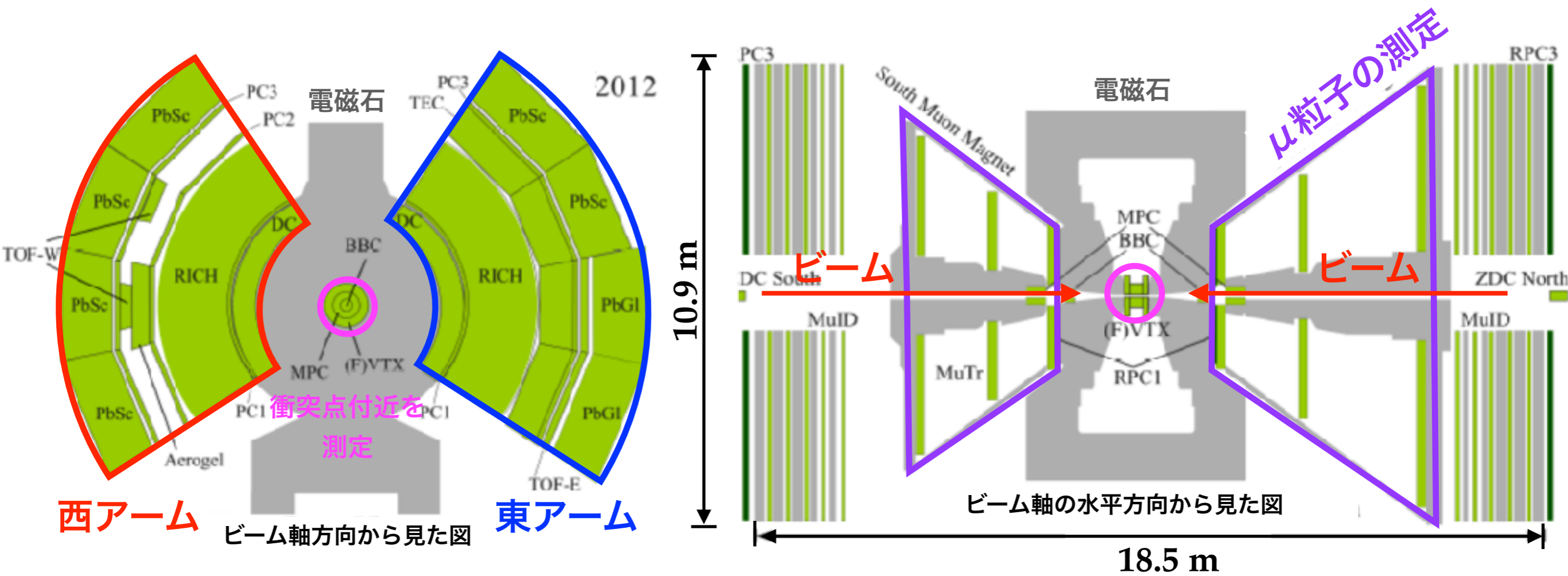
原子核の重なり具合(Centrality)



$b = 0$ の時：0%

$b = R_{(A)} + R_{(B)}$ の時：100%

PHENIX検出器



Set up for simulation

- ❖ Event generator : EXODUS
- ❖ Au+Au in $\sqrt{s_{NN}}=200\text{GeV}$
- ❖ 10 million events

< Flow >

1. Operate Dalitz decay of π^0 and η .
2. Analyze electrons (e^+, e^-) from π^0 and η dalitz decay.
3. Calculate $v_2 = \langle 2\cos(\phi-\Psi) \rangle$.

[Set up for π^0]

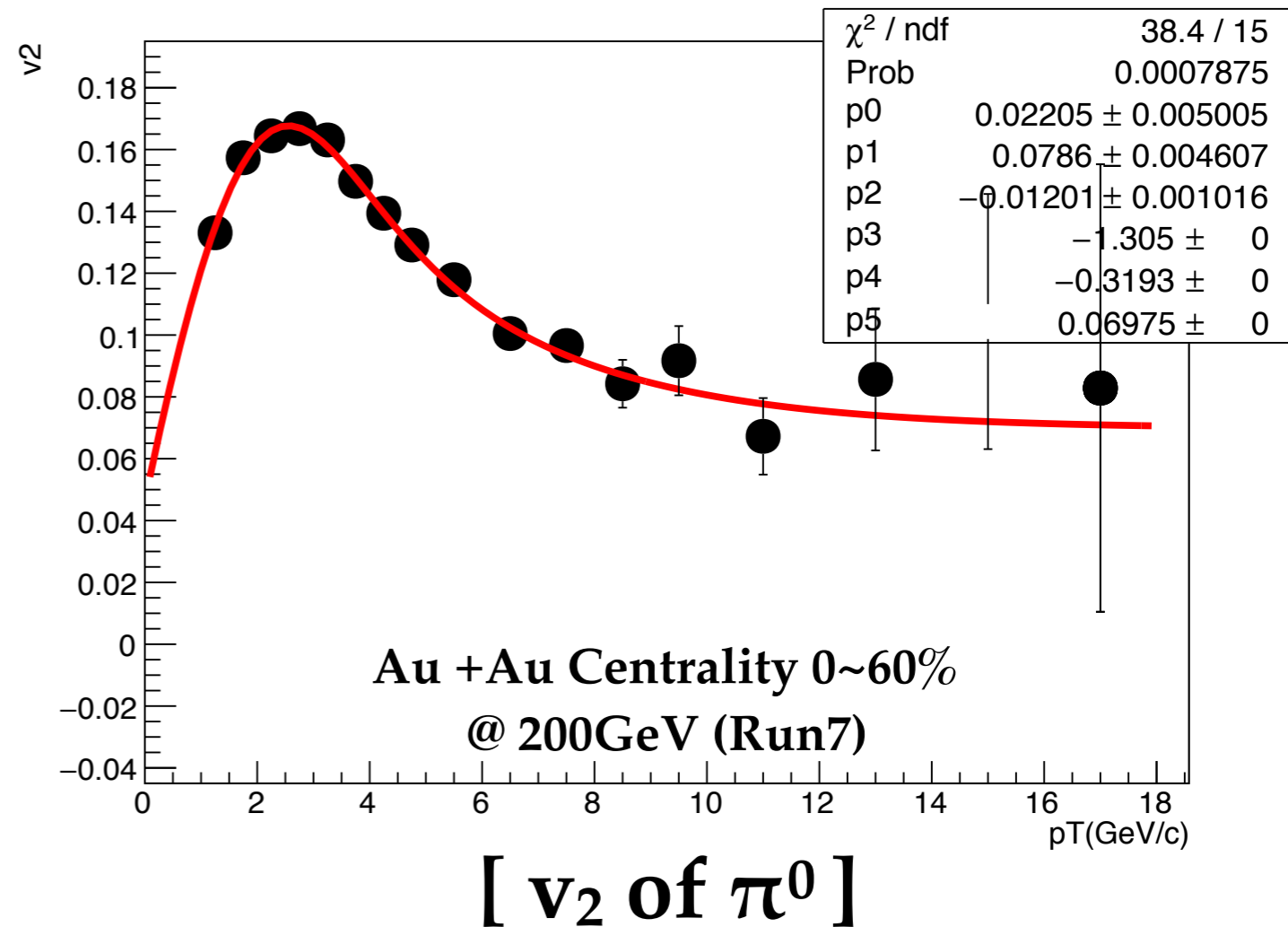
	Range	Generated
Φ	$0 < \phi < 2\pi$	With v_2 of π^0
pT	$0 \sim 20 \text{ GeV}/c$	With hagedorn function

[Set up for η]

	Range	Generated
Φ	$0 < \phi < 2\pi$	With v_2 of η
pT	$0 \sim 15 \text{ GeV}/c$	With hagedorn function

Input v_2 of π^0

- ❖ Data : Au+Au@ $\sqrt{s_{NN}}=200\text{GeV}$
- ❖ Ref : Azimuthal Anisotropy of π^0 Production in Au + Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200\text{GeV}$ (PRL. 105.142301) (2010)

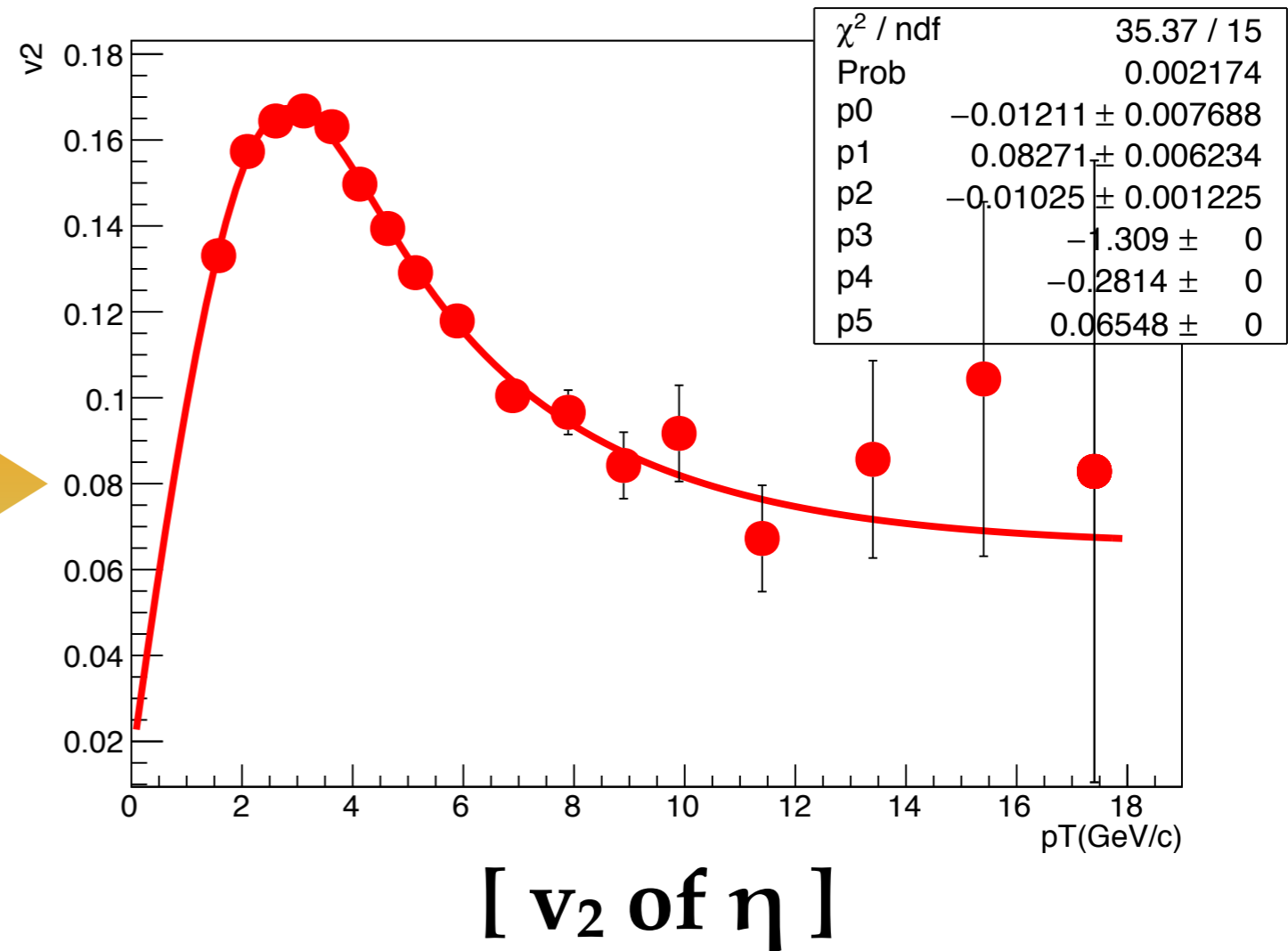
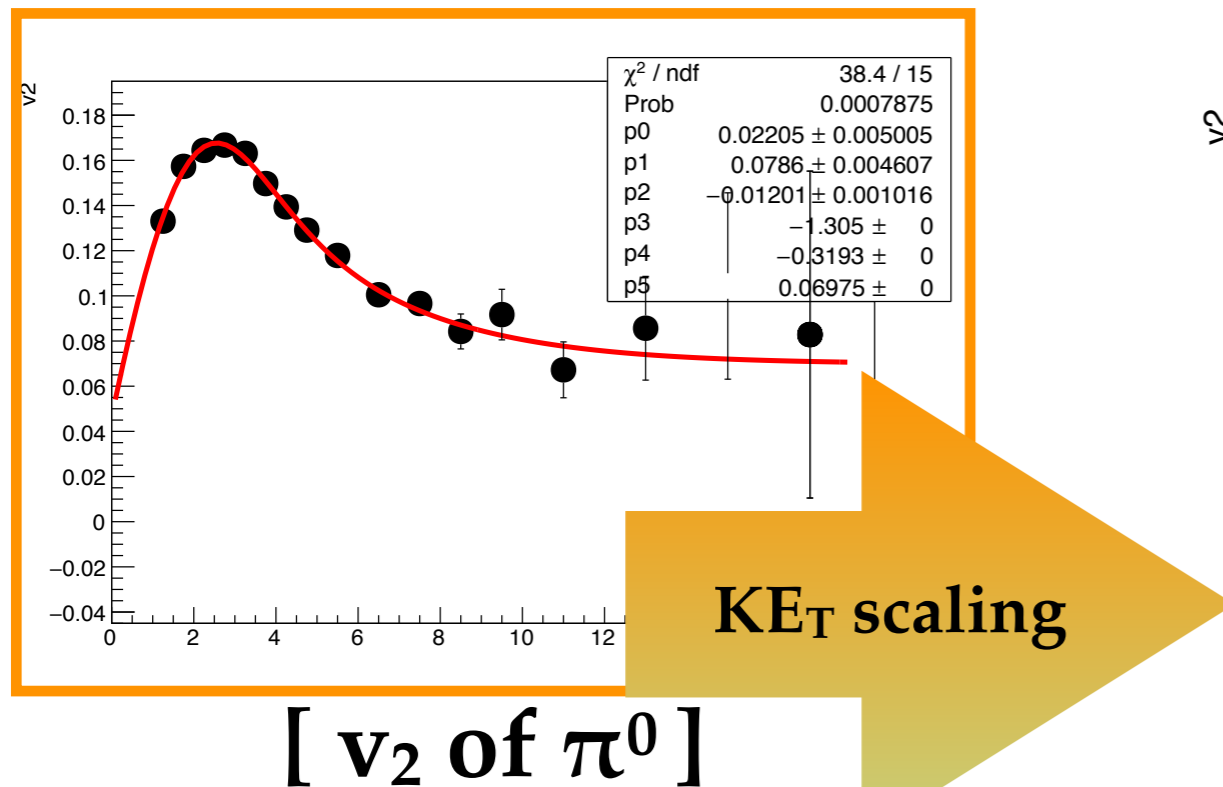


Fit function : $(1-S) \cdot \text{pol2}(0) + S \cdot (\text{expo}(3) + [5])$

[Sigmoid function: $S = \frac{1}{1 + \exp\{-(p_T - 2.5)\}}$]

Input v_2 of η

Au +Au Centrality 0~60%
@ 200GeV (Run7)



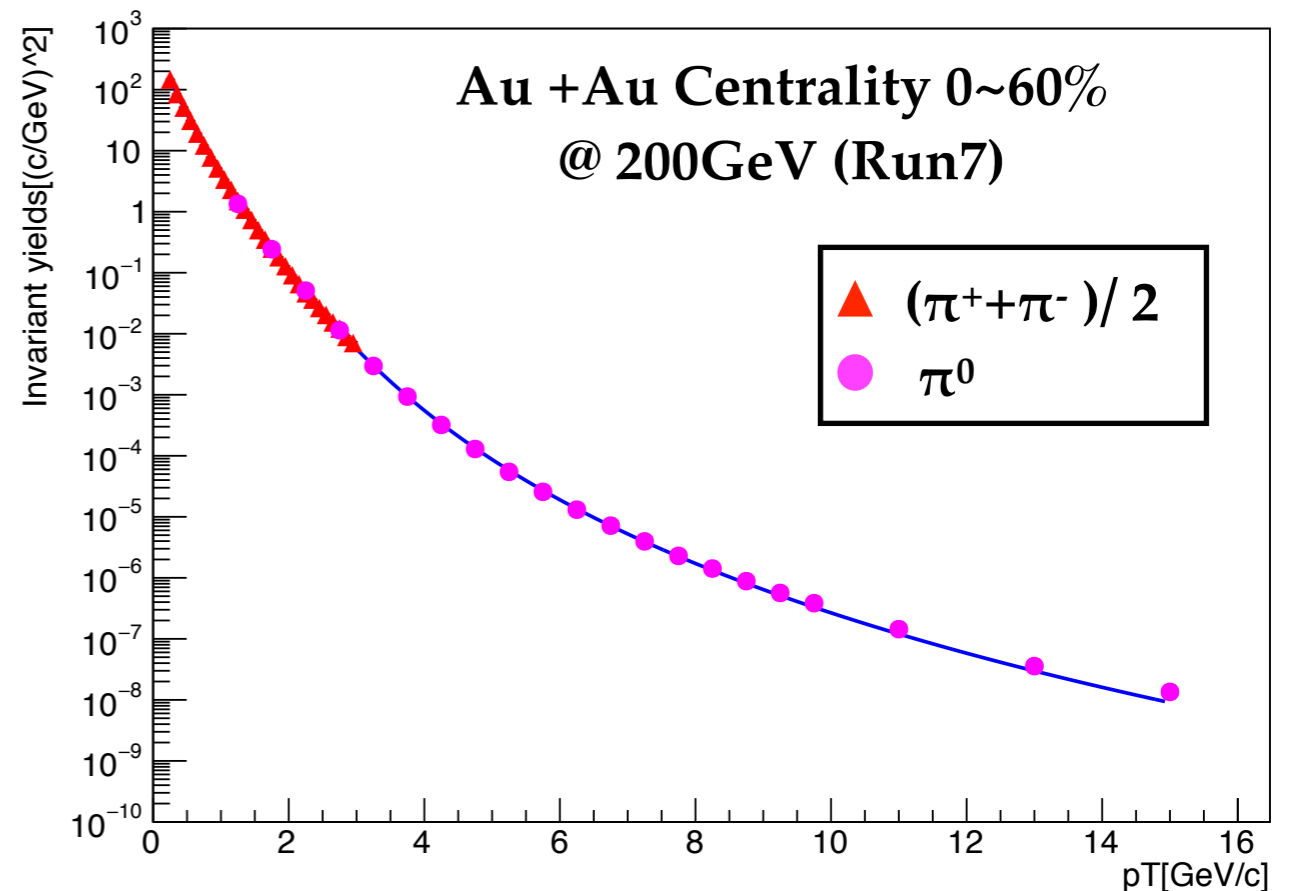
Fit function is the same one as π^0 .

Fit function : $(1-S)*\text{pol2}(0)+S*(\text{expo}(3)+[5])$

I calculated the v_2 of η from
the v_2 of π^0 with KE_T scaling.

Input p_T distribution of π^0

- ❖ Data : Au+Au@ $\sqrt{s_{NN}}=200\text{GeV}$
- ❖ Ref : <<https://arxiv.org/pdf/1110.3929.pdf>> (2014)
- ❖ Input p_T distribution of η is m_T scaling of π^0 .



Fit function :
Modified hagedorn function

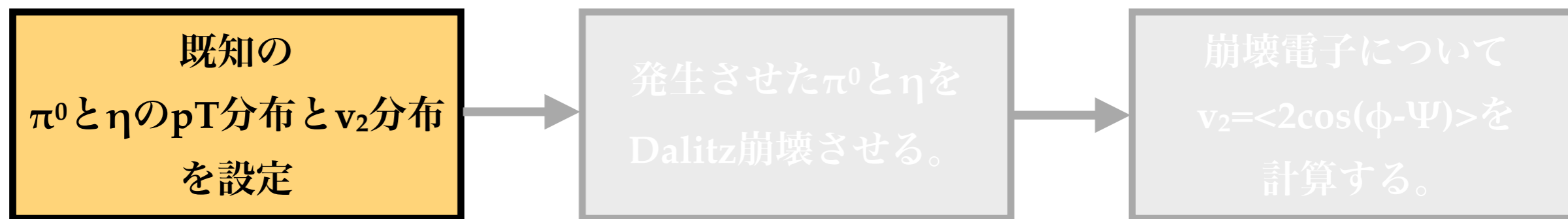
$$E \frac{d^3 N}{dp^3} = \frac{A}{\left\{ \exp(-ap_T - bp_T^2) + \frac{p_T}{p_0} \right\}^n}$$

A, a, b, p_0 and n are the fit parameters.

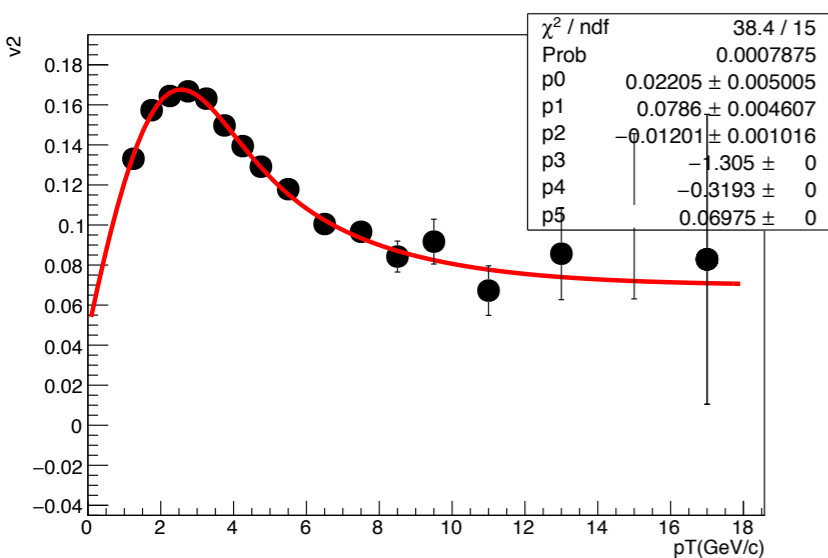
1. Photonic electron v_2 を

シミュレーションを用いて見積もる。

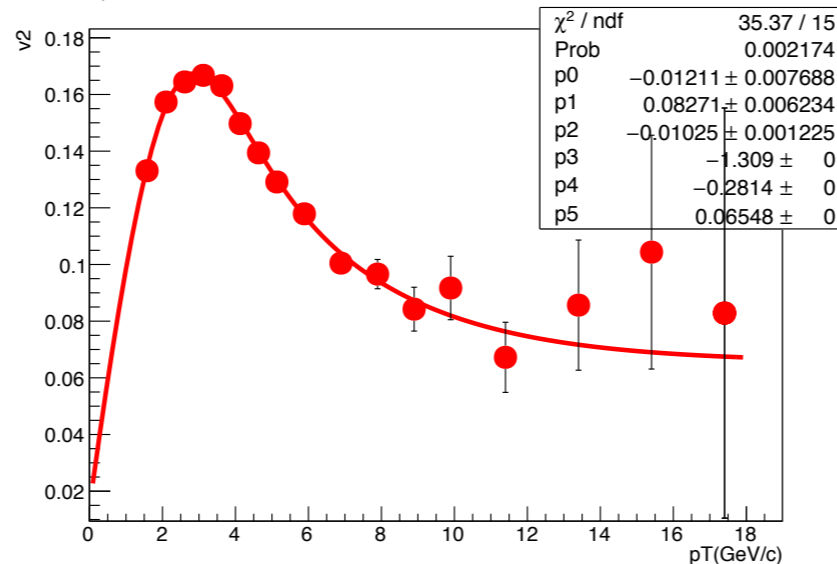
シミュレーションの流れ



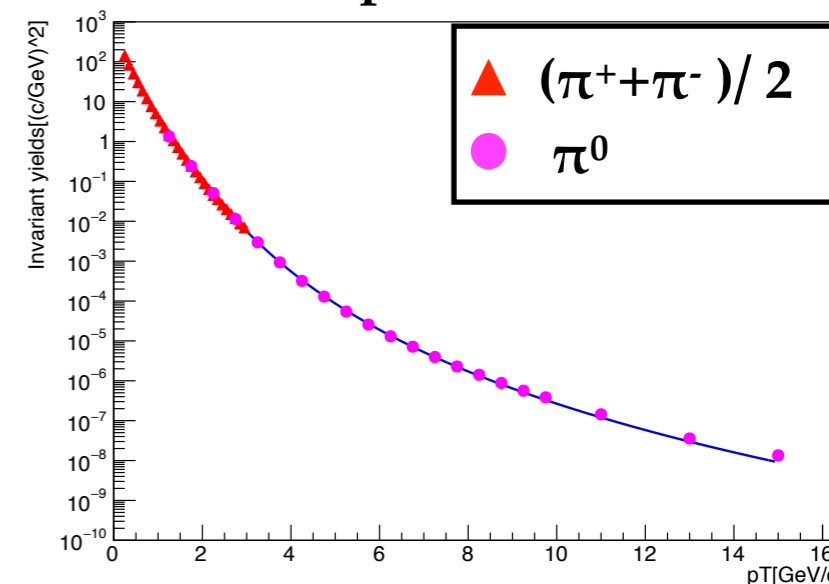
π^0 の v_2 (Run7)



η の v_2 (K_{ET} scaled from π^0)



π^0 の pT 分布 (Run7)



< K_{ET} scaling >

ハドロン化による質量の効果を補正する。

$$K E_T = \sqrt{(m_0^2 + p_T^2)} - m_0 \quad [m_0: \text{ハドロンの静止質量}]$$

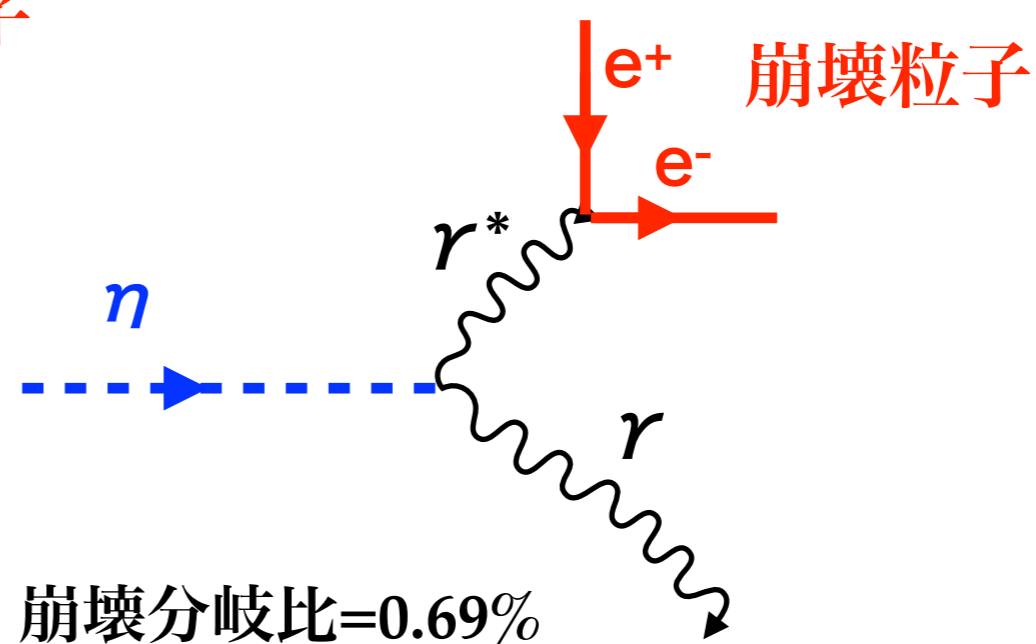
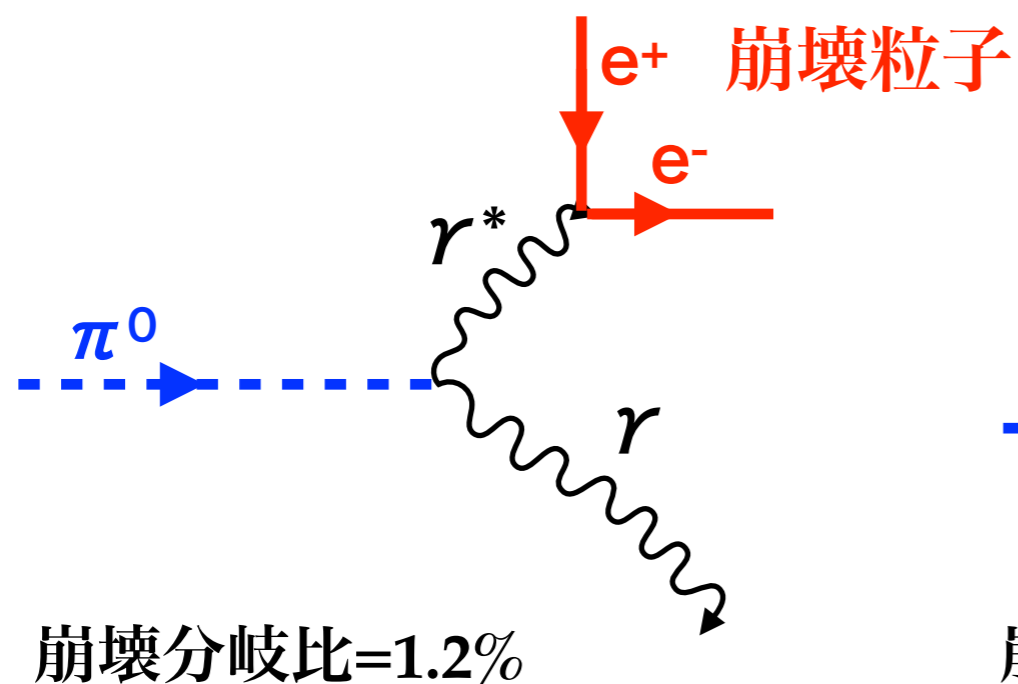
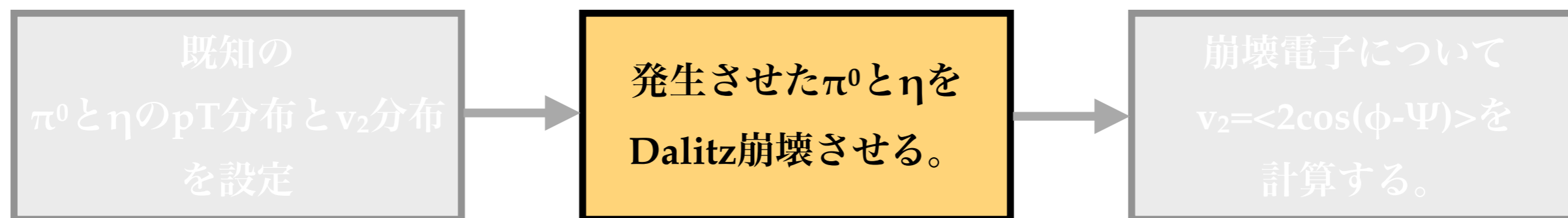
η の pT 分布には、

π^0 から K_{ET} scaling したものを使用した。

1. Photonic electron v_2 を

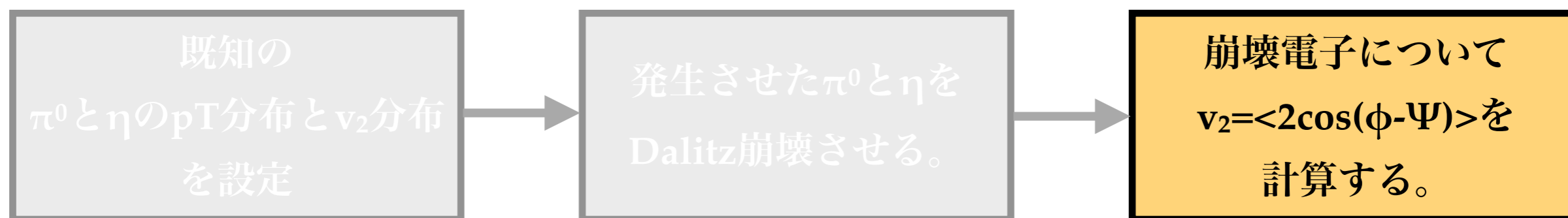
シミュレーションを用いて見積もる。

シミュレーションの流れ

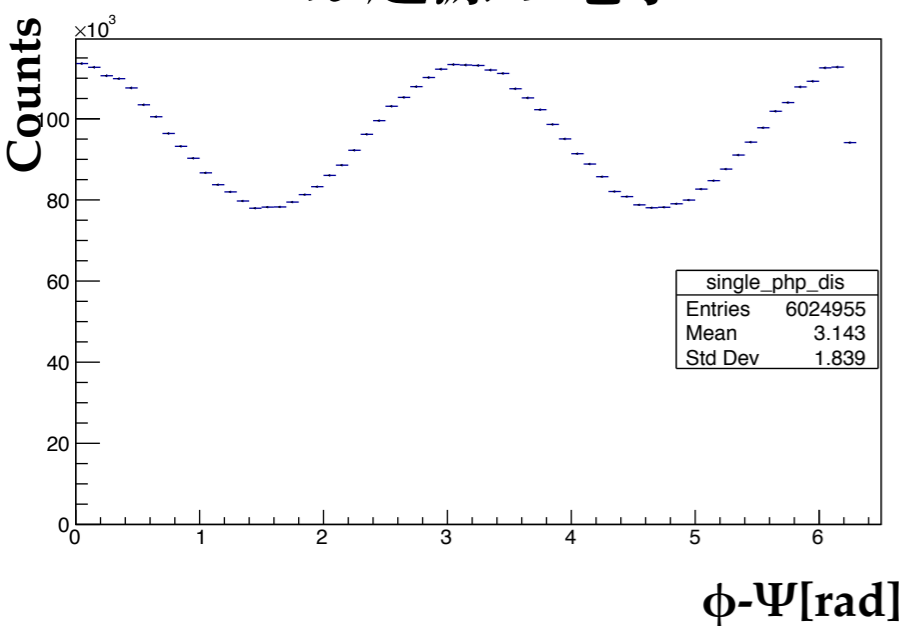


1. Photonic electron v_2 を シミュレーションを用いて見積もる。

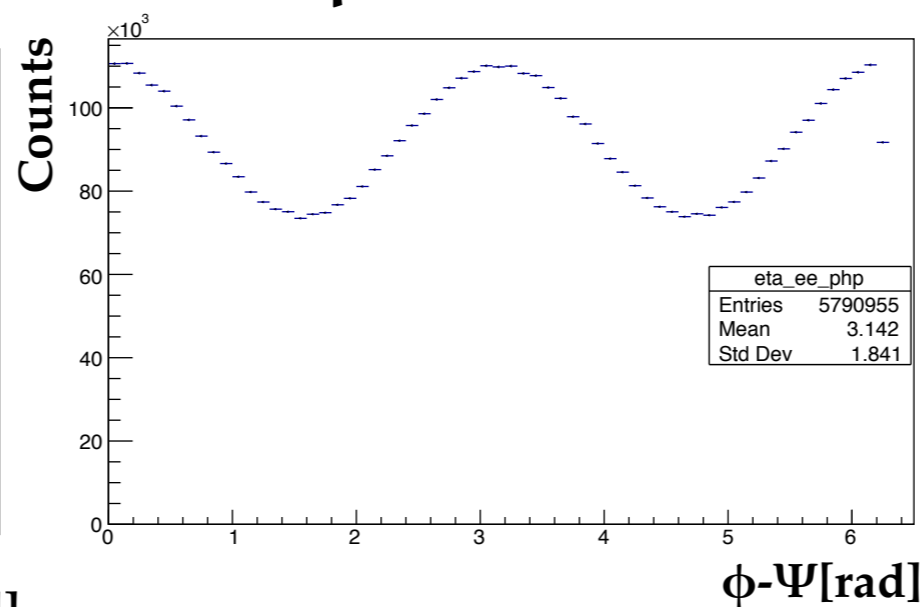
シミュレーションの流れ



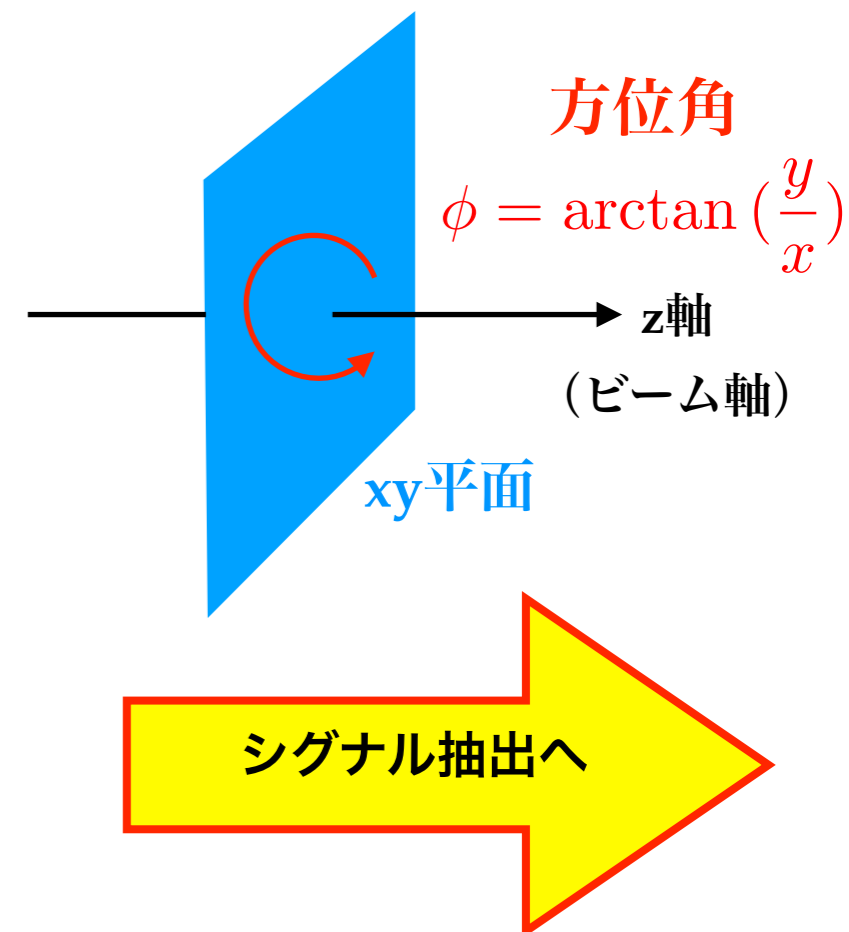
π^0 起源の電子



η 起源の電子



今回は、 $\Psi=0$ と固定した。

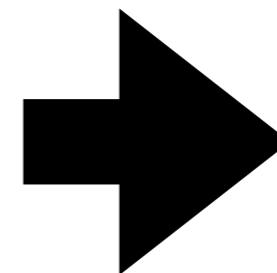


①シミュレーションによる

Photonic electron v_2 の見積もり

● Conversion ($\pi^0 \rightarrow 2\gamma$, $\eta \rightarrow 2\gamma$) 起源の電子

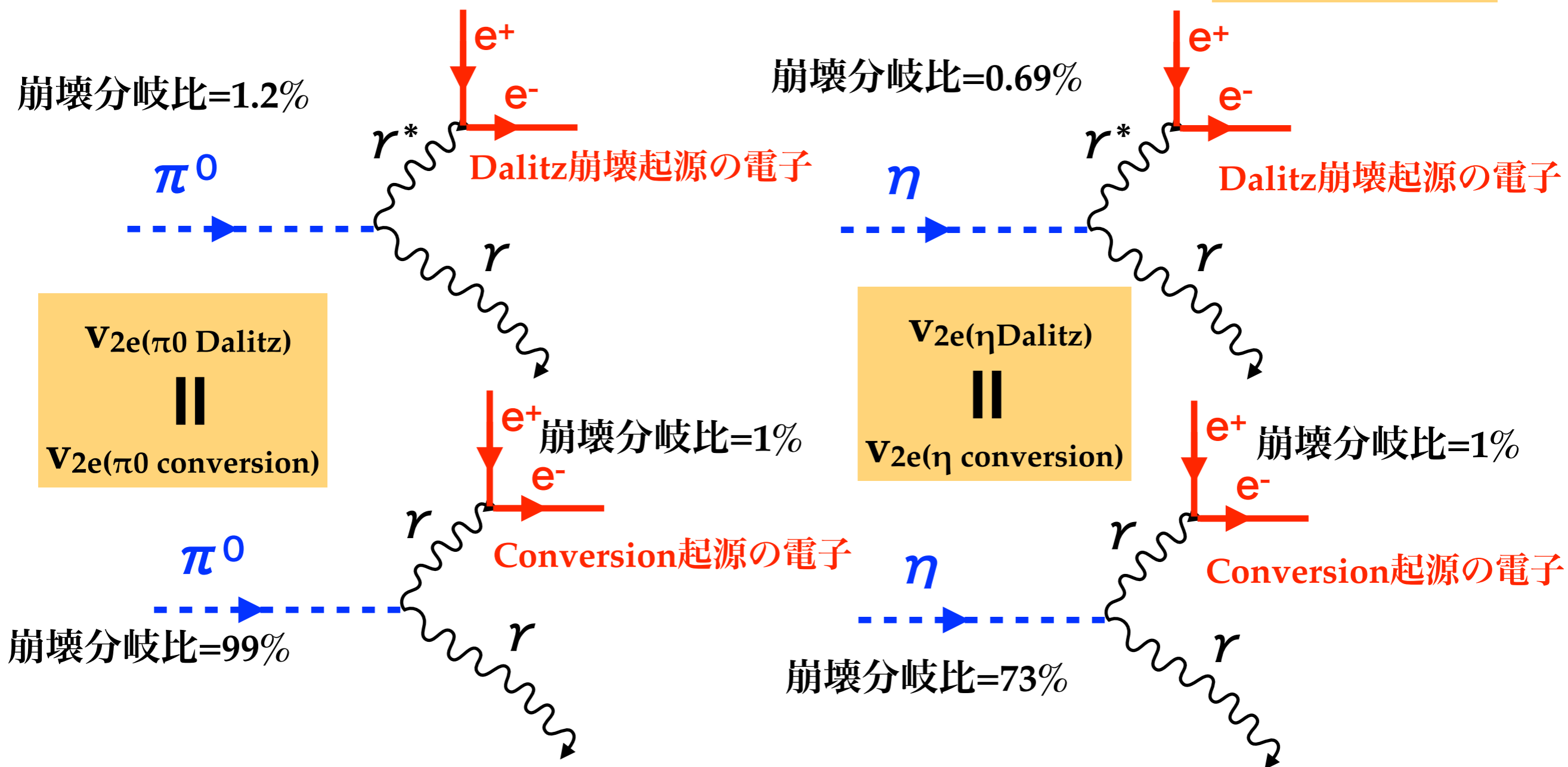
- ☞ Dalitz崩壊起源の電子と親粒子の種類が同じ
- ☞ 親粒子と娘粒子の角度相関はDalitz崩壊と同じ



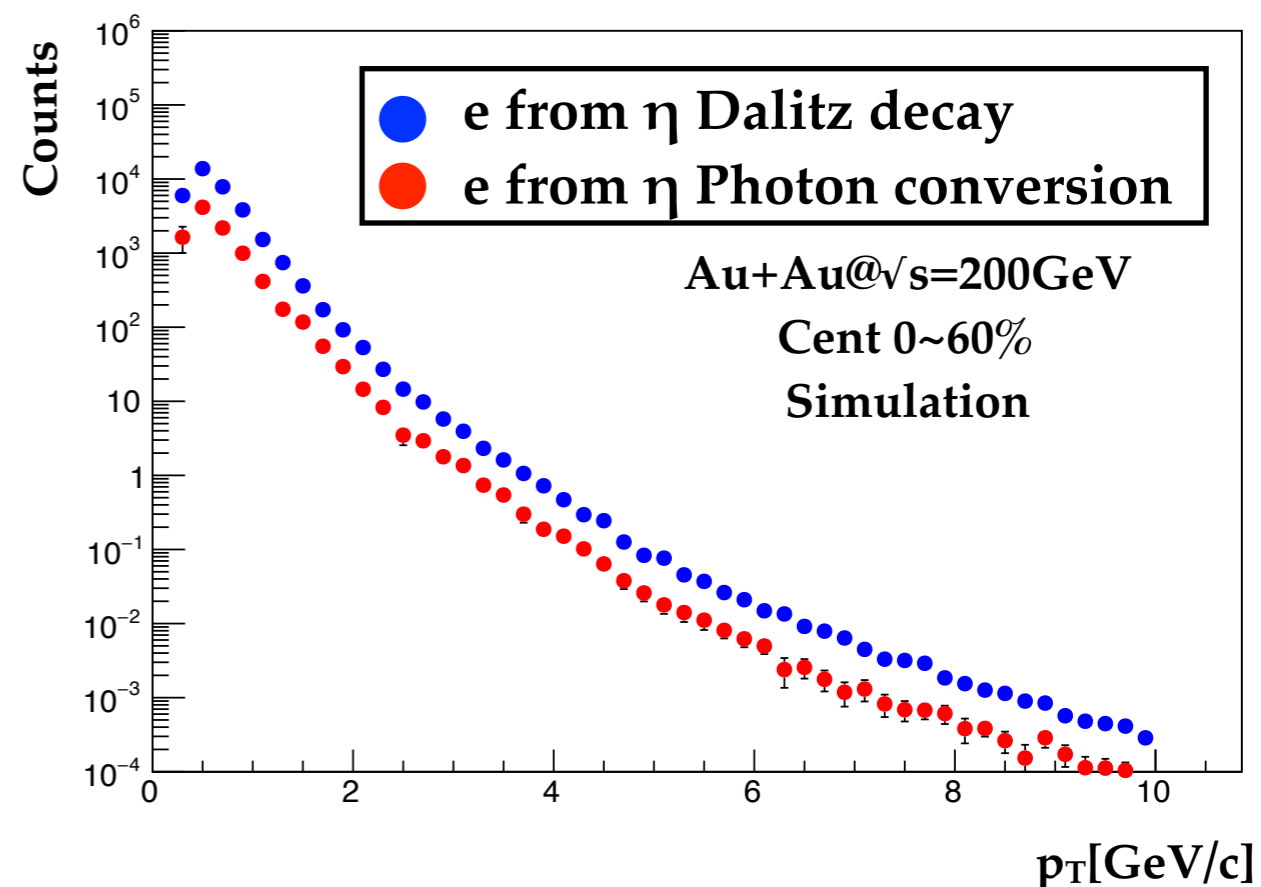
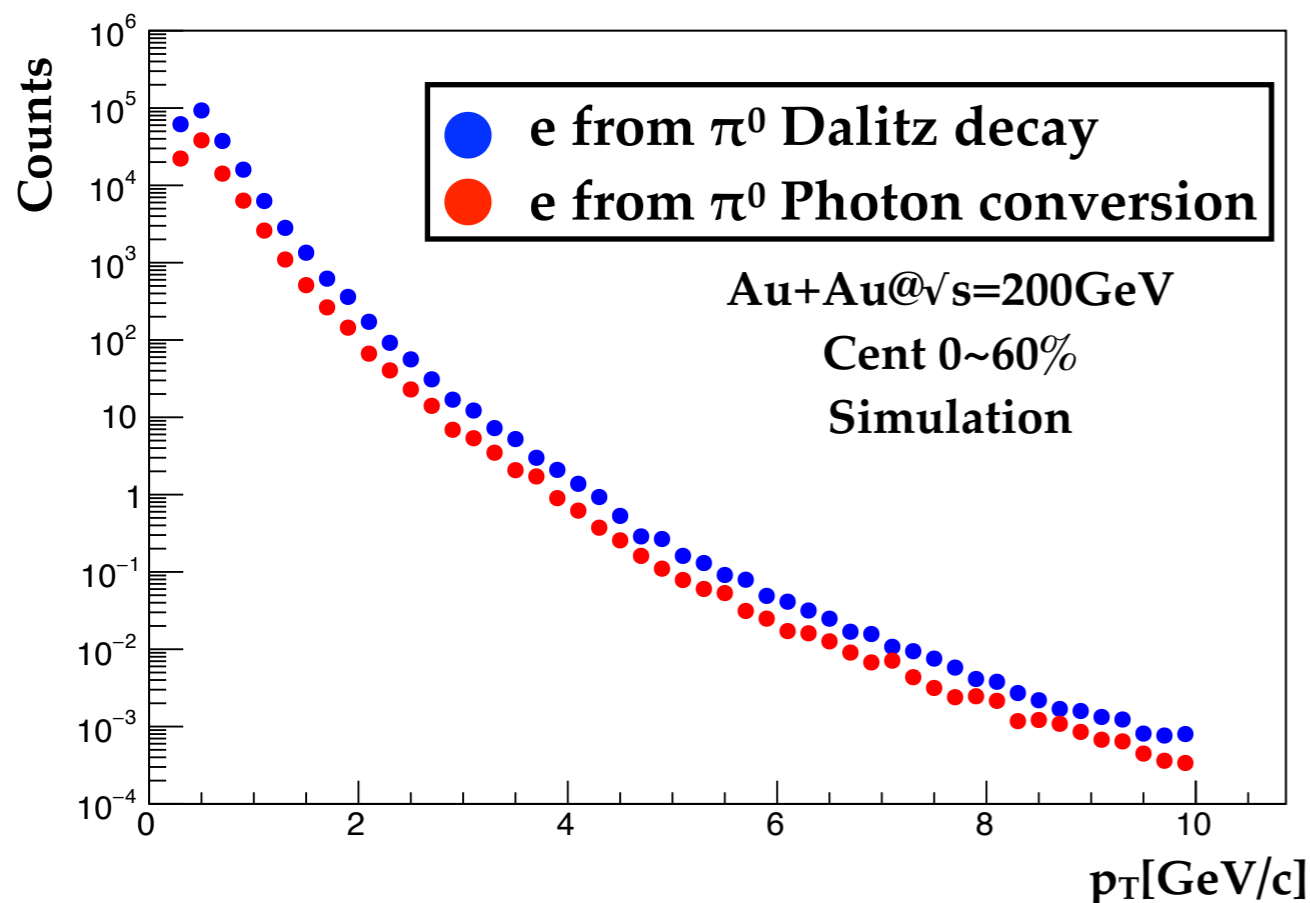
$V_{2e}(\text{conversion})$

||

$V_{2e}(\text{Dalitz})$



光子変換の効果



<シミュレーションでの見積もり>

Dalitz conversion比 = (光子変換起源の電子数) / (Dalitz崩壊起源の電子数)

Photonic electron v_2

Photonic
electron v_2

$$v_2(\text{Photo-e}) = \frac{N_{e(\pi^0 \text{ Dalitz})} + N_{e(\pi^0 \text{ conversion})}}{N_{e(\text{Total})}} \times v_2(\pi^0 \rightarrow \gamma e^+ e^-) + \frac{N_{e(\eta \text{ Dalitz})} + N_{e(\eta \text{ conversion})}}{N_{e(\text{Total})}} \times v_2(\eta \rightarrow \gamma e^+ e^-)$$

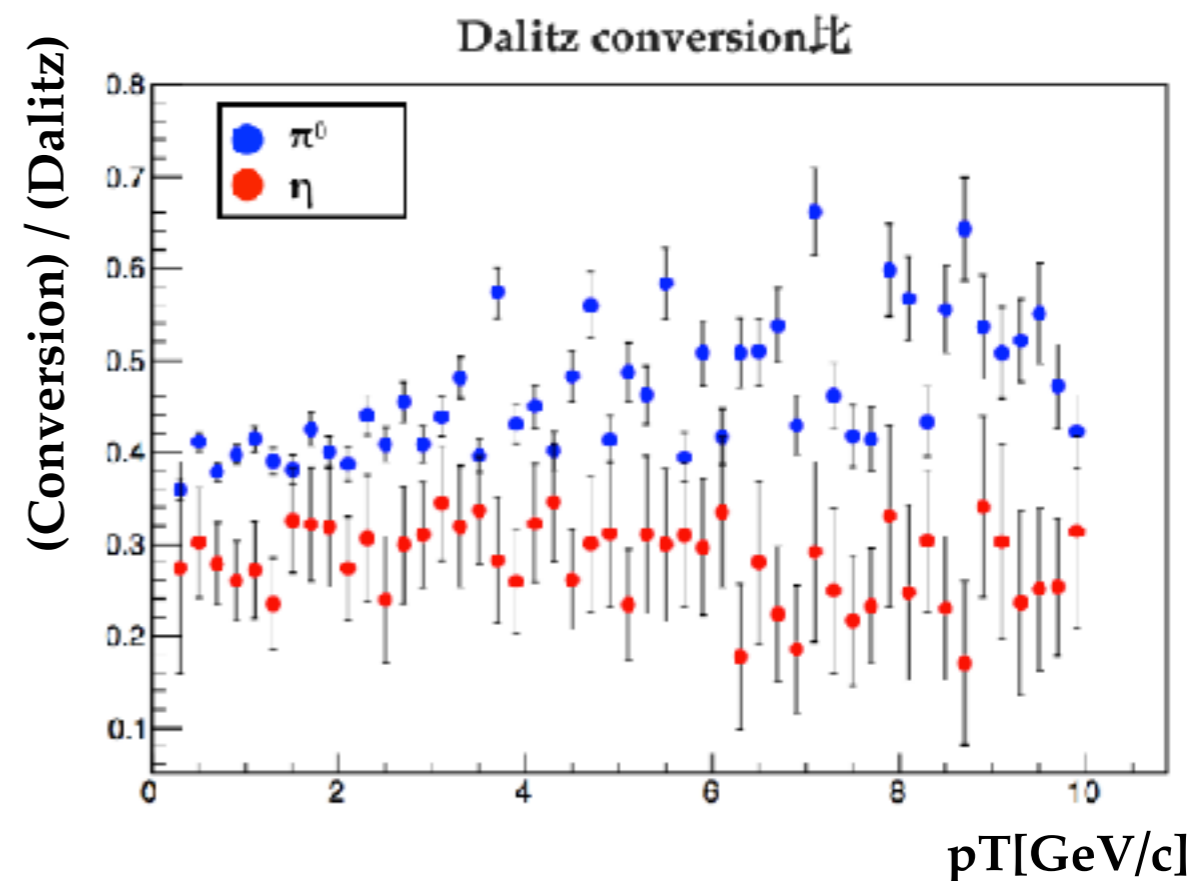
N_e : 電子数、 $N_{e(\text{Total})} = N_{e(\pi^0 \text{ Dalitz})} + N_{e(\pi^0 \text{ conversion})} + N_{e(\eta \text{ Dalitz})} + N_{e(\eta \text{ conversion})}$

- Conversion起源の電子数 :

$$N_{e(\text{conversion})} = N_{e(\text{Dalitz})} \times (\text{Dalitz conversion比})$$

- Dalitz conversion比 :

$$(\text{Conversion起源の電子数}) / (\text{Dalitz崩壊起源の電子数})$$

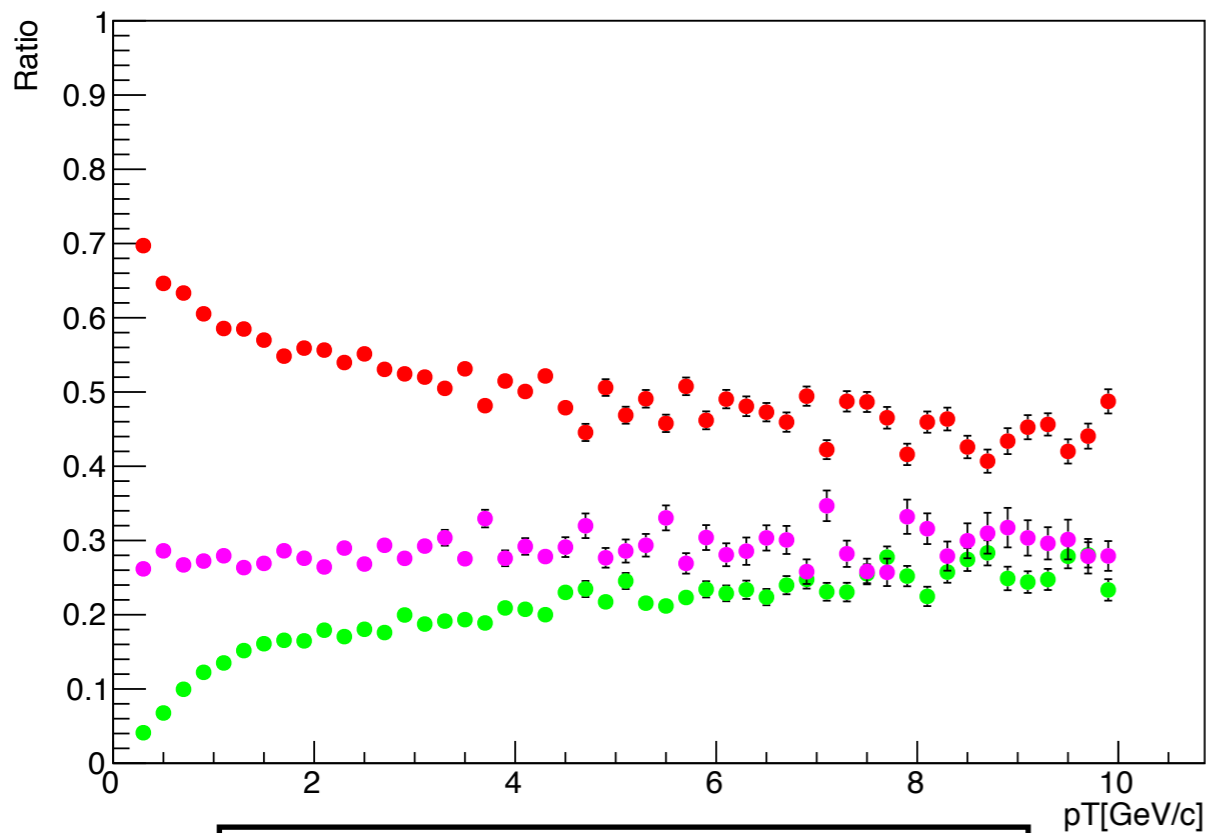


光子変換の効果の追加

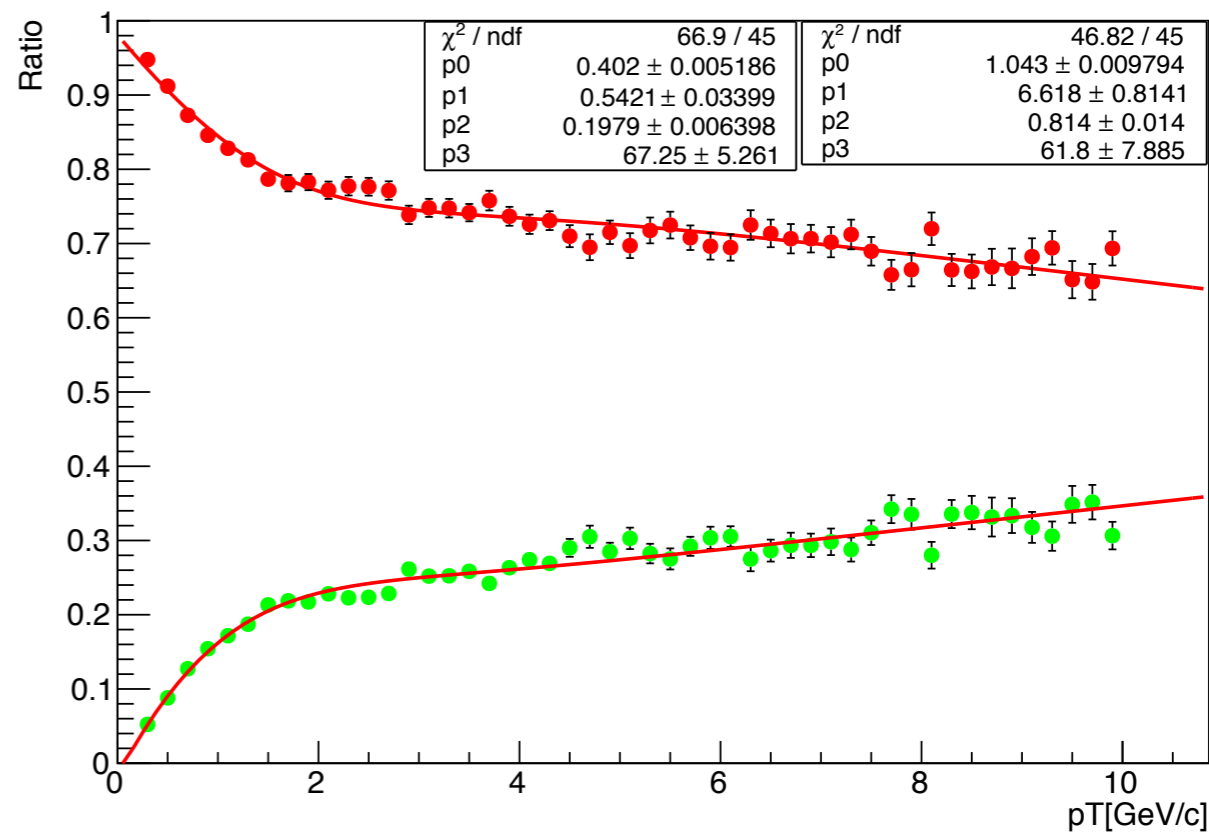
$$v_2(\text{Photo-e}) = \frac{N_{e(\pi^0 \rightarrow \gamma e^+ e^-)}}{N_{e(\pi^0 \rightarrow \gamma e^+ e^-)} + N_{e(\eta \rightarrow \gamma e^+ e^-)}} \times v_2(\pi^0 \rightarrow \gamma e^+ e^-) + \frac{N_{e(\eta \rightarrow \gamma e^+ e^-)}}{N_{e(\pi^0 \rightarrow \gamma e^+ e^-)} + N_{e(\eta \rightarrow \gamma e^+ e^-)}} \times v_2(\eta \rightarrow \gamma e^+ e^-)$$

Dalitz conversion比を含んだFraction

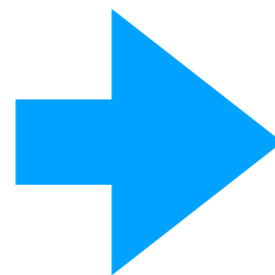
Relative ratio to photonic BG



Relative ratio to photonic BG with Photon conversion



Red : $\pi^0 \rightarrow \gamma e^+ e^-$
 Green : $\eta \rightarrow \gamma e^+ e^-$
 Pink : Photon conversion

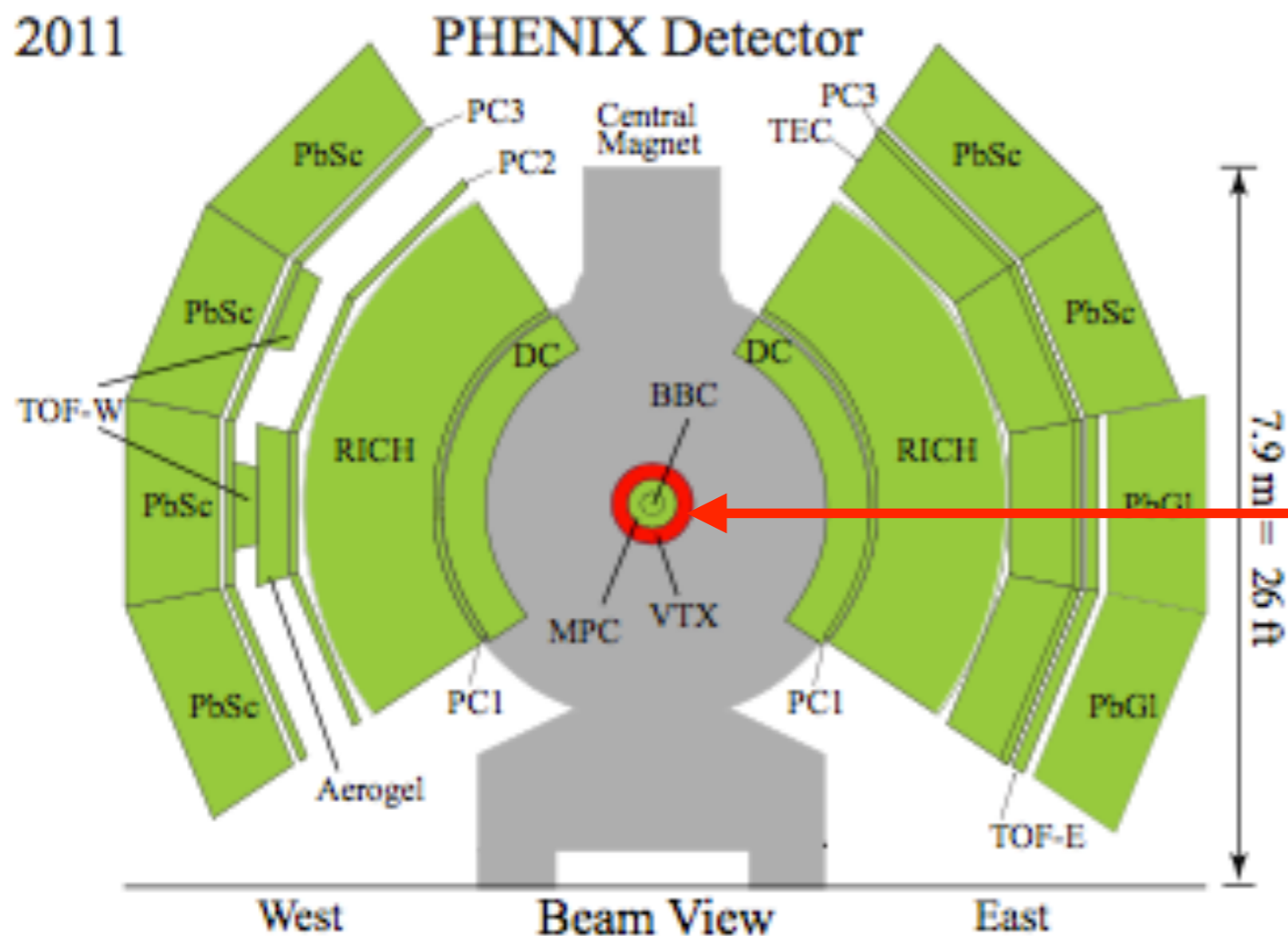


Red : $\pi^0 \rightarrow \gamma e^+ e^-$ with conv
 Green : $\eta \rightarrow \gamma e^+ e^-$ with conv

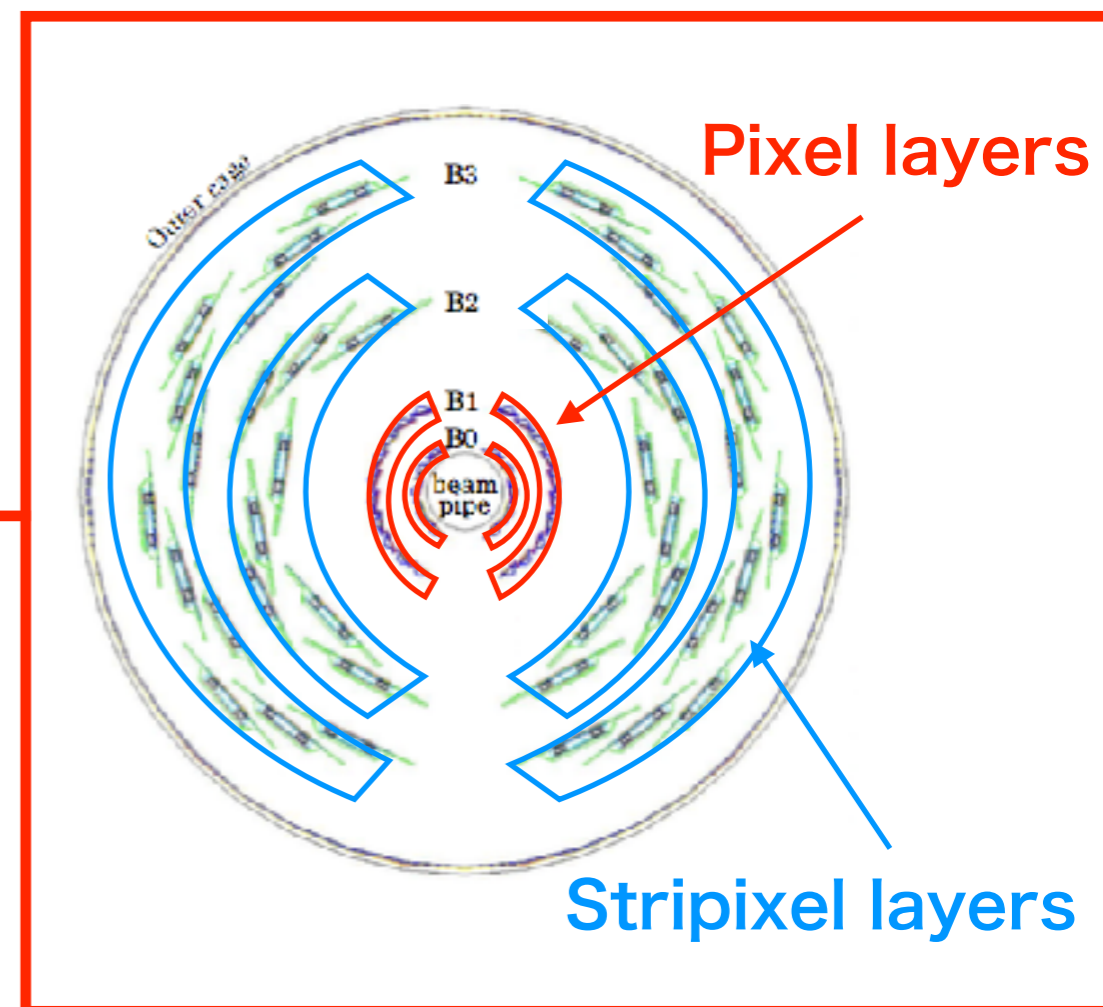
Photon conversionをcombineさせる。

Conversion veto cut

2011



VTX
(崩壊点飛跡検出器)



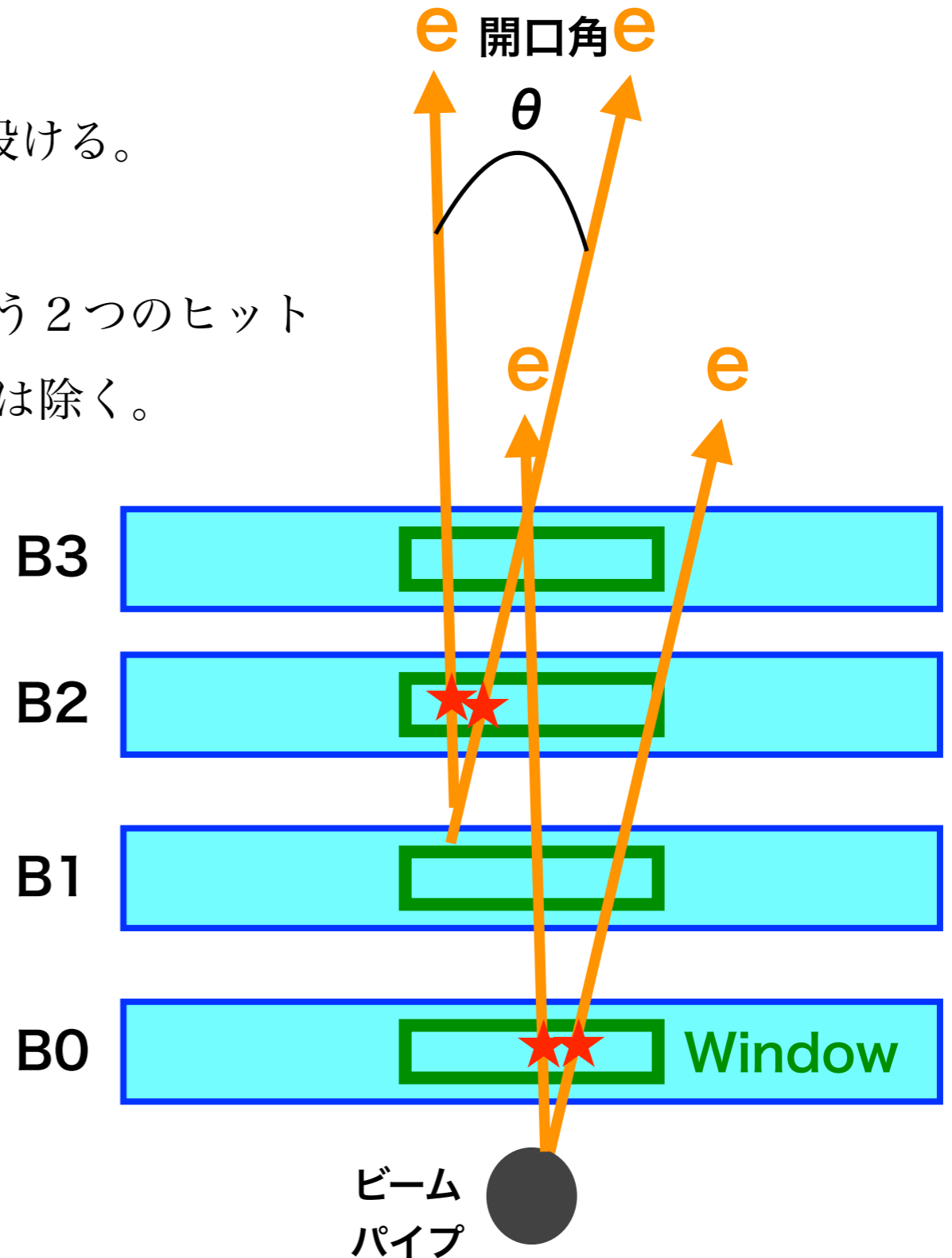
- 大量のPhotonic BGを少なくするために行う。

ラピディティ範囲： $|\eta| < 1.2$

方位角範囲： $\Delta\phi \sim 2\pi$

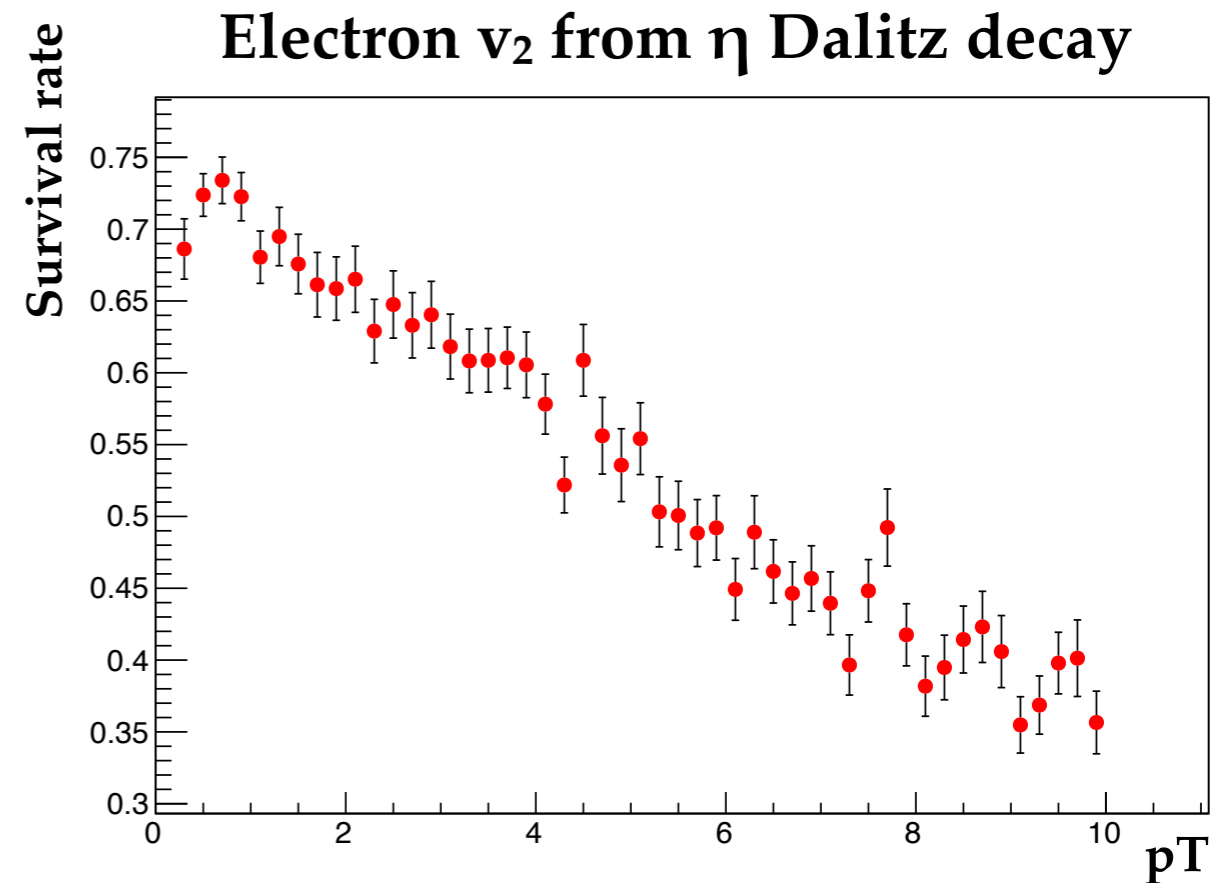
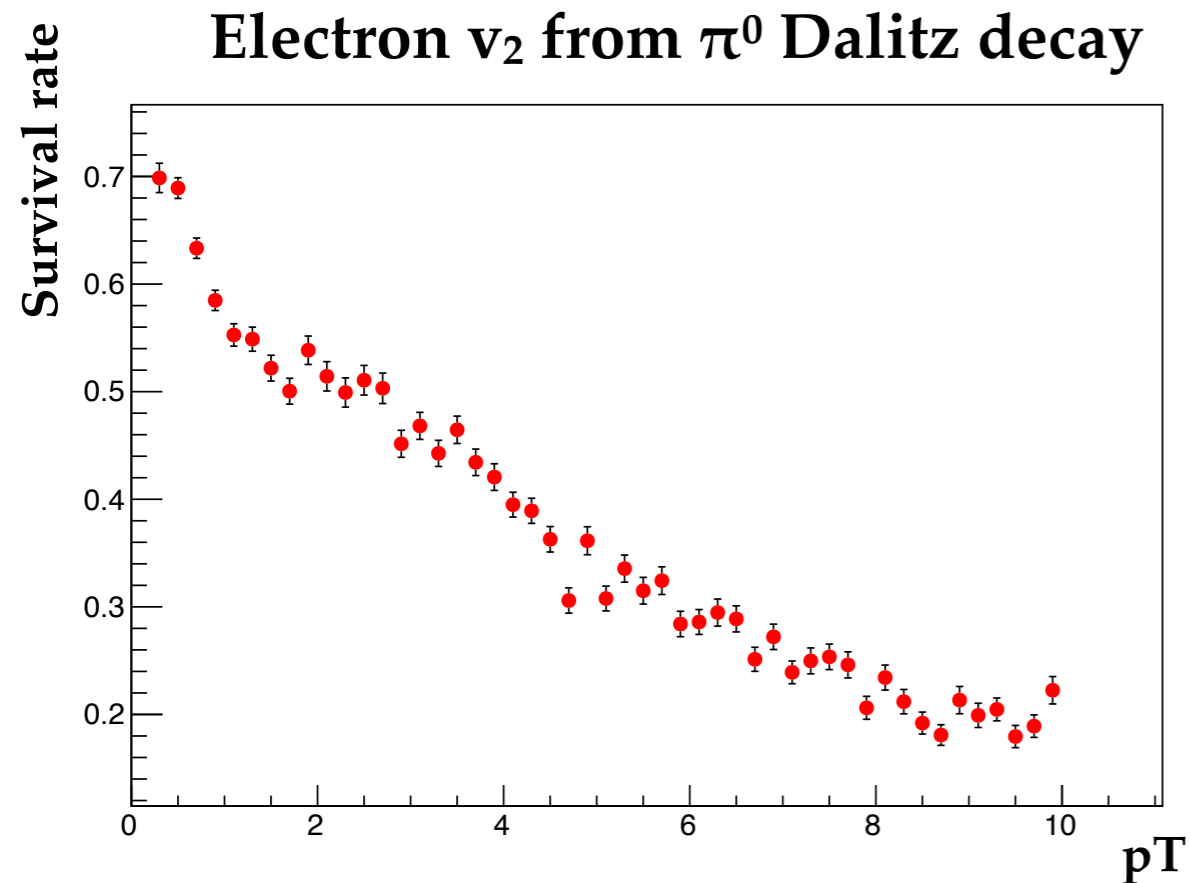
Conversion veto cut

- VTXの層毎にWindow ($\Delta\phi$ 方向と Δz 方向)を設ける。
- イベントから除く条件：window内に隣り合う2つのヒットがあるwindowが1つでもあれば、その飛跡は除く。
- $\gamma \rightarrow e^+e^-$ は開口角 θ が小さいため、約95%除くことが可能。
- Dalitz崩壊は開口角が大きいため、除けない場合が多い。



Survival rate by conversion veto cut

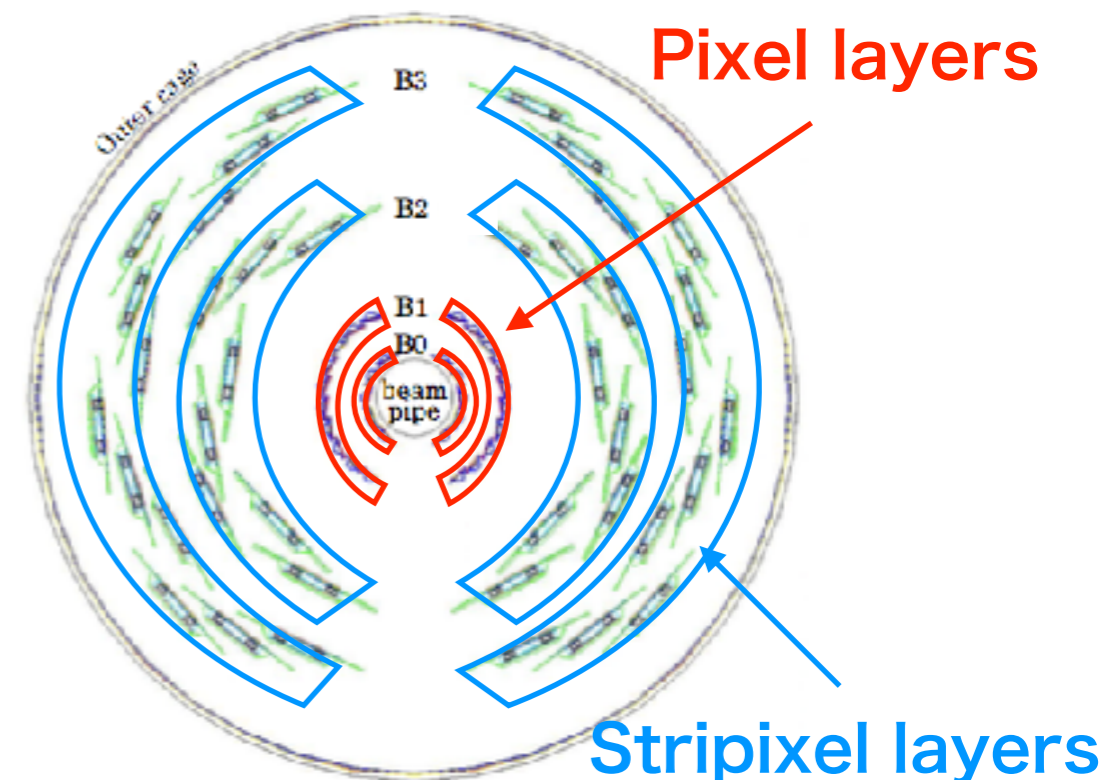
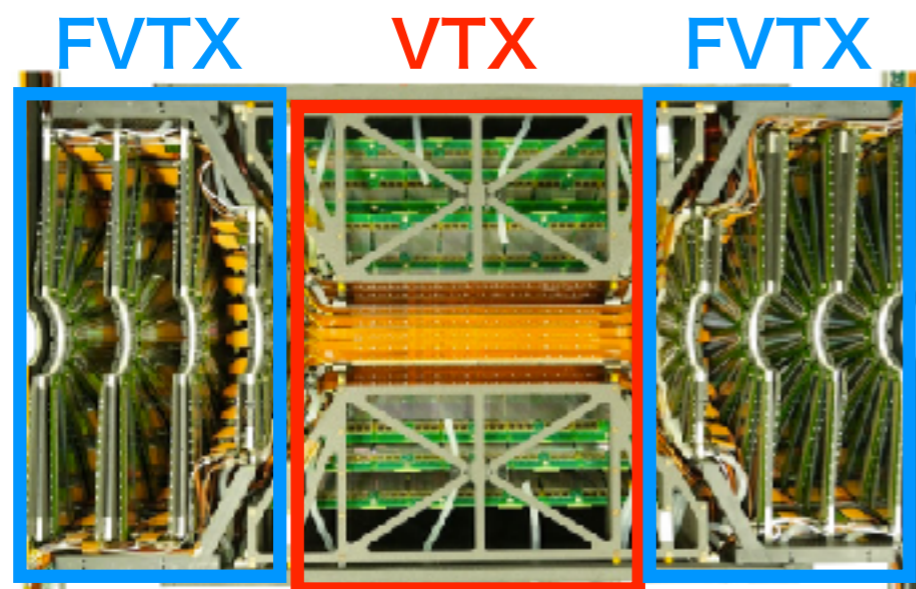
Centrality 0~60%



Survival rateを用いて、見積もった v_2 の相対比率を求める。

How to measure DCA?

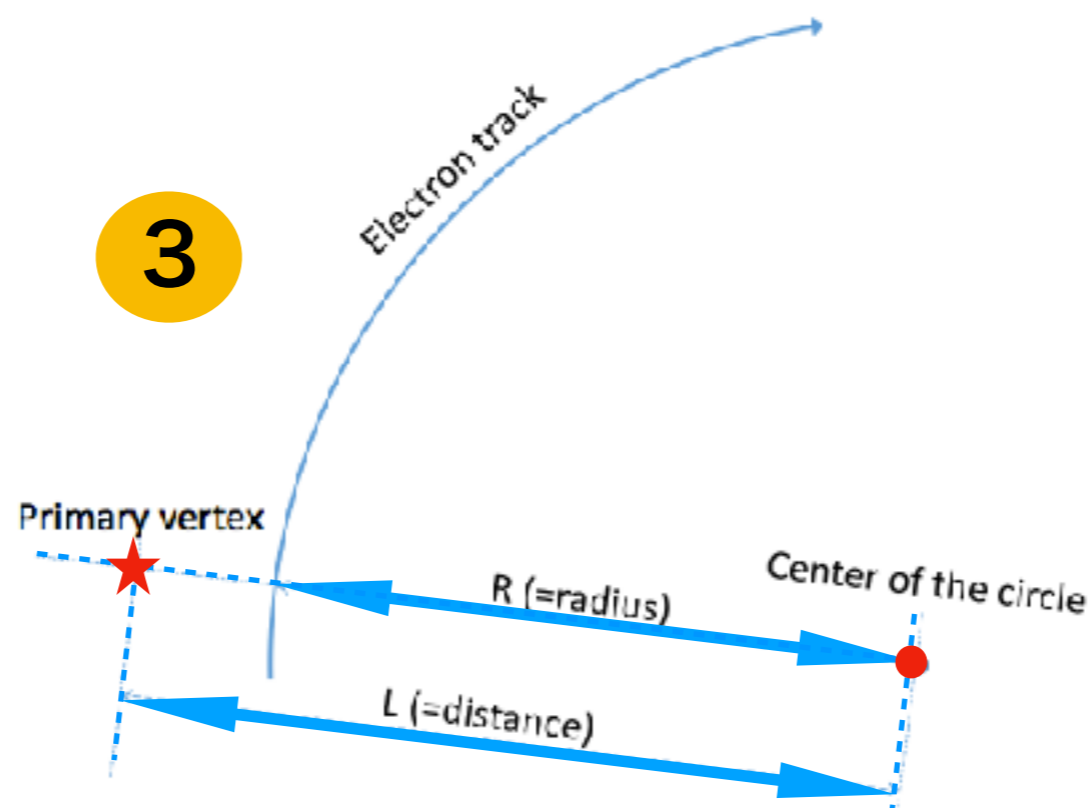
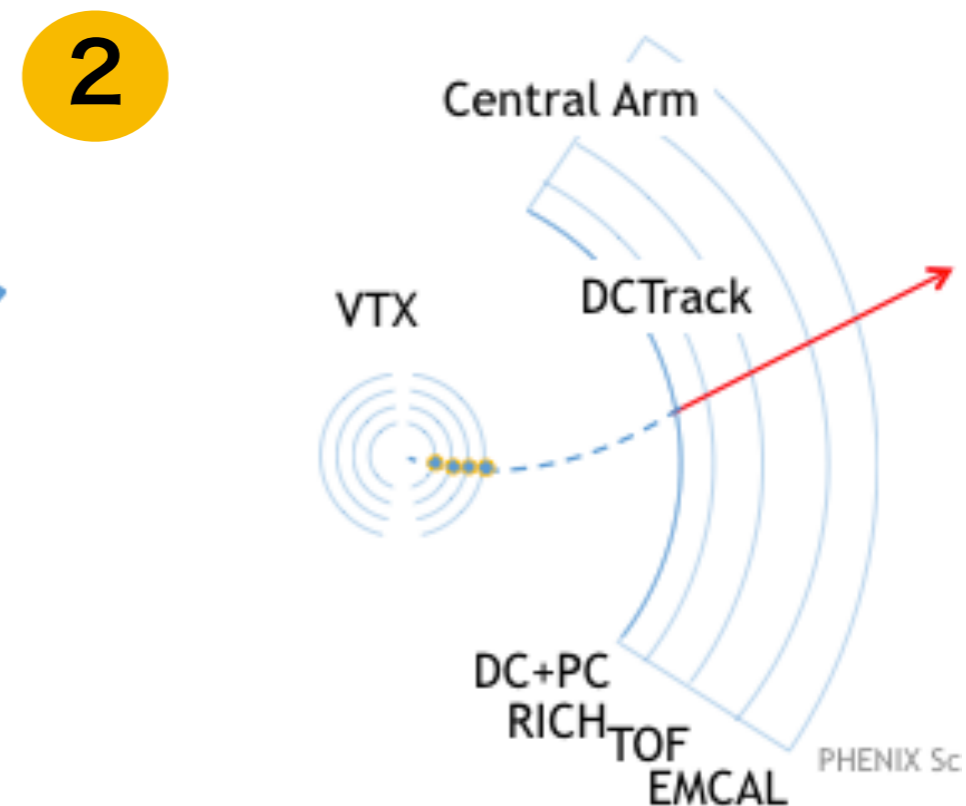
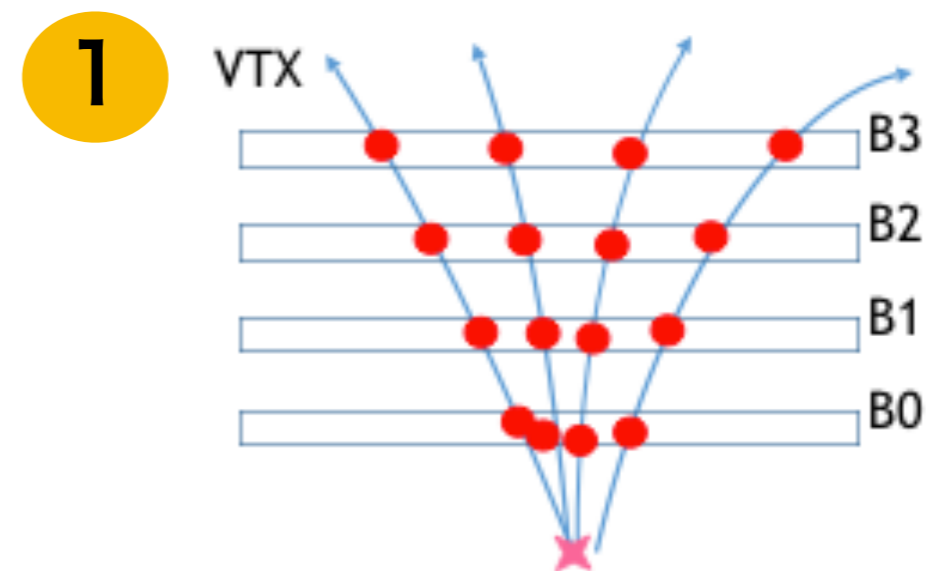
- **Silicon vertex detector (VTX)**
 - 4 radial layers (2 pixel detectors, 2 stripixel sensors)
 - $|\eta| < 1.2$, $\phi \sim 2\pi$
 - Provide precise vertex and tracking measurements



How to measure DCA?

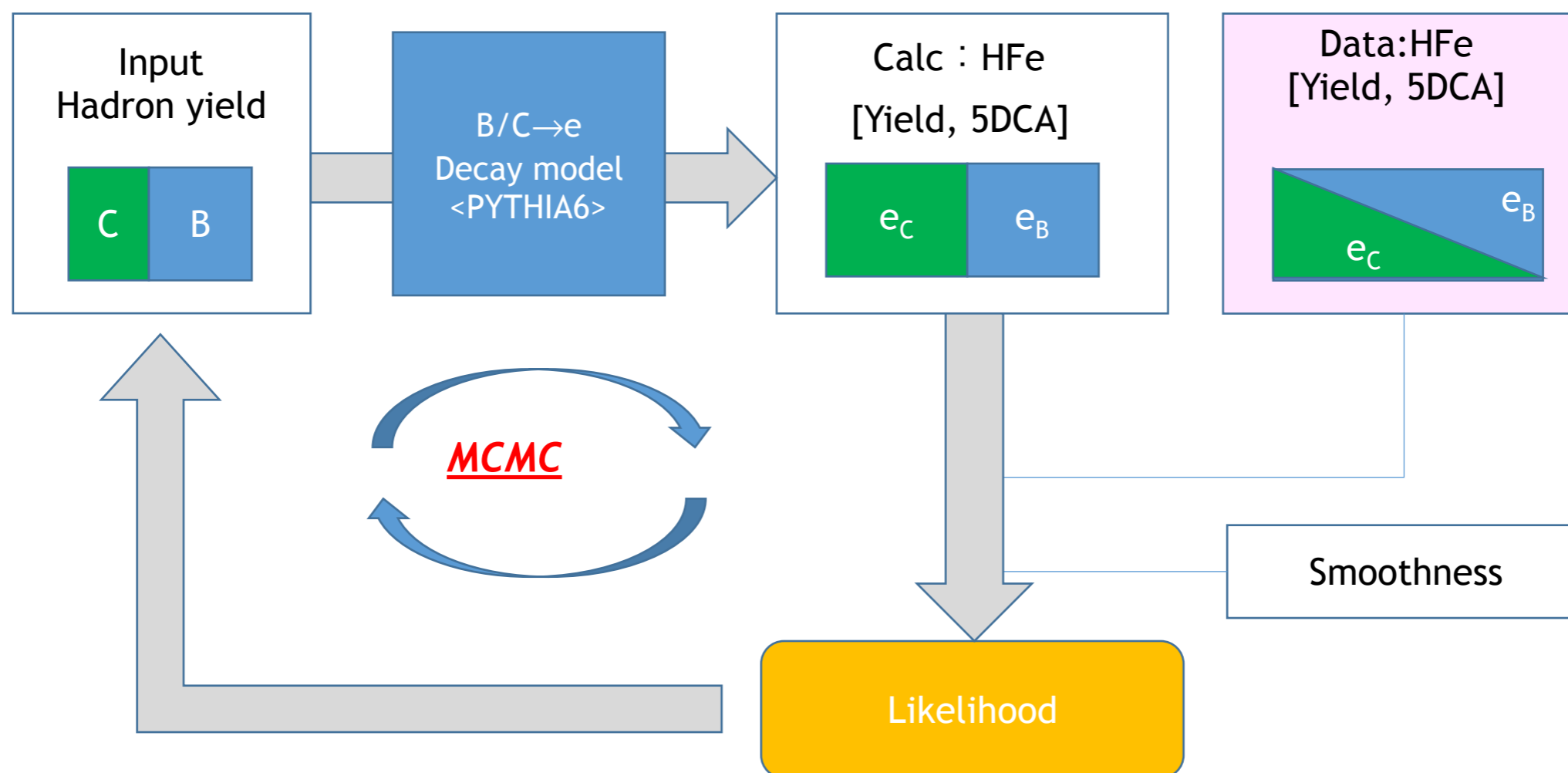
< Procedure >

1. Reconstruct the primary vertex with VTX
2. Associate of a central-arm track with VTX
3. Calculate DCA_T
 - $DCA_T = L - R$



Unfolding

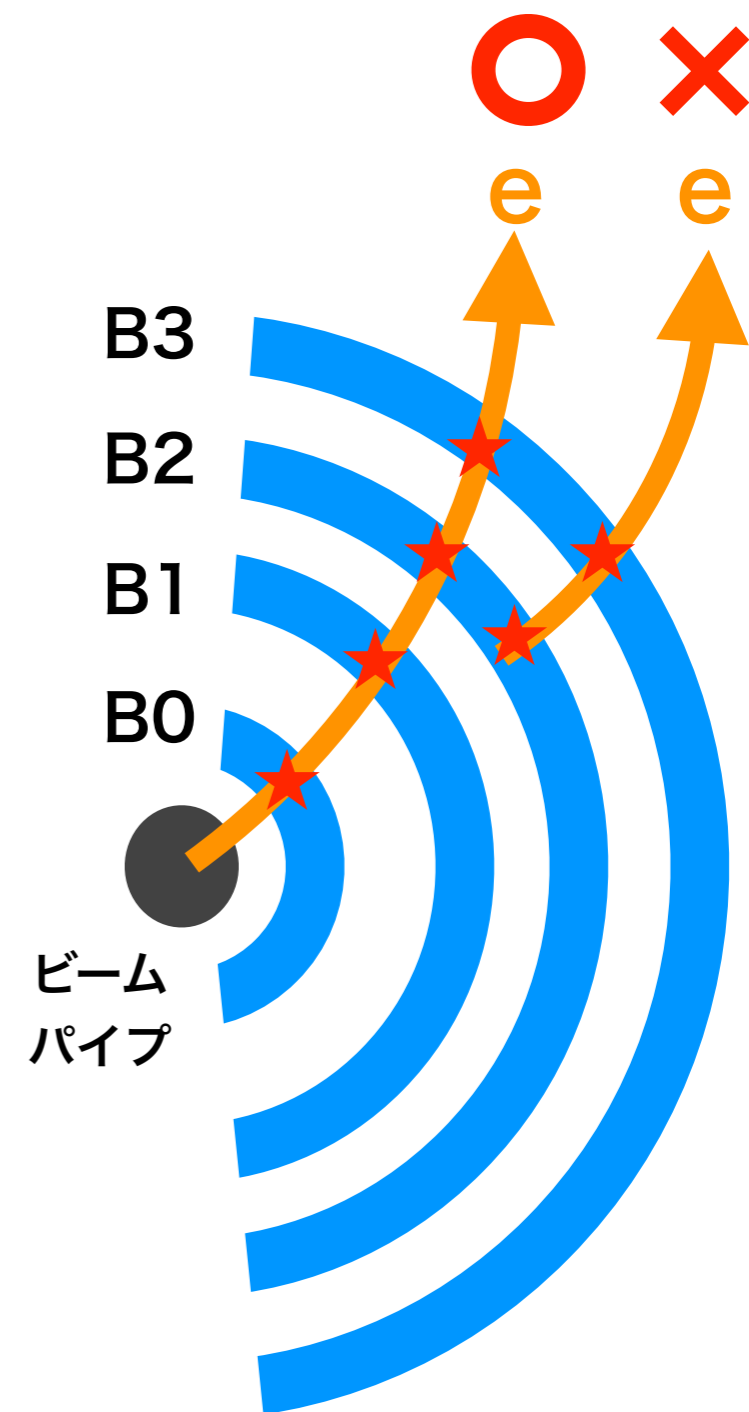
- 目的：全電子の収量から、b/cハドロンの収量を抽出すること。
- MCMC(Markov chain Monte Carlo) sampling
- pTビン毎にb/cハドロンの収量の確率を得る。



[蜂谷先生のスライドより]

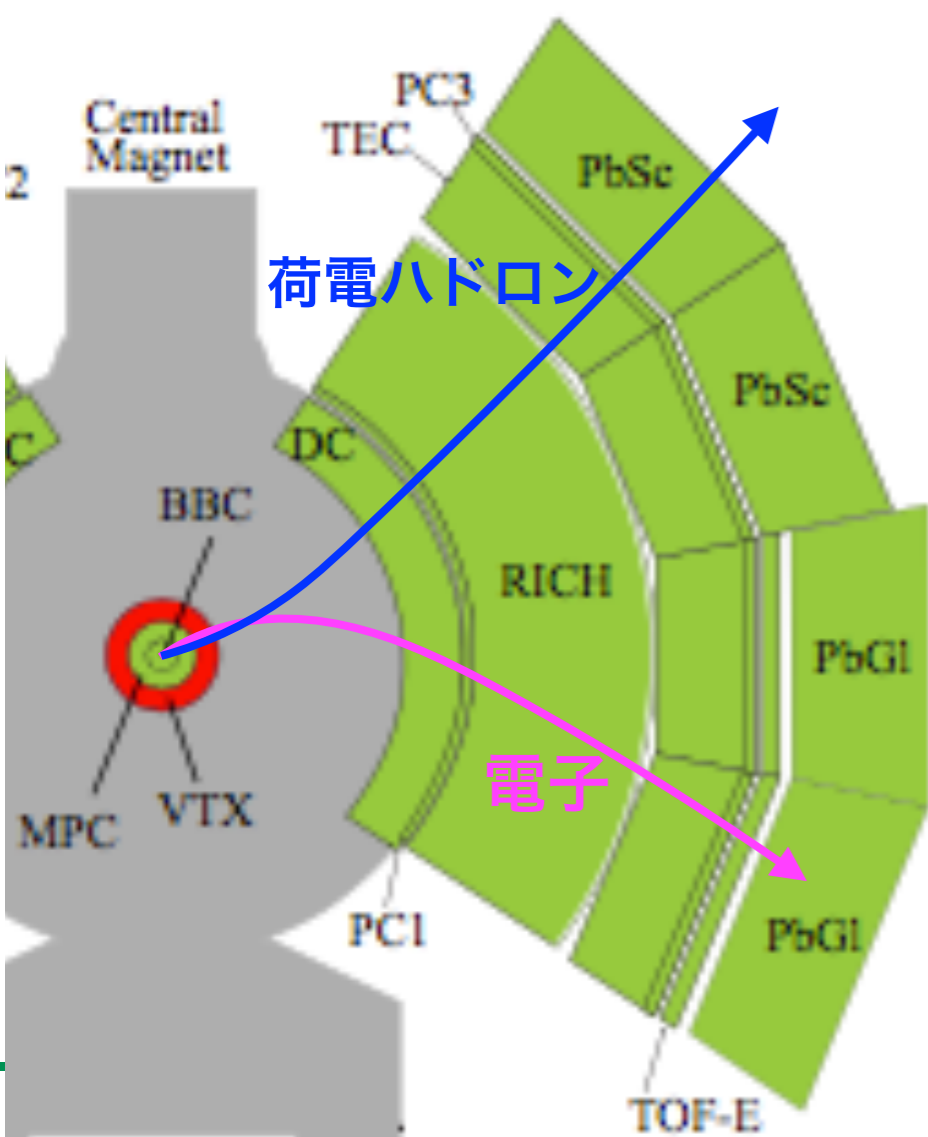
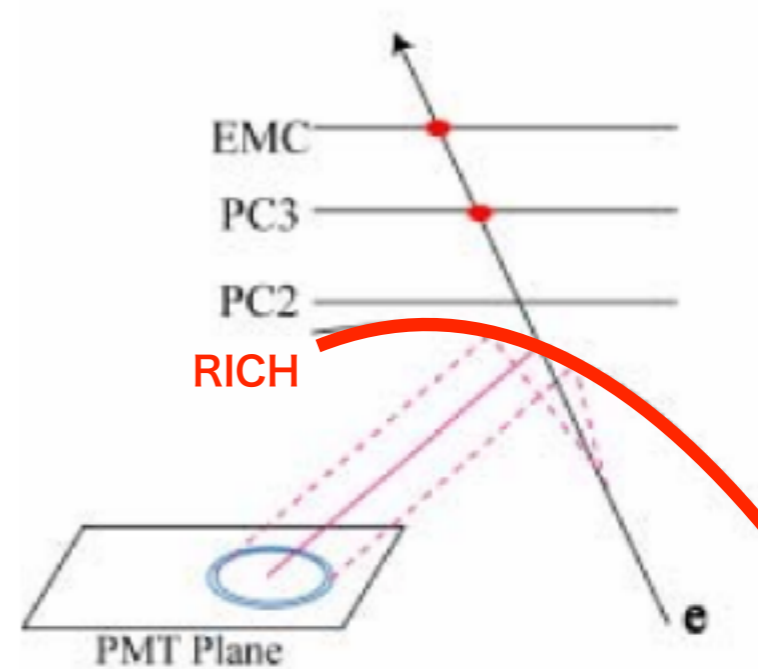
VTXカット

- ① 電子の飛跡について、内側の3層(B0,B1,B2)全てにヒットがあることを要求する。ヒットが無ければ、その飛跡は除く。
- これにより、B0より外側で起きた $\gamma \rightarrow e^+e^-$ を除くことができる。



電子識別：RICHとEMCal

- **RICH**：チェレンコフ光のリング情報（半径、光電子の数など）
- **EMCal**：粒子のエネルギー情報（入射位置、 E/p など）



eID cuts

$$n0 \geq 3$$

$$cch2/npe0 < 7$$

$$disp < 5.0$$

鳴ったPMT数

Ring shape

リング中心とtrack projectionの距離

$$dep > -2.0$$

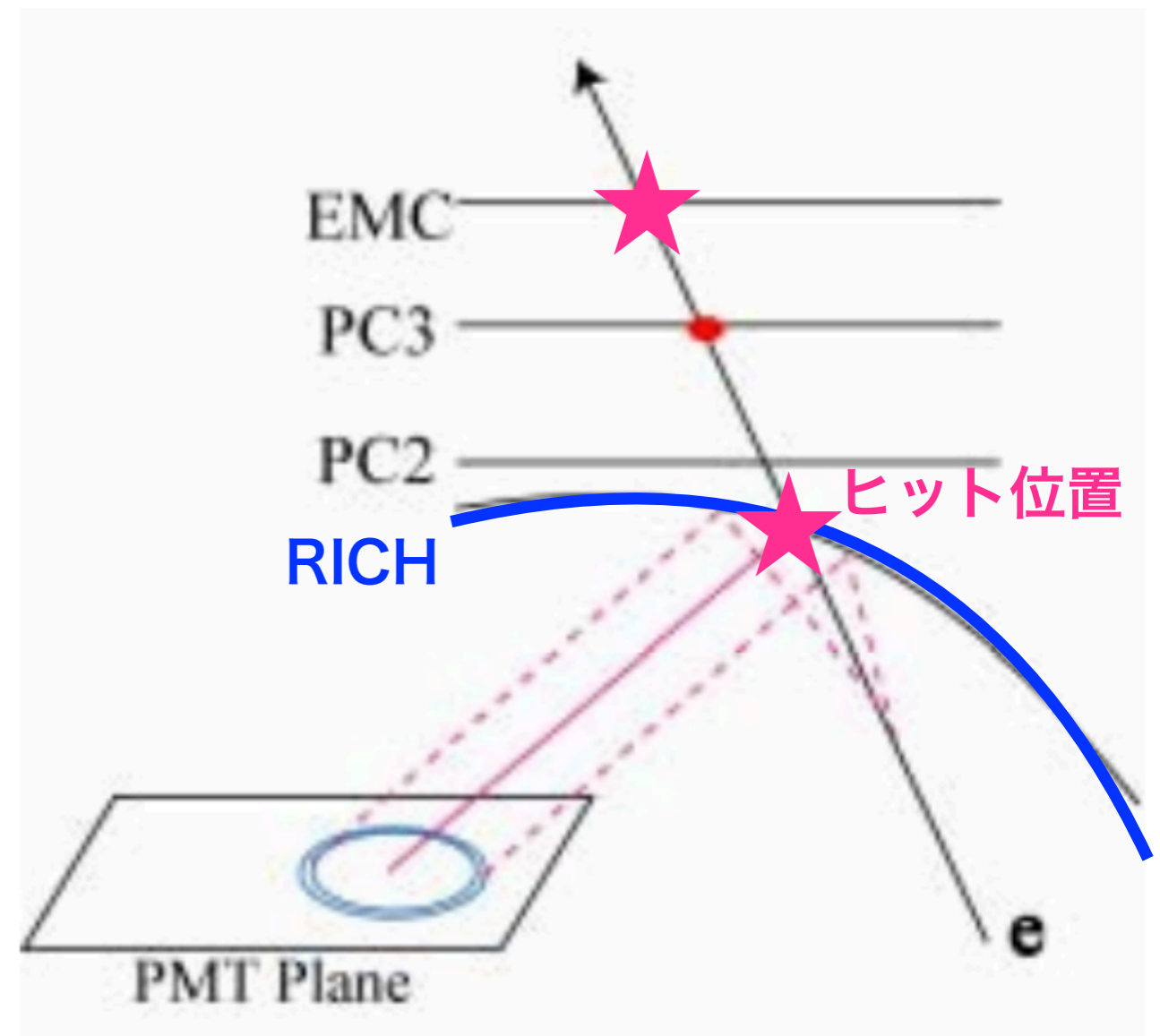
$$prob > 0.01$$

Eとpの一致度合い

先行研究の電子条件：Au+Au@ $\sqrt{s}=200\text{GeV}$ (2014)

Mis-Identified-Hadron

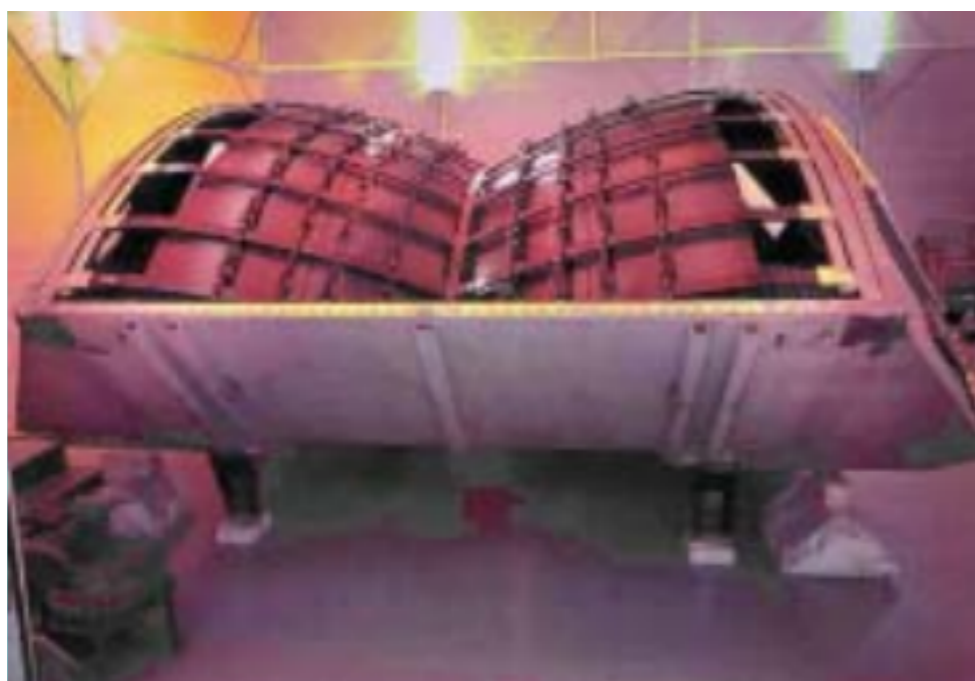
- 誤って電子と識別された荷電ハドロンのこと。
- 多重散乱のイベントでは、RICH上のヒット位置と、EMCal上のヒット位置が誤って結びつけられる場合が多々ある。



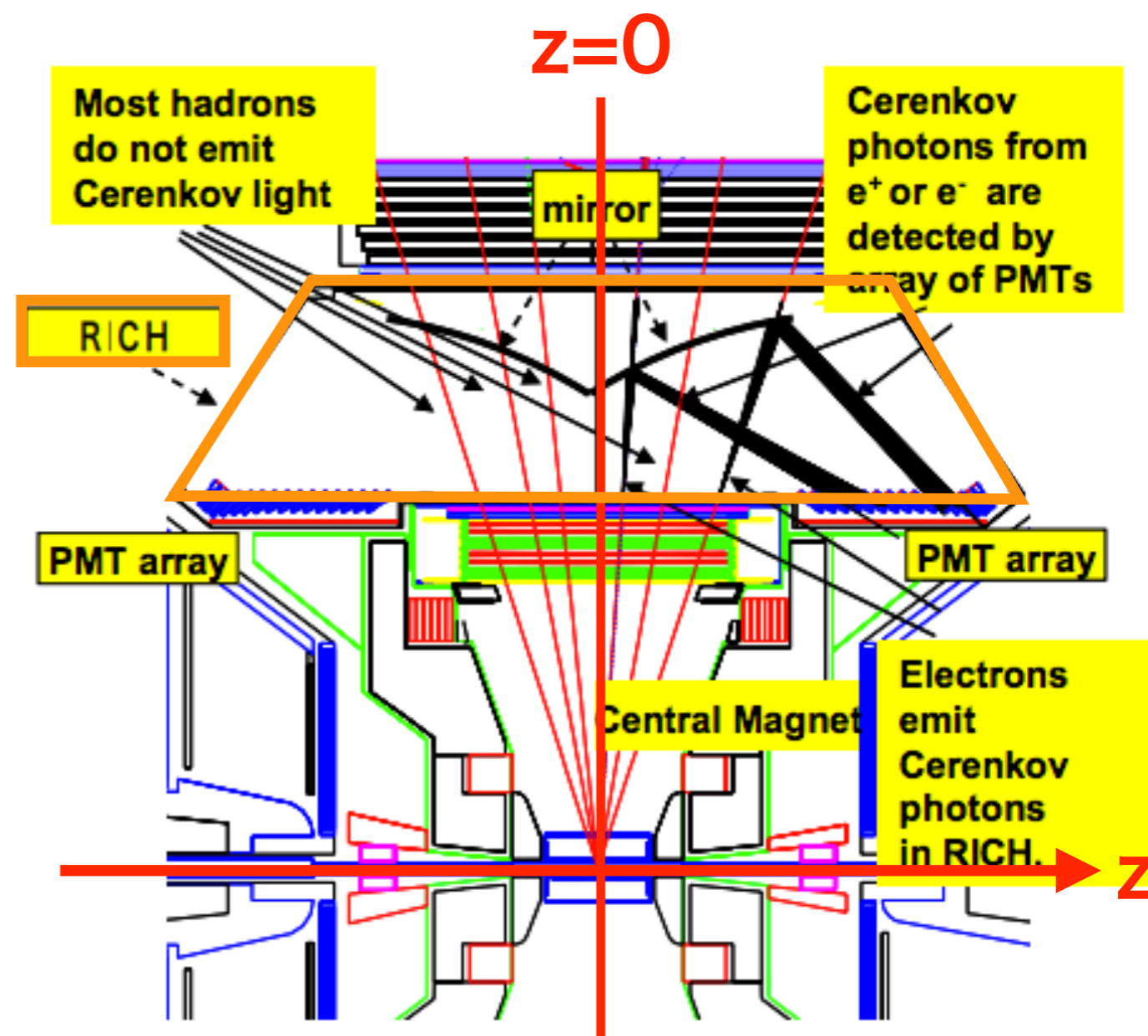
Mis-Identified-Hadron

- <RICHのswap method>

1. $z < 0$, $z > 0$ のRICH上のヒット位置をソフトウェア上で入れ替える。
2. 飛跡を再構成する。



RICHの写真



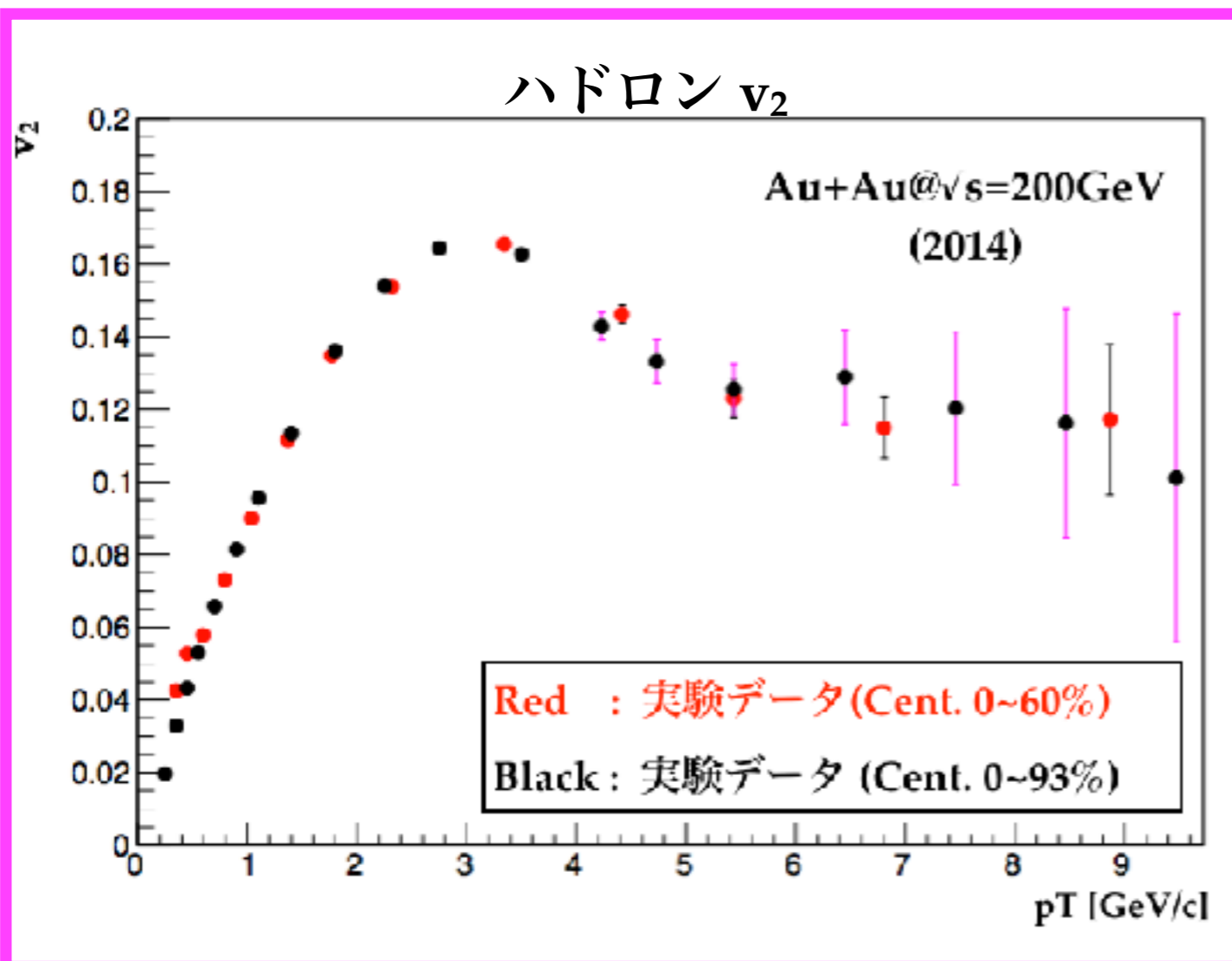
考察 1 : Centralityの違い

$$\begin{aligned}
 \text{全電子 } v_{2(inc)} &= F_c \times v_{2(c)} + F_b \times v_{2(b)} \\
 &+ F_{pe} \times v_{2(pe)} + F_h \times v_{2(h)}
 \end{aligned}$$

チャーム電子 ボトム電子
Photonic electron ハドロン

ハドロン v_2 についても、

Centrality 0~60% と 0~93% の場合の v_2 を比較した。



< 考察結果 >

ハドロン v_2 には、

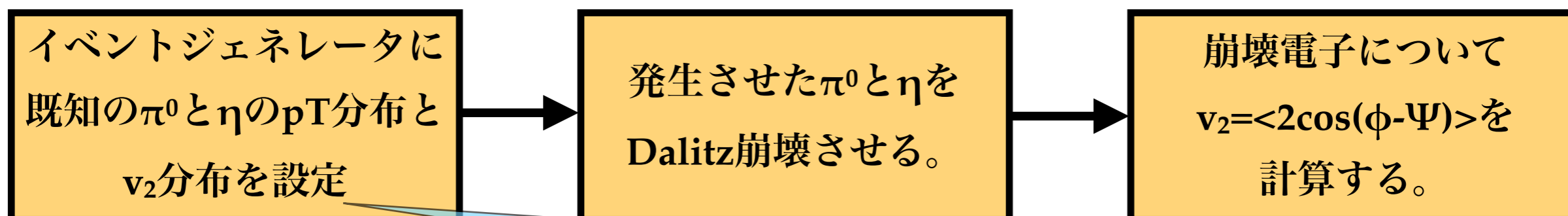
Centrality による v_2 の違いは見られない。

Centrality の違いが要因ではない。

考察2：シミュレーションに用いた

π^0 の v_2 分布の違い

シミュレーション の流れ

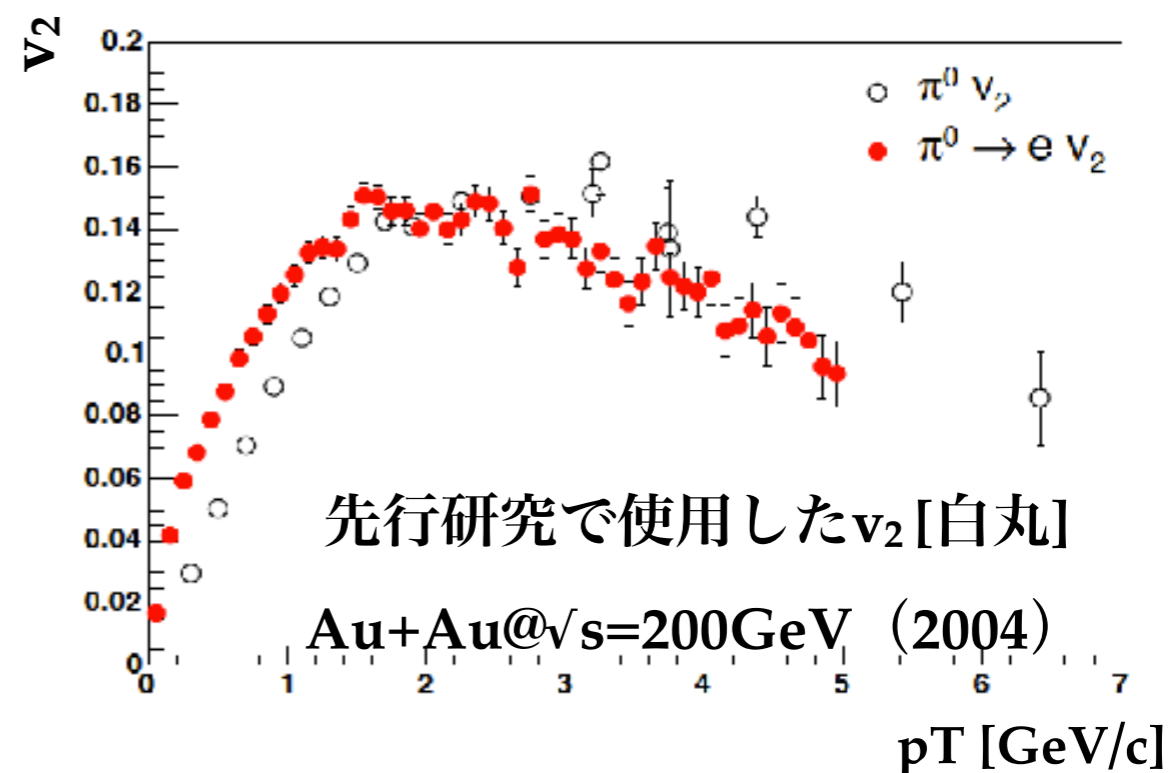
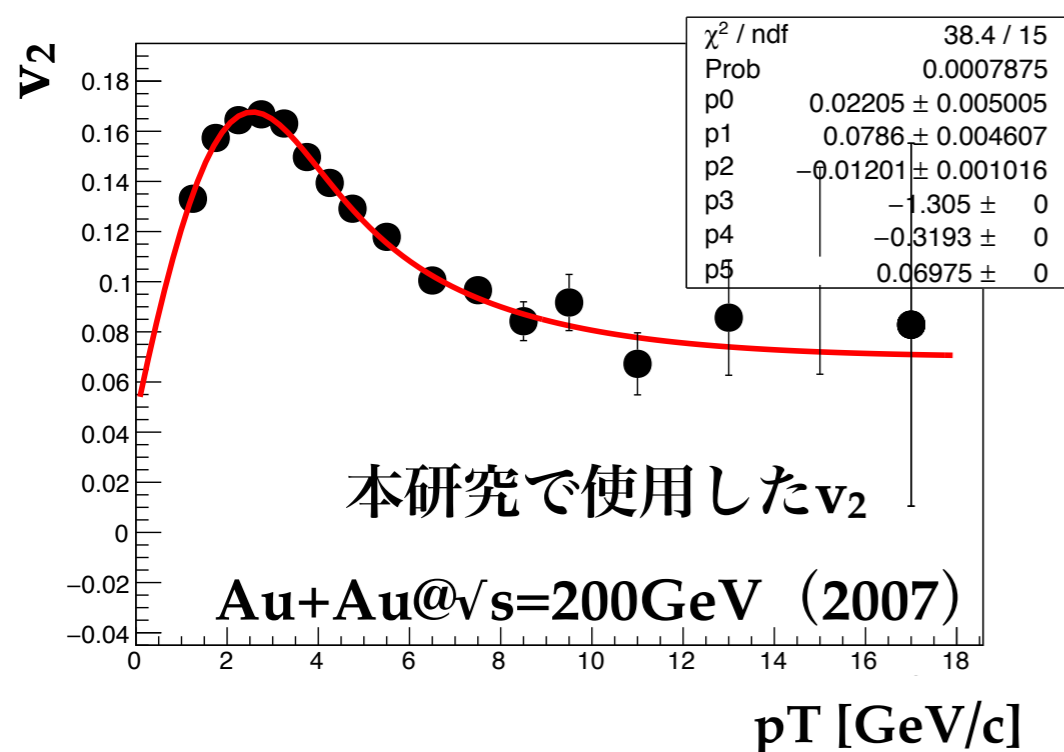


<本研究>

π^0 の v_2 分布を設定

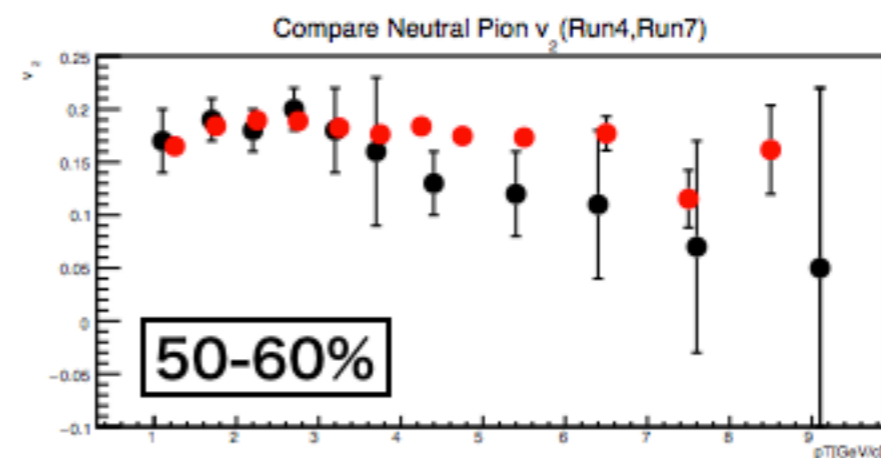
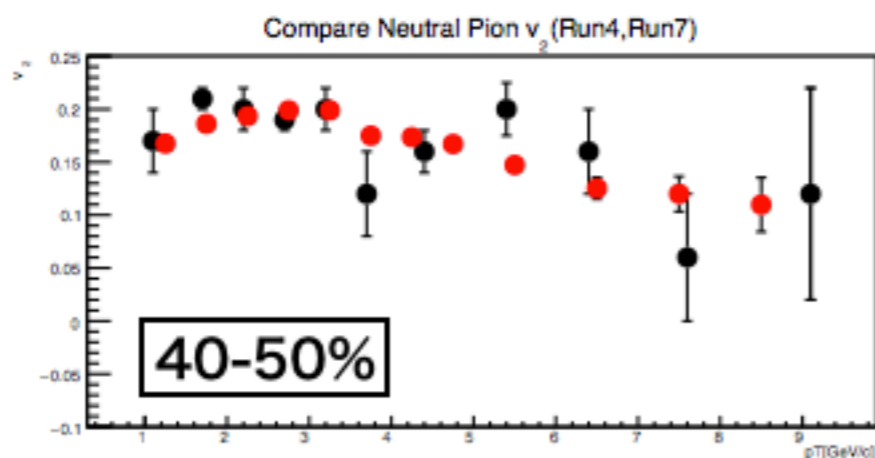
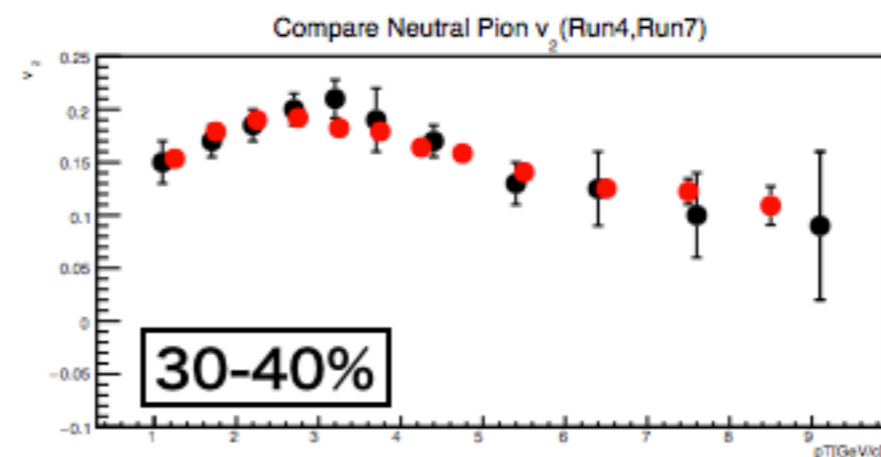
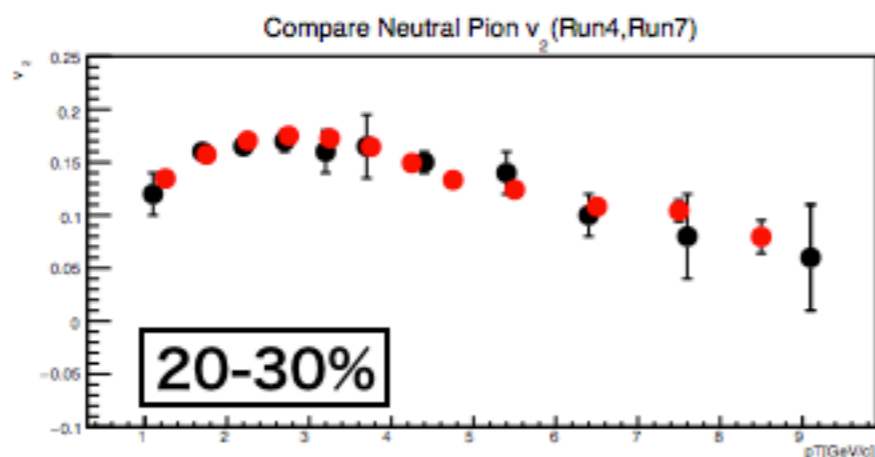
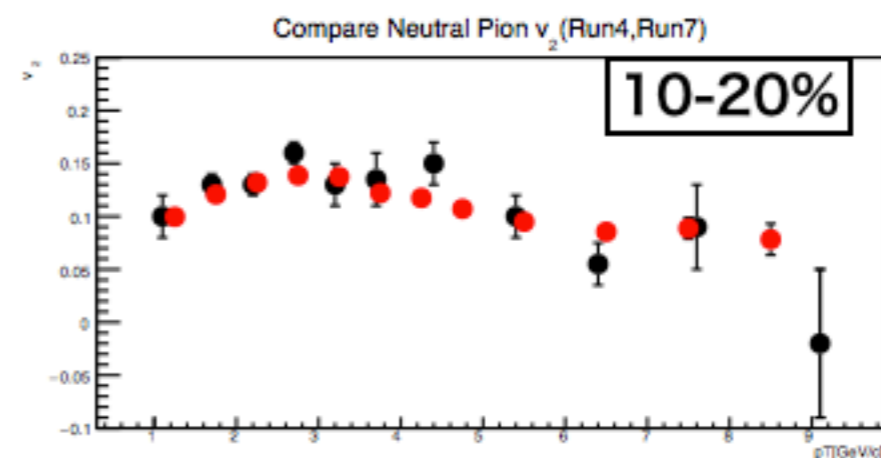
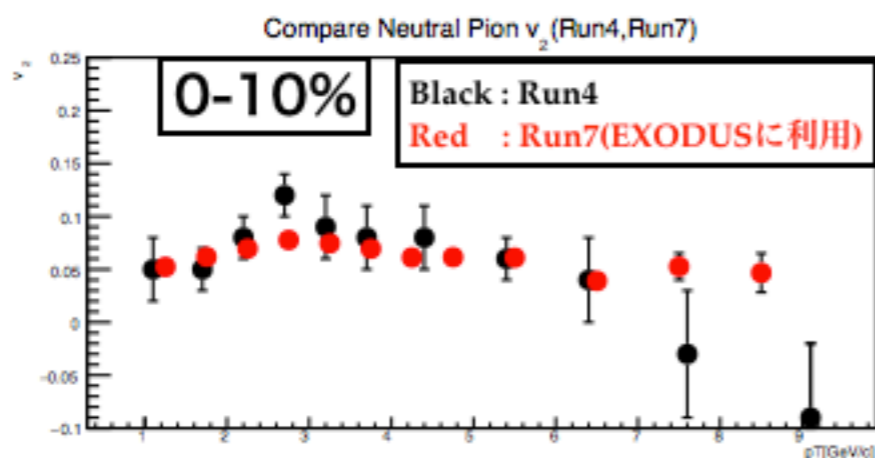
<先行研究>

π^0 と π^\pm を統合させた v_2 分布を設定している。



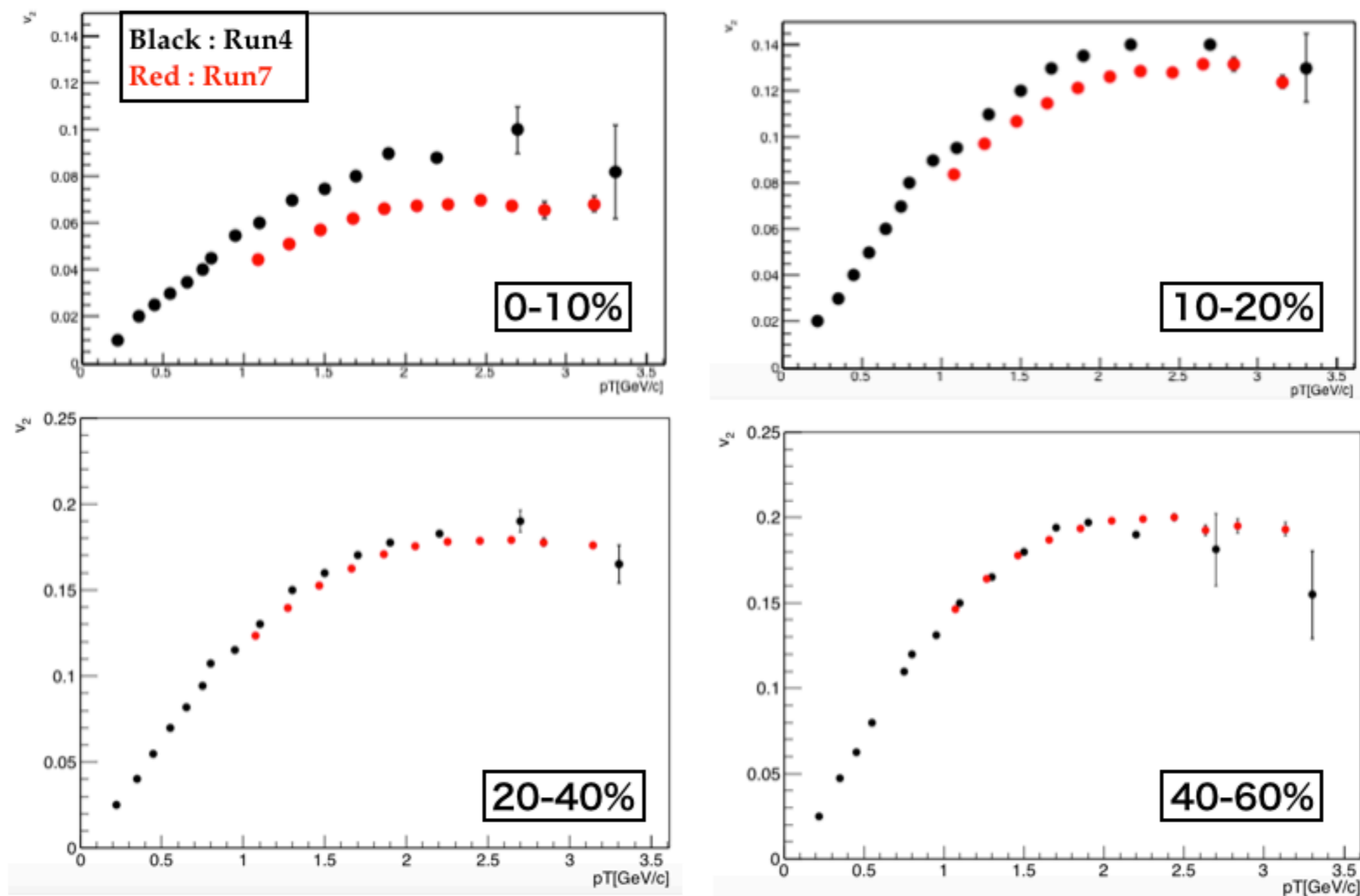
π^0 v_2 の比較

Run4とRun7



$\pi^\pm v_2$ の比較

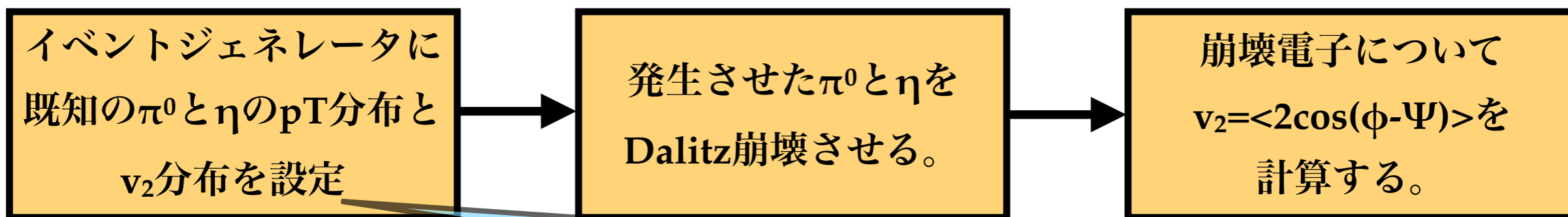
Run4とRun7



考察2：シミュレーションに用いた

π^0 の v_2 分布の違い

シミュレーションの流れ

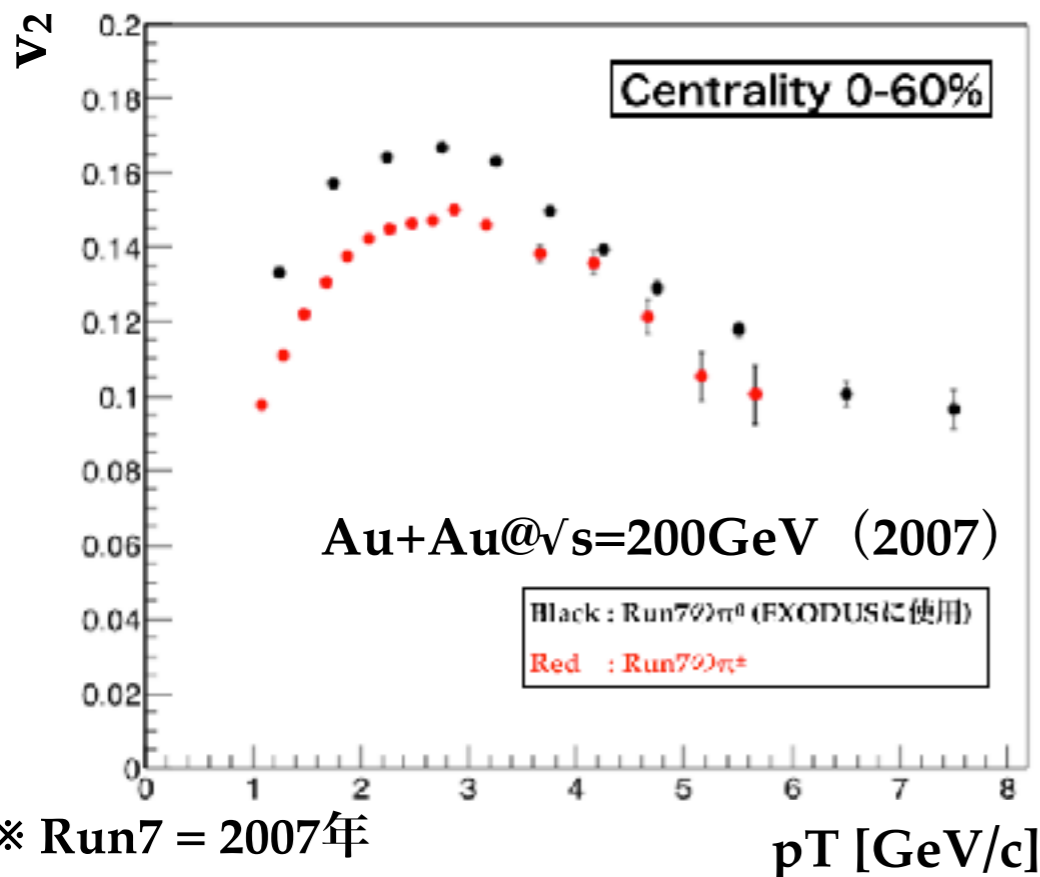


<本研究>

π^0 の v_2 分布(2007)を設定

<先行研究>

π^0 と π^\pm を統合させた v_2 分布(2004)を設定



<考察結果>

$(\pi^\pm\text{の}v_2) < (\pi^0\text{の}v_2)$ つまり、

$(\pi^\pm+\pi^0\text{の}v_2) < (\pi^0\text{の}v_2)$ である。

π^\pm の v_2 を含んでいないこと
が要因だと考えられる。