

LHC-ALICE実験 $\sqrt{s}=900\text{GeV}$ 陽子-陽子衝突 における荷電粒子累積方位角相関

宇宙史拠点実習

2010/03/22

高エネルギー原子核実験

木村瑞希

目次

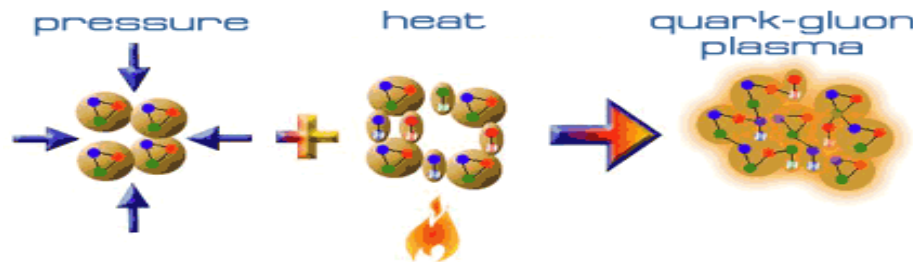
- はじめに
 - クォーク・グルーオンプラズマ
 - LHC-ALICE実験
 - 今までの研究
- 研究目的
- 解析方法
- 結果
 - 2粒子方位角分布
 - 累積方位角相関
- まとめ

はじめに

■ QGP(Quark Gluon Plasma)とは・・・

強い相互作用で結ばれているクォークとグルーオンが
高温・高密度において自由に飛び回ることのできる状態のこと。

→クォークやグルーオンの相互作用の解明



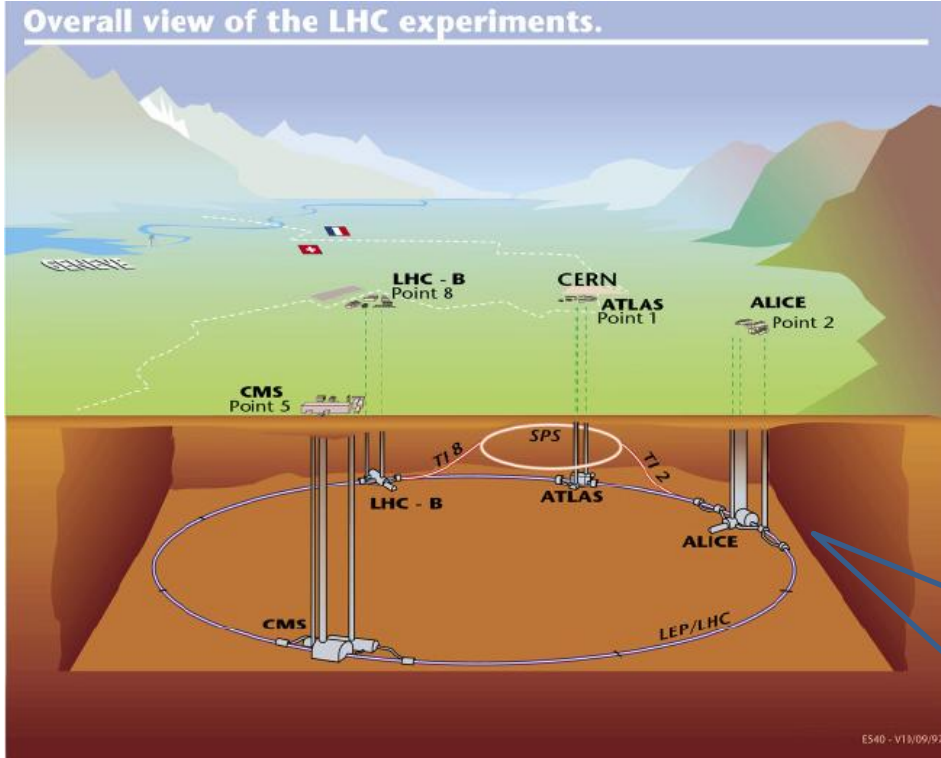
QGPを生成するには・・・



高エネルギー重イオン衝突実験

LHC-ALICE実験

Overall view of the LHC experiments.



LHC (Large Hadron Collider)

大型ハドロン衝突型加速器

◆所在地: スイスとフランスの国境のCERN

◆円周約27km

◆ $v_{\text{SNN}} = 5.5\text{TeV}$ 鉛+鉛

$v_s = 14\text{TeV}$ 陽子+陽子が可能

世界最高エネルギーの粒子衝突実験

◆ALICE, ATLAS, CMS, LHCb実験

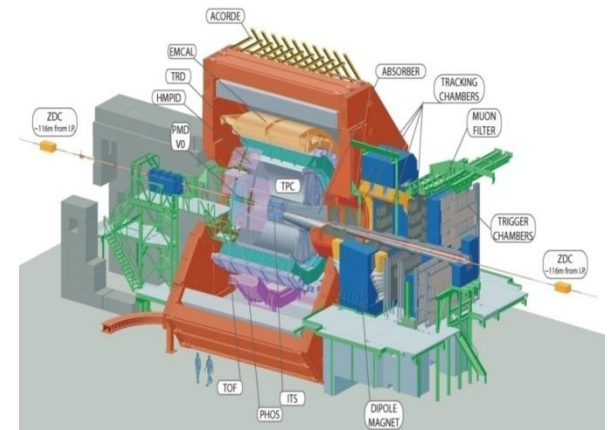
ALICE実験

◆ 重イオン衝突実験

→主にQGPの性質を解明することを目的としている

◆ 陽子+陽子衝突実験

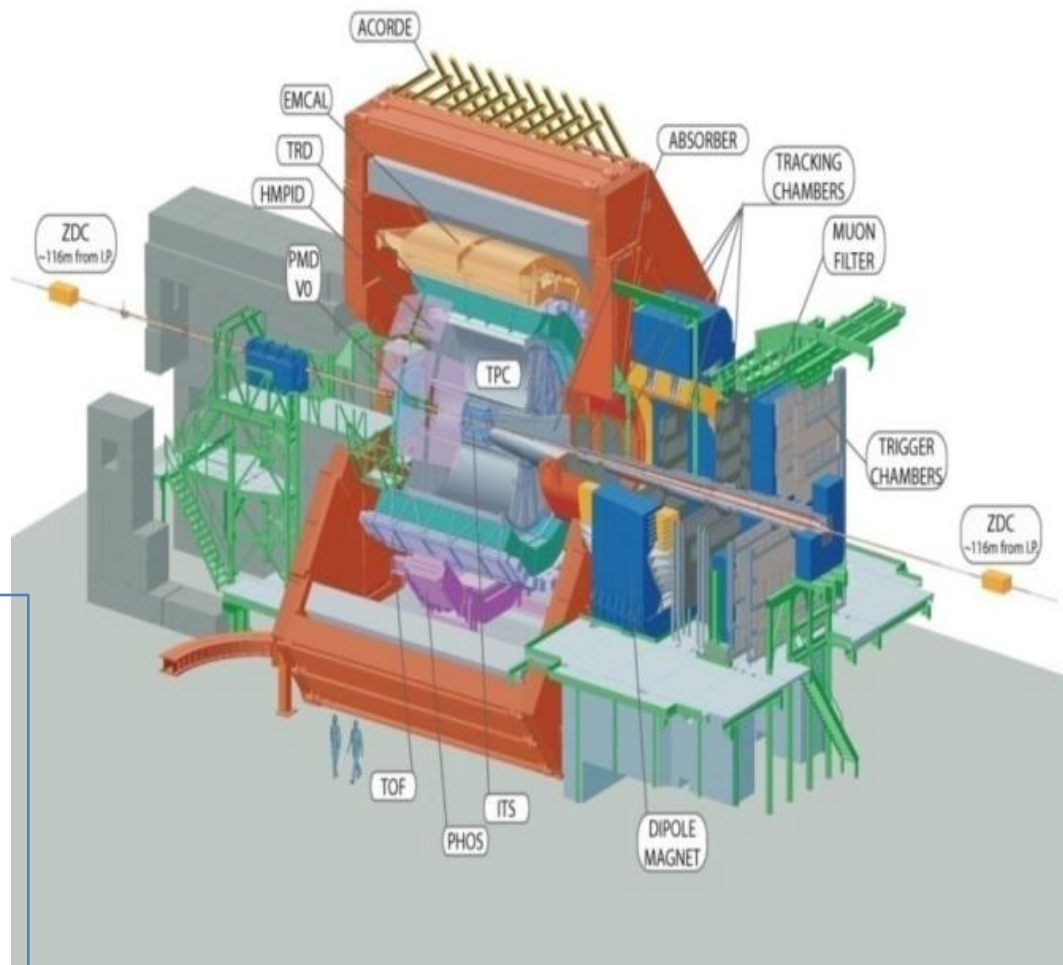
→重イオン衝突のリファレンス、ハドロン生成機構の解明を目的としている



➤ 今回解析に使用した検出器

TPC(Time projection Chamber)
ガスチェンバー
Ne+CO₂混合ガス
全方位角、 $|\eta| < 0.9$
荷電粒子の飛跡検出・粒子識別

ITS(Inner Tracking System)
全方位角、 $|\eta| < 0.9$
粒子の崩壊点の測定
衝突点の測定
低運動量粒子の飛跡検出・粒子識別
3つのシリコン検出器(SSD,SPD,SDD)



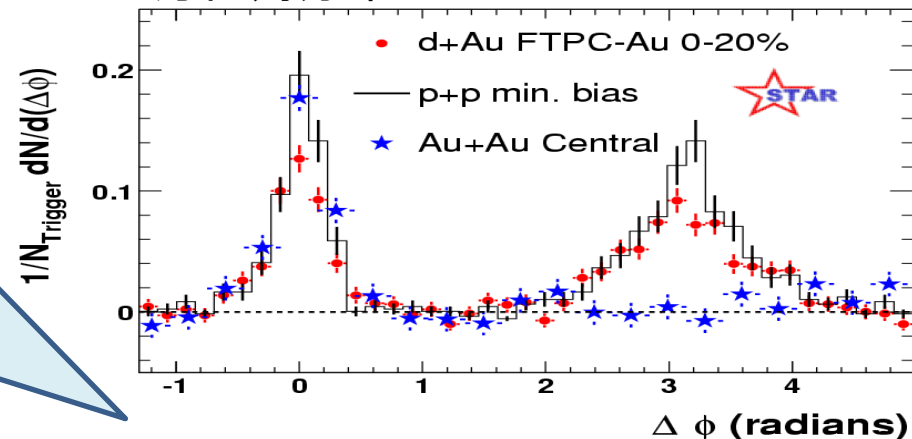
今までの研究

■ これまでのQGP生成を示唆する結果

① jet quenching (Jetの抑制)

Jetとは、たくさんのハドロンが特定の方向に集中して放出される現象である。

Jet方位角分布



Adler et al., PRL90:082302 (2003), STAR

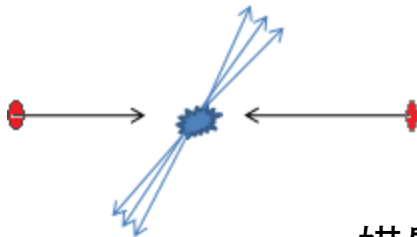
黒p+p: 0と π にピーク (back-to-backにjet検出)

青Au+Au: 0にピークはあるが

π のピークが消えている

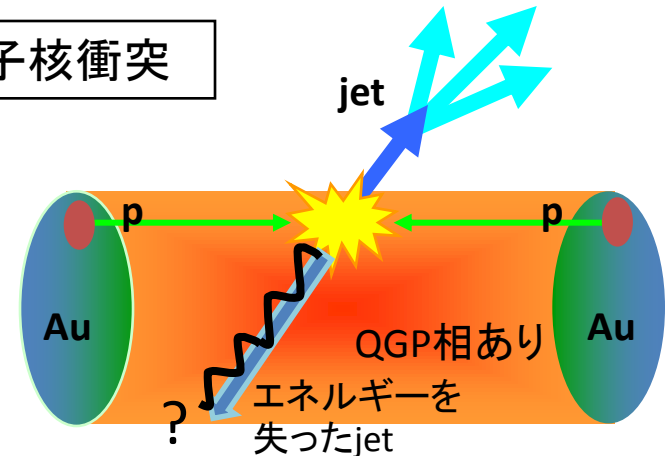
→ パートンがQGPを通過する際に
エネルギーを損失している。

核子—核子衝突



媒質なし

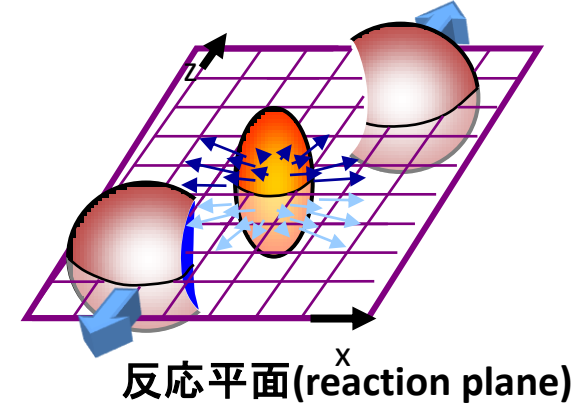
原子核—原子核衝突



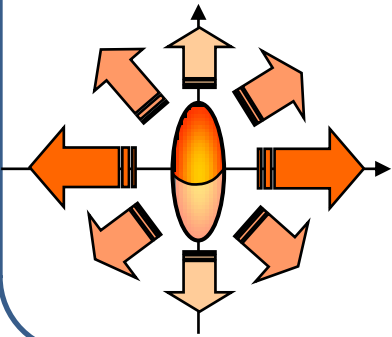
②累積方位角相関

$$\langle \sum_i \cos 2(\phi_{p_t} - \phi_i) \rangle = M v_2(p_t) \bar{v}_2 + \{\text{non-flow}\}$$

→flowと、jetなどの”non-flow”効果の足し合わせ



➤Flow



生成粒子放出分布を反応平面の為す角度Φでフーリエ級数展開

$$\frac{dN}{d(\phi - \Phi_{RP})} = N_o (1 + 2v_1 \cos(\phi - \Phi_{RP}) + 2v_2 \cos(2(\phi - \Phi_{RP})) + \dots)$$

原子核と原子核の衝突が起き、QGP生成
→長軸よりも短軸の方が圧力勾配が大きい
→短軸方向により多く粒子が放出される

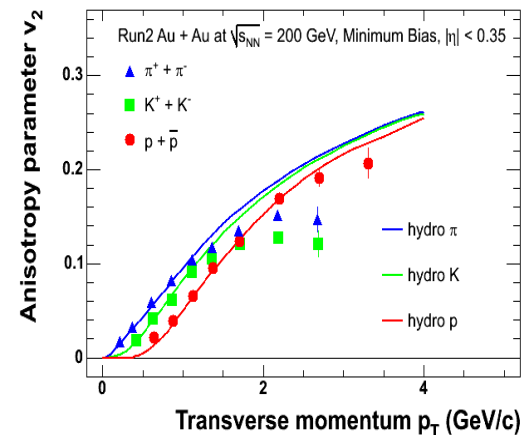
Hydro; Phys. Rev. C 67 (03) 044903
v2; Phys. Rev. Lett. 91 182301 (2003)

➤V2

$$v_2 = \langle \cos(2(\phi - \Phi_{RP})) \rangle$$

v2は粒子放出の楕円的なかたよりを表している

- ・衝突関与部の初期の幾何学的な異方性が
運動量空間における方位角異方性となって検出されている
→衝突で生成された物質の性質を反映している測定
- ・low pT(1GeV以下)は流体の計算と一致
→QGP生成示唆



緑:p+p,赤: Au+Auの累積方位角分布を比較

- ・Au+Auの非中心衝突ではp+pと同じふるまい
- ・Au+Auが中心衝突になるにつれてp+pより大きな値
→flowなどの効果

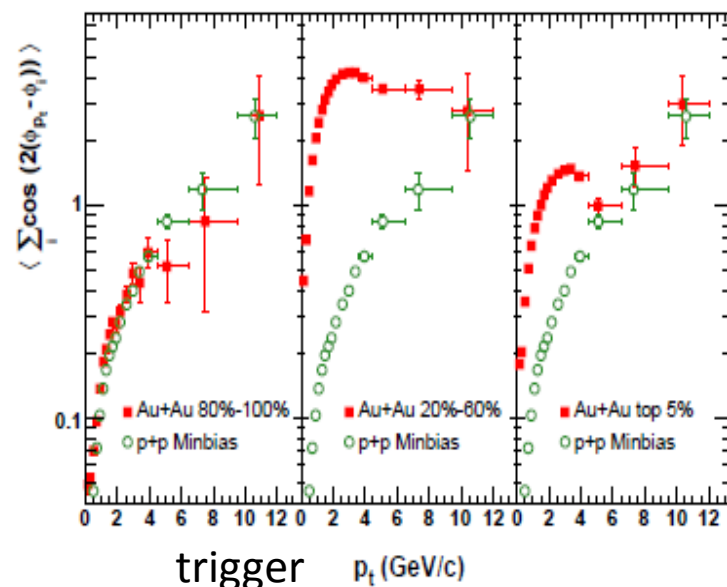
QGPが生成されていると考えられるcentralityで
累積方位角相関の値が増加する

Au+Au		p+p	
Jet	Jet		hard
Flow	Flow??		soft
Thermal emission	Thermal emission??		
Quark recombination	Quark recombination??		

Reference粒子のpT領域を分けて測定することで
Soft過程の効果とhard過程の効果を区別できると
期待されている新しい解析方法

Arxiv:nucl-ex/0407007v3

associate $0.15 < p_T < 2.0 \text{ GeV}$



Hard

jetなどの高い横運動量をともなう
粒子生成過程

Soft

Thermal emissionや
Quark recombinationなどの
粒子生成過程
高運動量粒子が少ない

研究目的

- ・今までのp+p衝突の2粒子相関では、QGP生成を示唆する結果はでていない
→QGPを知る上で、p+p衝突のシステムを理解することは必要である。
- ・QGP生成されるとsoftな過程で出来る、相関をもつ低いpTの粒子が増える
→QGPが出来たサイン
→粒子をsoft過程hard過程で分けて解析が必要
→LHC実験データによる解析が注目を集めている

LHC-ALICE実験 $\sqrt{s}=900\text{GeV}$ 陽子-陽子衝突において2粒子方位角分布を求める

→今までの陽子-陽子衝突との違いを見る

新しい解析方法である、累積方位角相関を求める

→pT領域を変えて測定することで、soft過程の効果とhard過程の効果の違いを見る

データ解析

✓ データセット

ALICE実験p+p衝突900GeV (Pass2)

✓ 解析ツール

AliRoot

ALICE実験における高エネルギー物理のシミュレーション、データ解析などを行うために必要な一連のソフトウェアがセットになったもの。

✓ Cut

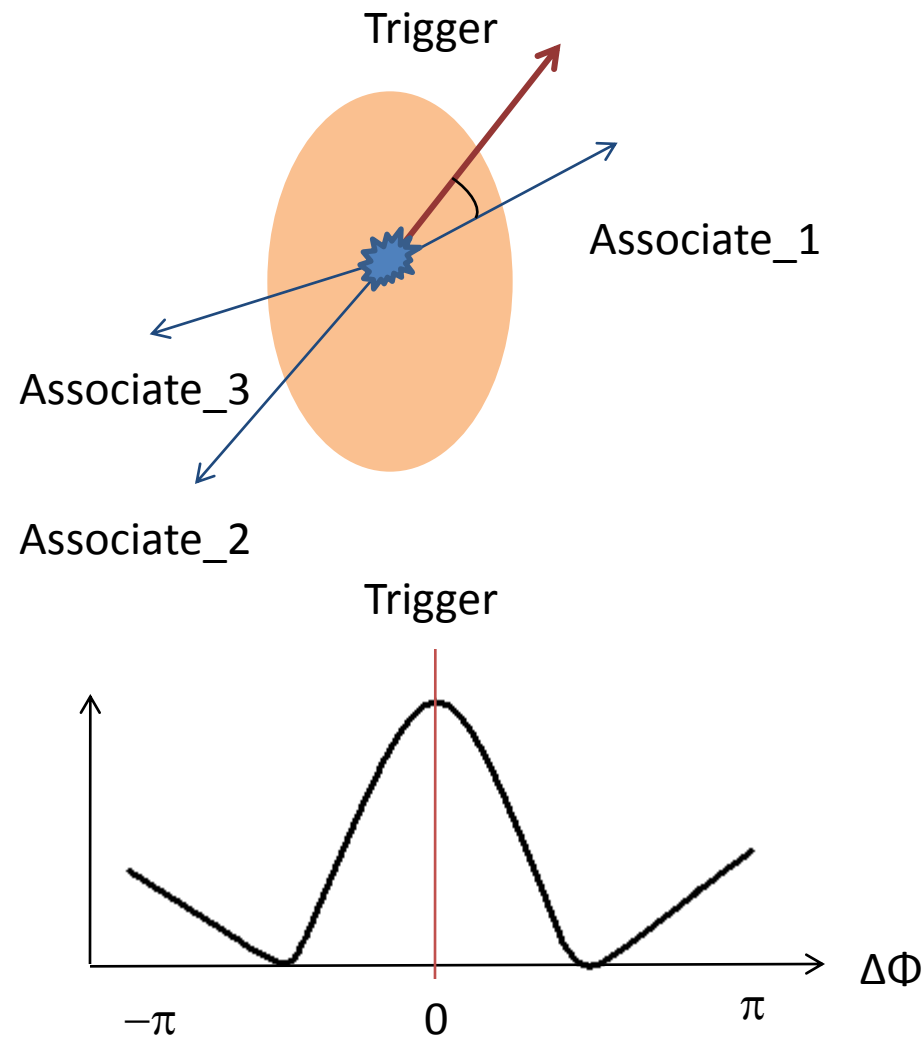
TPC Track Quality Cut・・・refit, クラスタ数80、eta制限

Select Minimum Bias Trigger

Z vertex cut・・・20cm

$\Delta\phi$ vs $\Delta\eta$ で0付近のピークcut

➤ 2粒子方位角相関



① 2粒子を選ぶ

Trigger粒子: 基準とする粒子

Associate粒子: ペアとして選んだ粒子



② ペアごとに $\Delta\phi$ を計算

$$\Delta\phi = \phi_a - \phi_t$$

Φ_t = trigger粒子の方位角 ϕ

Φ_a = associate粒子の方位角 ϕ

バックグラウンドはEvent Mixingによって導出した

➤ 累積方位角相関

$$\left\langle \sum i \cos 2(\phi_i - \phi_{trig}) \right\rangle$$

ϕ_{trig} : Trigger粒子(基準とする粒子)の方位角

ϕ_i : 同じイベント内のTrigger粒子以外の、
ある領域の p_T を持つ粒子 (associate粒子) の方位角

$\sum i \cos 2(\phi_i - \phi_{trig})$ を計算



Trigger p_T は0.3GeV刻み

ペアを作ったtrigger粒子の数で割ることで平均をとる。

associate粒子の p_T

low: $0.4 < p_T < 2 \text{ GeV}$

high: $2 \text{ GeV} < p_T$

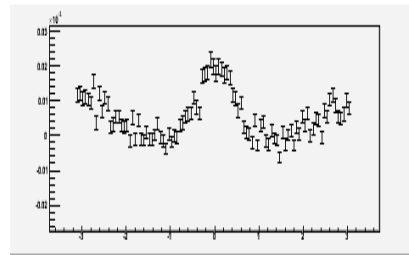
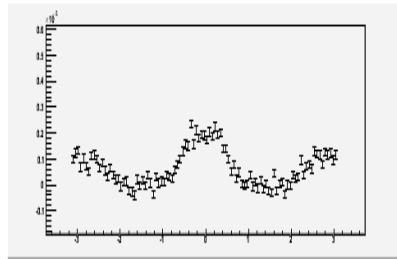
結果: 2粒子相関

ALICE p+p900GeV

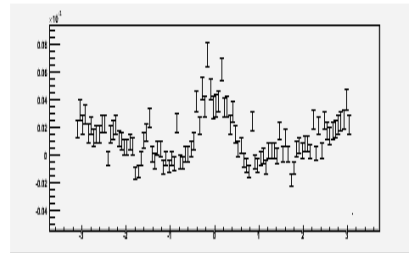
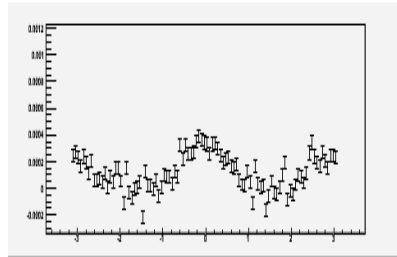
Associate $0.2 < p_T < 2.0$

$2.0 < p_T$

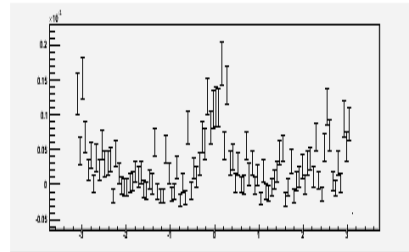
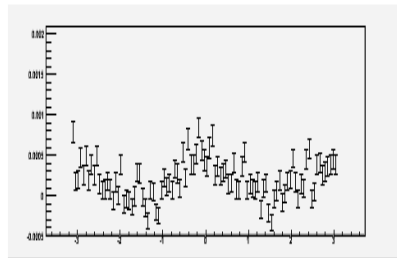
Trigger
1-2GeV



2-3GeV



3-4GeV



$-\pi$

π

$-\pi$

π

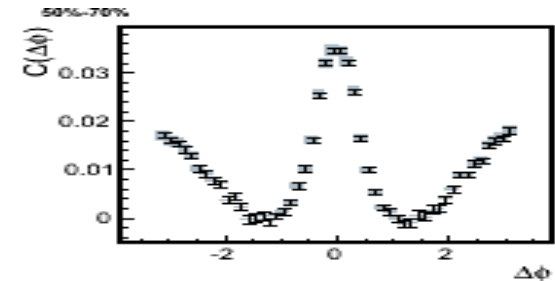
縦軸: 1triggerあたりのハドロン数

横軸: $\Delta\phi$

PHENIX Cu+Cu200GeV

trigger: $2.0 < p_T < 4.0$, associate: $1.0 < p_T < 2.0$

Centrality 50-70%



Back-to-backの分布

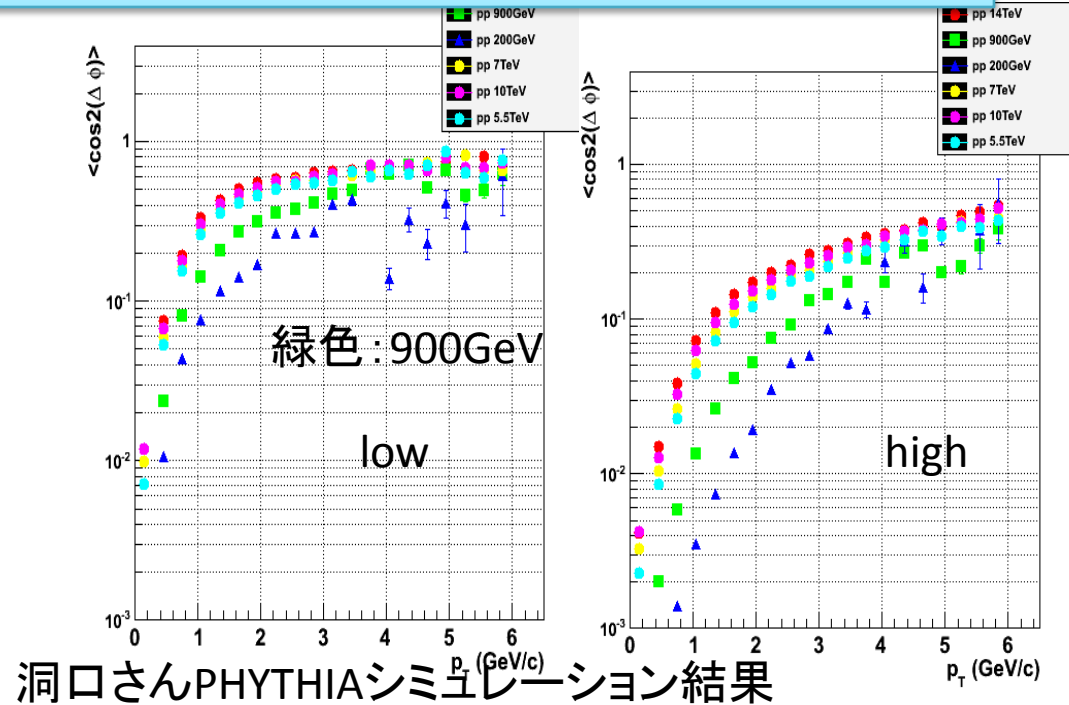
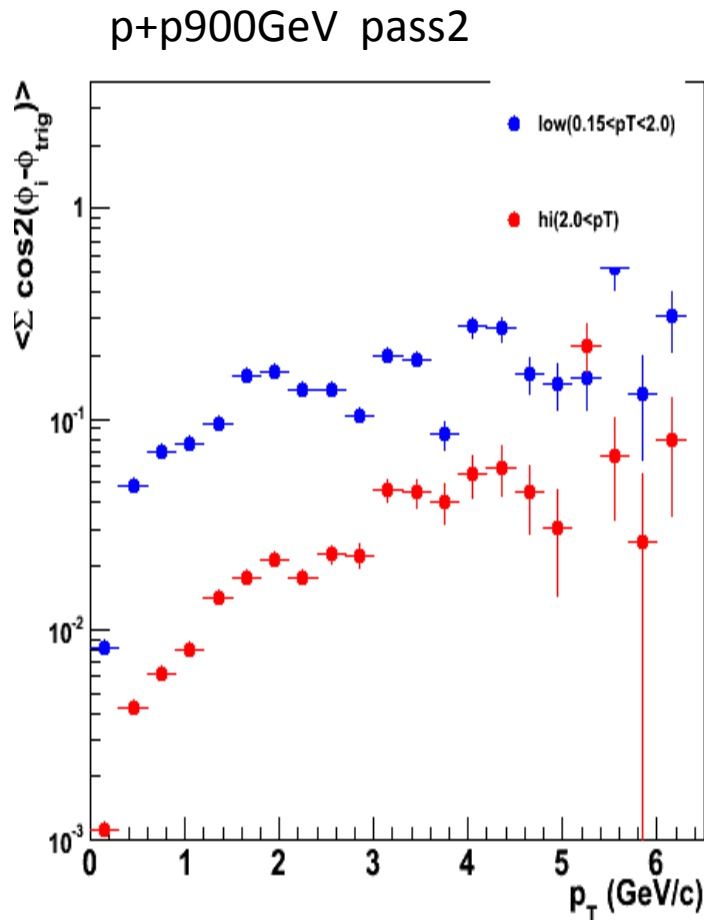
→ 今までの陽子陽子衝突における分布と類似

→ Cu+Cuの周辺衝突の分布の形とも類似



QGPが生成されていないと考えられる

結果：累積方位角相関



PHYTHIAシミュレーションの値とほぼ一致
→QGP生成されていないと考えられる

- ✓ Lowがhighよりも大きな異方性を示す
- ✓ p+p衝突において、associate粒子の p_T を区別することによって soft過程効果とhard過程の効果を分けることが出来た。

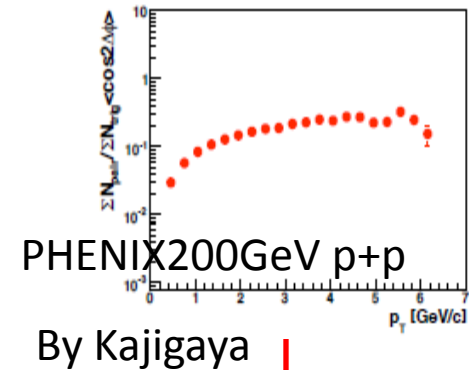
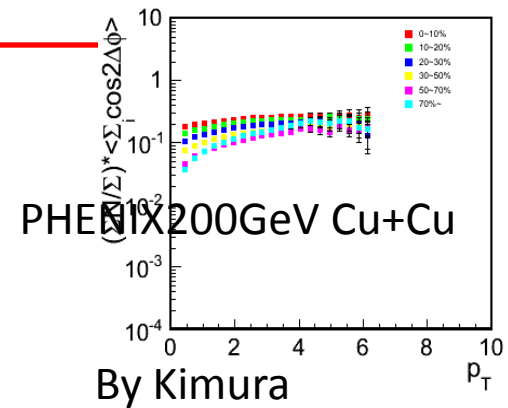
解析結果がPYTHIAと結果がほぼ同じになった
→QGP生成されてない??



multiplicityで分けてより詳しい解析が必要。

Centralとforwardのmultiplicityの相関を見る
相関あり→QGP生成の可能性
相関なし→ほぼjet生成だけ

QGP生成された時、されてない時の累積方位角相関の分布を得ることで
今後、重イオン衝突のリファレンスとして解析することが出来る



また、reference粒子の条件を変えることでsoft過程だけを抽出することが出来ると考えられる。

・ハドロン生成機構の研究

(→これから、洞口さん・渡辺さんによって解析、研究が行われていく。)

まとめ

➤ LHC-ALICE実験 $\sqrt{s}=900\text{GeV}$ 陽子-陽子衝突において2粒子方位角分布を求めた

- back-to-backの描像が得られた

→ 今までの陽子-陽子衝突と同じ結果

➤ 累積方位角相関を求めた

- lowとhighでは異なった値を示し、lowの方が大きな値を示す

→ reference粒子の p_T の違いによってsoft過程の効果とhard過程の効果に分けることができた

- PYTHIAとほぼ同じ値が出た

→ QGP生成されていないと考えられる

今後・・・multiplicityで分けてみることで、より詳しい研究が必要

また、今回はpass2のデータだが、pass5のデータなどの解析をすることが必要

Back-up

TPC(Time projection System)

全方位角、 $|\eta| < 0.9$

荷電粒子の飛行検出

TRD(Tradition Radiation Detector)

全方位角、 $|\eta| < 0.9$

荷電粒子の飛行検出

電子識別

TOF(Time of Flight)

全方位角、 $|\eta| < 0.9$

粒子の飛行時間測定

pT2.5GeVまで π /k識別

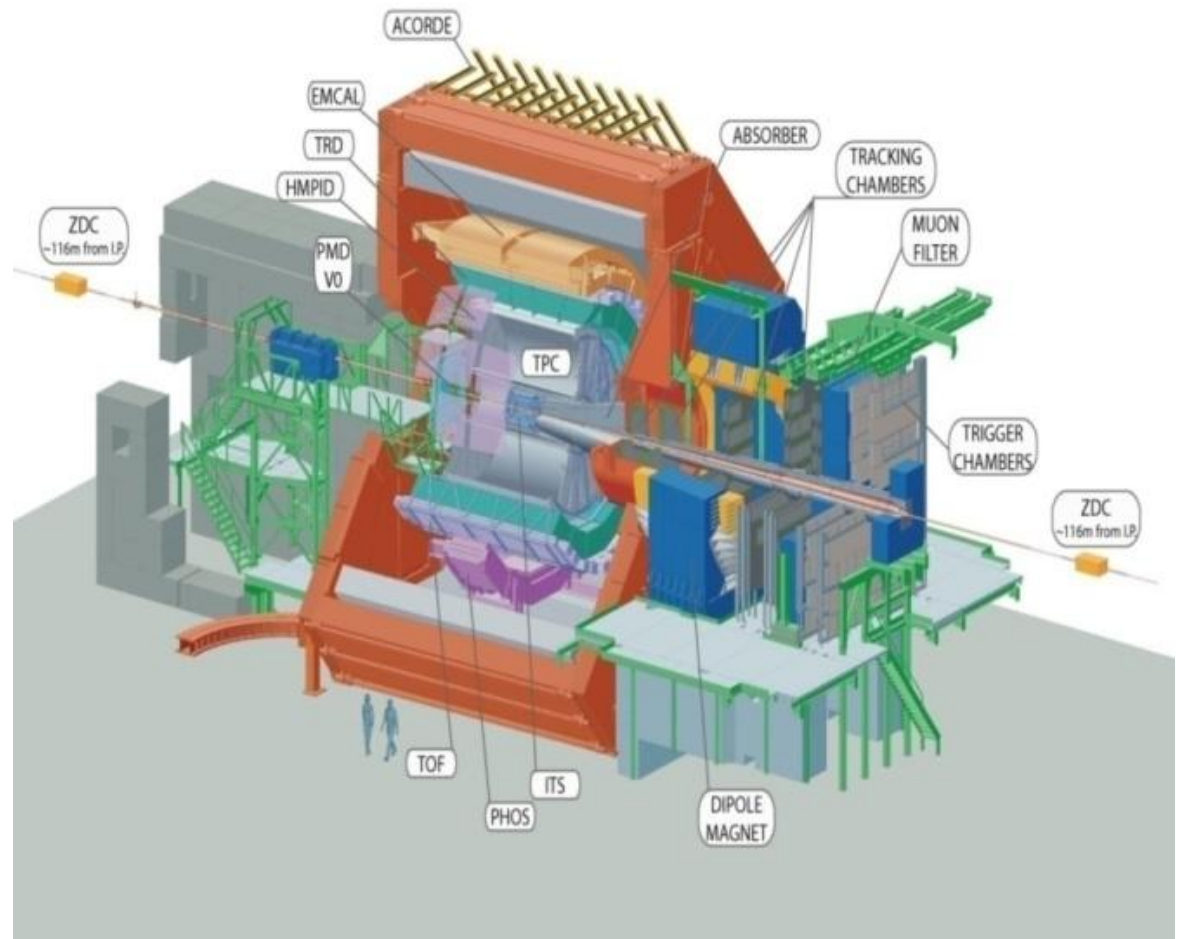
pT4.0GeVまでk/p識別

ITS(Inner Tracking System)

全方位角、 $|\eta| < 0.9$

粒子の崩壊点の測定

低運動量粒子の飛跡検出



FMDについても加える

➤解析するにあたり以下のようなカットをかけた

Cut

TPC Track Quality Cut ▪ ▪ ▪ refit, クラスタ数80、eta制限

Select Minimum Bias Trigger

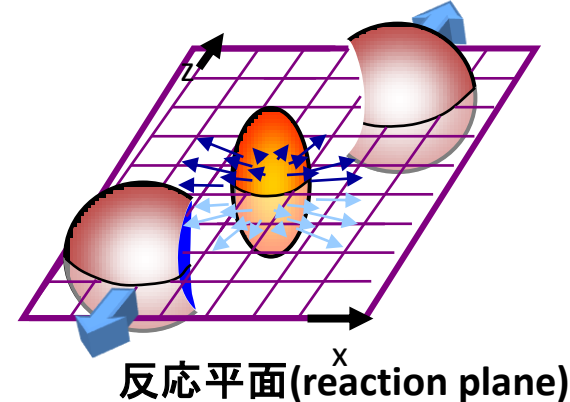
Z vertex cut ▪ ▪ ▪ 20cm

$\Delta\phi$ vs $\Delta\eta$ で0付近のピークcut

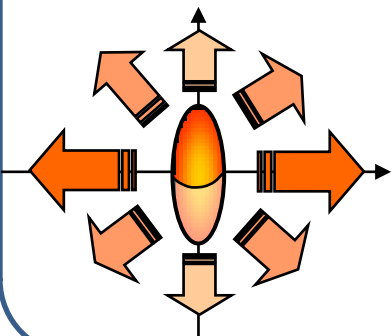
②累積方位角相関

$$\left\langle \sum_i \cos 2(\phi_{p_t} - \phi_i) \right\rangle = M v_2(p_t) \bar{v}_2 + \{\text{non-flow}\}$$

→flowと、jetなどの”non-flow”効果の足し合わせ



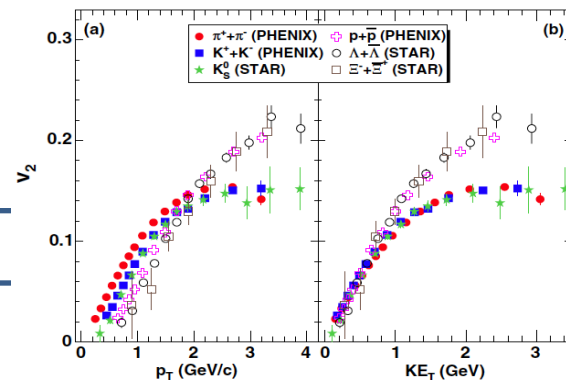
➤Flow



生成粒子放出分布を反応平面の為す角度 ϕ でフーリエ級数展開

$$\frac{dN}{d(\phi - \Phi_{RP})} = N_o (1 + 2v_1 \cos(\phi - \Phi_{RP}) + 2v_2 \cos(2(\phi - \Phi_{RP})) + \dots)$$

原子核と原子核の衝突が起き、QGP生成
→長軸よりも短軸の方が圧力勾配が大きい
→短軸方向により多く粒子が放出される

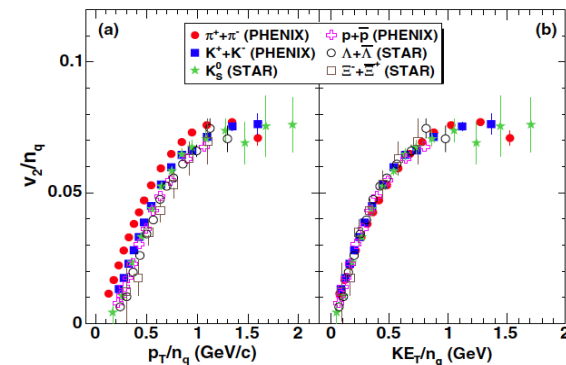


➤V2

$$v_2 = \langle \cos(2(\phi - \Phi_{RP})) \rangle$$

V2は粒子放出の楕円的なかたよりを表している

- ・衝突関与部の初期の幾何学的な異方性が運動量空間における方位角異方性となって検出されている
→衝突で生成された物質の性質を反映している測定
- ・quark number scalingが成り立つ(1-3kET)
→QGP生成示唆

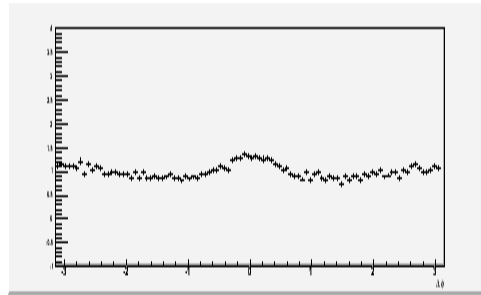
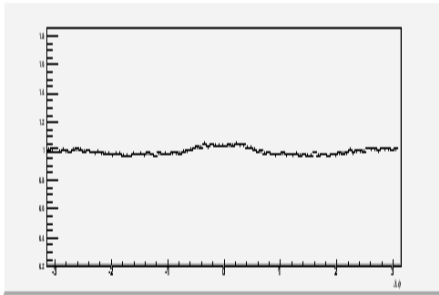


結果: 2粒子相関

Associate $0.2 < p_T < 2.0$

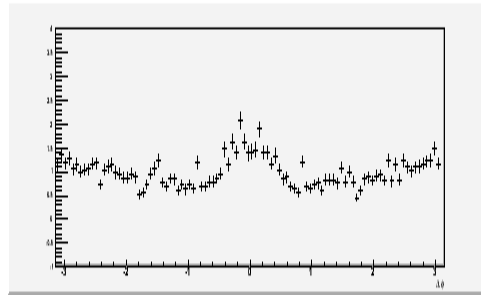
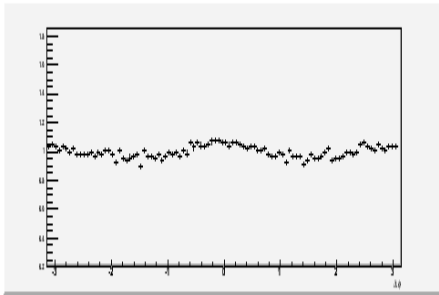
$2.0 < p_T$

Trigger
1-2GeV

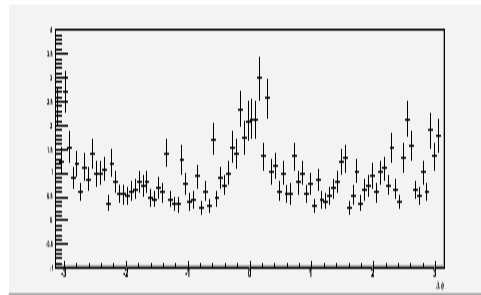
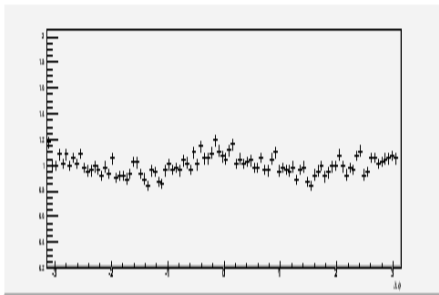


➤ Back-to-backの分布
→これまでのp+pの分布の形と似ている

2-3GeV



3-4GeV

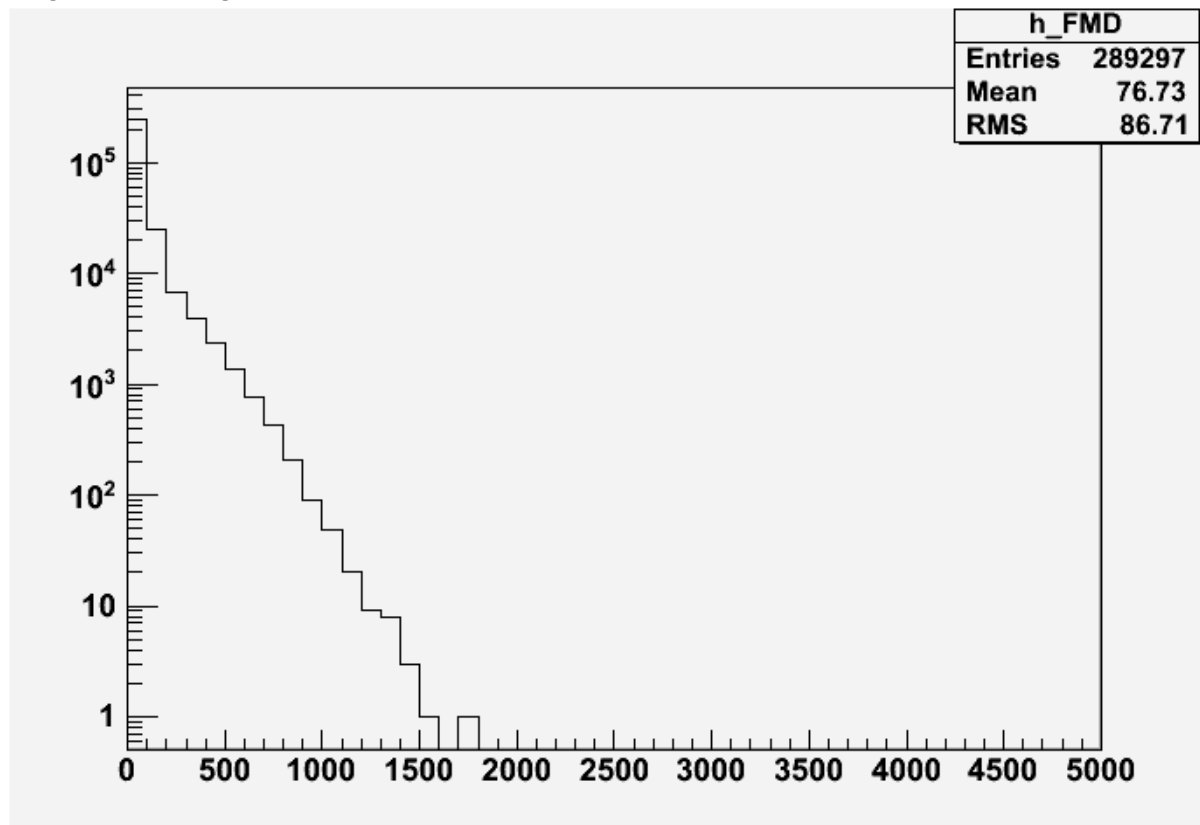


次に、
2粒子相関からflowを引いた分布
を見ていく。

V2=0、ZIAMで引き算
1triggerあたりに規格化

縦軸: ハドロン数
横軸: $\Delta\phi$

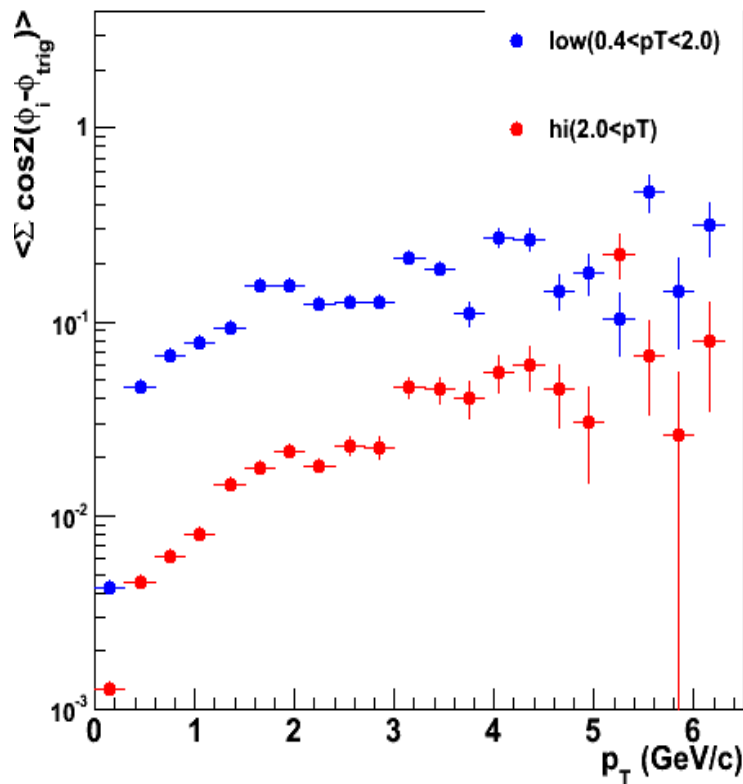
- FMDでfowordだけの multiplicity依存が測定できたらやってみる



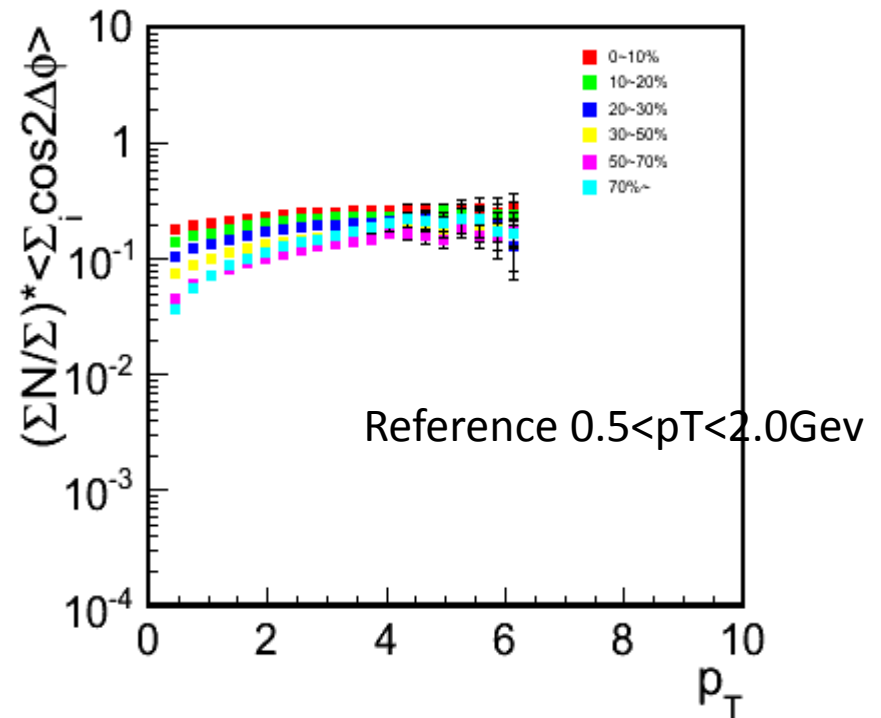
PHENIX実験Cu+Cu200GeVの結果と比べる

- p+pのlowとCu+Cuの周辺衝突では、よく似た形になっている。
- p+pのlowよりもCu+Cuの中心衝突が大きい値を示している
→異なった現象が起こっている(QGP生成or生成されていない)

ALICE p+p900GeV



PHENIX Cu+Cu200GeV



②累積方位角相関

$$\langle \sum_i \cos 2(\phi_{p_t} - \phi_i) \rangle = M v_2(p_t) \bar{v}_2 + \{\text{non-flow}\}$$

→flowと、jetなどの“non-flow”効果の足し合わせ

緑:p+p

赤: Au+Au

Au+Auの周辺衝突ではp+pとほぼ同じ

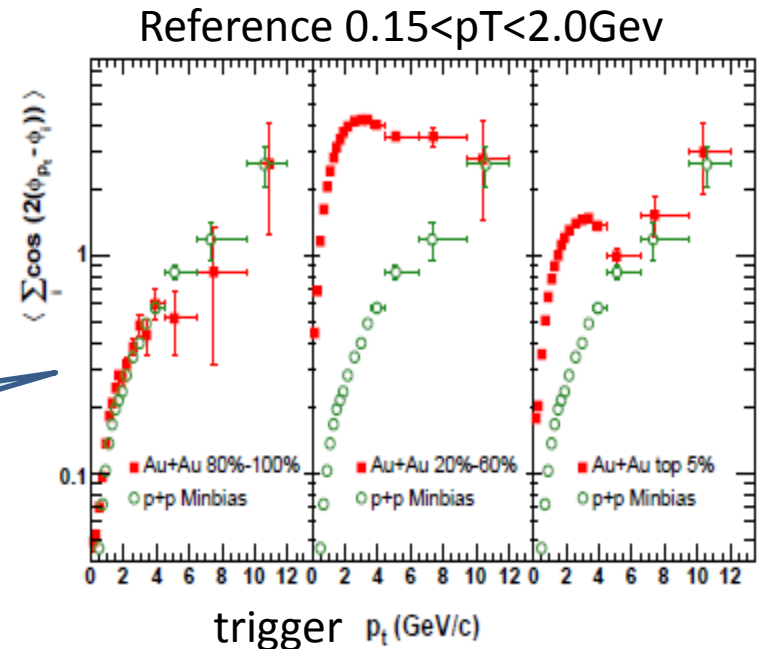
→“non-flow”効果

Au+Auは周辺衝突以外ではp+pより大きな値

→楕円的方位角異方性の効果

QGPが生成されていると考えられるcentralityで累積方位角相関の値が増加する

Reference粒子のpT領域を分けて測定することでSoft過程の効果とhard過程の効果を区別できると期待されている新しい解析方法



Arxiv:nucl-ex/0407007v3

Hard

jetなどの高い横運動量をともなう
粒子生成過程

Soft

Thermal emissionや
Quark recombinationなどの
粒子生成過程
高運動量粒子が少ない