

$\sqrt{s_{NN}}$ = 200 GeVのAu+Au衝突に
おける衝突初期形状の
eccentricityの核子の
内部構造依存性の研究

2021年度卒業研究発表会

渡部舞

2022/3/4

目次

- 研究背景
- 研究目的
- 物理用語
- 解析方法
- 結果
- まとめ

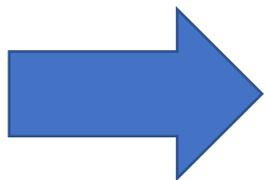
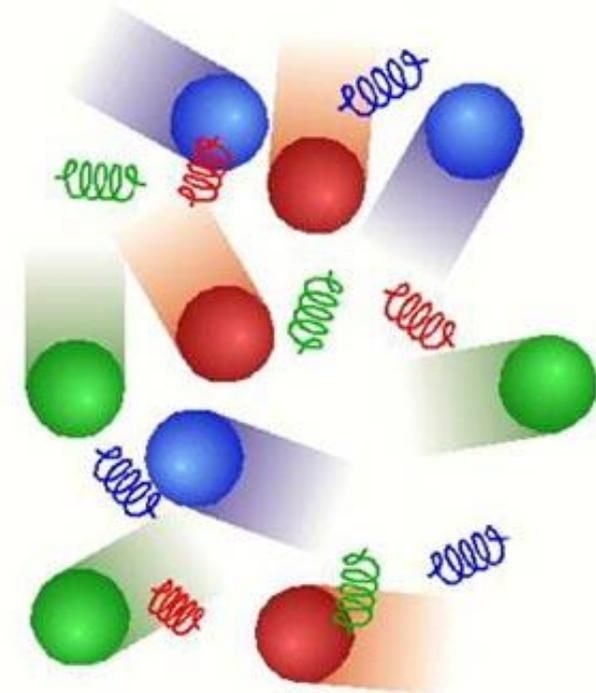
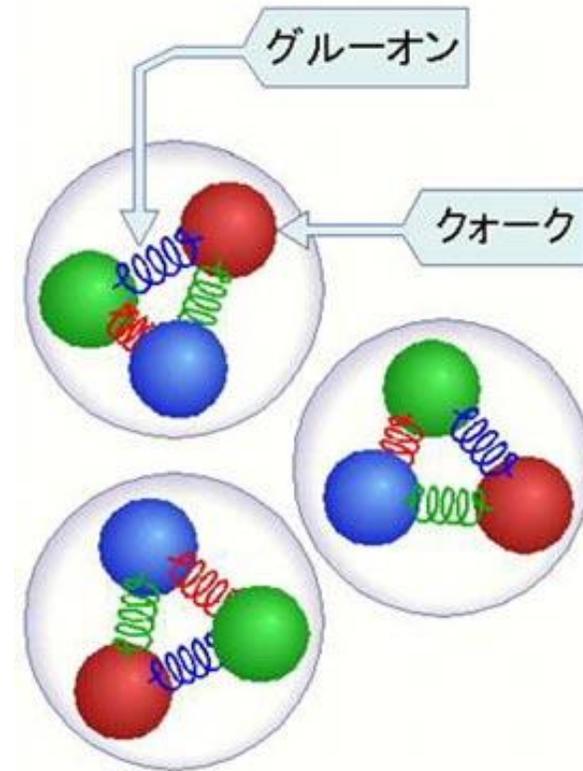
研究背景

- QGP
- PHENIX実験

QGP(クォーク・グルーオン・プラズマ)

クォークとグルーオンが核子の閉じ込めを破った超高温物質

宇宙初期に存在したと考えられている



QGPの性質を調べることで、宇宙初期の頃を知ることができる

RHIC加速器

米国ブルックヘブン国立研究所(BNL)に建設された加速器

陽子や金原子核など様々な粒子を
ほぼ光速まで加速させる
世界初の衝突型重イオン加速器



QGPを実験で再現する



PHENIX実験

RHIC加速器を用いた高エネルギー重イオン実験の1つ

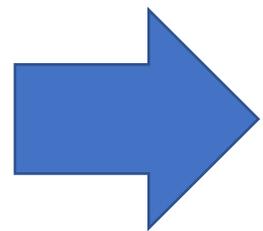
目的：QGPの性質の解明

2000年から2016年までデータ収集を行っていた

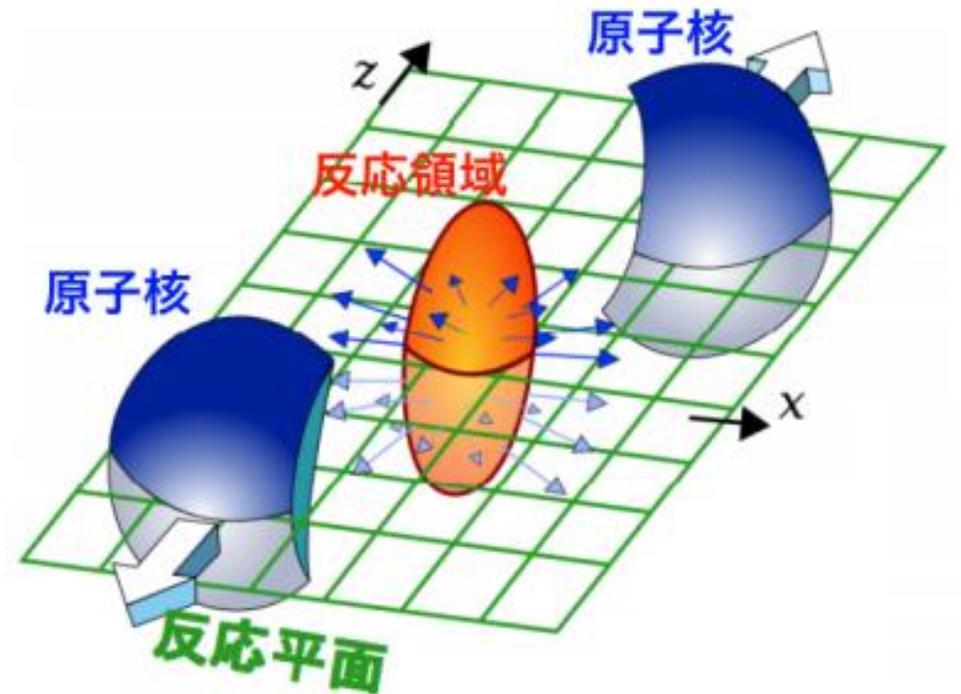
QGPと本研究の関係

反応領域からの放出粒子が一様に分布しない
「**方位角異方性**」はQGPの重要な性質の一つ

方位角異方性を表す量 v_2 はeccentricity
と関連している



eccentricityと v_2 の関係を調べることでQGPの性質を
解明する



物理用語

N_{part}

衝突に関与した核子(陽子と中性子)の数

N_{part_quark}

衝突に関与したパートンの数

N_{coll}

核子が衝突した回数(複数回衝突も含む)

N_{coll_quark}

パートンが衝突した回数 (複数回衝突も含む)

Participant eccentricity (ϵ_{part})

原子核の衝突部分の楕円率

計算式

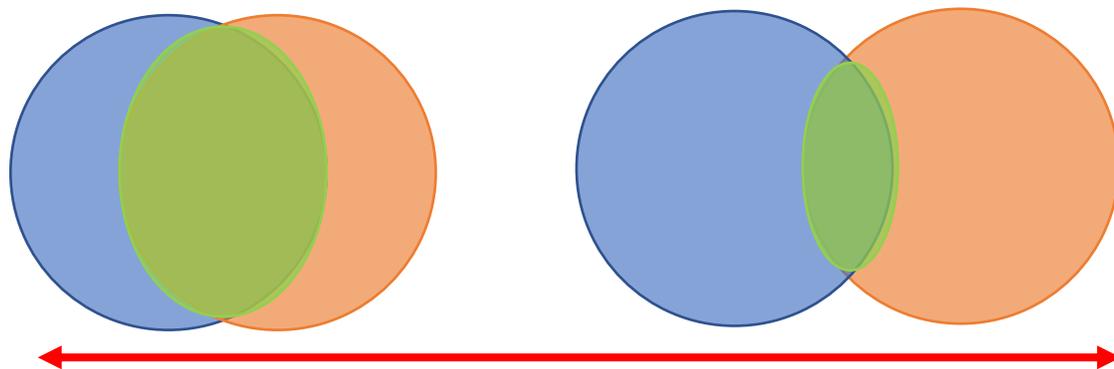
$$\epsilon_{part} = \frac{\sqrt{(\sigma_y^2 - \sigma_x^2)^2 + 4\sigma_{xy}^2}}{\sigma_y^2 + \sigma_x^2}$$

$$\sigma_x^2 = \{x^2\} - \{x\}^2$$

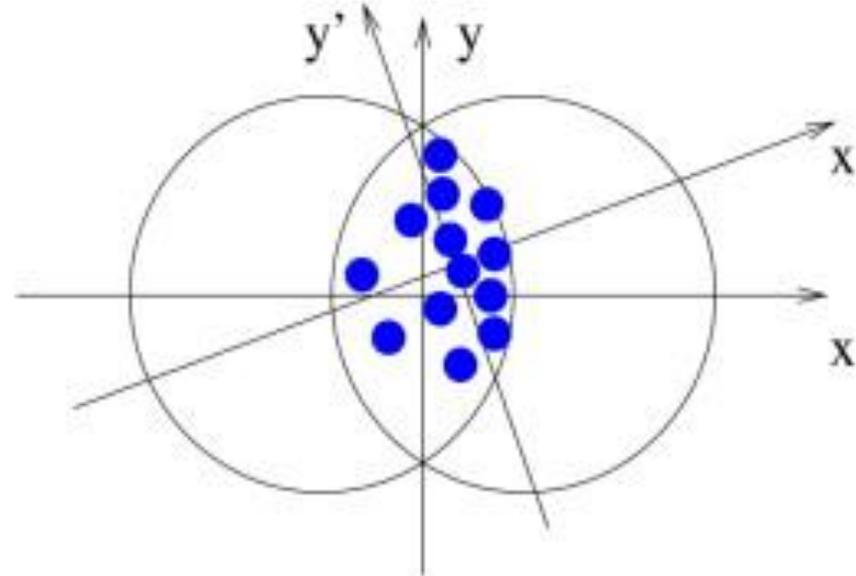
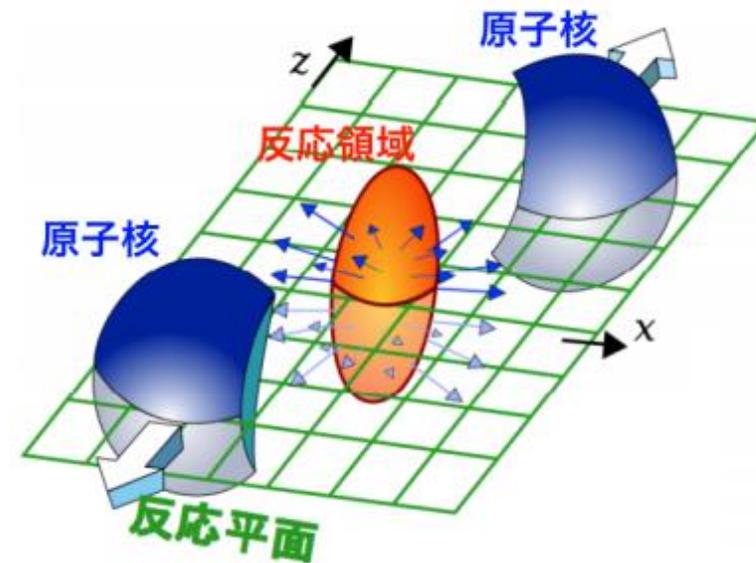
$$\sigma_y^2 = \{y^2\} - \{y\}^2$$

$$\sigma_{xy} = \{xy\} - \{x\}\{y\}$$

{ } : 一回の衝突での平均



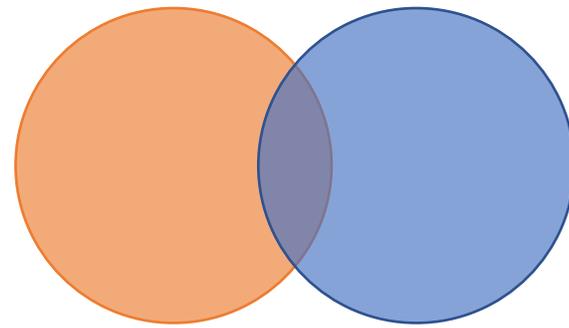
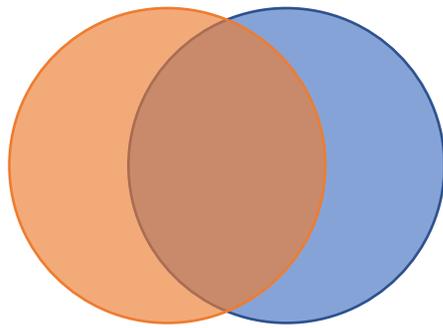
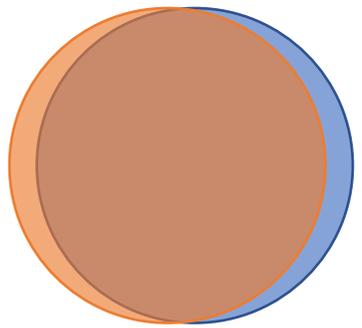
Participant eccentricity



参考文献 : Physics Letters B Volume 641, Issues 3-4, 12 October 2006, Pages 260-264

Centrality(中心衝突度)

衝突する原子核の重なり の程度を表す

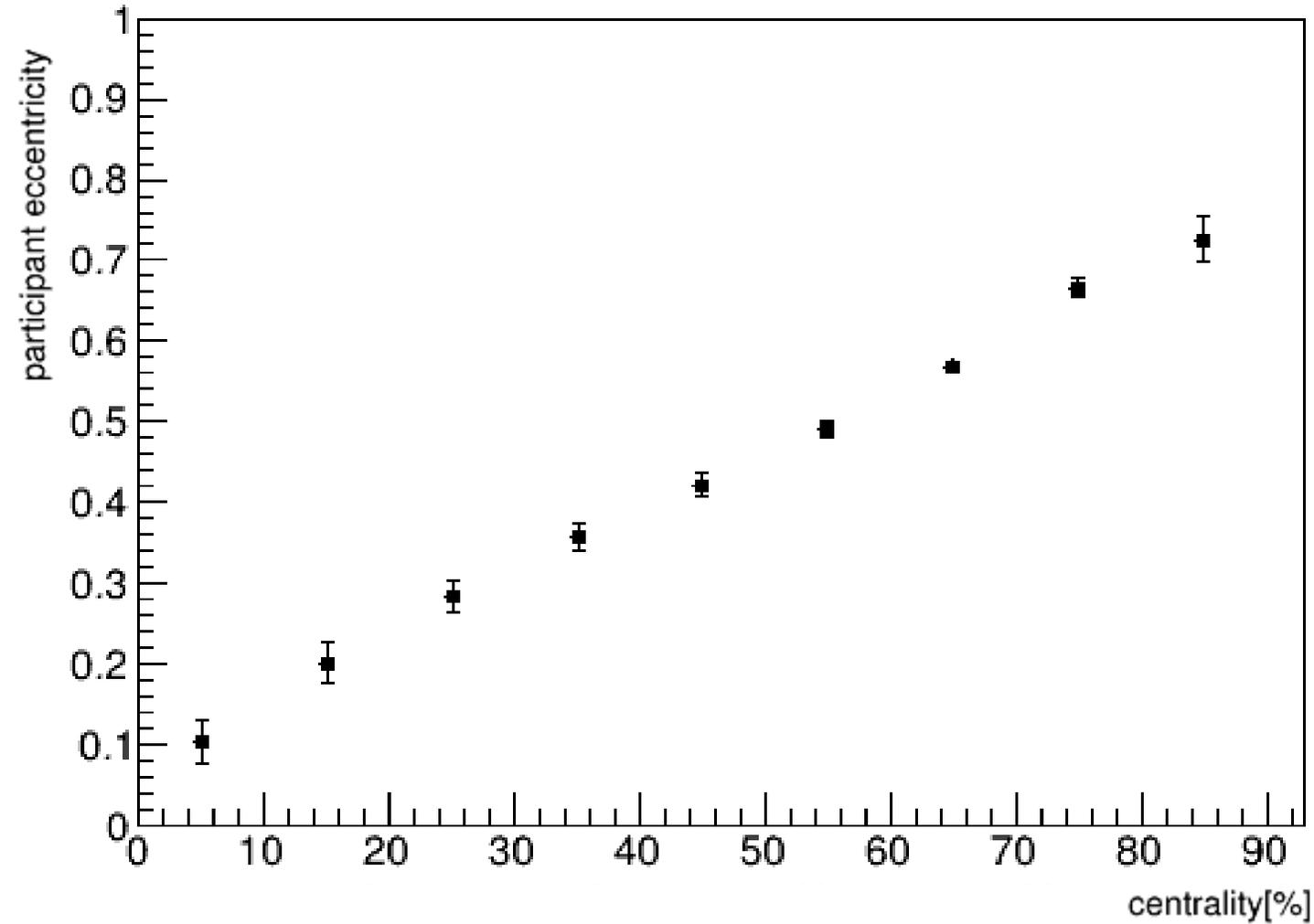


0%

centrality

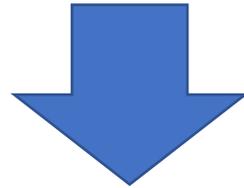
100%

Centrality と participant eccentricity の関係



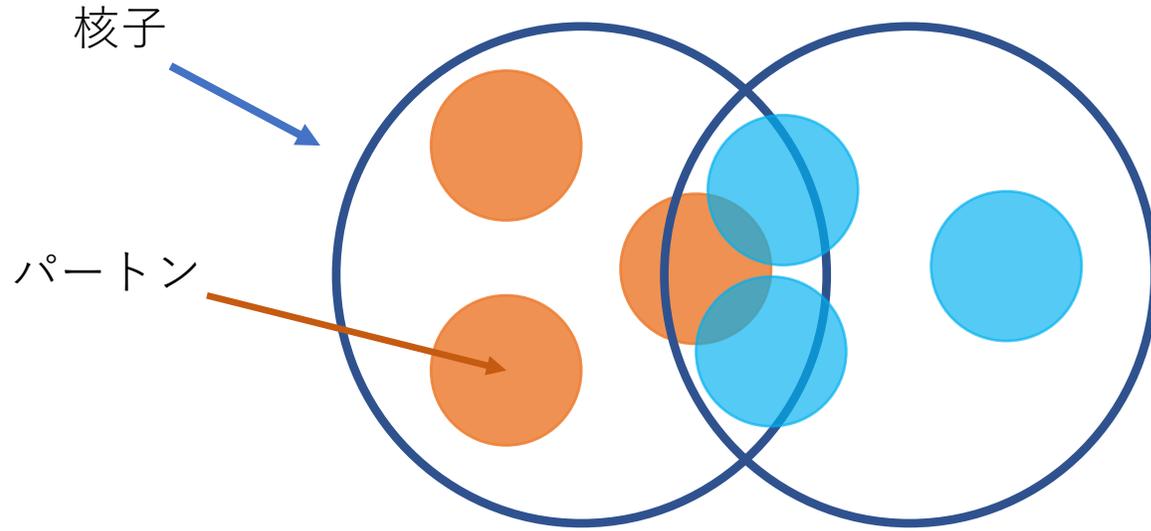
研究目的

核子の内部構造がeccentricityにどのような影響を及ぼすか
検討する



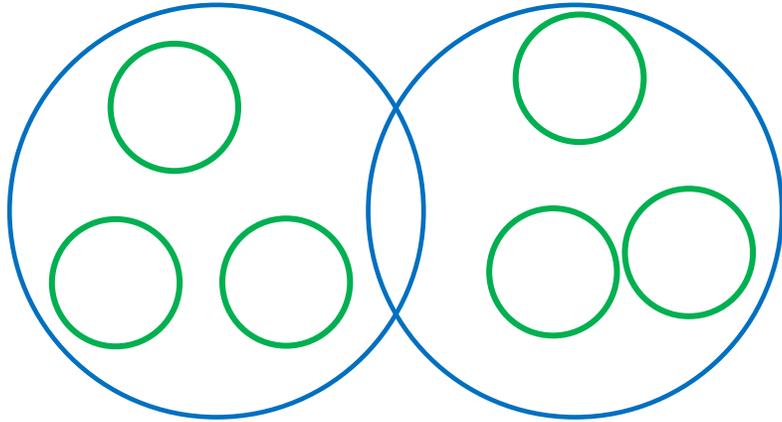
様々な条件でシミュレーションを行い、内部構造の影響を検討する

内部構造の影響

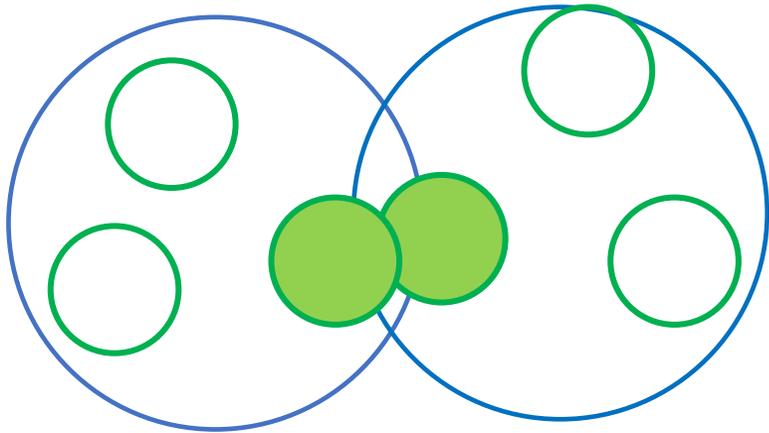


Eccentricityを計算する際、核子の座標を使った場合とパートンの座標を使った場合に違いがあるため、 N_{part_quark} , N_{coll_quark} による影響を調べる

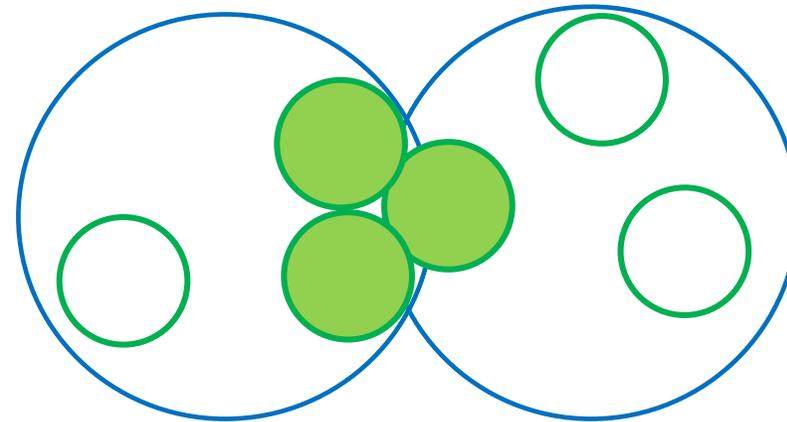
内部構造の影響



核子が衝突していても内部のパートンは衝突していないことがある。本研究ではこの場合衝突していないものとする。



計算には2つのパートンの座標を用いる



計算には3つのパートンの座標を用いる

シミュレーションの手順

原子核を作成



衝突した核子の判断(仮のNpartも記録しておく)



衝突した核子内部にパートンを作成



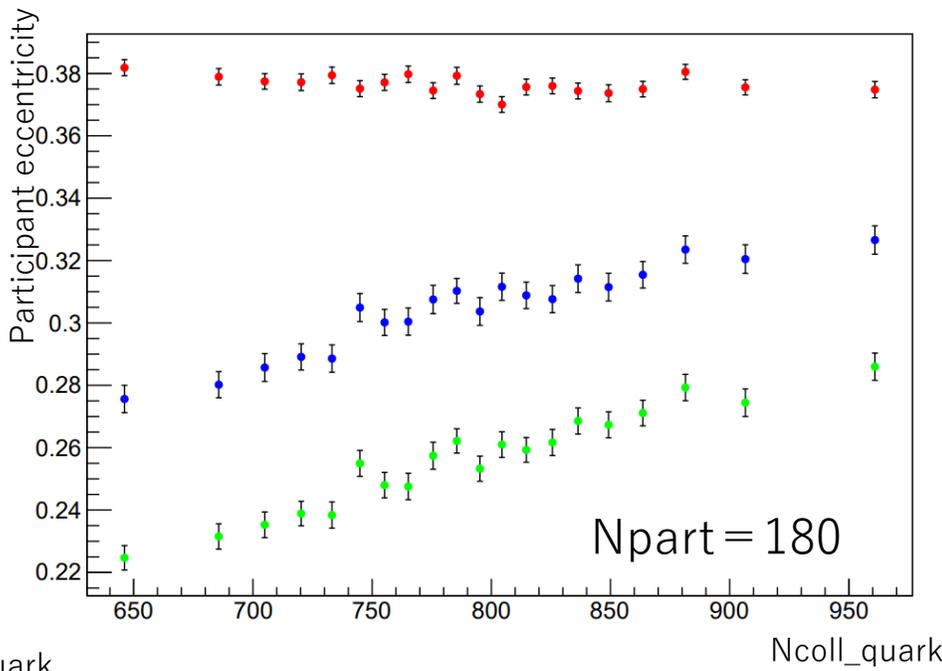
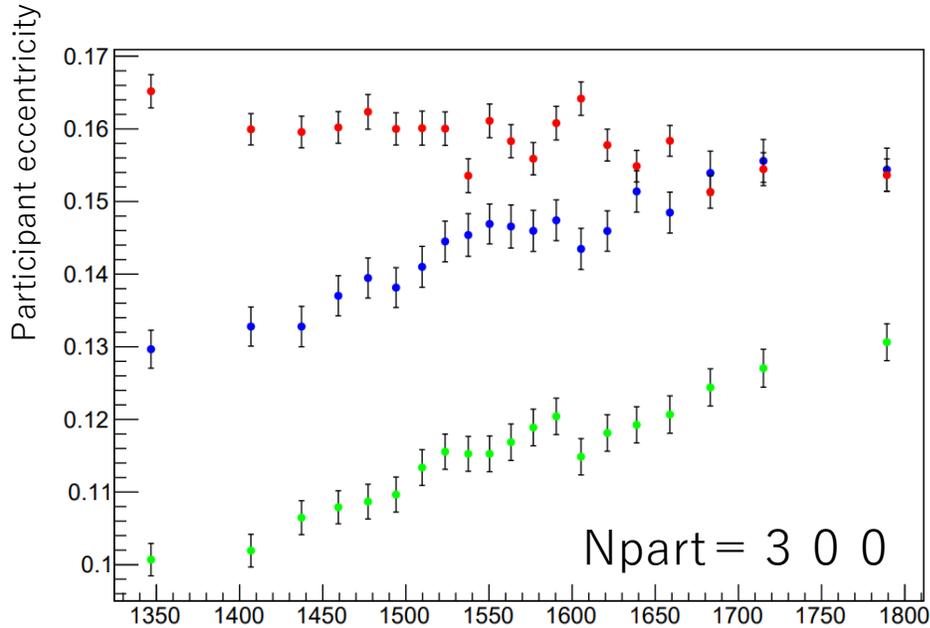
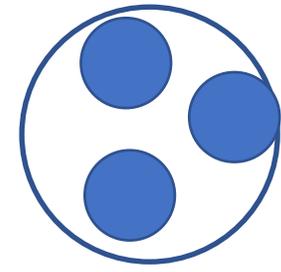
衝突したパートンの判断(N_{coll_quark} 、 N_{part_quark} 、真のNpartを記録)



Eccentricityを計算する

結果：内部構造の影響

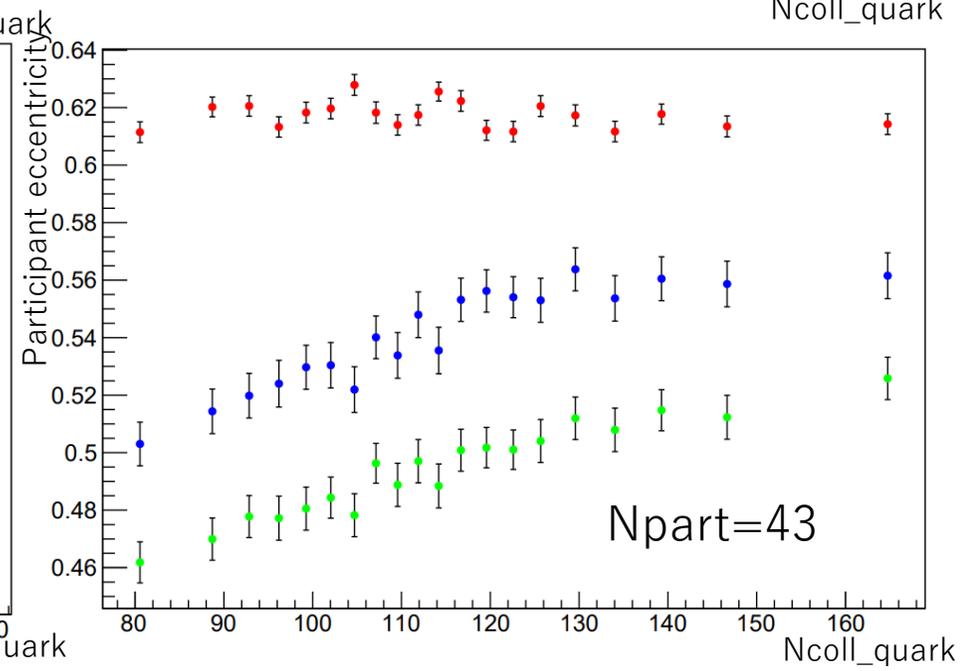
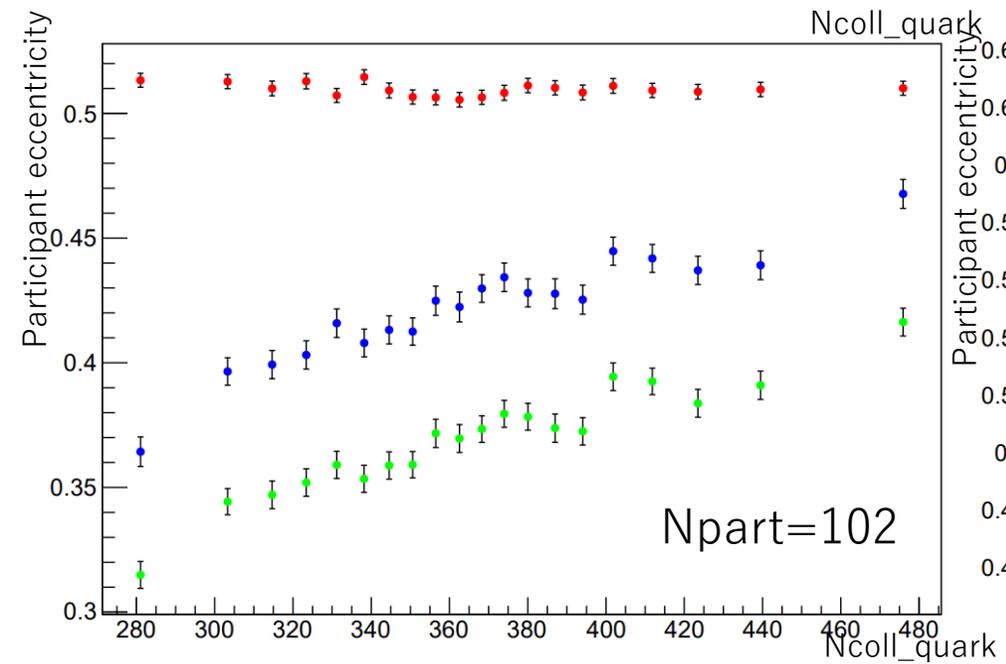
パートン3つ



●: 核子の座標(パートンが1つも衝突しなかったものは除く)

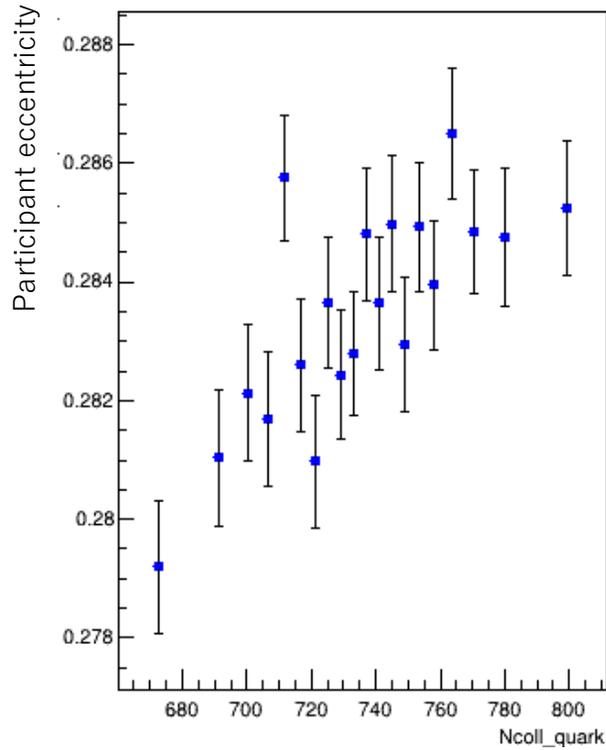
●: パルトンの座標

●: 核子の座標(パートンが1つも衝突しなかった場合も含む)

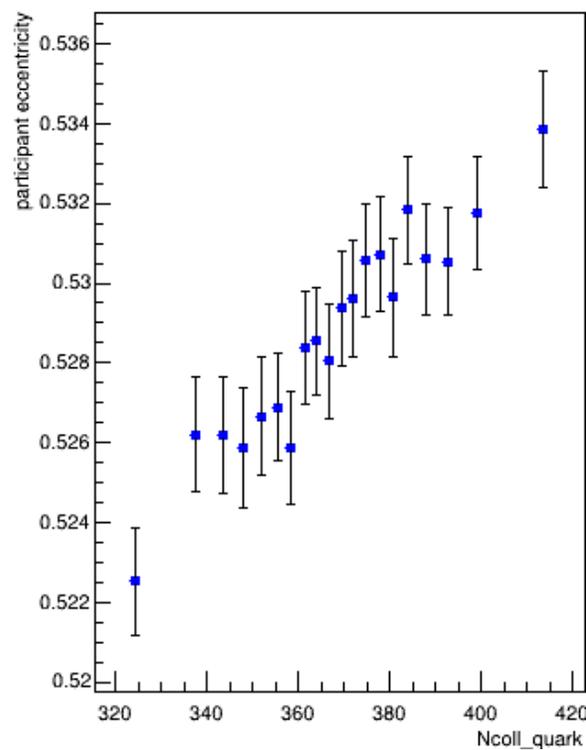


eccentricityは内部構造の影響を受ける

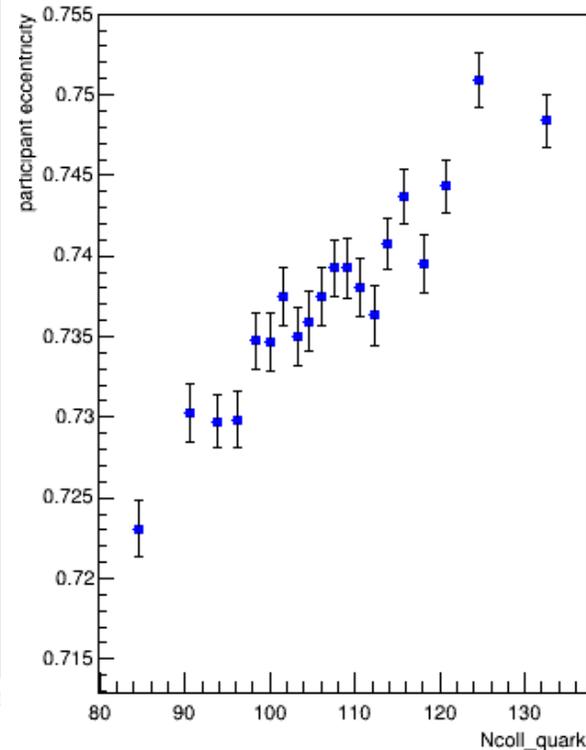
結果： N_{coll_quark} による影響



Npart=180



Npart=102



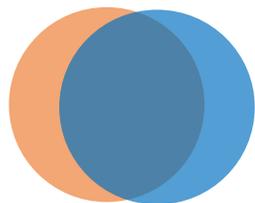
Npart=43

N_{coll_quark} が増えるほど、eccentricityも大きくなる傾向

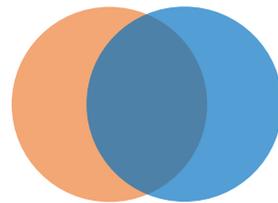
核子のeccentricity : 0.239

0.456

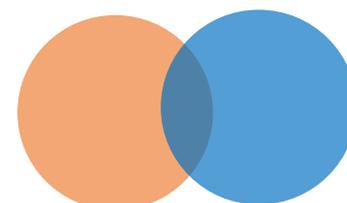
0.683



20%



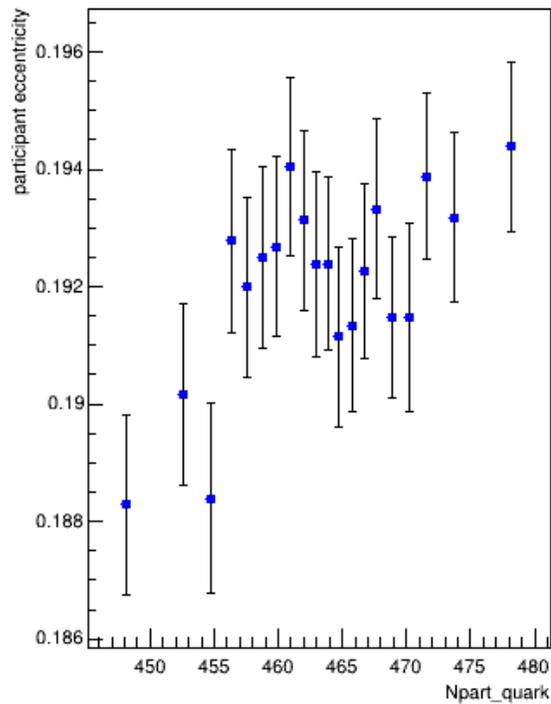
40%



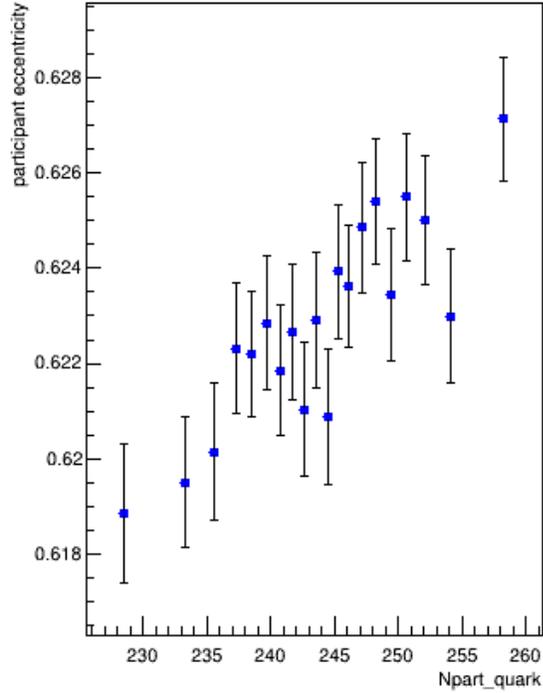
60%

centrality

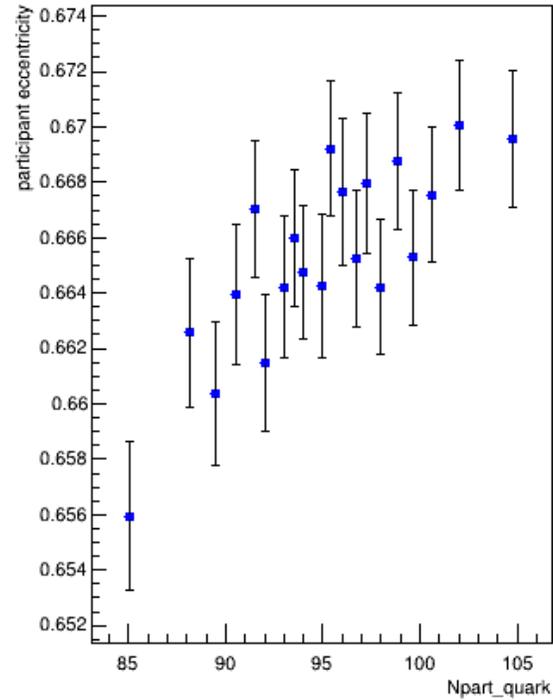
結果： N_{part_quark} による影響



Npart=180



Npart=102



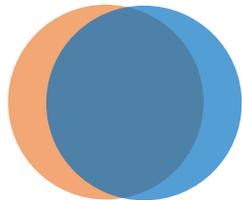
Npart=43

N_{part_quark} が増える
ほど、eccentricity
も大きくなる傾向

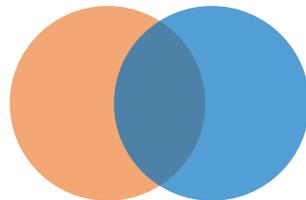
核子のeccentricity：0.141

0.572

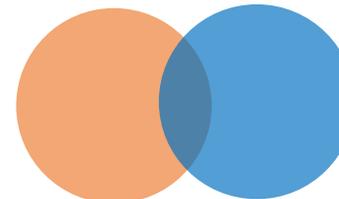
0.640



20%



40%



60%

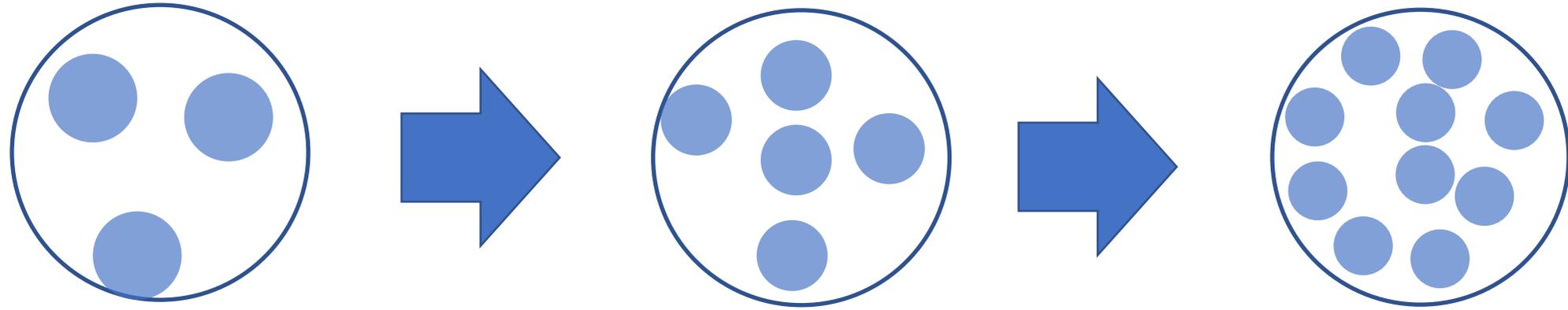
centrality

N_{coll_quark} とほぼ同じ結果



N_{coll_quark} と N_{part_quark} による大きな影響の違いない

パートンの数を増やす

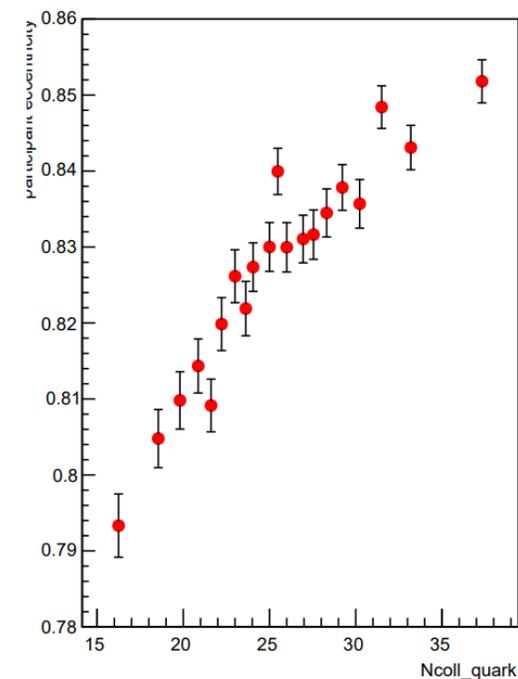
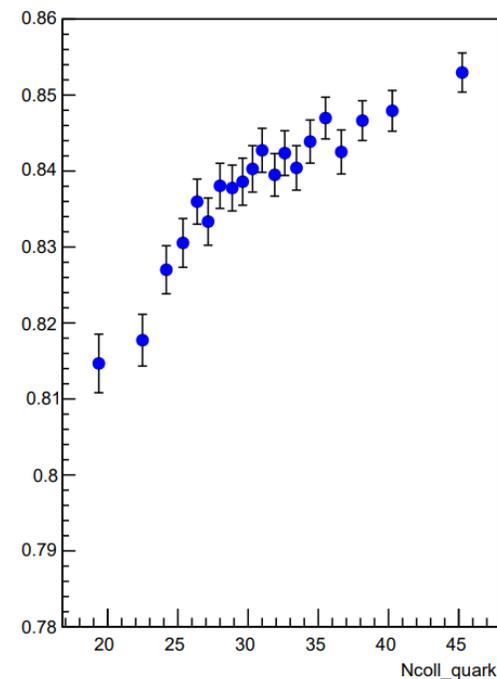
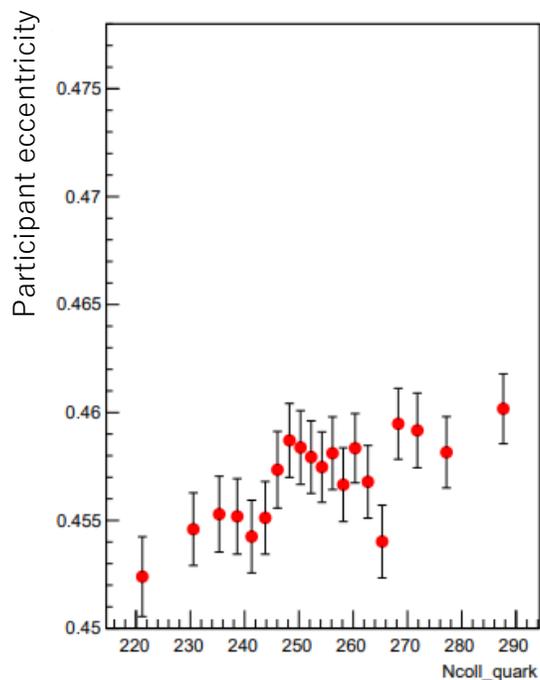
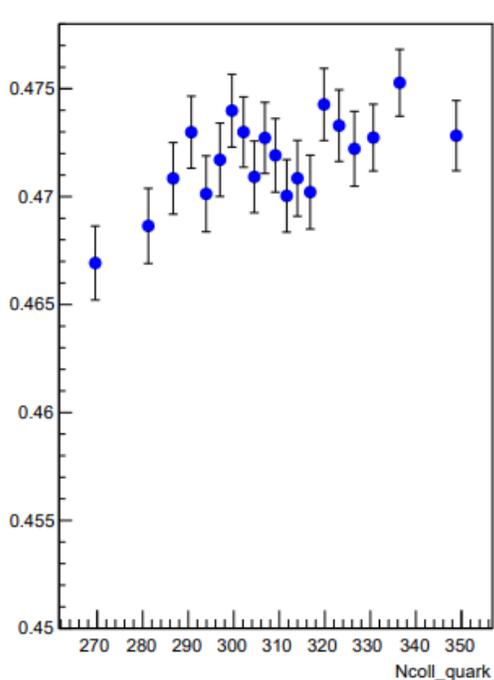


パートンの数		
3個	5個	10個
パートンの衝突反応断面積		
8.1[mb]	3.6[mb]	0.9[mb]

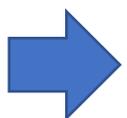
パートン 5 個と 3 個の比較

● : パートン 5 個

● : パートン 3 個



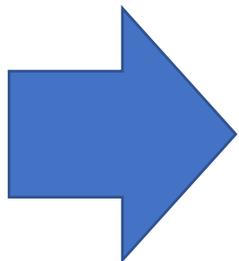
核子, Npart を固定し、パートンの数のみを変えて比較



- パートンの数を変えてもグラフの形はほぼ同じ
- パートン 5 個のほうがeccentricityの平均は大きいことが多い

パートンが5個と3個のときのeccentricityの違い

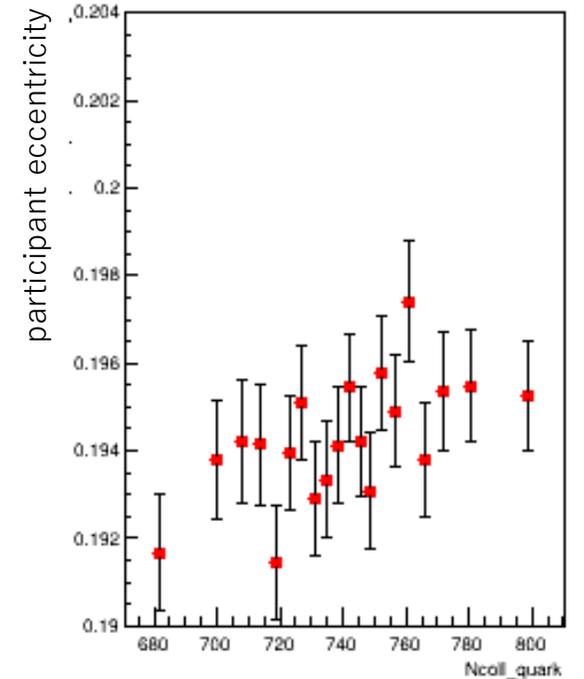
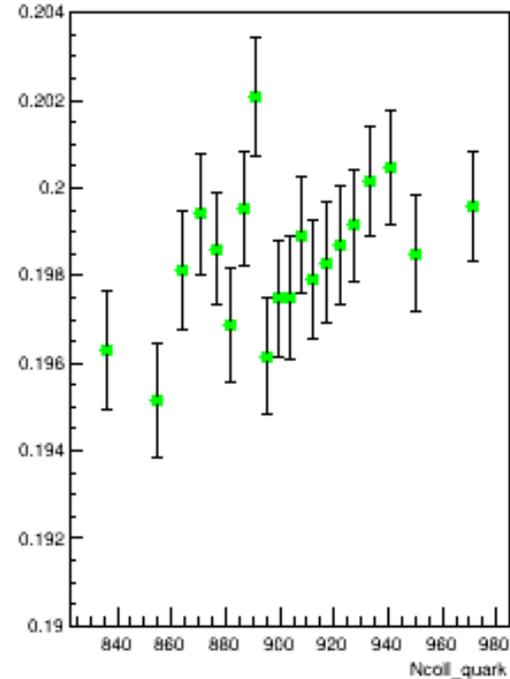
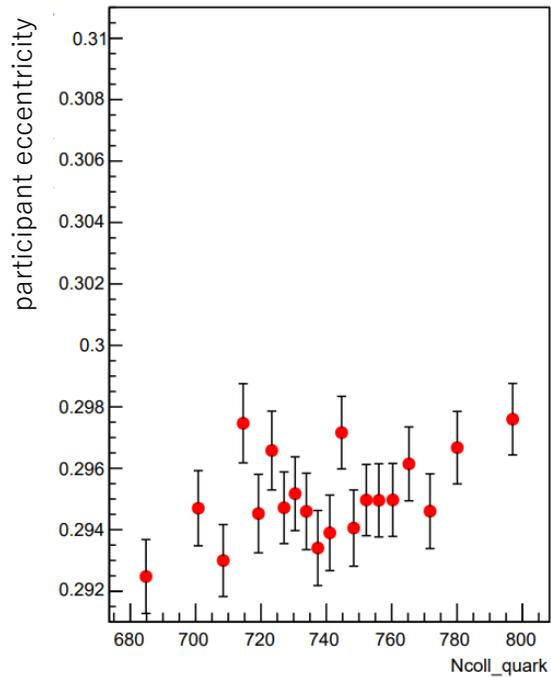
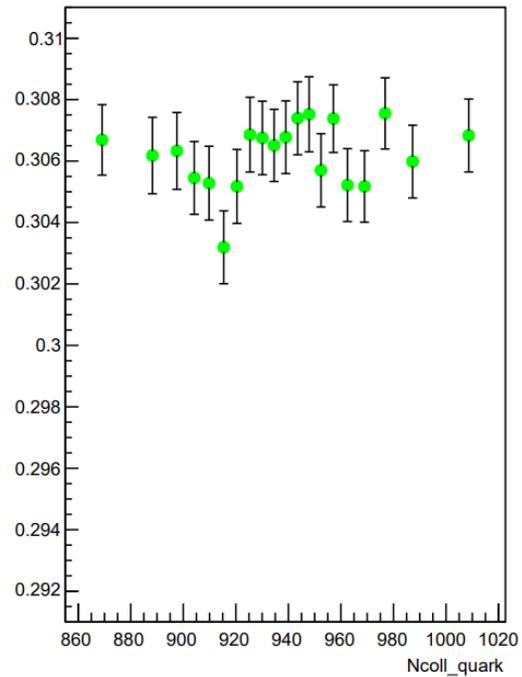
Npart	0 ~ 50 (centrality小)		51 ~ 100		101~150		151~200		201~250 (centrality大)	
	確率	差の割合	確率	差の割合	確率	差の割合	確率	差の割合	確率	差の割合
3個のほうが大きい	35%	2.5%	34%	1.3%	23%	1.7%	21%	1.2%	18%	0.62%
5個のほうが大きい	65%	1.2%	66%	2.0%	77%	1.9%	79%	2.2%	82%	2.3%



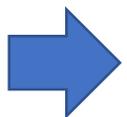
- どのcentralityでもパートン5個のほうがeccentricityは大きくなる
- centralityによってパートンによるeccentricityの差に相関は見られない

パートン10個と3個の比較

●: パートン10個 ●: パートン3個



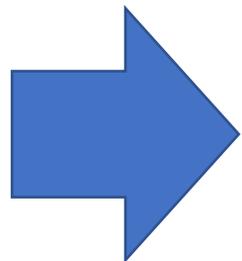
核子, Npartを固定し、パートンの数のみを変えて比較



- 5個の時と同様にパートンの数を変えてもグラフの形はほぼ同じ
- パートン10個のほうがeccentricityの平均は大きいことが多い

パートンが10個と3個のときのeccentricityの違い

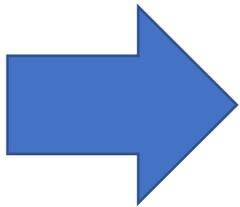
Npart	0 ~ 50		51 ~ 100		101~150		151~200		201~250	
	確率	差の割合	確率	差の割合	確率	差の割合	確率	差の割合	確率	差の割合
3個のほうが大きい	42%	1.9%	38%	2.2%	38%	2.1%	29%	2.5%	26%	2.2%
10個のほうが大きい	58%	2.6%	62%	2.1%	62%	2.8%	71%	2.6%	74%	3.3%



- ・傾向は5個の時の比較のものとはほぼ同じ
- ・5個の方が大きくなる場合の差の割合の平均は1.72%,10個の方が大きくなる場合の差の割合の平均は2.68%になった(全Npartでのeccentricityの差の割合の平均)
→パートンが多くなるほうがeccentricityは大きくなる

まとめ

- eccentricityは内部構造の影響を受ける
- N_{coll_quark} と N_{part_quark} による違いはほぼない
- パーтонаの数が多いほどeccentricityは大きくなる
 - パートン3個と5個の差は平均1.72%
 - パートン3個と10個の差は平均2.68%



パーтонаの数によりeccentricityは変化するが、わずかな差のため実験で違いは見られないと考えられる

今後の課題

- ・ 今回の研究でシミュレーション結果のeccentricityと実際の実験データの v_2 の相関を調べる。

Back up

[1]

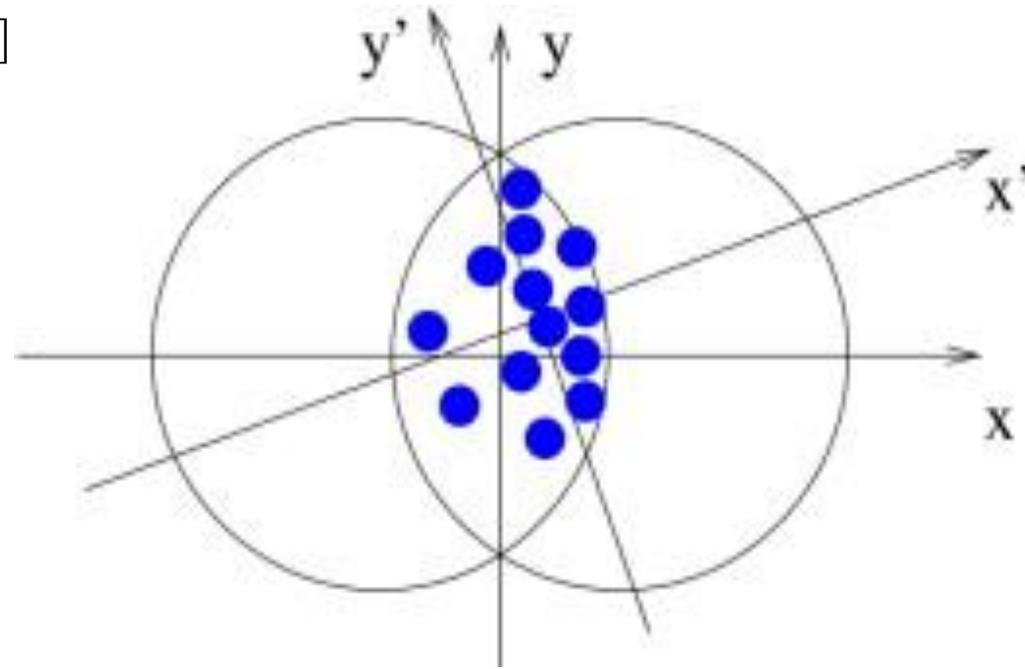


Fig. 1. Schematic view of a collision of two identical nuclei, in the plane transverse to the beam direction (z-axis). The x- and y-axes are drawn as per the standard convention. The dots indicate the positions of participant nucleons. Due to fluctuations, the overlap zone could be shifted and tilted with respect to the (x,y) frame. x' and y' are the principal axes of inertia of the dots.

standard eccentricity

図のx軸、y軸を基準に楕円率を求めるもの。

$$\epsilon_s = \frac{\langle y^2 - x^2 \rangle}{\langle y^2 + x^2 \rangle}$$

$\langle \rangle$: 同じインパクトパラメーターでの平均

Participant eccentricity

図のように楕円に合わせた x' 軸、 y' 軸を基準に楕円率を求めるもの。

$$\sigma_x^2 = \{x^2\} - \{x\}^2$$

$$\sigma_y^2 = \{y^2\} - \{y\}^2$$

$$\sigma_{xy} = \{xy\} - \{x\}\{y\}$$

$\{ \}$: 一回の衝突での平均

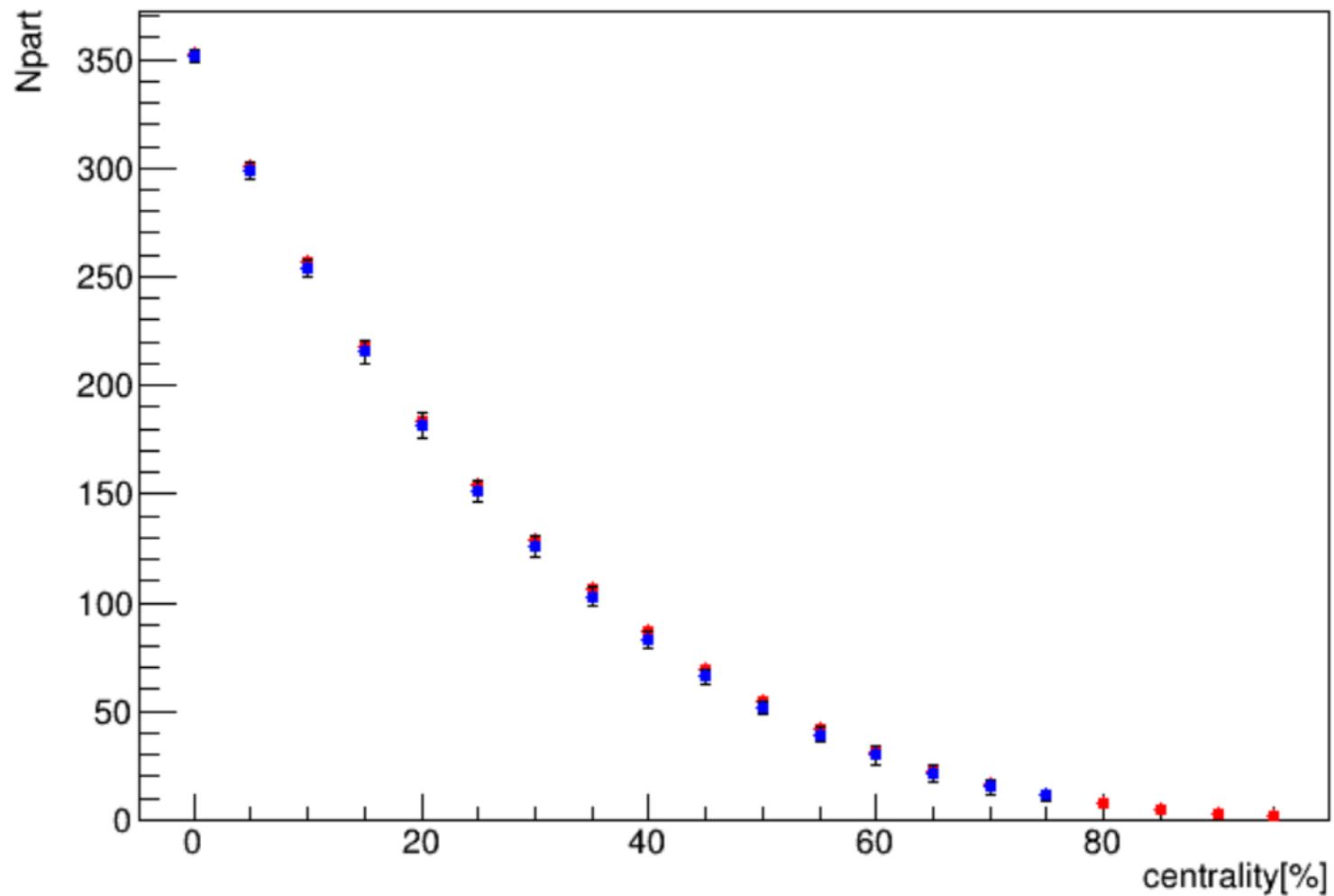
$$\epsilon_{part} = \frac{\sqrt{(\sigma_y^2 - \sigma_x^2)^2 + 4\sigma_{xy}^2}}{\sigma_y^2 + \sigma_x^2}$$

パートンの数と衝突反応断面積

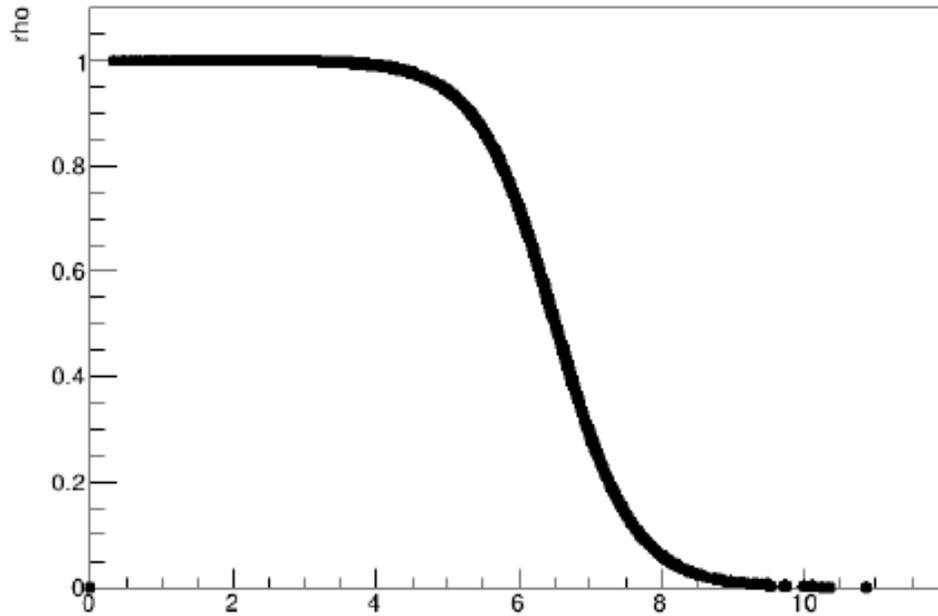
\sqrt{s} (TeV)	0.019	0.2	2.76	5.02	7	13
σ_{NN} (mb)	33	42	64	70	74	78
N_c	σ_{cc} (mb)					
3	6.3	9.2	18.3	21.1	23.0	25.2
3*	5.8	8.1	15.5	17.9	19.7	21.6
5	2.4	3.6	8.4	10.3	11.4	12.7
7	1.2	1.9	4.6	5.7	6.5	7.4
10	0.6	0.9	2.2	2.8	3.3	3.8
20	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7	0.8

TABLE II: Values used for σ_{NN} at various $\sqrt{s_{NN}}$ at nucleon level, as well as corresponding N_c and σ_{cc} parameters at sub-nucleon level. The modified case is indicated with * (see text).

Centrality と Npart の関係



Woods-Saxson型



原子核半径 $1.18 \times 197^{\frac{1}{3}} = 6.86$
陽子半径 0.876

$$\rho(r) = \frac{\rho_0}{1 + e^{(r-R)/a}}$$

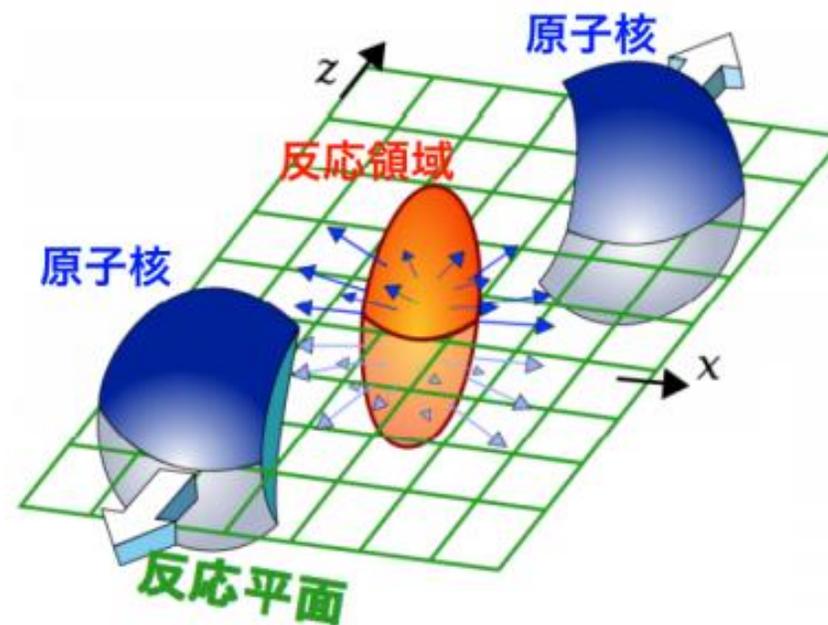
$$\rho_0 = 1, R = 1.18 \times A^{1/3} - 0.48 [fm], a = 0.54 [fm]$$

方位角異方性 (v_2)

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

ϕ :生成粒子の方位角

Ψ :反応平面の方位角



内部構造の影響を調べるために、Npartと核子の位置を固定して考える。

