高エネルギー重イオン衝突反応における流体揺らぎの影響

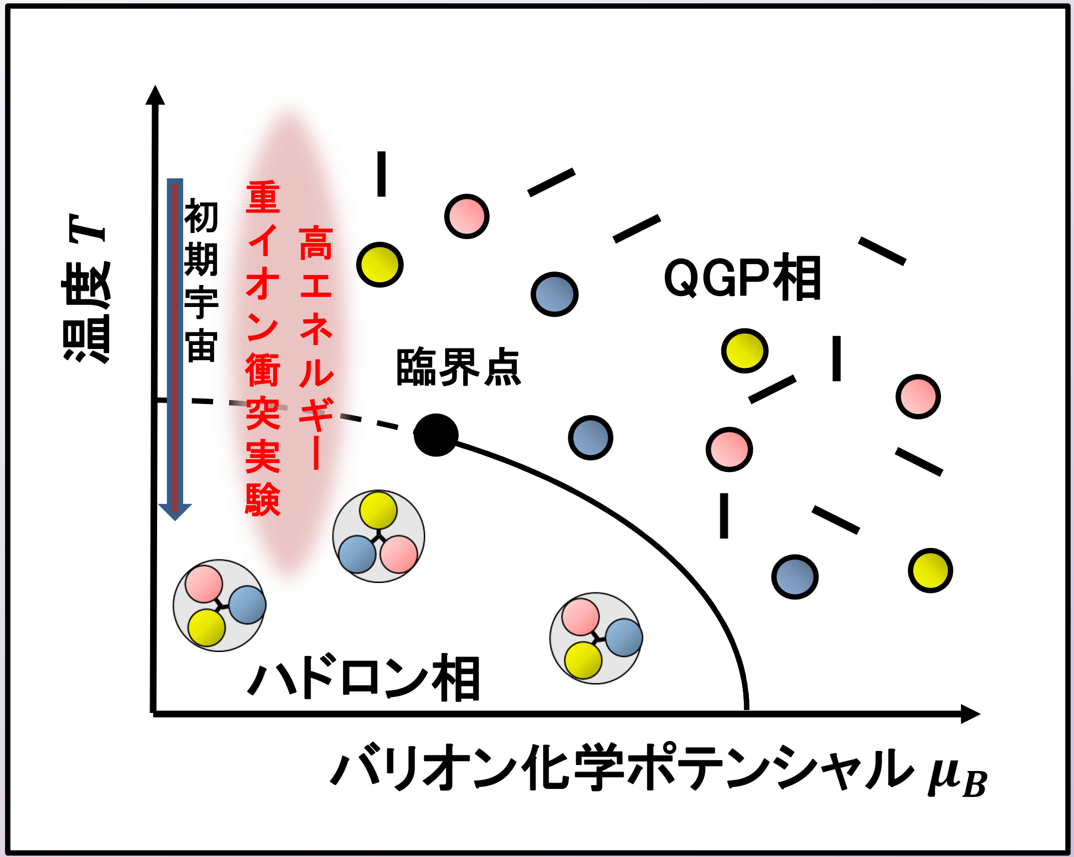
上智大学
坂井あづみ

Heavy Ion Pub

2021年6月4日

目次

QCD物質の物性研究



予想されるQCD相図

<u>ハドロン相</u>

カラーの閉じ込め

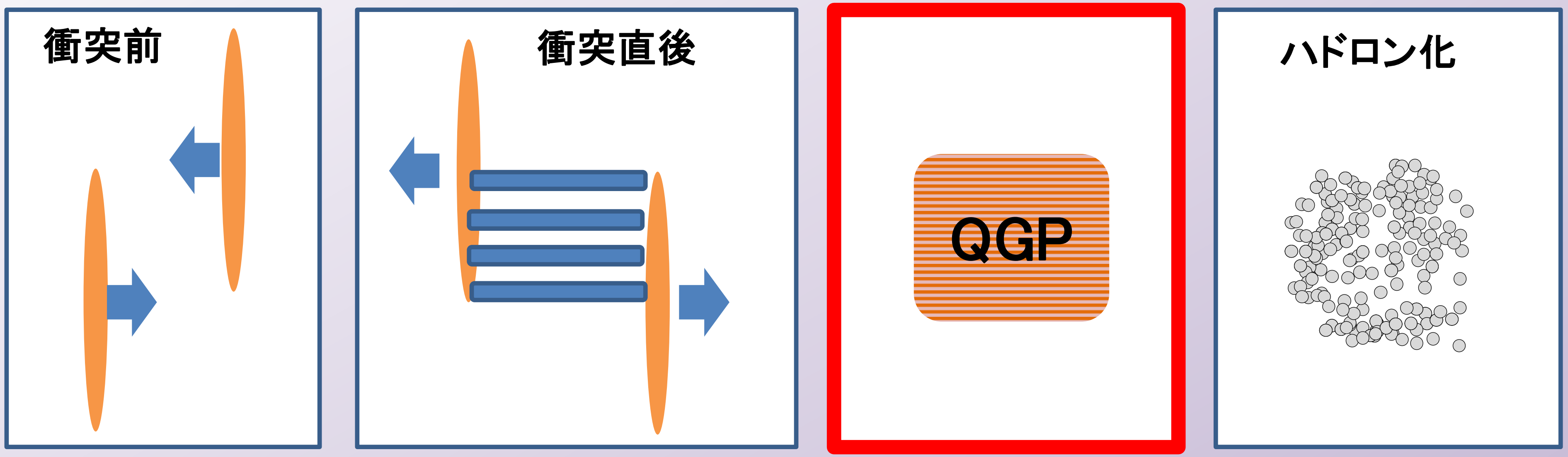
<u>クォークグルーオンプラズマ(QGP)相</u>

カラーの閉じ込めから解放

- 初期宇宙
- 中性子星内部
- <u>高エネルギー重イオン衝突実験</u>

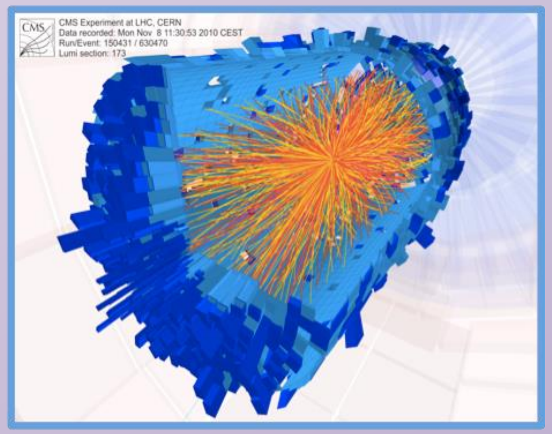
→ QGPの物性研究

高エネルギー重イオン衝突反応の衝突過程



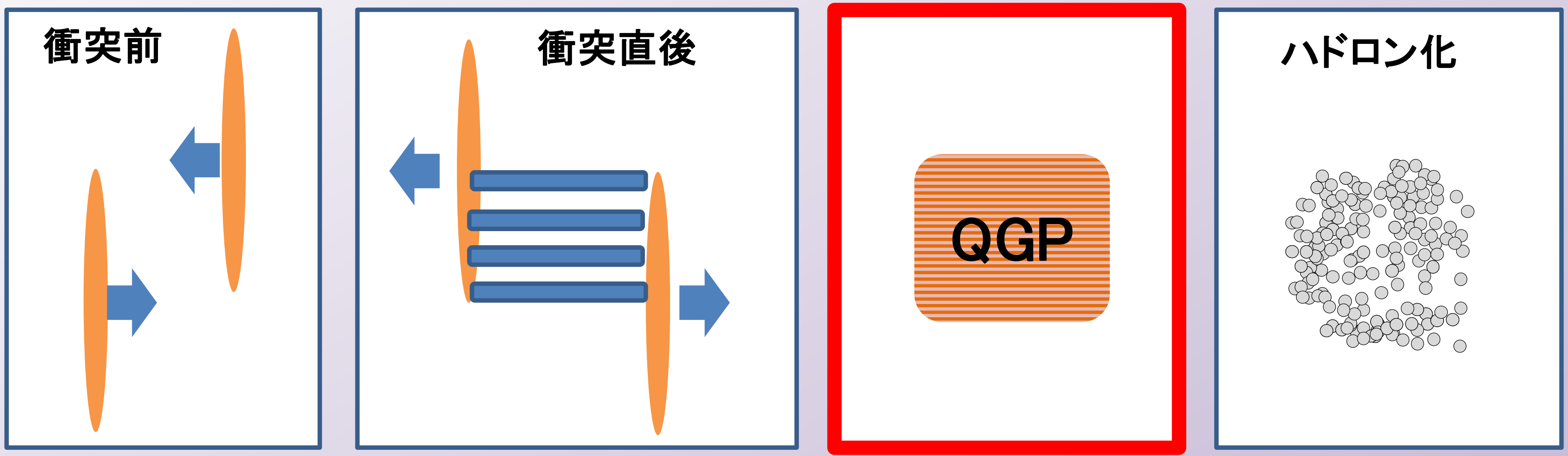
測定

http://wl33.web.rice.edu/research.html



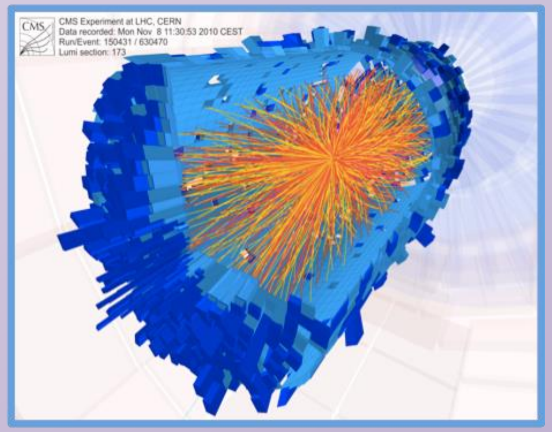
光速近くまで加速 ローレンツ収縮	すり抜け カラーフラックス チューブ生成	QGPは数fm/cで **<u>ハドロン化</u>**	測定量: **ハドロンの種類や運動量**

高エネルギー重イオン衝突反応の衝突過程



測定

http://wl33.web.rice.edu/research.html

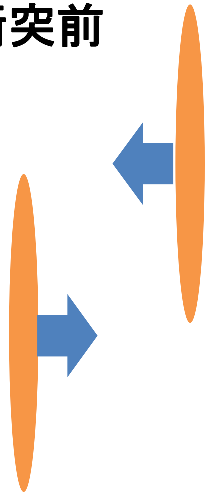


光速近くまで加速 ローレンツ収縮	すり抜け カラーフラックスチューブ生成	QGPは数fm/cで **ハドロン化**	測定量： ハドロンの種類や運動量

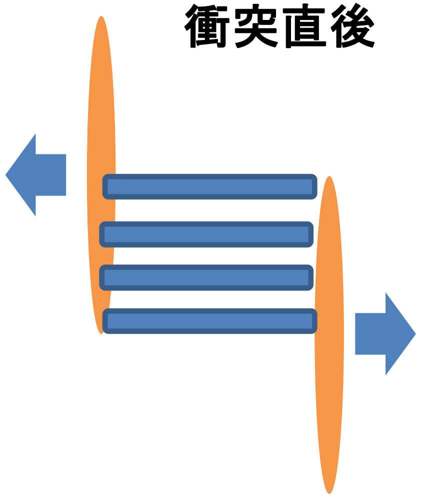
QGPの物性？

高エネルギー重イオン衝突反応の衝突過程

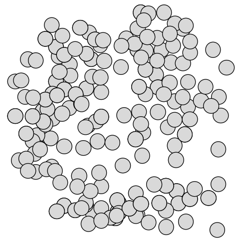
衝突前



衝突直後

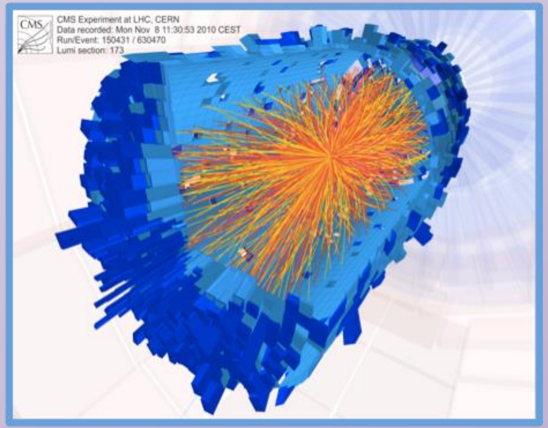


ハドロン化



測定

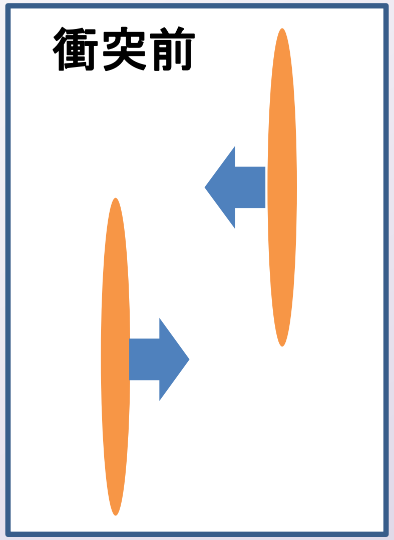
http://wl33.web.rice.edu/research.html

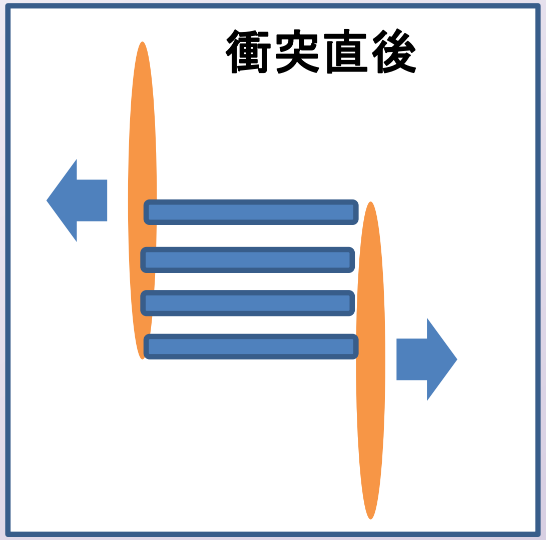


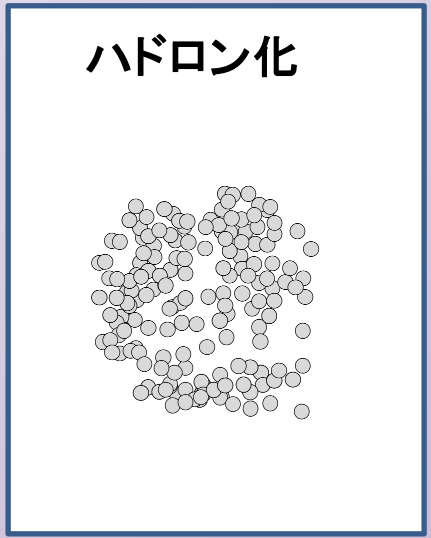
光速近くまで加速 ローレンツ収縮	すり抜け カラーフラックスチューブ生成	QGPは数fm/cで **<u>ハドロン化</u>**	測定量: **ハドロンの種類や運動量**

<u>統合的動的模型</u>　初期条件　流体模型　ハドロンカスケード　測定量

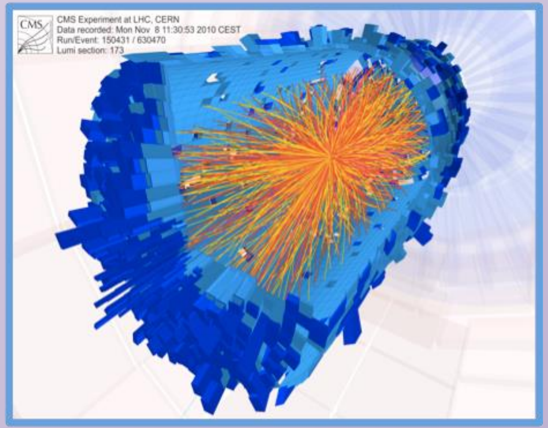
高エネルギー重イオン衝突反応における揺らぎ







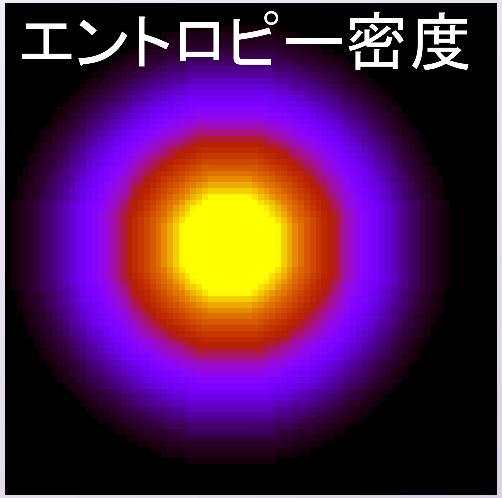
測定　http://wl33.web.rice.edu/research.html



統合的動的模型　｜　初期条件　｜　流体模型　｜　ハドロンカスケード　｜　測定量

初期揺らぎ　**流体揺らぎ**

初期揺らぎ

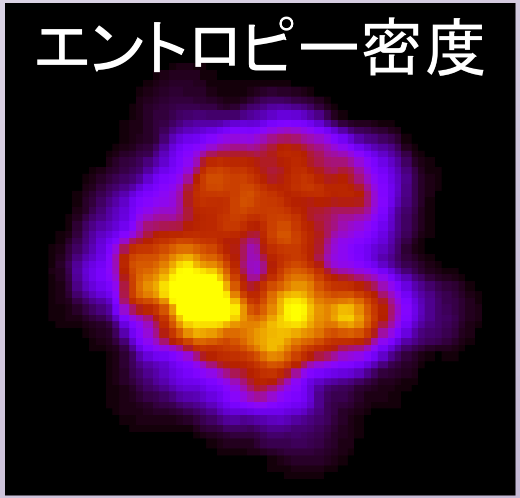


⊙ 衝突軸

中心衝突
滑らかな分布

初期揺らぎ

衝突事象毎に
核子分布を考慮



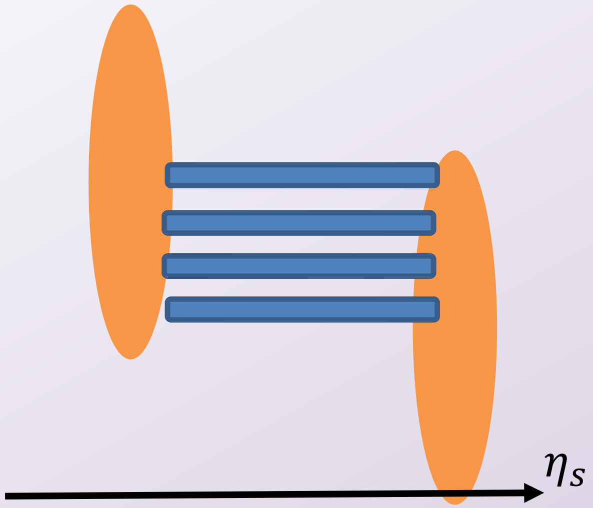
⊙ 衝突軸

中心衝突
ホットスポットが存在

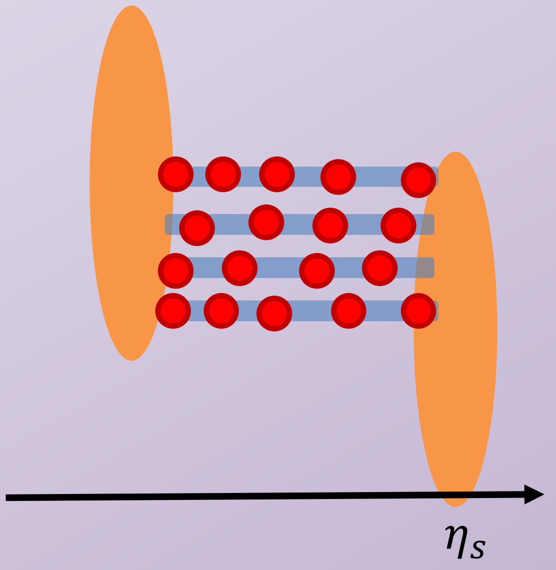
初期揺らぎ⇒フローの理解

B. Alver, G. Roland, Phys. Rev. C 81, 054905 (2010)

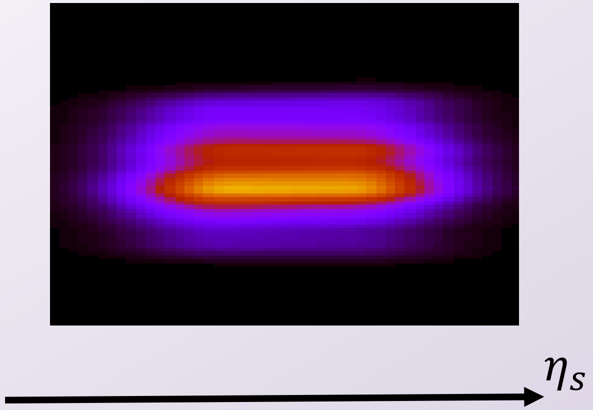
衝突軸方向の初期揺らぎ



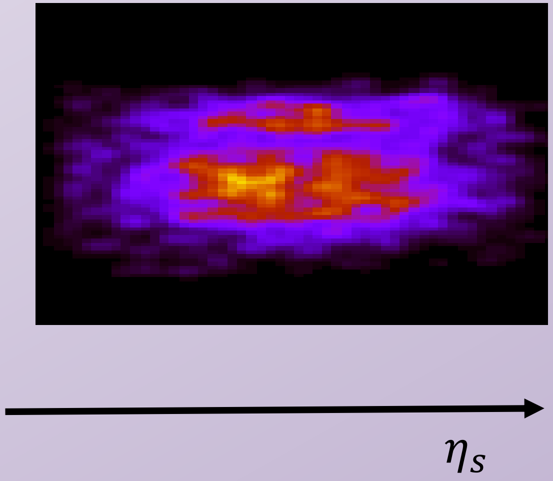
紐破砕をモデル化
粒子生成の分布を考慮



衝突軸方向の初期揺らぎ



紐破砕をモデル化
粒子生成の分布を考慮



カラーフラックスチューブ
衝突軸方向に滑らか

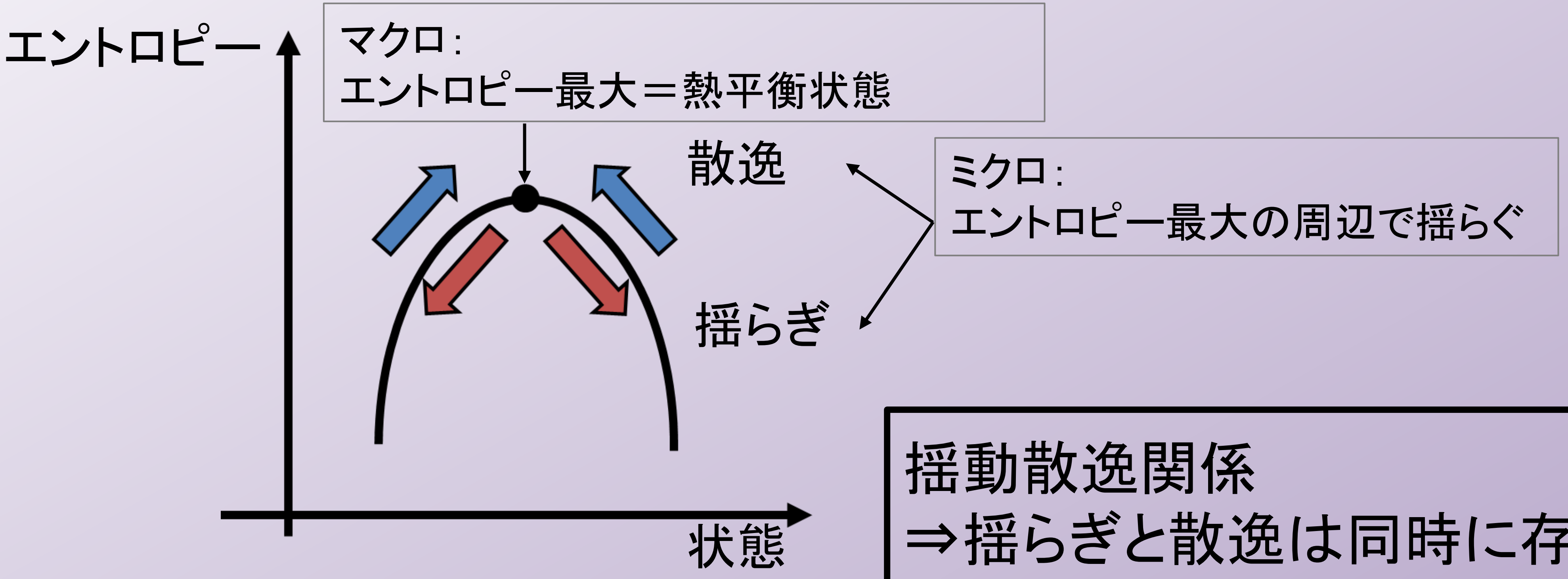
T.Hirano *et al.*, Phys.Lett.B 636, 299 (2006)

粒子分布による揺らぎ
衝突軸方向に凹凸

T. Sjöstrand *et al.*, Comput. Phys. Commun. 191, 159 (2015)
M. Okai *et al.*, Phys. Rev. C 95, 054914 (2017)

縦初期揺らぎ⇒衝突軸方向の相関の理解

流体揺らぎ



揺動散逸関係
⇒揺らぎと散逸は同時に存在

流体揺らぎ⇒QGPの輸送的性質の解明

流体揺らぎの影響

K. Murase talk at heavy ion café (2019)

揺動散逸関係
流体揺らぎ $\langle \delta\pi^2 \rangle = 4T\eta/\Delta t \Delta x^3$

η: ずれ粘性
T: 温度
$\Delta t, \Delta x$: 典型的なスケール

コップの水

$$\eta \cong 10^{-3}[\mathrm{Pa\ sec}]$$
$$T \cong 300[\mathrm{K}]$$
$$\Delta x \cong 10^{-3}[\mathrm{m}]$$
$$\Delta t \cong 10^{-1}[\mathrm{sec}]$$

$$\delta\pi \cong 4 \times 10^{-8}[\mathrm{Pa}]$$
$$P \cong 10^{5}[\mathrm{Pa}]$$

$$\delta\pi/P \cong 4 \times 10^{-13}$$

重イオン衝突反応で生成されるQGP

$$\eta \cong 0.1s \cong 0.2[\mathrm{fm}^{-3}]$$
$$T \cong 300[\mathrm{MeV}]$$
$$\Delta x \cong 1[\mathrm{fm}]$$
$$\Delta t \cong 1[\mathrm{fm}]$$

$$\delta\pi \cong 2 \times 10^{2}[\mathrm{MeV/fm}^3]$$
$$P \cong 4 \times 10^{3}[\mathrm{MeV/fm}^3]$$

$$\delta\pi/P \cong \mathbf{0.05}$$

流体揺らぎは無視できない！

研究目的

QGPの物性の探究

本研究の目的:

**流体揺らぎ、初期揺らぎが
高エネルギー重イオン衝突実験における
測定量に与える影響を解析**

QGPの輸送的性質の理解

目次

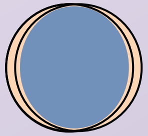
1. はじめに
2. 高エネルギー重イオン衝突反応における測定量
   – 多重度と中心度
   – フローの方位角異方性
   – 因子化比
3. 統合的動的模型
4. 結果
5. まとめ

多重度と中心度

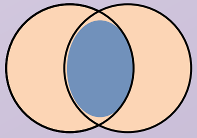
多重度	最小	・・・	最大
中心度	100%	・・・	0%

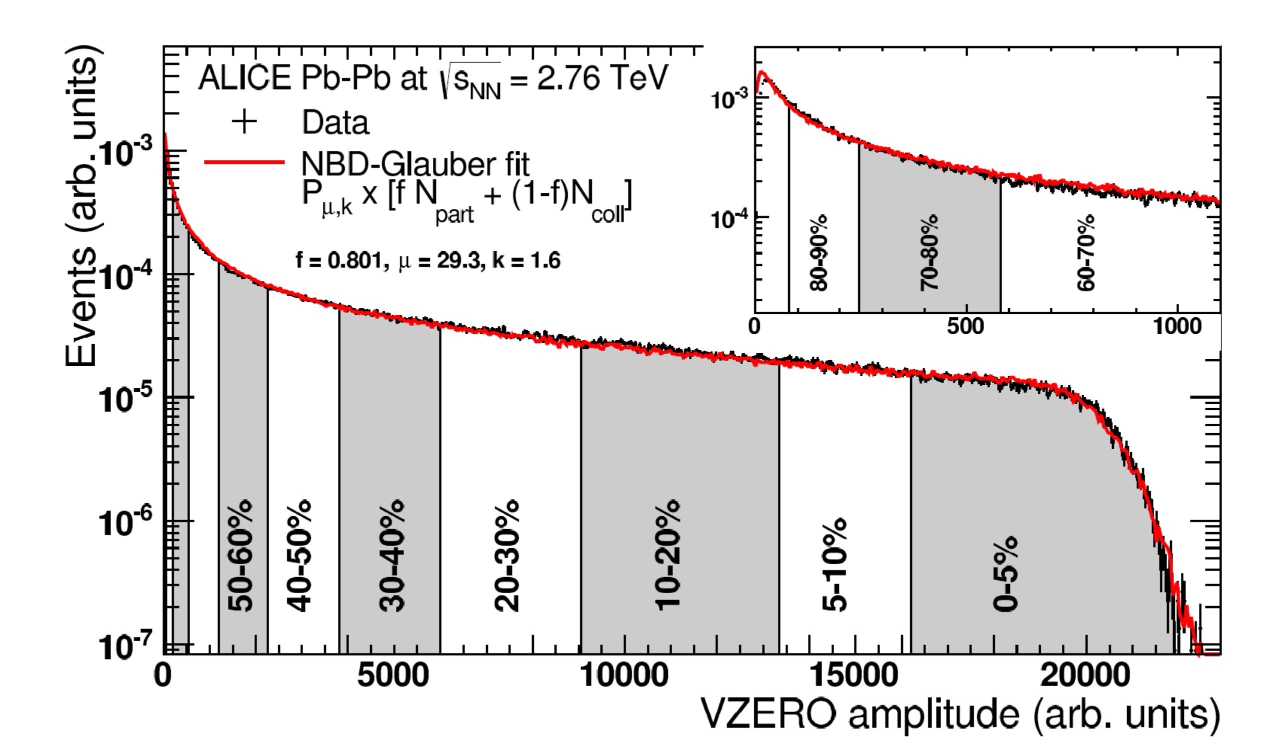
多重度:
衝突によって生成されたハドロン数

多重度　大
生成エントロピー　大
衝突反応領域　円形



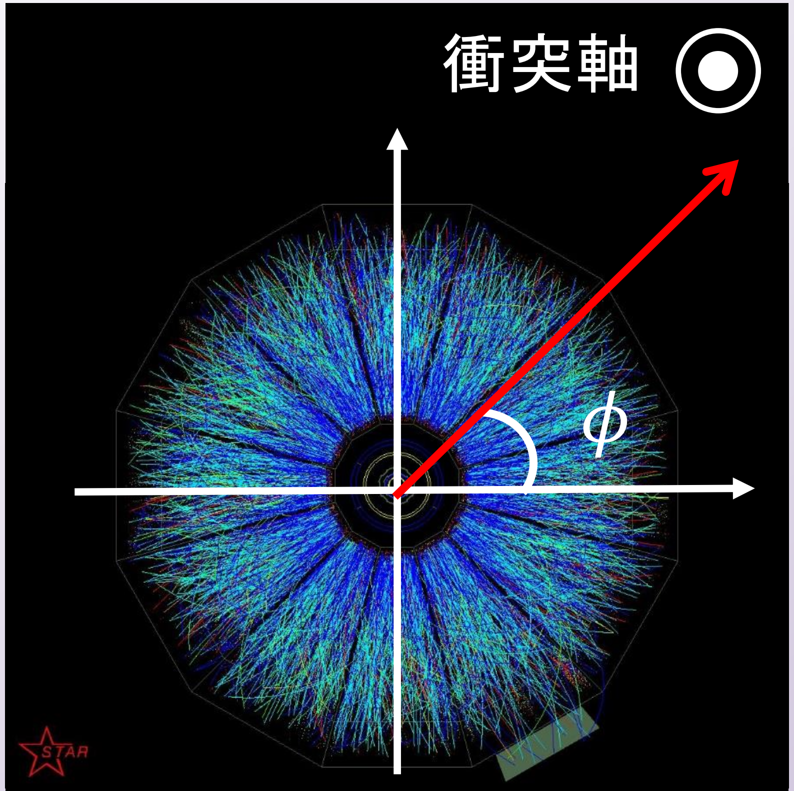
多重度　小
生成エントロピー　小
衝突反応領域　楕円形





ALICE Collaboration, Phys. Rev. C 88 (2013) 044909

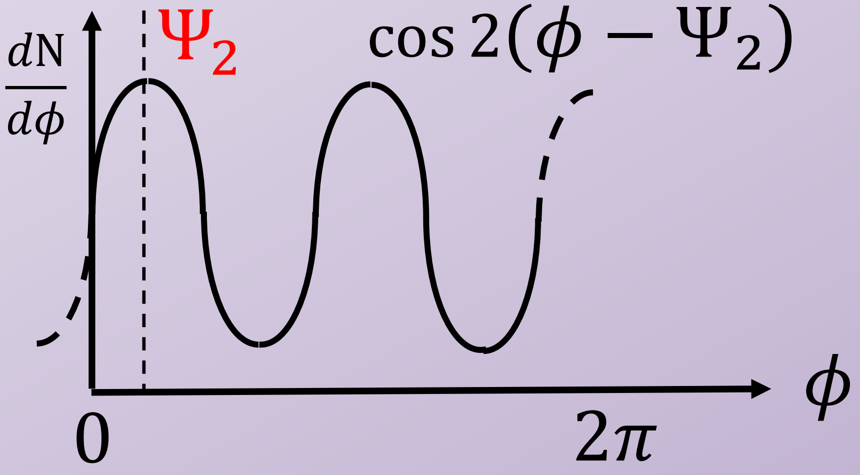
方位角異方性



https://www.zmescience.com/science/physics/quark-gluon-plasma-lhc-26052011/

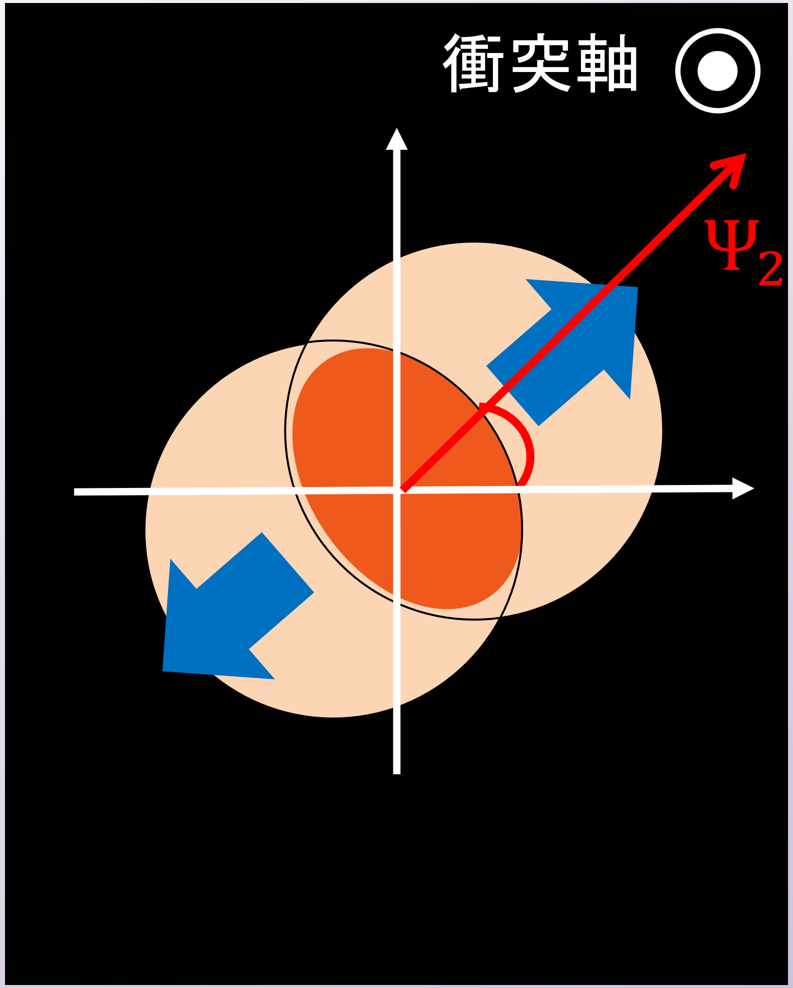
$$\frac{dN}{d\phi} \propto 1 + 2\sum_{n=1}^{\infty} v_n \cos n(\phi - \Psi_n)$$

ϕ: 方位角
Ψ_n: 事象平面角
v_n: フロー係数



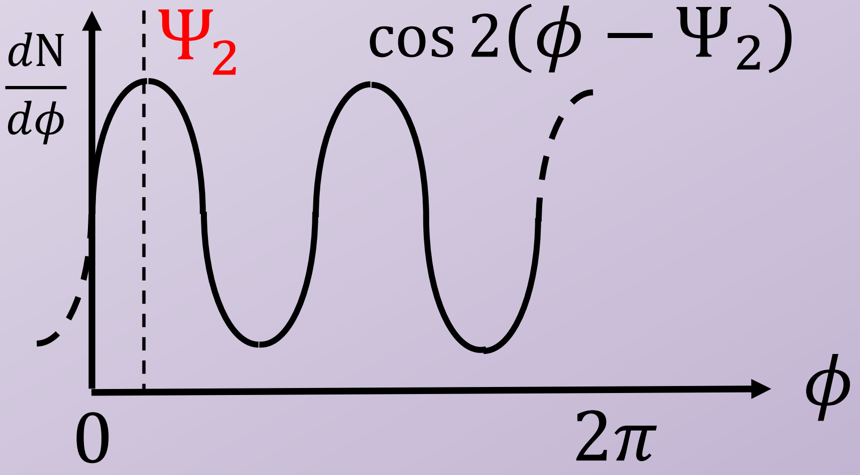
J. Y. Ollitrault, Phys. Rev. D 46, 229 (1992).

方位角異方性



$$\frac{dN}{d\phi} \propto 1 + 2\sum_{n=1}^{\infty} v_n \cos n(\phi - \Psi_n)$$

ϕ: 方位角
Ψ_n: 事象平面角
v_n: フロー係数



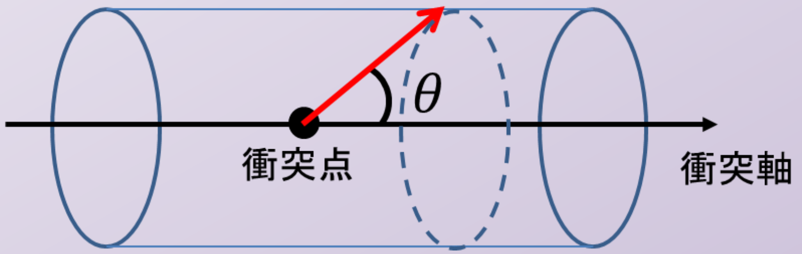
大きなv_2
(楕円型フロー)

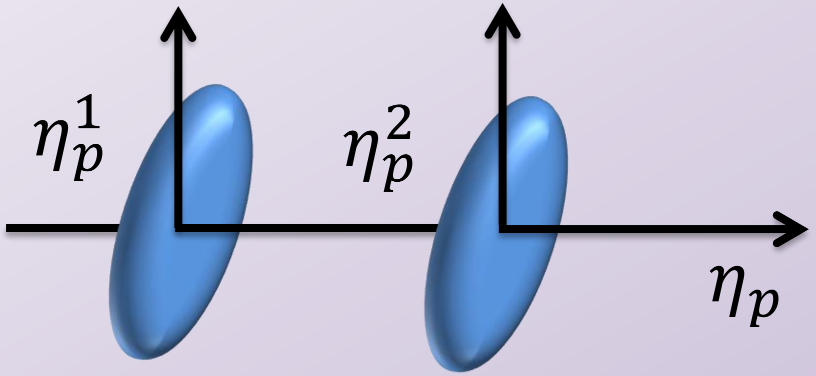
圧力勾配大→フローを生成
流体模型でv_2の記述が可能
→粘性の小さいQGP流体の発見

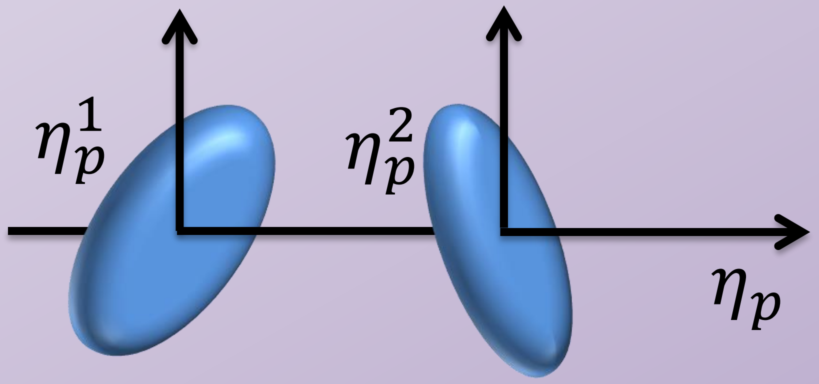
ラピディティー方向のフローの相関

擬ラピディティー

$$\eta_p = -\ln\left(\tan\frac{\theta}{2}\right)$$





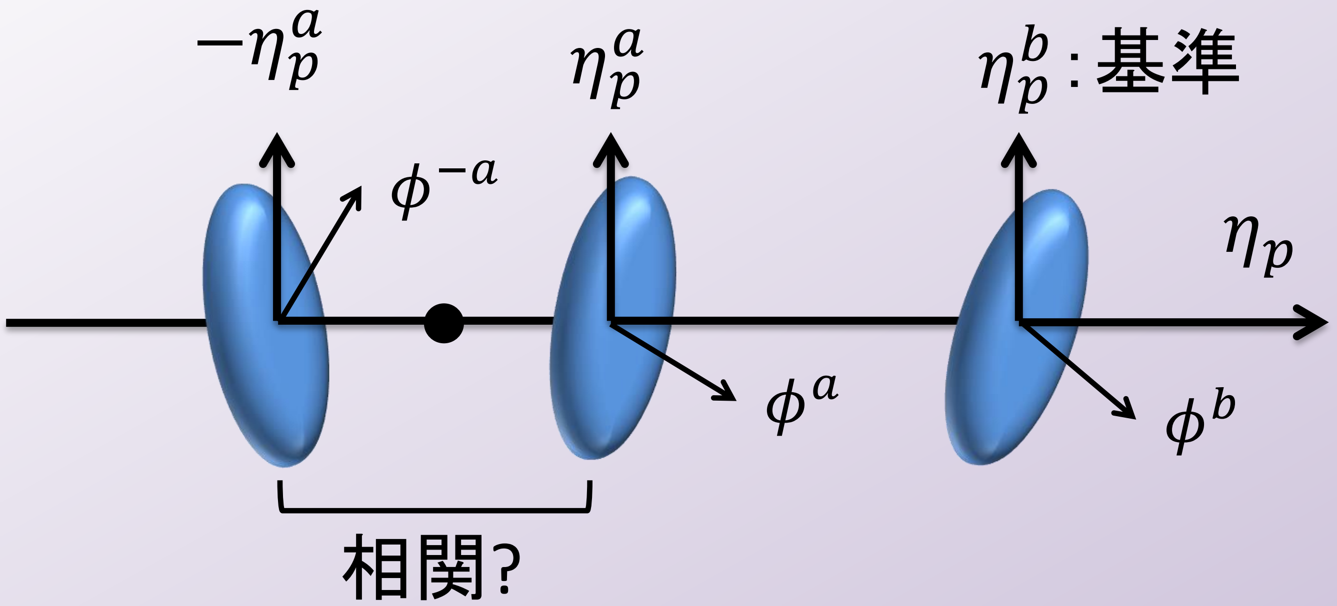


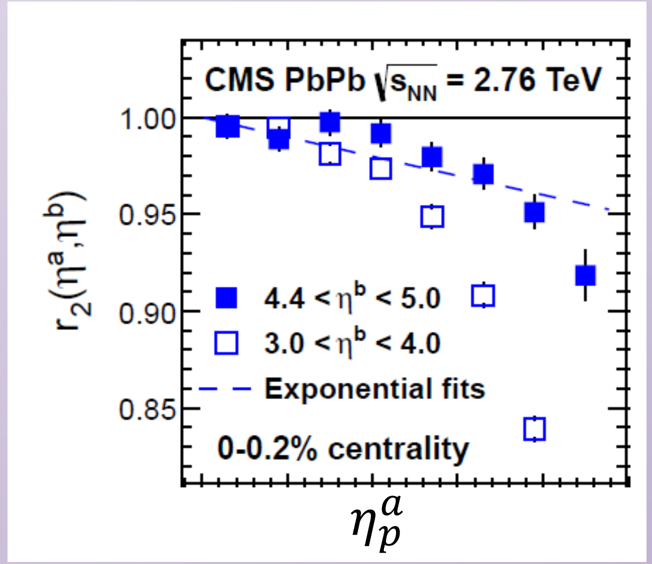
$$v_n(\eta_p^1) \approx v_n(\eta_p^2)$$
$$\Psi_n(\eta_p^1) \approx \Psi_n(\eta_p^2)$$
ラピディティー方向の相関あり

$$v_n(\eta_p^1) \neq v_n(\eta_p^2)$$
$$\Psi_n(\eta_p^1) \neq \Psi_n(\eta_p^2)$$
ラピディティー方向の相関喪失

⇒事象毎の初期揺らぎ・流体揺らぎの影響？

フローの因子化比





$$r_n(\eta_p^a,\eta_p^b) = \frac{V_{n\Delta}(-\eta_p^a,\eta_p^b)}{V_{n\Delta}(\eta_p^a,\eta_p^b)},\ V_{n\Delta}(\eta_p^a,\eta_p^b) = \langle\langle\cos(n\Delta\phi)\rangle\rangle,$$

$$\Delta\phi = \phi^a - \phi^b$$

因子化比の減少

相関の喪失の要因
⇒初期揺らぎ？
⇒流体揺らぎ？

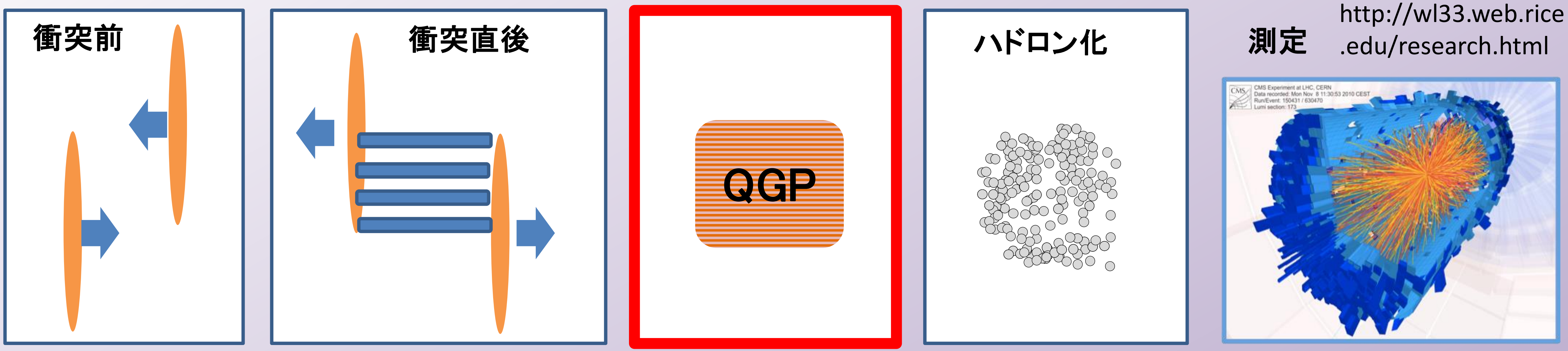
$r_n(\eta_p^a,\eta_p^b) \sim 1$
相関あり

$r_n(\eta_p^a,\eta_p^b) < 1$
相関喪失

CMS Collaboration, Phys. Rev. C 92, 034911 (2015)
F.G. Gardim *et al.*, Phys. Rev . C 87, 031901 (2013)

目次

高エネルギー重イオン衝突反応の時空発展

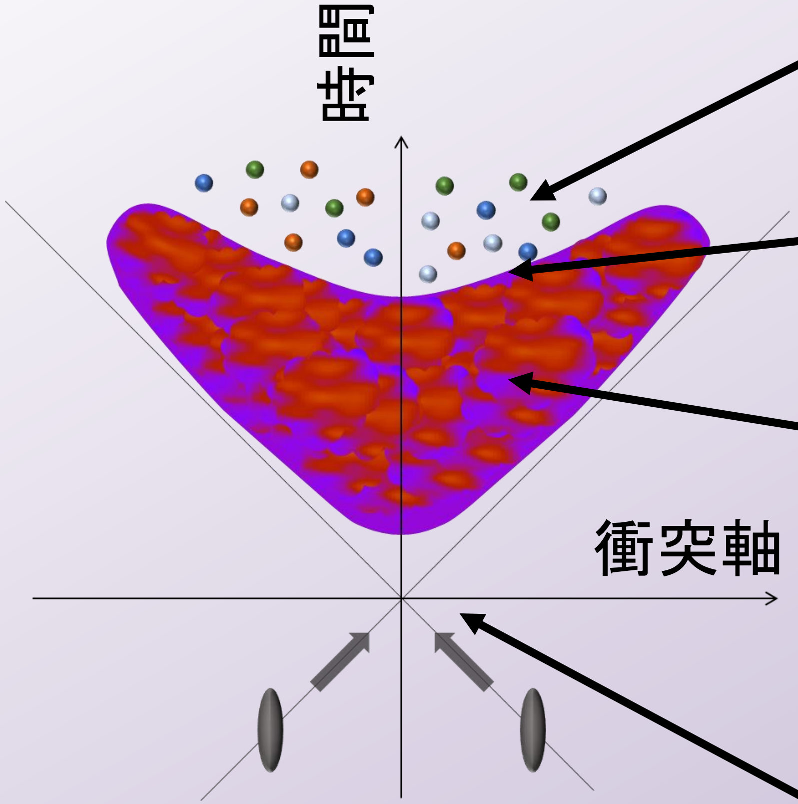


光速近くまで加速 ローレンツ収縮	すり抜け カラーフラックスチューブ生成	QGPは数fm/cで **ハドロン化**	測定量： ハドロンの種類や運動量

ハドロンの分布からQGPの性質を調べる方法？

⇒統合的動的模型

統合的動的模型



T. Hirano *et al.*, Prog. Part. Nucl. Phys. 70,108 (2013)

4. ハドロンガス

ハドロンカスケード (JAM) Y. Nara *et al.*, Phys. Rev. C61, 024901 (2000)

3. 粒子化

クーパー･フライ公式 (T_{sw}= 155 MeV) F. Cooper and G. Frye, Phys. Rev. D10, 186 (1974)

2. (3+1)次元QGP流体

流体揺らぎ

(3+1)次元揺動流体模型

EoS: s95p-v1.1 (格子QCD+共鳴ハドロンガス)

ずれ粘性: $\eta/s = 1/4\pi$

緩和時間: $\tau_\pi = 3/4\pi T$

K. Murase, Ph. D thesis, The Univ. of Tokyo (2015)

1. 初期状態

縦初期揺らぎ

縦: PYTHIA x 修正BGK

T. Hirano *et al.*, Phys.Lett.B 636, 299 (2006)
M. Okai *et al.*, Phys. Rev. C 95, 054914 (2017)

横平面: MCグラウバー模型

流体方程式

$\boxed{\text{エネルギー運動量保存則}}$

$$\partial_\mu T^{\mu\nu} = 0$$

$$T^{\mu\nu} = (e+P)u^\mu u^\nu - P g^{\mu\nu} + \pi^{\mu\nu}$$

$T^{\mu\nu}$: エネルギー運動量テンソル

e: エネルギー密度, $\pi^{\mu\nu}$: 応力テンソル

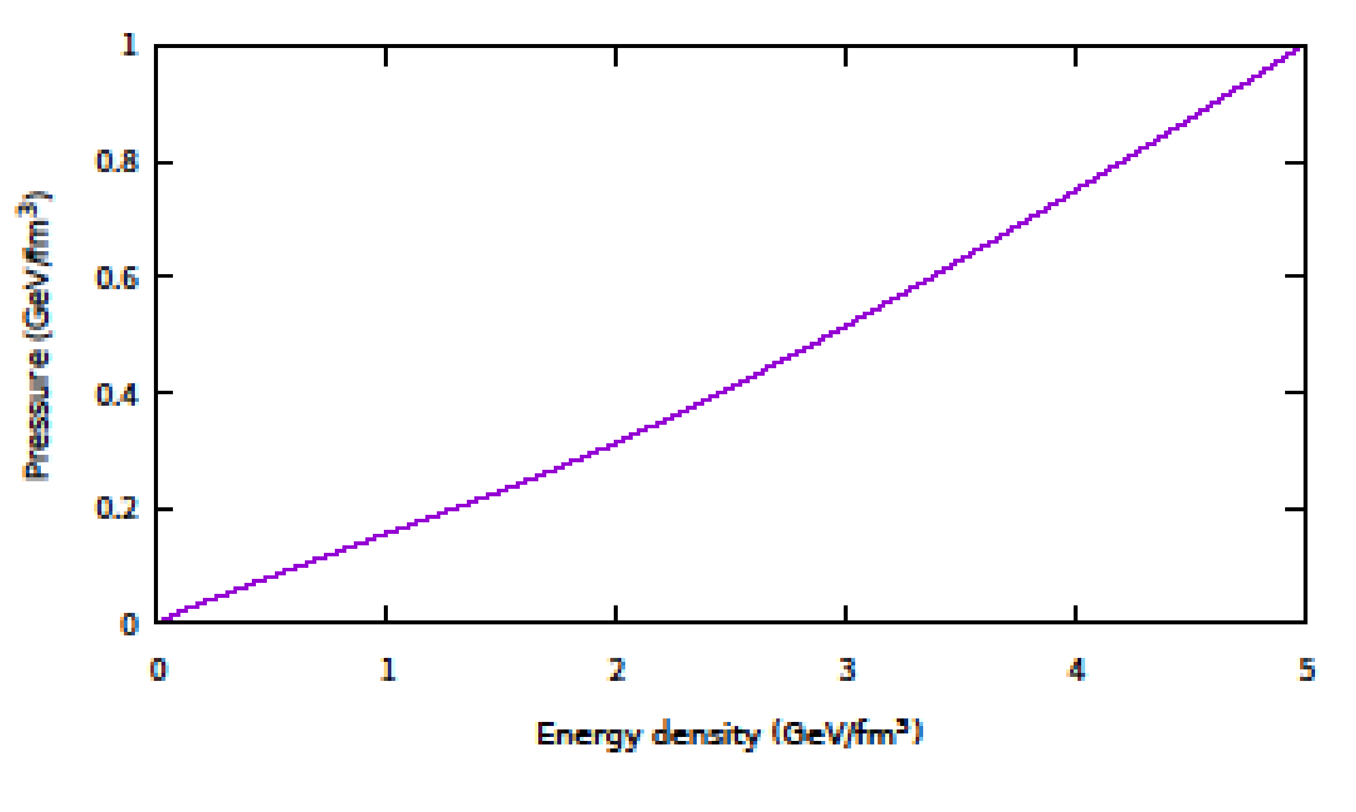
u^μ: 4元流速（Landau系）, P: 圧力

$\boxed{\text{状態方程式}\quad P = P(e)}$

格子QCD + 共鳴ハドロンガス

P. Huovinen and P. Petreczky, Nucl. Phys. A837, 26 (2010)

状態方程式



状態方程式 $P = P(e)$

格子QCD + 共鳴ハドロンガス

P. Huovinen and P. Petreczky, Nucl. Phys. A837, 26 (2010)

流体揺らぎ

応力テンソルに対する構成方程式

$$\boxed{\tau_\pi \Delta^{\mu\nu}{}_{\alpha\beta} u^\lambda \partial_\lambda \pi^{\alpha\beta}} + \left(1 + \boxed{\frac{4}{3}\tau_\pi \partial_\lambda u^\lambda}\right)\pi^{\mu\nu} - 2\eta \Delta^{\mu\nu}{}_{\alpha\beta}\partial^\alpha \pi^\beta = \boxed{\delta\pi^{\mu\nu}}$$

緩和時間を含む項

流体揺らぎ

η: ずれ粘性

u^μ: 4元流速

τ_π: 緩和時間

$\Delta^{\mu\nu}{}_{\alpha\beta}$: 射影演算子

$$\Delta^{\mu\nu}{}_{\alpha\beta} = \frac{1}{2}\left(\Delta^\mu{}_\alpha \Delta^\nu{}_\beta + \Delta^\mu{}_\beta \Delta^\nu{}_\alpha\right) - \frac{1}{3}\Delta^{\mu\nu}\Delta_{\alpha\beta}$$

$$\Delta^{\mu\nu} = g^{\mu\nu} - u^\mu u_\nu$$

構成方程式と揺動散逸関係

$$\tau_\pi \Delta^{\mu\nu}{}_{\alpha\beta} u^\lambda \partial_\lambda \pi^{\alpha\beta} + \left(1 + \frac{4}{3}\tau_\pi \partial_\lambda u^\lambda\right)\pi^{\mu\nu} - 2\eta \Delta^{\mu\nu}{}_{\alpha\beta} \partial^\alpha \pi^\beta = \boxed{\delta\pi^{\mu\nu}}$$

エントロピー増加 ⟺ バランス ⟺ エントロピー減少

揺動散逸関係 = 熱平衡状態の安定性条件

$$\langle \delta\pi^{\mu\nu}(x)\delta\pi^{\alpha\beta}(x')\rangle = 4T\eta\Delta^{\mu\nu\alpha\beta}\delta^{(4)}(x-x')$$

$$\delta^{(4)}(x-x') \Rightarrow \frac{1}{\Delta t}\frac{1}{(4\pi\lambda^2)^{\frac{3}{2}}} e^{-\frac{(x-x')^2}{4\lambda^2}}$$

λ: ガウシアン幅　揺らぎの強さをコントロール

初期条件　修正BGK模型

$$s_0(\tau = \tau_0, r_\perp, \eta_s) \propto \left(\frac{1-\alpha}{2} \boxed{\rho_{\mathrm{part}}(\eta_s, r_\perp)} + \alpha \rho_{\mathrm{coll}}(r_\perp) \right)$$

$$\boxed{\rho_{\mathrm{part}}(\eta_s, r_\perp) = \frac{Y_b - \eta_s}{Y_b} \rho_{\mathrm{part,A}}(r_\perp) + \frac{Y_b + \eta_s}{Y_b} \rho_{\mathrm{part,}B}(r_\perp)}$$

α: パラメータ

ρ_{part}: 衝突に関与した核子数密度

ρ_{coll}: 衝突回数密度

$\tau_0 = 0.6\ \mathrm{fm}$

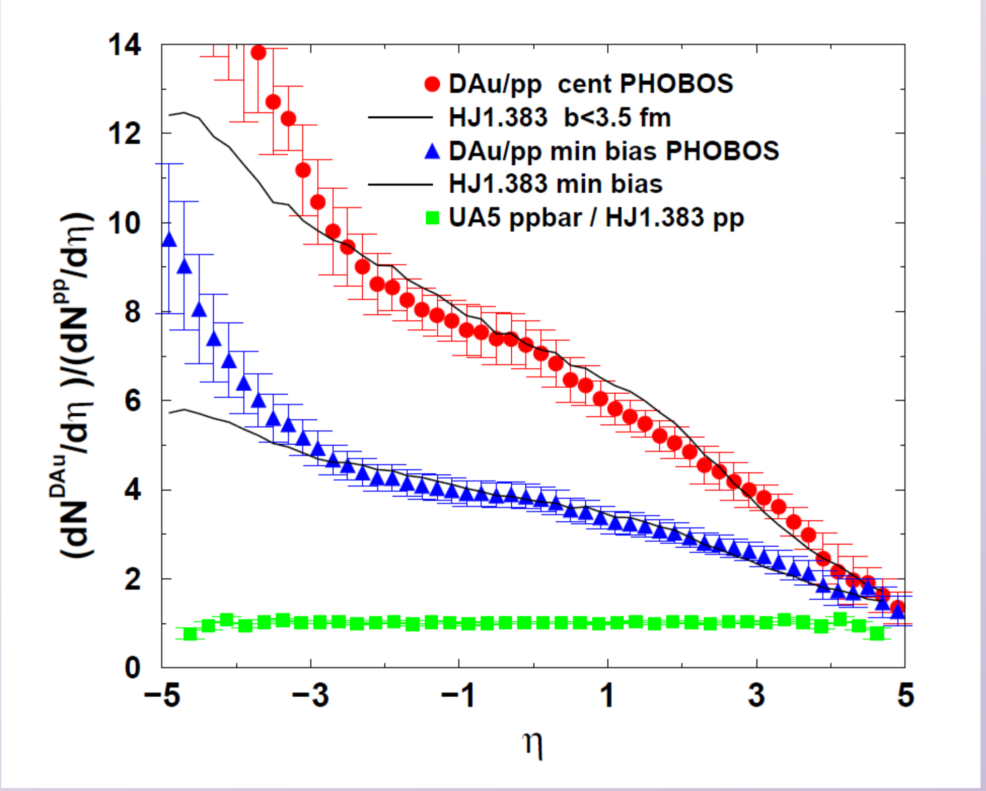
Y_b :ビームラピディティー

T.Hirano *et al.*, Phys.Lett.B **636**, 299 (2006).

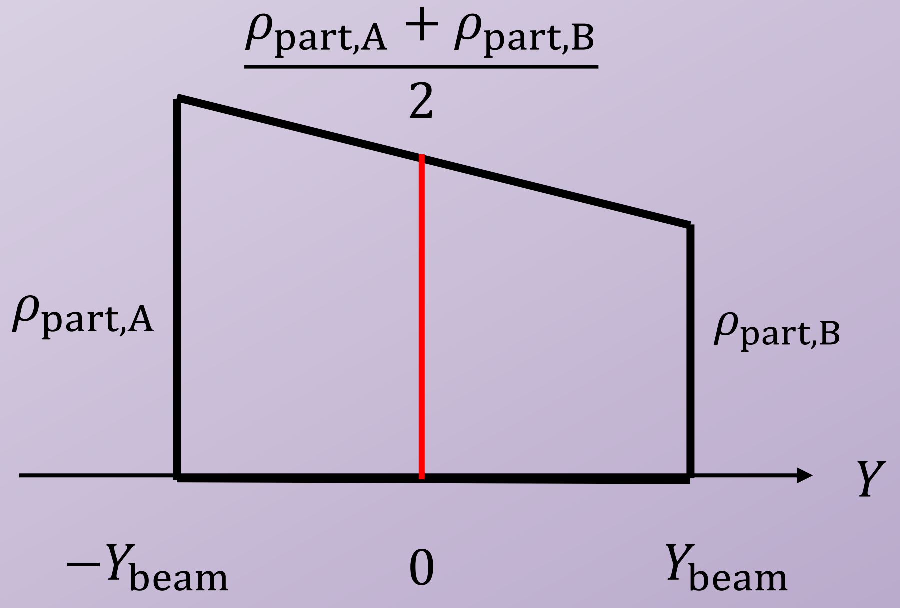
初期条件　修正BGK模型

$$\rho_{\mathrm{part}}(\eta_s, r_\perp) = \frac{Y_b - \eta_s}{Y_b}\rho_{\mathrm{part,A}}(r_\perp) + \frac{Y_b + \eta_s}{Y_b}\rho_{\mathrm{part},B}(r_\perp)$$

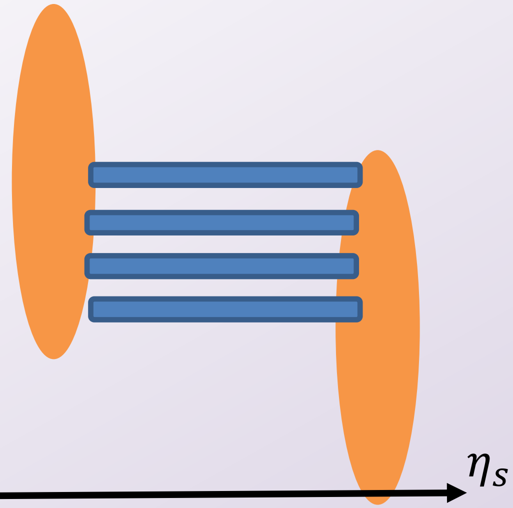
Rapidity trapezoid を取り入れた形

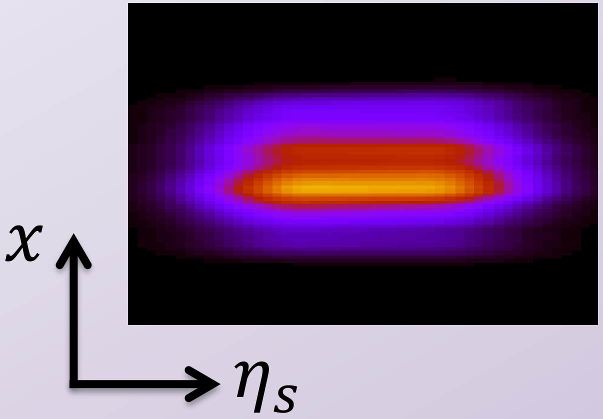


A. Adil, M. Gyulassy, Phys. Rev. C 72, 034907 (2005)



PYTHIA x 修正BGK模型

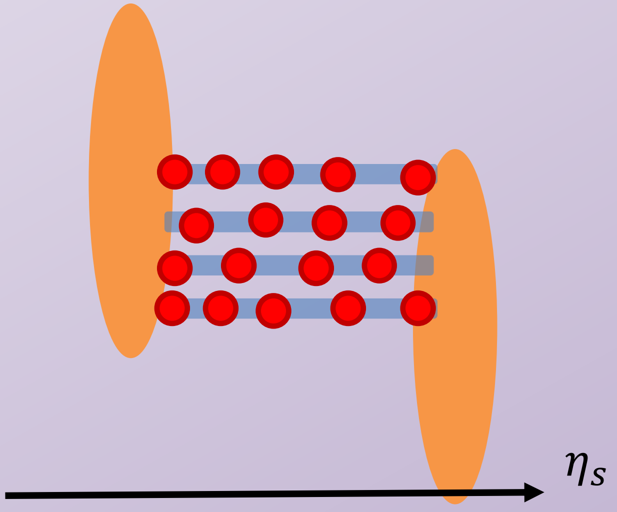


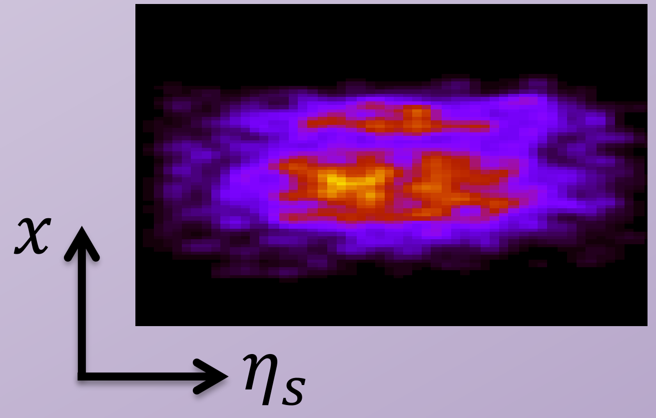


T.Hirano *et al.*, Phys.Lett.B 636, 299 (2006)

イベントジェネレーター
PYTHIA

紐破砕をモデル化
粒子生成の分布を考慮



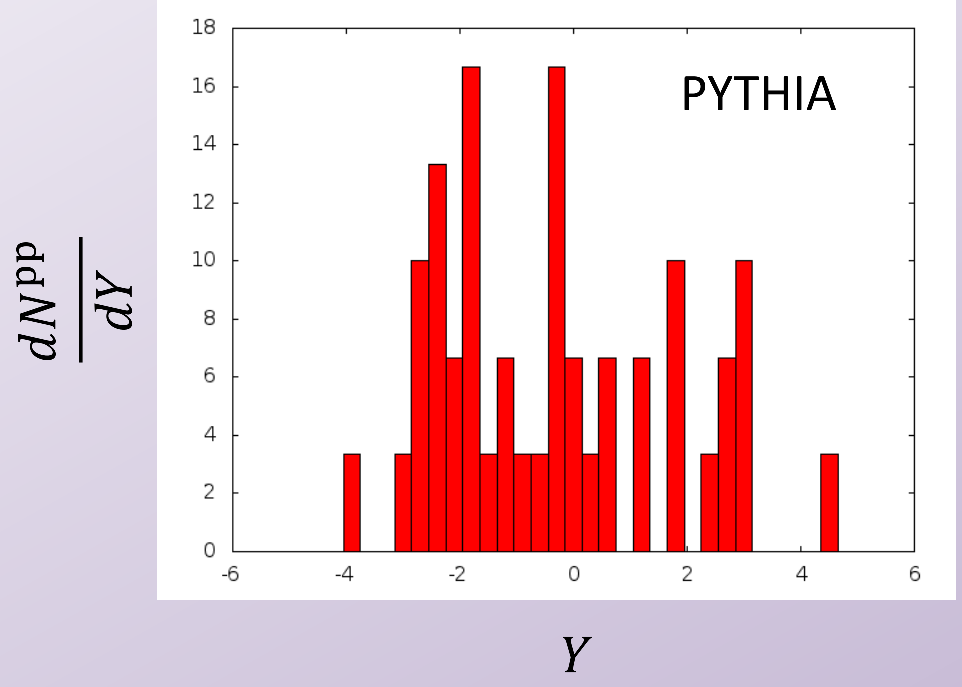


T. Sjöstrand *et al.*, Comput. Phys. Commun. 191, 159 (2015)
M. Okai *et al.*, Phys. Rev. C 95, 054914 (2017)

PYTHIA x 修正BGK模型

PYTHIA

p-p衝突における縦方向の揺らぎ

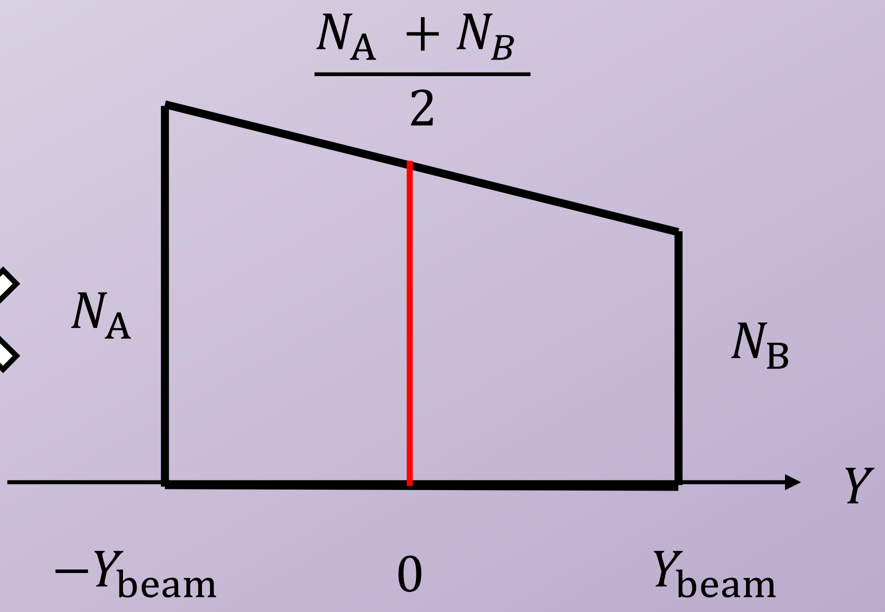


T. Sjöstrand *et al.*, Comput. Phys. Commun. 191, 159 (2015)

修正BGK

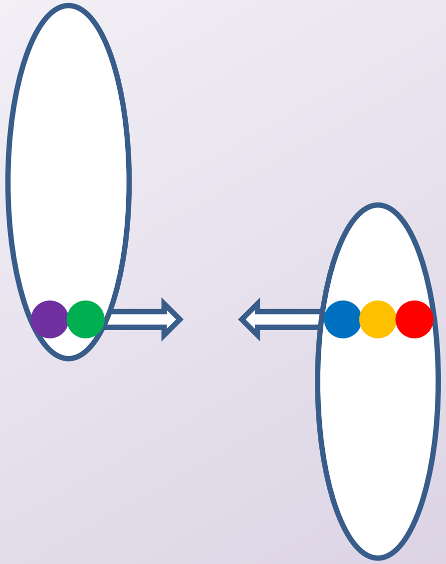
N_{part} スケーリング

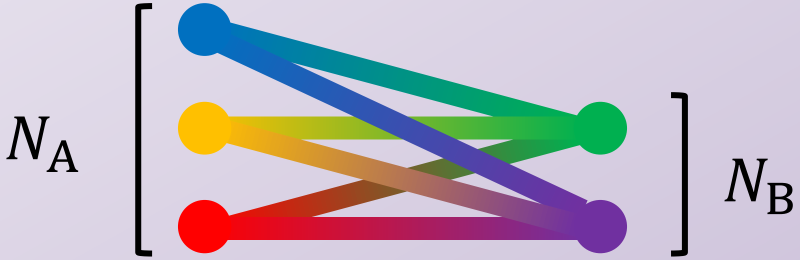
×



M. Okai *et al.*, Phys. Rev. C 95, 054914 (2017)

PYTHIA x 修正BGK模型





$-Y_{\mathrm{beam}}$ ← ラピデティー → Y_{beam}

<u>MC-グラウバー模型</u>

衝突に関与した核子数: $N_{\mathrm{A}}(\boldsymbol{x}_\perp), N_{\mathrm{B}}(\boldsymbol{x}_\perp)$

衝突回数: $N_{\mathrm{coll}}(\boldsymbol{x}_\perp)$

<u>PYTHIA</u>

生成ハドロン $N_{\mathrm{coll}} \times$ pp collisions

棄却化

- 低 p_T: N_{part}にスケール
- 高 p_T: N_{coll}にスケール

M. Okai *et al.*, Phys. Rev. C **95**, 054914 (2017)

S.J.Brodsky, J.F.Gunion and J.H.Kuhn, Phys.Rev.Lett.**39**, 1120 (1977)

T.Hirano *et al.*, Phys.Lett.B **636**, 299 (2006)

初期条件

$$s_0(\tau_0, \eta_s, x_\perp)$$
$$= \frac{K}{\tau_0} \sum_i \frac{1}{\sqrt{2\pi{\sigma_\eta}^2}} \frac{1}{2\pi{\sigma_\perp}^2} \exp\left[-\frac{\left(x - x^i\right)^2 + \left(y - y^i\right)^2}{2{\sigma_\perp}^2} - \frac{\left(\eta_s - {\eta_s}^i\right)^2}{2{\sigma_\eta}^2} \right]$$

<u>規格化</u>

$K = 4.8$ for $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV

<u>ガウシアン幅</u>

$$\left[\begin{array}{l} \sigma_\perp = 0.3\ [\mathrm{fm}] \\ \sigma_\eta = 0.3 \end{array} \right.$$

<u>核子の位置</u>

$x^i, y^i, {\eta_s}^i$

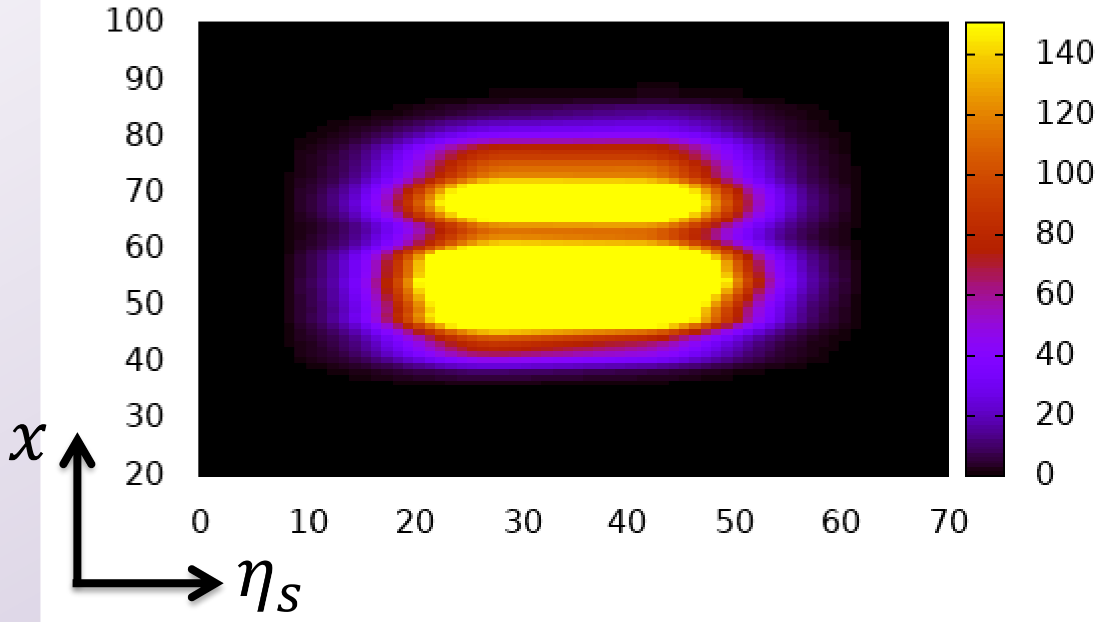
MC Glauber + PYTHIA + 修正 BGK

<u>初期時刻</u>

$\tau_0 = 0.6\ [\mathrm{fm}]$

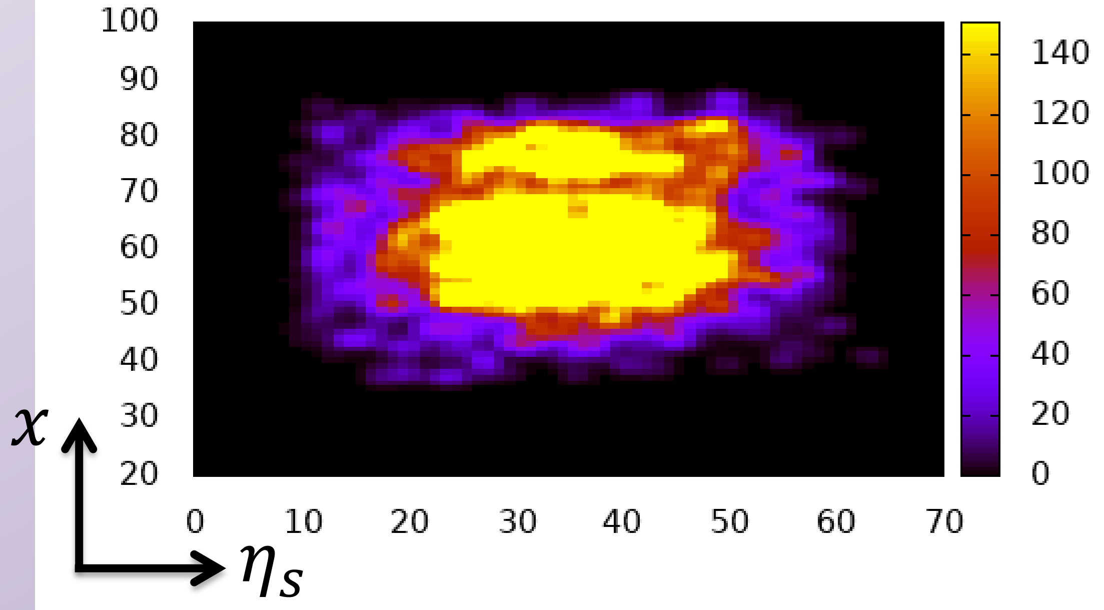
初期条件　エントロピー密度分布の例

修正BGK模型



縦初期揺らぎ無

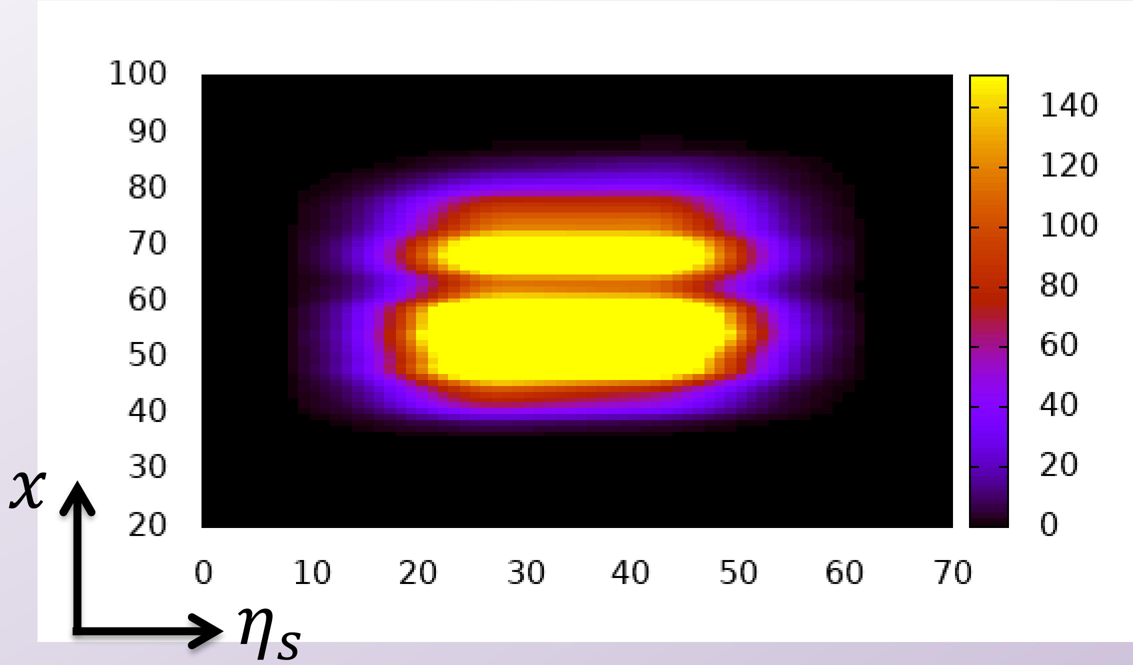
PYTHIA x 修正BGK模型



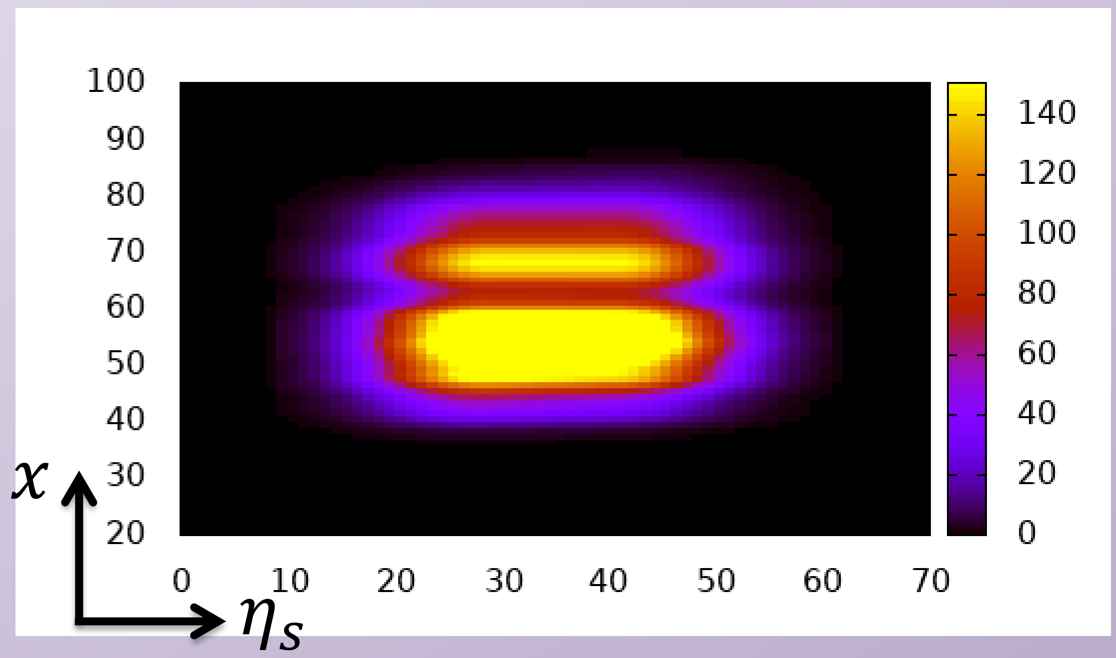
縦初期揺らぎ有

流体模型　エントロピー密度分布の時間発展

粘性流体模型



揺動流体模型



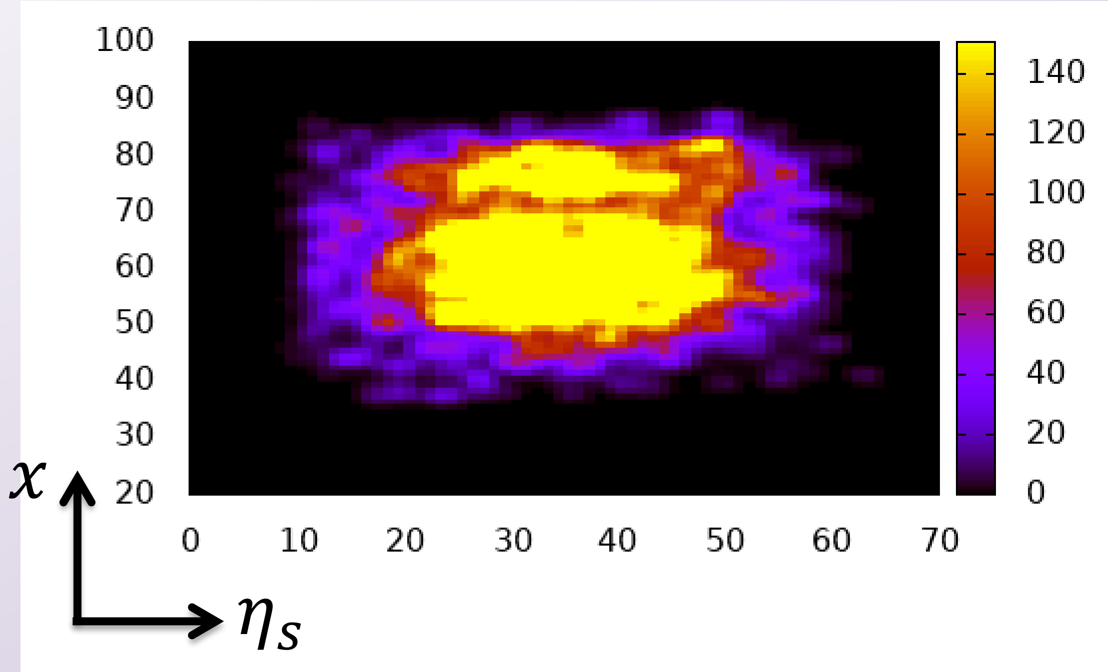
縦初期揺らぎ無

η_s方向に滑らか

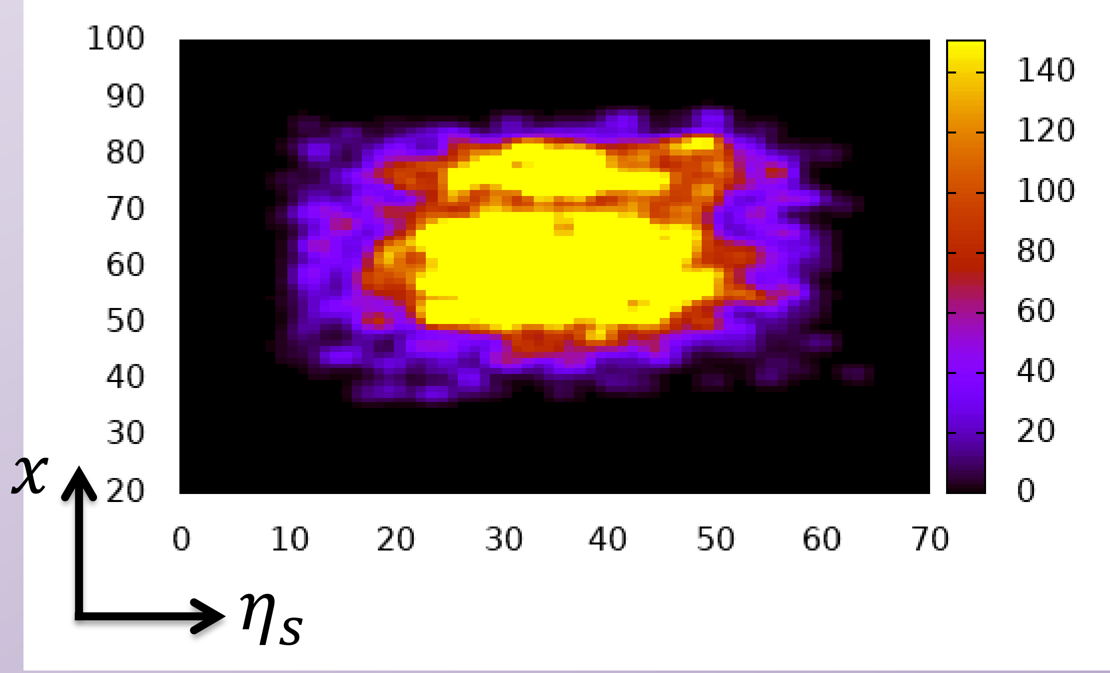
η_s方向に凹凸

流体模型　エントロピー密度分布の時間発展

粘性流体模型



揺動流体模型



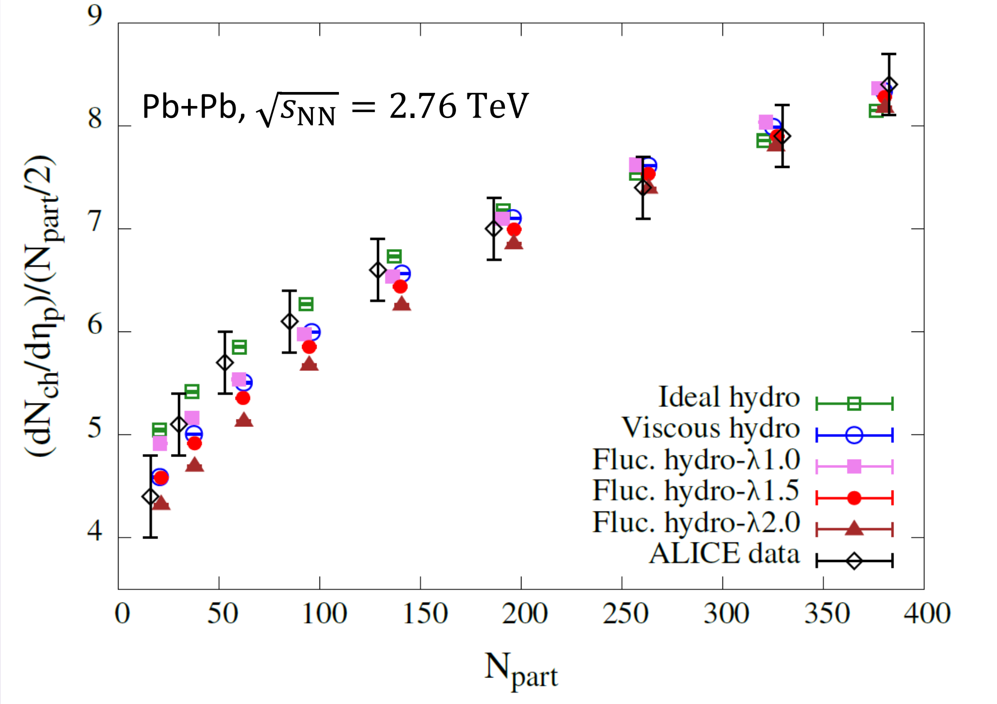
縦初期揺らぎ有

大きな違いはない？→定量的な評価が必要

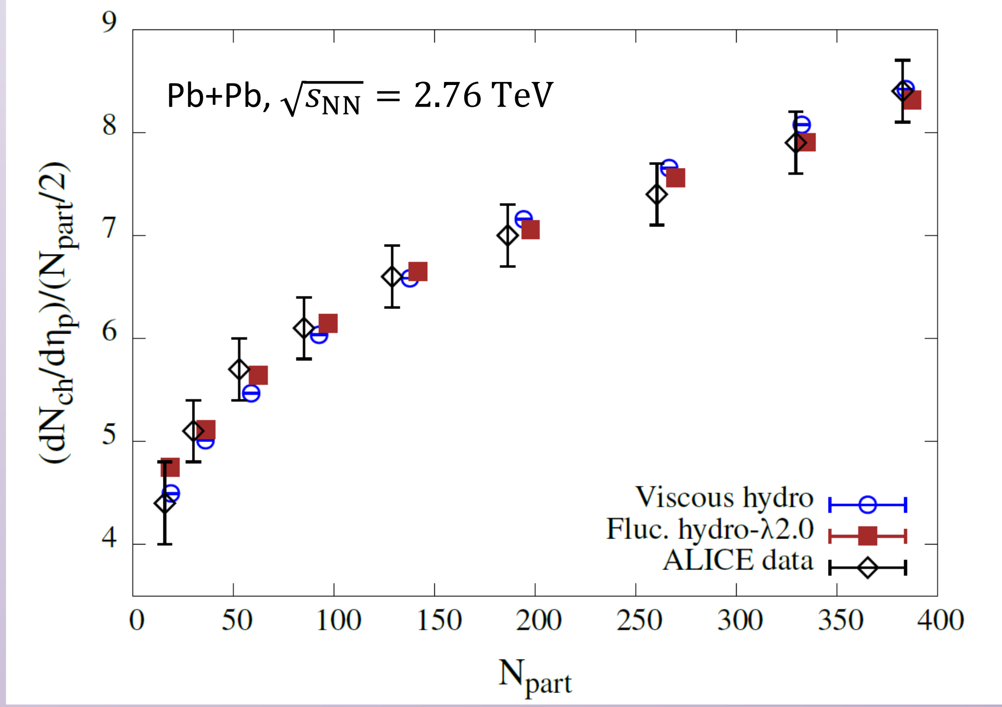
目次

生成粒子数の中心度依存性

縦初期揺らぎ無



縦初期揺らぎ有

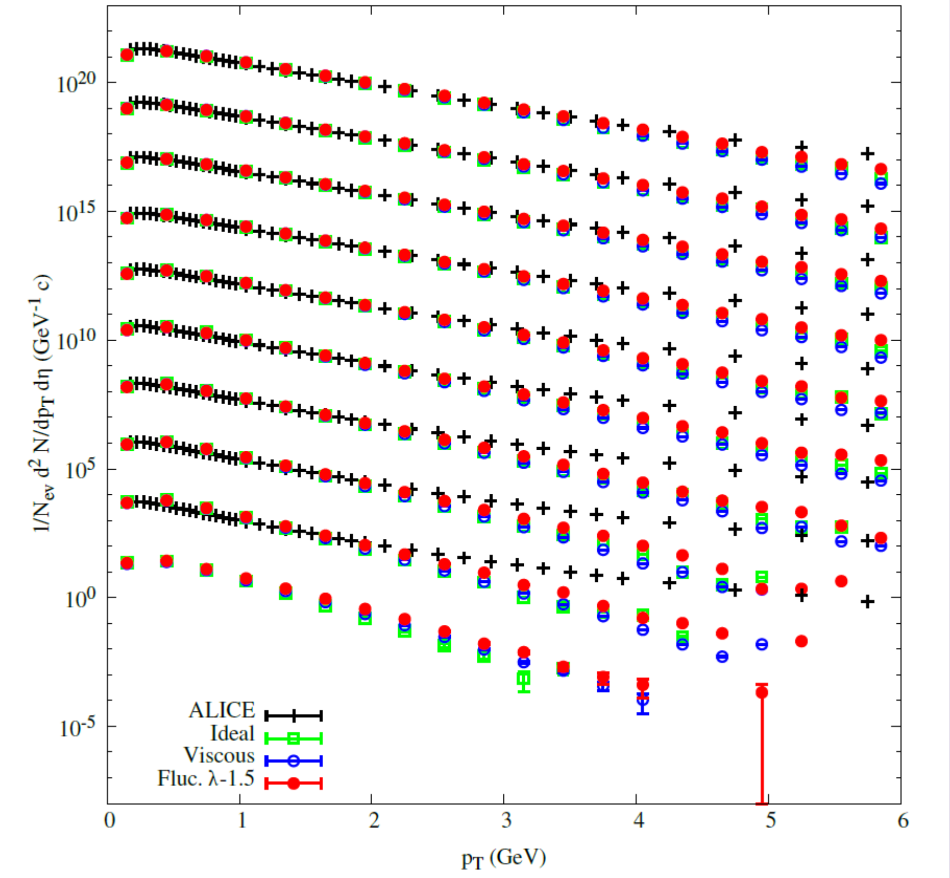


ALICE Collaboration,
Phys.Rev.Lett.106, 032301 (2011)

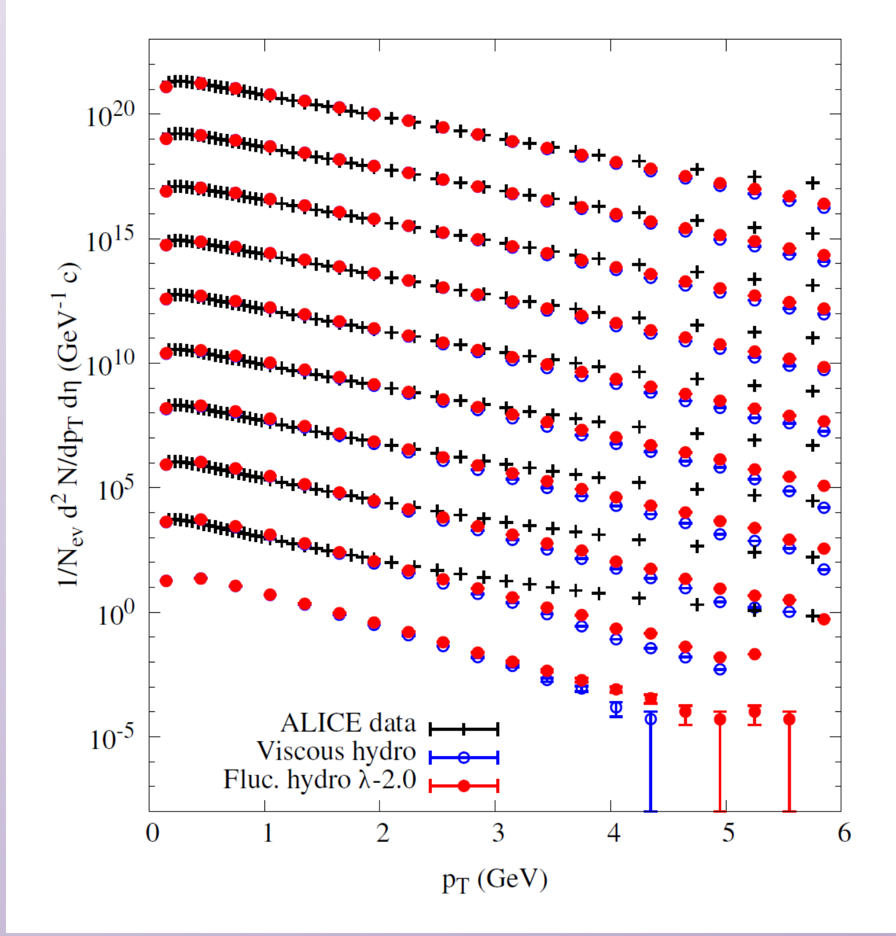
実験の生成粒子数を再現するように初期条件のパラメータを調整
同じパラメータセットで因子化比を評価

p_Tスペクトル

縦初期揺らぎ無



縦初期揺らぎ有



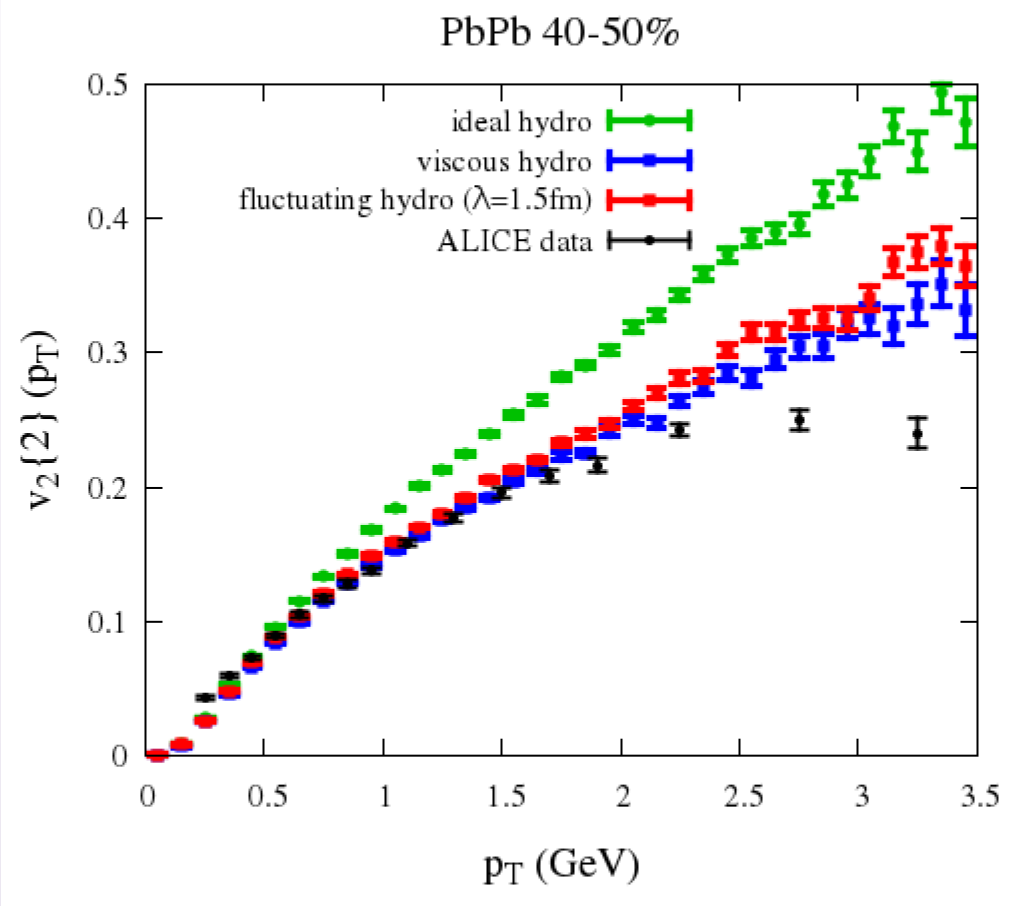
低横運動量:実験結果をよく再現

高横運動量:流体模型が実験より小⇒JET等の効果

揺動流体模型＞完全・粘性流体

v_2のp_T依存性

縦初期揺らぎ無



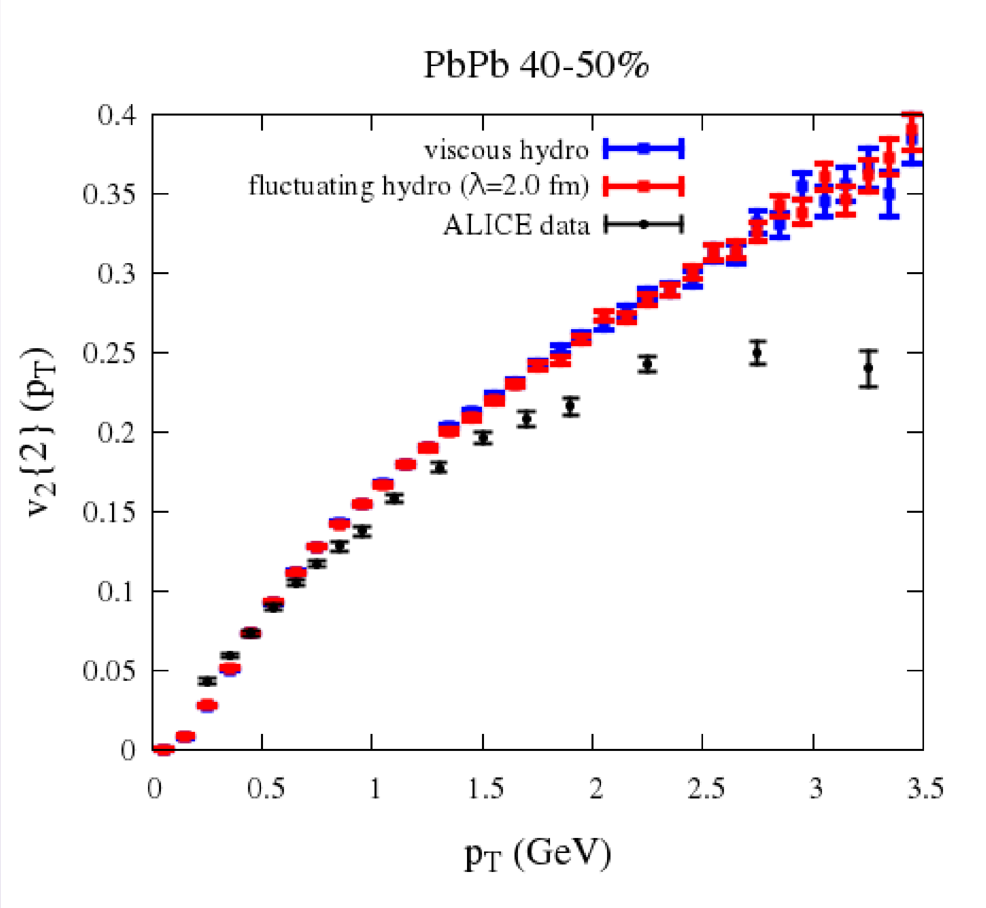
ALICE Collaboration,
Phys. Rev. Lett. 116 (2016) 132302

完全流体
実験データより大きい

粘性・揺動流体
($\eta/s = 1/4\pi$)
→ p_T~1.5GeV 以下で
ALICEデータを再現

v_2のp_T依存性

縦初期揺らぎ有

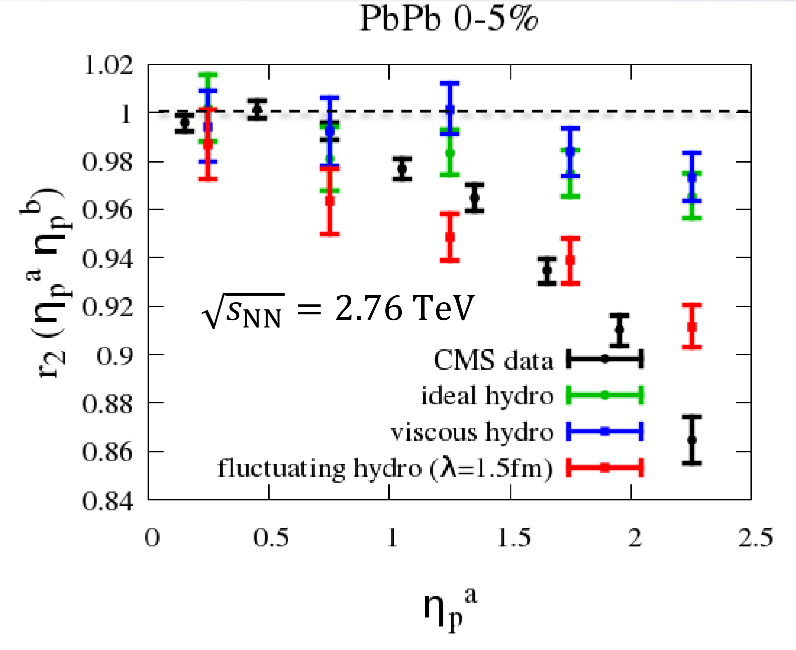


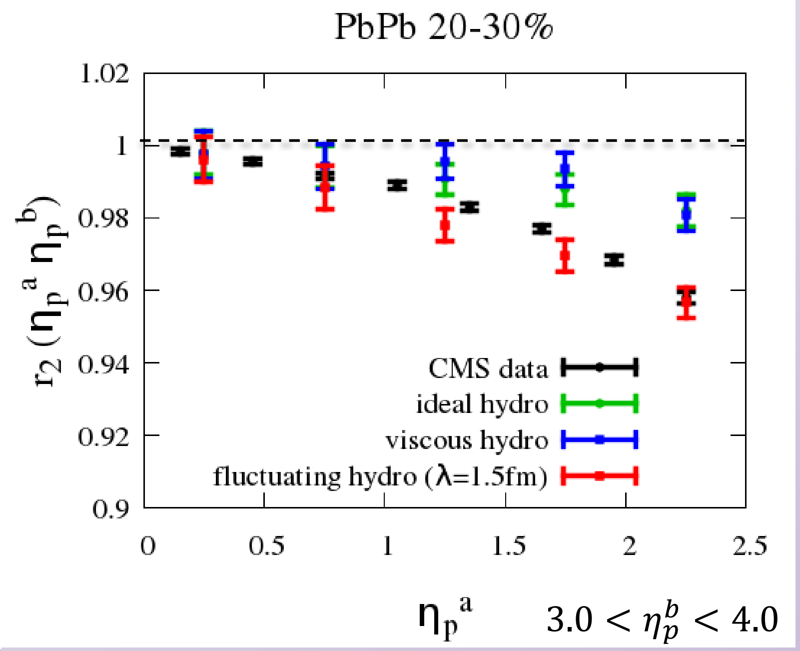
粘性・揺動流体
$(\eta/s = 1/4\pi)$
→ p_T~1 GeV 以下で
ALICEデータを再現

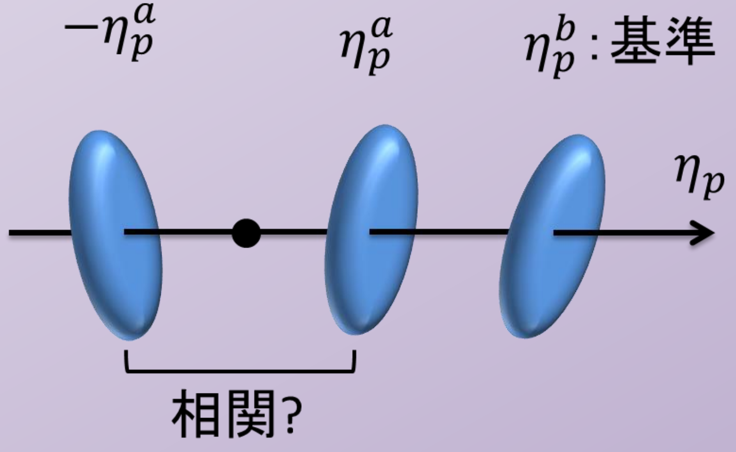
ALICE Collaboration,
Phys. Rev. Lett. 116 (2016) 132302

因子化比 $r_2(\eta_p^a, \eta_p^b)$

縦初期揺らぎ無







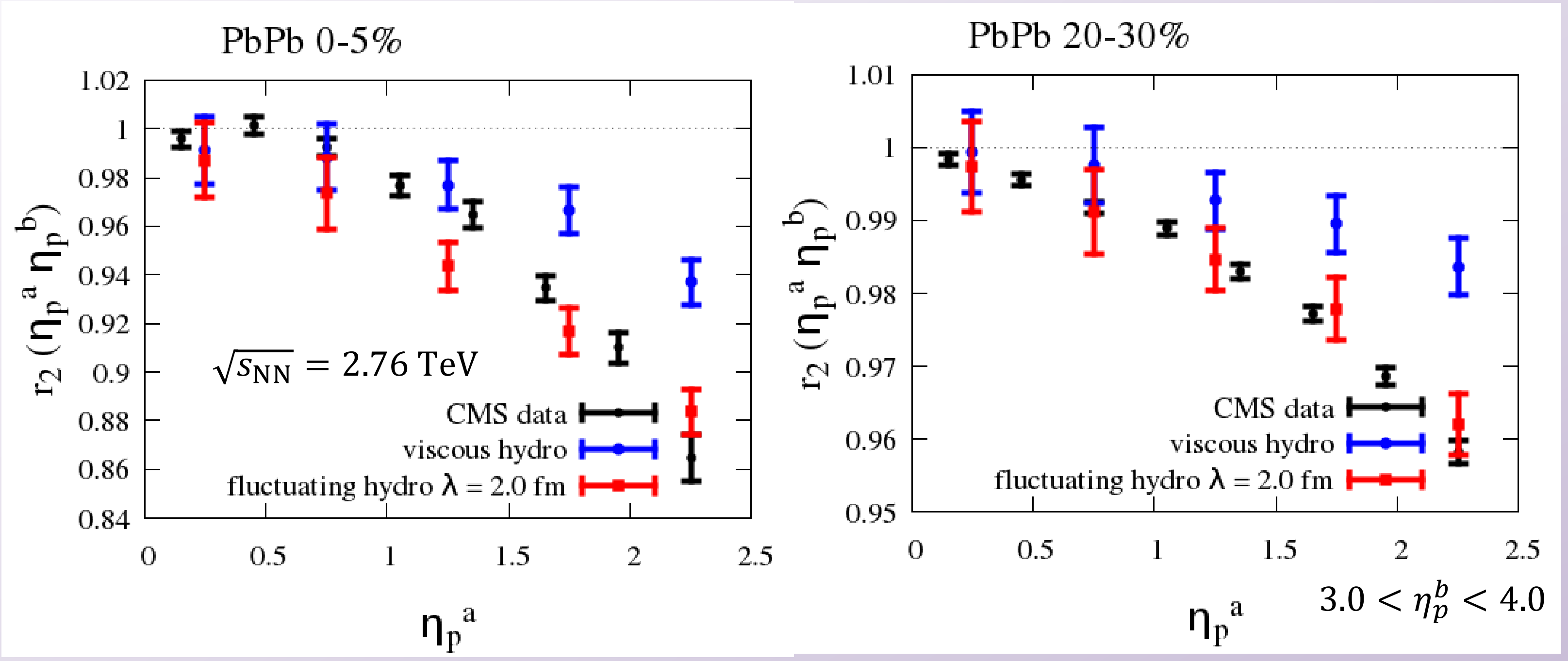
CMS, Phys. Rev. C 92, 034911 (2015).

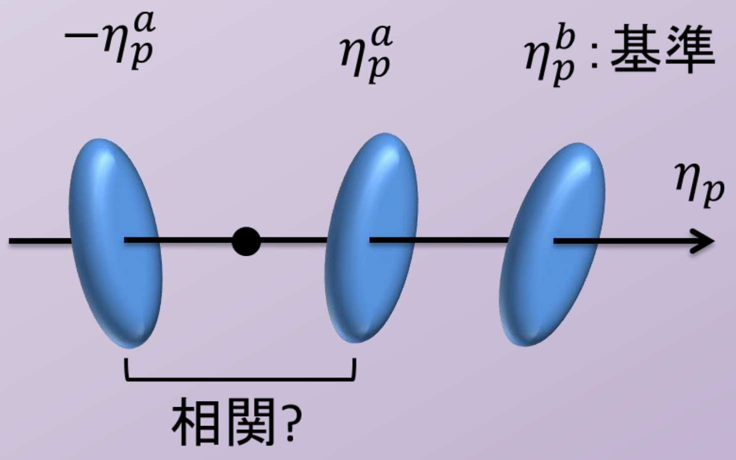
1 ≈ 粘性流体 > CMS data ≈ 揺動流体

粘性	➡	相関を喪失させない
流体揺らぎ	➡	因子化比の減少　相関の部分的喪失

因子化比 $r_2(\eta_p^a, \eta_p^b)$

<u>縦初期揺らぎ有</u>





CMS, Phys. Rev. C 92, 034911 (2015).

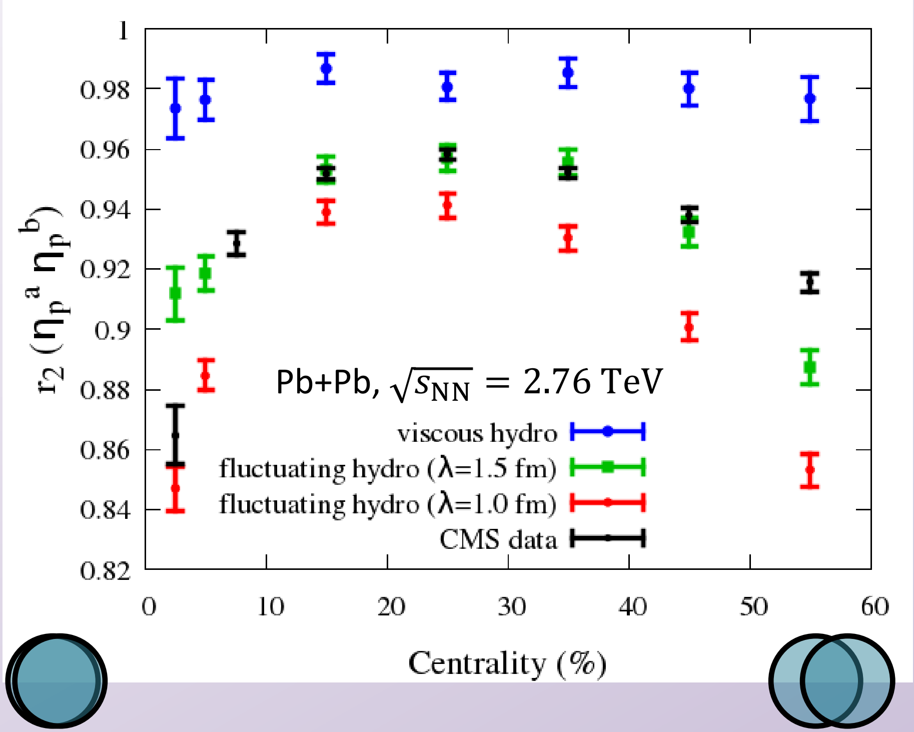
1 > 粘性流体 > CMS data ≈ 揺動流体

縦初期揺らぎ ➡ 因子化比の減少　相関の部分的喪失

流体揺らぎ + 縦初期揺らぎ ➡ 因子化比のラピディティ依存性の再現

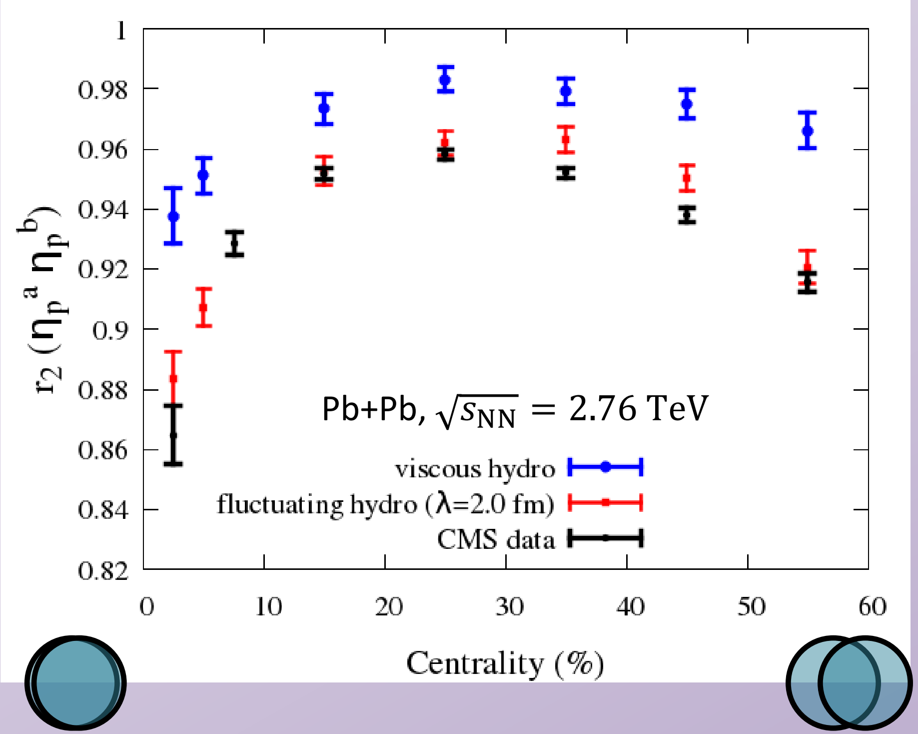
因子化比 $r_2(\eta_p^a, \eta_p^b)$ の中心度依存性

縦初期揺らぎ無



縦初期揺らぎ有

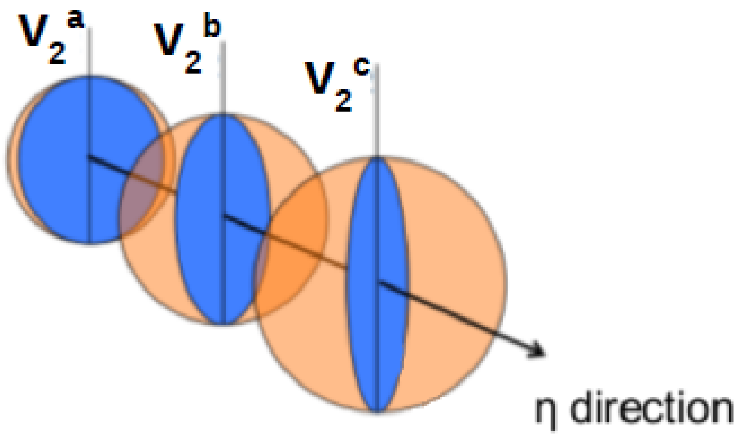
$2.0 < \eta_p^a < 2.5, 3.0 < \eta_p^b < 4.0$

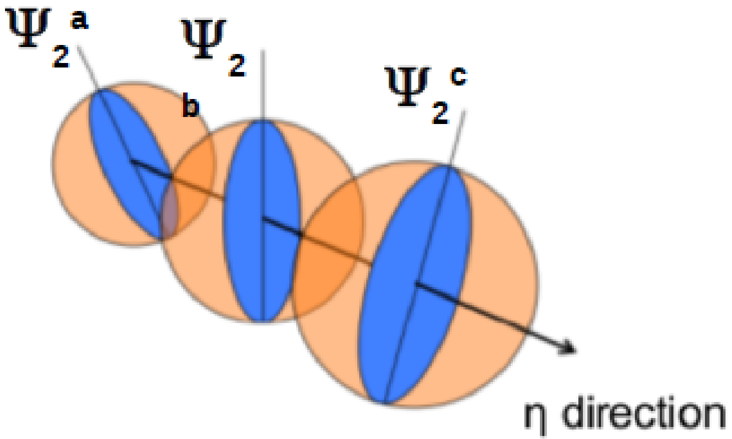


流体揺らぎ + 縦初期揺らぎ

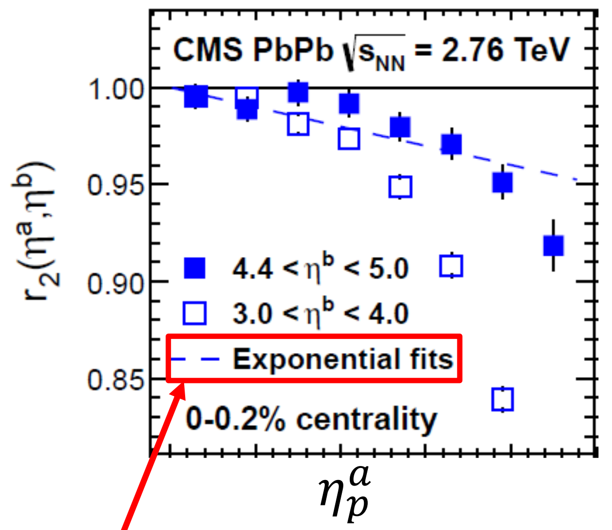
➡ 因子化比 $r_2(\eta_p^a, \eta_p^b)$ の中心度依存性を再現

因子化比の理解





Jiangyong Jia, Peng Huo, Phys. Rev. C 90, 034905 (2014)



CMS, Phys. Rev. C 92, 034911 (2015)

$$v_n(\eta_p^a) \neq v_n(\eta_p^{-a})$$

$\rightarrow$ r_n減少

$$\Psi_n(\eta_p^a) \neq \Psi_n(\eta_p^{-a})$$

$\rightarrow$ r_n減少

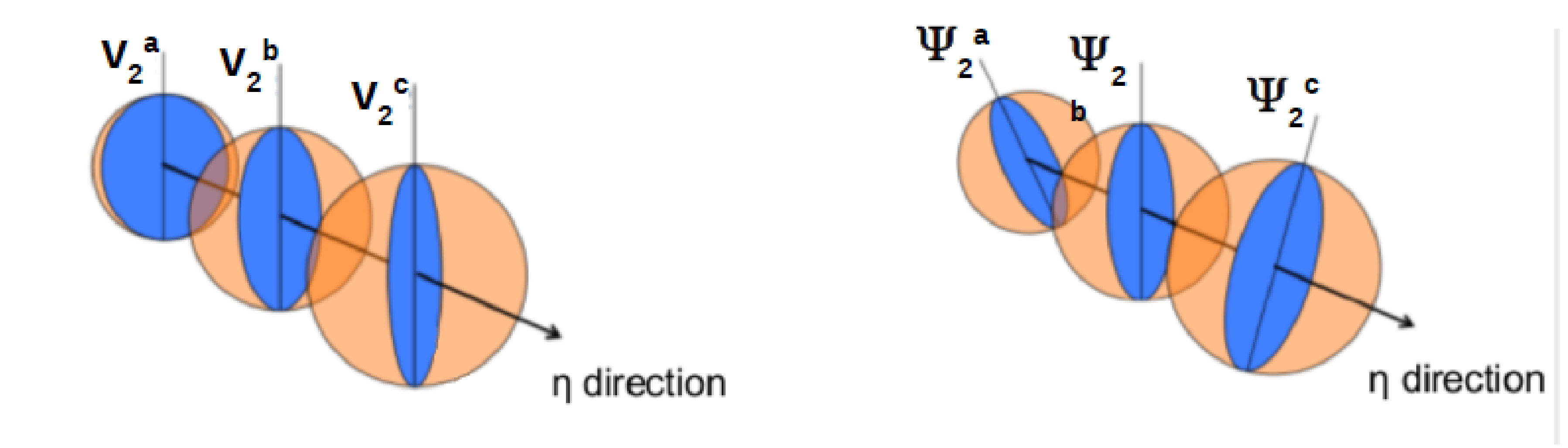
フロー係数の相関 ＋ 事象平面角の相関を評価

線形を仮定

$$\Psi_n(\eta_p^a) = -\Psi_n(\eta_p^{-a})$$

- フロー係数･事象平面角のどちらの相関が喪失しているのか？
- 線形だけでなく高次の構造？

ルジャンドル係数



Jiangyong Jia, Peng Huo
Phys. Rev. C 90, 034905 (2014)

$$v_2(\eta_p) = \sum_{k=0}^{\infty} a_2^k \, P_k\left(\frac{\eta_p}{\eta_p^{\max}}\right), \qquad \Psi_2(\eta_p) = \sum_{k=0}^{\infty} b_2^k \, P_k\left(\frac{\eta_p}{\eta_p^{\max}}\right), \qquad \eta_p^{\max} = 2.5$$

P_k: ルジャンドル多項式

$P_1(x) = x,\ P_2(x) = \frac{1}{2}(3x^2 - 1)$

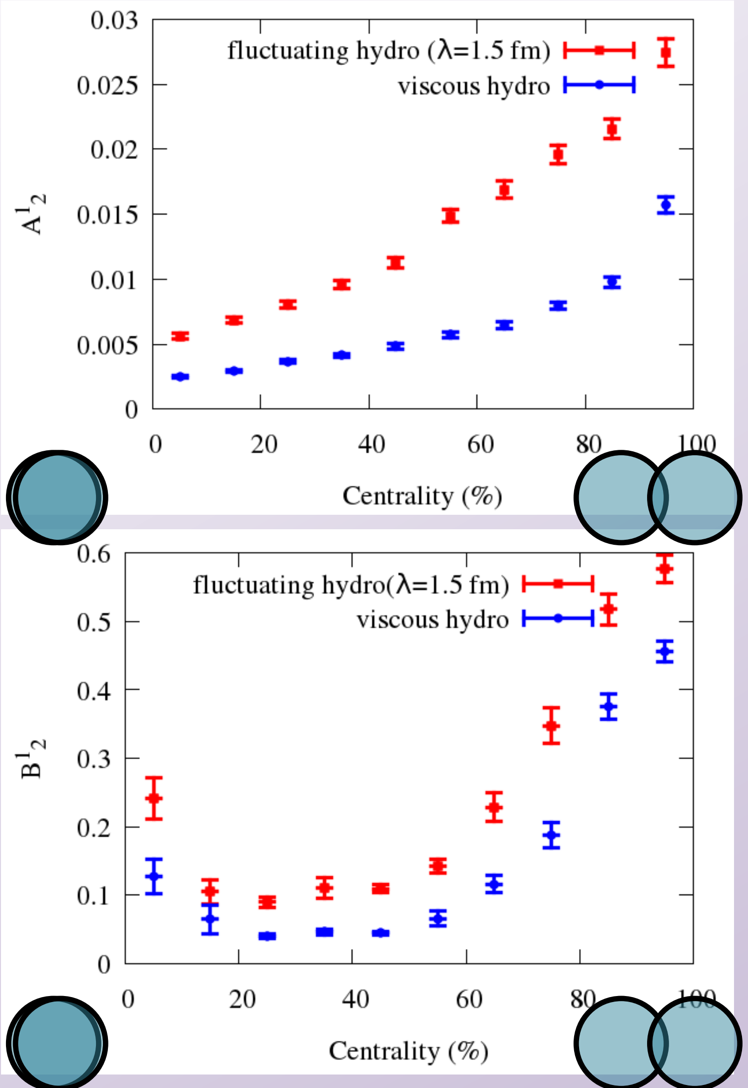
ルジャンドル係数 a_2^k , b_2^k

⇒ $v_2(\eta_p)$と$\Psi_2(\eta_p)$の相関の喪失を独立に評価

⇒ $v_2(\eta_p)$と$\Psi_2(\eta_p)$の非線形構造も評価可能

ルジャンドル係数

縦初期揺らぎなし



Pb+Pb, $\sqrt{s_{\mathrm{NN}}} = 2.76$ TeV

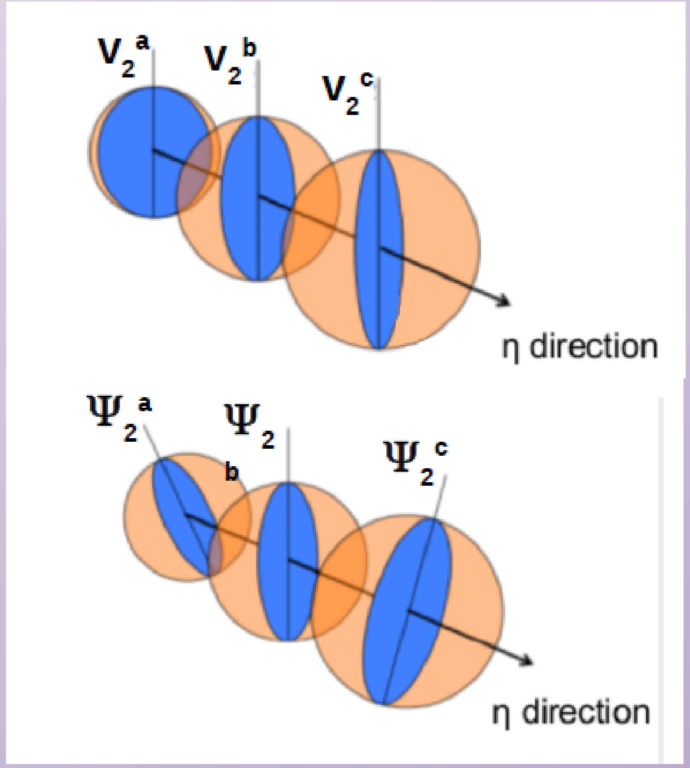
楕円型フロー v_2

$$A_2^1 = \sqrt{\langle (a_2^1)^2 \rangle}$$

２次の事象平面角 Ψ_2

$$B_2^1 = \sqrt{\langle (b_2^1)^2 \rangle}$$

a_2^k, b_2^k: ルジャンドル係数



揺動流体 ＞ 粘性流体

流体揺らぎ

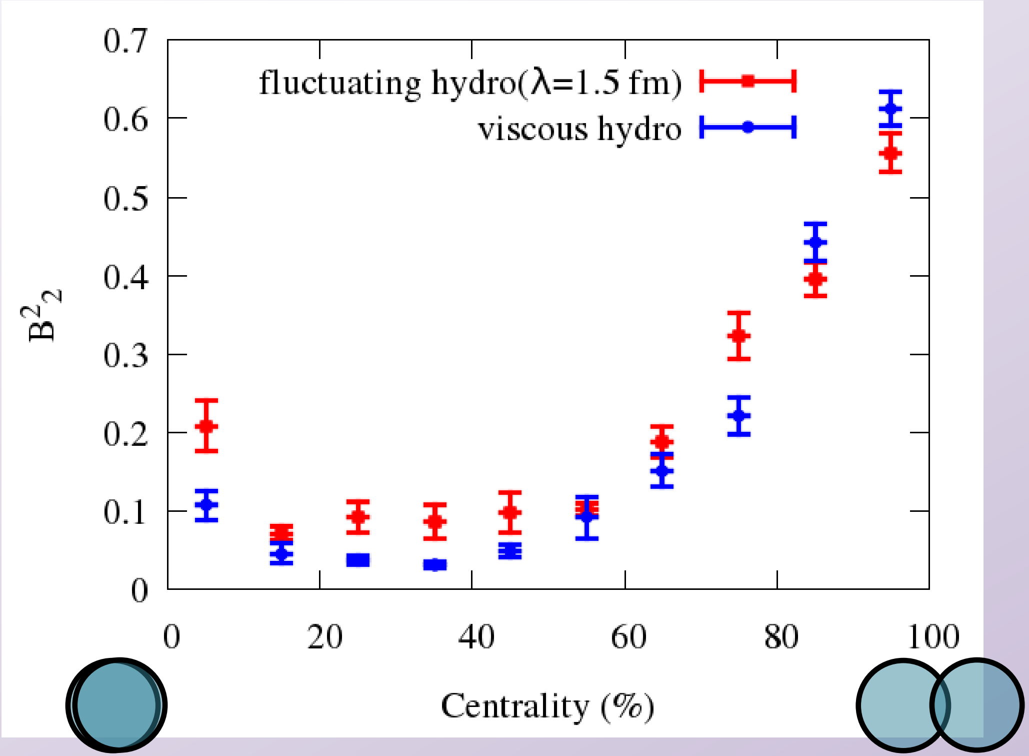
⇒楕円型フロー v_2

⇒ ２次の事象平面角 Ψ_2

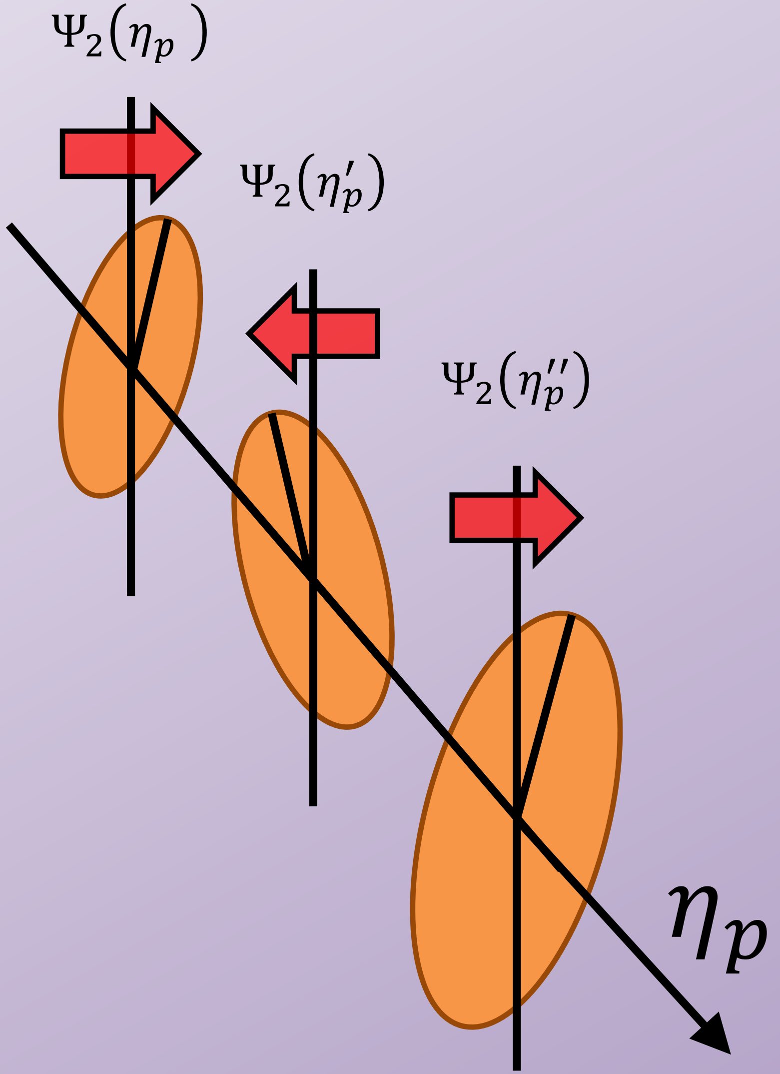
両方の相関の部分的喪失

ルジャンドル係数

<u>縦初期揺らぎなし</u>



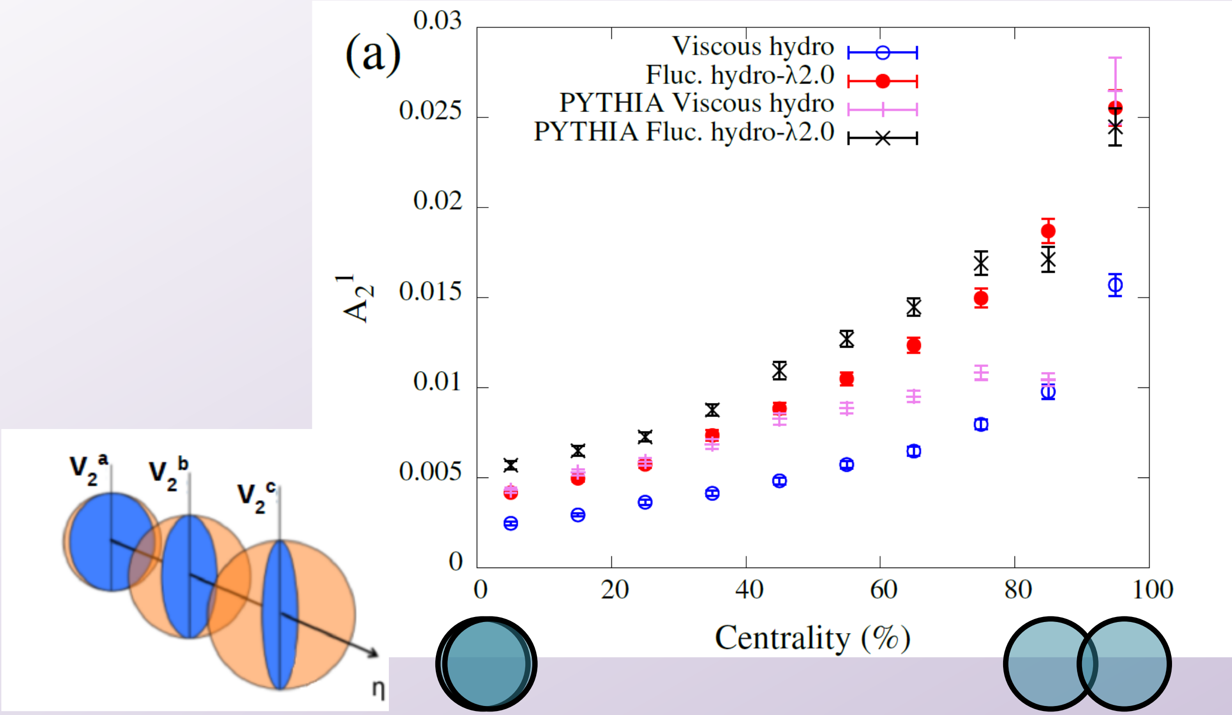
$$B_2^2 \neq 0$$

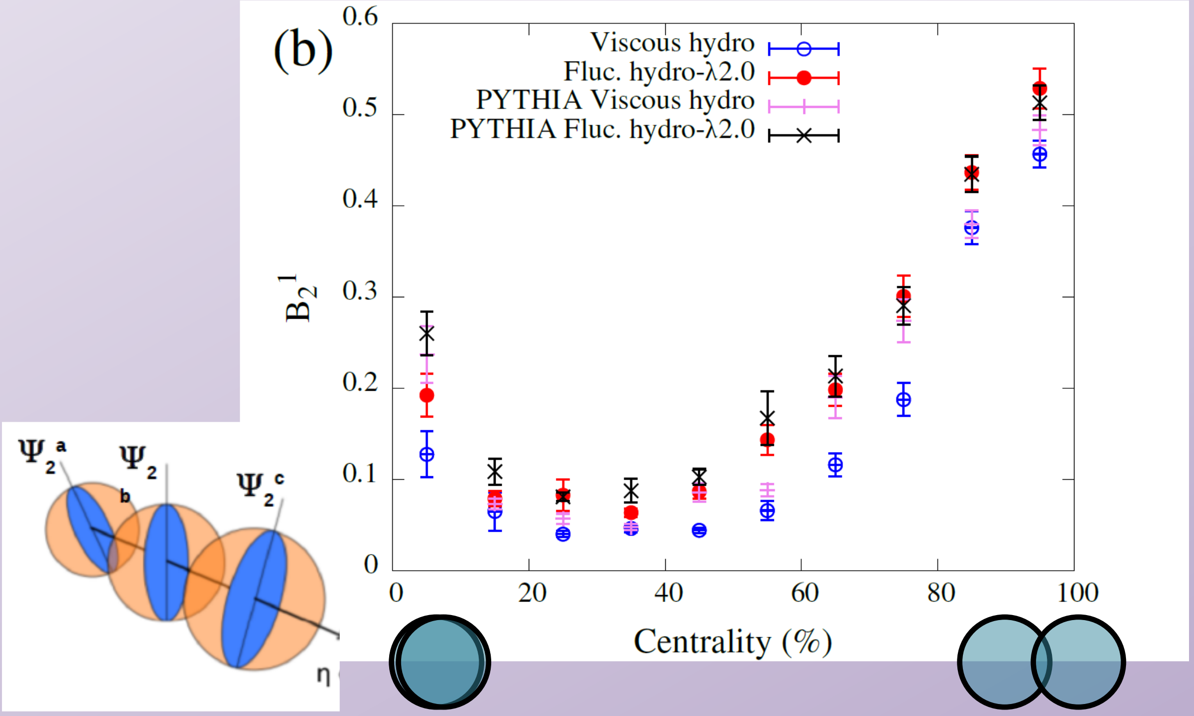


× 線形($\Psi_n \propto \eta_p$)

⇒ルジャンドル係数:高次の構造を評価可能

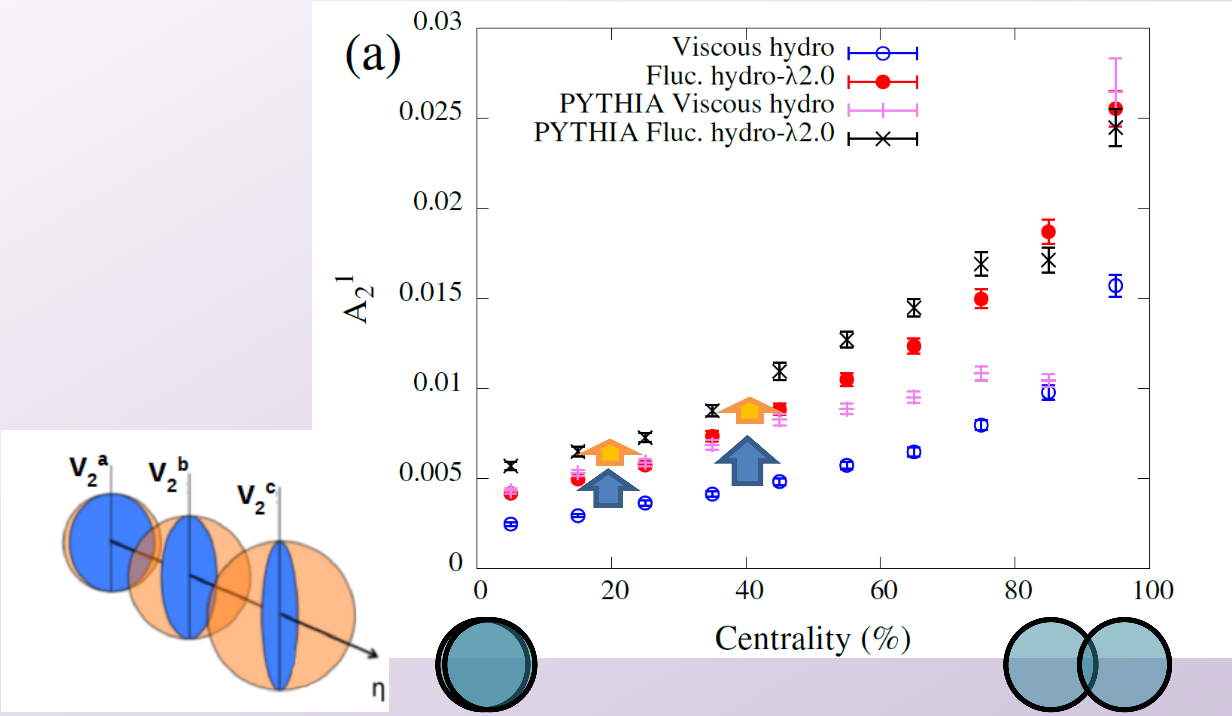
縦初期揺らぎのルジャンドル係数への影響？

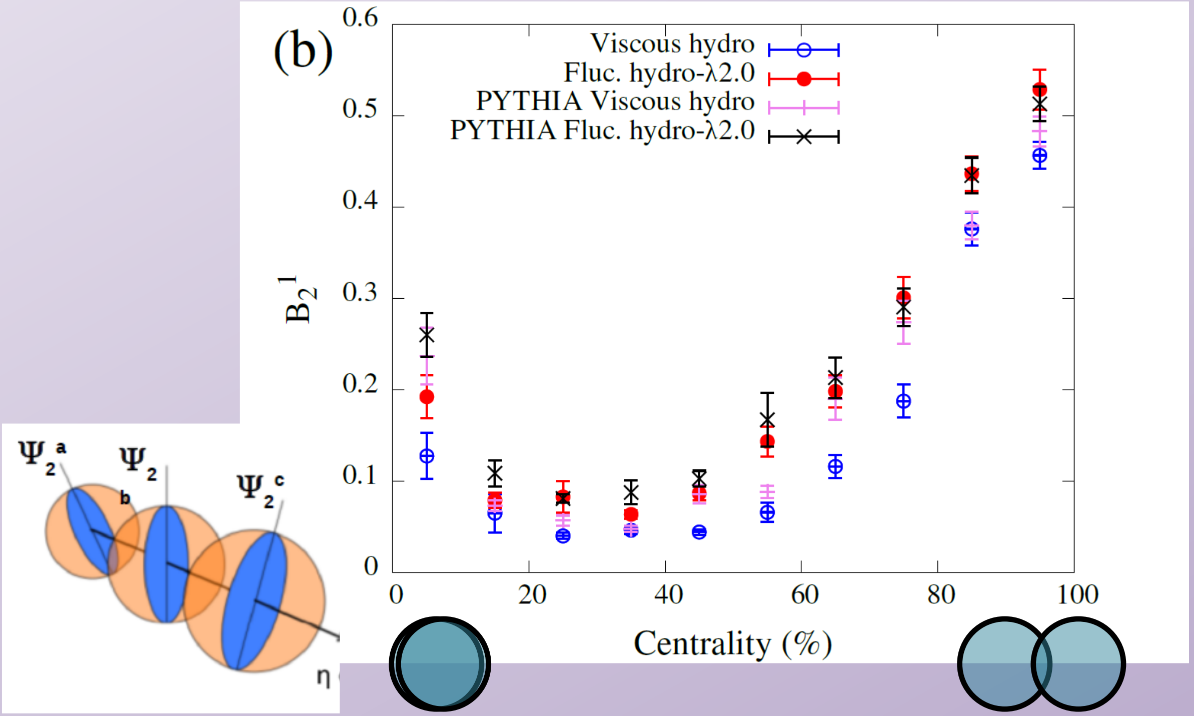




縦初期揺らぎ有 > 縦初期揺らぎ無

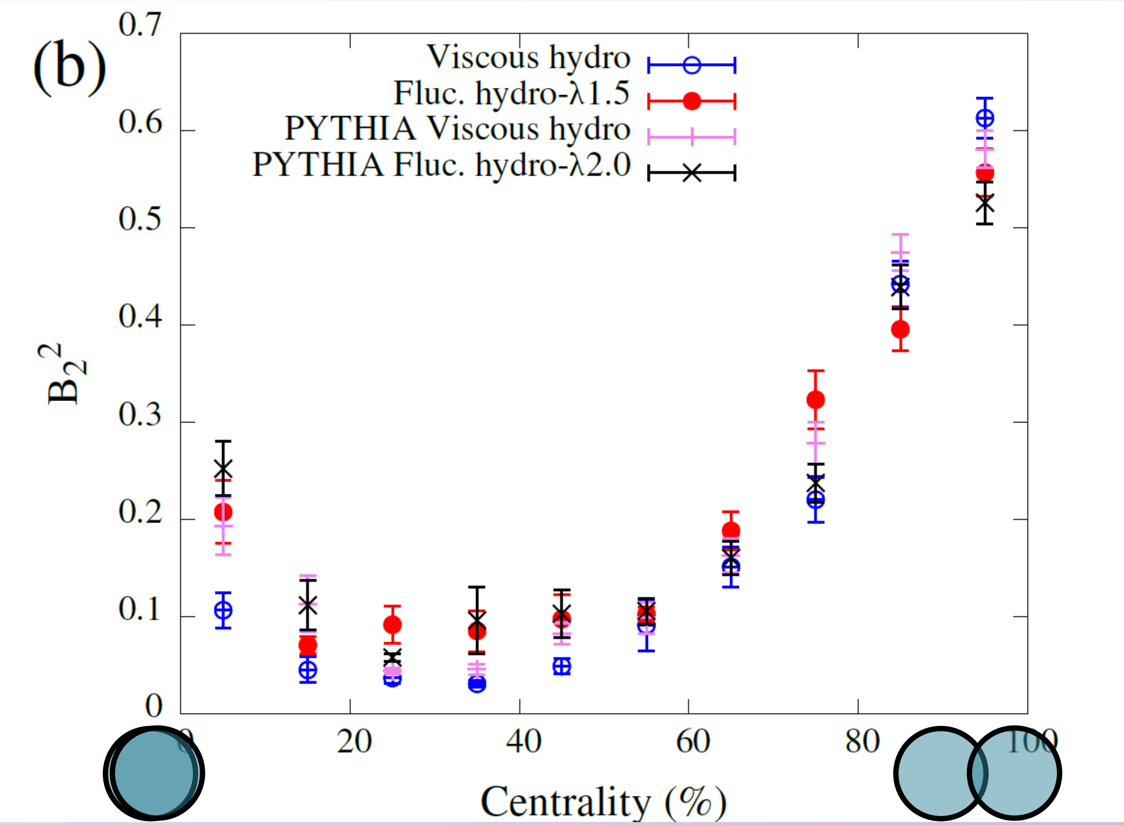
縦初期揺らぎのルジャンドル係数への影響



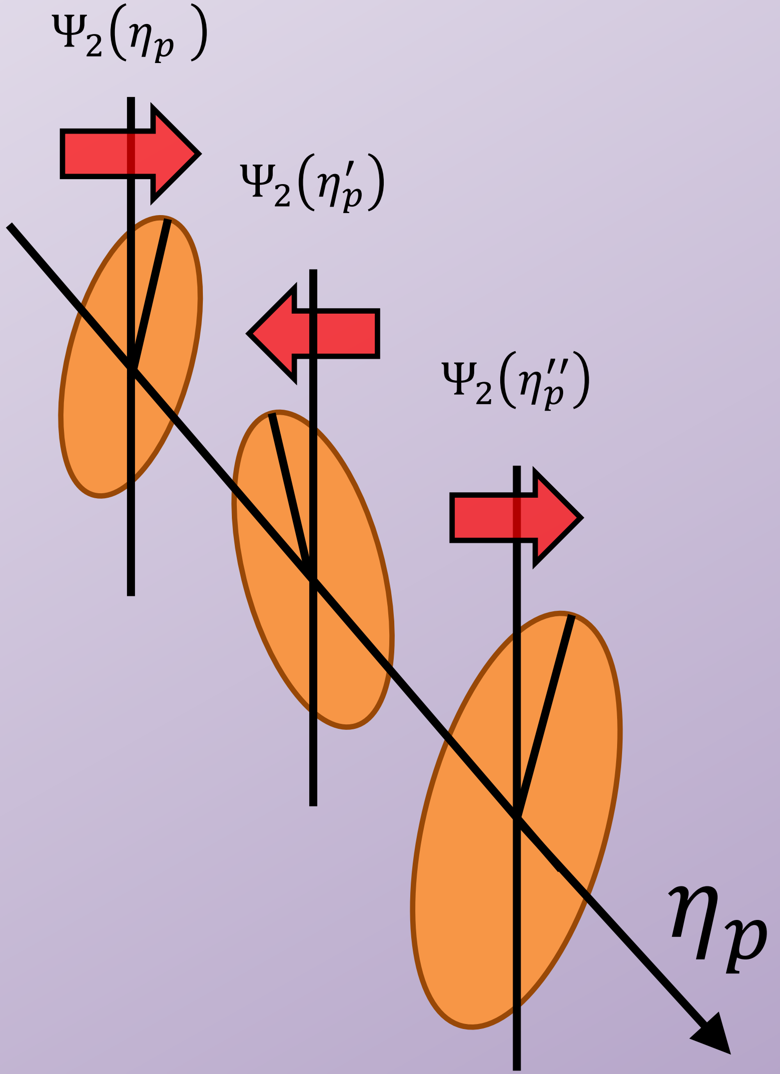


縦初期揺らぎ有 > 縦初期揺らぎ無

縦初期揺らぎのルジャンドル係数への影響



$B_2^2 \neq 0$



縦初期揺らぎ有≃縦初期揺らぎ無

まとめと今後の展望

◆統合的動的模型

- 縦初期揺らぎ
- 流体揺らぎ

◆因子化比

- 流体揺らぎ⇒相関をより喪失
- 縦初期揺らぎ⇒相関をより喪失
- 流体揺らぎ$(\lambda = 2.0\ \mathrm{fm})$ + 縦初期揺らぎ ⇒ $r_2\left(\eta_p^a, \eta_p^b\right)$ の中心度依存性を再現
- <u>流体揺らぎと縦初期揺らぎの重要性</u>

まとめと今後の展望

◆ ルジャンドル係数

- フロー係数の相関と事象平面角の相関を独立に評価する方法を提案
- 流体揺らぎはフロー係数の相関と事象平面角の両方の相関をより喪失
- 縦初期揺らぎはフロー係数の相関をより喪失

<u>高エネルギー重イオン衝突反応における流体揺らぎの影響を初めて定量的に評価</u>

<u>今後の展望</u>

- 流体揺らぎ＋縦初期揺らぎを取り入れた模型で輸送係数を評価