



(s)PHENIXから将来へ ～恩師から学んだことを次世代へ～

下村 真弥 (奈良女子大学)

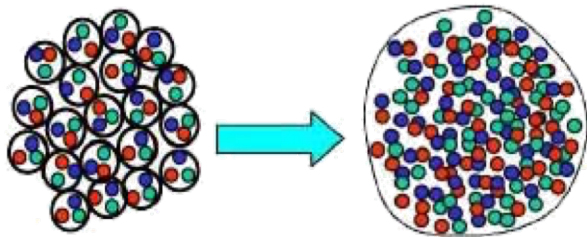


三明さんと私

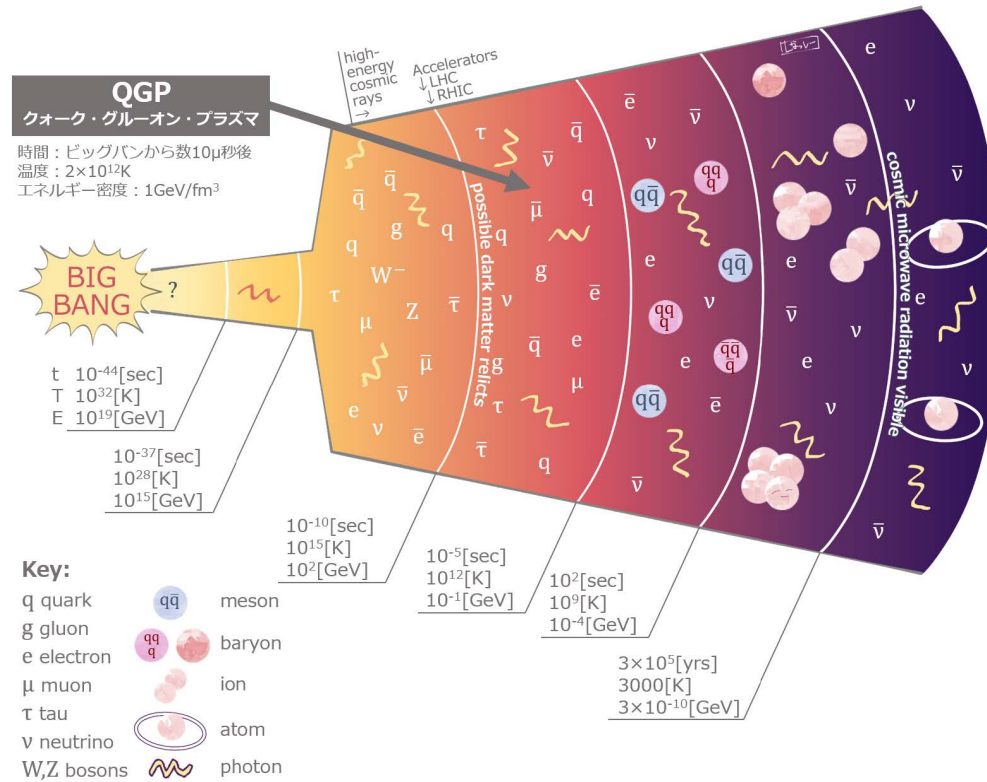
- 出会い:八木先生からの紹介 (2001.5)
 - 初めて会った日「こう見えて僕も、、」
 - 筑波大学大学院三明研への進学(2002.4)
 - 忘れもしない大学院面接試験で「5年一貫を受ける理由は」
- (師弟) 愛の育み、(ただし主に片思い) : 修士・博士課程 + 研究員の7年間
- 裏切り・別れ: アメリカのポスドクへ(2011.4)
 - 珍しく声を荒げて「裏切り者~」、しかし結局応援してくれる。
- 別れられない関係
 - 迷惑かけないよう気をつけます・・・



クォーク・グルーオンプラズマの研究



クォークとグルーオンが閉じ込めから解放された新しい物質相へ相転移

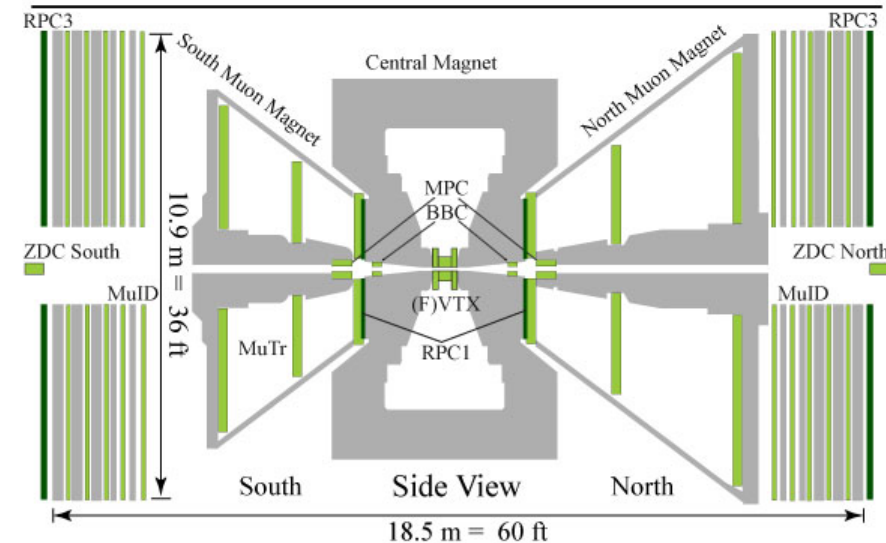
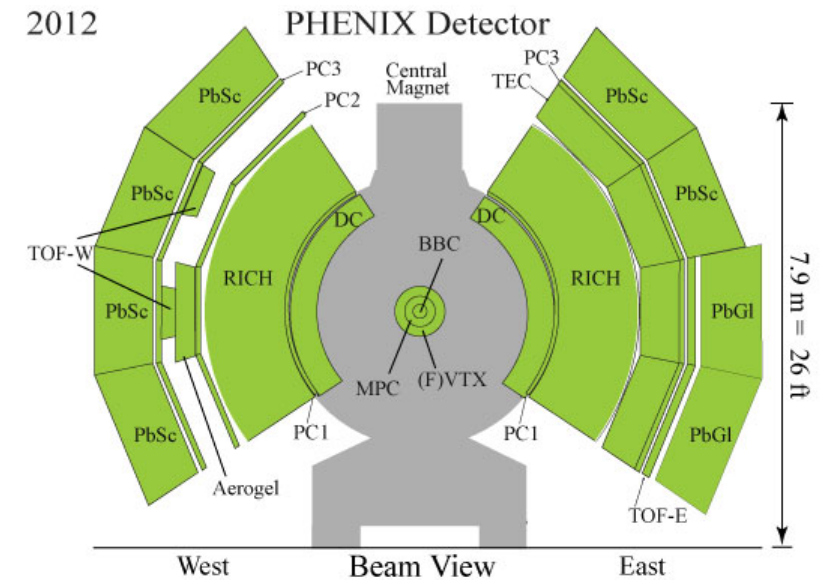


高温QCD物質の研究。宇宙初期の状態でもあった。
作り出すために、大型加速器での実験を行う。

RHIC-PHENIX 実験

- 実験は、2000年にスタート2016年に終了
- データ解析を活動的に続けている。
- 9種類の原子核衝突、9つのエネルギーでの衝突データを取得済み。
- sPHENIX実験が進行中

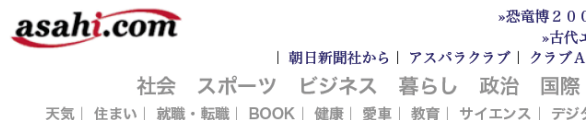
$\sqrt{s_{NN}}$ [GeV]										
510	<input checked="" type="checkbox"/>									
200	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
130									<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
62.4	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
39				<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
27									<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
20				<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14.5									<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7.7									<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>



最近の論文

- PRL130, 251901 (2023) Direct γ cross section in $p+p$ $\sqrt{s} = 510$ GeV
- PRD107, 112004 (2023) Transverse spin asymmetry of π^0 , η in $p+Al$ and $p+Au$ $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV
- PRD107, 052012 (2023) Transverse spin asymmetry of heavy flavor decay electrons
- PRC107, 024907 (2023) Flow in $p+p$, $p+Al$, $d+Au$, ^3He+Au $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV
- PRC107, 024914 (2023) Low p_T γ in $Au+Au$ at $\sqrt{s_{NN}} = 39$ and 62.4 GeV
- PRC107, 014907 (2023) ϕ in $Cu+Au$ and $U+U$ $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV
- PRC106, 014908 (2022) ϕ in $p+p$, $p+Al$, $d+Au$, ^3He+Au $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV
- PRC105, 064912 (2022) $\psi(2S)$ in $p+p$, $p+Al$, and $p+Au$ $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV
- arXiv:2303.12899 Suppression of high p_T π^0 relative to direct γ in central $d+Au$ $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV
- arXiv:2303.07191 Transverse spin asymmetry of h^\pm in $p+p$, $p+Al$, and $d+Au$ $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV
- arXiv:2203.17187 Non-prompt γ in $Au+Au$ $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV
- arXiv:2203.17058 Charm and bottom production in $Au+Au$ $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV

当初の目的、QGPできた！



社会 [asahi.com トップ](#) > 社会 > その他・話題

宇宙の始まりはしづく？ 「クォークスーブ」と発表

2005年04月18日23時34分

宇宙誕生の大爆発「ビッグバン」直後に相当する超高温・高圧の状態を再現する実験をしてきた日米などの国際チームは18日、物質を形づくる究極の基本粒子クォークは超高温でバラバラに飛び回るのでなく、しづくのような液状状態にあったと考えられる、と発表した。理論的に予想外の発見が、宇宙や物質のなりたちを説明するシナリオに影響を与える可能性がある。

基本粒子クォークとそれらをくっつける「グルーオン」の役割をする素粒子は、超高温の宇宙初期にはバラバラで存在していたが、冷えた今の宇宙では、強い力で陽子などの中に閉じ込められ、1個ずつ引き離すのは難しい。

チームは00年から米ブルックヘブン国立研究所で、ほぼ光速で走る金のイオン同士を衝突させ、ビッグバンの数十分の1秒にあたる1兆度以上の「クォークとグルーオンのかたまり」を作った。そこから飛び出した粒子の軌跡などを解析したところ、クォークは、粘り気のないサラサラした液体の性質を示すことが分かった。

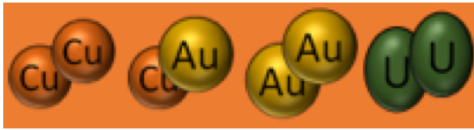
出典：『ウルトラマンサーガ』本編より／松竹系劇場にて
2012年3月24日公開©2011「ウルトラマンサーガ」製作委員会



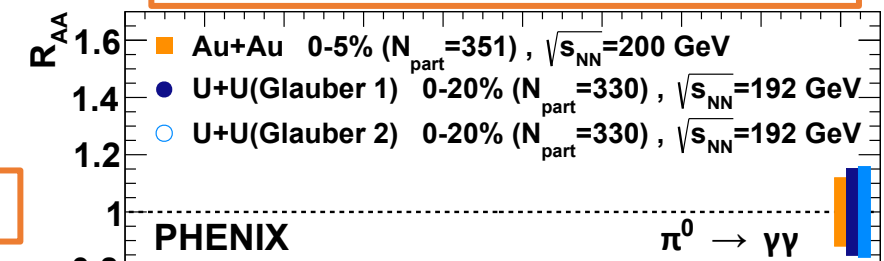
4～5兆度に到達。ゼットンの火球（1兆度）を超えた～！

大きい系での最近の結果

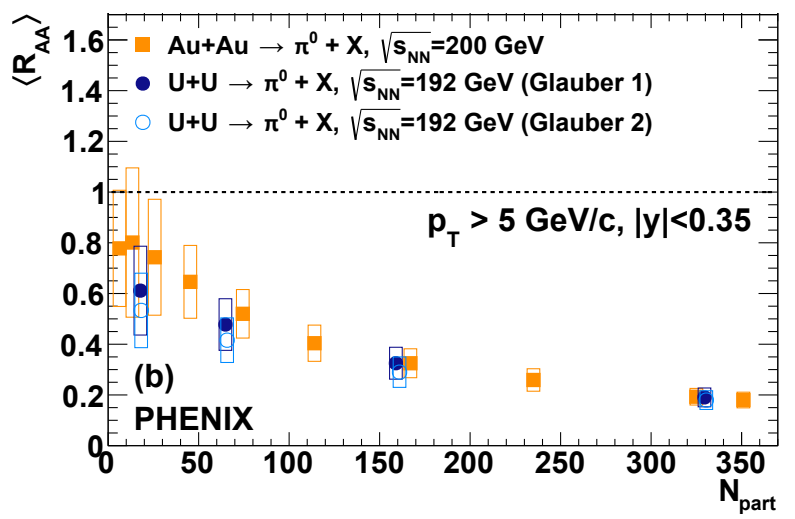
色々なサイズの $\pi^0 R_{AA}$



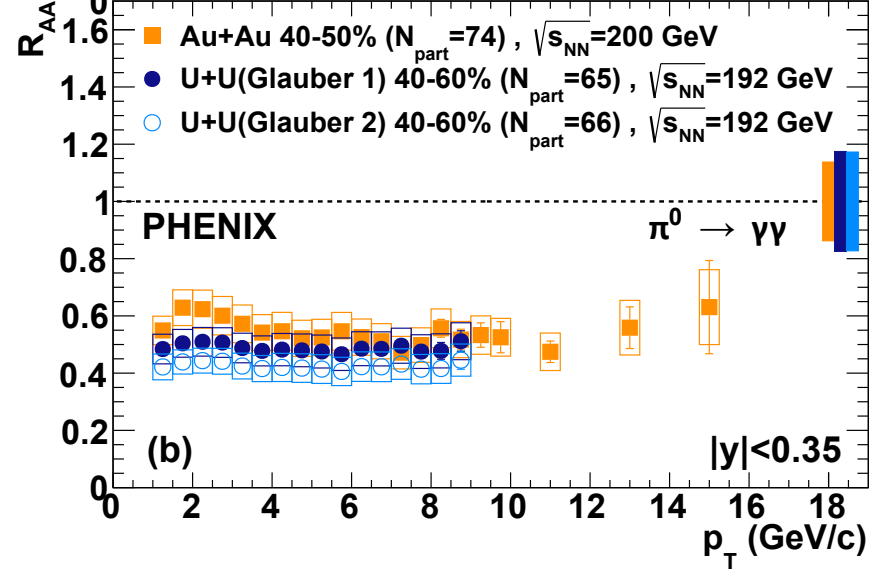
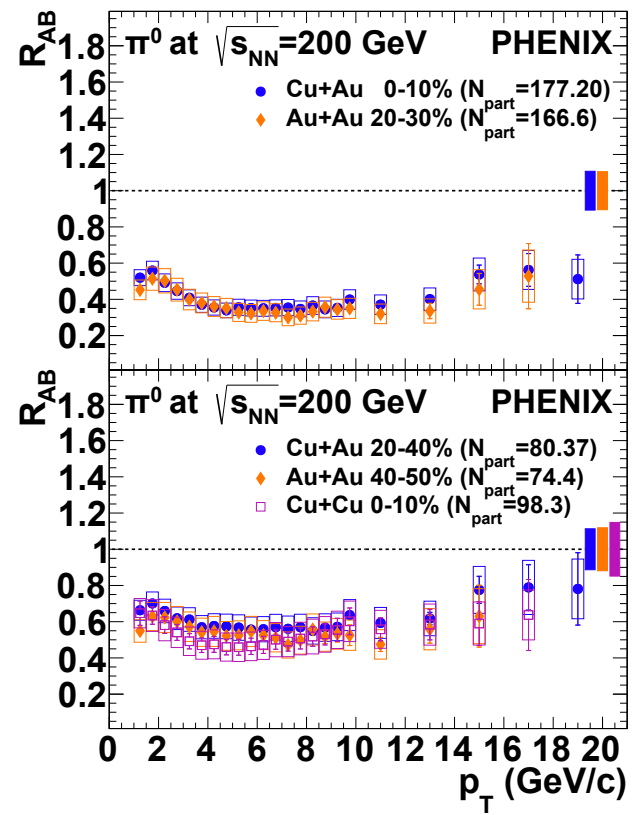
PHENIX, PRC 102, 064905 (2020)



PHENIX, PRC 102, 064905 (2020)



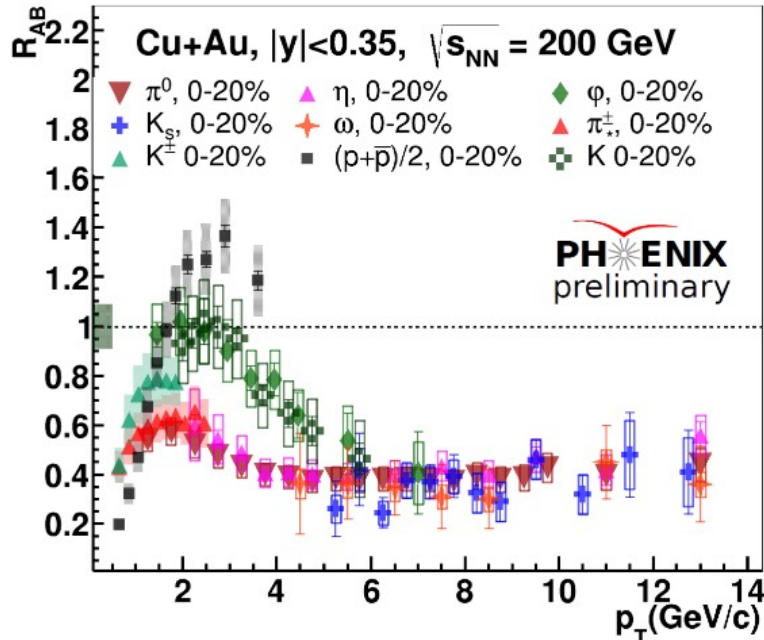
PHENIX, PRC 98, 054903 (2018)



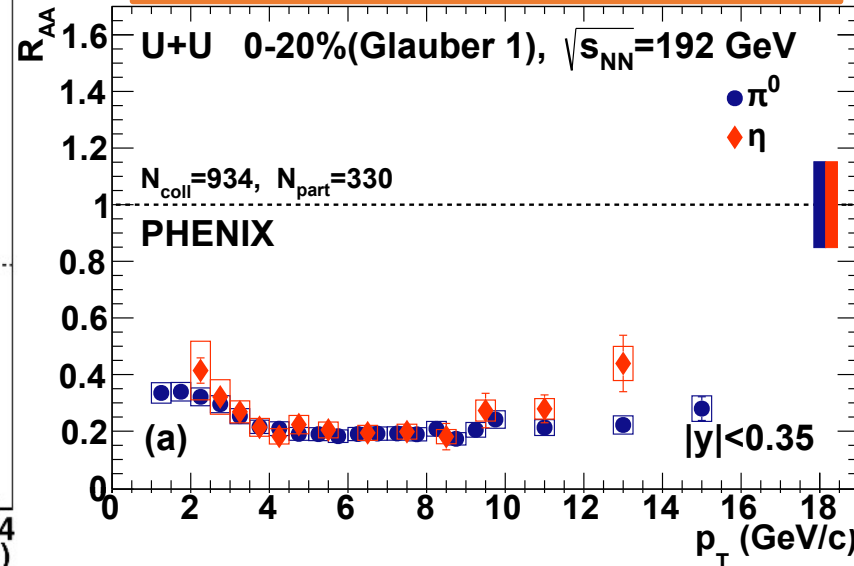
R_{AA} はサイズ (N_{part}) に依存していて、衝突原子核にはよらない。

粒子識別されたハドロン R_{AB} in UU and CuAu

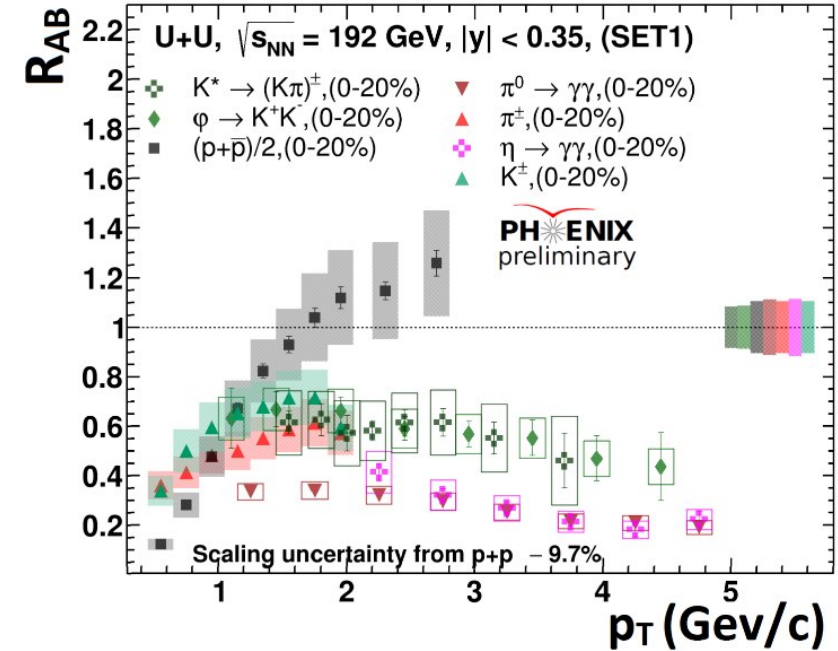
PHENIX, PRC 107, 014907 (2023)



PHENIX, PRC 102, 064905 (2020)

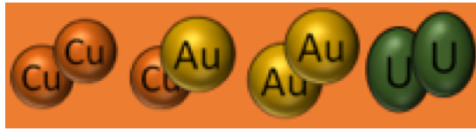


PHENIX, PRC 107, 014907 (2023)



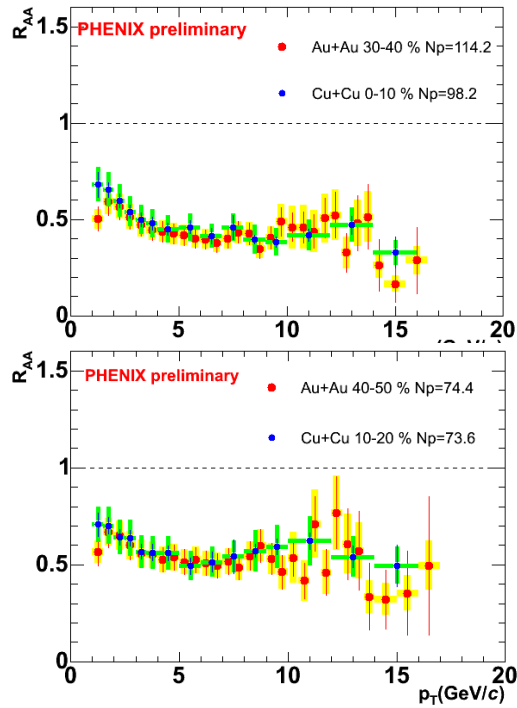
- R_{AB} は、 $\sim 4-6$ GeV/c から 15 GeV まで一定。
- 中間 p_T では、粒子質量順に並んでいる
 - Radial flow + coalescence ?
- AuAu と一緒。

色々なサイズの $\pi^0 R_{AA}$

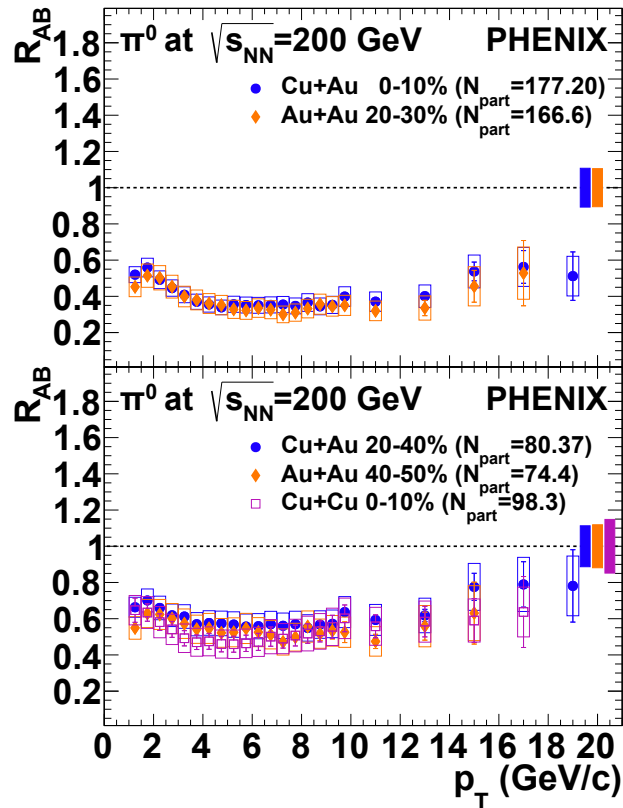


最初の比較

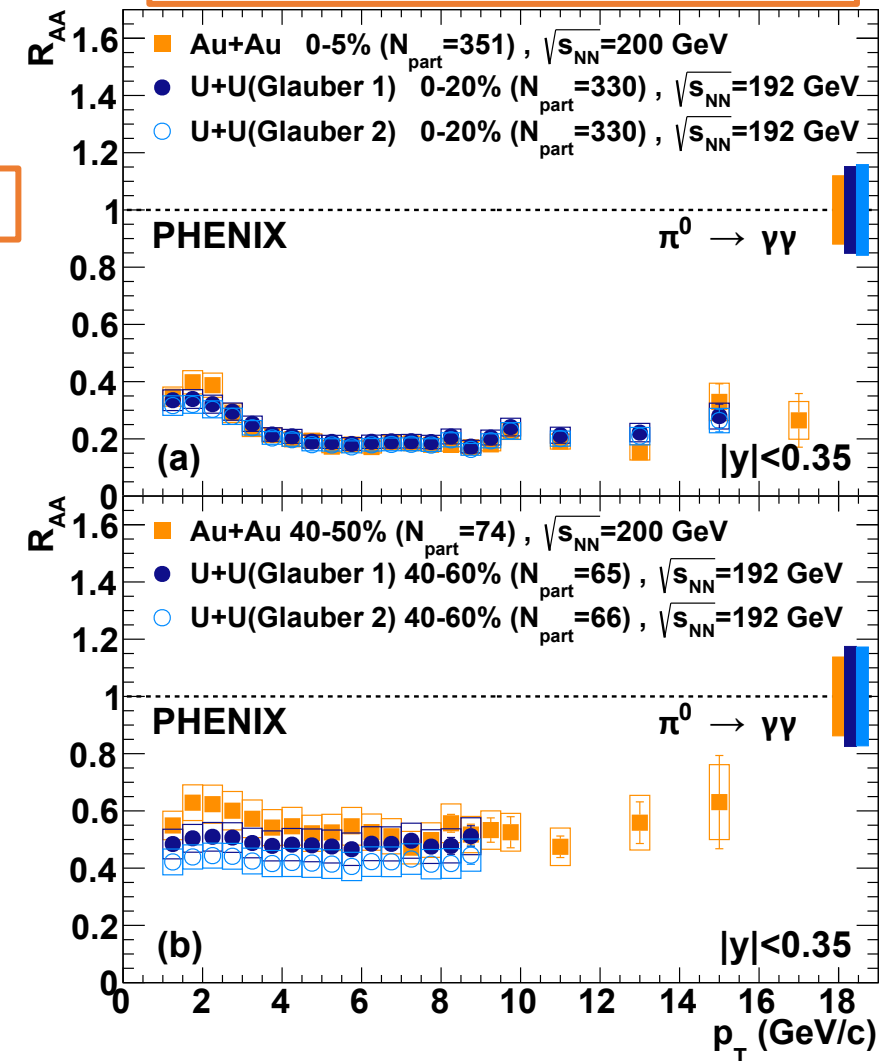
QM2005 my talk -> 次のページの写真



PHENIX, PRC 98, 054903 (2018)



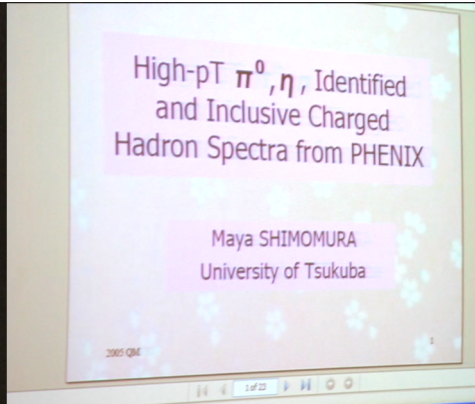
PHENIX, PRC 102, 064905 (2020)



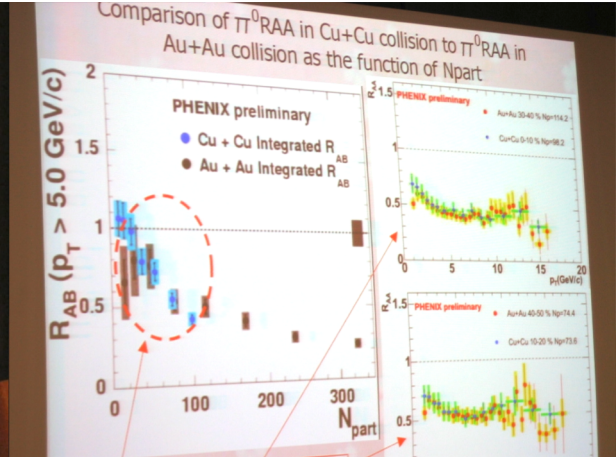
R_{AA} はサイズ (N_{part}) に依存していて、衝突原子核にはよらない。

D2 初めての国際学会発表 QM2005

益井さん



下村



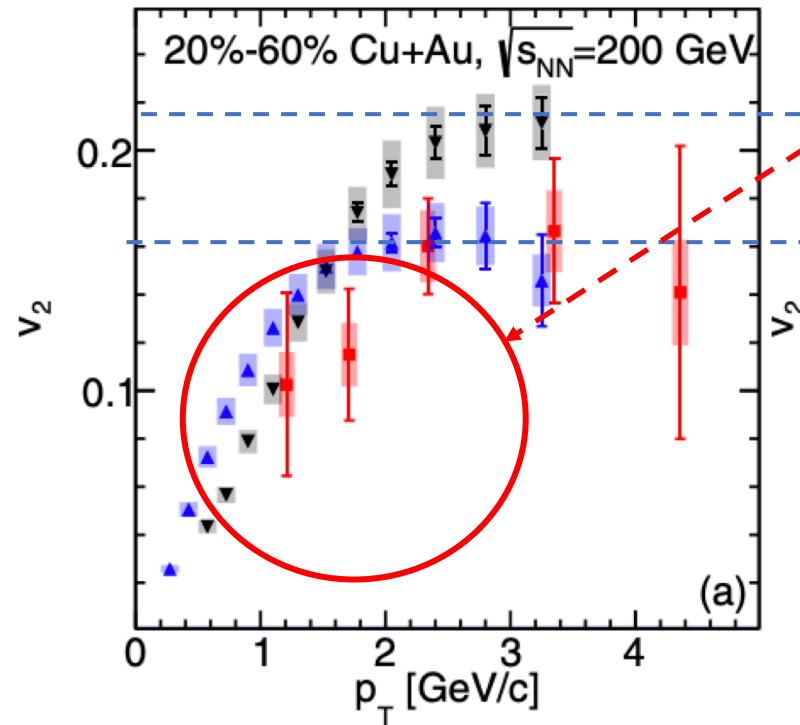
- なんだかよくわからんがオオゴトみたい？
- どこまで行っても、英語！
- 不真面目で真面目な先輩・同輩に囲まれて。
- 三明さんのポリシーにより、メンバーに恵まれていた。

金野さん



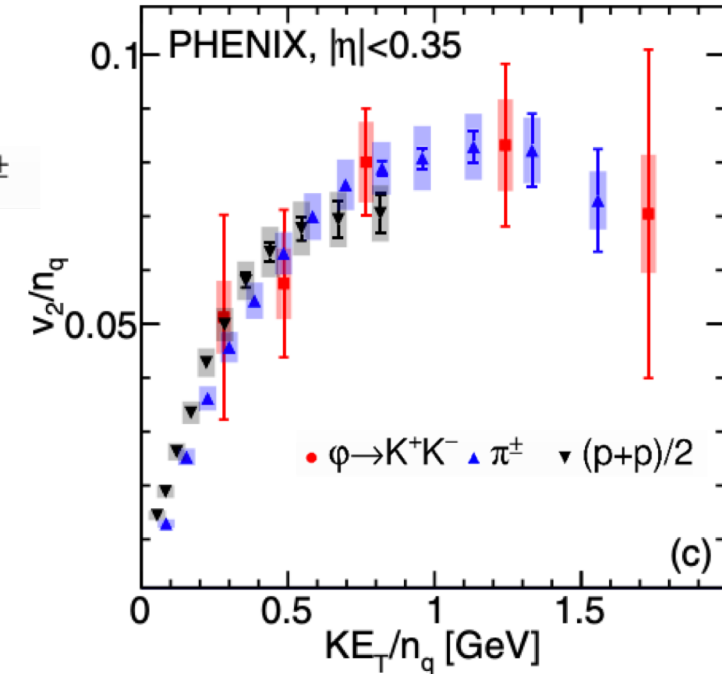
ϕ v_2 in CuAu

Mass ordering
 π^0 (134MeV) \ll p(938MeV) $<$ ϕ (1019MeV)



\blacktriangledown (p+p)/2

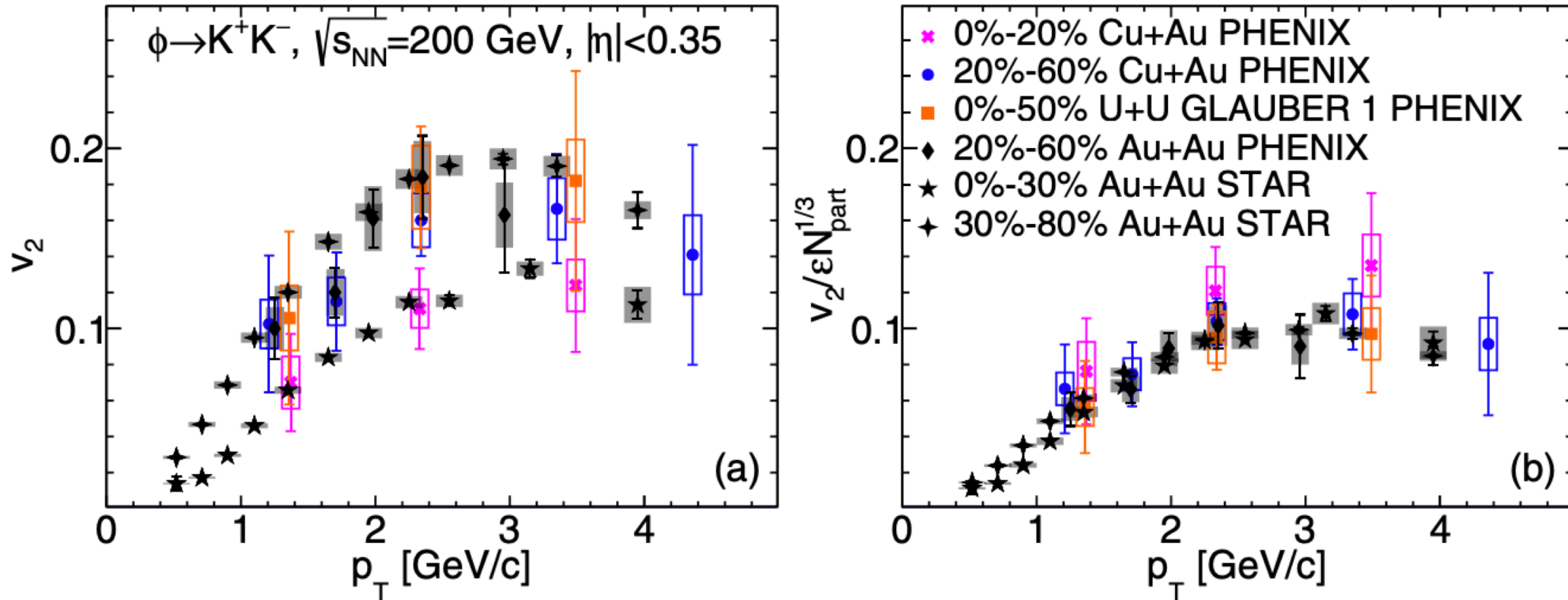
\bullet $\phi \rightarrow K^+K^-$ \blacktriangle π^\pm



- 低 p_T では、粒子質量順に並んでいる \rightarrow radial flow
- 中間 p_T では、Quark number scaling \rightarrow coalescence

ϕ v_2 with N_{part} scaling in UU and CuAu

PHENIX, PRC 107, 014907 (2023)

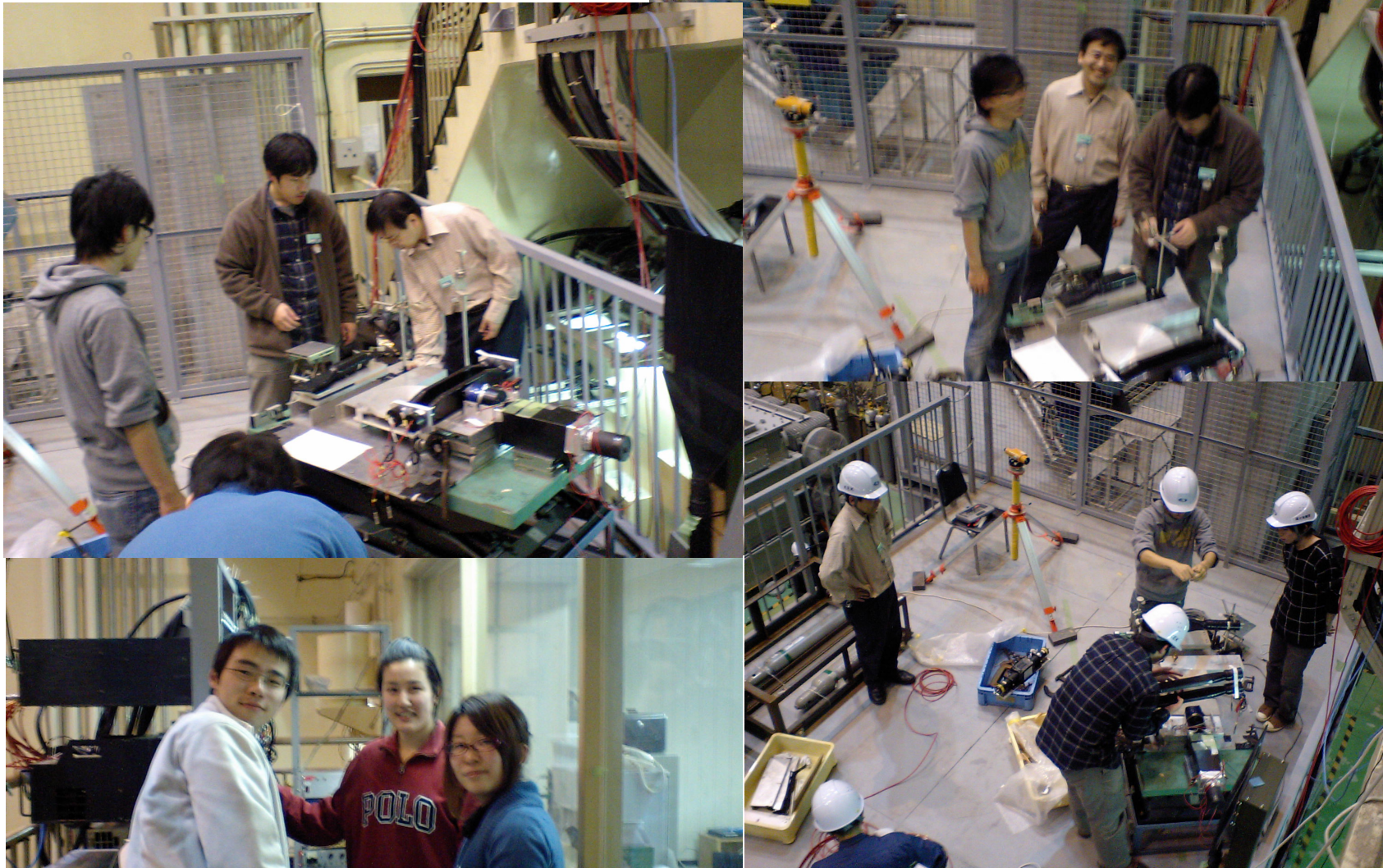


- 軽いハドロン同様、 $v_2/(\epsilon \cdot N_{part}^{1/3})$ scaling が ϕ でも成り立つ

PHENIXでの発展

- 研究室の王道 v_2 flow measurement
- quark level での流体がなければ説明つかないほど大きな $v_2 \rightarrow$ QGP の証拠の一つ。
 - 大きな v_2 があったんだよ！小さな衝突系でQGPかもしれないんだって！？
 - 「よくわからないけど、研究楽しそう」がたくさんあった
 - 時々、「息抜き」に学生部屋にやってくる（どちらの！？）「息抜き」って言うてもうた！ \rightarrow 教員になった今、思うと、、、
 - 失敗1 オチを求められているのかと、、、
 - 失敗2 真面目にTAしようと、実験最初の説明を聞く。ノートにメモ？
- $N_{part}^{1/3}$ scaling 発見。解釈？ \rightarrow 「やったね、これで博士論文書けるね。」
 - 論理的であれ。予想と研究結果を分けて話すべし。

KEK で、テスト実験楽しそう。



- 誰も解決できなかったノイズ問題をフラッとやってきて一瞬で解決した(らしい)。

2023/12/9

(s)PHENIX/ Maya. S

重イオン研究以外の仕事

M1 の初め

実験をともにしたロシアの方達と打ち上げ～！



お客さんを観光に連れて行く

博士審査直前



KEKサマーチャレンジへの参加



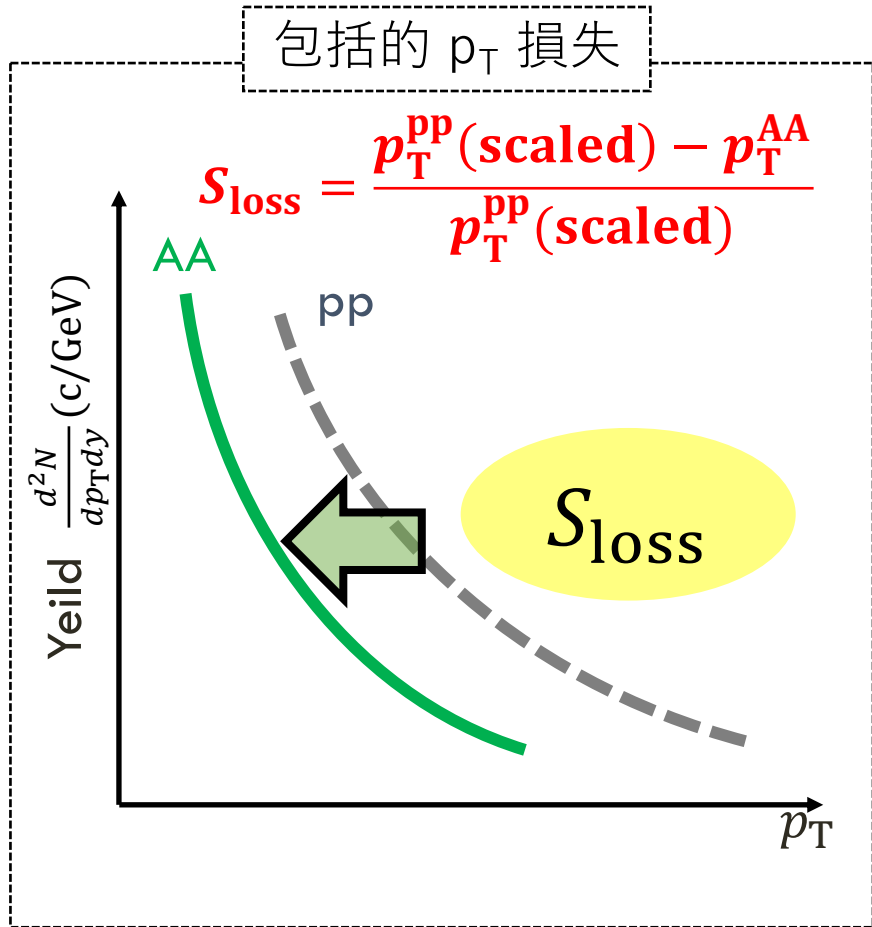
- その時にわからなくても後で役に立つことがたくさんあった
- 人や関係をサポートする未来型のリーダーシップ

$S_{\text{loss}}, S'_{\text{loss}}, S_{\text{loss,in}}$ and $S_{\text{loss,out}}$

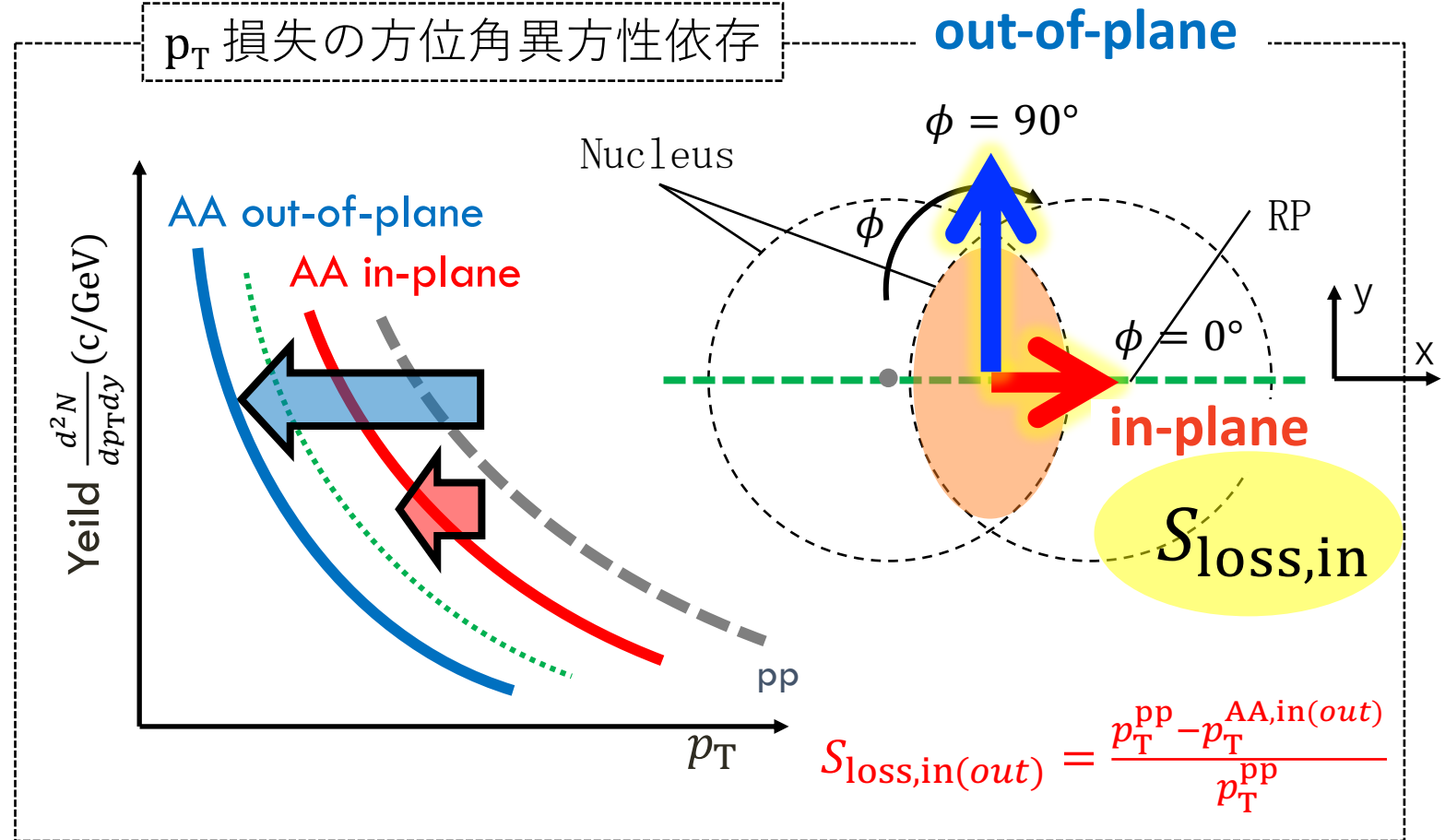
$$S'_{\text{loss}} = \frac{p_T^{AA,in} - p_T^{AA,out}}{p_T^{AA,in}}$$

$S_{\text{loss,out}}$

包括的 p_T 損失

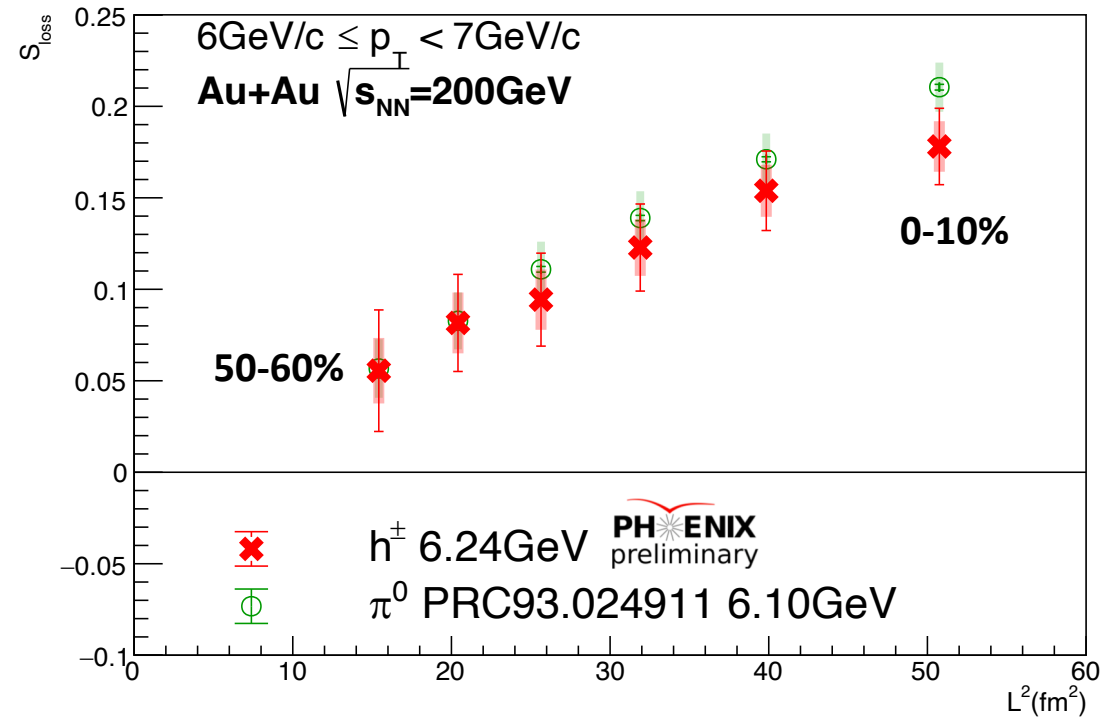


p_T 損失の方位角異方性依存



$$S_{loss} = \frac{p_T^{pp}(\text{scaled}) - p_T^{AA}}{p_T^{pp}(\text{scaled})}$$

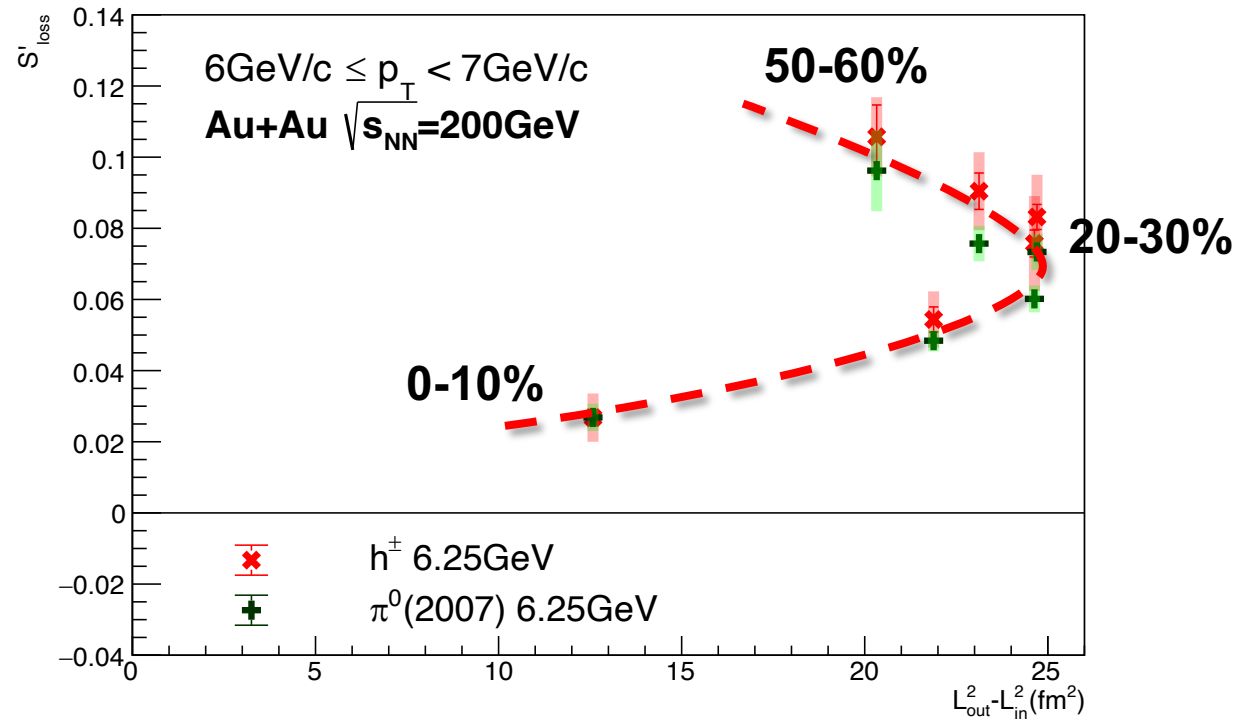
S_{loss} vs. L^2



$$S'_{loss} = \frac{p_T^{AA,in} - p_T^{AA,out}}{p_T^{AA,in}}$$

$$\Delta L^2 = L_{out}^2 - L_{in}^2$$

S'_{loss} vs. ΔL^2

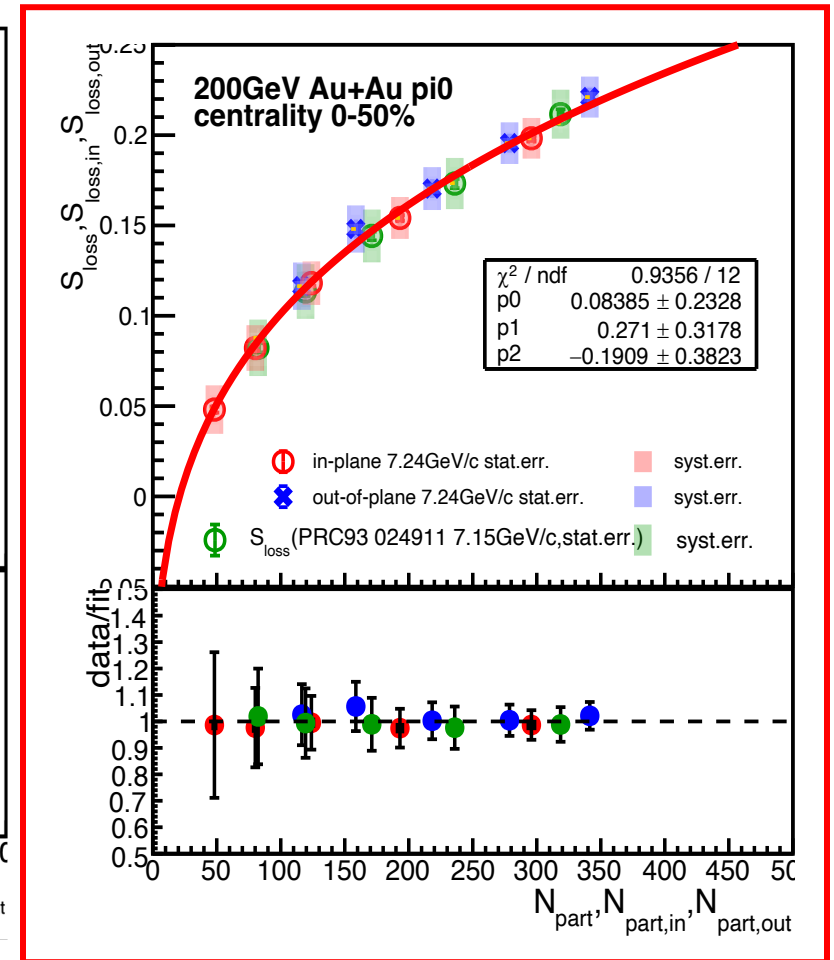
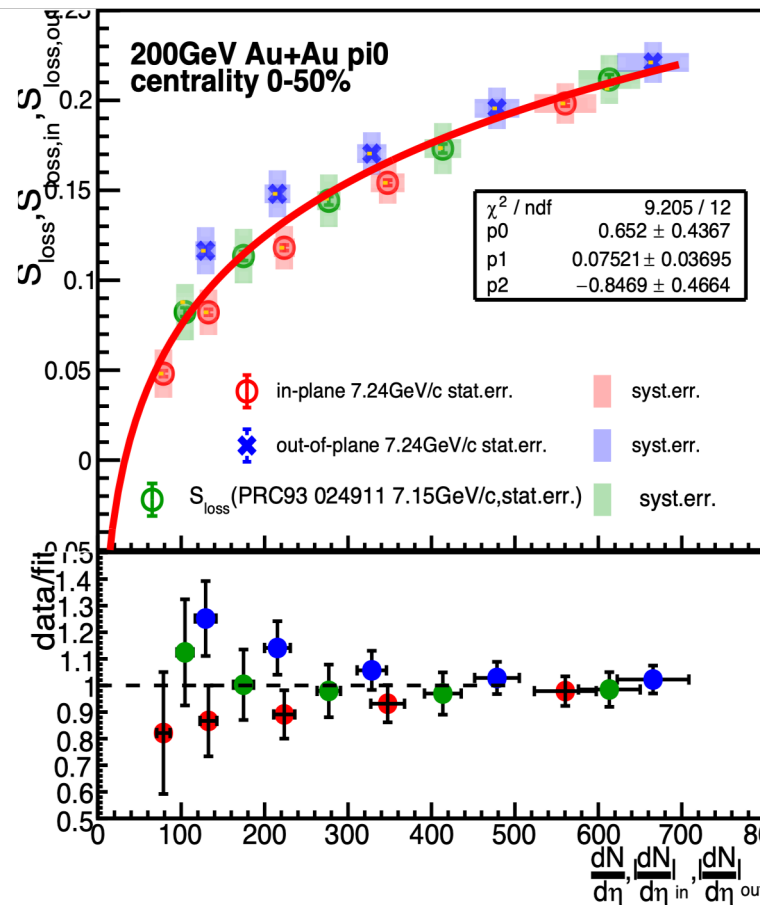
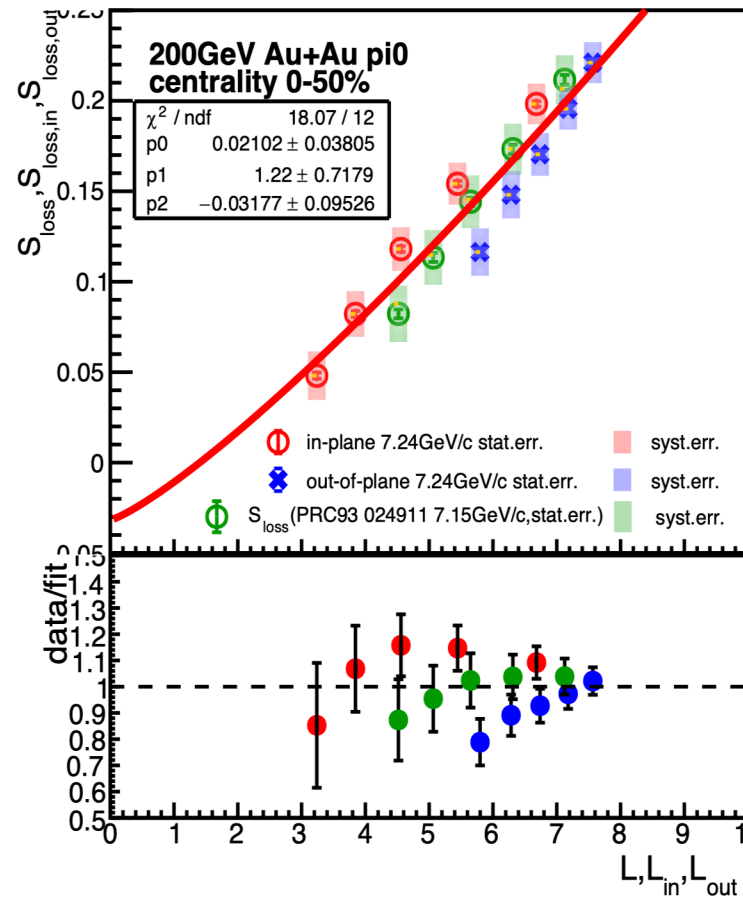


- S_{loss} は、 L^2 に比例 → グルーオン放射が支配的かも
- でもそれでは S'_{loss} が説明できない

$S_{\text{loss}}, S_{\text{loss,in}}, S_{\text{loss,out}}$ vs. $L, dN_{\text{ch}}/d\eta, N_{\text{part}}$

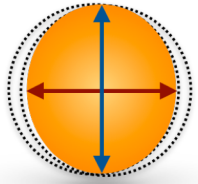
Fitting function
 $f(x) = p_0 * x^{p_1} + p_2$

* p_T (4-10GeV/c)でも同様の結果

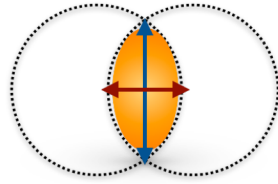


- $S_{\text{loss}}, S_{\text{loss,in}}, S_{\text{loss,out}}$ が N_{part} の関数で同じ曲線に乗る。L や $dN/d\eta$ よりも。
 → 初期の核子数、核子密度と重要な依存関係をもつ。→ Jetの S_{loss} は？

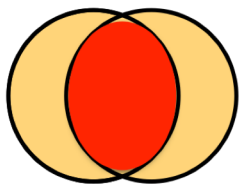
v_2 vs. N_{part} , multiplicity



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



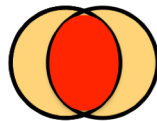
Small ← eccentricity → Large
 High ← multiplicity ($dN/d\eta$) → Low
 Large ← N_{part} → Small
 Small ← v_2 → Large



Phys. Rev. C **92**, 034913

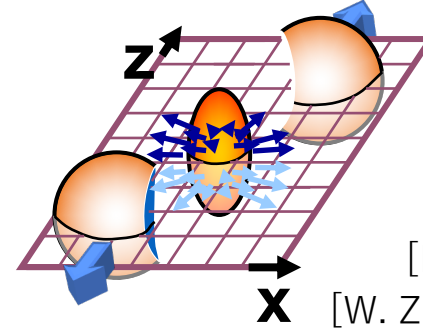
With the same eccentricity

$$\epsilon_{Au+Au} = \epsilon_{Cu+Cu}$$

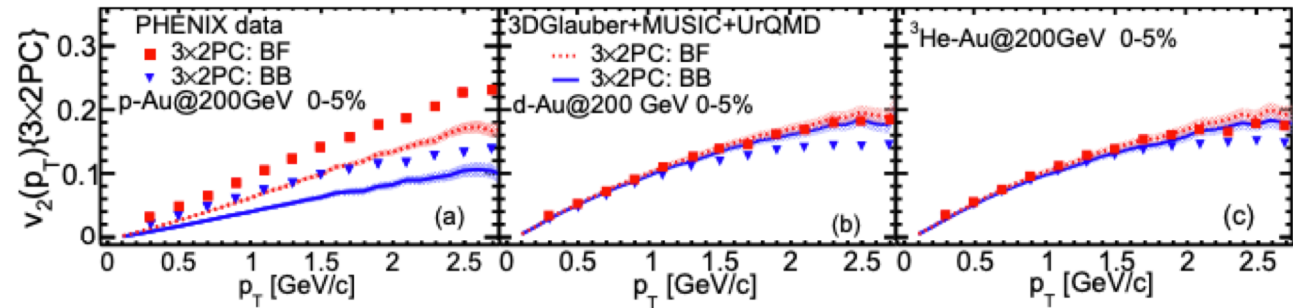


High ← multiplicity ($dN/d\eta$) → Low
 Large ← N_{part} → Small
 Large ← v_2 → Small

Multiplicity と N_{part} を別々の軸として取り扱う。
 スペクテーターと生成粒子数を 2D としてイベントを分ける。

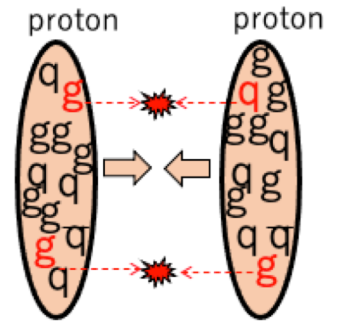


[PHENIX: PRC107.024907(2023)]
 [W. Zhao et al PRC107.014904(2023)]



• QGP のようなものが小さい衝突系でもできているような結果

• MPIや N_{coll} の効果により、同じ N_{part} でも幅広いmultiplicityを持つ。



Multi-parton interaction (MPI)

ZDCeでイベント選別された v_2

ZDCが一定の時に, v_2 の生成粒子数依存を測る。

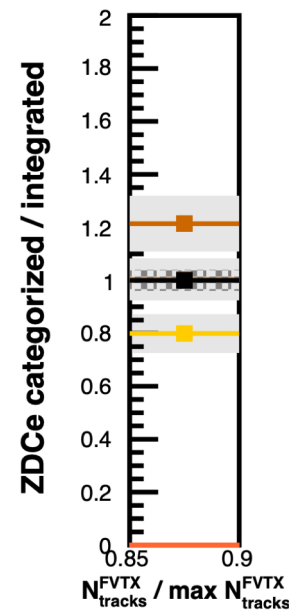
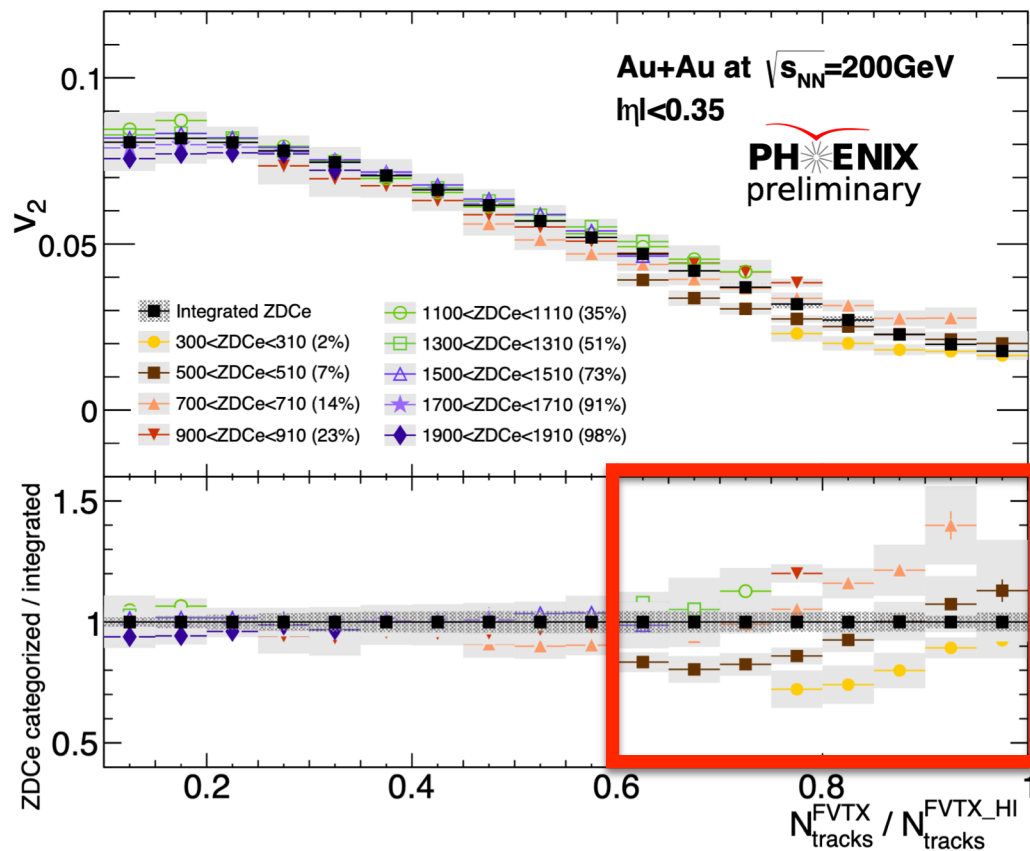
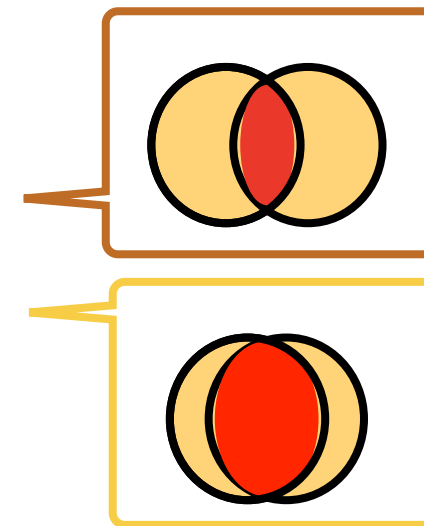


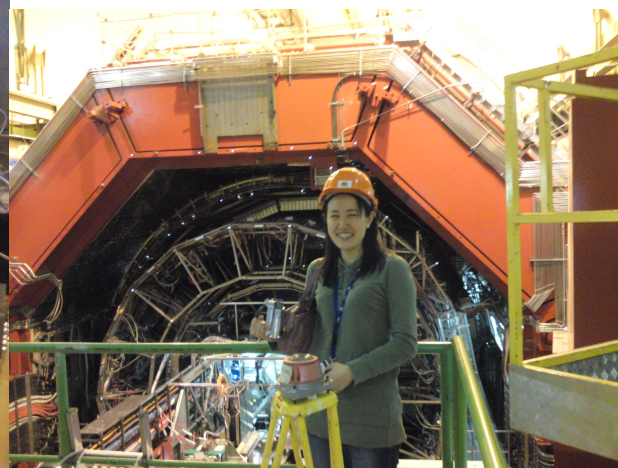
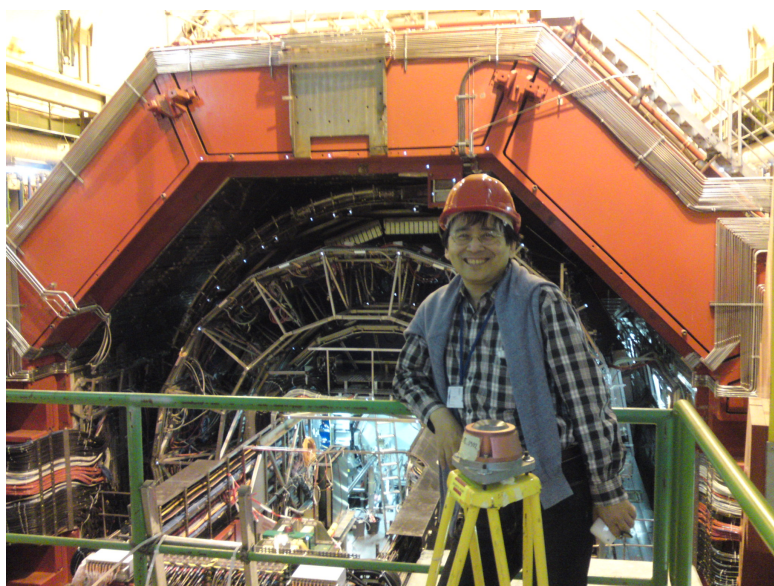
Image of the initial geometry



確かに v_2 が違うのは、初期の幾何学的異方性の違いを反映してそう。でも生成粒子数は同じ。
 →MPIや N_{coll} などの効果と矛盾していない。
 →より詳細にイベントの情報をわけられるかも？

これからはJetだ！

(2009)



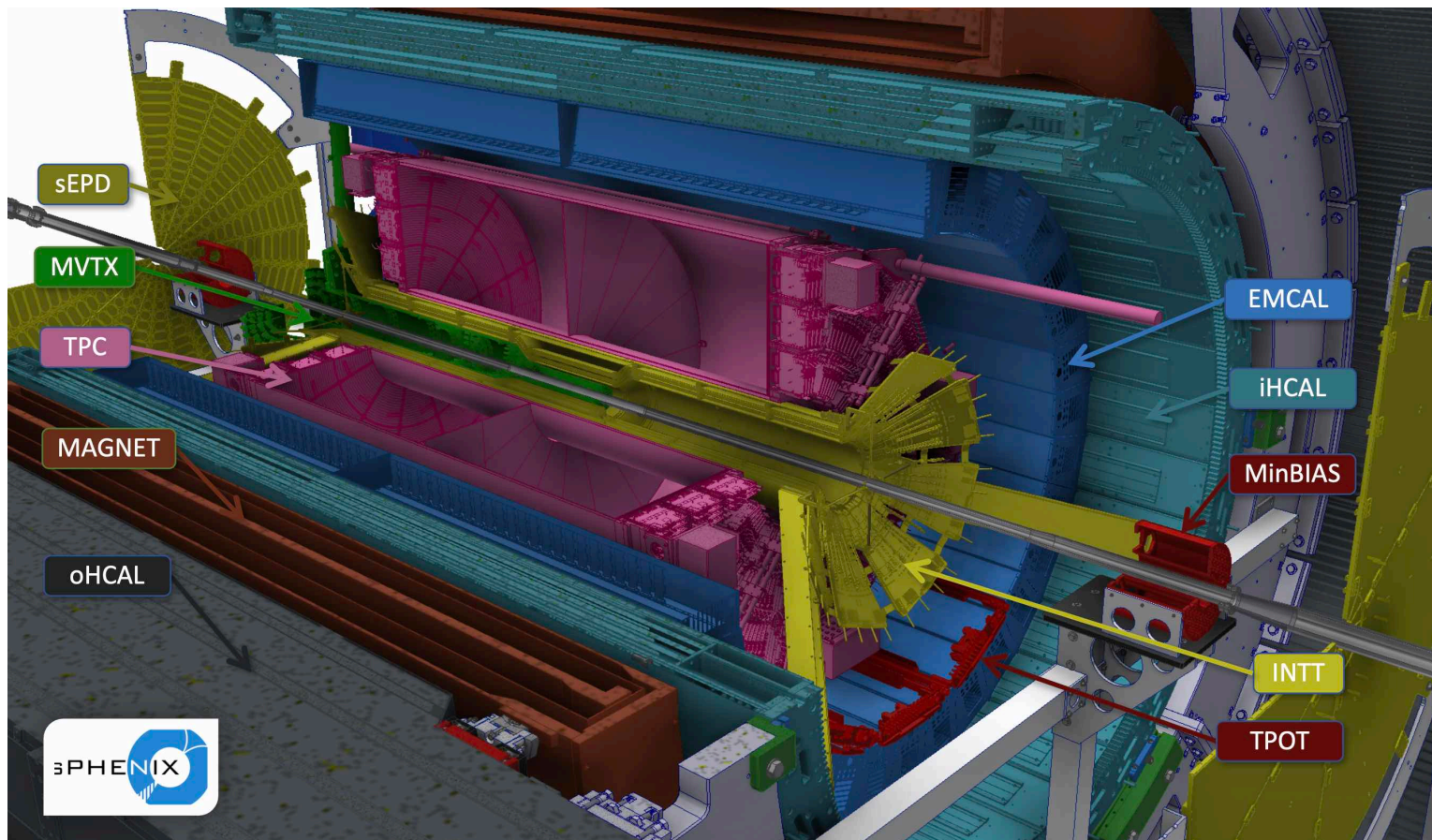
- これからはジェットだ！とdi-jetを測るカロリメータを作る。
 - 名付け事件：失敗してもすぐ対策！切り替えは早く、次に活かす。

そしてsPHENIXへ。

やっぱりRHICエネルギーでもJetの全再構成をしたい。



2022年5月から9月まで
コミッショニング
Au + Au 200GeV
8月1日にビームが止まる。



- 15kHz DAQ rate
- EMCAL & Hadron Cal
→ Jetの全再構成が可能
→ 衝突データ取得に成功

- MBD(←BBC)でMB trigger
- MVTX + INTT + TPC (TPOT)
でトラック再構成
- sEPDで反応平面

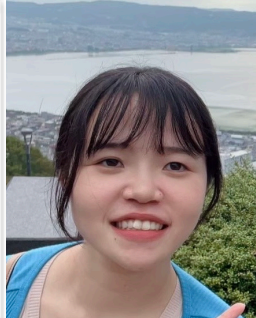
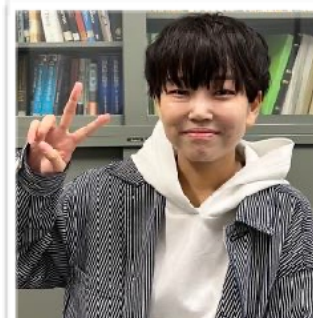
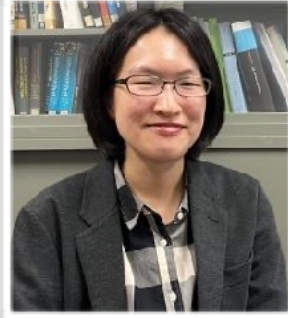
- INTTは、衝突データ取得に成功
- TPC、MVTX、は、宇宙線データ取得に成功

- INTT + MBD
- EMCAL + Hcal + MBD

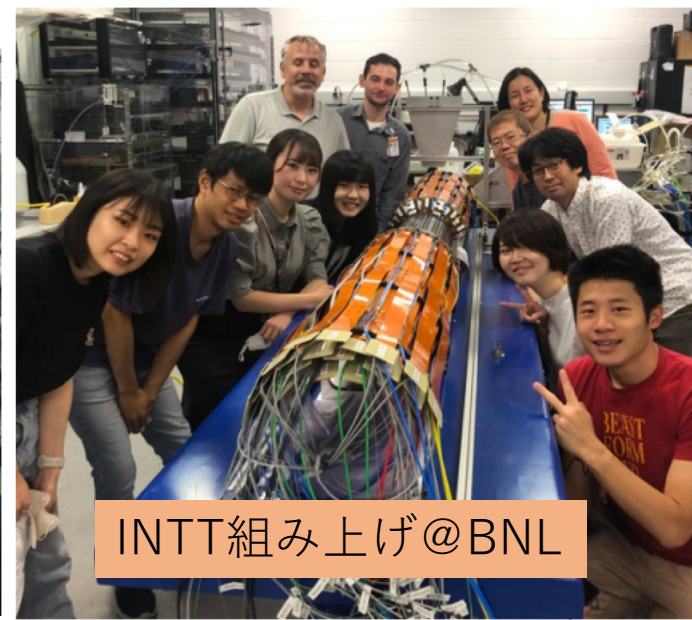
データ解析中 . . .
2023/12/9

奈良女子大学 高エネルギー研究室

教授：1人(0)
准教授：2人(2)
M2：5人(3)
M1：5人(4)
4年生：7人(6)
(うち5人(4)は、
院への進学予定・希望)
合計20人(15)

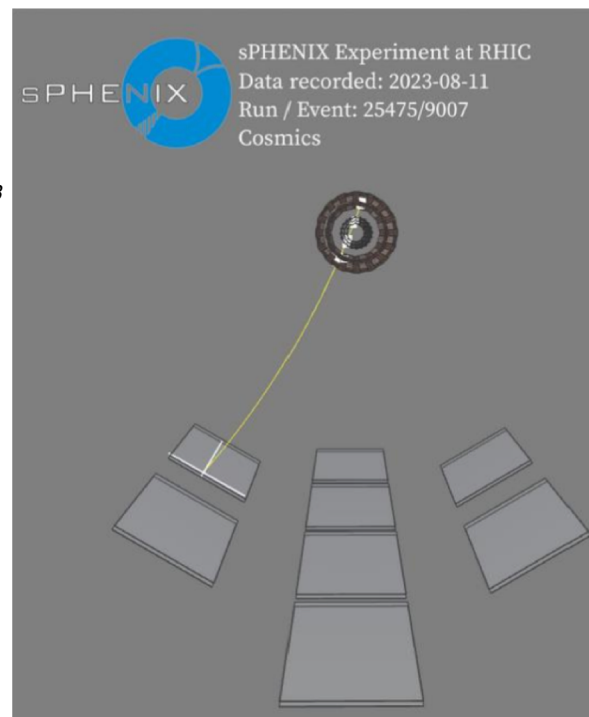
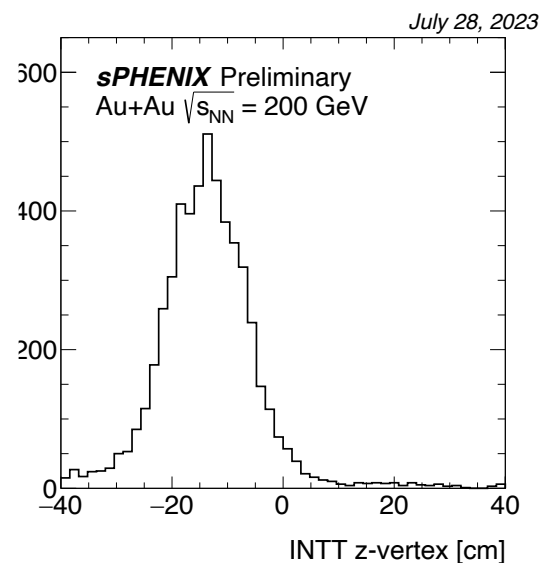
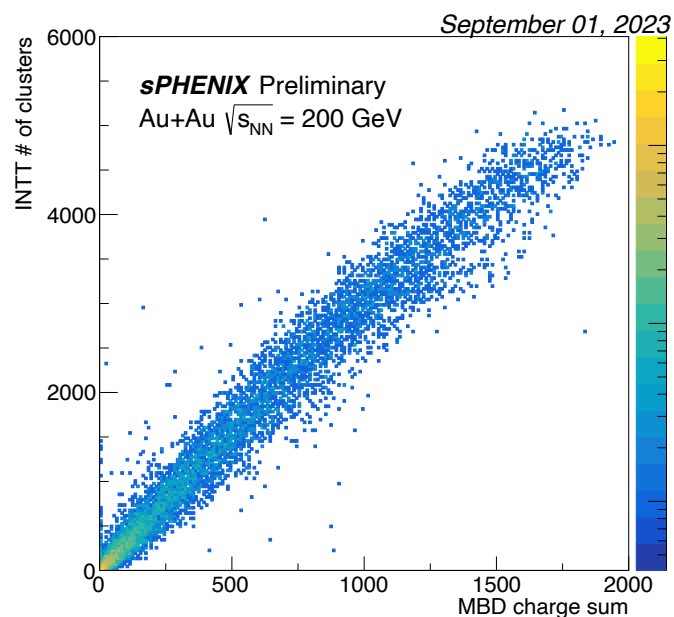


ビームテスト@東北



INTT組み上げ@BNL

INTT 解析中



- INTT@sPHENIXのデータキャリブレーションが進んでいる。
- 学生指導も研究も私生活（子育て）も悩みの連続
- 怒りのメール、あの時の「私」がきたら、「三明さん」の対応ができるか
- 今、楽しめているか

2023/12/9

(s)PHENIX/ Maya. S

Summary 三明さんのすごいところ

- 未来型のリーダーシップ
 - あえてジャッジしない。学生の人生は学生のもの。
 - 真面目にするところ、緩めるところのバランス
 - 長所はみんなに宣伝する。間違いは、端的に指摘して考えさせる。
 - 早くからダイバーシティ的感覚。「ベビーベッド研究室においてみんなで子守したらええねん。」
- 一瞬で許される愛嬌。
 - 怒りのメールに「どんなに鈍感な僕でも」
- 挑戦する勇気。あえて空気読まない勇気。
 - 結婚式の主賓挨拶で。
 - 飲み会・遠足・ドタキャンなんのその。
- 失敗は引きずらない、切り替えは早く、次に活かす。
 - 「JCALのJはJa***」
- 物理を楽しんでいる。



三明さん、人生に大事なたくさんの方のことを学ばせていただきました。

出会えた私は、幸運でした。ありがとうございました。

これからもどうぞよろしく申し上げます。

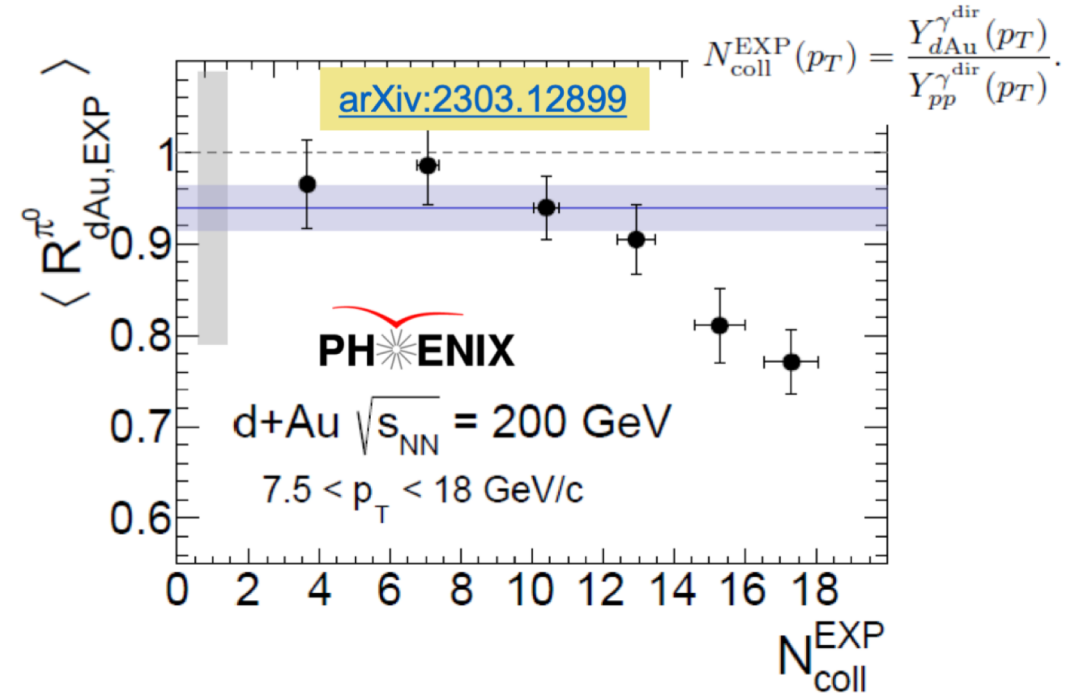
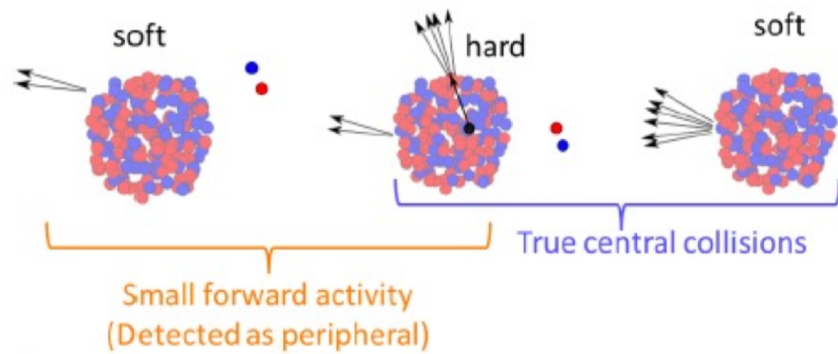
今日のエピソードは、セーフでしたか？
消すべきスライドがあったら教えてください。

エピソードメモ

- 入学前、セントラリティの説明を丁寧にしてくれる
- 何か質問あるか？と聞かれて値段を聞いた私に。
- とてもレベルの低い間違いをした時は、一旦引く。
- ネタかと思って、いい 아이폰 ですね、と言ったら怒られた
- 震災の時、12階まで上がってきた
- 家族がとにかく好き。
- アメリカに留学した時レベルのカルチャーショック
- KEKでの仕事、次につながる
- 一周回って学生の話聞いて何か忘れて帰る

小さい系での高 p_T π^0 の生成抑制

周辺衝突扱いになる。



バイアスのかかった N_{coll} がでてしまう可能性があるので、実験で出てくる γ から N_{coll} を決めた。

→ N_{coll} と MPI を分けるのに使える？

中心衝突で生成粒子抑制がみえる。

Back Up