

小さな系のフロー@RHIC-PHENIX

筑波大学
轟木 貴人

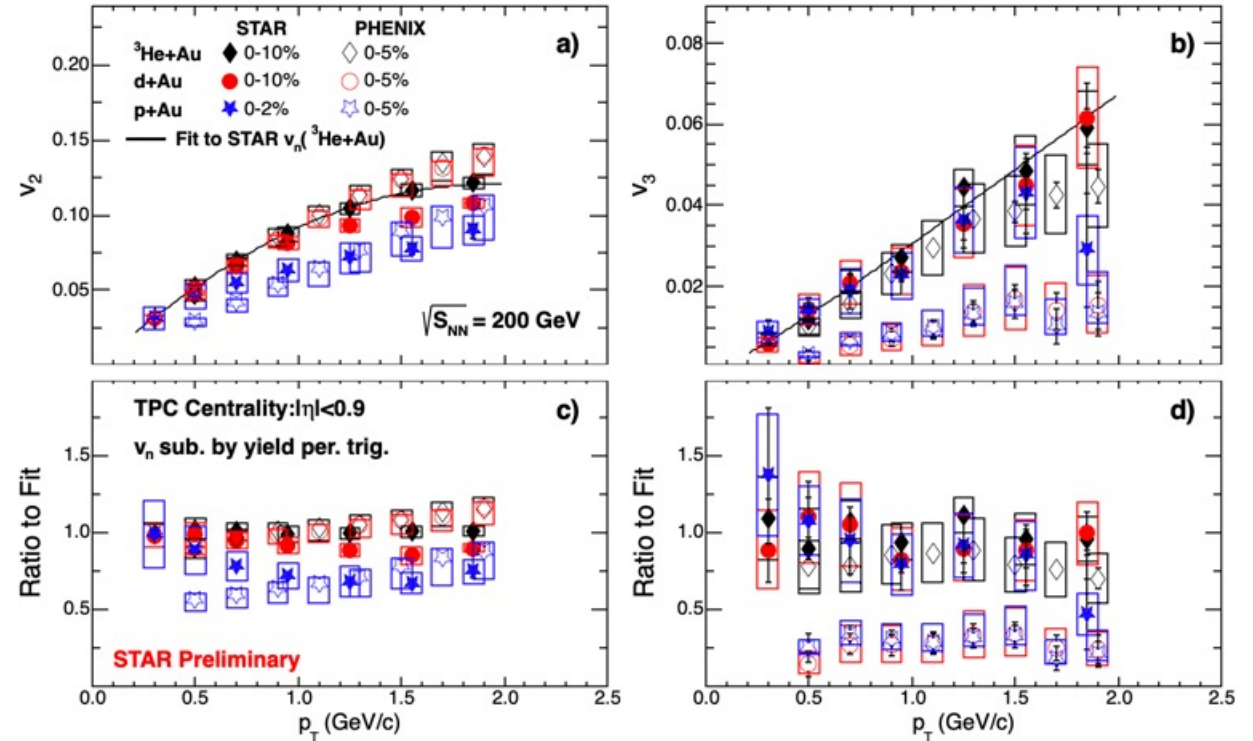
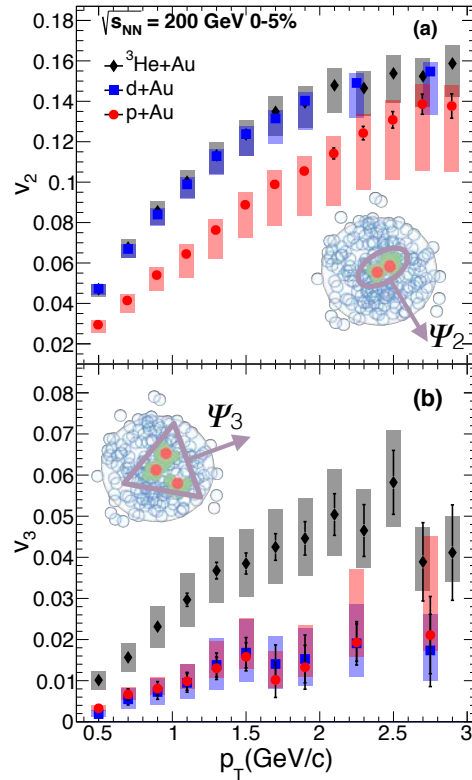
目次

- フロー測定の現状
- 各種モデルとの比較
- 今後の展開
- まとめ

v_n 測定結果の不一致@RHIC

PHENIX Collaboration, Nature Physics 15, 214 (2019)

STAR Preliminary



- PHENIXのEP法による測定に対して、STARの2PC法による測定では2-3倍程度大きい v_2 及び v_3 を観測
- PHENIXが2PC法を用いた再解析を開始

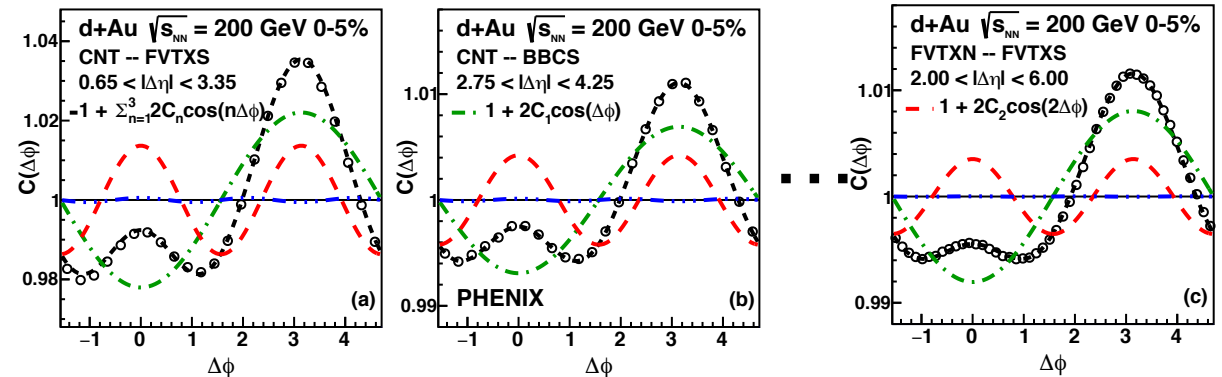
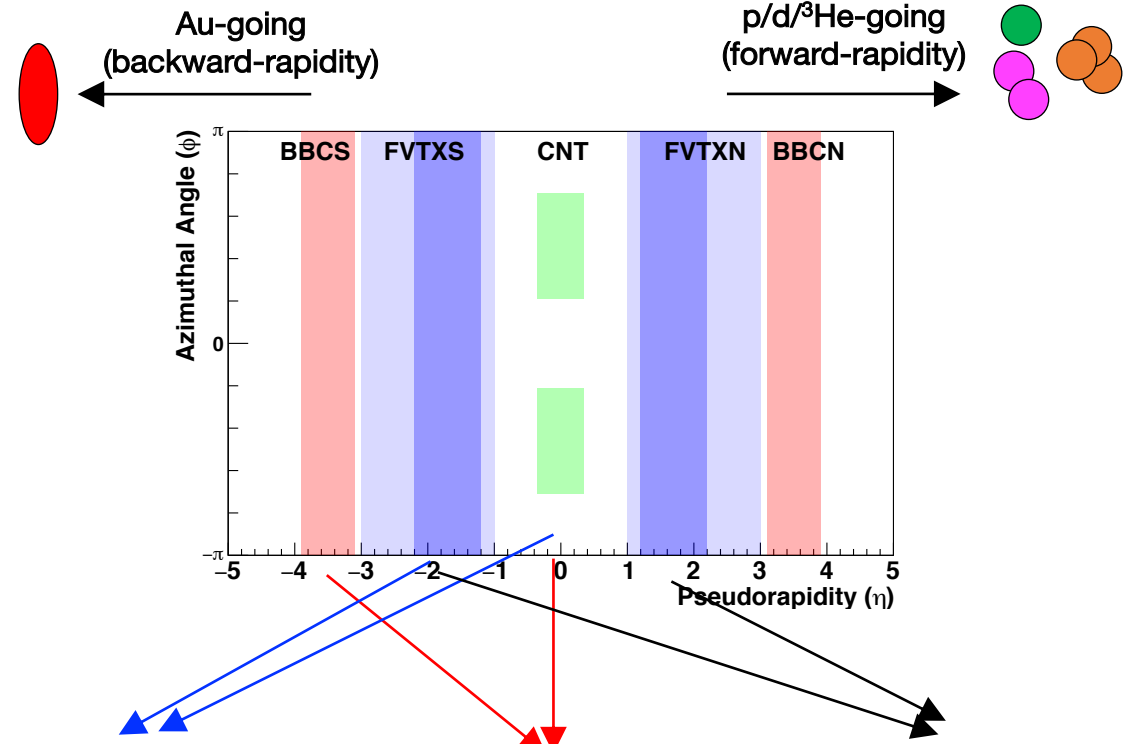
3x2PC法による v_n 測定

- **2PCの利点**：イベントミキシング法により検出器やビーム衝突角等の各種効果を除去
- 衝突の非対称性より3つの2PCを組み合わせ v_n を決定

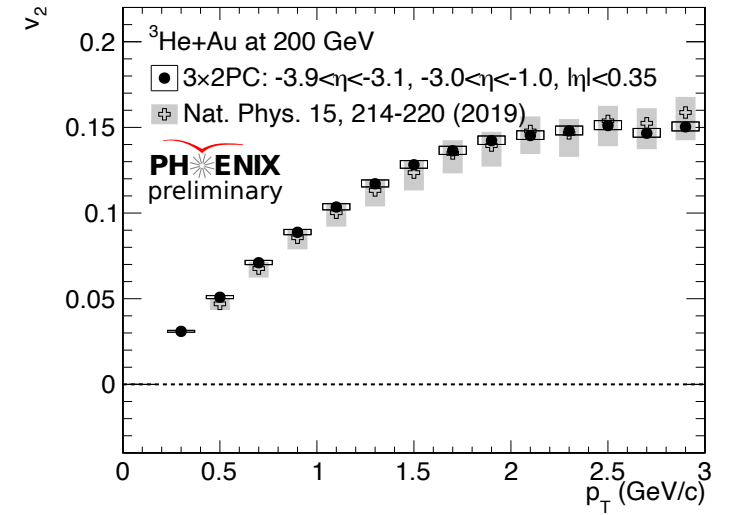
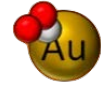
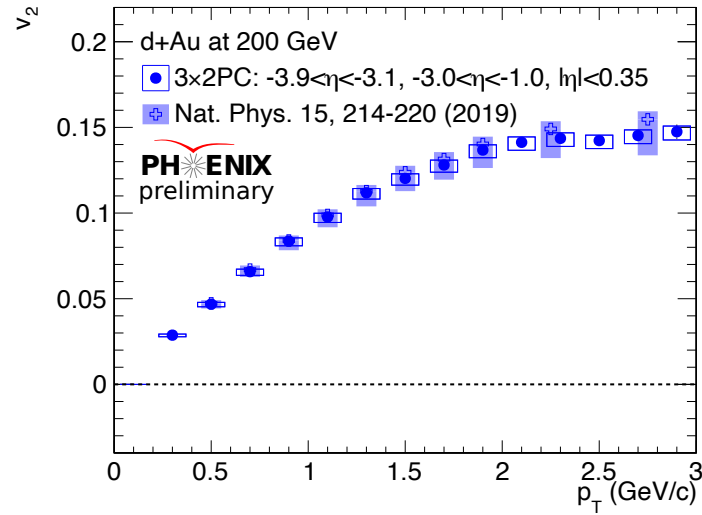
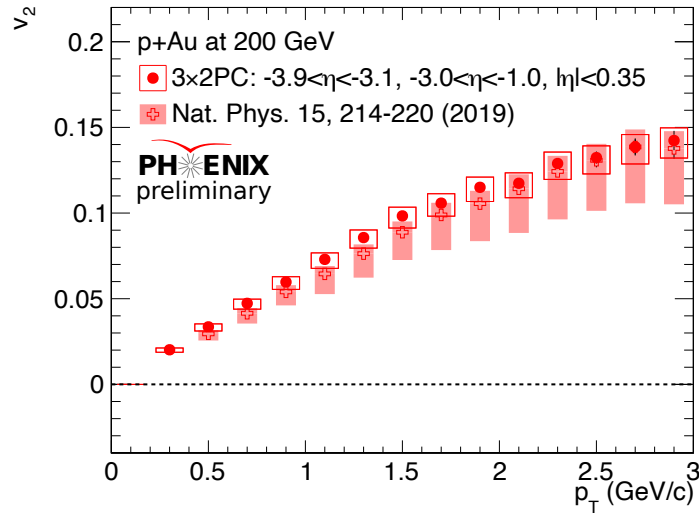
$$v_n^A = \sqrt{\frac{C_n^{AB} \times C_n^{AC}}{C_n^{BC}}} \quad C_n^{AB} = \langle \cos n\Delta\phi \rangle$$

A, B, C : kinematic ranges

- 二通りの検出器の組み合わせでCNT領域の v_n を測定
 - BBCS(-3.9<h<-3.1)-FVTXS(-3.0<h<-1.0) : BB
 - **Nature論文で使用した組み合わせ**
 - FVTXS(-3.0<h<-1.0)-FVTXN(1.0<h<3.0) : BF

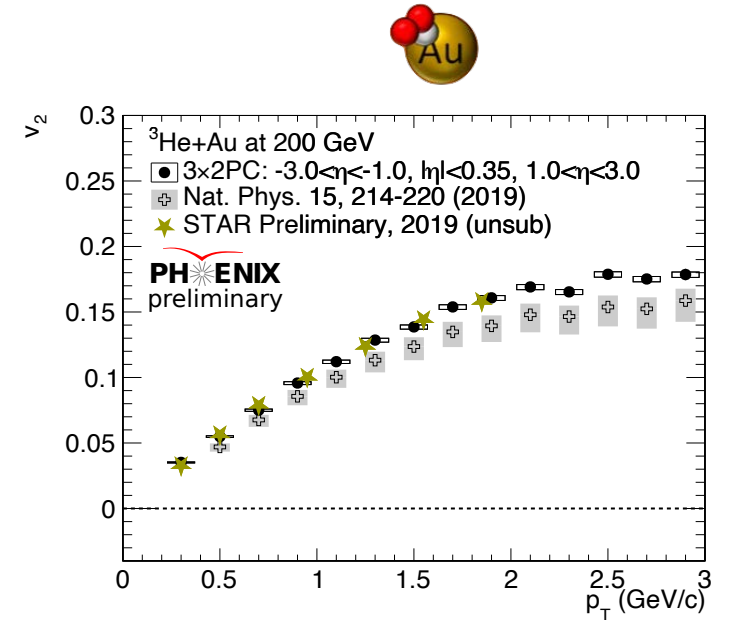
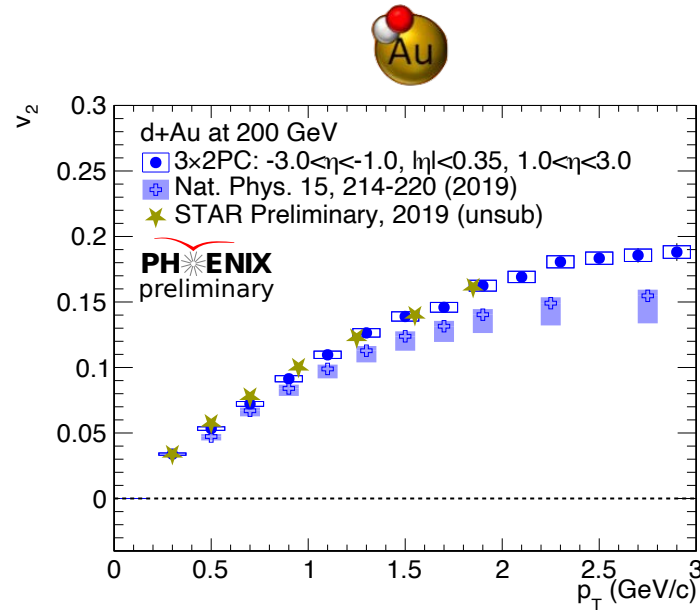
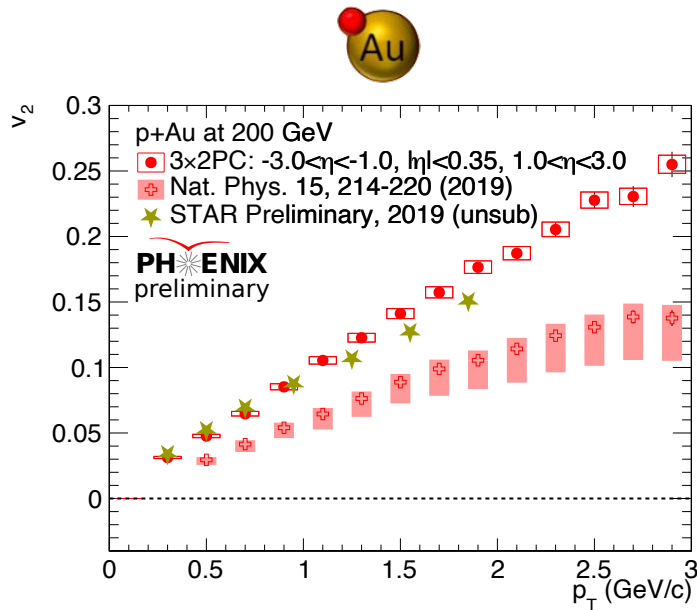


v_2 BBCS-FVTSXS



- $3 \times 2PC$ 法による再解析でEP法を使用したNature論文の結果を完全に再現
- 過去のPHENIX解析の信頼性を再確認

v_2 FVTXS-FVTXN



- 前方の検出器FVTXNを含んだ3x2PC解析でより大きな v_2 を観測

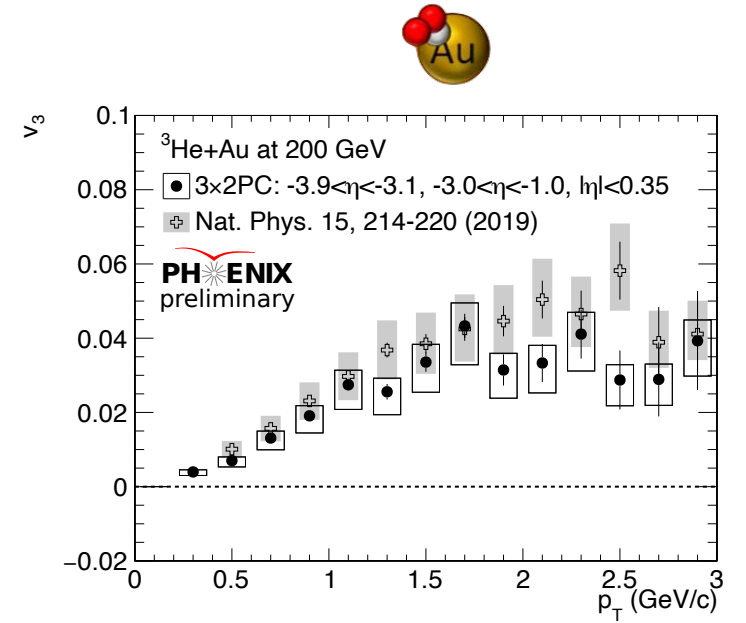
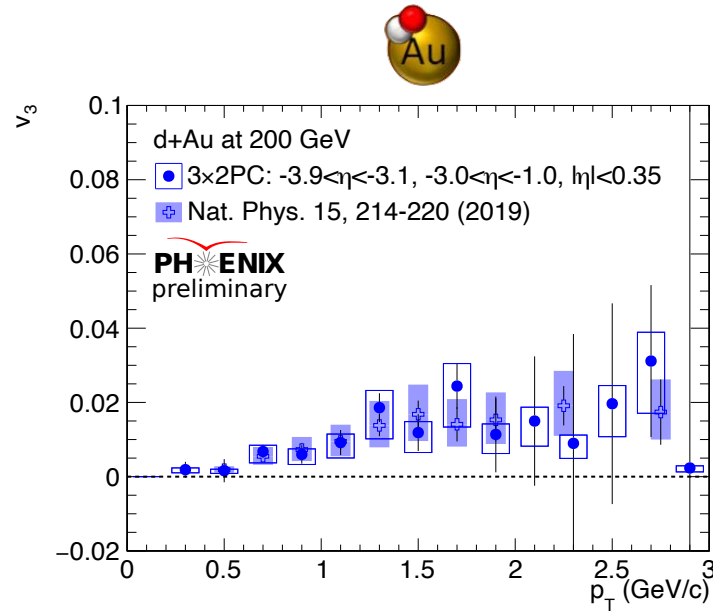
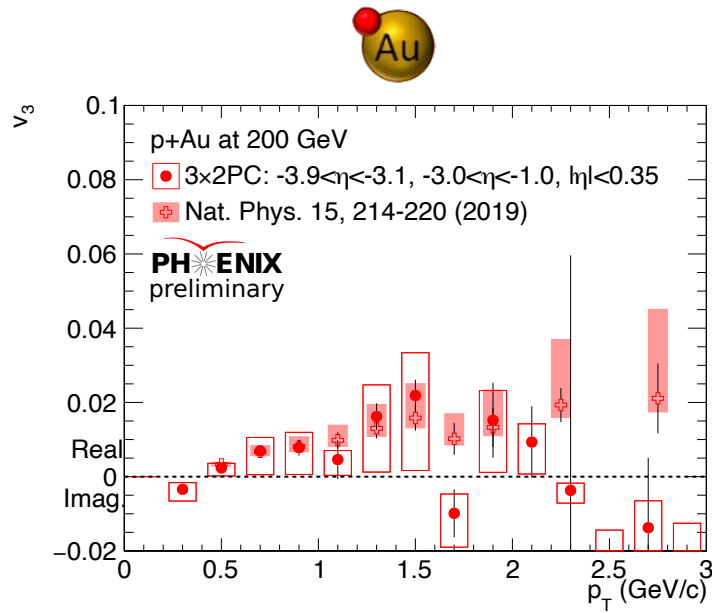
- 前方での小さい粒子多重度=より強いnon-flow → より大きな v_2
- 前方後方検出器間のより大きな η 間隔= より大きなEP decorrelations → より大きな v_2

$$v_n^{\text{mid}} = \sqrt{\frac{C_n^{\text{mid-back}} \times C_n^{\text{mid-for}}}{C_n^{\text{back-for}}}}$$

- STARのpreliminaryの結果を再現

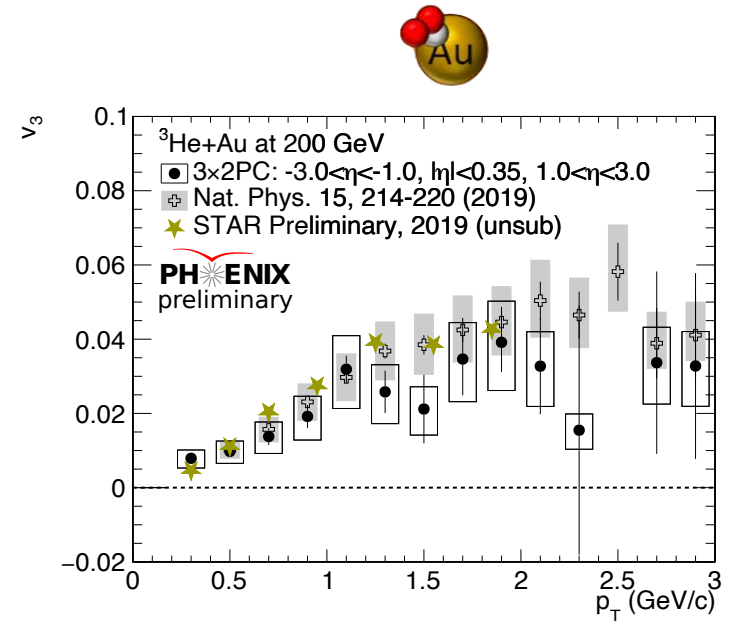
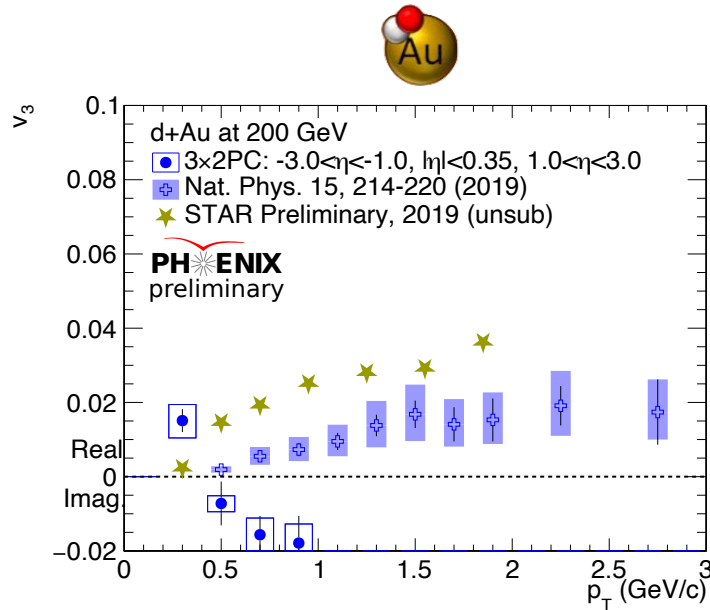
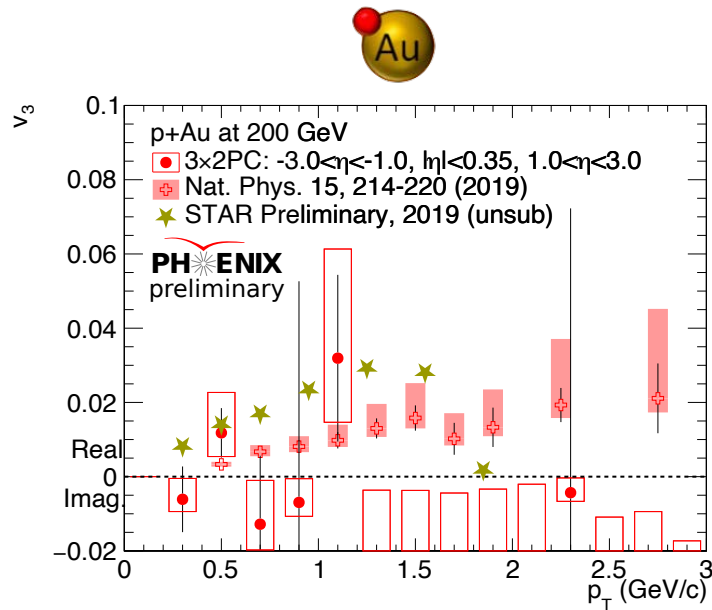
- 測定やモデル計算におけるキネマティクス選択の重要性を示唆

v_3 BBCS-FVTSXS



- 3x2PC法による再解析でEP法を使用したNature論文の結果を再現
- 過去のPHENIX解析の信頼性を再確認

v_3 FVTXS-FVTXN



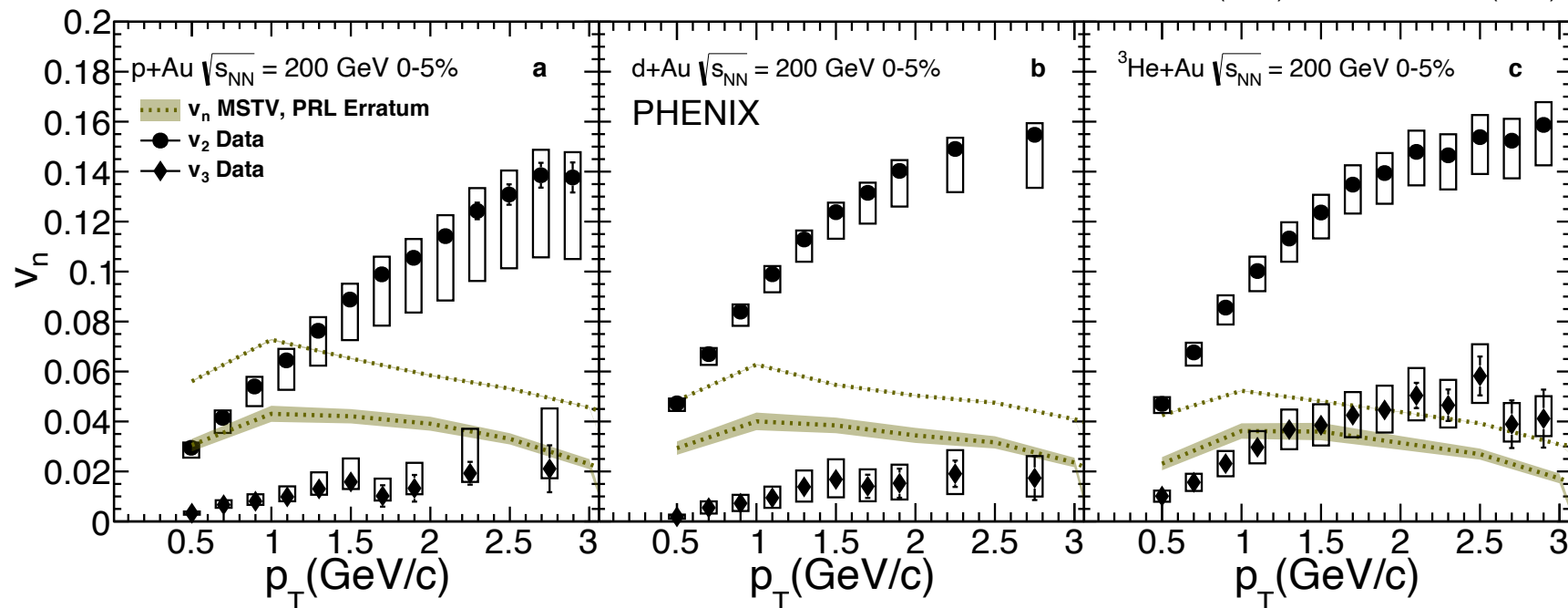
- $^3\text{He}+\text{Au}$ 衝突のみ実数値を観測。PHENIX-STAR間でも測定結果が一致。
- p+Au、d+Au衝突では測定が破綻し主に虚数値を観測
- p+Au、d+Au衝突でのより強いnon-flowやEP decorrelationが v_3 シグナルを覆い隠した可能性

小さい系の理解に向けた課題

- QGP流体生成の有無
- 衝突初期条件
 - 弱結合：カラーグラス凝縮(CGC)
 - 強結合：AdS / CFT
- 熱平衡化過程
 - パートンプリフローの有無
- QGPの流体発展
- Non-flow (ジェット)成分

CGC + ストリング破砕

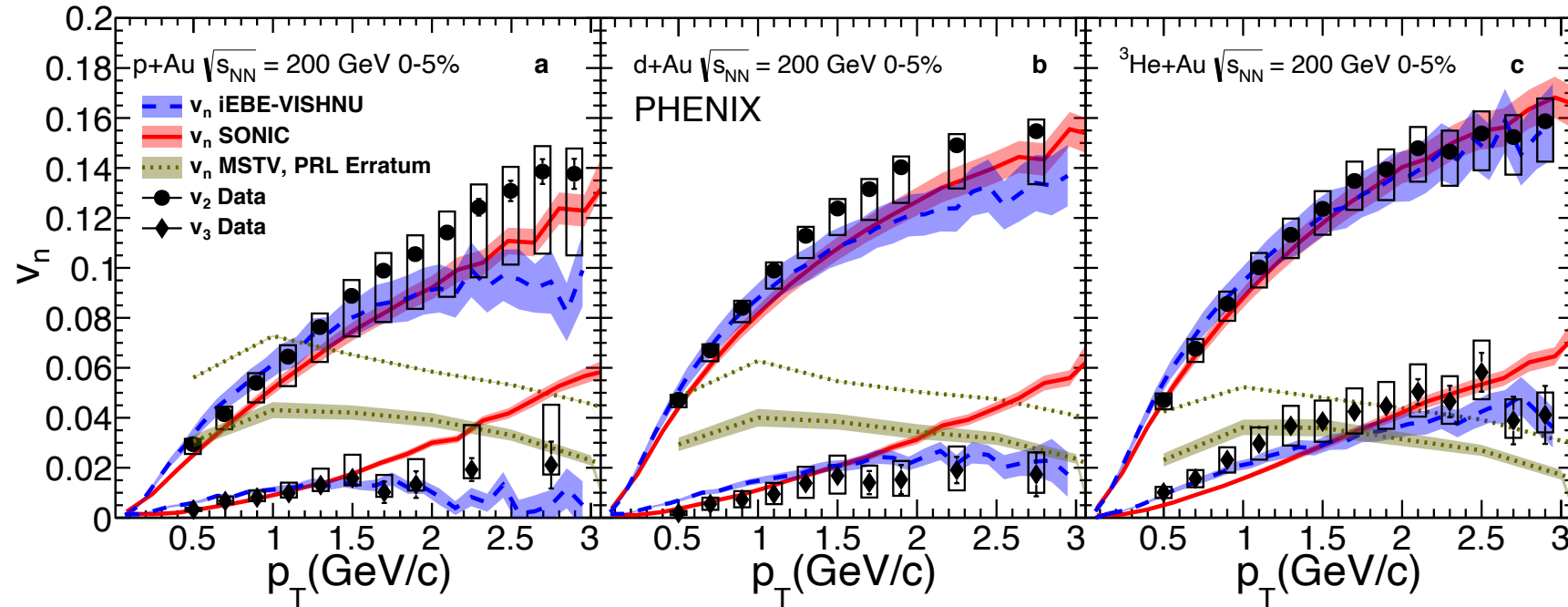
Mace. et.al., PRL 121, 052301 (2018), PRL 123, 039901 (2019)



- CGCで生成したグルーオンをストリングを用いて破砕
- p_T 依存性の再現に失敗。 v_2 を過小評価。 v_3 は p+Au、 d+Au で過大評価。
- 初期状態だけでは小さい系の v_n を再現できない

流体発展

PHENIX Collaboration, Nature Physics 15, 214 (2019)

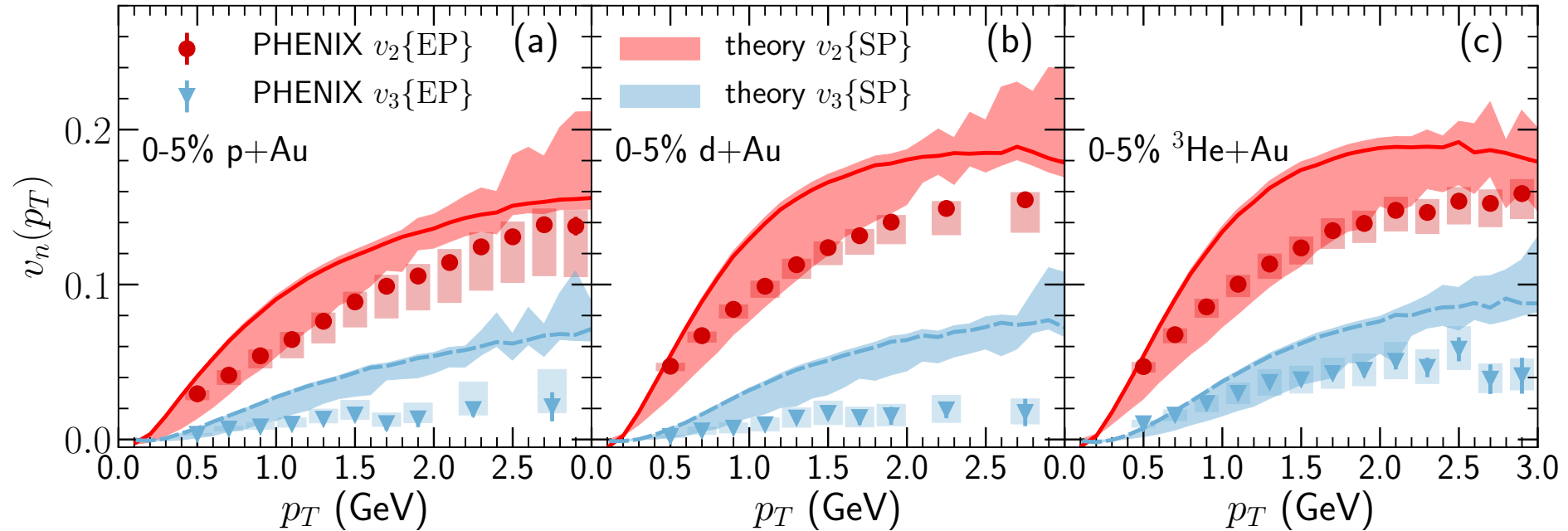


- 弱結合及び強結合初期状態を持つ系を流体発展
- v_n の形状・値を共によく再現
- 小さい系におけるQGP流体の生成を強く示唆

初期状態
 iEBE-VISHNU : CGC (弱結合)
 SONIC : 強結合

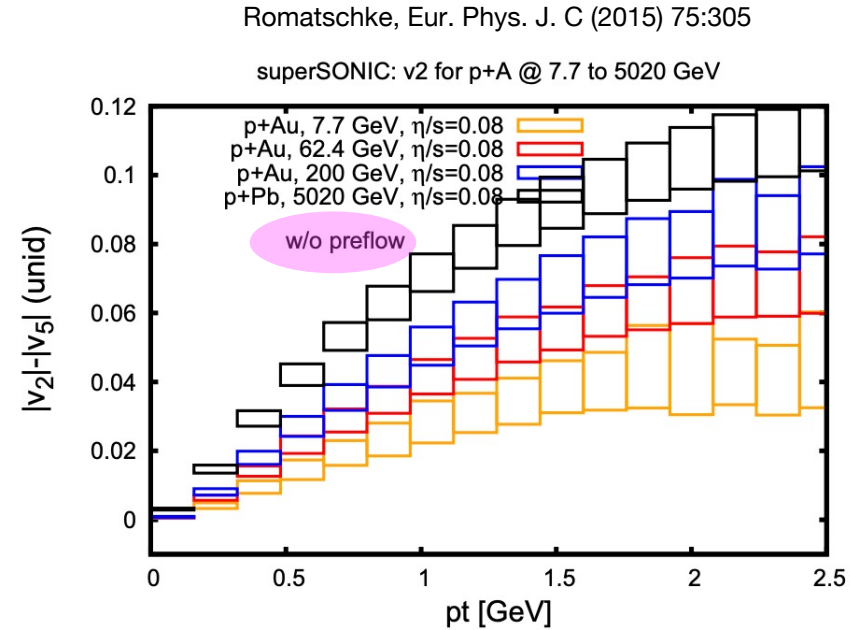
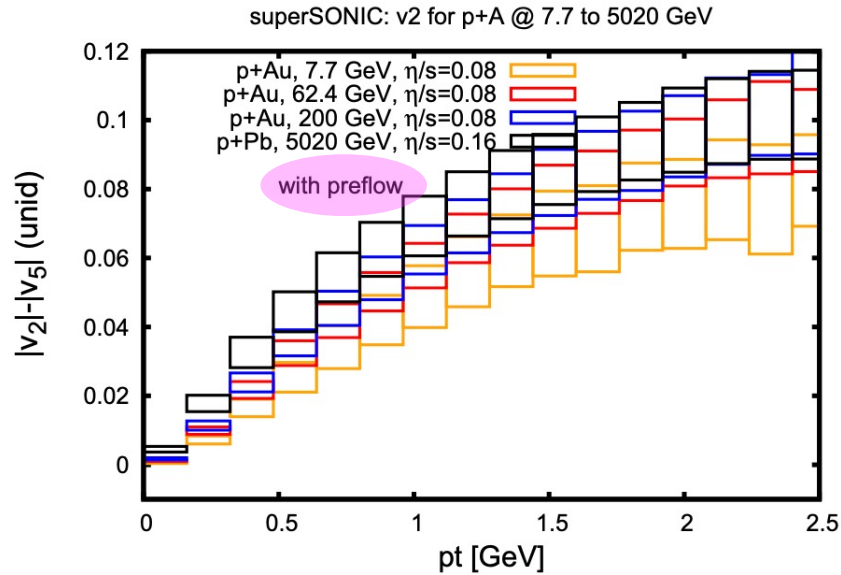
プリフロー+ 流体発展

Shencke et. al., PLB 803 (2020) 135322



- 熱平衡化前のパートンを時間発展させた後流体発展
- v_n を全体的によく再現
- プリフローによる v_n の増大・過大評価

プリフロー決定の精密化

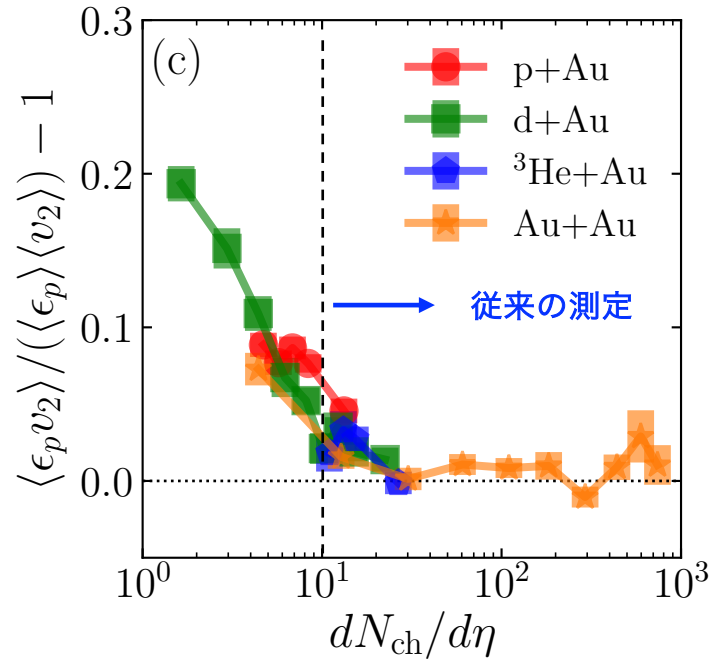


- 粒子多重度の小さい(流体の寿命が短い)系でプリフローの有無が鮮明に
- 低い衝突エネルギーを選択
- 低アクティビティを持つイベントを選択

イベントアクティビティ選択

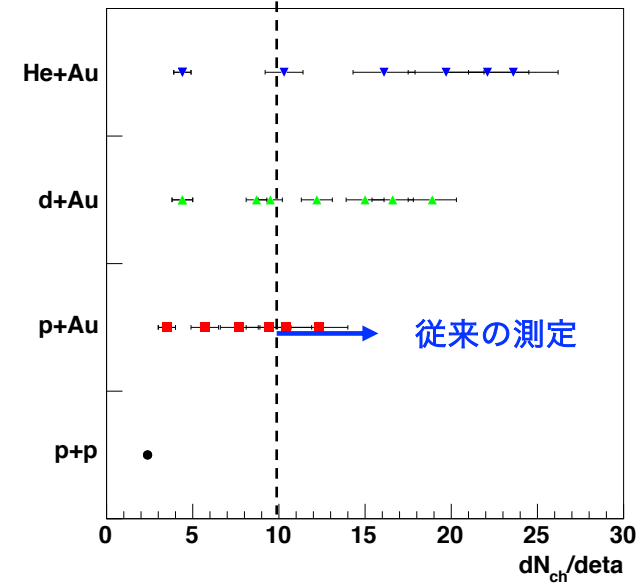
Shencke et. al., PLB 803 (2020) 135322

ε_p : プリフロー



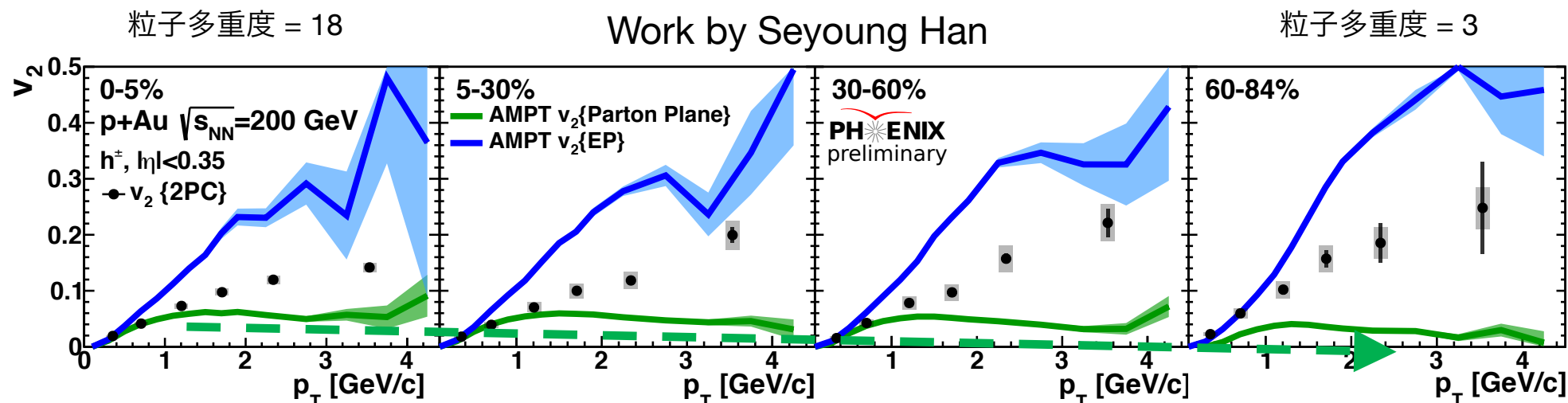
Data from:

PRC.93.024901 (2016), PHENIX Collaboration
PRL.121, 222301 (2018), PHENIX Collaboration



- 粒子多重度10以下でプリフローにより良い敏感と予言
- RHICでは最小粒子多重度 $N=3$ 程度まで到達可能

粒子多重度スキャン p+Au



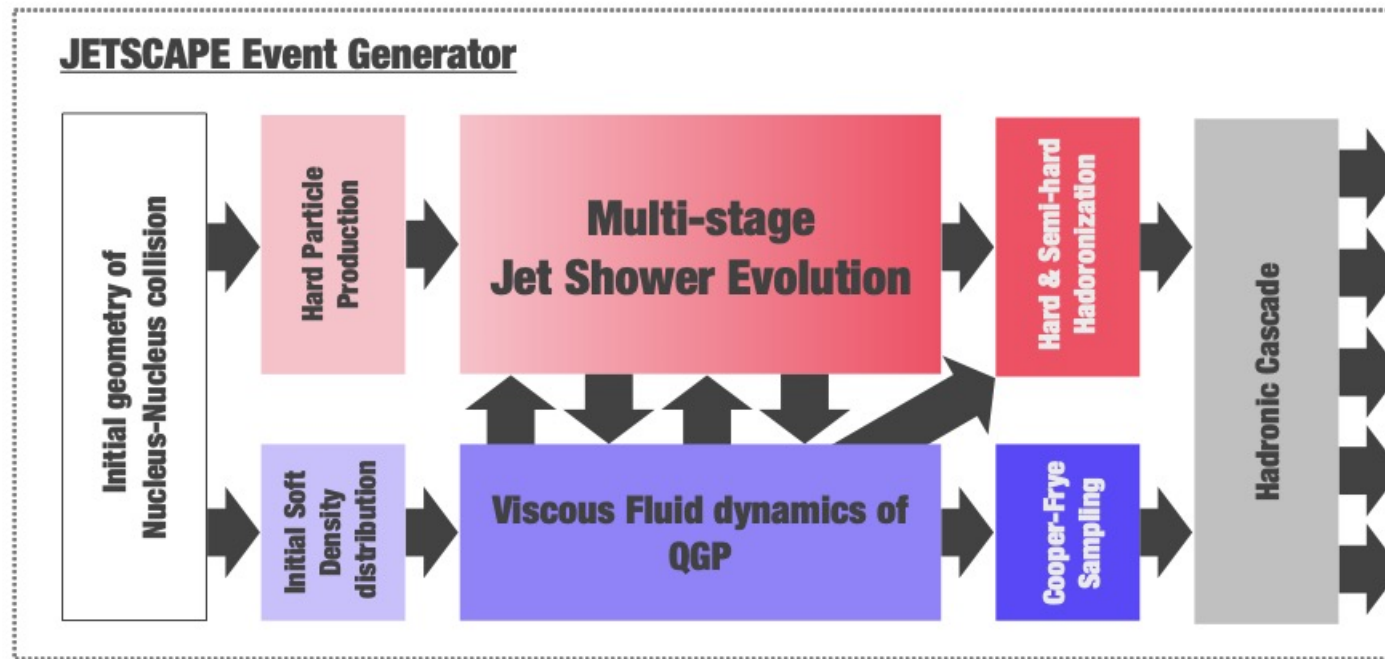
擬似流体成分
 擬似流体+ジェット

- 最小粒子多重度領域(N=3)で有限の v_2 を観測
- AMPTモデルによる示唆：流体成分の減少及びジェット成分の増大
- これらの効果とプリフローとの鑑別が今後の課題
- p+p, d+Au, $^3\text{He}+\text{Au}$ 衝突での解析もほぼ完了。現在論文の準備中。

JETSCAPE

<http://jetscape.org>

- **Package of MC event generator for heavy ion collision**
 - Current version, JETSCAPE 1.4 available on GitHub: github.com/JETSCAPE
 - General, modular and highly extensible
 - “Manual”: [arXiv:1903.07706](https://arxiv.org/abs/1903.07706)



Y. Tachibana for the JETSCAPE Collaboration, 2019 RHIC & AGS Annual Users' Meeting, BNL, June 4th, 2019

2

まとめ・今後の展望

- 3x2PC法による再解析で PHENIX Nature論文の結果の妥当性を再確認。測定・計算におけるキネマティクス選択の重要性を強く示唆。
- 各種の初期条件に基づく流体計算は小さい系でのQGP生成を示唆
- 衝突初期から熱平衡化までのパートンプリフローの理解のため、低アクティビティイベントへの v_n 測定の拡張が重要
 - PHENIXではp+p, p+Au, d+Au, $^3\text{He}+\text{Au}$ 衝突での v_n 測定がほぼ完了。論文の準備中。
- 各種効果を含んだモデル解析による、実験データ中のプリフロー、流体発展、ノンフローの鑑別が今後の課題