

PHSDを用いた KEK-PS E325実験再解析の現状

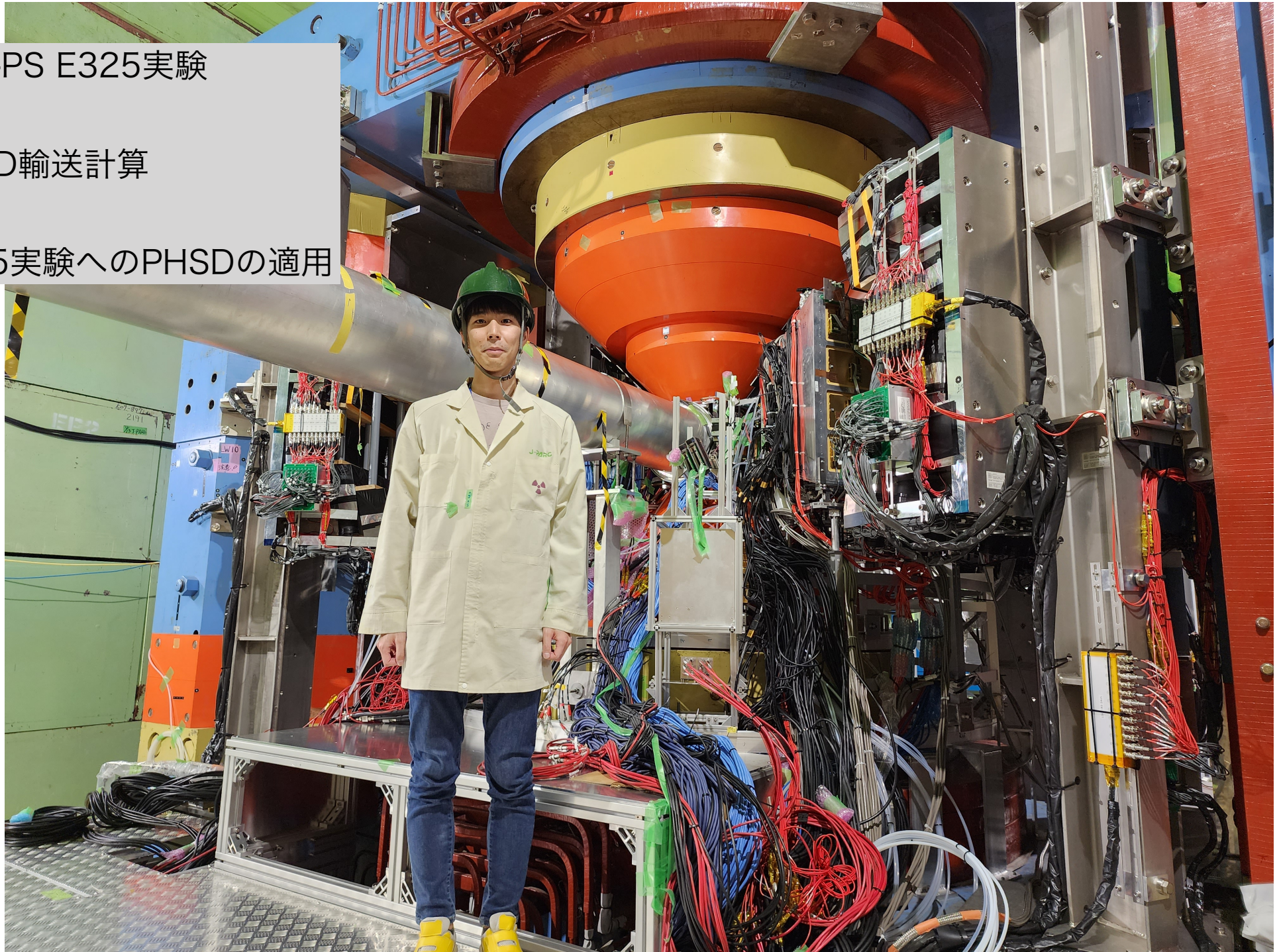
市川 真也^{A,B,C}、P. Gubler^A、成木 恵^D、四日市 悟^C

^A原研、^BKEK、^C理研、^D京大理

Thanks to E. Bratkovskaya and T. Song

2024/9/17

- ・ KEK-PS E325実験
- ・ PHSD輸送計算
- ・ E325実験へのPHSDの適用



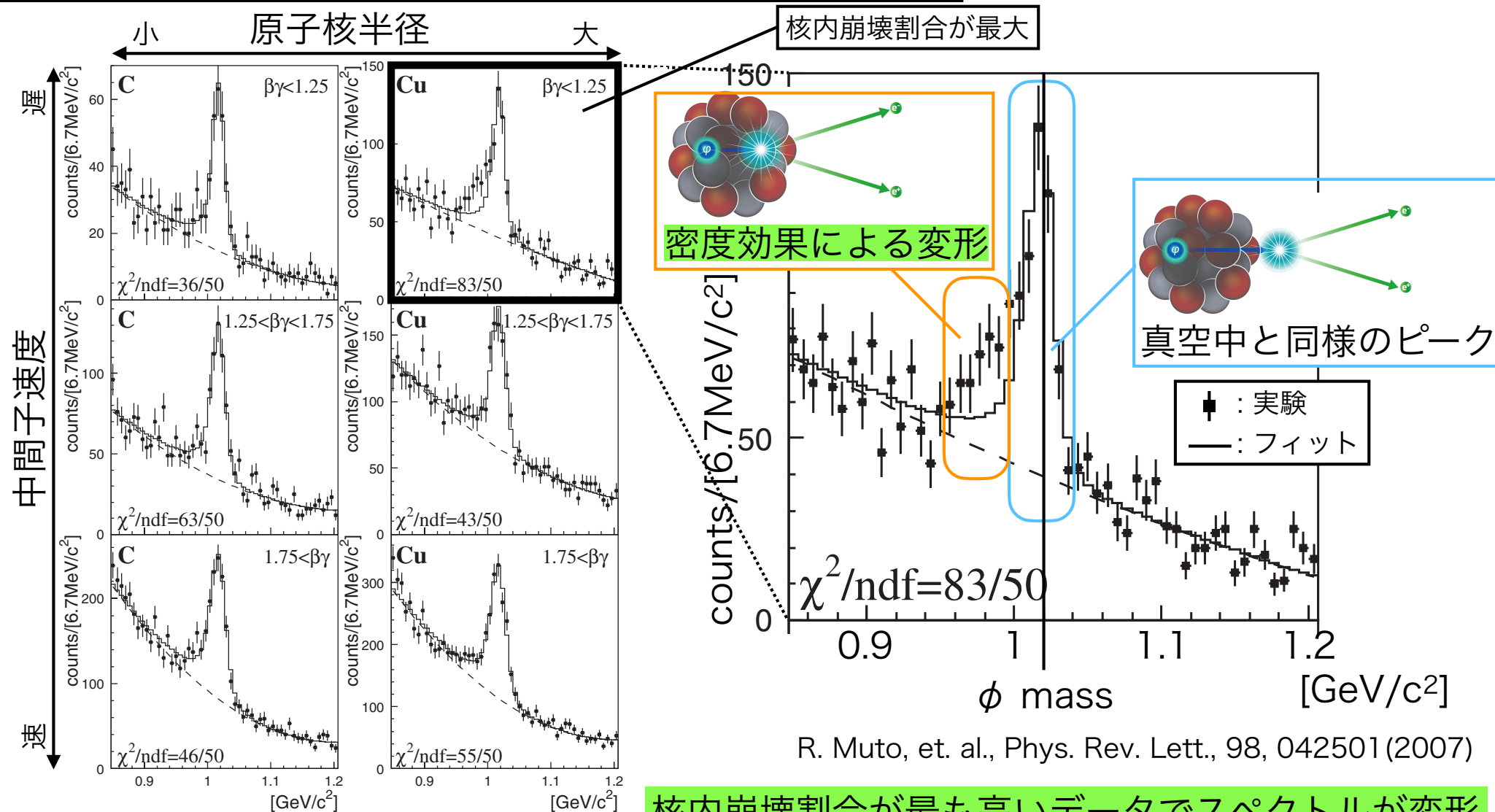
ハドロン質量の起源の実証

原子核内におけるベクター中間子スペクトル測定

2001-2002年にデータ取得

$12 \text{ GeV } p + (\text{C, Cu}) \rightarrow (\rho, \omega, \phi) + X, (\rho, \omega, \phi) \rightarrow e^+e^-$

- ϕ の飛距離 : $\sim 100 \text{ fm } (\beta \gamma \sim 2)$
- 原子核半径 : $< 10 \text{ fm}$



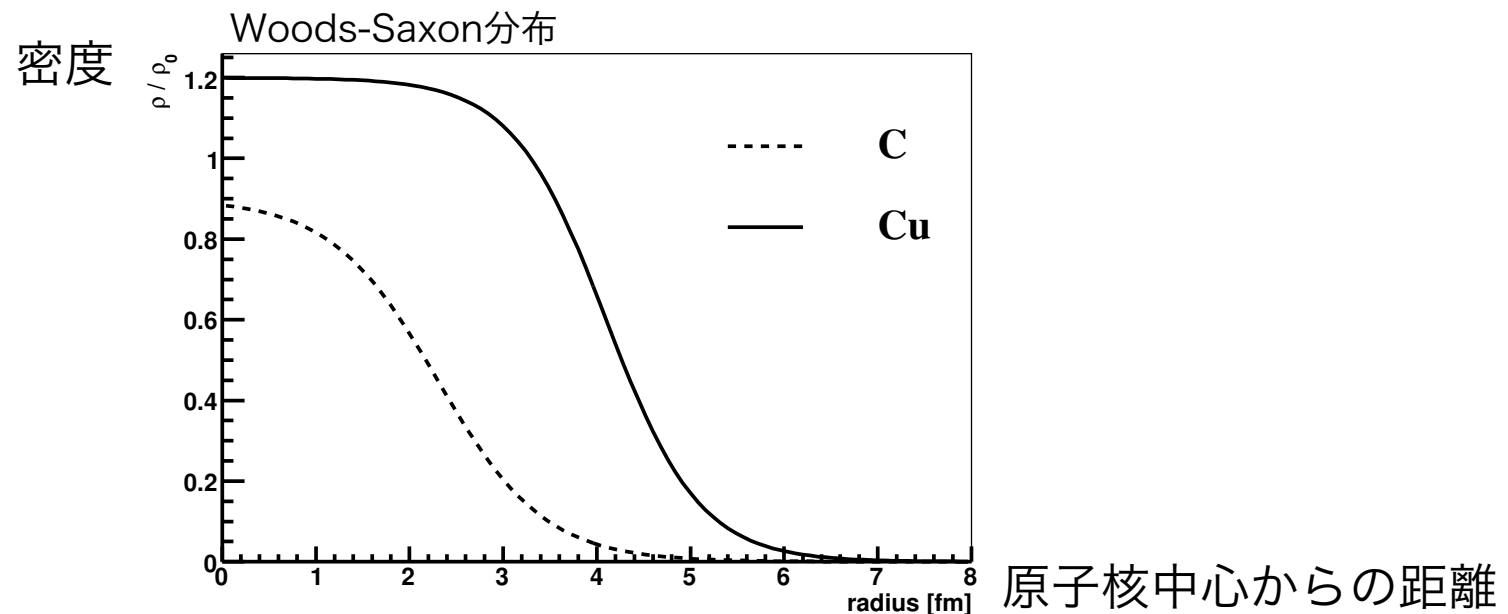
R. Muto, et. al., Phys. Rev. Lett., 98, 042501 (2007)

核内崩壊割合が最も高いデータでスペクトルが変形

pA反応におけるバリオン密度

ϕ 中間子の典型的な飛距離 > 原子核半径

-> ϕ 中間子は様々な密度で崩壊する（真空と標準原子核密度だけではない。）



2007年の論文における解析では、密度の空間分布としてWoods-Saxon分布を採用した。

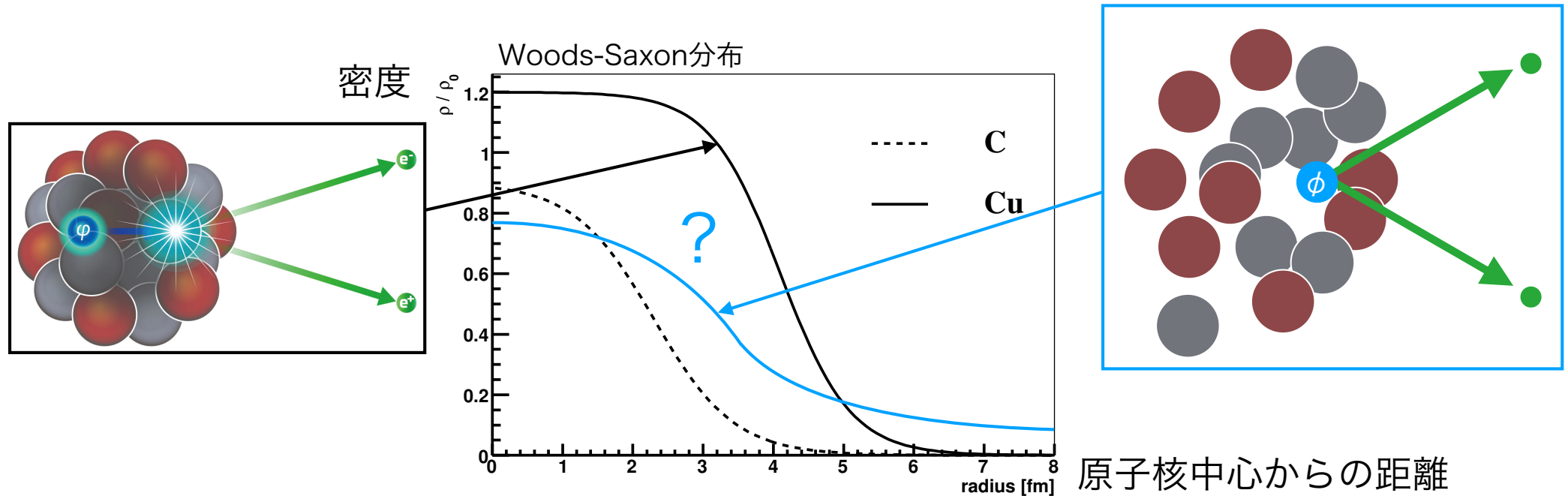
しかし、pA反応後に、原子核を構成していた核子は時間発展する可能性がある。

-> ϕ が感じる密度は自明ではない。

pA反応におけるバリオン密度

ϕ 中間子の典型的な飛距離 > 原子核半径

-> ϕ 中間子は様々な密度で崩壊する（真空と標準原子核密度だけではない。）



2007年の論文における解析では、密度の空間分布としてWoods-Saxon分布を採用した。

しかし、pA反応後に、原子核を構成していた核子は時間発展する可能性がある。

-> ϕ が感じる密度は自明ではない。

PHSD : Parton-Hadron-String Dynamics

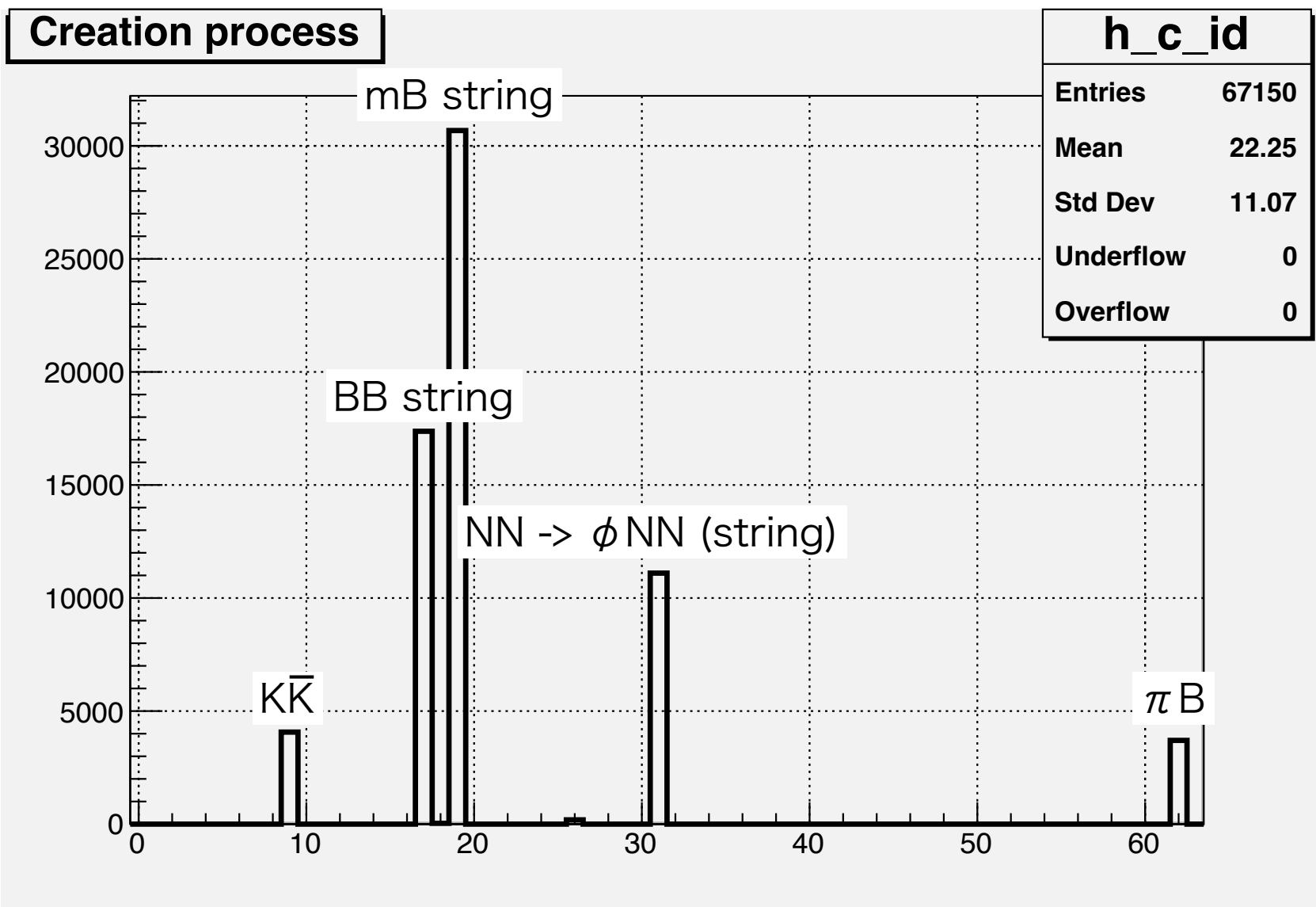
- ・ 平衡・非平衡状態におけるパートン、ハドロンの輸送計算
主に高エネルギー重イオン衝突実験で利用
 - ・ pA反応後の、 ϕ ・核子・その他ハドロンの時間発展をシミュレーション
 - ・ 原子核を、 ϕ などと相互作用する核子として扱う。
<-> 過去の解析： ϕ に対する外場
 - ・ ϕ の質量変化を考慮して時間発展
- ・ pA反応後の密度の空間分布
- ・ ϕ の生成位置
<- 前回の解析ではWoods-Saxon分布を使用
に関してより現実的な情報が得られる。

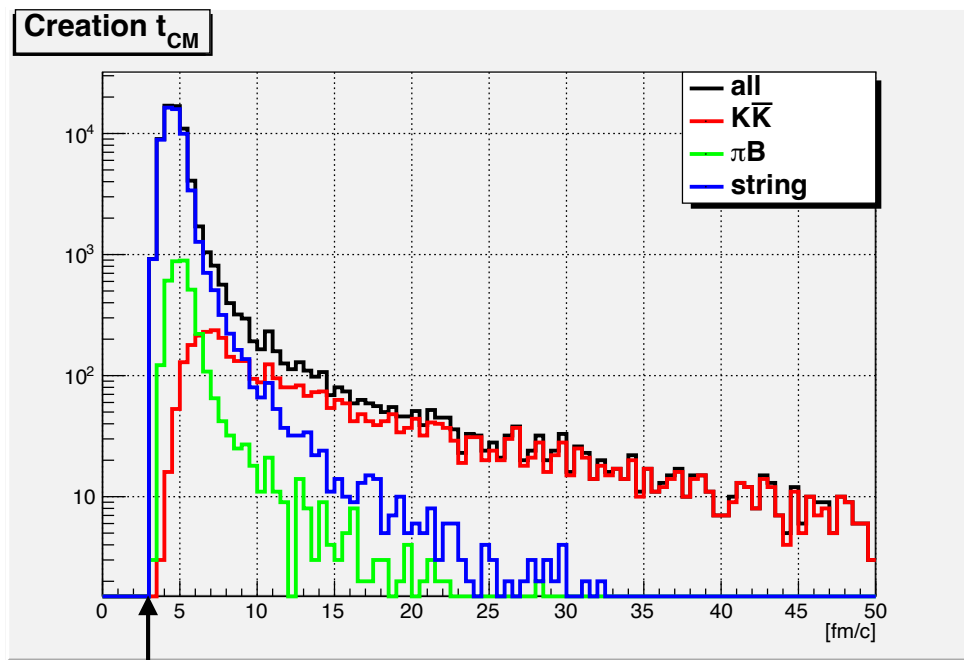
ϕ 生成過程

7

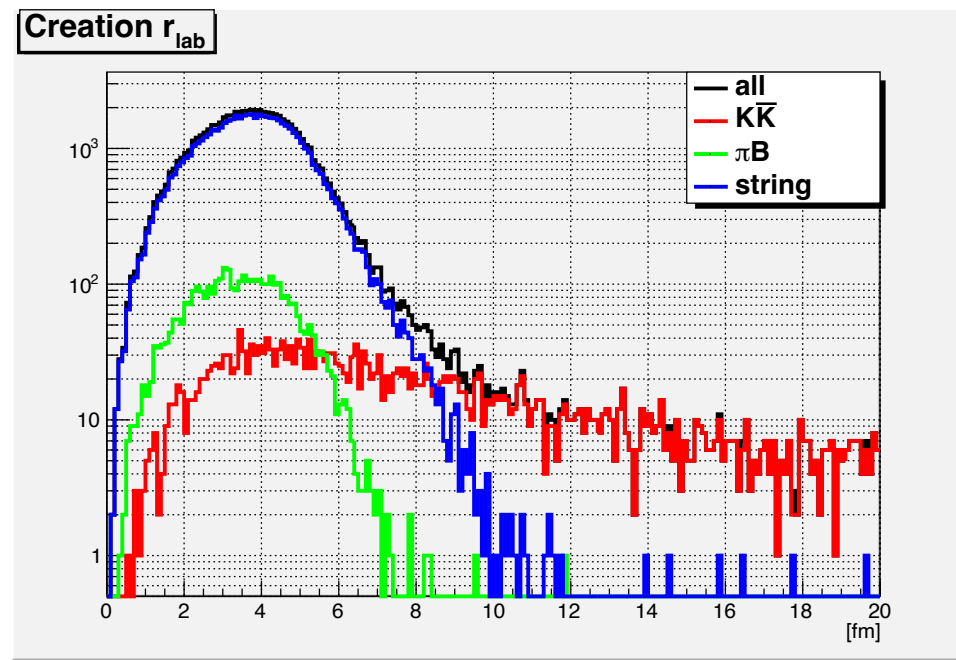
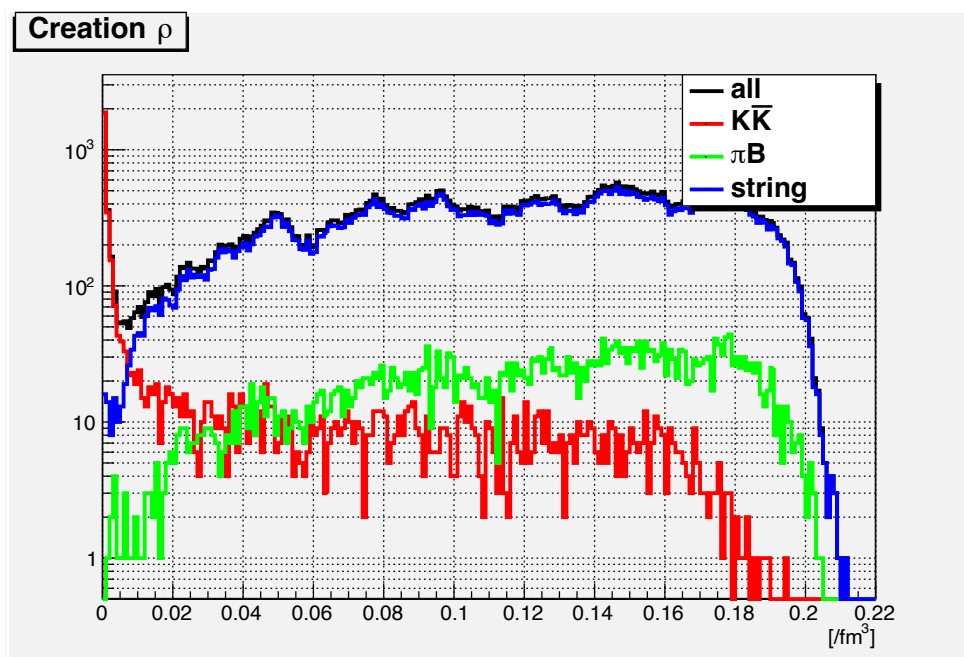
12 GeV p + Cu

- string: ~90 %
- $K\bar{K}$: ~5 %
- πB : ~5 %





衝突時刻



$K\bar{K} \rightarrow \phi$ 過程は

- ・ 遅いタイミング
- ・ 原子核中心から遠方
- ・ 低密度

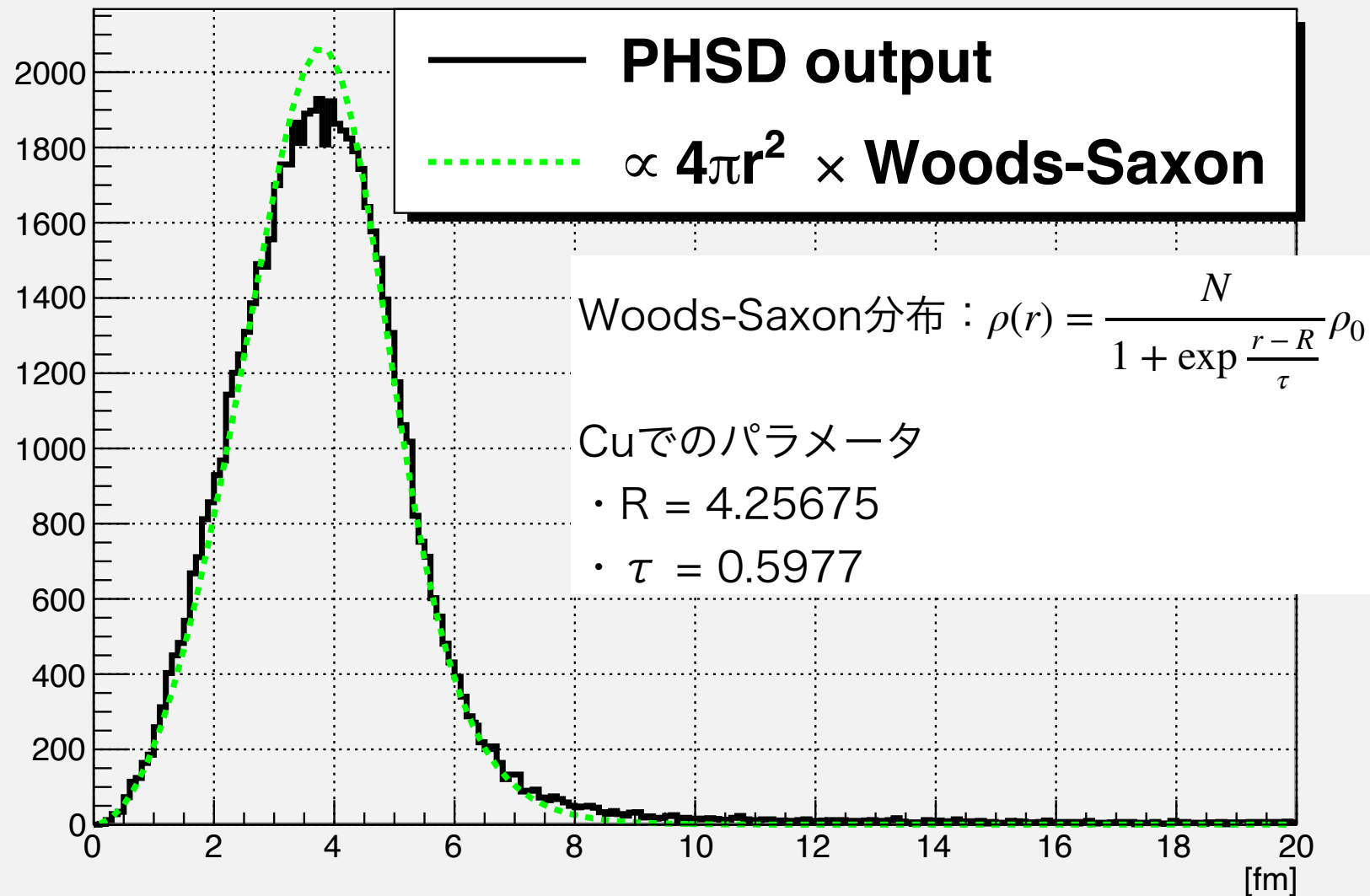
で起こる。

が、全体の~5 %なので影響は小さい。

-> 詳細はPRCに投稿中

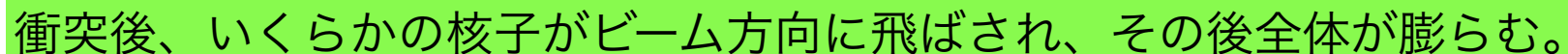
P. Gubler, M. Ichikawa, E. Bratkovskaya,
T. Song

Creation r_{lab}

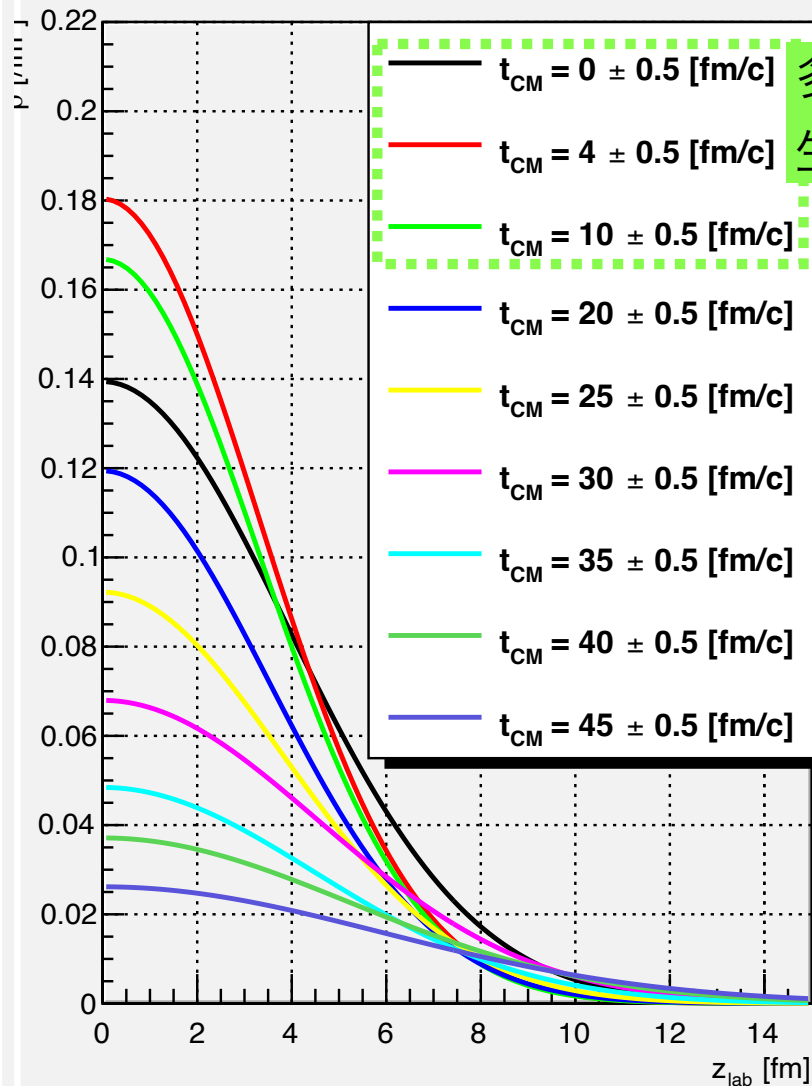


ϕ 生成位置はWoods-Saxon分布に概ね従う。

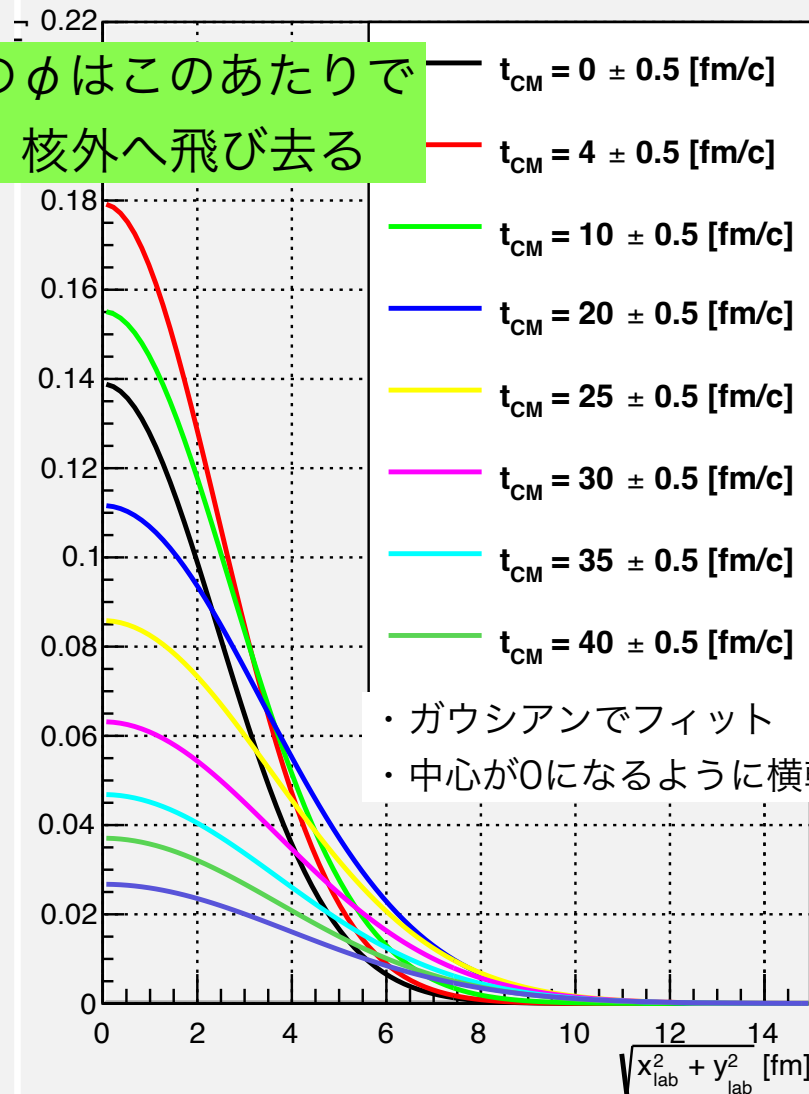
1,000衝突の平均



密度のz軸分布 (x_{lab} and $y_{\text{lab}} \sim 0$)



密度のxy面分布 of ρ ($z_{\text{lab}} \sim 0$)

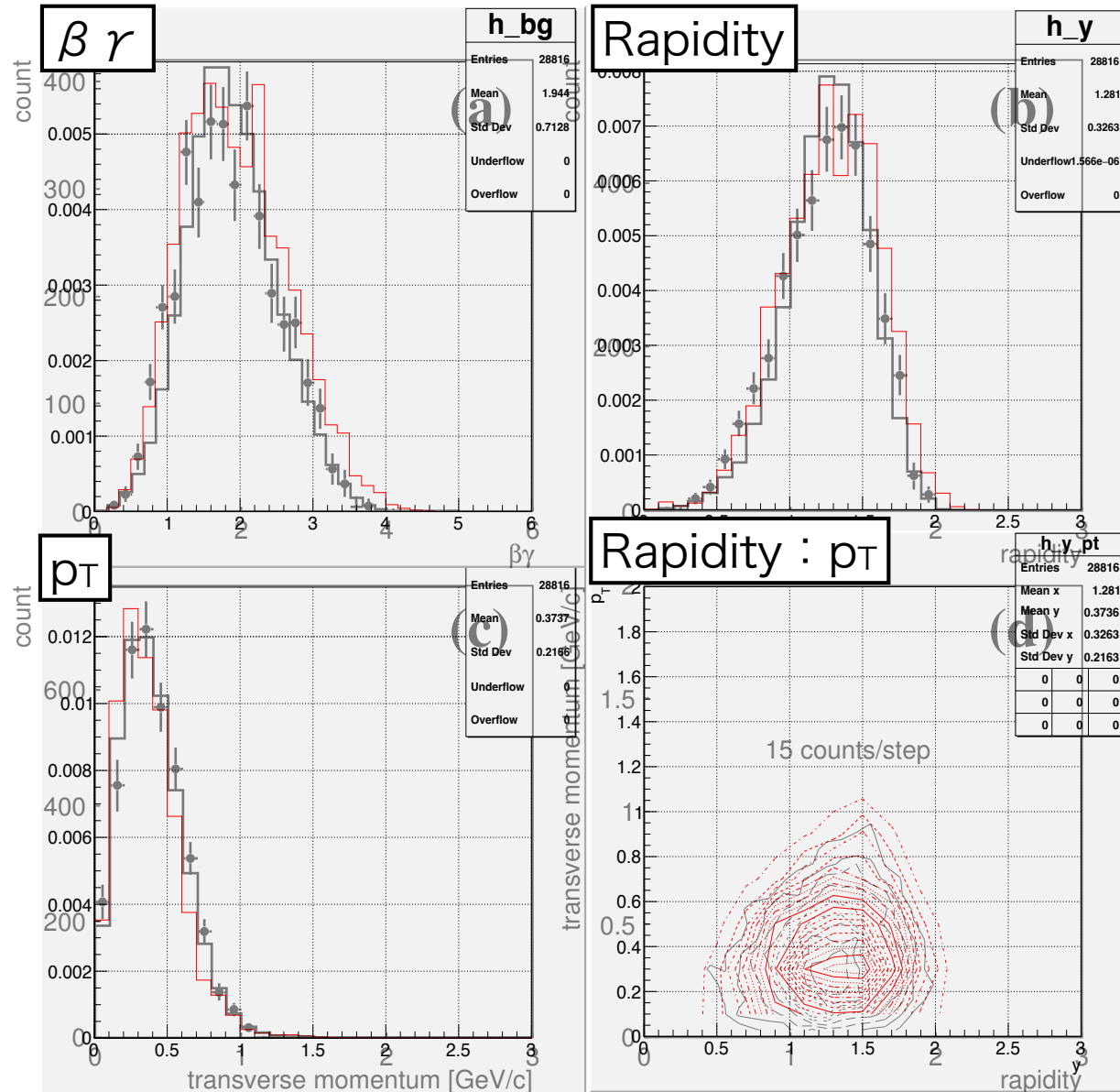


多くの ϕ はこのあたりで生成、核外へ飛び去る

- ・ガウシアンでフィット
- ・中心が0になるように横軸方向に並行移動

衝突後に一度分布が狭まり、その後徐々に広がる。

原子核の変形の影響は無視はできない。



● : 実験データ
 □ : 過去の解析
 □ : 今の解析 (PHSD + 実験の効果)

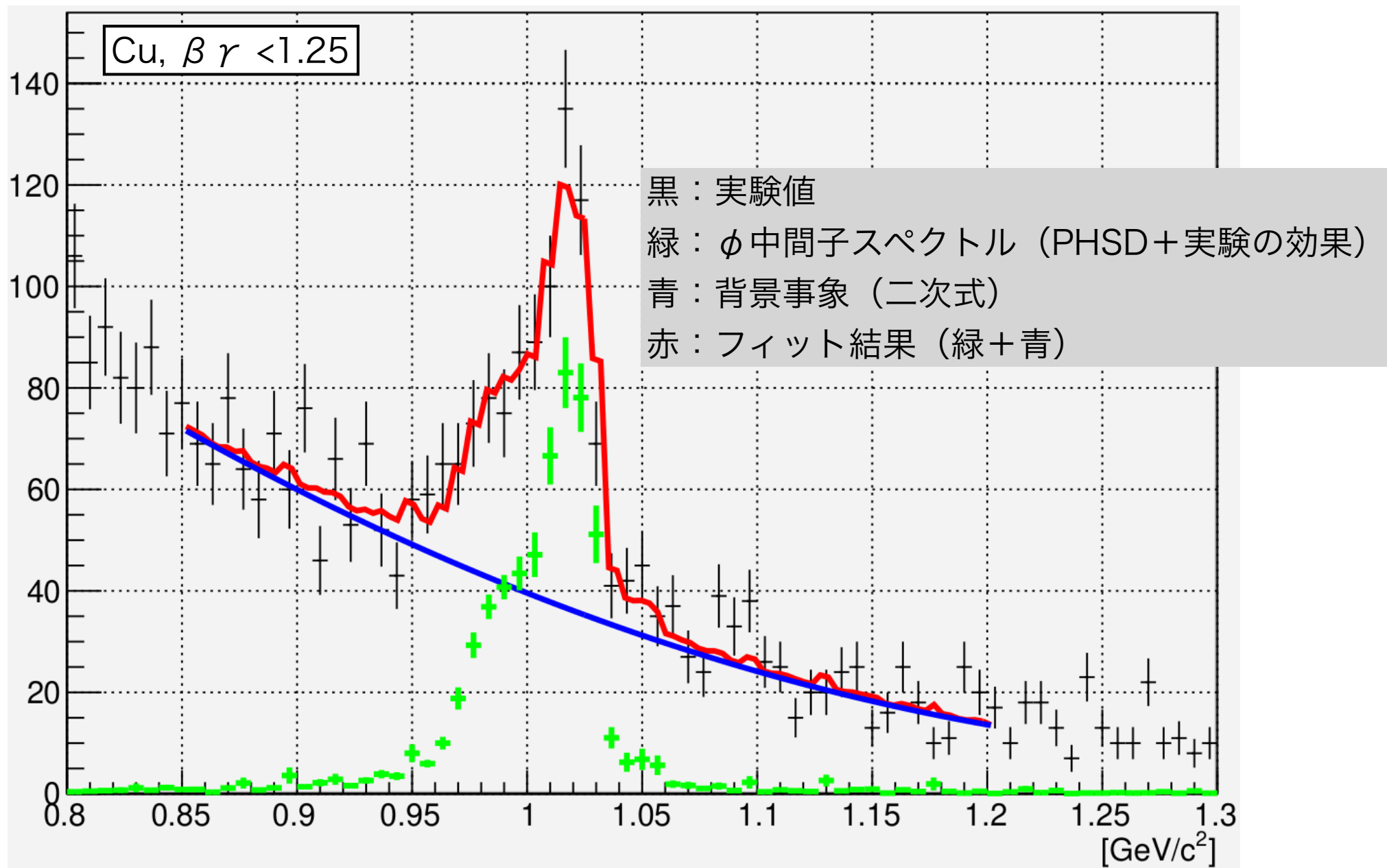
実験の効果

- Internal radiative correction
- 崩壊 e^+e^- のエネルギー損失
- 検出器のアクセプタンス、分解能

今の解析で得られる ϕ の運動量分布は、実験データによく一致

PHSD + 実験の効果でフィットする手法を確立

現在、シミュレーションの統計を貯めている。

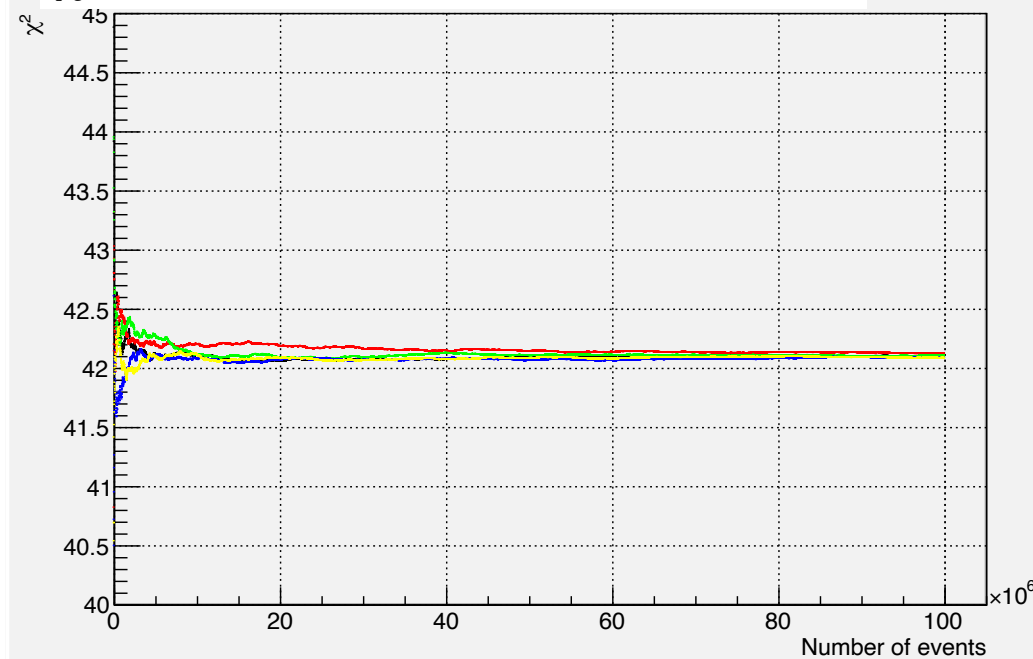


- KEK-PS E325実験
 - 原子核中におけるベクター中間子スペクトル測定 -> ハドロン質量の起源
 - $12 \text{ GeV } p + A \rightarrow (\rho, \omega, \phi) + X, (\rho, \omega, \phi) \rightarrow e^+e^-$
 - 原子核内におけるスペクトル変形の兆候を観測
- PHSD輸送計算
 - 平衡・非平衡状態におけるパートン、ハドロンの輸送計算
 - ϕ の生成位置
pA反応後の密度の空間分布
についてより現実的な情報が得られる。
-> pA反応後の密度分布の影響は無視できない程度にありそう。
- PHSDに実験の効果を加え、実験データにフィットする手法を確立
- シミュレーションの統計を貯めている。

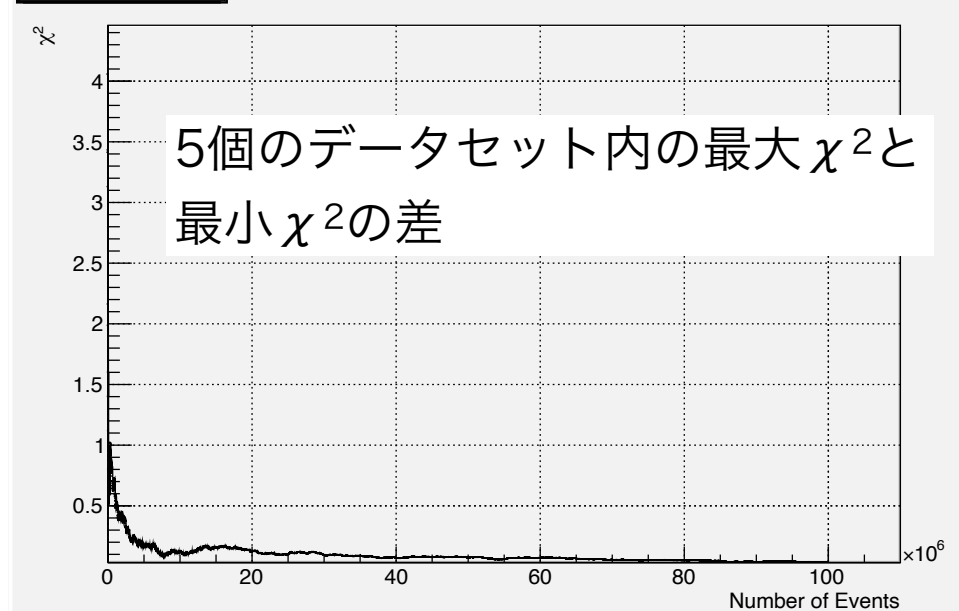
必要統計量の見積もり

- ・「PHSD + 実験の効果」の質量分布から質量をランダムに取得し、スペクトルを生成
- ・スペクトルの統計が10,000イベント貯まるごとに、実験データにフィットして χ^2 をプロット（左の図、100Mイベントまで）
- ・上記の操作を5回繰り返し、 χ^2 の収束具合を見る（右の図）。

□ χ^2 のフィット関数イベント数依存性



□ χ^2 difference



χ^2 の振れを0.1以下にしたければ、10Mイベント程度必要

-> 質量変化のパラメータを30セット用意する場合、PHSDに1,500コア x 9ヶ月必要

CPU: Intel Xeon Max 9480 (1.9 GHz)

-> 必要なPHSD稼働時間を2セット分まで減らす試みを進行中