Single spin asymmetry of decay muons in transversely polarized p+p collisions at sqrt(s)=200 GeV

1. はじめに
2. 偏極p+pビーム
3. PHENIX ミューオンアーム
4. π/K崩壊ミューオンサンプル
5. スピン非対称度の解析
6. まとめ

The title has been changed from "Single muon production in transversely polarized p+p collisions at sqrt(s)=200 GeV"

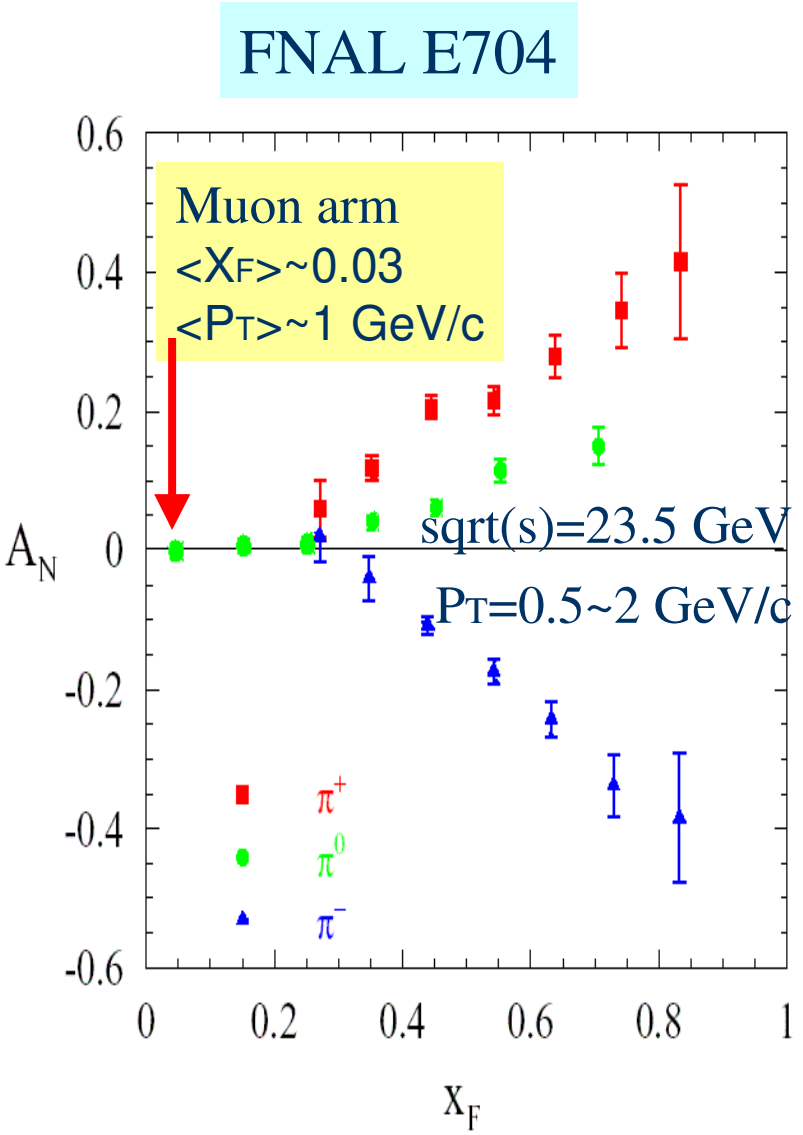
小林　秀幸
(理研BNL研究センター)
他　PHENIX 共同実験

はじめに

- シングル横偏極スピン非対称度 A_N
  - 生成断面積の左右の非対称度

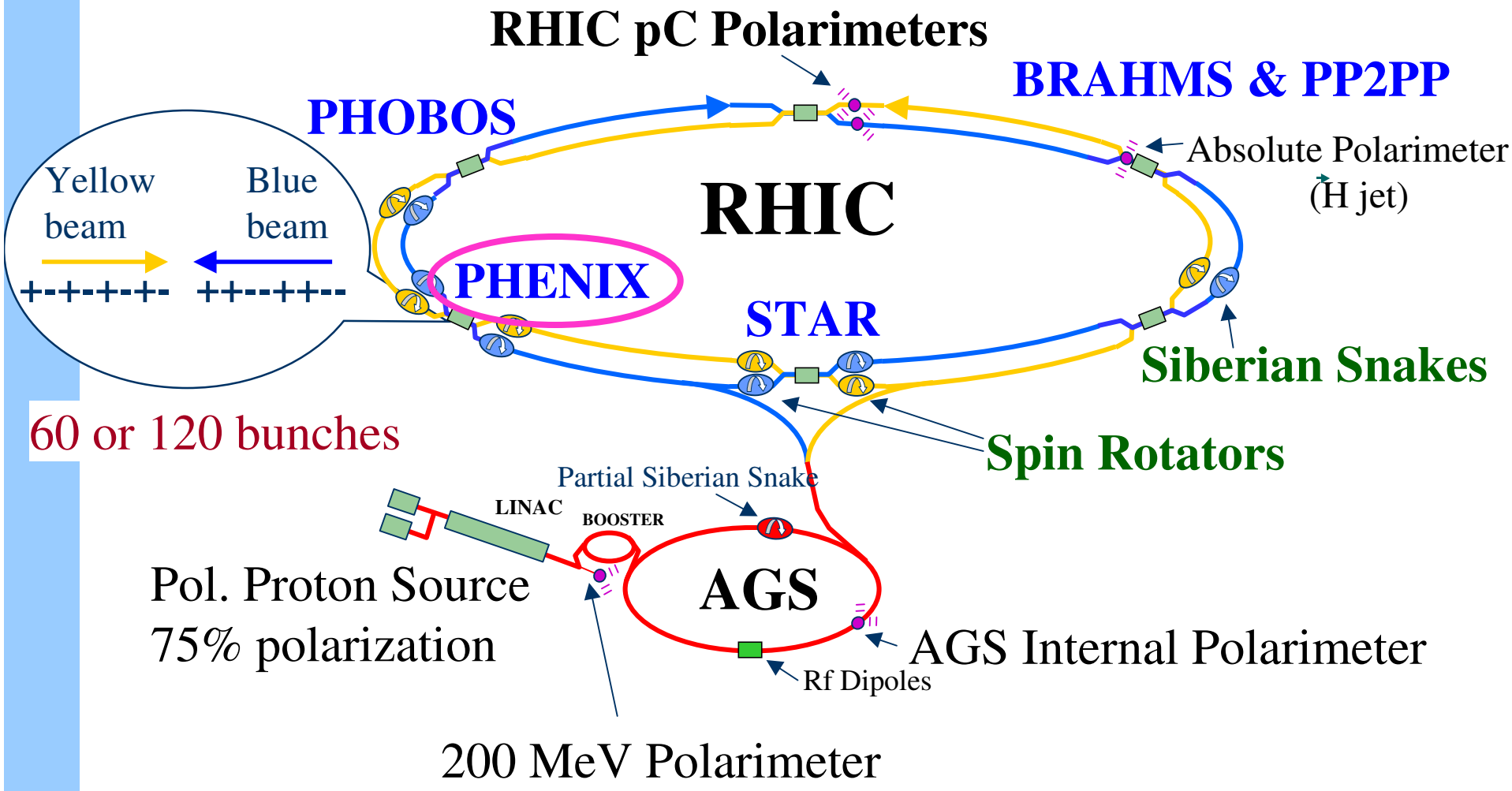
$$A_N = \frac{1}{P}\frac{\sigma_L - \sigma_R}{\sigma_L + \sigma_R}$$

  - 非常に大きな非対称度~20%
  - LO QCDでは現れない効果
- PHENIX ミューオンアームを使って研究する動機と目的
  - FNAL E704 の10倍高いエネルギー
  - ミューオンアームは電荷を区別できる
  - π/K 崩壊ミューオンのシングル横偏極非対称度を測定する。



RHIC 偏極 p+p ビーム

70% Polarization $L_{max} = 2 \times 10^{32} s^{-1} cm^{-2}$ $50 < \sqrt{s} < 500 GeV$



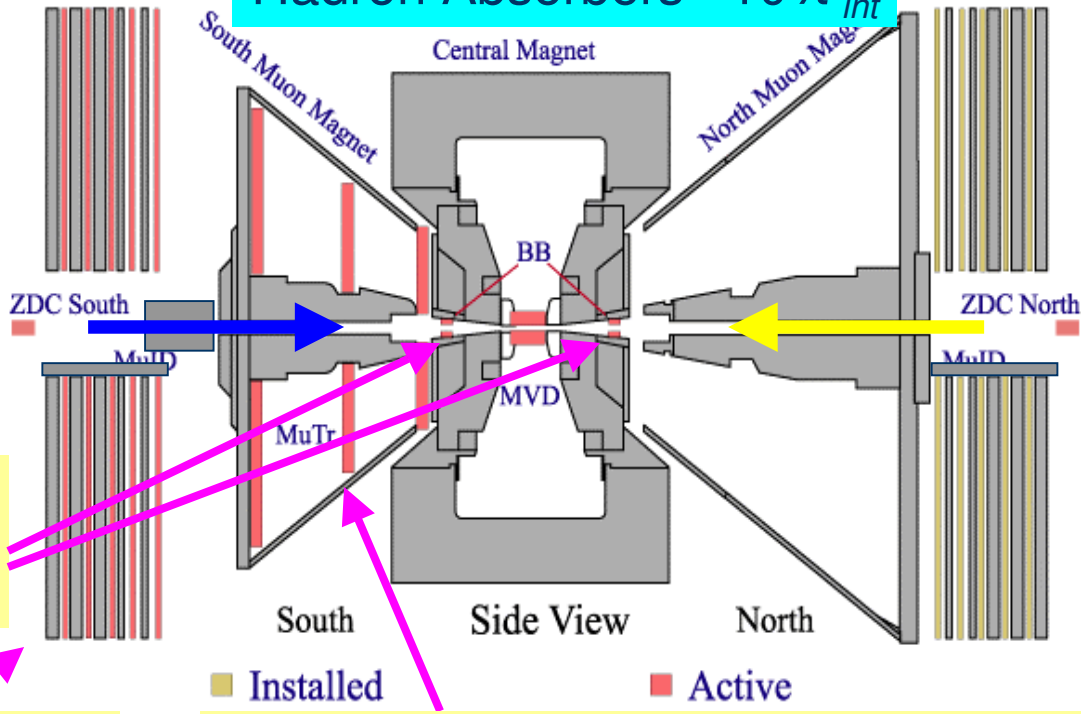
Hideyuki Kobayashi

Illustrated by Thomas Roser

3/29/2003

PHENIX ミューオンアーム Run2 (2001-2002)

Hadron Absorbers ~10 λ_{int}



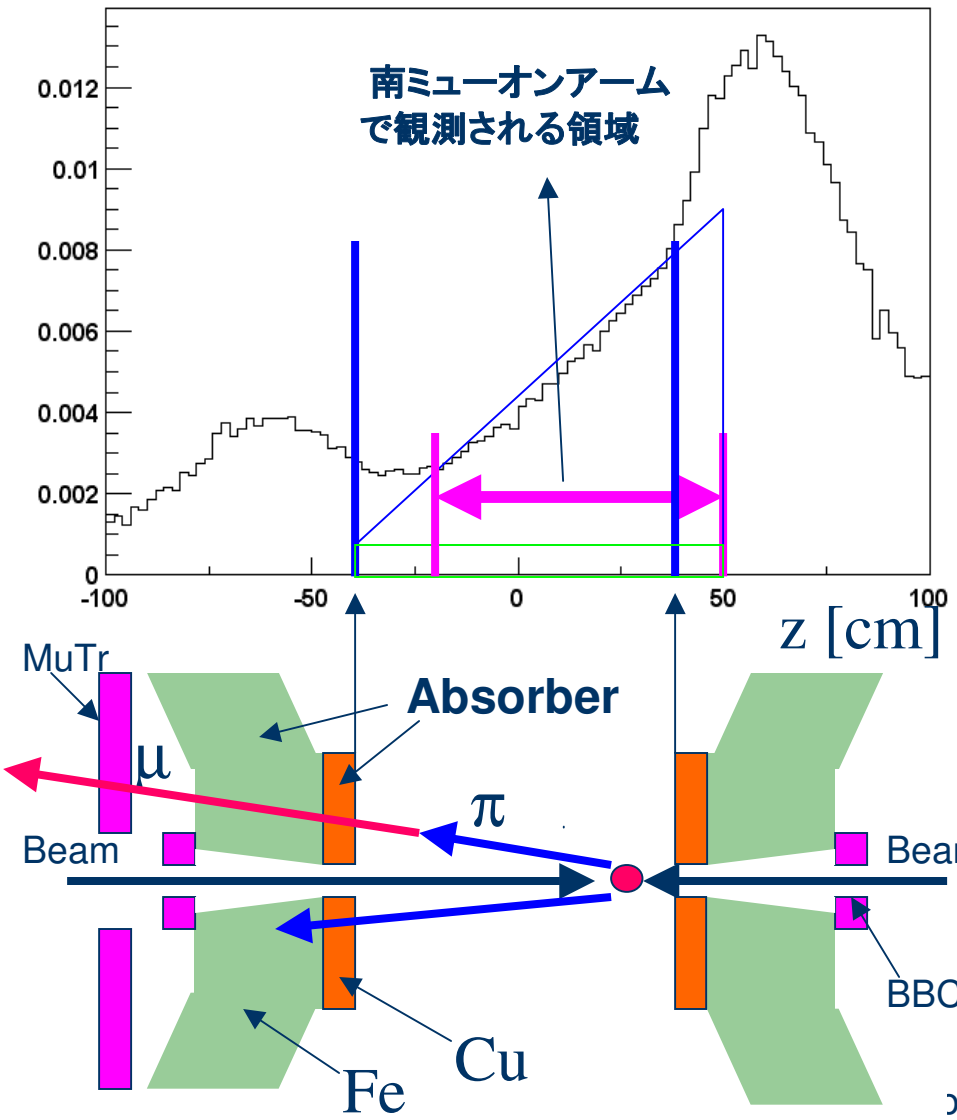
Beam-Beam Counter (BBC)
- Trigger, Vertex Δz~2 [cm]

Muon Identifier (MuId)
- 5 layers
- Hadron rejection ~ 10^{-4}
- Trigger threshold p=2 [GeV/c]
- Rough tracking (road)

Muon Tracker (MuTr)
- 3 stations
- Cathode strip readout
- Radial field magnet
- $\Delta p/p$~3%@3~10 [GeV/c]

π/K 崩壊ミューオンサンプル

ミューオンを含む事象の衝突点の分布



- ミューオン生成率はabsorber からの距離が大きくなるにしたがって大きくなる。π/K 崩壊ミューオンが測定されたことを示す。
- ミューオンの同定が機能している。

- 線形な形は崩壊定数が非常に小さいことに起因する。$c\tau\gamma$~100 [m]
- π/K 崩壊ミューオンがシングルミューオンの大多数を占める。
- プロンプトμ、またはパンチスルーバックグラウンドが一定のオフセット分布をつくる。

- π/K 崩壊ミューオンをつかったスピンアシンメトリーの研究ができる。

ミューオンの解析

Run2 (2001-2002)の状況

ビーム: sqrt(s)=200 GeV, p+p 衝突, 60 バンチ (42バンチを選択)

ルミノシティー: 0.15pb-1, ビームの偏極度: 15-17%, 両リング横偏極

ミューオントラックの選択

トリガー: MuID 5 layers penetration & (BBC North & BBC South)

MuID Road とトラックの一致: angle < 10.0 degree , | position | < 30 cm

衝突点領域の選択: -20.0 cm < BBC Zvtx < 50.0 cm

その他、トラックのクオリティーに関するカットなど。

トリガーのみ: 1608 K Tracks

トラック選択後: 230 K Tracks

スピン非対称度の解析 (sqrt formula)

物理非対称度

$$\frac{\sqrt{N_L^{\uparrow}N_R^{\downarrow}}-\sqrt{N_L^{\downarrow}N_R^{\uparrow}}}{\sqrt{N_L^{\uparrow}N_R^{\downarrow}}+\sqrt{N_L^{\downarrow}N_R^{\uparrow}}} \simeq PA\cdot[1+\mathcal{O}(\epsilon^3)]$$

Sqrt formula の特徴

- 片方のビームを非偏極とみなして解析する。(ルミノシティーの spin up/down 非対称度が非常に大きいときは使えない。)
- ディテクターの非対称度とルミノシティーの非対称度は自然にキャンセルして消える。(ε:ディテクター、ルミノシティー、物理アシンメトリーの大きさの程度。)
- ディテクター非対称度とルミノシティー非対称度も似たような式で得ることができる。

ディテクター非対称度

$$\frac{\sqrt{N_L^{\uparrow}N_L^{\downarrow}}-\sqrt{N_R^{\downarrow}N_R^{\uparrow}}}{\sqrt{N_L^{\uparrow}N_L^{\downarrow}}+\sqrt{N_R^{\downarrow}N_R^{\uparrow}}} \simeq \epsilon_{\Omega}+PA\epsilon_P+\mathcal{O}(\epsilon^3)$$

偏極度のup/down非対称度

ルミノシティー非対称度

$$\frac{\sqrt{N_L^{\uparrow}N_R^{\uparrow}}-\sqrt{N_L^{\downarrow}N_R^{\downarrow}}}{\sqrt{N_L^{\uparrow}N_R^{\uparrow}}+\sqrt{N_L^{\downarrow}N_R^{\downarrow}}} \simeq \epsilon_B+PA\epsilon_A+\mathcal{O}(\epsilon^3)$$

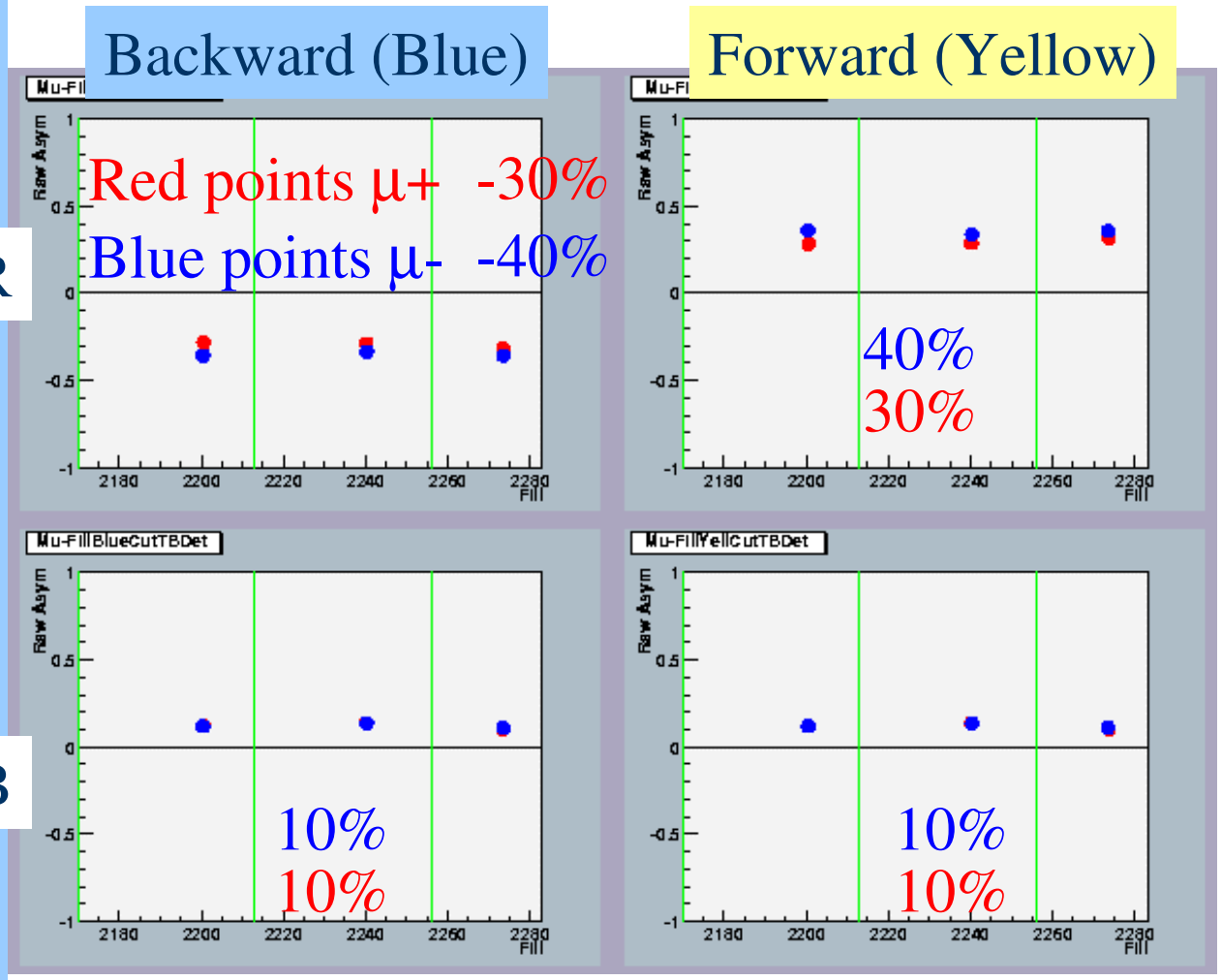
AのL/R非対称度

解析手法の系統的な確認と系統的誤差の評価

- Sqrt formula を使った解析の系統的な確認
  - 非対称度のfill (時間) 依存性
  - 上下非対称度と左右非対称度を比較
  - 電荷プラス粒子と電荷マイナス粒子を比較
  - 前方(Yellow)と後方(Blue)を比較

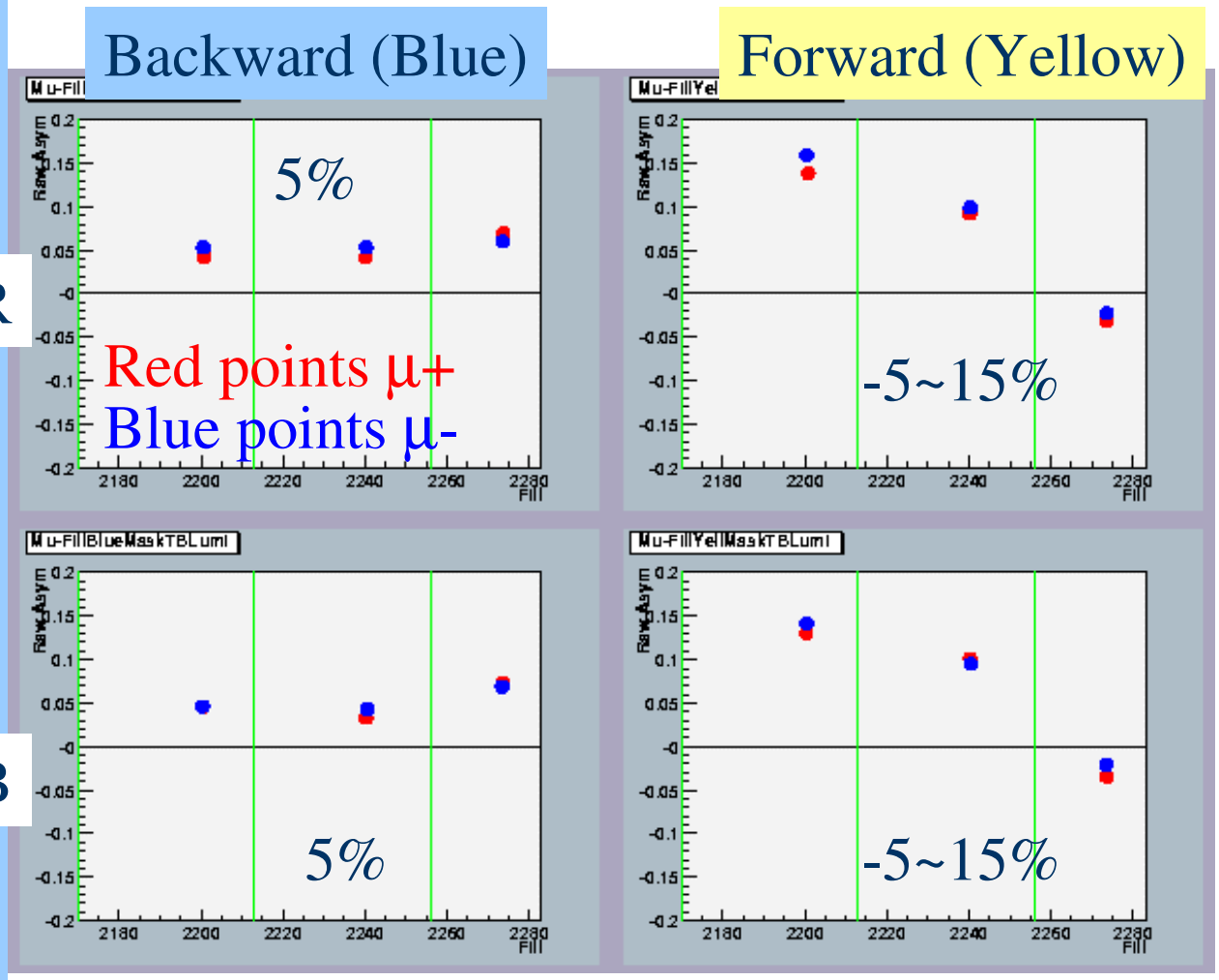
- バンチシャッフルによる False asymmetry
  - バンチ依存の系統的誤差の大きさを見積もる。

ディテクター非対称度の fill (時間) 依存性



- Fill 依存性小さい。
- Yellow ビームと Blue ビームによる違いあり。
- Charge による違いあり。
  (アクセプタンスに穴がある場合)
- L/R と T/B による違いあり。
  (アクセプタンスに穴がある場合)

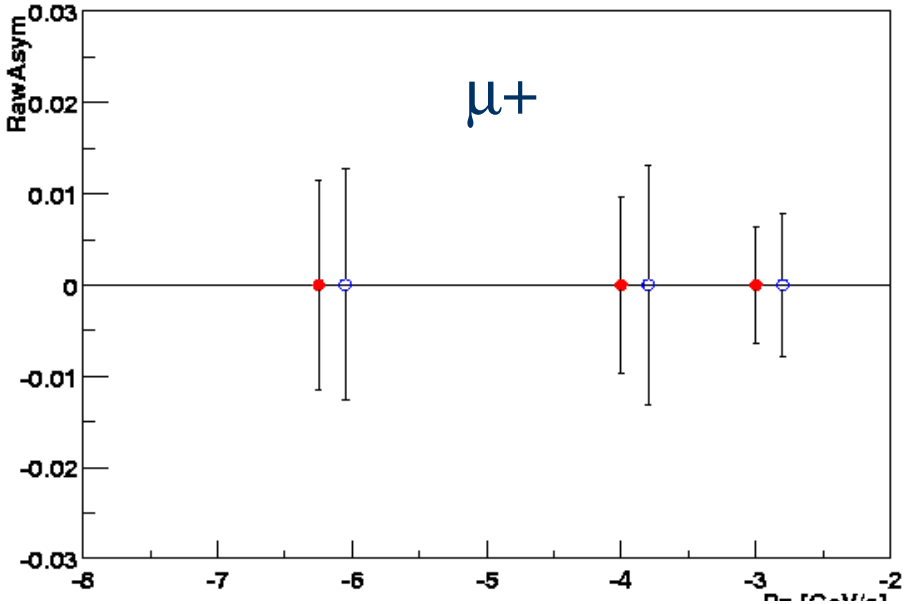
ルミノシティー非対称度の fill (時間) 依存性



- Fill 依存性あり。
- Yellow ビームと Blue ビームによる違いあり。
- Charge による違い小さい。
- L/R と T/B による違い小さい。

バンチシャッフルによるFalse asymmetry

物理非対称度の誤差の大きさ



Red points: 実験データの統計誤差
Blue points: バンチシャッフル非対称度の平均とRMS

$$RMS = \sqrt{\sigma_{stat}^2 + \sigma_{syst}^2}$$

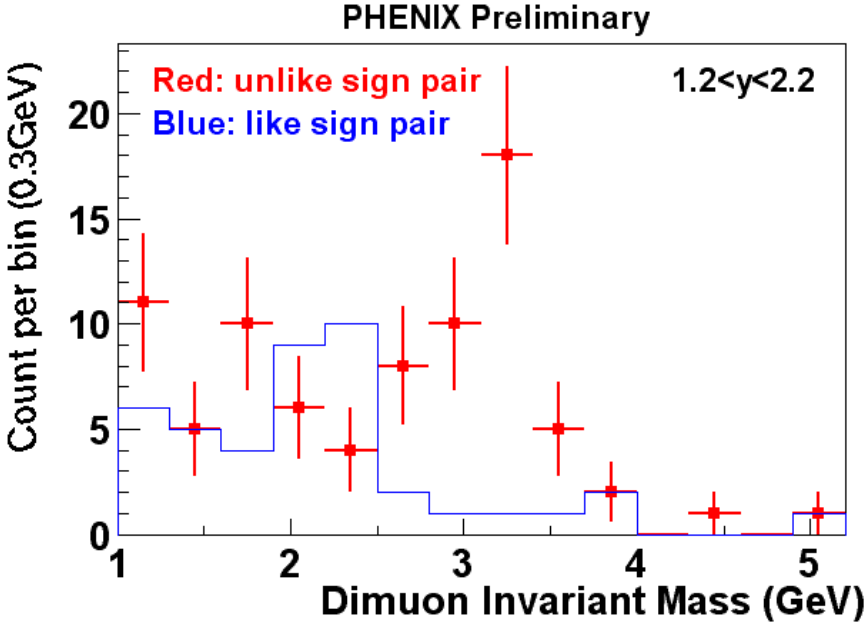
- バンチナンバーをシャッフルして作られた1000 通りのバンチパターンをランダムに生成して毎回物理非対称度を計算した。
- その分布の平均（blue points）はゼロになるべき。
- バンチシャッフルによってつくられた非対称度の分布のRMSの大きさは、実験データの統計誤差よりも少しだけ大きい。
- バンチに依存した系統誤差の大きさは、統計誤差の20～70%

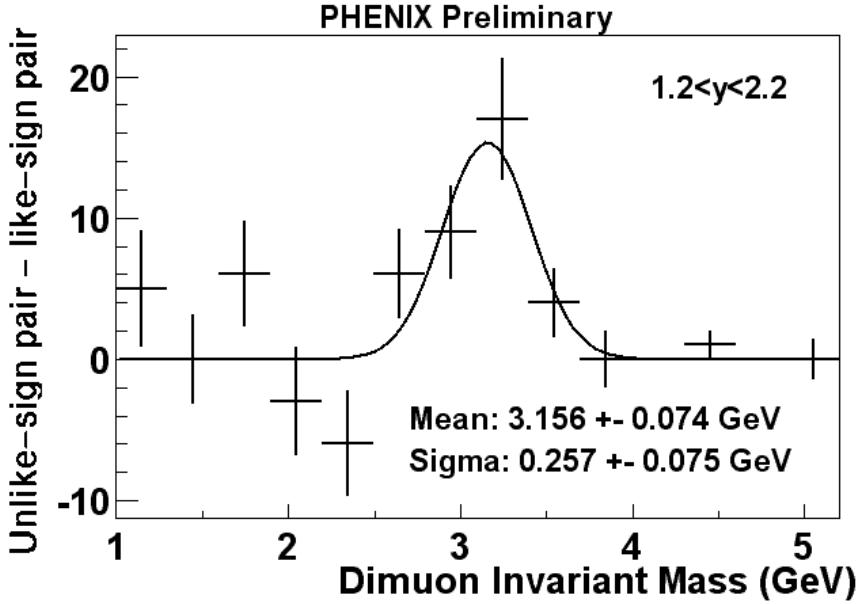
まとめ

- Run2(2001-2002)のデータから得られるシングルミューオンの大多数はπ/K 崩壊ミューオンである。
- シングル横偏極スピン非対称度をミューオンアームで測れる領域: $\langle X_F \rangle \sim 0.03$, $\langle P_T \rangle \sim 1.0$ GeV/c
- π/K 崩壊ミューオンのスピン非対称度を求める解析にSqrt formula を適用した。
- Sqrt formula を使った解析について系統的な確認を行った。
- 物理非対称度の統計誤差とFalse asymmetry のRMSとを比較、バンチ依存の効果による系統的誤差の大きさは統計誤差よりも小さい。

Backup slides follows

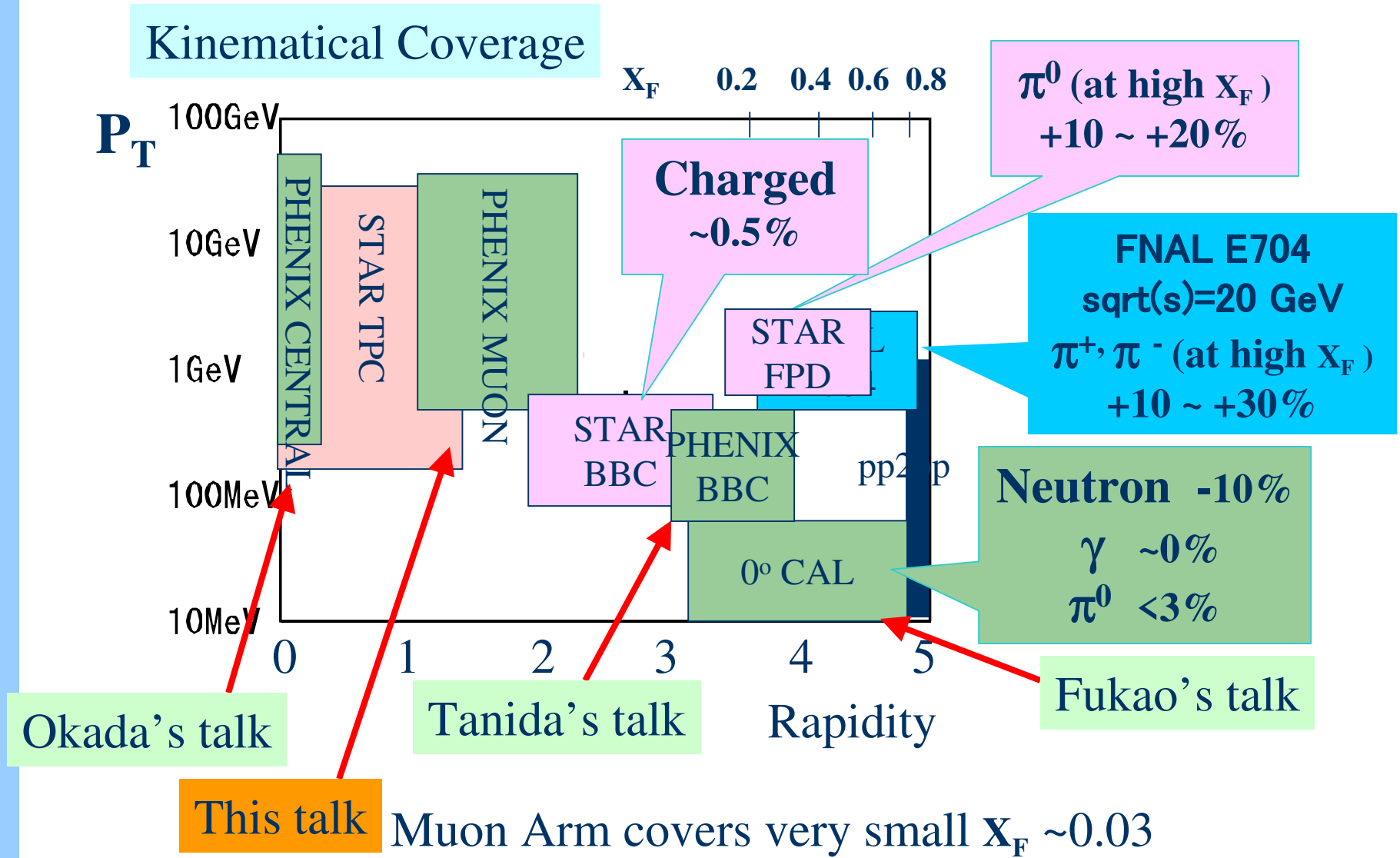
J/ψ by muon arm in Run2





- Significant enhancement of unlike-sign pair in the J/ψ mass region
  - Peak (3156 ± 74 MeV/c^2) is consistent with J/ψ mass
  - Mass width (257 ± 75 MeV/c^2) is consistent with expectation → further improvement is expected
- $N_{J/\psi} = 36$ in 2.5<mass<3.7GeV/c assuming same count of unlike and like-sign pairs from background (confirmed with simulation)
- Systematic error on the count ~10 % by changing mass cut

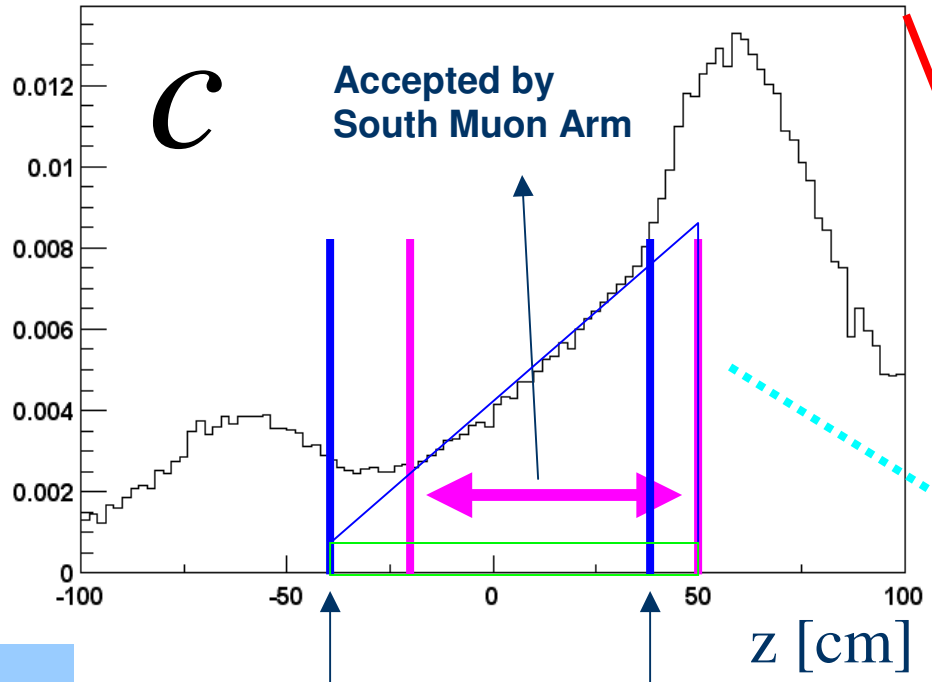
Asymmetries from RHIC sqrt(s)=200 GeV



Muon Arm covers very small x_F ~0.03

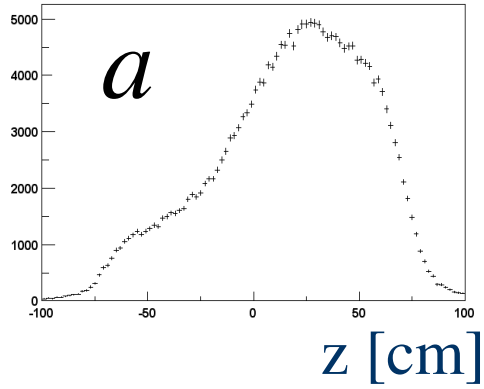
Z vertex Dependence

Normalized Muon Biased Z vertex

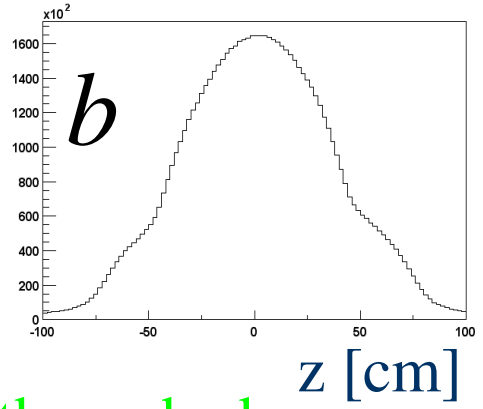


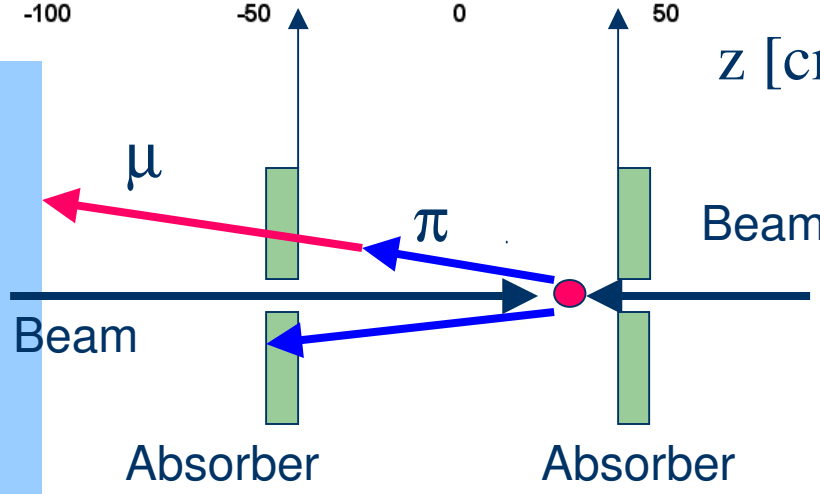
$$c = \frac{a}{b}$$

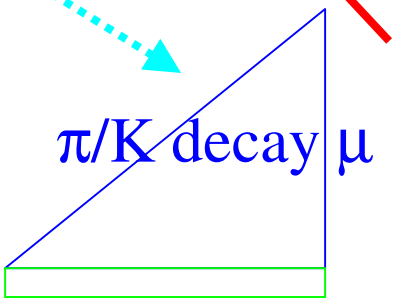
Muon Track Z vertex



Minimum Bias Z vertex



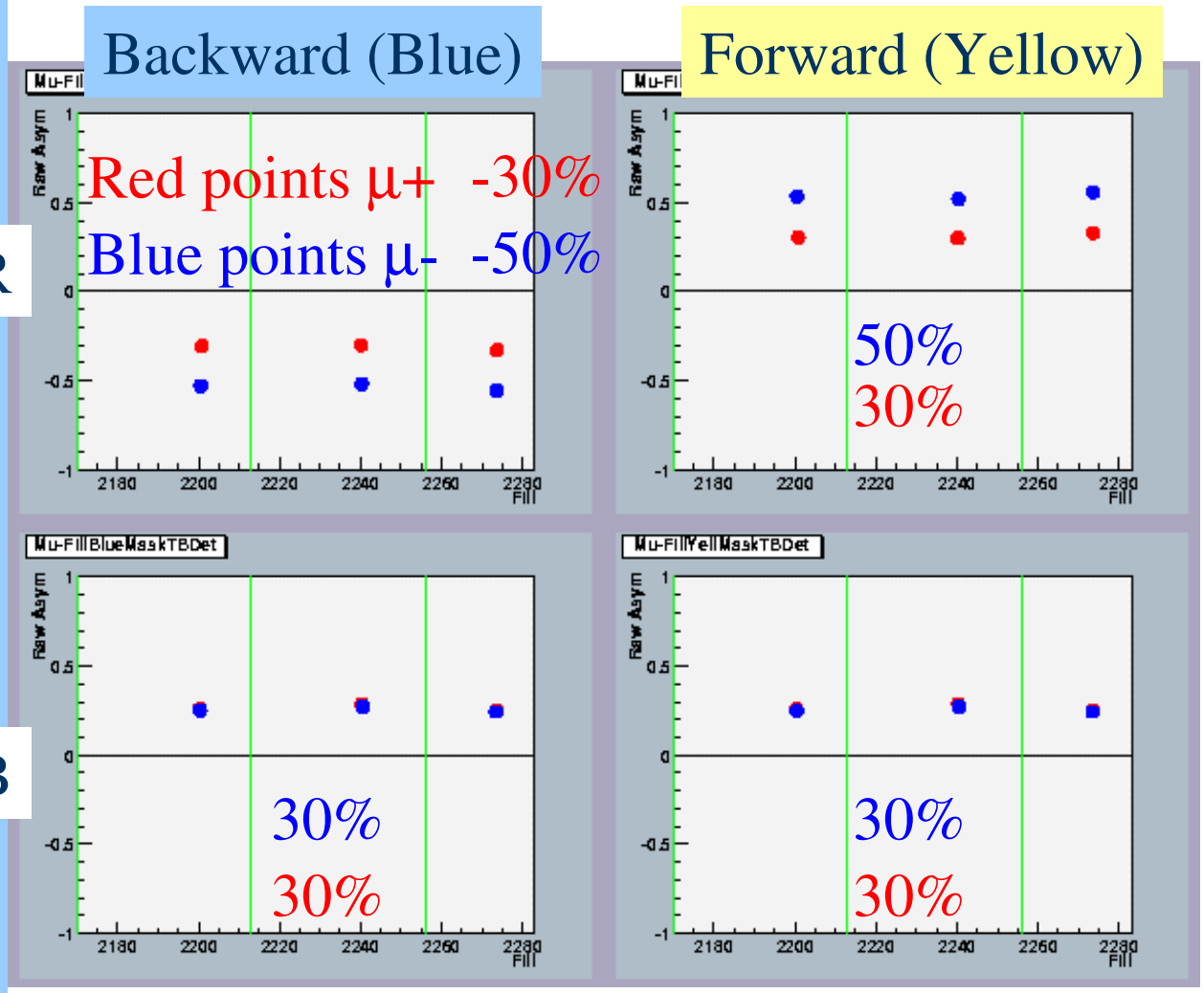




direct μ, punch throw hadron, …

π/K decay μ dominates >80%

ディテクター非対称度の fill (時間) 依存性



Definition of L/R is opposite between backward and forward.