

Measurement of single transverse-spin asymmetry of inclusive charged particles by PHENIX BBC in polarized pp collision at $\sqrt{s} = 200 \text{ GeV}$

谷田 聖 (理研)

for the PHENIX collaboration

日本物理学会講演

2003年3月29日@仙台

内容

- イントロダクション
- RHIC spin 実験と PHENIX BBC
- 解析
 - Bunch Fitting 法
- 結果
- まとめと展望

PH[✶]ENIX



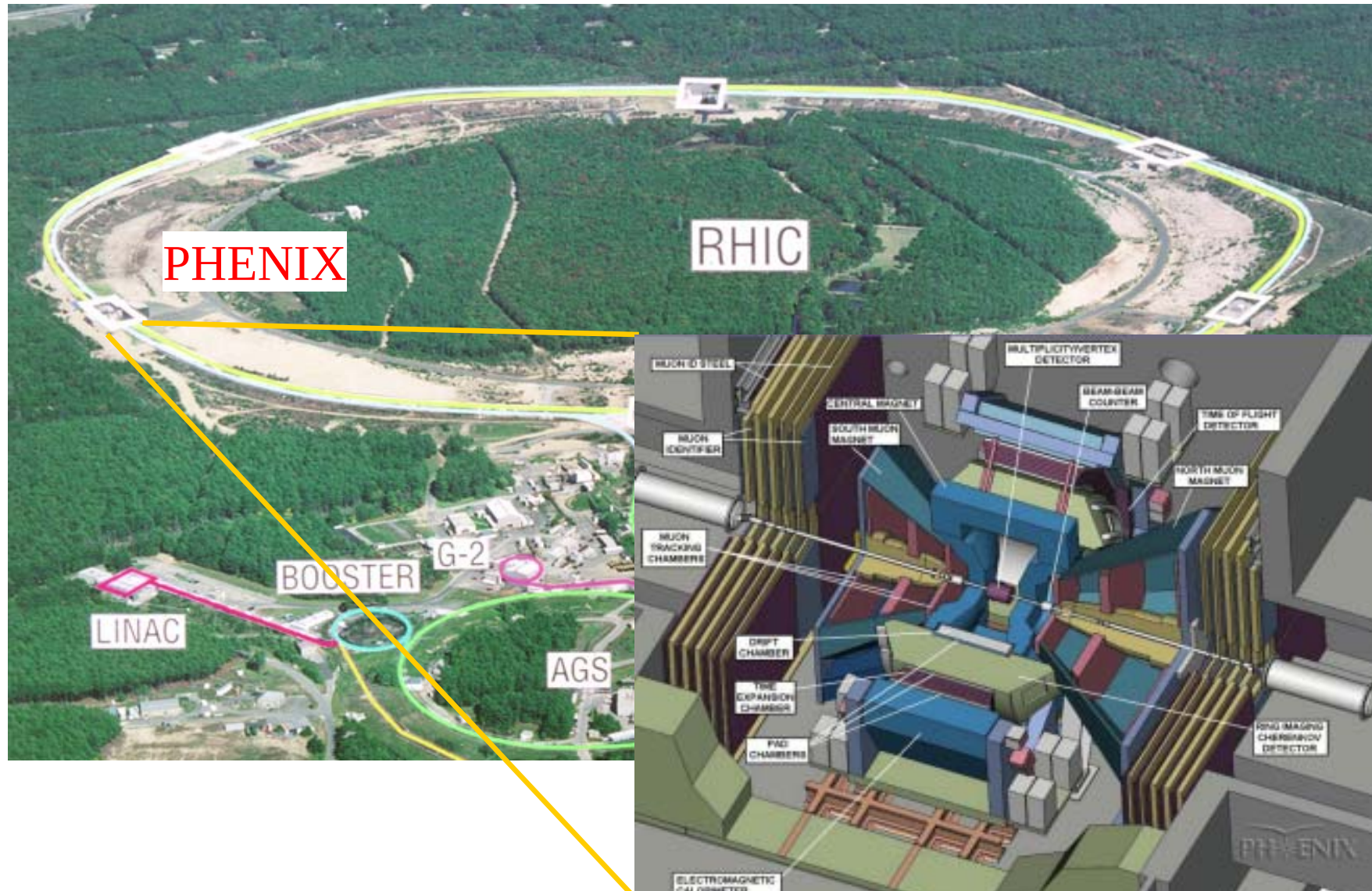
University of São Paulo, São Paulo, Brazil
 Academia Sinica, Taipei 11529, China
 China Institute of Atomic Energy (CIAE), Beijing, P. R. China
 Laboratoire de Physique Corpusculaire (LPC), Université de Clermont-Ferrand, F-63170
 Clermont-Ferrand, France
 CEA Saclay, Bat. 703, F-91191, Gif-sur-Yvette, France
 Orsay, Université Paris Sud, CNRS-IN2P3, BP1, F-91406, Orsay, France
 NHE-Palaiseau, École Polytechnique, CNRS-IN2P3, Route de Saclay, F-91128,
 Palaiseau, France
 BATECH, École des Mines at Nantes, F-44307 Nantes, France
 University of Muenster, Muenster, Germany
 Banaras Hindu University, Banaras, India
 Bhabha Atomic Research Centre (BARC), Bombay, India
 Weizmann Institute, Rehovot, Israel
 Center for Nuclear Study (CNS-Tokyo), University of Tokyo, Tanashi, Tokyo 188, Japan
 Hiroshima University, Higashi-Hiroshima 739, Japan
 KEK, Institute for High Energy Physics, Tsukuba, Japan

Kyoto University, Kyoto, Japan
 Nagasaki Institute of Applied Science, Nagasaki-shi, Nagasaki, Japan
 RIKEN, Institute for Physical and Chemical Research, Hirosawa, Wako, Japan
 University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan
 Tokyo Institute of Technology, Ohokayama, Meguro, Tokyo, Japan
 University of Tsukuba, Tsukuba, Japan
 Waseda University, Tokyo, Japan
 Cyclotron Application Laboratory, KAERI, Seoul, South Korea
 Kangnung National University, Kangnung 210-702, South Korea
 Korea University, Seoul, 136-701, Korea
 Myong Ji University, Yongin City 449-728, Korea
 System Electronics Laboratory, Seoul National University, Seoul, South Korea
 Yonsei University, Seoul 120-749, KOREA
 Institute of High Energy Physics (IHEP-Protvino or Serpukhov), Protvino,
 Russia
 Joint Institute for Nuclear Research (JINR-Dubna), Dubna, Russia
 Kurchatov Institute, Moscow, Russia
 PNPI, St. Petersburg Nuclear Physics Institute, Gatchina, Leningrad, Russia
 Lund University, Lund, Sweden
 Abilene Christian University, Abilene, Texas, USA
 Brookhaven National Laboratory (BNL), Upton, NY 11973
 University of California - Riverside (UCR), Riverside, CA 92521, USA
 Columbia University, Nevis Laboratories, Irvington, NY 10533, USA
 Florida State University (FSU), Tallahassee, FL 32306, USA
 Georgia State University (GSU), Atlanta, GA, 30303, USA
 Iowa State University (ISU) and Ames Laboratory, Ames, IA 50011, USA
 Los Alamos National Laboratory (LANL), Los Alamos, NM 87545, USA
 Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL), Livermore, CA 94550, USA
 University of New Mexico, Albuquerque, New Mexico, USA
 New Mexico State University, Las Cruces, New Mexico, USA
 Department of Chemistry, State University of New York at Stony Brook (USC)
 Stony Brook, NY 11794, USA
 Department of Physics and Astronomy, State University of New York at Stony
 Brook (USB), Stony Brook, NY 11794, USA
 Oak Ridge National Laboratory (ORNL), Oak Ridge, TN 37831, USA
 University of Tennessee (UT), Knoxville, TN 37996, USA
 Vanderbilt University, Nashville, TN 37235, USA

イントロダクション

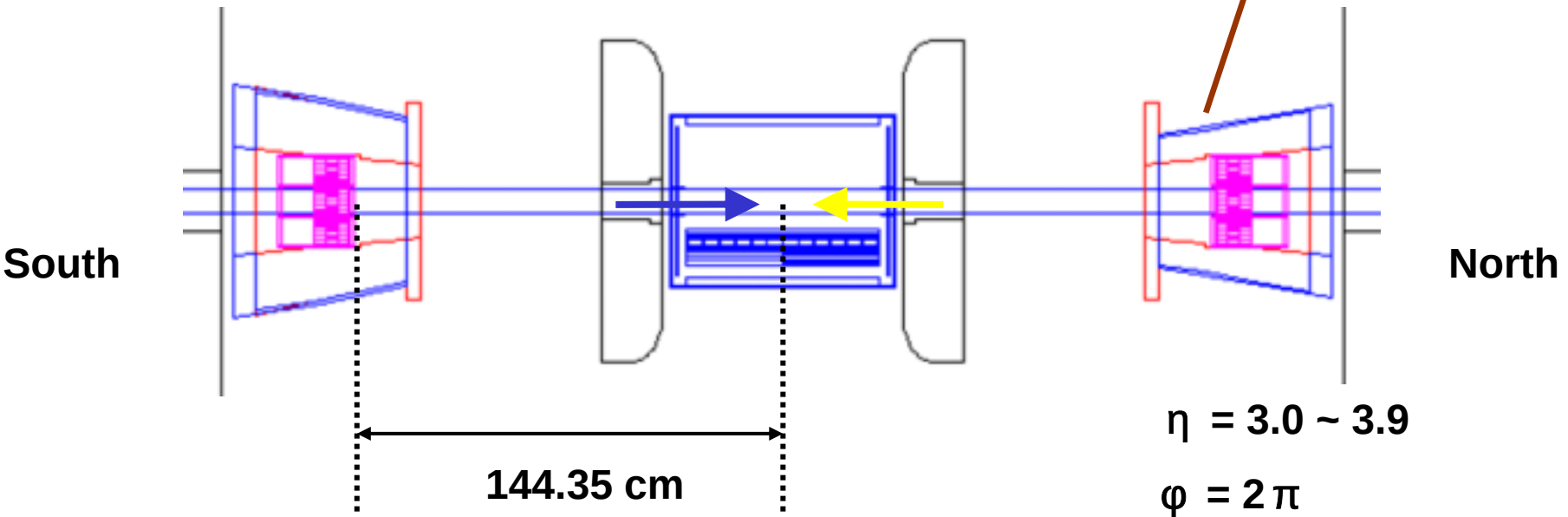
- Transverse single spin asymmetry (A_N):
 - 高エネルギー pp 衝突のメカニズムの情報
- 前方で有限の A_N の観測例:
 - FNAL E704 (π , $\sqrt{s}=20$ GeV)
 - STAR FPC (π^0 , 200 GeV)
 - LocalPol@IP12 (n, 200 GeV, 前のトークを参照)
- BBC:
 - PHENIX で最前方 ($3 < |\eta| < 3.9$)
 - 高統計
 - BBC で inclusive (charged) particle の A_N を測定
- 偏極度計としての応用の可能性

RHIC spin 実験



PHENIX BBC

- Quartz Cherenkov カウンター
($n \sim 1.4$, 厚さ $\sim 1X_0$)
- 64 segments $\times 2$ (南北)
- 有限角補正: 0.79
- 平均 multiplicity ~ 2

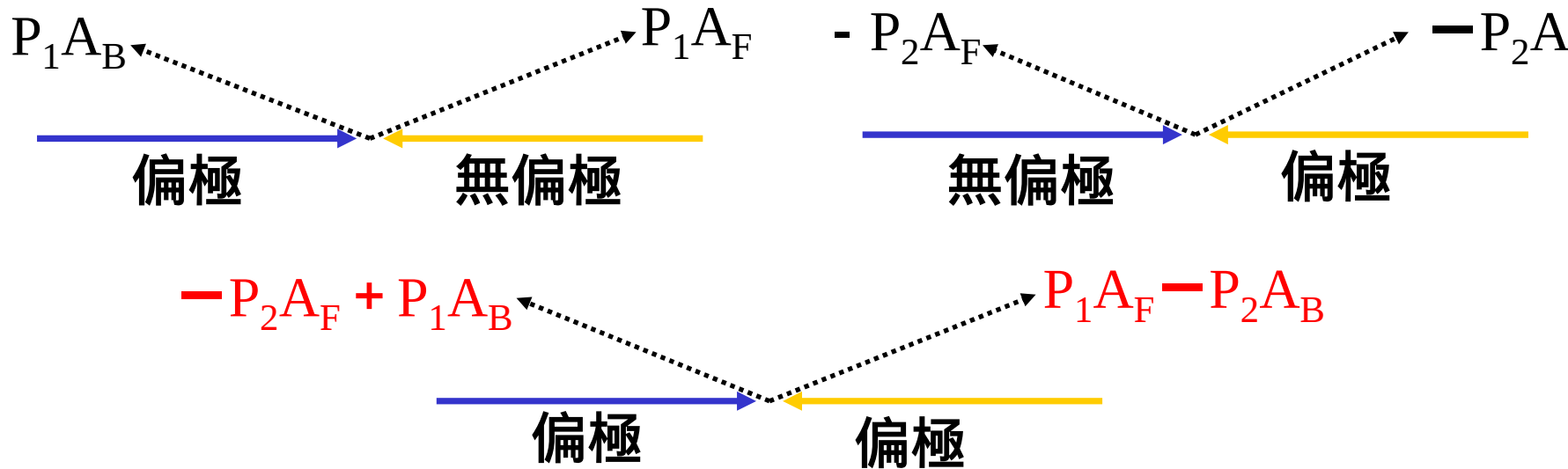


実験条件

- Bunch crossing
 - 決まったバンチの組み合わせで衝突
 - 60 crossings (うち 45 を解析に使用)
 - 偏極の向き: $\uparrow (+)$ か $\downarrow (-)$ (無偏極バンチが3つ)
基本パターン: $++--++--\dots\dots$ と $+--+--+--+ \dots\dots$ が衝突
- Trigger: BBC LL1 (prescaled)
 - 両側のコインシデンス
 - 時間差 $\rightarrow$ z-vertex ($\pm 75\text{cm}$ 以内)
 - データサンプル ~ 17 Mイベント
 - Beam-gas バックグラウンド $< 10^{-3}$

A_N の導出

- 2つの偏極ビーム、2つの検出器
→ 2つの A_N 、2つの独立な測定



- 通常: 片方を実効的に無偏極にする
 - 統計的に損
 - 本当に無偏極?

→ Bunch Fitting 法

Bunch Fitting 法

- crossing ごとに統計的に独立、systematic 共通のデータを取得

- $N_L(i)$, $N_R(i)$: crossing ごとのイベント数

$$\rightarrow a_{LR}(i) = \frac{N_L(i) - N_R(i)}{N_L(i) + N_R(i)}$$

- 予想されるパターンは？

$$N_L(i) = C(1+D)[1+A_F P_1(i) - A_B P_2(i)]$$

$$N_R(i) = C(1-D)[1 - A_F P_1(i) + A_B P_2(i)],$$

$$\rightarrow a_{LR}(i) = \frac{D + A_F P_1(i) - A_B P_2(i)}{1 + D[A_F P_1(i) - A_B P_2(i)]} \quad \text{でフィット}$$

Bunch Fitting 法の利点

- バンチごとに違う偏極度を入れられる。
- fitting χ^2 による systematic error のチェックができる
- A_F と A_B の相関を自動的に正しく解く
- 統計エラーなどは sqrt formula と同じ
- 解析の手間は従来の方法とあまり変わらない。
- Note: Bunch Fitting 法を A_{LL} の解析に応用することも可能
 - 偏極 Ring collider での強力な解析手法

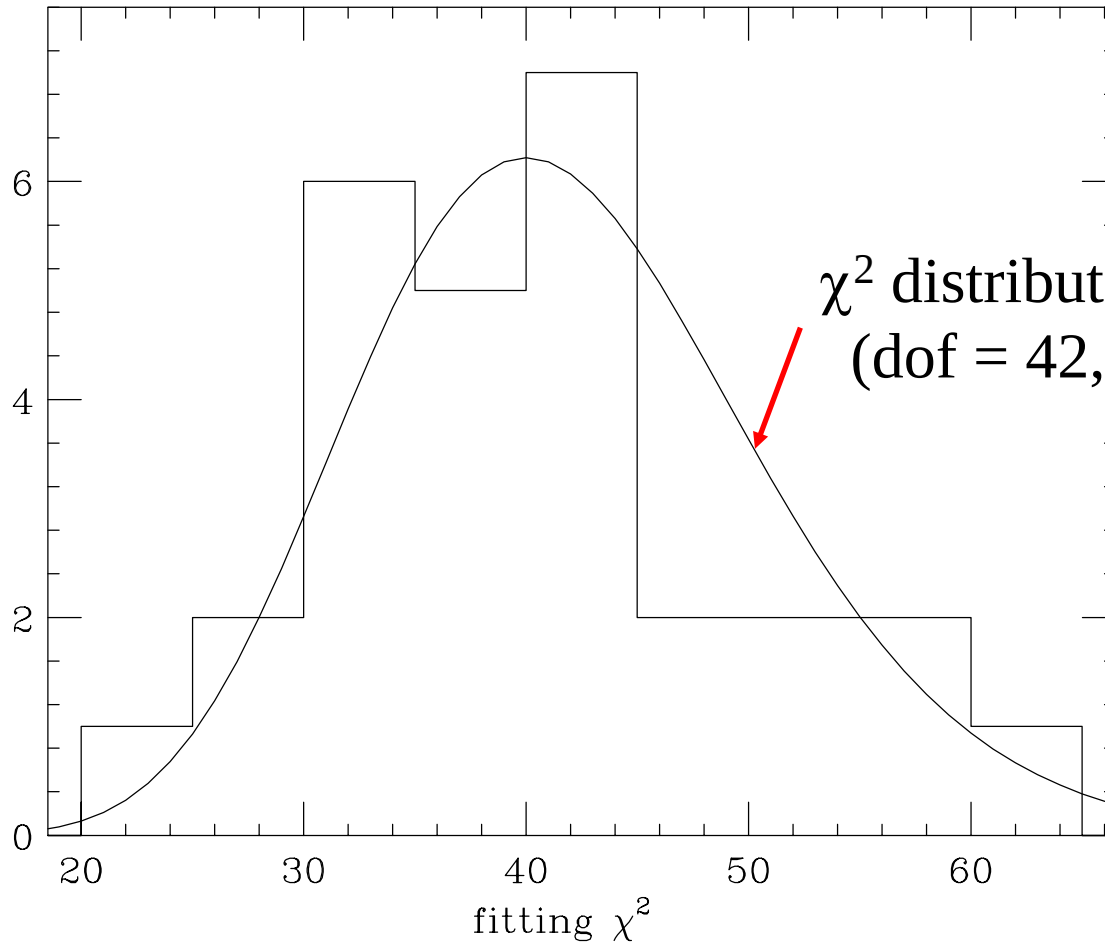
解析条件

- $P_1(i) = P_1 S_1(i)$, $S_1(i) = +1$ (spin $\uparrow$) or -1 ($\downarrow$)
 - 今回はバンチ毎の偏極度測定はなし
 - 典型的な偏極度: $P_1, P_2 \sim 0.15$
 - Fitting parameter: $\varepsilon_F = A_F P_{1(2)}$ を A_F の代わりに使用
→ 偏極度測定のエラーを分離
 - 3つのチェック
 1. $\chi^2/\text{dof}(=42)$ は 1 に近いかな？
 2. 2つの独立な A_B, A_F の測定は consistent かな？
 3. 上下非対称性 (Parity を破る) は 0 かな？
- OK

χ^2 分布

distribution of fitting χ^2

number of events



$$\bar{\chi}^2 = 40.7 \pm 1.7$$

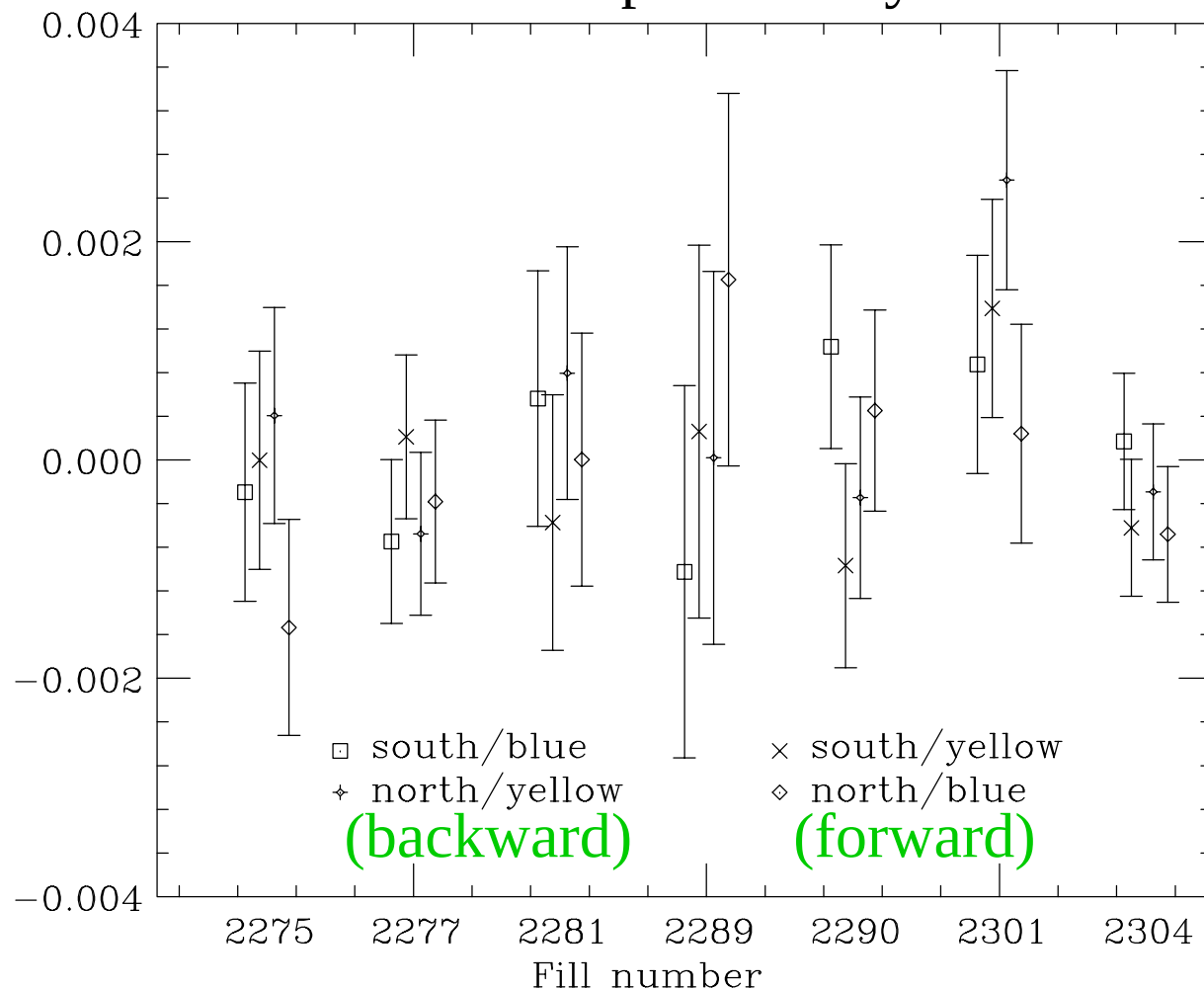
χ^2 distribution
(dof = 42, NOT a fit)

統計的に期待
されるものと
完全に一致

→ 統計エラーが dominate

結果

PHENIX preliminary



$$A_F = 1.3 \pm 1.8$$

$$A_B = 1.2 \pm 1.8 \times 10^{-3}$$

(RHIC 偏極度計の
 A_N を0.0132と仮定)

結果は 0 と consistent

まとめと将来の展望

- $\sqrt{s}=200$ GeV での pp 衝突における inclusive 粒子の A_N を PHENIX BBC で測定した。
- Ring 型 collider の特徴を生かして、
 A_N を計算する新しい強力な手法を開発した
- A_{LL} の解析にも応用可能
- 1.8×10^{-3} のレベルで、統計誤差が dominate の測定をすることができた。
- 結果は 0 と consistent
- LocalPol@IP12 との関連で、超前方の中性子を tag したときの BBC での A_N を求める解析が進行中。

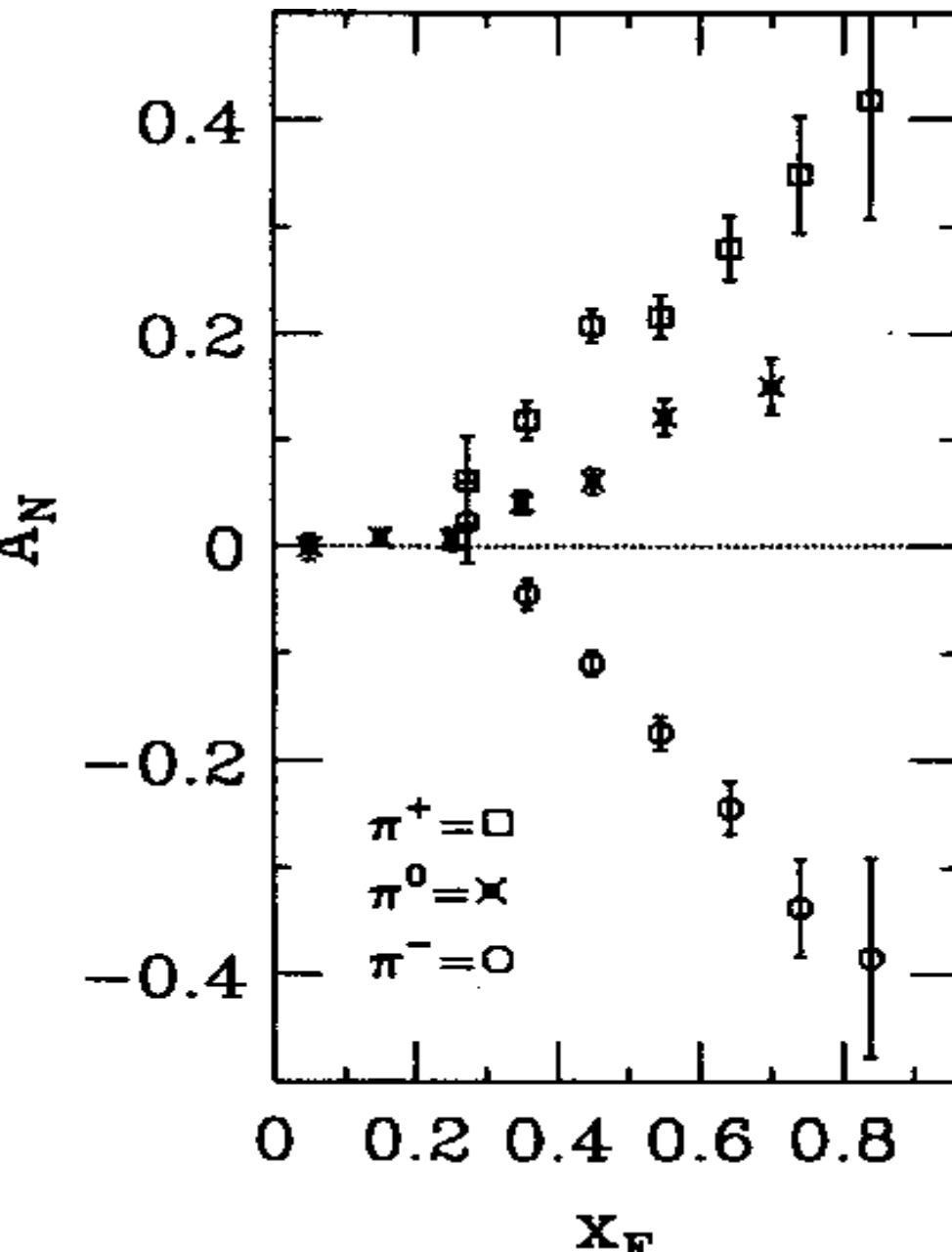
Supporting slides

FNAL E704

[PLB 264 (1991) 462]

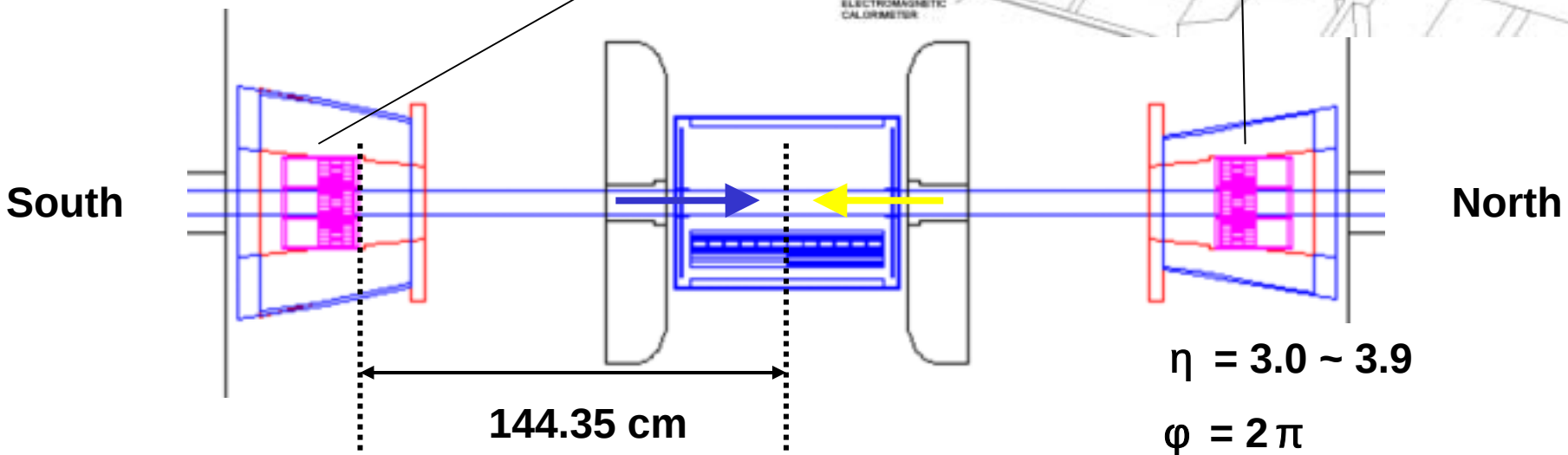
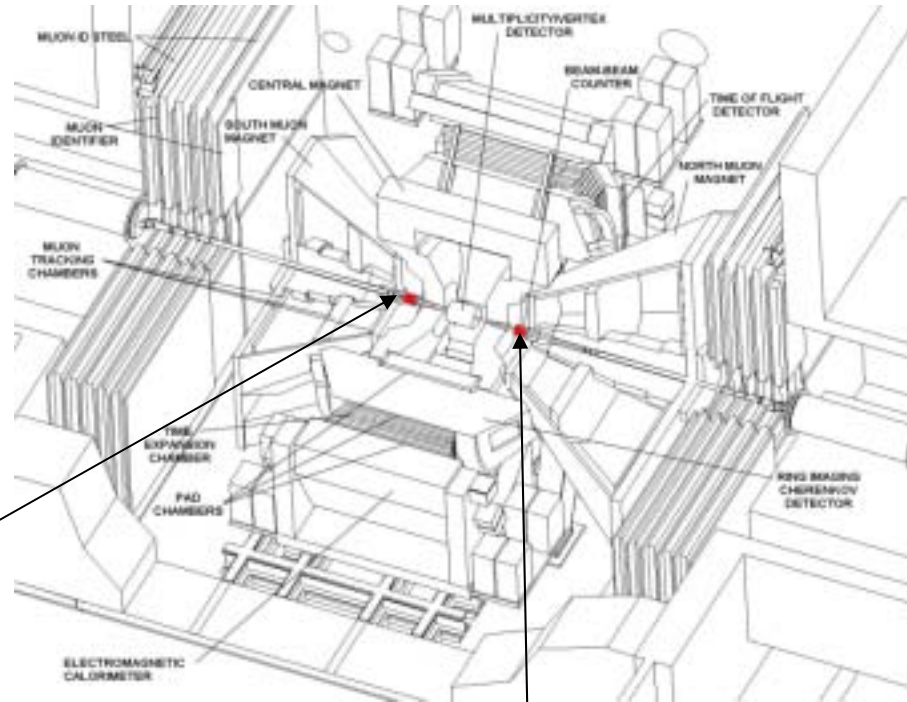
@ $s^{1/2} = 20 \text{ GeV}$
($0.5 < p_t < 2.0 \text{ GeV}/c$)

前方で大きな
 A_N を観測



PHENIX BBC

- Cherenkov counter (quartz, $n \sim 1.4$)
- 64 segment ずつ
- PID能力なし

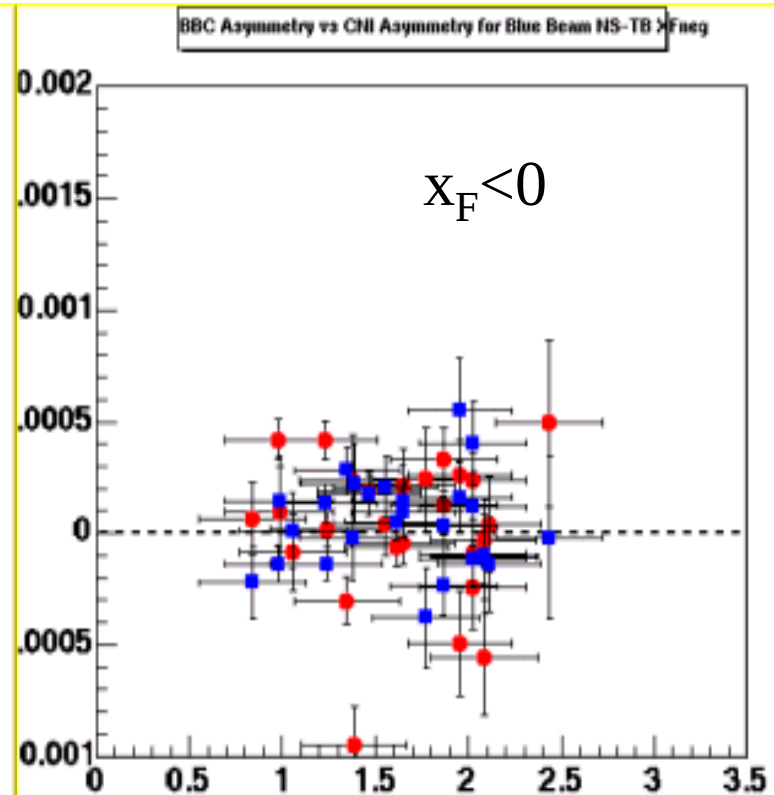
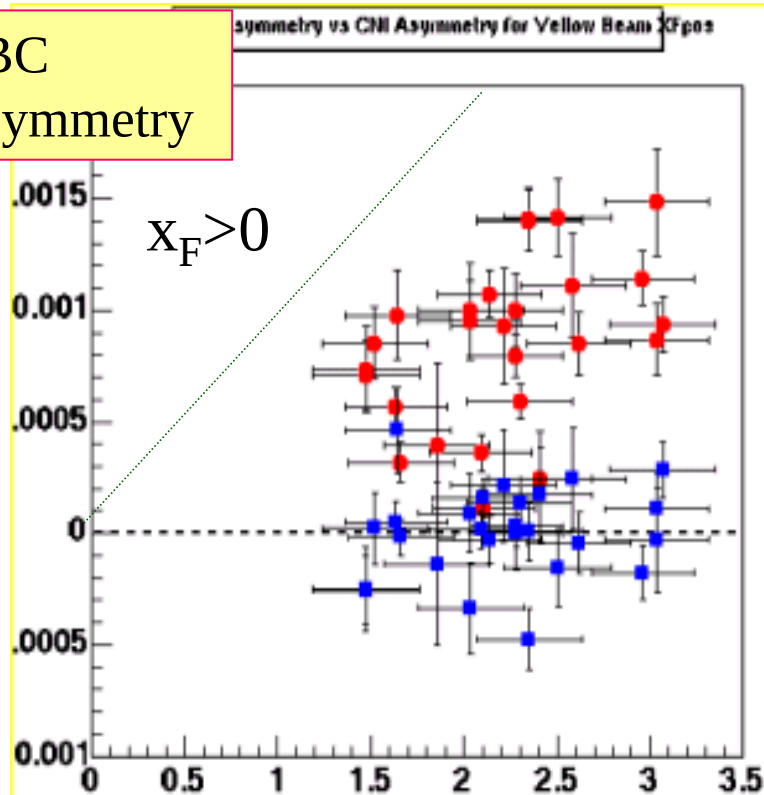


STAR BBC

π^+ と π^- でキャンセルするために小さい?

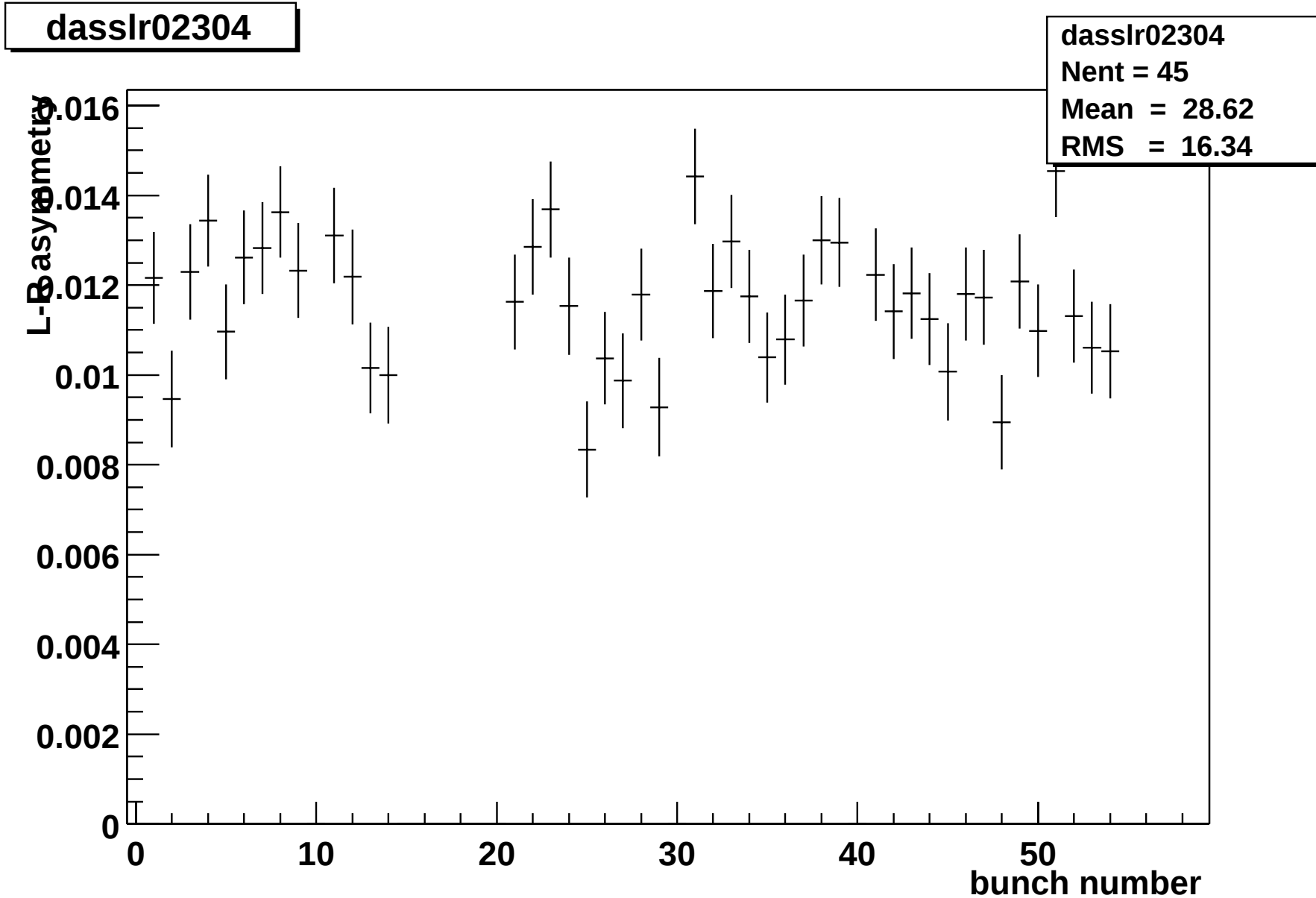
(STAR preliminary @SPIN2002)

BBC
Asymmetry



Asymmetry Measured by RHIC polarimeter

crossing by crossing LR asymmetry (fill 2304, north)



Coupling of A_B and A_Y

- M has off-diagonal elements (luminosity asymmetry)

→ A_B and A_Y couples

- Effects of off-diagonal elements (at leading order):

$$\Delta D \sim -(A_B \langle P_B \rangle + A_Y \langle P_Y \rangle) / \langle 1 \rangle$$

$$\Delta A_B \sim -(D \langle P_B \rangle + A_Y \langle P_B P_Y \rangle) / \langle P_B^2 \rangle$$

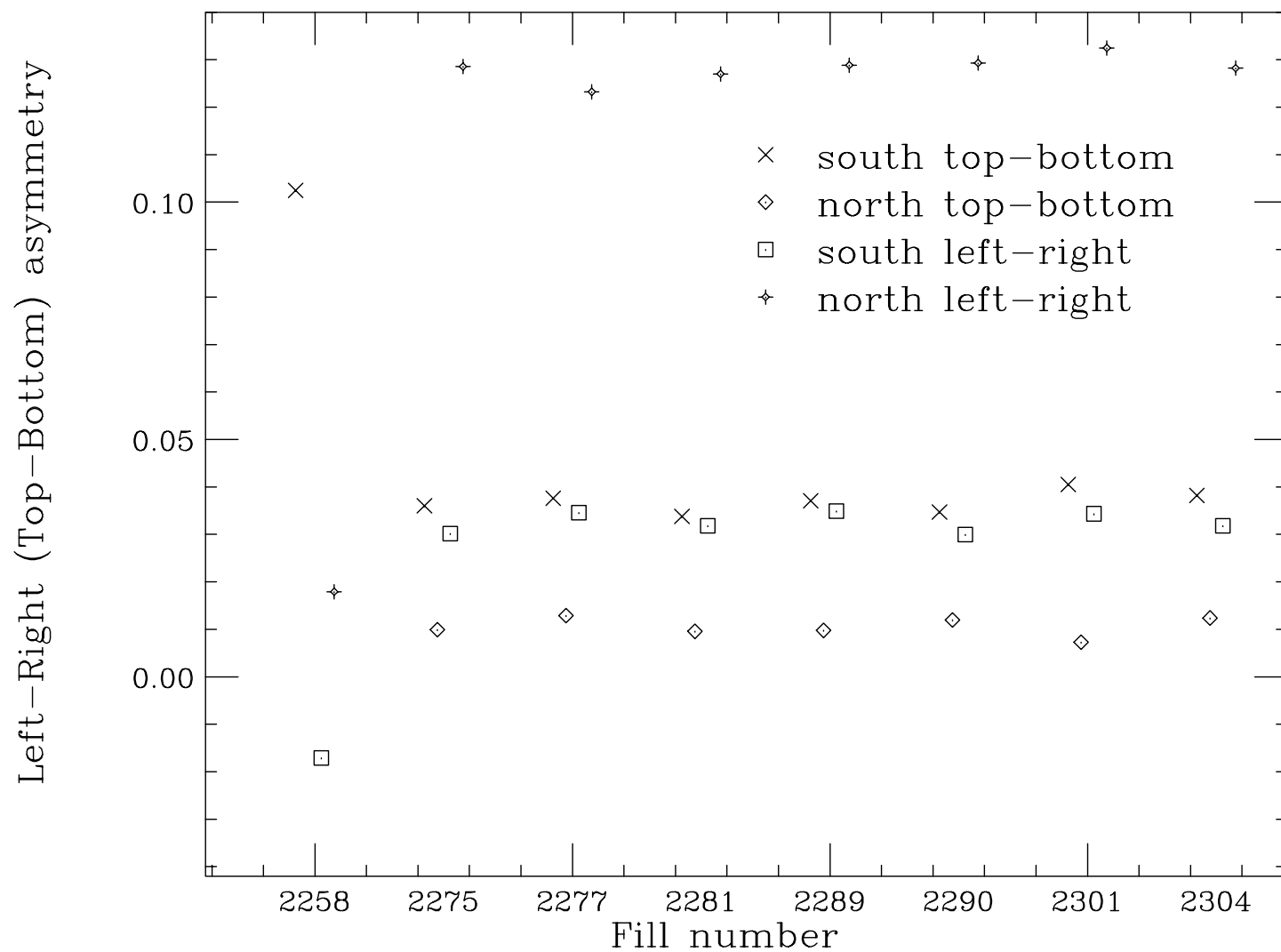
$$\Delta A_Y \sim -(D \langle P_Y \rangle + A_B \langle P_B P_Y \rangle) / \langle P_Y^2 \rangle$$

- second order

- sqrt formula does not cancel terms such as $A_B \langle P_B P_Y \rangle$

- MC simulations tell the fitting method gives correct answers, while the sqrt formula does not.

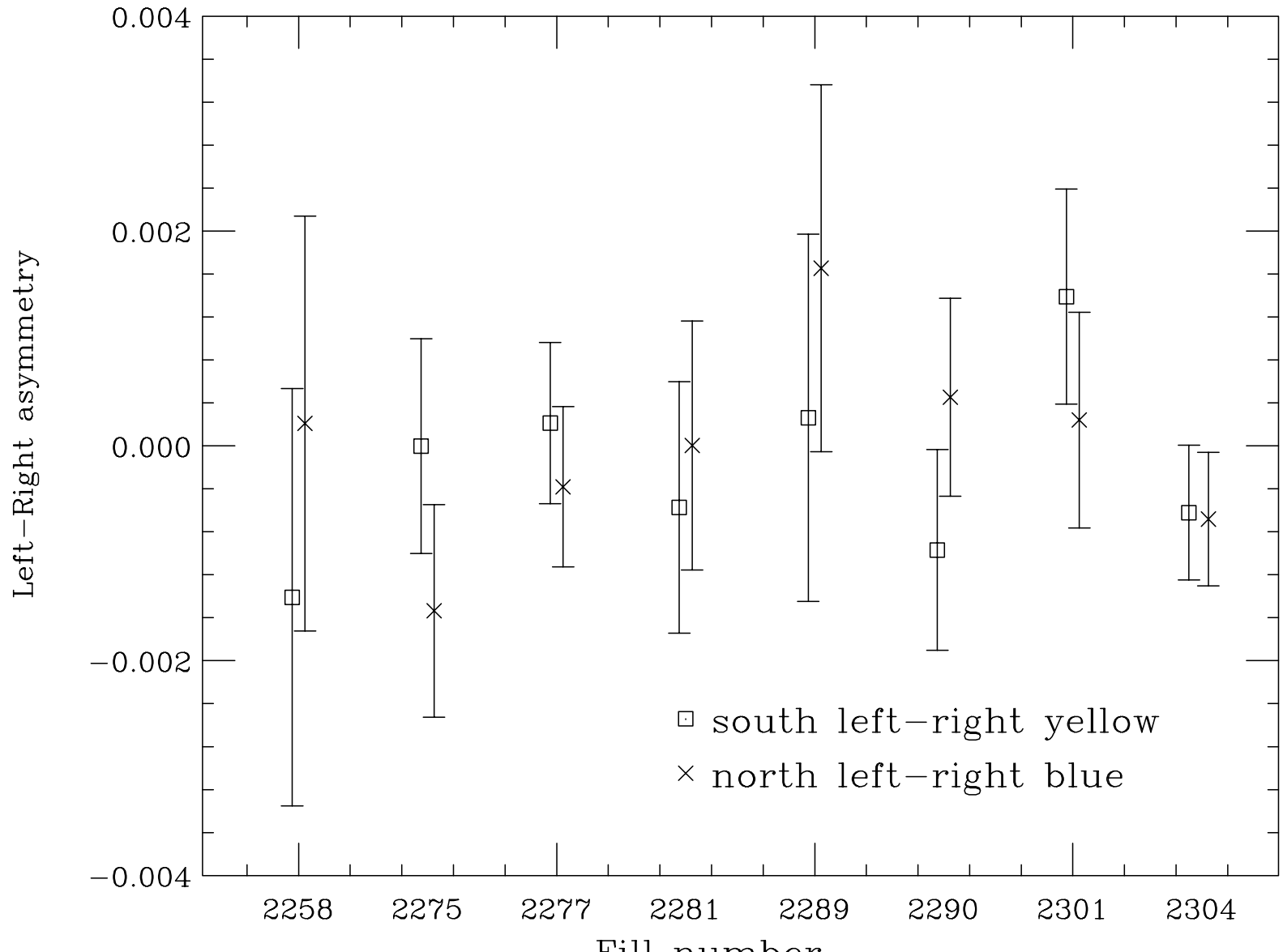
Detector asymmetry



→ Detector asymmetry is reasonably small

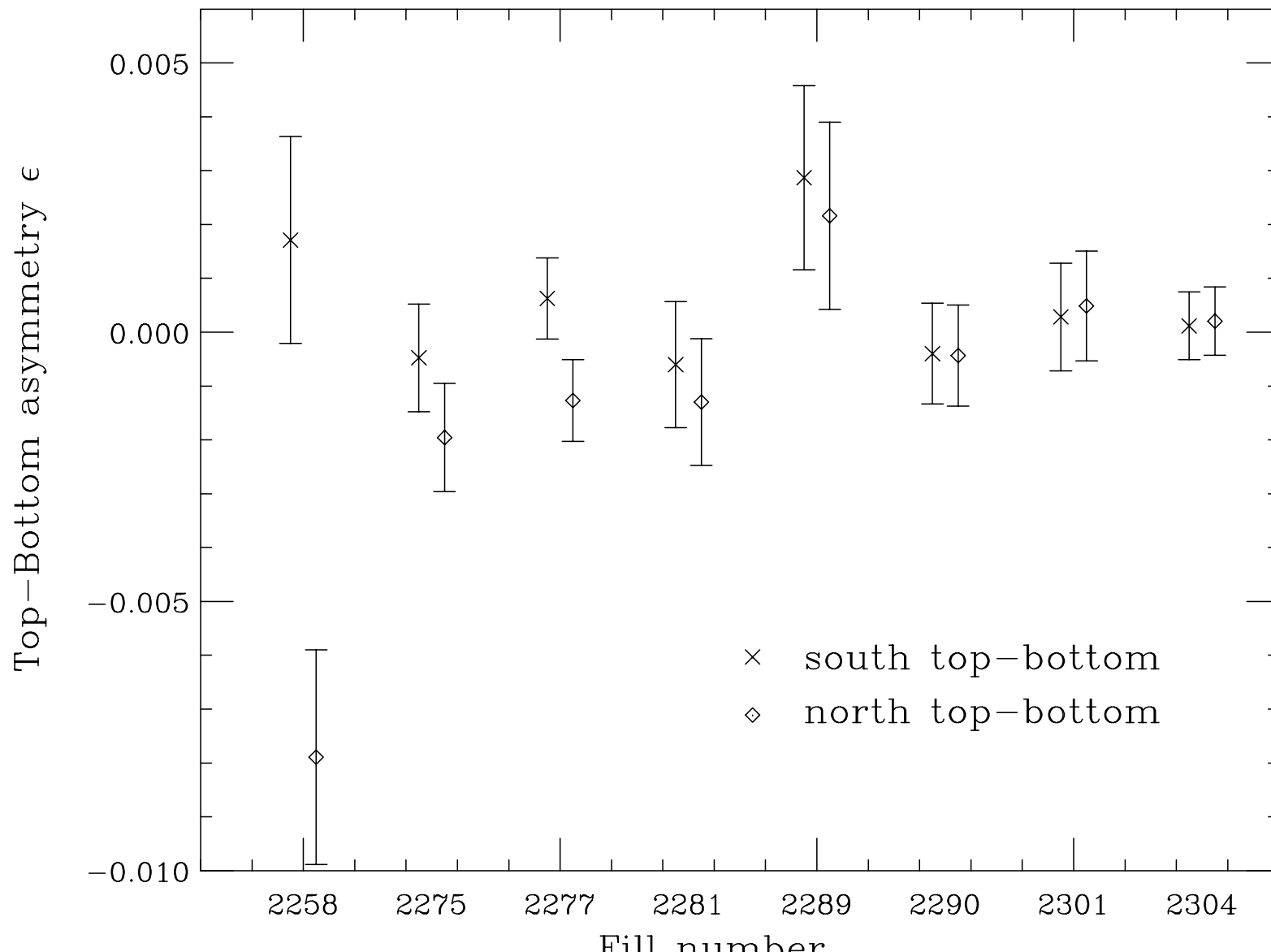
Check of $\varepsilon_B(\text{yellow})=\varepsilon_Y(\text{blue})$

Physics asymmetries ($x_F > 0$)



Top-bottom asymmetry for exclusive counting

Physics asymmetry for yellow beam



Systematic errors

- polarization measurement error:
 - unknown yet, but does not change $A/\delta A$.
 - ε is free from this. So, we show both A and ε .
 - bunch-by-bunch polarization fluctuation:
 - effect is negligibly small for $A \sim 0$.
 - Other systematic errors:
 - no evidence seen ($\chi^2/\text{dof} \sim 1$)
 - probably negligible compared to statistical error.
- We don't assign any systematic error other than coming from polarization measurement.

Comparison with sqrt formula

- In the present case, bunch fitting method gave the same result as sqrt formula down to $O(10^{-5})$
- Systematic deviation of sqrt formula
 - $\Delta A_B \sim A_Y \langle P_B P_Y \rangle / \langle P_B^2 \rangle$
 - $A_Y \sim 10^{-3}$
 - $\langle P_B P_Y \rangle / \langle P_B^2 \rangle \sim 10^{-2}$
 - $\Delta A_B \sim 10^{-5}$: small enough
- Systematic deviation of linear approximation.
 - $\Delta A_B / A_B$: $D(A_B P_B + A_Y P_Y) \sim 10^{-4}$
i.e., $\Delta A_B \sim 10^{-3} \times 10^{-4} = 10^{-7}$
 - negligible

議論

- E704 との比較
 - π^+ と π^- では A_N の符号が反対.
→ BBC での測定では互いにキャンセル
 - $x_f \rightarrow$ 大で $A_N \rightarrow$ 大
 $\Leftrightarrow$ BBC では x_f は測定していない。
 小さな x_f のイベントが dominate
→ 特に矛盾はない
- より前方の STAR BBC ($3.4 < \eta < 5.0$)では、
 $\varepsilon \sim 0.001$ ($A_N \sim 0.005$) が観測されたという
preliminary な報告が SPIN2002 であった。
→ より前方では $N(\pi^+) > N(\pi^-)$ のためか？

