

PHENIX 実験における 偏極陽子-陽子衝突からの粒子クラスター生成の 二重ヘリシティ非対称度

日本物理学会 2008年秋季大会
2007年9月23日 23pSD-8

中野 健一 (理研)
for the PHENIX Collaboration

■ 目次

- 研究目的
- PHENIX 実験
- イベント構造の測定
- 粒子クラスターの測定
- 結論

研究目的

- 陽子のスピン構造 $\frac{1}{2}_{\text{proton}} = \frac{1}{2} \sum_q \Delta q + \Delta g + L_{q,g}$
 - 核子スピンの問題 (1988年 EMC実験)、
多くの DIS 実験により $\Sigma \Delta q = 0.330(39)$ [PRD 75, 012007]
 - グルーオンの偏極度 Δg を実験的に決定する

- 偏極陽子-陽子衝突による Δg の直接測定

- ジェット、 π^0 、直接光子等の生成過程
- 二重ヘリシティ非対称度 (A_{LL}) を測定

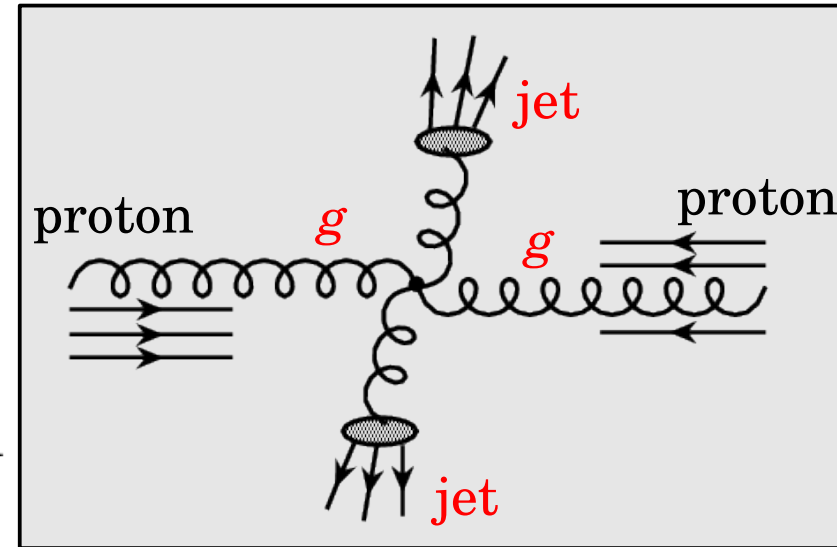
$$A_{LL} \equiv \frac{\sigma_{++} - \sigma_{+-}}{\sigma_{++} + \sigma_{+-}} = \frac{1}{P_B P_Y} \frac{N_{++} - R N_{+-}}{N_{++} + R N_{+-}}$$

- $p_T \sim 10 \text{ GeV}/c$ のジェット生成では $g+g$ と $g+q$ の反応が主

- $g+g$ でのジェット生成の場合、 $A_{LL}^{gg} = \int dx_1 dx_2 \frac{\Delta g(x_1)}{g(x_1)} \cdot \frac{\Delta g(x_2)}{g(x_2)} \cdot \hat{a}_{LL}^{gg}$

- PHENIX Central Arm でジェットの中心部を粒子クラスターとして検出し A_{LL} を測定する

- 2005年のデータの解析を博論にまとめた。その概要を発表する



PHENIX 実験 @ BNL-RHIC

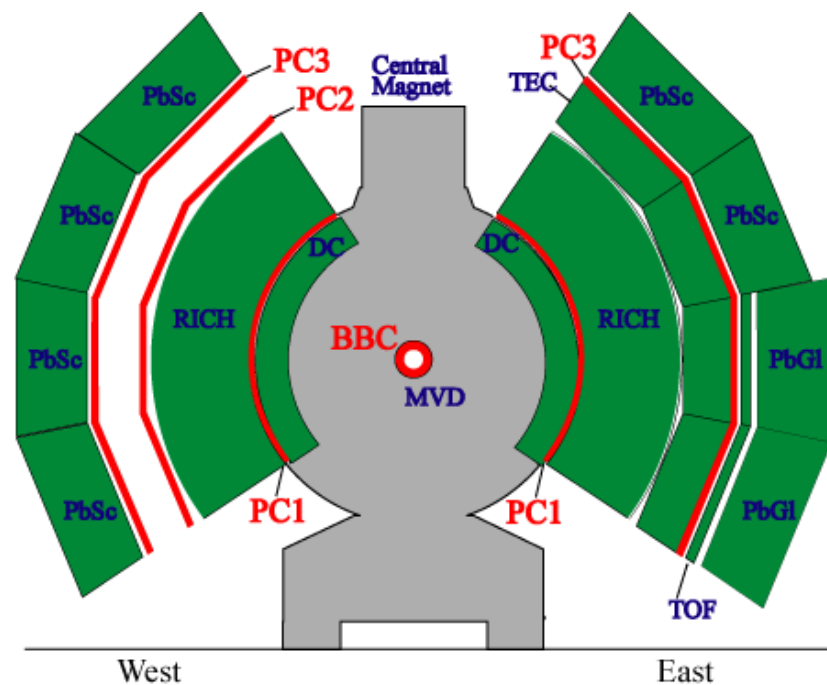
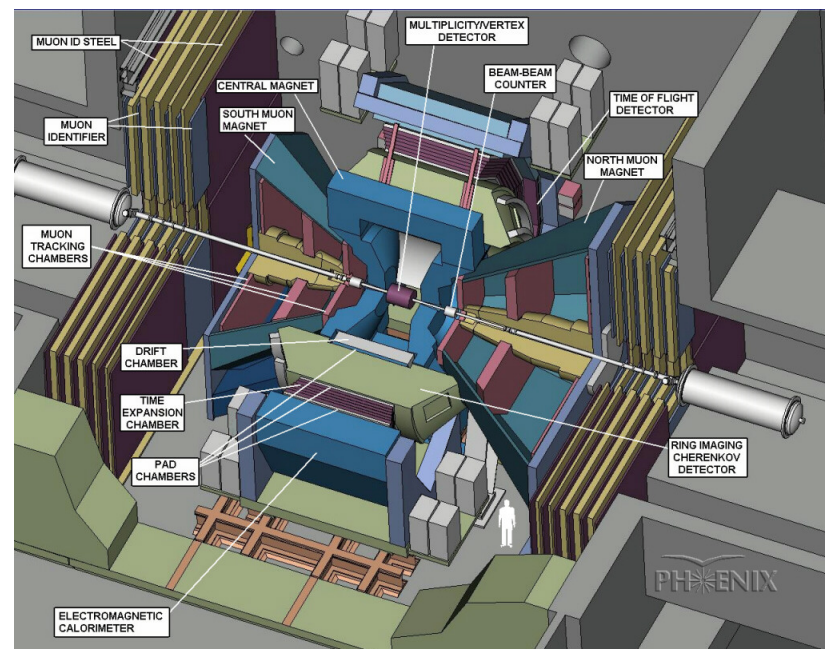
- Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC)
 - the first collider for polarized proton-proton collision
 - $\sqrt{s} = 200$ GeV with 100 GeV proton + 100 GeV proton



- best to investigate the spin-dependent characteristics of the gluon

PHENIX 実験 @ BNL-RHIC

- 縦偏極した陽子-陽子の衝突 ... Run 2005,
 $\sqrt{s} = 200 \text{ GeV}$, $L = 2.1 \text{ pb}^{-1}$, $\bar{P} = 49\%$
- Central Arm 検出器 ... $\Delta\phi = 90^\circ \times 2$, $|\eta| < 0.35$
- イベント選択条件
 - $p_T(\text{photon}) > 2 \text{ GeV}/c$ (offline trigger)
- 粒子選択条件
 - 光子: EMCal で検出
 - $\sigma_E/E \sim 8\%$ at 1 GeV
 - $p_T > 0.4 \text{ GeV}/c$
 - 電磁シャワーの形状による選択
 - 荷電粒子のトラックと一致するものの除外
 - 荷電粒子: Drift Chamber と Pad Chamber 1 で検出
 - $\sigma_p/p \sim 2\%$ at 1 GeV/c
 - $0.4 < p_T < 4.0 \text{ GeV}/c$



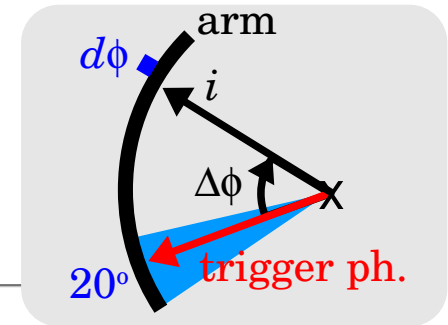
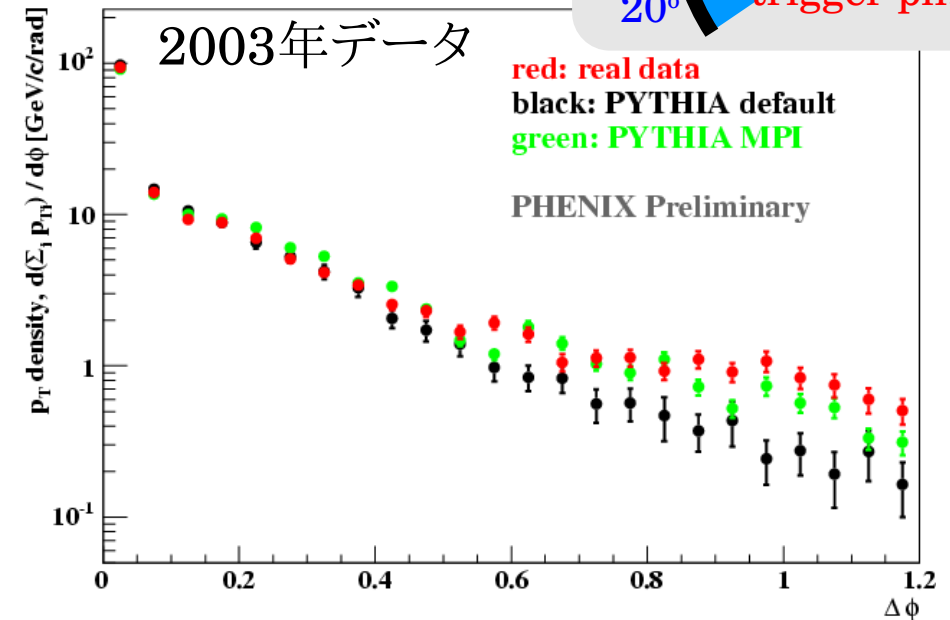
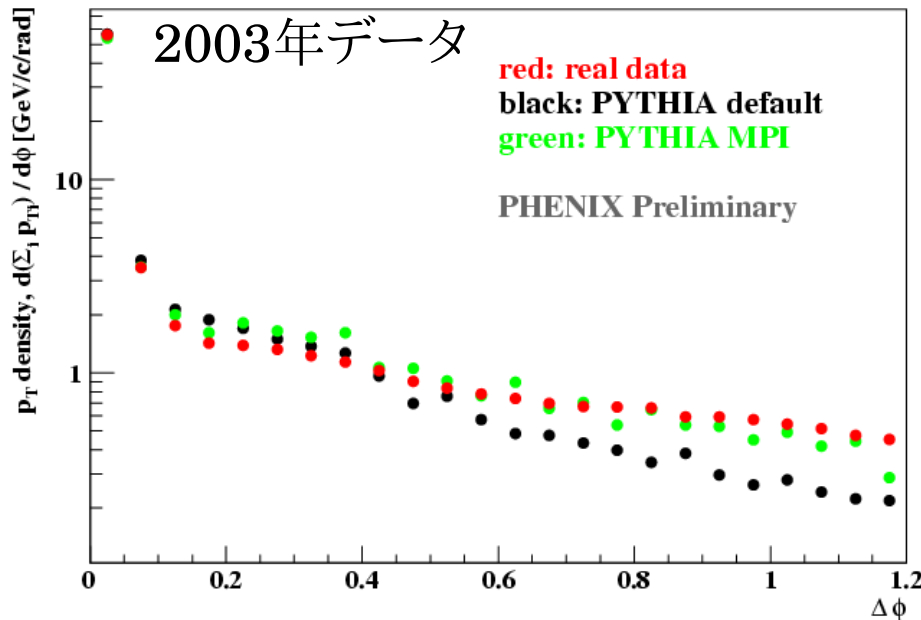
イベント構造の測定

- シミュレーション (PYTHIA + GEANT) の再現性を確認する
 - ジェット内の粒子の空間的分布
 - ジェット起源でない粒子 (underlying event) ... multi-parton interaction (MPI) を調節した PYTHIA で良く再現されている

■ p_T density
$$\mathcal{D}_{p_T}(\Delta\phi) = \left\langle \frac{d}{d\phi} \left(\sum_{i \in \{|\eta| < 0.35\}} p_{Ti} \right) \right\rangle_{\text{event}}$$

4 < pT sum < 5 GeV/c

10 < pT sum < 11 GeV/c

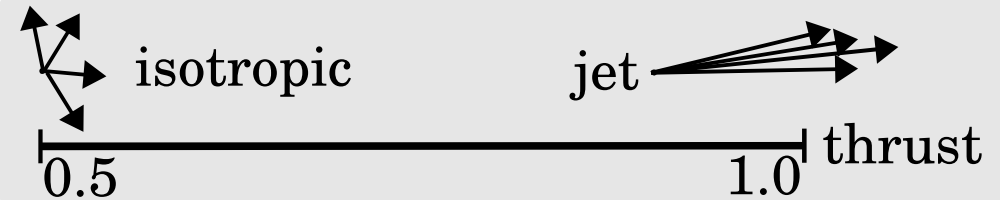


- underlying event が重要な大 $\Delta\phi$ にて PYTHIA MPI は測定結果と一致している

イベント構造の測定

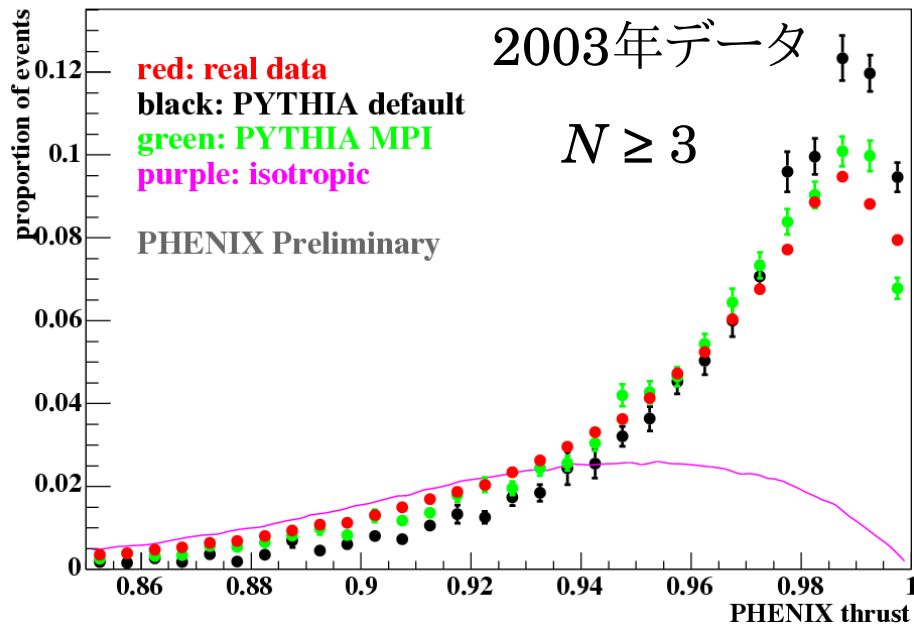
■ Thrust in PHENIX Central Arm

$$T_{PH} = \frac{\sum_i |\mathbf{p}_i \cdot \hat{\mathbf{p}}|}{\sum_i |\mathbf{p}_i|}, \quad \hat{\mathbf{p}} = \frac{\sum_i \mathbf{p}_i}{|\sum_i \mathbf{p}_i|}$$

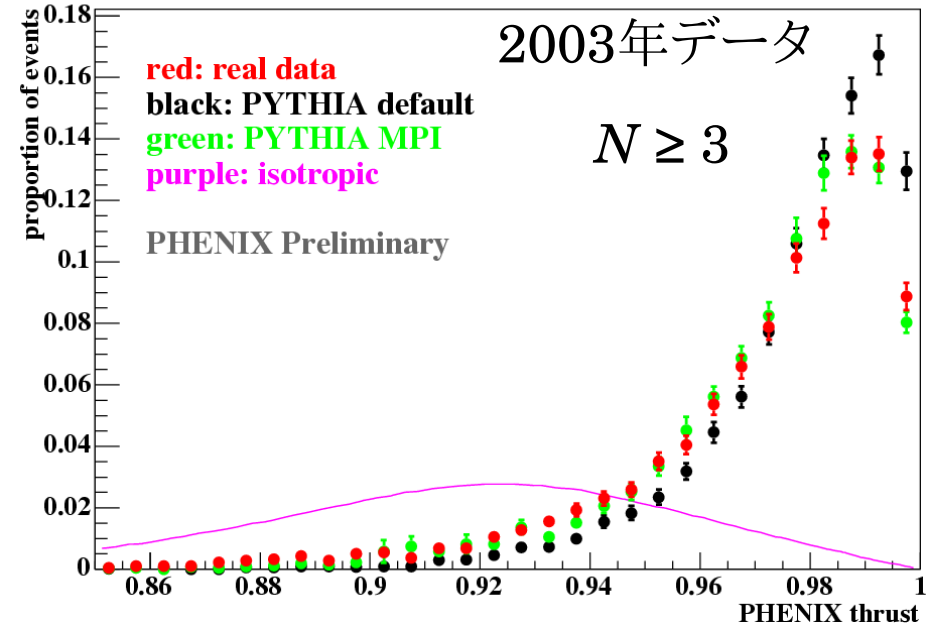


■ 1アーム内の全粒子を用いて計算

4 < pT sum < 5 GeV/c



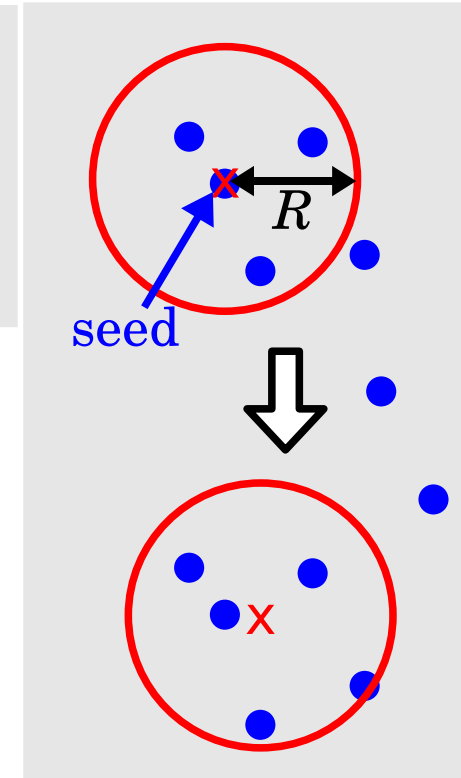
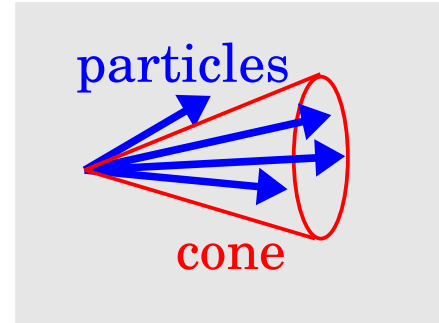
10 < pT sum < 11 GeV/c



粒子クラスタの測定

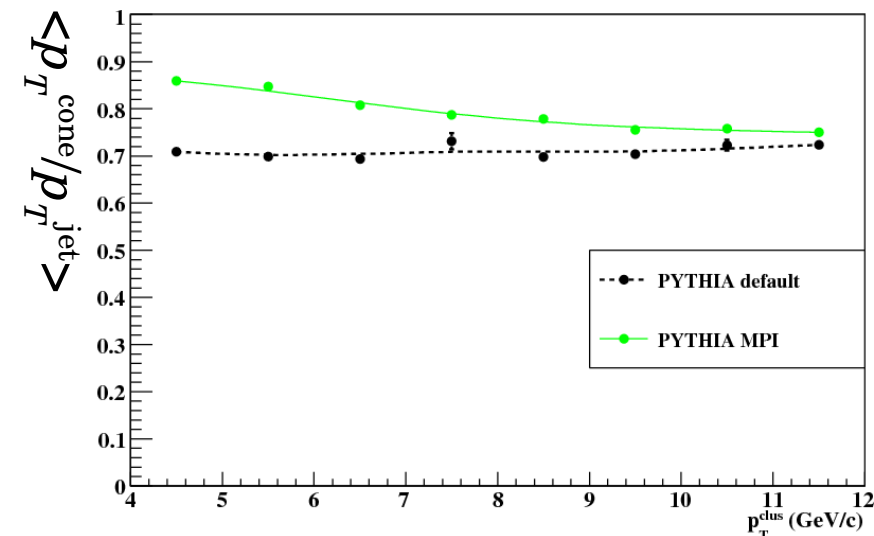
■ コーンを用いたクラスタリング

- 1アーム内の光子と荷電粒子を用いる
- 各粒子を seed として粒子クラスタを作る
 - cone radius $R = \sqrt{(\Delta\phi)^2 + (\Delta\eta)^2} = 0.3$
 - 粒子クラスタの運動量 $\vec{p}^{\text{cone}} \equiv \sum_{i \text{ in cone}} \vec{p}_i$
 - 運動量方向をコーン軸として新たな粒子クラスタを定義する。運動量が変わらなくなるまで繰り返す
- イベント内で p_T^{cone} が最大の粒子クラスタを採用する



■ 理論とシミュレーションによる計算値

- NLO pQCD によるジェット生成断面積
- PYTHIA + GEANT によるジェットと粒子クラスタの対応関係 ($p_T^{\text{jet}} \leftrightarrow p_T^{\text{cone}}$)
- 様々な $\Delta g(x)$ 分布を用いて A_{LL} を計算し、測定した A_{LL} と比較して Δg の最確値を求める



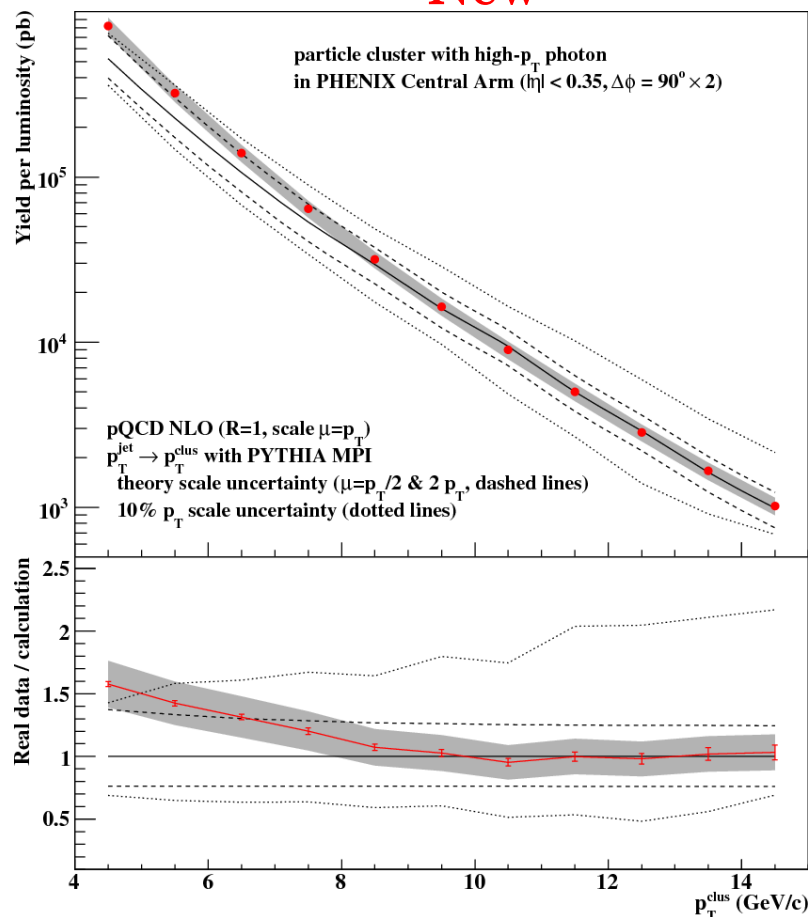
粒子クラスタの生成レート

- 粒子クラスタの生成過程が pQCD + PYTHIA + GEANT の計算で再現できているか

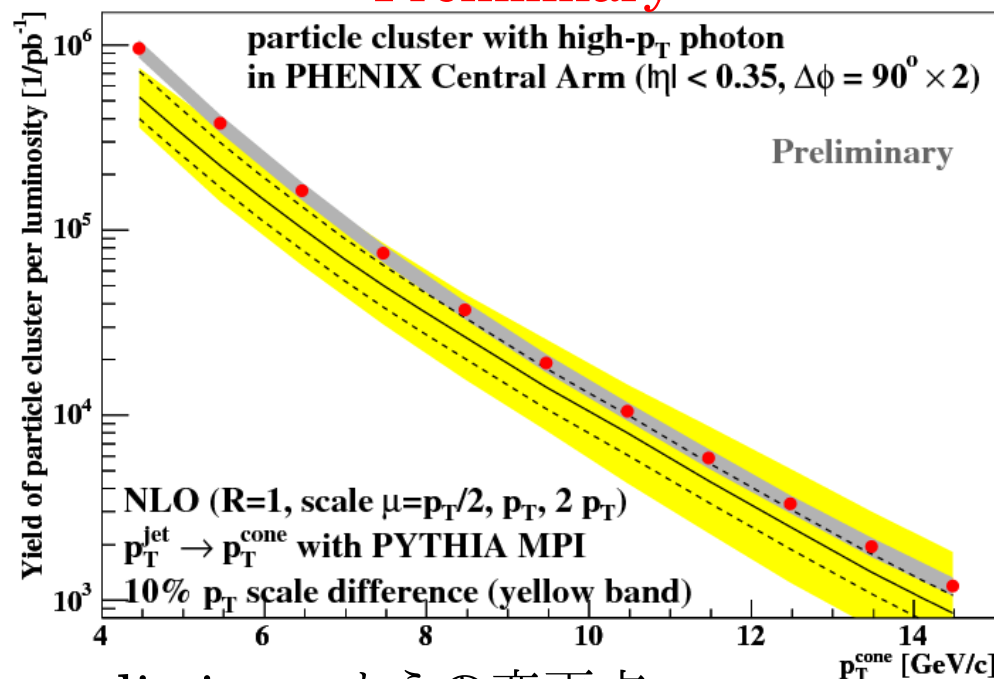
- 生成レート

$$y^{icone} \equiv \frac{N_{cone+ph}^{icone}}{f_{trig} \cdot L}$$

New



Preliminary



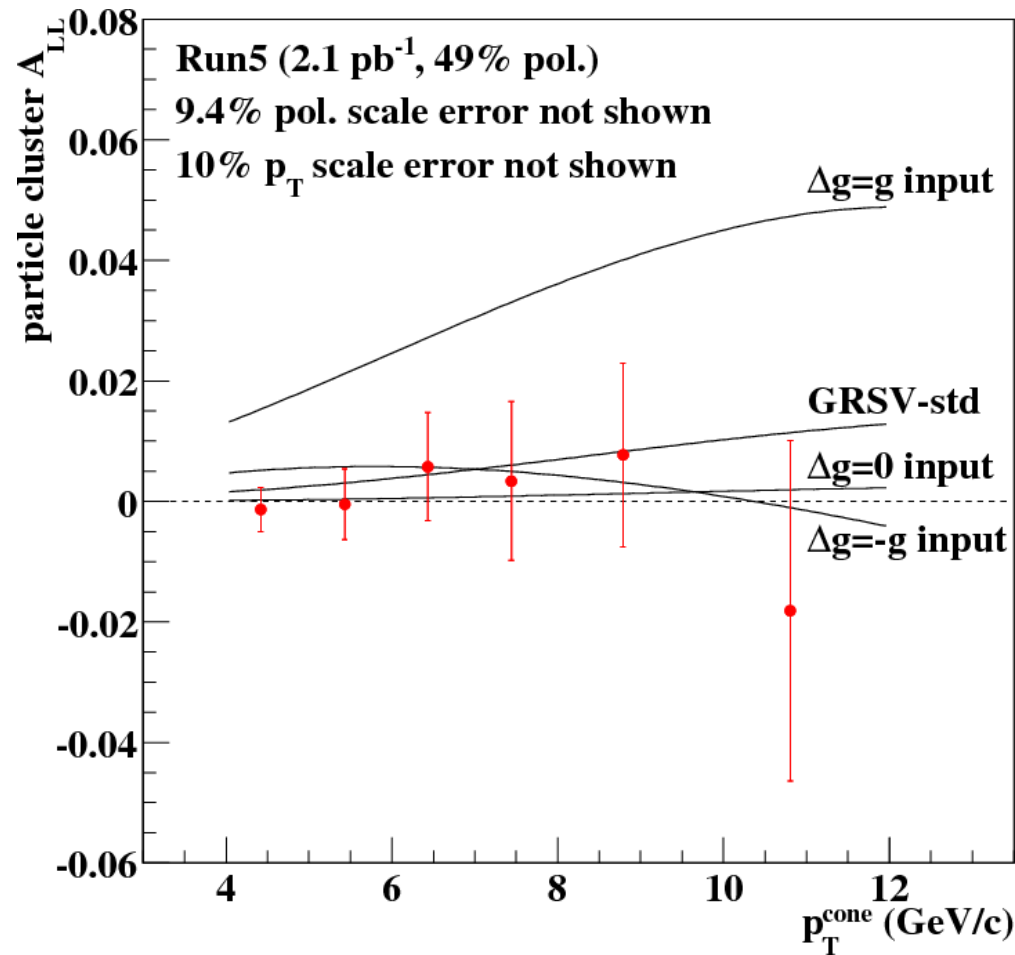
- preliminary からの変更点

- 実験値: トリガー効率の再評価
- 計算値: 高 p_T 光子の検出確率の再評価

- 測定結果と計算値は誤差の範囲で一致している

粒子クラスタ A_{LL}

■ PHENIX Run 2005 ($L = 2.1 \text{ pb}^{-1}$, $P = 49\%$) result



■ 系統誤差

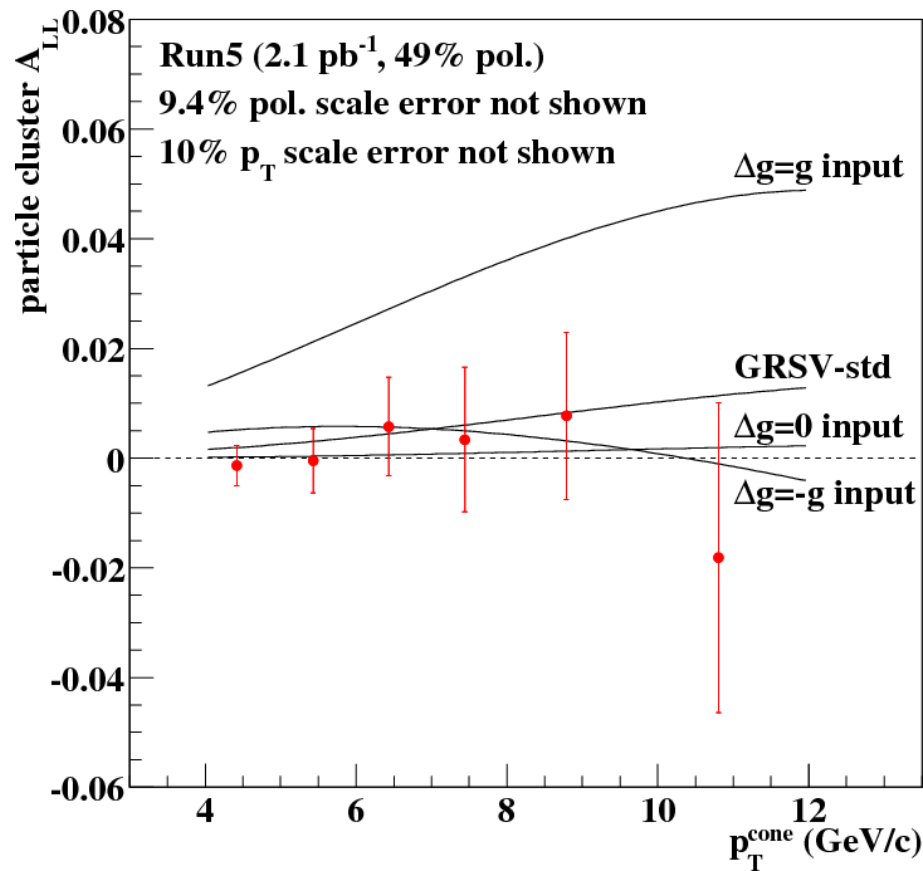
- ビーム偏極度 ... 9.4%
- ジェットと粒子クラスタの p_T の不定性 ... 10% (横軸)
- シミュレーションの p_T slope 等に起因する誤差は上よりも小さい

粒子クラスタ A_{LL}

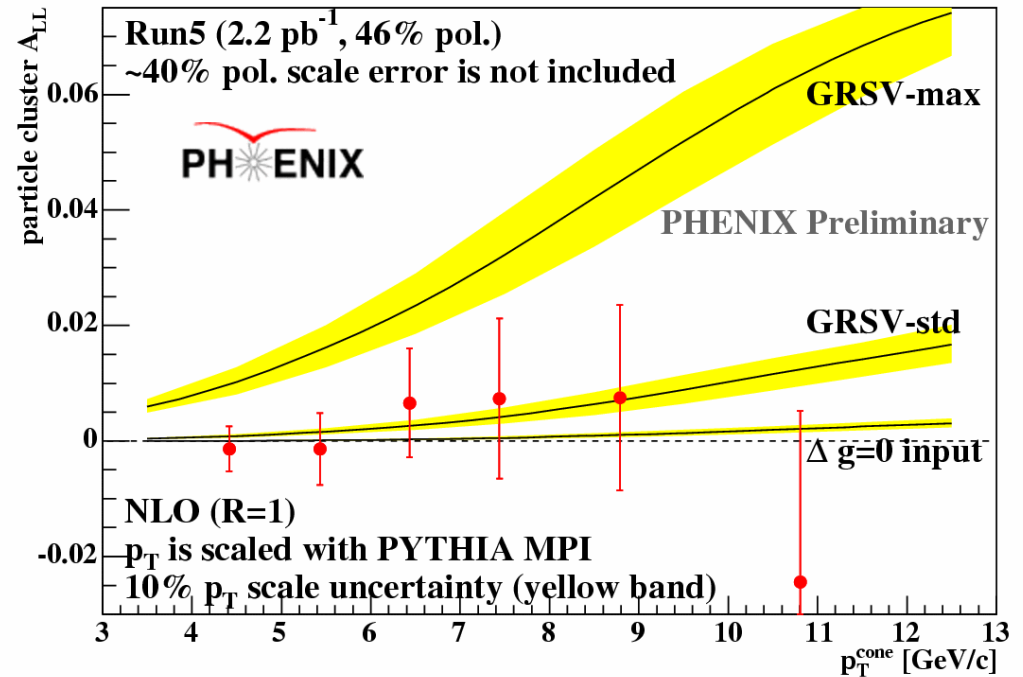
■ 以前の結果 (preliminary) との比較

- 測定値: ビーム偏極度の最終値を使用 (平均 46% $\rightarrow$ 49%, 2.2 pb $^{-1}$ $\rightarrow$ 2.1 pb $^{-1}$)
- 計算値: 粒子クラスタの p_T のイベントごとのばらつきを反映

New



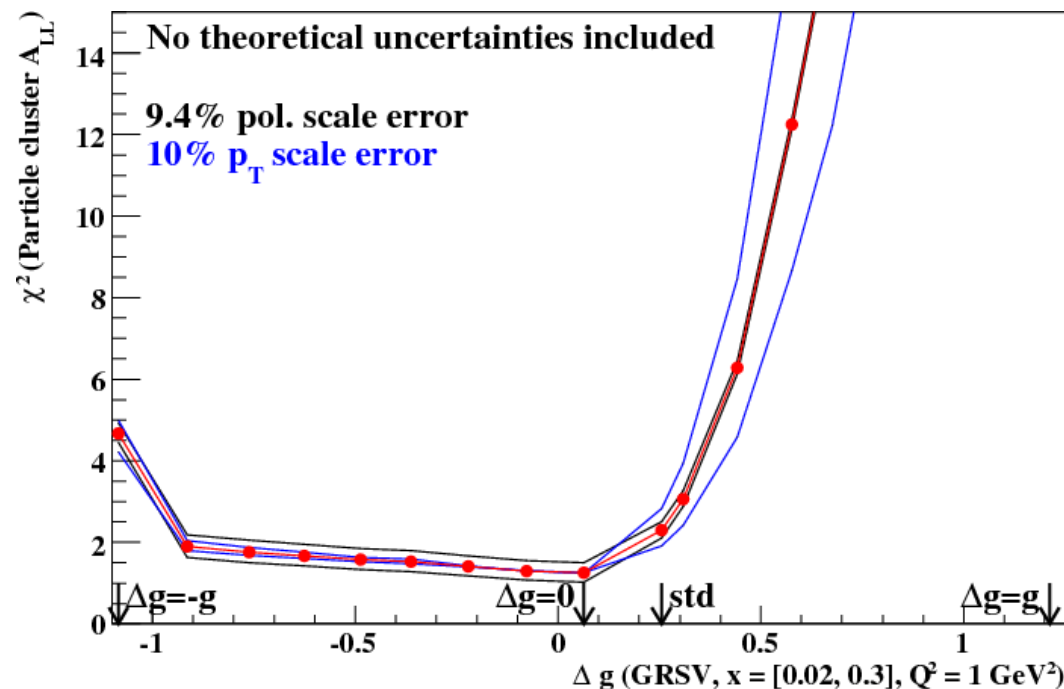
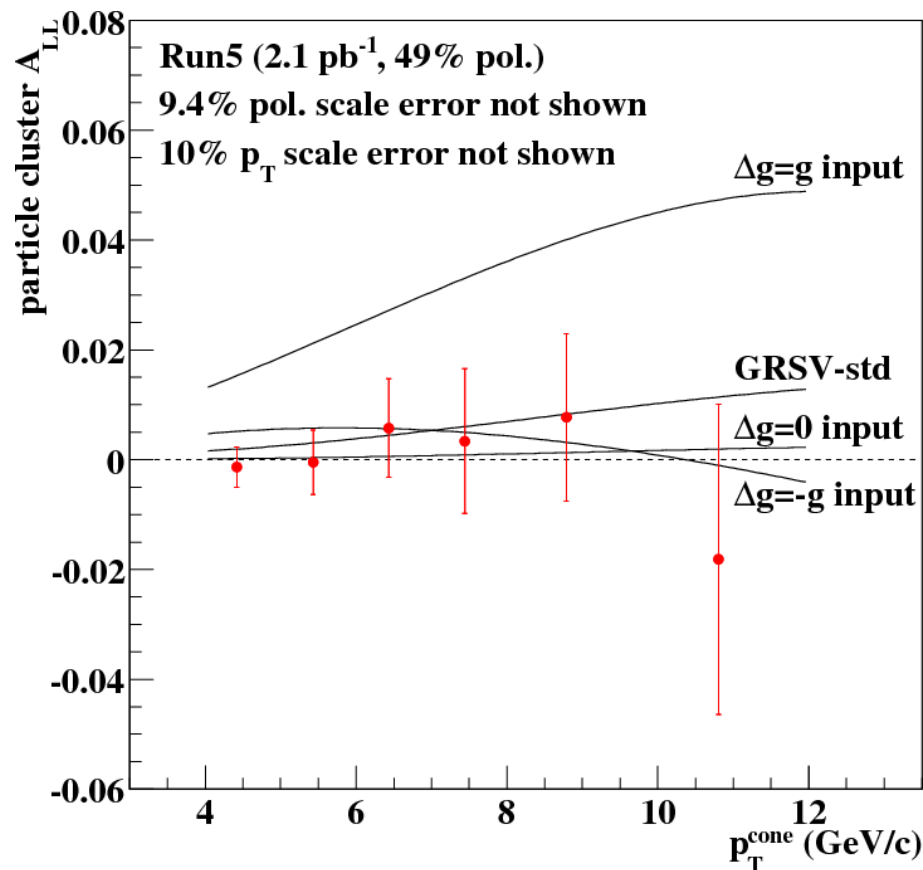
Preliminary



粒子クラスタ A_{LL}

■ Δg への制限

- 様々な $\Delta g(x)$ を用いて A_{LL} を計算し、測定値と比較して Δg の最確値を求める



- PYTHIA を用いて $4 < p_T^{\text{cone}} < 12 \text{ GeV}/c$ のイベントの x_{gluon} を見積もった
- GRSV parametrization を用いた場合 $0.02 < x_{\text{gluon}} < 0.3$, $Q^2 = 1 \text{ GeV}^2$ において
 - $-1.1 < \Delta g < 0.4$ (2σ limit)
 - $\Delta g < 0.5$ (3σ limit)

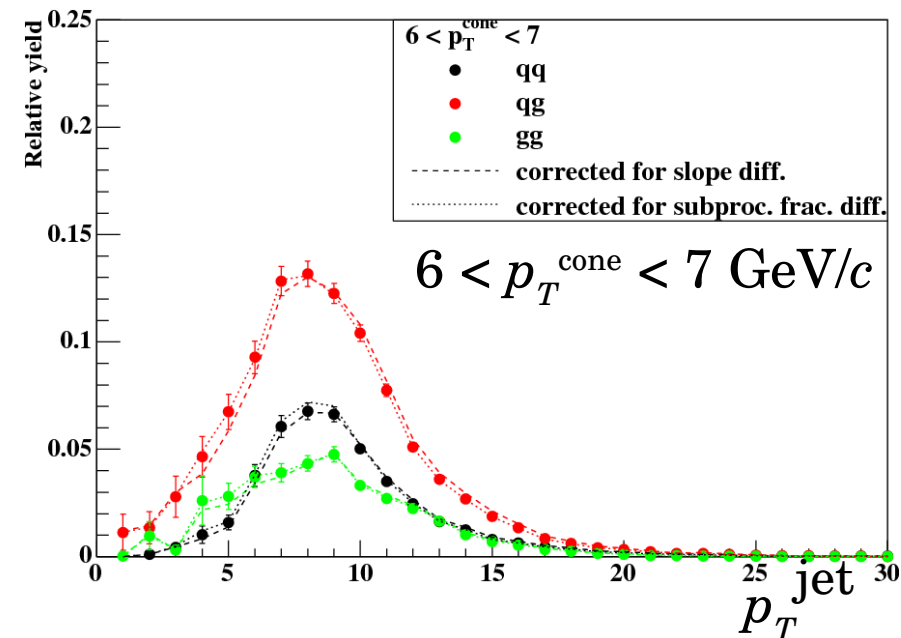
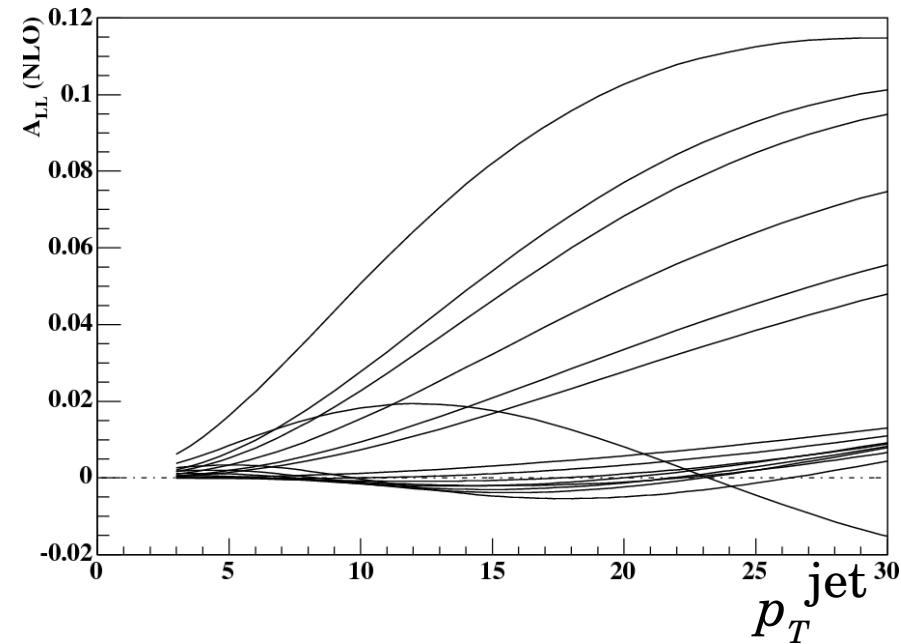
結論

- 陽子のスピン構造、特に陽子中のグルーオンの偏極度 Δg を明らかにする
- 縦偏極した陽子-陽子の衝突 ... Run 2005, $\sqrt{s} = 200 \text{ GeV}$, $L = 2.2 \text{ pb}^{-1}$, $P = 46\%$
- PHENIX Central Arm 検出器 ($\Delta\phi = 90^\circ \times 2$, $|\eta| < 0.35$) でジェットの中心部を粒子クラスタとして検出し、 A_{LL} を測定した
- 粒子クラスタ A_{LL} の測定結果を、様々な Δg の分布を仮定した A_{LL} 予想曲線と比較
 - GRSV parametrization を用いた場合 $0.02 < x_{\text{gluon}} < 0.3$, $Q^2 = 1 \text{ GeV}^2$ において $-1.1 < \Delta g < 0.4$ (2σ limit)、 $\Delta g < 0.5$ (3σ limit)

Backup Slides...

粒子クラスタの測定法

- 様々な Δg の分布を仮定した A_{LL} 予想曲線
 - NLO pQCD による $|\eta| < 0.35$ での jet A_{LL}
 - GRSV parametrization
 - subprocess ごと (q+q, q+g, g+g)
- PYTHIA + GEANT を用いて、ある p_T^{cone} のイベントに対して各 subprocess と p_T^{jet} がどれだけ寄与するかを評価する
 - PYTHIA は Multi-Parton Interaction tune されたものであり、PHENIX 検出面積内でのスラスト、粒子数、ジェット軸からの粒子の空間分布、コーン生成レートを良く再現する



粒子クラスタの測定法

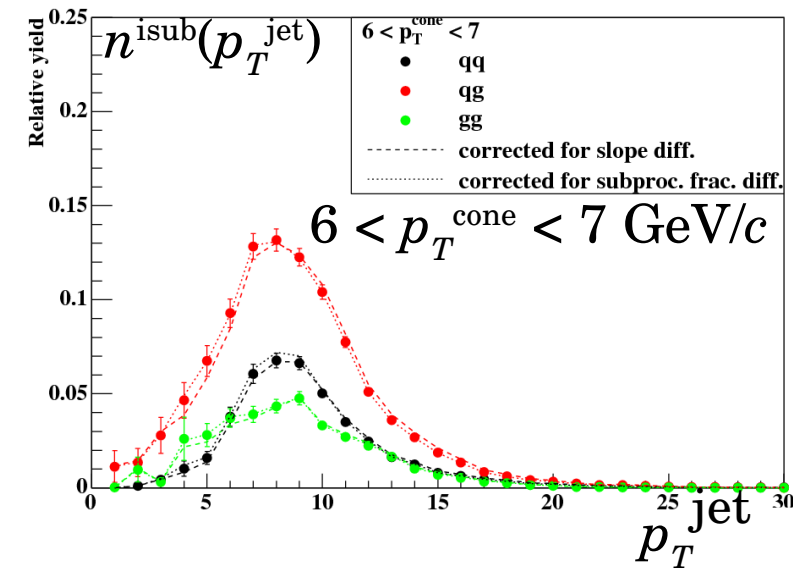
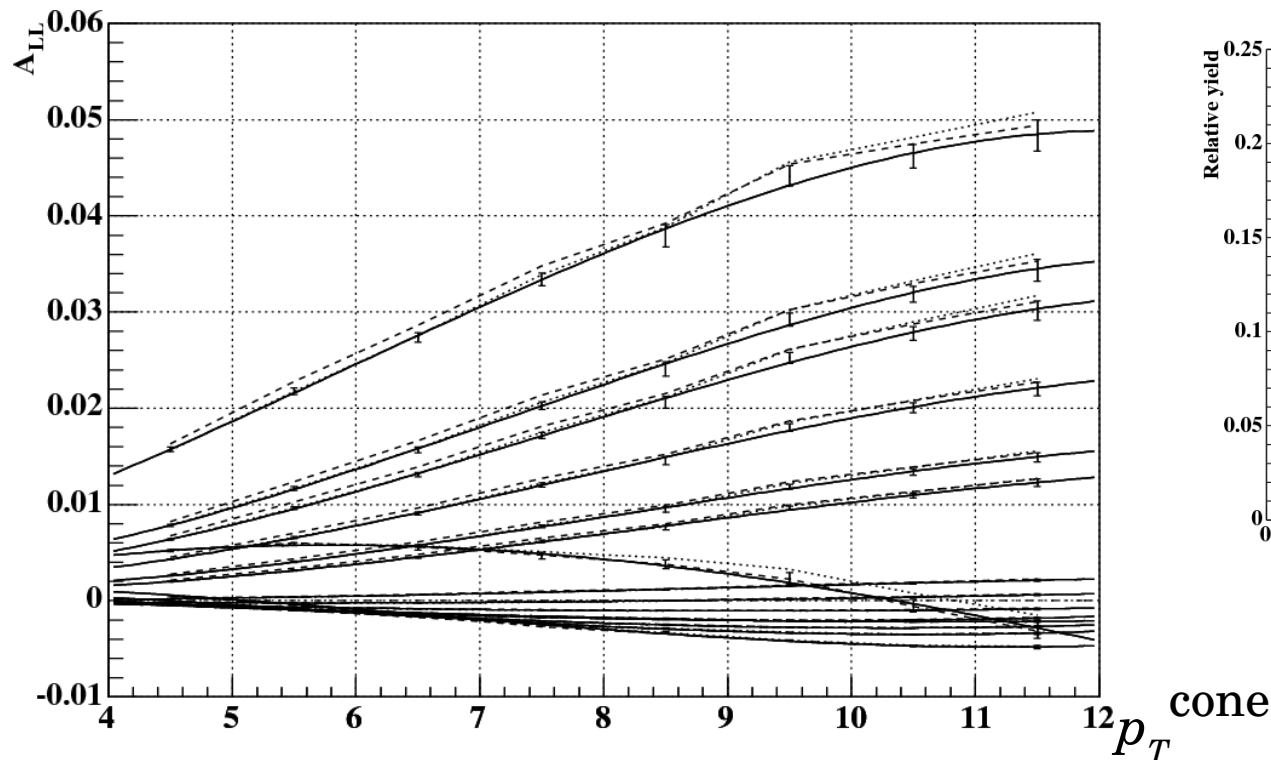
■ 様々な Δg の分布を仮定した A_{LL} 予想曲線 (続き)

■ 各 p_T^{cone} での A_{LL} は、全ての subprocess と p_T^{jet} での jet A_{LL} が混ざったもの

$$A_{LL}^{\text{cone}} = \frac{\int dp_T^{\text{jet}} \sum_{i\text{sub}=qq,qq,gg} n^{i\text{sub}}(p_T^{\text{jet}}) \cdot A_{LL}^{i\text{sub}}(p_T^{\text{jet}})}{\int dp_T^{\text{jet}} \sum_{i\text{sub}=qq,qq,gg} n^{i\text{sub}}(p_T^{\text{jet}})}$$

■ コーンで測定した p_T の測定効率とバックグラウンド混入量 ($p_T^{\text{cone}}/p_T^{\text{jet}}$)

■ quark jet と gluon jet で破砕粒子の分布が異なる効果



Relation between Jet & Particle Cluster

