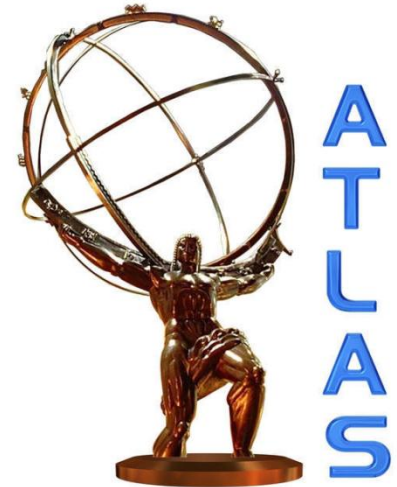


Muon Performance and Data driven Performance Check

増淵 達也

ICEPP (University of Tokyo)

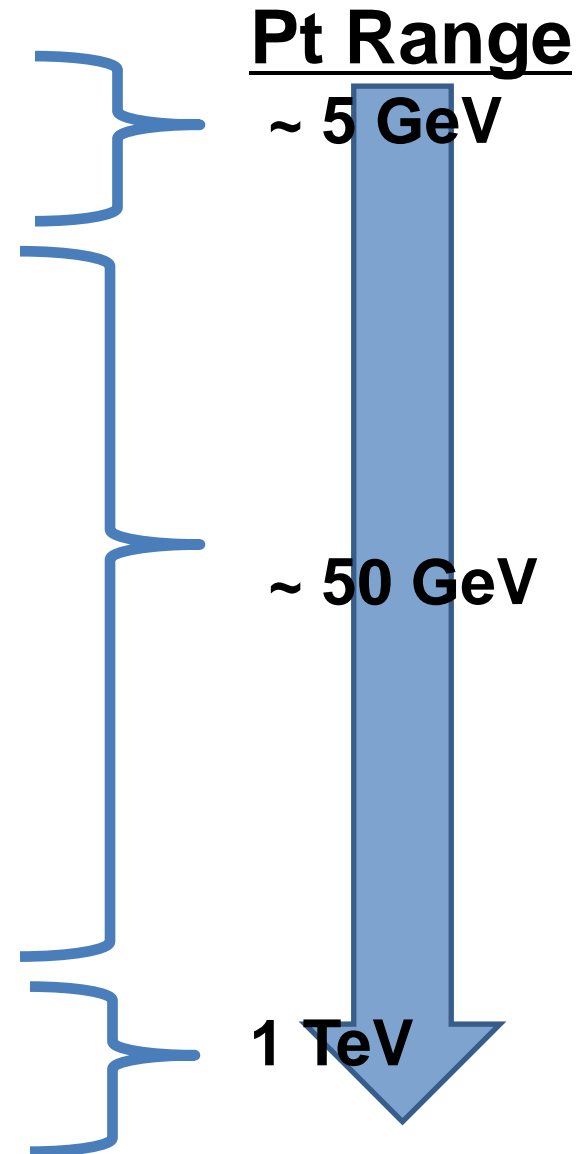


トークのアウトライン

- ミューオンで期待される物理
- アトラスでのミューオンの再構成と同定方法
- ミューオンのパフォーマンス
 - MCを使った結果
 - 実際のデータでどう測るか
 - ミューオントリガー
 - フェイクミューオン
- まとめ

ミューオンで見る物理

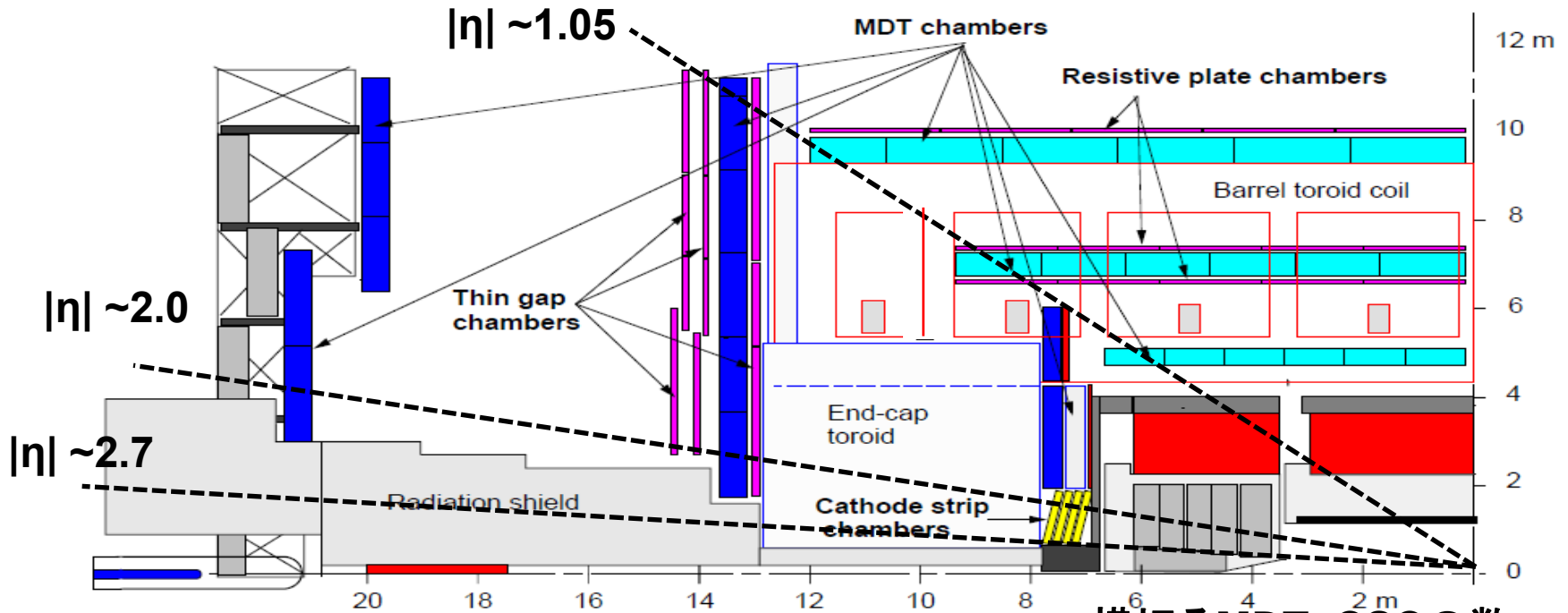
- B-Physics
 - $J/\psi \rightarrow \mu\mu$, $\Upsilon \rightarrow \mu\mu$
- Electroweak
 - $W \rightarrow \mu\nu$, $Z \rightarrow \mu\mu$
- Top-Physics
 - $t\bar{t} \rightarrow WbWb$ (μ from W , μ from b)
- Higgs
 - $H \rightarrow ZZ \rightarrow \mu\mu\mu\mu$, $H \rightarrow WW \rightarrow \mu\nu\mu\nu$
- SUSY, Exotics
 - MSSM $h/H/A \rightarrow \mu\mu$
 - $W' \rightarrow \mu\nu$, $Z' \rightarrow \mu\mu$



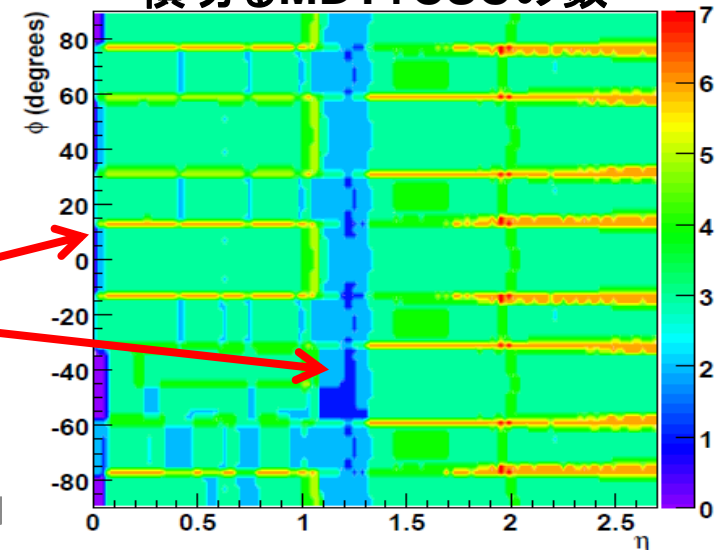
ミューオンで見る物理

- **B-Physics**
 - $J/\psi \rightarrow \mu\mu$, $\Upsilon \rightarrow \mu\mu$
 - **Electroweak**
 - $W \rightarrow \mu\nu$, $Z \rightarrow \mu\mu$
 - **Top-Physics**
 - $t\bar{t} \rightarrow WbWb$ (μ from W , μ from W)
 - **Higgs**
 - $H \rightarrow ZZ \rightarrow \mu\mu\mu\mu$, $H \rightarrow WW \rightarrow \mu\nu\mu\nu$
 - **SUSY, Exotics**
 - MSSM $h/H/A \rightarrow \mu\mu$
 - $W' \rightarrow \mu\nu$, $Z' \rightarrow \mu\mu$
- ✓ キャリブレーション
 ✓ パフォーマンス
 ✓ 精密測定
- ✓ ディスカバリー
 ✓ 精密測定 (質量)

Muon Spectrometer



横切るMDT+CSCの数



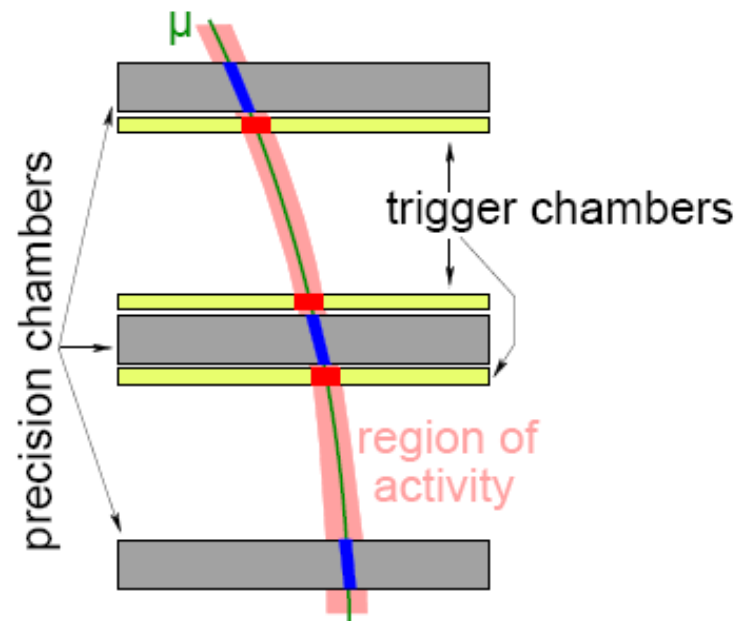
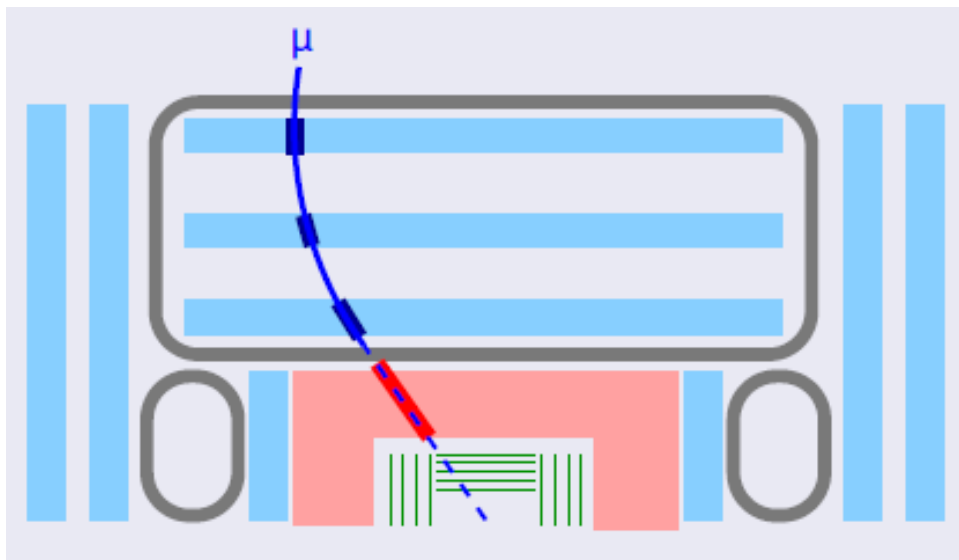
- トリガー : RPC, TGC ($|\eta| < 2.4$)
- 運動量精密測定 : MDT, CSC ($|\eta| < 2.7$)
- ✓ ジオメトリーがパフォーマンスで重要
 - ✓ $|\eta| \sim 0$, $|\eta| \sim 1.2$ にホール→このリージョンで当然パフォーマンスが落ちる
 - ✓ $|\eta| \sim 1.2$ のホールはインストール中

Muon Reconstruction

- **どのようにmuonを再構成するか？**
 - Standalone muon reconstruction
 - Combined muon reconstruction
 - Tagged muon reconstruction

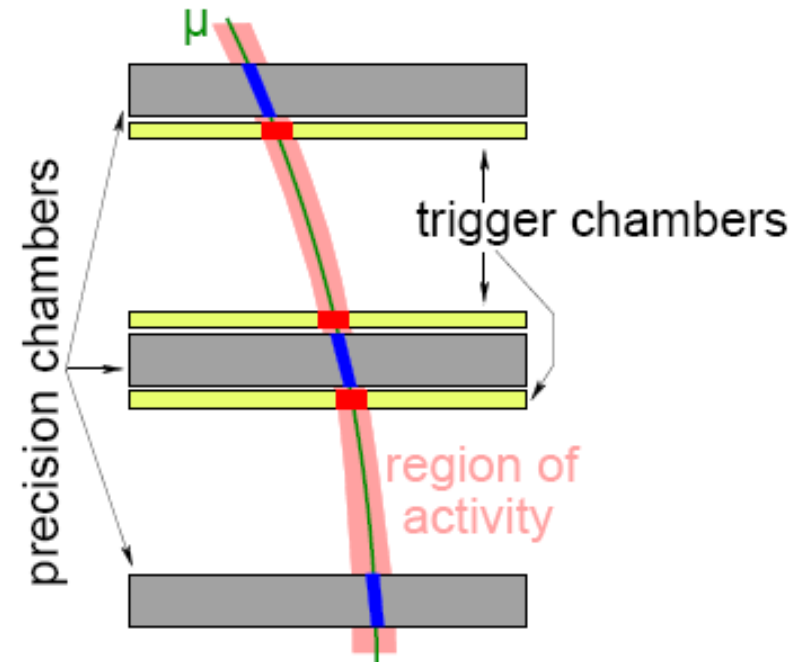
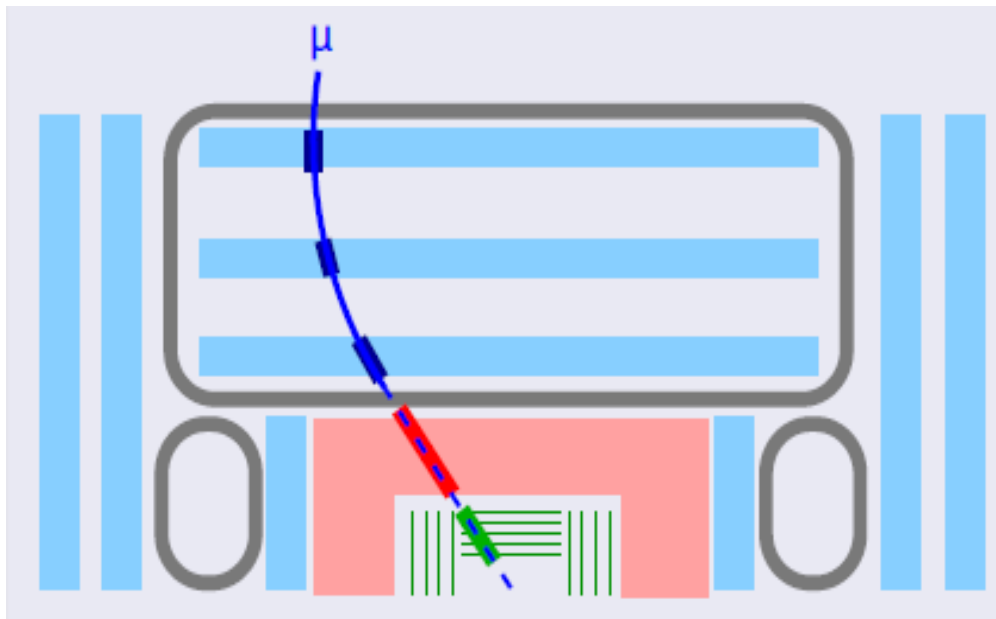
Muon Reconstruction

- どのようにmuonを再構成するか？
 - Standalone muon reconstruction
 - ✓ ミューオンスペクトロメーターのHits(Segment)を用いてトラックを再構成
 - ✓ トラックをbeam lineにextrapolate (w/ correction for calorimeter energy loss)



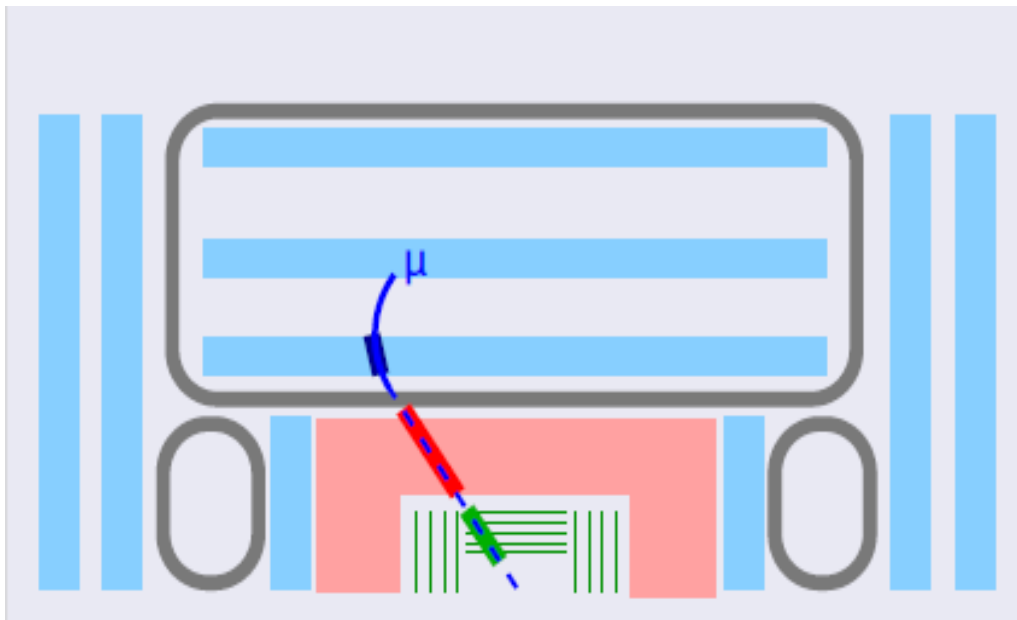
Muon Reconstruction

- どのようにmuonを再構成するか？
 - Combined muon reconstruction
 - ✓ Inner Detectorのトラックも使いコンバインして運動量を測る (現在 多くの物理解析のデフォルト)



Muon Reconstruction

- どのようにmuonを再構成するか？
 - Tagged muon reconstruction
 - ✓ Inner detectorから出発、ミュオンスペクトロメーターの1層目の信号を見てミュオンをタグする or カロリメーターのMIPを見る (CaloTag)

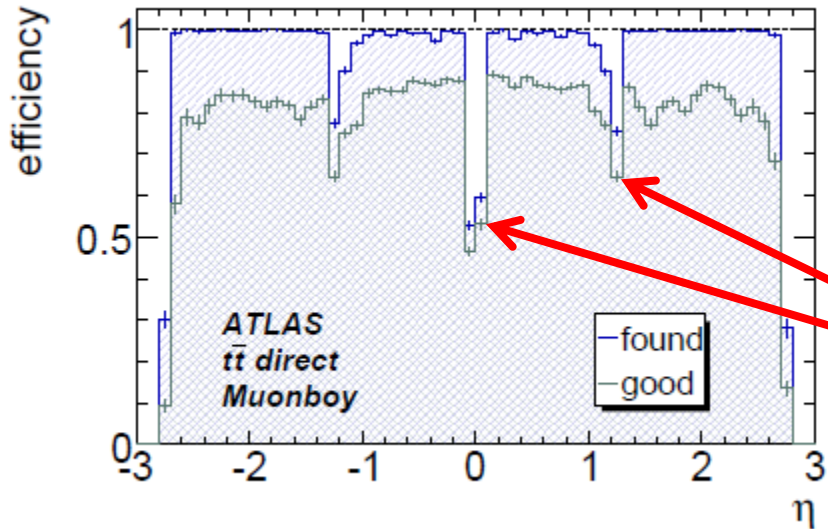


- 主にミュオンスペクトロメーターを突き抜けないlow Pt muonに対して重要

Muon Reconstruction

- Standalone muon reconstruction efficiency and resolution

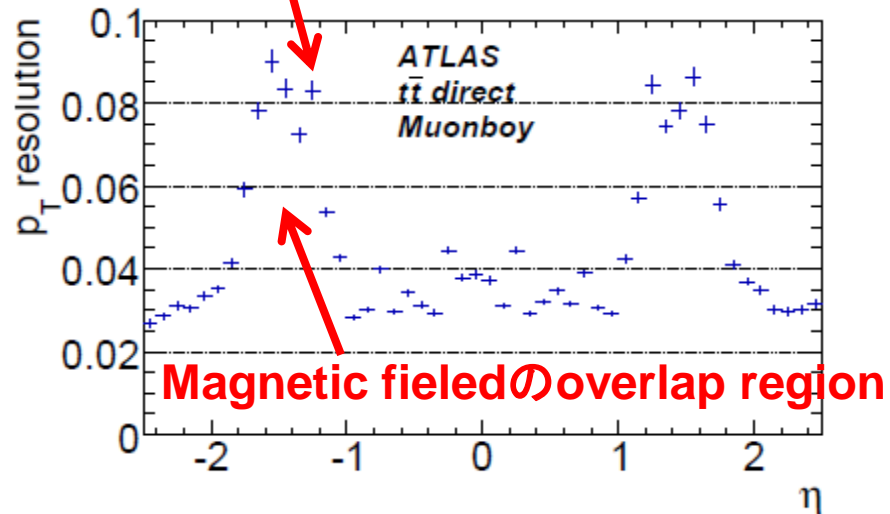
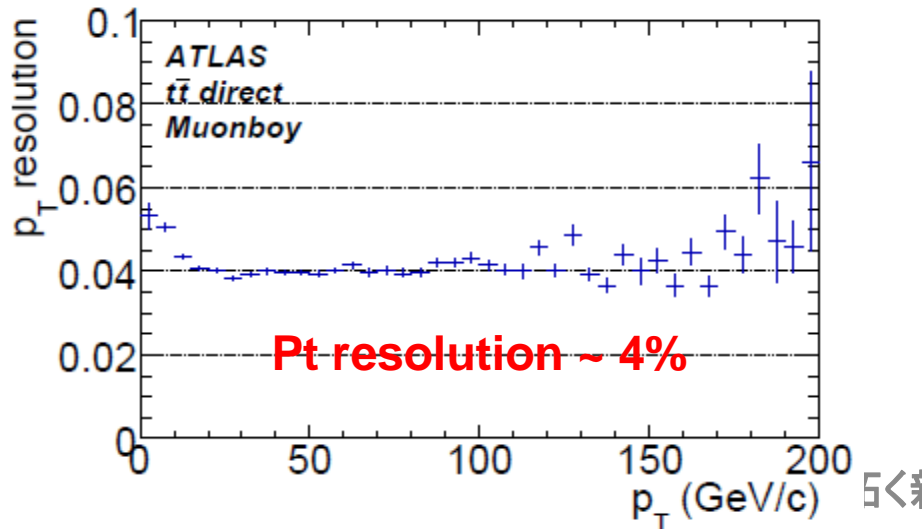
Finding efficiency ~100%



$$\text{found } \sqrt{\left(\frac{\phi_{\text{reco}} - \phi_{\text{true}}}{0.005}\right)^2 + \left(\frac{\eta_{\text{reco}} - \eta_{\text{true}}}{0.005}\right)^2 + \left(\frac{\Delta p_T / p_T}{0.03}\right)^2} < 100$$

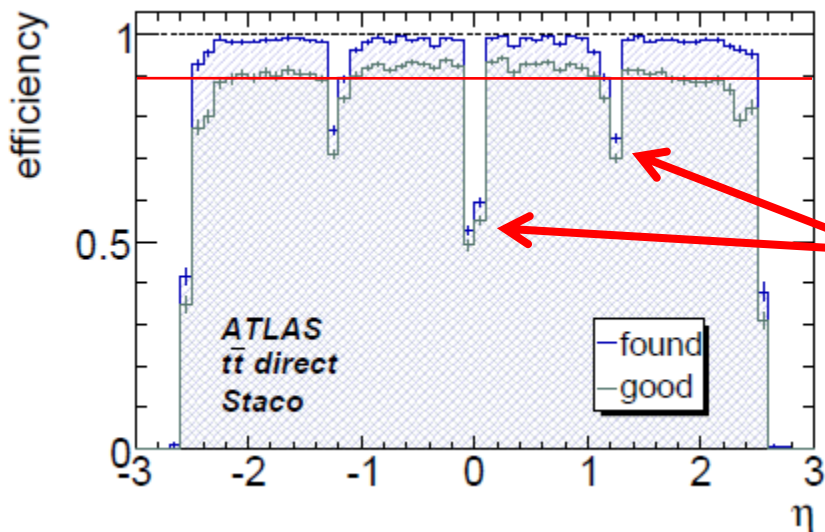
$$\text{good } \sqrt{(\mathbf{T}_{\text{reco}} - \mathbf{T}_{\text{true}}) \mathbf{C}_{\text{reco}}^{-1} (\mathbf{T}_{\text{reco}} - \mathbf{T}_{\text{true}})} < 4.5$$

検出器のジオメトリ
を反映している



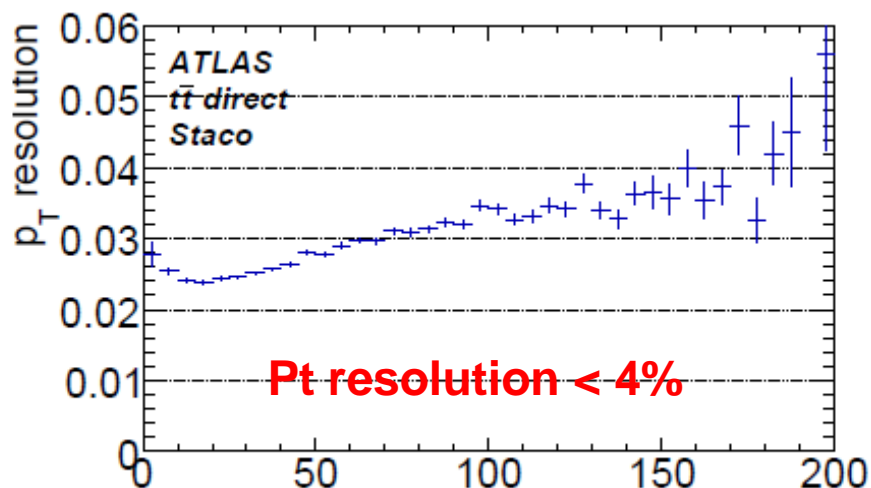
Muon Reconstruction

- Combined muon reconstruction efficiency and resolution

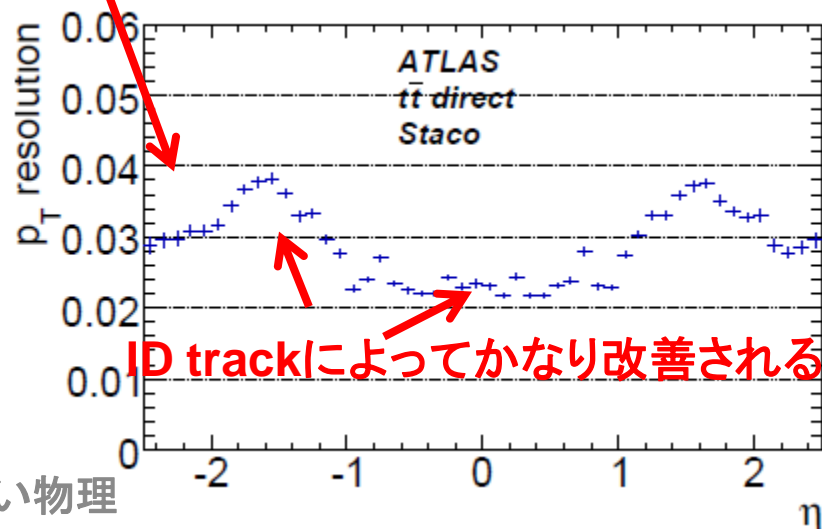


Good reconstruction efficiency >90%

検出器のジオメトリーを反映している



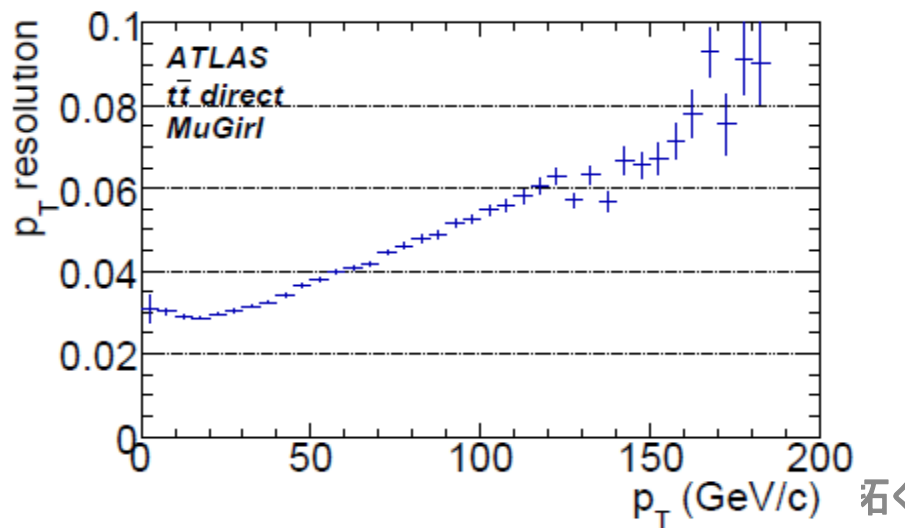
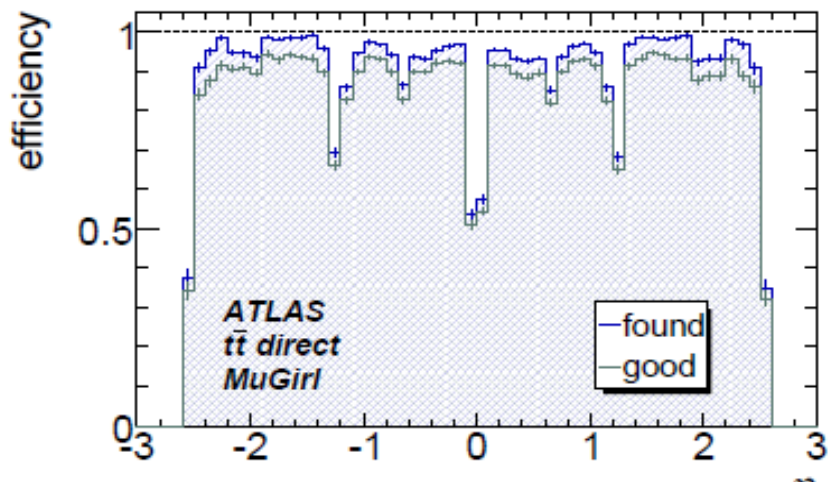
p_T resolution < 4%



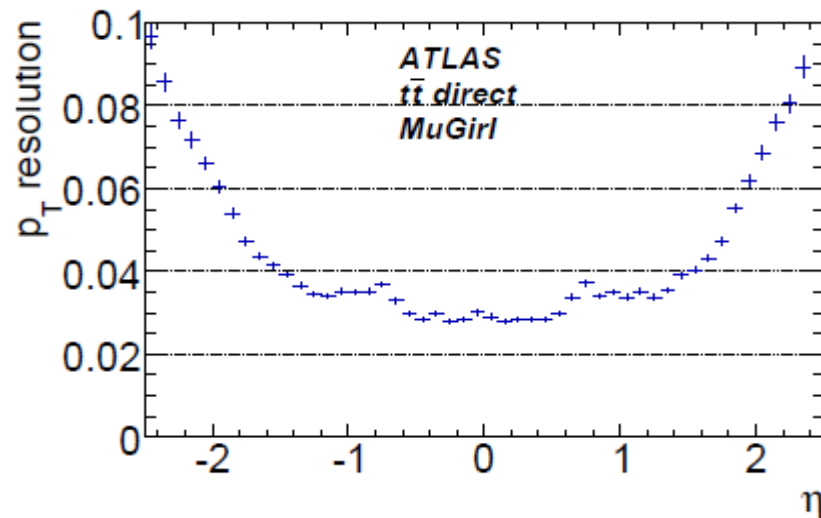
ID trackによってかなり改善される

Muon Reconstruction

- Tagged muon (MSを使ってtrackをrefitしていないのでほぼID trackのパフォーマンスを反映している)



Standalone muonと相補的



Muon Reconstruction

- パフォーマンスのまとめ (目安です)
 - Standalone muon
 - ✓ **Eff : ~95%**, Fake rate : 4.4×10^{-3} (Pt > 10 GeV)
 - ✓ $1.2 < |\eta| < 1.7$, low Ptで**Pt resolutionが悪い** (MDTが2層、マグネットのオーバーラップ, Energy loss)
 - Combined muon
 - ✓ Eff : ~92%, **Fake rate : 3.1×10^{-3}** (Pt > 10 GeV)
 - ✓ 全ての領域で **良いPt resolution** (2%~4%)
 - Tagged muon
 - ✓ Eff : ~91%, **Fake rate : 2.3×10^{-2}** (Pt > 10 GeV)
 - ✓ $|\eta| < 1.5$, Low Ptで**良いPt resolution** (~3%)

それぞれ特徴があり**相補的** (MS base, ID base, Combined)

Data Driven Performance Check

- 実際のデータからミュオンのパフォーマンスをどのように測るか?
→ 確実にミュオンだと思えるものをとってくる必要
- Di-muon resonanceが最も良い候補 (J/ψ , Y , Z)

Tag and Probe method

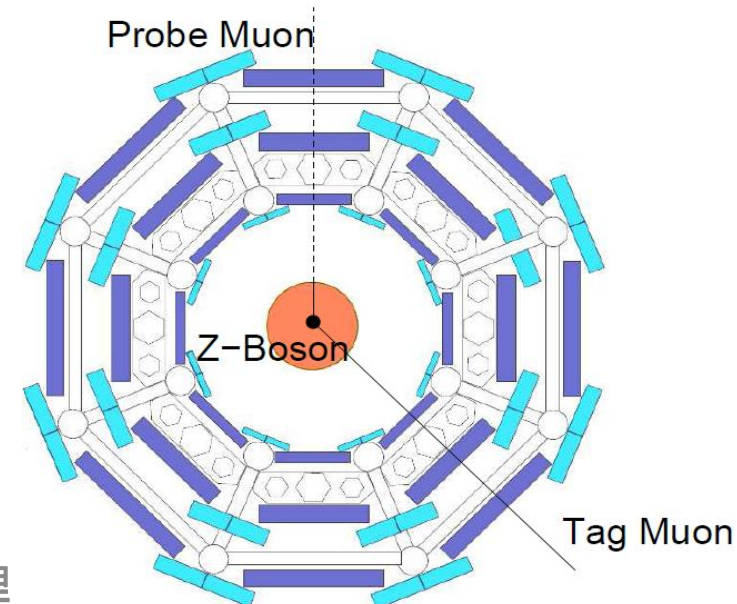
- ✓ $Z \rightarrow \mu\mu$ を用いて実際のデータからパフォーマンスを測る ($20 < P_t < 70$ GeV)

- Tag muon : トリガーされたmuon
- Probe muon : トラック (e.g. ID)

Probe muonがmuonであることを保証するために2つのミュオンの質量がZの質量領域であることを要求

→ Probe muonを調べることによってパフォーマンスを測ることが可能

Isolationなど
タイトなセレクションをかける



Data Driven Performance Check

- Tag and Probe method

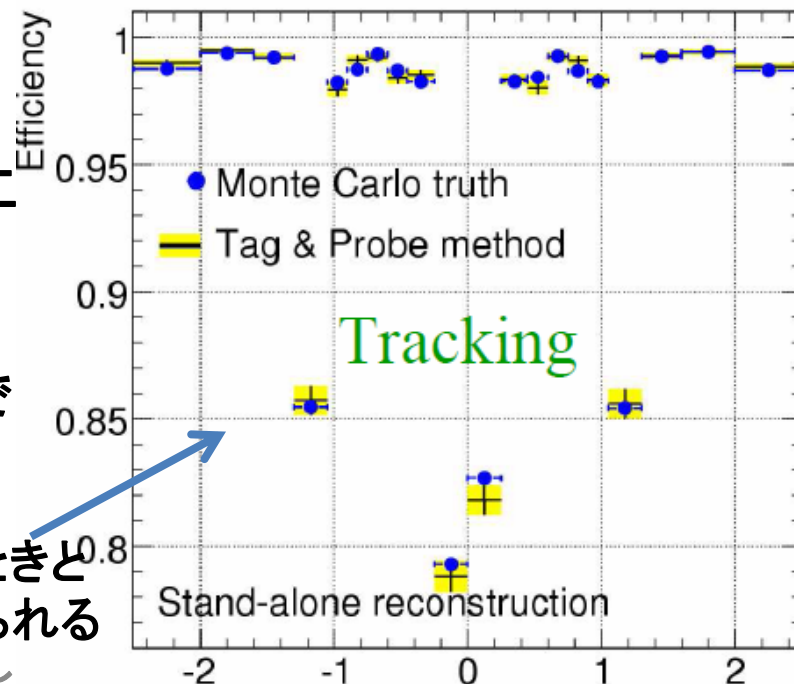
- 他のバックグラウンドの影響

- isolationなどタイトなセレクションをすることによって~0.1%レベルまで減らすことができる

- Geometrical effect

- η - ϕ 平面で320パターンの領域を測る

Φ, Pt をインテグレート



✓ MCに頼らずデータのみでefficiencyを測ることが可能 (当然実際のデータでは同じefficiencyが得られるとは限らない)

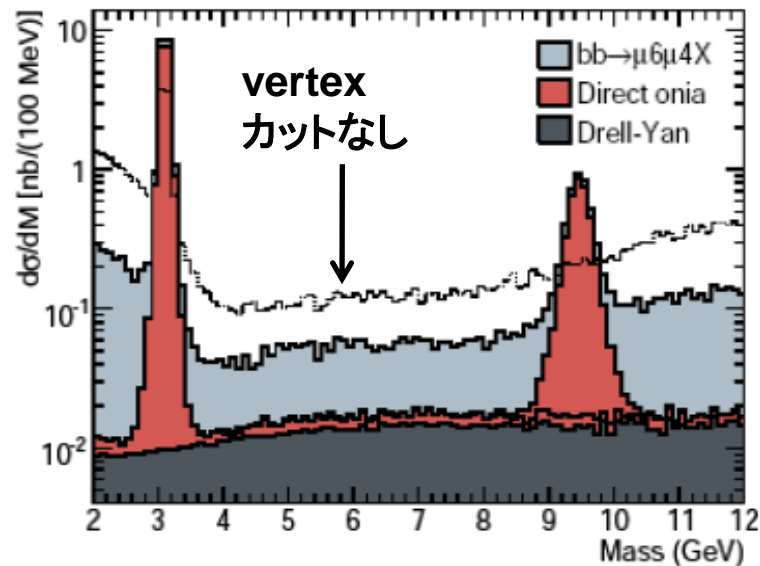
オーバーオールなefficiencyは~1%の精度で測ることができる @ ~ 100pb⁻¹

MC truthを使ったときど一致した結果が得られる
LHCが切り拓く新し

Data Driven Performance Check

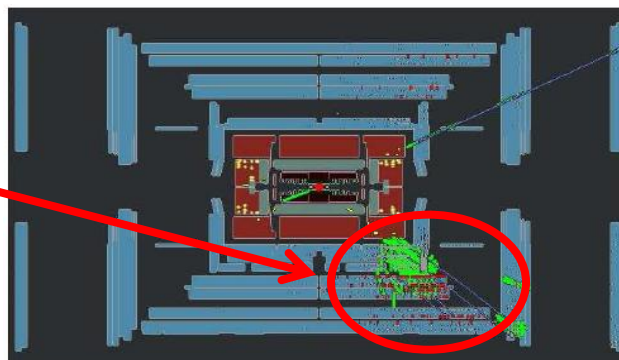
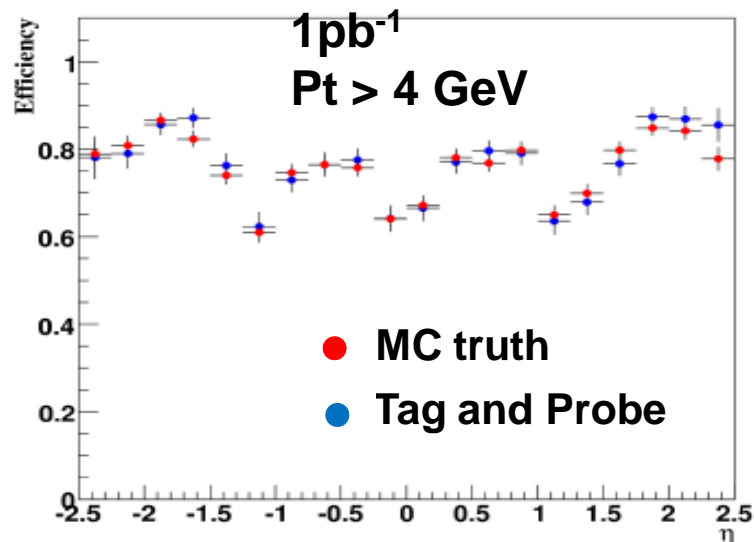
その他問題点

- Zだけではlow pt, very high pt 領域を測れない ($Pt < 20$, $Pt > 100$)
- low ptはJ/ ψ が有望
- ✓ Single trigger サンプルはQCDバックグラウンド ($bb \rightarrow \mu X, cc \rightarrow \mu X$) が非常に多い
- ✓ Primary Vertexを要求することでバックグラウンドを~8%まで落とせる



✓ Very High Pt リージョンは？

1. Z regionからExtrapolate出来る？
2. Boosted Z+jetを使うことが出来る？

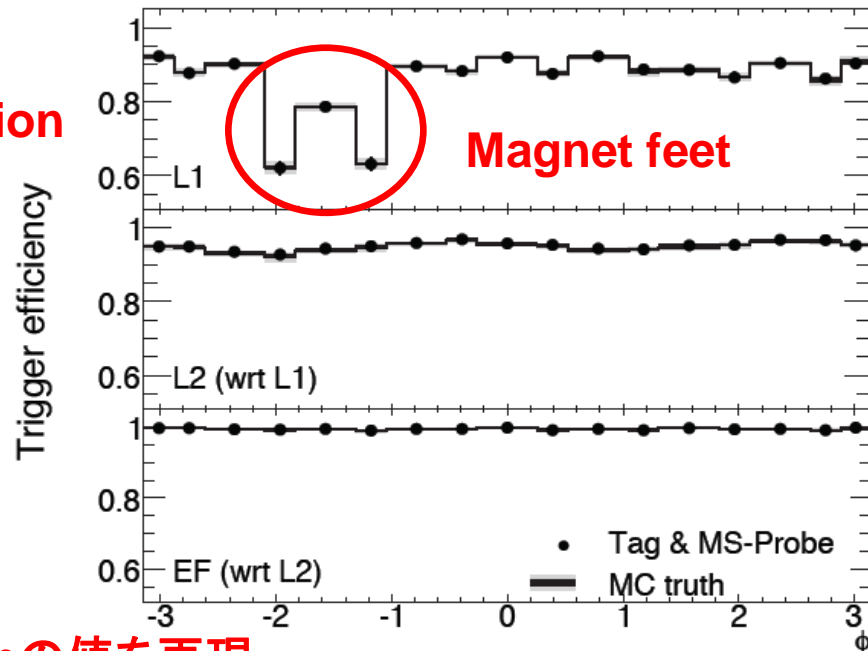
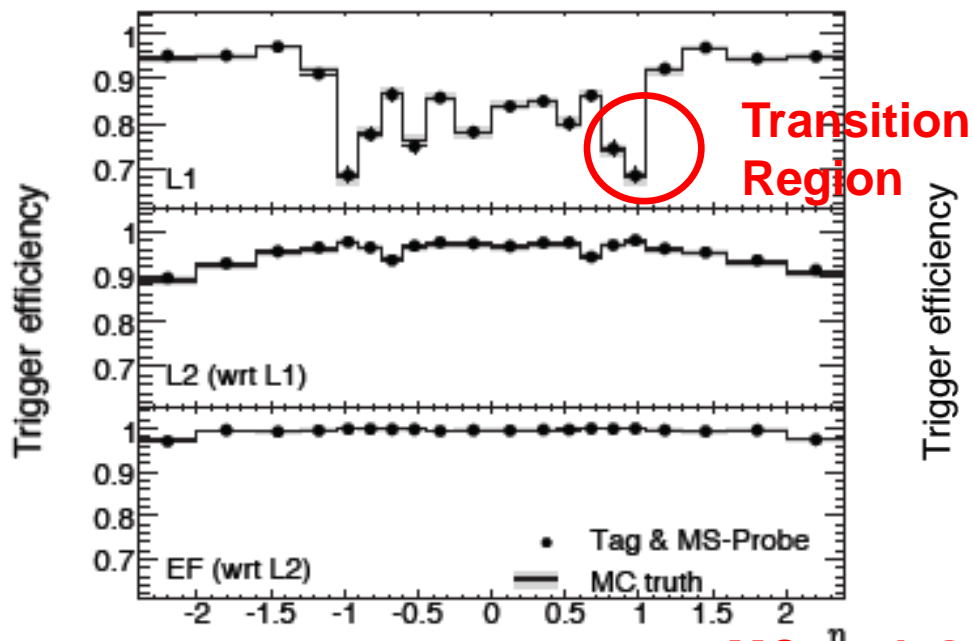


Very High Pt
Bremsの影響で
MSでトラックが
再構成できない

Muon Trigger Performance

- 基本的には $Z \rightarrow \mu\mu$ を使ったTag and Probeが有望
 - Tag muon : triggered “muon” track (ここでは $P_t > 20$ GeVを想定, Trigger Menuの詳細については河野さんのトーク)
 - Probe muon : ID Track, Offline reconstructed muon
 - やはりジオメトリーの関係上 η - ϕ で区切る必要あり

Probe muonのtrigger efficiency (L1, L2, EF)



MC truthの値を再現

Muon Trigger Performance

- Trigger efficiency (あくまで目安)

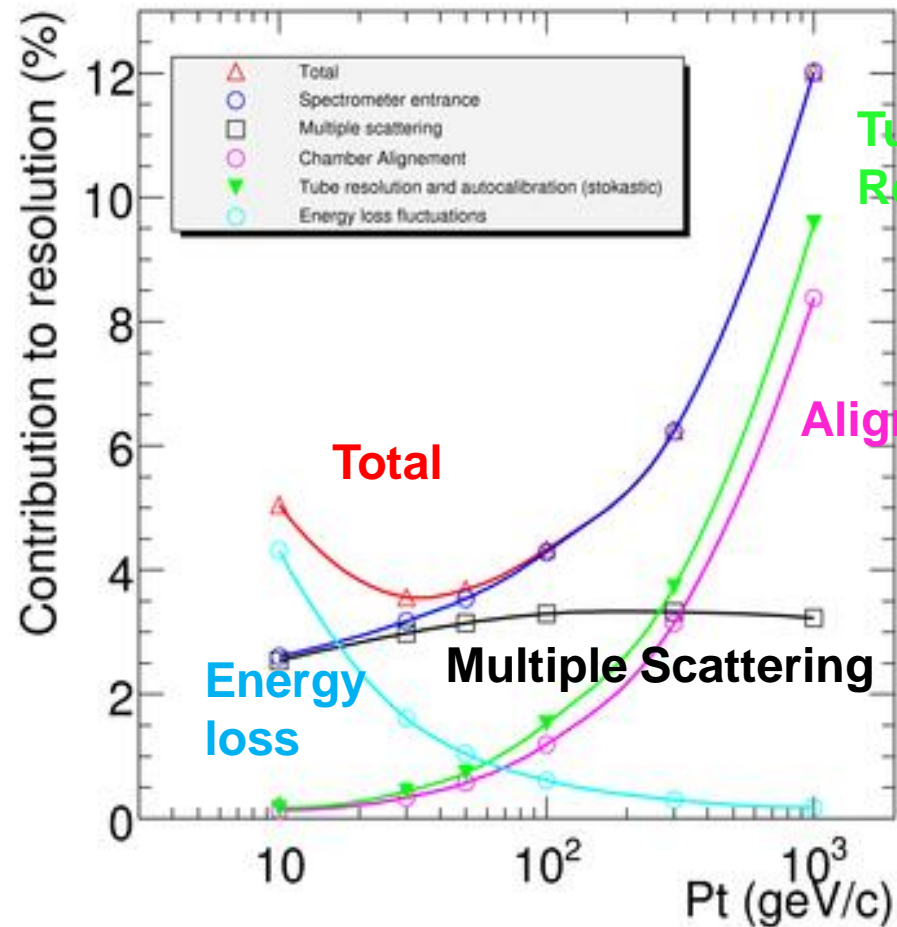
100pb ⁻¹	Barrel ($ \eta < 1.05$)	Endcap ($1.05 < \eta < 2.4$)	Overall ($0 < \eta < 2.4$)
Trigger efficiency	76.94%	87.83%	82.13%
Stat Uncertainty	0.41%	0.34%	0.27%
Systematic	0.17%	0.64%	0.33%

< 1%の精度でTrigger efficiency
を決めることが可能@~100pb⁻¹

- ~1000 probe muon/pb⁻¹が期待される (~ 1 probe muon/pb⁻¹
 $\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.2 \times 0.2$)
- L1 × L2 × EFのtrigger efficiencyは ~80%程度(検出器の穴や
MagnetのOverlap regionでのinefficiencyが効いている)

Muon Momentum Resolution

Alignment curve : 30 μ m uncertainty (design value)



- 低いPt (~10 GeV) ではカロリメーターでのロスが主に効いている
resolution : ~ 5%
 - Pt (~50 GeV) ではMultiple scattering resolution : ~ 4%
 - Pt (1TeV) では主にTube resolution Alignment resolution : ~ 10%
- ✓ 実際のデータではZの質量ピークを用いてScaleとResolutionを求める

$$P_{\text{corr}} = \alpha(P_{\text{rec,MC}} - \sigma G(0,1))$$

Systematic
shift

Smearing
effect

- 実験初期のデータで~1%の精度でScaleとResolutionを決めることが可能

Data Driven Fake Background

- 現在Fake muonというものはあまり議論されていない

物理解析でのfake muon ≠ “一般的な”fake muon

例えばH→WW→lvlvの解析ではW+jetsのジェットのmuonフェイクが問題

fake muonの起源

π/K のパンチスルー, track misreconstruction } Fake muon
 Heavy flavorからのmuon, Decay in flight } Real muon

Fake : Real = 3(1):1(1)
 After(before)
 isolation selection

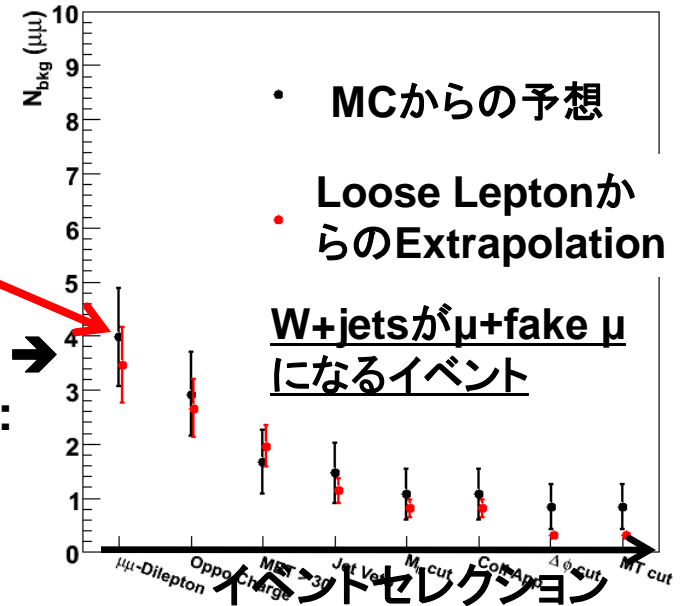
- このようなfake muonはMCで正しく記述できないと予想される
→ データから見積る方法の確立が重要
- Looseなmuonから実際の解析で使うtightなmuonにExtrapolateする方法

$$N_{fake} = \frac{N_{ID\ obj}}{N_{fakeable\ obj}} \times N_{W+onefakeable}$$

fake rate

- W+jetsからのfake rateを用いたextrapolation
→ MCの予想値とよく合っている
- 実際の解析ではfake rateをジェットデータから見積る
→ Sample dependenceが主なsystematic uncertainty : ~30% uncertainty with QCD dijet MC

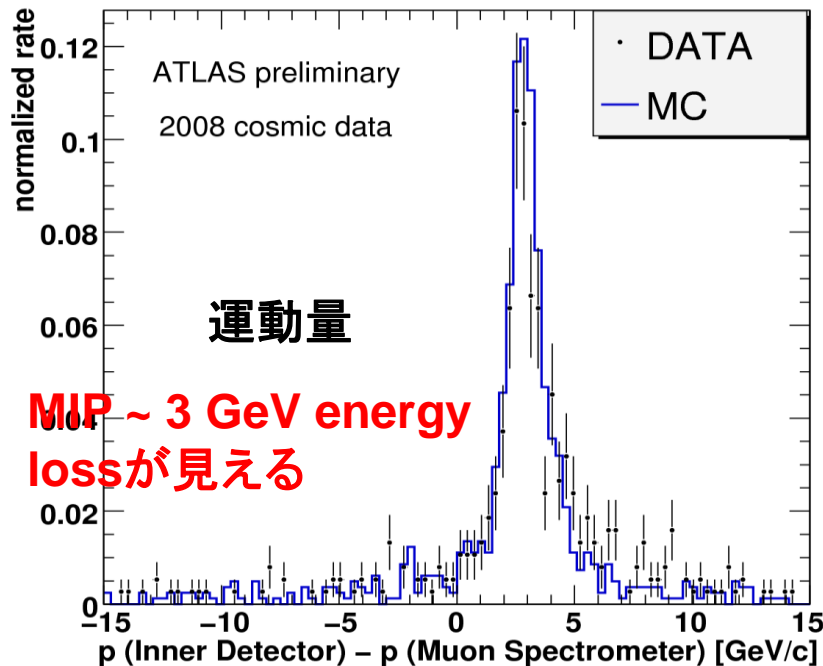
→ 実際のデータでチェックする必要



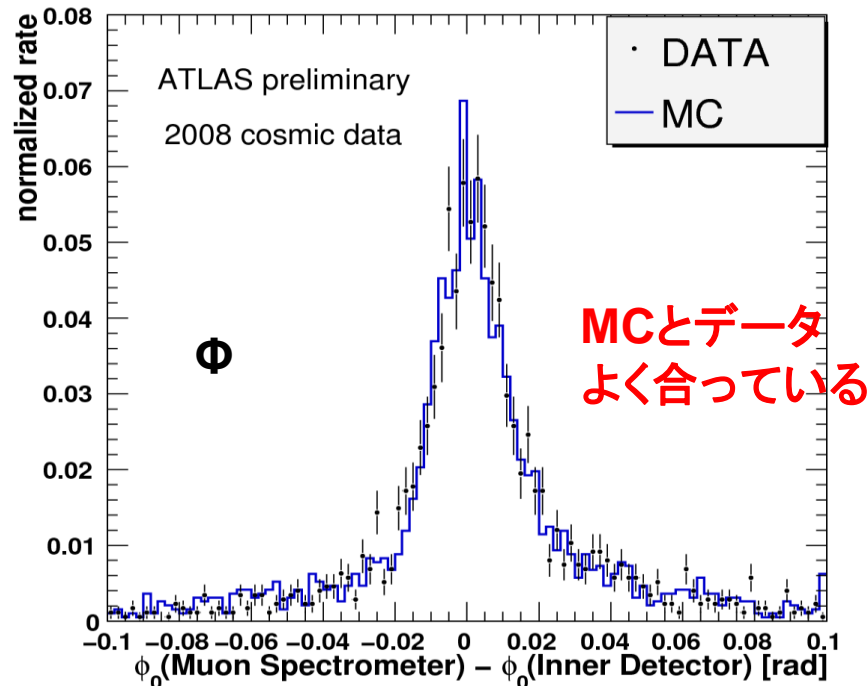
Current Muon Performance

- 宇宙線(データ)を使ってMSTトラックとIDトラックのパフォーマンスも観測している (今年のメインな成果!?)
 - トロイドとソレノイドの磁場はON

MSTトラックはenergy loss
の補正をしていない



MSTトラックはenergy loss
の補正をしている



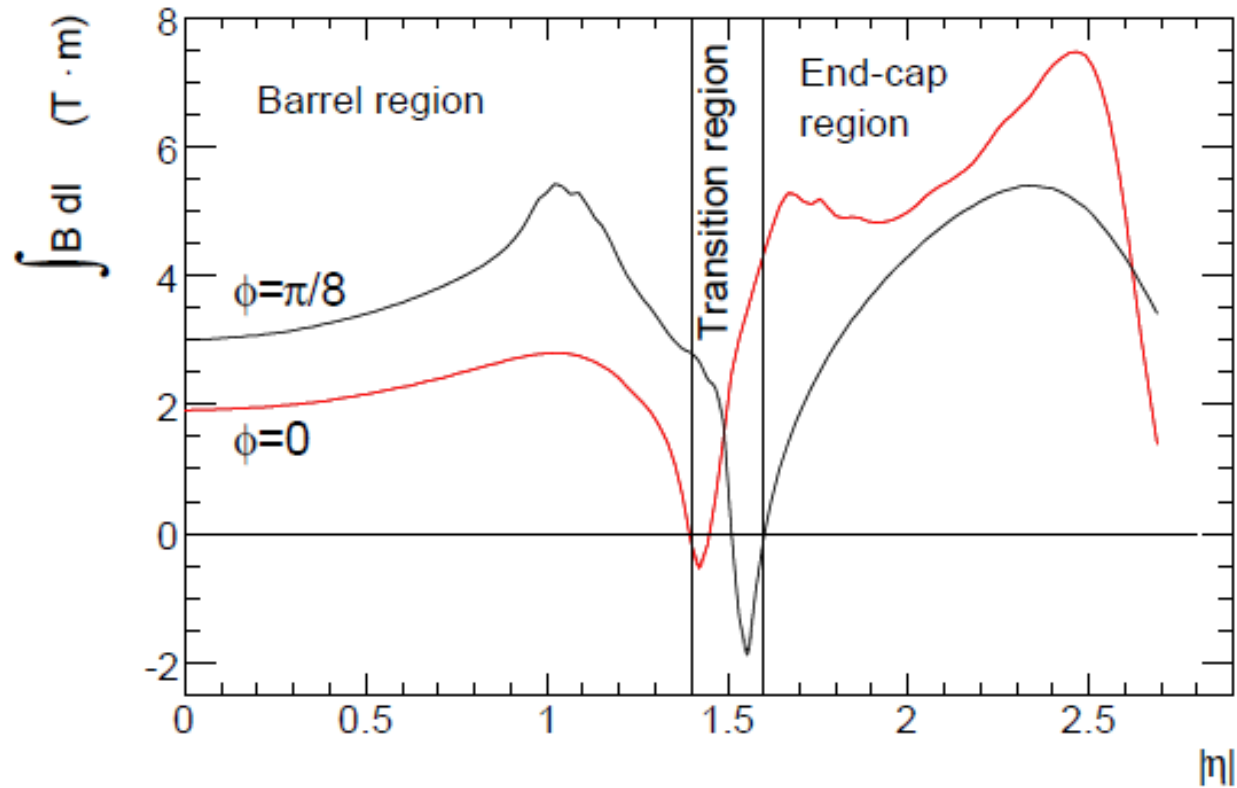
今年はCollision dataを使ってこのようなplotをいっぱい作りたい

まとめ

- 広いPt range(数GeV~1TeV)でmuonは重要なオブジェクト
- ReconstructionはMS base, ID baseと相補的
 - Combined muonがBest performance
Efficiency >90%, Pt resolution < 4%
- Trigger efficiency ~80%
- Di-muon resonance($Z \rightarrow \mu\mu$)を使ったTag and Probe methodで実験初期のデータでもパフォーマンスを測定することが可能
 - 初期の段階で実際の物理に使える
 - Low Pt region, very high pt-regionのdata drivenな方法確立することが今後の課題
- 宇宙線のデータをかなりよく再現できている

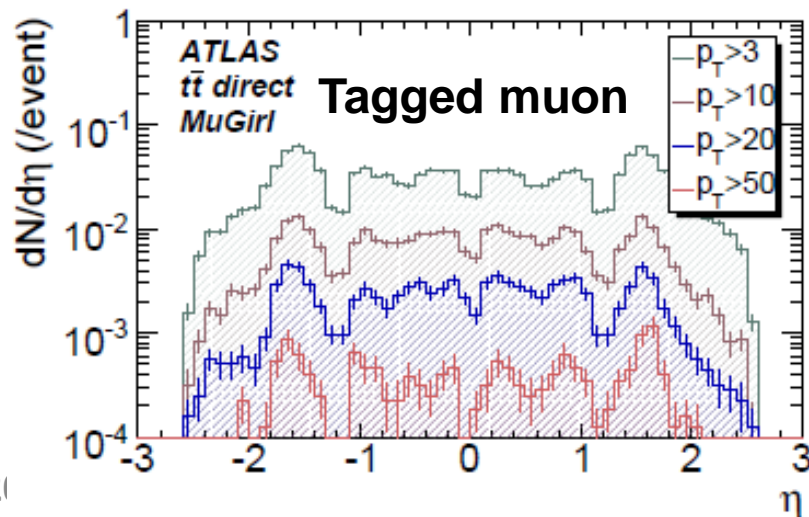
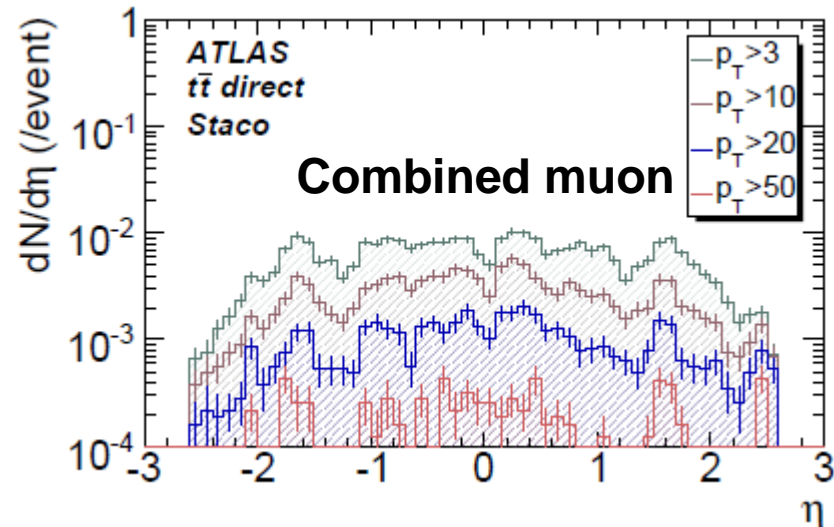
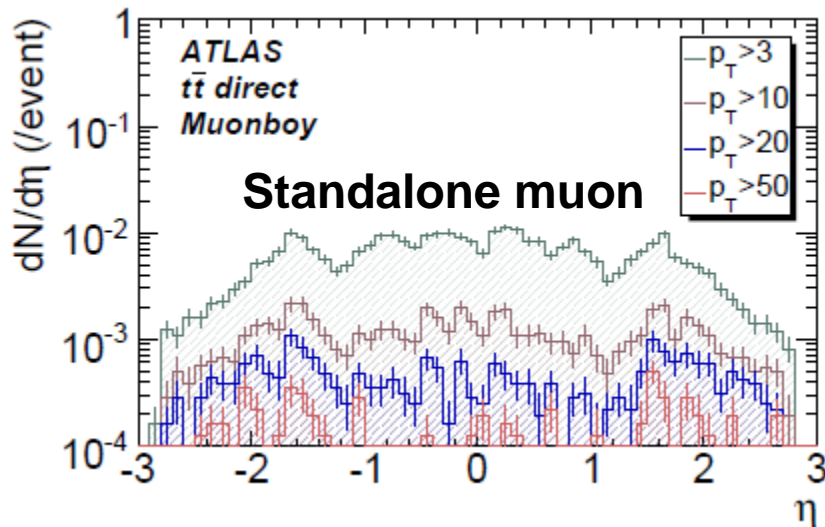
Backup

Magnetic Field



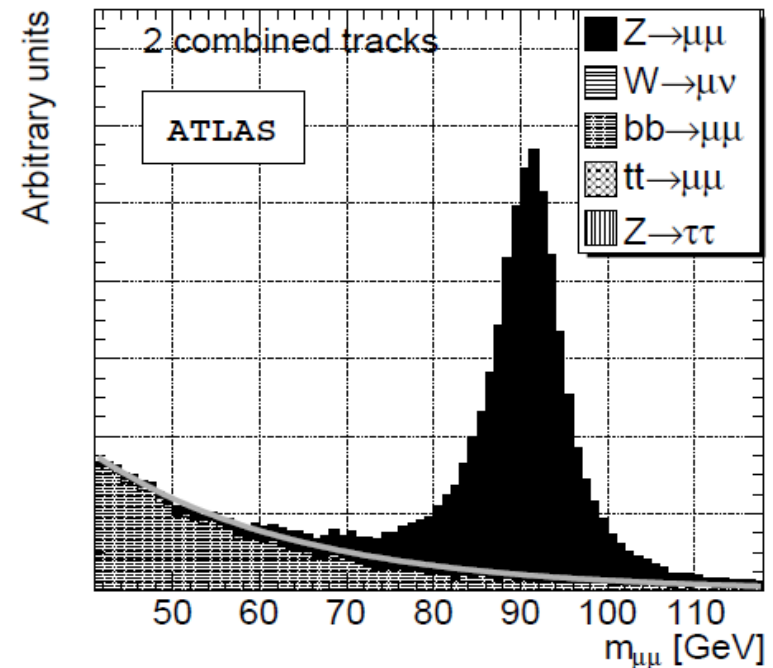
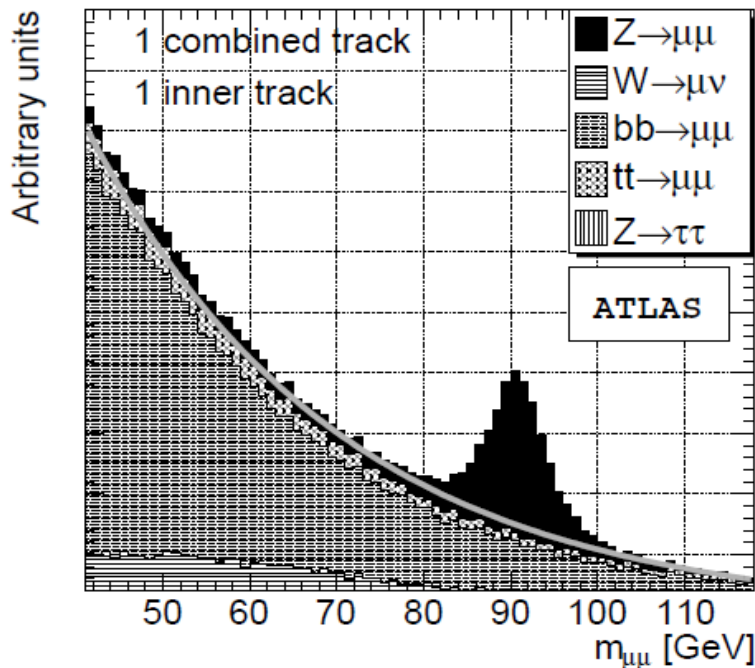
Muon Performance

- Fake Rate as a function of η



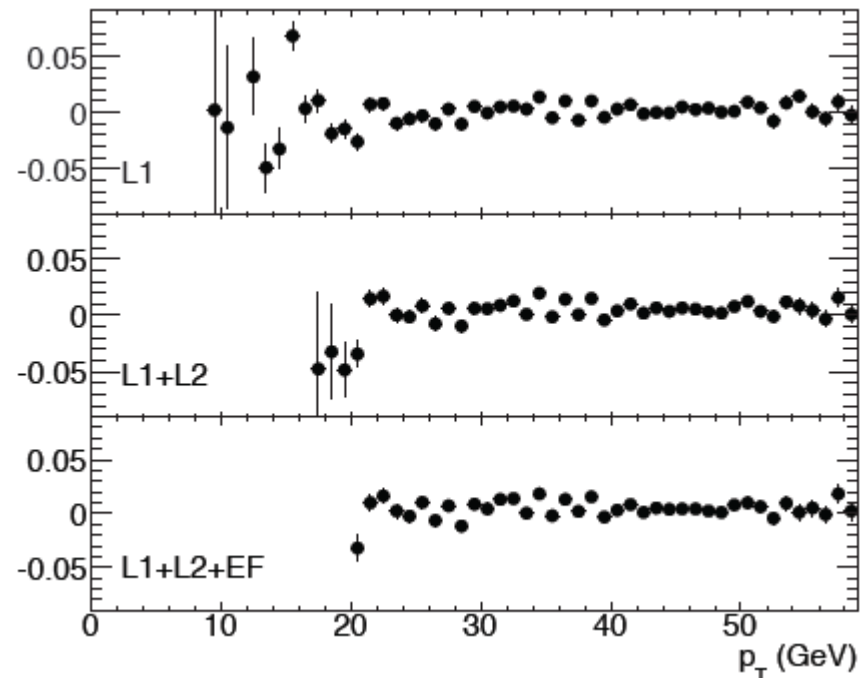
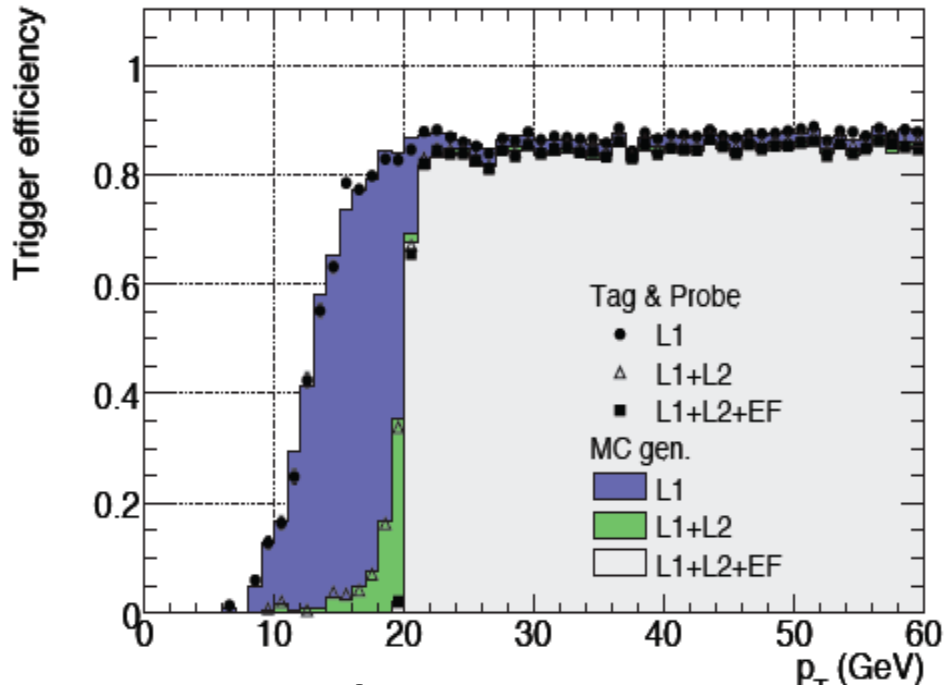
Muon Reconstruction

- Isolation cutを使わないTag and Probe
 - Tag muon : 1 combined track
 - Probe muon : inner track
- Probe muonがcombined trackになるefficiencyがReco efficiency \rightarrow バックグラウンドの影響がかなり大きい
5%程の精度で決められる@ $\sim 100\text{pb}^{-1}$



Muon Trigger

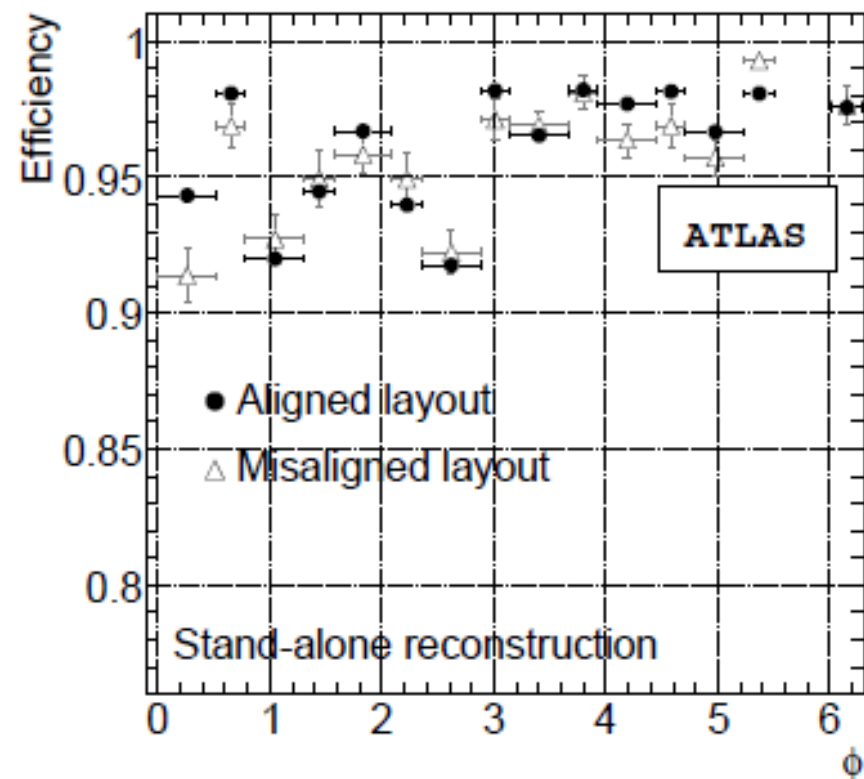
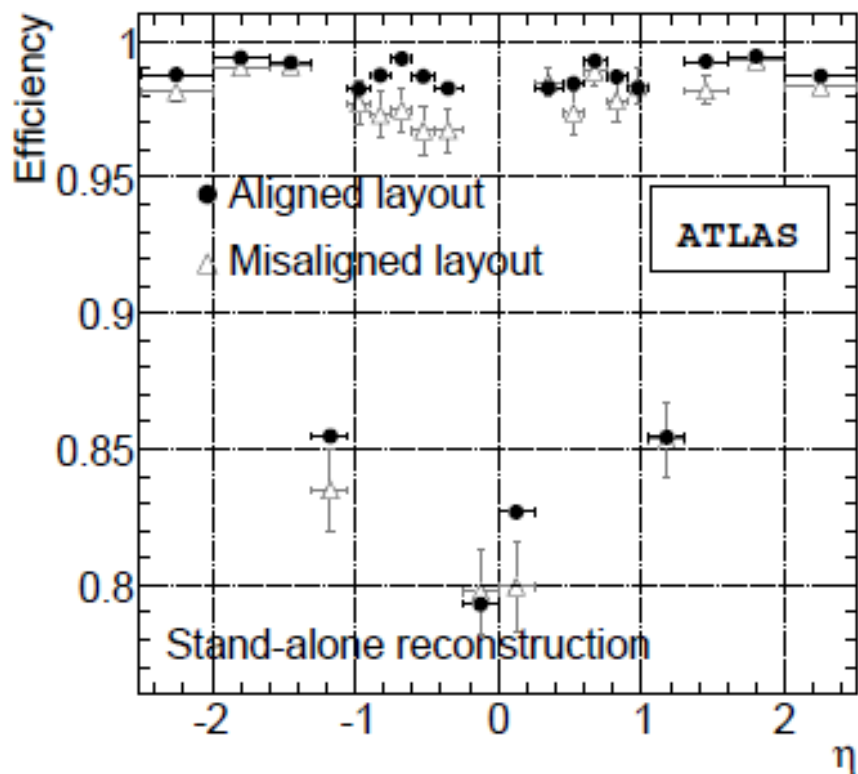
- Trigger turn-on curveもTag and Probeでデータから見積もることが可能
 - ただし統計量がそれなりに必要 ($\sim 1\text{fb}^{-1}$)



- **Pt resolution : $\sim 30\%$ at L1**
 $\sim 5\%$ at L2
 $\sim 3\%$ at EF

Misalignmentのインパクト

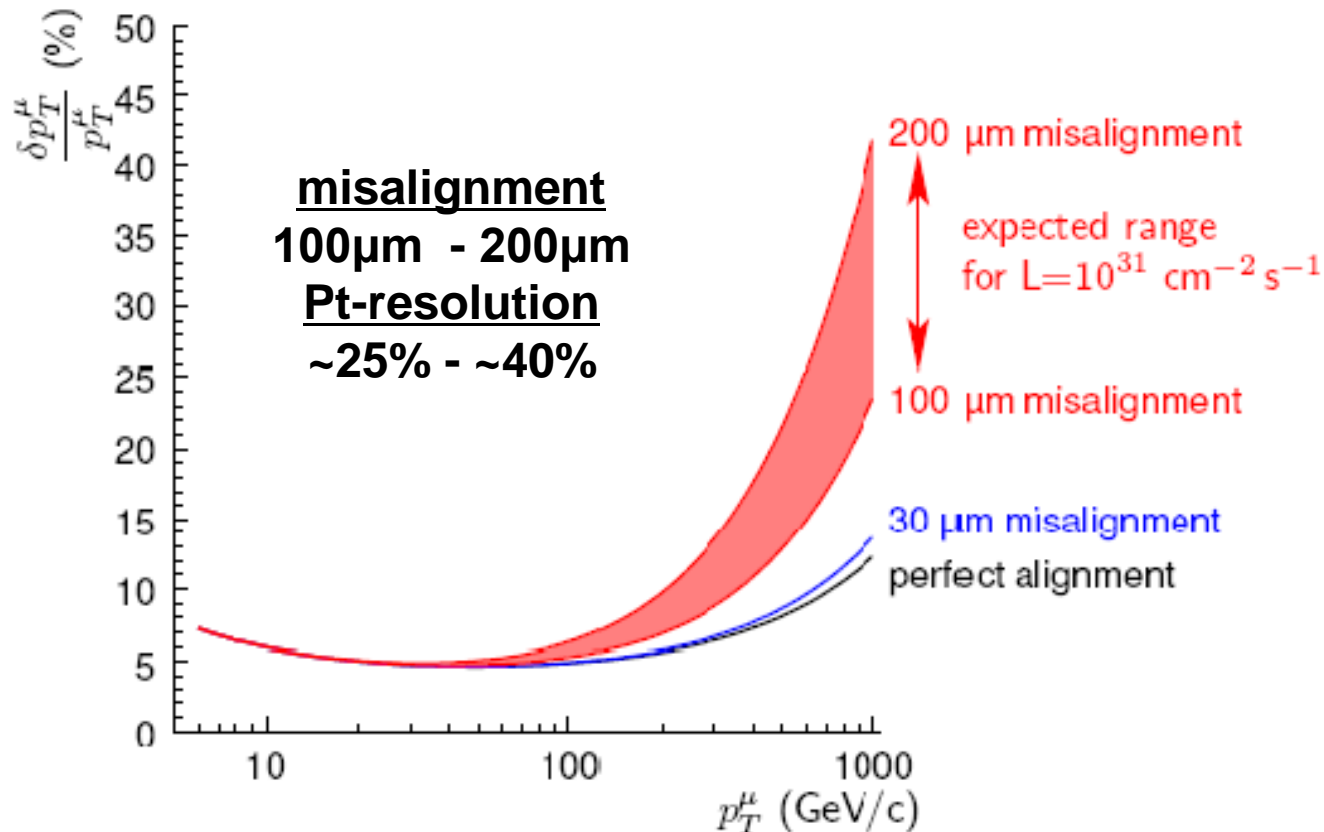
- Reconstruction Efficiency
 - ランダムにGaussian (Mean=0, $\sigma=1\text{mm}$)でシフト
 - ランダムにGaussian (Mean=0, $\sigma=1\text{mrad}$)で回転



Misalignmentのインパクト

- Pt resolution

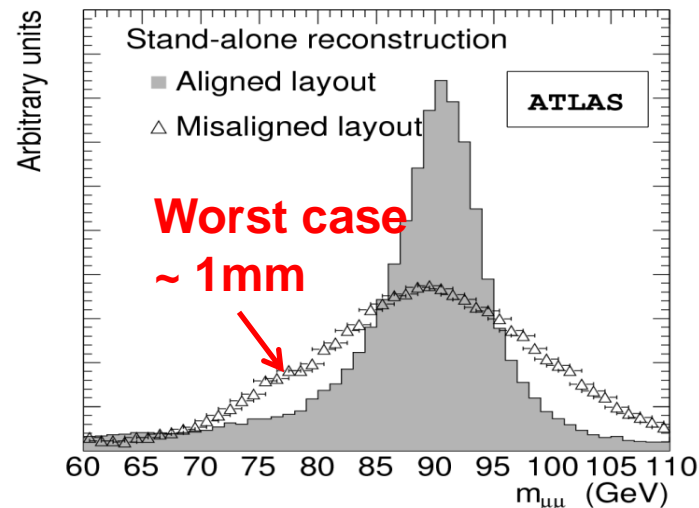
- 特にVery High Ptの物理で重要



Data Driven Performance Check

• Momentum Scale and Resolution

- 実際のデータでは $Z \rightarrow \mu\mu$ の質量分布で決める
- Peakよりも幅が問題
- $< 100\mu\text{m}$ の位置精度 @ 実験スタート時
- デザインは $\sim 30\mu\text{m}$ (Barrel), $\sim 40\mu\text{m}$ (End cap)
- 現在は $< 50\mu\text{m}$ (end cap), $< 200\mu\text{m}$ (Barrel)



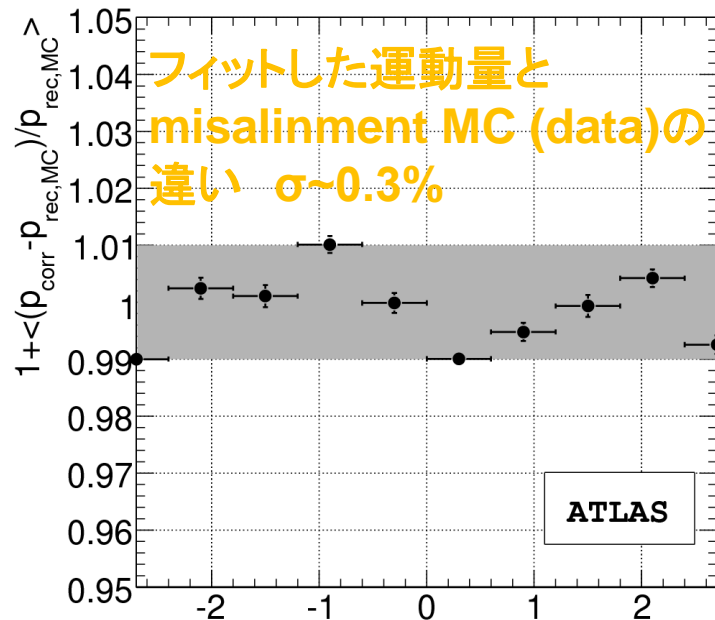
- MC $Z \rightarrow \mu\mu$ の運動量をパラメーターで変化させて実際のデータに合わせる

$$P_{\text{corr}} = \alpha(P_{\text{rec,MC}} - \sigma G(0,1))$$

Systematic
shift

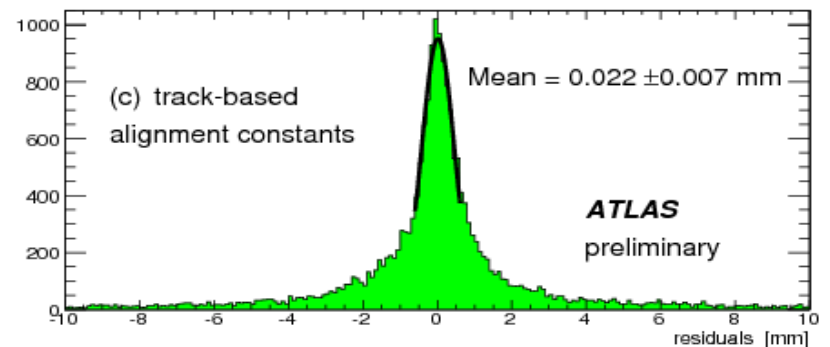
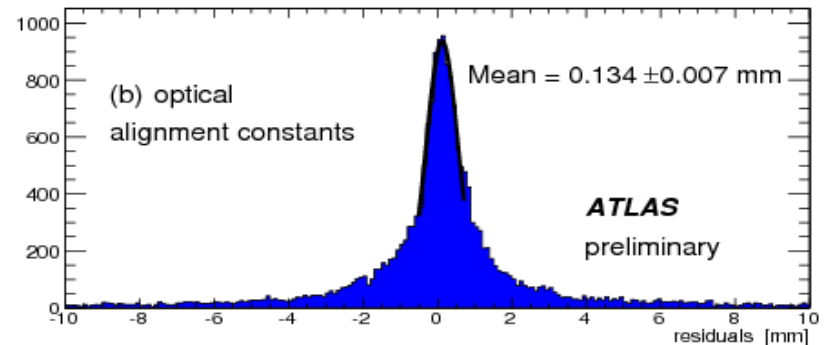
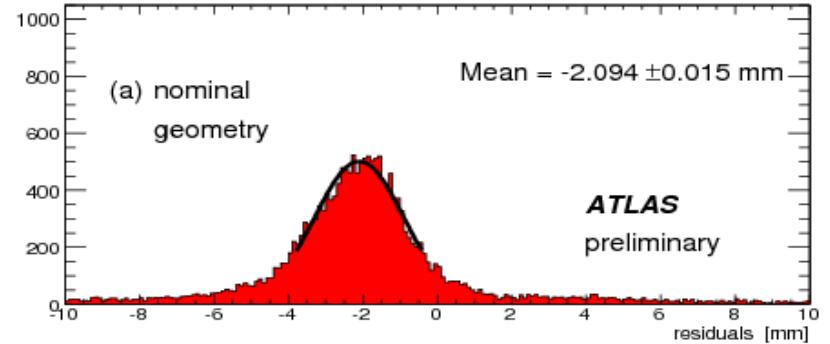
Smearing
effect

- 実験初期のデータ @ 100pb^{-1} で
 - 1%の精度で運動量を決めることが可能 (Energy loss含む)

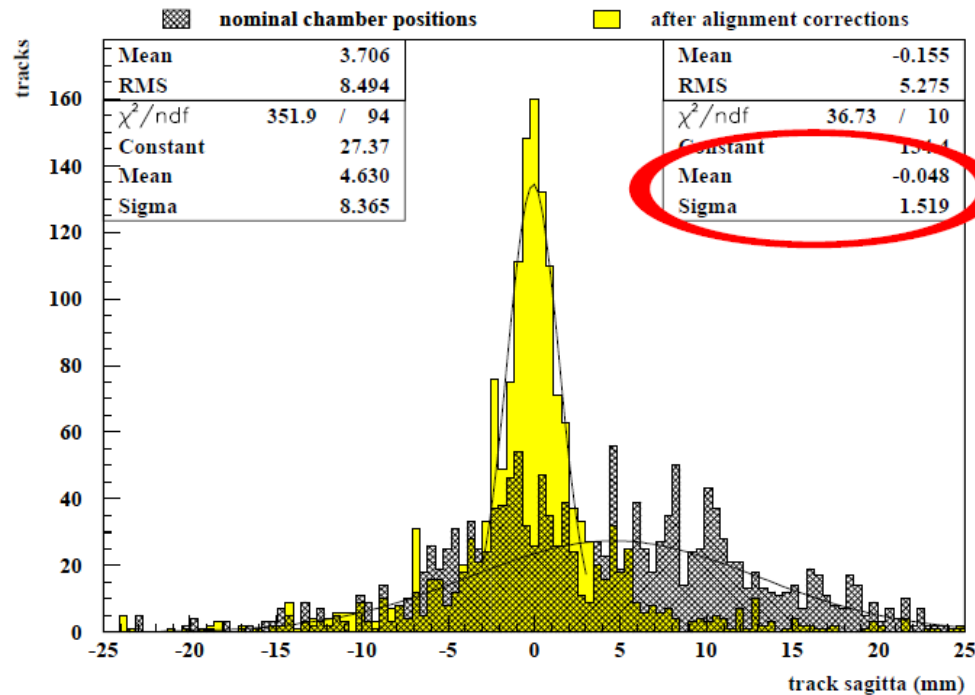


MDT alignmentの状況

Barrel



End cap



ID/fakable Object Definition

Muon definition

- **ID muon**
 - Staco combined muon
with $pt > 15 \text{ GeV}$, $|\eta| < 2.5$
 - Calorimeter Isolation $< 2.5 \text{ GeV}$,
 - Track iso($\Delta R < 0.4$) $< 3 \text{ GeV}$
- **Fakable muon (loose muon)**
 - No isolation cut, other selections are same as ID muon

Loose Lepton Method

- ✓ Fake rate is applied to signal sample (lepton triggered data)

How to apply

$$N_{\text{oneID}(\text{real})+\text{onefake}} = f_{\text{lep}} \times N_{\text{oneID}(\text{real})+\text{onefakable}}$$

We can count these numbers from real data

Apply to signal data
(lepton trigger sample)

Fake background Estimation

$$N_{\text{fake}}^{ee\text{-ch}} = f_e \times N_{\text{oneID}_e+\text{onefakable}_e}$$

$$N_{\text{fake}}^{\mu\mu\text{-ch}} = f_\mu \times N_{\text{oneID}_\mu+\text{onefakable}_\mu}$$

$$N_{\text{fake}}^{e\mu\text{-ch}} = f_\mu \times N_{\text{oneID}_e+\text{onefakable}_\mu}$$

$$N_{\text{fake}}^{\mu e\text{-ch}} = f_e \times N_{\text{oneID}_\mu+\text{onefakable}_e}$$

Cosmic data

- Correlation between ID and MS • Track Parameters

