

# Z( $\mu\mu$ )イベントを用いた ATLAS LVL1 Muon Trigger Systemのコミッショニング

---

**喜家村裕宣**、蔵重久弥、金谷奈央子(神戸大自然)  
ATLAS-JAPAN-HLTグループ

- **Introduction**

- LHCとATLAS検出器
- ATLAS実験でのEvent trigger
- 研究のモチベーション、内容
- LVL1 Muon Trigger (Endcap)の判定方法
- Z  $\mu\mu$ サンプルのkinematics

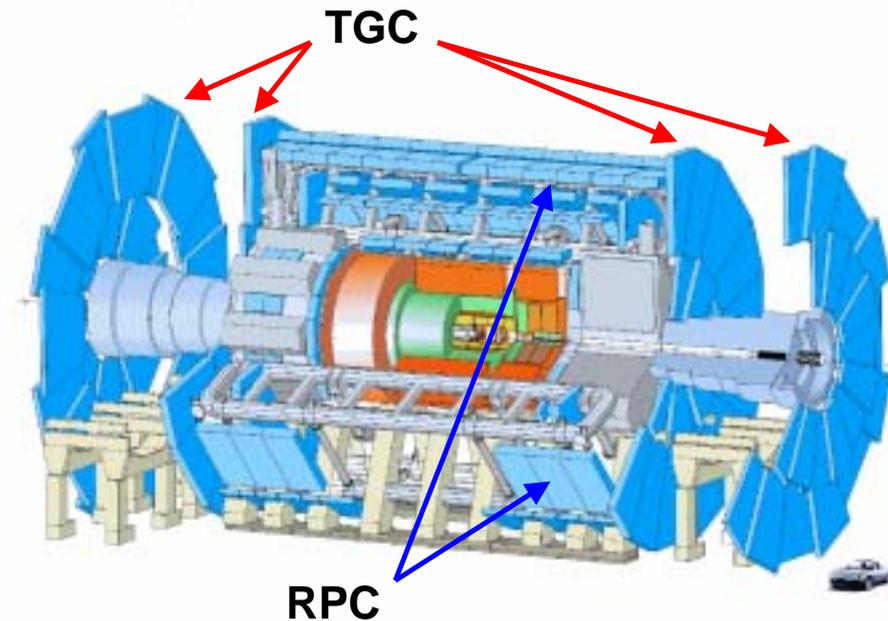
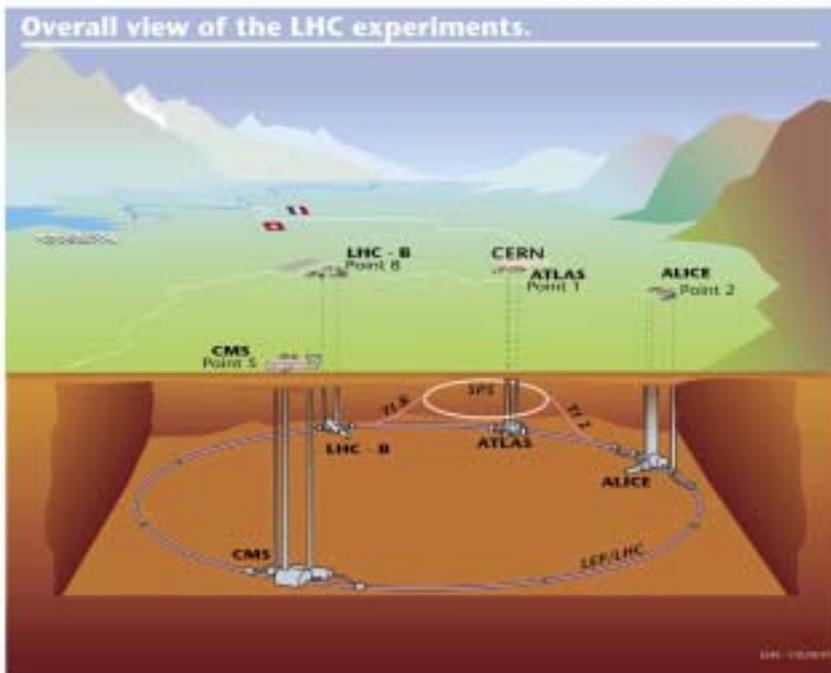
- **Trigger efficiencyの測定**

- 測定方法
- 解析方法
  - ミューオンの選別方法
  - トリガー判定
- 測定結果
  - Pt vs Trigger efficiency
  - Single muon sampleを用いた研究結果の評価
  - Luminosity vs Sigma/Efficiency

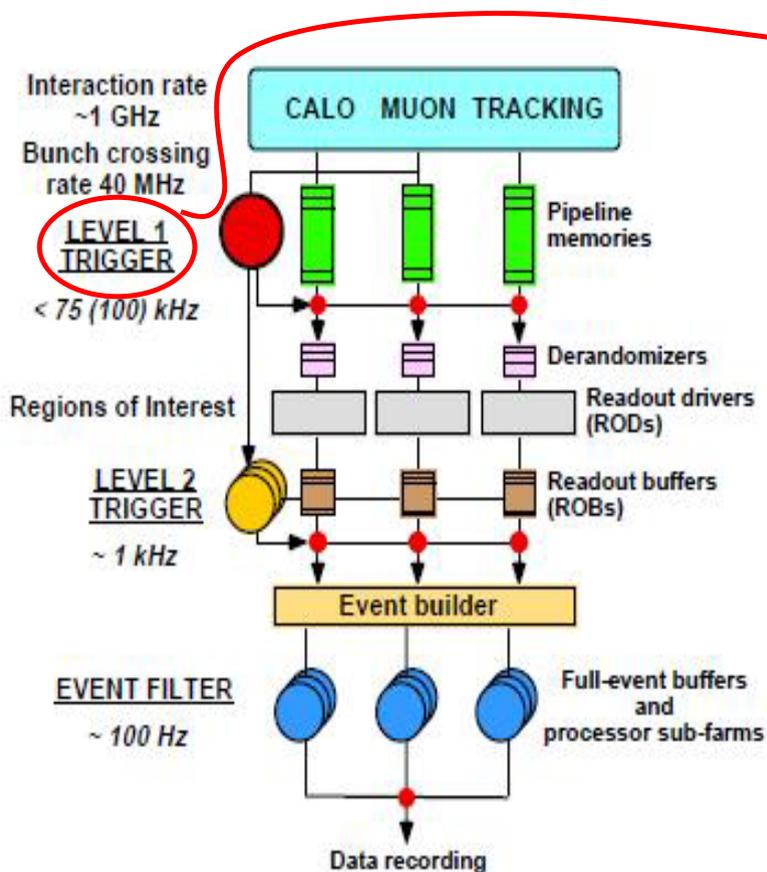
- **まとめと今後**

## LHCとATLAS検出器

- **LHC=Large Hadron Collider**
  - P-P Collider (衝突エネルギー: 14TeV(CM))
  - 到達luminosity:  $10^{34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (High luminosity run)
- **ATLAS検出器**
  - LHCに設置される汎用検出器
  - Higgs粒子、SUSY粒子の探索、t、bクォークの物理などの研究を行う。



## ATLAS実験でのEvent trigger



TGC=Thin Gap Chamber  
 RPC=Resistive Plate Chamber

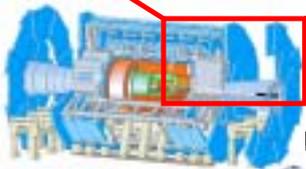
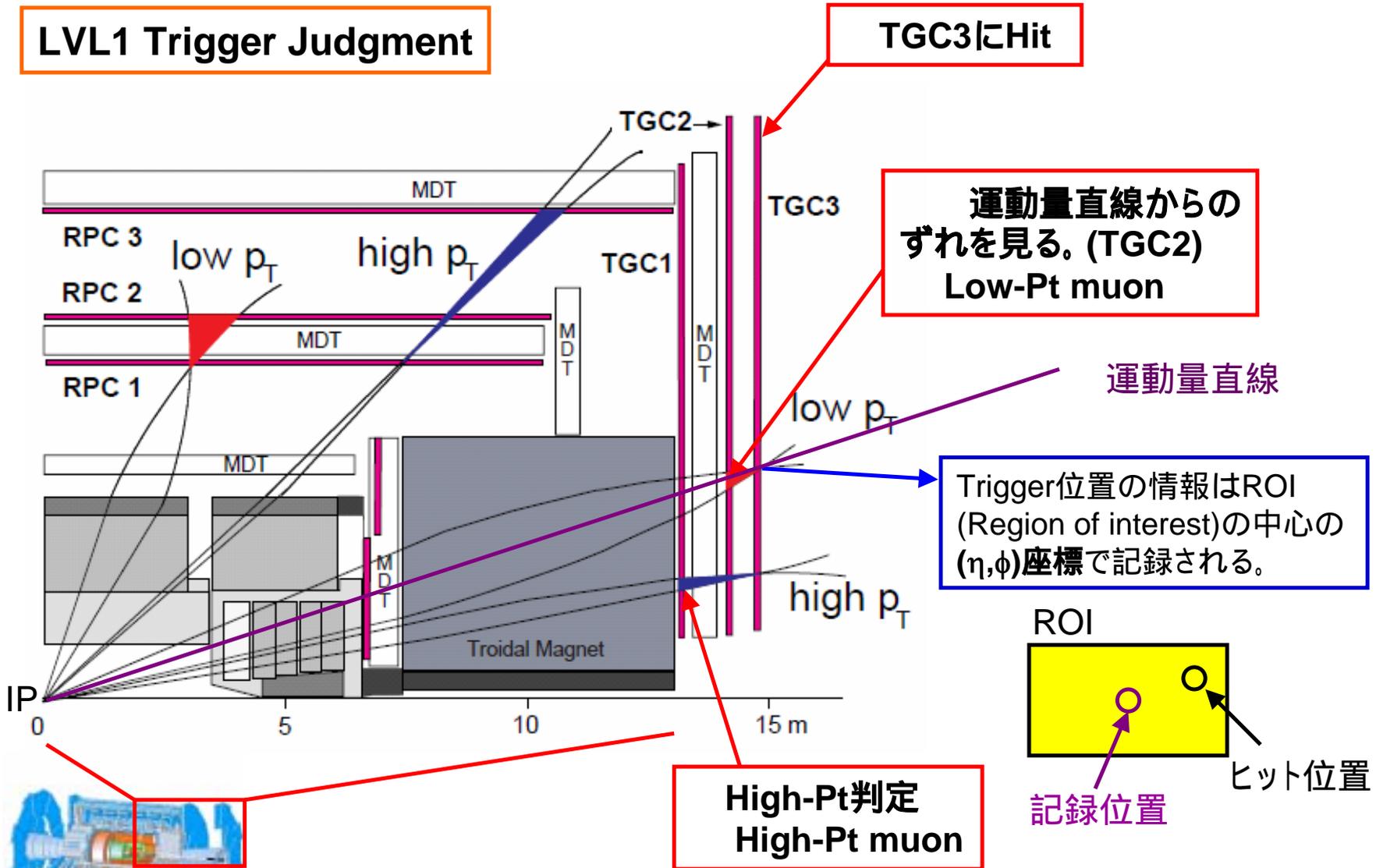
## LVL1 Muon Trigger

- Endcap : TGC、 Barrel : RPC
- 全てハードウェア処理。

Table 2-1 Example of LVL1 trigger menu ( $L = 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ).

Trigger	Rate (kHz)
<u>Single muon, <math>p_T &gt; 20 \text{ GeV}</math></u> → MU20	4
<u>Pair of muons, <math>p_T &gt; 6 \text{ GeV}</math></u>	1
Single isolated EM cluster, $E_T > 30 \text{ GeV}$	22
Pair of isolated EM clusters, $E_T > 20 \text{ GeV}$	5
Single jet, $E_T > 290 \text{ GeV}$	0.2
Three jets, $E_T > 130 \text{ GeV}$	0.2
Four jets, $E_T > 90 \text{ GeV}$	0.2
Jet, $E_T > 100 \text{ GeV}$ AND missing $E_T > 100 \text{ GeV}$	0.5
Tau, $E_T > 60 \text{ GeV}$ AND missing $E_T > 60 \text{ GeV}$	1
<u>Muon, <math>p_T &gt; 10 \text{ GeV}</math> AND isolated EM cluster, <math>E_T &gt; 15 \text{ GeV}</math></u>	0.4
Other triggers	5
<b>Total</b>	<b><math>\sim 40</math></b>

## LVL1 Trigger Judgment



- **モチベーション**

- LVL1 Triggerは全てのTriggerの始まり。
  - Event selection、物理解析に大きく影響する。
    - = LVL1 Muon Trigger Efficiencyを正確に測定する必要がある。

- **目的**

- **実際のデータを用いた、LVL1 Muon Trigger Efficiencyの測定方法の確立。**

- **キーポイント**

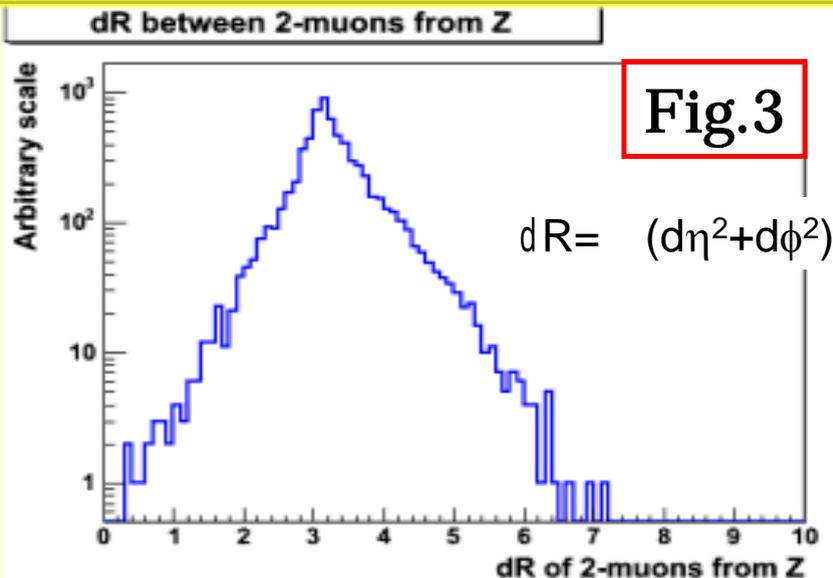
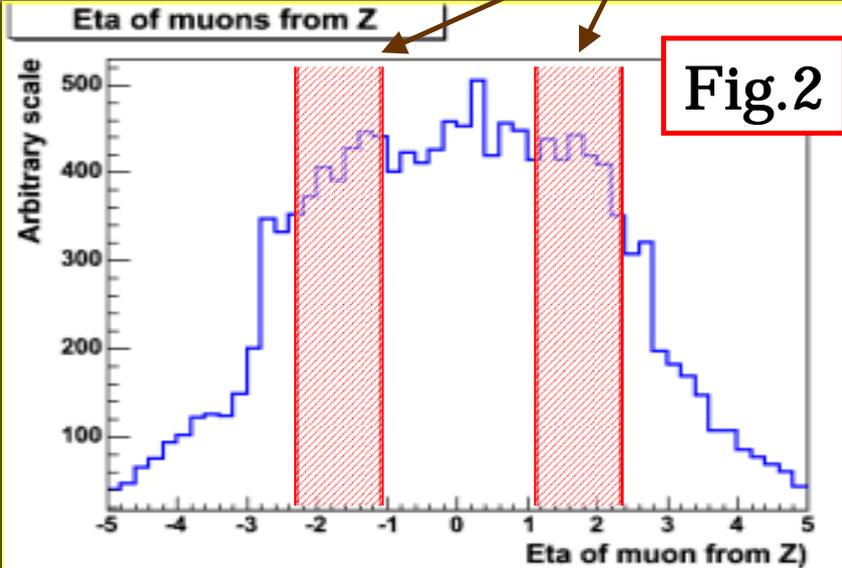
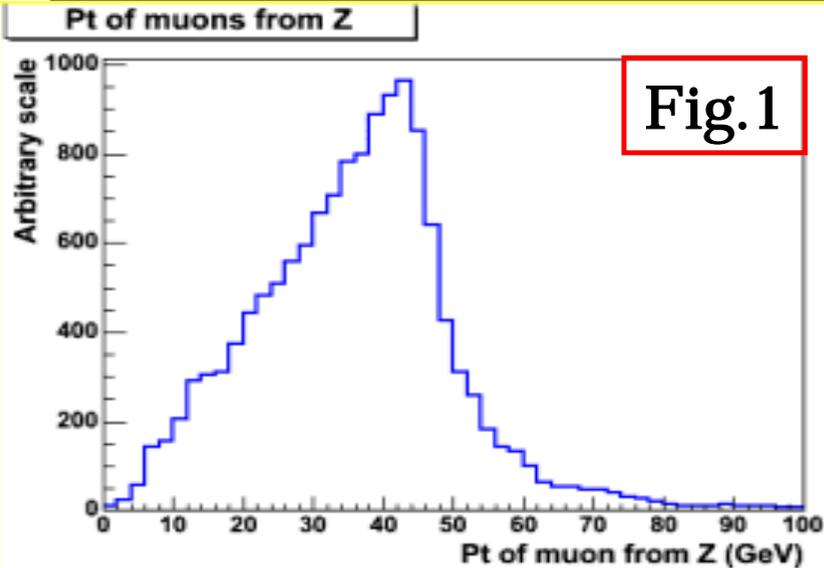
- シミュレーション情報を使わずに**ミュオン**のトラックを選ぶ方法。
- バイアスのかからない測定方法。

- **研究内容**

- **Z  $\mu\mu$** のフルシミュレーションデータを用いて、LVL1 Muon Trigger Efficiencyの測定方法の開発及び評価を行う。

# Kinematics (Monte Carlo information)

Endcap

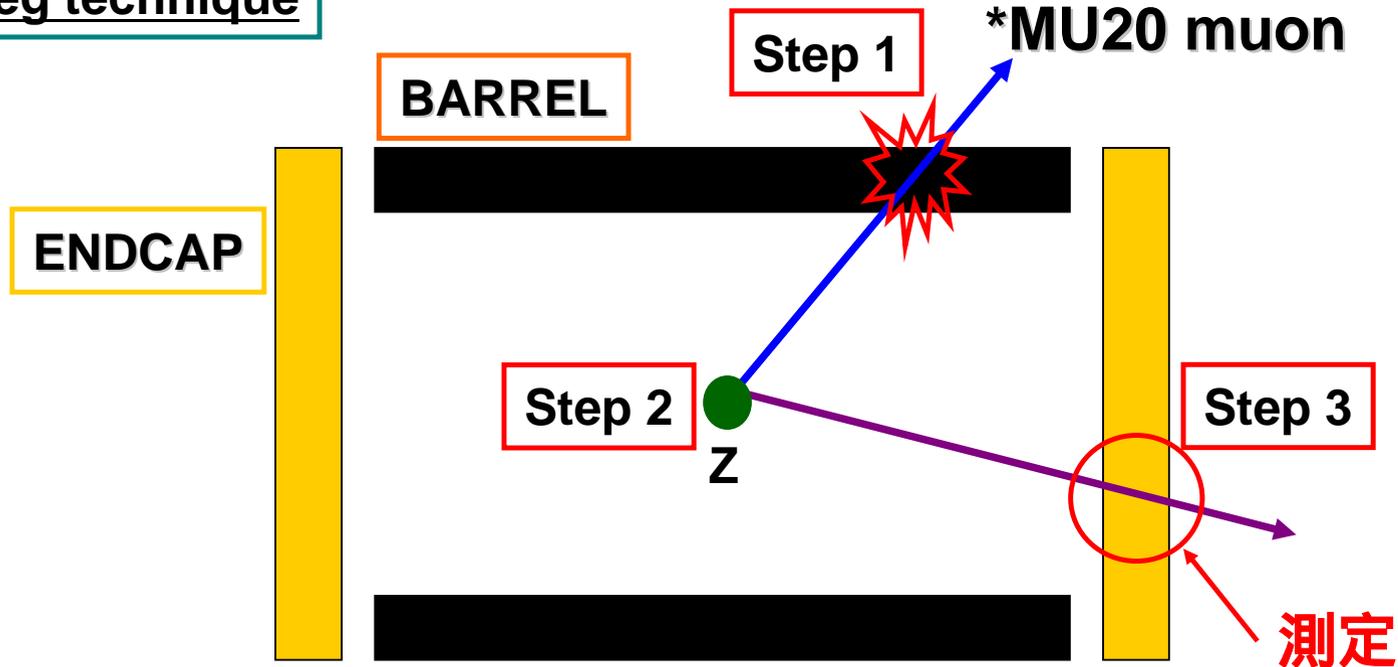


1. このサンプルはHigh-Pt領域 (~40GeV)の研究に適している。
2. Endcap( $1.05 < |\eta| < 2.4$ )にも十分な統計量が見込める。
3. Zからの2つのミュオンは十分に離れており、識別可能。

# Trigger efficiencyの測定方法

\*MU20 muon: LVL1 threshold=20GeVでtriggerされたミュオン

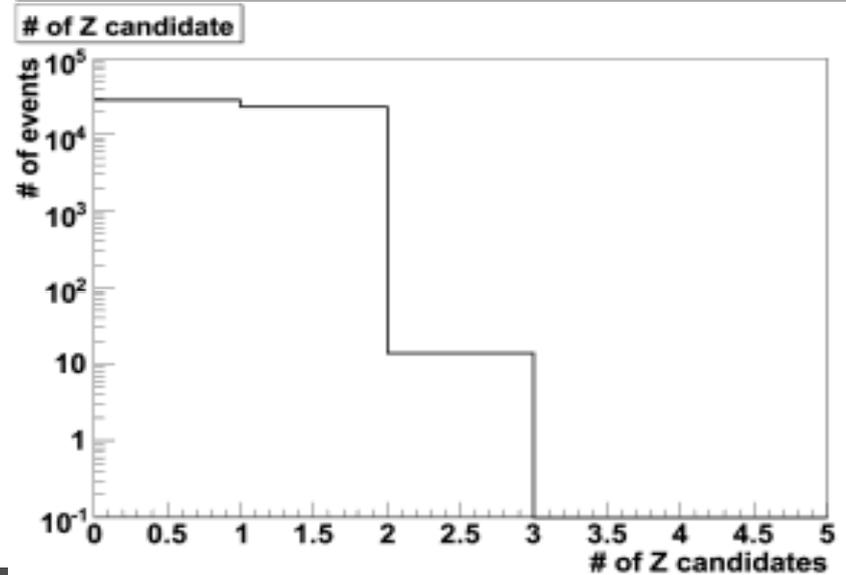
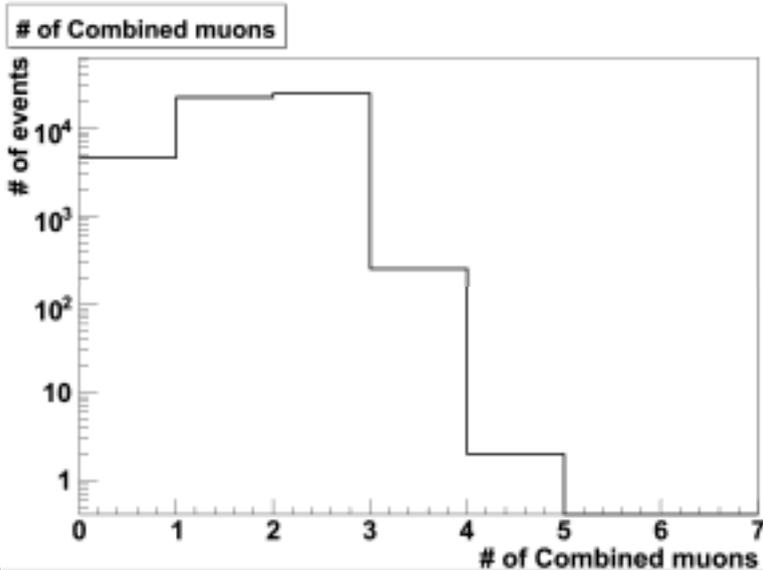
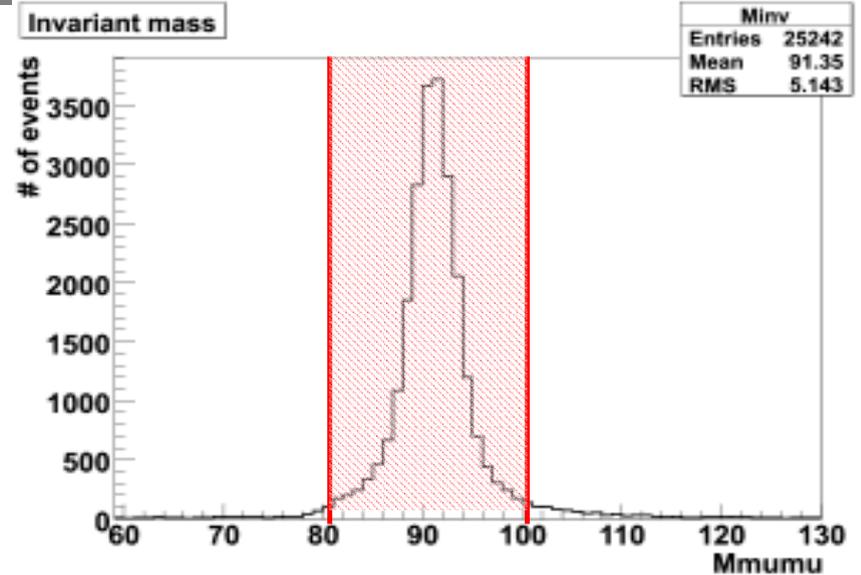
## Leg technique



- Step 1. MU20 muonを探す。(Endcap, Barrelを問わない。)
- Step 2. Zからのもう一方のミュオンを探す。
- Step 3. Trigger efficiency測定

# ミューオンの選別 (Step 2)

- 不変質量( $M_{\mu\mu}$ )を求める。
- $|M_z(91.19\text{GeV}) - M_{\mu\mu}| < 10\text{GeV}$   
→ Zの候補とする。  
→ Zの候補が2組以上  
⇒ **最も $M_z$ に近いもの**を採用。
- Zのreconstruction efficiencyは~50%
- Z候補が2つ以上: ~0.02%
- 全イベント中27%が使用可能。  
(Endcap)

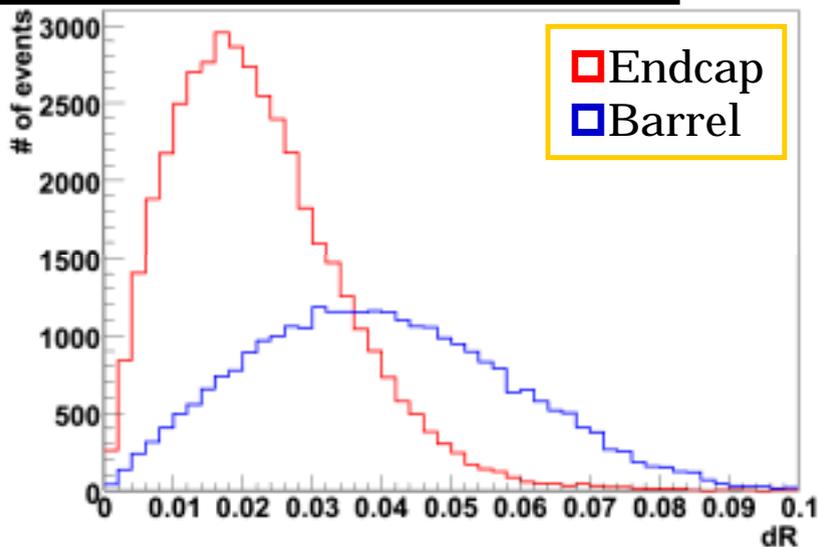


## Trigger judgment (Step 1&3)

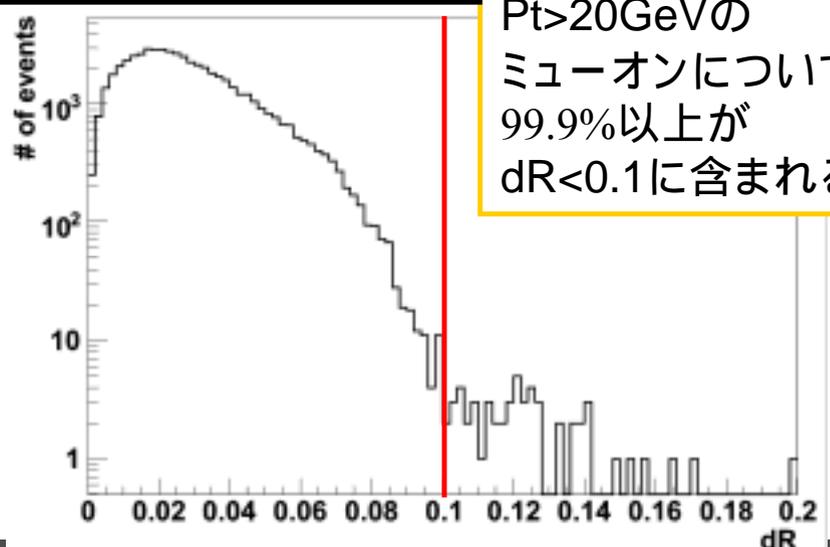
- dRを指標として、ROIとreconstructed muonのマッチングを取る。
  - $dR = \sqrt{d\eta^2 + d\phi^2}$  ( $d\eta = |\eta_{\text{rec}} - \eta_{\text{ROI}}|$ ,  $d\phi = |\phi_{\text{rec}} - \phi_{\text{ROI}}|$ )
  - \* Reconstructed muonの $\eta$ 、 $\phi$ はIPでの $(\eta, \phi)$ ベクトル。  
= ミューオンの飛跡が直線であるとしたときのEndcapでの $(\eta, \phi)$ 座標
  - \* LVL1 ROIの $\eta$ 、 $\phi$ はROIの中心の $(\eta, \phi)$ 座標

最も近いROIとのdRが0.1以下 Triggered muonとする。

dR (MU20 muon selection) (Step1)



dR (Pt > 20GeV) (Step3)



Pt>20GeVの  
ミューオンについては  
99.9%以上が  
dR<0.1に含まれる。

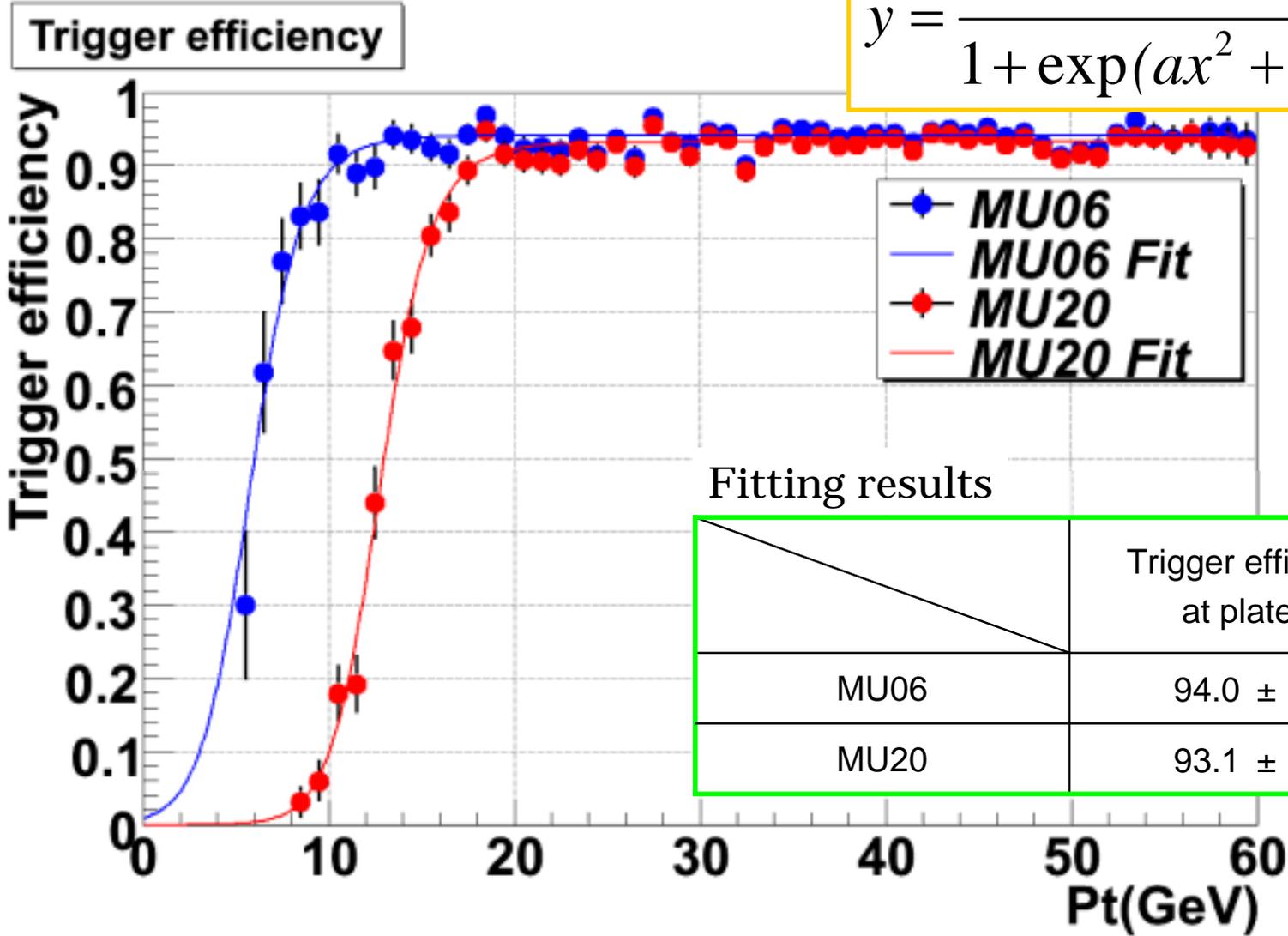
---

# Results

# Pt vs Trigger efficiency

## Fitting function

$$y = \frac{A}{1 + \exp(ax^2 + bx + c)}$$



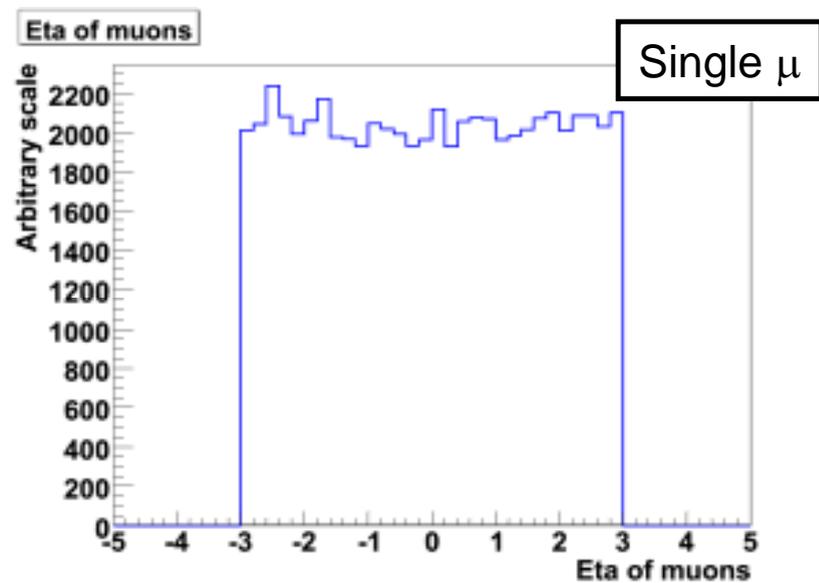
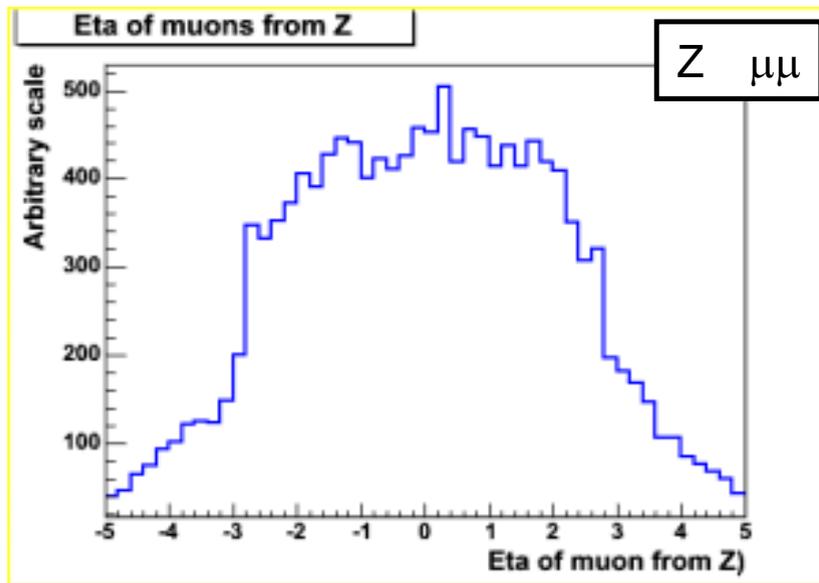
## Fitting results

(40pb<sup>-1</sup>)

	Trigger efficiency at plateau
MU06	94.0 ± 0.2
MU20	93.1 ± 0.2

# 測定方法の評価

- Single muon samples: 1イベントに唯1つのミュオン
  - ミュオンを選ぶときの不定性がない。
  - バイアスのかかっていないTrigger efficiencyを求められる。
  - **本研究でのTrigger efficiencyの測定方法の精度、バイアスの有無をチェック。**

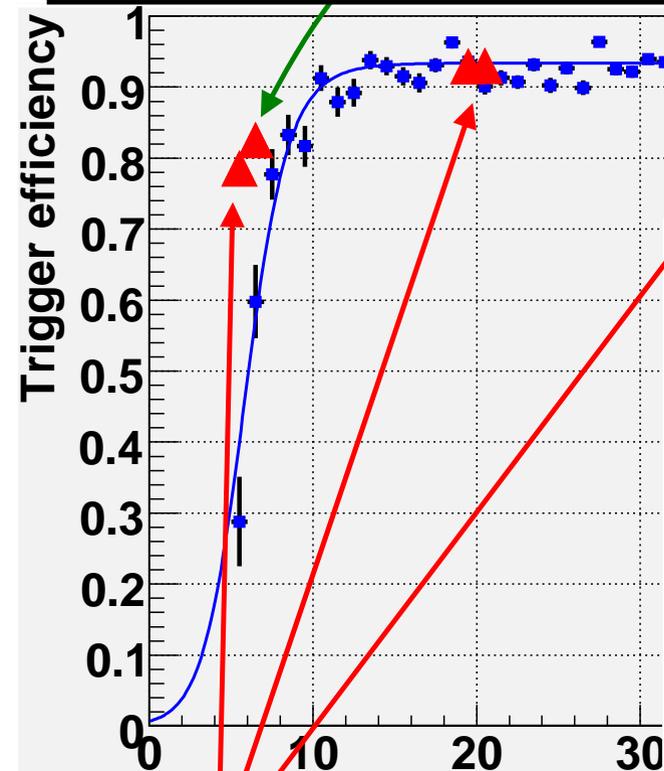


Z  $\mu\mu$ サンプルの結果をスケール    Eta分布の違いによる寄与を除去

# 比較結果

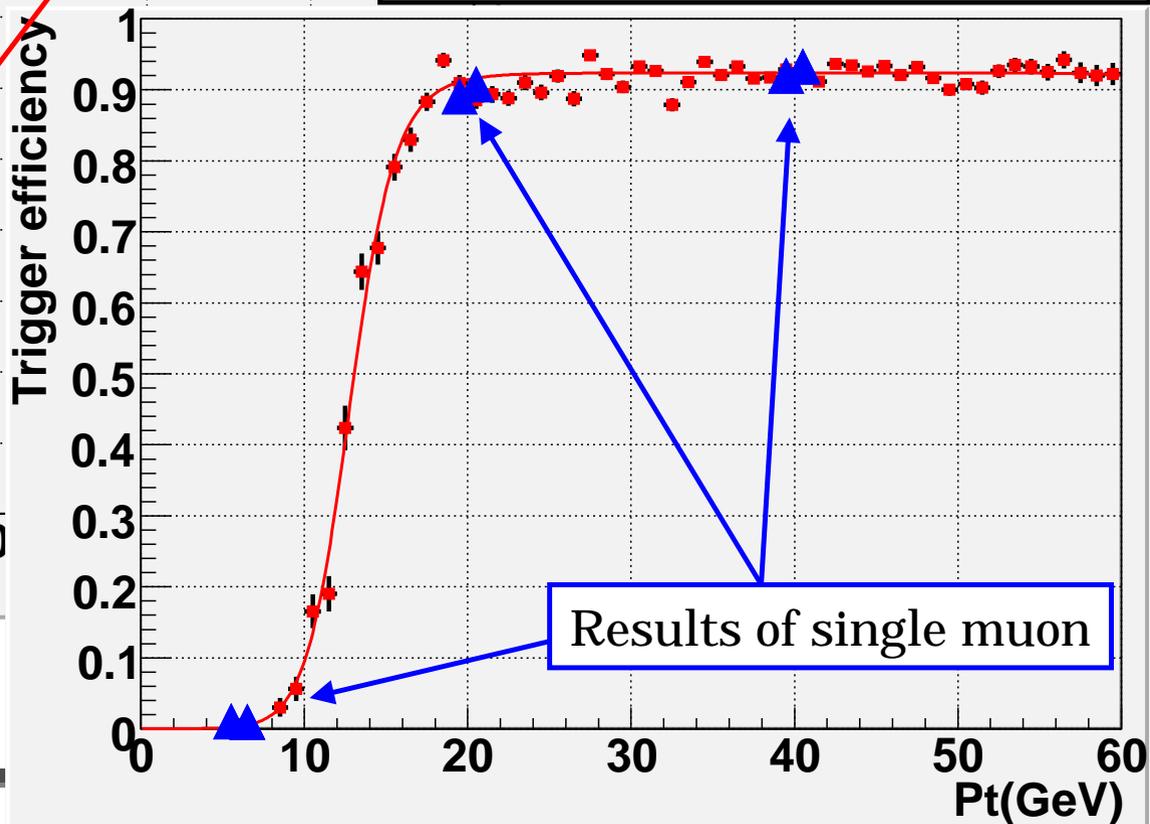
$dR=0.1$  low-Pt muonには十分でない。

### Pt vs Trigger efficiency for MU06



Results of single muon

### Pt vs Trigger efficiency for MU20



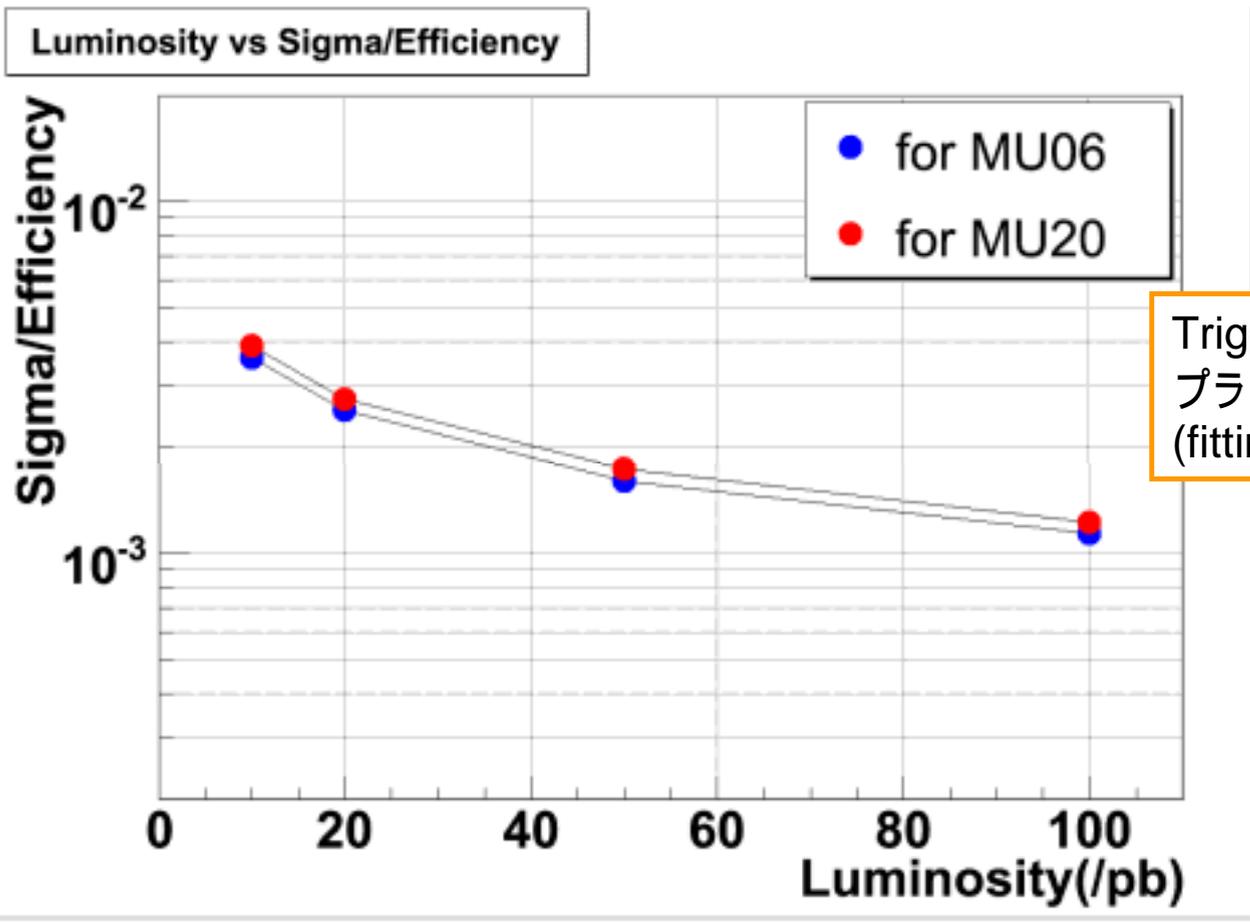
Results of single muon

## Summary table of the comparison

		20GeV	40GeV
MU06	Z $\mu\mu$	$92.8 \pm 0.7$ (%)	$94.4 \pm 0.4$
	Single $\mu$	$93.0 \pm 0.4$	$94.1 \pm 0.4$
MU20	Z $\mu\mu$	$90.8 \pm 0.8$	$93.8 \pm 0.4$
	Single $\mu$	$90.6 \pm 0.4$	$93.2 \pm 0.4$

Z  $\mu\mu$  sampleとSingle muon samplesの結果は誤差の範囲で一致。  
本研究での測定方法にバイアスがないことを確認。

# Luminosity vs Sigma/Efficiency



Trigger efficiency curveの  
プラトー部分について計算。  
(fittingのエラー)

40pb<sup>-1</sup>の計算結果を  
スケールして計算

MU06、MU20ともに、100pb<sup>-1</sup>でO(10<sup>-3</sup>)の精度でTrigger efficiencyを計算できる。

### まとめ

- $Z \mu\mu$  サンプルを用いて、ATLAS LVL1 Muon Trigger efficiencyを測定した。  
High-Ptのミュオンについては、
  - 測定結果はSingle muonサンプルを用いた結果と誤差の範囲で一致。
  - 今回の方法で、 $100\text{pb}^{-1}$ でTrigger efficiencyを $\sim 0.1\%$ の精度で求められる。

### 今後

- Low-Ptのミュオンについて
  - $Z \mu\mu$ では統計量不足 & Trigger判定方法の改善が必要
  - $J/\psi \mu\mu$  サンプル + 異なるTrigger判定方法で研究(次のトーク)
    - その結果と合わせ、全Pt領域に対するTrigger efficiencyの測定方法を確立する。
- バックグラウンドの評価
  - 測定に使うイベント及びミュオンの選定方法の最適化