

---

# LHC 実験における トップクォーク対生成断面積測定

名古屋大学  
高エネルギー物理学 (N) 研究室

博士課程二年  
奥村恭幸

---

# トップクォーク対生成断面積測定 @ LHC

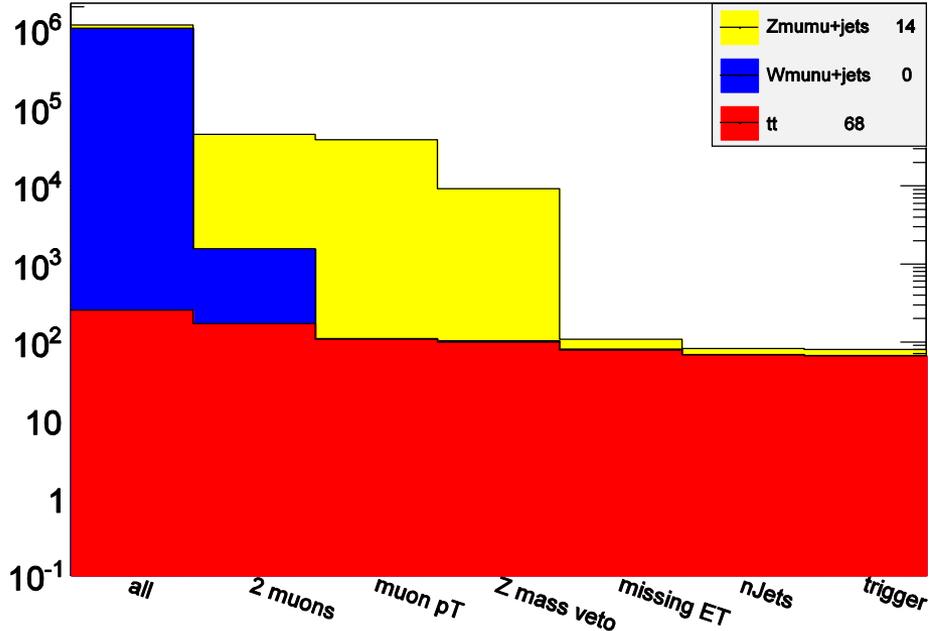
- 7 TeV (14 TeV) での生成断面積測定
  - 標準模型 (QCD) のよいテスト.
  - Higgs, BSM事象の大きな背景事象.
    - 高い横運動量のレプトン
    - Missing ET
    - B-jets
- $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$  での生成・測定数の見積もり
  - $\sigma_{tt} = 200 \text{ pb}$ ,  $\text{BR}(\mu\mu) = 1.2\%$ ,  $\varepsilon_{\text{selection}} = 30\%$
  - $\sim 7 \text{ events} / 10\text{pb}^{-1} \rightarrow$  **700 events** /  $1000\text{pb}^{-1}$

実験初期において測定可能かつ重要な物理量



# 事象選別と信号の有意さ

top\_event\_selection\_ZmumuNp0



## 信号の事象選別

### – 2本ミュー粒子を要求

- 異符号
- 高横運動量
- 他の粒子と随伴しない

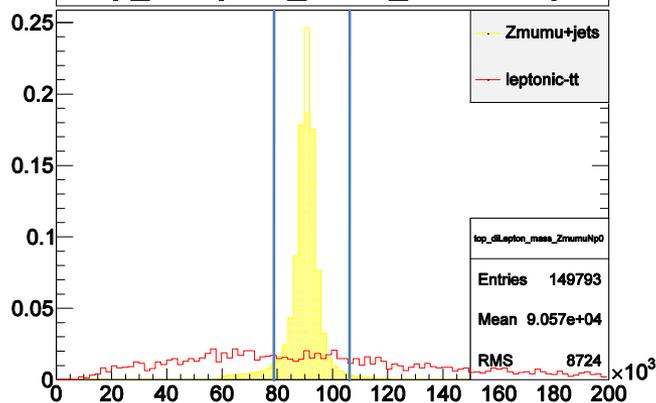
### – Z+jets 事象を除く

- Z mass veto
- 大きな Missing ET を要求

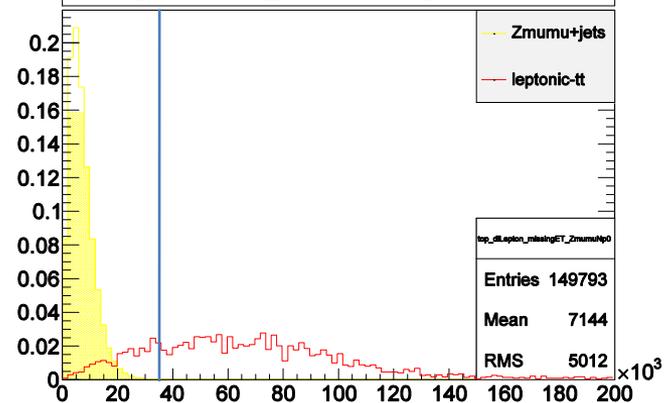
## S/N > 5

- $\delta S < 10\%$  で十分有意に信号が検出可能.

top\_diLepton\_mass\_ZmumuNp0



top\_diLepton\_missingET\_ZmumuNp0



# 断面積測定の手法

$\Delta\sigma/\sigma$ (%)	$\mu\mu$ channel
Stat only	-6.0 / 6.2
<b>Luminosity</b>	<b>-17.4 / 26.2</b>
Electron Efficiency	0.0 / 0.0
Muon Efficiency	-4.6 / 5.2
Lepton Energy Scale	-2.4 / 2.0
Jet Energy Scale	-3.0 / 4.5
PDF	-1.4 / 1.6
ISR FSR	-3.6 / 3.7
Signal Generator	-4.6 / 5.4
Cross-Sections	-0.3 / 0.3
Drell Yan	-2.2 / 2.2
Fake Rate	-1.1 / 1.1
All syst but Luminosity	-8.9 / 10.2
All systematics	-19.3 / 28.3
Stat + Syst	-20.2 / 29.0

シミュレーション研究による結果.

( $200\text{pb}^{-1}$  @ 10 TeV を想定)

ATL-PHYS-INT-2009-066 より転載

## 断面積測定

$$\sigma_{tt \times BR(\mu\mu)} = \frac{N_{\text{measured}} - N_{\text{background}}}{\mathcal{L} \times \epsilon_{\text{selection}}}$$

- 選別条件を通過する事象数
- ルミノシティ
- 信号選別効率
- 背景事象数

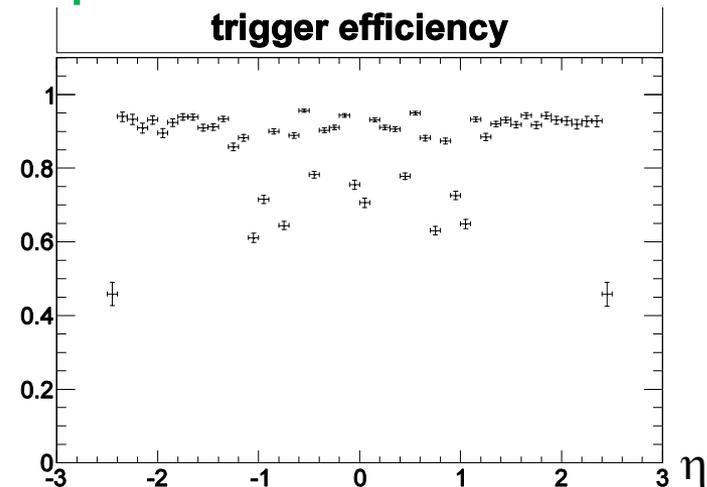
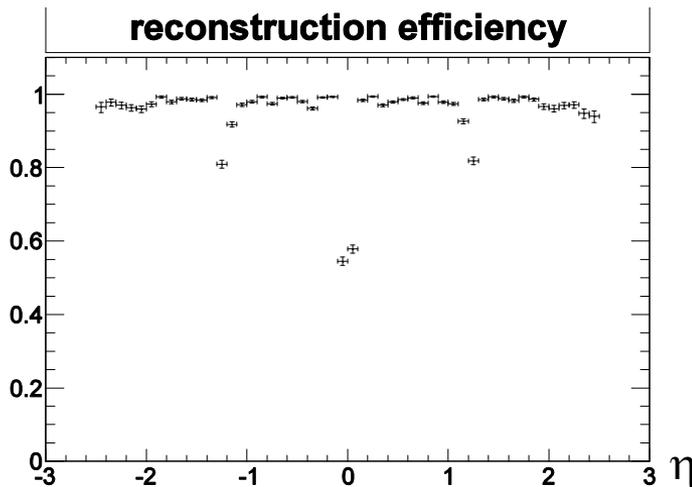
## 選別効率測定

- 実験データを用いて評価 (実機を把握する)
  - ミュー粒子の同定効率
  - ミュー粒子のトリガー効率

# 選別効率測定のためのテクニック

## • $Z \rightarrow \mu\mu$ をコントロールサンプルとした評価

- $\sigma_{Z \rightarrow \mu\mu} = 960 \text{ pb}$
- 6000 サンプルトラック /  $10 \text{ pb}^{-1}$



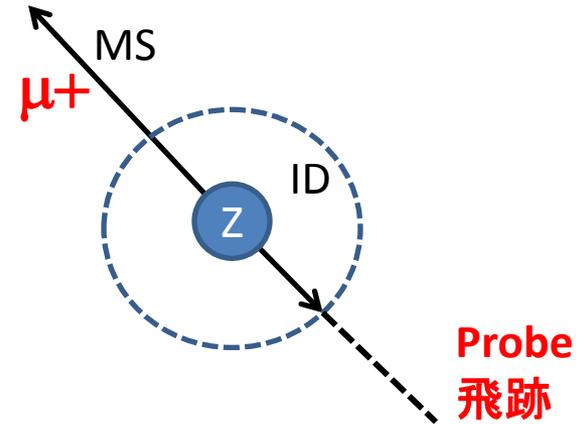
- ミューオン ID 効率 ( $\eta, \phi, pT$ )
- ミューオントリガー効率 ( $\eta, \phi$ , ただし  $pT > 20 \text{ GeV}$ )

ミューオンの効率を ( $\eta, \phi, pT$ ) の関数として評価し  
トックォーク対生成事象の位相空間に外挿

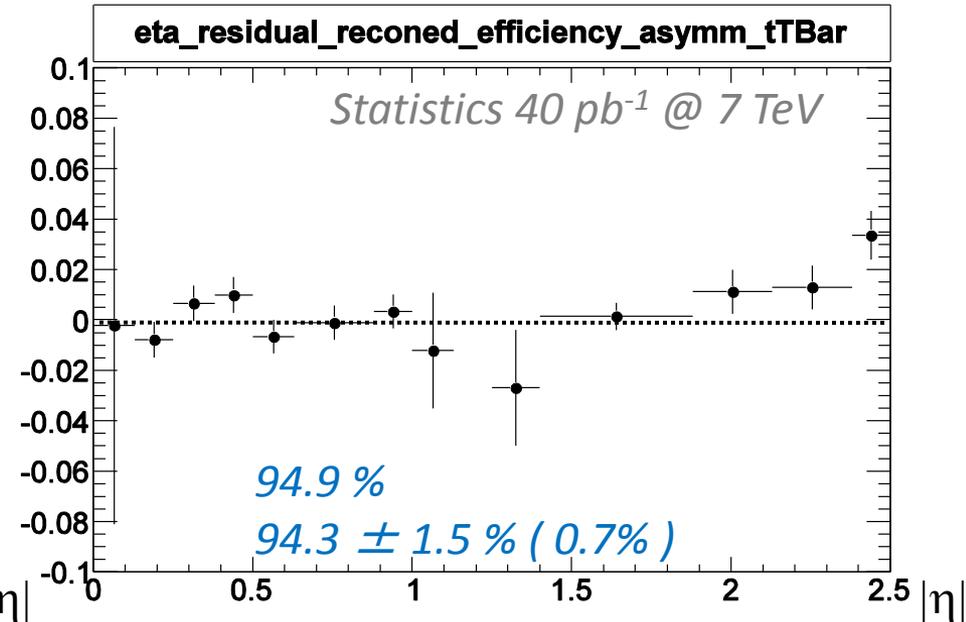
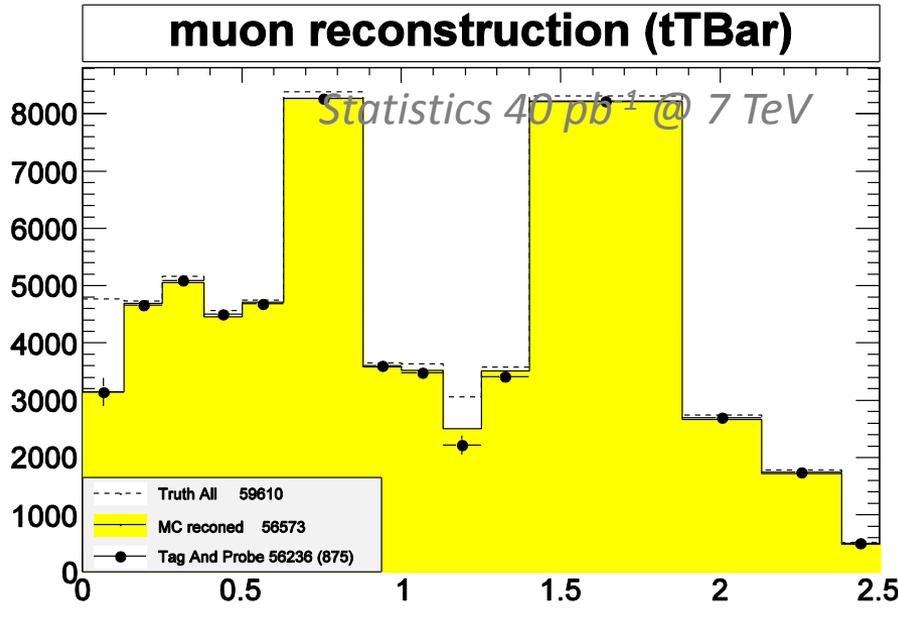
# ミュー粒子同定効率の測定

## 事象選別

- $Z \rightarrow \mu\mu$  を、片方ミュー粒子 ID 無しで選別する。  
(評価に用いる)
  - 高横運動量ミュー粒子 (A)
  - (A) と異符号、 $p_T > 20$  GeV 以上、他の粒子と随伴しない荷電粒子飛跡が一本 (B)
  - (A) と (B) の不変質量が Z 質量  $\pm 5$  GeV/c<sup>2</sup>
- 背景事象は 0.1 % 以下.



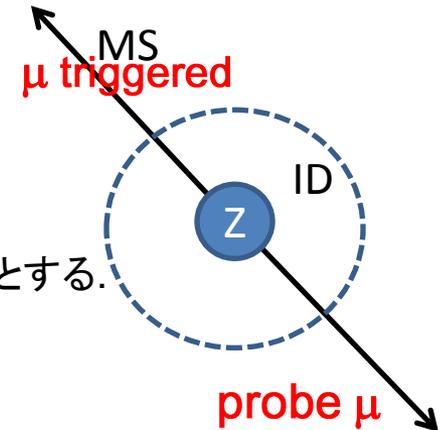
## $P(\text{ミューオンID} \mid \text{飛跡再構成 且つ 他の粒子と随伴しない})$



# トリガー効率の測定

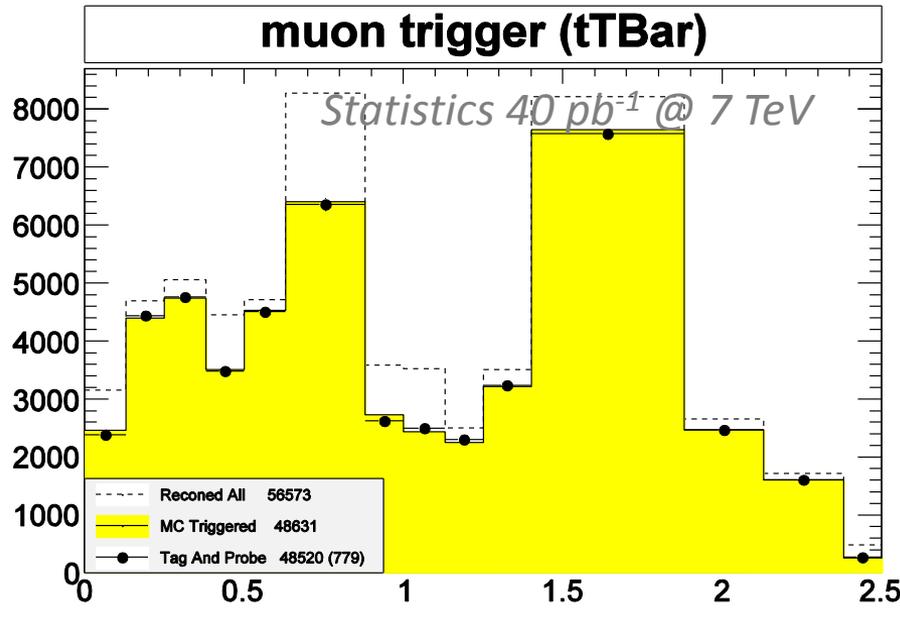
## 事象選別

- $Z \rightarrow \mu\mu$  を、片方ミュオン粒子 ID 無しで選別する。  
(評価に用いる)
  - 2 本の高横運動量ミュオン粒子 (A), (B)
  - (A) と (B) の不変質量が  $Z$  質量  $\pm 5 \text{ GeV}/c^2$
  - (A) がトリガー条件をパスしていることを確認した上で、(B) をプローブとする。
- 背景事象は 0.3 % 以下

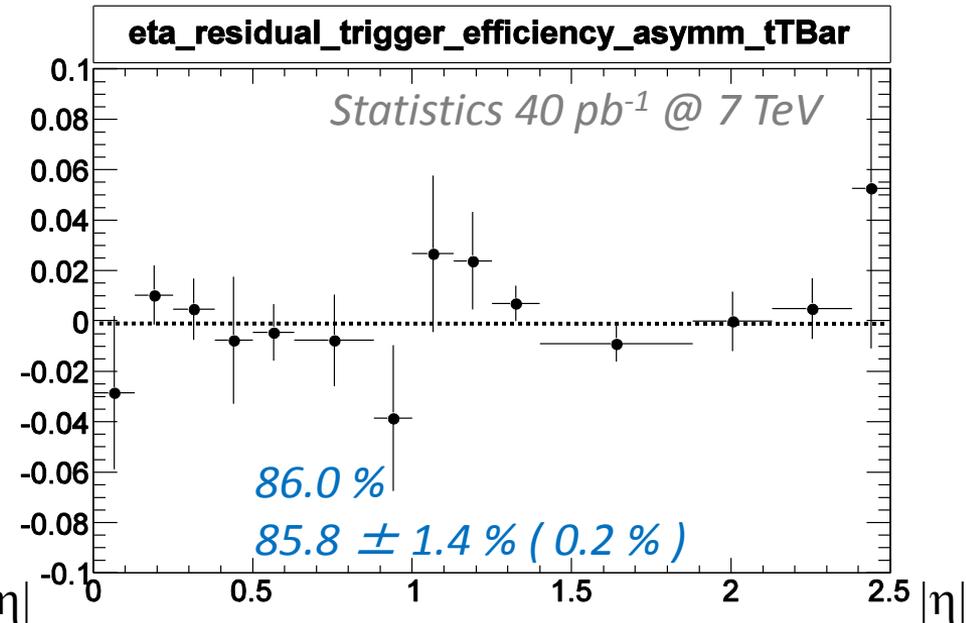


## $P(\text{ミュオントリガー} | \text{ミュオン ID})$

muon trigger (tTBar)



eta\_residual\_trigger\_efficiency\_asymm\_tTBar



# 事象選別効率の評価

## ダイミュオン事象の事象選別 (ミュオン)

- シングルミュオントリガー条件を満たす.

$$1$$

$$\frac{1}{1 - (1 - \epsilon_{\text{plus}}) \times (1 - \epsilon_{\text{minus}})}$$

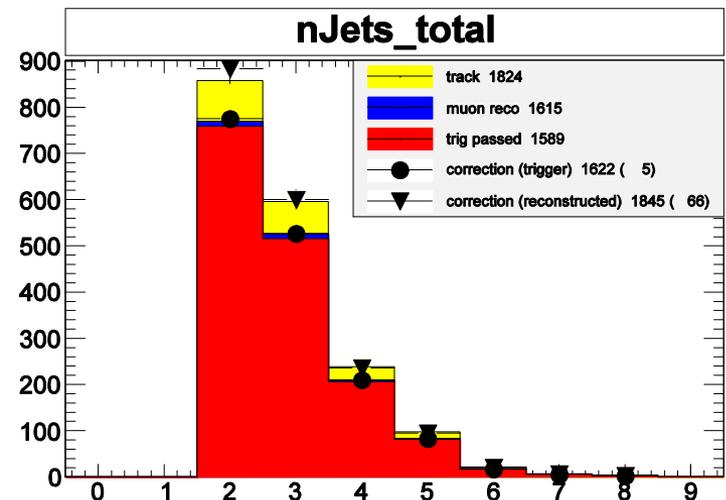
- 二本のミュオン粒子が高運動量で再構成される.

$$1$$

$$\frac{1}{\epsilon_{\text{plus}} \times \epsilon_{\text{minus}}}$$

## 選別効率に対する事象数補正

- イベント毎で補正ファクターを計算.
- 3.6 % の精度で一致 (1.1%)



# 生成断面積測定の方針

$\Delta\sigma/\sigma$ (%)	$\mu\mu$ channel
Stat only	-6.0 / 6.2
<b>Luminosity</b>	<b>-17.4 / 26.2</b>
Electron Efficiency	0.0 / 0.0
Muon Efficiency	-4.6 / 5.2
Lepton Energy Scale	-2.4 / 2.0
Jet Energy Scale	-3.0 / 4.5
PDF	-1.4 / 1.6
ISR FSR	-3.6 / 3.7
Signal Generator	-4.6 / 5.4
Cross-Sections	-0.3 / 0.3
Drell Yan	-2.2 / 2.2
Fake Rate	-1.1 / 1.1
All syst but Luminosity	-8.9 / 10.2
All systematics	-19.3 / 28.3
Stat + Syst	-20.2 / 29.0

シミュレーション研究による結果.

( $200\text{pb}^{-1}$  @ 10 TeV を想定)

ATL-PHYS-INT-2009-066 より転載

## ルミノシティ

– pp の非弾性散乱数

- $\delta \sigma_{\text{inelastic}}$

## 選別効率

– Muon ID / Trigger (Data)

– Jet Energy Scale (Data & MC)

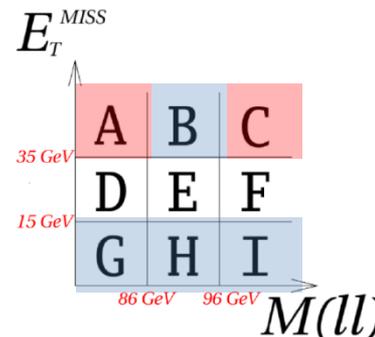
– Lepton Energy Scale (Data & MC)

– Missing ET (Data & MC)

- JES,  $\delta$  (JES),  $\delta$  (LES), LES より  $\delta$  (Missing ET) を評価. (Data)

## 背景事象

– Drell-Yan (Data & MC)



$$A_{\text{Est}} = G_{\text{Data}} \frac{A_{\text{MC}}}{G_{\text{MC}}} \frac{\frac{B_{\text{Data}}}{H_{\text{Data}}}}{\frac{B_{\text{MC}}}{H_{\text{MC}}}}$$

• Drell-Yan のコントロールサンプルより信号領域の数を評価

• MC によるファクター倍

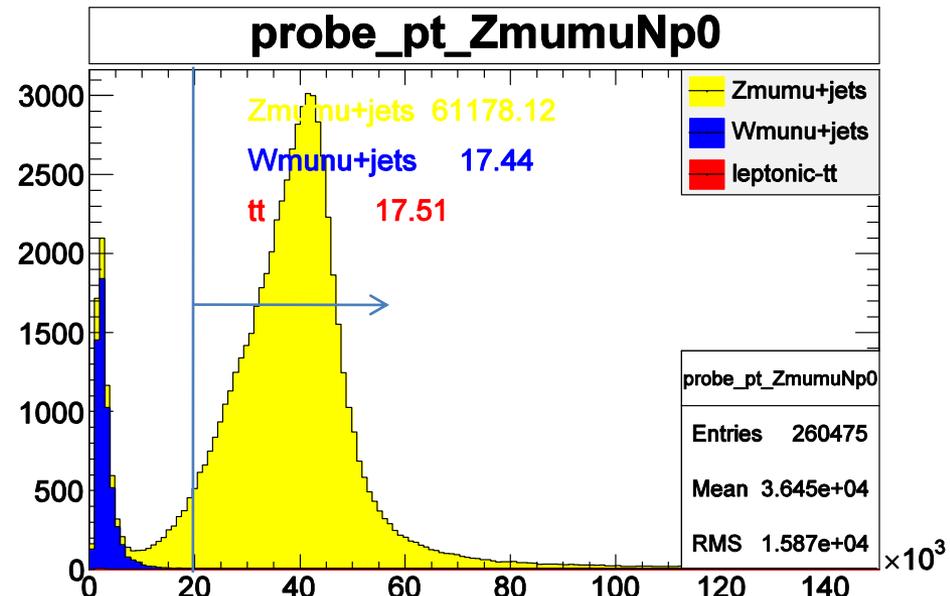
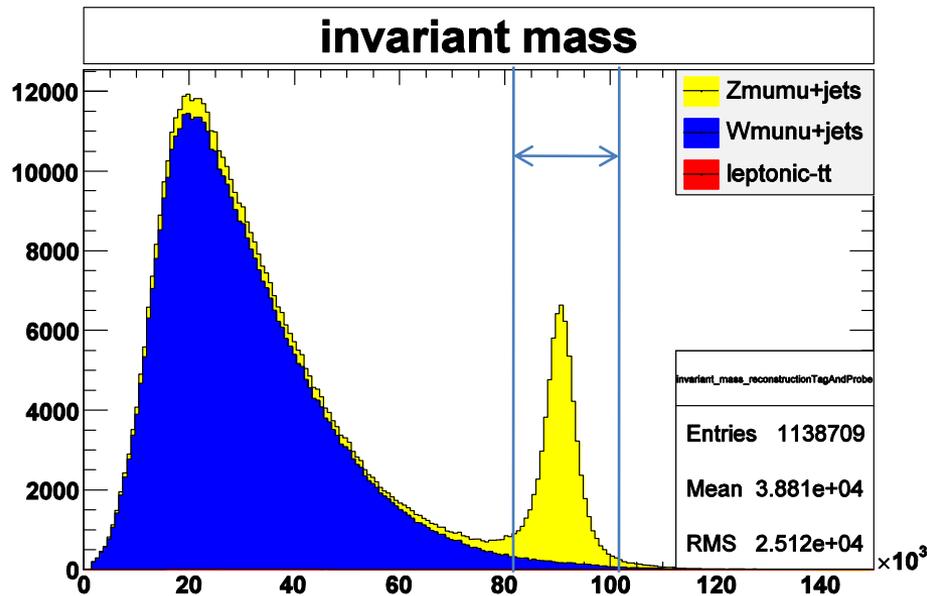
• Data / MC の補正ファクター

# まとめ

- トップクォーク対生成断面積の測定
  - 実験初期において重要かつ測定可能な(\*)物理量
    - (\*) 7 events / 10 pb<sup>-1</sup>
  - 検出器の理解が決定的に大事
- 選別効率の理解
  - Z → μμ サンプルを使った技術で、初期の実験データ (40 pb<sup>-1</sup> @ 7 TeV) から評価可能.
    - ミュー粒子トリガー効率 **1.3 %**
    - ミュー粒子再構成効率 **1.4 %**
    - ダイミュオン事象選別効率の補正項 **3.6 %**
- 衝突データ蓄積開始後のスケジュール
  - Z → μμ サンプルを用いた実機評価. (600 サンプル / 10 pb<sup>-1</sup>)
  - Re-discovery @ CERN (~ 40 pb<sup>-1</sup>)
  - 生成断面積の精密測定 (~ 400 pb<sup>-1</sup>)

# Statistics & Background contamination

- Statistics of probe tracks
  - 61200 isolated probe tracks / 100pb<sup>-1</sup>
- Background contamination
  - Probe tracks with  $p_T > 20$  GeV is taken into account.
  - W+jets                    0.028%
  - Tt                            0.029%
  - QCD BG                    not yet studies.



# Statistics & Background contamination

- Statistics of probe tracks.
  - 700 isolated probe muons / pb<sup>-1</sup>  
(No pT cut applied to probe track. (\*) )
    - (\*) 660 isolated probe muons / pb<sup>-1</sup> ( pT > 20 GeV)
- Physics process contribution.
  - Z+jets                    99.7%
  - W+jets                    0.1%
  - tt                         0.2%

