

---

# LHC-ATLAS 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

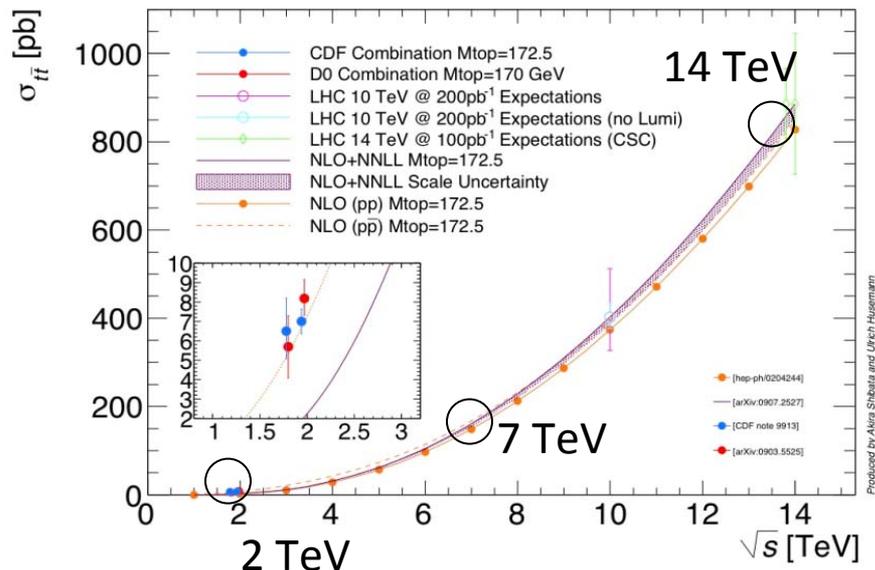
奥村恭幸

戸本誠, LHC-ATLAS top quark WG

---

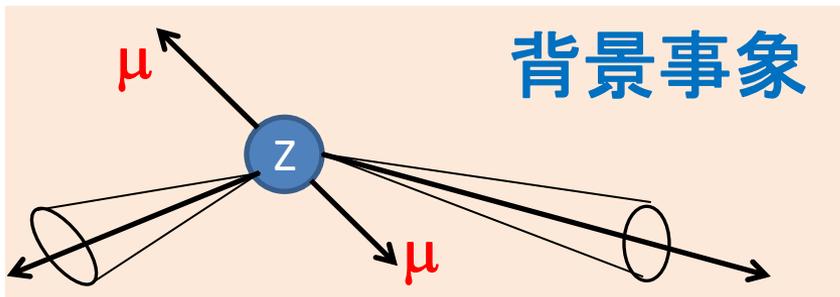
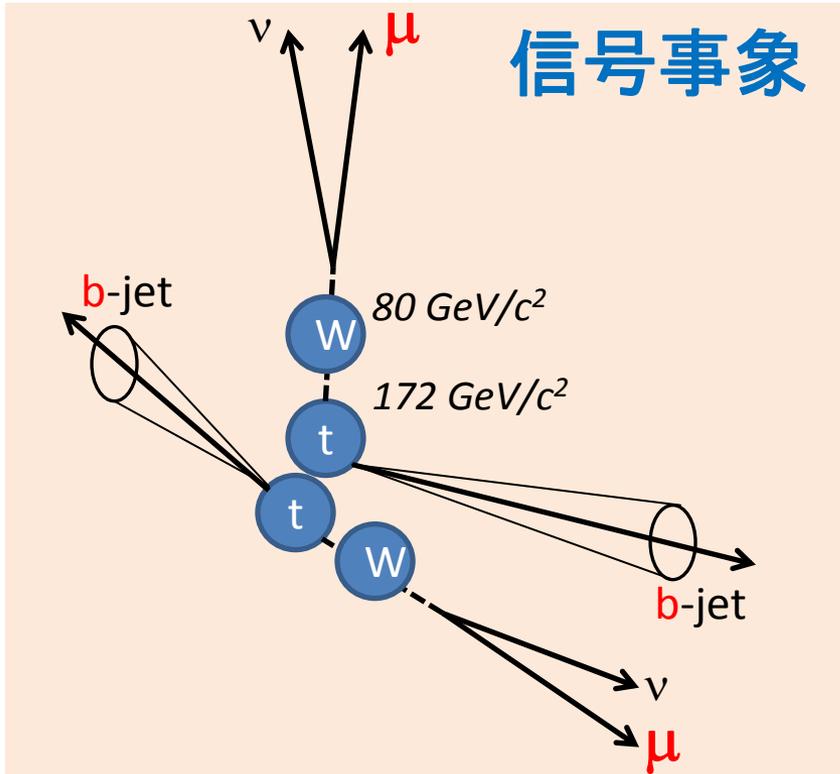
# トップクォーク対生成断面積測定 @ LHC

- LHC実験でのトップクォーク対生成断面積測定
  - 7 TeV 領域での初の標準理論の精密検証
    - 断面積 ~ Tevatron x 25
  - ATLAS 検出器の top quark 同定能力の精密な理解
    - Higgs 粒子/ SUSY 粒子探索の背景事象
    - ttH 過程を用いた湯河結合定数の測定



LHC のスタートアップ  
において重要な測定量

# ダイミュオン終状態の信号の特徴



- ダイミュオンチャンネル
  - 2本のミュオン飛跡
  - $\sigma_{tt} \times \text{BR}(\mu\mu) = 2 \text{ pb}^{-1}$ ,  $\epsilon_{\text{selection}} = 30\%$
  - **→ 70 事象 / 100 pb<sup>-1</sup> (2010年)**
- 主な背景事象
  - $Z(\rightarrow \mu\mu) + \text{jets}$
- 事象選別
  - ミュオントリガー
  - イベントセレクション
    - 2本の異符号のミュオン粒子検出
      - 2 muons with  $p_T > 20 \text{ GeV}/c^2$ , isolated
    - 2本の high- $p_T$  ジェット
      - 2 jets with  $p_T > 20 \text{ GeV}/c$
    - $\nu$ に伴う横エネルギーのアンバランス
      - Missing ET  $> 35 \text{ GeV}$
    - $M_{\mu\mu}$  が  $M_Z$  (91 GeV)を組まない
      - $M_{\mu\mu} < 86 \text{ GeV}$ ,  $96 \text{ GeV} < M_{\mu\mu}$

# 断面積測定と選別効率測定

## 断面積測定

$$\sigma_{tt \times BR(\mu\mu)} = \frac{N_{\text{measured}} - N_{\text{background}}}{\epsilon_{\text{selection}}} \times \frac{1}{\mathcal{L}}$$

– 検出事象数, 背景事象数, 選別効率, ルミノシティ

## 選別効率

1. 信号事象がミュオントリガー条件を満たす確率 ( $\epsilon_{\text{trigger}}$ )
2. 2本のミュオンがともにミュオンとして検出 (muon-ID) される確率 ( $\epsilon_{2\text{muons}}$ )
3. Jetの本数/Missing ET/ di-muon mass の選別条件を満たす確率 ( $\epsilon_{\text{cut}}$ )
4. 検出器のアクセプタンス ( $\epsilon_{\text{acceptance}}$ )

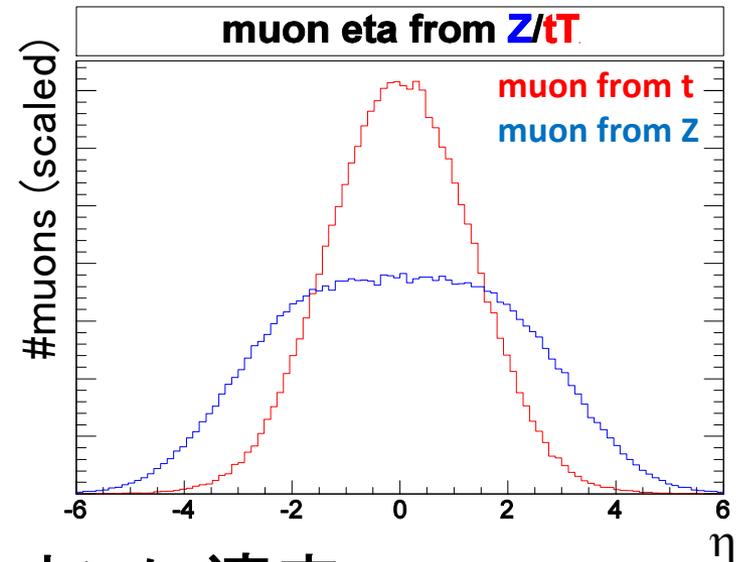
実験初期の段階でミュオン粒子検出器の特性を理解し  
選別効率を正確に評価して断面積の測定を行う

# ミュー粒子の ID/Trigger の効率の評価

## 選別効率の測定手法

### 1. 単独のミュー粒子の muon-ID / Trigger 効率を測定

- $Z \rightarrow \mu\mu$  (\*) をサンプルとして使用
  - 高い  $p_T$  のミューオンを含む
  - 6000 サンプルトラック /  $10\text{pb}^{-1}$
- $(\eta, \phi)$  の関数として測定し  
Look up table を作成



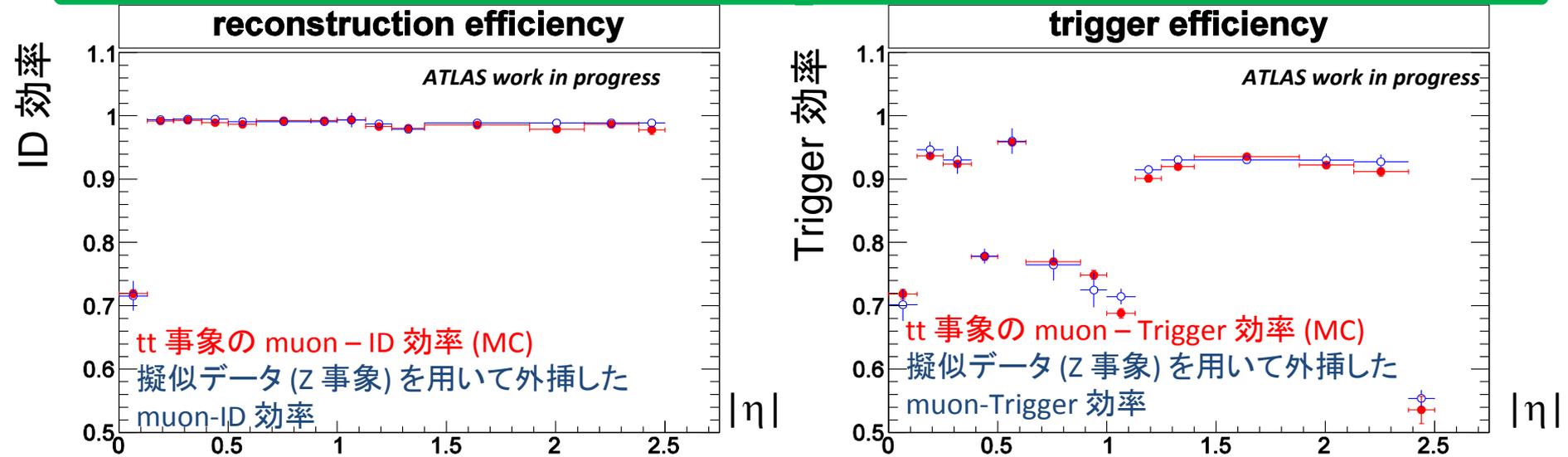
### 2. トップクォークに由来するミューオンに適応.

### 3. ダイミュオン事象の選別効率 ( $\epsilon_{\text{trigger}}$ , $\epsilon_{2\text{muons}}$ ) を評価

## Simulation Data を用いた手法の検証

- 擬似データとして  $40\text{pb}^{-1}$  の Z+jets の MC シミュレーションデータ (\*) を用いる.
  - (\*) サンプルトラック選別による Z 事象の純度は 99 % 以上.
- tt 事象の位相空間に外挿し、tt 事象の MC と比較.

# ID 効率 / Trigger 効率の評価



## • tt 事象の位相空間 ( $\eta, \phi$ ) に適応

– 統計誤差(\*)の精度以内で評価が可能

- (\*)  $Z \rightarrow \mu\mu$  のサンプルトラック数による.

– 1本のミュー粒子飛跡に対する効率が評価可能.

- ミュー粒子 ID 効率の評価精度 **0.5 %**
- ミュー粒子 Trigger 効率の評価精度 **1.3 %**

実験初期の統計量 ( $40\text{pb}^{-1}$ ) で ID・Trigger 効率を tt 事象に外挿可能

# 事象選別効率の評価

- ダイミュオン事象に Look up table を適応

- 少なくともどちらか一方のミュオンがミュオントリガー条件を満たす.

$$\epsilon_{\text{trigger}} = 1 - (1 - \epsilon_{\text{trigger}}(\eta_1, \phi_1)) \times (1 - \epsilon_{\text{trigger}}(\eta_2, \phi_2))$$

- 二本の高運動量ミュオン粒子が検出される.

$$\epsilon_{2\text{muons}} = \epsilon_{\text{ID}}(\eta_1, \phi_1) \times \epsilon_{\text{ID}}(\eta_2, \phi_2)$$

- 選別効率のデータを用いた評価

- $\epsilon_{\text{trigger}} \times \epsilon_{2\text{muons}} = 91.7 \pm 1.0\%.$  (91.1%)

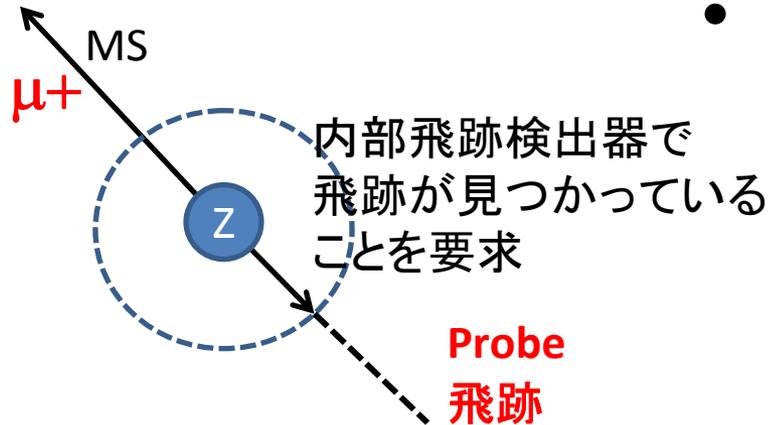
40pb<sup>-1</sup> の統計量を用いてダイミュオン事象選別の

$\epsilon_{\text{trigger}} \times \epsilon_{2\text{muons}}$  は実データから評価が可能

# まとめ

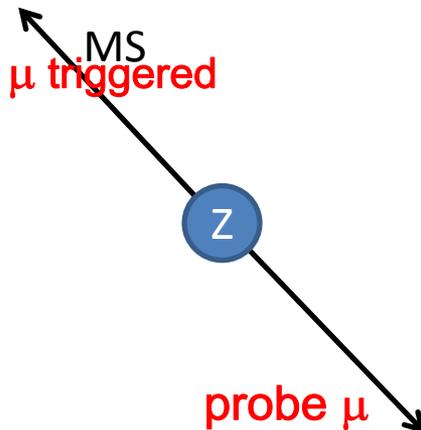
- トップクォーク対生成断面積
  - 実験初期において重要かつ測定可能な(\*)物理量
    - (\*) 70 事象観測 / 100 pb<sup>-1</sup>
  - 7 TeV 領域における初の標準模型の精密検証
- ミュオン粒子検出器を理解し選別効率を評価する手法の確立
  - トップクォーク由来のミュオンID 効率・ミュオン Trigger 効率を見積もる手法を確立.
  - MC シミュレーションサンプルを使い、実験初期の統計量 (40 pb<sup>-1</sup>) から 1.0% の精度で評価可能であることを確認.
    - ミュオン粒子トリガー効率 1.3 %
    - ミュオン粒子 ID 効率 0.5 %
    - ダイミュオン事象選別効率 1.0 %
- 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. (6000サンプル / 10 pb<sup>-1</sup>)
  - Re-discovery @ CERN (~ 40 pb<sup>-1</sup>)
  - 生成断面積の測定 (~ 100 pb<sup>-1</sup>)

# 効率測定テクニック



## • Muon 検出効率の測定

- 一本のミュオン粒子飛跡
- 異符号の荷電粒子飛跡.  
( $p_T > 20$  GeV, isolated)
- 不変質量が Z mass を与える
- Charged track が muon として検出されているか？



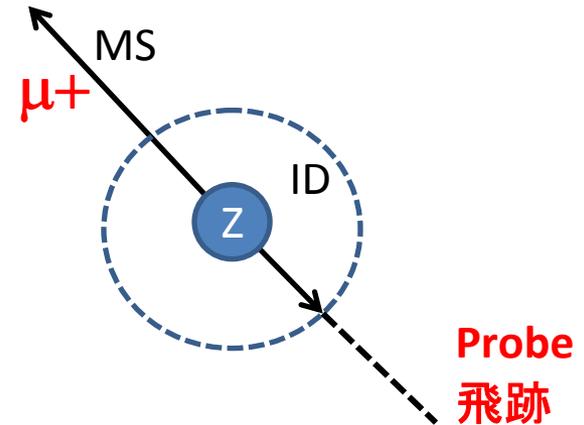
## • Muon 検出効率の測定

- 二本の異符号ミュオン粒子飛跡  
(伴に  $p_T > 20$  GeV, isolated)
- 片方がミュオントリガー条件を満たすことを要求.
- もう片方の muon ミュオントリガー条件を満たすか？

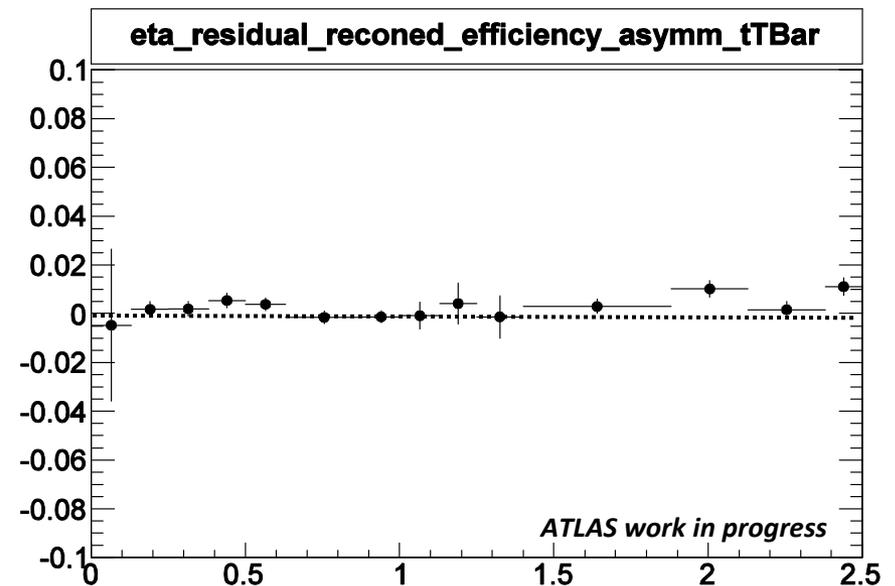
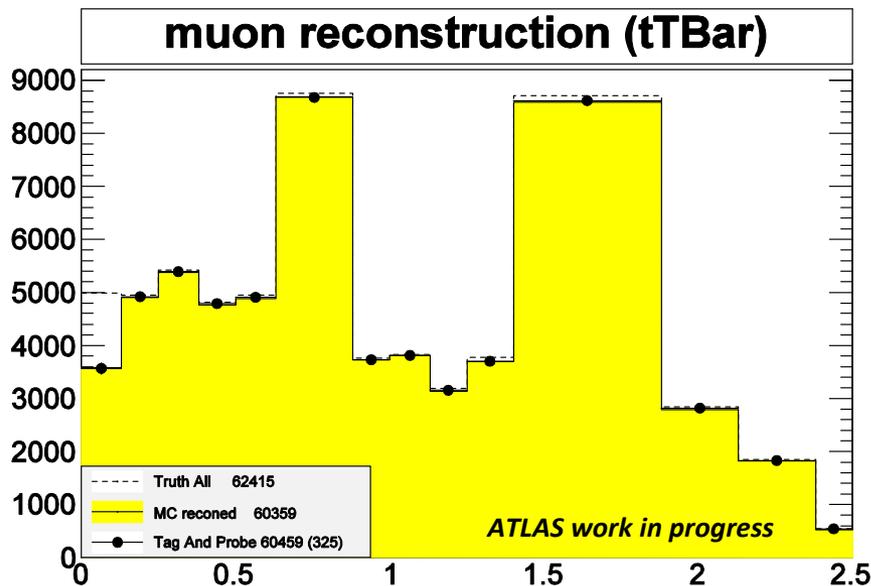
# ミュー粒子 ID 効率の測定

## 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.



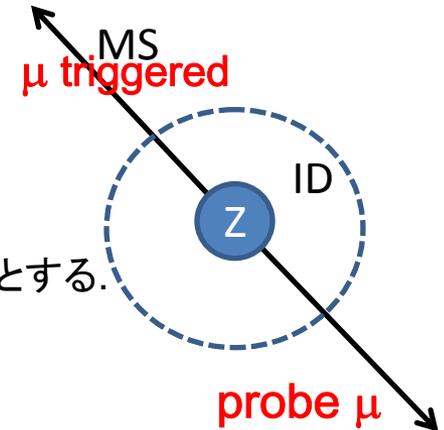
## $P(\text{ミューオンID} \mid \text{飛跡再構成 且つ 他の粒子と随伴しない})$



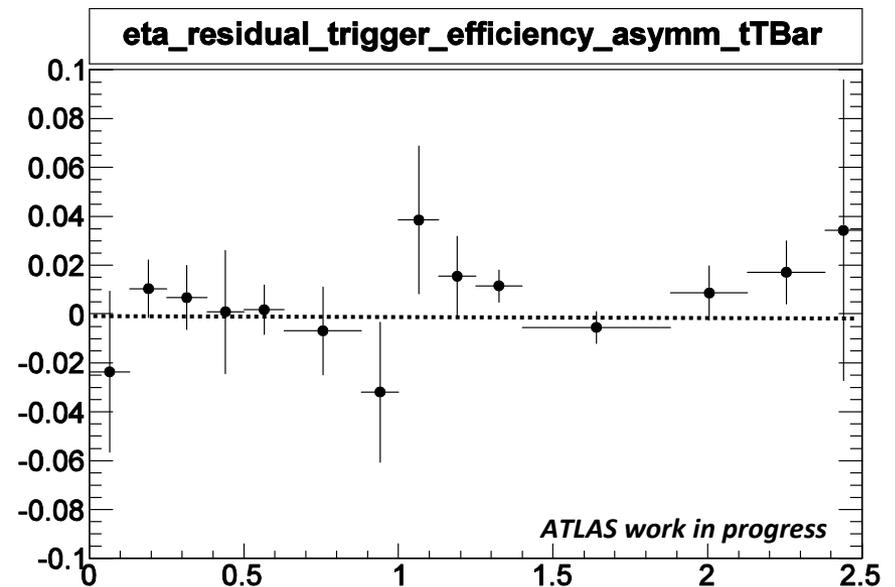
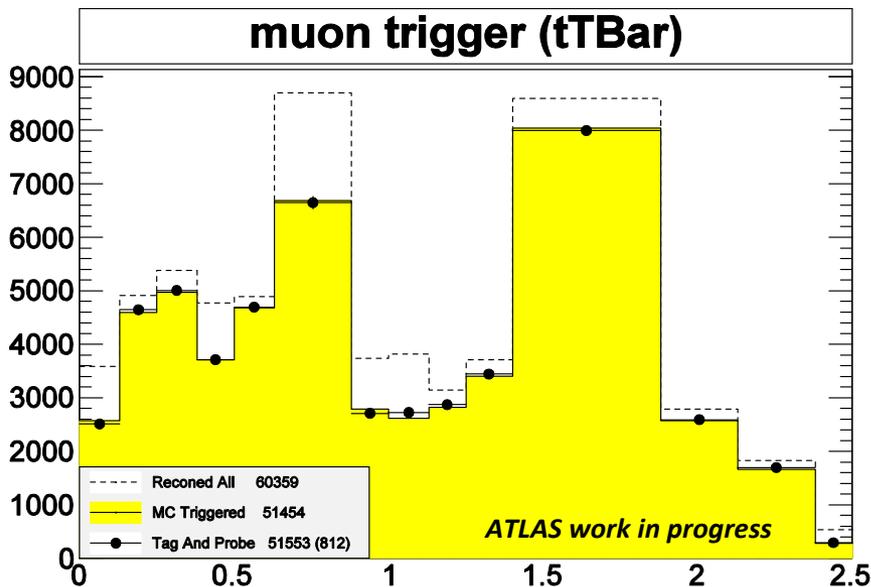
# トリガー効率の測定

## 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  $> 81 \text{ GeV}/c^2$  以上
  - (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



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



# 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)

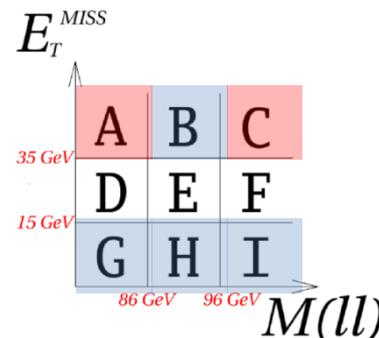
– Lepton Energy Scale (Data & MC)

– 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)



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

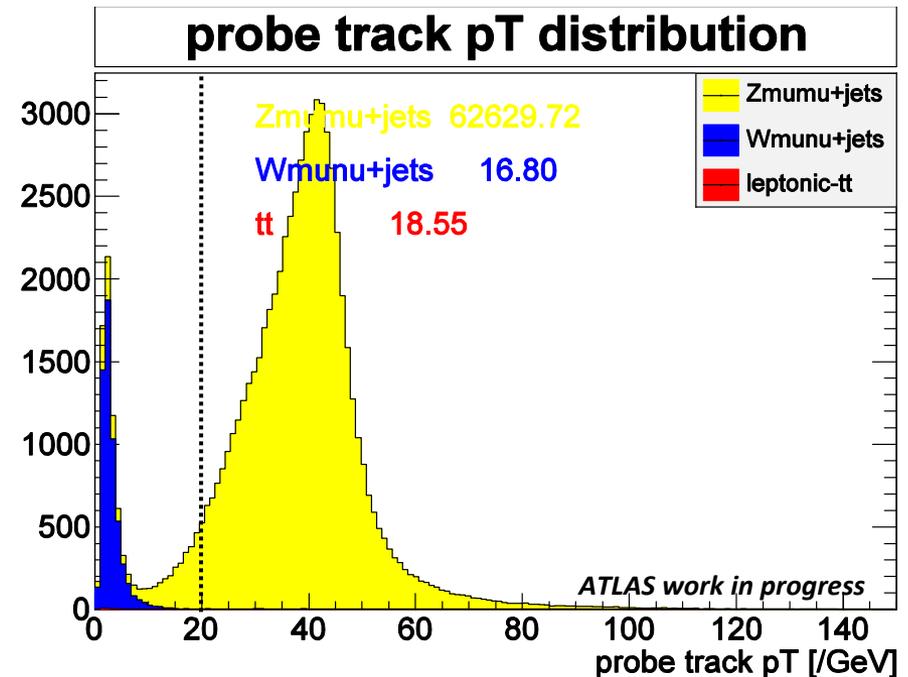
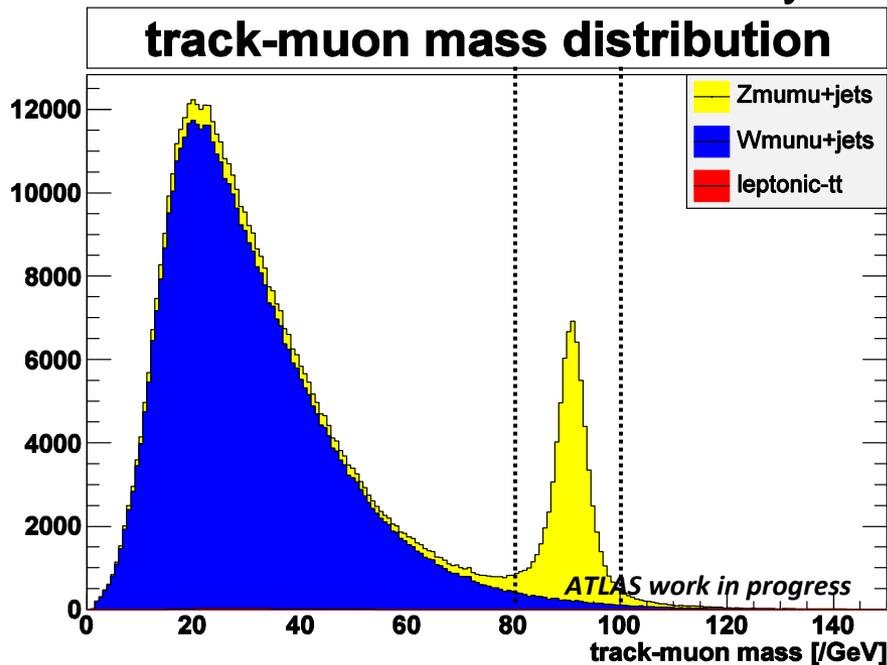
• Drell-Yan のコントロールサンプルより信号領域の数を評価

• MC によるファクター倍

• Data / MC の補正ファクター

# 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 studied.



# 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%

