

# LHC-ATLAS実験における高い質量を持つミュオン対生成事象の探索

所属: 東大理、高工研<sup>A</sup>

道前 武、徳宿克夫<sup>A</sup>、長野邦浩<sup>A</sup>

# Introduction

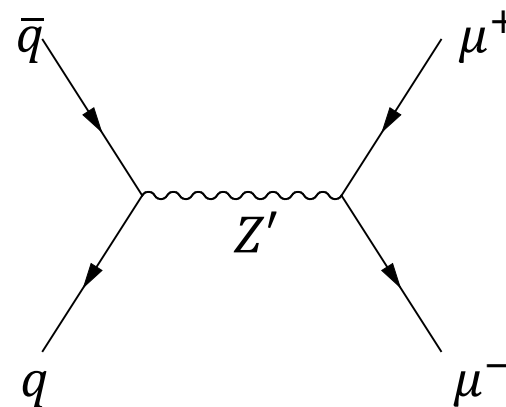
2011年にLHCで取得された陽子衝突のデータを使用してミューオン対に崩壊する新粒子の探索を行う

## ミューオン対生成事象

ミューオン対に崩壊する新粒子の中には Randall-Sundrum gravitonやTechni-mesonなどがある

### **Z' SSM (Sequential Standard Model)**

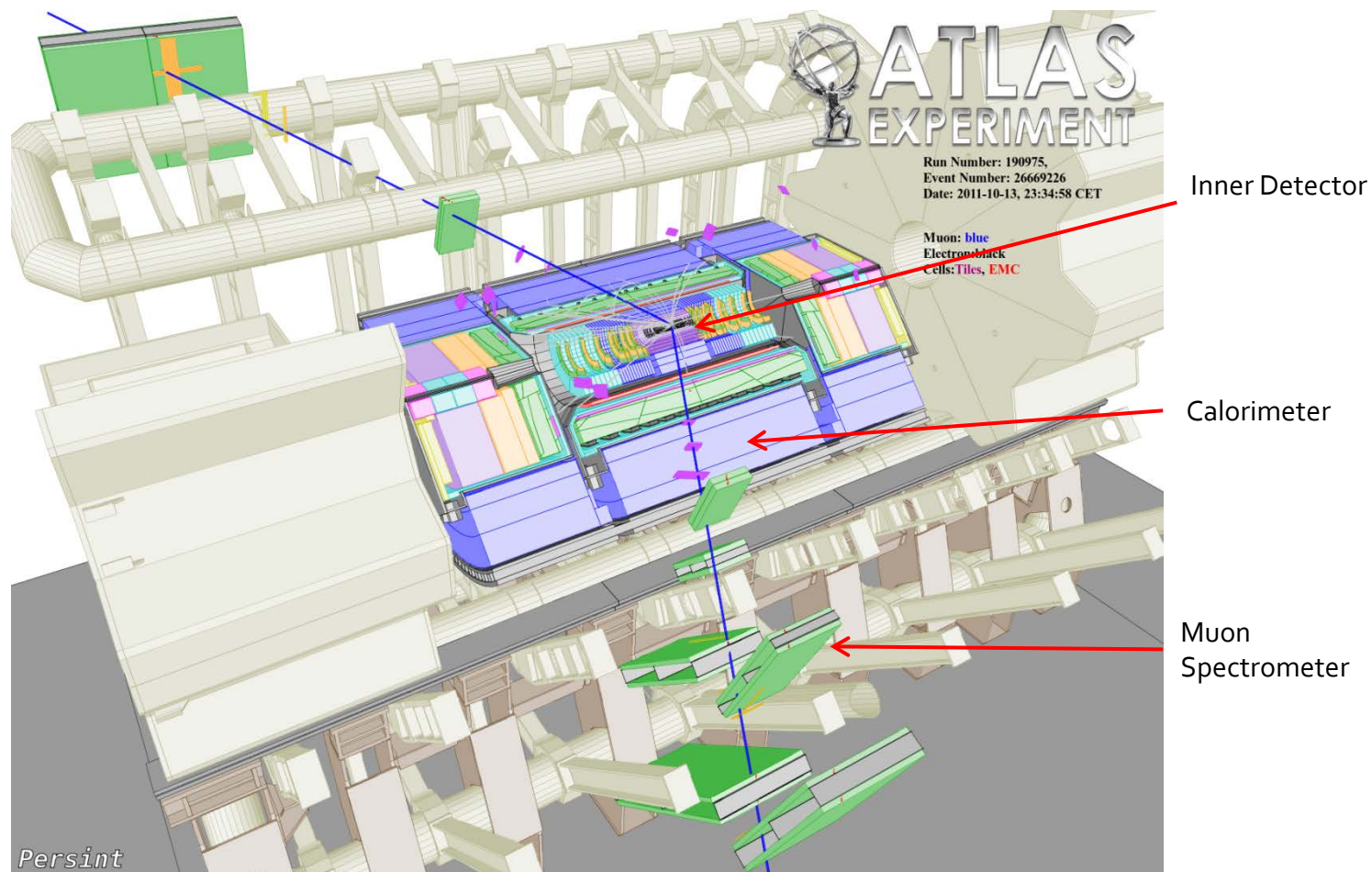
本研究のベンチマークとして使用  
CouplingはZと同じだが質量が重い  
limit→1.071TeV(Tevatron)



2011年の $\sqrt{s}=7\text{TeV}$ でのデータ(積算ルミノシティ  $5\text{fb}^{-1}$ )を用いた解析  
→ATLAS published (*Search for high-mass resonances decaying to dilepton final states in pp collisions at  $\sqrt{s} = 7\text{TeV}$  with the ATLAS detector*, JHEP11(2012)138)  
→今回は自分の解析結果での発表となります

## ATLAS検出器で測定された高い $p_T$ を持ったミュオン対生成事象

$$M_{\mu\mu} = 1.252 \text{ TeV}$$



本研究では不変質量 $M_{\mu\mu}$ が70GeV以上のミュオン対を1つ以上含むイベントを使用して解析を進める

## イベントとミュオンの選別

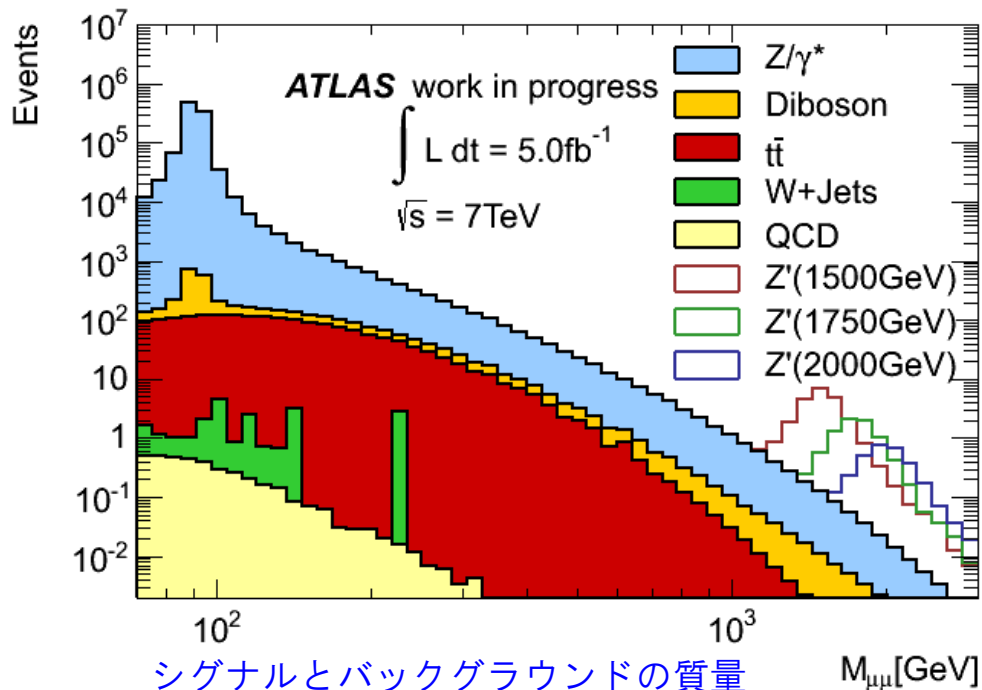
- ミュオンが2つ以上あるイベント
  - ミュオンの $p_T$ が25 GeV以上
  - ミュオンの周りに他の粒子がない(isolated)
    - ミュオンの周り( $dR \equiv \sqrt{\eta^2 + \varphi^2} < 0.3$ )の粒子の $p_T$ の合計がミュオンの $p_T$ の5%以下
  - 2つのミュオンが逆電荷を持つ
  - 2つのミュオンから組んだ不変質量が70 GeV以上
- ※ミュオン対の候補が2組以上ある場合は $p_T$ の合計が高い組を選択

## 信号とバックグラウンドのシミュレーション

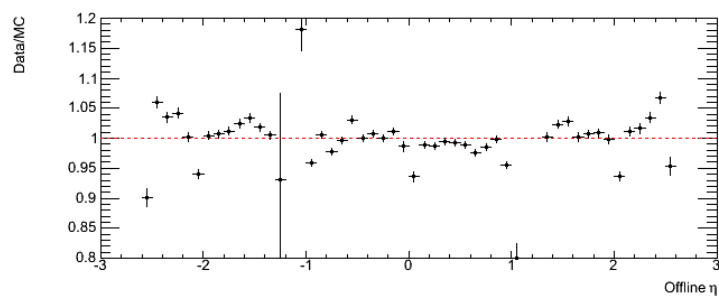
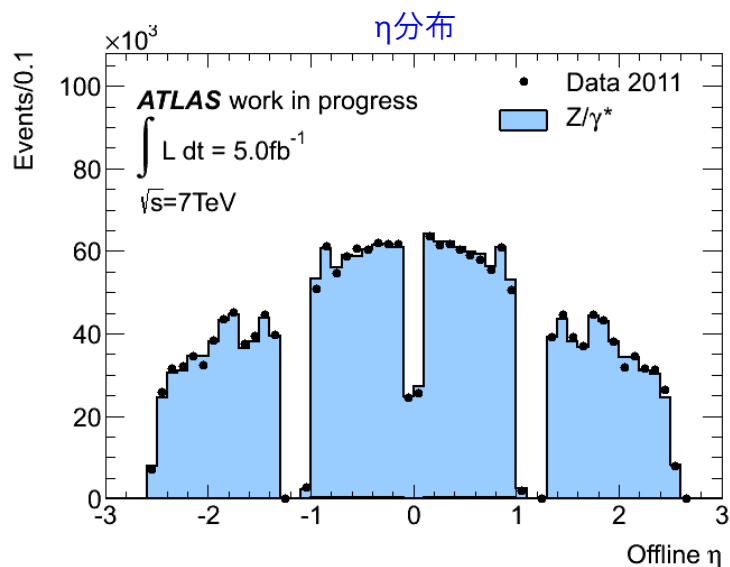
新粒子が存在した場合、右の図のようなシグナルが見えると予測している  
(シグナルは $Z'$ のシミュレーションサンプルを使ったもの)

### バックグラウンド

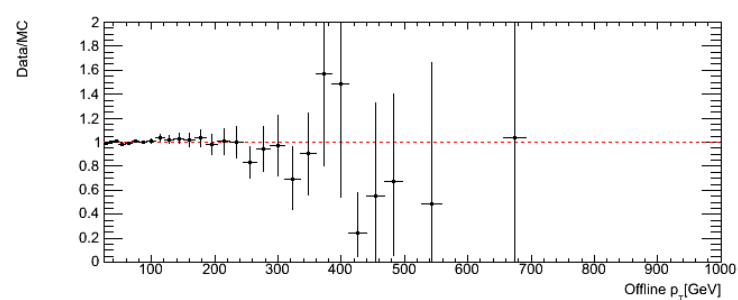
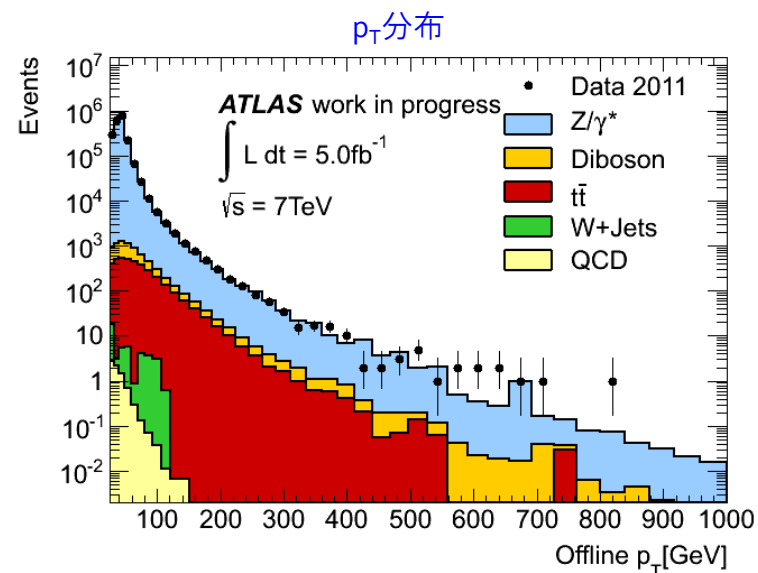
主なものはDrell-Yan生成( $Z/\gamma^* \rightarrow \mu\mu$ )、続いてDi-boson、 $t\bar{t}$ 、W+jet、QCD+multi-jet( $b\bar{b}, c\bar{c}$ )



# ミューオンの $\eta$ 、 $p_T$ 分布



DataとMCは一致している



# 不変質量の分布

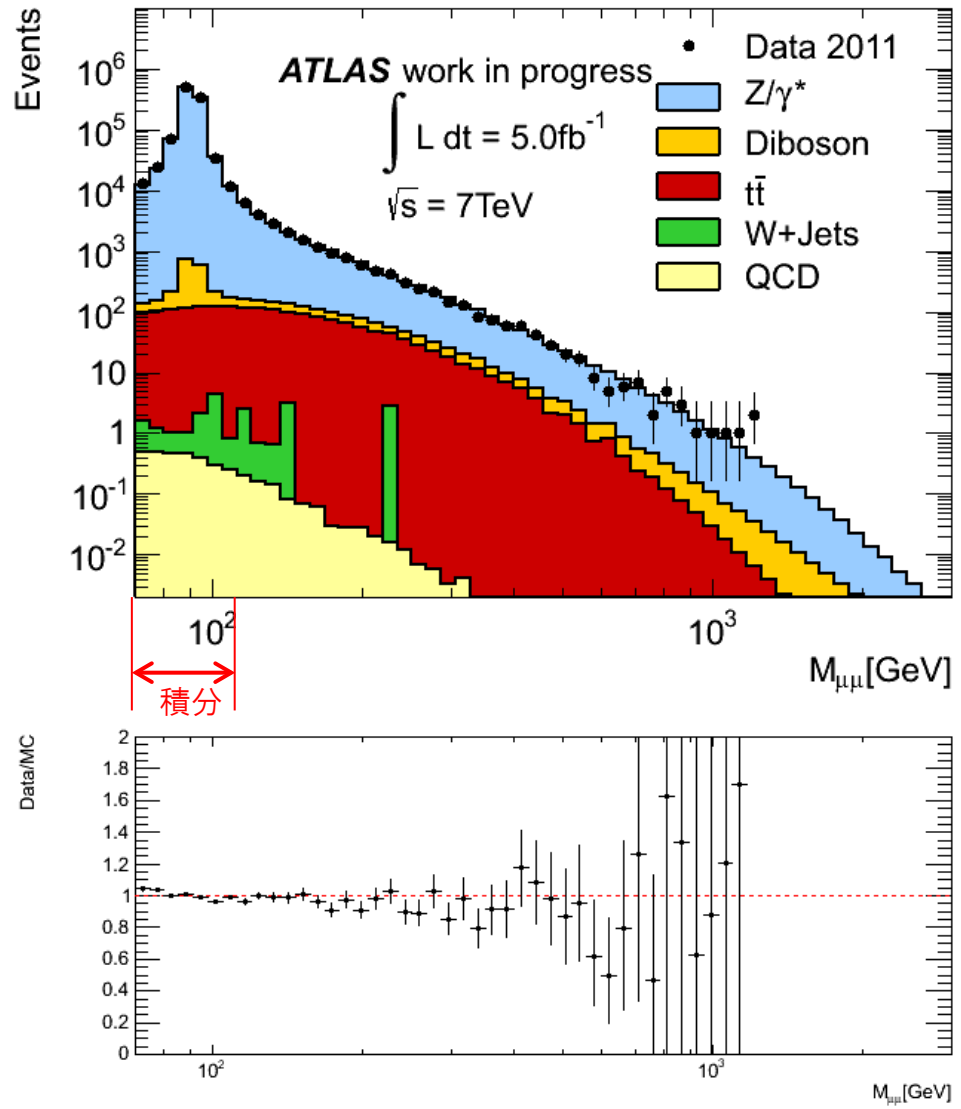
## Normalize

1. それぞれのMCをまず生成断面積で normalize する
2. Zのピーク(70-110GeV)でのエントリー数をdataとすべてのMCを足し合わせたものでそれぞれ積分する
3. 積分した結果から  $N_{Data}/N_{MC}$  を求め、MCの全体の分布をscaleする

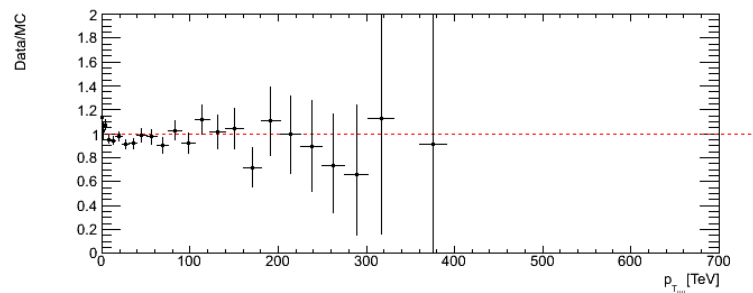
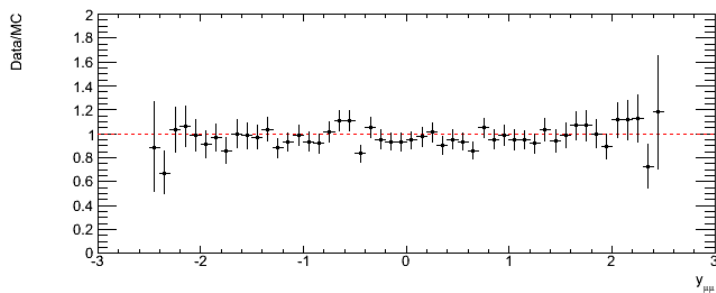
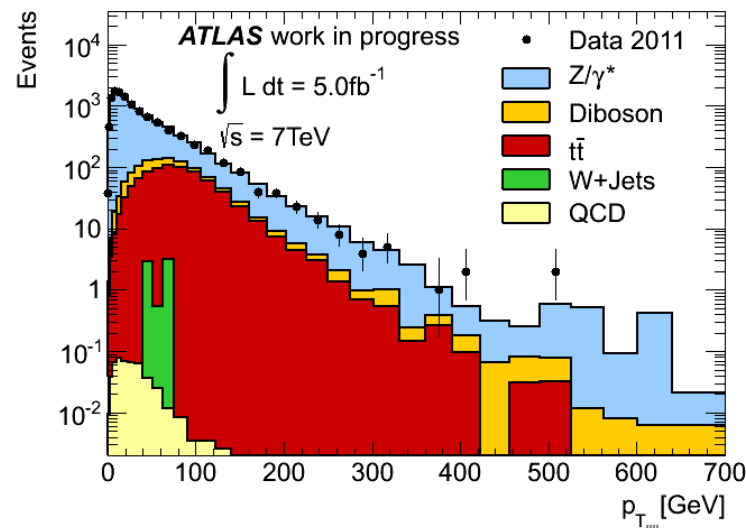
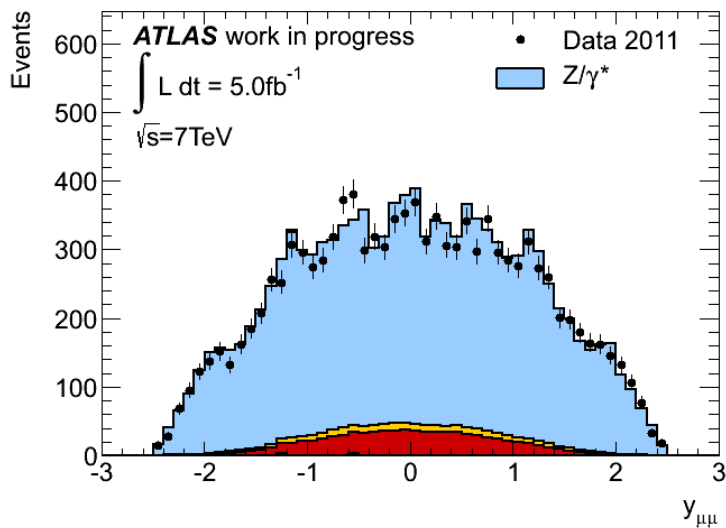
ここでは

$$N_{Data}/N_{MC} = 0.986$$

DataとMCは良く一致している  
 このデータ量では信号は見えていない



# $M_{\mu\mu} > 130\text{GeV}$ ミューオン対の $y$ 、 $p_T$ 分布

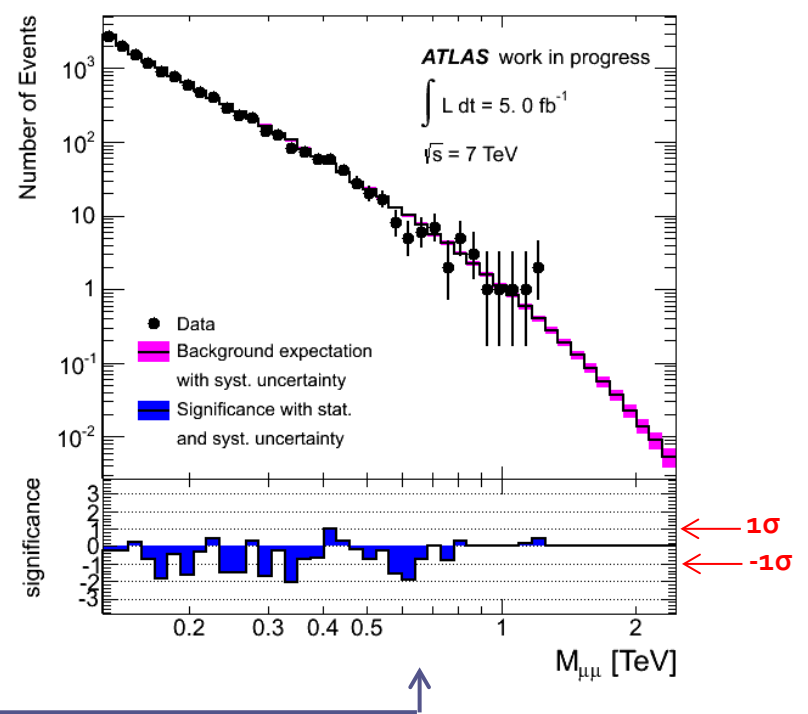
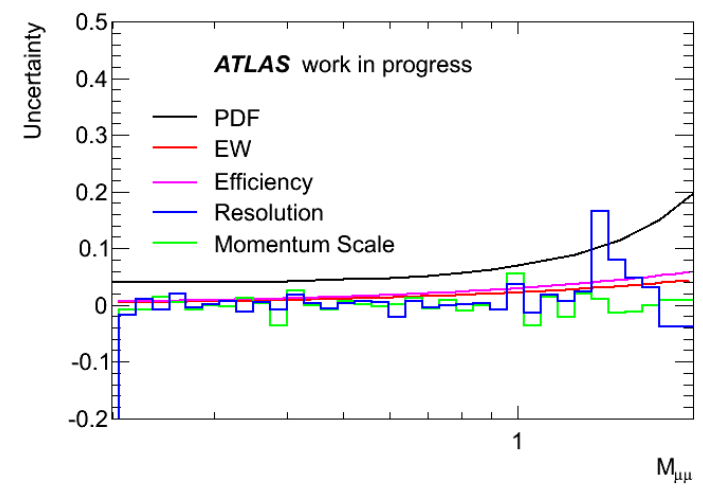
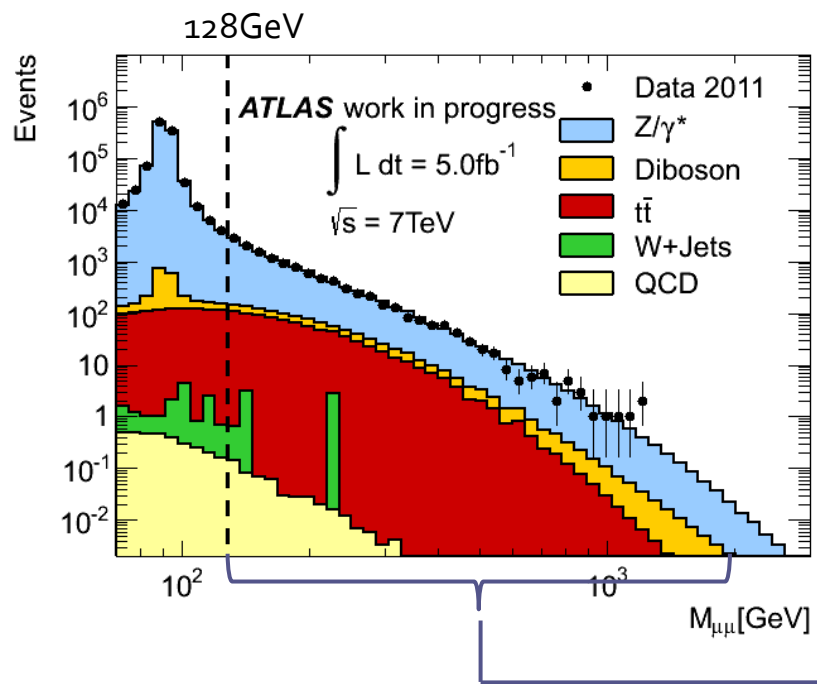


DataとMCは一致している

# 系統誤差

2TeVで期待される観測量に対する系統誤差

| @2TeV                    | Signal | Background |
|--------------------------|--------|------------|
| PDF                      | -      | 20%        |
| Electroweak              | -      | 4.5%       |
| Efficiency               | 6%     | 6%         |
| Resolution               | 3%     | negligible |
| Momentum scale           | 0.1%   | 0.1%       |
| $\sigma$ of $Z/\gamma^*$ | 5%     | -          |





# Signal scan

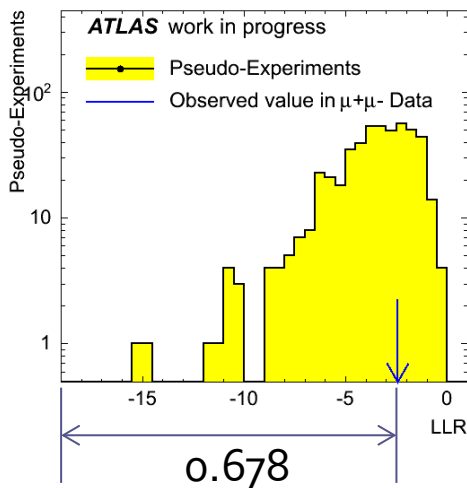
シグナルの有無をp値を使って評価する( $M_{\mu\mu} > 130\text{GeV}$ )

$$\text{Log Likelihood Ratio (LLR)} = -2 \ln \frac{L(S(\sigma_{Z'}, M_{Z'}) + B)}{L(B)}$$

1. DataとMCからlog-likelihoodがbest fitの時のLLRを決定(右下図の○の位置)
2. Pseudo-Experiments(PE)を500回試し、同じようにbest fitのLLRを決定(下図の黄色)
3. 1で求めたbest fitのLLRがPE500回で得たbest fitのLLRのうち、どの位置にあたるかでp値が決定する

p値  $< 2.87 \times 10^{-7}$ : 発見

この解析では p値 = 0.678

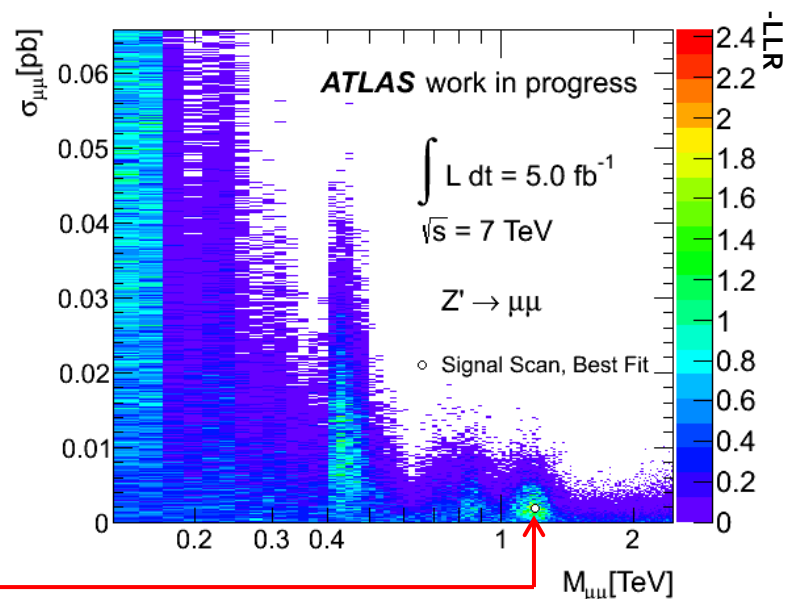
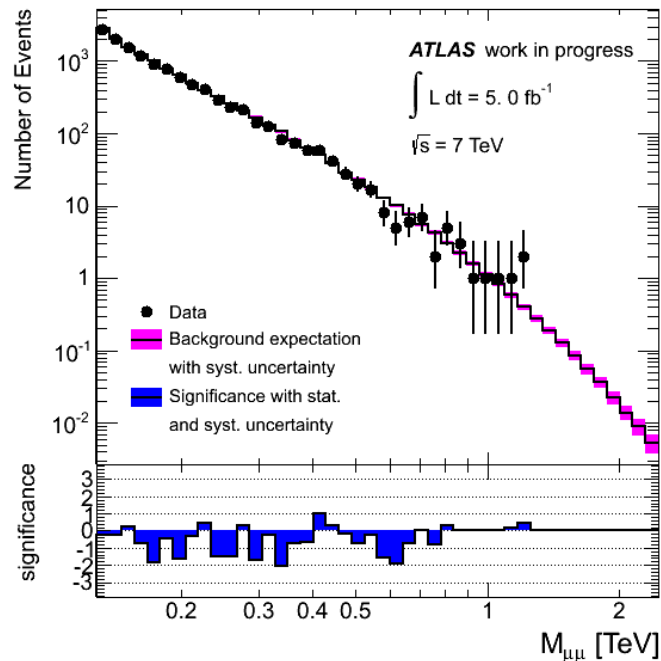


Best Fitの結果

LLR=-2.4

$M_{Z'}=1.2\text{TeV}$

$\sigma_{Z'}=0.0018\text{pb}$



# Limit setting

信頼度=95%でのシグナルの個数の上限をそれぞれの $M_{\mu\mu}$ で求める

$$N_Z = \sigma_Z \text{Acc}_Z L$$

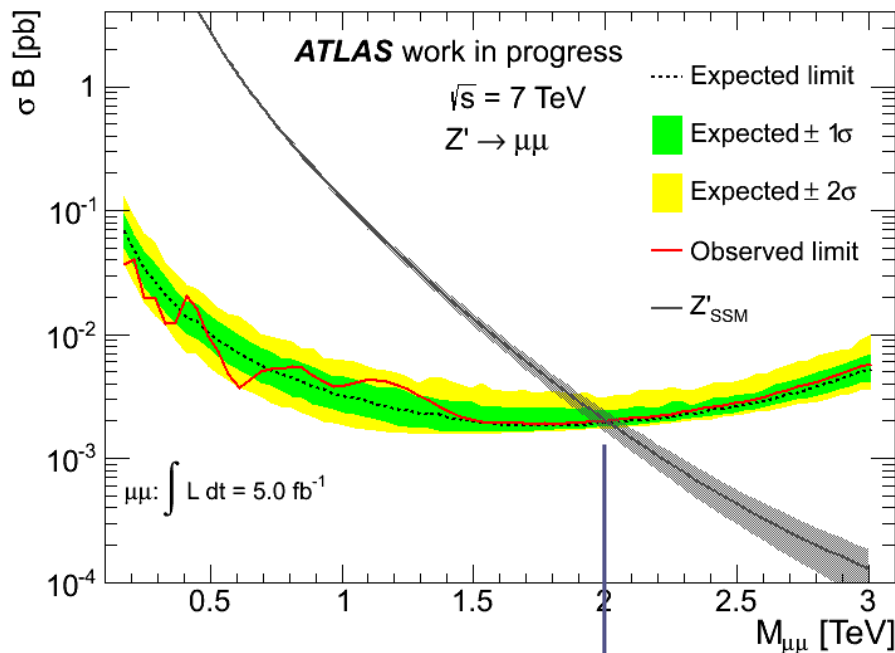
$$N_{Z'} = \sigma_{Z'} \text{Acc}_{Z'} L$$

$$\sigma_{Z'} = \frac{N_{Z'} \text{Acc}_Z}{N_Z \text{Acc}_{Z'}} \sigma_Z$$

求まった $N_{Z'}$ を左式を使って $Z'$ の生成断面積に変換

$\sigma_Z = 969 \text{ pb}$  (理論値)

$\text{Acc}_Z/\text{Acc}_{Z'}$ =アクセプタンスの比



Expectedはpseudo-experimentsを500回  
行い決定する

|      | Expected               | Observed               |
|------|------------------------|------------------------|
| $Z'$ | 2.01TeV +0.05<br>-0.05 | 2.00TeV +0.05<br>-0.06 |

※誤差はPDFによる系統誤差

## Summary

- $\sqrt{s}=7\text{TeV}$ での陽子衝突データ ( $5\text{fb}^{-1}$ ) を用いてミューオン対に崩壊する新粒子の探索を行った
- p値を計算した結果 $p=0.678$ で発見には至らなかった為、limitを計算
- その結果 $Z'_{SSM}$ で $2.00\text{TeV}$ までC.L.=95%でその存在を棄却した

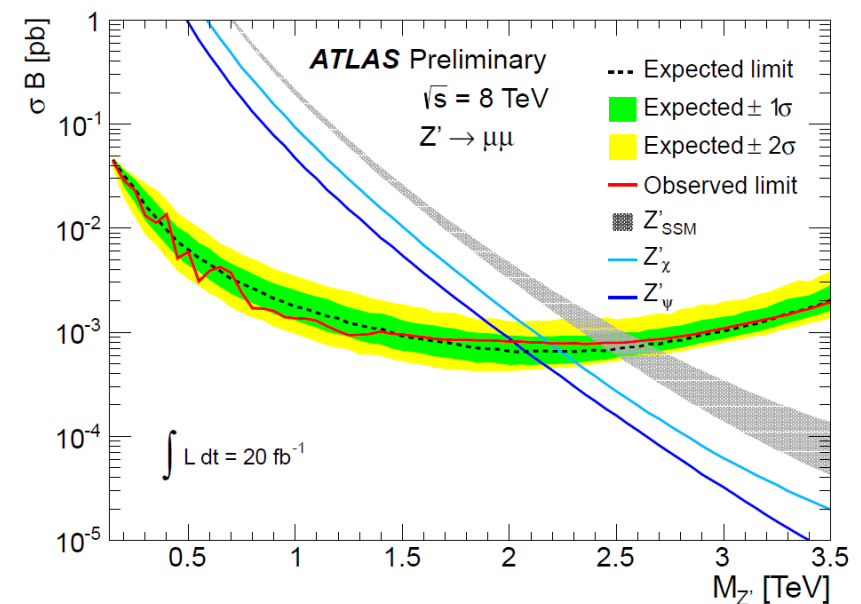
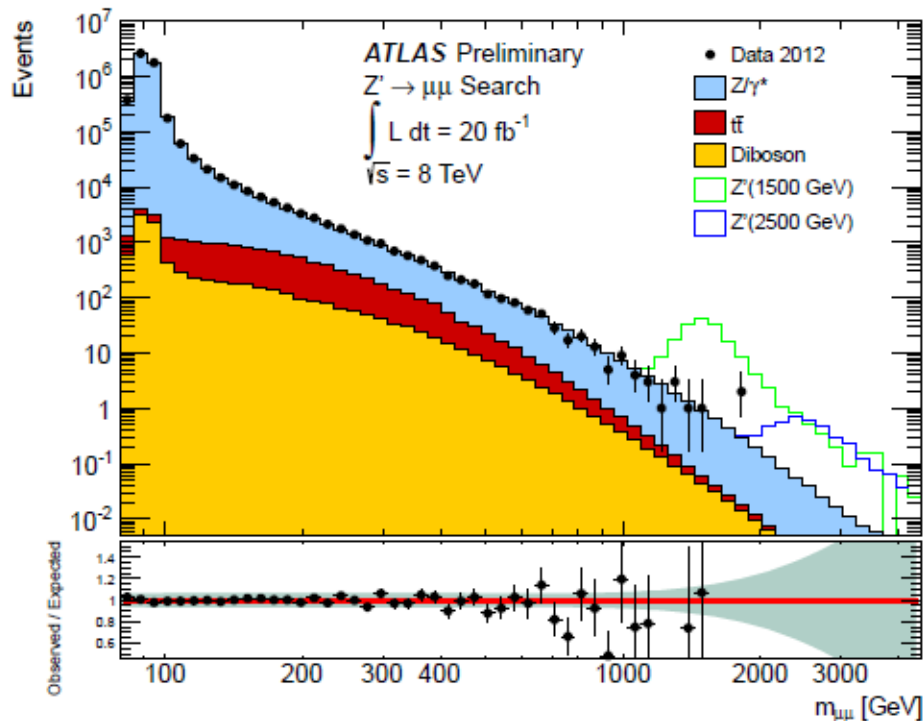
Backup slides

# 2012年のデータを用いた解析結果

- 重心系エネルギー8TeV
  - 積算ルミノシティ20fb<sup>-1</sup>
- 発見には至らず(p-value=0.98)

"Search for high-mass dilepton resonances in 20 fb<sup>-1</sup> of pp collisions at  $\sqrt{s} = 8$  TeV with the ATLAS experiment" (ATLAS-CONF-2013-017)

|    | Observed | Expected |
|----|----------|----------|
| Z' | 2.48TeV  | 2.52TeV  |



# H → μμ result (2012)

2012年に取得された20.7fb<sup>-1</sup>のデータを使用  
重心系エネルギー8TeV

Standard Model Higgs Branching Ratio at 125GeV

$$H_{SM} \rightarrow \gamma\gamma: 2.28 \times 10^{-3}$$

$$H_{SM} \rightarrow \mu\mu: 2.20 \times 10^{-4}$$

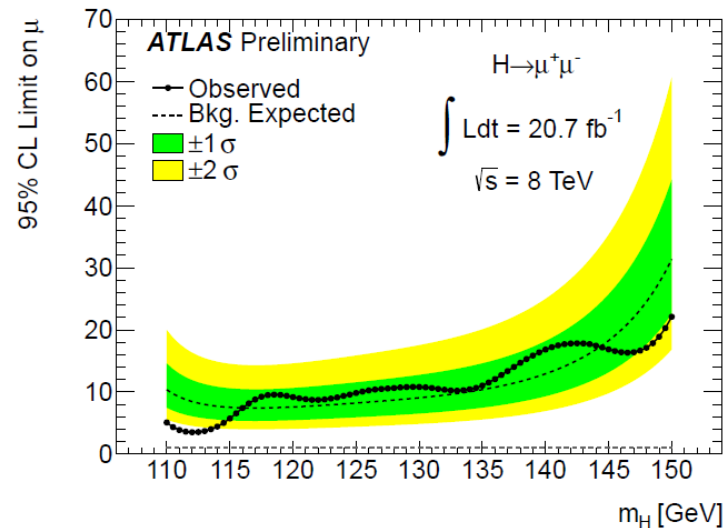
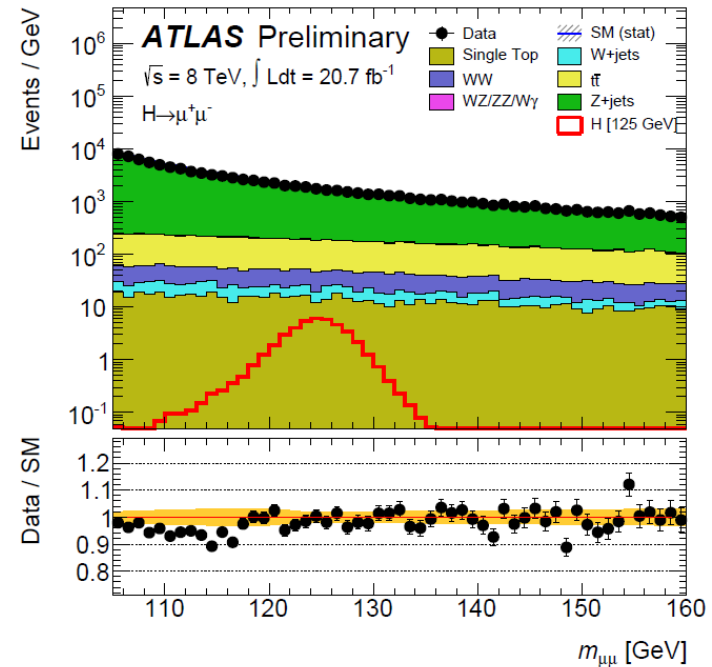
## 結果

信号は見られず

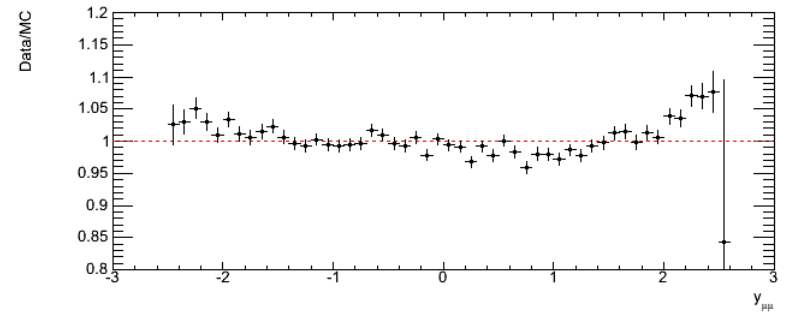
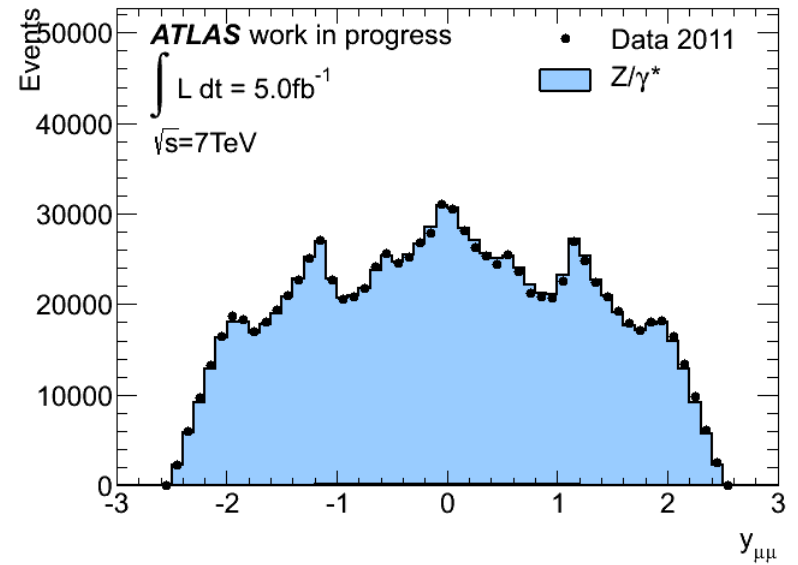
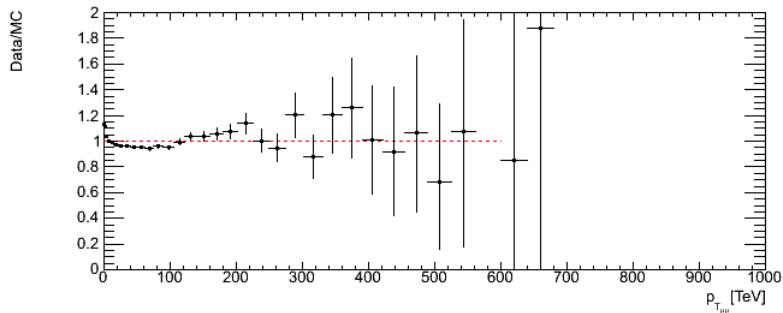
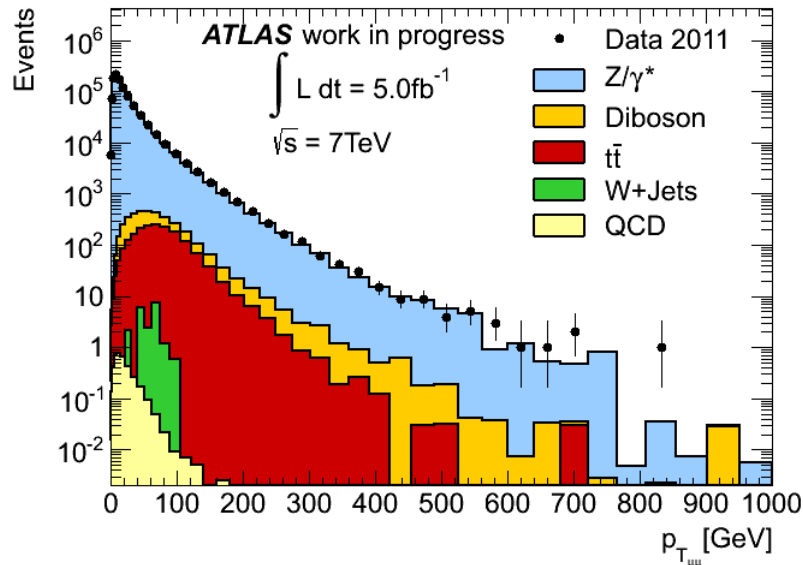
95%で生成断面積のlimitを設定

→125GeVでSM予想の9.8倍(observed)と、8.2倍  
(expected)

"Search for the Standard Model Higgs boson in  $H \rightarrow \mu^+\mu^-$  decays with the ATLAS detector"(ATLAS-CONF-2013-10)



# ミューオン対の $p_T$ 、 $y$ 分布



# QCD バックグラウンドの見積もり

- QCDのバックグラウンドは主に $b\bar{b}$ 及び $c\bar{c}$ からの崩壊

1.  $b\bar{b}$ 、 $c\bar{c}$ のMCサンプルのtrack isolated variable ( $\Sigma p_T(dR < 0.3)/p_T$ ) を使って fake rate を見積もる (anti-isolated track に対する isolated track の割合)

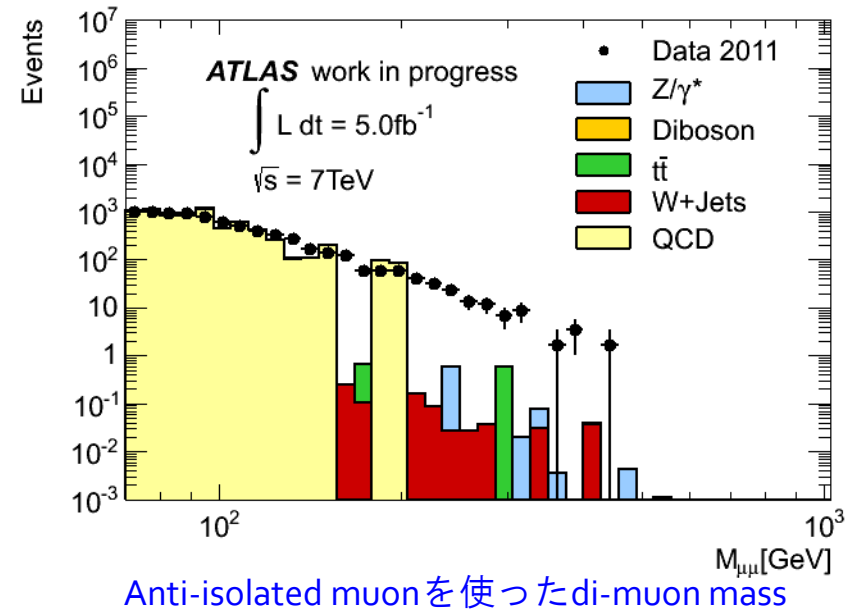
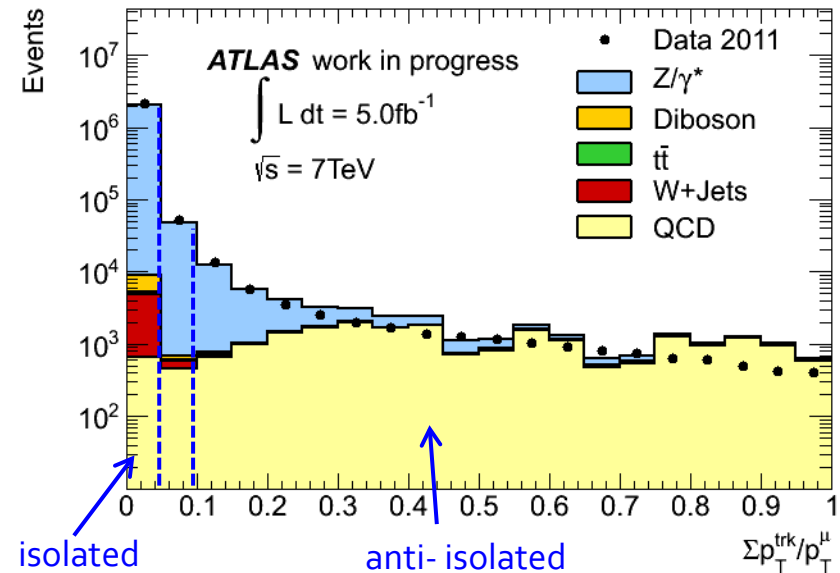
$$\text{Fake rate} = \frac{\sum p_T^{\text{trk}} / p_T^\mu < 0.05}{0.1 < \sum p_T^{\text{trk}} / p_T^\mu < 1}$$

ここでは Fake rate = 0.02939

2. Data から anti-isolated di-muon を使って 不変質量の形を求める (QCD multi-jet の形が求まる)

← MC では統計量がない為

3. 2. で求めた mass の形に fake rate をかけたものが QCD バックグラウンドとなる





# $t\bar{t}$ , Di-boson background extrapolation

$t\bar{t}$ , di-boson MC sample  
についてはhigh-massで  
統計量が少ない為、  
fittingで補う

## Fitting 領域

TTbar: 0.2-0.8 TeV

Di-boson: 0.45-1.45 TeV

## Fitting 関数

Dijet function (used for output):  $a \times x^b \times x^{c \times \ln x}$

Inverse monomial function (for systematic uncertainty):  $\frac{a}{(x+b)^c}$

