

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^A

道前 武、徳宿克夫^A、長野邦浩^A

Introduction

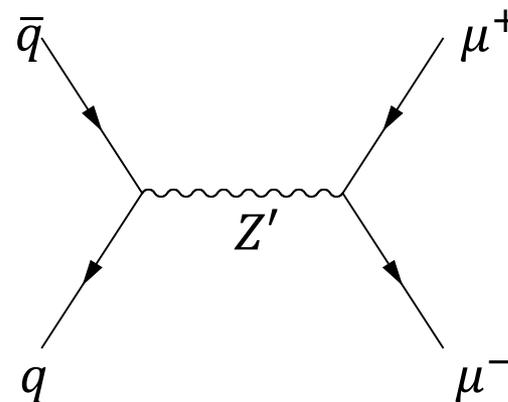
2011年にLHCで取得された陽子衝突のデータを使用してミューオン対に崩壊する新粒子の探索を行う

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)

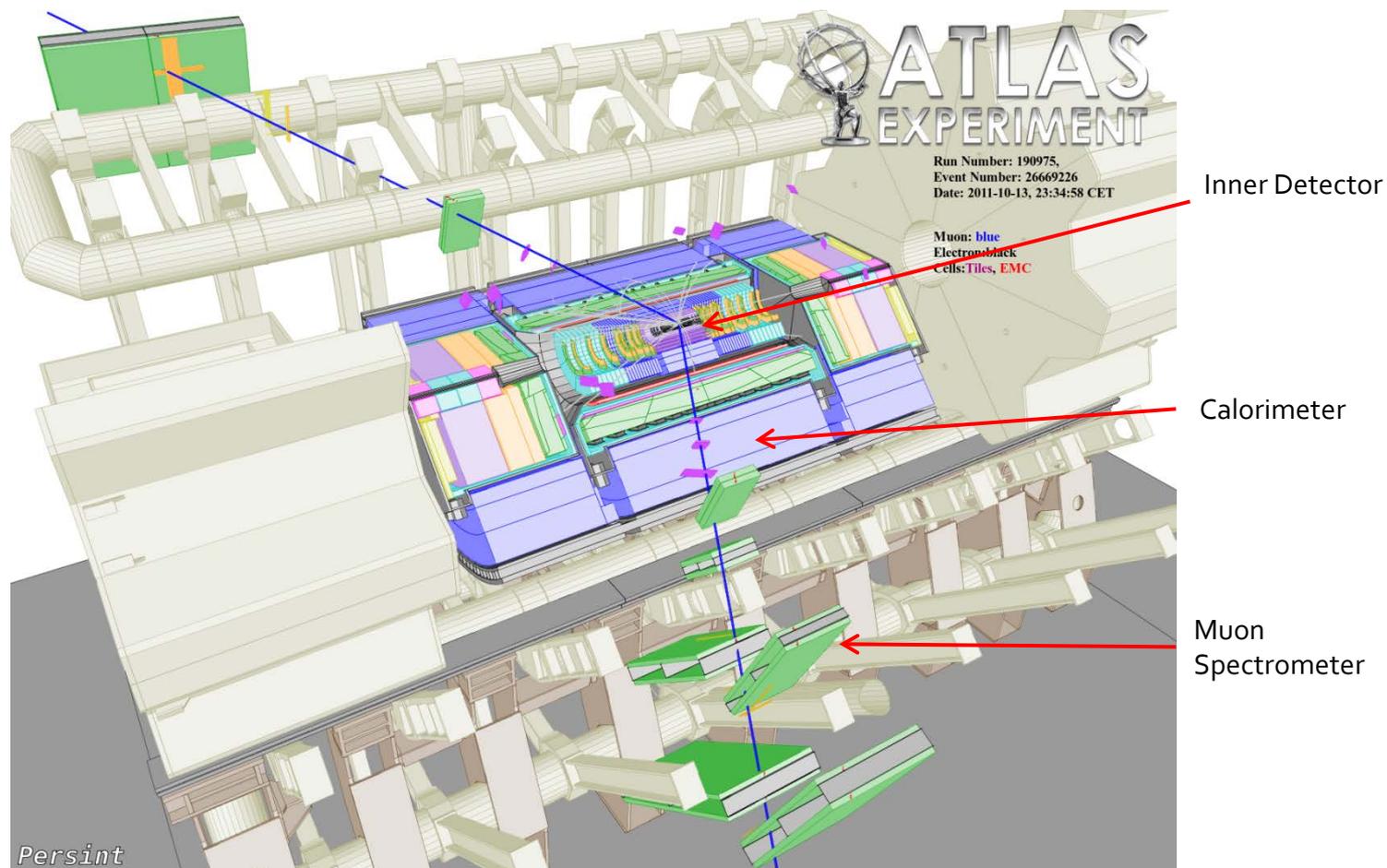
本研究のベンチマークとして使用
CouplingはZと同じだが質量が重い
limit→1.071TeV(Tevatron)



2011年の $\sqrt{s}=7\text{TeV}$ でのデータ(積算ルミノシティ 5fb^{-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 70 GeV 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

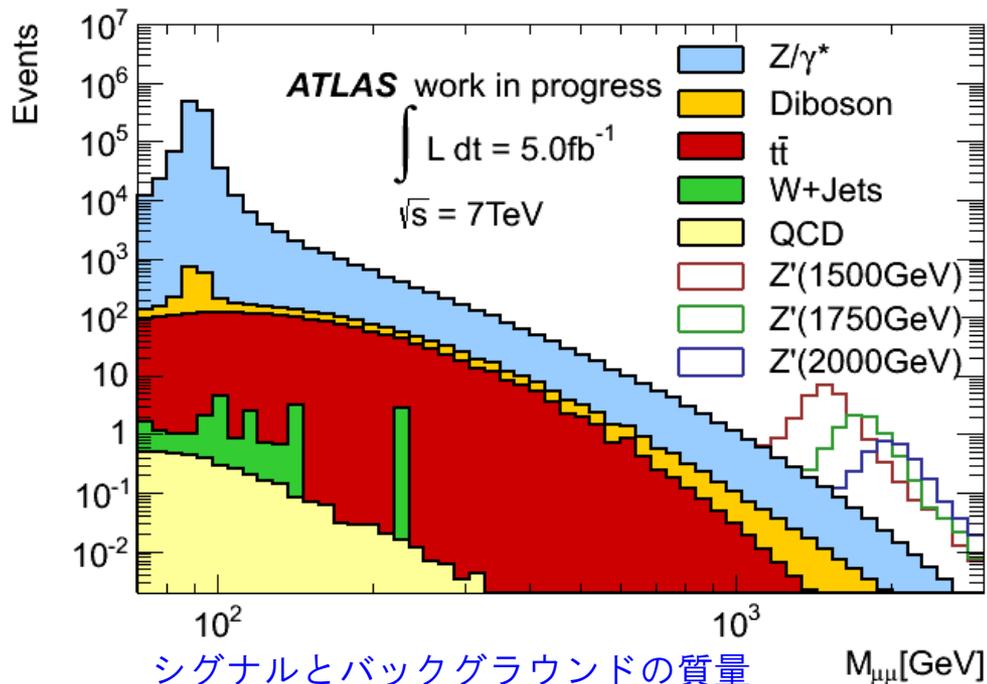
- ミュオンが2つ以上あるイベント
 - ミュオンの p_T が25 GeV以上
 - ミュオンの周りに他の粒子がない(isolated)
 - ミュオンの周り($dR \equiv \sqrt{\eta^2 + \varphi^2} < 0.3$)の粒子の p_T の合計がミュオンの p_T の5%以下
 - 2つのミュオンが逆電荷を持つ
 - 2つのミュオンから組んだ不変質量が70 GeV以上
- ※ミュオン対の候補が2組以上ある場合は p_T の合計が高い組を選択

信号とバックグラウンドのシミュレーション

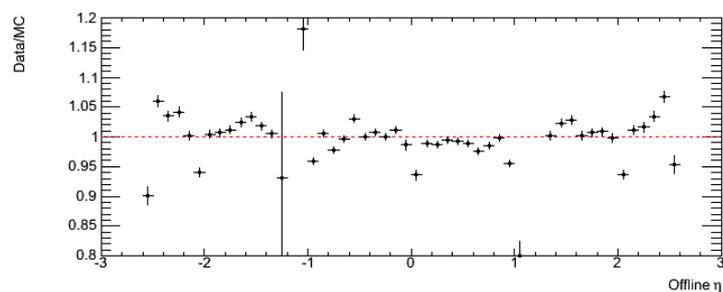
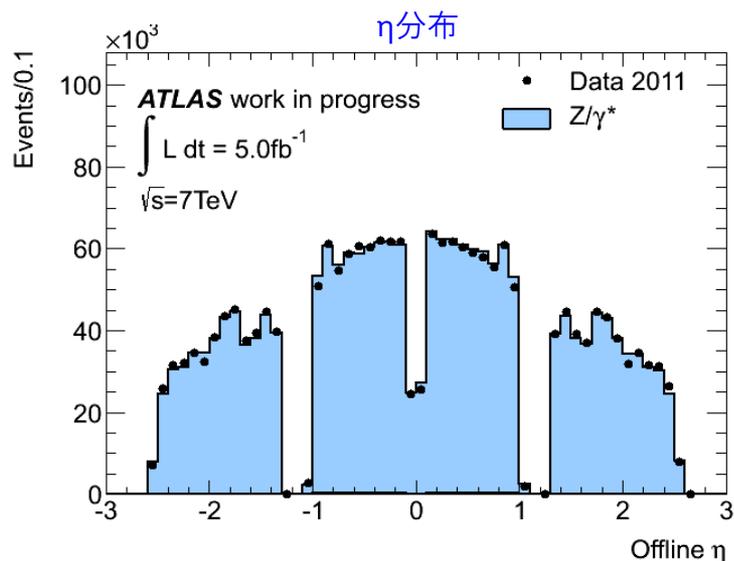
新粒子が存在した場合、右の図のようなシグナルが見えると予測している
(シグナルは Z' のシミュレーションサンプルを使ったもの)

バックグラウンド

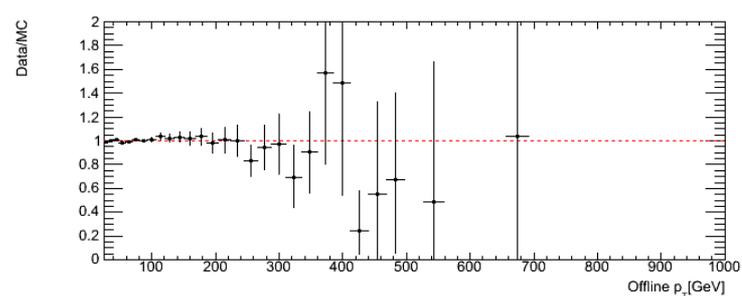
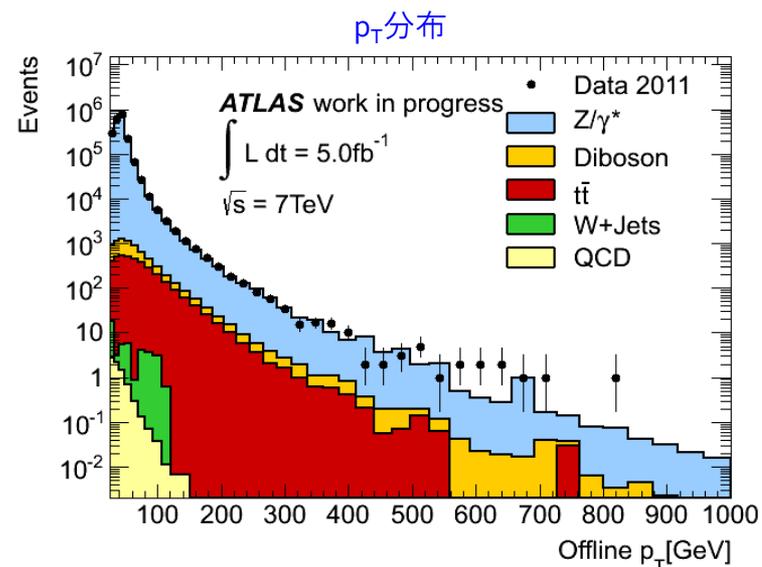
主なものはDrell-Yan生成($Z/\gamma^* \rightarrow \mu\mu$)、続いてDi-boson、 $t\bar{t}$ 、W+jet、QCD+multi-jet($b\bar{b}, c\bar{c}$)



ミューオンの η 、 p_T 分布



DataとMCは一致している



不変質量の分布

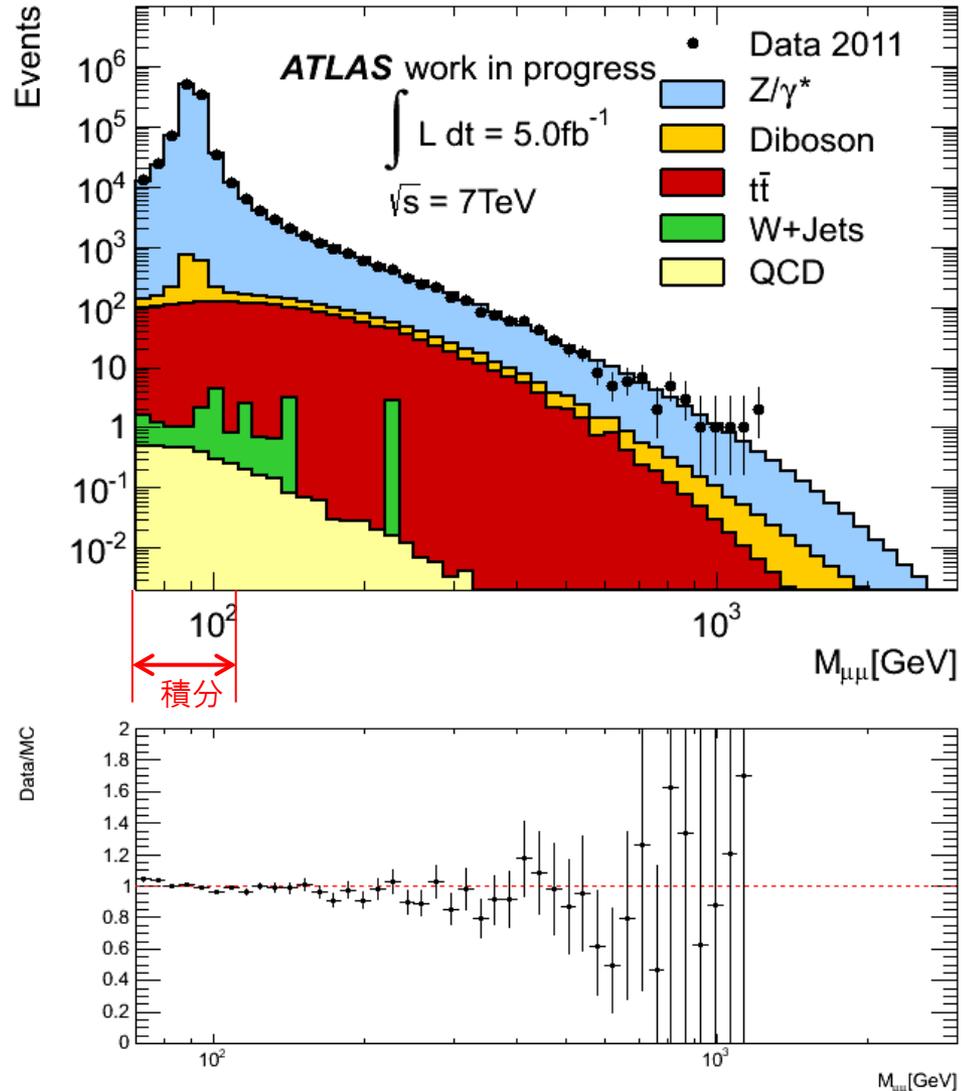
Normalize

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

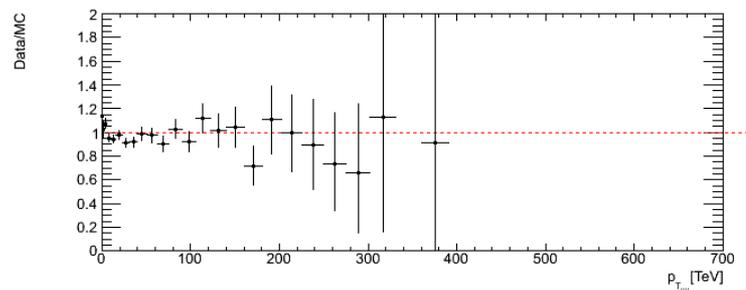
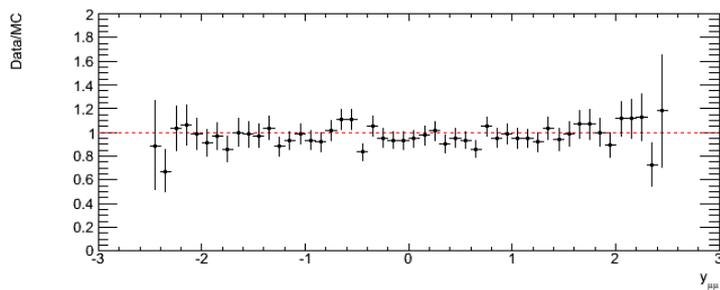
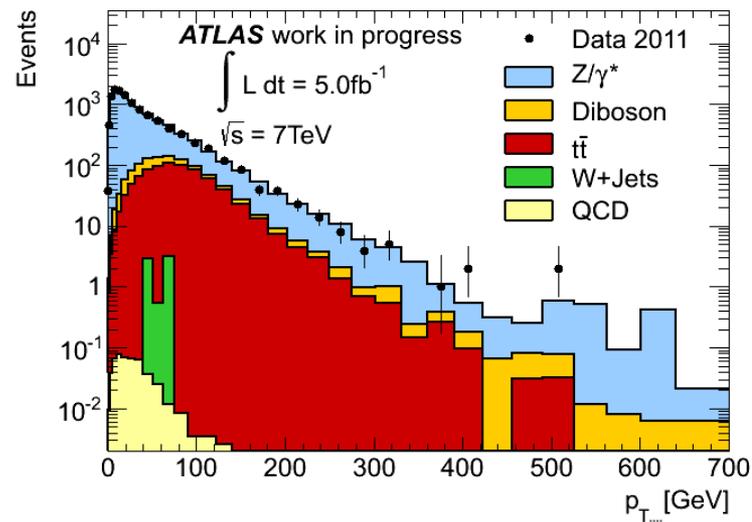
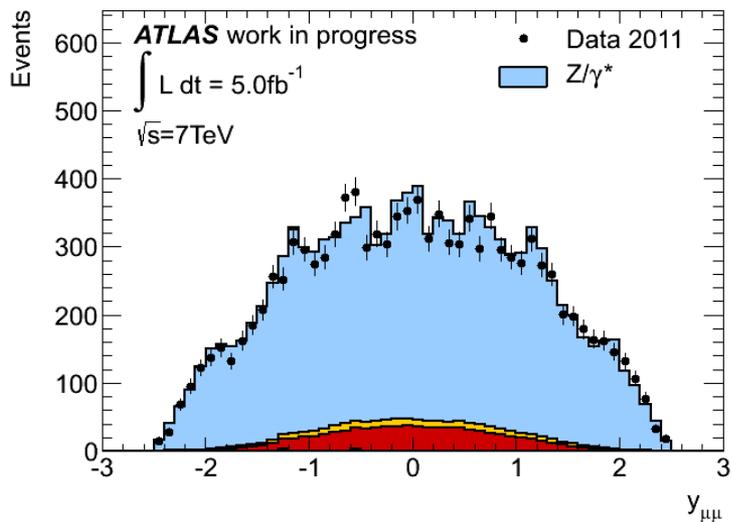
ここでは

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

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

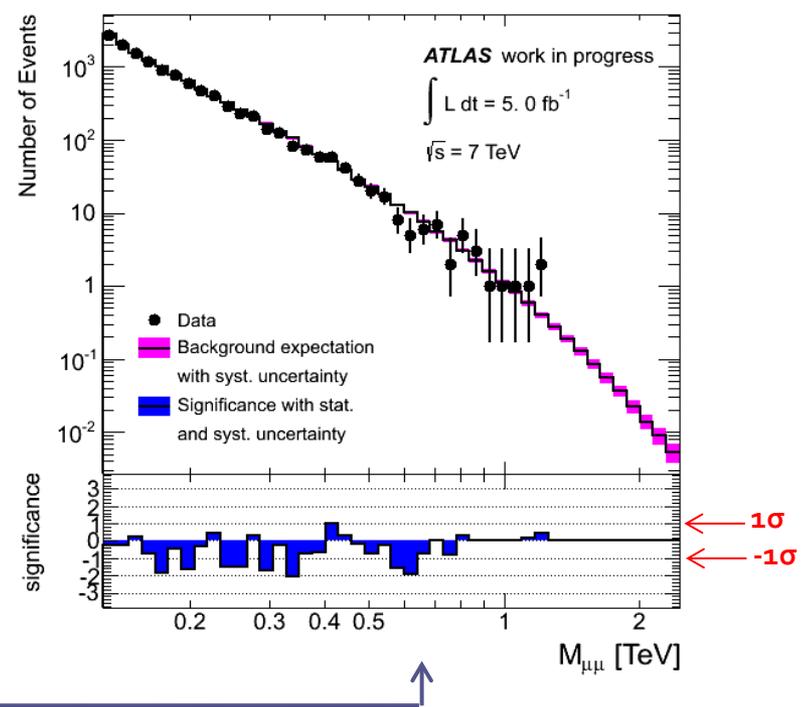
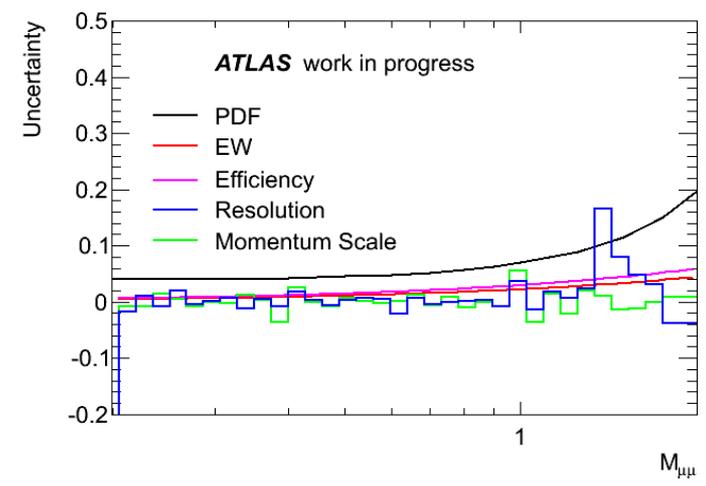
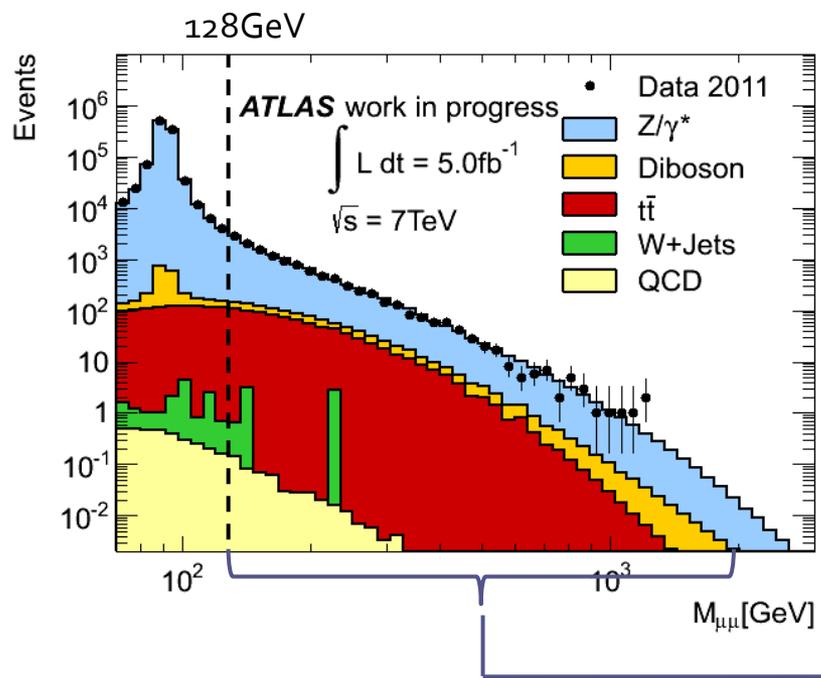


DataとMCは一致している

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%
σ of Z/γ^*	5%	-



Signal scan

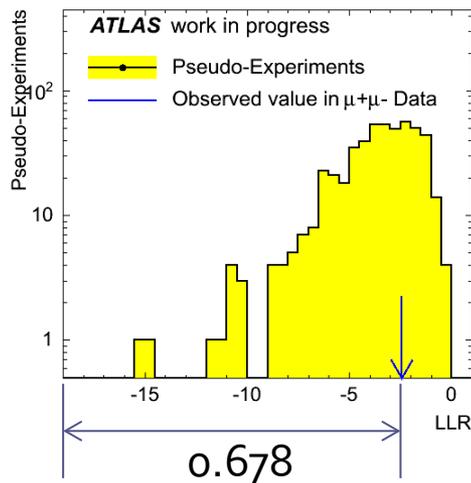
シグナルの有無をp値を使って評価する($M_{\mu\mu} > 130\text{GeV}$)

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

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

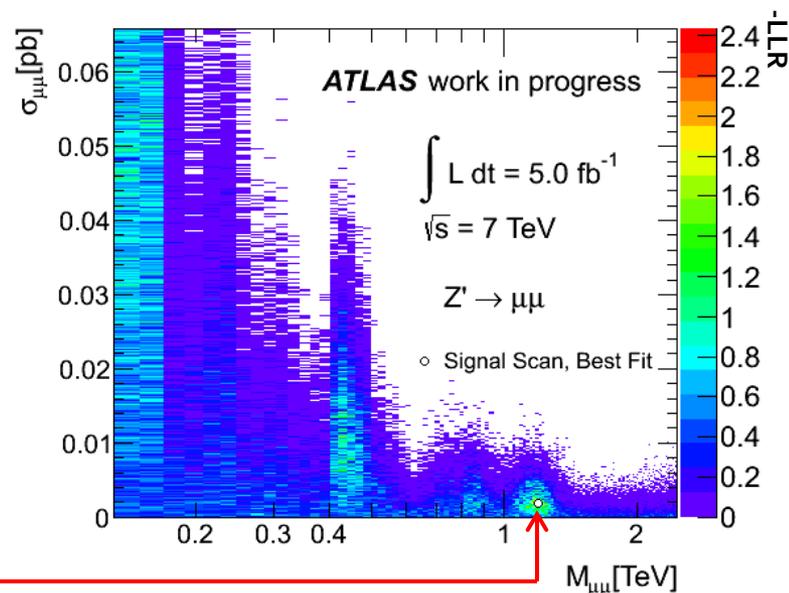
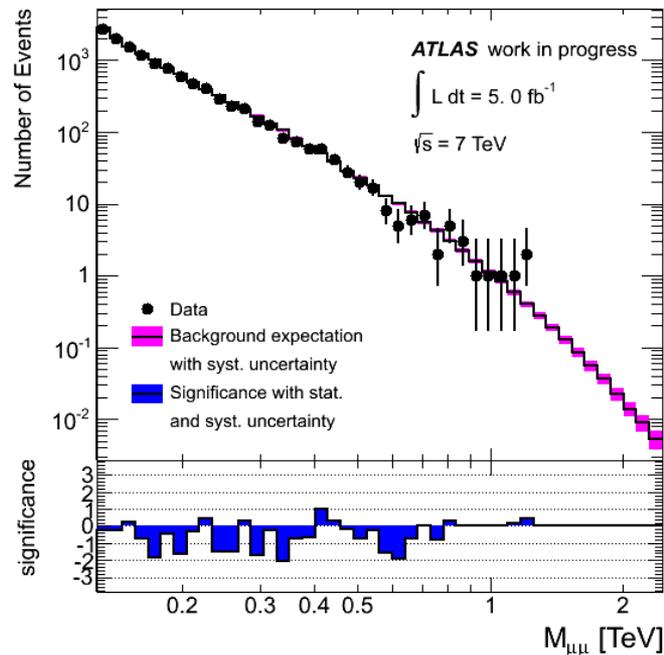


Best Fitの結果

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

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

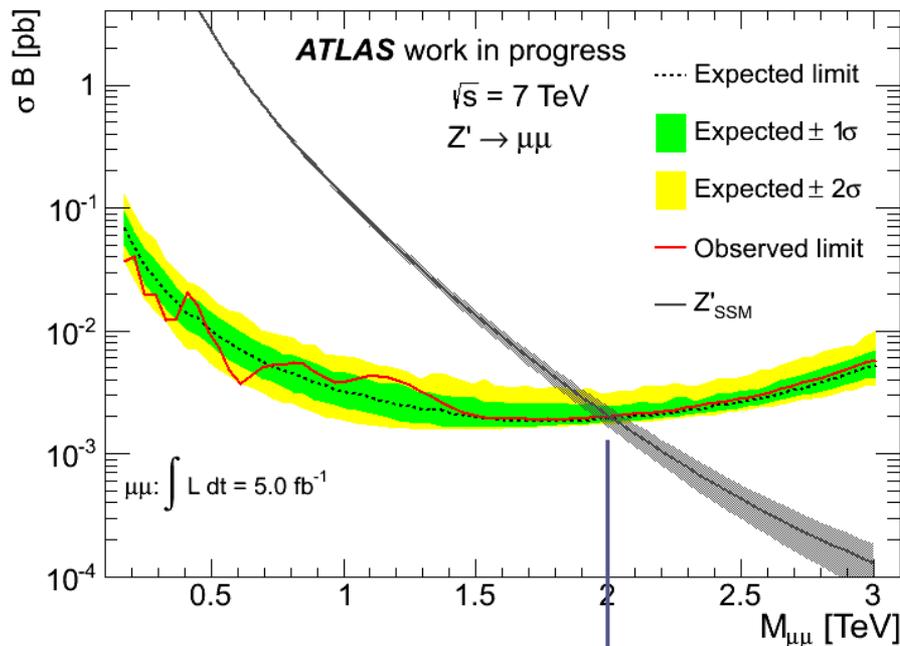
$$N_{Z'} = \sigma_{Z'} \text{Acc}_{Z'} L$$

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

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 -0.05	2.00TeV +0.05 -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 (5fb^{-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 2.00TeV まで $\text{C.L.}=95\%$ でその存在を棄却した

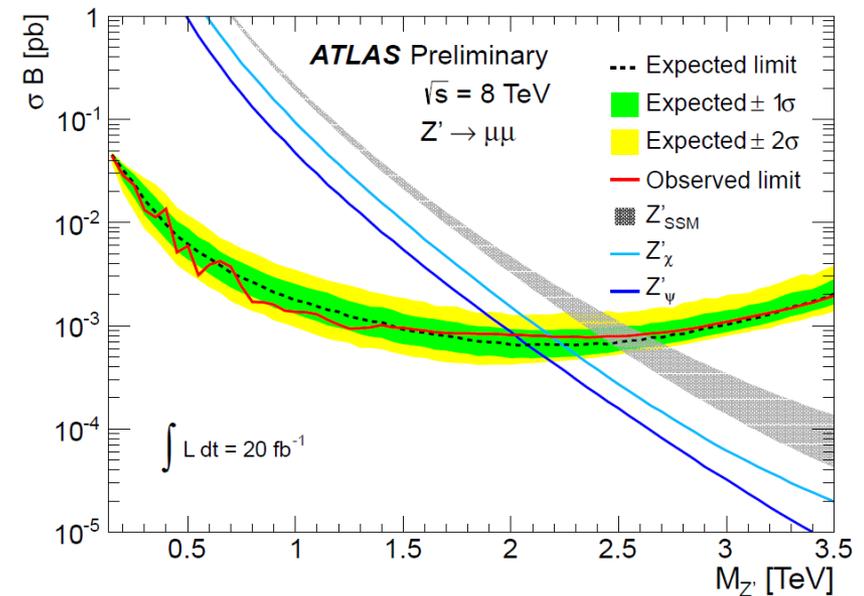
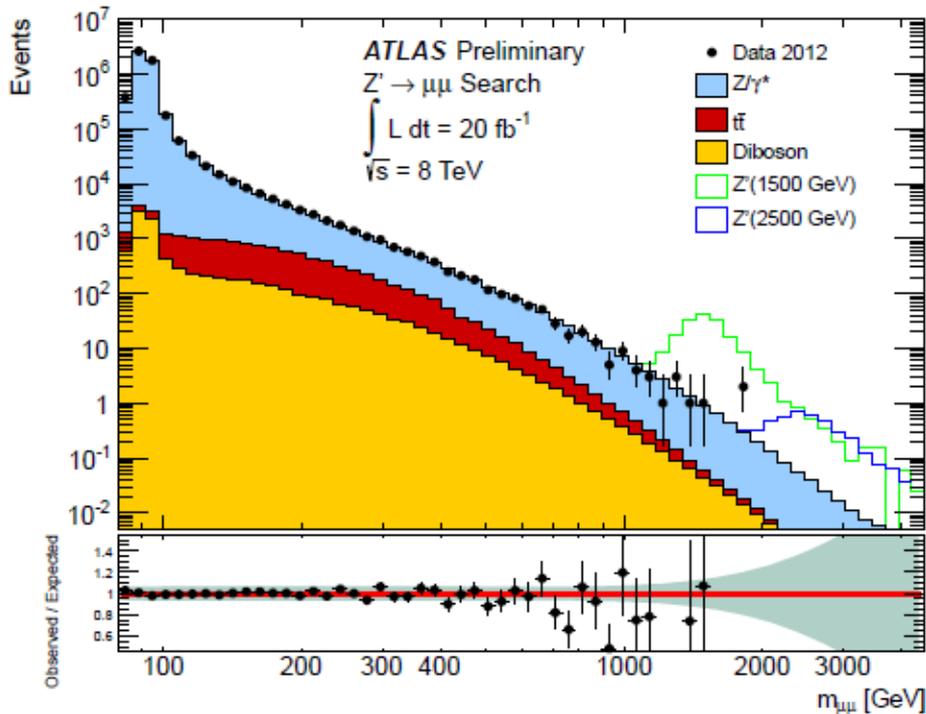
Backup slides

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⁻¹
- 発見には至らず(p-value=0.98)

"Search for high-mass dilepton resonances in 20 fb⁻¹ 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^{-1} のデータを使用
重心系エネルギー8TeV

Standard Model Higgs Branching Ratio at 125GeV

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

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

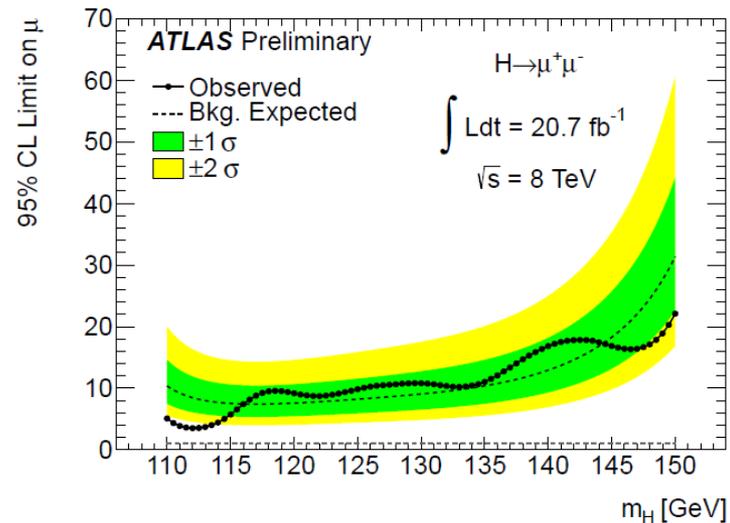
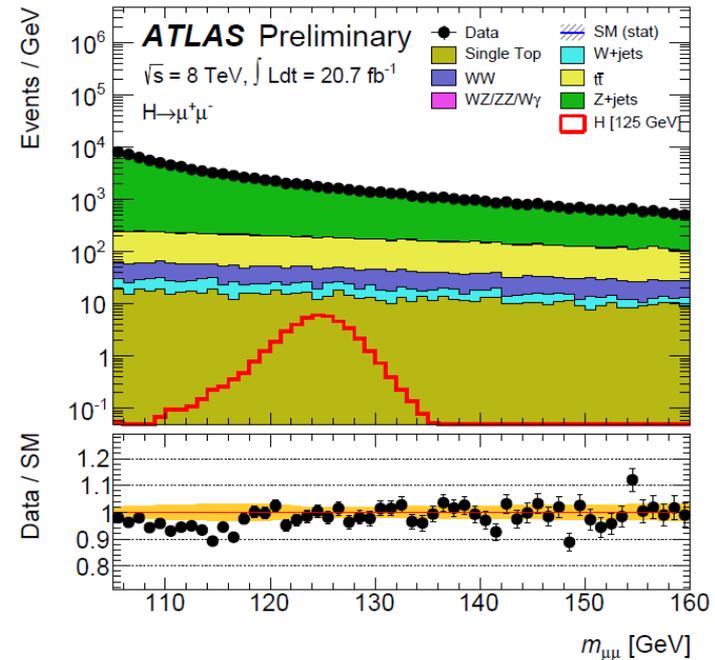
結果

信号は見られず

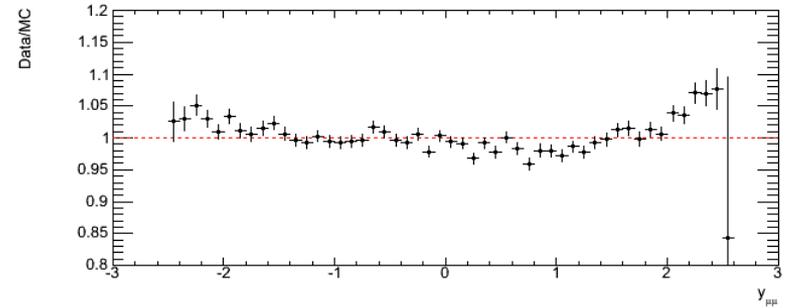
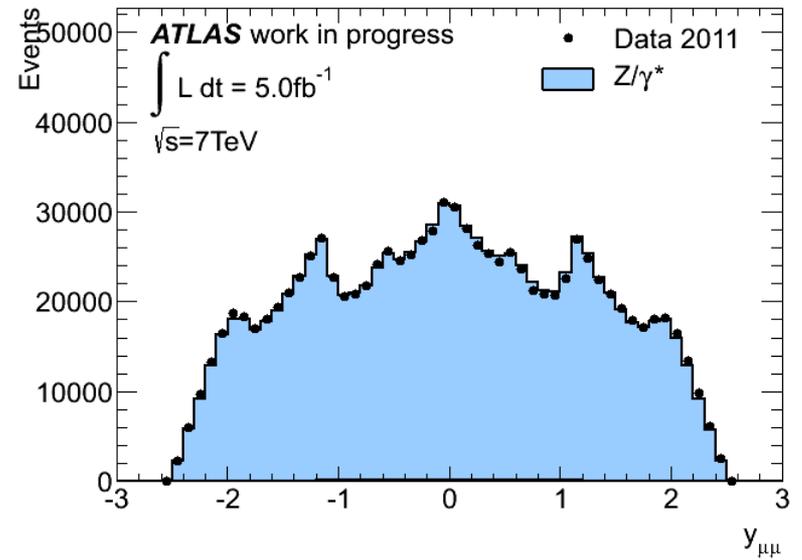
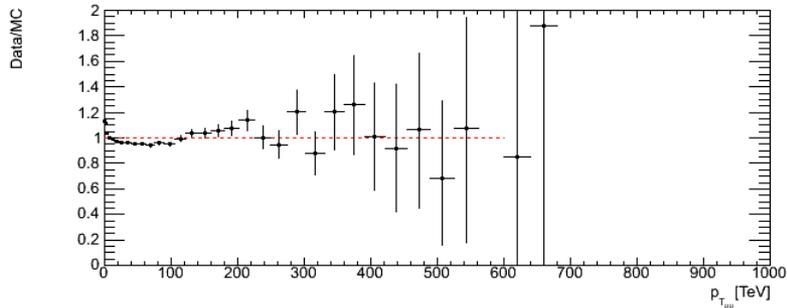
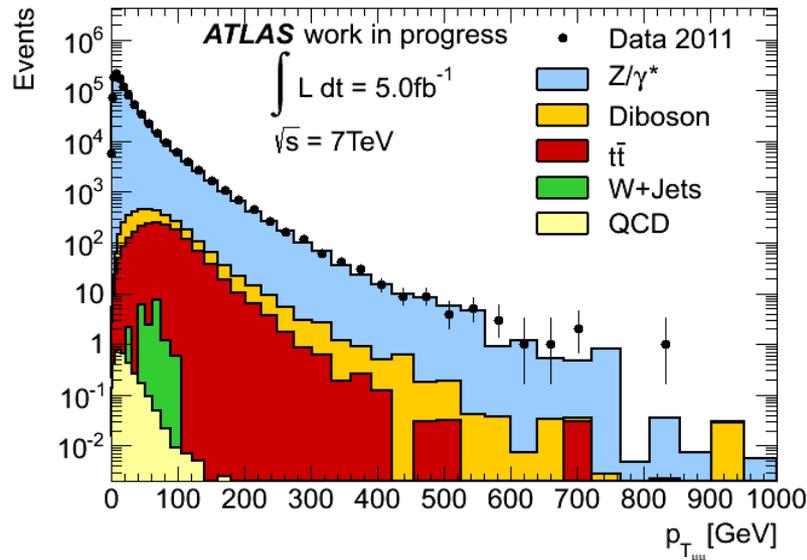
95%で生成断面積のlimitを設定

→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)

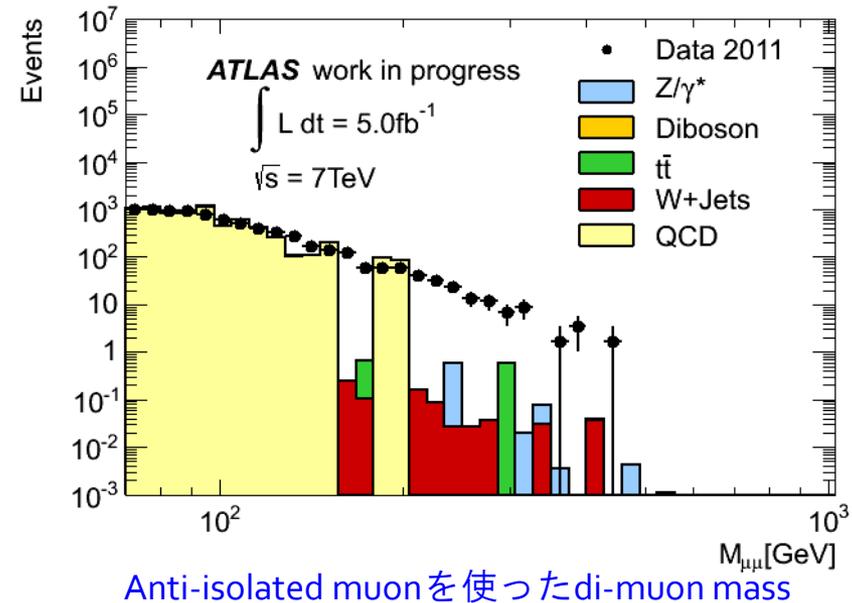
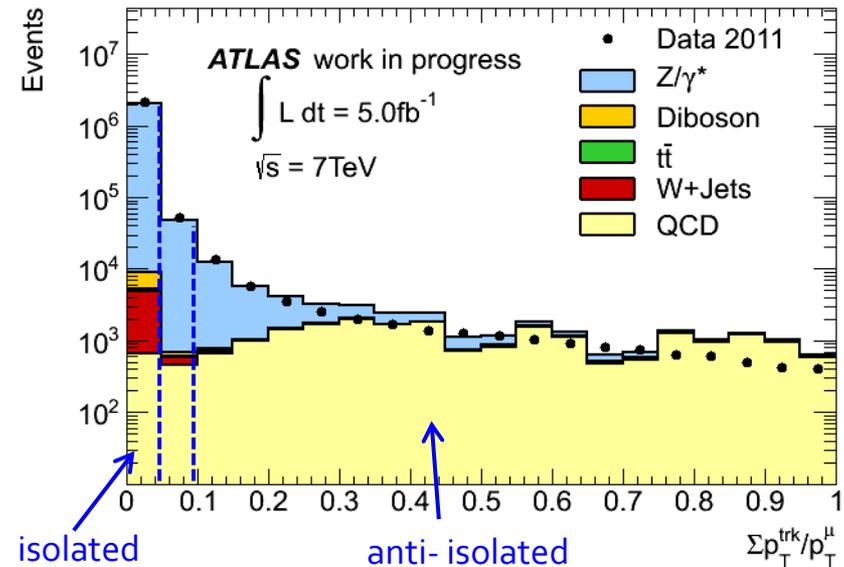
$$\text{Fake rate} = \frac{\sum p_T^{\text{trk}} / p_T^\mu < 0.05}{0.1 < \sum p_T^{\text{trk}} / p_T^\mu < 1}$$

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): $\frac{a}{(x+b)^c}$

