

# LHC – ATLAS実験における 終状態にタウを含む トップクォーク対生成断面積の測定

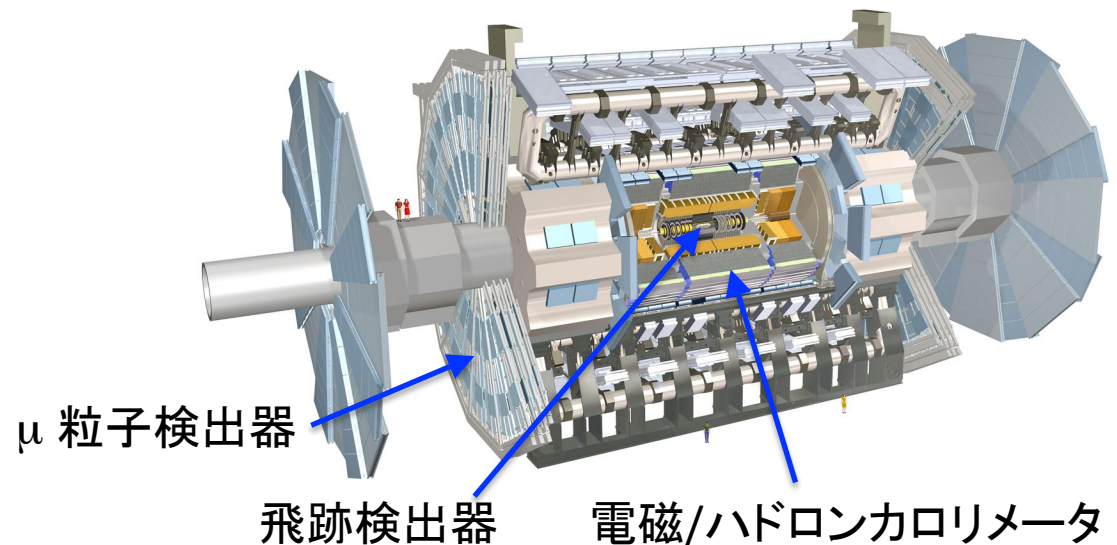
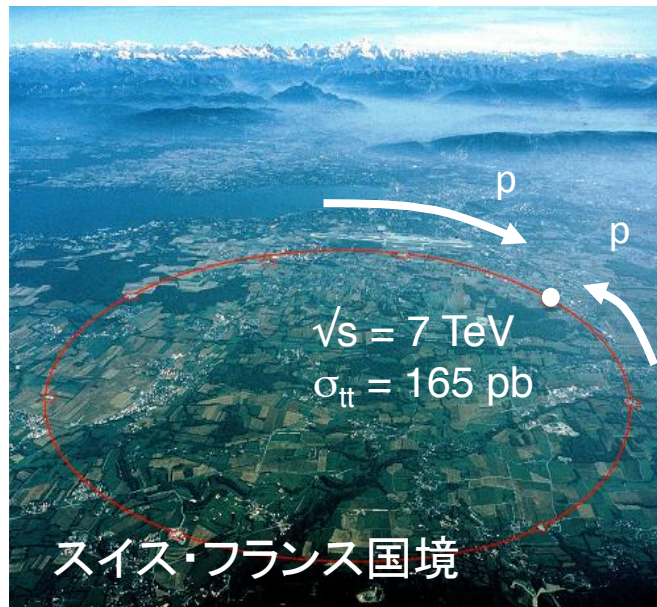
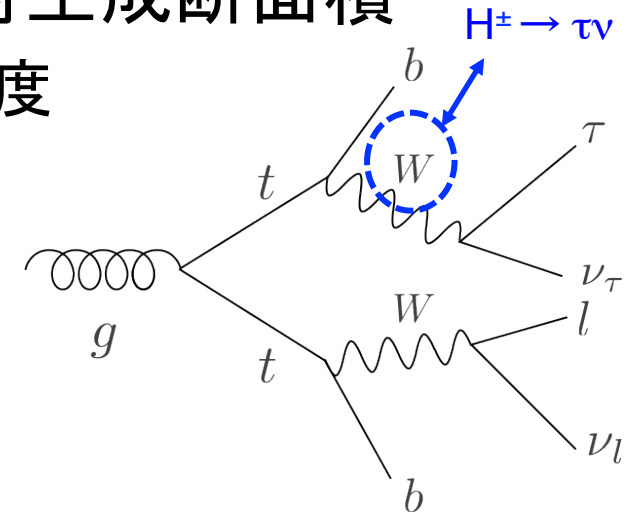
高橋 悠太

戸本 誠 (名古屋大学)

日本物理学会 第67回年次大会

# イントロダクション

- 終状態にタウを含むトップクォーク対生成断面積
  - 荷電ヒグス粒子 ( $H^\pm$ ) の存在に高い感度
  - $m_{H^\pm} < m_{top}$  ならば、標準理論より高い生成断面積が観測される可能性
- LHC – ATLAS実験
  - 現存唯一のトップクォークファクトリー



# 生成断面積の測定

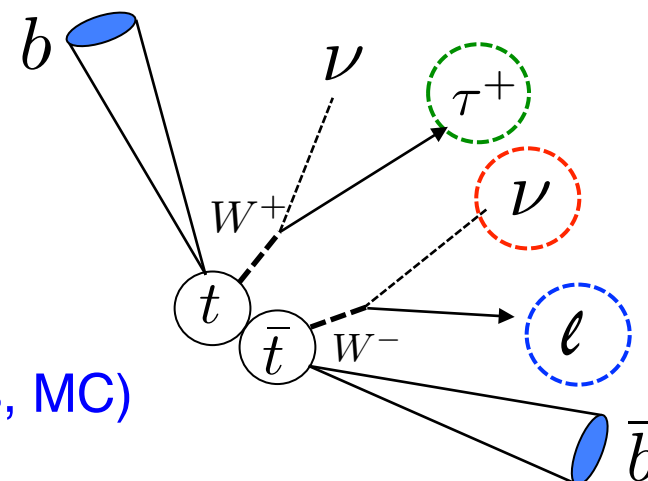
- 使用データ
  - $2 \text{ fb}^{-1}$  (約33万のトップクォーク対, 先行実験の 5 倍)
- 測定手法
  - (1) トップクォーク対の事象選別
    - $10 \text{ mb}$  (非弾性散乱断面積)  $\rightarrow$   $165 \text{ pb}$  ( $10^8$  reduction)
    - 相方の  $W$  は, レプトニック崩壊したものを用いる ( $W \rightarrow \ell \nu$ )

## (2) 信号事象数の見積り ( $N_{signal}$ )

$$\Rightarrow \sigma_{t\bar{t}} = \frac{N_{signal}}{\varepsilon \cdot B(t\bar{t} \rightarrow \tau+l)} \cdot \frac{1}{L} \quad (2 \text{ fb}^{-1})$$

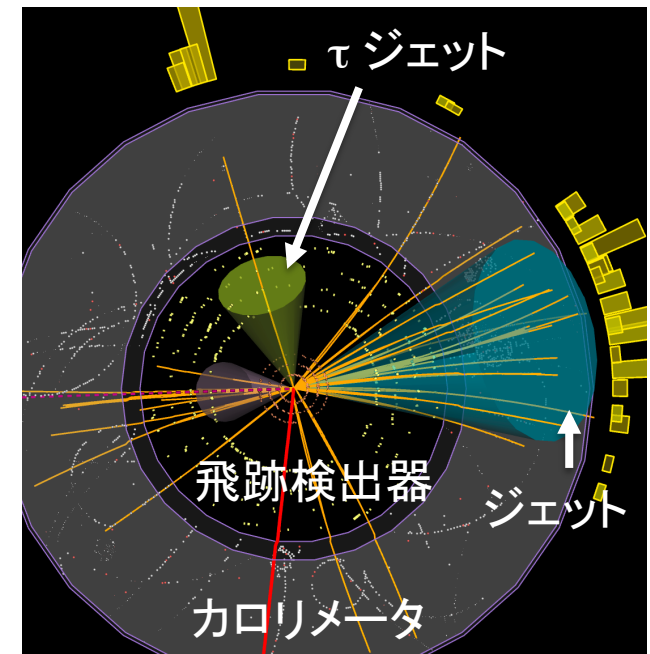
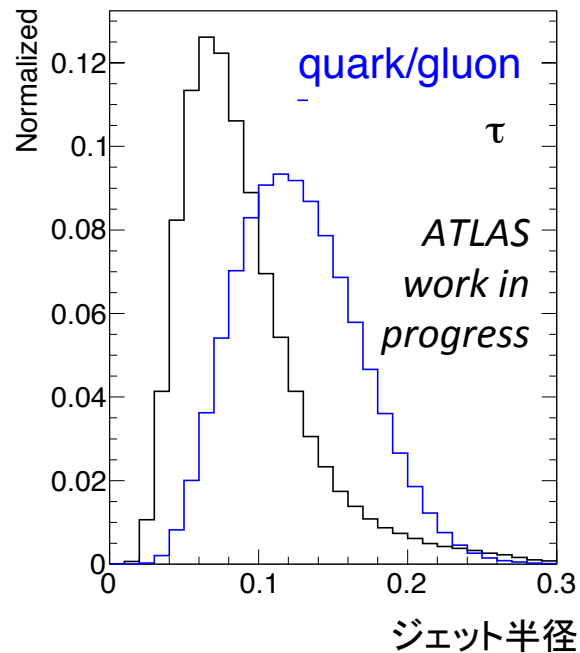
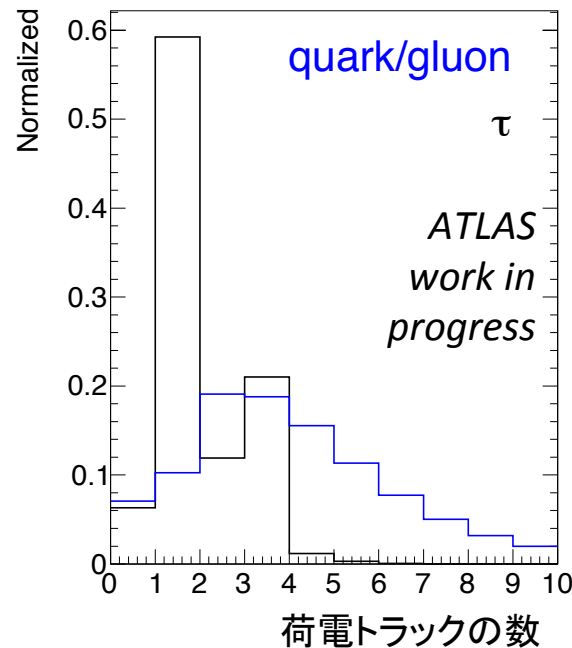
↑  
事象選別効率 (10%, MC)

←  
崩壊分岐比 (2.5%, MC)



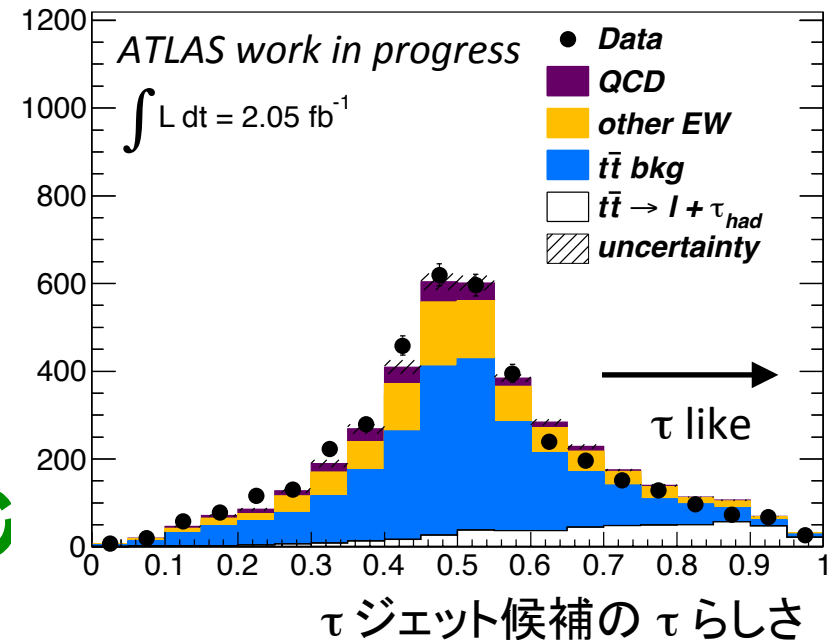
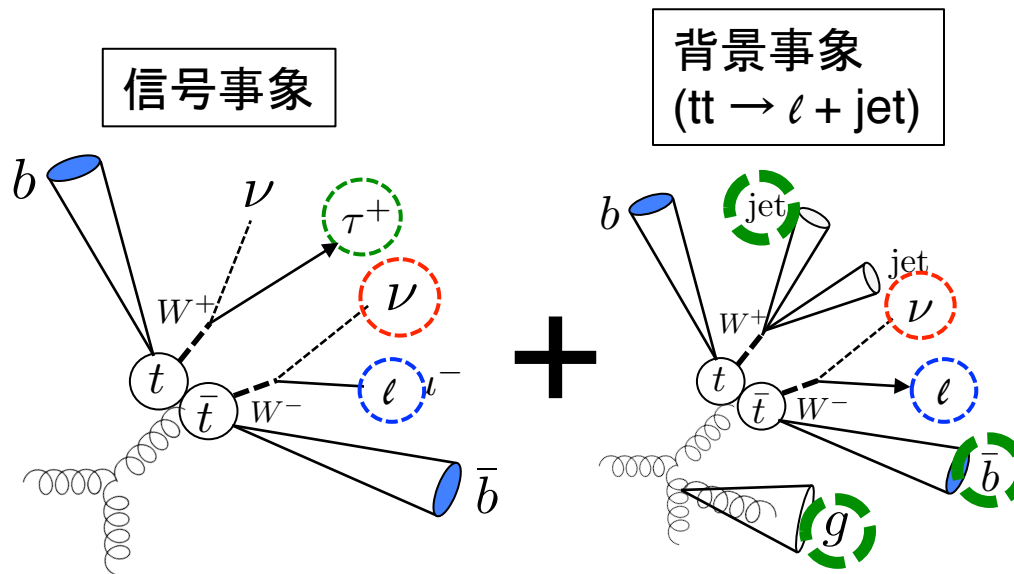
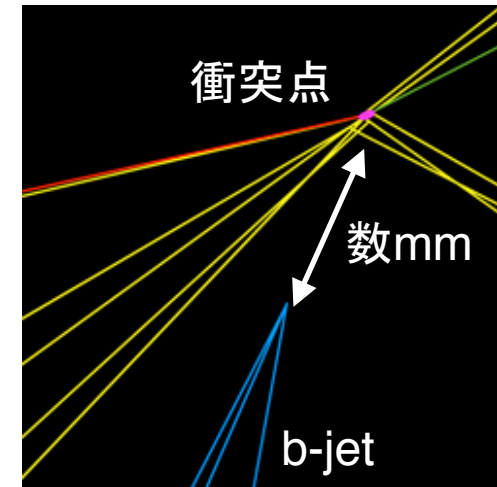
# ハドロンコライダーにおけるタウ

- 検出器到達以前に崩壊
  - Leptonic decay ( $\tau \rightarrow l\nu\nu$ , 35%)
  - Hadronic decay ( $\tau \rightarrow \pi\nu\nu$ , 65%)  $\rightarrow$  ジェットとして観測
- タウジェットの特徴
  - 奇数本の荷電トラックを伴い、孤立して出易い
  - gluon / quark jet より幅が狭い



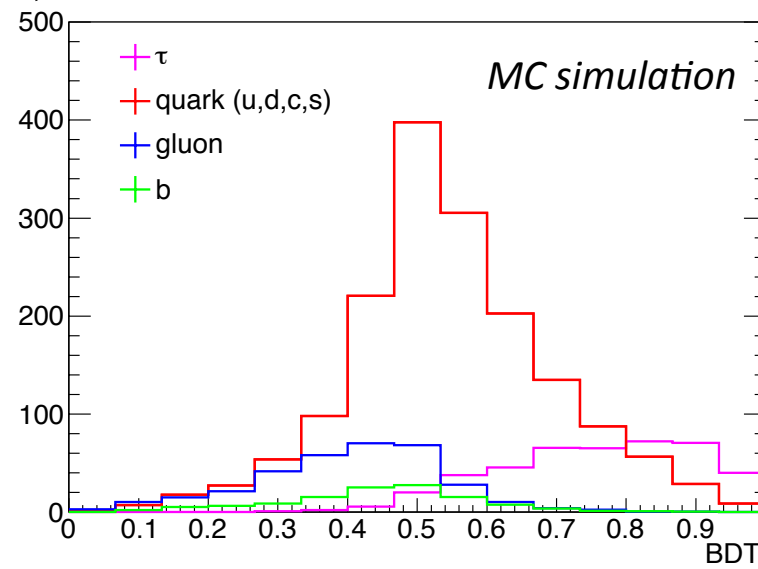
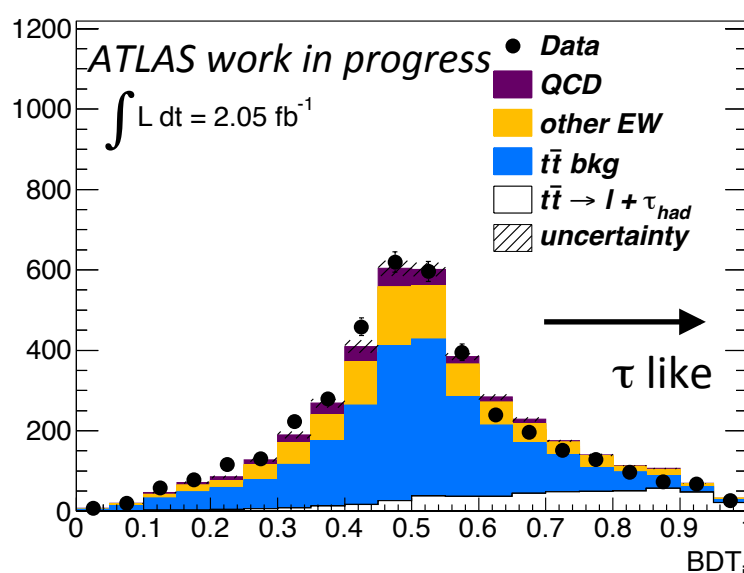
# トップクォーク対の事象選別

- 期待される終状態に基づいて選別
  - レプトンの数 = 1
  - ジェットの数  $\geq 2$  (うち1本は b-jet)
  - $\tau$  ジェット候補  $\geq 1$ 
    - 1 ~ 3 本の荷電トラックが含まれるジェット
  - 損失エネルギー  $> 30$  GeV



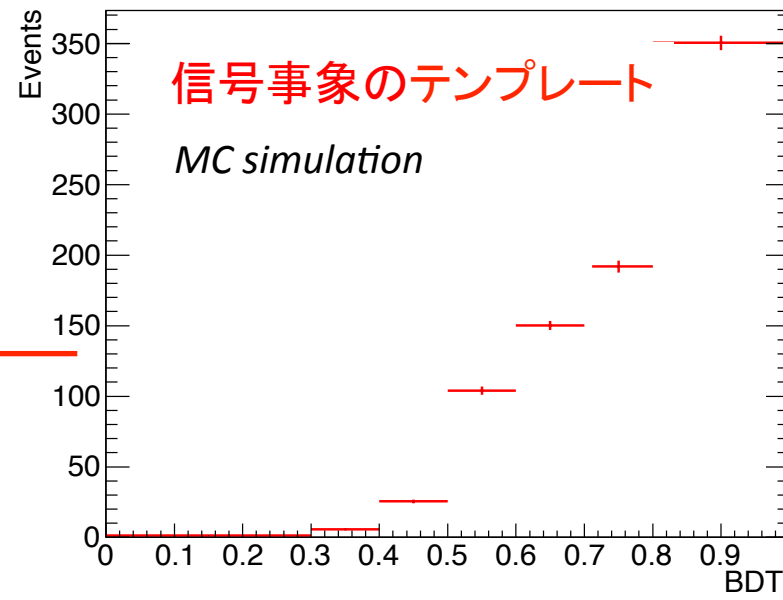
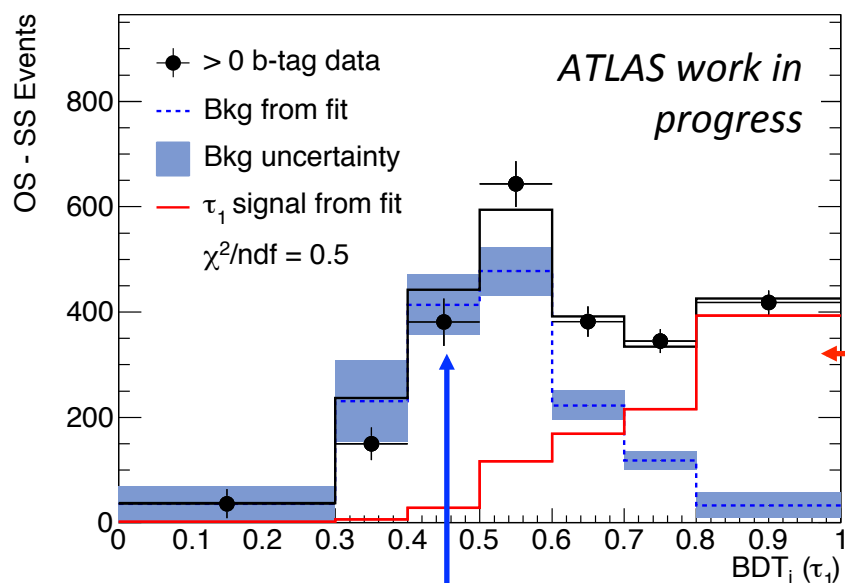
# 信号事象数の見積り手法

- $\tau$ らしさの指標, BDT (Boosted Decision Tree) を用いて template fitting
  - $\tau$  に特徴的な 8 変数を元に多変数解析, 0 ~ 1 で点数付け

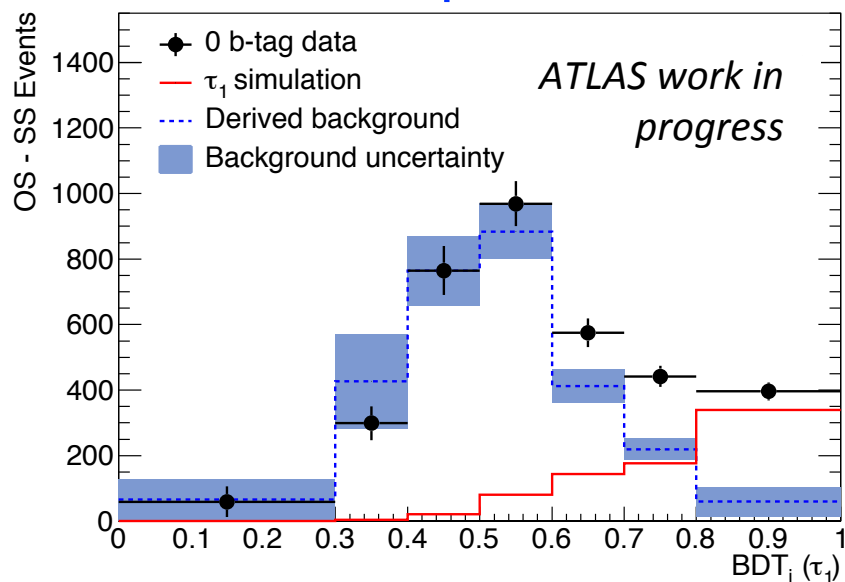


- Fake の種類 (b, gluon, quark jet) によって分布が異なる
- Lepton と  $\tau$  の charge 相関に着目
  - ✓ OS (異符号) = Signal + b + gluon + quark
  - ✓ SS (同符号) = b + gluon + quark (W 経由なので OS > SS)
  - ✓ OS – SS = Signal + quark
- OS – SS 分布に対し、Signal + quark 起源の fake, 2つのテンプレートで fitting

# フィッティングの結果



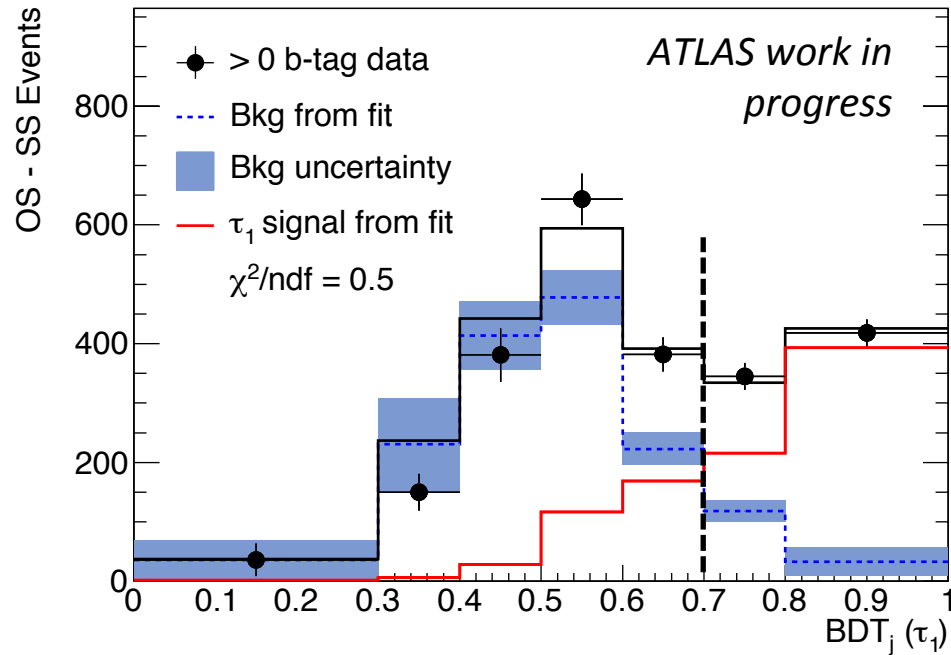
事象選別後の信号事象のMC分布



## 背景事象のテンプレート

- $0$  b-tag コントロール領域のデータ分布を利用 (OS - SS)
- $Z \rightarrow \tau\tau$  からの  $\tau$  の寄与を MC を利用して引く
- b jet 領域との形の違いはMCで補正

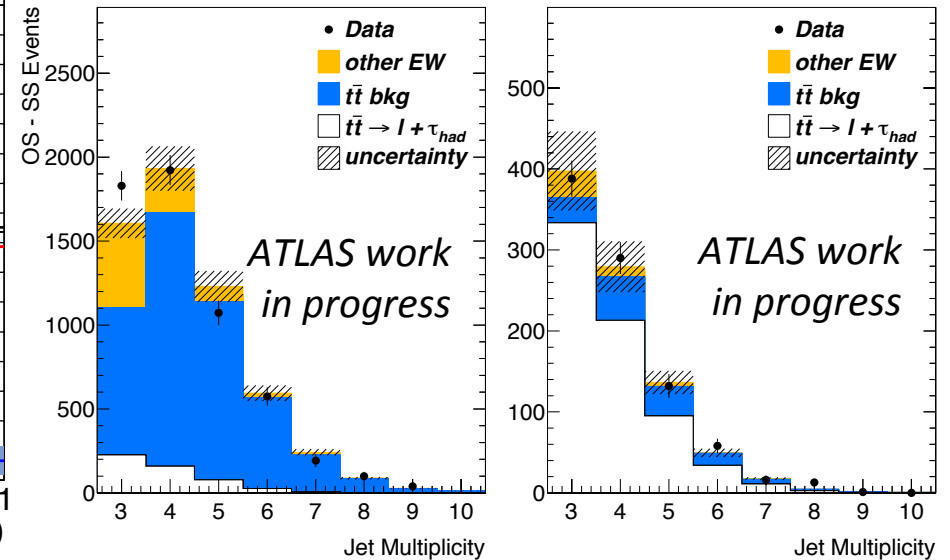
# フィッティングの結果



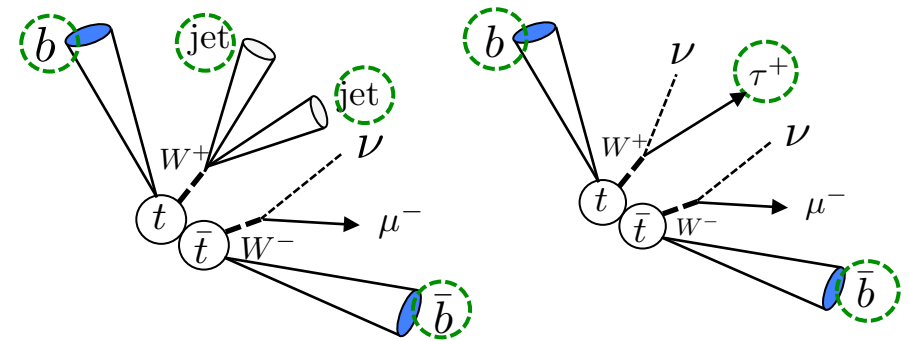
事象あたりのジェット数 ( $\tau$  jet 含む) 分布

BDT < 0.7

BDT > 0.7



	$N_{\text{signal}}$	MC 予想
$\tau + \text{electron}$	$443 \pm 46$	$390 \pm 10$
$\tau + \text{muon}$	$489 \pm 43$	$432 \pm 10$



信号事象を確かに捕えていることを, データから実証



# 生成断面積の測定結果

- 測定に伴う誤差

- 系統誤差：MCの信号期待値の誤差

- 各粒子の検出に関する不定性を  $\pm 1\sigma$  で見積もる

系統誤差	Muon	Jet	$\tau$	b-tag	MC model (*)	Total
+1 $\sigma$	+0.9%	+2.6%	+9.5%	+7.9%	+8.7%	+13%
-1 $\sigma$	-1.0%	-2.3%	-5.8%	-8.4%	-12.2%	-14%

- ルミノシティ測定誤差： $\pm 3.7\%$

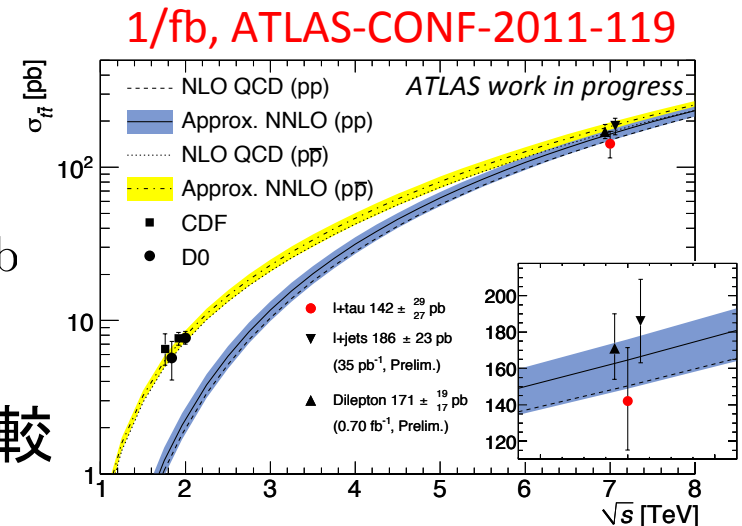
(\*) ISR/FSR, Generator, parton shower

- 生成断面積の測定結果

- $\sigma_{t\bar{t}} = 142 \pm 21(\text{stat.})_{-16}^{+20}(\text{syst.}) \pm 5(\text{lumi.}) \text{ pb}$

- 理論 ( $164.6_{-16}^{+11} \text{ pb}$ ) と矛盾なし

- 今後誤差を抑え, 他のchannelと比較



# まとめ

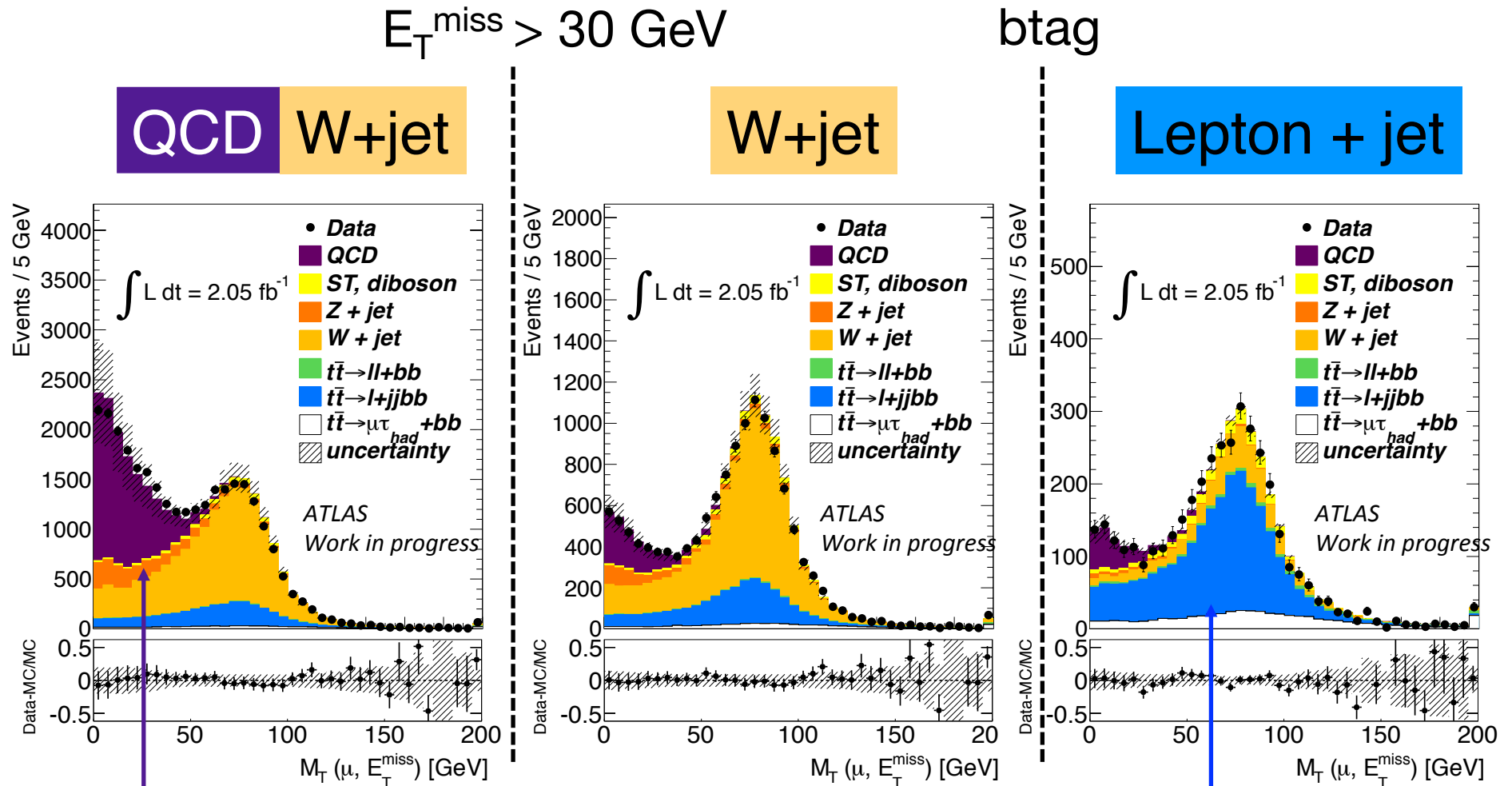
---

- 終状態に  $\tau$  を含むトップクォーク対生成断面積
  - LHC-ATLAS実験で蓄積した  $2.0 \text{ fb}^{-1}$  を用いて測定
  - $10^8$  reduction を実現
  - $\sigma_{t\bar{t}} = 142 \pm 21(\text{stat.})_{-16}^{+20}(\text{syst.}) \pm 5(\text{lumi.}) \text{ pb}$  (\*)
  - 理論の期待値 ( $164.6_{-16}^{+11} \text{ pb}$ ) と矛盾無し

(\*) 1/fb, ATLAS-CONF-2011-119



# $M_T(\ell, E_T^{\text{miss}})$ control plots

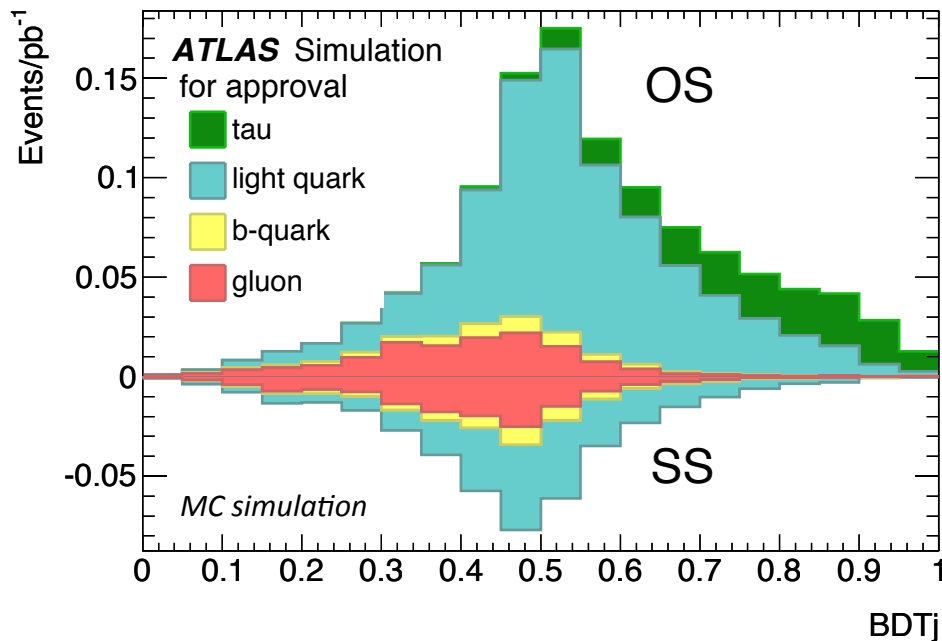


QCD is estimated from  
Non-isolated lepton sample

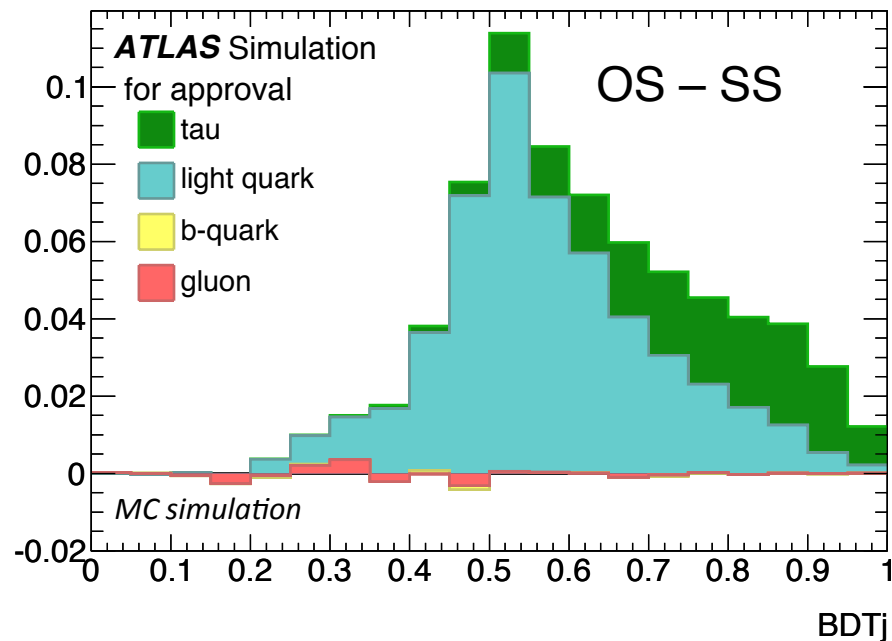
In the end, dominant BG become  $t\bar{t} \rightarrow$  lepton + jet

# Validation of OS – SS technique

BDT distribution after btag (no QCD)



BDT distribution (OS – SS)



- gluon,  $b$ -jet contribution is cancelled out without losing signals (charge symmetric)
- QCD multi-jet events are also eliminated by this operation

QCD ( $e+\mu, \tau_1$ )	OS	SS
$N_{\text{jet}} > 2$	8982	8630
$E_{\text{T}}^{\text{miss}} > 30 \text{ GeV}$	1987	1909
$\Sigma E_{\text{T}} > 200 \text{ GeV}$	1083	1271
b-tag	287	276

# Acceptance uncertainty

electron $d\mathcal{A}/\mathcal{A}$	$-1\sigma$	$+1\sigma$	muon $d\mathcal{A}/\mathcal{A}$	$-1\sigma$	$+1\sigma$
Muon $p_T$ smearing (ID)	0.0%	0.0%	Muon $p_T$ smearing (ID)	0.0%	0.0%
Muon $p_T$ smearing (MS)	0.0%	0.0%	Muon $p_T$ smearing (MS)	0.0%	+0.1%
Muon Trigger SF	0.0%	0.0%	Muon Trigger SF	-1.6%	+1.6%
Muon ID SF	0.0%	0.0%	Muon ID SF	0.0%	0.0%
electron $p_T$ smearing	0.0%	+0.2%	electron $p_T$ smearing	0.0%	0.0%
electron energy scale	-0.5%	+0.5%	electron energy scale	0.0%	0.0%
electron Trigger SF	-0.8%	+0.8%	electron Trigger SF	0.0%	0.0%
electron ID SF	-2.9%	+2.9%	electron ID SF	0.0%	0.0%
Jet energy scale	-3.4%	+3.0%	Jet energy scale	-2.8%	+2.3%
Jet energy resolution	-0.4%	+0.4%	Jet energy resolution	-0.5%	+0.5%
Jet ID efficiency	0.0%	0.0%	Jet ID efficiency	0.0%	0.0%
$b$ -tag SF	-5.3%	+4.6%	$b$ -tag SF	-5.7%	+5.3%
ISR/FSR	-5.7%	+5.7%	ISR/FSR	-4.5%	+4.5%
PDF	-2.1%	+2.1%	PDF	-2.0%	+2.0%
Parton shower	0.0%	+0.3%	Parton shower	0.0%	+0.3%
MC generator	-0.7%	+0.7%	MC generator	-0.7%	+0.7%
$\tau$ ID ( $\tau_1$ )	-5.0%	+5.0%	$\tau$ ID ( $\tau_1$ )	-5.0%	+5.0%
$\tau$ ID ( $\tau_3$ )	-7.1%	+7.1%	$\tau$ ID ( $\tau_3$ )	-7.1%	+7.1%

# Systematic uncertainty

electron $d\sigma/\sigma$	Fit Method	muon $d\sigma/\sigma$	Fit Method
Muon $p_T$ smearing (ID)	0.0% / +0.1%	Muon $p_T$ smearing (ID)	+0.1% / +0.1%
Muon $p_T$ smearing (MS)	0.0% / -0.1%	Muon $p_T$ smearing (MS)	-0.3% / +0.3%
Muon Trigger SF	-0.1% / +0.1%	Muon Trigger SF	-1.1% / +1.5%
Muon ID SF	0.0% / 0.0%	Muon ID SF	-0.1% / 0.0%
electron $p_T$ smearing	-0.2% / 0.0%	electron $p_T$ smearing	-0.2% / +0.2%
electron energy scale	-0.2% / +0.4%	electron energy scale	-0.3% / +0.1%
electron Trigger SF	-0.7% / +1.0%	electron Trigger SF	-0.1% / +0.2%
electron ID SF	-2.8% / +2.7%	electron ID SF	-0.5% / +0.6%
Jet energy scale	-1.9% / +2.8%	Jet energy scale	-2.0% / +2.2%
Jet energy resolution	-1.2% / +1.2%	Jet energy resolution	-1.0% / +1.0%
Jet ID efficiency	0.0% / 0.0%	Jet ID efficiency	-0.2% / +0.2%
$b$ -tag SF	-7.5% / +8.9%	$b$ -tag SF	-7.7% / +9.0%
ISR/FSR	-3.5% / +3.5%	ISR/FSR	-4.8% / +4.8%
PDF	-2.1% / +2.1%	PDF	-2.0% / +2.0%
Parton shower	-0.3% / 0.0%	Parton shower	-0.3% / 0.0%
MC generator	-0.7% / +0.7%	MC generator	-0.7% / +0.7%
$\tau$ ID ( $\tau_1$ )	-2.7% / +3.0%	$\tau$ ID ( $\tau_1$ )	-3.0% / +3.2%
$\tau$ ID ( $\tau_3$ )	-2.9% / +3.2%	$\tau$ ID ( $\tau_3$ )	-3.1% / +3.4%

In total  
~ 11%

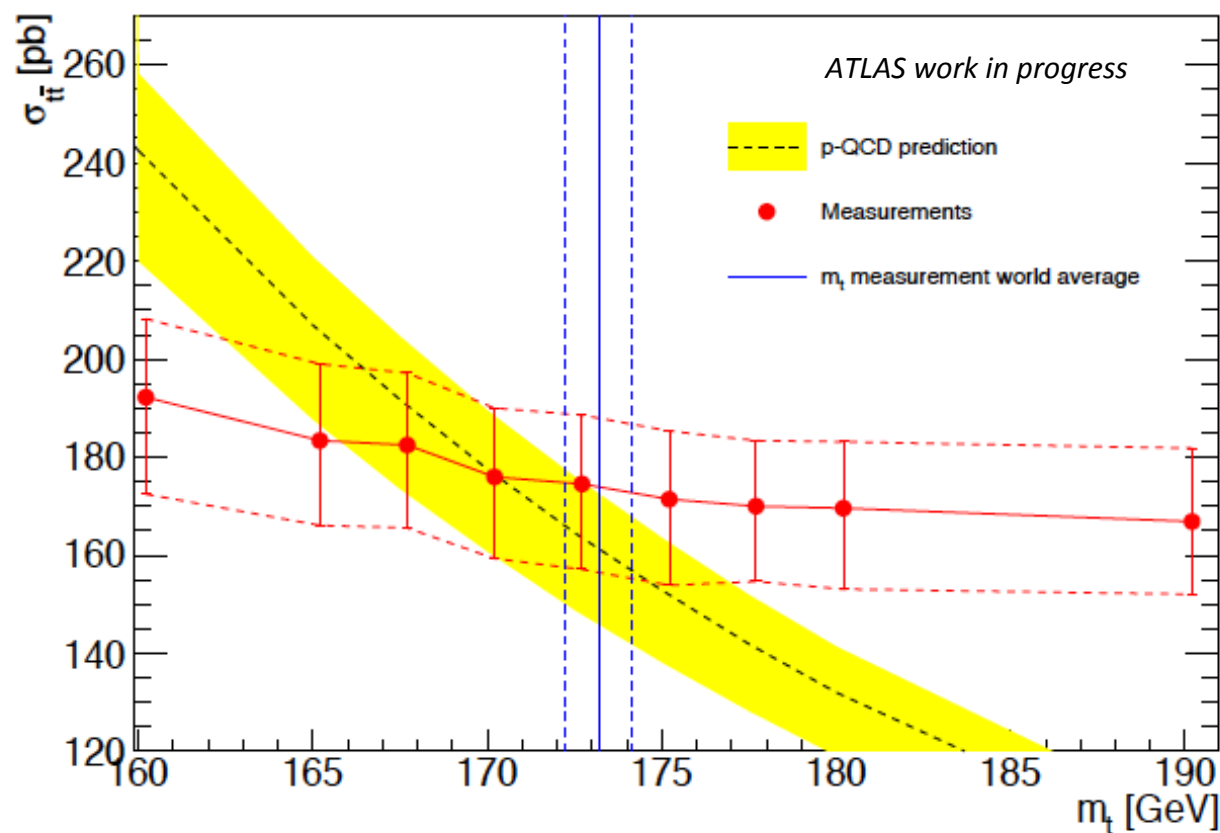


Figure 5.30: The experimentally measured cross-section as a function of the  $t$ -quark mass assumption (solid red line), where the  $1\sigma$  uncertainty is given with the red dashed line. The yellow band shows the cross-section prediction by the higher-order perturbative QCD calculation.