

日本物理学会「第66回年次大会」

2011年春



筑波大学
University of Tsukuba

LHC-ATLAS 実験における W +jets 事象の生成断面積測定

林隆康、金信弘、受川史彦、原和彦、
R. Bruneliere^A、他 ATLAS W +jets グループ

筑波大数理、University of Freiburg^A

Introduction

- LHC-ATLAS 実験における W +jets 生成断面積の測定
 - W 生成をプローブとして、付随するジェット生成を摂動 QCD で検証する。
 - ヒッグス、超対称性粒子の探索、トップクォーク生成事象等様々なプロセスのバックグラウンドとしての理解も重要。
- 2010年に ATLAS 検出器により得られた全てのデータ(積分ルミノシティ 33.3 pb^{-1})を用いて、 W +jets 生成断面積を測定した。データは、Next to leading order (NLO) のイベントジェネレータ(MCFM、BLACKHAT-SHERPA) やその他(ALPGEN、PYTHIA、SHERPA)を用いた断面積や運動学量分布と比較した。
- Contents
 - LHC /ATLAS
 - データ、MC サンプル、事象選択
 - 運動学量分布の比較
 - 生成断面積の導出
 - NLO MC シミュレーションによる理論予想、データとの比較
 - まとめ

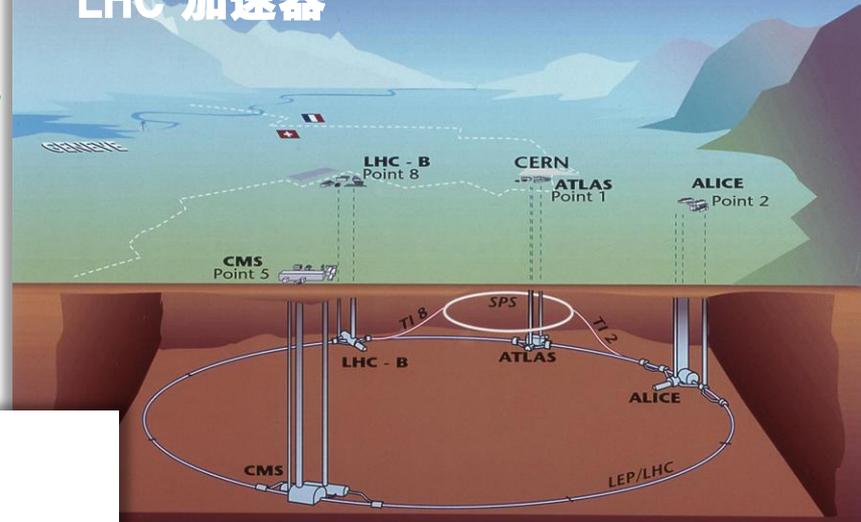
LHC加速器 / ATLAS 検出器

LHC

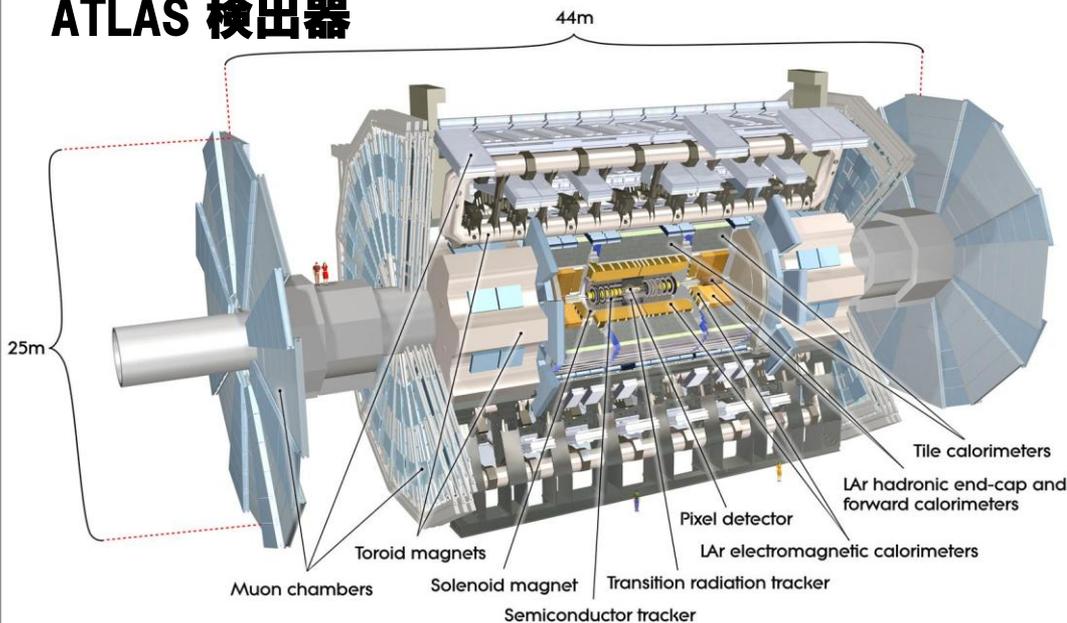
- 陽子陽子衝突型円形加速器
- 重心系エネルギー 7 TeV (設計値14TeV)
- 2010年までの積分ルミノシティ35 pb⁻¹

Overall view of the LHC experiments.

LHC 加速器



ATLAS 検出器



ATLAS検出器

- 汎用型粒子検出器
- SM, Higgs, SUSY, 余剰次元など様々な成果が期待

データ及び事象の選択

- データ
 - 2010 年までに ATLAS 検出器により取得。
 - LHC の重心系エネルギー 7 TeV
 - 積分ルミノシティ 33.3 pb^{-1} : $W(\rightarrow ev)+\text{jets}$ の解析に用いられたもの
- $W(\rightarrow ev)+\text{jets}$ 事象の選択
 - トリガー
 - カロリメータのエネルギーが 15 GeV以上の電子
 - 電子
 - $E_T > 20 \text{ GeV}$, $|\eta| < 2.47$ ($1.37 < |\eta| < 2.47$ を除く)
 - これらを満たす電子がただ1つ存在する。
 - Missing $E_T > 25 \text{ GeV}$
 - W transverse mass $> 40 \text{ GeV}$
 - ジェット
 - Anti- k_t アルゴリズム (cone サイズ 0.4)
 - $p_T > 20 \text{ GeV}$, $|\eta| < 2.8$
 - $\Delta R(e, \text{jet}) > 0.5$ (電子とジェットの2重カウントを除外)
 - $|\text{Jet Vertex Fraction}| > 0.75$ (pileup 事象の抑制)

シグナル及びバックグラウンド事象

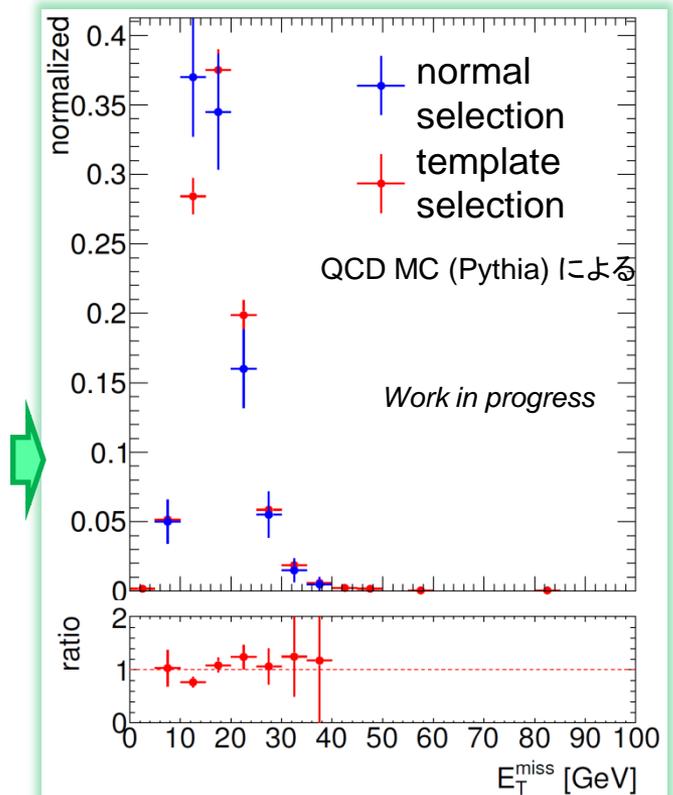
- シグナルシミュレーションサンプル
 - LO : ALPGEN, SHERPA, PYTHIA
 - NLO : MCFM, BLACLHAT-SHERPA
- バックグラウンド

MCシミュレーションによって見積もられるバックグラウンド

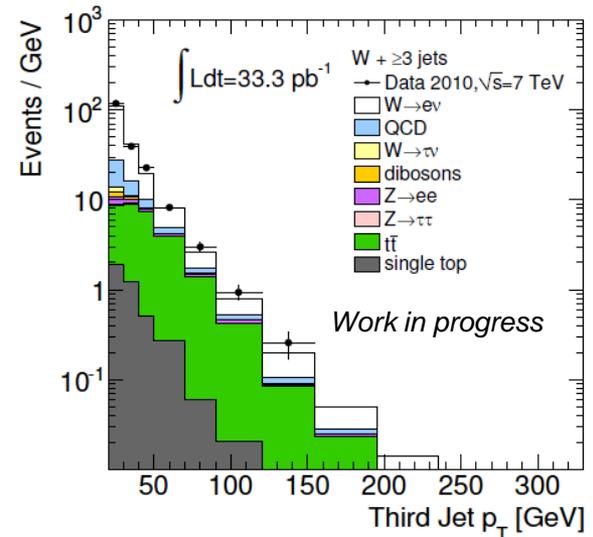
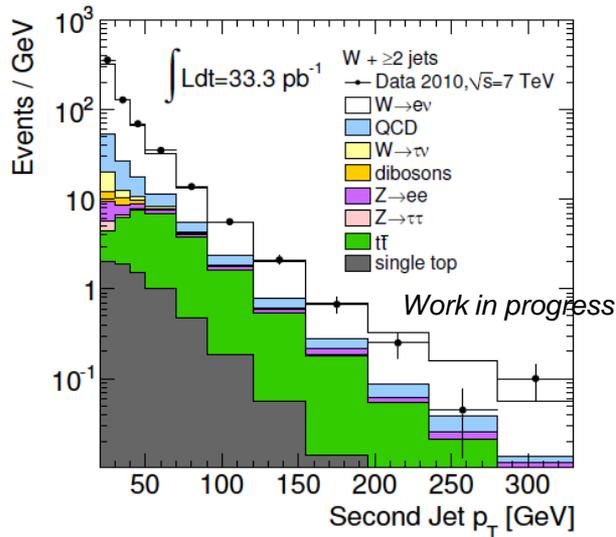
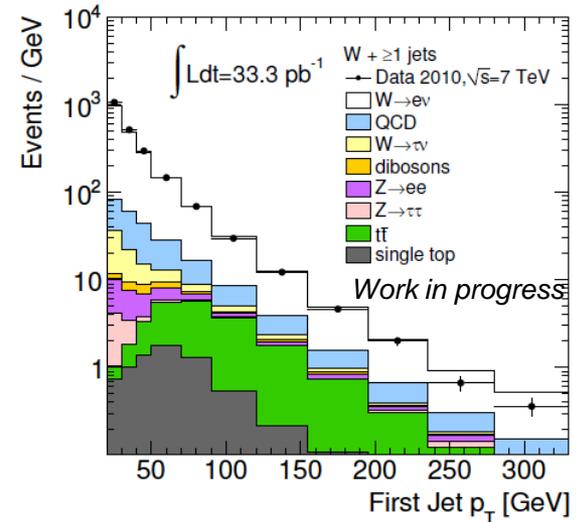
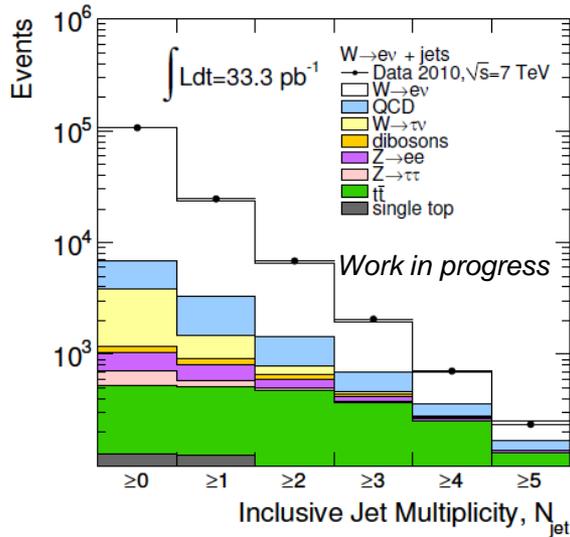


プロセス	MCサンプル
$W \rightarrow \tau\nu$	ALPGEN
$Z \rightarrow ee$	ALPGEN
$Z \rightarrow \tau\tau$	ALPGEN
Ttbar	POWHEG
single top	MC@NLO
dibosons(WW, WZ, ZZ)	HERWIG

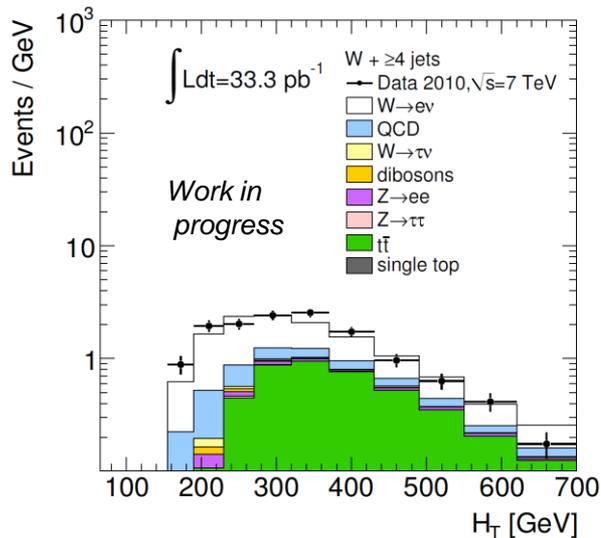
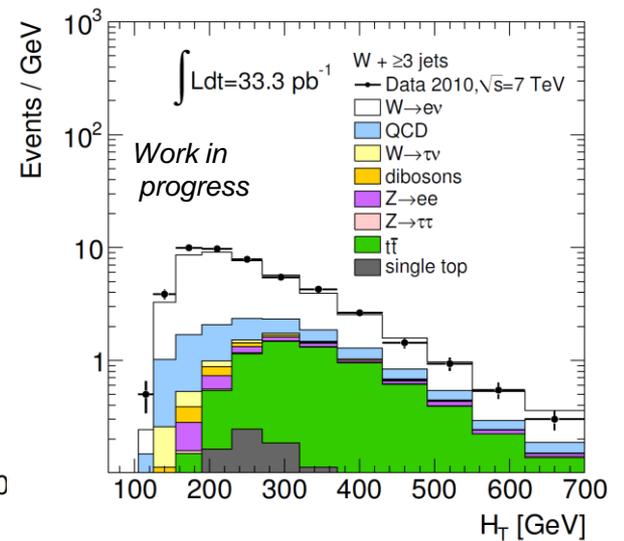
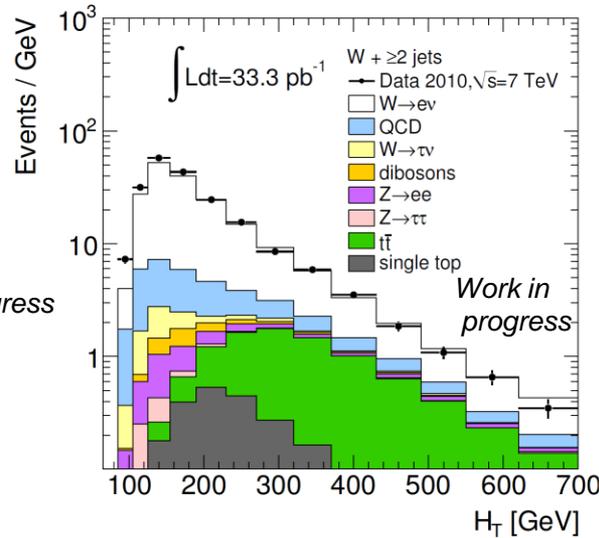
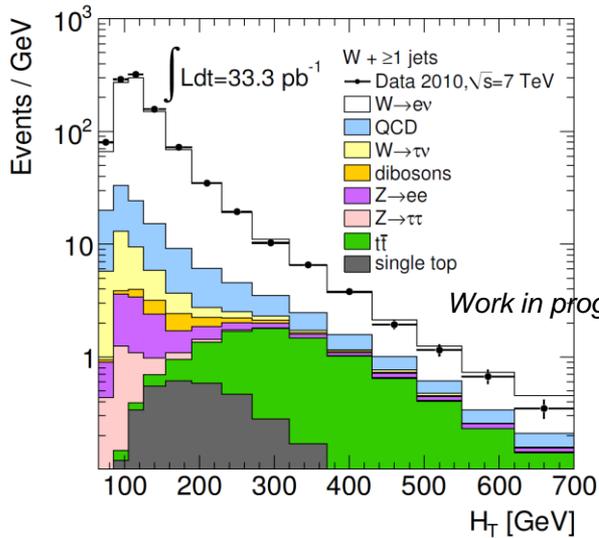
- QCDバックグラウンドはデータを用いて見積もる
 - Isolation及びtrackと電磁カロリメータにおけるクラスターのmatchingの条件を満たさないelectronを選択
 - データとは独立なテンプレート
 - このテンプレートをMCで見積もったテンプレートの和をMissing ET 分布についてデータとフィットする = QCD 分布の規格化。
 - 右図はQCD MC (Pythia) を用いた Missing ET 分布 (通常のelectron 選択及びテンプレート用のelectron 選択)
 - QCD の分布はこのテンプレートを用いる。
 - 系統誤差はelectronに対する事象選択を変えて得られた独立なテンプレート同士の差より見積もる。



ジェット多重度、ジェット p_T



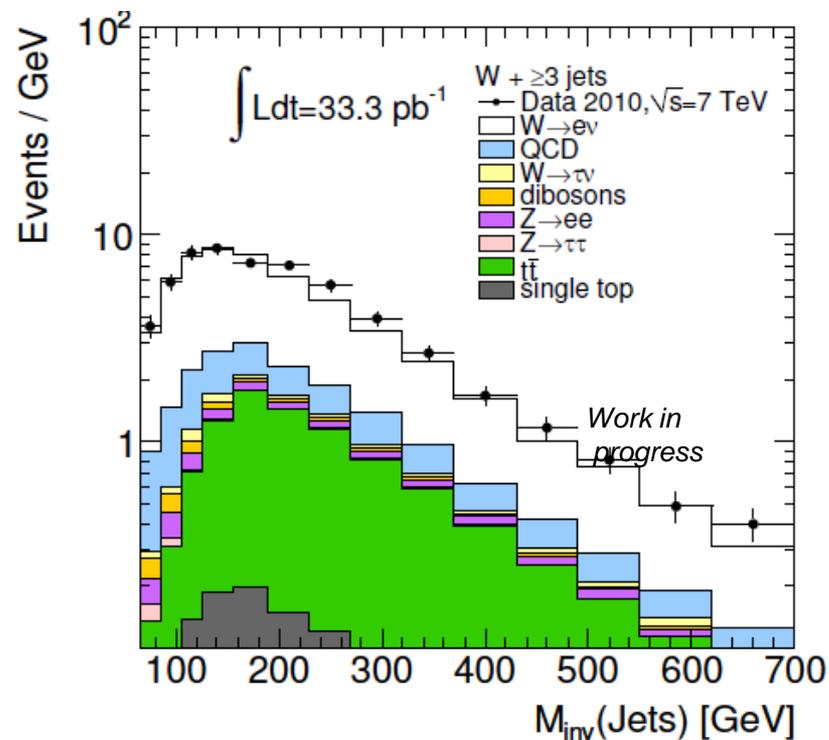
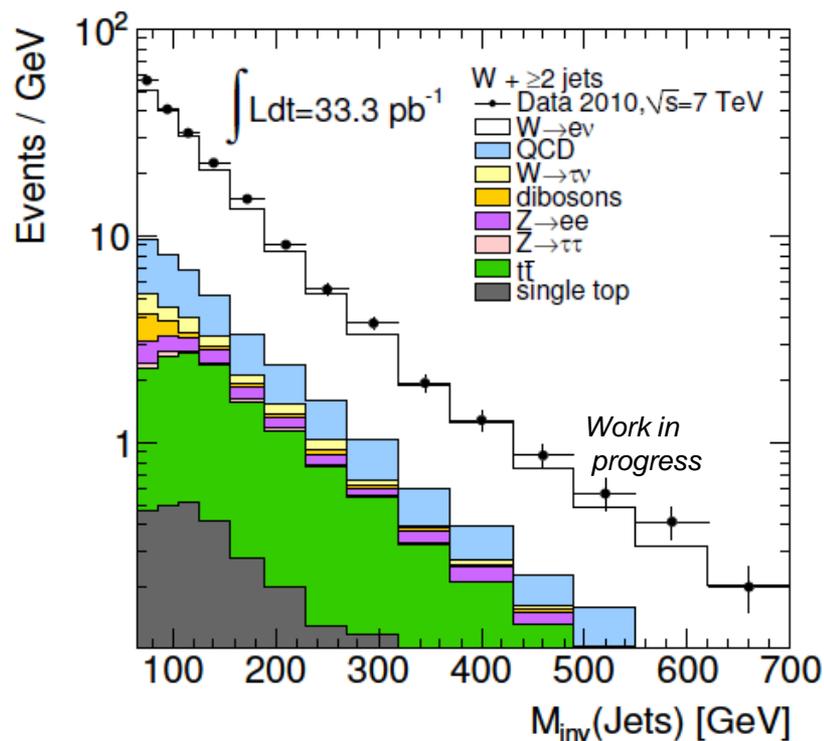
H_T分布



H_T : 事象中の $p_T(\text{lepton})$ 、 $p_T(\text{jets})$ 及び
Missing E_T のスカラー和

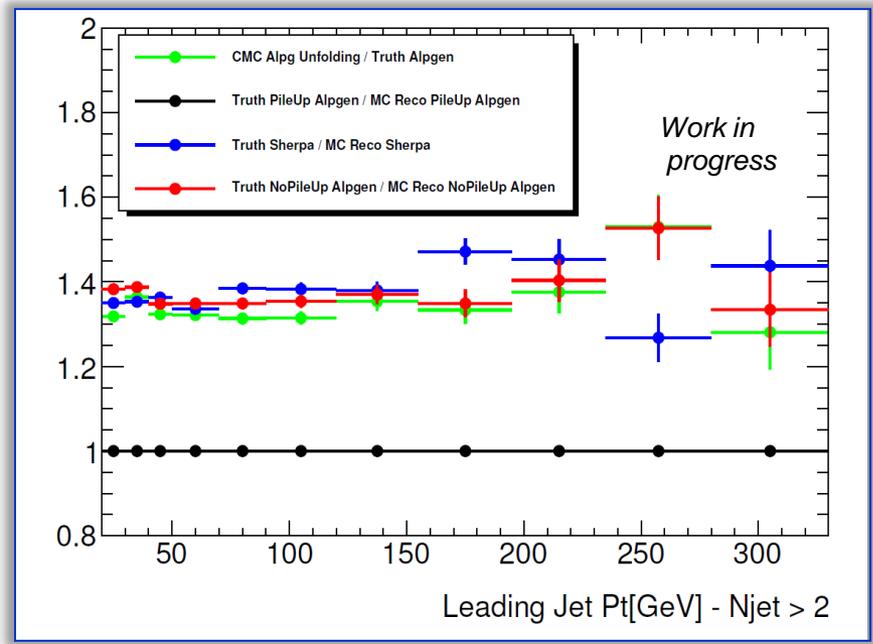
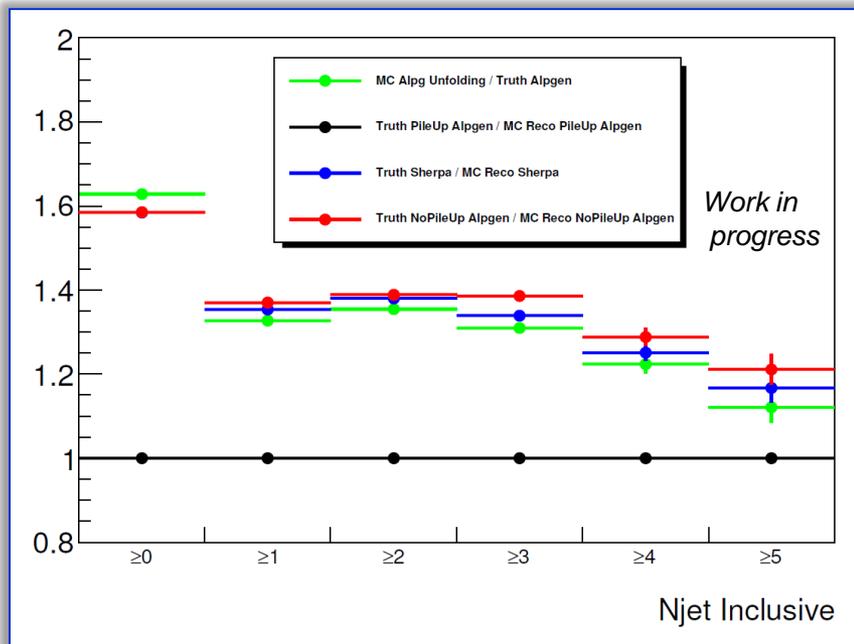
ジェットの質量

事象中の選択された全てのジェット不変質量分布



パートンレベル断面積の導出

- Unfolding
 - 検出器レベルの分布から、検出器に依存しないハドロンレベルの断面積を導出する為、MC サンプルを用いて bin-by-bin に補正值を求める。
 - 補正值の中心値 : pile-up の効果を含む ALPGEN サンプル
 - 系統誤差 : pile-up を含む/含まない SHERPA
- ジェット多重度及びleading jet pT に対する bin-by-bin unfolding 係数



系統誤差

Jet 多重度毎の断面積に対する系統誤差

Fractional Systematic Uncertainties for the Electron Channel (in %)				
Uncertainty	$N_{jets} \geq 0$	$N_{jets} \geq 1$	$N_{jets} \geq 2$	$N_{jets} \geq 3$
+JES:	-1.4	9.8	14.3	21.0
-JES:	0.6	-7.6	-11.0	-16.3
+JER:	0.1	3.1	4.3	6.2
+Trigger Eff:	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7
-Trigger Eff:	0.5	0.5	0.6	0.7
+Ele SF Reco:	-1.5	-1.6	-1.7	-2.0
-Ele SF Reco:	1.6	1.6	1.7	2.0
+Ele SF ID:	-2.6	-2.6	-2.7	-3.2
-Ele SF ID:	2.7	2.7	2.9	3.3
+Ele SF Iso:	-2.0	-2.1	-2.2	-2.6
-Ele SF Iso:	2.1	2.2	2.3	2.7
+Ele p_T Scale:	3.5	4.7	5.1	6.1
-Ele p_T Scale:	-4.0	-5.2	-5.7	-6.6
+Ele p_T Res.:	0.02	0.04	0.07	<0.01
JVF:	-0.1	6.6	10.7	15.1
Pile-Up:	-1.6	3.5	4.2	7.3
QCD method:	0.5	1.9	3.4	3.0
$+\sigma(W,Z,dibosons)$:	-0.2	-0.2	-0.3	-0.2
$+\sigma(t\bar{t}, \text{single top})$:	-0.0	-0.2	-0.6	-1.9
+Lumi:	-3.4	-3.5	-3.7	-4.4
Unfolding:	-1.6	-2.4	-2.8	-4.8

NLOイベントジェネレータ

- MCFM & BLACKHAT-SHERPA
 - パartonレベルのイベントジェネレータ
 - ハドロン衝突型加速器での W +jets 等の事象をを NLO で生成可能。

- MCFM
 - NLO : W + up to 2 jets
 - LO : W + 3 jet

- BLACKHAT-SHERPA
 - NLO : W + up to 3 jets
 - LO : W + 4jets

- partonレベルの $W(\rightarrow ev)$ +jets 事象の選択

Cut	$W \rightarrow ev$
charged lepton p_T	$p_T > 20$ GeV
lepton η	$ \eta < 2.47$, excluding $ \eta = 1.37 - 1.52$
jet algorithm	Anti-Kt, $\Delta R = 0.4$
jet p_T	$p_T > 20$ GeV
jet η	$ \eta < 2.8$
jet isolation	$\Delta R(e - jet) > 0.5$
neutrino p_T	$p_T > 25$ GeV
transverse mass	$M_T > 40$ GeV

NLOのMC シミュレーションに対する補正

- MCFM及びBLACKHAT-SHERPA はパートンレベルのイベントジェネレータ
 - 生成されたパートンに対するパートンシャワー及びハドロン化の過程やUnderlying Event(U.E.)の効果を含まない
- データより得られたハドロンレベルの分布と比較するためには、これらに対する補正が必要

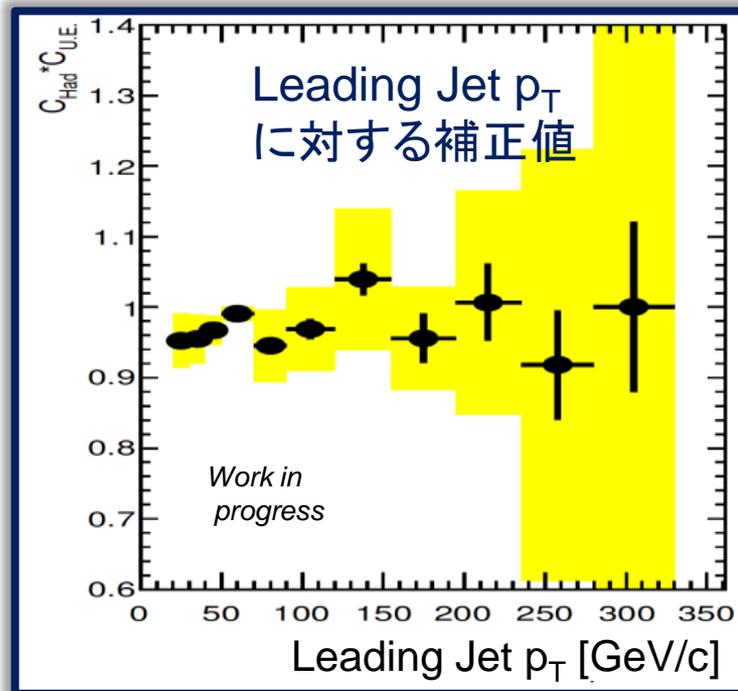
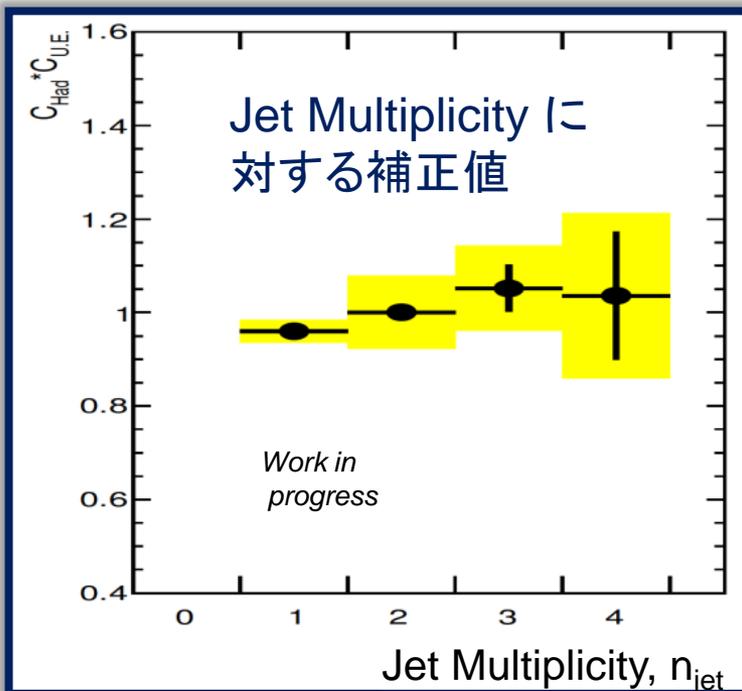
1. パartonレベルからハドロンレベルへの補正: C_{Had}

- U.E. をオフにした Pythia を用いる。
- $C_{\text{Had}} = \text{ハドロンレベル} / \text{パートンレベル}$

2. UEの効果の補正: $C_{\text{U.E.}}$

- UEをオン/オフにしたPythiaを用いる。
- $C_{\text{U.E.}} = \text{U.E.オン} / \text{U.E. オフ}$

- 最終的な補正值: $C_{\text{Had}} \times C_{\text{U.E.}}$



NLO MC シミュレーションの不確かさ

1. スケール依存性

- QCDの2つのスケールに対する依存性を系統誤差とする。
 1. Renormalization scale (μ_R)
 2. Factorization scale (μ_F)
- $\mu_R = \mu_F (= \mu)$ として両者を同時に変化させる。
- $\mu = H_T/2$: 中心値
- $\mu = H_T, H_T/4$: 系統誤差

2. パarton分布関数 (PDF) 由来の誤差

- 後述

3. 補正に対する誤差

- 複数のジェネレータを用いて補正值を計算し、差異を系統誤差とする。
 - 中心値 : PYTHIA
 - 系統誤差 : HERWIG

パートン分布関数(PDF)由来の誤差の見積もり

- 使用した PDF : CTEQ6.6 NLO PDF
- PDF を決定する22種類の変数を、それぞれ正負に変化させる。
→ 44 通りの PDF について、それぞれ(微分)断面積を計算。

$$f_i^{(x)} \quad (i=1\sim 22, x=+,-)$$

- 以下の式により、PDF 由来の誤差を、正負方向それぞれ見積もる。

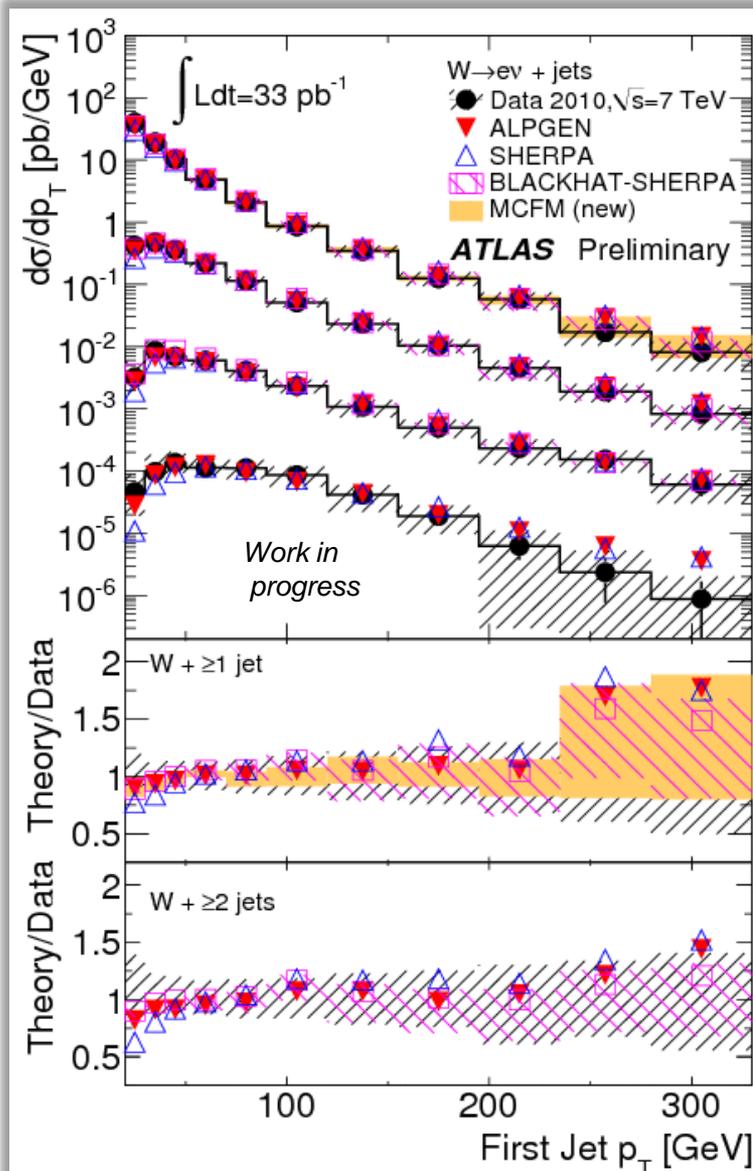
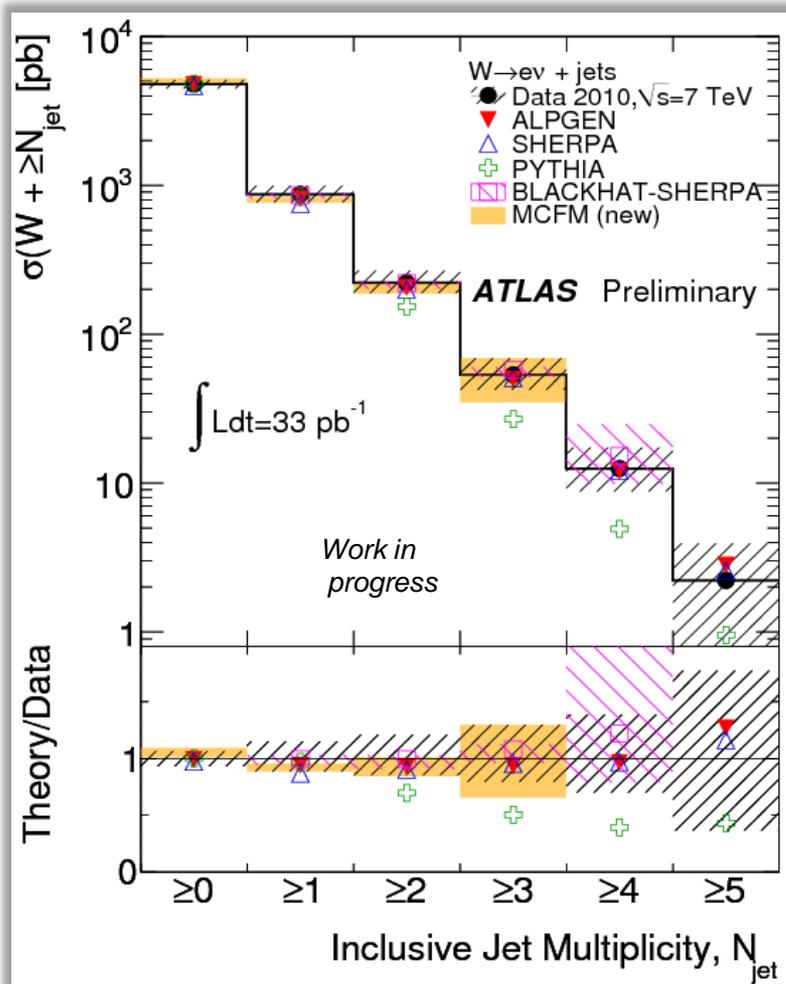
$$\delta^+ f = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_a} \left[\max \left(f_i^{(+)} - f_0, f_i^{(-)} - f_0, 0 \right) \right]^2},$$

$$\delta^- f = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_a} \left[\max \left(f_0 - f_i^{(+)}, f_0 - f_i^{(-)}, 0 \right) \right]^2},$$

$f_i^{(x)}$: i 番目の変数を x 方向に変化させた時の(微分)断面積

- この式は 90% の信頼度で誤差を与える。
→ 68.3% の信頼度(1 σ 相当)の不確かさに換算。

Data と MCFM の比較



$W + \geq 1 \text{ jets}$
 $W + \geq 2 \text{ jets (x1/10)}$
 $W + \geq 3 \text{ jets (x1/100)}$
 $W + \geq 4 \text{ jets (x1/1000)}$

PYTHIA 以外は良く一致している

まとめ

- ATLAS 検出器により取得した、重心系エネルギー 7 TeV、積分ルミノシティ 33.3pb^{-1} のデータを用いて $W(\rightarrow ev)+\text{jets}$ 事象の生成断面積を測定した。
- $W(\rightarrow ev)+\text{jets}$ 事象の運動学量分布を、いくつかの MC シミュレーション(ALPGEN など)と比較した。いずれも良い一致を示している。
- 測定した生成断面積及び Leading Jet の p_T の微分断面積を LO の MC 及び NLO の MC(MCFM など)と比較した。PYTHIA を除き、良い一致を示している。