



LHC-ATLAS実験におけるZ粒子を 伴うジェット生成事象断面積の測定

2012年3月25日

日本物理学会第67回年次大会
関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス

管野貴之

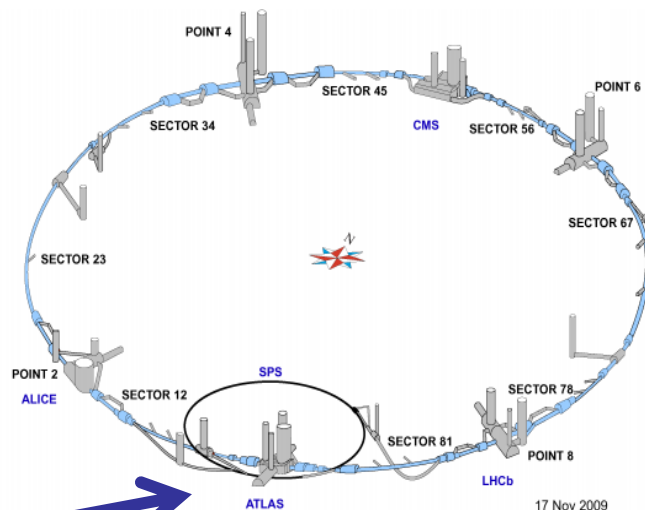
石塚正基、久世正弘、徳宿克夫^A、長野邦浩^A、山崎祐司^B

東工大、高工研^A、神戸大理^B

大型ハドロンコライダーLHCとATLAS実験

LHC

- ▶ CERNが運営する世界最大の陽子陽子衝突型加速器
- ▶ 2011年は重心系エネルギー7TeVにて運転

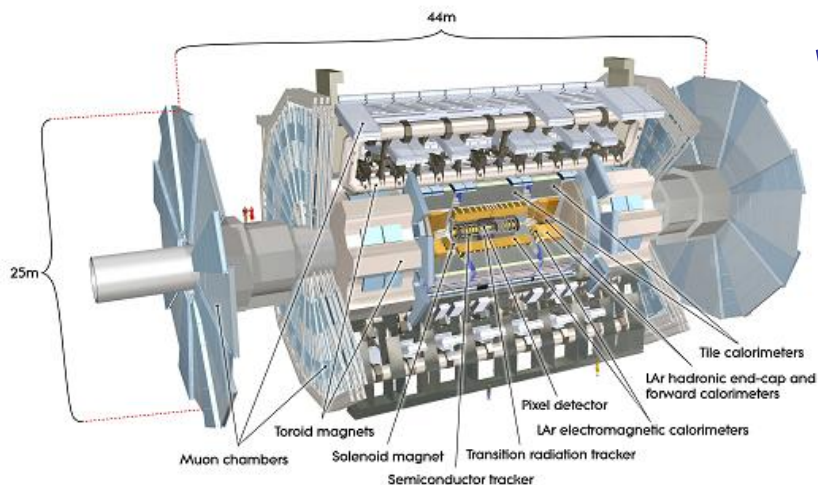


ATLAS実験

- ▶ 衝突点の一つに設置されたATLAS検出器を用いる

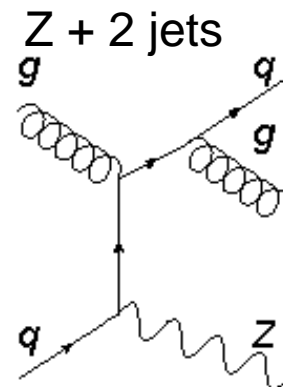
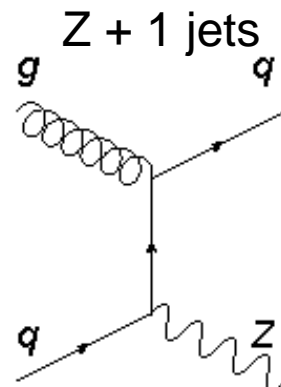
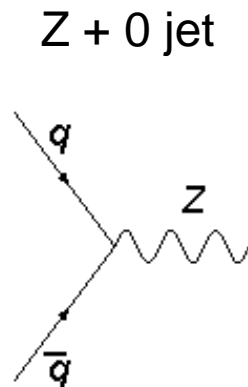
ATLAS検出器

- ▶ 衝突で生成される各種の粒子を測定するための多目的検出器



Z粒子を伴うジェット生成事象

ダイアグラムの例



解析の意義

- ▶ LHCのエネルギー領域における摂動論的QCDの検証
 - ▶ Z粒子→レプトン対崩壊を同定、プローブとして利用
 - ▶ 高いS/N比
 - ▶ 生成断面積をジェット生成数やジェットの各力学変数に対して測定→種々の理論計算との比較
- ▶ Higgs、SUSY探索などの新しい物理に対するバックグラウンドとして理解が必要

Z粒子を伴うジェット生成事象 (続)

本講演の内容

- ▶ 2011年度取得のデータの解析
 - ▶ 検出器の状態が良好だったものを選別、 4.7 fb^{-1} を使用
 - ▶ $Z \rightarrow \mu\mu$ 事象を選別
- ▶ 比較対象とした理論計算(モンテカルロシミュレーション:MC)
 - ▶ Next Leading Order (NLO)
 - ▶ BlackHat + Sherpa
 - ▶ 4ジェットまでをNLOで計算可能
 - ▶ Leading Order (LO)
 - ▶ ALPGEN+HERWIG、およびSherpa
 - ▶ 5ジェットまでをLOで計算

バックグラウンド

▶ ElectroWeak事象: W +jets, $Z(\rightarrow tt)$ +jets, WW , WZ , ZZ

▶ MCを使用して推量

▶ top-antitop 事象

▶ $e\mu$ 事象でデータから分布のテンプレートを作成

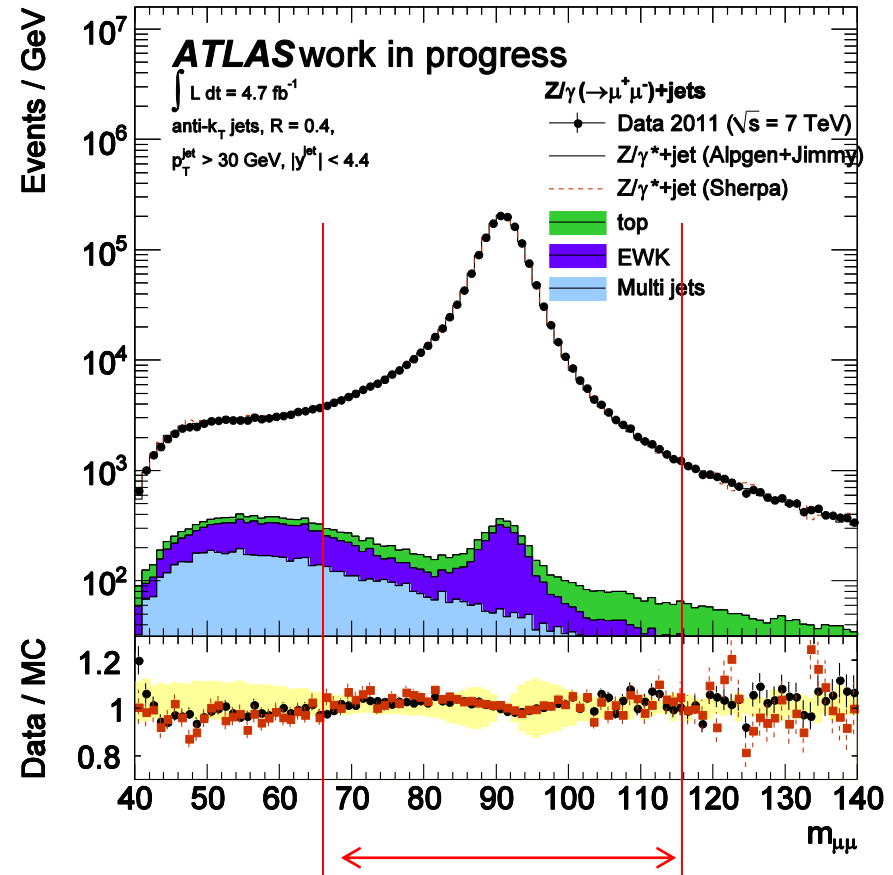
▶ $e\mu$ 事象と $\mu\mu$ 事象の事象数比をMCで決定→上記テンプレートに掛け算することで推量

▶ QCD事象

▶ 事象選別で落とされる、アイソレートしていないミュオン対事象をデータから選別し、テンプレートとして使用

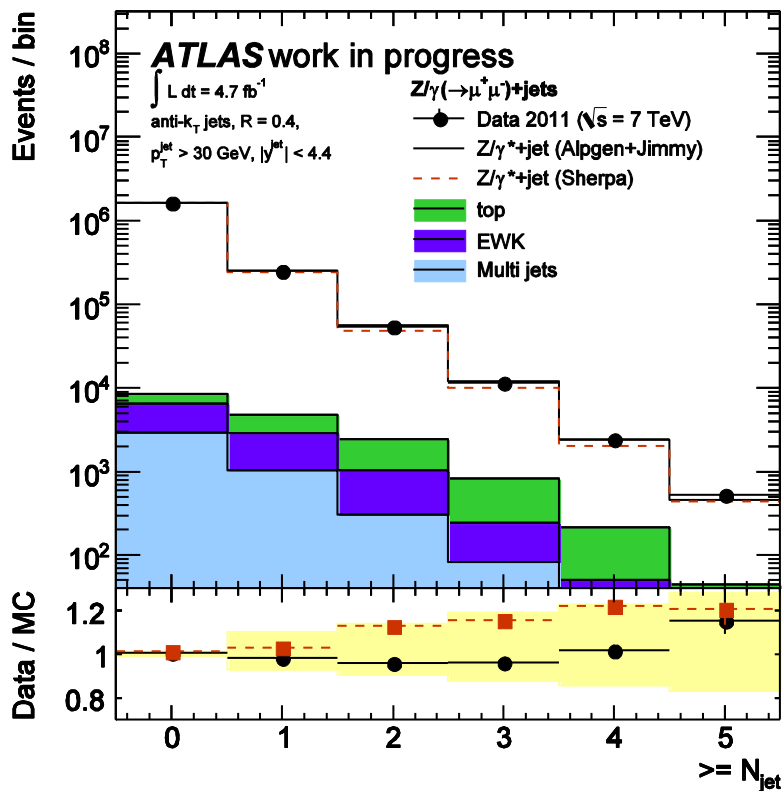
▶ $m_{\mu\mu}$ 分布をフィットしてNormalizationを決定

ミュオン対不変質量分布

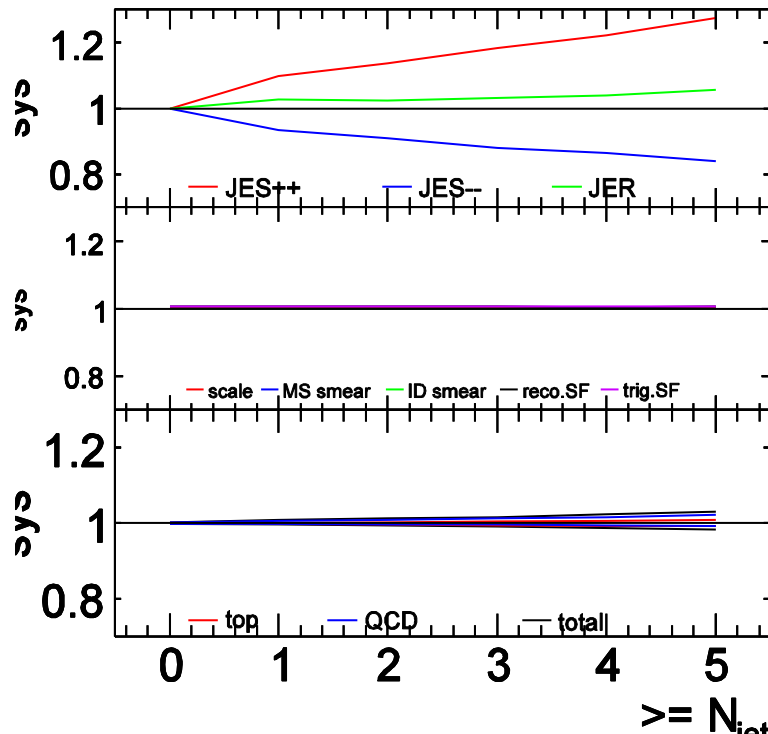


系統誤差

検出器レベルでのジェット数分布



各系統誤差



ジェット
関連

ミューオン
関連

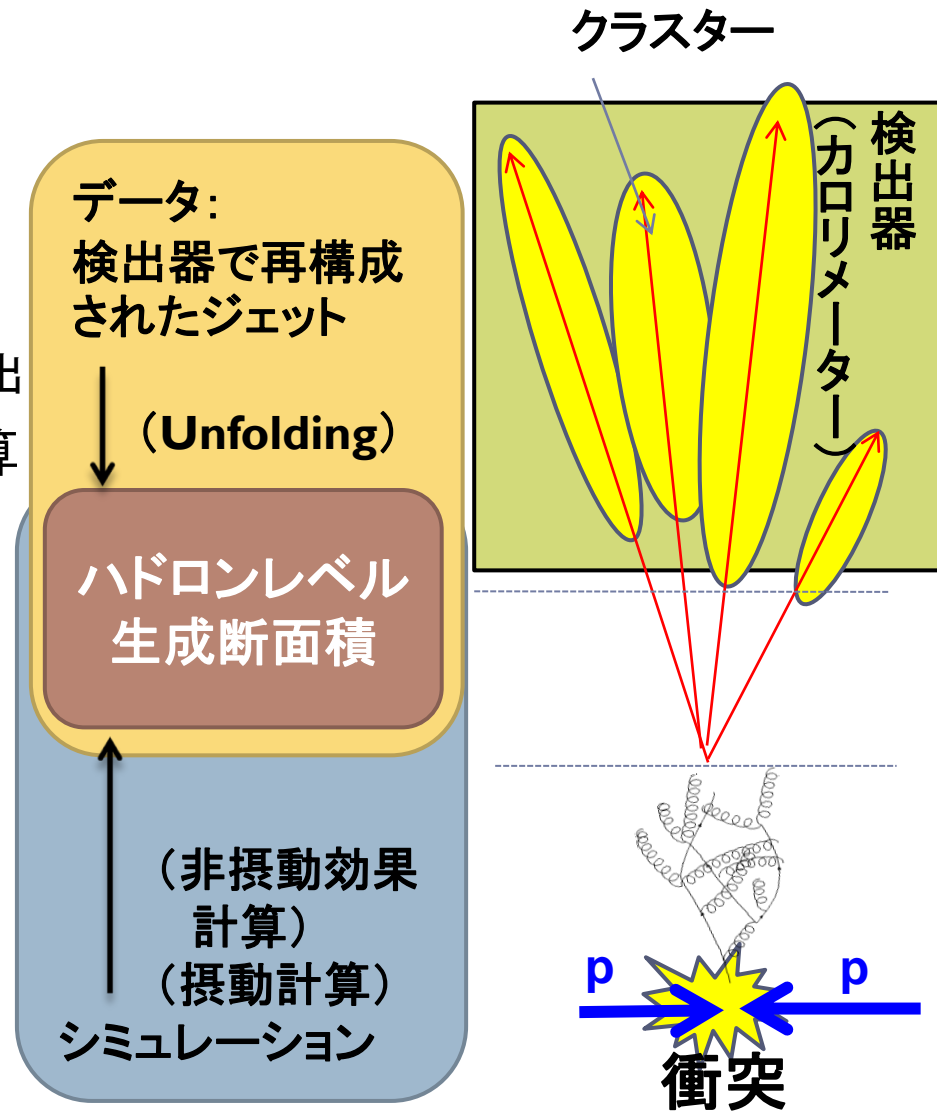
バックグラウンド
関連

- ▶ Jet energy scaleの不確かさに起因する誤差が支配的

生成断面積の導出

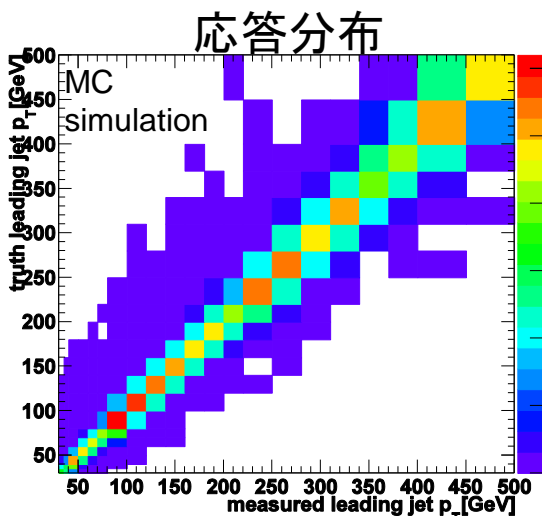
- ▶ Z粒子について以下の領域内で定義
 - ▶ $p_{T,\mu} > 20 \text{ GeV}$, $|\eta_\mu| < 2.4$
 - ▶ $\Delta R(\mu\mu) > 0.2$
 - ▶ $66 < m_{\mu\mu} < 116 \text{ GeV}$
- ▶ ジェットは $p_T > 30 \text{ GeV}$, $|y| < 4.4$
- ▶ 系統誤差を相殺しQCDの効果을抽出するため、全断面積で各分布を割り算
- ▶ ジェットの力学変数はハドロンレベルを用いる
 - ▶ ハドロンレベル: パartonレベルでの相互作用の後、閉じ込めによりハドロンのジェットとなった状態
 - ▶ MCについてはハドロンを truth 情報をもとに anti- k_T でクラスタリングしてジェットを定義
 - ▶ データ: Unfolding(次ページ)

ジェットの模式図



生成断面積の導出 (続)

- ▶ データの検出器レベルの分布→ハドロンレベルの断面積の導出に Bayesian Iterative Methodを用いた
 - ▶ ハドロンレベルジェットに対する検出器の応答分布→MCを使用
 - ▶ 応答分布からBayes' theoremに基づいて、逆変換する行列を作成→データに適応→ハドロンレベルの断面積
 - ▶ 結果を応答分布に反映→上記を繰り返す



$$t_j^{(0)} = t_{MC}$$

$$U_{ji}^{(n+1)} = \frac{S_{ij} t_j^{(n)}}{m_i}$$

$$t_j^{(n+1)} = \sum_i U_{ji}^{(n+1)} m_i$$

t_j = ハドロンレベル分布
 m_j = 検出器レベル分布
 S_{ij} = 応答分布
 U_{ji} = 変換行列

Bayes' theorem

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)}$$

- ▶ 今回は3回のイテレーション

- ▶ 今後回数の最適化、および系統誤差等の評価を行っていく

生成断面積 —ジェット生成数—

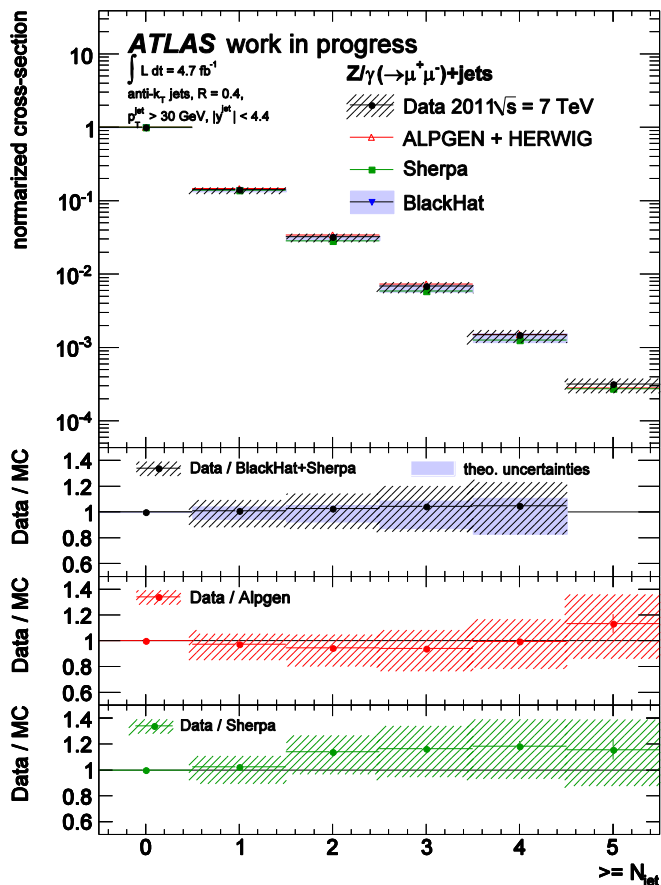
▶ ジェット生成数

- ▶ 誤差の範囲でいずれもデータとコンシステント

▶ ジェット生成数の前後での比

- ▶ $\sigma(\geq 2\text{jets})/\sigma(\geq 1\text{jet})$ 以降ほぼ一定値: $\sim \alpha_s$
- ▶ 系統誤差を相殺できる

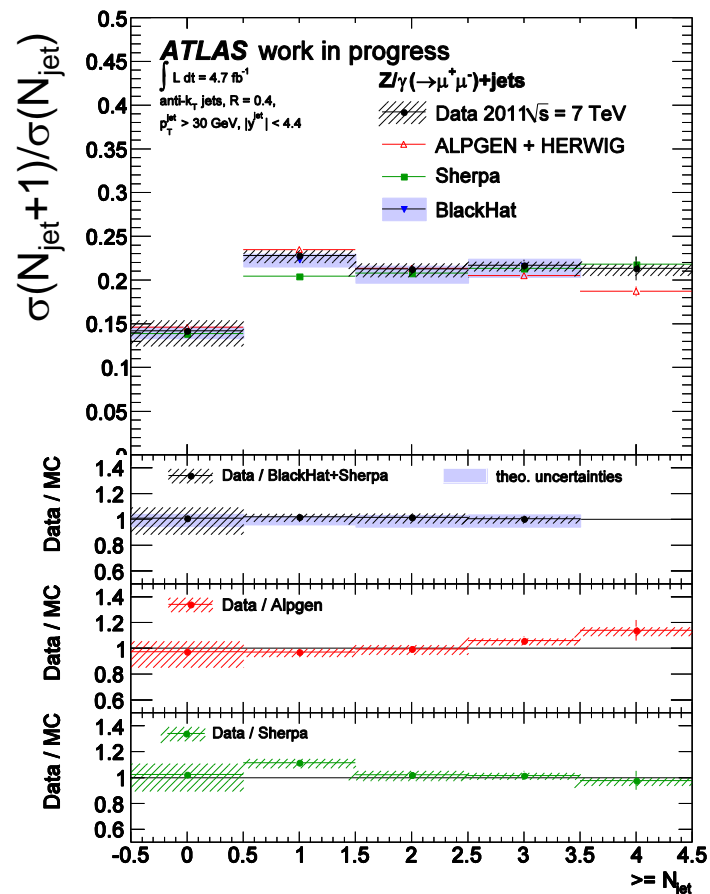
▶ NLO、ALPGENで
良い一致



Data/NLO

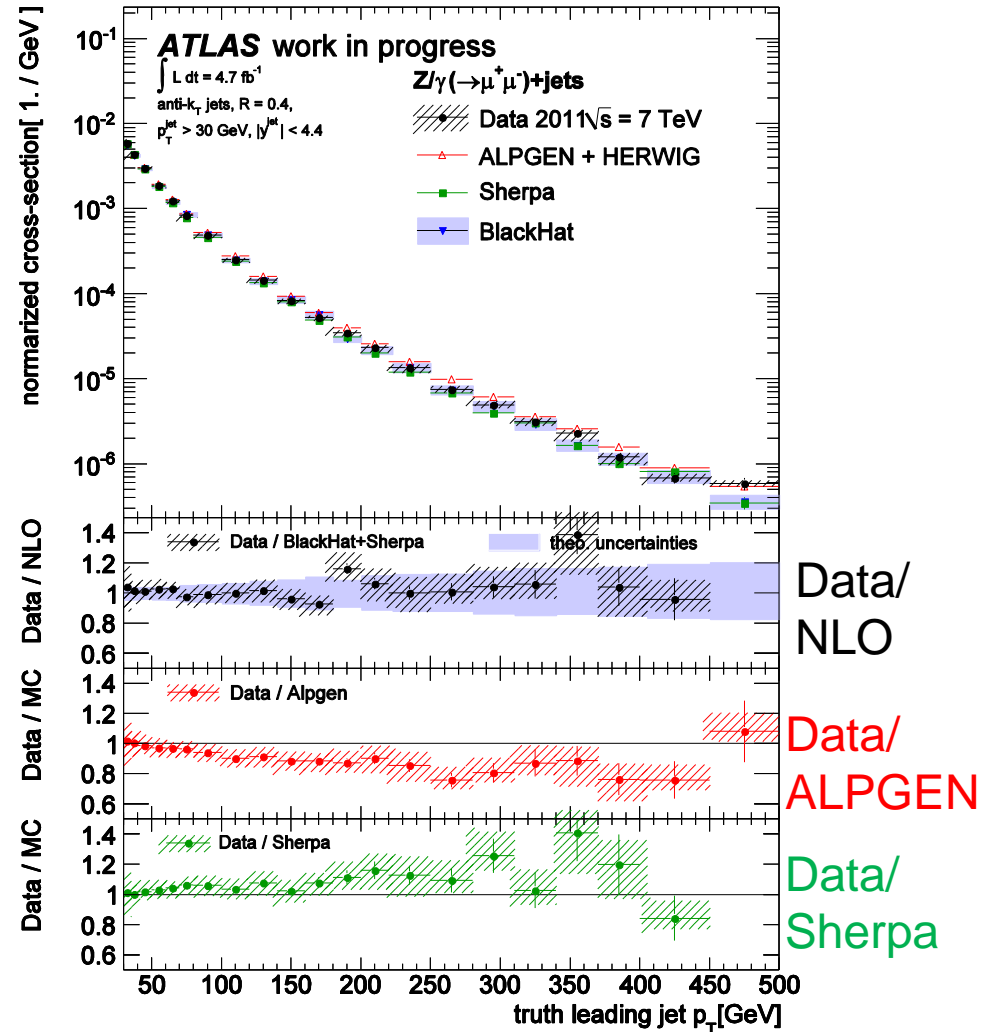
Data/ALPGEN

Data/Sherpa



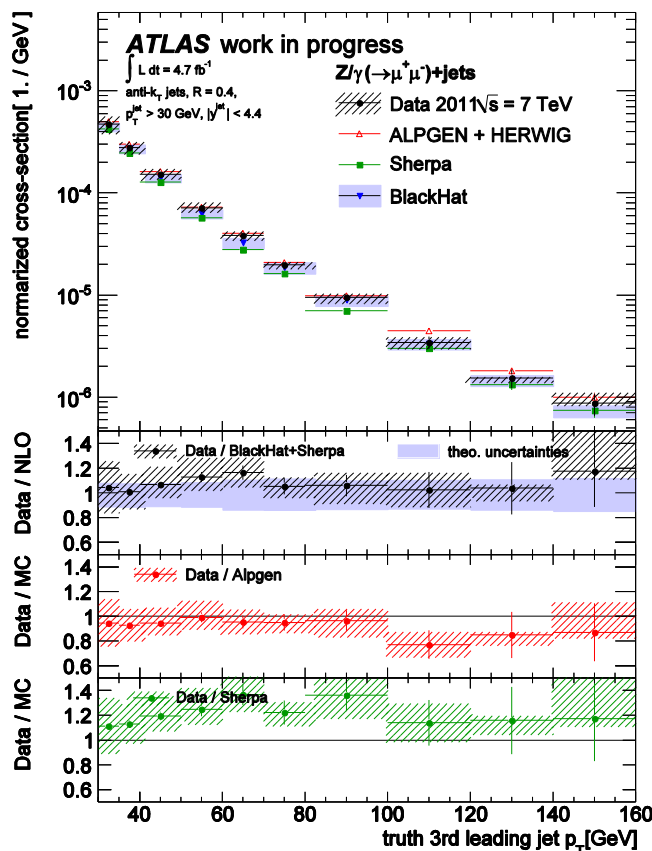
生成断面積 – 1番目のジェットの p_T –

- ▶ データのスペクトラムに対し、ALPGENがハードな、Sherpaがソフトな傾向にある。
- ▶ Parton Showerなど、Generatorのチューニングが必要な可能性
- ▶ NLOは実験・理論の誤差の範囲の一致といえる



生成断面積 – 3、4番目のジェットの p_T –

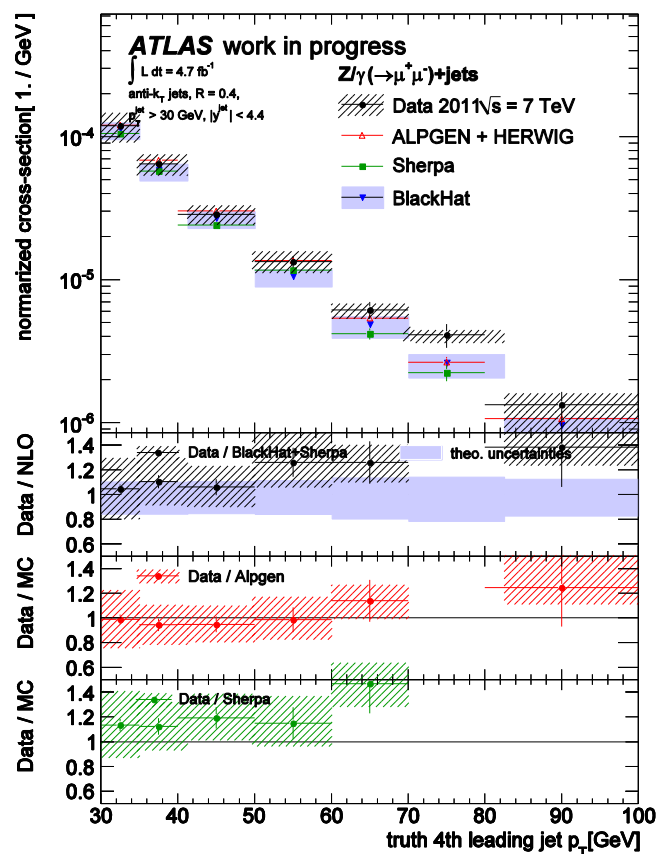
- ▶ Sherpaにデータとの不一致が見られる
- ▶ ALPGEN, NLOは実験・理論の誤差の範囲の一致といえる



Data/NLO

Data/ALPGEN

Data/Sherpa



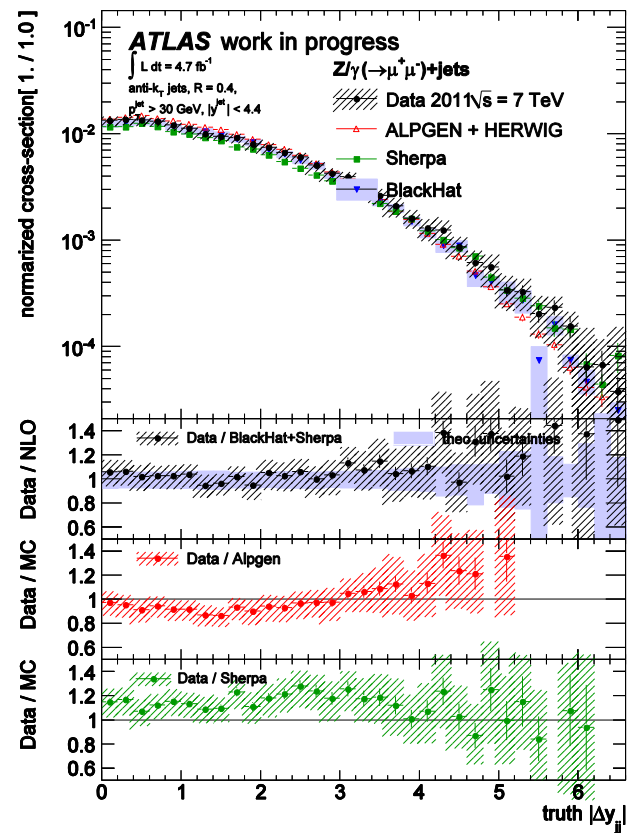
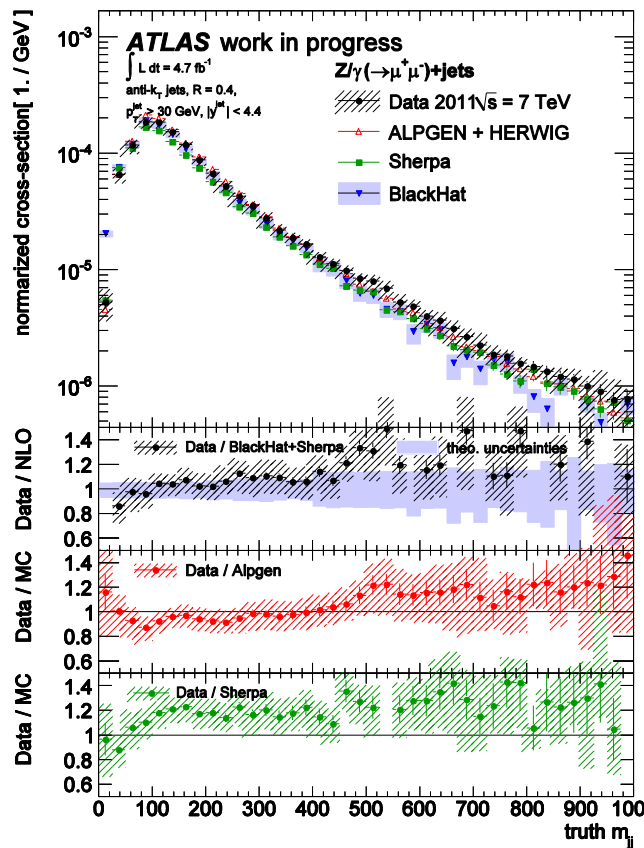
生成断面積 –2 ジェット事象–

- ▶ ジェットが二つ以上生成された事象の、1,2番目のジェット間の不変質量、ラピディティ差
- ▶ 不変質量、ラピディティ差の大きいところで一致の悪さが見られる
 - ▶ Z+jets事象がバックグラウンドとなる解析で注意が必要
- ▶ Sherpaは全体的に不一致が見られる。

Data/NLO

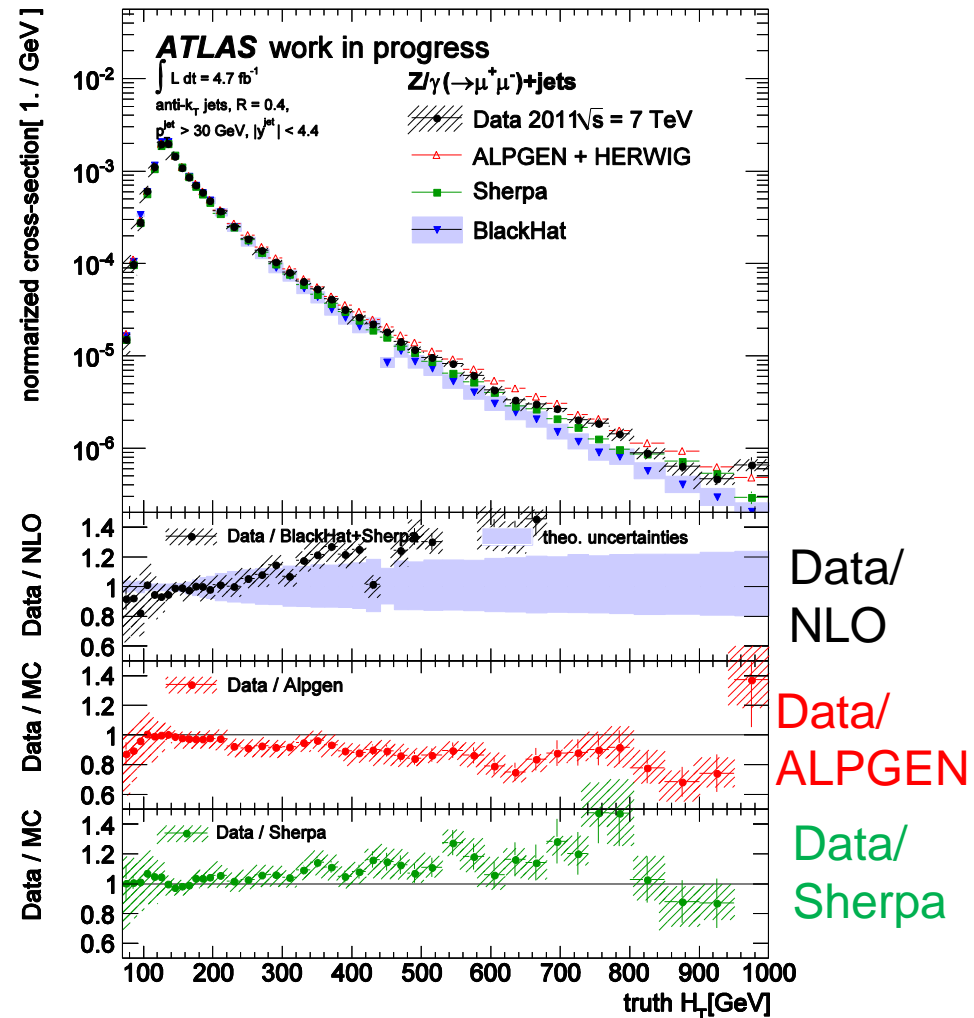
Data/ALPGEN

Data/Sherpa



生成断面積 $-H_T-$

- ▶ H_T : 全てのレプトン、ジェットの p_T のスカラーサム
- ▶ BlackHat+Sherpaはこの分布を $Z+\geq 1\text{jet}$ 事象のNLOとして計算するため(2 jetをLOで含み、3jet以降は含まない)、ジェット数が増える H_T の高い領域で不一致が見られる
- ▶ これに比べるとALPGEN、Sherpaは比較的良い一致を見せる



まとめ

- ▶ ATLAS検出器を用いてLHCから2011年度に取得したデータを用いて、Z粒子を伴うジェット生成事象の解析を行った
- ▶ ハドロンレベルでのジェット力学変数に対する生成断面積を測定した。
 - ▶ BlackHat+sherpa (NLO)、Alpgen (LO)、Sherpa (LO)と比較を行った。
 - ▶ それぞれ、良くデータを記述する場合とそうでない場合が見られた。
 - ▶ Z粒子を伴うジェット生成事象に対する理解がより深まった

事象選別

- ▶ $p_T > 18 \text{ GeV}$ のミュオンを同定するトリガーを使用
- ▶ トラック3本以上をもって再構成された衝突点を要求
- ▶ 以下の要求を満たすミュオン数が2個であること:
 - ▶ $p_T > 20 \text{ GeV}$, $|\eta| < 2.4$
 - ▶ 内部飛跡検出器のヒットが十分にある、飛跡が衝突点に十分近い
 - ▶ アイソレーション: $\Delta R < 0.2$ 以内にある他のトラックの p_T の和がミュオンの p_T の10%以下
- ▶ $Z \rightarrow \mu\mu$ の同定
 - ▶ $\Delta R(\mu\mu) > 0.2$: ブーストされたZ粒子を除く
 - ▶ ミュオン対の電荷が正と負
 - ▶ $66 < m_{\mu\mu} < 116 \text{ GeV}$
- ▶ ジェット再構成アルゴリズムとしてanti- k_T クラスタリングを使用
 - ▶ $\Delta R = 0.4$
 - ▶ $p_{T,\text{jet}} > 30 \text{ GeV}$, $|y_{\text{jet}}| < 4.4$ (y : ラピディティ)