

LHC-ATLAS実験における Universal Extra Dimension の探索

山口博史, 寺師弘二^A, 金谷奈央子^A, 浅井祥仁
東京大学大学院理学系研究科
素粒子物理国際研究センター^A

outline

1. Introduction
2. One lepton + ISR Jet 解析法
3. Background の見積もり
4. Data と Monte carlo との比較
5. UED 模型の Cross section upper limit
6. Conclusion

introduction

✦ Minimal Universal Extra Dimensions (minimal UED)

- $R^{-1} \sim \text{TeV}$ 程度にコンパクト化された(1個の)余剰次元が存在
- 全ての標準模型粒子に対応する Kaluza-Klein (KK) 粒子が、この余剰次元に伝搬できる

✦ 3つのパラメータで模型が決まる

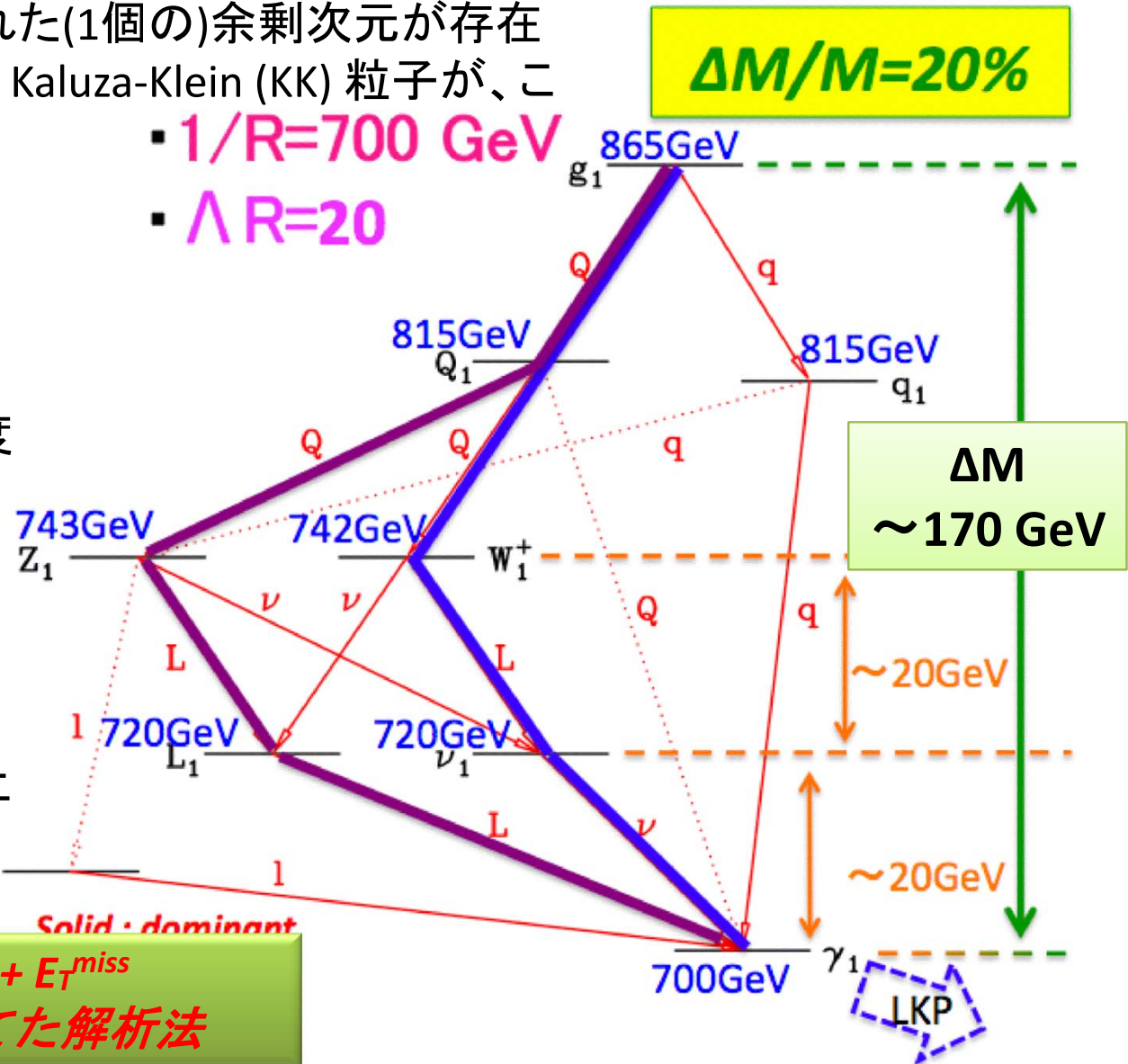
- $1/R = \text{コンパクト化スケール}$
 - ▶ 質量スケールを決める
- $\Lambda = \text{カットオフパラメータ}$
 - ▶ 質量スペクトラムの縮退度
- $m_H = \text{Higgs mass } (=120 \text{ GeV})$

✦ Production : $g_1 g_1, g_1 q_1, q_1 q_1$

✦ Decay : cascade decays

- SUSY と比べて縮退
- $\Delta M/M \sim 80\%$ (SUSY), $\sim 5-20\%$ (UED)
- Decay から出る leptons, jets のエネルギー・運動量は小さい
- Large ISR jet & E_T^{miss} (KK photon)

- $1/R = 700 \text{ GeV}$
- $\Lambda R = 20$



解析チャンネル : One lepton + jets + E_T^{miss}
ソフトな lepton・jet に焦点を当てた解析法

Data and Monte Carlo

Data

- $L=4.71 \text{ fb}^{-1}$ (2011年3月22日~10月30日)
- Trigger : $E_T^{\text{miss}} > 60 \text{ GeV}$
efficiency $\sim 100\%$ at $E_T^{\text{miss}} > 180 \text{ GeV}$ (offline)

Signal samples

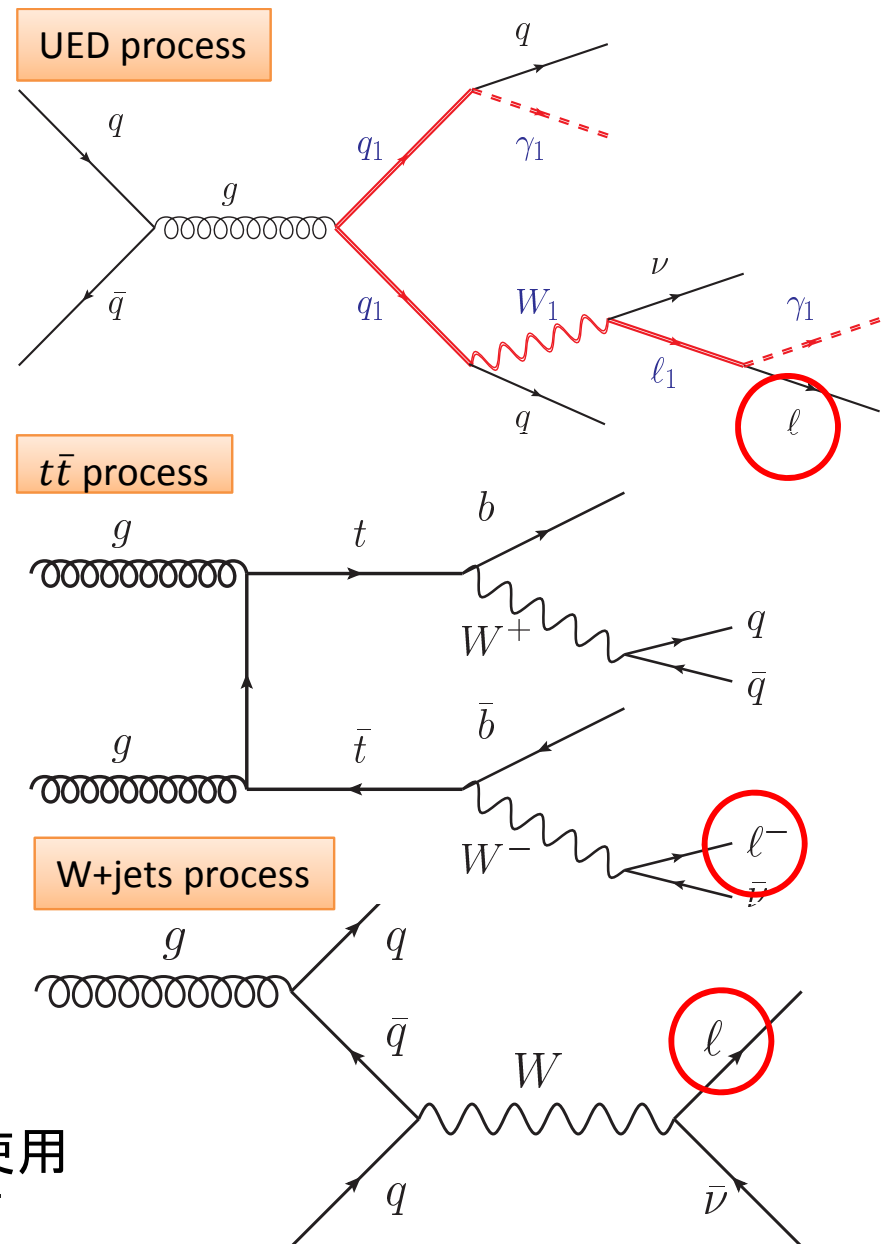
- Herwig++ (Fast Simulation)
- $1/R = 300 - 850 \text{ GeV}$
- $\Delta R = 2 - 40$ ($dM/M = 5 - 25\%$)

Background samples

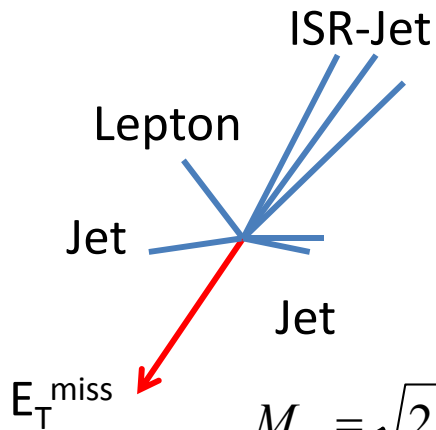
- $W(\rightarrow \ell\nu)+\text{jets}$ (Alpgen/Jimmy) [$3.2 \times 10^4 \text{ pb}$]
- $Z(\rightarrow \ell\ell)+\text{jets}$ (Alpgen/Jimmy) [$3.1 \times 10^3 \text{ pb}$]
- $t\bar{t}$ (leptonic) (Alpgen/Jimmy) [$9.0 \times 10^1 \text{ pb}$]
- Single top (McAtNlo) [$3.7 \times 10^1 \text{ pb}$]
- di-boson (Herwig) [$2.4 \times 10^1 \text{ pb}$]
- Drell-Yan (Alpgen/Jimmy) [$9.6 \times 10^3 \text{ pb}$]
- QCD (Data driven)

✚ Dominant な background は **W+jets** と **t \bar{t}**

- ▶ W+jets, $t\bar{t}$: MC でよく再現できる \rightarrow MC を使用
- ▶ QCD : MC の統計が少ない \rightarrow Data から評価



Selection criteria



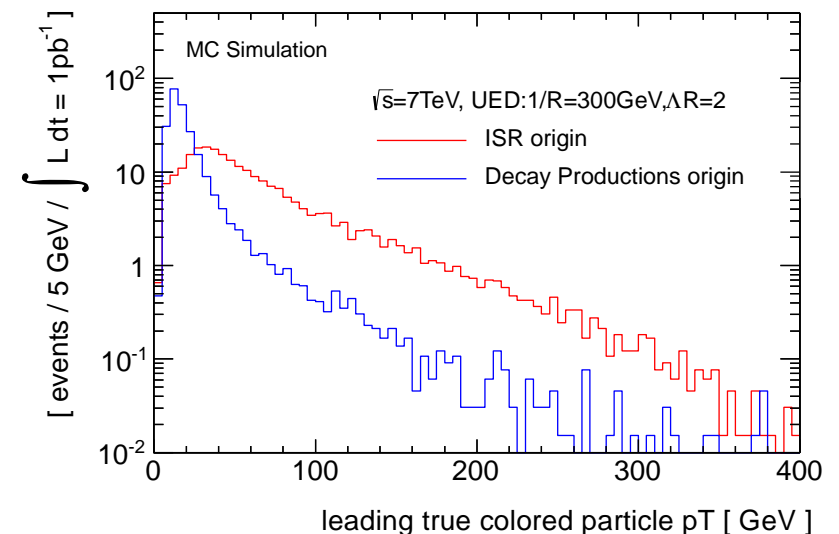
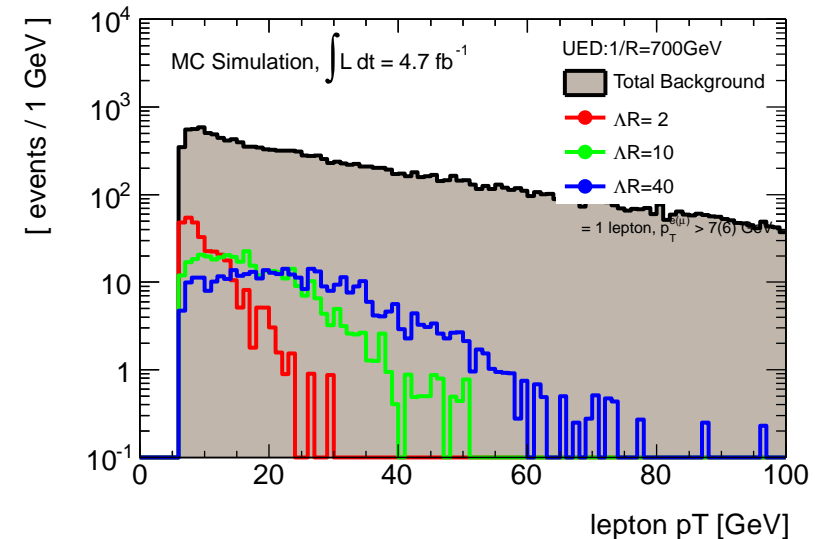
- 縮退しているため、カスケード崩壊から出る信号はエネルギー・運動量が小さい
- ISR jet が Leading jet になりやすい

$$M_T = \sqrt{2 \cdot E_T^{\text{miss}} \cdot p_T^{\text{lepton}} \cdot [1 - \cos \phi(p_T^{\text{lepton}}, E_T^{\text{miss}})]}$$

$$M_{\text{eff}} = \sum_{\text{selected jets}} |p_T| + \sum_{\text{selected leptons}} |p_T| + E_T^{\text{miss}}$$

Selection criteria

1. $N_{\text{Lep}} == 1$
 - electron : $7 \text{ GeV} < p_T < 25 \text{ GeV}$
 - muon : $6 \text{ GeV} < p_T < 20 \text{ GeV}$
2. $N_{\text{Jet}} \geq 2$ ($p_T > 25 \text{ GeV}$)
3. $p_T^{\text{Jet1st}} > 130 \text{ GeV}$
4. $E_T^{\text{miss}} > 250 \text{ GeV}$
5. $M_T > 100 \text{ GeV}$
6. $E_T^{\text{miss}} / M_{\text{eff}} > 0.3$



Fake lepton (QCD) estimation

- QCD等のイベント ($\pi^0 \cdot \pi^\pm$ / heavy flavor / photon conversion) を間違えて lepton (fake lepton) として identification してしまうことによる background を見積もる

$$N_{obs}^{loose} = N_{fake}^{loose} + N_{true}^{loose}$$

$$N_{obs}^{tight} = N_{fake}^{tight} + N_{true}^{tight}$$

$$N_{fake}^{tight} = \epsilon_{fake} N_{fake}^{loose}, \quad N_{true}^{tight} = \epsilon_{true} N_{true}^{loose}$$

$$\rightarrow \begin{bmatrix} N_{obs}^{loose} \\ N_{obs}^{tight} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1/\epsilon_{fake} \\ \epsilon_{fake} & 1/\epsilon_{true} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_{fake}^{loose} \\ N_{true}^{loose} \end{bmatrix}$$

Loose

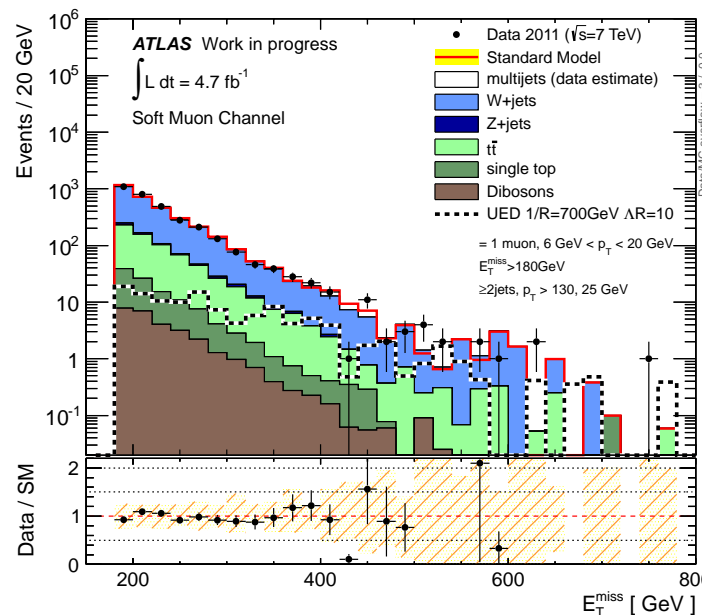
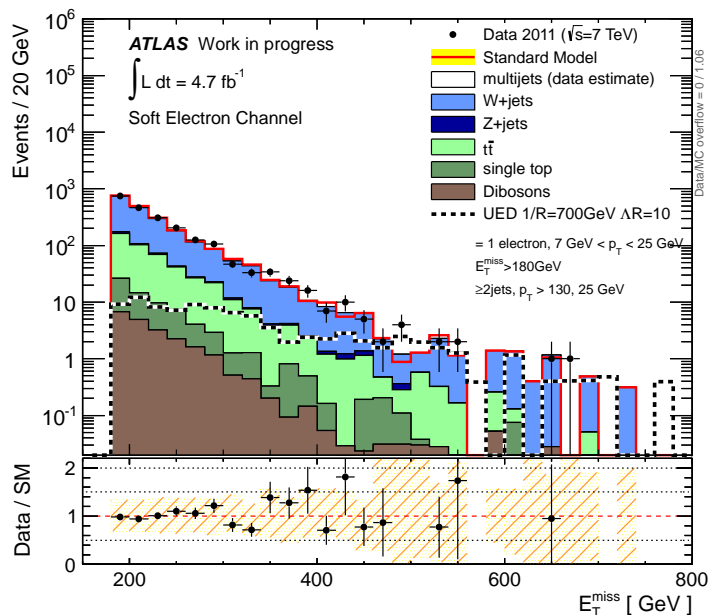
■ 一定以上の tracker を hit している lepton を要求

Tight

■ Loose をパスした lepton の周辺に、lepton 以外の track momentum がない

ϵ_{fake} : QCD イベントが多い領域で評価

ϵ_{true} : $Z \rightarrow ee, Z \rightarrow \mu\mu$ イベントを用い評価



QCD event

- ▶ low E_T^{miss} region に多い
- ▶ High E_T^{miss} cut で QCD の寄与を小さくできる

Distributions (p_T^{jet1st} , p_T^{lep1st} , E_T^{miss} , M_T)

Applied cut

- Exact one soft lepton
- Jet $p_T > 130, 25$ GeV
- $E_T^{\text{miss}} > 180$ GeV

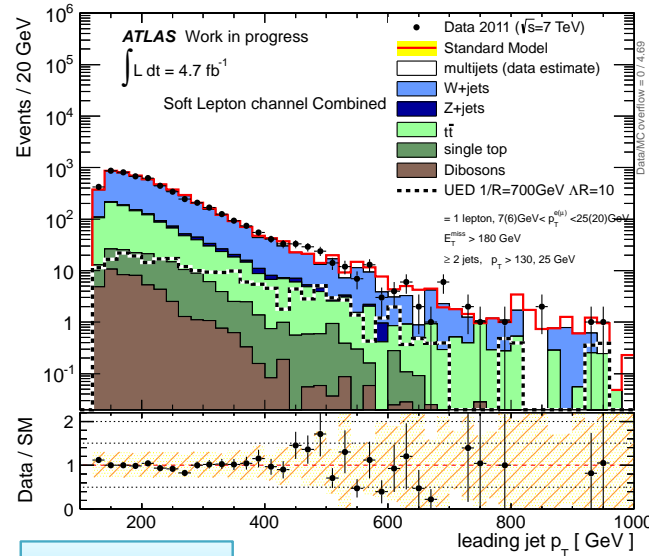
Combined soft lepton channel

- electron + muon channel

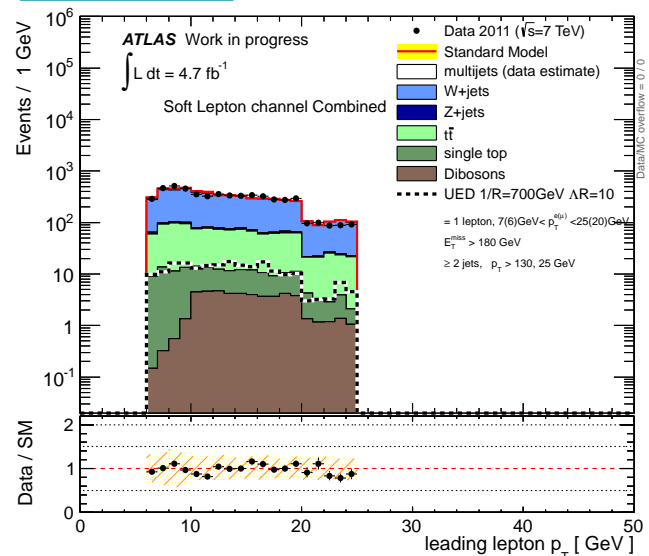
Uncertainties (Yellow band)

- Jet energy scale
- Jet energy resolution
- QCD
- MC statistics

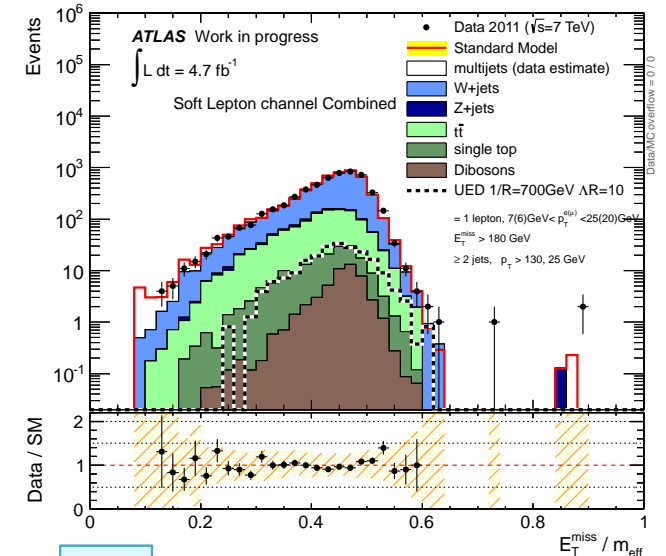
leading jet p_T



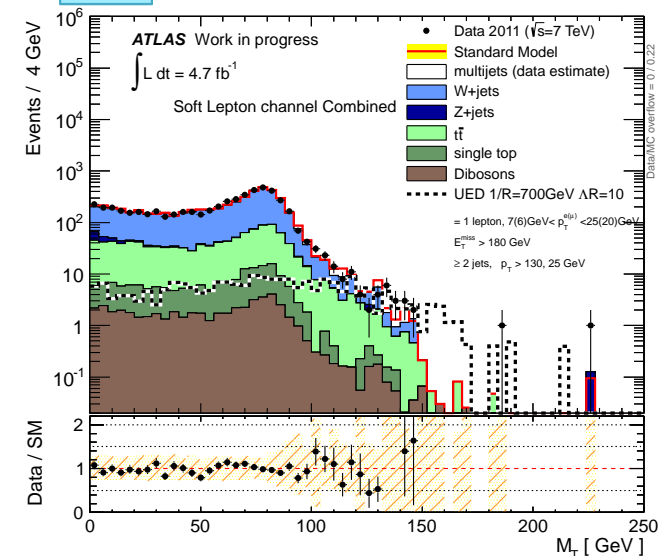
Lepton p_T



$E_T^{\text{miss}} / M_{\text{eff}}$



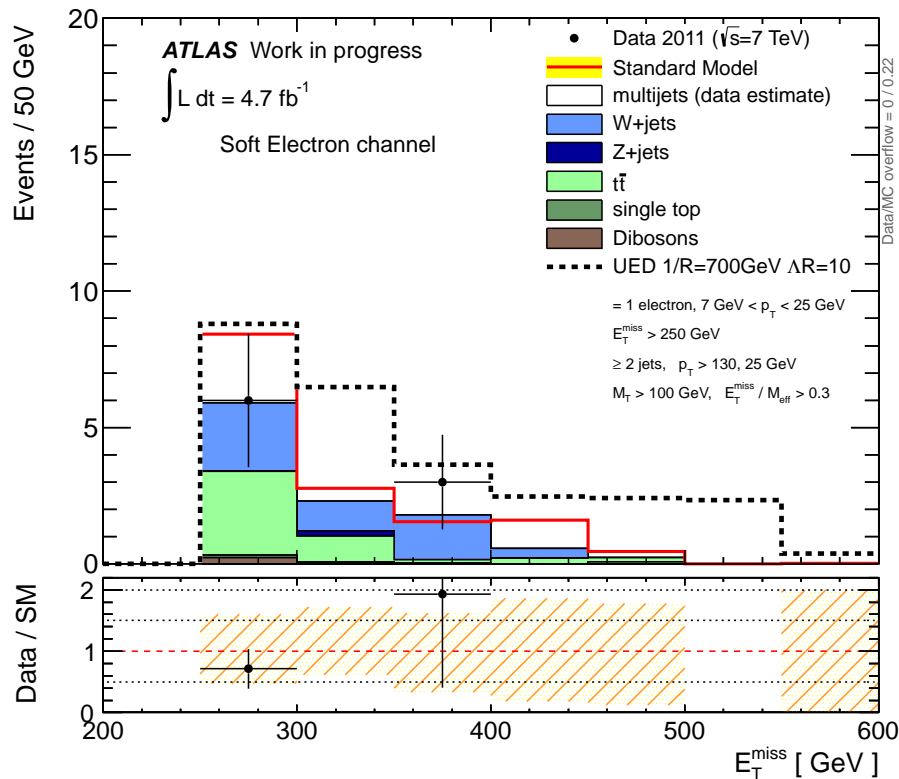
M_T



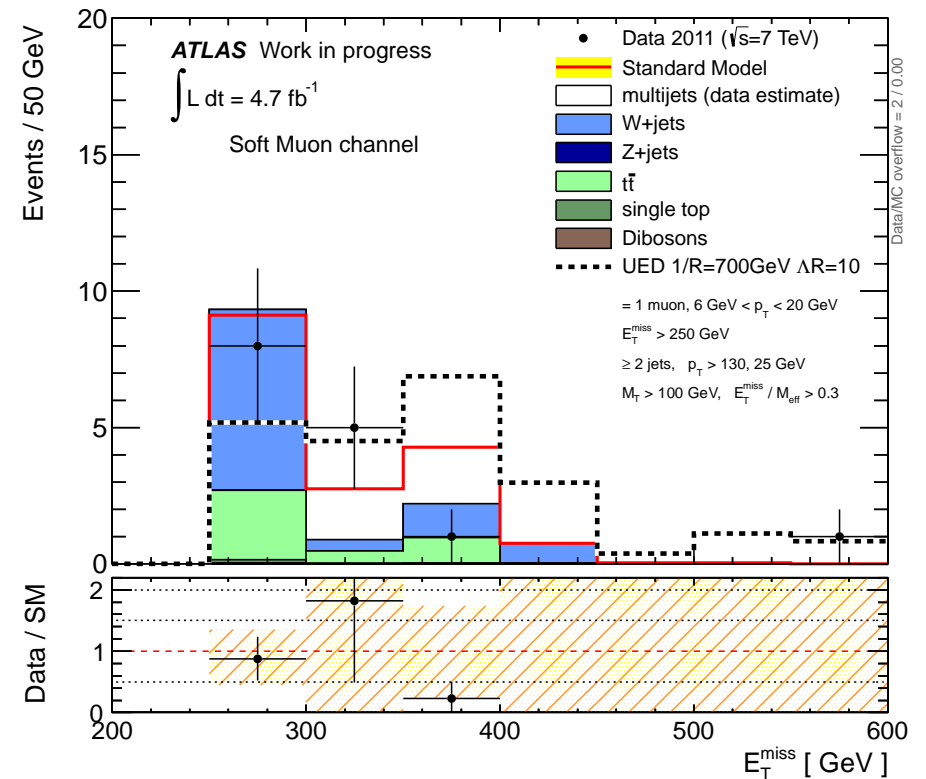
Distributions (E_T^{miss} at Signal region)

Signal region の Data, Background, Signal のイベント数から UED 模型の cross section upper limit を求める

electron ch.



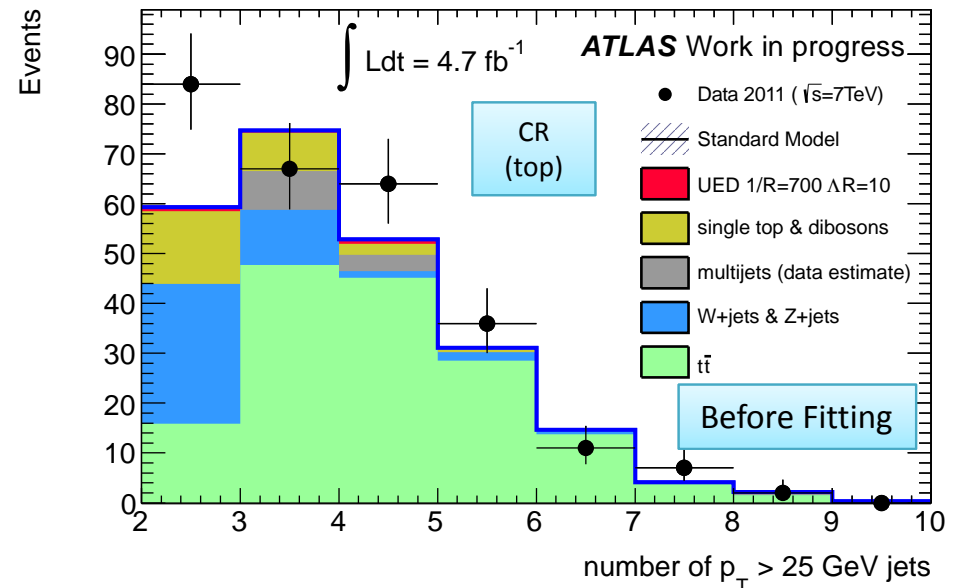
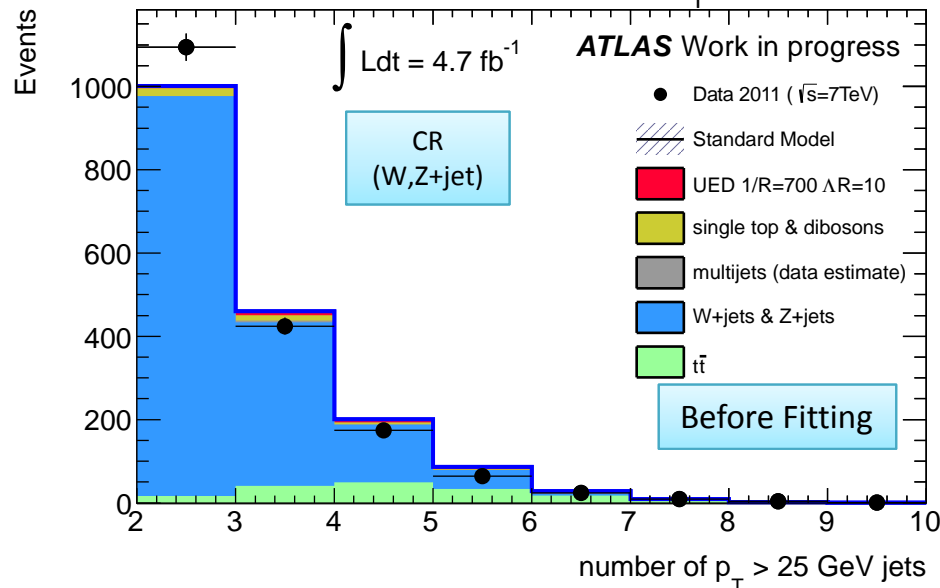
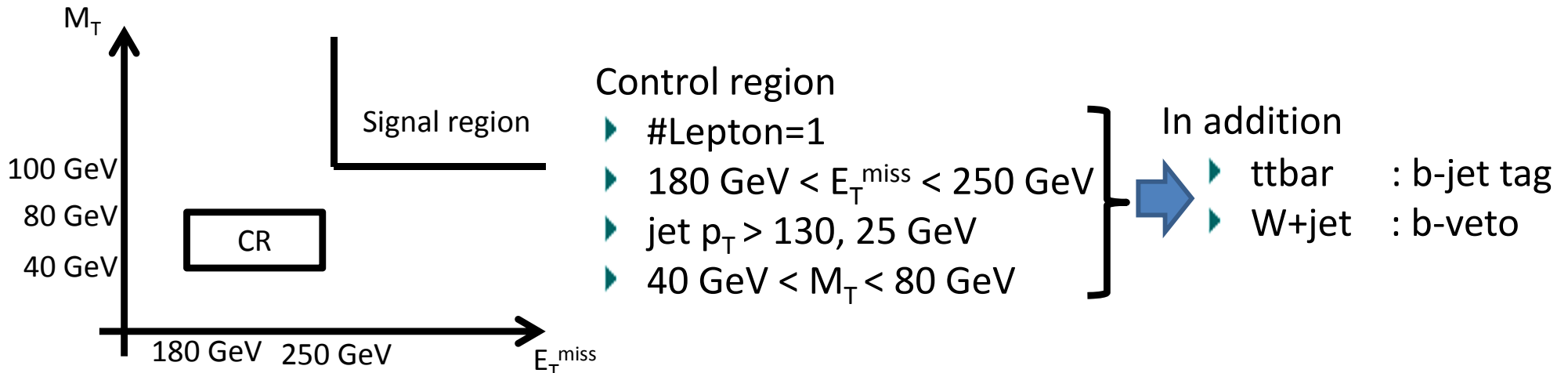
muon ch.



W,Z+jet and Top control region

Dominant background は W+jet, ttbar イベント

➡ Control region と Signal region で同時フィットを行い、W,Z+jets, ttbar, signal を Normalize する



Systematic uncertainties

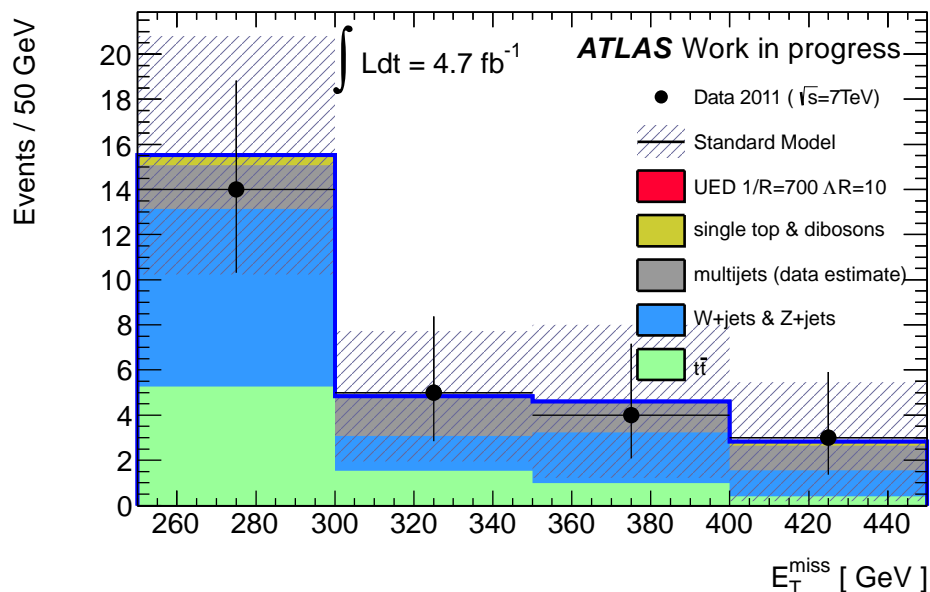
- Control Region と Signal region で各uncertainties と W+jets, ttbar, signal の normalization を profiling で求めて、uncertainties に制限をかける
 - ▶ Signal region での uncertainties を小さくできる
- Signal の systematic は、各ポイントごとに算出
- ISR の systematics は SUSY の各 $\Delta m = m_{\text{gluino}} - m_{\text{LSP}}$ ごとの値をそのまま UED に当てはめて使用
- Pythia の PDF sample を変えた時の変化量を uncertainty として計上

Input uncertainties

UED 1/R = 700 GeV, $\Lambda R = 10$		uncertainty
Electron Muon	Energy scale	3 %
	Energy Resolution	1 %
Jet	Energy Scale	-19 % / 22 %
E_T^{miss}	Cell-out	1 %
	Pile up	1 %
theory	ISR	15 %
	PDF	12 %
	Renormalization	9 %

Fitting Result

After Fitting



Uncertainties (After Fitting)

Back-ground	W,Z + jets	29 %
	Top	23 %
	QCD	75 %
Total background uncertainty		17 %

■ 同時フィットで求めた Signal region の W,Z+jets, ttbar, signal 数から、cross section upper limit を見積もる

	Signal Region
Observed	26
Fitted Bkg	27.8 ± 4.8
Fitted W+jets	12.8 ± 3.7
Fitted Top	8.1 ± 1.9
Fitted other BG	0.68 ± 0.09
Fitted QCD	6.1 ± 4.6
Fitted Signal	0.0 ± 19.1
Expected Signal	52.4

[events]

Conclusion

- One lepton channel において、Soft lepton を用いてより縮退したモデルに最適化した解析方法を考案
- 2011年のデータ(積分ルミノシティ $L = 4.7 \text{ fb}^{-1}$) を用いて UED 粒子の探索を行った
- Minimal UED model において、 $1/R < 750 \text{ GeV}$ ($\Lambda R = 40$) - 850 GeV ($\Lambda R = 5$) の領域で、exclude した



backup



Object definition

The following object definition is used in this analysis (a la SUSY definition)

<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/AtlasProtected/SusyObjectDefintions>

Electrons

- $7 \text{ GeV} < p_T < 25 \text{ GeV}$
- $|\eta| < 2.47$
- ElectronTight++
- AuthorElectron 1 or 3
- Isolation $ptcone20/p_T < 0.10$
- $\Delta R(e, jet) < 0.2$ or $\Delta R(e, jet) > 0.4$

Jets

- AntiKt4H1Topo(EMJES)
- $p_T > 25 \text{ GeV}$
- $|\eta| < 2.5$
- $\Delta R(e, jet) > 0.2$
- Jet vertex fraction > 0.75

Event veto

- Jet cleaning (loose)
- Cosmic veto
- LAr hole smart veto

Muons

- Staco muon (loose, comb+tagged muons)
- $6 \text{ GeV} < p_T < 20 \text{ GeV}$
- $|\eta| < 2.4$
- Inner detector track quality cuts
- Isolation $ptcone20 < 1.8 \text{ GeV}$
- $\Delta R(\mu, jet) < 0.2$ or $\Delta R(\mu, jet) > 0.4$

Missing transverse energy

- Simplified RefFinal

Variable

- M_{eff} : effective mass

$$M_{\text{eff}} = \sum_{\text{selected jets}} |p_T| + \sum_{\text{selected leptons}} |p_T| + E_T^{\text{miss}}$$

- M_T : transverse mass

$$M_T = \sqrt{2 \cdot E_T^{\text{miss}} \cdot p_T^{\text{lepton}} \cdot [1 - \cos \phi(p_T^{\text{lepton}}, E_T^{\text{miss}})]}$$