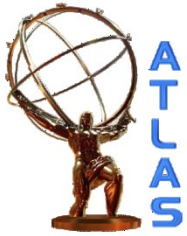


# LHC-ATLAS実験におけるボトムジェット を用いたスカラートップクォークの探索

山中隆志、金谷奈央子<sup>A</sup>、浅井祥仁、駒宮幸男  
東大理、東大ICEPP<sup>A</sup>



THE UNIVERSITY OF TOKYO

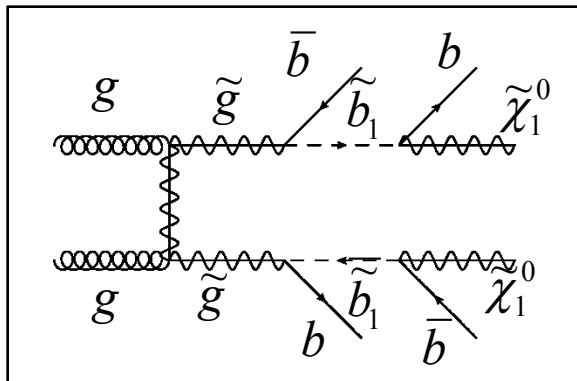


# 理論的背景

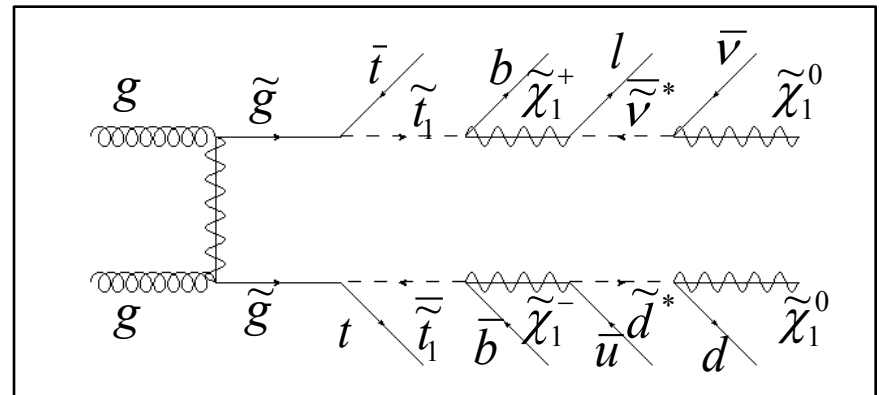


- 超対称性理論は標準理論を超えるモデルの有力候補の一つ
  - $R$ -parityを保存するシナリオでは消失エネルギーと多数のジェット(及びレプトン)が特徴
  - 一般的に第三世代の超対称性粒子は他よりも軽く、その結果スカラトップやスカラーボトムが対生成したりグルーイーノの崩壊から生じやすくなる

→ 終状態に **$b$ -jet**を持つ



$\tilde{g} \rightarrow b + \tilde{b}_1$  decay diagram



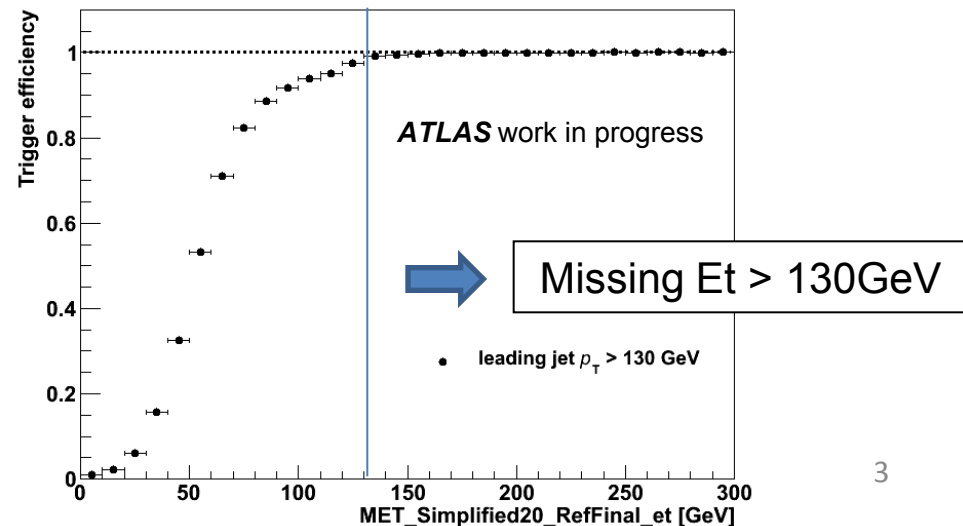
$\tilde{g} \rightarrow t + \tilde{t}_1$  decay diagram



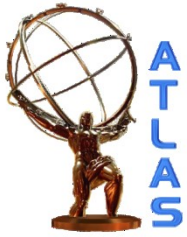
# 解析方針



- 2011年にLHC-ATLAS実験で取得された約 $2 \text{ fb}^{-1}$ のデータを用いて解析
- 消失エネルギーが大きく、 $b$ -jetを含む多数のジェットを持つeventsを選択する
  - (特にmSUGRA-likeなmodelにおける) グルーイーノの崩壊から生じるスカラー トップ・ボトムクォークをターゲット
  - 本講演ではleptonがないチャンネルを用いる
- Jet + Missing  $E_T$  triggerを使用
  - leading jet  $p_T > 130 \text{ GeV}$  & Missing  $E_T > 130 \text{ GeV}$  で efficiency > 98%



dataでのleading jet  $p_T > 130 \text{ GeV}$ 後の  
Missing  $E_T$ に対するtrigger efficiency



# Event Selection



- Event Selection

- lepton veto (electron  $p_T > 20$  GeV, muon  $p_T > 10$  GeV)

- leading jet  $p_T > 130$  GeV

- Missing  $E_T > 130$  GeV

} Jet+Missing  $E_T$  trigger

- at least 4 jet  $p_T > 80$  GeV

- $b$ -jet ( $p_T > 50$  GeV)  $\geq 1$

- Missing  $E_T / m_{\text{eff}} > 0.2$

- $\min\Delta\varphi > 0.4$

- $\Delta\varphi$  (4thjet-Missing $E_T$ )  $> 0.2$

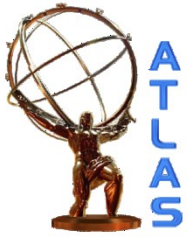
} QCD multi-jet eventsを効果的に減らす

- $m_{\text{eff}} > 1$  TeV

- 変数の定義

- $\min\Delta\varphi$  : leading 3 jetとMissing  $E_T$ の間の $\Delta\varphi$ の最小値

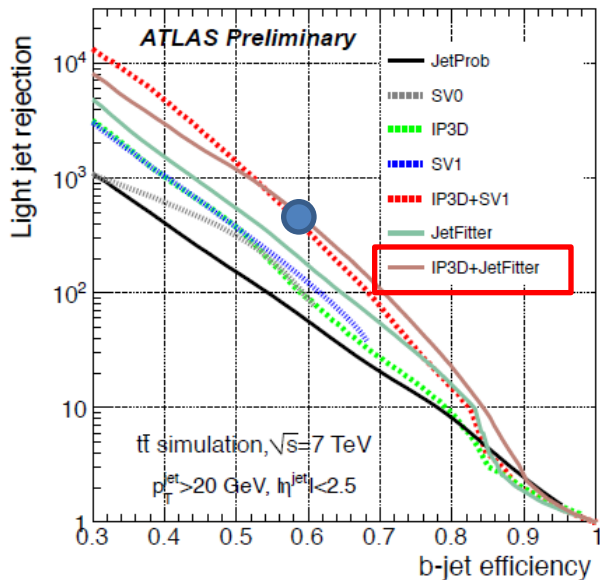
- $m_{\text{eff}}$  : leading 4 jet  $p_T$ とMissing  $E_T$ のスカラー和  $m_{\text{eff}} = \sum_{i=0}^3 p_T^{(i)\text{jet}} + E_T^{\text{miss}}$



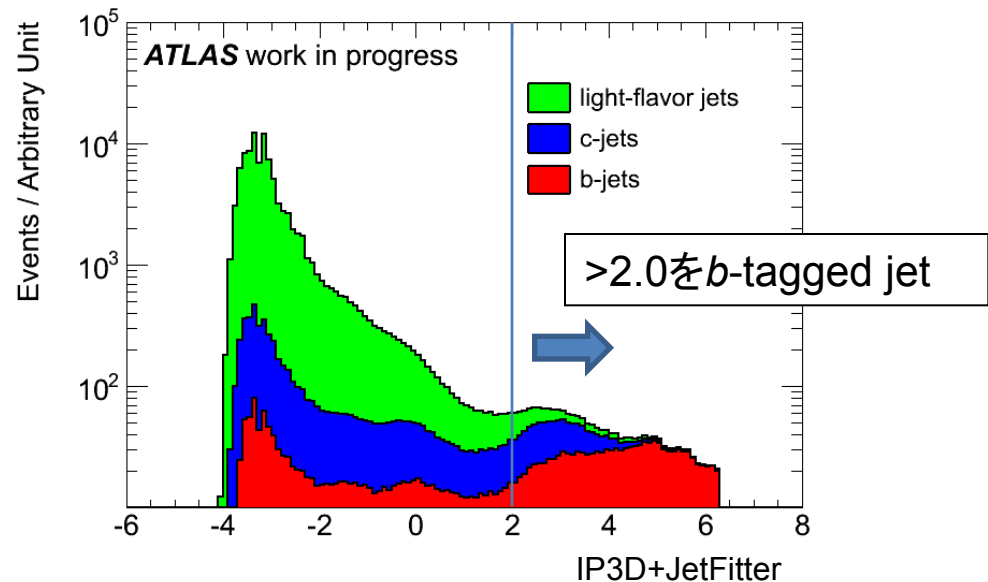
# $b$ -Tagging



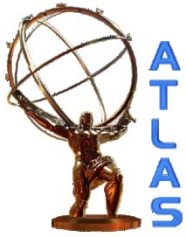
- $b$ -jetはbottom quarkが中間子などを作って比較的長寿命になることを利用してtagする
  - secondary vertexとimpact parameterの情報をcombineしたtagging algorithmを使用
  - $b$ -tag efficiency $\sim 60\%$ に対して、light jet rejection rate $\sim 350$



Simulationでの **$b$ -tagger performance**  
ATLAS-CONF-2011-102 (2011)



combined  $b$ -tagger outputの分布



# Background Estimation (1)



- top, W+jets, Z+jets
  - Monte Carlo Simulationを用いた推定

process	Generator	cross section
ttbar	MC@NLO + Herwig	$165^{+11}_{-16}$ pb (NLO)
single top	MC@NLO + Herwig	$85 \pm 3$ pb (NLO)
W( $\rightarrow$ lv)+jets	Alpgen + Herwig	$31.4 \pm 1.6$ nb (NNLO)
Z/ $\gamma^*$ ( $\rightarrow$ ll)+jets	Alpgen + Herwig	$12.8 \pm 0.64$ nb (NNLO)
Z( $\rightarrow$ vv)+jets	Alpgepn + Herwig	$5.82 \pm 0.29$ nb (NNLO)
SUSY	Herwig++	NLO

- Parameter依存は系統誤差として評価 (p.8にて説明)
- MCでの推定が困難なQCDは別の方法で推定 (次ページ)



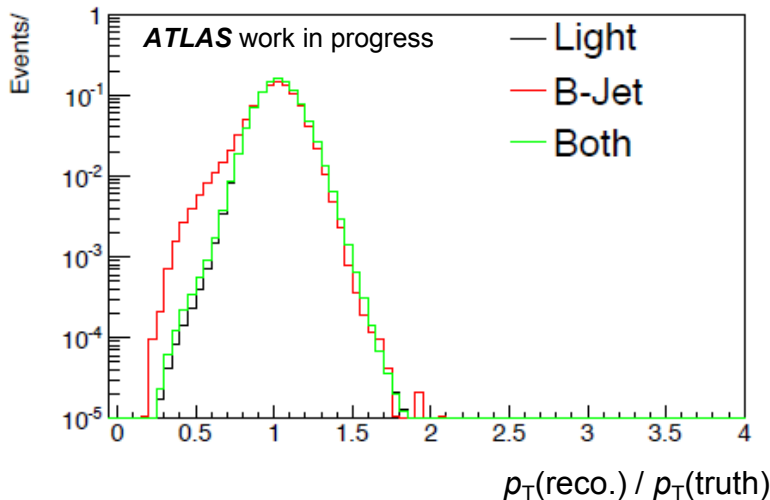
# Background Estimation (2)



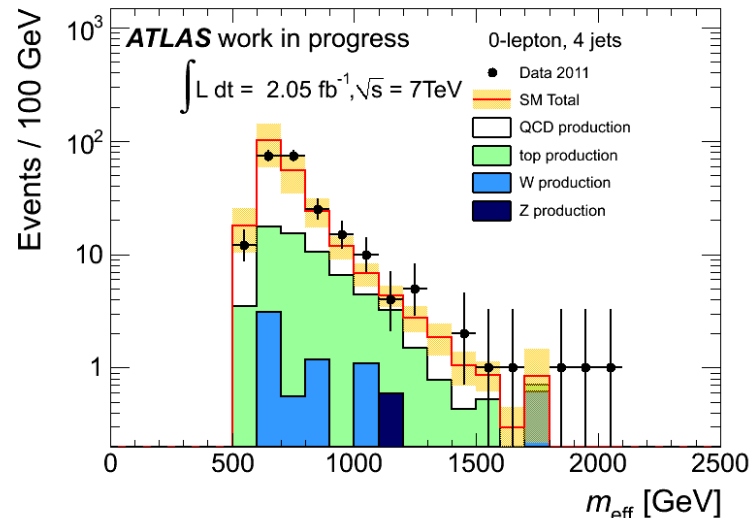
- QCD multi-jet event
  - large Missing  $E_T$  cut後に残る QCD multi-jet eventはジェットのエネルギーの測定ミス及び heavy flavor jetの leptonic decayによるもの

## Smearing method

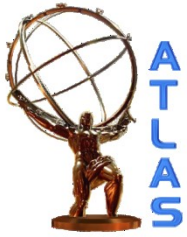
1. QCD processが主要な領域のデータを取得
2. ジェットのエネルギーをjet response functionに基づいてsmearし、擬似的なeventsを作り出す (1eventにつき10000)
3. これらに同様のevent selectionを行うことで、QCDによる寄与を推定



Jet response function:  
light-flavor jetとb-jetを別に用意



QCDが主要な領域( $\min\Delta\phi < 0.4$ )で  
 $m_{\text{eff}}$ の分布を確認



# Systematic Uncertainties



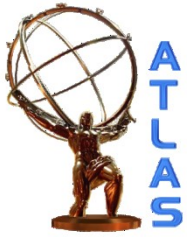
- Jet : energy scale, pileup, heavy flavor
- $b$ -tagging : efficiency, light-jet fake rate
- Luminosity
- Theory
  - $t\bar{t}$  : cross section, ISF/FSR variation, generator dependence (MC@NLO, POWHEG, ALPGEN), Parton shower fragmentation model (HERWIG, PYTHIA)
  - single top : cross section, use same uncertainties on  $t\bar{t}$
  - W/Z+jets : cross section, Renormalization/factorization scale, heavy flavor rescale
  - SUSY signals : Renormalization/factorization scale, PDF (CTEQ6.6M)

## Event selection後の $t\bar{t}$ 及びSUSY signalのreference pointにおけるsystematic uncertainties

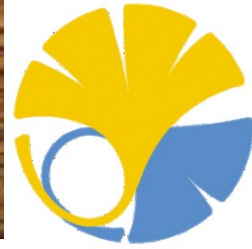
	Events( $2.05\text{fb}^{-1}$ )	Jet	$b$ -tag	Lumi	Theory	Total
$t\bar{t}$	7.7	$\pm 25\%$	$\pm 12\%$	$\pm 3.7\%$	+33%,-18%	+43%,-33%
$m_0=1240\text{GeV}, m_{1/2}=220\text{GeV}^*$	16.2	$\pm 18\%$	$\pm 10\%$	$\pm 3.7\%$	$\pm 19\%$	$\pm 28\%$
$m_0=560\text{GeV}, m_{1/2}=400\text{GeV}^*$	19.5	$\pm 7.4\%$	$\pm 7.3\%$	$\pm 3.7\%$	$\pm 31\%$	$\pm 33\%$

\* mSUGRA,  $\tan\beta=40, A_0=-500\text{GeV}, \mu>0$

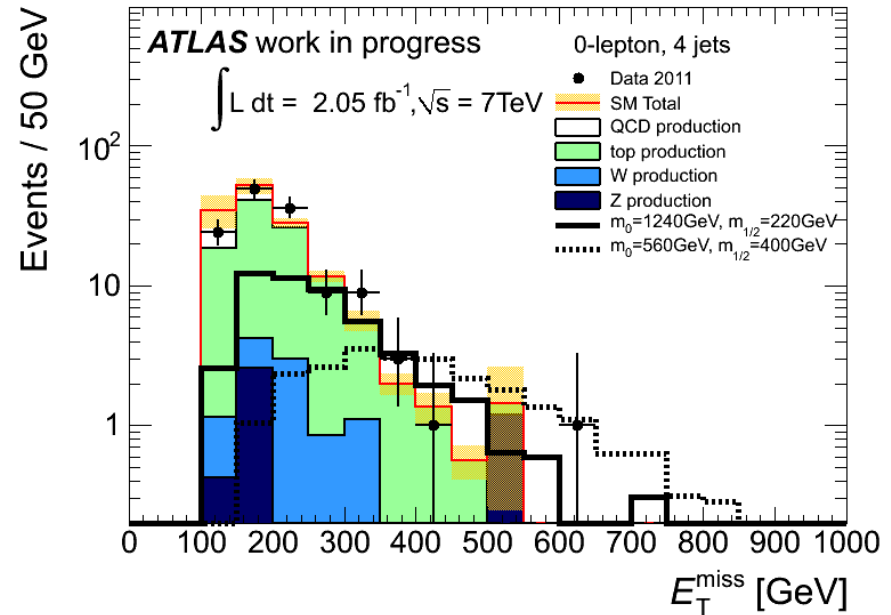
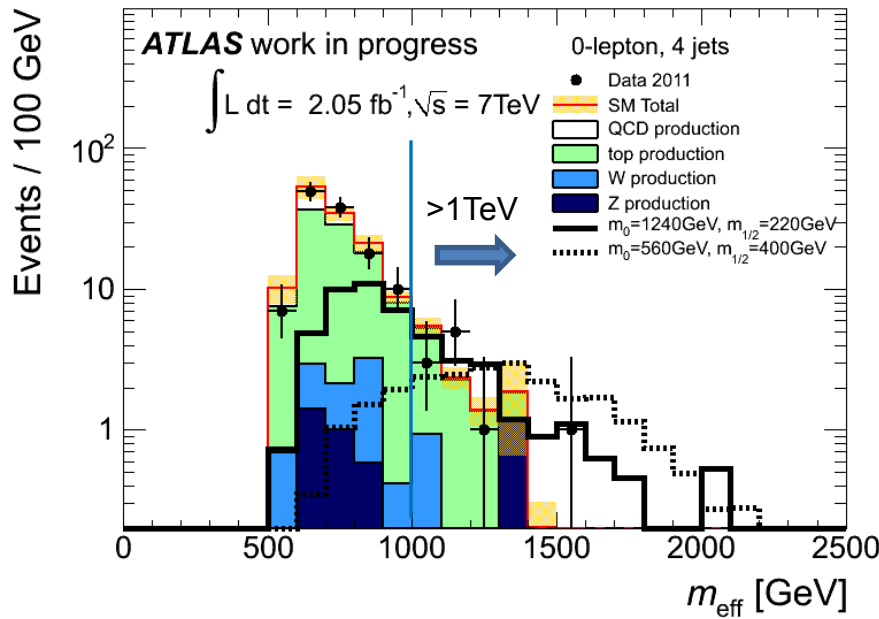




# 結果



- $m_{\text{eff}}$  cut前の分布



Expectedとobserved events

	top	W	Z	QCD	others	Total(MC)	Data(2.05fb <sup>-1</sup> )
before $m_{\text{eff}}$ cut	$93 \pm 28$	$7.5 \pm 2.0$	$4.2 \pm 1.9$	$30 \pm 15$	$0.1 \pm 0.1$	$135 \pm 32$	132
$m_{\text{eff}} > 1\text{TeV}$	$8.8 \pm 3.3$	$1.1 \pm 0.8$	$1.2 \pm 1.2$	$0.3 \pm 0.2$	$< 0.1$	$11.4 \pm 3.7$	10

Standard Modelとconsistentな結果となった

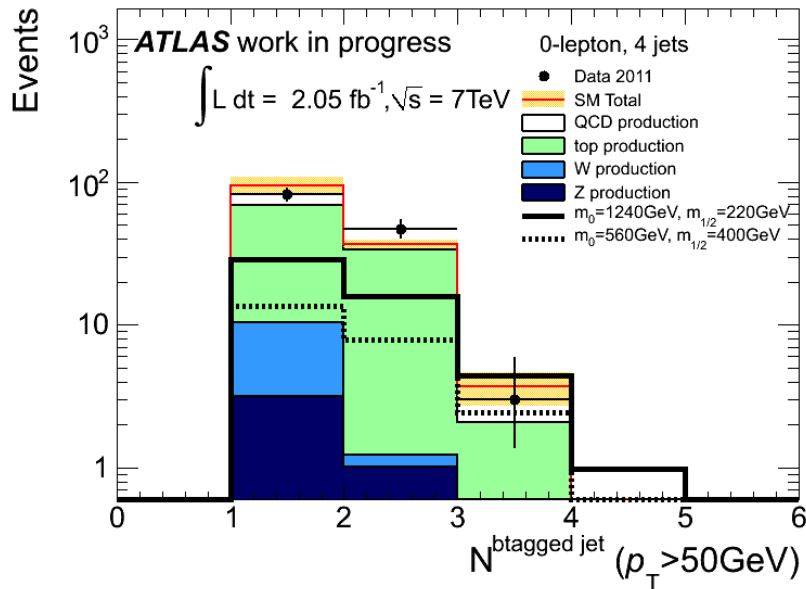


# Number of $b$ -tagged Jets

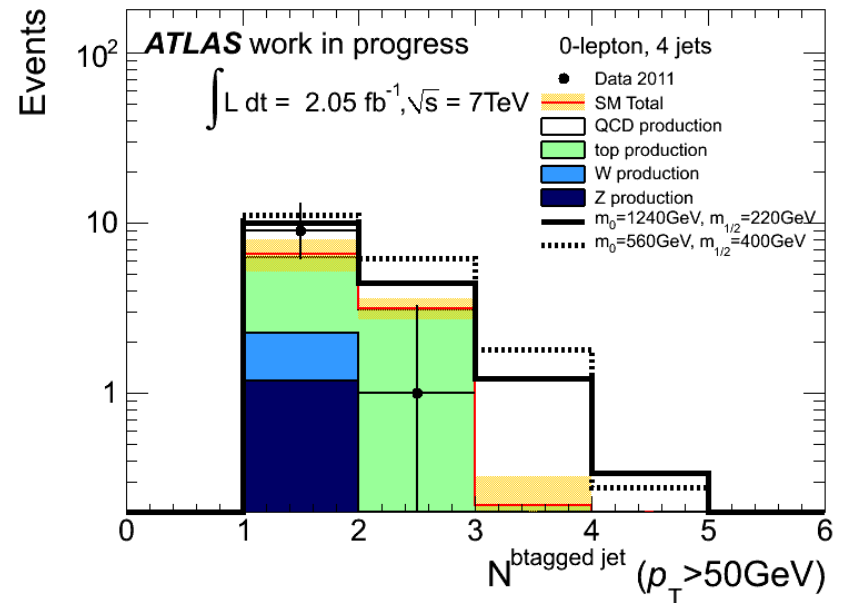


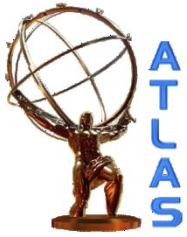
- $N^{b\text{-tagged jets}} \neq \text{SM} \rightarrow \text{consistent}$

$m_{\text{eff}}$  cut前

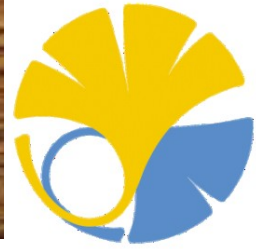


$m_{\text{eff}} > 1 \text{ TeV}$

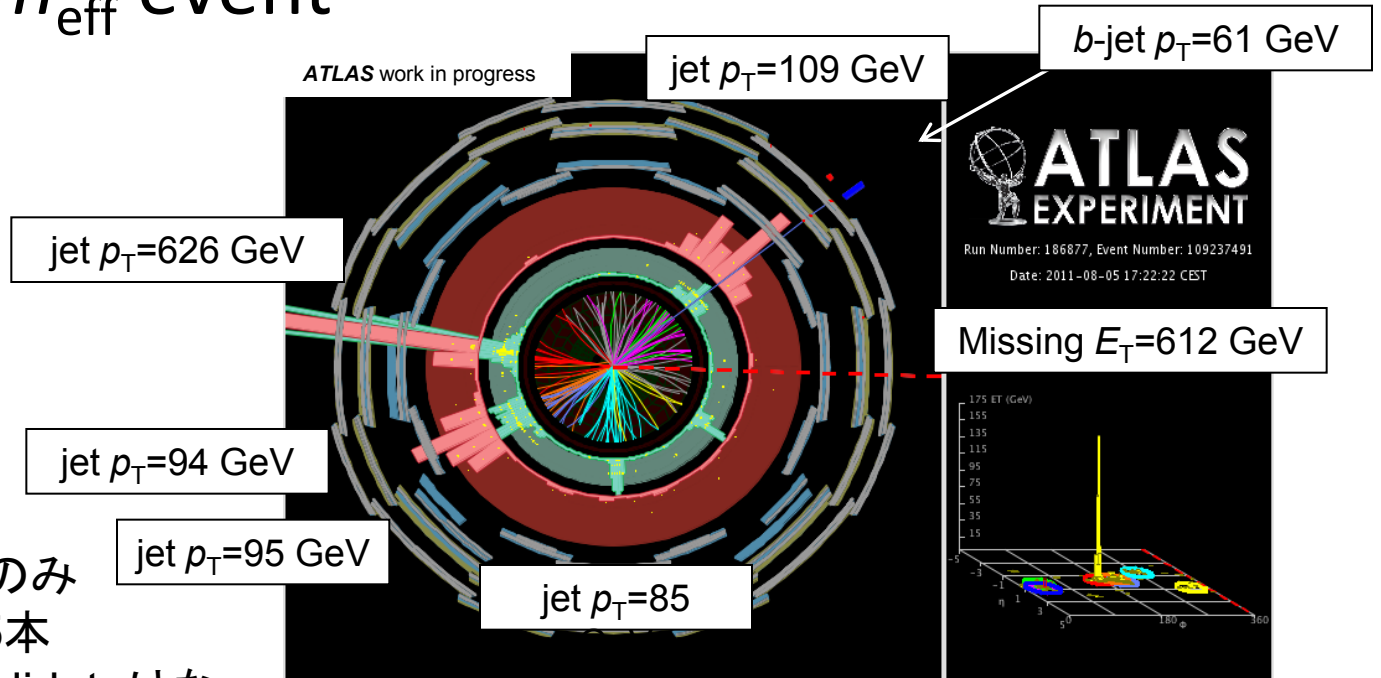




# Candidate Event

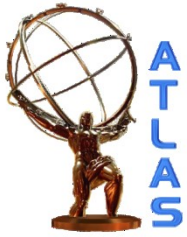


- Highest  $m_{\text{eff}}$  event



- $b$ -tagged jetは1本のみ
- $p_T > 80$  GeVのjetが5本
- isolated muon candidateはないが、electron-likeなjetがあるので、IDに失敗した可能性はある

→ SMで解釈するなら、  
 $W(\rightarrow ev) + \text{jets} + bb$

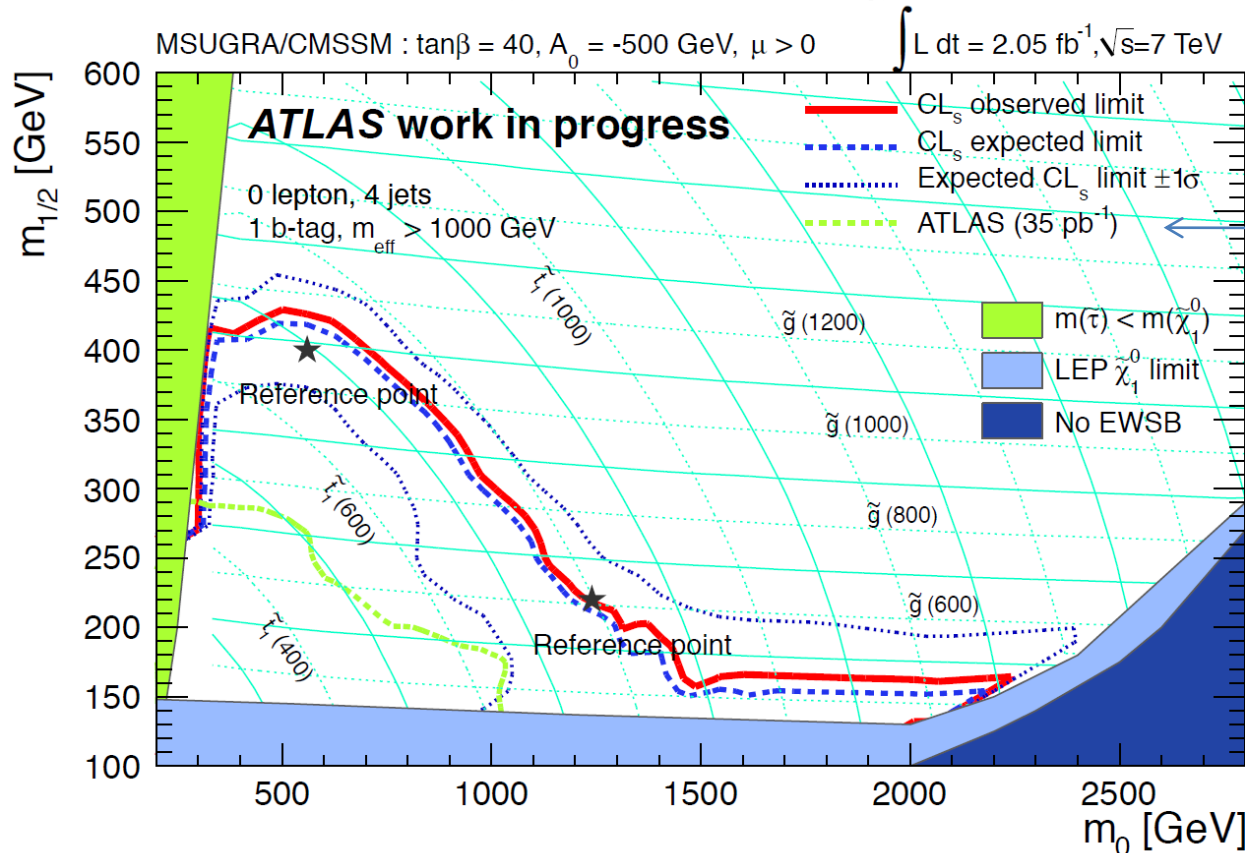


# Interpretation

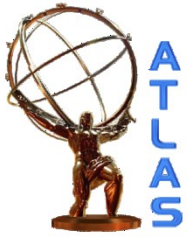


- mSUGRA/CMSSM ( $\tan\beta=40$ ,  $A_0=-500\text{GeV}$ ,  $\mu>0$ )に対する exclusion limitを計算

– スカラトップ質量  $< 750\text{ GeV}$ の領域が95% CLでexcludeされた



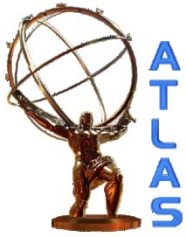
ATLAS Collaboration, Phys. Lett. B 701 4 (2011) 398



# まとめと今後の展望



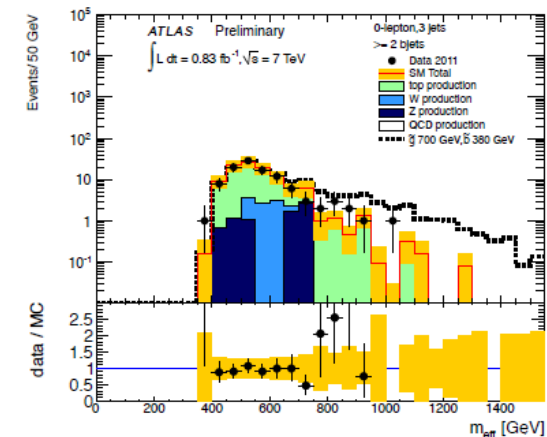
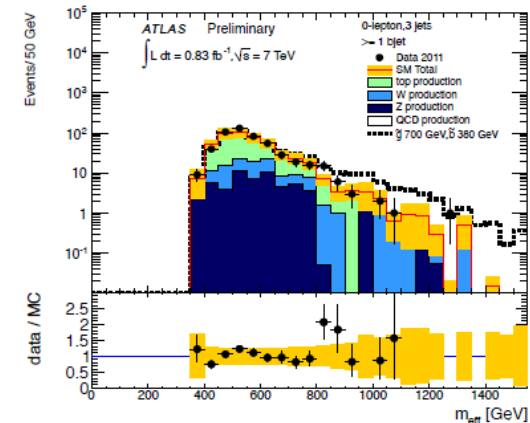
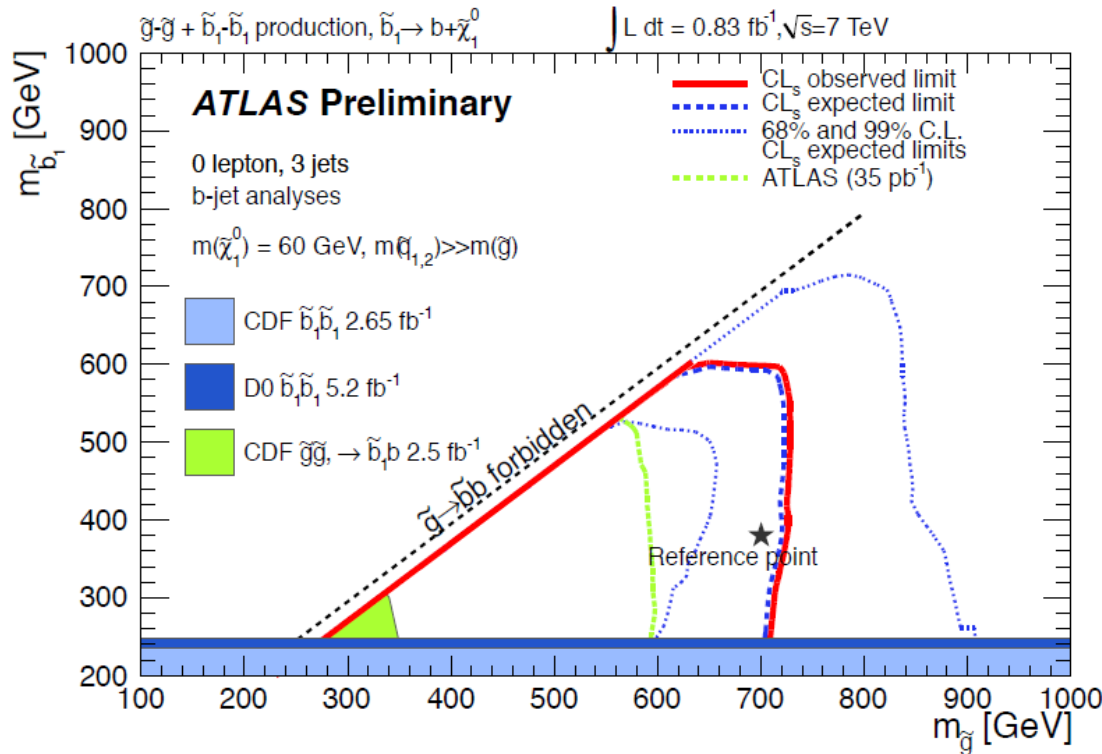
- LHC-ATLASで2011年に取得された $2 \text{ fb}^{-1}$ のデータを用いて、スカラートップクォークの探索を行った
  - 0-lepton, 4-jet (at least 1  $b$ -jet)を要求
- シグナルをenhanceするようevent selectionした結果、Standard Modelとconsistentなevent数が残った
  - この結果を使って、mSUGRA ( $\tan\beta=40$ ,  $A_0=-500 \text{ GeV}$ ,  $\mu>0$ )モデルにlimitを付けると、 $m(\tilde{t}_1) < 750 \text{ GeV}$ を95% CLで、exclude
- この $2 \text{ fb}^{-1}$ のデータを使えば、スカラートップクォークの他のtopologyにおいても未知の領域での探索が十分に可能
- 特にdirect pair production searchを目的とした下記のtopologyの解析も進行中
  - 2  $b$ -jet + Missing  $E_T$  (for  $\tilde{b}_1$  pair production search)
  - 2-lepton + 2 jet (at least 1  $b$ -jet) + Missing  $E_T$  (for  $\tilde{t}_1 \rightarrow b+Z/h+\tilde{G}$  search)

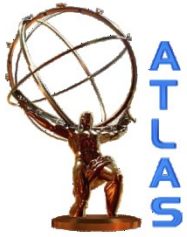


# Backup



- その他の**b**-jet searchの結果
  - 0-lepton, 3-jet (1 or 2 **b**-jet) ATLAS-CONF-2011-098





# Backup



- その他の**b**-jet searchの結果
  - 1-lepton, 4-jet (1 *b*-jet) ATLAS-CONF-2011-130

