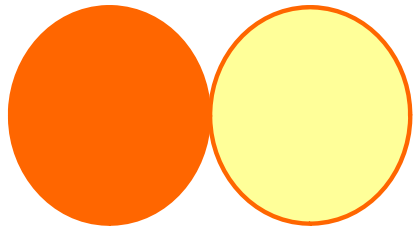
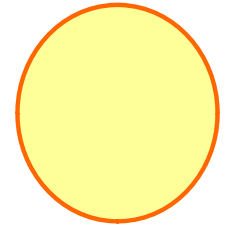


LHC-ATLAS実験における

$\sqrt{s}=7\text{TeV}$ p-p衝突 4.7/fbデータによる

ジェットと消失エネルギーを持つ終状態を用いた
スクォークとグルイーノの探索



日本物理学会 年次大会 関西学院大学

2012年3月24日 24pFA-10

中浜 優 (CERN)

目次

- 本解析の物理的意義
- 解析
 - 観測量と信号領域の定義
 - データを用いたバックグラウンドの推定
 - squarkとgluinoの探索結果
 - 超対称性モデルへの制限
- まとめ

“複数jet+消失エネルギー”によるSUSY粒子探索

- もしTeV scaleに超対称性粒子が存在すれば, LHCではsquarkとgluinoが大量に生成される。

- 超対称性事象の特徴

- R-parity保存を仮定すると、 $\tilde{q}\tilde{q}$ $\tilde{q}\tilde{g}$ $\tilde{g}\tilde{g}$ が対生成

- $\Rightarrow \tilde{q} \rightarrow q(\rightarrow \text{jet}) + \tilde{\chi}$

- $\tilde{g} \rightarrow q(\rightarrow \text{jet}) + \tilde{q}(\rightarrow \text{jet}) + \tilde{\chi}$

- $\Rightarrow \tilde{\chi}_1^0$ (LSP)から大きな消失エネルギー(MissET)

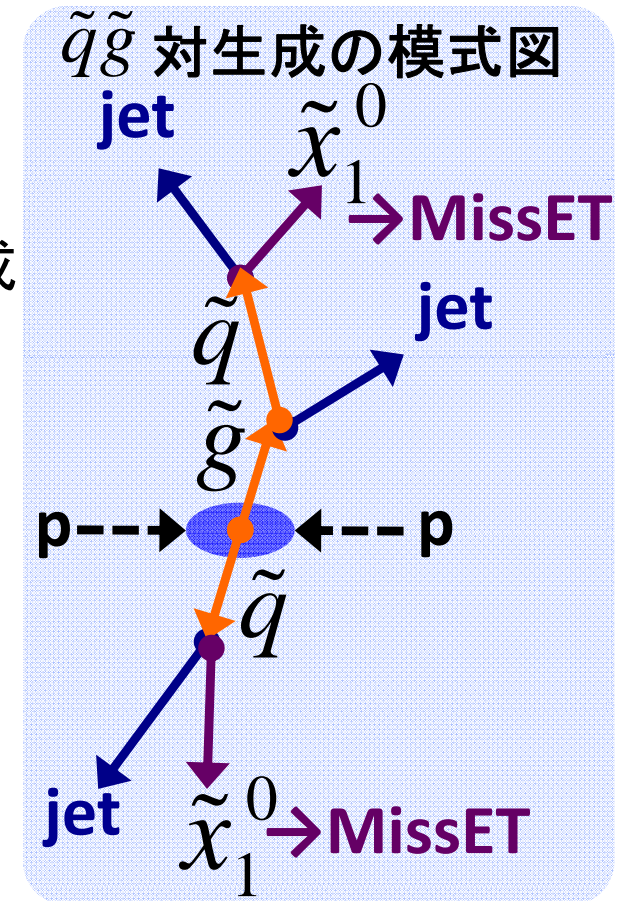
- 終状態のうち、崩壊分岐比が大きな

“複数jet + 大きなMissET+0-e/mu”に着目。

\Rightarrow squarkとgluinoに対して、

最も厳しい質量制限を与える Golden modeである。

\Rightarrow 本講演では $\sqrt{s}=7\text{TeV}$ p-p衝突 4.7/fbを用いた解析結果を報告する。



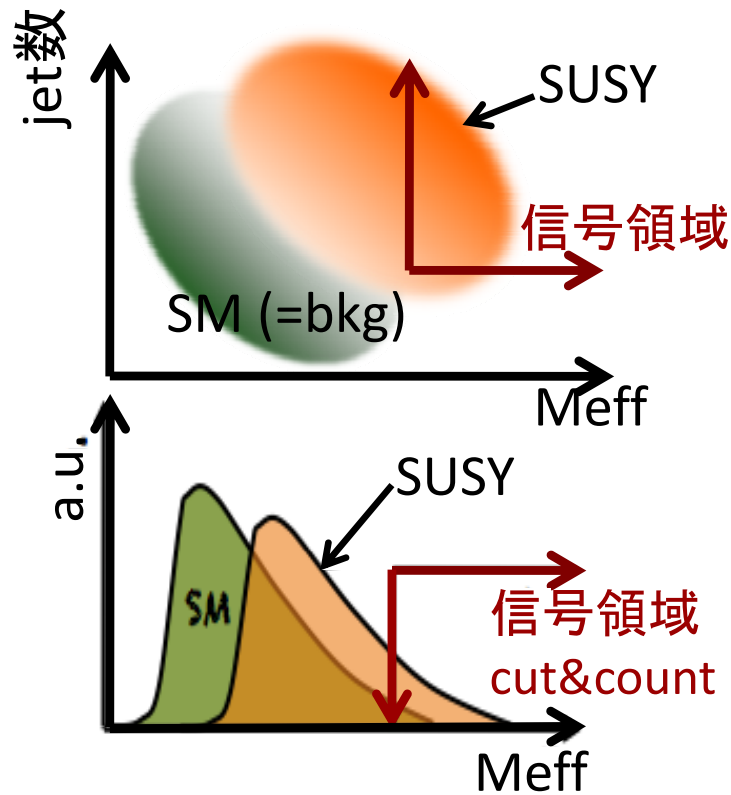
観測量(jet数と有効質量Meff)と信号領域

- 事象パターンとjetの本数の関係

事象パターン	$\tilde{q}\tilde{q}$ 生成	$\tilde{q}\tilde{g}$ 生成	$\tilde{g}\tilde{g}$ 生成	多段崩壊
jetの本数	$\geq 2\text{jet}$	$\geq 3\text{jet}$	$\geq 4\text{jet}$	$\geq 5\text{jet}$ または 6jet

↑ New!

- 事象パターン(jetの本数)に応じ、力学的な信号領域を定義する。



有効質量

$$M_{\text{eff}} = \text{MissET} + \sum_{\text{jet}} p_T$$

Significance($\sim S/\sqrt{N}$)を最大化するように信号領域を Meff の下限値で定義

信号領域の定義

- Squark, gluino, LSPの質量に応じ、 M_{eff} の下限値を最適化する。

質量スペクトラム	質量差が大きい場合	中程度の場合	縮退した場合 $\Delta M/M \sim 20\%$
設定方法	0.8/fbでのmSUGRAでの質量下限値を大幅に更新するよう設定	0.8/fbでの質量下限値を確実に更新する	MissETの確からしさの下限値を上げ、 M_{eff} の下限値を出来るだけさげる
代表的な信号領域	$M_{\text{eff}} > 1900$ -1400 [GeV/c ²]	$M_{\text{eff}} > 1400$ -1200 [GeV/c ²]	$M_{\text{eff}} > 1200$ -900 [GeV/c ²]
jet数 ≥ 2 jet	1900	1400	1200
3jet	1900		
4jet	1500	1200	900
5jet	1500		
6jet	1400	1200	900

赤字は新しい信号領域

信号領域の定義

- Squark, gluino, LSPの質量に応じ、 M_{eff} の下限値を最適化する。

質量スペクトラム	質量差が大きい場合	中程度の場合	縮退した場合 $\Delta M/M \sim 20\%$
設定方法	0.8/fbでのmSUGRAでの質量下限値を大幅に更新するよう設定	0.8/fbでの質量下限値を確実に更新する	MissETの確からしさの下限値を上げ、 M_{eff} の下限値を出来るだけさげる
代表的な信号領域	$M_{\text{eff}} > 1900$ -1400 [GeV/c ²]	$M_{\text{eff}} > 1400$ -1200 [GeV/c ²]	$M_{\text{eff}} > 1200$ -900 [GeV/c ²]
jet数 ≥ 2 jet	1900	1400	1200
3jet	1900	2jet-6jetを持つこれらの信号領域の組み合わせで 幅広い超対称性事象をカバー	
4jet	1500		
5jet	1500		
6jet	1400		
		1200	900

赤字は新しい信号領域

バックグラウンドの種類および取り扱い

- 種類

- QCD jet:

- カロリメータ応答の不定性により、QCD jetの p_T が小さく見積もられると、本来ゼロであるはずのMissETが有限の値として検出されてしまう。

- $Z(-\rightarrow n\nu)+jets$, $W(-\rightarrow ta\nu)+jets$, $ttbar(-\rightarrow ta\nu qq)$:

- e/μ を伴わず、 ν により高いMissETを作り、信号と同じ終状態。

- Meffの形状

- QCD jet:

- MissETが小さいQCD事象データにjetの検出器応答関数をたたみこみ、QCD jetからのMissETが大きい場合のMeffの形状を再現する。

- $Z+jets$, $W+jets$, $ttbar$: MCの分布を使う。

- MC統計量を前回の約40倍にし、形状の不定性由来の系統誤差を削減することに成功した。 **New!**

信号領域内のバックグラウンド数の推定

- 規格化

- 各信号領域に対し、各バックグラウンドが支配的で信号の混入がないコントロール領域を、 M_{eff} と直交するパラメーターで定義。
- コントロール領域CRでの観測数を信号領域SRへ外挿する。

$$N_{SR \text{ 内の推定数}} = N_{SR \text{ 内のMC数}} / N_{CR \text{ 内の(MC)推定数}} \times (N_{CR \text{ 内の観測数}} - N_{CR \text{ 内の他のbkg数}})$$

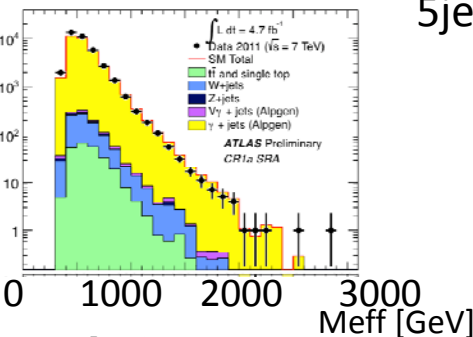
CR for Z+nunu+jets
from gamma+jets

CR for QCD jets (MissET, jetの
角度が小さい領域を選択)

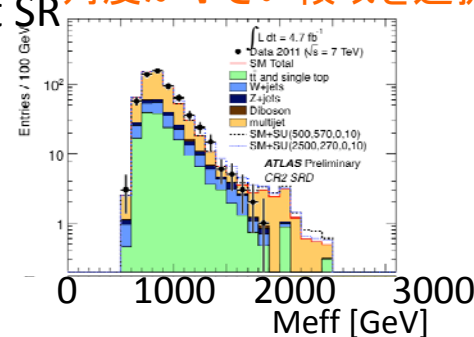
CR for top from
bbqq/lnu (bjtag)

主なコントロール領域
での M_{eff} の分布

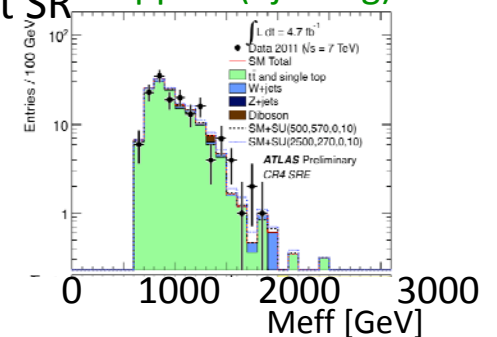
2jet SR



5jet SR



6jet SR

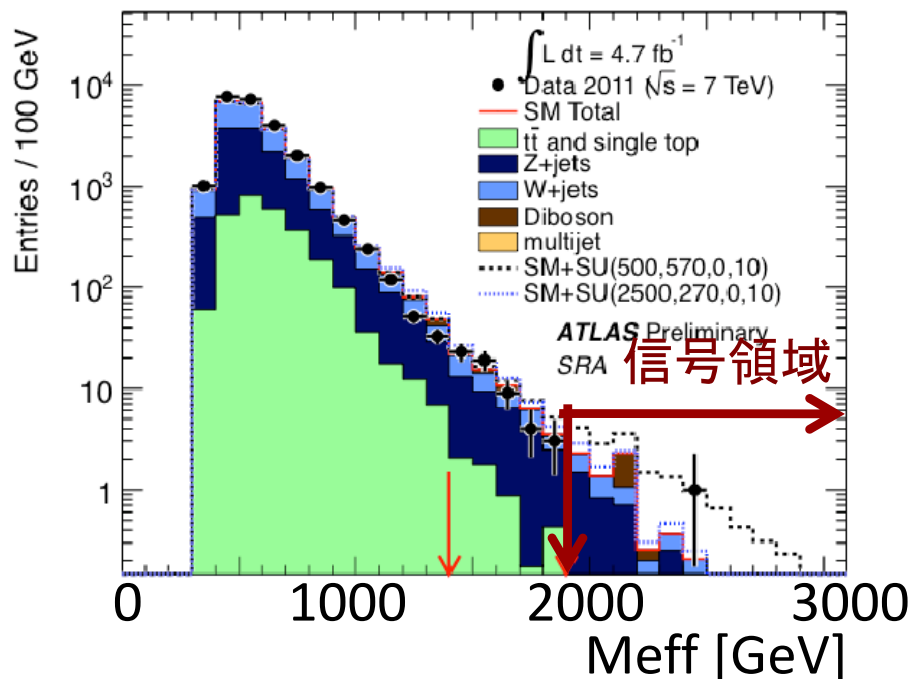


- 信号領域での寄与

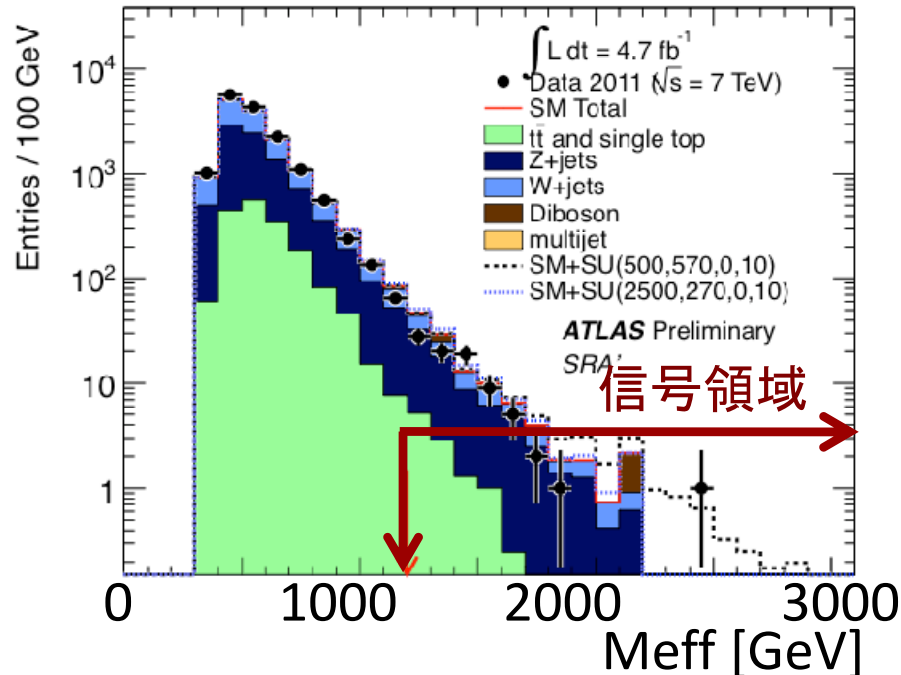
- QCD jet: 断面積が非常に大きいですが、事前のMissETの確からしさやjetとMissETの角度に対する抑制により、0.1~1%以下の寄与。
- Z/W+jets: jet数が少ない信号領域で約80%の寄与。特にz->nunu+jetsは、高MissET領域で寄与が支配的である。
- ttbar: jet数が多い信号領域で約60%の寄与。

2jet 信号領域を用いたsquark探索結果

2jet SR (質量差が大きい場合)



2jet SR (縮退している場合)



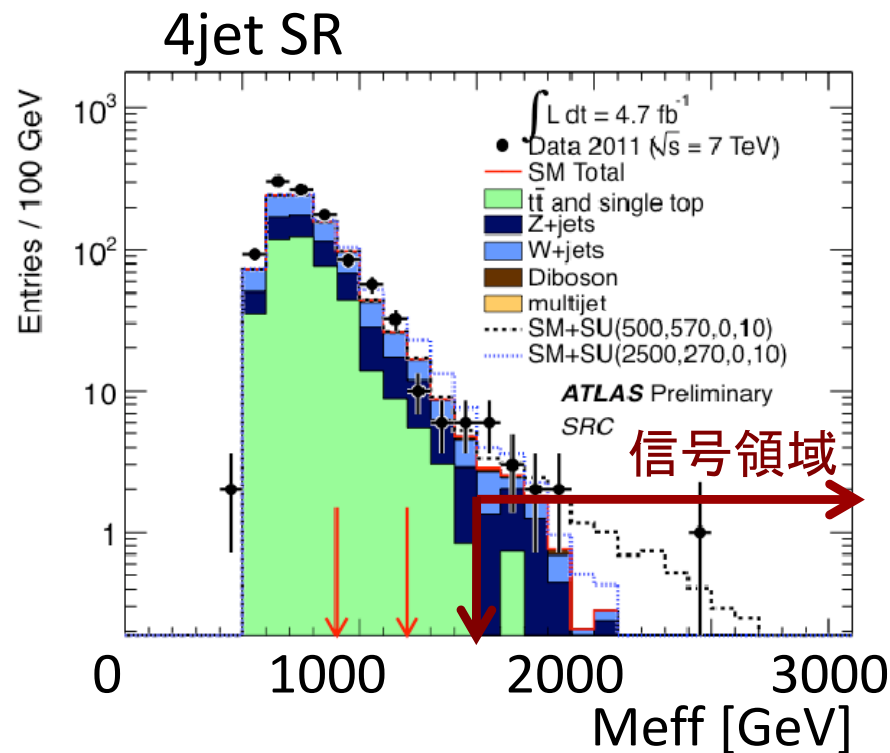
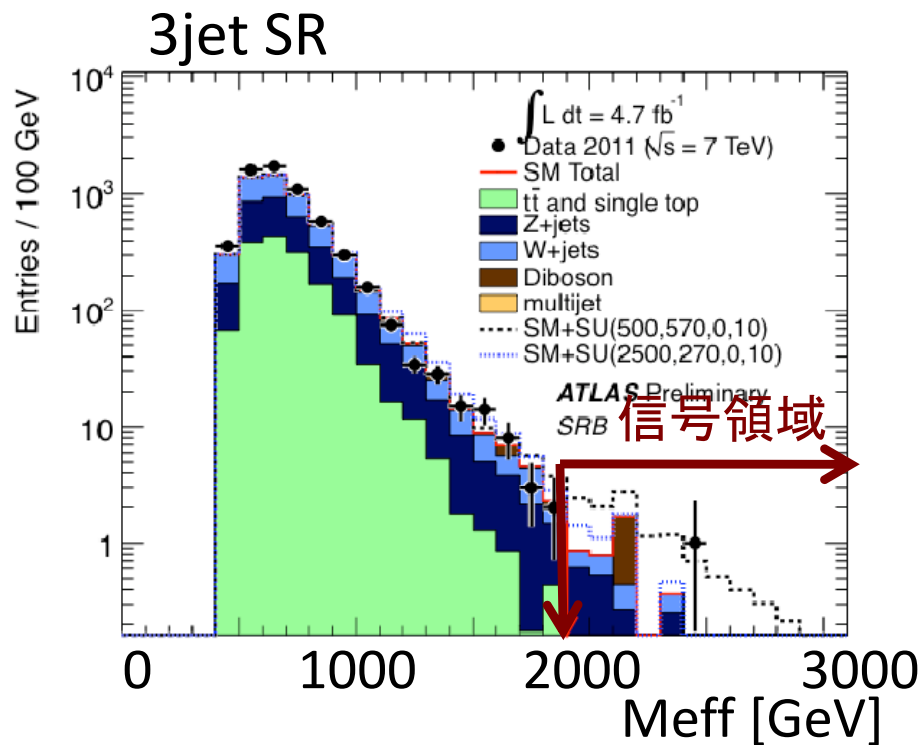
- 観測事象数は標準理論由来のバックグラウンド数から超過なし。

信号領域 jet数	>=2jets (質量差が大きい場合)	>=2jets (縮退している場合)
観測事象数	1	85
バックグラウンド数	7.0+/-0.8(系統)+/2.3(統計)	97+/-6+/-7

ATLAS preliminary

- SR内には、主にZ+jetsとW+jetsが寄与。系統誤差は、MCの統計量30%やZnu+nu+jets用のCR内のacceptanceの不定性が50%。

3jet, 4jet SRを用いたsquark/gluino探索結果



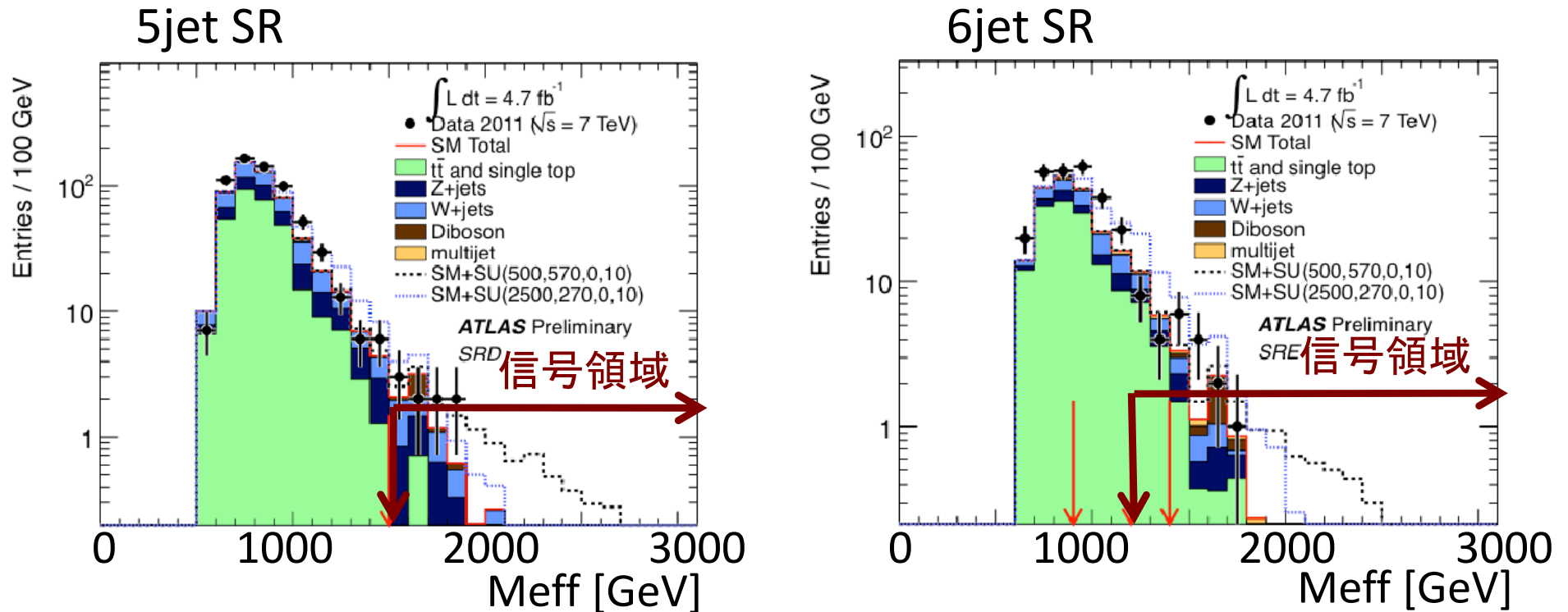
- 観測事象数は標準理論由来のバックグラウンド数から超過なし。

信号領域 jet数	>=3jets	>=4jets
観測事象数	1	14
バックグラウンド数	5.4+/-0.6(系統)+/-2.3(統計)	6.0+/-1.3+/-1.3

ATLAS preliminary

- SR内には、主にZ+jetsとW+jets, ttbar, bi-bosonも寄与。

5jet, 6jet SRを用いた多段崩壊するgluino探索



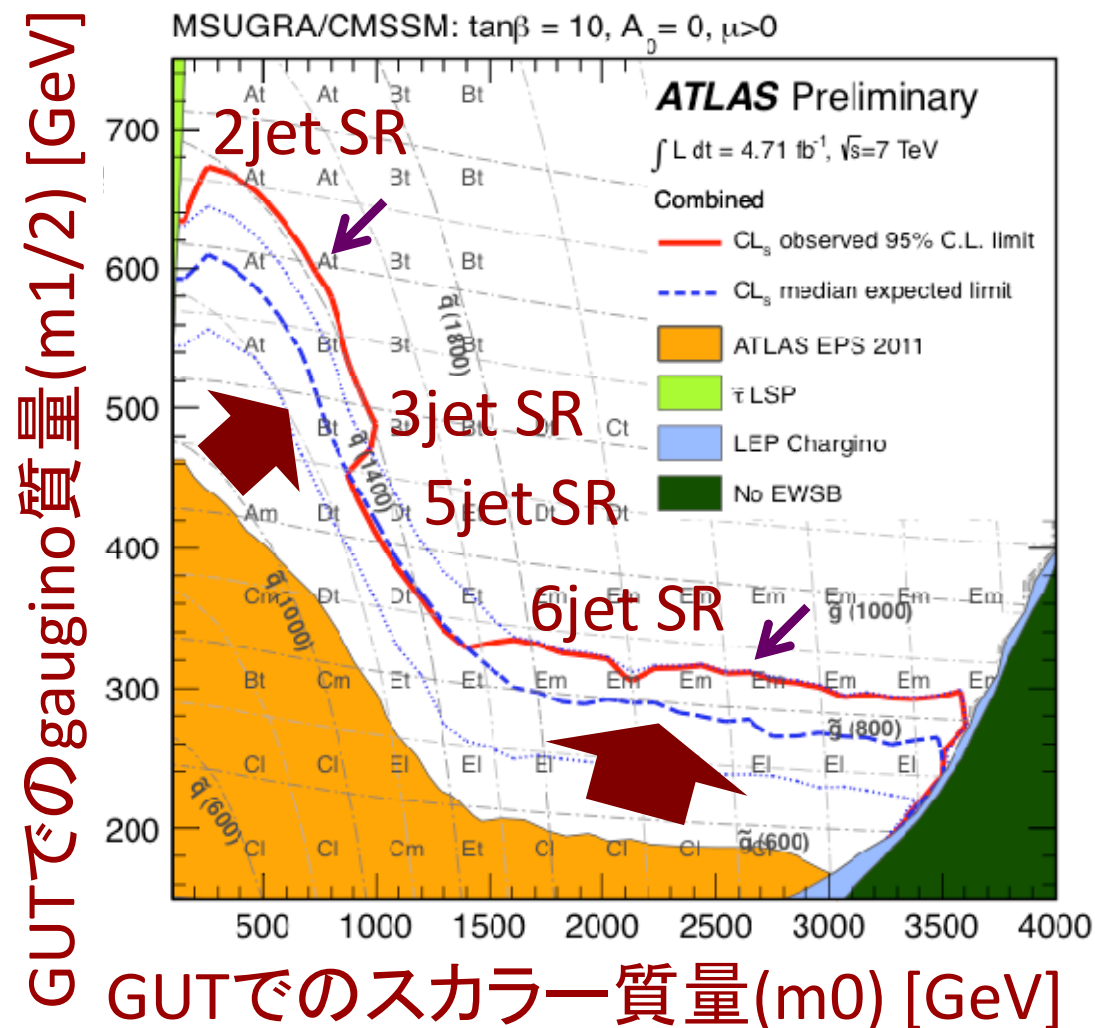
- 観測事象数は標準理論由来のバックグラウンド数から超過なし。

信号領域 jet数	>=5jets	>=6jets	New!
観測事象数	9	25	
バックグラウンド数	6.8+/-1.7(系統)+/-2.1(統計)	34+/-7.8+/-5.6	

- SR内にはttbarが50%寄与。
- 系統誤差は、MC統計量40%, top theoryのパラメータ20%寄与。

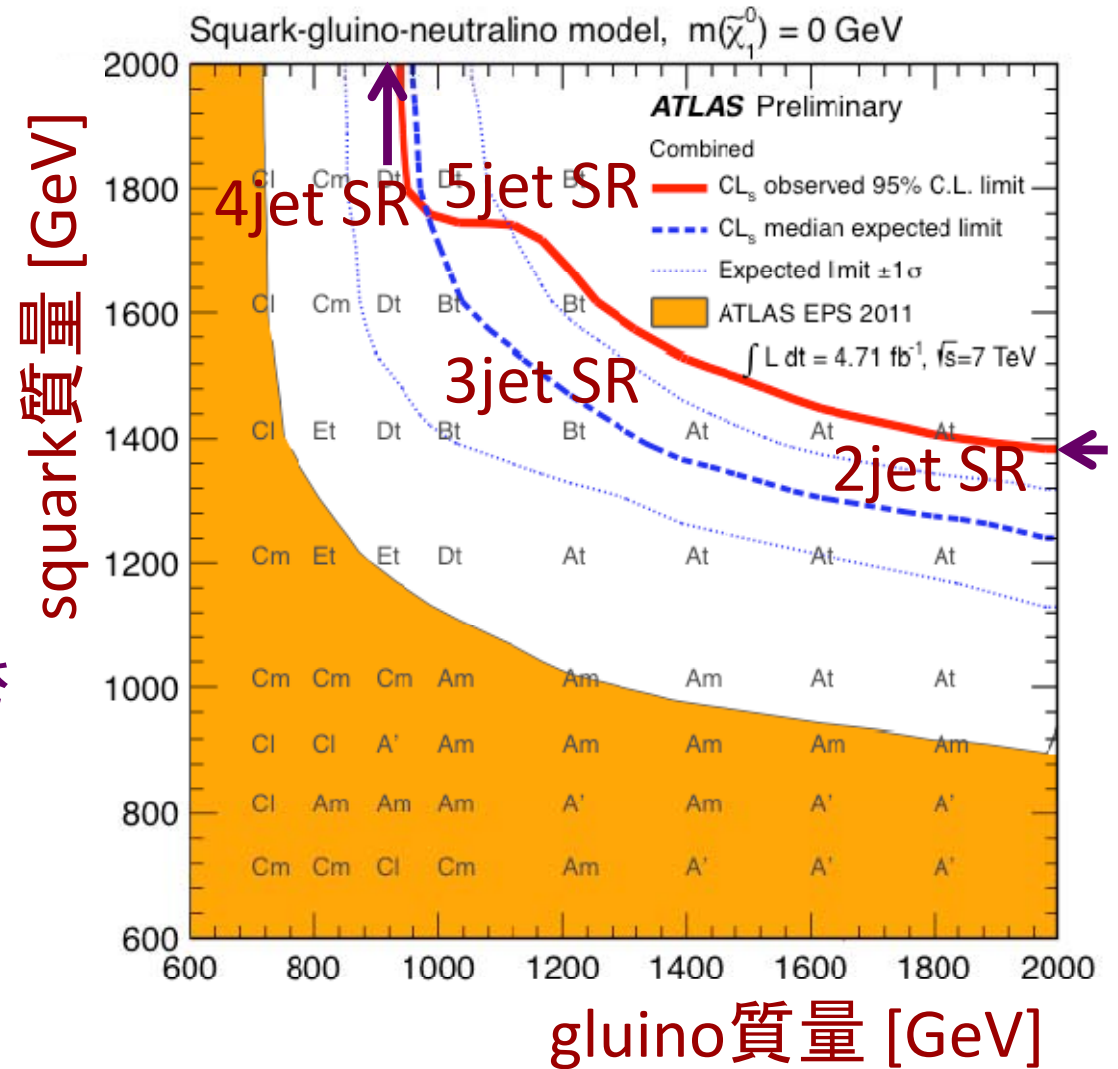
mSUGRA/cMSSMでの棄却領域

- 超対称性サンプル
 - ミニマム重力伝播SUSYモデル
 - NLO+NLLO 断面積 **New!**
 - CTEQ6+MSTWを用いた PDF / scaleの不定性 **New!**
- 各サンプル点に対し、一番CLsが良いSRにおいて、**95%信頼度で棄却された領域**
 - 0.8/fbの結果を大きく上回る
 - m_0 が小さい時、squark質量=gluino質量 >1400 GeV
 - squarkが重い極限で、gluino質量 >850 GeV



gluino-squark質量平面での棄却領域

- 超対称性サンプル
 - 最初の2世代のsquarkとgluinoと質量0のLSPのみ考慮した単純化したモデル
- 質量下限値:
 - squark質量 > 1380 GeV
 - gluino質量 > 940 GeV
 - 比較的モデル依存性が小さい結果が得られる。



まとめ

- LHC-ATLAS実験での $v_s=7\text{TeV}$ p-p衝突 4.7/fbを使い、複数jetと消失エネルギーを持つ終状態に着目して、squarkとgluinoの探索を包括的に行った。
 - 幅広い質量領域において感度を大幅に向上させた。
 - jet数が多い場合は、カスケード崩壊をするgluinoに対して
 - 有効質量 M_{eff} の最適化により、質量差が大きい場合、縮退した場合をカバー。
 - 観測事象数は標準理論由来のバックグラウンド数から超過がなかった。
 - ミニマム重力伝播SUSYモデル(mSUGRA)
 - squark質量=gluino質量 $>1400\text{ GeV}$ (小さい m_0)
 - gluino質量 $>850\text{ GeV}$ (squarkが重い極限)
 - モデル依存性が少ない結果
 - squark質量 $> 1380\text{ GeV}$
 - gluino質量 $> 940\text{ GeV}$

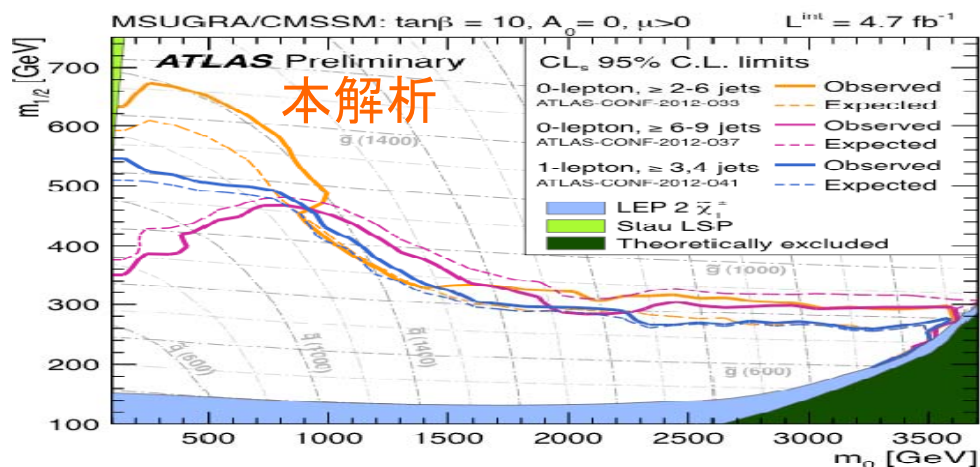
質量下限値を更新

- 詳細はATLAS-CONF-2012-033にて公開 <https://cdsweb.cern.ch/record/1432199>

- Backup slides

mSUGRAでの質量棄却域の比較

ATLAS



CMS

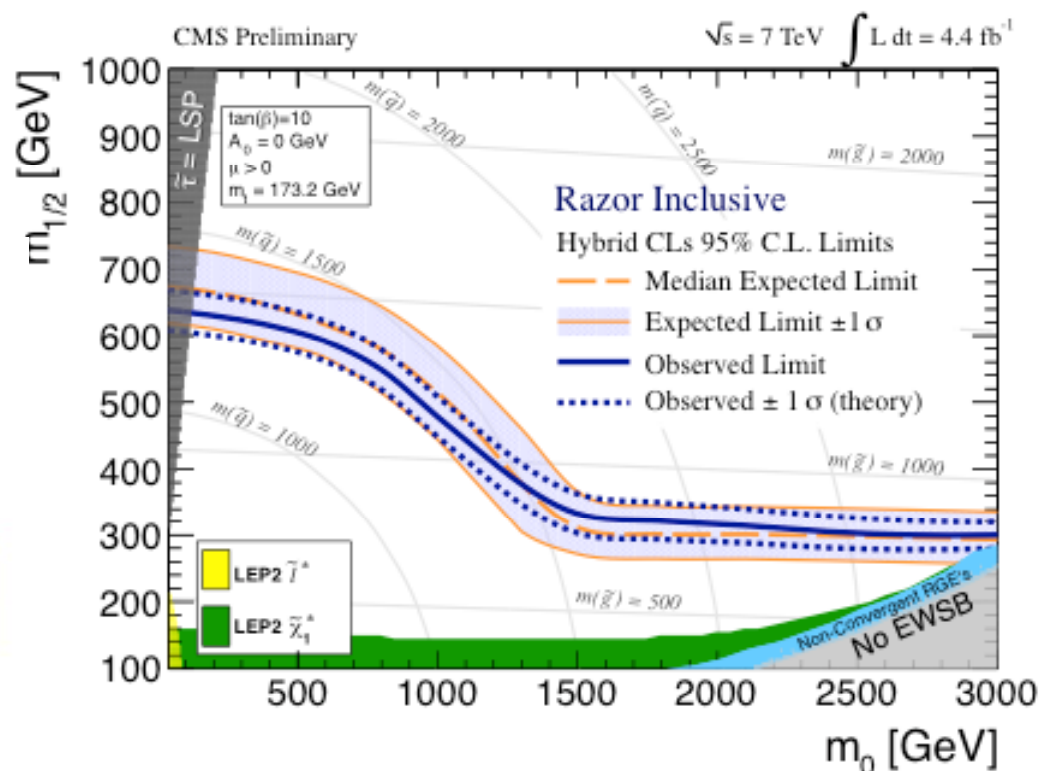


Figure 10: Observed (solid curve) and median expected (dot-dashed curve) 95% C.L. limits in the $(m_0, m_{1/2})$ CMSSM plane with $\tan\beta = 10, A_0 = 0, \text{sgn}(\mu) = +1$ from the razor analysis. The ± 1 standard deviation equivalent variations in the uncertainties are shown as a band around the median expected limit.