



山中隆志, 金谷奈央子<sup>A</sup>, 浅井祥仁,  
駒宮幸男, 目黒立真<sup>B</sup>  
東大理, 東大ICEPP<sup>A</sup>, 阪大理<sup>B</sup>



26aGB-6

## LHC-ATLAS実験における ボトムクォークを含む マルチジェット事象を用いた 超対称性粒子の探索

1. 理論的背景
2. 事象選択と結果
3. 今年の展望とまとめ

# Decay to 3rd Generation of Susy Particles

2

- MSSMなどの標準的な超対称性理論において、第三世代粒子の超対称性パートナーは他の粒子に比べて軽くなりやすい

$$D = M_Z^2 \cos 2\beta$$

sbottomの質量行列 (mSUGRA)

$$m^2(\tilde{b}) = \begin{pmatrix} m_0^2 + 6.28m_{1/2}^2 + m_b^2 - 0.42D & -m_b(A_b + \mu \tan \beta) \\ -m_b(A_b + \mu \tan \beta) & m_0^2 + 5.82m_{1/2}^2 + m_b^2 - 0.08D \end{pmatrix}$$

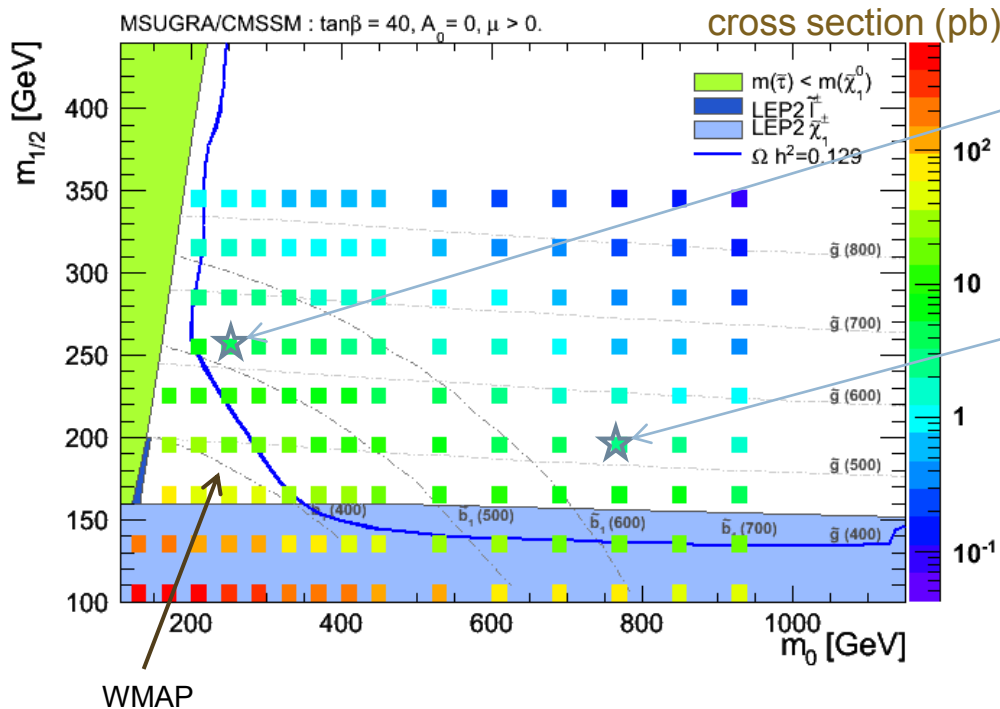
- その結果、第3世代粒子の超対称性パートナーを通しての崩壊がenhance
  - $M(\text{squark}) < M(\text{gluino}) \rightarrow$  2-body decay  $\tilde{g} \rightarrow \tilde{b}_1 b$
  - $M(\text{squark}) > M(\text{gluino}) \rightarrow$  3-body decay  $\tilde{g} \rightarrow \tilde{\chi}_i^0 b \bar{b}$
- 超対称性粒子(SUSY)的な粒子が発見された場合、第三世代粒子のexcessがあるかが重要な証拠

# Susy Monte Carlo Sample

3

□ 第三世代のenhanceが起こるmSUGRA ( $\tan\beta=40$ ,  $A_0=0$ ,  $\mu>0$ )について述べる

□ multi-jet, bjet, MET, 0/1-lepton 解析



• Reference point 1  
( $m_0=240\text{GeV}$ ,  $m_{1/2}=250\text{GeV}$ )  
 $\sim g=617\text{GeV}$ ,  $\sim b_1=511\text{GeV}$ ,  $\sim t_1=435\text{GeV}$

• Reference point 2  
( $m_0=760\text{GeV}$ ,  $m_{1/2}=190\text{GeV}$ )  
 $\sim g=515\text{GeV}$ ,  $\sim b_1=668\text{GeV}$ ,  $\sim t_1=554\text{GeV}$

mSUGRA ( $\tan\beta = 40$ ,  $A_0 = 0$ )でのこれまでの exclusion limitと今回用意したsignal grid

# Data, SM BG Sample

4

- 2010年にATLASで取得した $35\text{pb}^{-1}$ のDataを使用
- Standard Model Background (Monte Carlo)

Sample	Total cross section	Generator
QCD dijet ( $p_T > 8\text{GeV}$ )	$1.05\text{e}7\text{ nb}$	PYTHIA
W + jets / W+bb	$31.4\text{ nb} / 9.47\text{ pb}$	ALPGEN + JIMMY
Z/ $\gamma^*(\rightarrow\text{ll})$ +jets / Z/ $\gamma^*(\rightarrow\text{ll})$ +bb	$3.20\text{ nb} / 37.6\text{ pb}$	ALPGEN + JIMMY
Z ( $\rightarrow\text{VV}$ ) + jets	$5.82\text{ nb}$	ALPGEN + JIMMY
ttbar / single top	$161\text{ pb} / 37\text{ pb}$	MC@NLO + JIMMY
diboson	$7.10\text{ pb}$	ALPGEN + JIMMY

## Background Estimation

- QCDは断面積が大きく、MCの不定性も大きいので、Event Selectionで、無視できる量にまで減らし、Data drivenで推定
- 他のSM BackgroundはMCの精度が高いので、今回はMC baseに推定を行い、系統誤差を付けた ← Data drivenの推定で確認

# Event Selection (0-lepton)

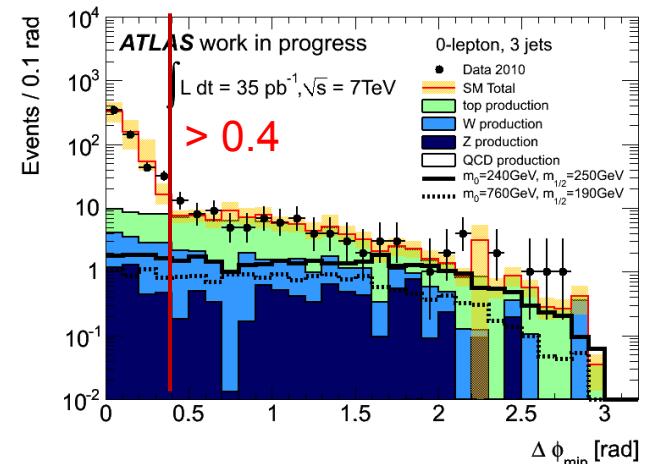
5

- 0-lepton (lepton  $p_T > 20\text{GeV}$  veto)
- jet  $P_T > 120, 30, 30\text{GeV}$
- Missing  $E_T > 100\text{GeV}$
- $\text{minDeltaPhi} > 0.4 \text{ rad}$
- $\text{MET} / M_{\text{eff}} > 0.2$
- at least 1 bjet
- $M_{\text{eff}} > 600\text{GeV}$

multi-jet, large METのtopology  
を選び出す

QCD BGを落とす

$$M_{\text{eff}} = E_T^{\text{miss}} + \sum_{n=1}^{\leq 4} p_T^{\text{nth jet}}$$



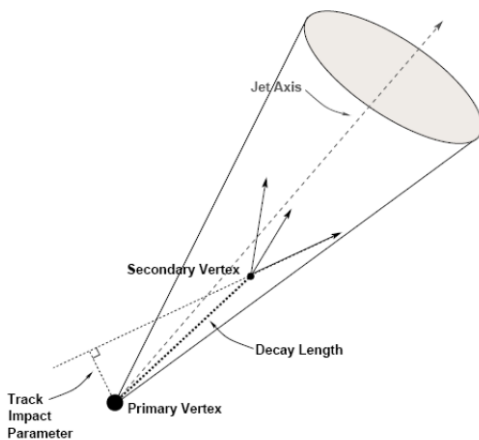
minDeltaPhi(leading 3jetとMETのなす角の最小値)

# B-Tagging

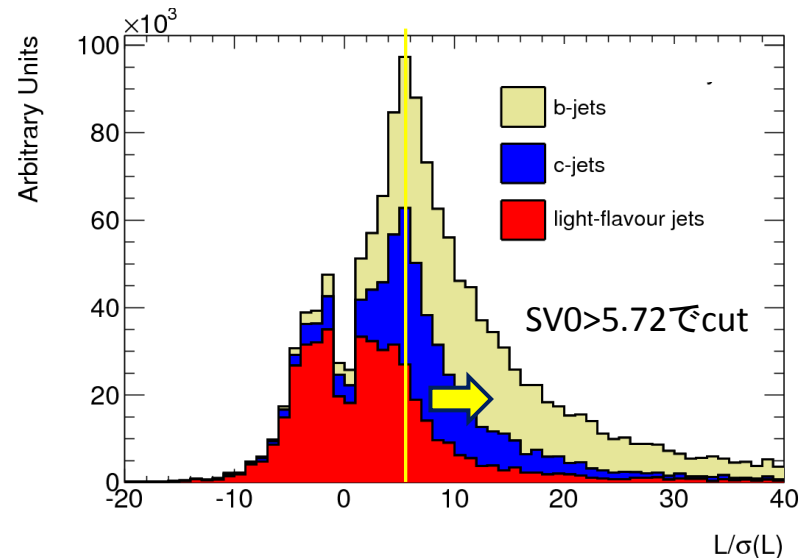
6

- **b-taggingによりb-jetが1本以上あることを要求する**
  - b quarkが中間子をつくって比較的長寿命( $\sim 1\text{ps}$ )なことを利用してtagする
- SV0 : Secondary Vertex Finder
  - Jetにassociateしたtrackからvertexを再構築
  - primary vertexとの符号付き距離(L)を距離の測定誤差( $\sigma$ )で割った  $L/\sigma = \text{significance}$  を用いる

実験初期から高い  
efficiency/rejection  
かつ比較的小さい  
uncertainty



secondary vertex  
reconstruction模式図



MC SimulationでのSV0の分布  
真のsecondary vertexの場合、符号付き距離は正に出る

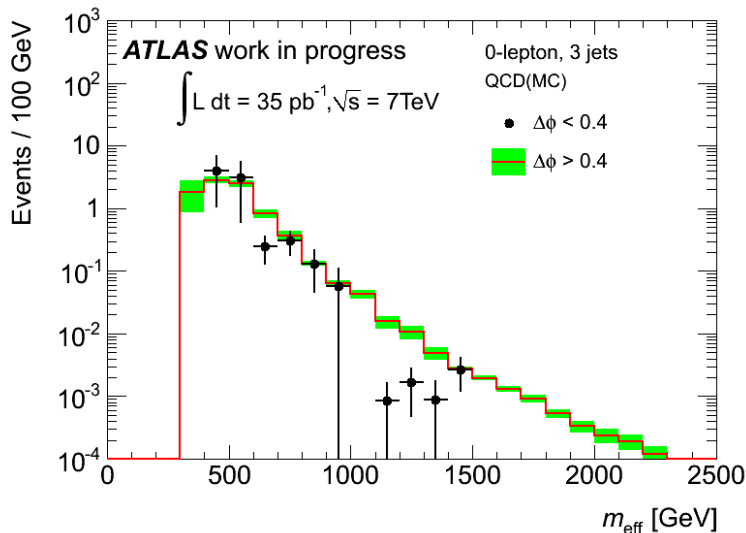
b-jet efficiency=50%,  
light jet rejection=260

# QCD Estimation in 0-lepton Channel

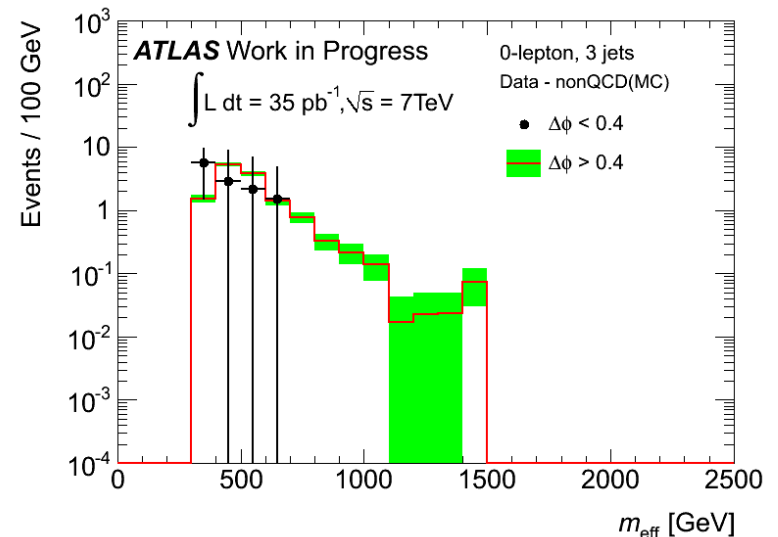
7

## □ $M_{\text{eff}} > 600 \text{ GeV}$ に残るQCDの推定

- $\min\Delta\phi < 0.4$ のregionを使って、signal region側( $\min\Delta\phi > 0.4$ )を推定する
- $\min\Delta\phi$ と $M_{\text{eff}}$ の相関は無視できないので、MCでcorrection factorを求め、その分の系統誤差を考慮する



QCD(MC)の $M_{\text{eff}}$ 分布

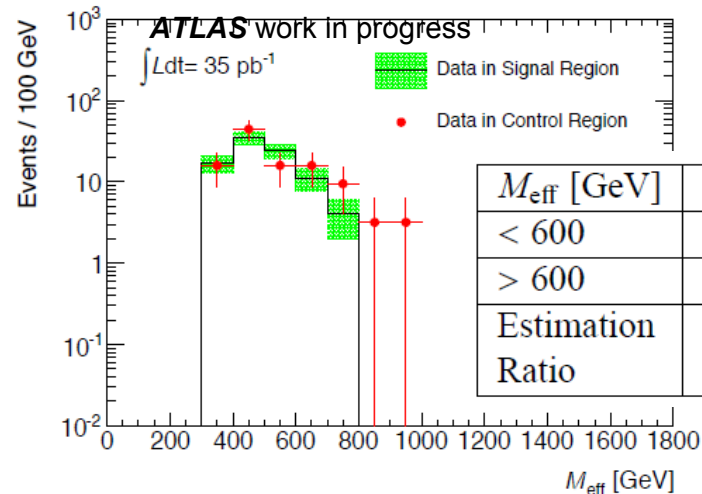
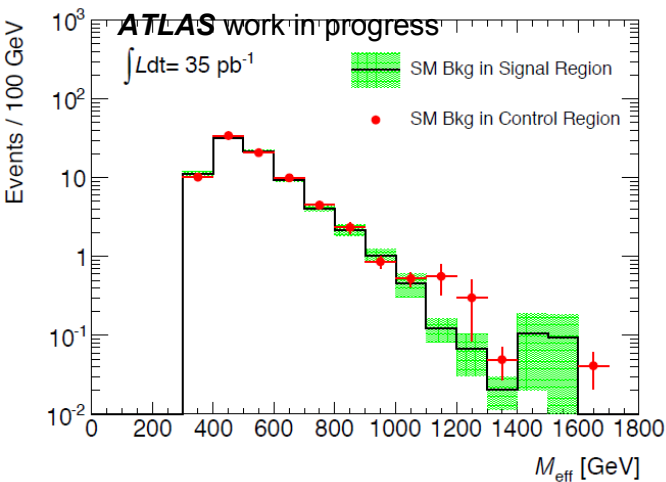


Data-nonQCD(MC)の $M_{\text{eff}}$ 分布

# NonQCD BG Estimation

8

- 1-lepton channelで、SM Background dominantな  $M_T < 100 \text{ GeV}$  を control sample で使用する
  - ▣ 0-lepton channelと同じevent selectionを行い、 $M_{\text{eff}}$  の shapeから推定



nonQCD(MC)の $M_{\text{eff}}$ 分布

Data-QCD(estimation)の $M_{\text{eff}}$ 分布



# Systematic Error

9

- Jet Energy Scale (JES) Uncertainty
  - jetのenergy scaleはdetectorでの生の測定値にdead materialやカロリメーターにenergyを落とさずに逃げた粒子などの補正をかけて得られるが、それらの不定性
- B-tagging Uncertainty
  - SV0によるb-jet selectionの不定性
- Theory
  - generator, PDF, Renormalization/factorization scale

## Signal regionに残るevents数への系統誤差

	Events	Stat.	JES	b-tag	Theory	Lumi.	others	Data driven
nonQCD BG	17.5	±3%	±25%	±15%	±27%	±3%	±5%	
QCD BG	1.4							±70%
Reference1	24.6	±3%	±10%	±10%	±37%	±3%	±5%	
Reference2	11.8	±3%	±13%	±10%	±31%	±3%	±5%	

# CutFlow

10

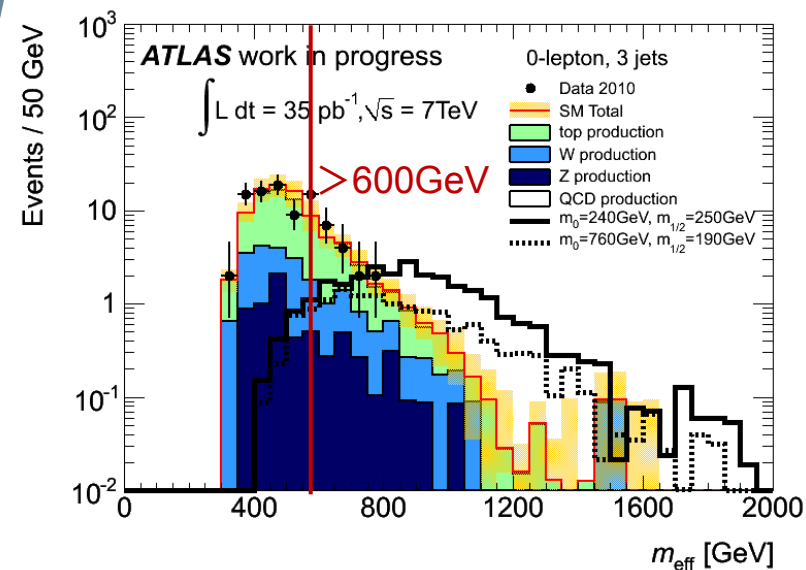
## 35 pb<sup>-1</sup>でのCutflow

cut	Data	SM BG	Reference 1	Reference 2
0-lepton, jet pt, MET, MET/M <sub>eff</sub> , minΔφ cuts				
b <sub>jet</sub> ≥ 1	657	657 ± 200(sys.)	34	17.6
minΔφ <sub>min</sub> > 0.4	91	90 ± 30(sys.)	27	13.8
M <sub>eff</sub> > 600 GeV	15	19 ± 7(sys.)	25 ± 10(sys.)	11.8 ± 4.4 (sys.)

ここでQCDをnormalize

cut	QCD	W+jets	Z+jets	TTbar+single top
0-lepton, jet pt, MET, MET/M <sub>eff</sub> , minΔφ cuts				
b <sub>jet</sub> ≥ 1	540	26	10	81
minΔφ <sub>min</sub> > 0.4	8.1	16	6.7	60
M <sub>eff</sub> > 600 GeV	1.4	3.8	1.7	12.0

SMのみのMCからの推定はDataと矛盾しない



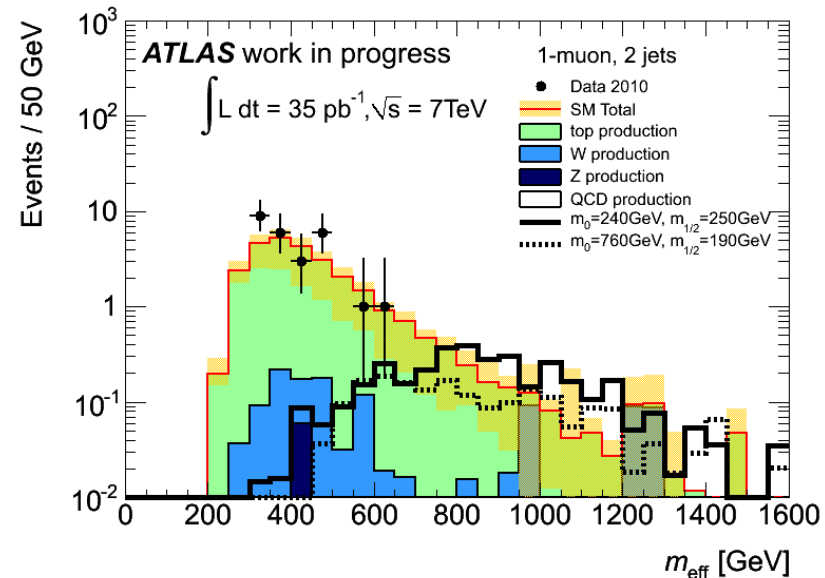
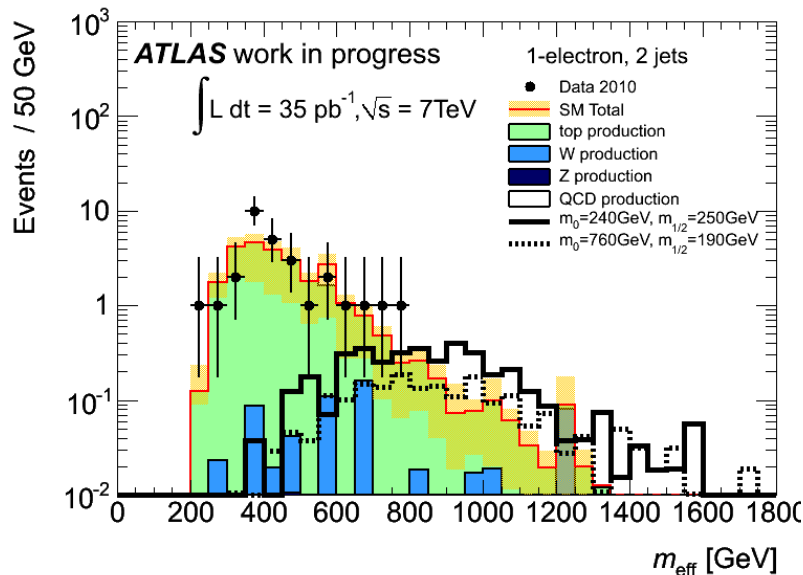
M<sub>eff</sub> cut前のM<sub>eff</sub>分布

# 1-lepton Result

11

- 1-lepton (at least one lepton  $p_t > 20 \text{ GeV}$ )
- jet  $P_t > 60, 30 \text{ GeV}$
- Missing  $E_T > 80 \text{ GeV}$
- $M_T(\text{lepton-MET}) > 100 \text{ GeV}$
- at least 1 bjet
- $M_{\text{eff}} > 500 \text{ GeV}$

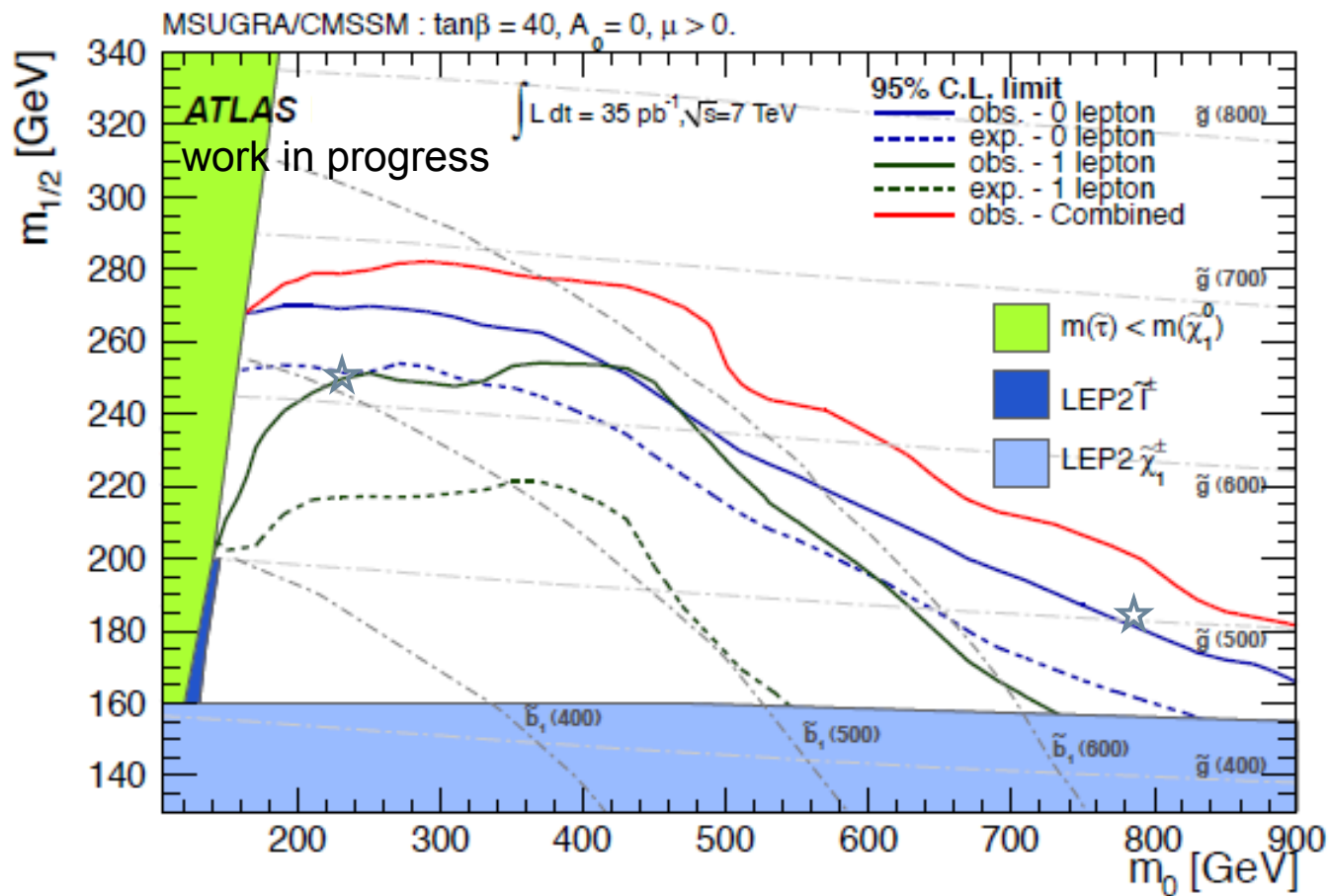
$M_{\text{eff}}$  cut前の $M_{\text{eff}}$ 分布 左: electron channel 右: muon channel



# Exclusion Limit

12

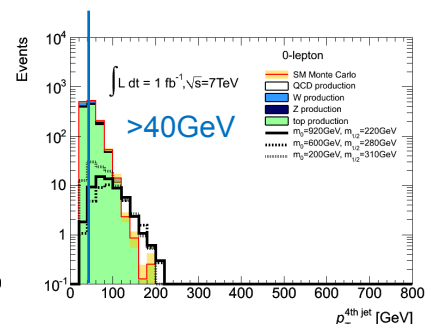
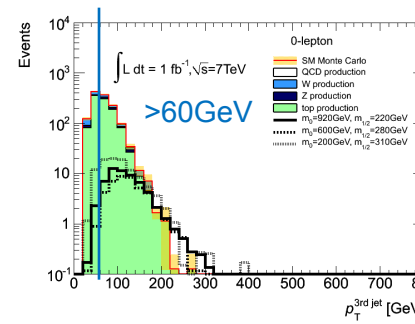
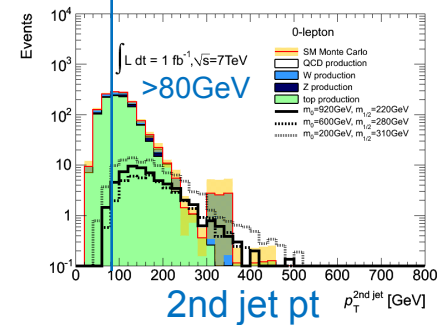
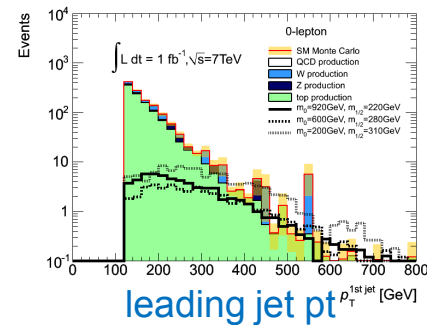
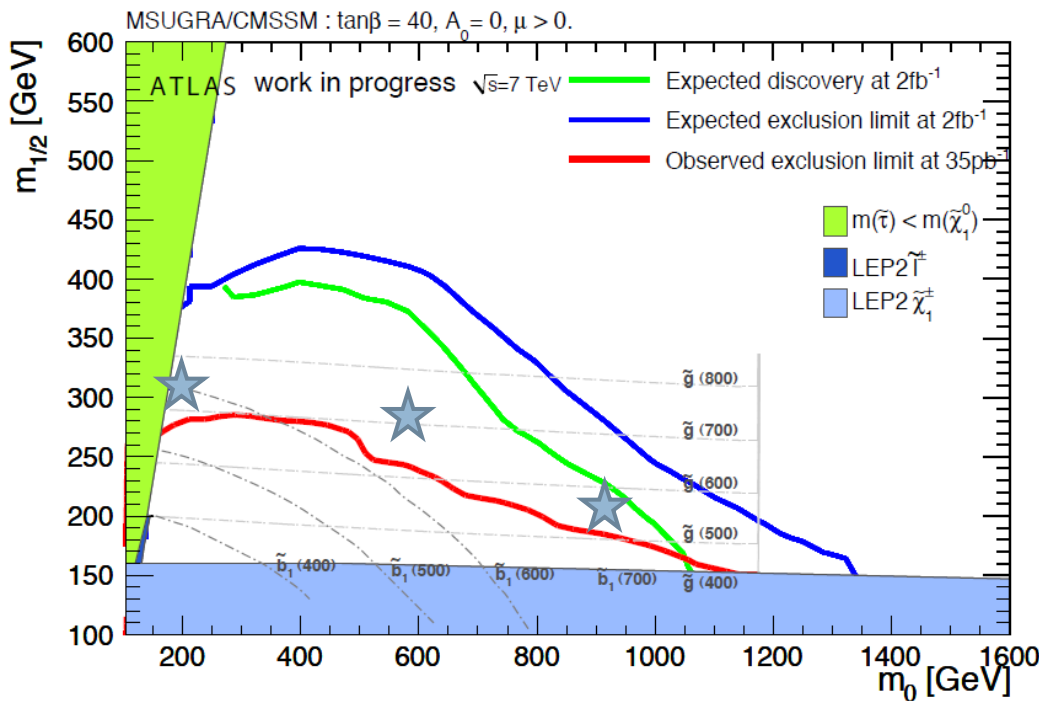
## □ $35\text{pb}^{-1}$ でのlimit



# Prospect for This Year : mSUGRA

13

- 2011年に予定されているDataは2 fb<sup>-1</sup>
- 統計が十分あるので、よりsensitivityの高い4jet channelに移る
  - ▣ bjetはb-taggingのsystematic errorと統計を考慮してat least 1のまま
  - ▣ 各jet ptのcutを最適化することにより、更にsensitivityを向上



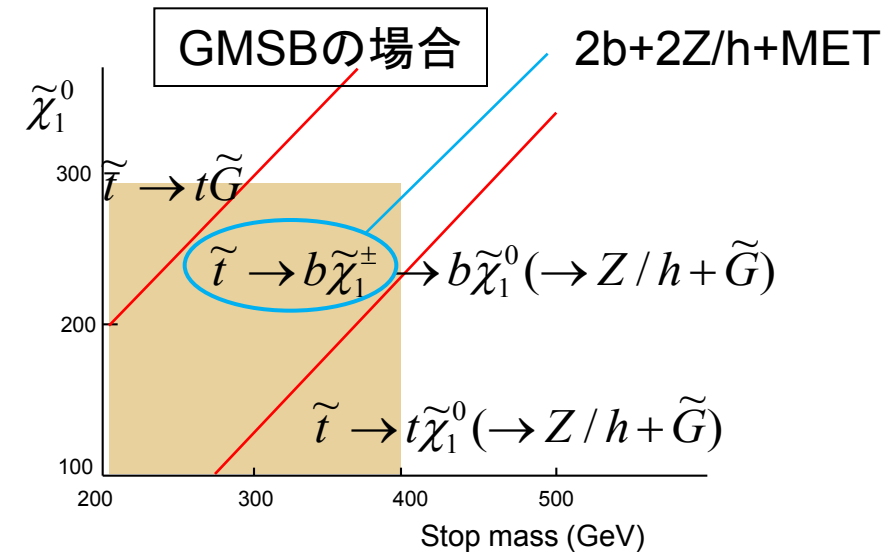
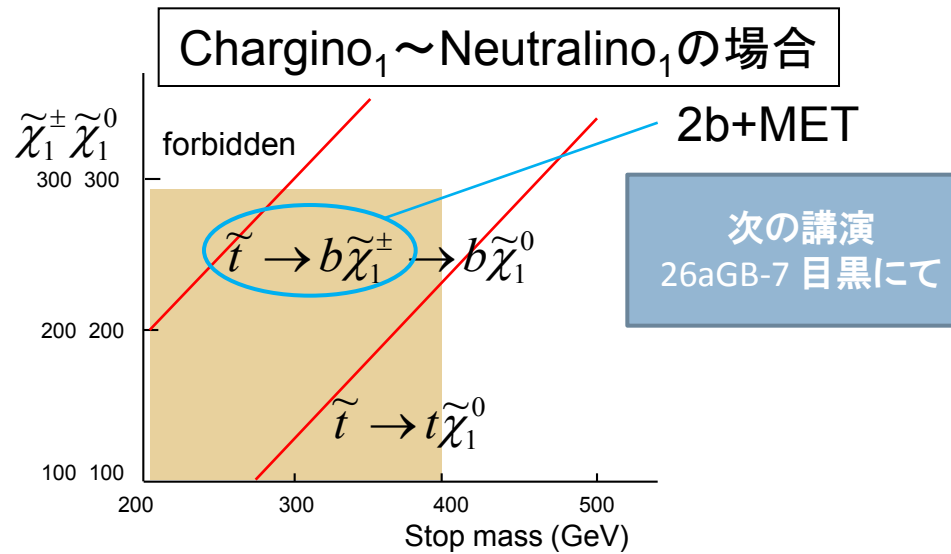
3rd jet pt

4th jet pt

# Light Stop Topology

14

- SUSYの枠組みでHiggs massのNaturalnessを考えると、scalar top (stop)は軽くなければならない ( $< \sim 400 \text{ GeV}$ )
- Light stopを仮定しても、SUSYのmodelまでは決まらないので、考えられるモードを全て探索する
  - SUGRA (Chargino<sub>1</sub> ~ Wino) の場合 → 2b + multi-jet + MET + w/wo lepton
  - Chargino<sub>1</sub> ~ Neutralino<sub>1</sub> の場合 → 2b + MET になり得る
  - GMSB (light Higgsino) の場合 → 2b + 2Z/h + MET という topology もあり得る



# Light Stop Search

15

- Light stop pairはSM Topによく似たtopologyなので、難しい探索
  - 特殊なtopologyの場合、比較的、容易に探索可能
  - [1] M. Asano et al., arXiv:1010-0692, “Natural SuperSymmetry at the LCH”

$$m_{\tilde{q}_3} = m_{\tilde{u}_3} = 400\text{GeV}$$

$$A_t = -800\text{GeV}$$

$$\mu = 200\text{GeV}$$

$$\tan\beta = 10$$

$$m_{\tilde{t}_1} = 231\text{GeV}$$

$$m_{\tilde{\chi}_1^+} = 197\text{GeV}$$

$$m_{\tilde{\chi}_1^0} = 194\text{GeV}$$

$$h = 120\text{GeV}$$

□  $\sim t_1$ の対生成から、断面積@7TeV~4pb  
 $\tilde{t}_1 \rightarrow b\tilde{\chi}_1^\pm \rightarrow b\tilde{\chi}_1^0 (\rightarrow Z/h + \tilde{G})$

というdecay chain

□ 0-/1-lepton 解析ではbackgroundに埋もれてしまうが、 $2b+Z+Z/h+MET \rightarrow 2b+l+qq+MET$  channelを使うことで、高いS/Nが得られる

## 2fb<sup>-1</sup>でのcut flow (electron channel)

	no Cut	2electron	3jet>30GeV	MET>50GeV	80GeV<M <sub>ee</sub> <100GeV	b-tagged jet>=1
QCD		1649	5	1.5	0	0
W		2074	49	28	4	0
Z		182601	1231	42	18	2
Top		709	204	127	21	14
Diboson		371	14	0.8	0.6	0
SM Total		187403	1502	199	43	16
stop	16964	124	47	30	30	17

# Conclusion

16

- 第三世代粒子を含む超体性粒子の探索は標準的な超対称粒子探索と並んで、発見が期待できるトポロジー
- LHC-ATLASで取得された $35\text{pb}^{-1}$ のDataを用いて解析を行い、large  $\tan\beta$  mSUGRA modelでのexclusion limitが広がった
- 今年中に到達できそうな**積分ルミノシティ $\sim 2\text{fb}^{-1}$** 
  - これまでのDataだと統計に制限されていたが、これだけの統計量があればbackgroundに対してより厳しいcutを行い、mSUGRAに対するsensitivityの大きな向上が望める
  - 理論的に予測されるlight stop (200-400GeV)も見え始める