

LHC-ATLAS実験における Z粒子終状態を用いた スカラートップクォークの探索

日本物理学会 第68回年次大会

山中 隆志, 浅井祥仁^A,

Ximo Poveda^B, Joao Firmino da Costa^C

東京大学 ICEPP, 東京大学 理学部^A,

Indiana University^B, DESY^C



Introduction

- LHC実験において126 GeV程度のヒッグス粒子を発見
 - SUSYを導入することで質量の二次発散を抑えられる
- ヒッグス粒子質量の”Naturalness”を考えると、スカラー トップクォーク、ヒッグジノーはヒッグス粒子と同程度に軽いと期待される
 - GMSB-likeなモデル ($M_{\text{mess}} \sim 10 \text{ TeV}$) がfavor
- ヒッグス質量のtuningを10%以上に抑えるには $m(\tilde{t}_1) < 400 \text{ GeV}$, $|\mu| < 300 \text{ GeV}$ が必要
 - ATLASにて行った 2.05 fb^{-1} , $\sqrt{s}=7 \text{ TeV}$ での探索では $m(\tilde{t}_1) < 230 \text{ GeV}$ までを棄却
- 本解析では同様のモデル探索をLHC-ATLAS実験で取得された 20.7 fb^{-1} , 8 TeV のp-p衝突データを用いて行った
 - ATLAS-CONF-2013-025にて公開

Signature

- スカラートップクォークの対生成事象を探索する
 - 質量差が許せば3通りの崩壊過程
- ヒッグジノー-likeなので、 $m_{\tilde{\chi}_1^0}, m_{\tilde{\chi}_1^\pm}, m_{\tilde{\chi}_2^0}$ はほぼ縮退
 - 最終的には $\tilde{\chi}_1^0$ からZ(またはh)を伴い \tilde{G} に崩壊 (Zへのdecayがdominant)
- 終状態は2b+2Z(or h)+2 gravitino
 - $\tilde{t}_1 \rightarrow t + \tilde{\chi}_1^0 (\tilde{\chi}_2^0)$ が可能であれば、+1 or 2W

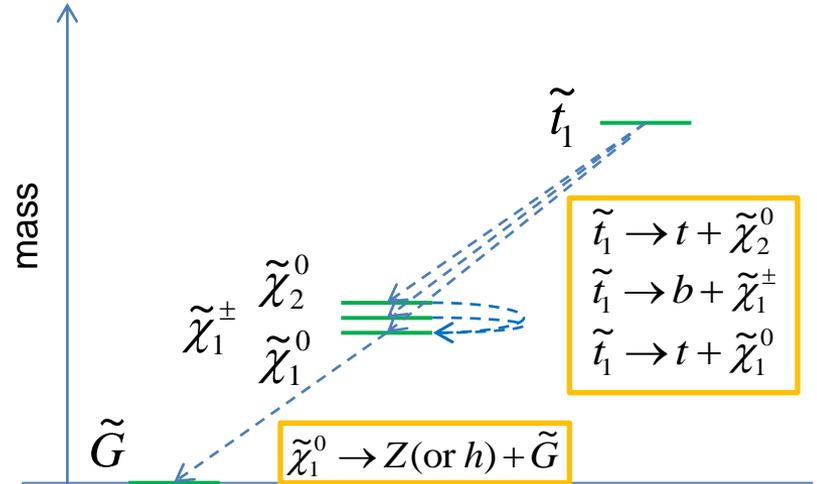
探索するtopology

2-lepton (opposite sign, same flavor)
+at least 1 bjet + multijets + E_T^{miss}

3-lepton (2-lepton, opposite sign, same flavorを含む)+at least 1 bjet + multijets + E_T^{miss}

$\tilde{t}_1 \rightarrow t + \tilde{\chi}_1^0 (\tilde{\chi}_2^0)$ のsignalに対してS/Nが良い

Z decay由来



同じtopologyを生じるモデルにも解釈可能 (eg. $\tilde{t}_2 \rightarrow \tilde{t}_1 + Z$)

Event Selection

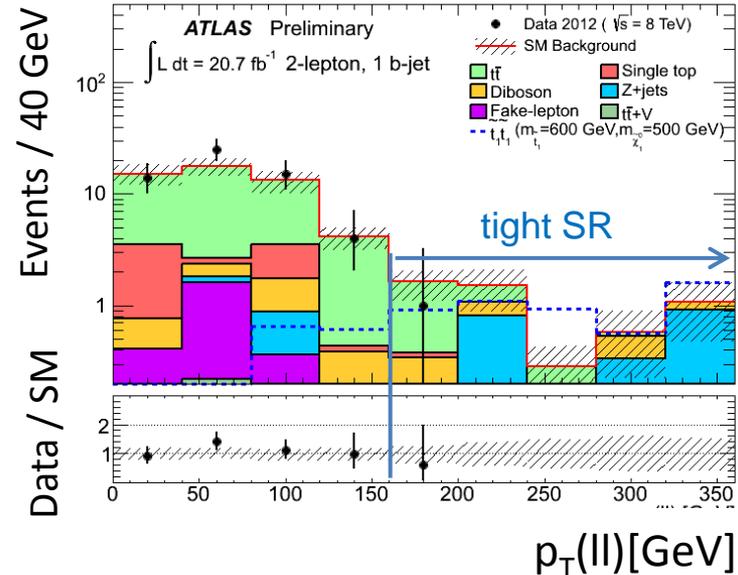
- single-lepton trigger ($p_T > 24$ GeV)を使用
- lepton (e or μ): $p_T > 10$ GeV, $|\eta| < 2.47$ (electron), $|\eta| < 2.4$ (muon)
- jet: $p_T > 30$ GeV, $|\eta| < 2.8$
- $p_{T(l)}$: m_Z にconsistentな2-lepton p_T のvector sum
- $\Delta\phi^l$: m_Z にconsistentな2-lepton間の $\Delta\phi$

2-lepton channelでdominantなtop pair backgroundを効果的に落とす

	2-lep, 3,4-jet		2-lep, 5-jet	3-lep, 5-jet
	loose	tight		
N(lepton)	2			≥ 3
$ m_{l1} - m_{l2} $	< 5 GeV	< 10 GeV	< 5 GeV	< 10 GeV
$p_T(1st\ lepton)$	> 25 GeV			> 40 GeV
$p_{T(l)}$	> 80 GeV	> 160 GeV	> 80 GeV	
$\Delta\phi(l)$	< 1.5 rad			
N(bjet)	≥ 1			
N(jet)	3, 4		≥ 5	
$p_T(1st\ jet)$	> 30 GeV			> 50 GeV
E_T^{miss}	> 160 GeV	> 200 GeV	> 160 GeV	> 60 GeV

$\tilde{t}_1 \rightarrow b + \tilde{\chi}_1^\pm$ に最適化

$\tilde{t}_1 \rightarrow t + \tilde{\chi}_1^0 (\tilde{\chi}_2^0)$ に最適化

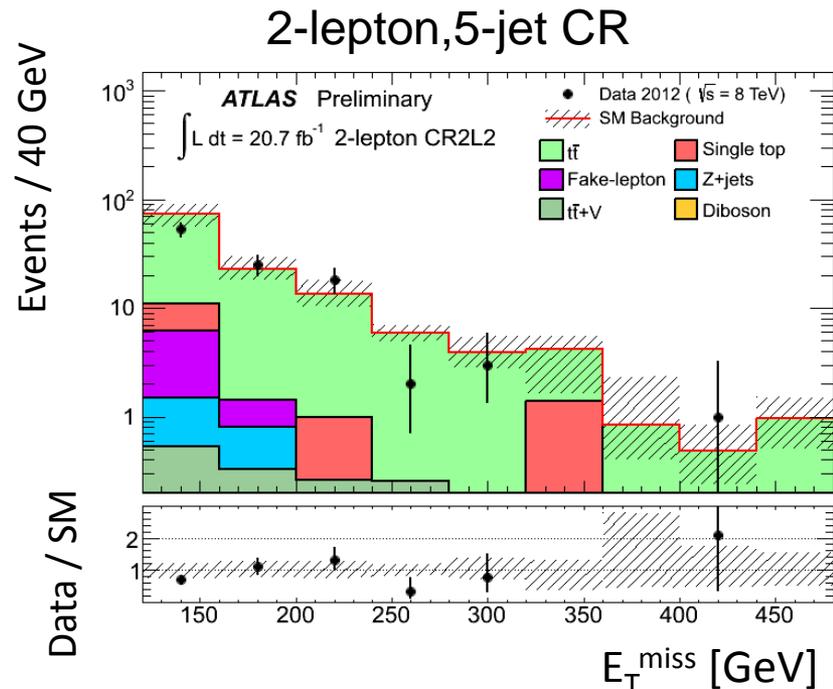
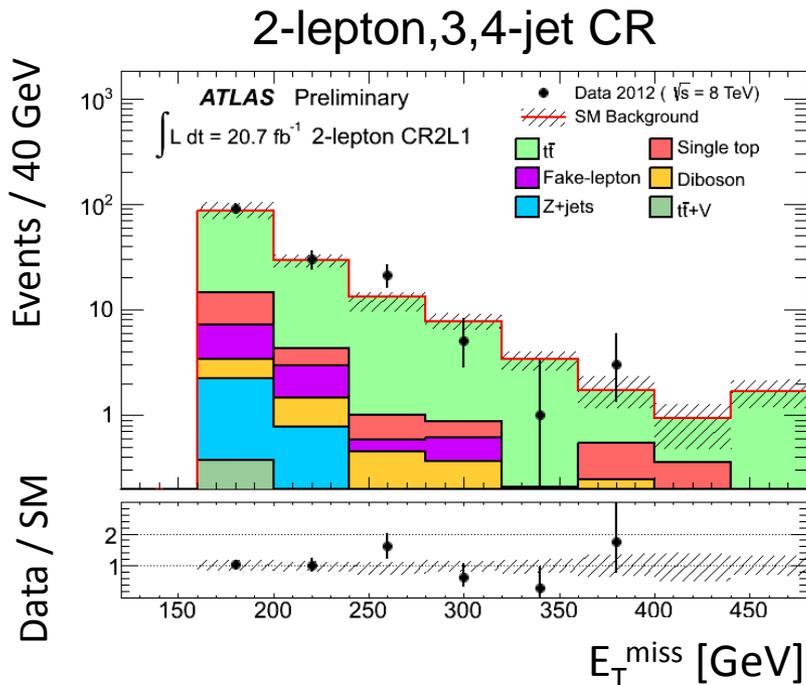


$p_{T(l)}$ cutを除いた2-lepton, 3,4-jet regionでの $p_{T(l)}$ 分布

$m_{\tilde{t}_1} = 600$ GeV, $m_{\tilde{\chi}_1^0} = 500$ GeV
のsignalを重ねてある

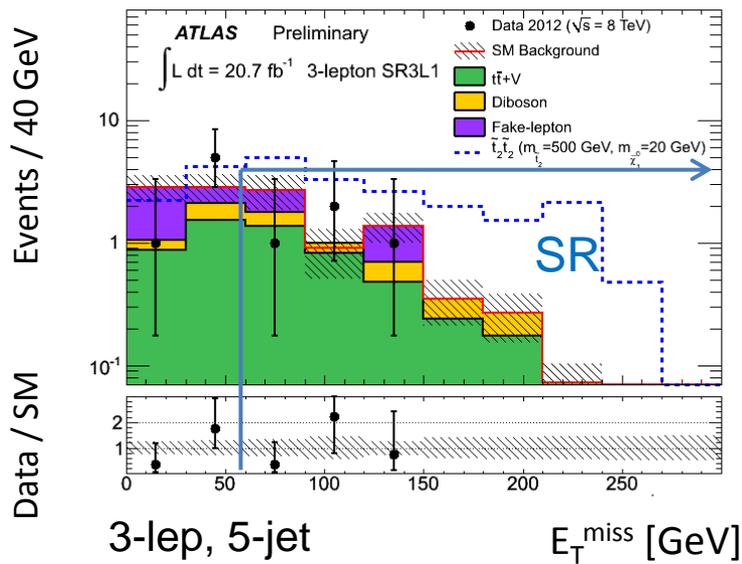
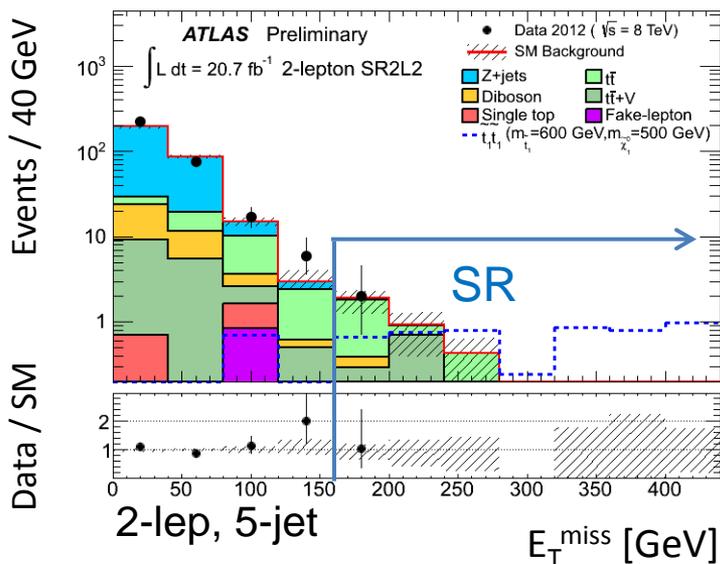
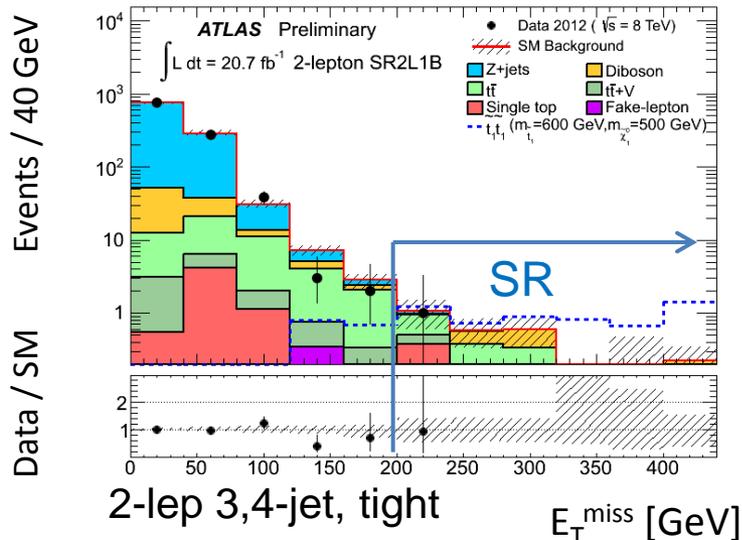
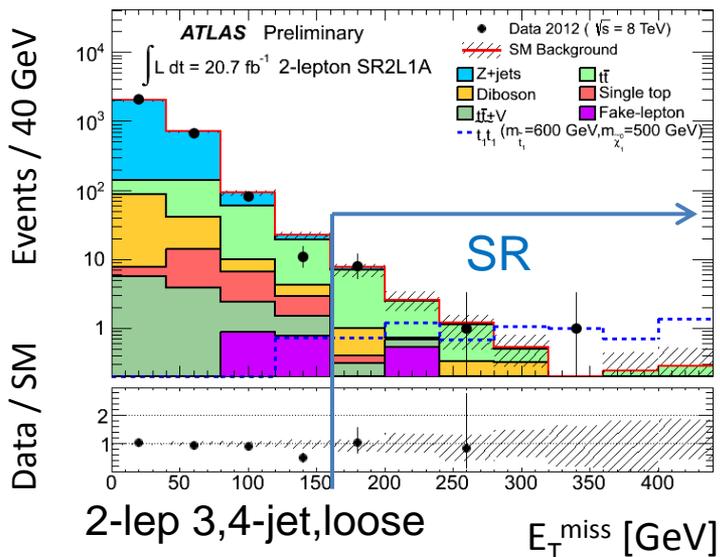
Top Pair Background (2-lepton)

- signal contaminationが少ないcontrol regionでtop pair MCをdataにnormalizeしてscale factorを求め、そのscale factorをSRのtop pair MC simulationにかけることで求める
- Control region: $|m_{ll}-m_Z| < 10$ GeVをvetoしたsame flavor (ee, $\mu\mu$), different flavor (e μ)を用いてtop pair backgroundをenhance
 - その他のcutはほぼsignal regionと共通



Dataにnormalizeする前のCRでのETmiss分布

Final E_T^{miss} Plots



Data-driven estimation

- Z+jets (2-lepton)
- Fake-lepton (2,3-lepton)

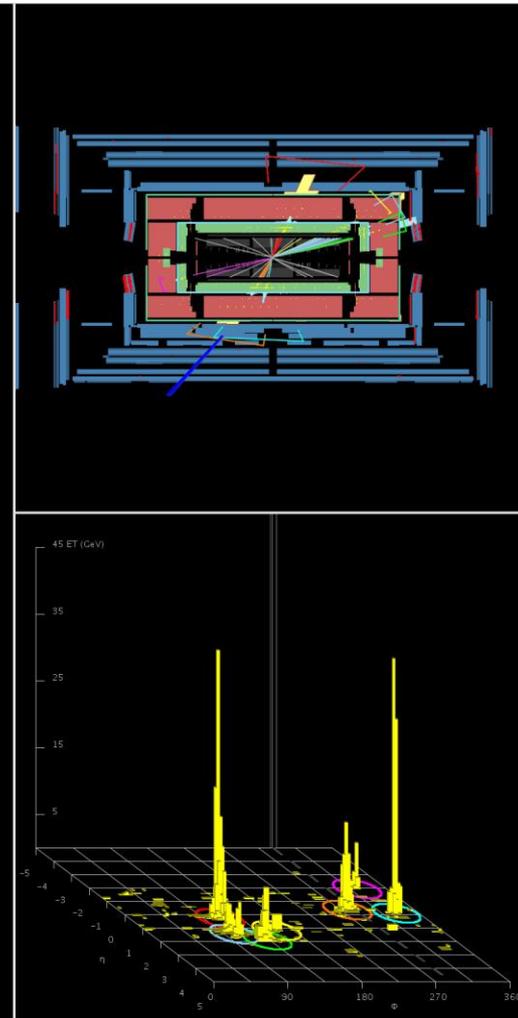
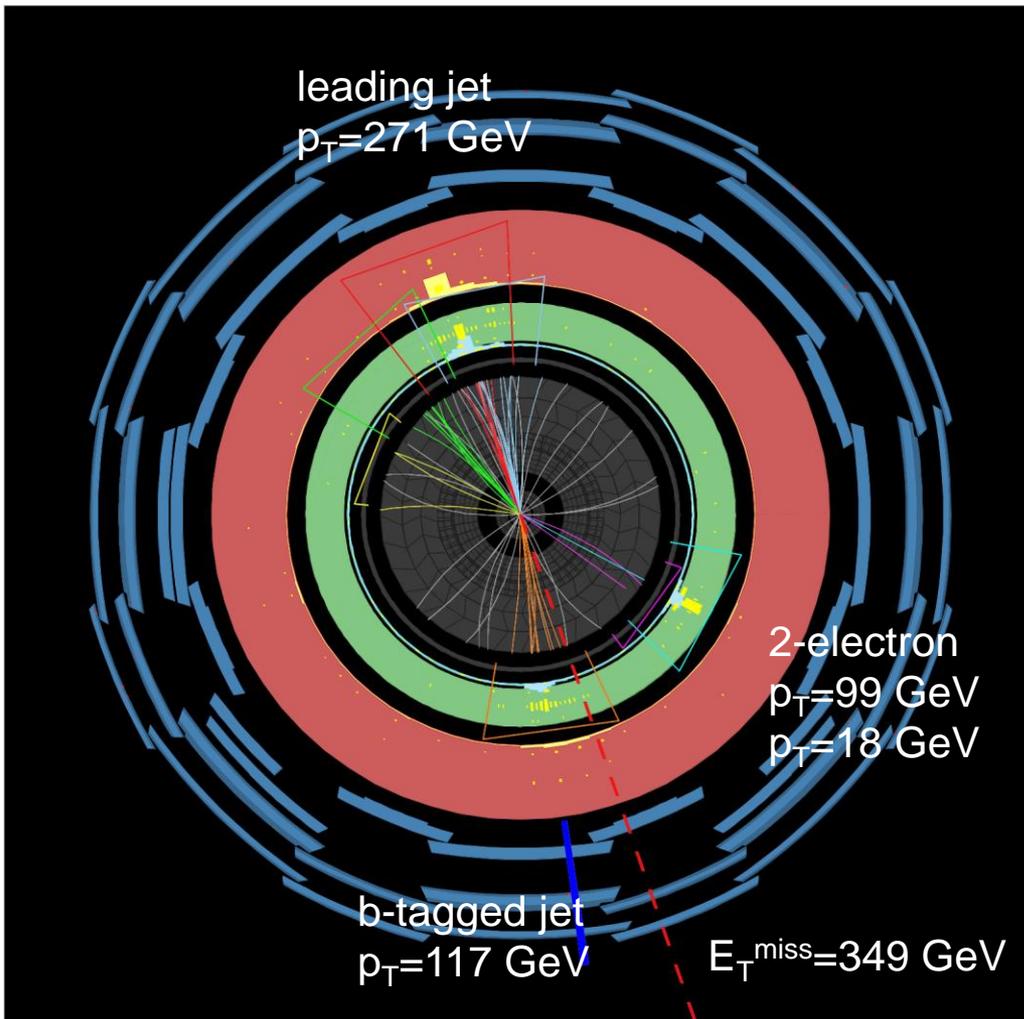
MC

- Others (diboson, $t\bar{t}+Z$)

$m(\tilde{t}_1) = 600 \text{ GeV}, m(\tilde{\chi}_1^0) = 500 \text{ GeV}$ のsignalを重ねてある (3-lepton channelのsignalは別のモデル)

Event Display

- Highest E_T^{miss} event in 2-lepton, 3,4-jet loose channel



- $p_T(\text{ll})$ がそれほど大きくないことからhigh stop massのsignalらしくはない
- SMで解釈するならtop pair+ISR jets (one bをmiss)
- leptonic decayしたbjetがたまたま E_T^{miss} の方向に向いて大きく出た

b-tagged jet: $dR=0.1$ にsoftなelectron ($p_T=7$ GeV) \rightarrow leptonic decay

Results

- 20.7 fb⁻¹の積分ルミノシティのデータにおいて各Signal regionで観測された事象数と標準理論から期待される事象数(統計+系統誤差)

	2-lep, 3,4-jet		2-lep, 5-jet	3-lep, 5-jet
	loose	tight		
Data	10	1	2	4
Total SM	12.4 ± 2.3	2.7 ± 1.2	3.8 ± 1.4	5.8 ± 2.0
Diboson	1.4 ± 1.2	0.8 ± 0.7	0.3 ± 0.3	1.0 ± 0.6
$t\bar{t} + V$	0.9 ± 0.7	0.36 ± 0.09	1.4 ± 0.4	3.3 ± 1.4
Fake-lepton	0.3 ± 0.5	0.0 ± 0.02	0.0 ± 0.03	1.5 ± 1.0
$t\bar{t}$	8.6 ± 2.2	1.1 ± 0.7	1.9 ± 1.3	
Z+jets	0.9 ± 0.3	0.13 ± 0.07	0.2 ± 0.1	
Single top	0.09 ± 0.06	0.4 ± 0.6	< 0.2	

標準理論から期待される事象数からの有意なずれは見られなかったため、この結果を用いてsignal modelへの制限を付ける。

Systematic Uncertainties

- 実験由来の主な系統誤差

- jet energy scale: 20-30%

- b-tagging: ~10%

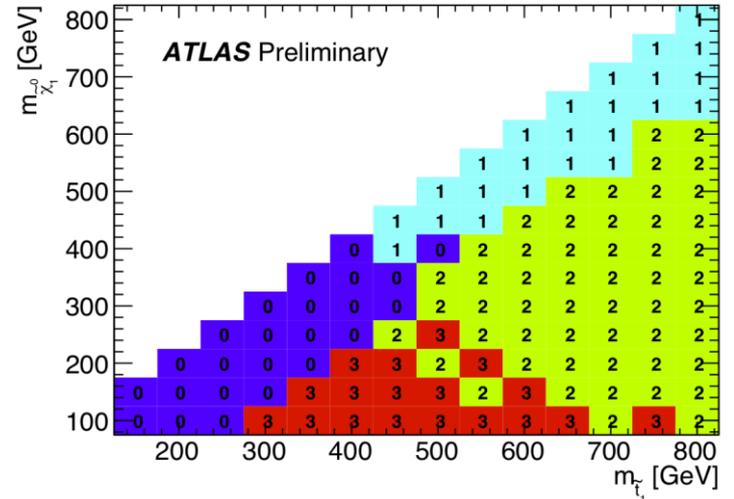
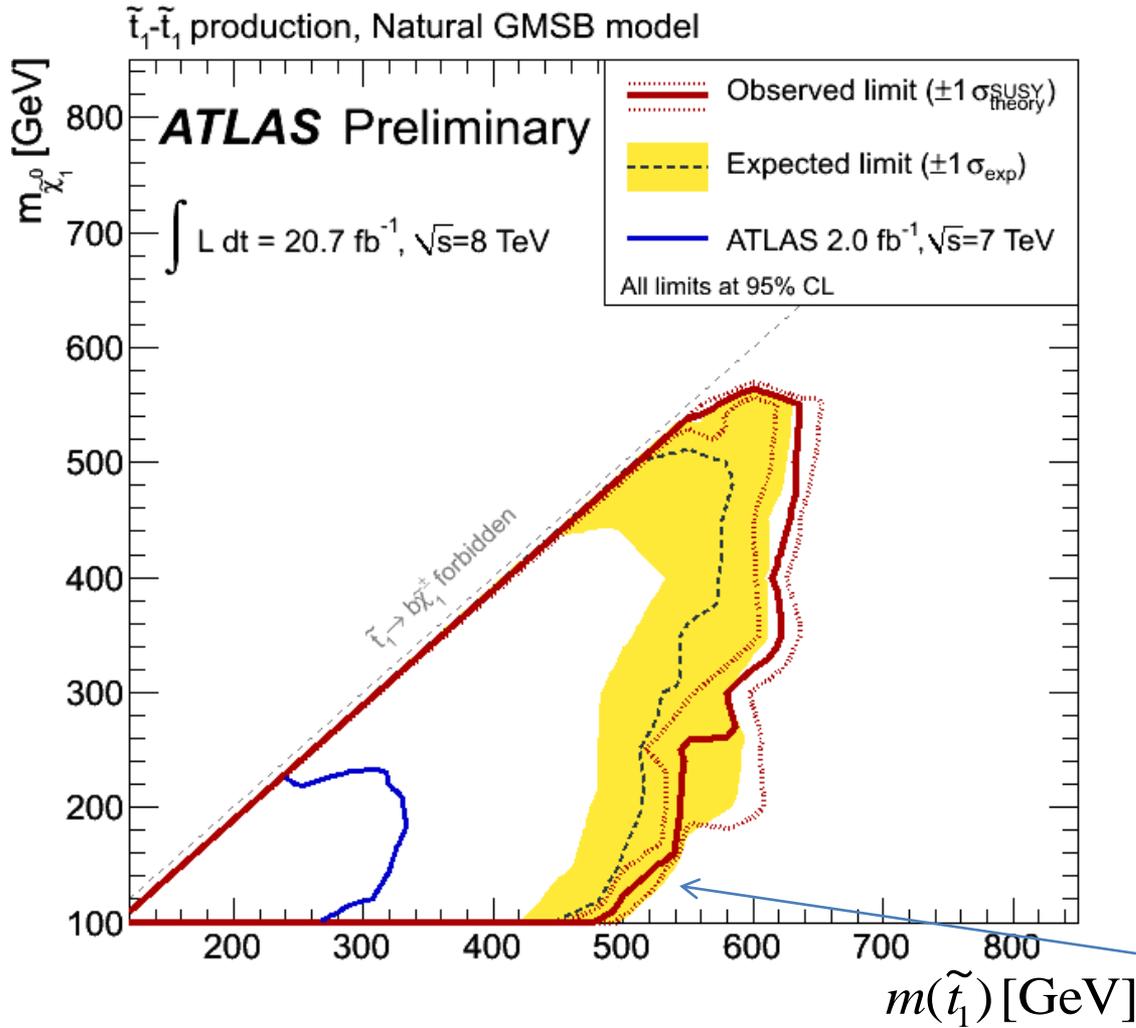
- Fake lepton estimation: ~20% (fake rate測定時の誤差由来)

- 理論由来の系統誤差

- Generator, hadronization model, parton shower model由来の誤差 (top pair in 2-lepton)

- stop生成断面積 (PDF, renormalization/factorization scale由来): 15-20% (for stop mass 150-800 GeV)

Interpretation



- 使用したsignal region
- 0=2-lepton,3,4-jet,loose
 - 1=2-lepton,3,4-jet,tight
 - 2=2-lepton,5-jet
 - 3=3-lepton,5-jet

small $m(\tilde{\chi}_1^0)$ ではZが比較的softでかつ、off-shellになりやすいため sensitivityが低い

Expected exclusionが最も強いSRを各signalごとに選んで引いたNatural GMSB modelへのlimit

Summary

- ヒッグス粒子質量の”Naturalness”から期待される軽いスカラー トップクォーク, ヒッグジーノのGMSB-likeなモデルの探索を行った
 - LHC-ATLAS実験で2012年に取得された 20.7 fb^{-1} , $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$ の陽子・陽子衝突データを使用
- 標準理論の予測からの有意なexcessは見られず全ての $m(\tilde{\chi}_1^0)$ において $m(\tilde{t}_1) < 450 \text{ GeV}$ を棄却
- $\tilde{t}_1 \rightarrow b + \tilde{\chi}_1^\pm$ の崩壊過程のみが可能な領域では $m(\tilde{\chi}_1^0) = 550 \text{ GeV}$ の場合に最大で $m(\tilde{t}_1) < 600 \text{ GeV}$ を棄却
- 10%のtuningから期待される領域を全て棄却したことになり、より強い制限となった。