

# LHC-ATLAS実験におけるソフトレプトンを用いた 超対称性粒子の探索

東工大理、東大理<sup>A</sup>、東大素セ<sup>B</sup>

野辺拓也、浅井祥仁<sup>A</sup>、金谷奈央子<sup>B</sup>、久世正弘、  
佐々木雄一<sup>A</sup>、山中隆志<sup>B</sup>

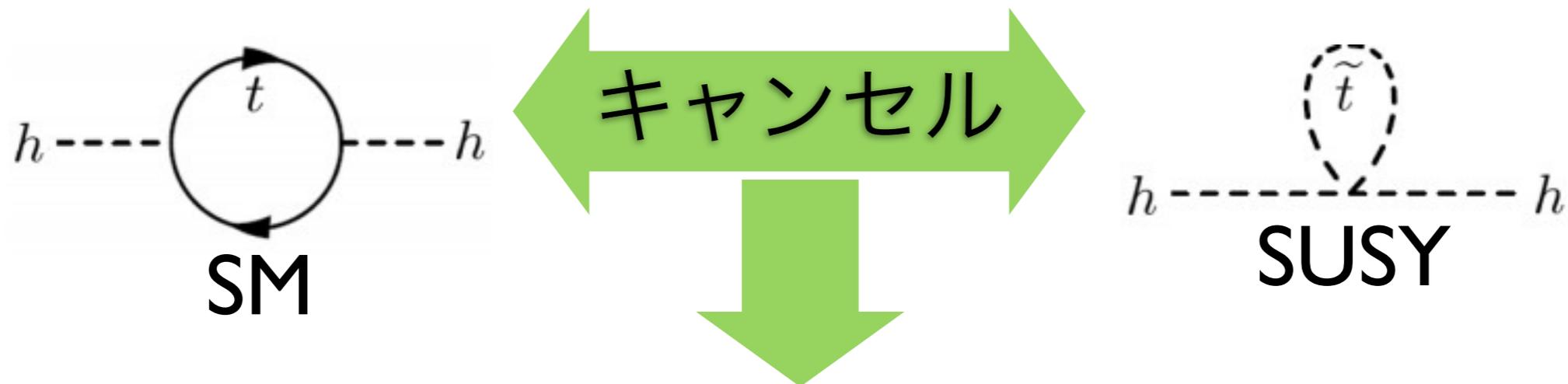
2013年9月24日

日本物理学会秋季大会 @ 高知大学

# Motivation

- ヒッグス粒子質量の“自然さ”からの要請で、トップ粒子の超対称性パートナー (スカラートップ=stop)の質量は軽くなる。

Higgs質量  $m_{\text{higgs}}^2 = m_{\text{bare}}^2 + \Delta m_{\text{higgs}}^2$



$$\Delta m_{\text{higgs}}^2 \sim -\frac{3y_t^2}{4\pi^2} m_{\tilde{t}}^2 \log \frac{\Lambda}{m_{\tilde{t}}} \quad \text{Fine tuning 10\%}$$

→  $m_{\tilde{t}} < 600 \text{ GeV}$

- (軽いstopがあるとしたら)なぜ見つからないのか?  
実験的に観測が難しいシチュエーションにある可能性  
を考える。

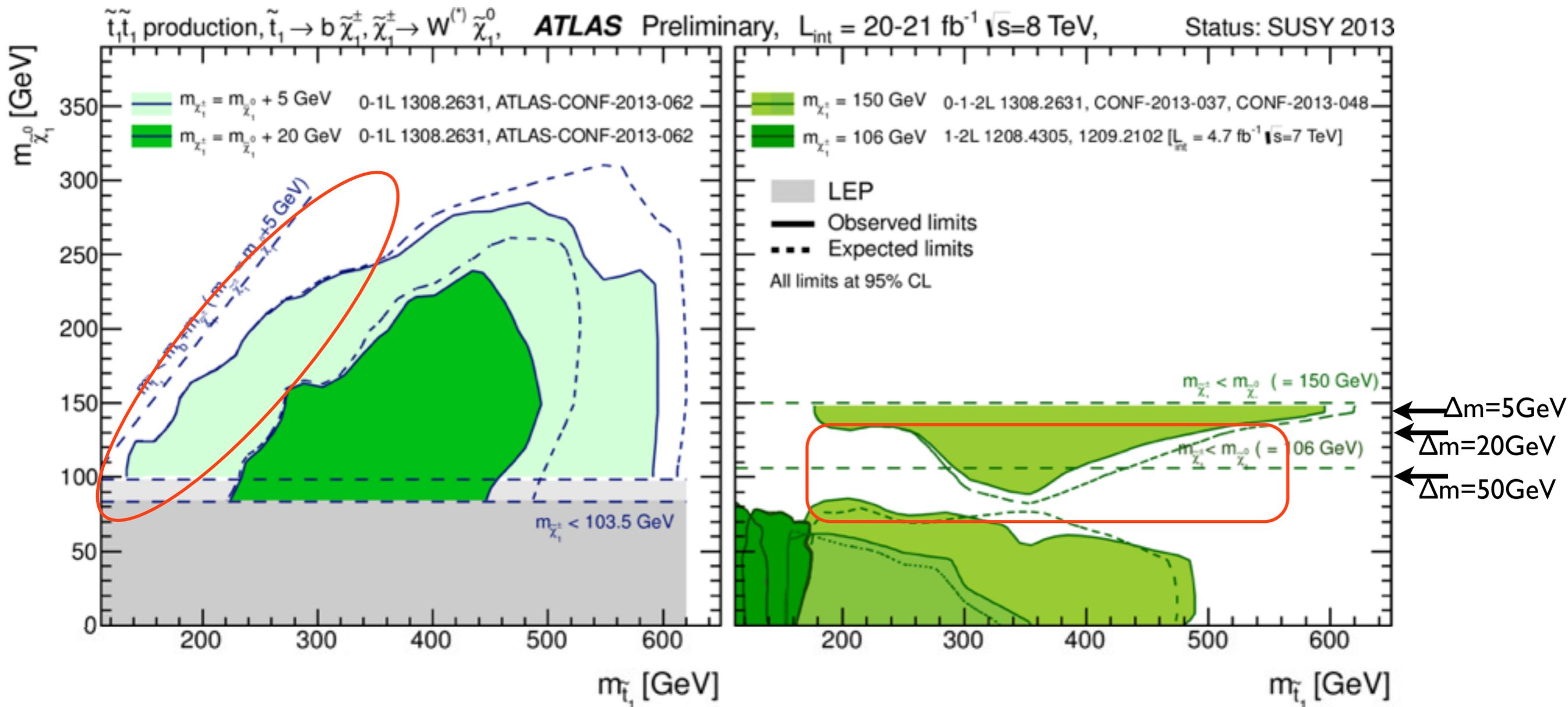


# Current limit on stop pair production

- $(\tilde{t}, \tilde{\chi}^{\pm}_1, \tilde{\chi}^0_1)$ の質量スペクトラムがほぼ縮退した領域は、  
現在までのATLAS実験における解析で探索されていない。

$\Delta m(\tilde{\chi}^{\pm}_1 - \tilde{\chi}^0_1)$ : 5GeV(薄緑)  
20GeV(濃緑)

$m(\tilde{\chi}^{\pm}_1) = 150\text{GeV}$ に固定



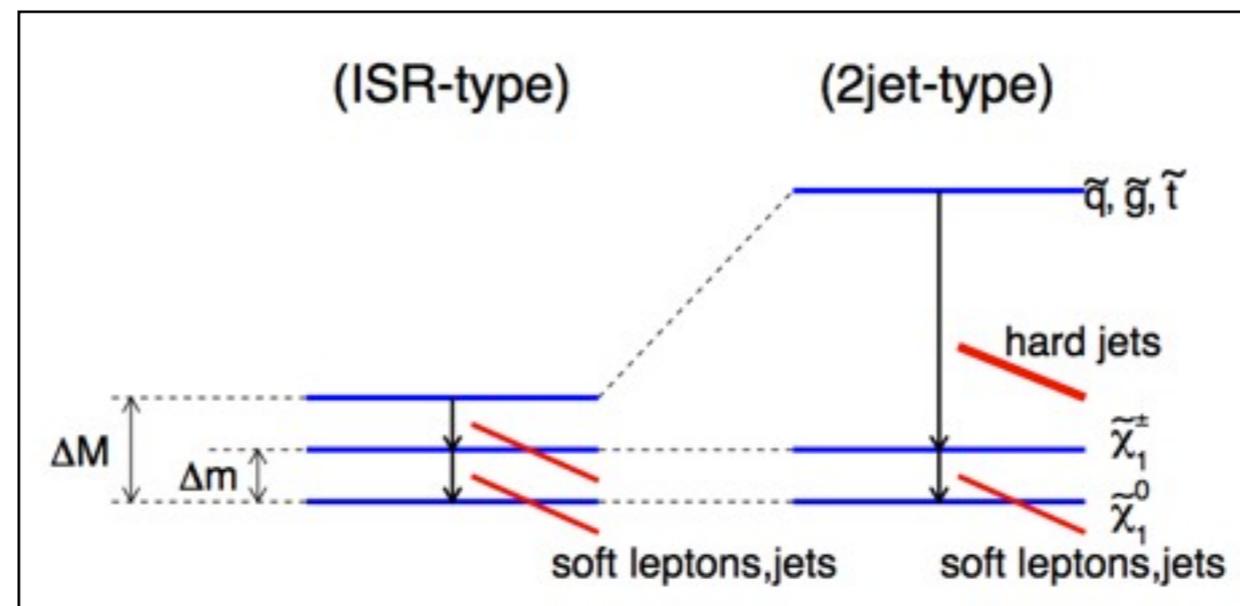
# Strategy

- 2012年に取得した重心系エネルギー8 TeV, 20.1 fb<sup>-1</sup>のデータを用いる。
- シグナルの特徴:  $\tilde{t} \rightarrow b + \tilde{\chi}_1^\pm \rightarrow b + \tilde{\chi}_1^0 + (W^* \rightarrow l\nu)$  (+c.c.)  
高い横エネルギー欠損(mET)、2つのbjet、ソフトレプトン
- ソフトレプトンの定義: 横運動量が  $6(7) < p_T < 25$  GeVのミュオン(電子)
- $\Delta m = (m_{\tilde{\chi}_1^\pm} - m_{\tilde{\chi}_1^0}) = 5, 20$  GeVをベンチマークポイントとする。
- 本講演では、

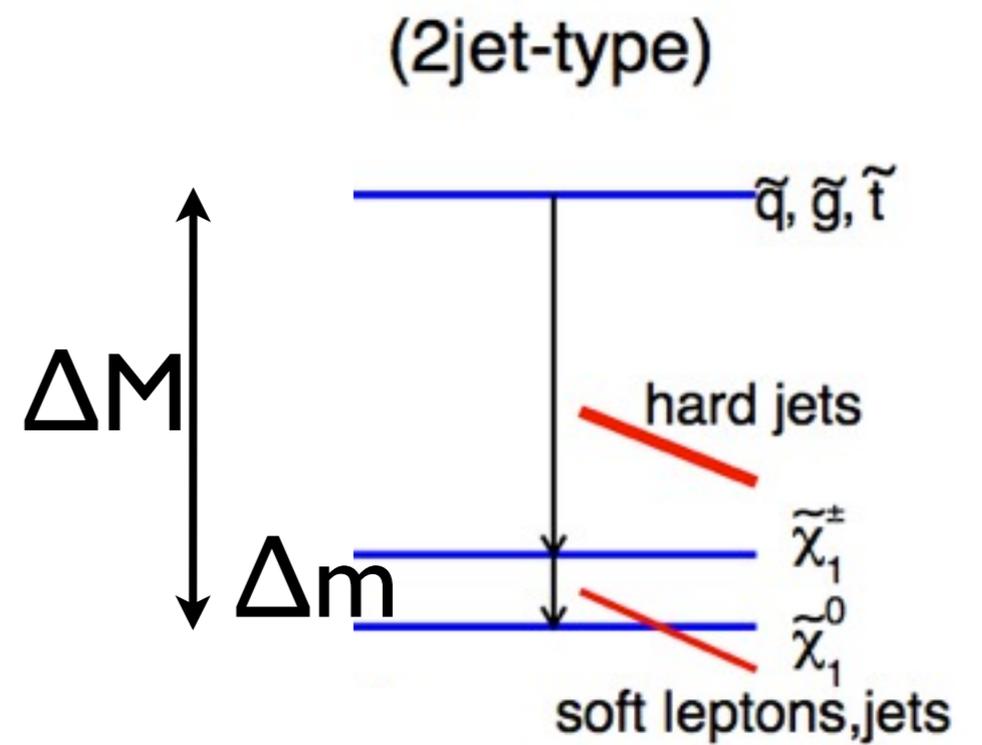
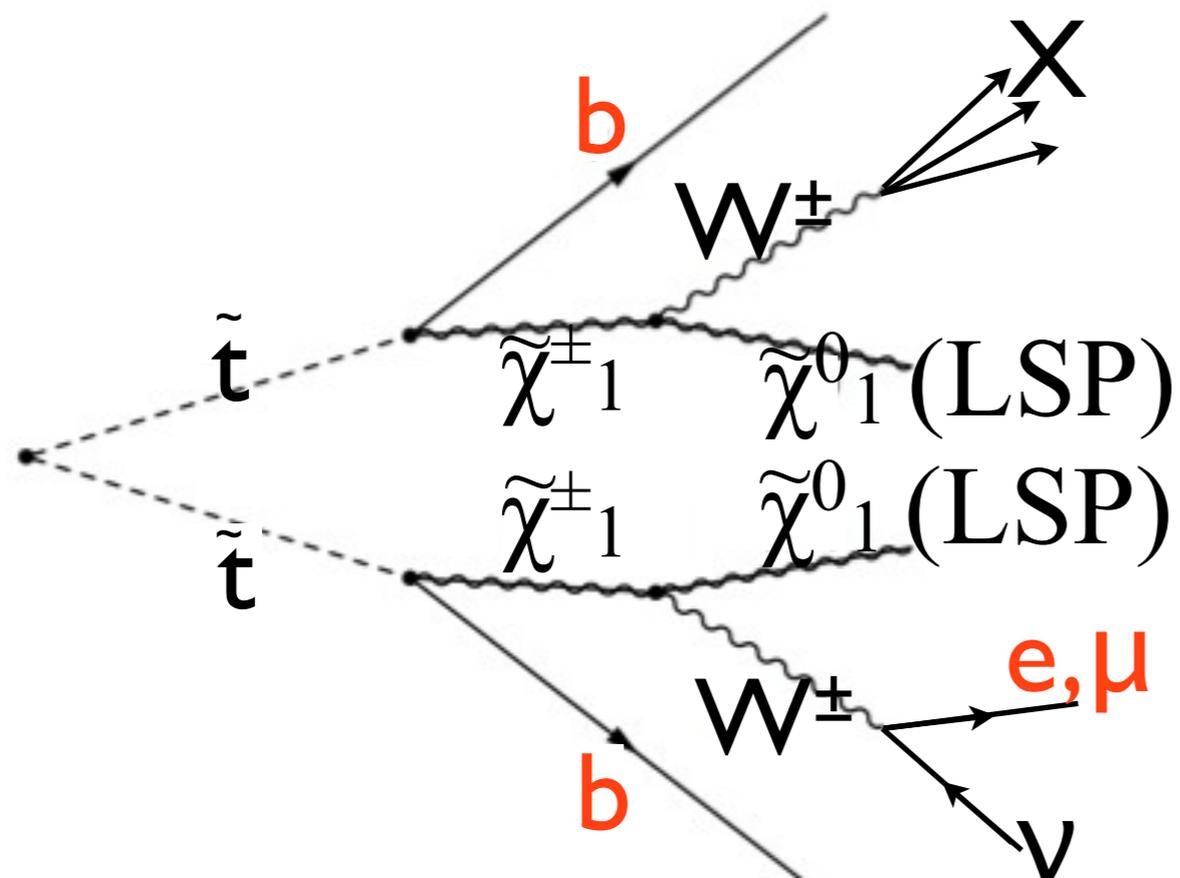
1. ATLAS-CONF-2013-062で公開されている、2本のb-jetを要求する解析結果；

2. ISR jetを要求する解析（現在進行中）；

について述べる。



# 2bjet type解析

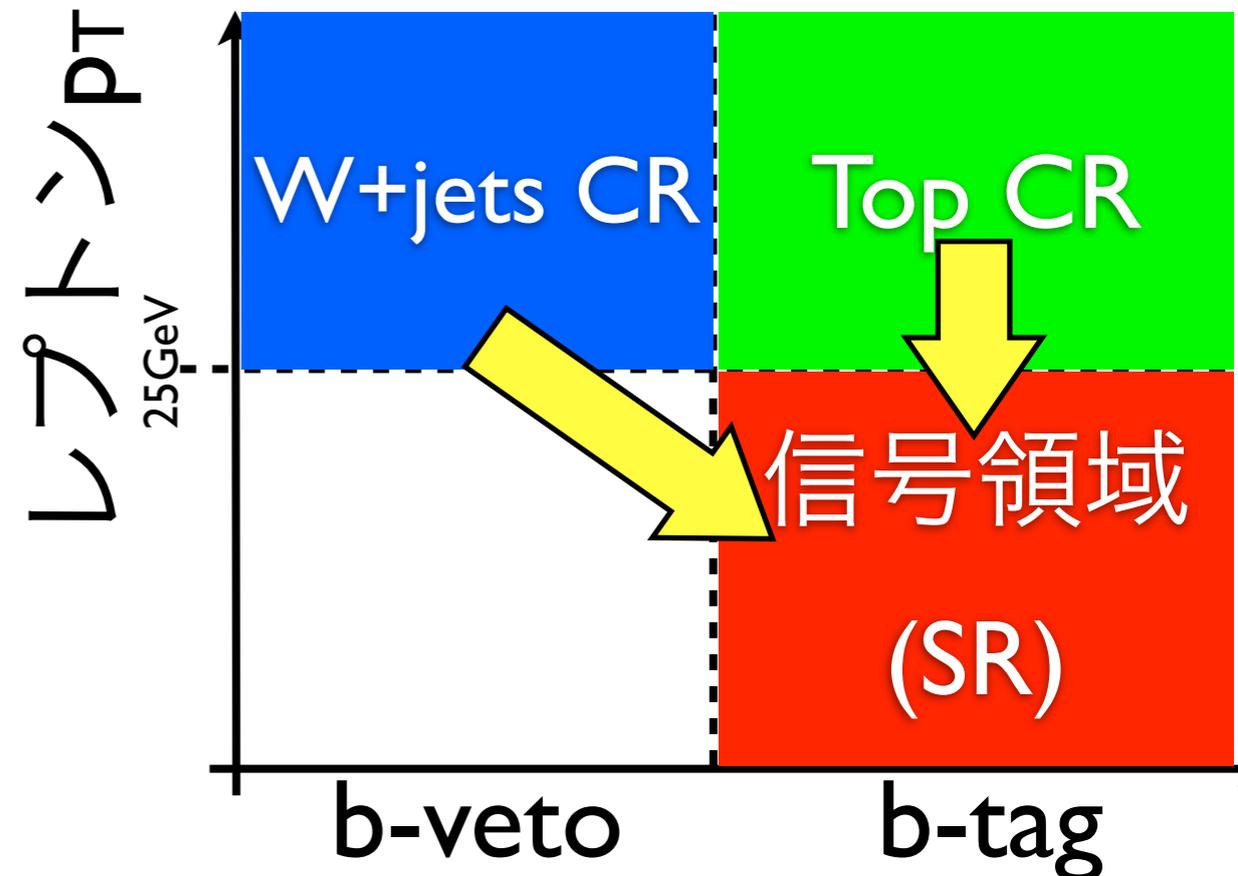


# Background estimation

- QCD di-jet事象、Z(vv)+jet (ジェットがレプトンと誤認される)  
→Data driven (see.バックアップ)
- その他のバックグラウンド → Semi-data driven法を用いる。

$$N_{SR,data} = N_{CR,data} \times \frac{N_{SR,MC}}{N_{CR,MC}}$$

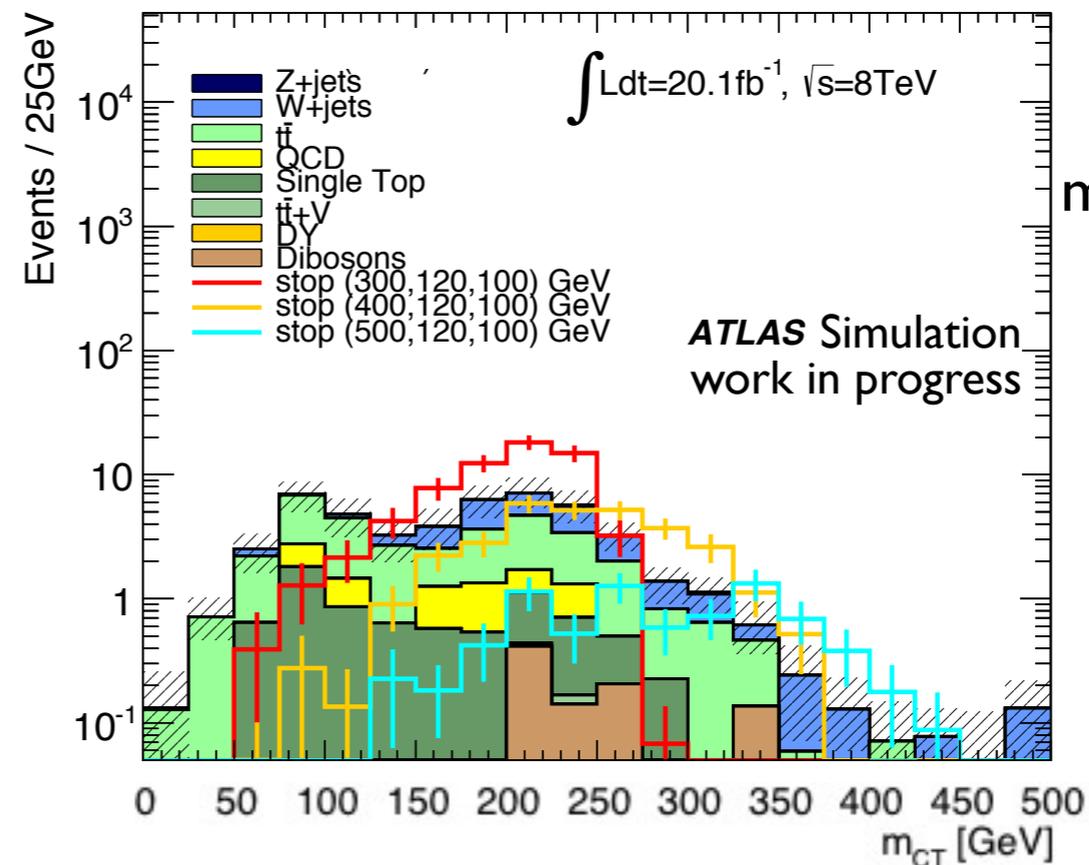
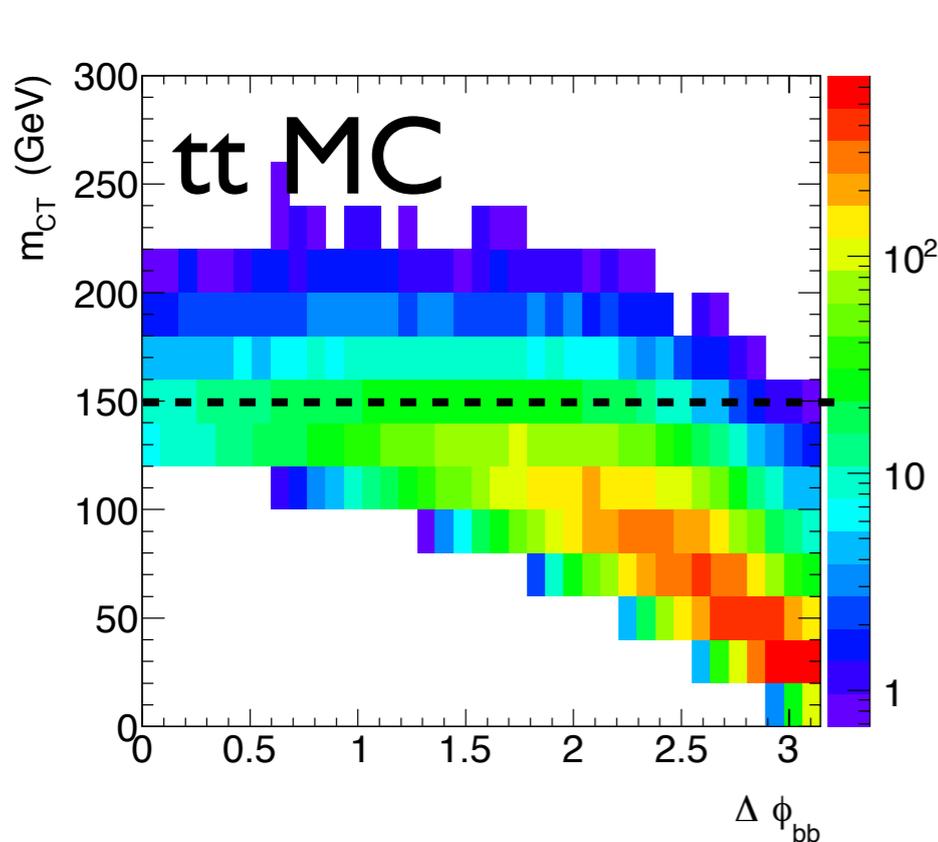
- Top、W+jetsのそれぞれをenhanceしてコントロール領域(CR)を定義
- Profile likelihood methodを用いて複数のCRを同時フィット
- フィット結果を信号領域(SR)に外挿してバックグラウンドを見積もる。(MCのshapeを用い、事象数はCRでデータに合わせる。Shapeは理論計算の誤差を考慮)



# 信号領域最適化 (2bjet type)

- ソフトレプトン要求でZ(vv)+bbバックグラウンドを抑制
- ハードなb-jet 2本を陽にタグし ( $p_T > 60 \text{ GeV}$ )、 $m_{CT}$  :  

$$m_{CT}^2 (bjet1, bjet2) = [E_{T,bjet1} + E_{T,bjet2}]^2 - [\vec{p}_{T,bjet1} - \vec{p}_{T,bjet2}]^2$$
 を用いて信号をenhanceする。
- $t\bar{t}$  系からの2本のbjetを正しくタグしている場合、top質量からの制限で  $m_{CT} \lesssim 150 \text{ GeV}$  となる。Stopとの質量の違いを利用して、 $m_{CT} > 150 \text{ GeV}$  (for low mass stop)、 $> 200 \text{ GeV}$  (for high mass stop)を要求するよう最適化
- $m_{CT} > 150 \text{ GeV}$  の主な成分 :  $t\bar{t}$  (mis-tag c-jet)、 $W+bb$



シグナル:  
 $m_{LSP} = 100 \text{ GeV}$  で固定

$m_{\tilde{\tau}} = 300 \text{ GeV}$

$m_{\tilde{\tau}} = 400 \text{ GeV}$

$m_{\tilde{\tau}} = 500 \text{ GeV}$

# 事象選別 (2bjet type)

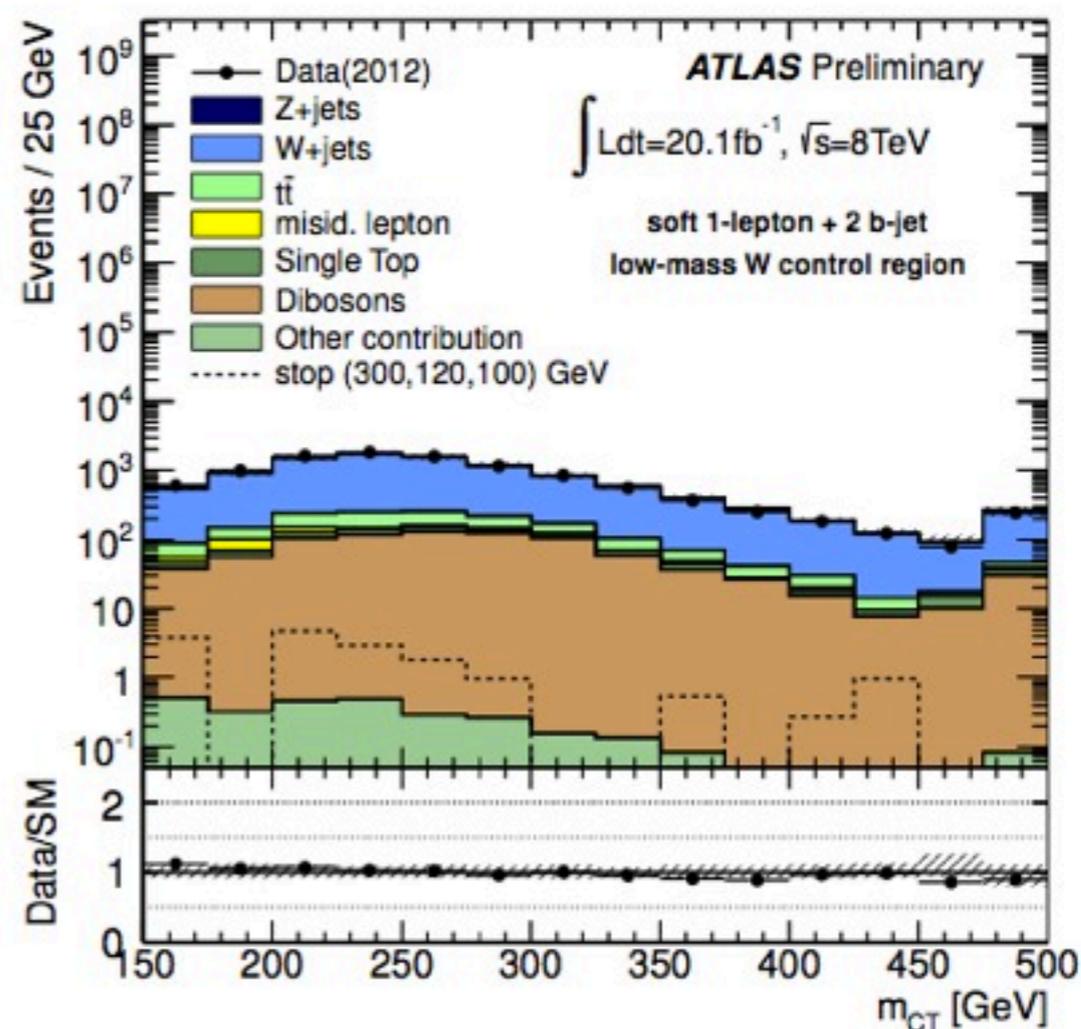
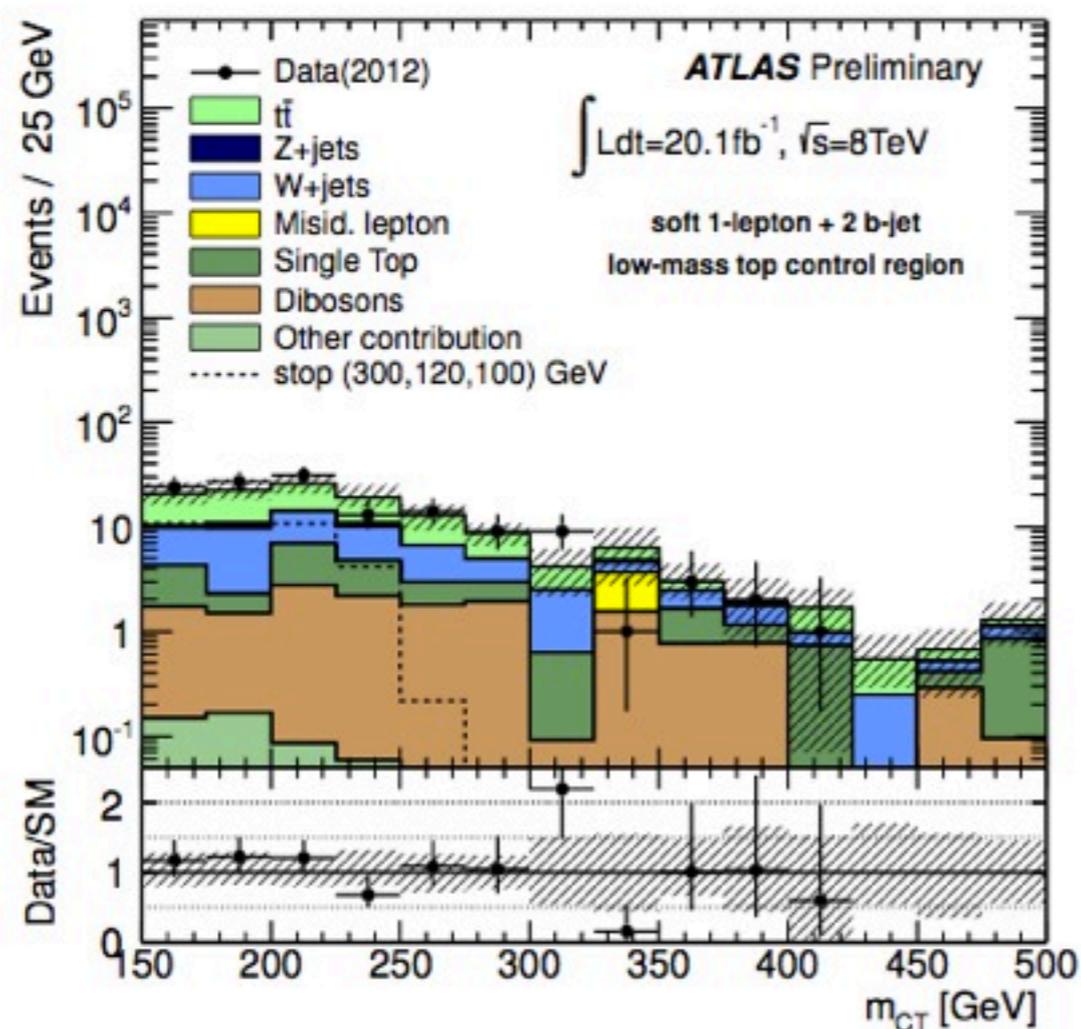
- ターゲットとするスカラートップの質量に合わせて、2つの信号領域を用意 (LOW MASS:  $m_{\tilde{t}} \lesssim 400\text{GeV}$  / HIGH MASS:  $m_{\tilde{t}} \gtrsim 400\text{GeV}$ )

	LOW MASS SR	Top CR	W+jets CR
lep1Pt	[6(7), 25]GeV	>25GeV	
mET	>200GeV	>150GeV	>200GeV
jet2Pt	>60GeV		
Nbjet	2	0	
jet3Pt	<50GeV		
mCT	>150GeV		
H <sub>T,2</sub>	<50GeV		
$\Delta\varphi_{\min}$	>0.4		

	HIGH MASS SR	Top CR	W+jets CR
lep1Pt	[6(7), 25]GeV	>25GeV	
mET	>300GeV	>150GeV	>300GeV
jet2Pt	>60GeV		
Nbjet	2	0	
jet3Pt	<50GeV		
mCT	>200GeV		
$\Delta\varphi_{\min}$	>0.4		

# コントロール領域 (2bjet type)

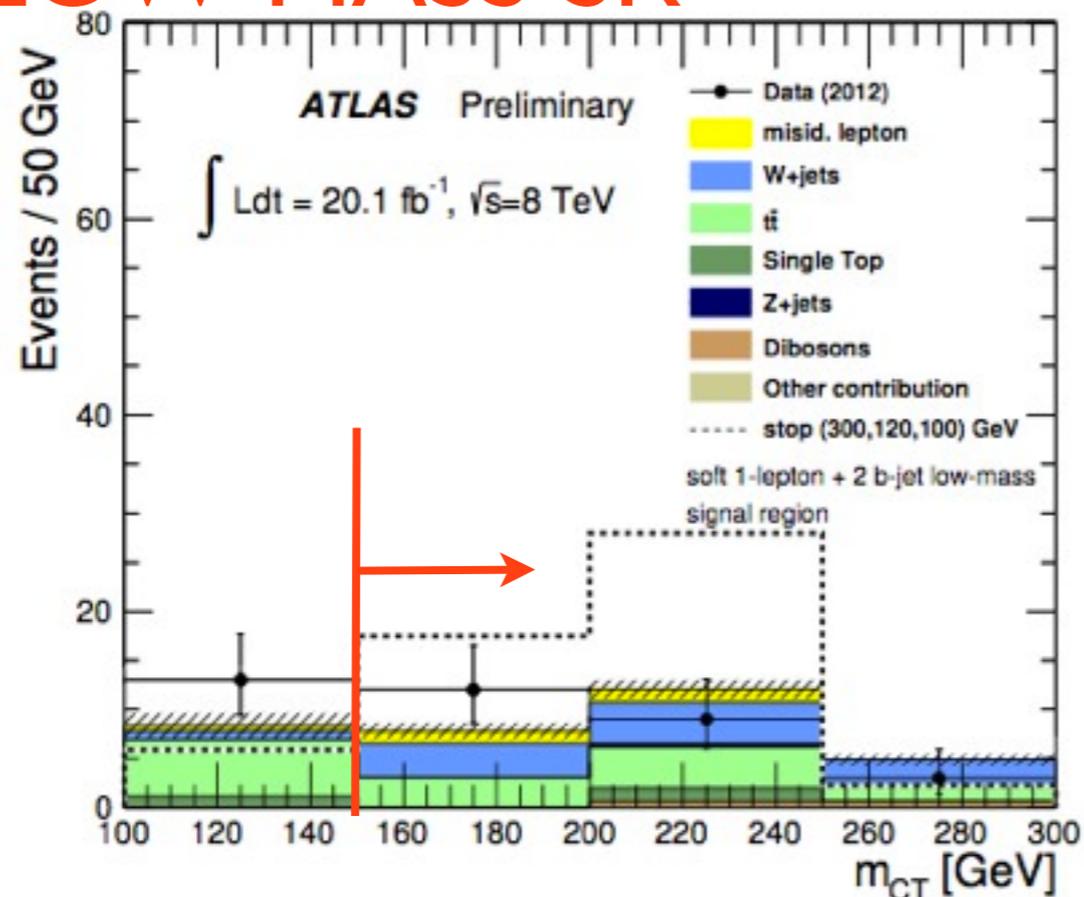
- Hard lepton コントロール領域 ( $p_T > 25 \text{ GeV}$ )
- Top region :  $t\bar{t}$  (charm) を制御するため、 $b\text{-tag} + m_{CT} > 150 \text{ GeV}$  を課す。  $t\bar{t}$  の purity  $\sim 40\%$
- W+jets region : b-veto。  $\sigma_{W+bb}/\sigma_{W+jj}$  比の誤差を不定性として考慮。 W+jets の purity  $> 90\%$



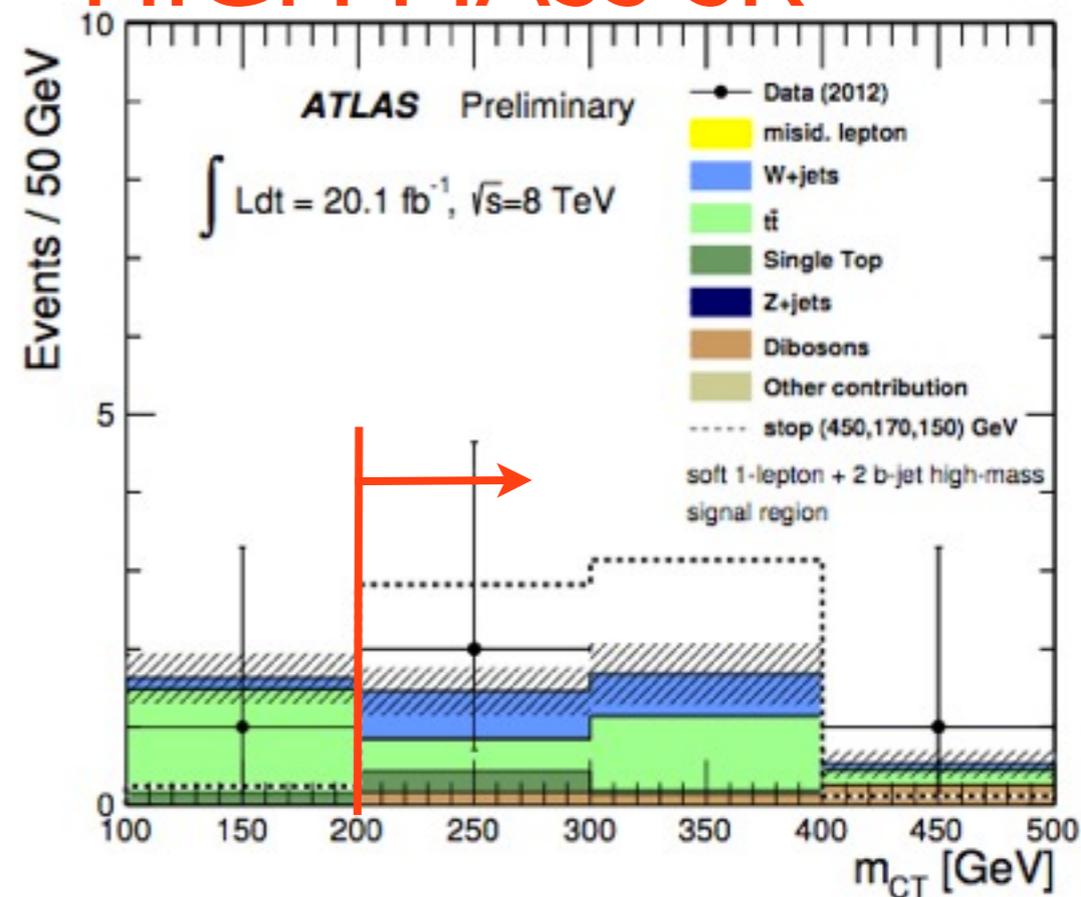
破線:  $m_{\tilde{\tau}} = 300 \text{ GeV}$ ,  $m(\tilde{\chi}_1^\pm) = 120 \text{ GeV}$ ,  $m_{\text{LSP}} = 100 \text{ GeV}$  の信号

# 信号領域 (2bjet type)

## LOW MASS SR



## HIGH MASS SR

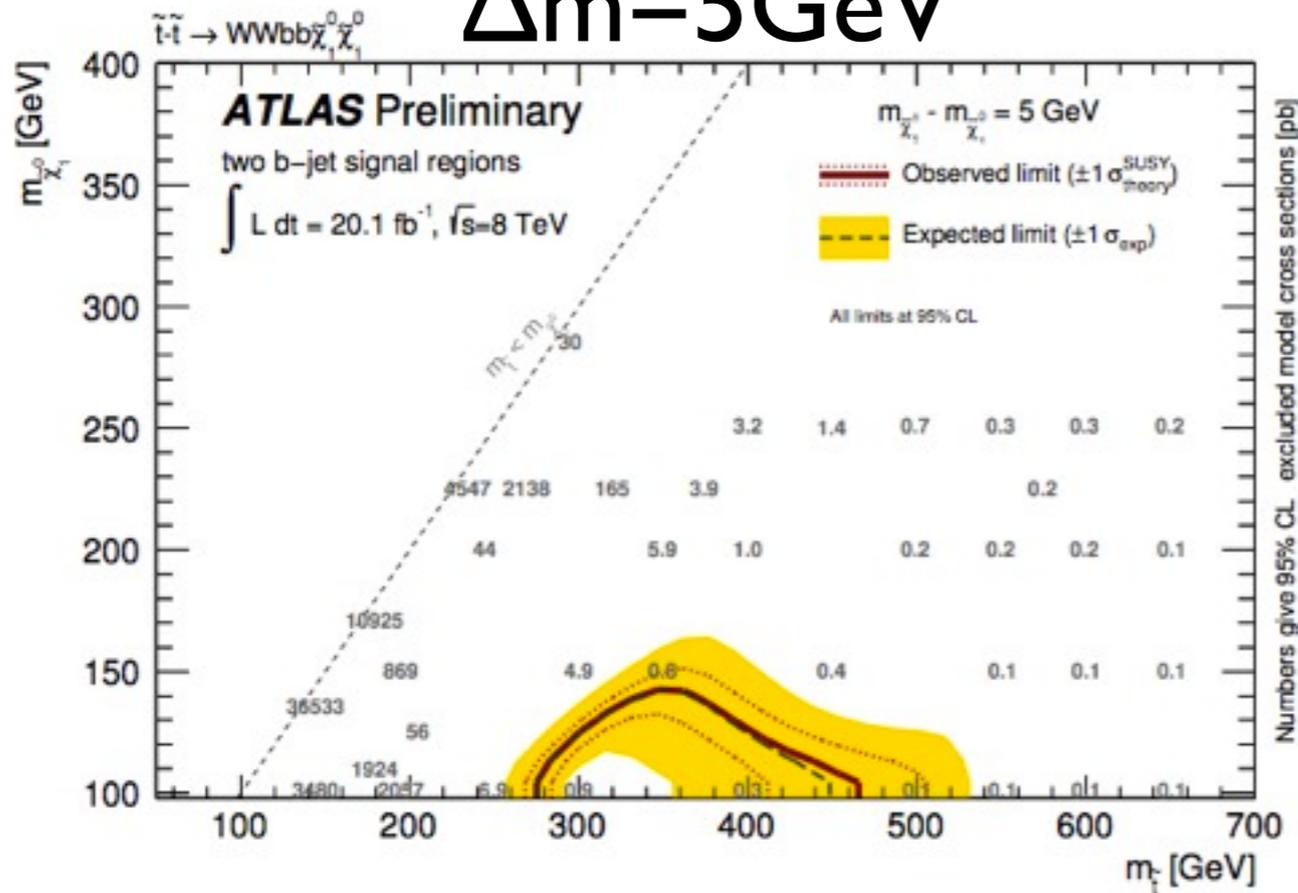


	LOW MASS SR	HIGH MASS SR
Observed	24	3
$N_{bg,tot}$ (total b.g.)	$24.1 \pm 4.1$	$3.6 \pm 1.4$
ttbar	$9.4 \pm 4.5$	$1.6 \pm 1.0$
single top	$1.5 \pm 0.8$	$0.3^{+0.4}_{-0.3}$
W+jets	$8.8 \pm 3.1$	$1.1 \pm 0.5$
mis-id lepton	$2.5 \pm 1.9$	$0.0^{+0.03}_{-0.0}$
other b.g.	$1.9 \pm 0.9$	$0.6 \pm 0.4$

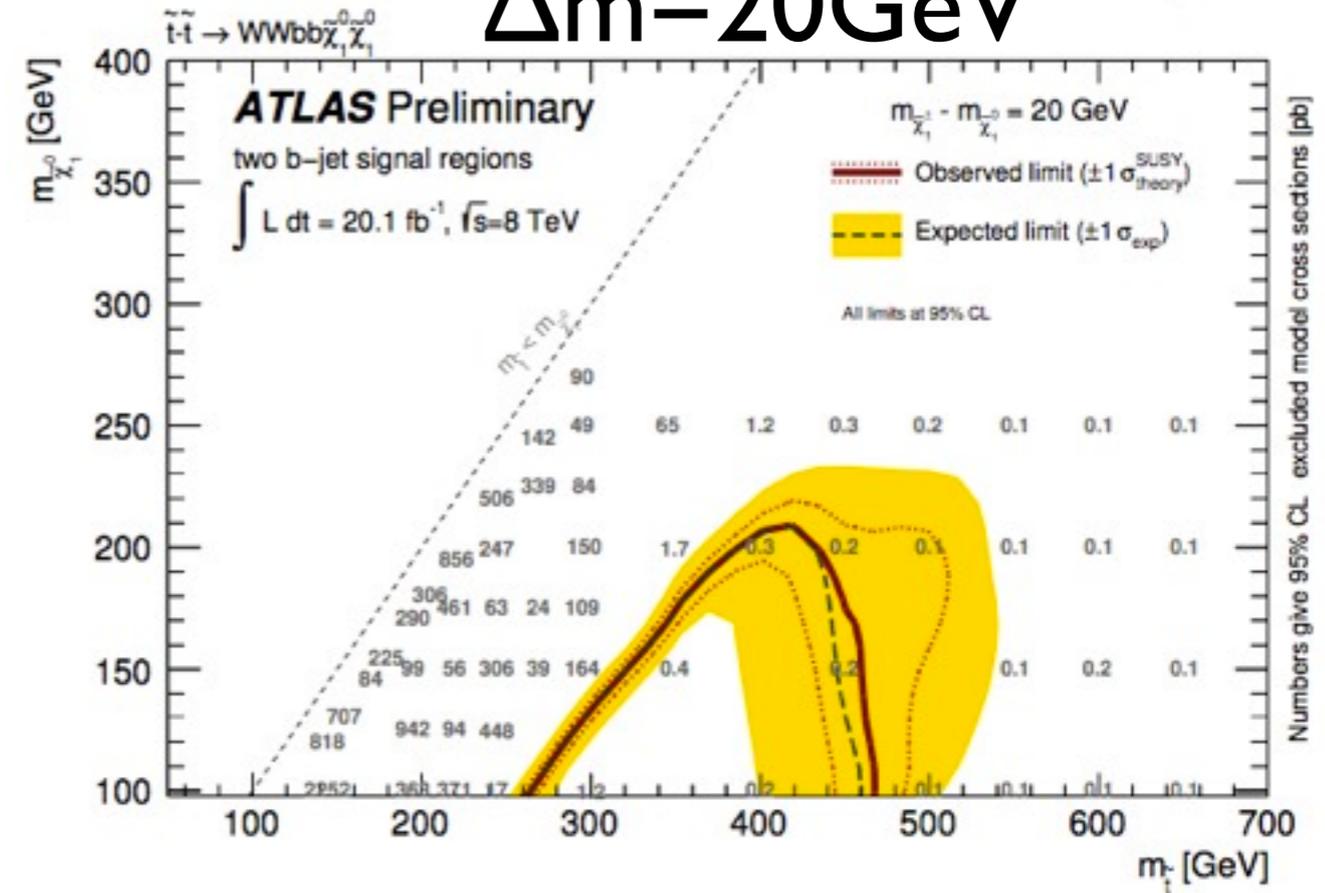
- 主なSystematics ( $N_{bg,tot} \pm XX\%$ ):
  - tt : CR→SRの誤差 (15%)
  - $\sigma_{W+bb}/\sigma_{W+jj}$ の誤差 (10%)
  - ジェットエネルギー分解能 (4%)
  - など
- バックグラウンド見積もりに対して有意な信号は得られなかった。

# スカラートップ質量に対する制限

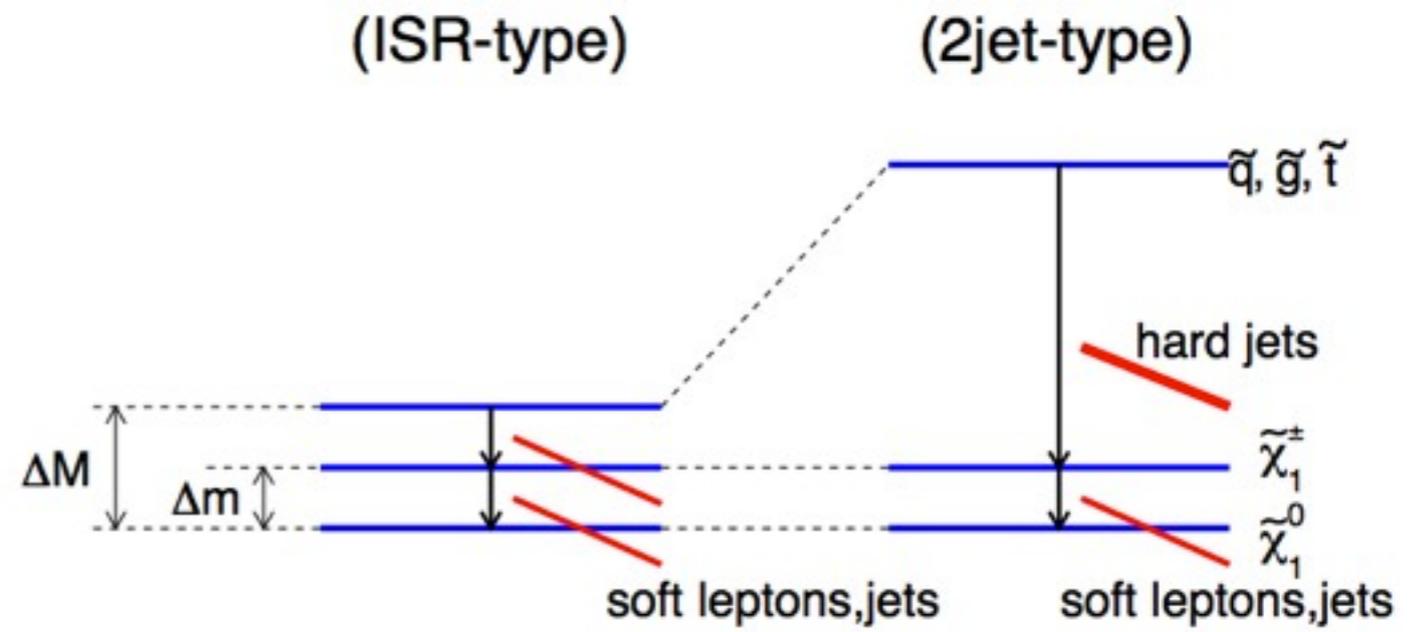
$\Delta m = 5 \text{ GeV}$



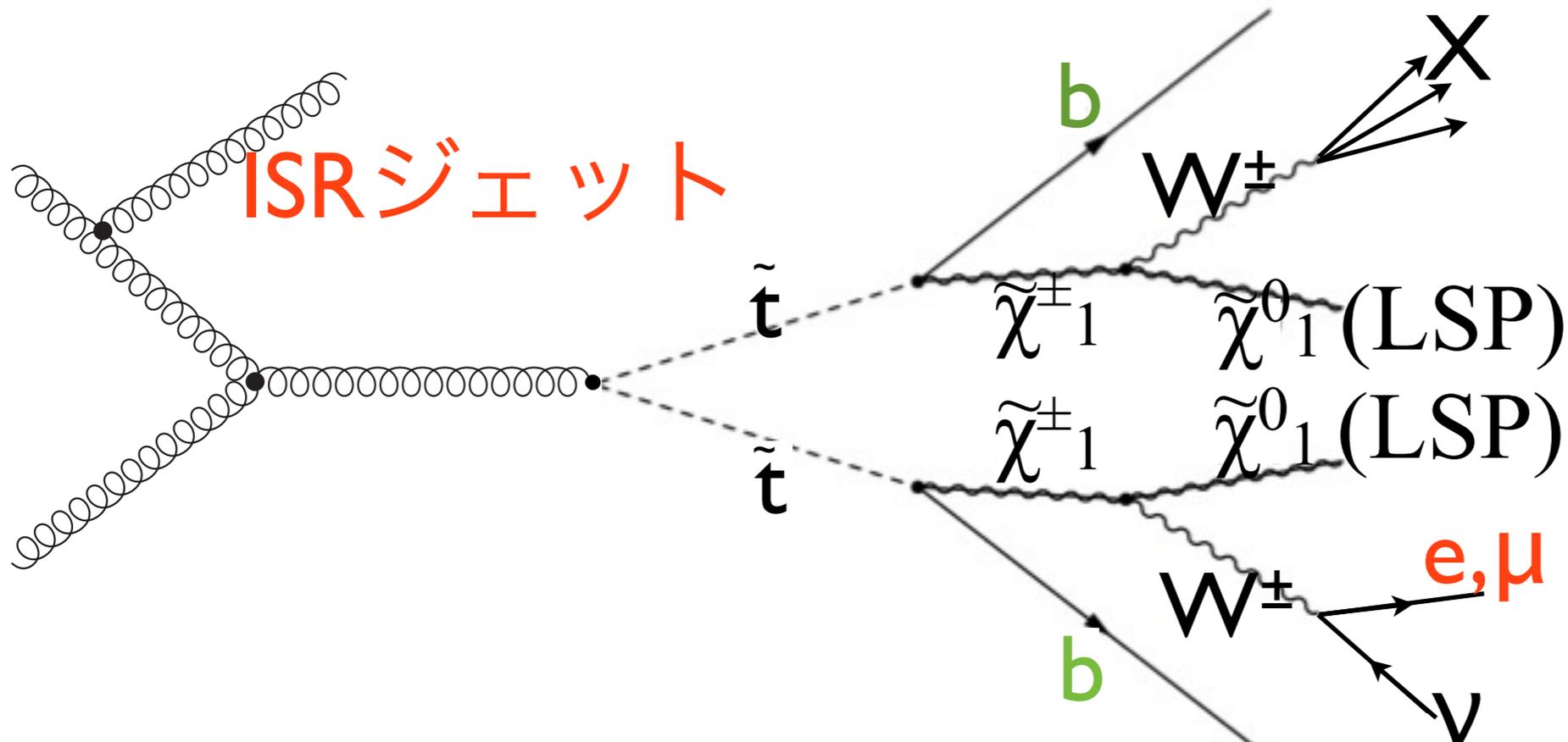
$\Delta m = 20 \text{ GeV}$



- 2つの信号領域をcombine (best expected CLs value)
- 95% C.L.排除領域
- Stop mass  $< \sim 470 \text{ GeV}$ を棄却した。  
(LSP mass  $< 150 \text{ GeV} @ \Delta m = 5 \text{ GeV}$ ,  $< 210 \text{ GeV} @ \Delta m = 20 \text{ GeV}$ )

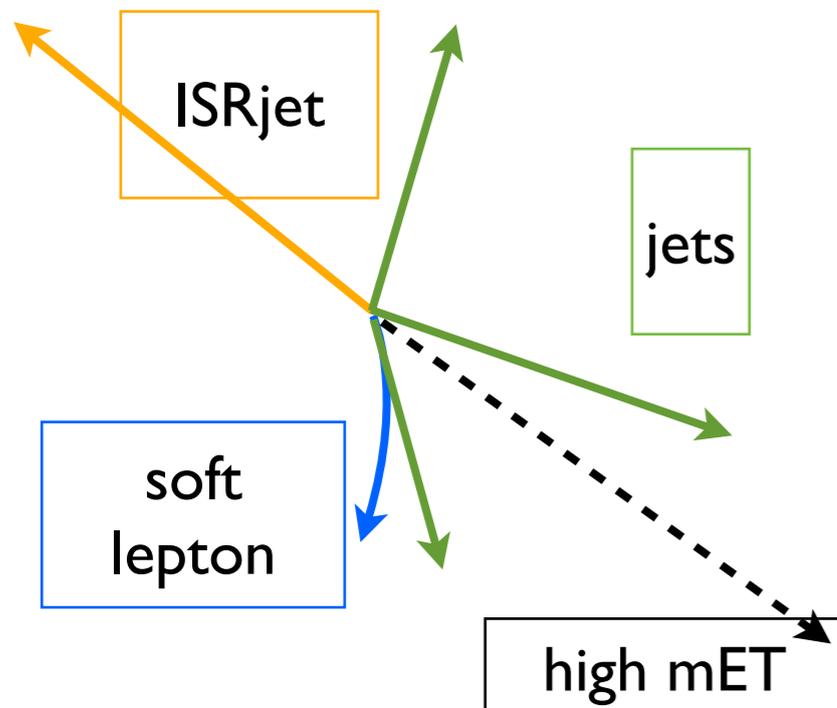


# ISR+1bjet type解析

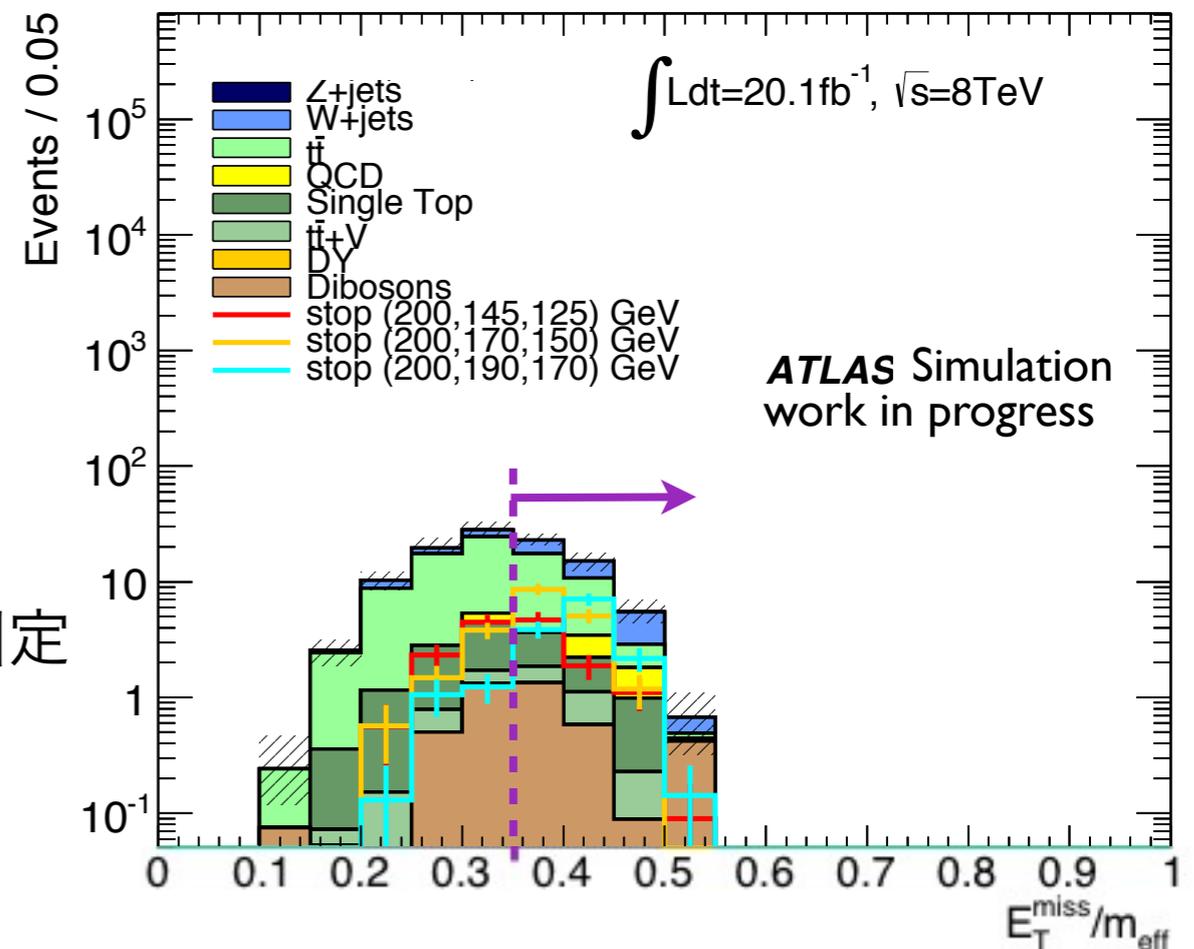


# 信号領域最適化 (ISR + 1bjet type)

- ターゲット：Stopと $\tilde{\chi}_1^\pm$ の質量もほぼ縮退している場合
- 非常に高い $p_T(>180 \text{ GeV})$ のISR (initial state radiation) ジェットを要求し、反対側にブーストされた系を選ぶ事でソフトなb-jetを拾う。
- 低い $p_T$ でのb-tag効率を考慮して、2本ではなく少なくとも1本のb-jetを要求
- $\tilde{\chi}_1^0$ 起源の $m_{ET}$ が $m_{eff}$ の中で相対的に高い事を用いて信号をenhanceする。  
 $\times m_{eff} = m_{ET} + p_{T,lep} + \sum p_{T,jet}$
- $m_{ET}/m_{eff} > 0.3$  (for  $\Delta M > 50 \text{ GeV}$ ),  
 $> 0.35$  (for  $\Delta M < 50 \text{ GeV}$ ) と最適化した。



シグナル:  
 $m_{\tilde{t}} = 200 \text{ GeV}$  で固定  
 $\Delta M = 75 \text{ GeV}$   
 $\Delta M = 50 \text{ GeV}$   
 $\Delta M = 30 \text{ GeV}$



# 事象選別 (ISR + 1bjet type)

- ターゲットとする信号がどの程度縮退しているかに合わせて、2つの信号領域を用意 (MODERATE:  $50 < \Delta M < 80 \text{ GeV}$  / COMPRESSED:  $\Delta M < 50 \text{ GeV}$ )

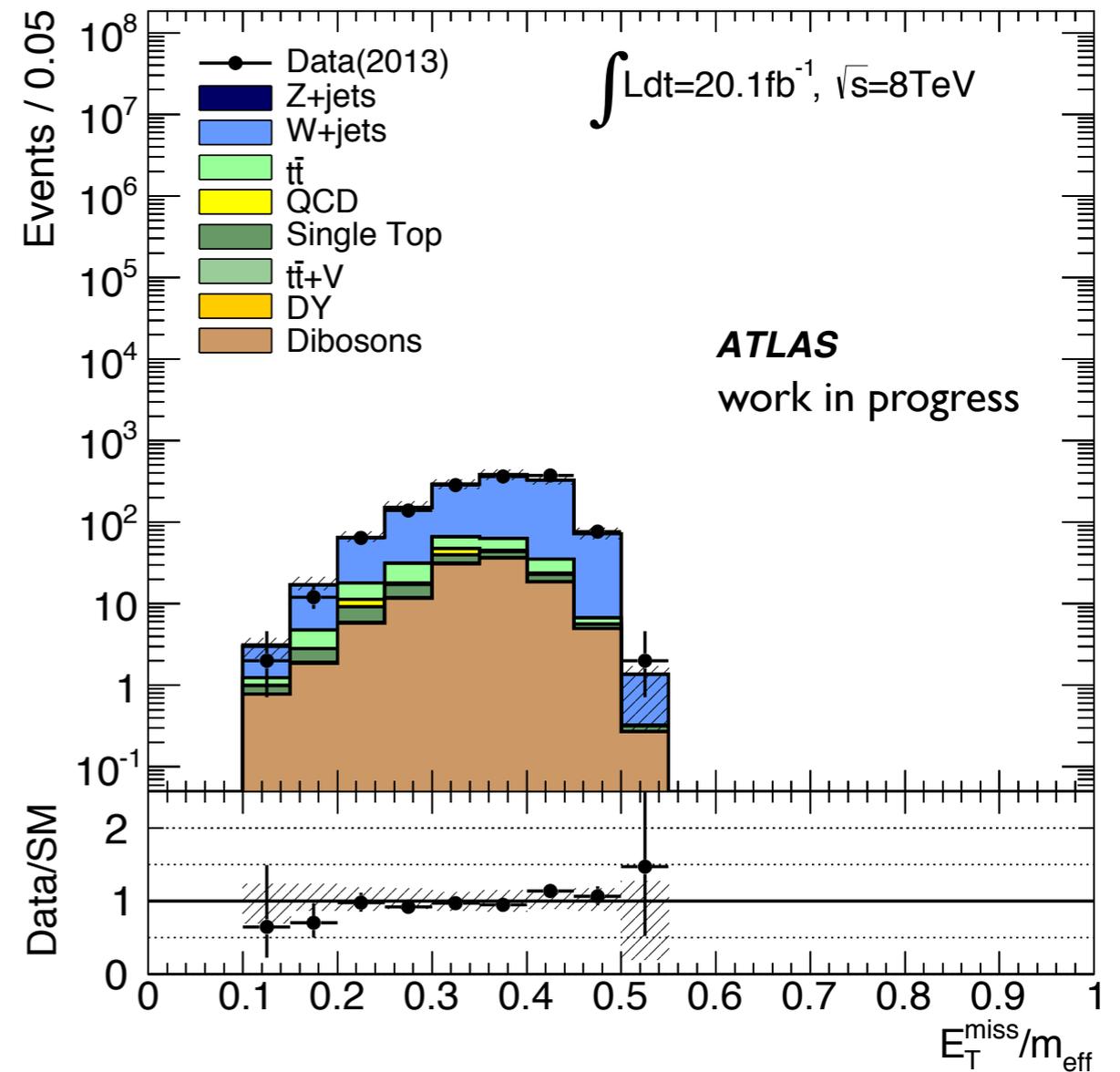
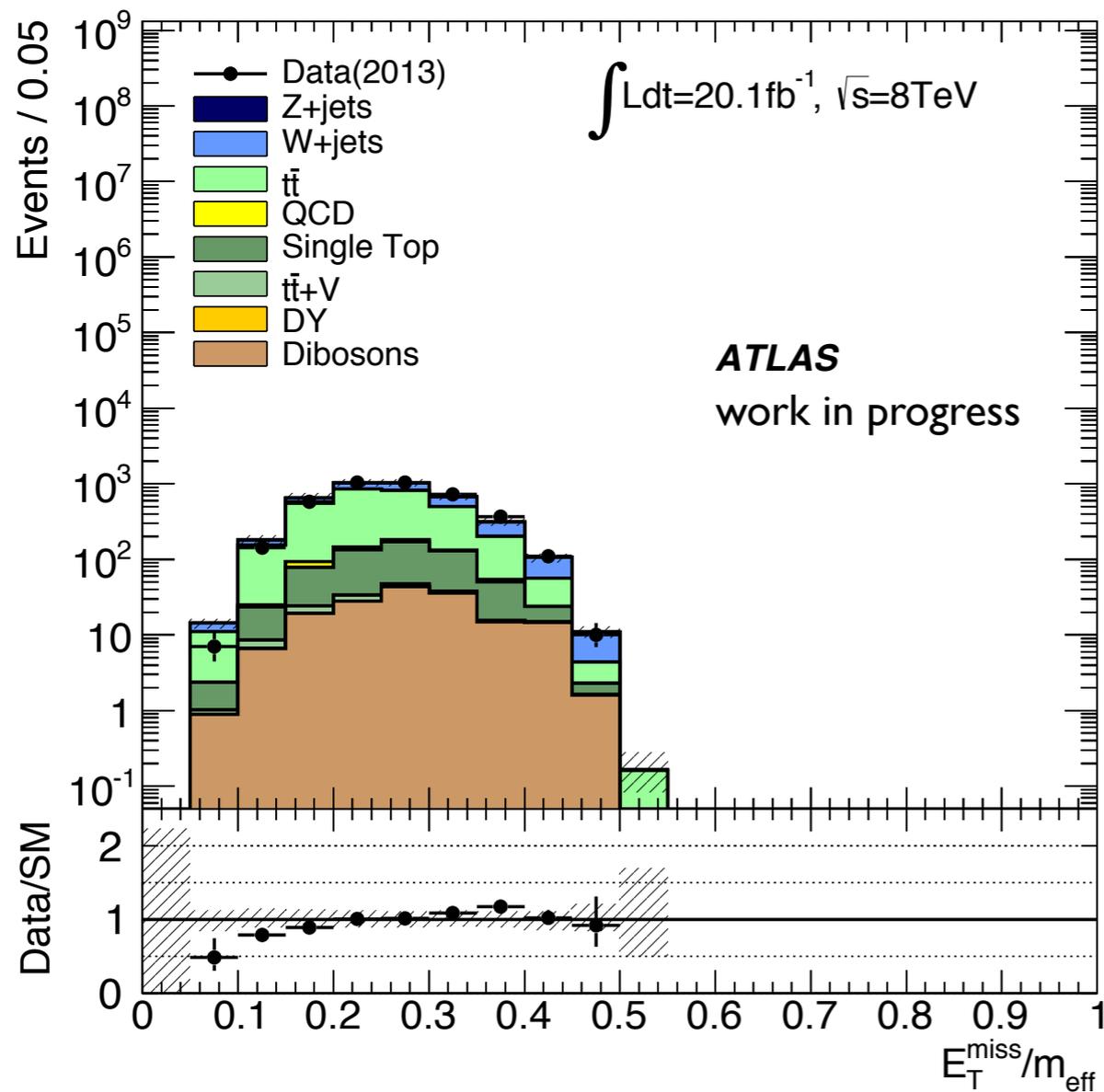
	MODERATE SR	Top CR	W+jets CR
lep   Pt	[6(7), 50] GeV	>25 GeV	
jet   Pt	>180 GeV		
N <sub>jets</sub>	≥3		
mET	>300 GeV	>150 GeV	>300 GeV
mET/m <sub>eff</sub>	>0.3	-	
m <sub>T</sub>	>100 GeV	[40, 80] GeV	
N <sub>bjets</sub>	≥1, but leading jet is not b-tagged		0 (b-veto)

	COMPRESSED SR	Top CR	W+jets CR
lep   Pt	[6(7), 50] GeV	>25 GeV	
jet   Pt	>180 GeV		
N <sub>jets</sub>	≥2		
mET	>370 GeV	>150 GeV	>370 GeV
mET/m <sub>eff</sub>	>0.35	-	
m <sub>T</sub>	>90 GeV	[40, 80] GeV	
N <sub>bjets</sub>	≥1, but leading jet is not b-tagged		0 (b-veto)

# コントロール領域 (ISR + 1bjet type)

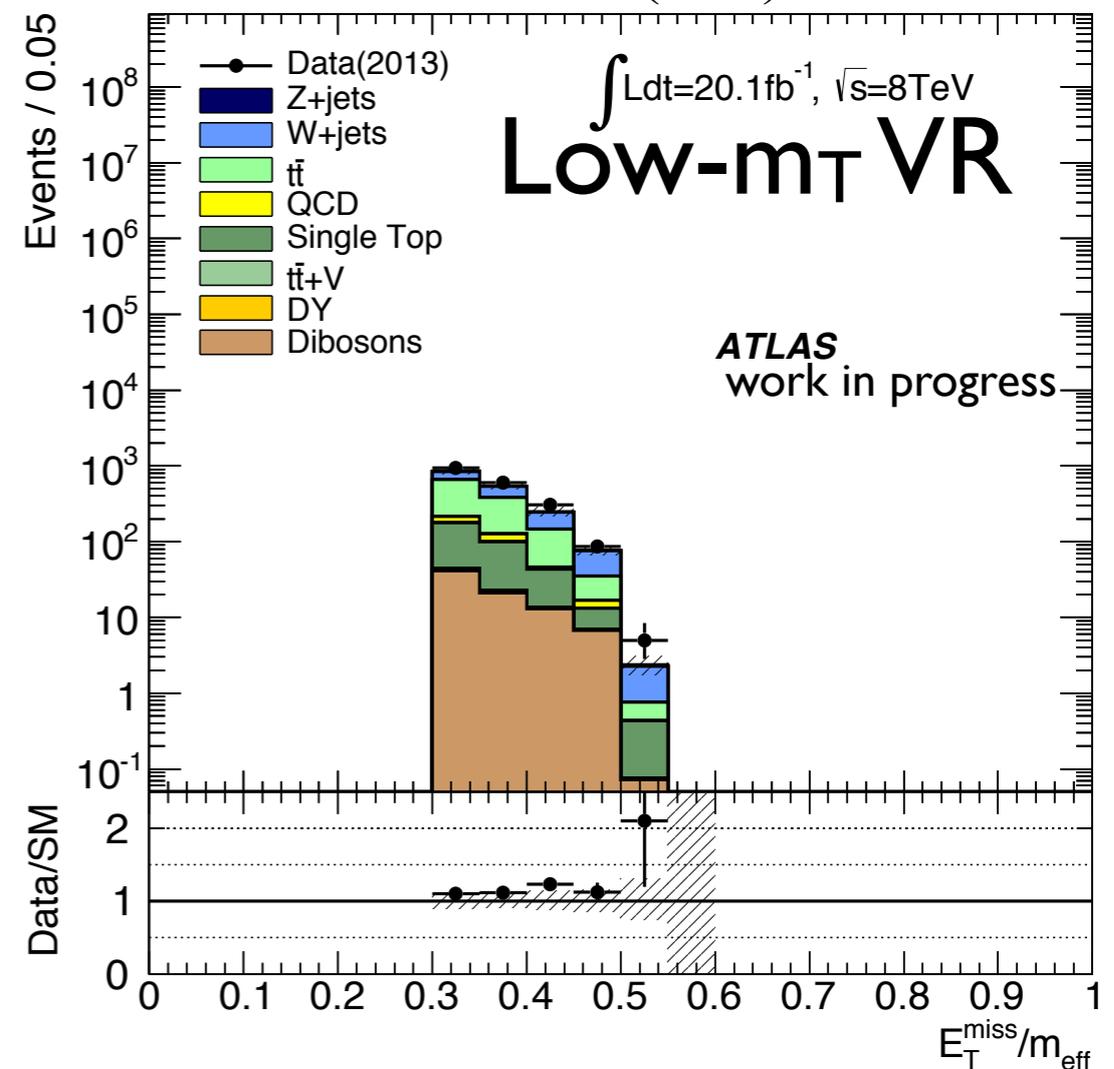
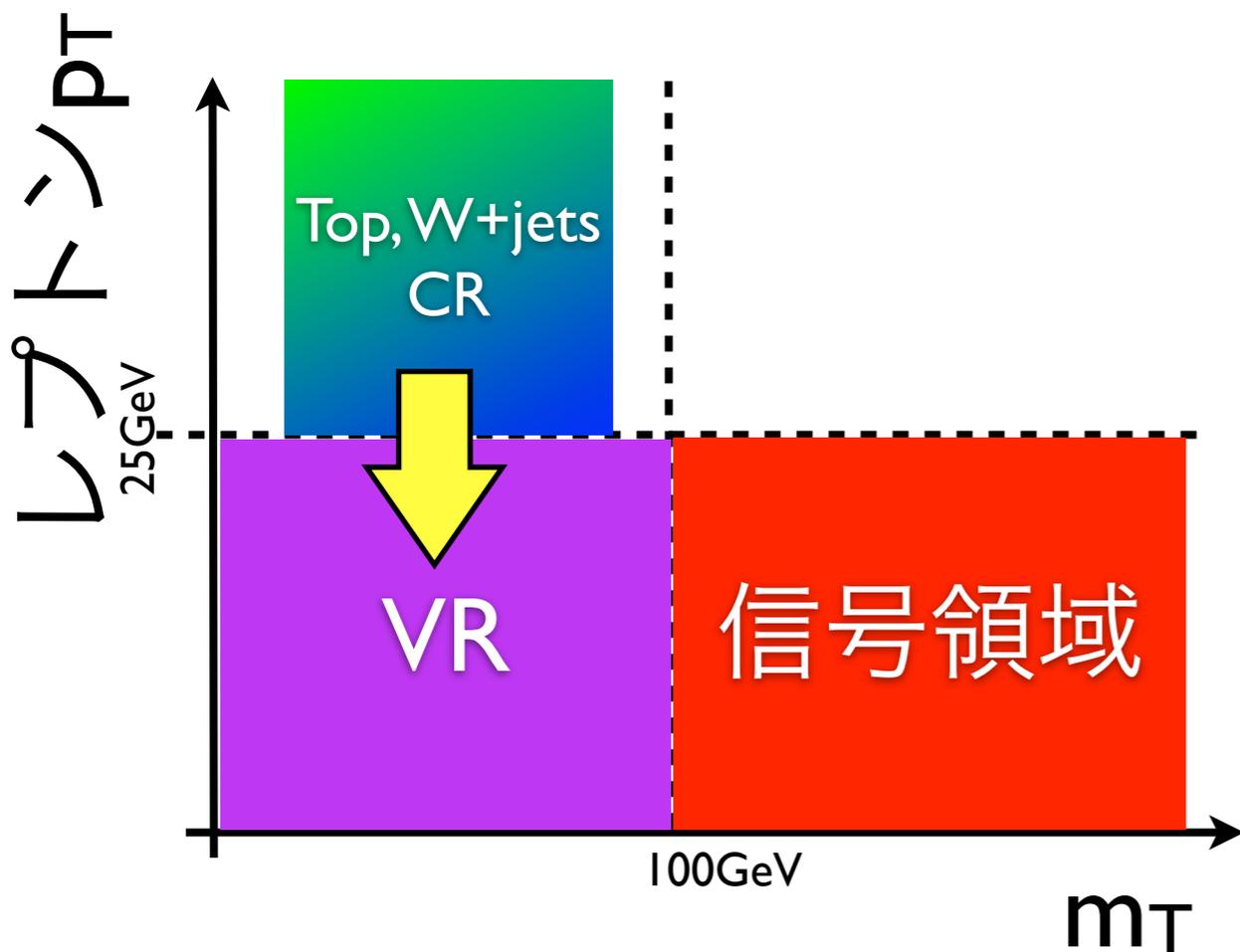
- Hard lepton コントロール領域 ( $p_T > 25 \text{ GeV}$ )
- $40 < m_T < 80 \text{ GeV}$  を要求し信号領域と排他的に定義

- Top : b-tag.  $t\bar{t}$  の purity  $\sim 60\%$ 、
- W+jets : b-veto. W+jets の purity  $\sim 85\%$

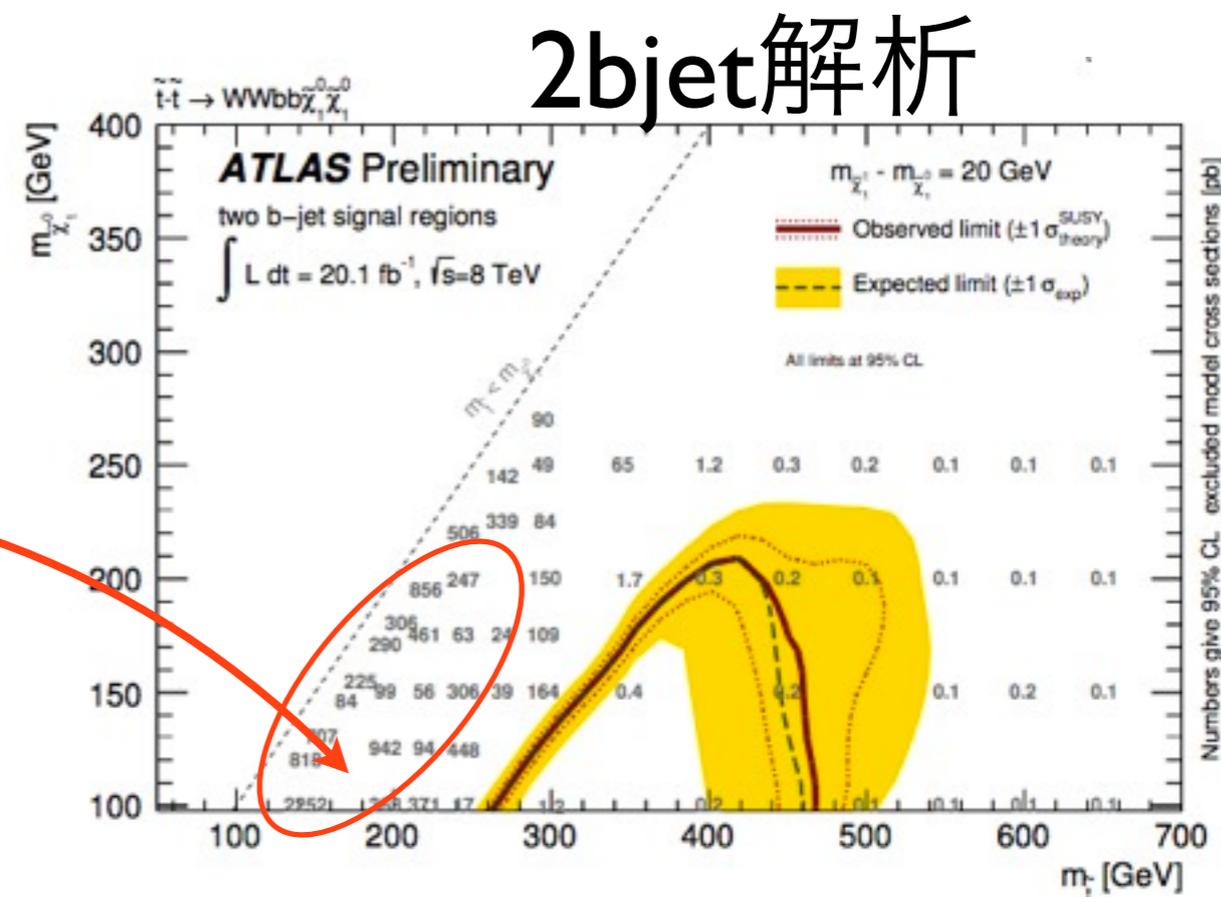
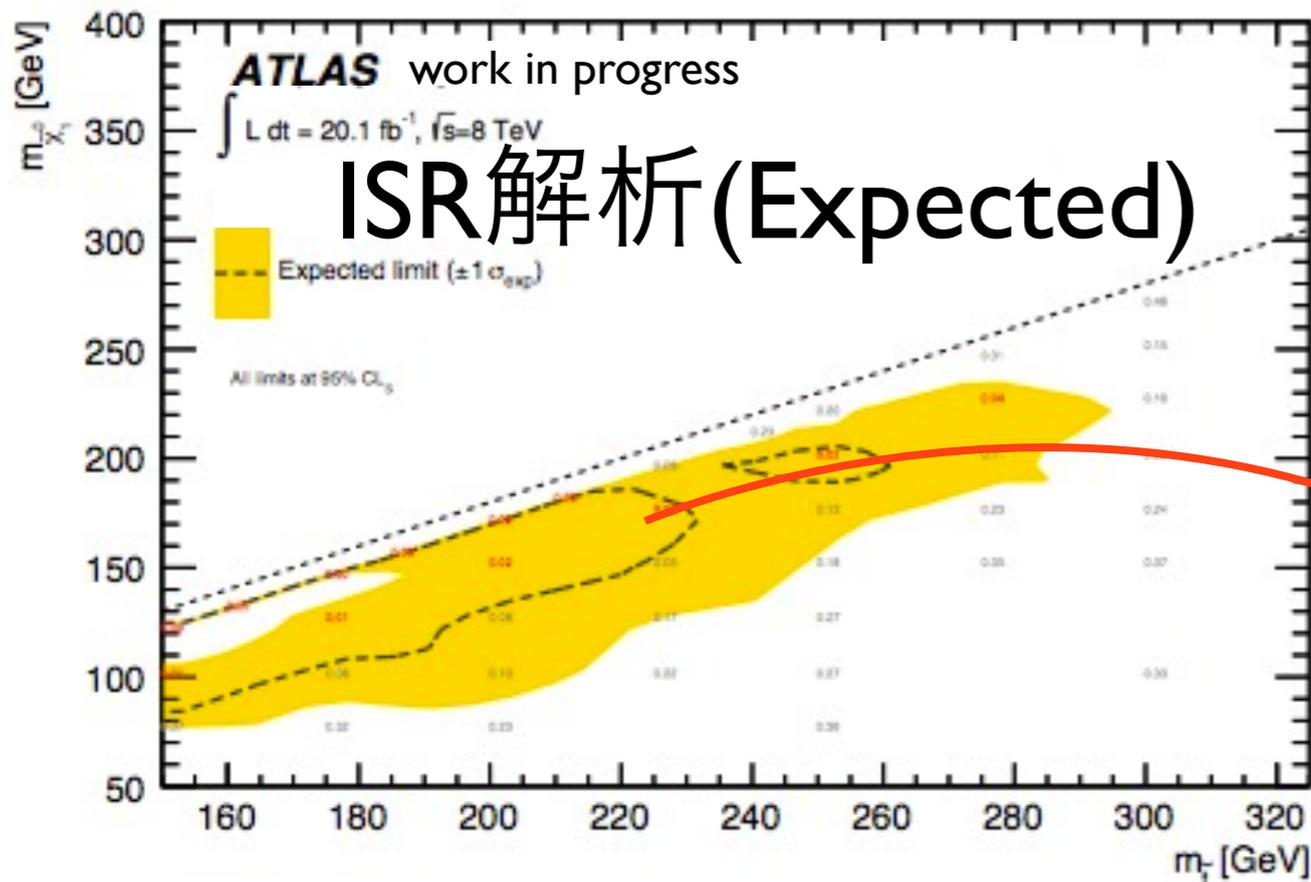


# バックグラウンド見積もりの結果

- 主な系統誤差:
  - ttbar: CR→SRの誤差 ~10%
  - ジェットエネルギー分解能 ~5% など
- 信号領域の主なバックグラウンド：ttbar (~50%)
- 確認領域 (VR) にフィット結果を外挿し、妥当性を確認した( $<1\sigma$ )

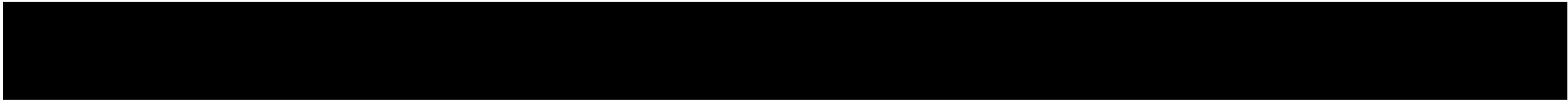


# 予想される感度



- $\Delta m=20\text{GeV}$ ベンチマークで予想される95% C.L.排除領域を破線でしめす。  
( $\Delta m=5\text{GeV}$ はレプトン acceptanceによる制限から感度が無い)
- 質量が縮退した領域に感度が予測される。  
Stop mass < 260GeV /  $\Delta M(\text{stop-LSP}) < 70 \text{ GeV}$ の領域 (2bjet解析ではカバーできない領域) をカバー
- 現在信号領域・コントロール領域の最終確認中
- 全て終わり次第信号領域のブラインドを開ける予定





# Fakeの見積もり (Matrix Method)

- Fakeレプトンは以下の関係から見積もる

$$N_{\text{fake}}^{\text{tight}} = \epsilon_{\text{fake}} \frac{\epsilon_{\text{real}} N_{\text{fail}} - (1 - \epsilon_{\text{real}}) N_{\text{tight}}}{\epsilon_{\text{real}} - \epsilon_{\text{fake}}}$$

- $N_{\text{fail}}$ : ベースライン条件は満たすがisolationを満たさないレプトンの数
- $N_{\text{tight}}$ : isolation条件を満たすレプトンの数
- Isolation:  $\sum_{\Delta R < 0.3} p_{\text{T}}^{\text{trk}} / p_{\text{T}}^{\text{lepton}} < 0.16(0.12)$  for 電子(ミューオン)  
(トラックは $p_{\text{T}} > 400$  MeV)
- $\epsilon_{\text{real}}$  (real efficiency):  $Z \rightarrow l^+ l^-$ サンプルを用い、ベースラインレプトンに対してisolationカットの効率を測定
- $\epsilon_{\text{fake}}$  (fake efficiency):  $m_{\text{ET}} < 30 \text{ GeV}$ ,  $m_{\text{T}} < 40 \text{ GeV}$ のfakeをenhanceしたCRで見積もる
- $(p_{\text{T}}, \eta)$ で区切った各phase spaceでパラメータを見積もっておき、pure data-drivenでFakeバックグラウンドを見積もる