

LHC-ATLAS実験におけるソフトレプトンを用いた スカラートップ粒子の探索

野辺拓也, 浅井祥仁^A, 金谷奈央子^B,
久世正弘, 佐々木雄一^A, 山中隆志^B

東工大理, 東大理^A, 東大素セ^B

2013/3/29

日本物理学会第68回年次大会

広島大学

Motivation

- $\sim 125\text{GeV}$ に発見されたHiggs粒子質量の“自然さ”からの要請により、スカラートップ粒子(stop)の質量は軽くなる ($< 500\text{GeV}$)
- (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
- スカラートップの対生成において、

$$\begin{aligned} \tilde{t} &\rightarrow b + \tilde{\chi}_1^\pm \\ &\quad \searrow \tilde{\chi}_1^0 + (W^* \rightarrow l\nu) \end{aligned}$$

の崩壊を考える。 $\tilde{\chi}_1^\pm$ と $\tilde{\chi}_1^0$ の質量固有状態がほぼ縮退している場合、崩壊物がソフト(低運動量)になり感度を失う

- LSP(最も軽いSUSY粒子)がHiggsino-likeな場合、 $\tilde{\chi}_1^\pm$ と $\tilde{\chi}_1^0$ の質量固有状態は縮退
- $\tilde{\chi}_1^\pm$ からのソフトレプトンを解析のタグとして用いる
→ 低いstop質量領域で感度向上を目指す
- ATLAS検出器で2012年取得された $\sqrt{s} = 8\text{ TeV } 20.5\text{fb}^{-1}$ のデータを用いる
現在バックグラウンドの理解が進行中、今回は解析の経過を報告する

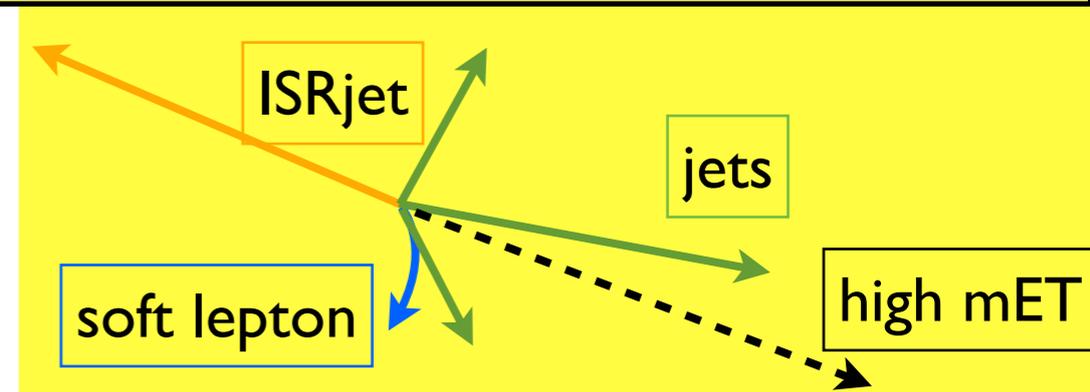
Strategy

- 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 $6(10) < p_T < 25$ GeVのミュオン(電子)

1. **2b解析**: 高い $p_T(>60$ GeV)のbjetを2本+ソフトレプトンを要求、他のhadronic activityをveto

2. **ISR解析**: ソフトレプトン+Initial State Radiation (ISR) のhigh p_T ジェットを要求し、反対側にブーストされたstopペアを見ることでソフトなbjetを拾う
=> 2本ではなく、少なくとも1本のbjetを要求

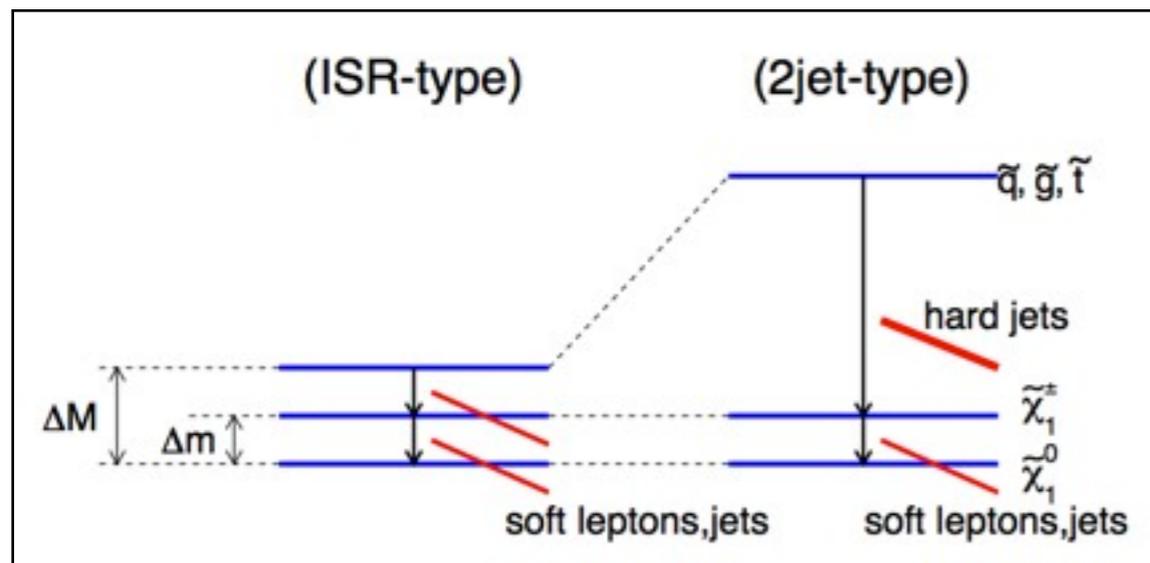
- Fakeレプトンバックグラウンド
の見積もり: データを用いる(詳細はbackup)



- その他のバックグラウンドはMCベースで見積もる。
- バックグラウンドを理解するまでは信号領域はブラインドする

Current limits & event topology

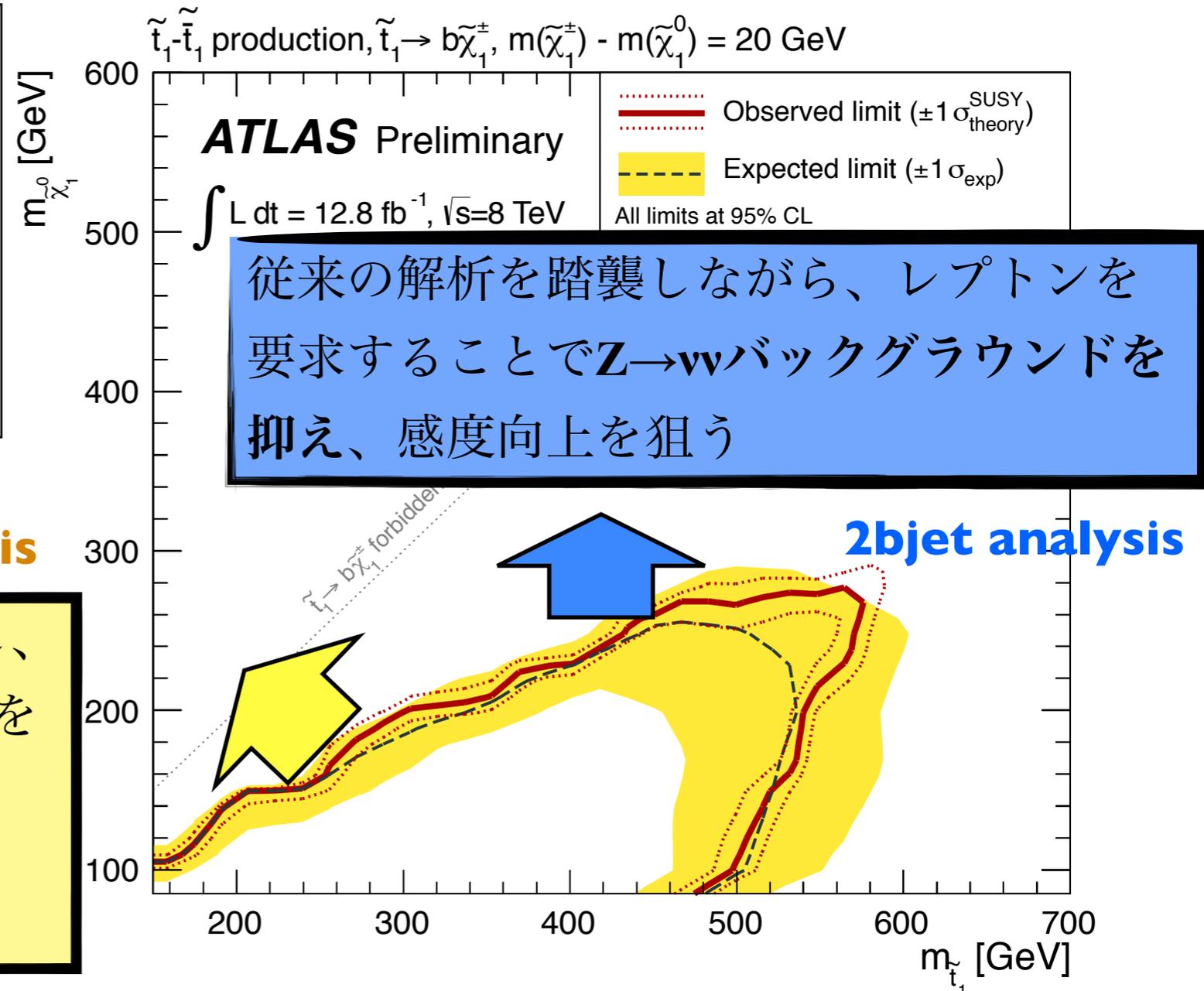
- $\Delta m = (m_{\tilde{\chi}_1^\pm} - m_{\tilde{\chi}_1^0})$ が5 GeV, 20 GeVをベンチマークポイントとする
- ATLAS実験によるレプトンを要求しないstop信号の解析結果 (13fb⁻¹ 2012年)
- ソフトレプトンを要求する事で感度向上を目指す



ISR type analysis

ISRジェット+レプトンを要求し、stopの質量が小さい領域で感度を得る事を目指す

Fakeレプトンを抑える事が鍵



事象選別

	2bjet type	
	SR 2B LOW	SR 2B HIGH
$p_T \mu(e)$	$6(10) < p_{T,lep} < 25 \text{ GeV}$	
mET	$> 200 \text{ GeV}$	$> 300 \text{ GeV}$
jets	leading 2jets with $p_T > 60 \text{ GeV}$, 3rd jet veto with $p_T > 50 \text{ GeV}$	
$h_T = \sum p_{T,jet}$ (leading two jet除く)	$< 50 \text{ GeV}$	no cut
mCT	$> 150 \text{ GeV}$	$> 200 \text{ GeV}$
$\Delta\phi_{min}$: ジェットとmETの最小 $\Delta\phi$	> 0.4	

	ISR type	
	SR ISR LOW	SR ISR HIGH
$p_T \mu(e)$	$6(10) < p_{T,lep} < 25 \text{ GeV}$	
mET	$> 250 \text{ GeV}$	$> 300 \text{ GeV}$
dR_{min}	> 1.0	
N_{jets}	≥ 3	
leading jet	$> 180 \text{ GeV}$ (not b-tagged)	
sub jets	$> 40 \text{ GeV}$	$> 25 \text{ GeV}$
bjet	at least one	
m_T	$> 100 \text{ GeV}$	
mET/m _{eff}	> 0.32	

$$\otimes m_{eff} = mET + p_{T,lep} + \sum p_{T,jet}$$

- mETトリガーを使用
- 最終的に信号とバックグラウンドを分離する変数:

◆ 2bjet type: m_{CT} (co-transverse mass)

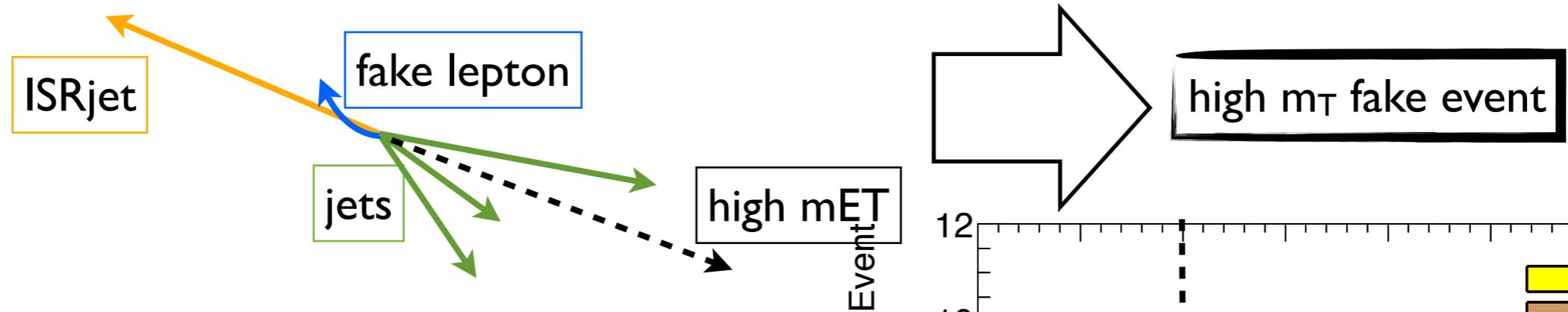
$$m_{CT}^2(bjet1, bjet2) = [E_{T,bjet1} + E_{T,bjet2}]^2 - [\vec{p}_{T,bjet1} - \vec{p}_{T,bjet2}]^2$$

topとstopの質量の違いを用いる

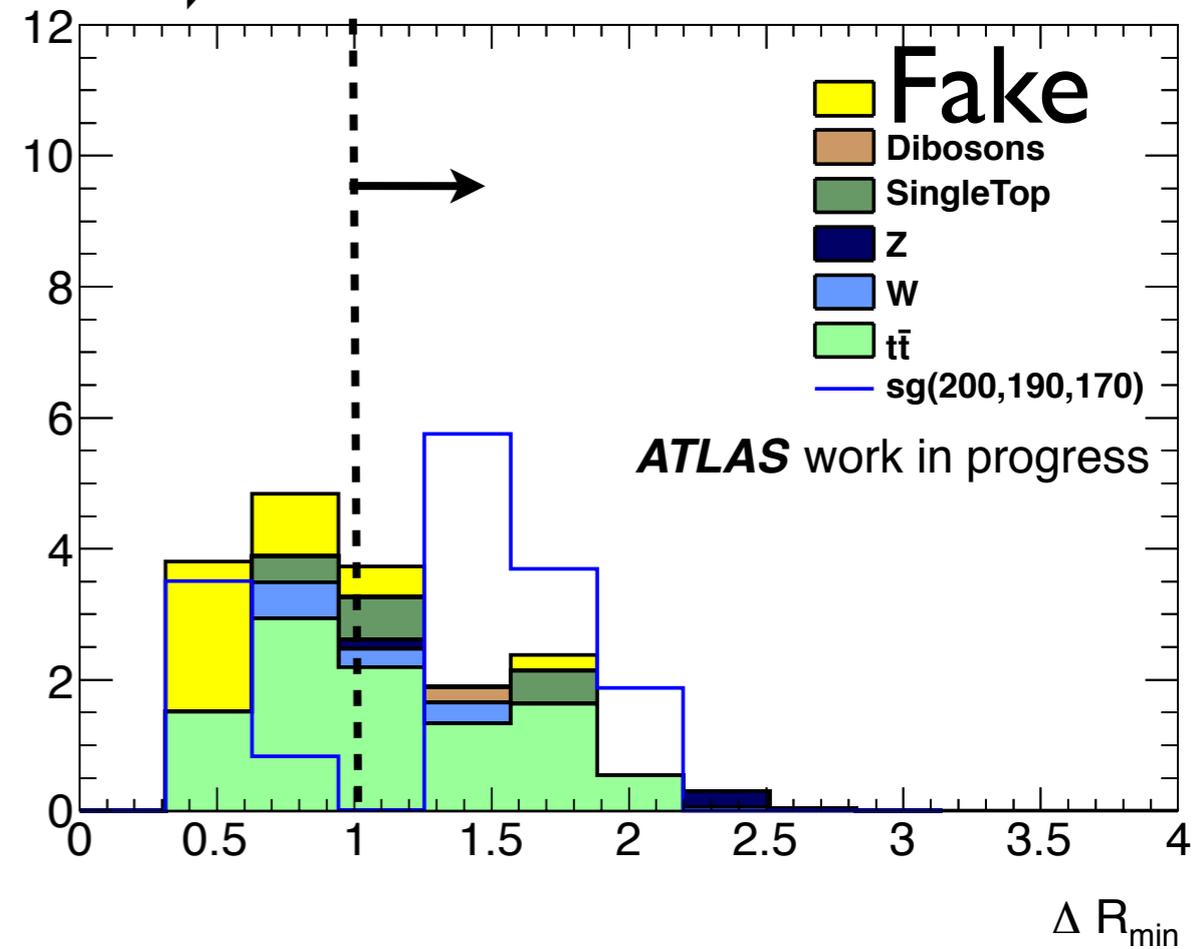
◆ ISR type: mET

Fakeレプトンの抑制

- Fakeレプトン(non-prompt leptonやhadron track等がleptonとして誤認されたもの)は isolationカットを外し、Fakeイベントをenhanceしたコントロール領域で見積もる
- ISR解析では高い横質量 $m_T = \sqrt{(p_{T,lep} + mET)^2 - (\vec{p}_{T,lep} + \vec{mET})^2} > 100\text{GeV}$ を要求するが、下記のような場合にFakeが残ってしまう
- 高いmET & 高いm_Tの信号領域に残るfakeレプトンバックグラウンド

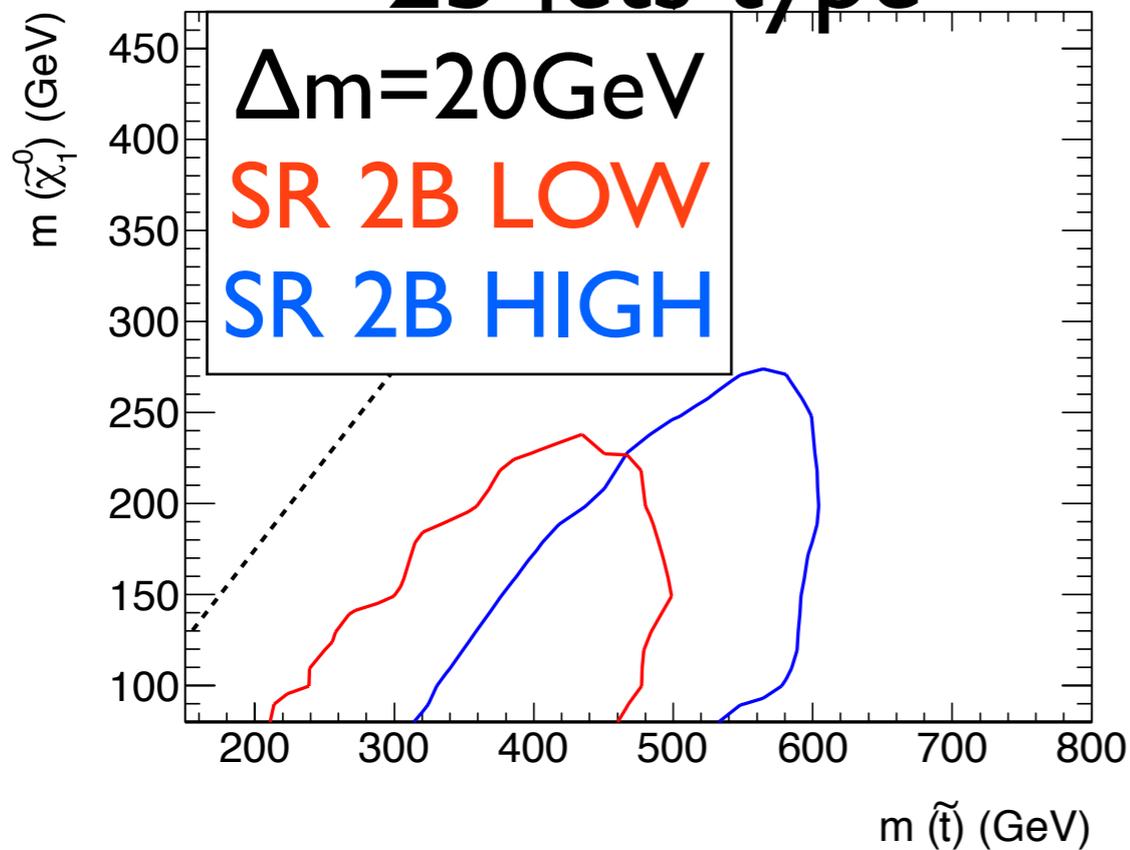


- やや厳しい条件のisolation cutを導入
 $dR_{\min}(\text{lepton-jets}) > 1.0$ (≦従来は0.4)
- これによってFake backgroundをほぼ抑制 (reduction: 5~6)し、感度向上

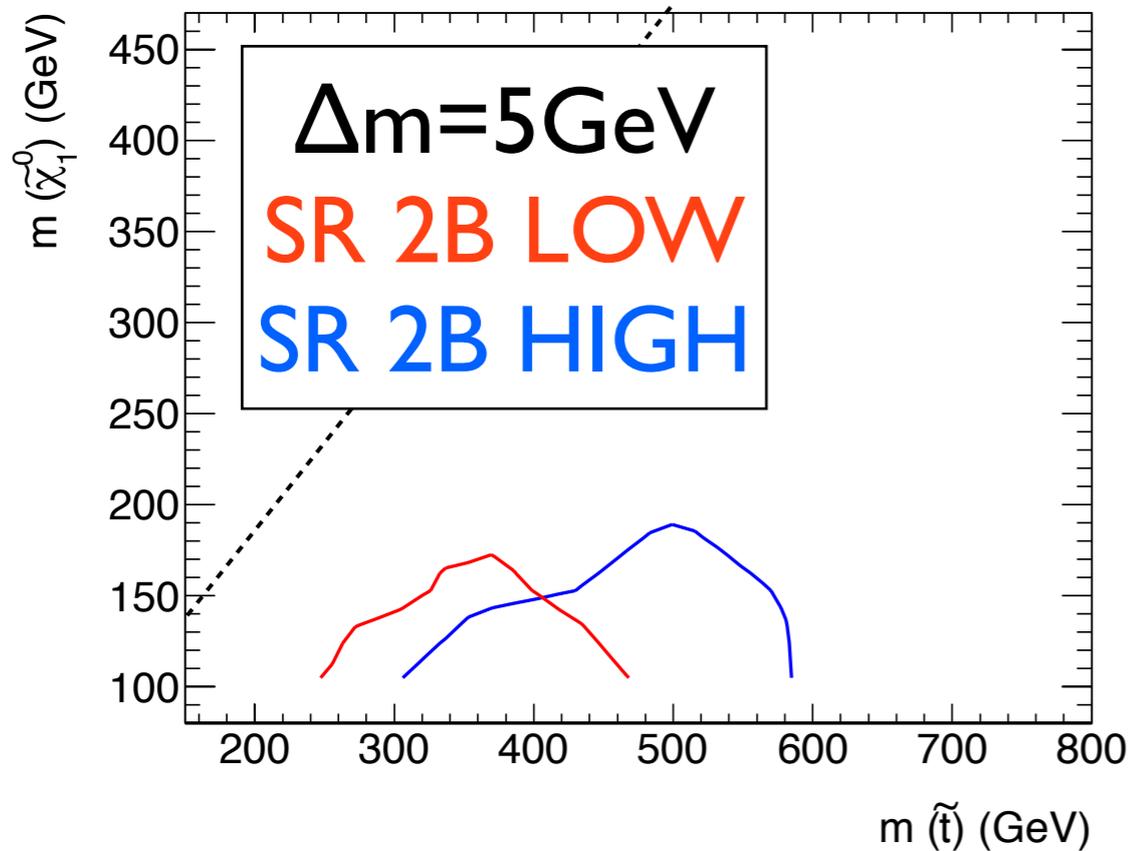
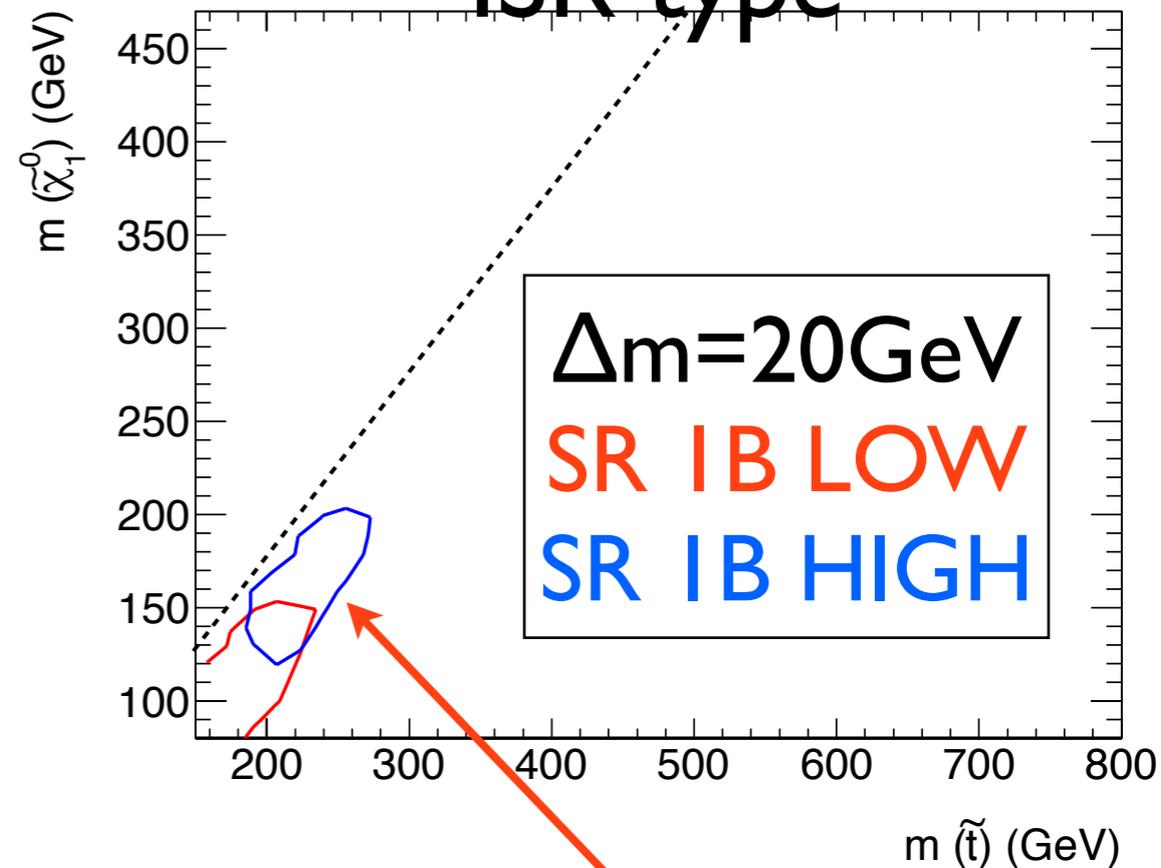


感度が予想される領域

2b-jets type



ISR type

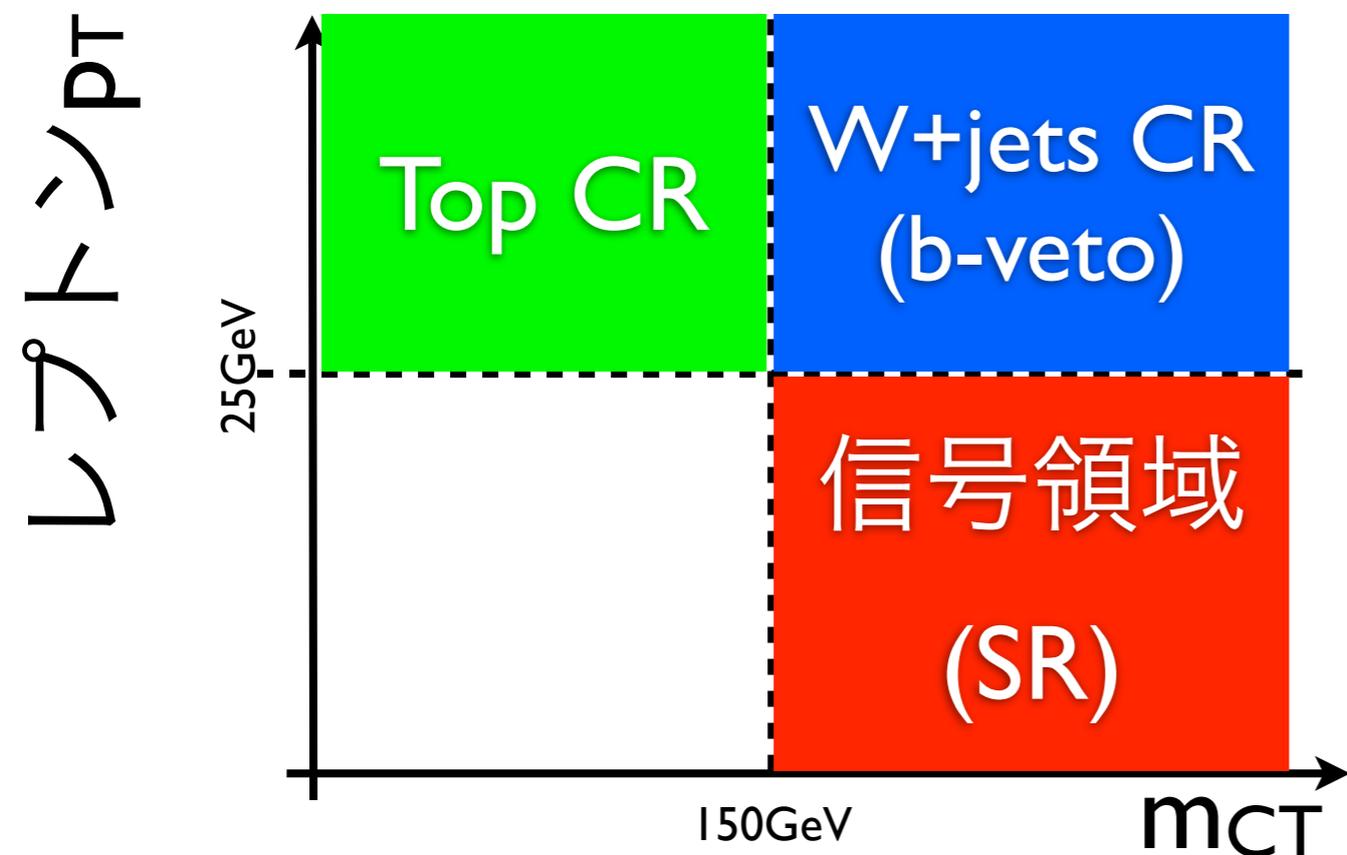


- MCベースの感度 ($N_{\text{sg}} / \sqrt{N_{\text{bg}} + (0.3N_{\text{bg}})^2} > 1.64$)
- バックグラウンドに30%の系統誤差を仮定
- 以前の解析では感度のなかった領域に感度が期待される

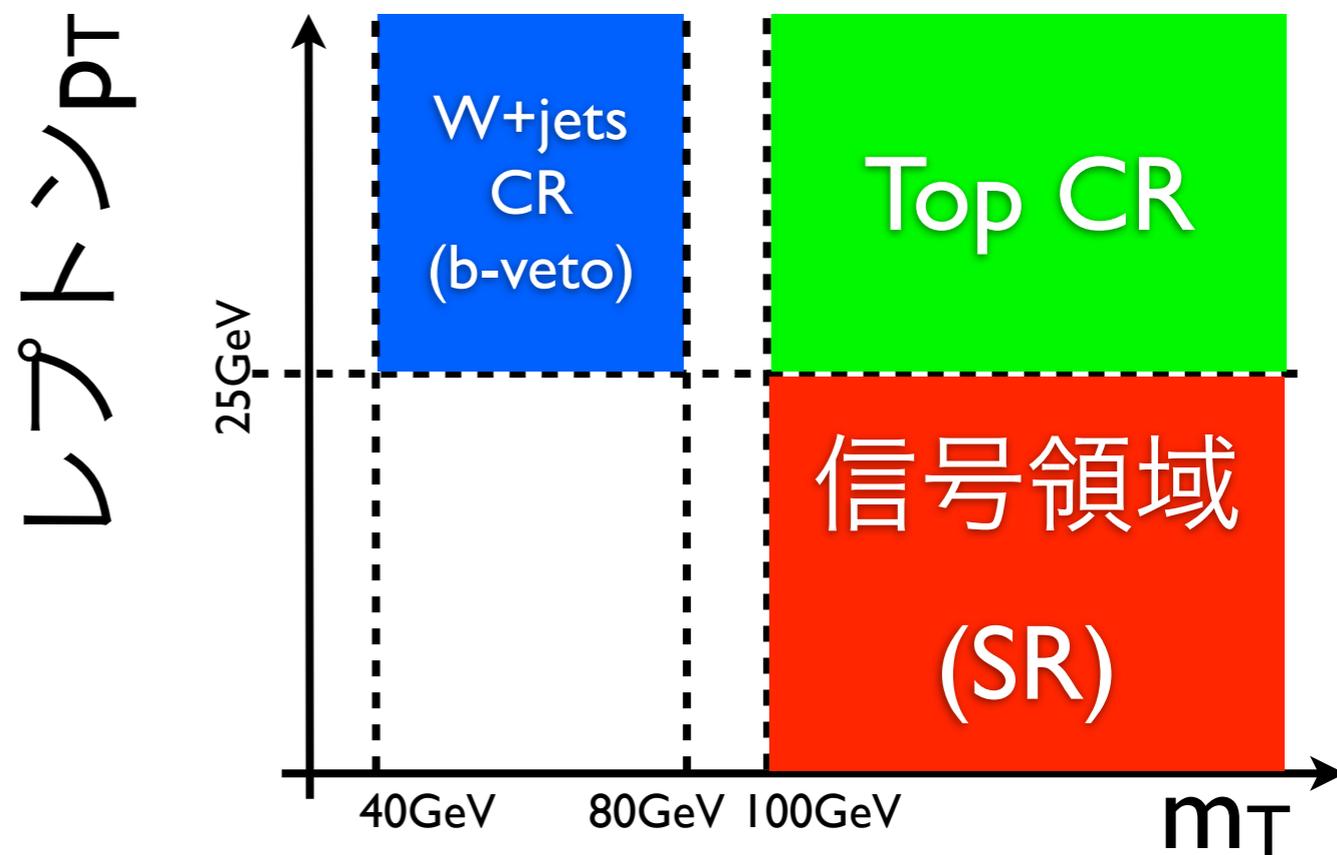
バックグラウンドの見積もり

- 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CRを同時フィット
(CRでのMC事象数をデータに合わせる)
- 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

2bjets type

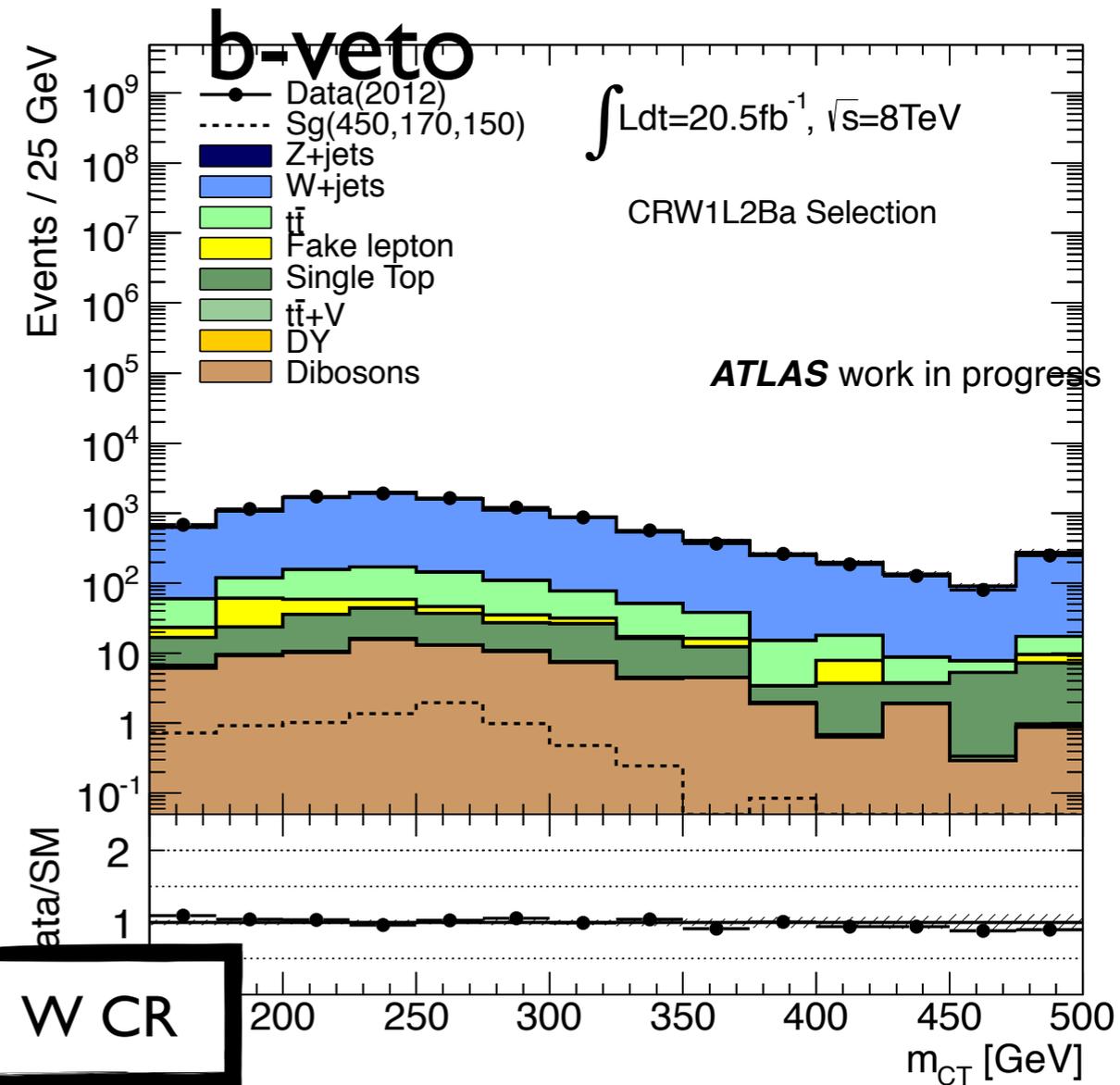
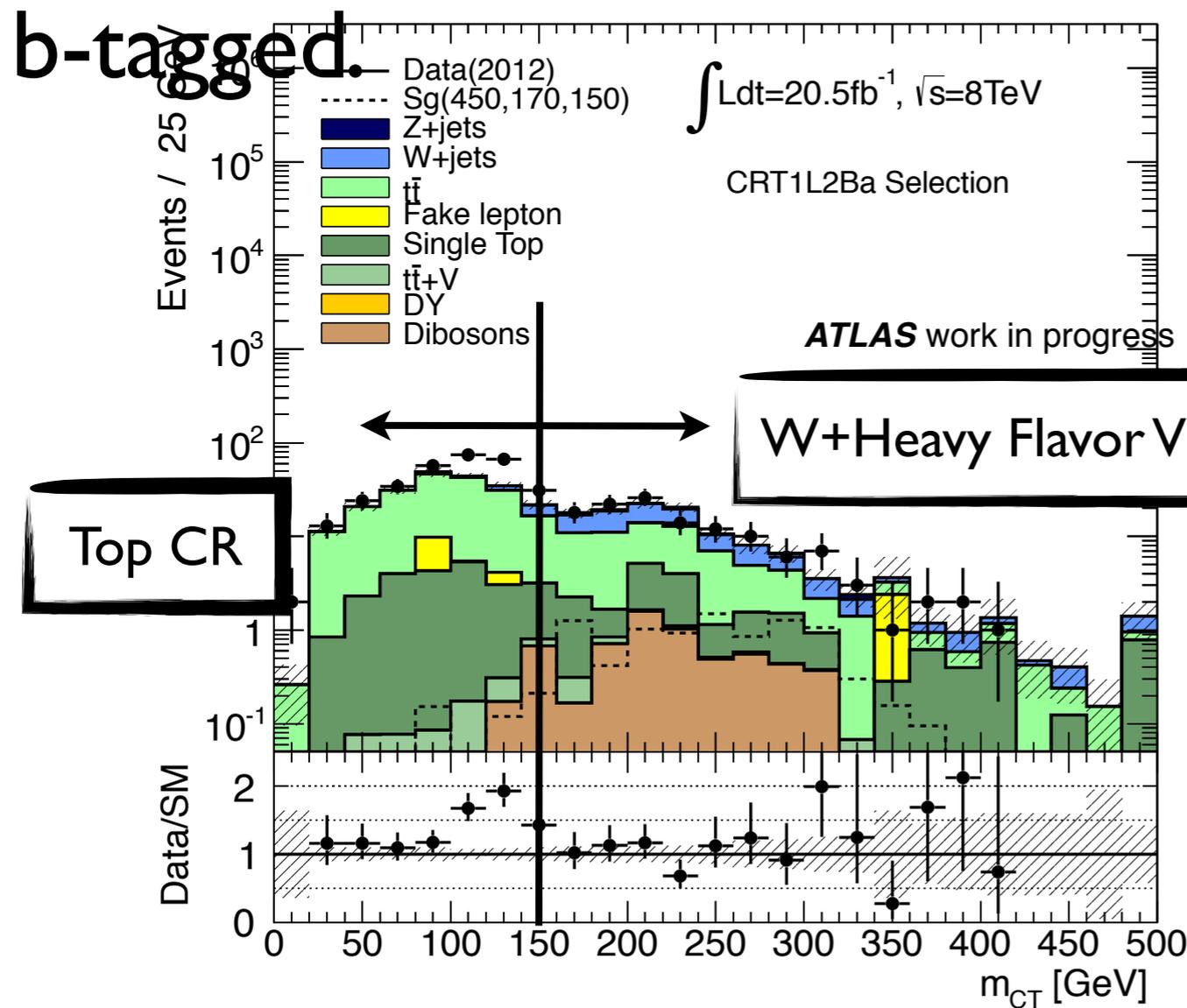


ISR type



コントロール領域におけるData / MC 比較 (2bjet)

- コントロール領域(CR)はレプトン p_T の要求を反転 ($p_T > 25$ GeV)
それ以外は基本的に信号領域と同じkinematics領域を見る
- Top: b-tag, W: b-vetoで統計、purityを保つようにCRを設定



$m_{CT} > 150$ GeVの領域はW+Heavy Flavor(HF)の確認領域(VR)とする

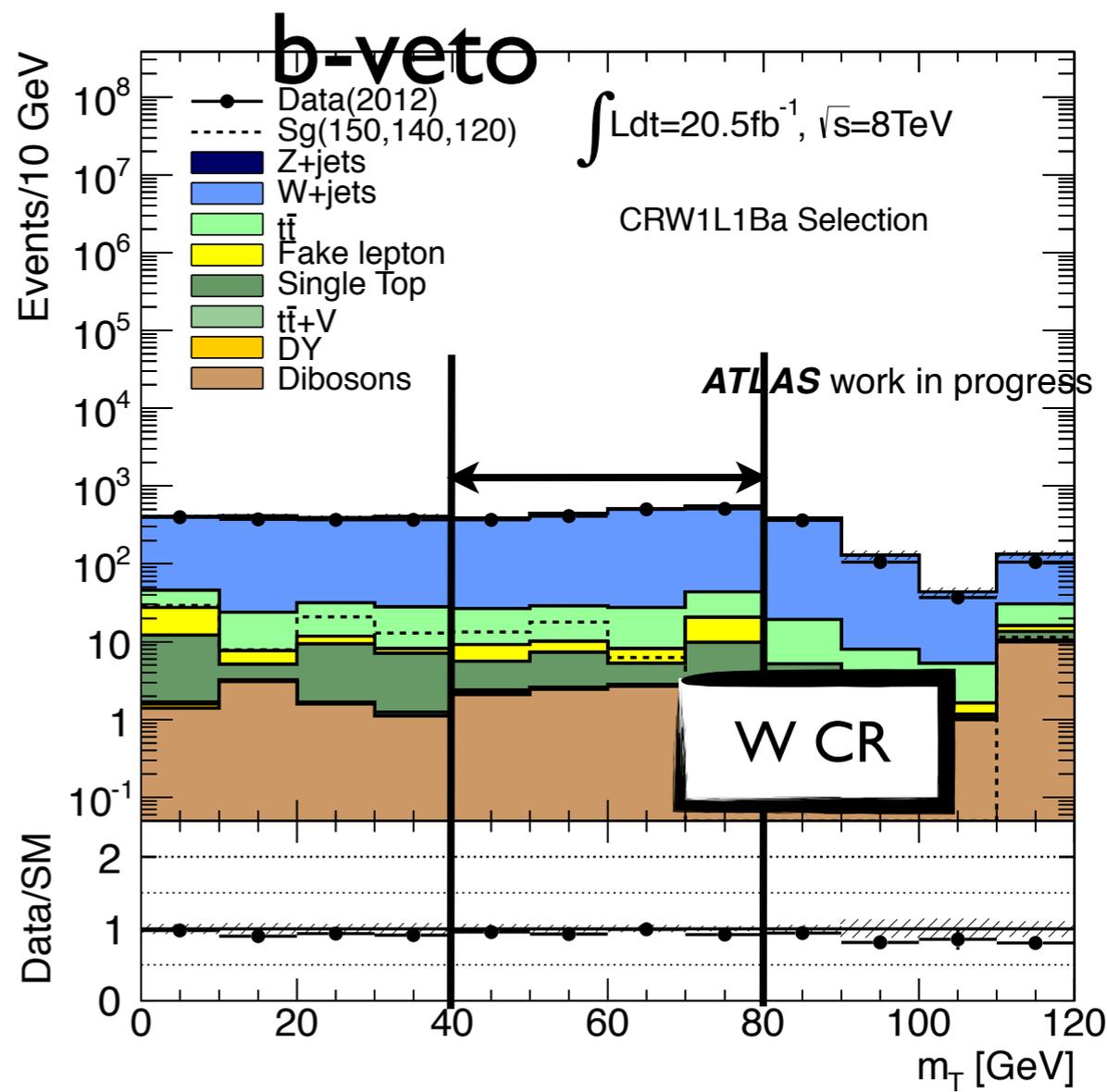
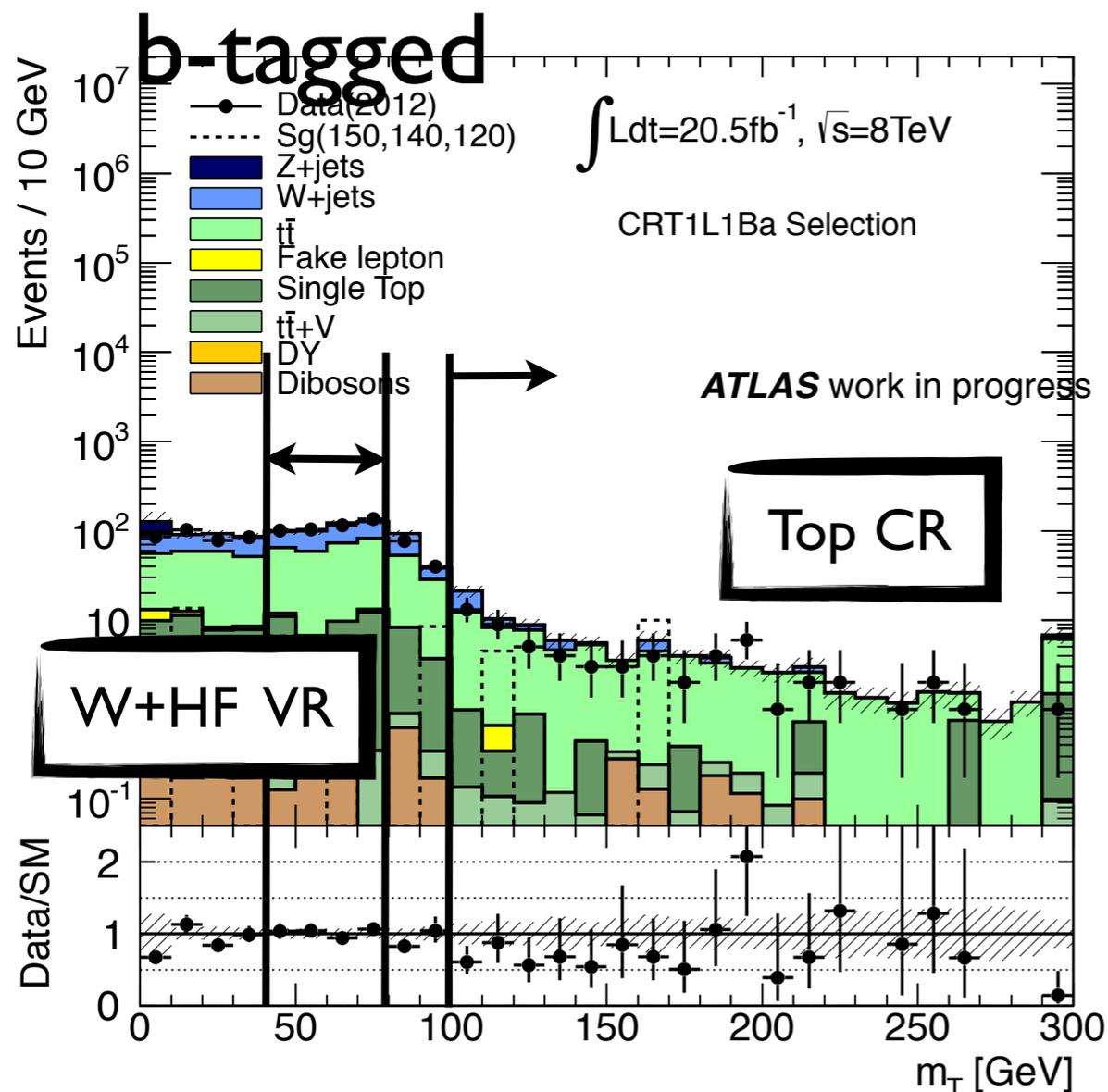
$m_{CT} \sim 130$ GeV data/MCの不一致理解を進めている

W+Light flavor (LF)ジェットがメイン

=>LF/HF比の不確定性(24%)を系統誤差に

コントロール領域におけるData / MC 比較 (ISR+bjet)

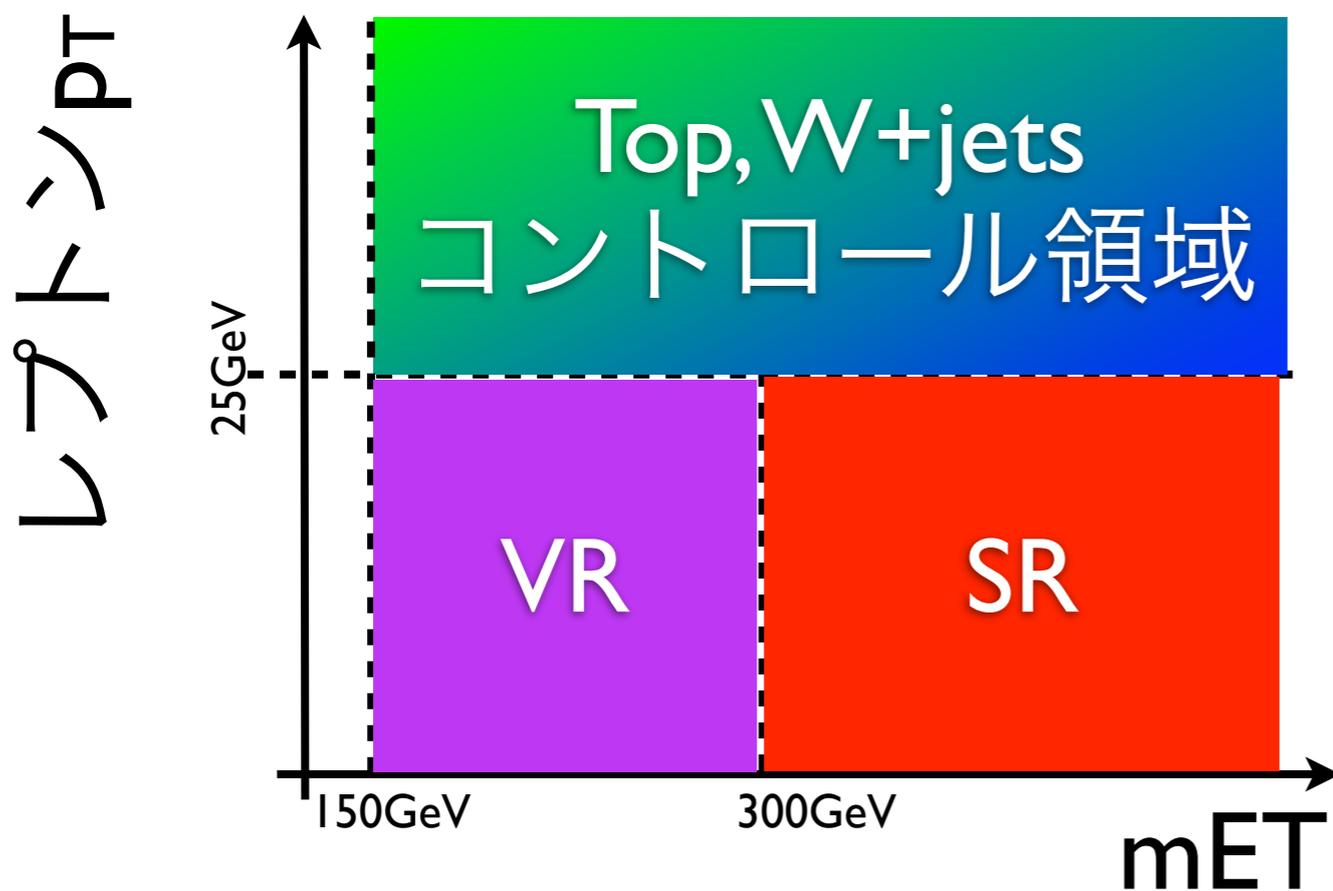
- コントロール領域(CR)はHard lepton領域で定義。(p_T>25 GeV)
それ以外は基本的に信号領域と同じkinematics領域を見る
- Top: b-tag, W: b-vetoで統計、purityを保つようにCRを設定



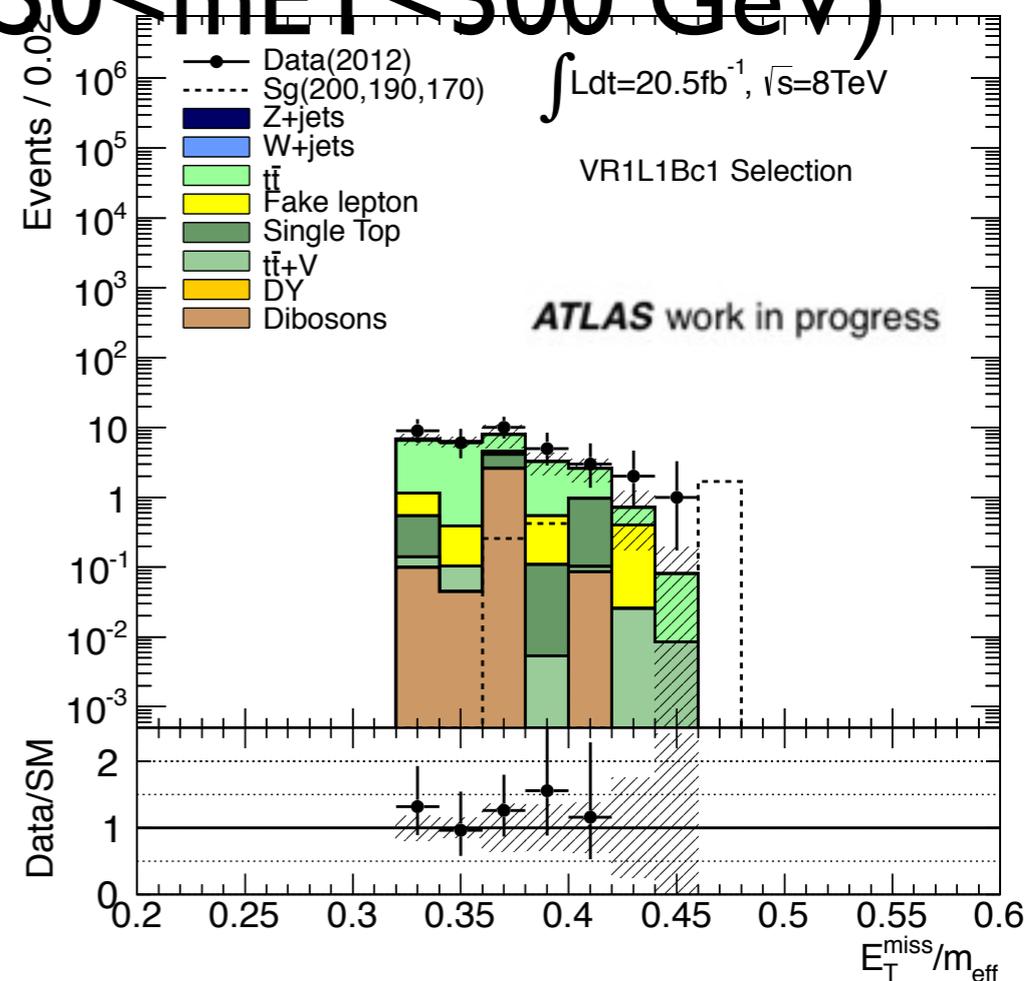
40 < m_T < 80 GeVのヤコビアンピークを用いて
W+Heavy Flavor(HF)の確認領域(VR)とする

バックグラウンド見積もりの結果

- 主な系統誤差:
 - CR→SR外挿の際の誤差 10-40%
 - ジェットエネルギースケール ~5%
- ISR解析ではコントロール領域の分布がreasonableであったので $150 < mET < 300$ GeV で定義した確認領域 (VR) にフィット結果を外挿し、妥当性を確認した (1σ)



Validation Region ($150 < mET < 300$ GeV)



backup

Fakeの見積もり (Matrix Method)

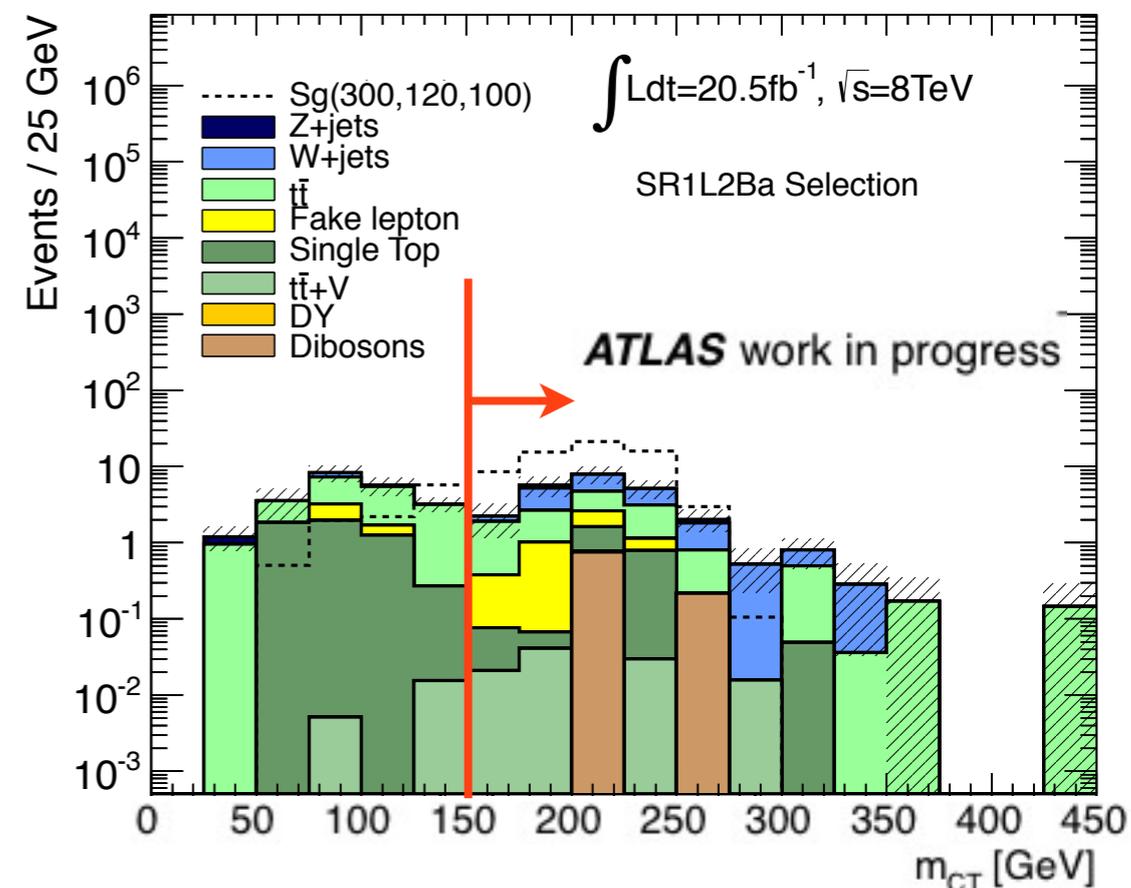
- Fakeレプトンは以下の関係から見積もる

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

- N_{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_{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)
- ϵ_{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
- ϵ_{fake} (fake efficiency): $m_{\text{ET}} < 30$ GeV, $m_{\text{T}} < 40$ GeVのfakeをenchanceしたCRで見積もる
- (p_{T}, η) 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

事象選別 (2bjet)

	SR1L2B	
	SR1L2Ba (for lower stop mass)	SR1L2Bc (for lower stop mass)
$p_T \mu(e)$	$6(10) < p_{T,lep} < 25 \text{ GeV}$	
MET	$> 200 \text{ GeV}$	$> 300 \text{ GeV}$
jets	leading 2jets with $p_T > 60 \text{ GeV}$, 3rd jet veto with $p_T < 50 \text{ GeV}$	
h_T	$< 50 \text{ GeV}$	no cut
m_{CT}	$> 150 \text{ GeV}$	$> 200 \text{ GeV}$
$\Delta\varphi_{min}$	> 0.4	



- Co-transverse mass m_{CT} :

$$m_{CT}^2 (bjet1, bjet2) = [E_{T,bjet1} + E_{T,bjet2}]^2 - [\vec{p}_{T,bjet1} - \vec{p}_{T,bjet2}]^2$$

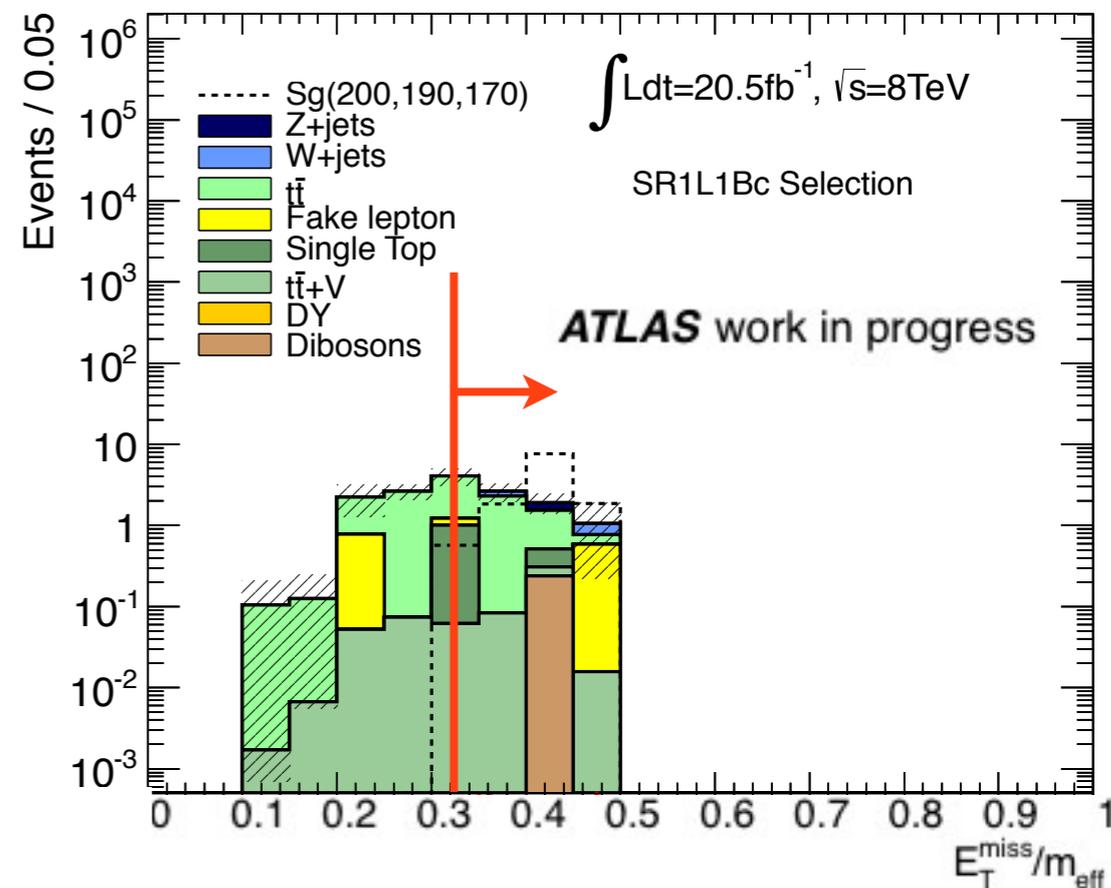
$$(E_T = \sqrt{p_T^2 + m^2})$$

は崩壊生成粒子がback-to-backの場合最大

- $t\bar{t}$ 系からの2本のbjetで組むとtopの質量からWを差っ引いた分 ($\sim 135 \text{ GeV}$)が上限
- 高い m_{CT} 要求で主要なバックグラウンドは $W+b\bar{b}$
Semi-leptonic $t\bar{t}+charm$ でcをmis-bTagする場合がsubdominant

事象選別 (ISR+bjet)

	SRILIB	
	SRILIBa (for lower stop mass)	SRILIBc (for lower stop mass)
$p_T \mu(e)$	$6(10) < p_{T,lep} < 25 \text{ GeV}$	
MET	$> 250 \text{ GeV}$	$> 300 \text{ GeV}$
Njets	≥ 3	
leading jet	$> 180 \text{ GeV}$ (not b-tagged)	
sub jets	$> 40 \text{ GeV}$	$> 25 \text{ GeV}$
bjet	at least one	
m_T	$> 100 \text{ GeV}$	
m_{ET}/M_{eff}	> 0.32	



- High m_T と jet multiplicity の要求から W+jets バックグラウンドはほぼ抑制
- 主なバックグラウンドは $t\bar{t}$
- Effective mass:

$$m_{eff} = E_T^{miss} + p_{T,lep} + \sum p_{T,jet}$$

の中に含まれる m_{ET} の割合が大きい事を要求 (ターゲットとする ΔM の小さい領域では bjet はソフトになり、 m_{ET} の割合が上がる)