



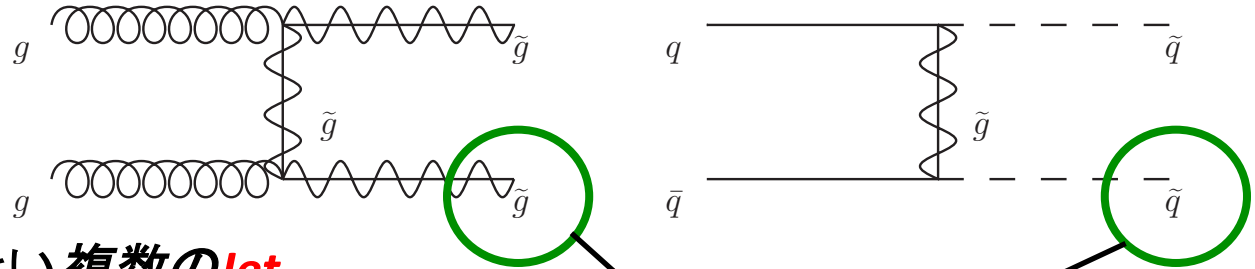
LHC-ATLAS実験における 1レプトンモードでの 超対称性粒子の探索

佐々木雄一、片岡洋介^A、
金谷奈央子^A、浅井祥仁

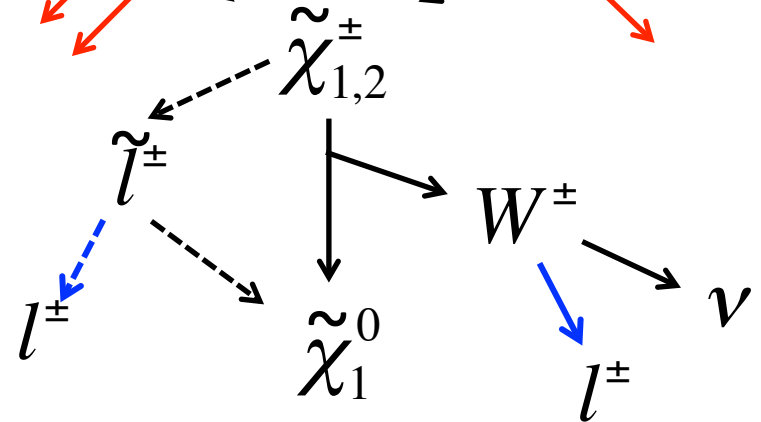
東大理、東大素セ^A

ターゲットとするトポロジー

- 強い相互作用で生成される超対称性粒子



- 横方向運動量の大きい**複数のJet**
- EWゲージノがWとLSPへ崩壊 等
→主なLepton (Electron, Muon) source
本解析では**Lepton 1本のみ**を要求
- LSPが検出器外に逃げる→**大きな E_T^{miss}**



以上のような、強い相互作用によって生成される重い超対称性粒子事象に共通するトポロジーを対象にして探索をおこなう。



Signal Region (SR) の設定

以下のような方針でSignal Regionを設定する。

- Jet数が多いトポロジーを要求
→ $p_T > 80\text{GeV}$ のJetを少なくとも4本要求
 - 比較的軽いSUSYに対しても感度を保ちたい
→ $m_{\text{eff}} > 800\text{GeV}$
 - W+jets事象を削る必要
→ $m_T > 100\text{GeV}$
- ➔ 強い相互作用による超対称性粒子生成に広く感度を持つSignal Region。
特に、Multi Jetとなる $\sim g \sim g$ 生成にフォーカスしている。

$$m_T = \sqrt{2p_T^{\text{lep}} E_T^{\text{miss}} (1 - \cos \Delta\Phi(p_T^{\text{lep}}, E_T^{\text{miss}}))}$$

: Leptonと E_T^{miss} から計算した横方向不変質量

$$m_{\text{eff}} = p_T^{\text{lep}} + E_T^{\text{miss}} + \sum p_T^{\text{jet}}$$

: 全オブジェクトの $|p_T|$ を足しあわせた量

SR :

$$p_T^{\text{lepton}} > 25\text{GeV}$$

$$p_T^{\text{jet}} > 80, 80, 80, 80 \text{ GeV}$$

$$E_T^{\text{miss}} > 250\text{GeV}$$

$$m_T > 100\text{GeV}$$

$$E_T^{\text{miss}}/m_{\text{eff}} > 0.2$$

$$m_{\text{eff}} > 800\text{GeV}$$



主なバックグラウンドと使用したデータ

主なバックグラウンド:

W+jets	<ul style="list-style-type: none">W \rightarrow lv 崩壊によるLeptonとE_T^{miss}
ttbar	<ul style="list-style-type: none">tt\rightarrowbblvqq 崩壊によるLeptonとE_T^{miss}tt\rightarrowbblvlv 崩壊のうち、一方のLeptonが検出されない場合
(QCD)	<ul style="list-style-type: none">Multi-jet事象において、JetをLeptonと誤認した場合 (E_T^{miss}要求後にはほとんど残らない。Signal Regionで<1事象)

その他: Z, Single Top, Diboson

使用データ:

2012.04.05-2012.06.18までに取得した積分ルミノシティ 5.8fb^{-1} のデータ。
重心系エネルギー $\sqrt{s}=8\text{TeV}$ 。

一回のバンチ交差ごとの平均衝突数(Pile up数): 20。

Monte CarloのPile up数分布はDataに一致するよう補正。

Data・Monte Carlo共に E_T^{miss} + Lepton Triggerを使用。



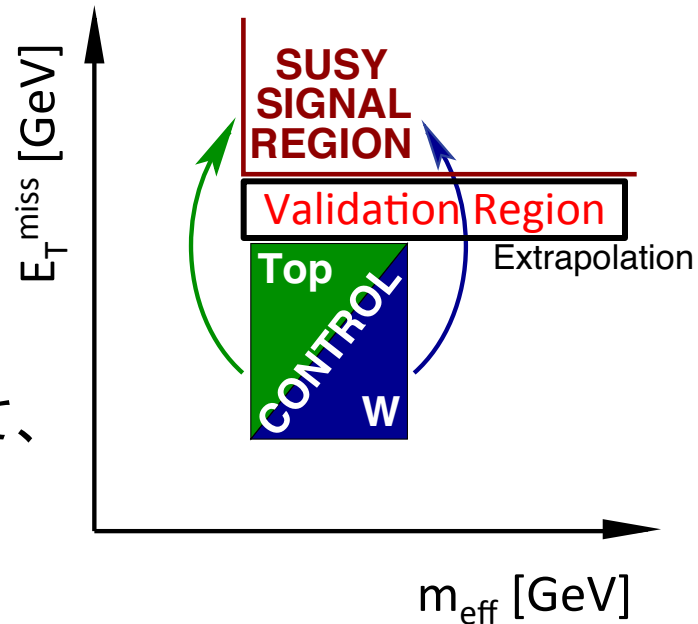
SMバックグラウンド事象数の見積り

W+jets, ttbar

- それぞれ、Control Region(CR)において規格化を行う。
- Monte Carlo (MC)の形を信じて、SRへとExtrapolate。

$$\begin{aligned}
 N_{pred_j}^{SR} &= (N_{data}^{CR_i} - N_{other\ bkg}^{CR_i}) \times \frac{N_{pred}(MC^j, SR)}{N_{pred}(MC^j, CR_i)} \\
 &= (N_{data}^{CR_i} - N_{other\ bkg}^{CR_i}) \times C_{CR_i \rightarrow SR}^j
 \end{aligned}$$

- Extrapolateの妥当性はValidation Region (VR)で確認。
- 実際には、CRへの他の成分の混入を考慮して、全成分を同時にフィットする。



Single top, Diboson

- (N)NLOによって計算された断面積で規格化。

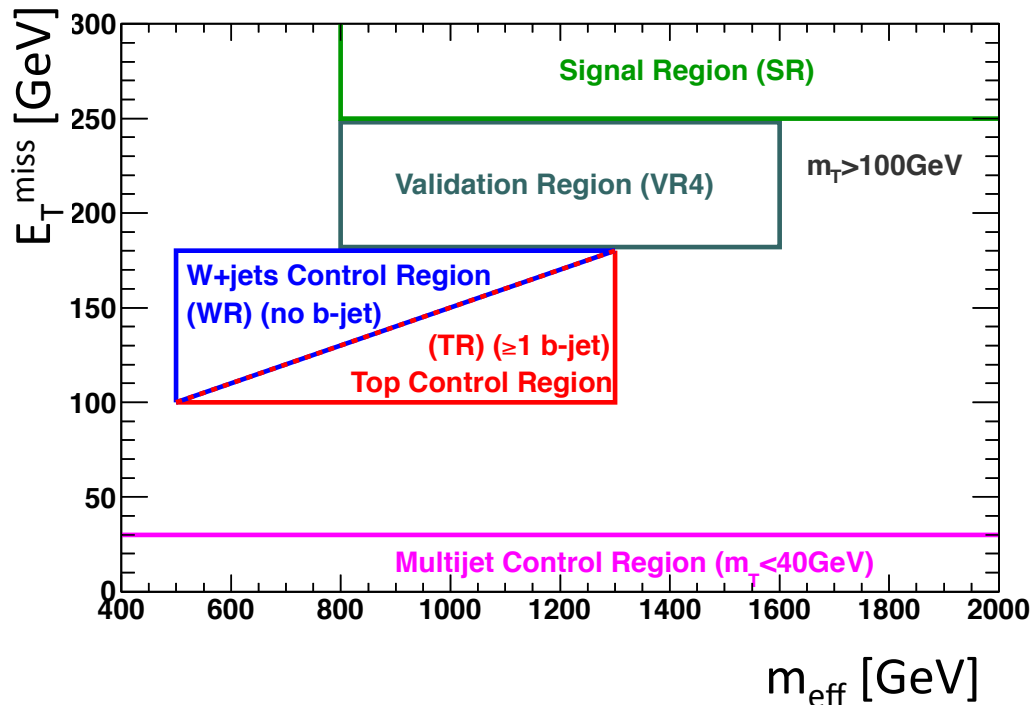
QCD

- “jetをleptonと間違えた”事象を積極的に捕まえて、そこから推定。



Control Region (CR) の設定

- W+jetsと、ttbar用のControl Regionを設定。
 - Signal Regionに極力近づけるため、同じJet、 m_T 条件を要求。
 - Signal Regionとの切り分けは、主に E_T^{miss} で行う。
- SR** : $E_T^{\text{miss}} > 250\text{GeV}$ **CR** : $E_T^{\text{miss}} = 100\text{--}180\text{GeV}$
- b-jetの有無によってW+jetとttbarのControl Regionを切り分ける。



CR :

$$p_T^{\text{lepton}} > 25\text{GeV}$$

$$p_T^{\text{jet}} > 80, 80, 80, 80 \text{ GeV}$$

$$E_T^{\text{miss}} = 100\text{GeV} - 180\text{GeV},$$

$$m_T > 100\text{GeV}$$

$$m_{\text{eff}} = 500\text{GeV} - 1300\text{GeV}$$

W+jetsのCR :

b-jetが無いことを要求

ttbarのCR :

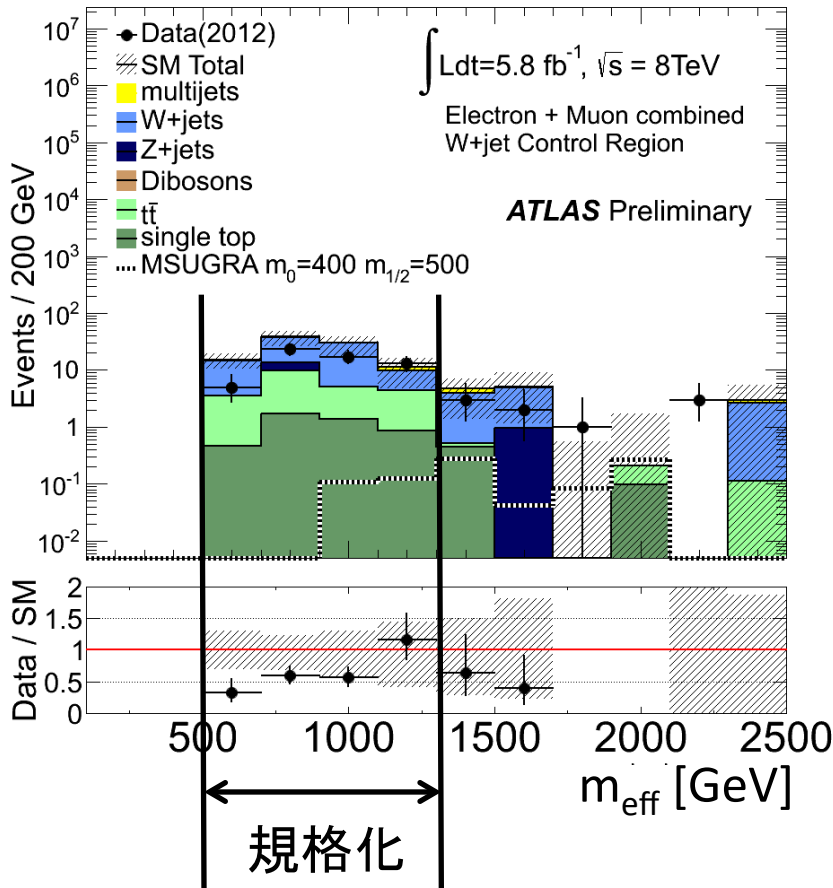
少なくとも一本のb-jetを要求



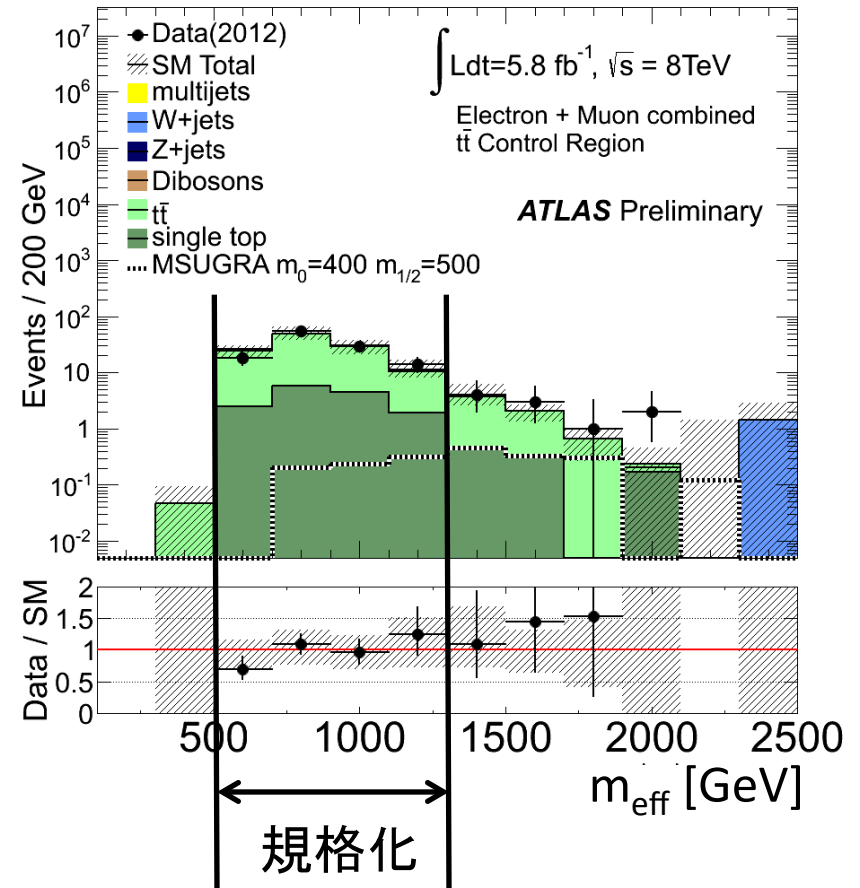
Control Regionでの m_{eff} 分布

- W+jets (左)と $t\bar{t}$ (右)のControl Regionにおける m_{eff} 分布。

W+jets のControl Region



$t\bar{t}$ のControl Region



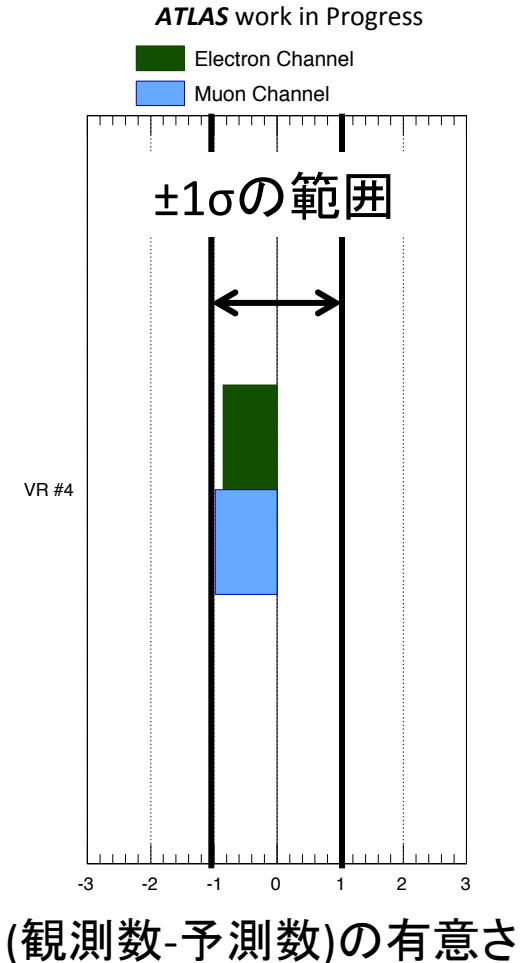


Validation Regionにおける妥当性の確認

- Extrapolationの妥当性を確認するため、Signal Regionのカットを緩めて統計を増やしたValidation Region (VR)を定義する。
 - * $E_T^{miss} : (SR) > 250 \rightarrow (VR) = 180 - 250$
 - * $p_T^{jet} : (SR) > 80, 80, 80, 80 \rightarrow (VR) > 80, 80, 60, 60$
- CRでのフィット後に、 $\pm 1\sigma$ 以内で無矛盾。

VRでの事象数・予測数 (系統・統計誤差を含めている)

項目	Electron ch.	Muon ch.
W/Z + jets	5.7 ± 2.2	13.5 ± 5.7
ttbar	27.3 ± 6.0	21.8 ± 4.9
Single top, Diboson	5.5 ± 1.3	4.9 ± 2.0
QCD	1.5 ± 1.9	0
合計	40.0 ± 6.9	40.2 ± 8.2
観測した数	32	30



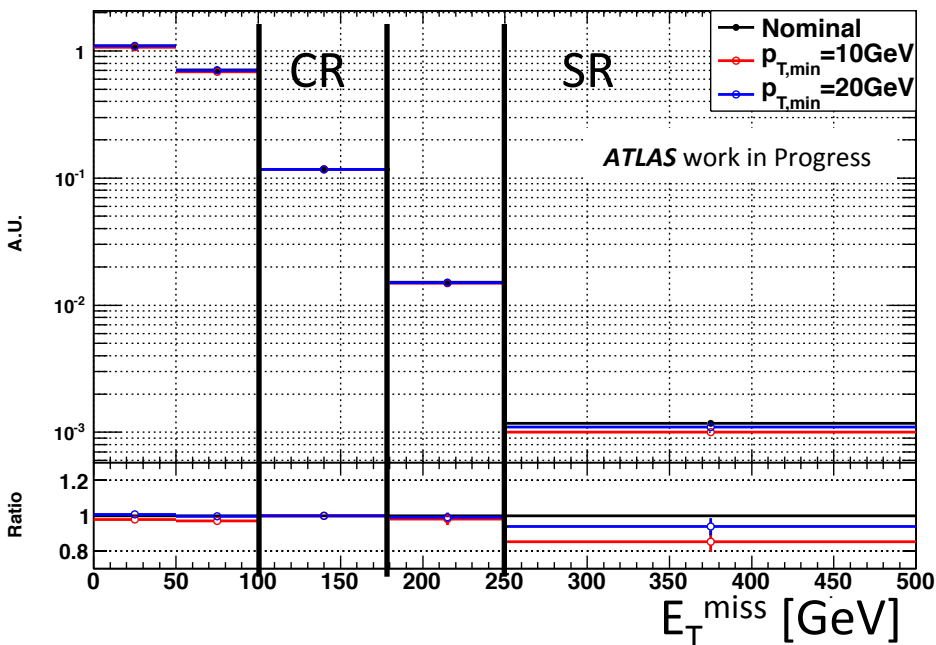


系統誤差の評価

以下の項目を評価し、不定性として考慮する。

- **検出器による系統誤差**：主にJetのEnergy ScaleとResolutionの不定性 (~20%)。その他、LeptonのEnergy Scale、Efficiency等。
- **Generatorの系統誤差**：CR->SRへのExtrapolationは主に E_T^{miss} に対して行う
→ E_T^{miss} の傾きの変化量をGeneratorのパラメータを変化させて調べた。

Generatorの系統誤差評価の一例



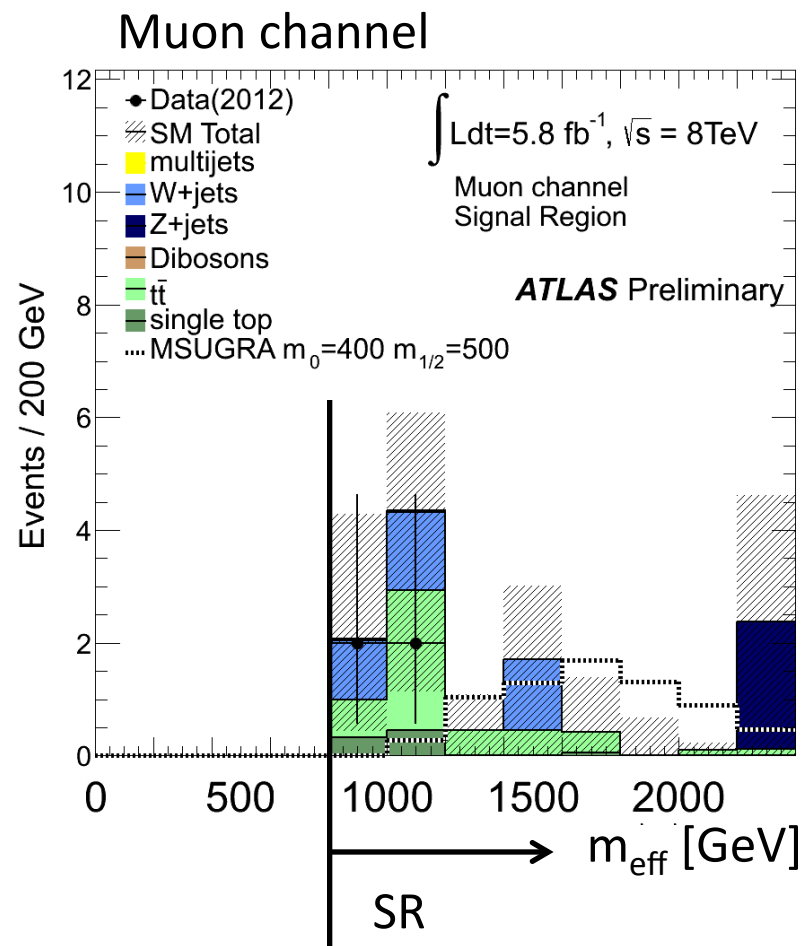
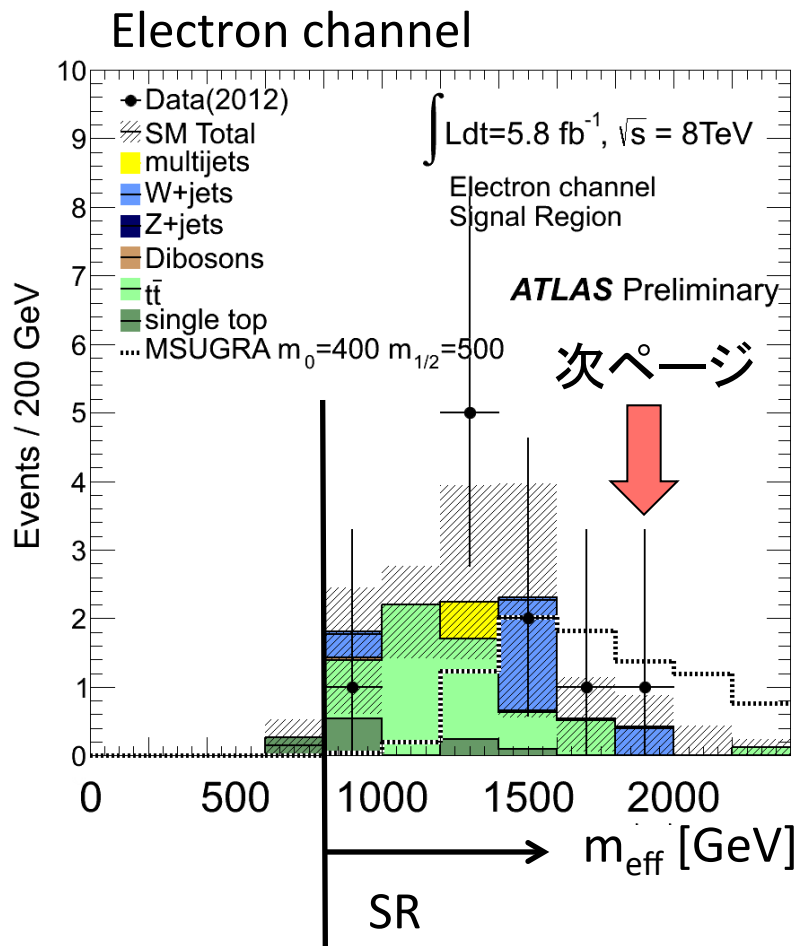
Generatorの不定性

バックグラウンド	不定性
W+jets	±20%
ttbar	±15%



Signal Regionでの m_{eff} 分布

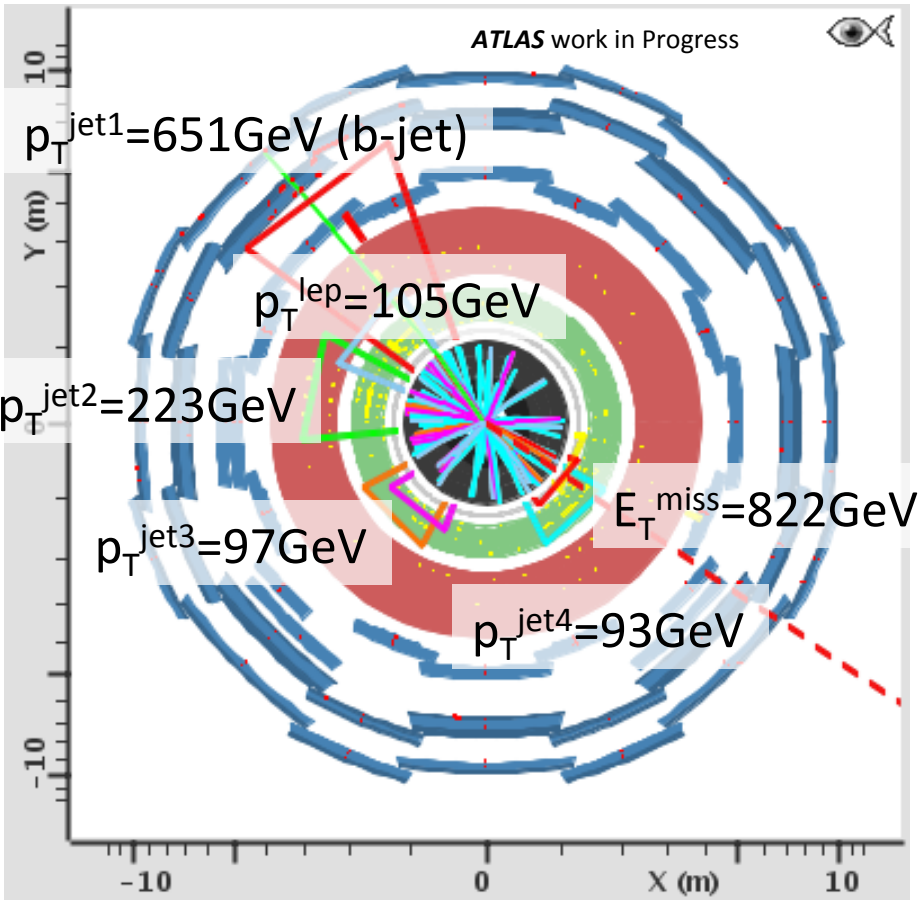
- Electron channel (左)と Muon channel (右)のSignal Regionにおける m_{eff} 分布。



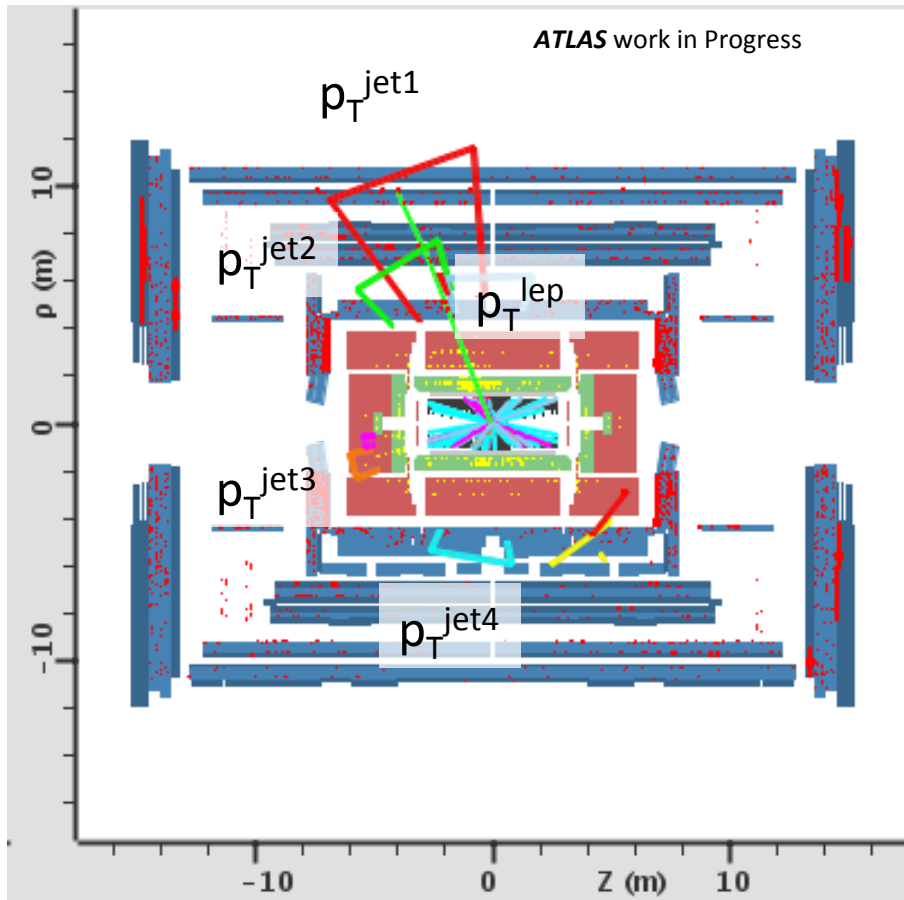
候補事象の例

標準理論だと考えると、 $tt \rightarrow bb \ell\nu \ell\nu$ 崩壊のうち一つの lepton が検出を逃れたものだと解釈出来る。

m_{eff}	=	1991 GeV
m_T	=	586 GeV
E_T^{miss}	=	822 GeV



ビームと鉛直な断面図

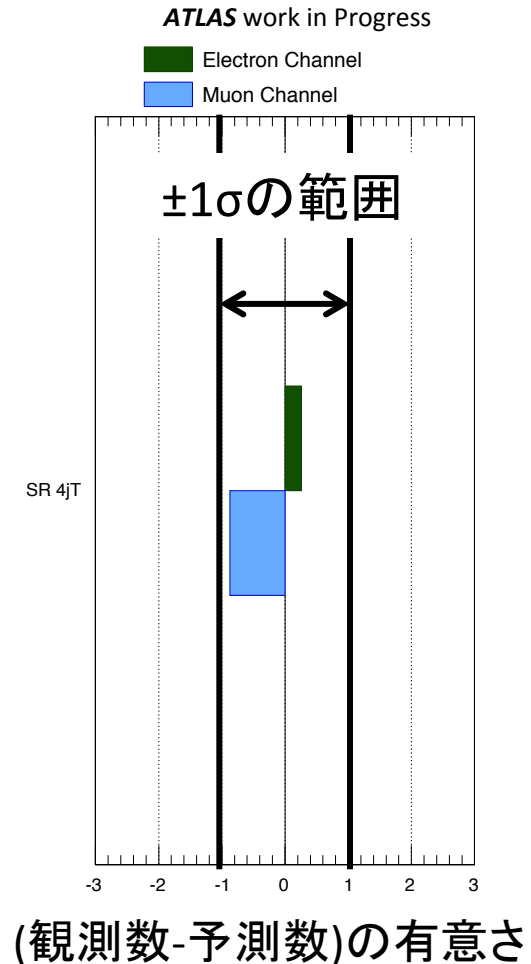


ビームと並行な断面図

- Control Regionで規格化したW+jets、ttbarをExtrapolateしてSRの事象数を評価する。
- この際、Generatorや検出器の不定性も取り入れたLikelihood関数を作り、計算に取り入れる。
- Signal Regionでの事象数は、予測値と無矛盾。

フィット結果 (系統・統計誤差を含めている)

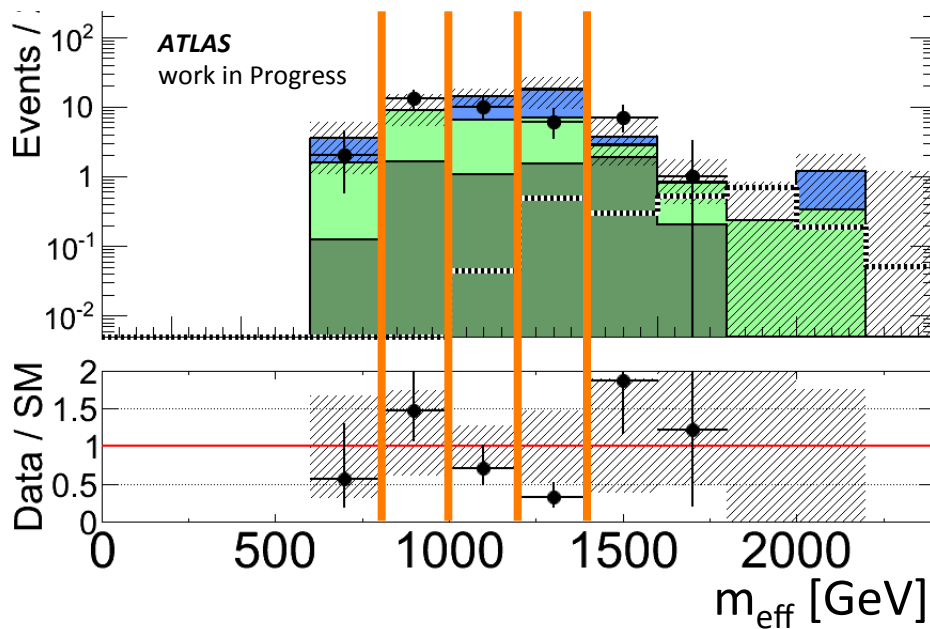
項目	Electron ch.	Muon ch.
W/Z + jets	1.5±0.7	4.2±2.3
ttbar	6.0±2.2	2.6±1.9
Single top, Diboson	1.0±0.7	0.9±0.3
QCD	0.4±0.6	0
合計	9.0±2.8	7.7±3.2
観測した数	10	4





mSugra modelに対する制限の計算

- Signal Regionに有意な超過は見られなかった
→mSugra modelに対する制限に焼きなおす。
- シグナルとバックグラウンドでは m_{eff} の形状が異なることを利用して感度の向上を図る。
- $m_{\text{eff}}=800\text{GeV}$ 以上を4binに切り分けてLikelihoodを定義
→分布形状の情報を取り入れて制限が計算される。



分布形状が分かるようカットを
緩めたSRでの m_{eff} 分布

点線: mSugraのシグナル
($m_0=400\text{GeV}$, $m_{1/2}=500\text{GeV}$)

オレンジ線: binの境界線

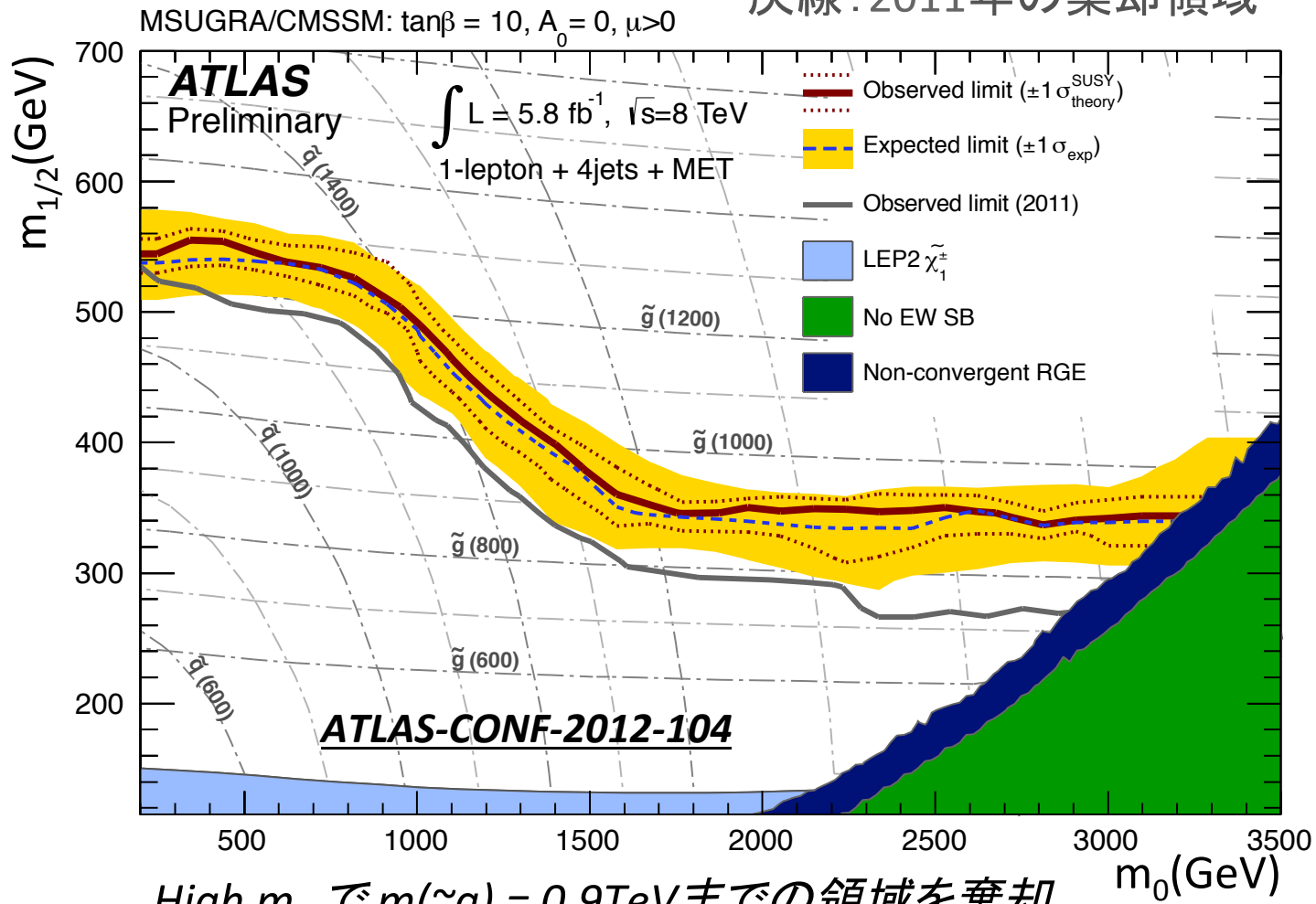
青: W+jets

緑: ttbar



棄却されたパラメータ領域

赤線: 2012年のデータでの棄却領域
灰線: 2011年の棄却領域



High m_0 で $m(\tilde{g}) = 0.9\text{TeV}$ までの領域を棄却
 $m(\tilde{g}) = m(\tilde{q})$ の条件では 1.2TeV までを棄却

- ATLAS検出器が2012年に取得した、重心系エネルギー8TeV、積分ルミノシティ 5.8fb^{-1} を用いて超対称性粒子探索を行った。
- $1\text{lepton} + E_T^{\text{miss}} + 4\text{Jets}$ を要求するトポロジーをターゲットとした。
- Signal Region中の観測事象数と予測事象数は無矛盾。
Electron channel : Exp.= 9.0 ± 2.8 , Obs.=10
Muon channel : Exp.= 7.7 ± 3.2 , Obs.= 4
- mSugraにおける制限の計算を行った。
- シグナルとバックグラウンドの m_{eff} 分布の形状の違いを利用し、感度を向上させた。
- High m_0 領域で $m(\tilde{g}) = 0.9\text{TeV}$,
 $m(\tilde{q})=m(\tilde{g})$ の条件で1.2 TeVまでの領域を棄却する結果を得た。

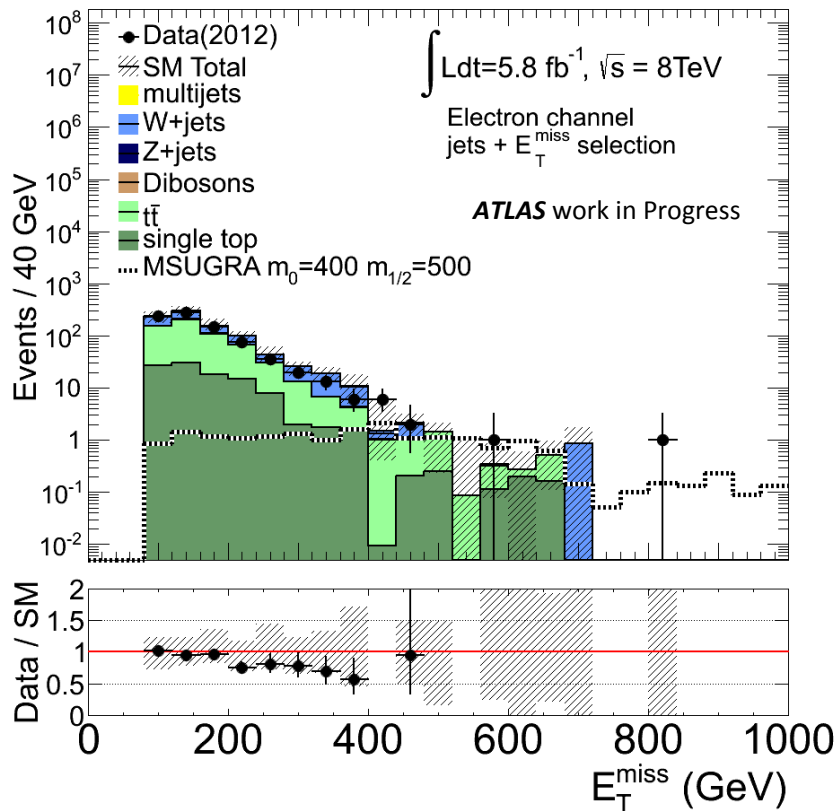
Reference : ATLAS-CONF-2012-104

バックアップ

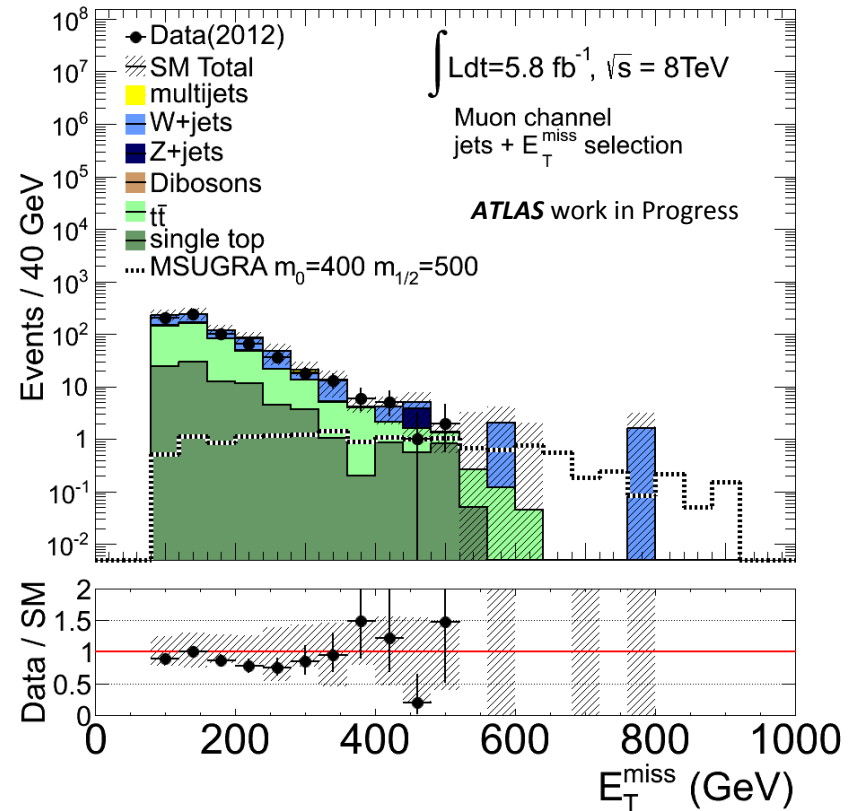


- $p_T^{\text{jet4}} > 80 \text{ GeV}$ を要求した後の E_T^{miss} 分布。

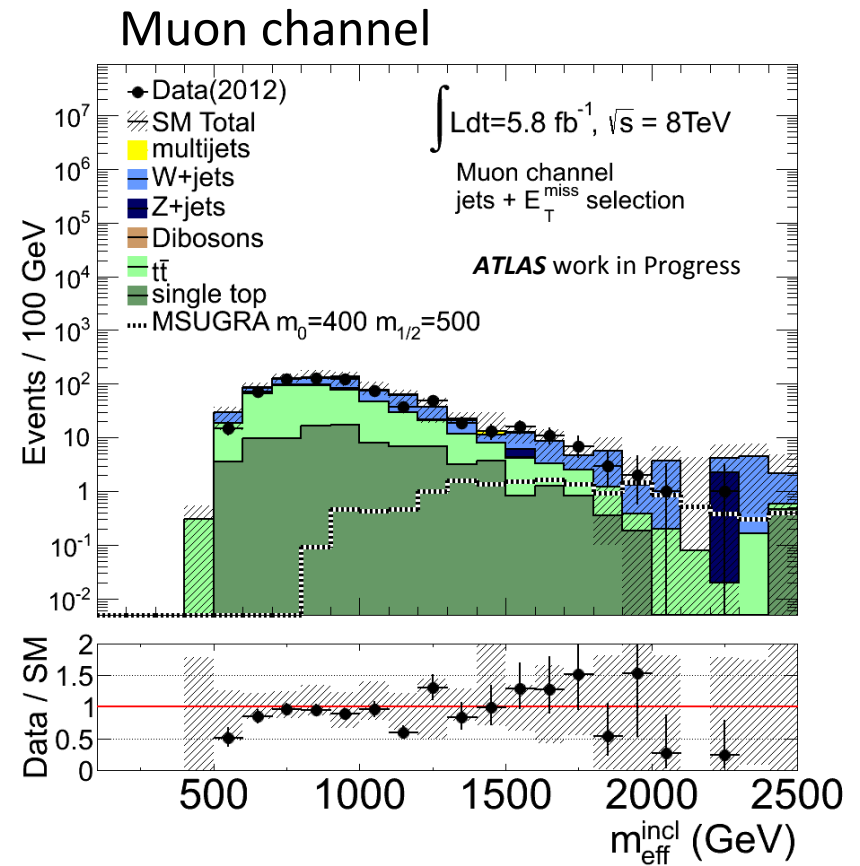
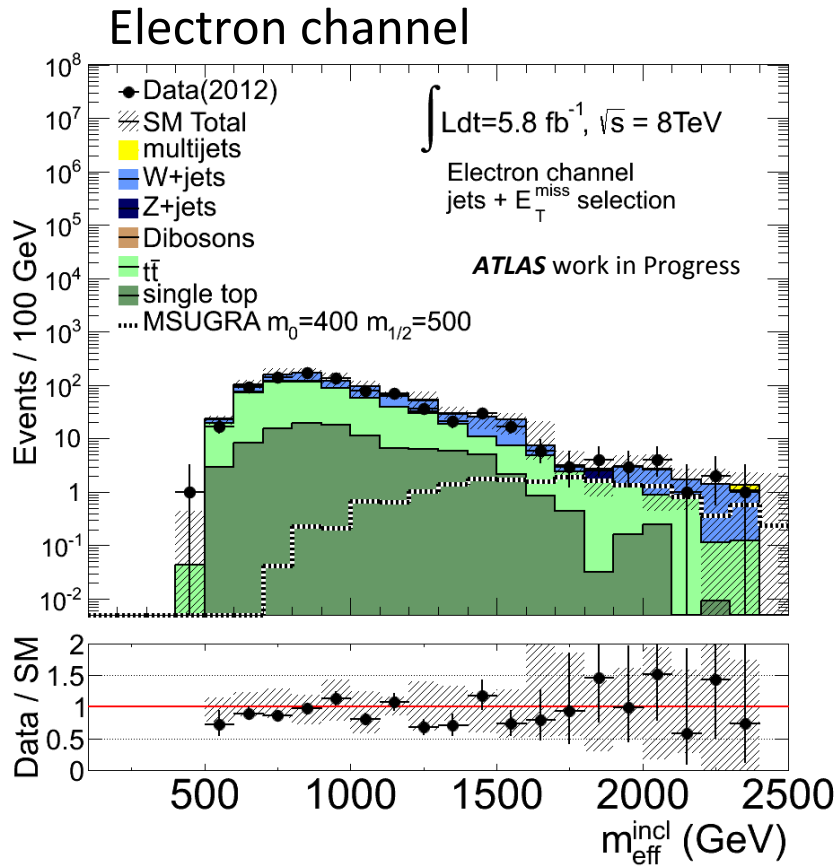
Electron channel



Muon channel



- $p_T^{\text{jet4}} > 80 \text{ GeV}$ を要求した後の m_{eff} 分布。

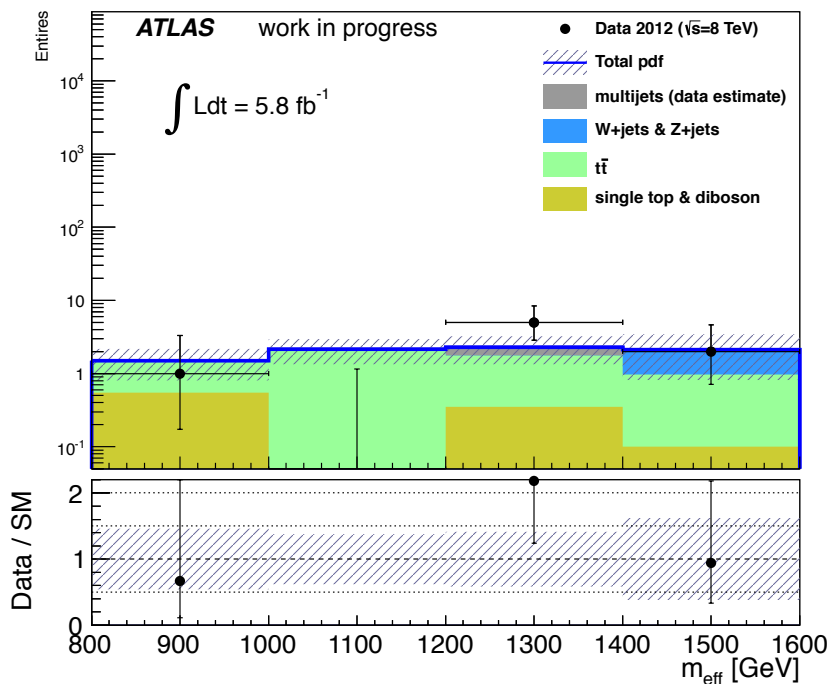




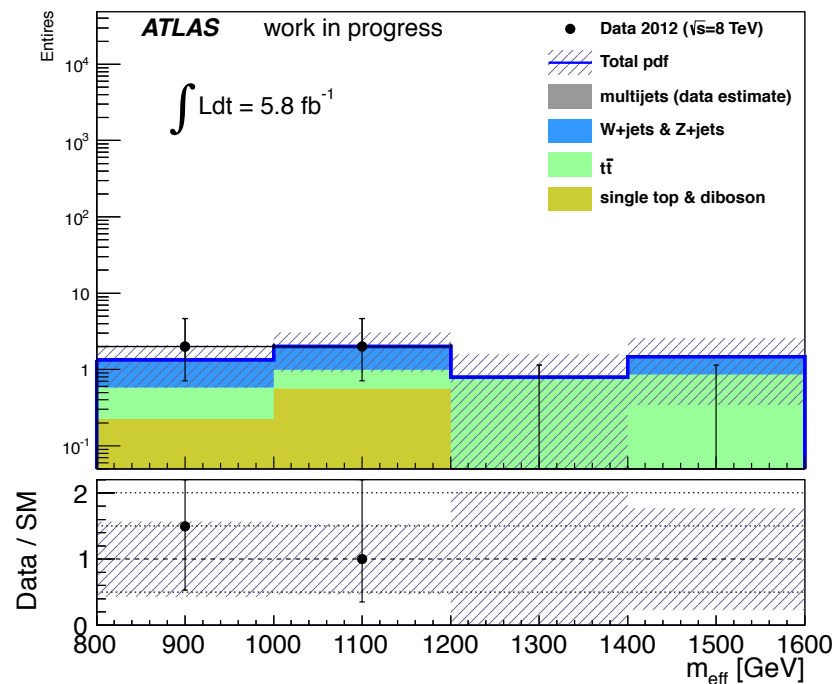
Signal Regionにおけるフィット後の m_{eff} 分布

- フィットを行った後のSignal Regionの m_{eff} 分布。

Electron channel



Muon channel

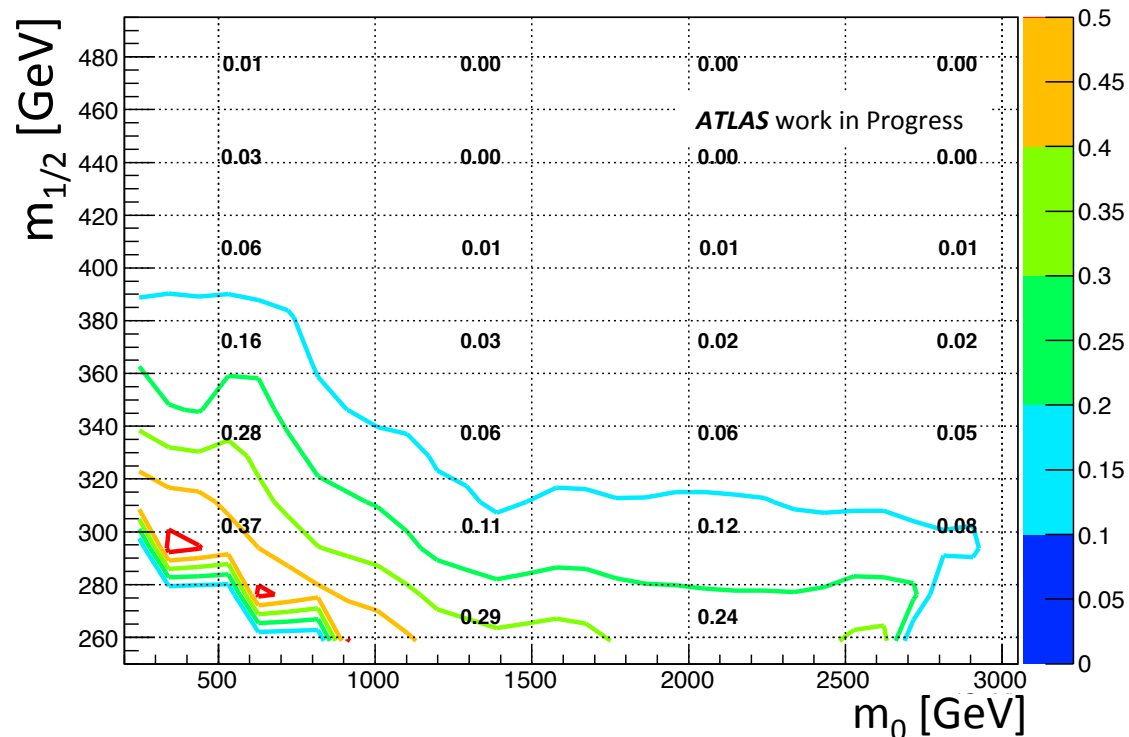




シグナルのControl Regionへの混入

- 棄却領域計算時のフィットは、シグナルがControl Regionへ混入することも考慮して行う。とはいえ、混入が少ない方が”発見”には望ましい。
- 2012年の棄却領域付近において7%以下。

Control Regionへのシグナルの混入割合

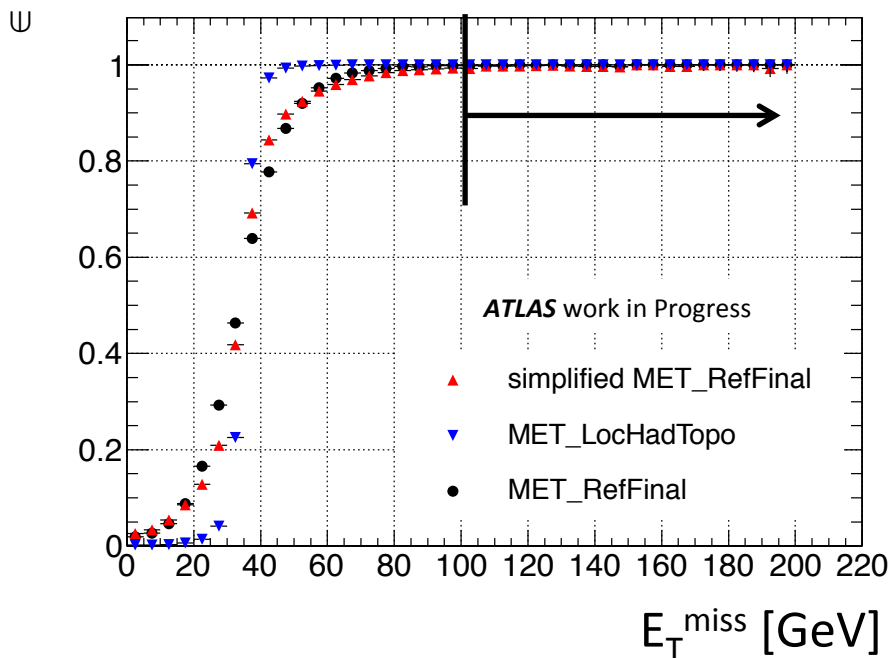




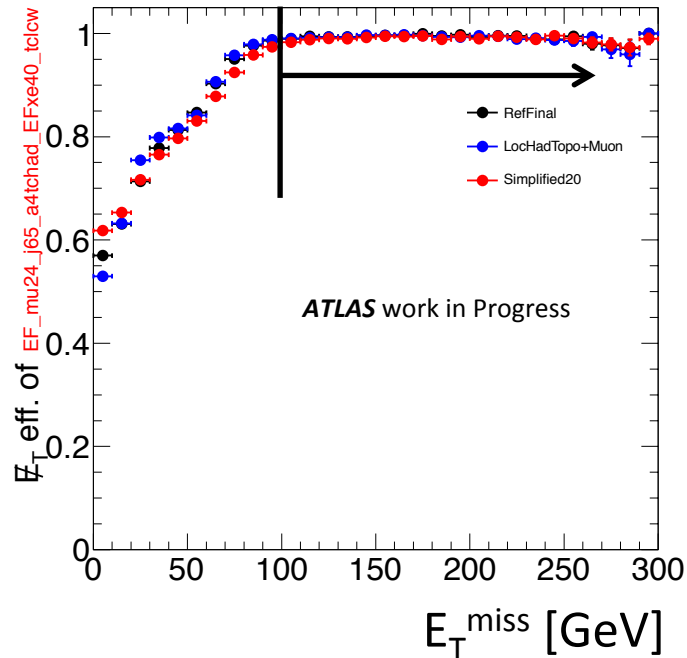
トリガ efficiency の評価

- 2012年はLuminosityが向上
→ Leptonのみを要求するTriggerではレートが高すぎる。
→ Lepton + E_T^{miss} を要求するTriggerを使用。
- $E_T^{\text{miss}} > 100\text{GeV}$ を要求すればEfficiencyは100%。
- Electron, Muon共に $p_T > 24\text{GeV}$ を要求。

Electron ch.

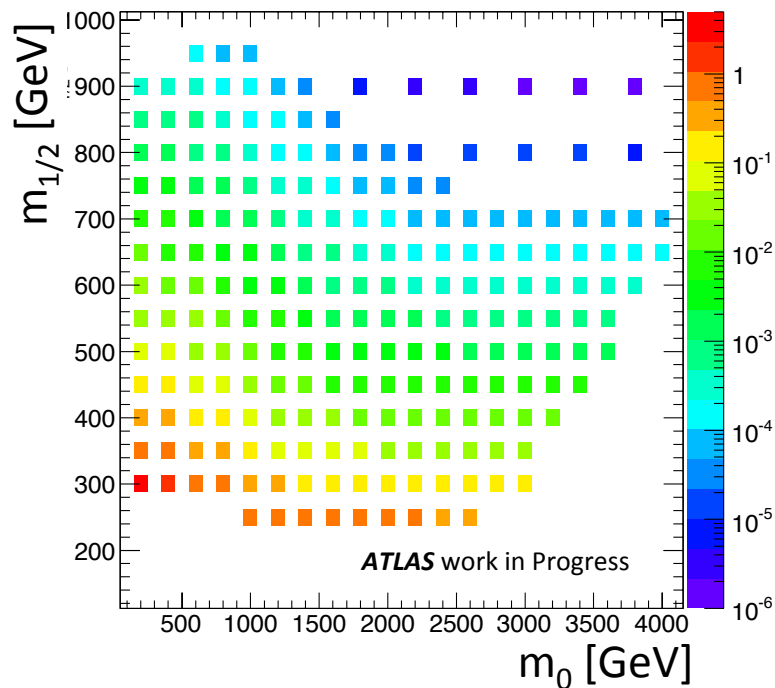


Muon ch.



- mSugra ($\tan \beta = 10, A_0 = 0\text{GeV}, \text{sign}(\mu)=+$)の m_0 - $m_{1/2}$ 平面上で棄却領域を計算する。
- 生成断面積の不定性も計算に含める。
→実際の棄却領域付近では20-30% (主にPDFの不定性由来)

生成断面積 [nb]



生成断面積の不定性 [割合]

