

SUSY 探索

齋藤 智之
(東京大学 ICEPP)

SUSYが現れ
ますように

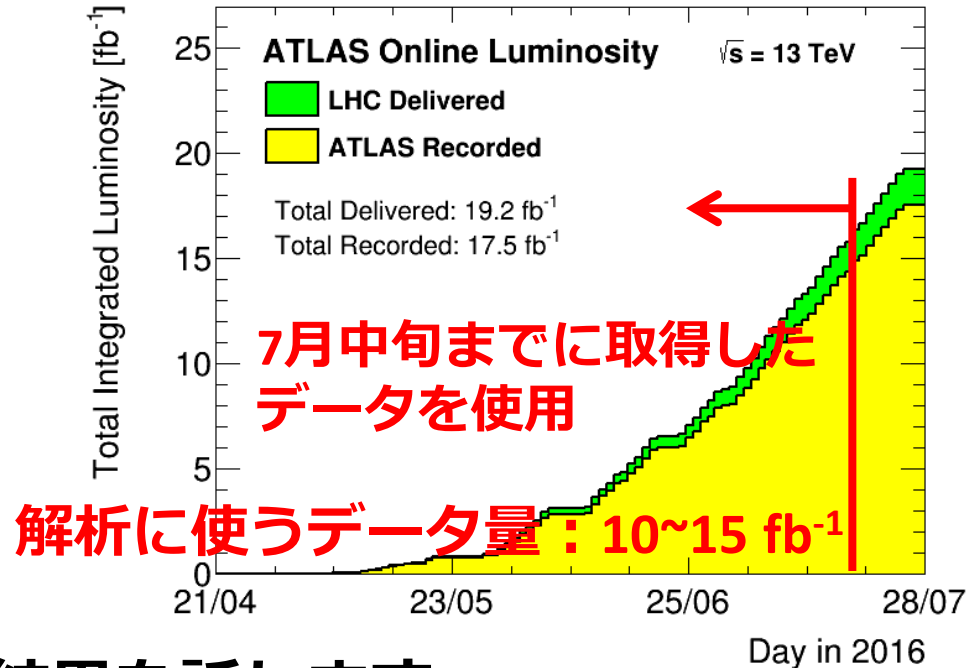
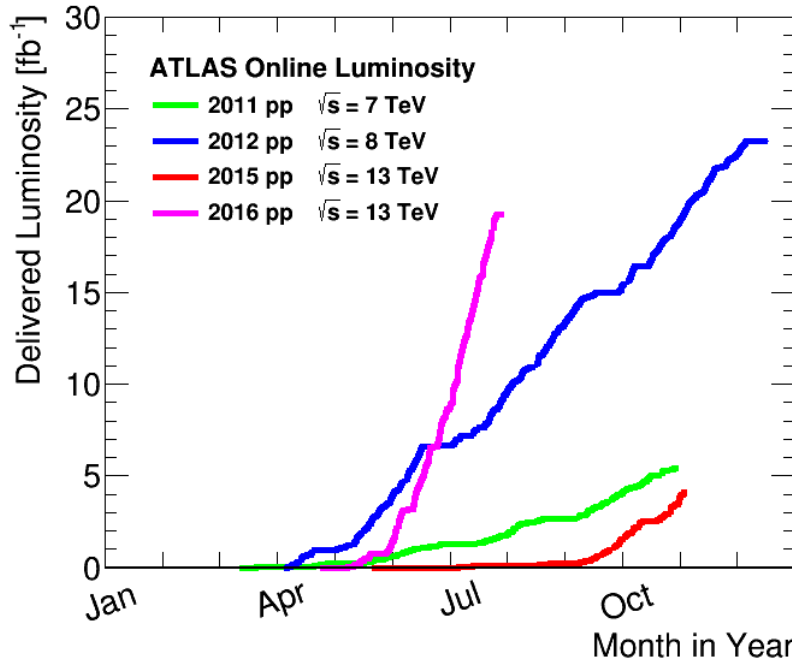
2016年9月5日 基研研究会
京都大学 基礎物理学研究所



目次

1. SUSY探索@LHCのポイント
2. ICHEP 2016の結果
 - グルイーノ探索
 - ストップ探索
3. まとめ

LHC-ATLAS

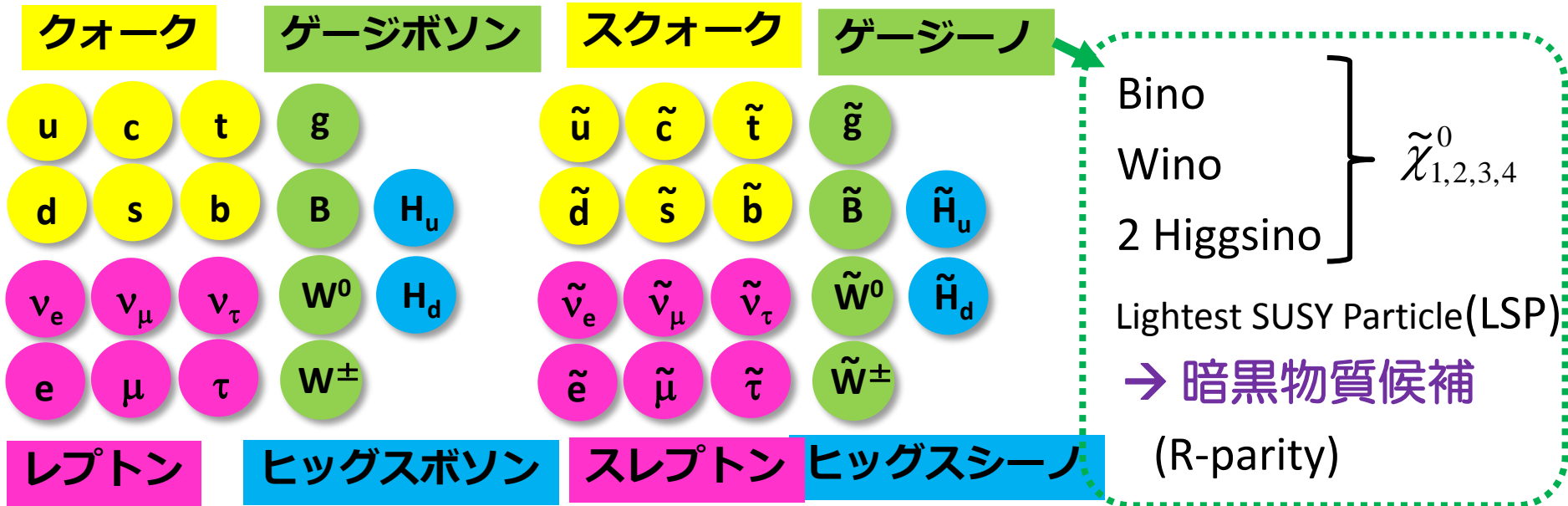


● ICHEP 2016時に公表された結果を話します

- ▶ LHCは7月絶好調。追いつくのが一苦労。
- ▶ データ取得してから2週間(実質1週間もない)で最終結果を出すのが使命
- ▶ 解析はギリギリ(当日?)まで続いた → **SUSYは15の新結果!**

超対称性 (SUSY)

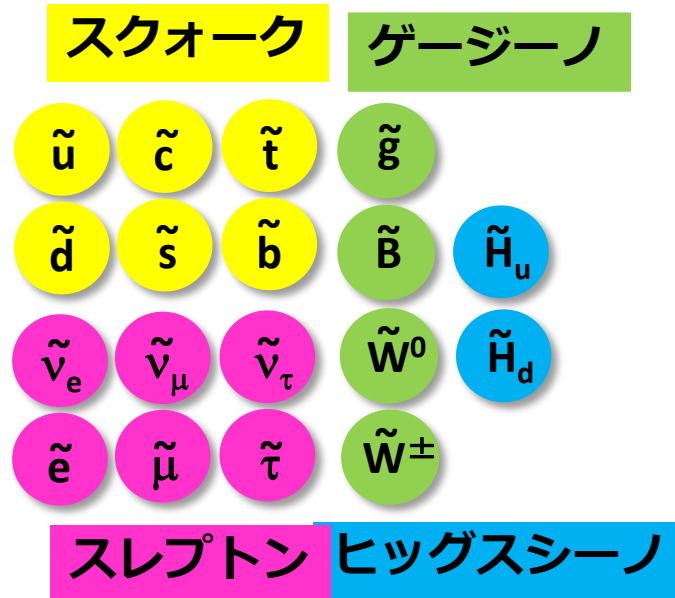
超対称性：フェルミオンとボソンを統一



Why SUSY ?

- ▶ 暗黒物質の良い候補を持つ
- ▶ ヒッグス質量 125 GeV (MSSMの予言 < ~130 GeV)
- ▶ 大統一理論 (電磁気力、弱い力、強い力の統合)

何をどう探す？

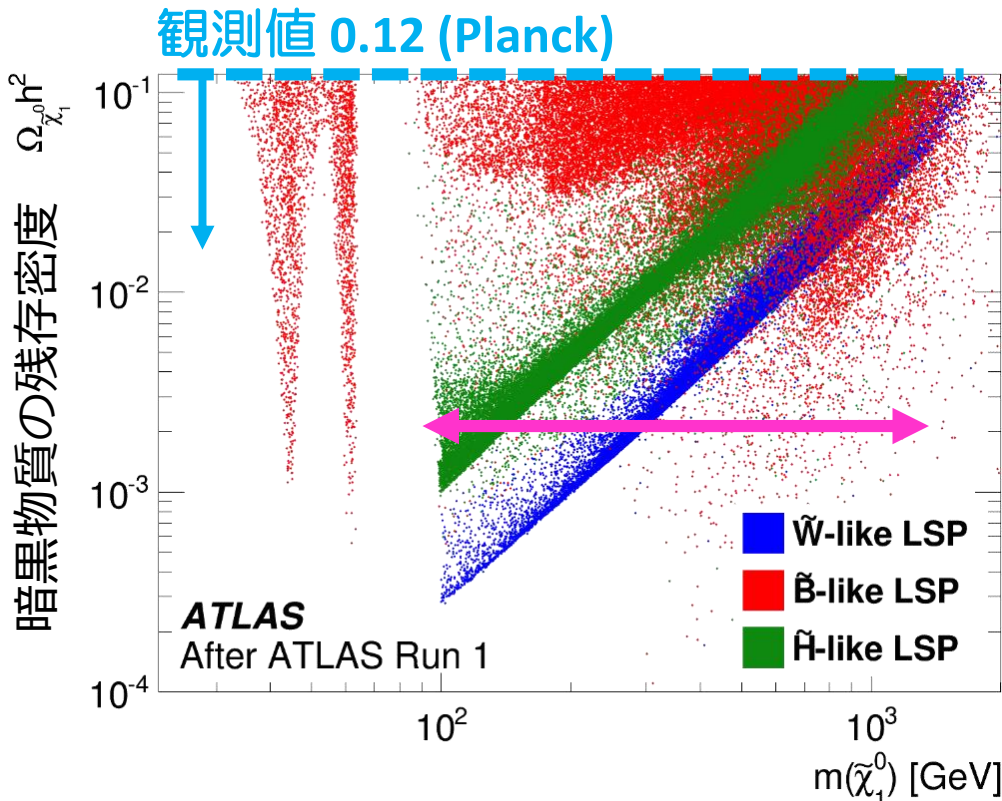


他の観測結果からの示唆から何が探しやすいか？
LHCが何が得意か？

Dark Matter

● Lightest SUSY Particle (LSP)がDM候補

- ▶ $(\tilde{B}, \tilde{W}, \tilde{H})$ が混じって、質量固有状態 $(\tilde{\chi}_{1,2,3,4}^0, \tilde{\chi}_{1,2}^\pm)$
- ▶ 混じり具合でDMの残存密度が変わる



消滅断面積が大きいほど
残存量少

観測値より多くならないため
には、**LSPは $O(0.1 - 1)$ TeV**
にある。

EWゲージノは軽そう？

ヒッグス質量からの示唆

● MSSMでヒッグス質量を125 GeVにするには、

① ストップ質量を大きくする

[**Heavy scalar SUSY**]

→ スクォークは重い

→ **ゲージノ探索が有望**

② ストップ-ヒッグス3点結合を大きくすることで
ストップは軽くできる。

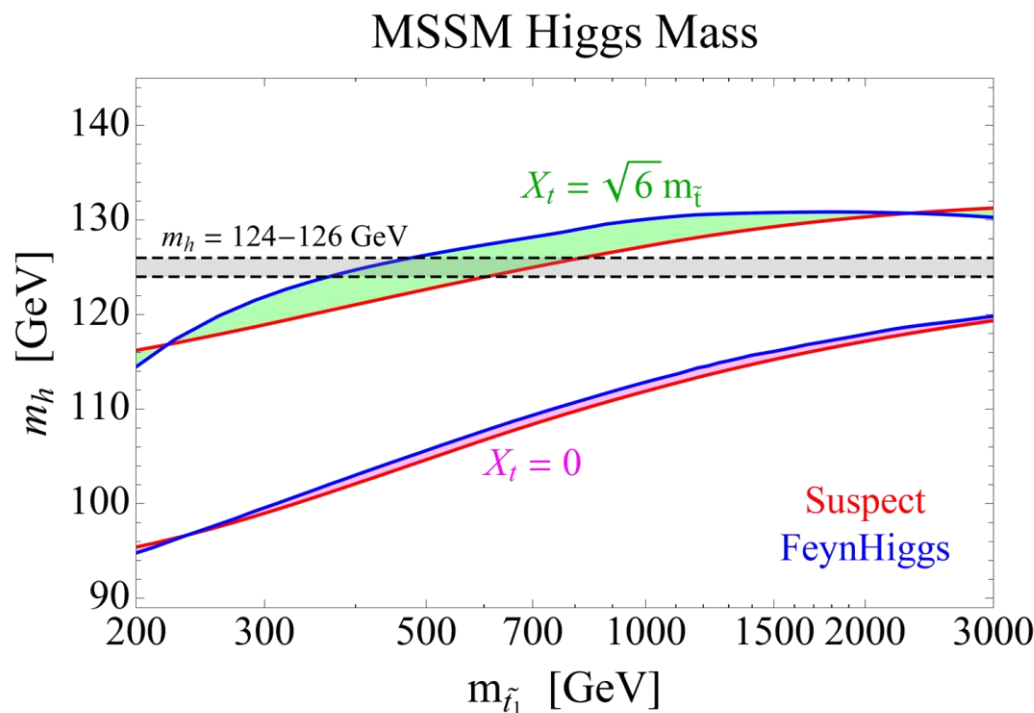
[**Maximal mixing**]

→ **軽いストップ**

(③ NMSSM等のおまけがある)

ゲージノ、ストップ探索が重要

[JHEP04\(2012\)131](#)



$$X_t \equiv \underline{A}_t - \mu \cot \beta$$

3点結合

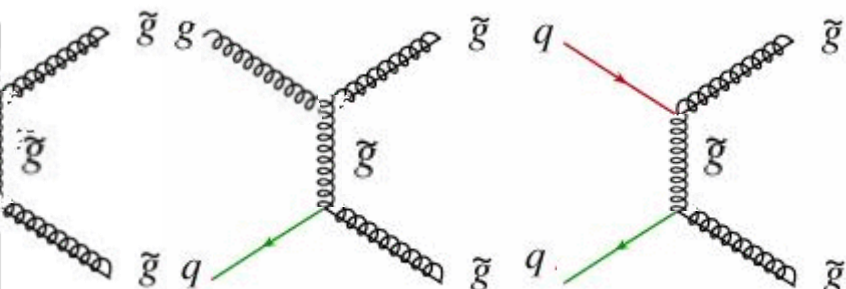
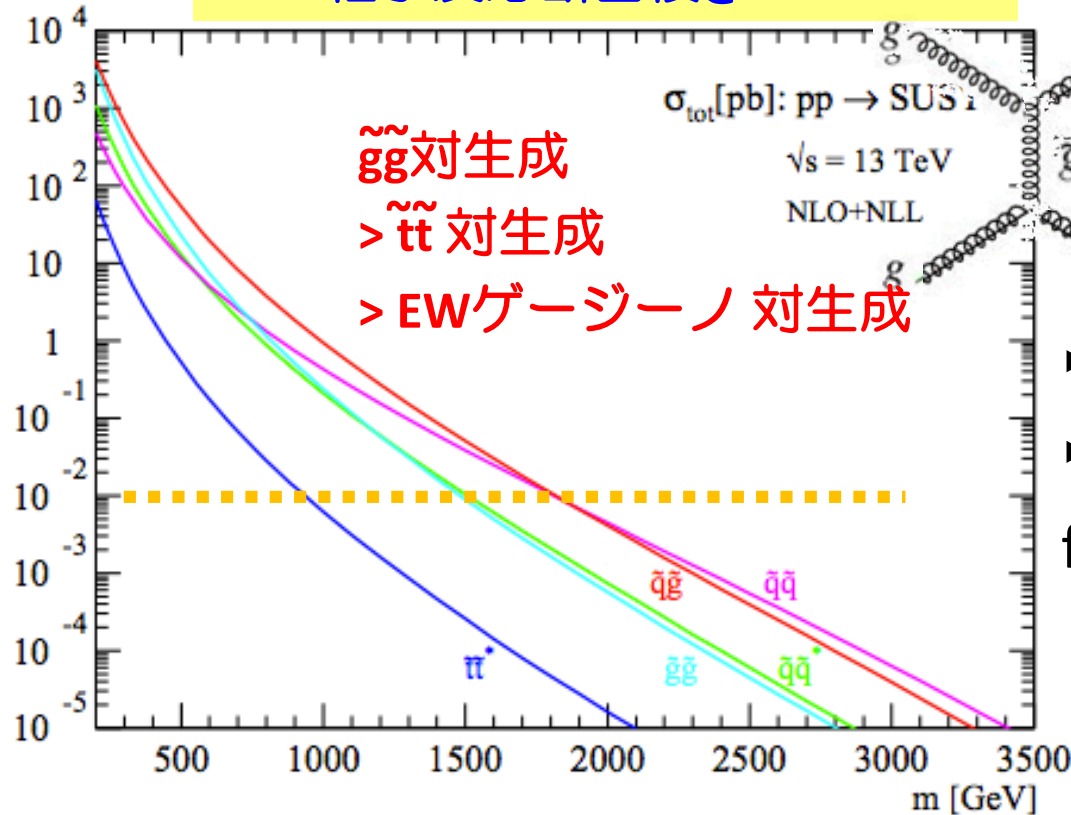
SUSY粒子生成@LHC

● LHCではColored SUSYの反応断面積が大きい(グルイーノ, スクォーク)

▶ SUSY粒子は対生成で作られる (R-parity保存)

$$R \equiv (-1)^{2S+3(B-L)}$$

SUSY粒子反応断面積@LHC 13 TeV



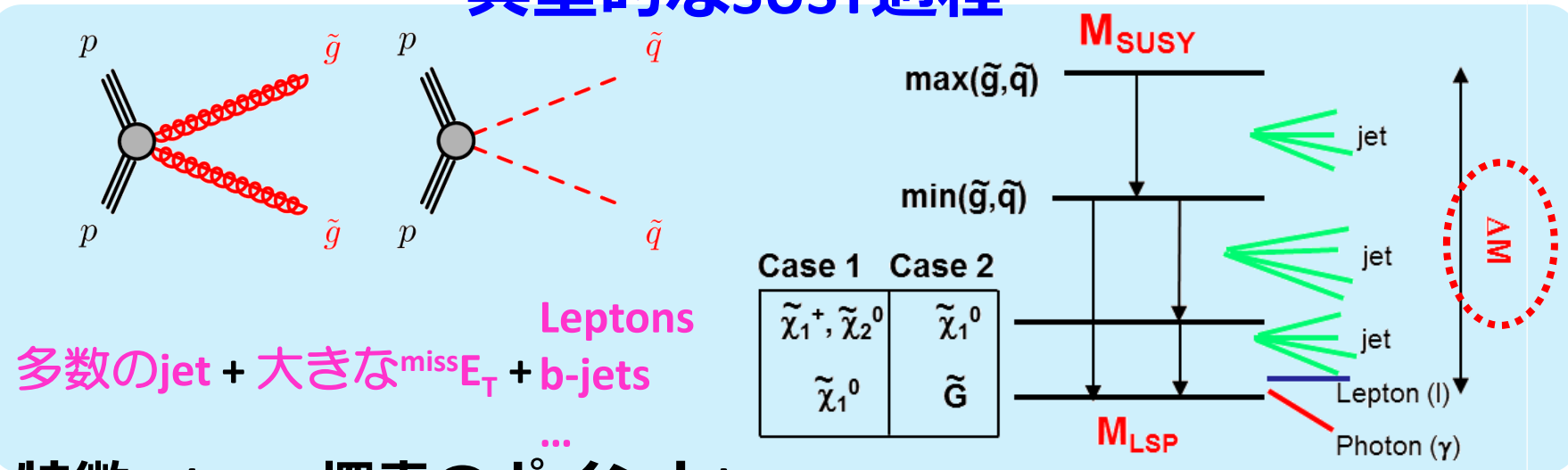
- ▶ 質量増加でlogで下がる
- ▶ 典型的な反応断面積: $O(10)$ fb for 1.5 TeV ($\tilde{g}\tilde{g}$) / 900 GeV ($\tilde{t}\tilde{t}$)

→ Run2 (~10 fb⁻¹のデータ)で
 100 event程度@ 13 TeV
 これを逃さず検出する!

SUSY 粒子崩壊過程 @ LHC

- 重いグルイーノ/スクォークはより軽い粒子へ崩壊

典型的なSUSY過程



特徴 (SUSY探索のポイント)

- ① 終状態に多数のjetと大きな E_T^{miss} → jetと E_T^{miss} 測定重要
- ② 信号はmissing 2つでピークを作らない、分布のテイルに出現
- ③ kinematicsは各粒子の質量差(ΔM)に依存

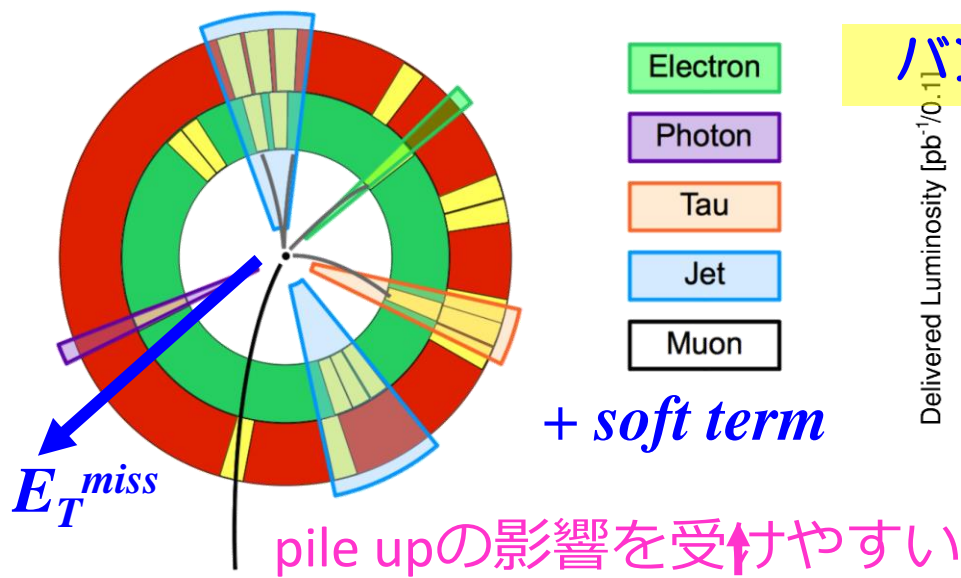
SUSYに特化した探索が必要 (次ページから①②③のコメント)

① E_T^{miss} Pileup対策

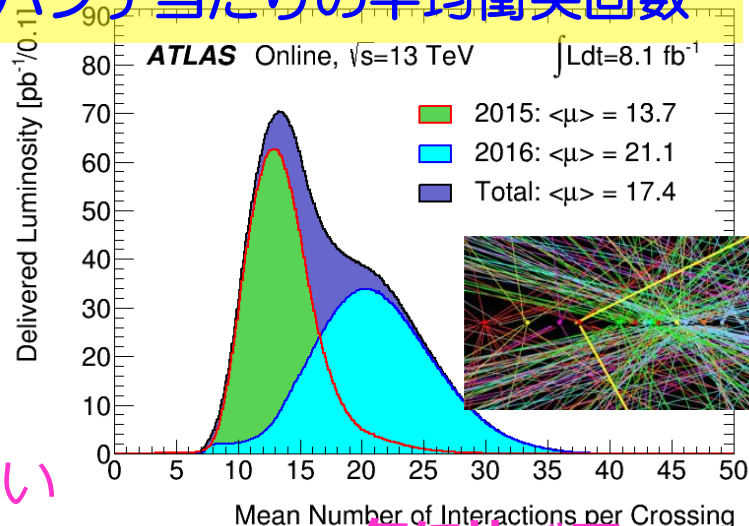
● SUSY探索では E_T^{miss} 測定が重要

- ▶ 「識別されたObjects」と「Soft term」の negative vector sum
- ▶ 問題はPileupによるresolutionの悪化

識別したObjectと関連づけられないtrack



バンチ当たりの平均衝突回数



2015年に比べてPileupは増大

▶ soft termが問題

- Calorimeter-based method (CST) → CST E_T^{miss} (Run1)

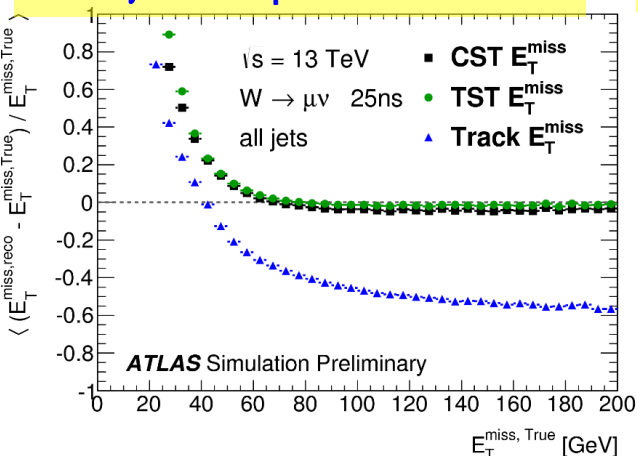
- track-based method (TST) → TST E_T^{miss} (Run2 Pileup対策)

① E_T^{miss} 測定性能評価

● Performance 比較

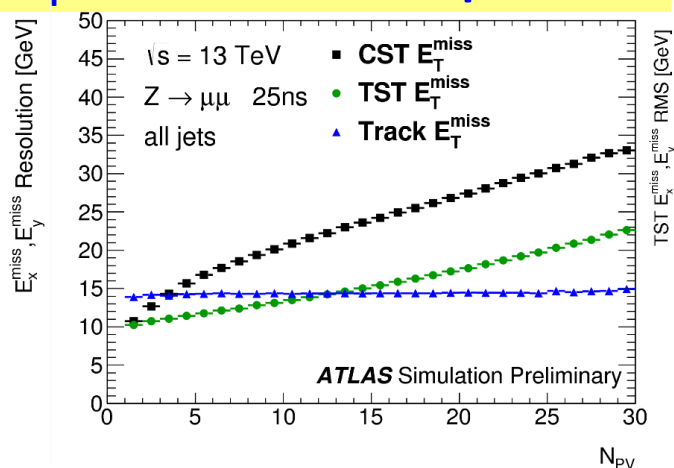
- ▶ Calorimeter-based method (CST) → CST E_T^{miss} (Run1)
- ▶ Track-based method (TST) → TST E_T^{miss} (Run2 Pileup対策)

$W \rightarrow \mu\nu$ の E_T^{miss} の分解能



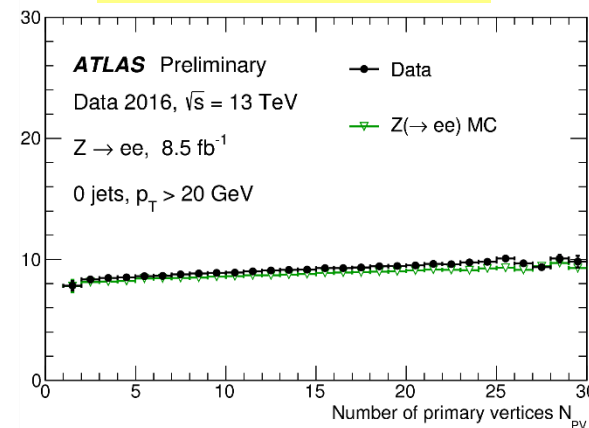
TST E_T^{miss} の分解能は
十分良い

E_T^{miss} 分解能のPileup依存性



TSTではPileup依存を抑制

Data/MC比較



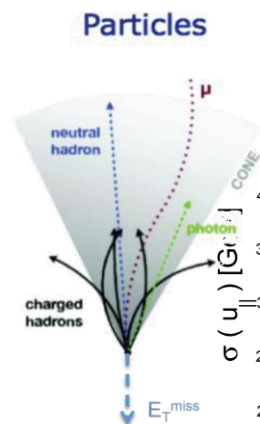
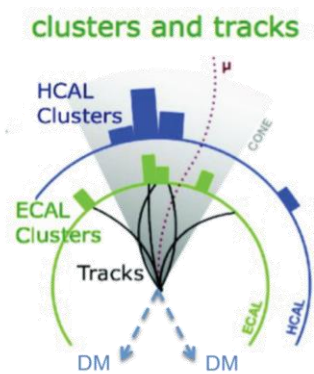
Dataともよく一致

Run2ではTST E_T^{miss} を採用

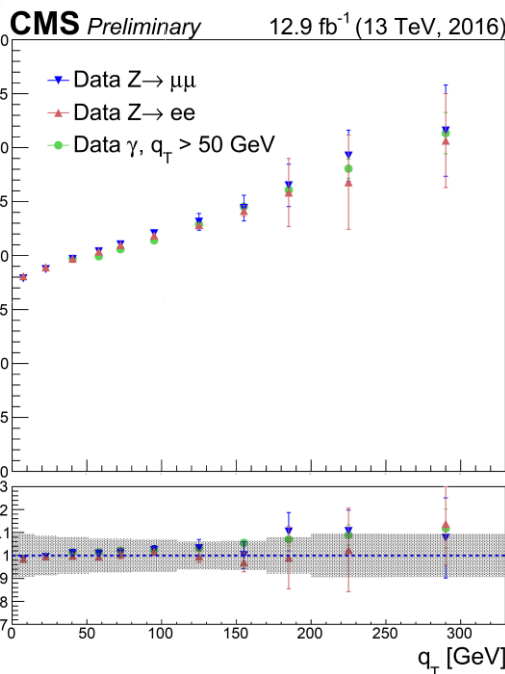
① E_T^{miss} CMS

● CMSは基本はRun1と同じ手法

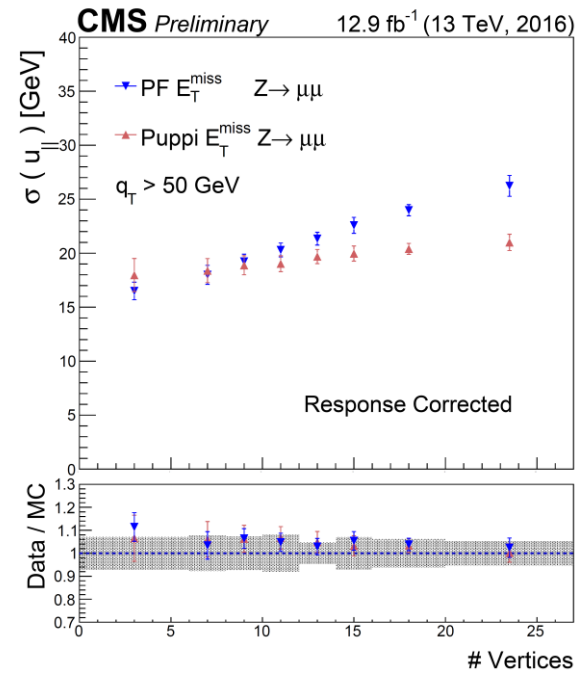
- ▶ Particle Flowを使った再構成で E_T^{miss} を粒子レベルで計算しているため、基本Pileupには強い



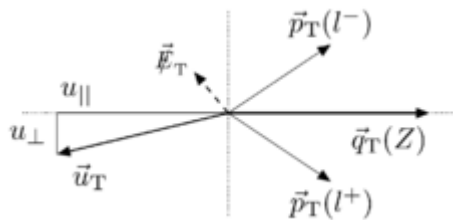
E_T^{miss} 分解能



E_T^{miss} 分解能の Pileup依存性



tracks to calorimetric deposits



① Jet再構成 Pileup対策

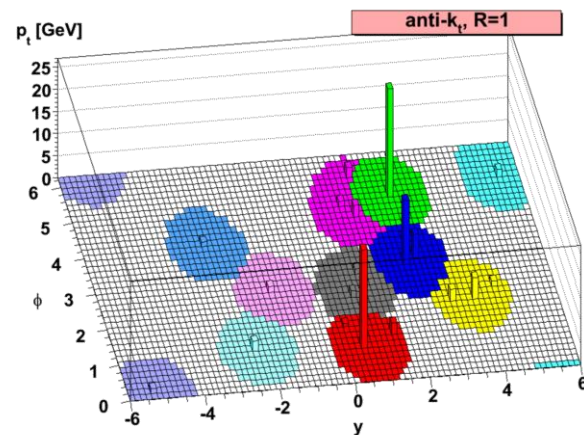
● Jet再構成 (anti-kt algorithm with R=0.4)

- ▶ 距離と運動量を考慮

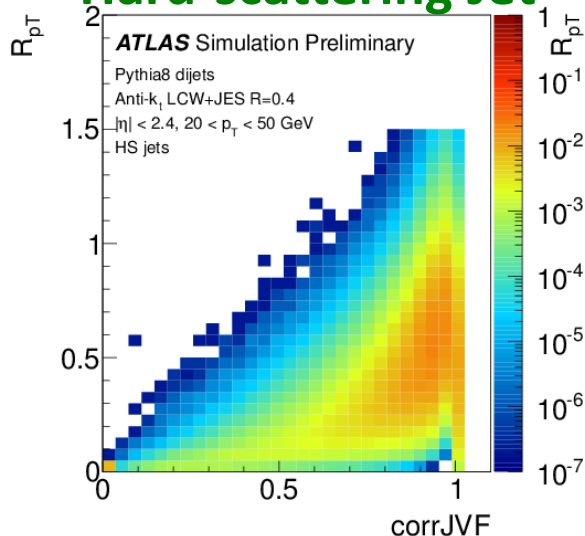
● Pile-up jetの除去

- ▶ HardなVertex由来のJetであることを要求

カロリメータのクラスタの様子

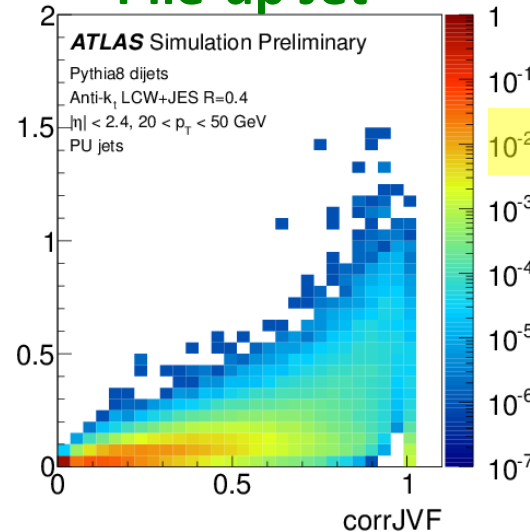


Hard-scattering Jet



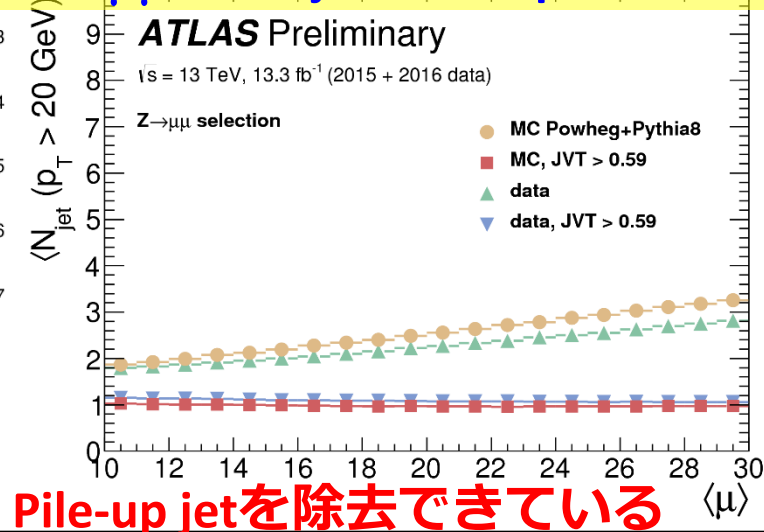
そのVertexの p_T の合計
全Vertexの p_T の合計

Pile-up Jet



HardなVertexから
来ていないJet除去

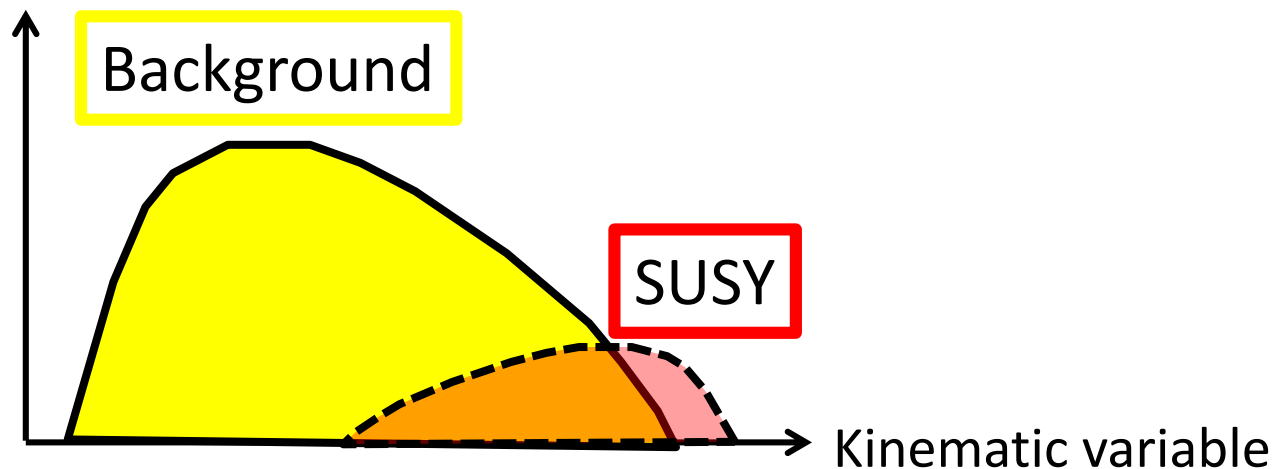
Z→μμでのNjetのPileup依存性



Pile-up jetを除去できている

② SUSY信号

- 信号は鋭いpeakを作らない & 基本的に分布のテールに出現



- ▶ **信号はいつも数イベントでピークなし**

→ 信号領域の背景事象をととても正確に評価しなければいけない

- ▶ **テールの評価**

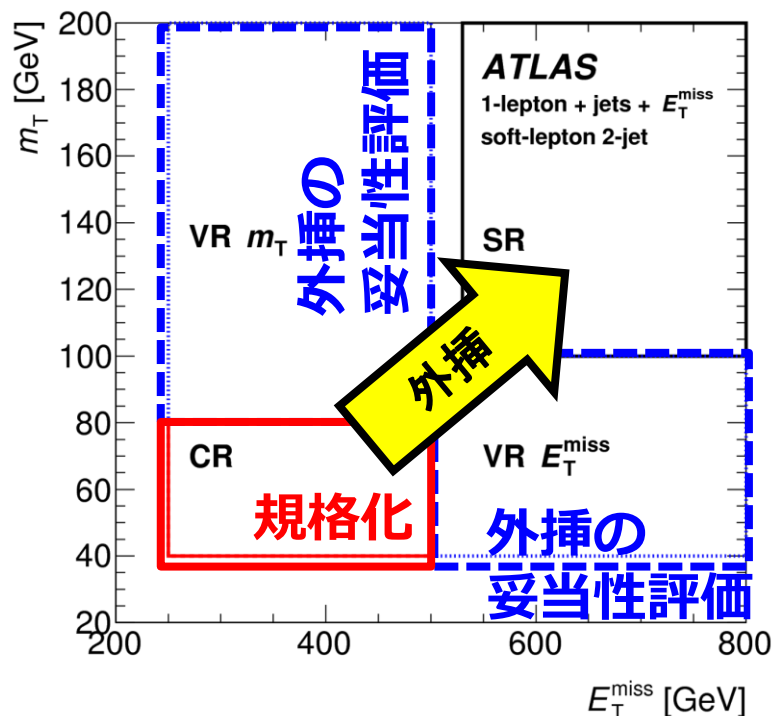
→ 背景事象評価の際に信号領域のSide-bandを使えない

- ▶ ▶ ▶ **背景事象評価がChallenging**

② SUSY信号: 背景事象の評価

● 信号領域は極端なPhase spaceなのでMCをそのまま使うのは危険

- ▶ データ(Control Region)で規格化する
- ▶ MCのmodelingを使ってSRへ外挿
- ▶ 外挿の妥当性はValidation Regionを使って評価



③ SUSY 終状態のKinematics

● 終状態のkinematicsは各SUSY粒子の質量差(Δm)に依存

▶ EW SUSY質量差はLSPのタイプによって決まる

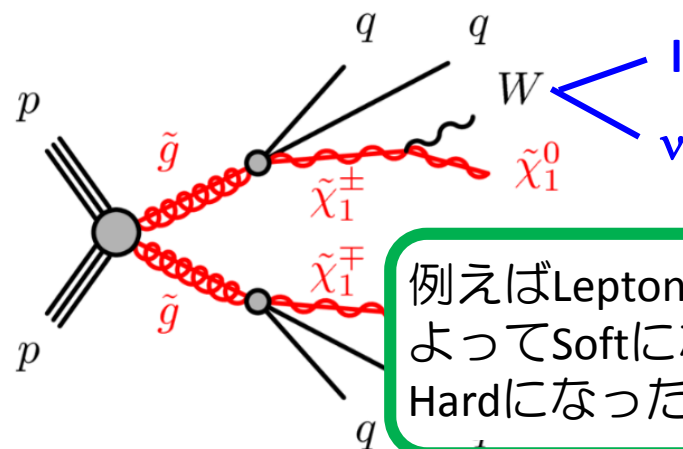
極端な場合のSUSY EW質量スペクトル

$$\tilde{H} \equiv \tilde{\chi}_3^0 \tilde{\chi}_4^0 \tilde{\chi}_2^\pm \quad \tilde{H} \equiv \tilde{\chi}_3^0 \tilde{\chi}_4^0 \tilde{\chi}_2^\pm \quad \tilde{W} \equiv \tilde{\chi}_4^0 \tilde{\chi}_2^\pm$$

$$\tilde{W} \equiv \tilde{\chi}_2^0 \tilde{\chi}_1^\pm \quad \tilde{B} \equiv \tilde{\chi}_2^0 \quad \tilde{B} \equiv \tilde{\chi}_3^0$$

$$\tilde{B} \equiv \tilde{\chi}_1^0 \quad \tilde{W} \equiv \tilde{\chi}_1^0 \tilde{\chi}_1^\pm \quad \tilde{H} \equiv \tilde{\chi}_1^0 \tilde{\chi}_1^\pm \tilde{\chi}_2^0$$

Bino-like LSP **Wino-like LSP** **Higgsino-like LSP**



例えばLeptonが Δm によってSoftになったりHardになったりする

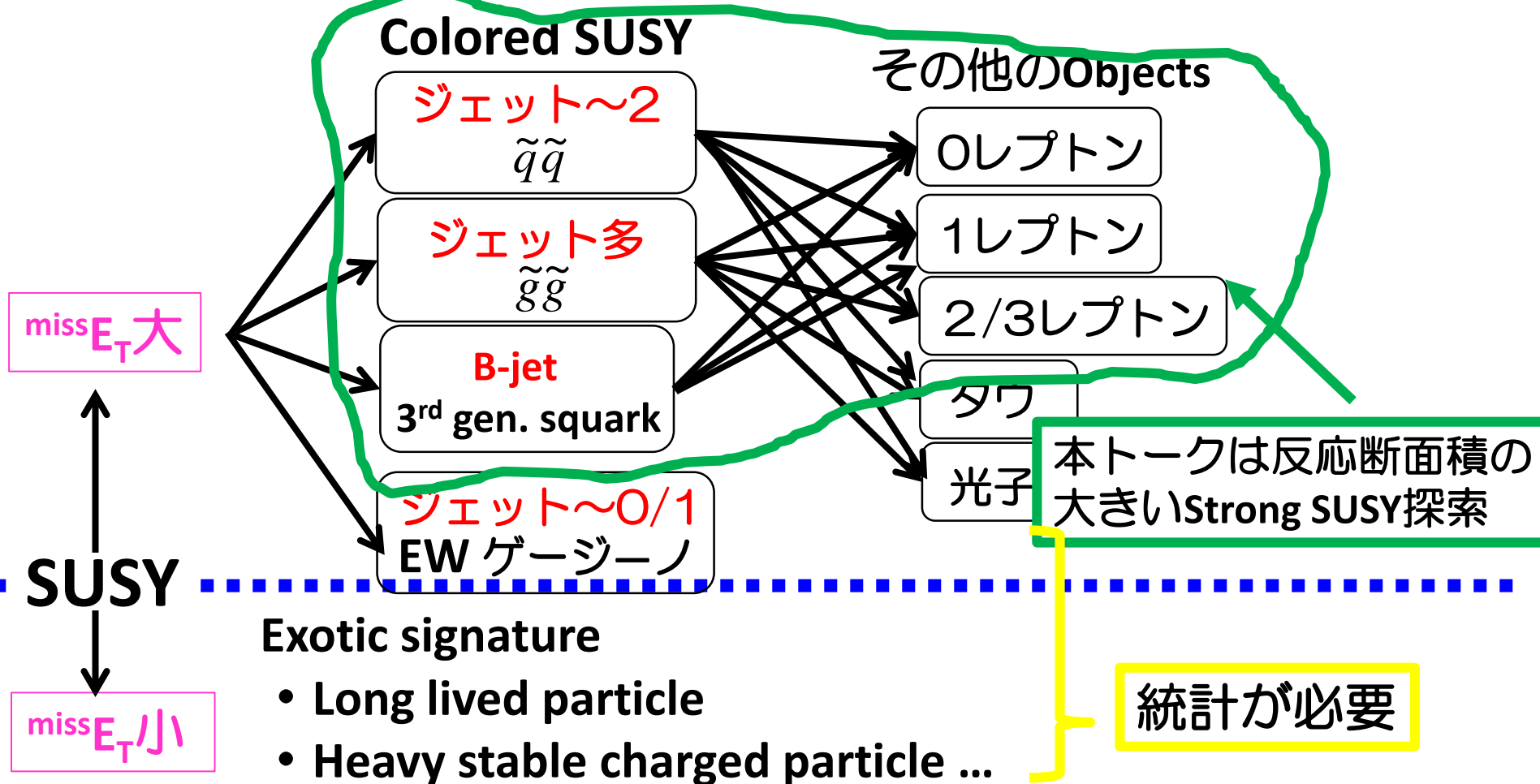
	$\Delta m \equiv \tilde{\chi}_1^\pm - \tilde{\chi}_1^0$	終状態
Bino-like	大	Hard Objects → LHC得意
Wino-like	小	$\tilde{\chi}_1^\pm$ 長寿命 → 測定可
Higgsino-like	小	$\tilde{\chi}_1^\pm$ 中寿命 → 測定困難

様々な終状態が可能であるため、幅広い探索が必要

SUSY 探索

● SUSY 探索は様々な特殊な終状態を探す必要がある

- ▶ あらゆる信号をカバーするために終状態のトポロジーで分類



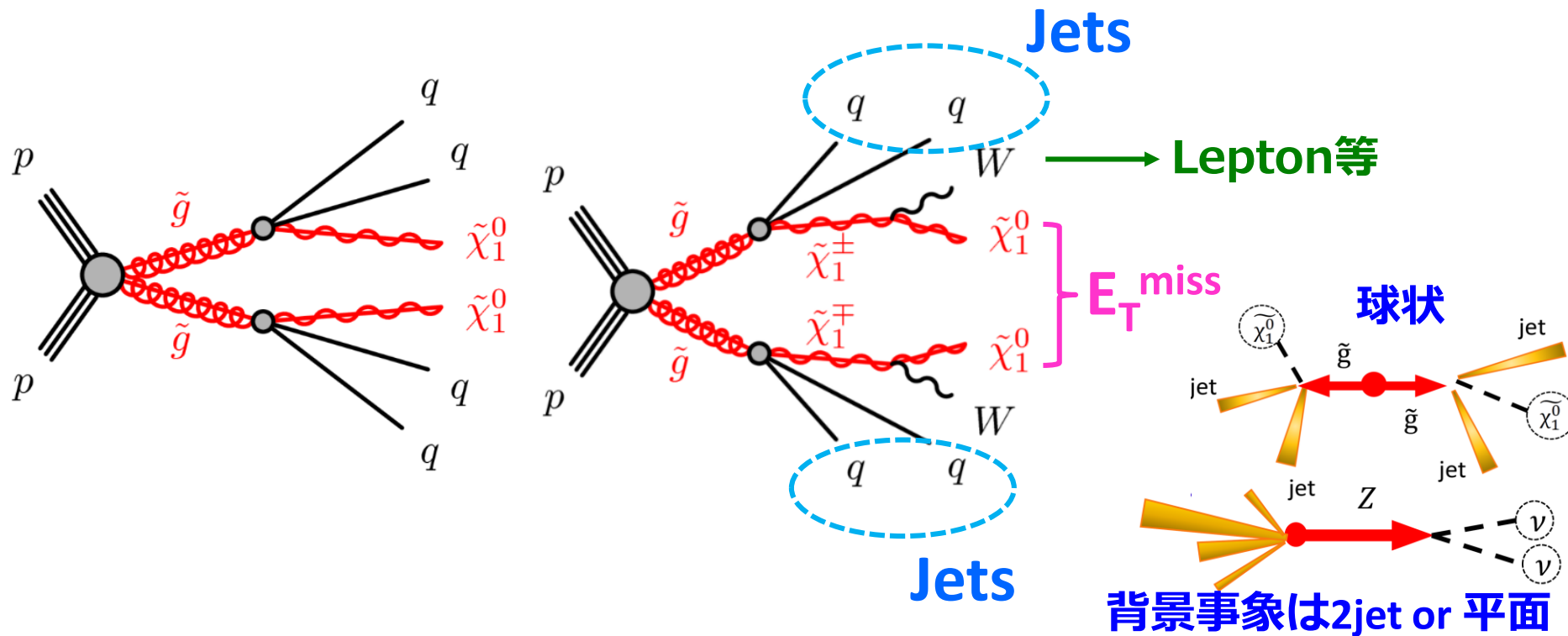
ICHEP Strong SUSY Results

2015年までのリスト(2 σ 以上) : グルイーノ、ストップ探索

終状態		ターゲット	Run1		Run2 2015	
			ATLAS	CMS	ATLAS	CMS
0L		グルイーノ対生成				
1L		グルイーノ対生成			2.1 σ Excess	
Z+ ^{miss} E _T	on-shell Z	グルイーノ対生成	3.0 σ Excess		2.2 σ Excess	
	off-shell Z	グルイーノ対生成		2.6 σ Excess	/	
Multi-Leptons		グルイーノ対生成				
Multi-bjet		グルイーノ対生成				
Stop 0L		ストップ対生成				
Stop 1L		ストップ対生成			2.3 σ Excess	
Stop 2L		ストップ対生成				

これらを中心に話していく

グルイーノ探索

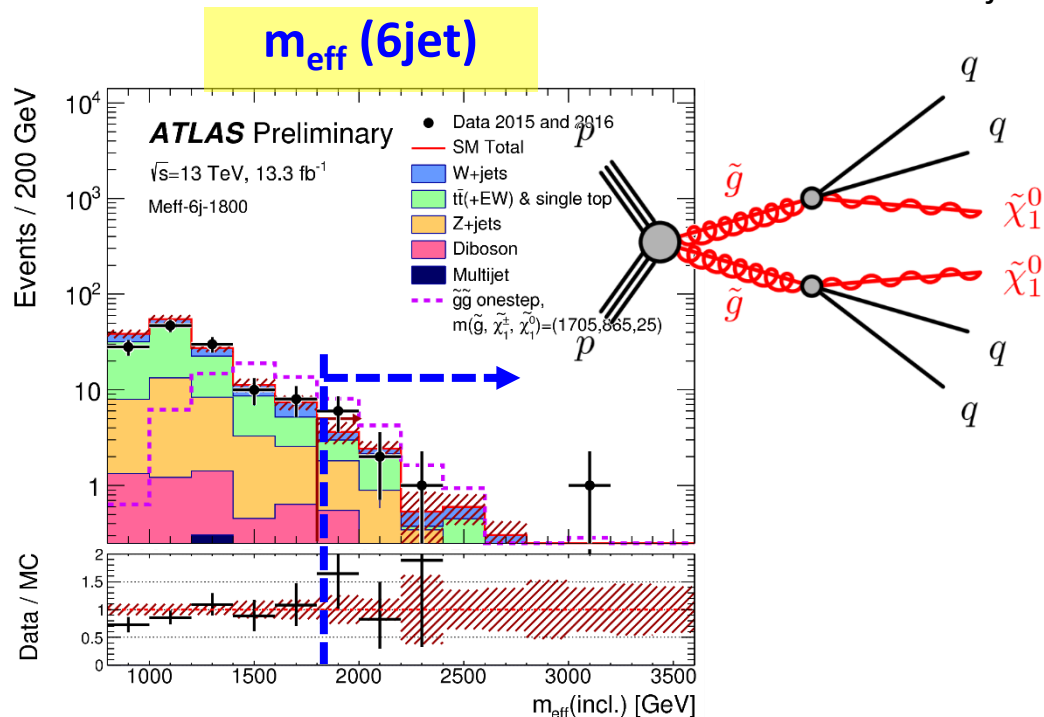
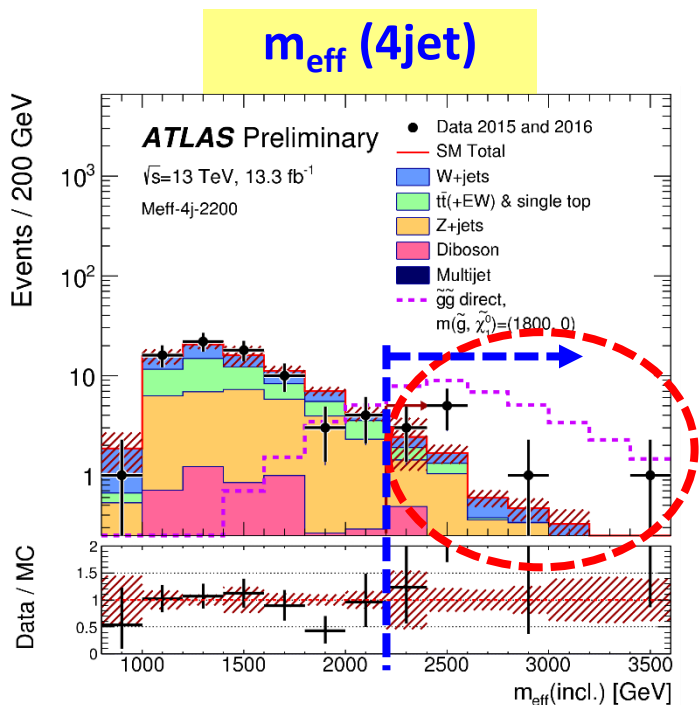


- **Topology** : 重いグルイーノからのHardなEventという特徴を使う
 - ▶ 4本以上のjet、大きな $^{\text{miss}}E_T$ 、大きな $m_{\text{eff}} (=^{\text{miss}}E_T + \sum p_{T\text{jet}})$ (+レプトン, ...)
 - ▶ Event shape (Aplanarity): 球状になりやすい

ATLAS: Jets + $miss E_T$ (0-Lepton)

● グルイーノ対生成からの all hadronic 終状態

- ▶ 最もシンプル。特殊な信号でなければまずこれで見えるべき。
- ▶ 4本以上のjet、大きな $miss E_T (>200 \text{ GeV})$, 大きな $m_{eff} (=miss E_T + \Sigma p_{Tjet})$



No Significant Excess だが、かなり少数のSignalを見つけようとしているので分布をチェックすることが大事 → 4jet領域が少し気になる

4 jet 信号領域のkinematics分布

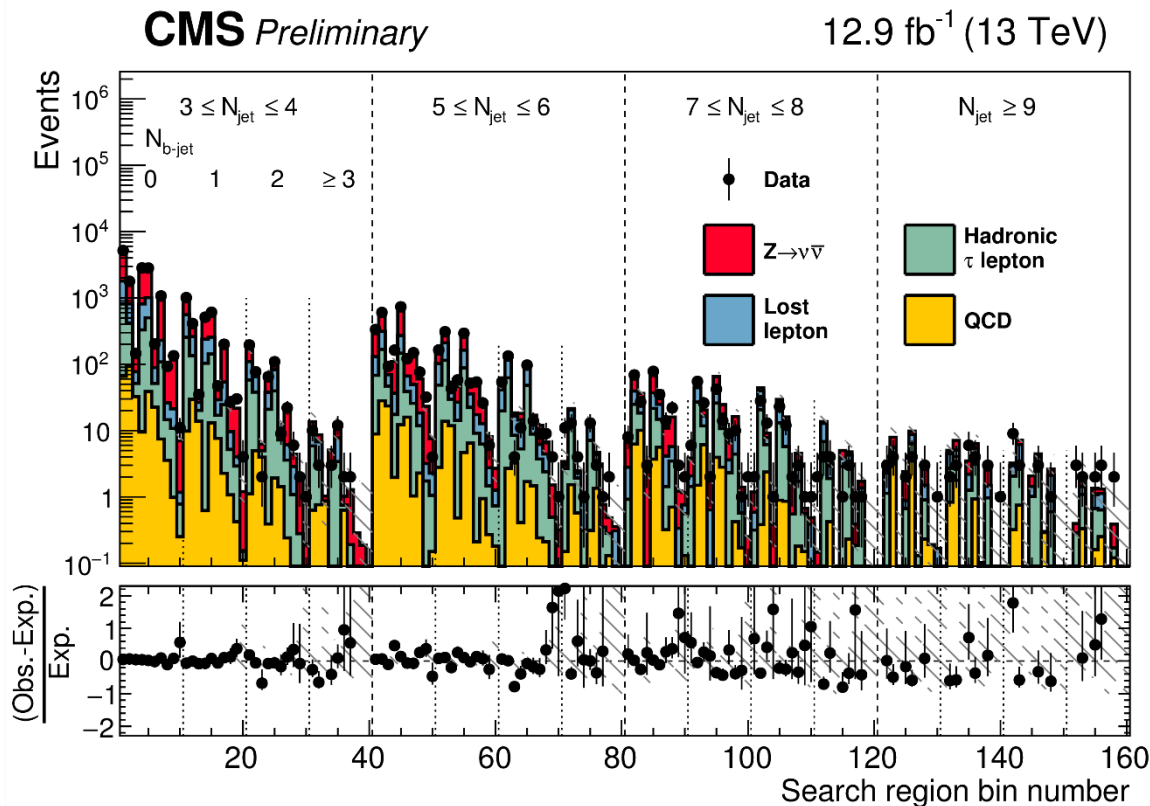
Dataがある領域に集中しているということはない

大きく背景事象の分布の形からはずれているEventは見当たらない

$$m_{\text{eff}} = 2.8 \text{ TeV}$$

CMS: Jets + E_T^{miss} (0-Lepton)

● $N_{\text{jet}}, N_{\text{bjet}}, H_T, E_T^{\text{miss}}$ で分けて合計160 SRs



Bin	H_T^{miss} [GeV]	H_T [GeV]
1	300–350	300–500
2	300–350	500–1000
3	300–350	> 1000
4	350–500	350–500
5	350–500	500–1000
6	350–500	> 1000
7	500–750	500–1000
8	500–750	> 1000
9	> 750	750–1500
10	> 750	> 1500

No Excess

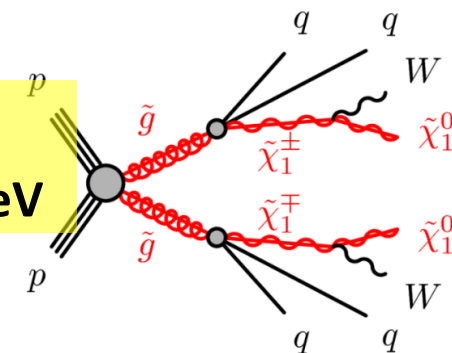
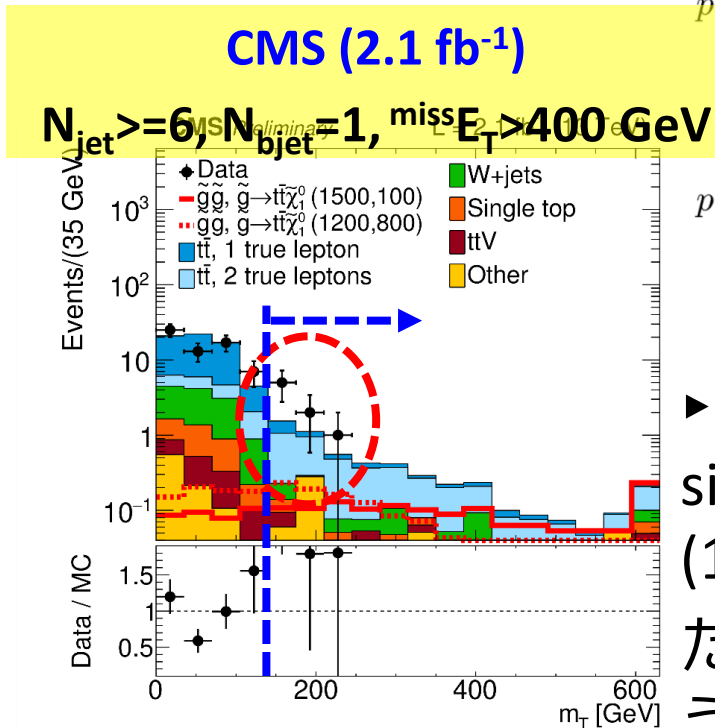
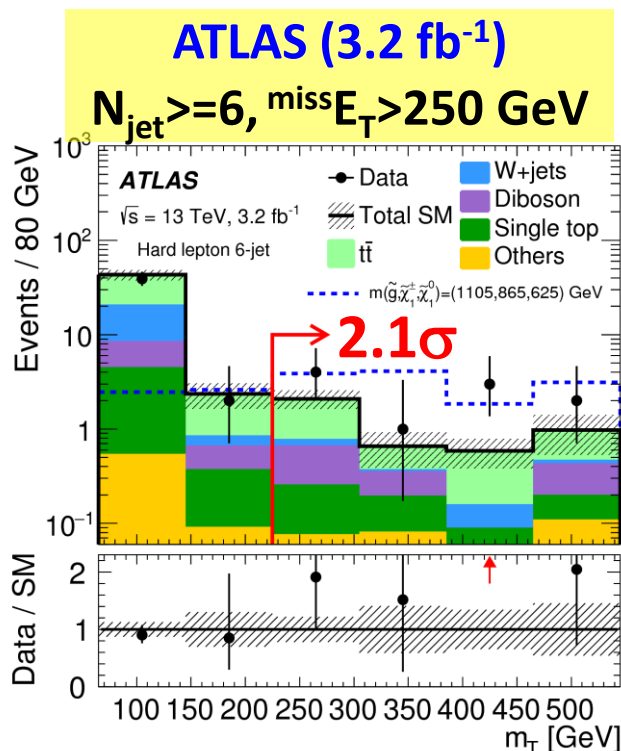
▶ Background評価はdata-driven : 各CRの統計誤差が大きい

- Z+jets : γ +jets CRから

- ttbar, W+jets (Hadronically decaying tau, Missing-lepton): 1-Lep CRから

グルイーン探索 : 1-Lepton 2015

● 2015年のDataでATLASに2.1σのExcessを観測



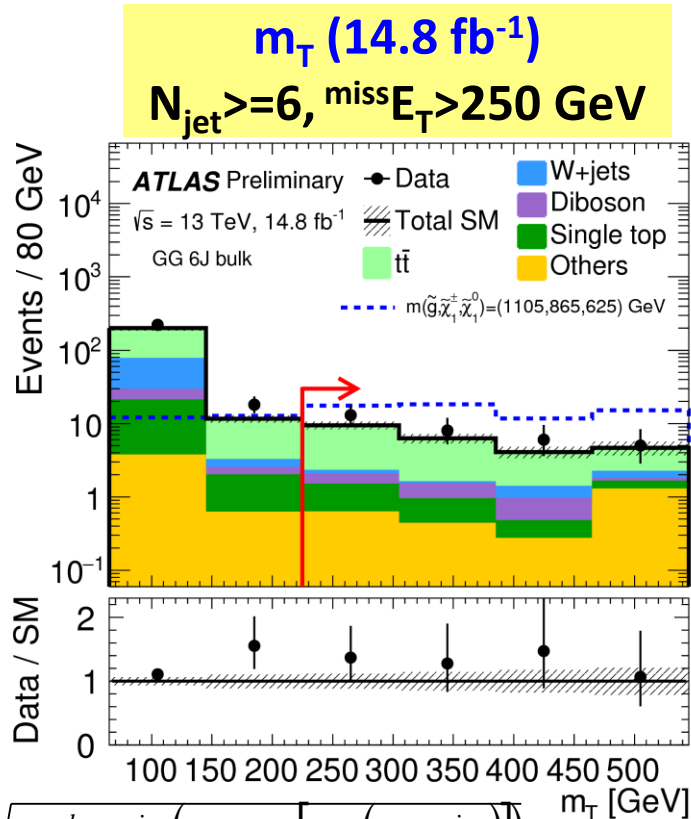
▶ CMS: No significant excess (1σ以内) だが少し多いように見える

- ▶ ATLAS : 3.2 fb⁻¹のデータで2.1σ Excess
 - Muon(Electron): 8(2) events
 - Low E_T^{miss}, m_T は比較的高い, bjet 多め

2016年のデータで要確認だった

ATLAS: Jets + $miss E_T$ + 1-Lepton

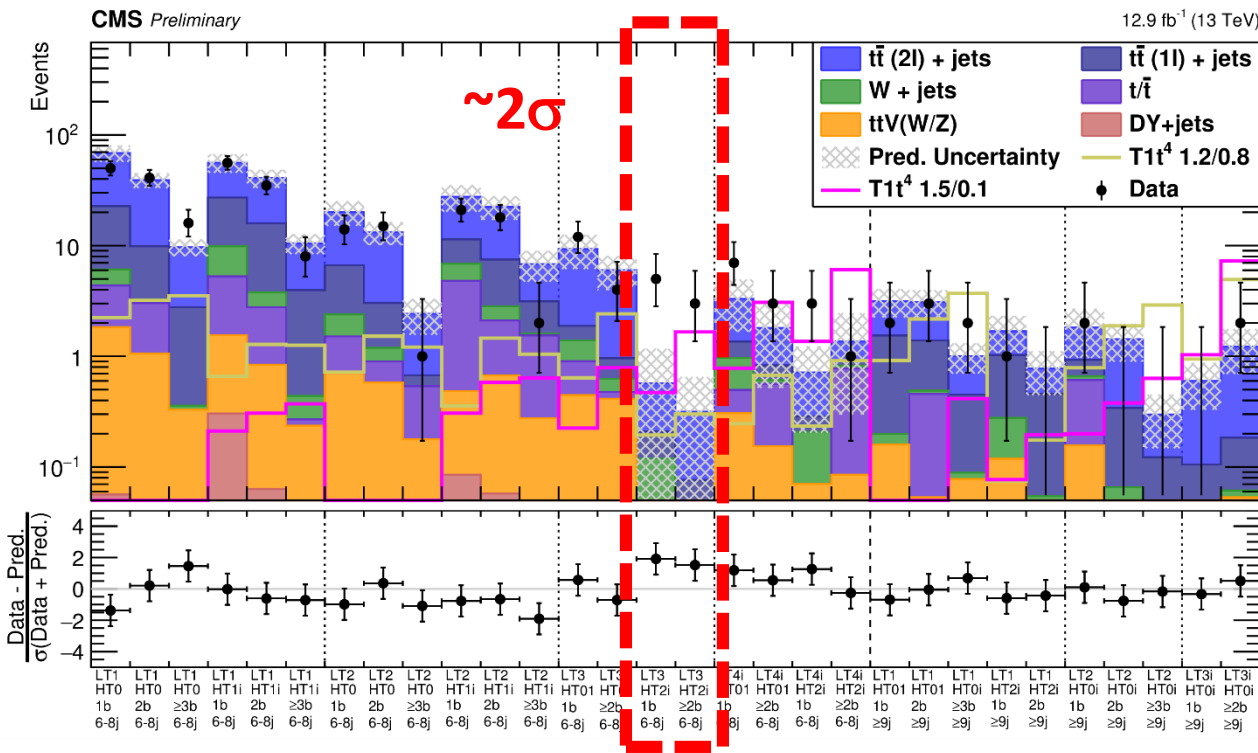
- ATLASでは2015と同じSRを2016もキープしてExcessをチェック



$$m_T = \sqrt{2 p_T^l E_T^{\text{miss}} \left(1 - \cos \left[\Delta \phi \left(l, p_T^{\text{miss}} \right) \right] \right)}$$

- ▶ 2016年最初は順調に育っていたが、結局減った.....($\sim 1.5\sigma$)
- ▶ 他の領域も特にExcessなし

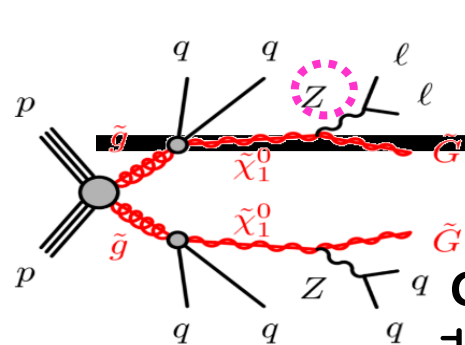
CMS: Jets + $\text{miss} E_T$ + 1-Lepton



- ▶ No significant excessとは言っているが、High H_T (>1250 GeV), High L_T (450-600 GeV), $N_{\text{jet}}=6-8$, $n_b \geq 1$ に 2σ 程度は見える
 - ATLAS 2015 で Excess 見えていた領域と似ている
- ▶ まだまだ注意が必要

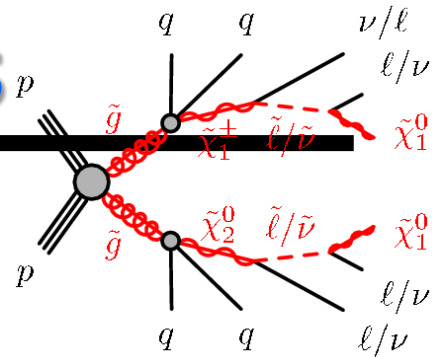
Z ($\rightarrow \ell\ell$) + miss E_T + jets

Zがon/off-shellで2種類の探索



GMSB

非常に軽いGravitino(LSP)

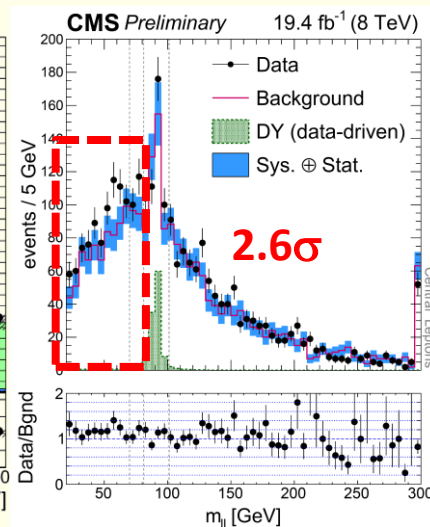
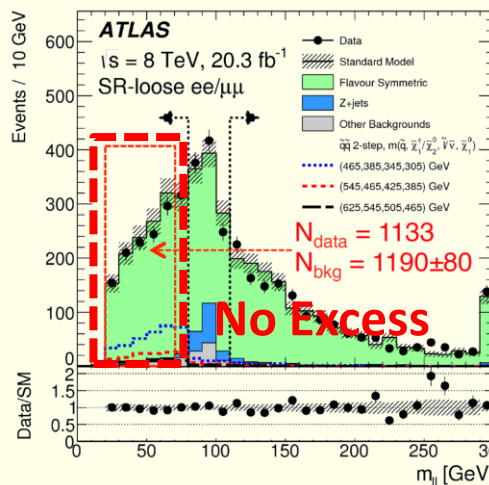
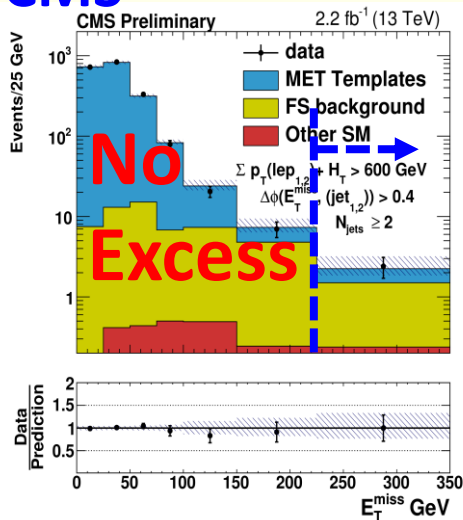
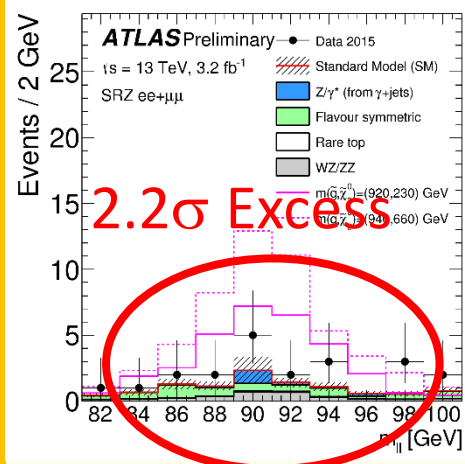


On-shell Z ($81 \text{ GeV} < m_{\parallel} < 101 \text{ GeV}$)

Off-shell Z (low, high m_{\parallel})

- ▶ 3σ excess in ATLAS Run1
- 2.2σ excess in Run2 2015
- ▶ No excess in CMS

- ▶ No excess in ATLAS
- ▶ 2.6σ excess in CMS Run1
- No excess in Run2 2015



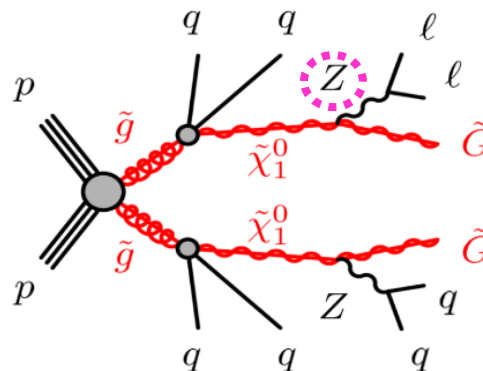
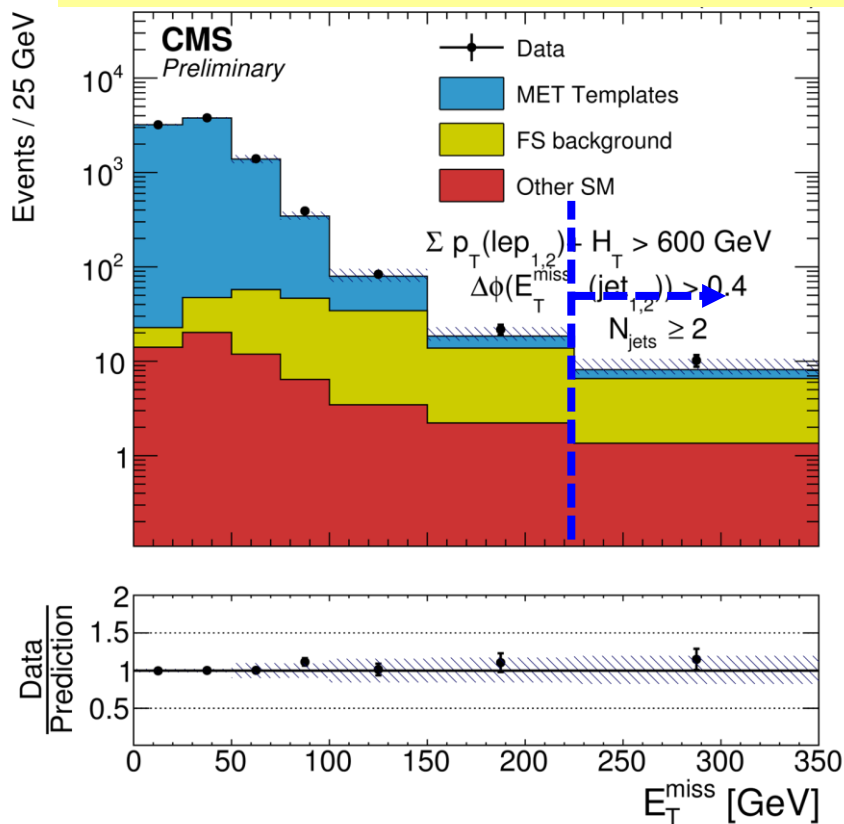
今回はCMSのみ結果を公表

CMS: On-shell Z Search

- ATLASでExcess (Run1 3 σ , Run2 2015 2.2 σ)を観測した探索

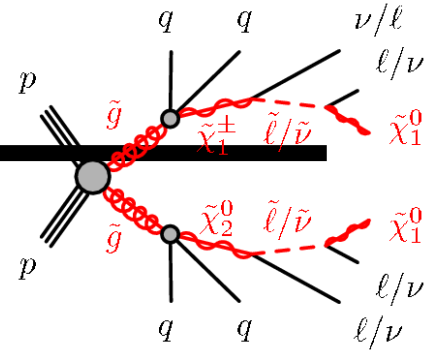
E_T^{miss} (ATLAS-like SR)

$N_{\text{jet}} \geq 2, \text{lep } p_T + H_T > 600 \text{ GeV}$



- ▶ CMSもATLASとほぼ同じSRをチェック
- ▶ **No Excess**

CMS: Off-shell Z Search



● m_{ll} の Z peak 以外を探索 ($m_{ll} < 81 \text{ GeV}$, $m_{ll} > 101 \text{ GeV}$)

- ▶ $m_{ll} > 20 \text{ GeV}$, $N_{\text{jet}} \geq 2$, $E_T^{\text{miss}} > 150 \text{ GeV}$
- ▶ 背景事象は $t\bar{t}$ di-leptonic decay が支配的
 - E_T^{miss} , dilepton system p_T , $\Delta\phi(\text{leptons})$ 等で組んだ likelihood で $t\bar{t}$ を分離

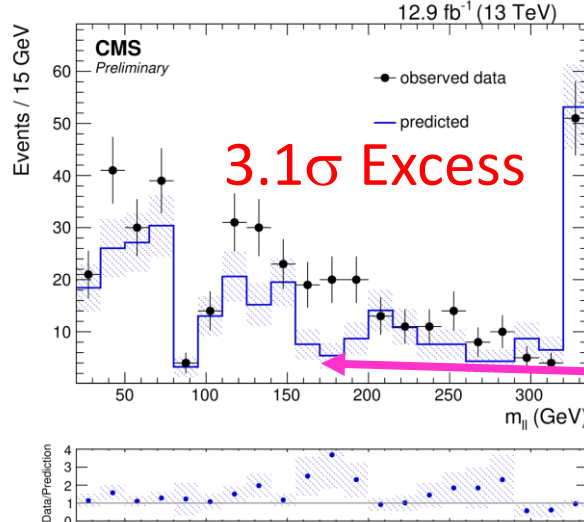
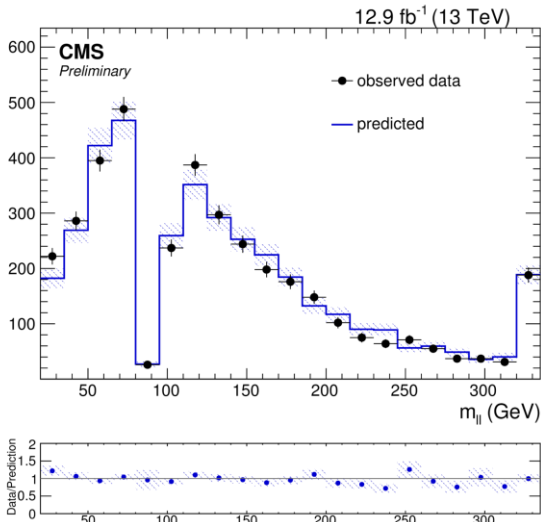
ttbar-like Region

Non-ttbar-like Region

- ▶ しかし、Prediction の形状がおかしい
- 支配的な $t\bar{t}$ 等は data-driven ($e\mu$ CR) で算出

この凹みは物理ではないはず

- ▶ CMS の Analyzer に確認したところ...

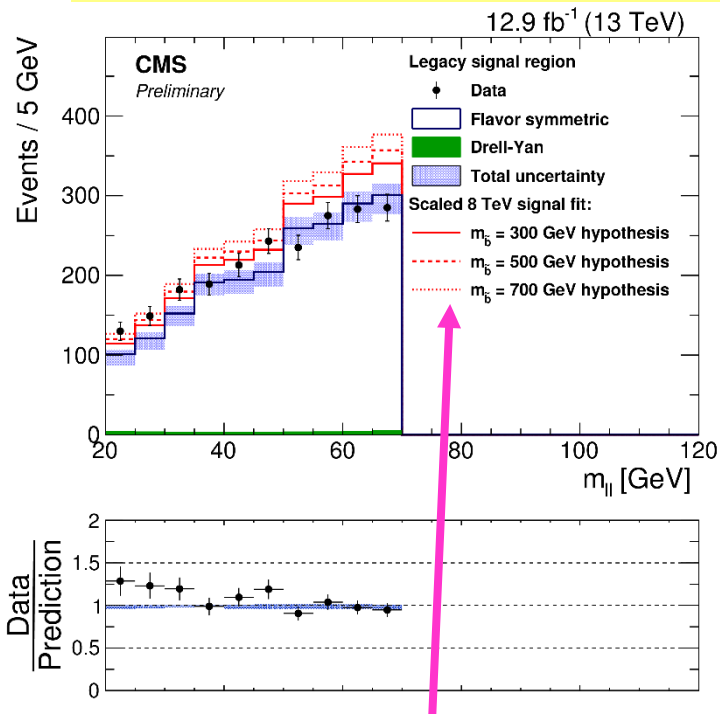


“it is what it is, and it seems that this is as much of a OF under-fluctuation as it is a SF over-fluctuation; so it looks like statistics, but we'll have to see what happens with more data.”

CMS: $Z+E_T^{\text{miss}}+\text{jets}$:Run1 Excess Region

● CMS Run1 Excess(2.6σ)と今回のExcess(3.1σ)の関係は？

CMS Run1 Excess Region



- ▶ 今回Excessが見えている領域とRun1の領域は異なる
- ▶ 実際、Run1のExcessは2015のデータでほぼexcludeされている

← 2016年のデータでRun1 Excess領域を見た時やはり何も見えない

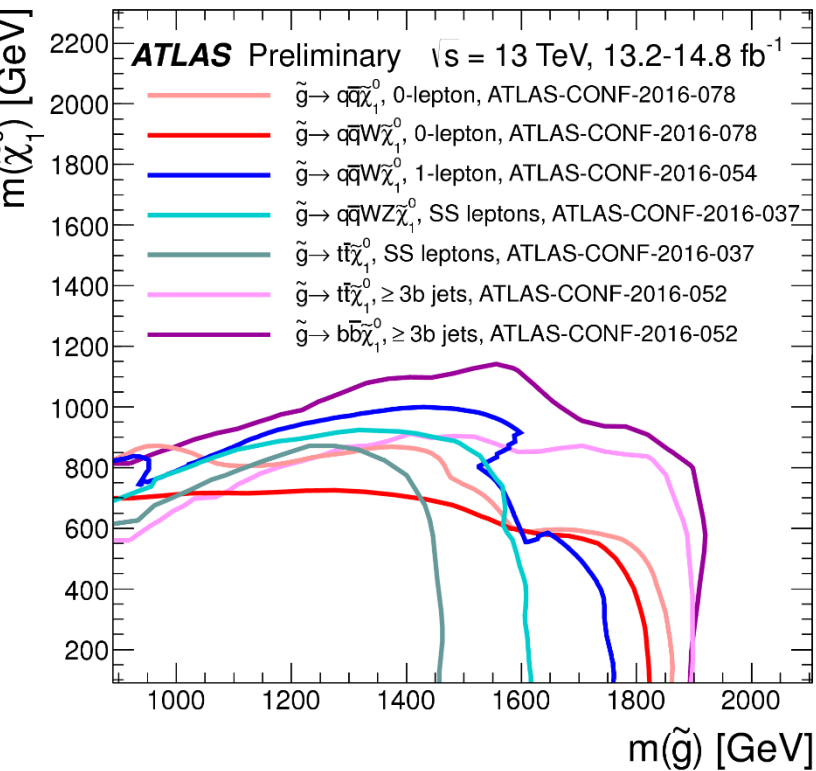
今回ExcessとRun1のものは別物である

Run1 Excessを仮にbottom pair productionだと解釈して、luminosityとcross section (8/13 TeV)でscaleしたのが赤

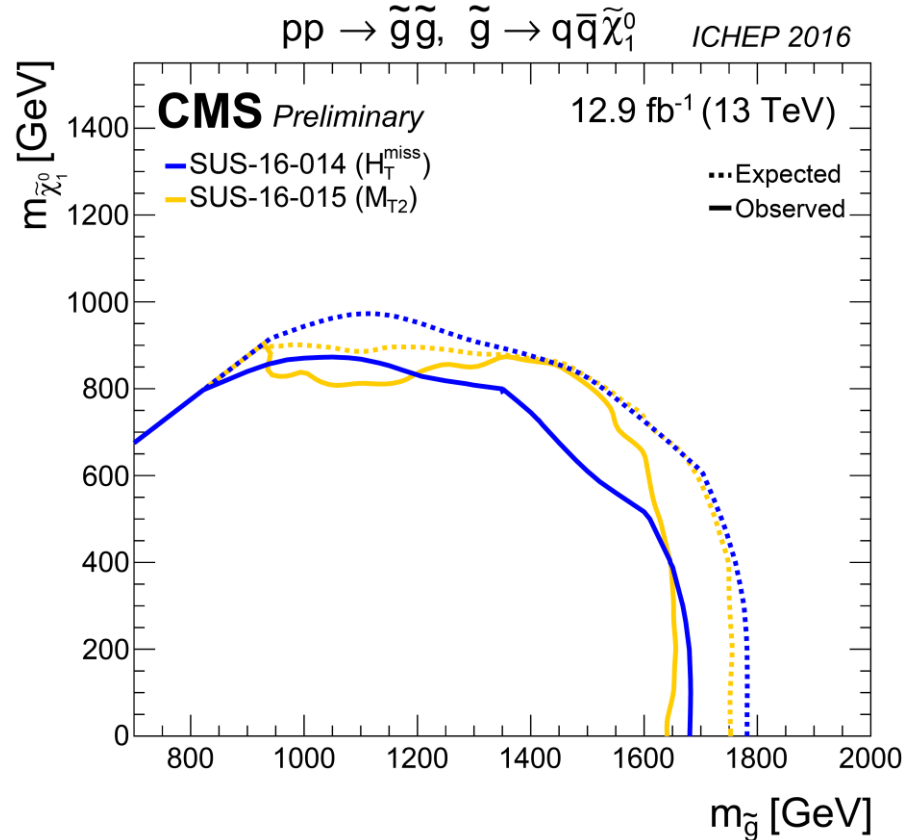
ちなみに、0-Lepton SR for $Z+E_T^{\text{miss}}$ excess

グルイーノ探索制限

ATLAS



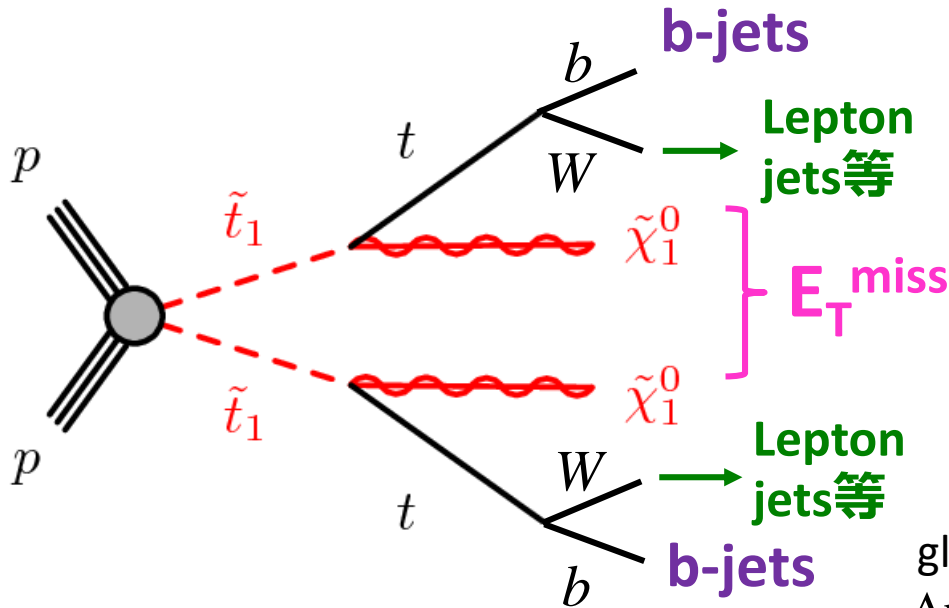
CMS



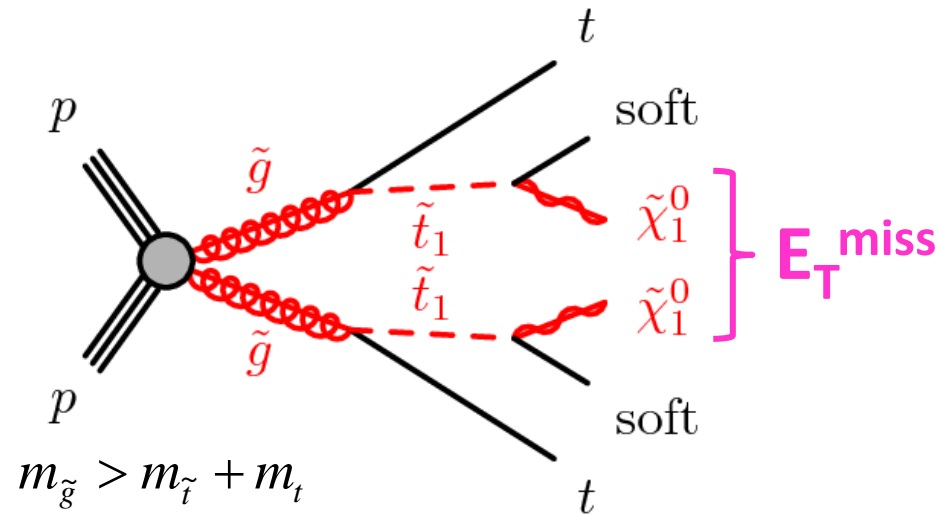
- ▶ 2015のグルイーノ制限は $\sim 1500 \text{ GeV}$
- ▶ グルイーノ質量制限は $\sim 1.8 \text{ TeV} (m_{\chi_0} < \sim 600 \text{ GeV})$

ストップ探索

Direct Stop Search (Nominal)



Glauino Mediated Stop Search

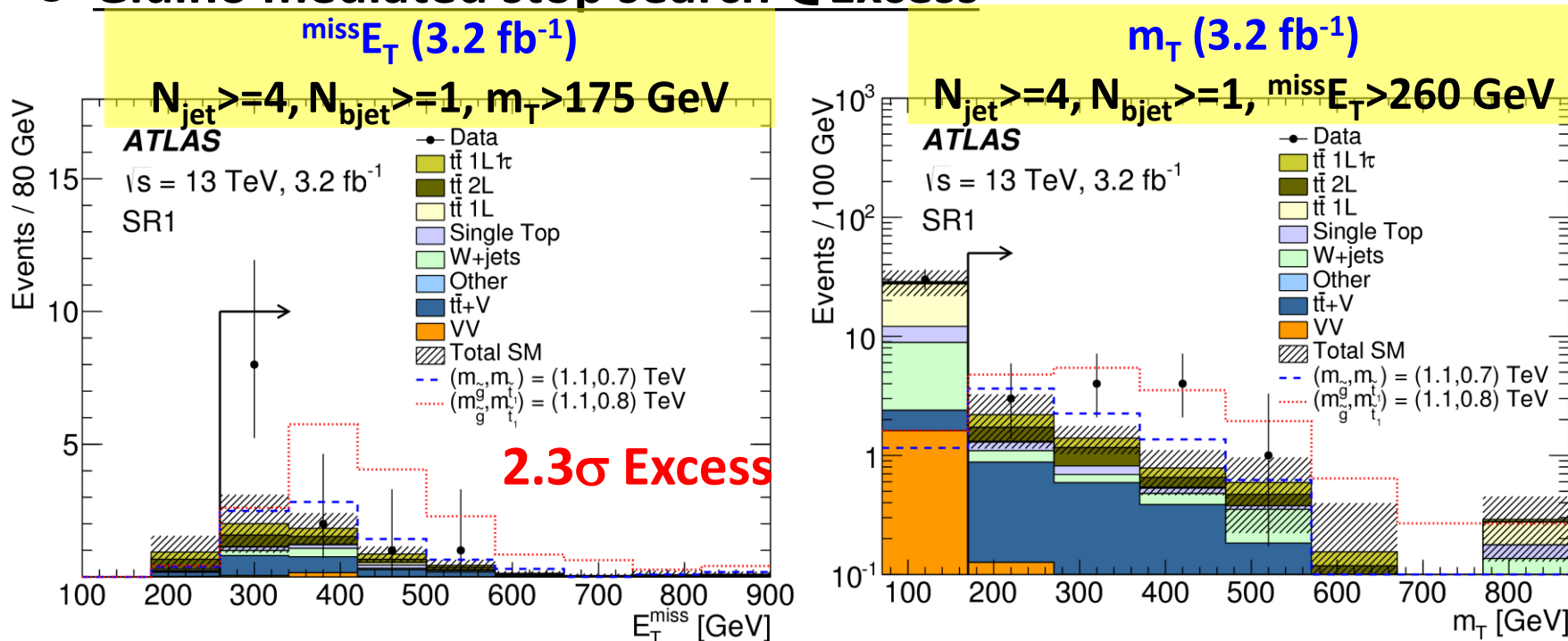


gluinoのcross section大
 $\Delta m(m_{\tilde{t}}, m_{\tilde{\chi}_1^0})$ を想定(Motivated by DM relic density, coannihilation of the stop and the neutralino)

- **Topology** : 重いストップからのHardなEvent
 - ▶ 多数のjet、**b-jet**、大きな E_T^{miss} (+レプトン)
 - ▶ 支配的な背景事象 $t\bar{t}$ の抑制の変数 : asymmetric m_{T2} , topness

Stop Search 2015

● Gluino mediated stop search \overline{C} Excess



▶ ATLAS : 3.2 fb^{-1} のデータで 2.3σ Excess

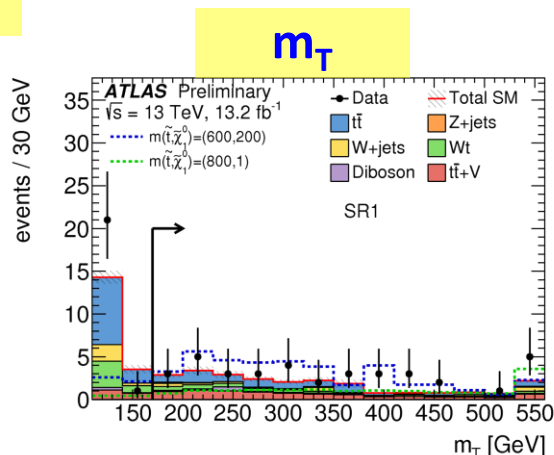
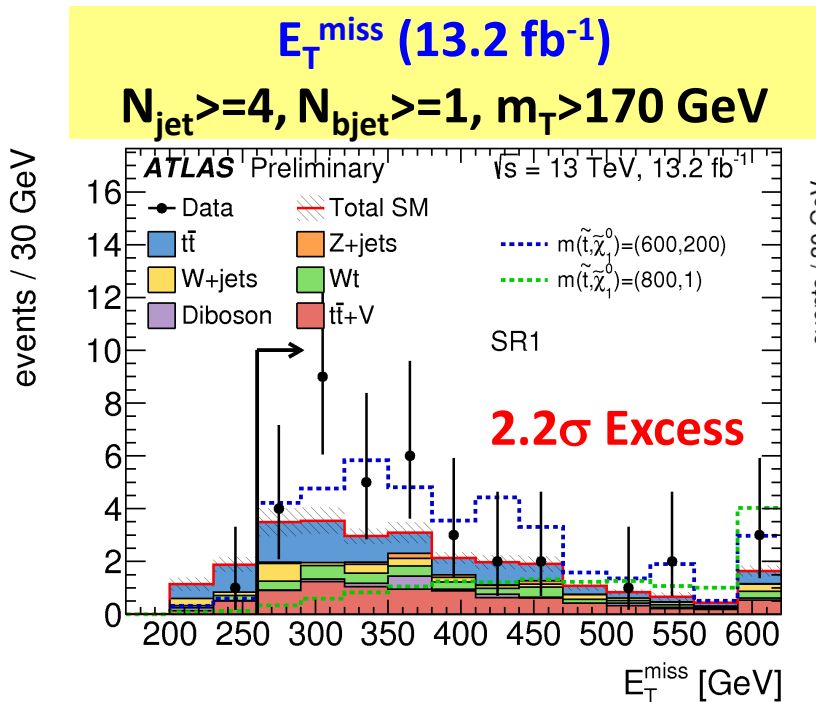
- Low E_T^{miss} , m_T は比較的高い
- Muon(Electron): 8(4) events
- N_{jet} (4,5,6,7) = (3,2,5,2) events
- N_{Bjet} (1,2,3) = (7, 4, 1) events

▶ CMS: 2.3 fb^{-1} のデータでNo Excess

グルイーノ探索1-Lepの
 2015のExcessと似ている
 (10 event)
 → 重複は2 event

ATLAS Stop1Lep: ① 2015 Excess Region

● 2015年に2.3σのExcessを観測したSR

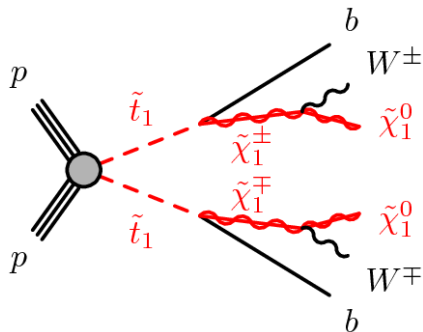


Variable	SR1
Number of (jets, <i>b</i> -tags)	(≥ 4, ≥ 1)
Jet $p_T > [\text{GeV}]$	(80 50 40 40)
E_T^{miss} [GeV]	> 260
$E_{T,\perp}^{\text{miss}}$ [GeV]	–
$H_{T,\text{sig}}^{\text{miss}}$	> 14
m_T [GeV]	> 170
am_{T2} [GeV]	> 175
<i>topness</i>	> 6.5
m_{top}^X [GeV]	< 270
$\Delta R(b, \ell)$	< 3.0
Leading large-R jet p_T [GeV]	–
Leading large-R jet mass [GeV]	–
$\Delta\phi(\vec{p}_T^{\text{miss}}, 2^{\text{nd}} \text{large-R jet})$	–

- ▶ **2.3σ(2015) → 2.2σ**
- ▶ E_T^{miss} は低め & m_T はBroad
- ▶ Lepton p_T 大きめ

ATLAS Stop1Lep: ② Stop Onestep Decay

● Stop One Step SR

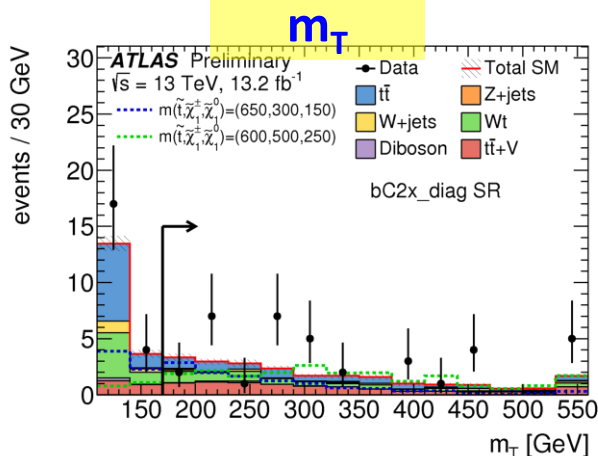
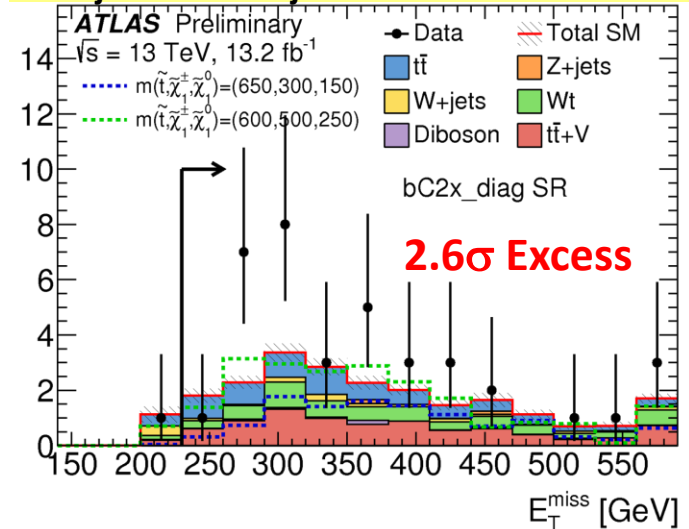


Variable	bC2x_diag
Number of (jets, <i>b</i> -tags)	(≥ 4, ≥ 2)
Jet $p_T > [\text{GeV}]$	(70 60 55 25)
<i>b</i> -tagged jet $p_T > [\text{GeV}]$	(25 25)
$E_T^{\text{miss}} [\text{GeV}]$	> 230
$H_{T,\text{sig}}^{\text{miss}}$	> 14
$m_T [\text{GeV}]$	> 170
$am_{T2} [\text{GeV}]$	> 170
$ \Delta\phi(\text{jet}_i, \vec{p}_T^{\text{miss}}) (i = 1)$	> 1.2
$ \Delta\phi(\text{jet}_i, \vec{p}_T^{\text{miss}}) (i = 2)$	> 0.8
Leading large- <i>R</i> jet mass [GeV]	-
$\Delta\phi(\vec{p}_T^{\text{miss}}, \ell)$	-

▶ **2.6σ Excess**

▶ E_T^{miss} は低め & m_T は大きめ

$E_T^{\text{miss}} (13.2 \text{ fb}^{-1})$
 $N_{\text{jet}} \geq 4, N_{\text{bjet}} \geq 2, m_T > 170 \text{ GeV}$

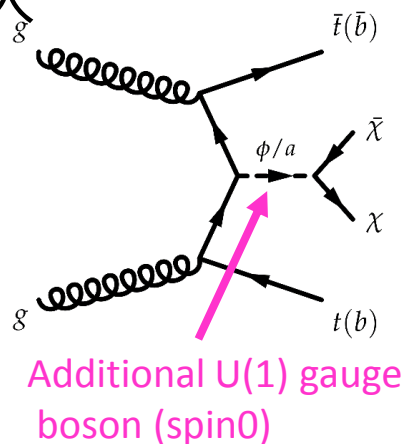


ATLAS Stop1Lep: ③ DM探索

● DM探索からMotivateされるシナリオ(m_χ が低めを狙った領域)

- ▶ SMの単純な拡張でU(1)を導入
- ▶ ϕ/a がSMとDMを媒介
- ▶ SRの特徴：
 - E_T^{miss} 高め
 - E_T^{miss} とlep, jetが離れている

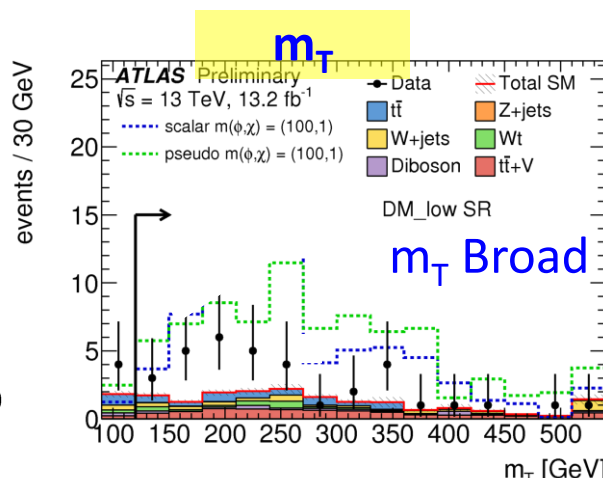
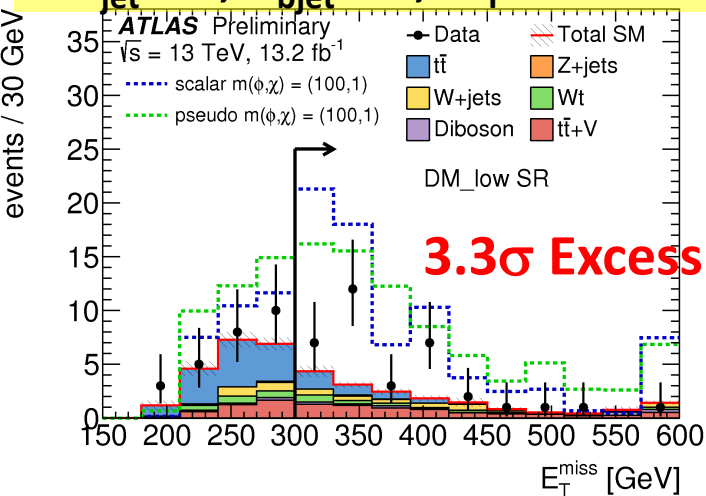
(arXiv:1507.00966)



Variable	DM_low
Number of (jets, b-tags)	($\geq 4, \geq 1$)
Jet $p_T > [\text{GeV}]$	(60 60 40 25)
E_T^{miss} [GeV]	> 300
$H_{T,\text{sig}}^{\text{miss}}$	> 14
m_T [GeV]	> 120
am_{T2} [GeV]	> 140
$\min(\Delta\phi(\vec{p}_T^{\text{miss}}, \text{jet}_i)) (i \in \{1-4\})$	> 1.4
$\Delta\phi(\vec{p}_T^{\text{miss}}, \ell)$	> 0.8

E_T^{miss} (13.2 fb⁻¹)

$N_{\text{jet}} \geq 4, N_{\text{bjet}} \geq 1, m_T > 120 \text{ GeV}$



ATLAS Stop1Lep: 3つのSRの重複

Variable	SR1
Number of (jets, b -tags)	($\geq 4, \geq 1$)
Jet $p_T > [\text{GeV}]$	(80 50 40 40)
$E_T^{\text{miss}} [\text{GeV}]$	> 260
$E_{T,\perp}^{\text{miss}} [\text{GeV}]$	-
$H_{T,\text{sig}}^{\text{miss}}$	> 14
$m_T [\text{GeV}]$	> 170
$am_{T2} [\text{GeV}]$	> 175
$topness$	> 6.5
$m_{\text{top}}^{\chi} [\text{GeV}]$	< 270
$\Delta R(b, \ell)$	< 3.0
Leading large-R jet $p_T [\text{GeV}]$	-
Leading large-R jet mass $[\text{GeV}]$	-
$\Delta\phi(\vec{p}_T^{\text{miss}}, 2^{\text{nd}}\text{large-R jet})$	-

Variable	bC2x_diag
Number of (jets, b -tags)	($\geq 4, \geq 2$)
Jet $p_T > [\text{GeV}]$	(70 60 55 25)
b -tagged jet $p_T > [\text{GeV}]$	(25 25)
$E_T^{\text{miss}} [\text{GeV}]$	> 230
$H_{T,\text{sig}}^{\text{miss}}$	> 14
$m_T [\text{GeV}]$	> 170
$am_{T2} [\text{GeV}]$	> 170
$ \Delta\phi(\text{jet}_i, \vec{p}_T^{\text{miss}}) (i = 1)$	> 1.2
$ \Delta\phi(\text{jet}_i, \vec{p}_T^{\text{miss}}) (i = 2)$	> 0.8
Leading large-R jet mass $[\text{GeV}]$	-
$\Delta\phi(\vec{p}_T^{\text{miss}}, \ell)$	-

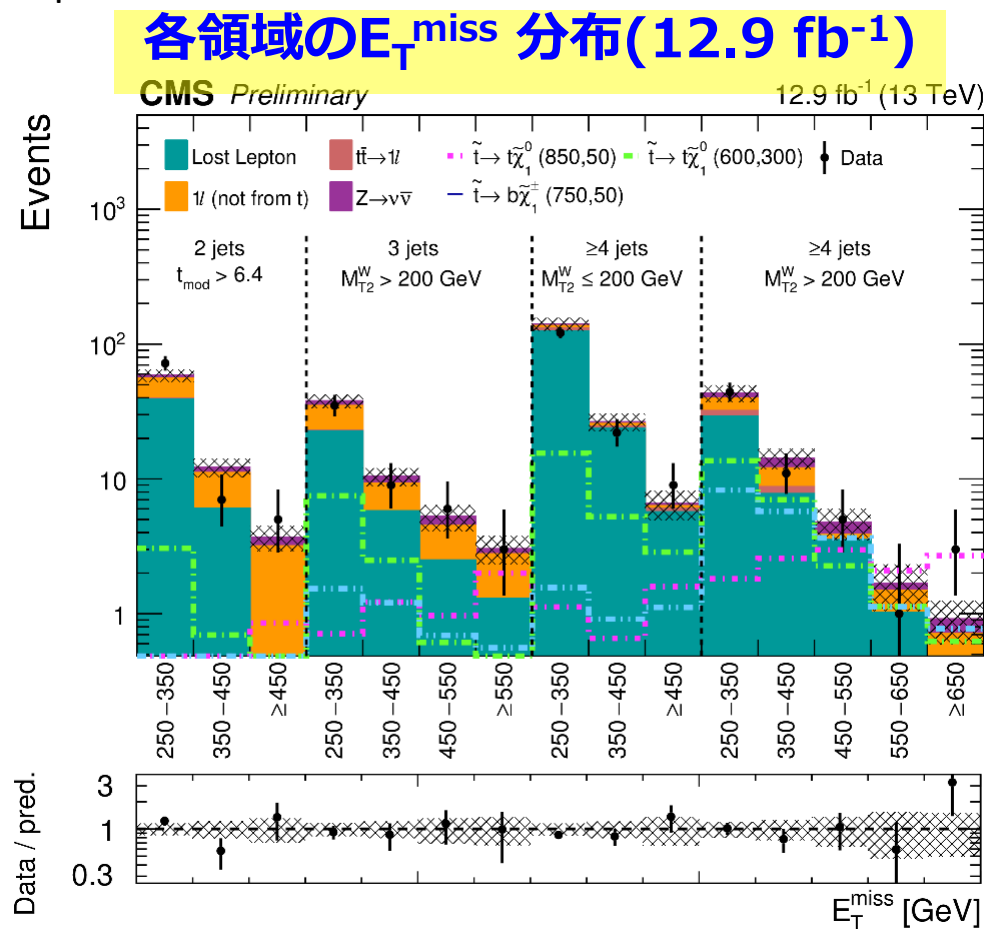
Variable	DM_low
Number of (jets, b -tags)	($\geq 4, \geq 1$)
Jet $p_T > [\text{GeV}]$	(60 60 40 25)
$E_T^{\text{miss}} [\text{GeV}]$	> 300
$H_{T,\text{sig}}^{\text{miss}}$	> 14
$m_T [\text{GeV}]$	> 120
$am_{T2} [\text{GeV}]$	> 140
$\min(\Delta\phi(\vec{p}_T^{\text{miss}}, \text{jet}_i))(i \in \{1 - 4\})$	> 1.4
$\Delta\phi(\vec{p}_T^{\text{miss}}, \ell)$	> 0.8

DM SRのExcess事象

一方、CMS Stop1Lep

● CMSも基本的にはATLASと似たような領域を見ている

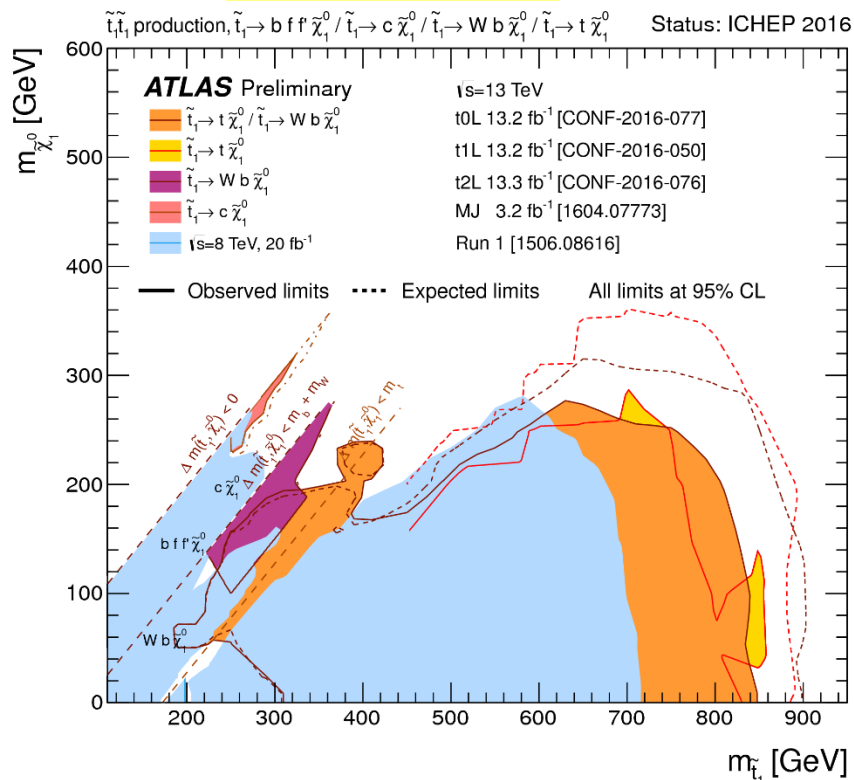
- ▶ Njet, M_{T2} , E_T^{miss} でSRをBin分け



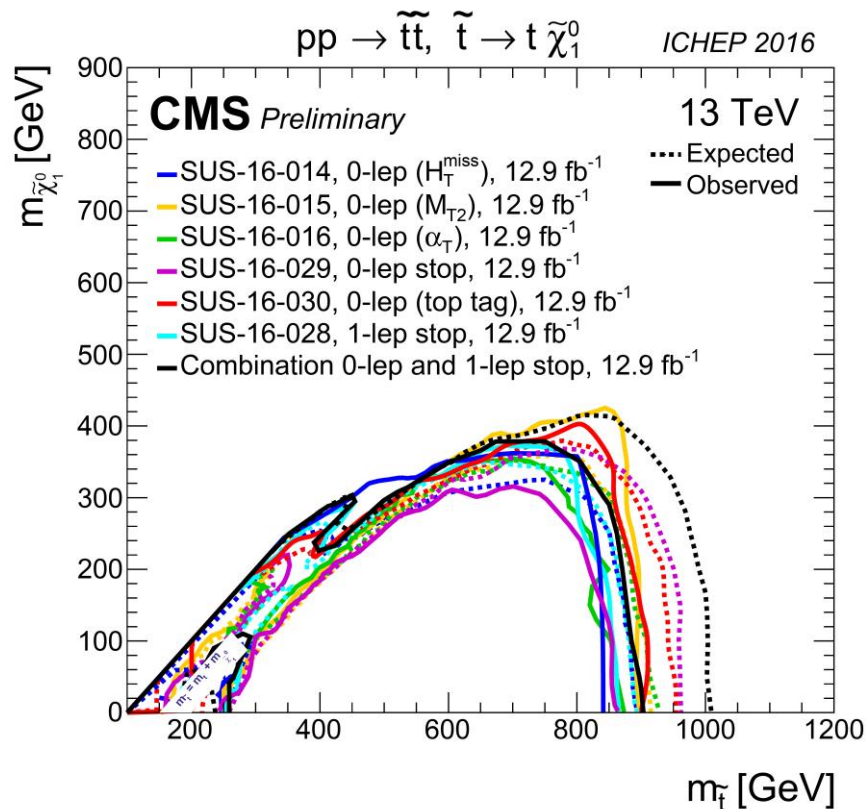
Excessなし

ストップ探索制限

ATLAS



CMS



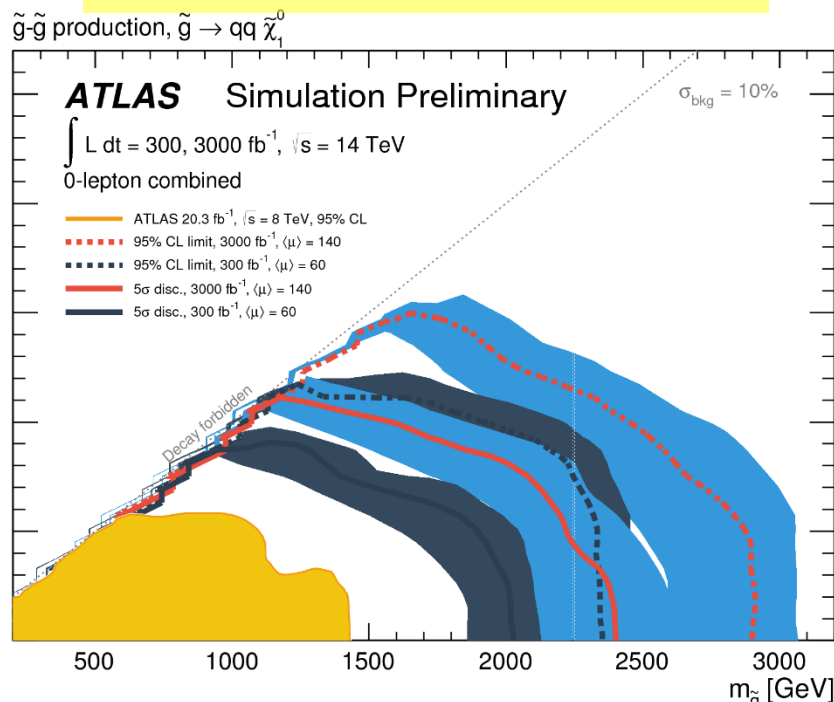
- ▶ ATLASはExcess見えているので制限弱い
- ▶ ストップ質量制限は800 GeVを超えた($m_{\chi_0} < \sim 400$ GeV)

Prospects

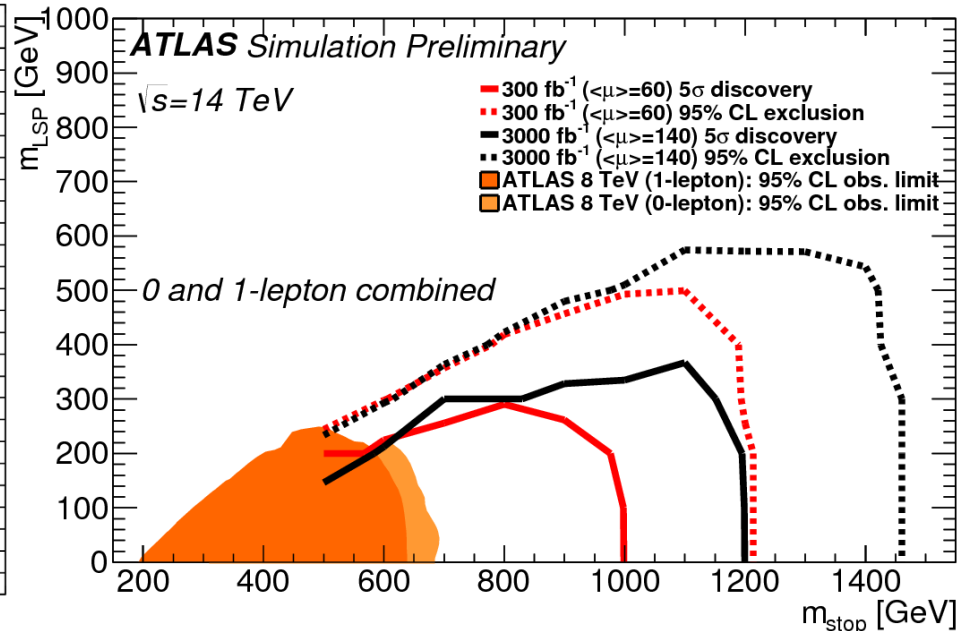
● Run2終了(2018年)にまでに100fb⁻¹をためる予定

▶ 今の勢いならもっとたまる?と期待

グリーノ探索領域




ストップ探索領域



▶ Run2の間、感度はどんどん伸びていく

▶ 今後探索範囲は2 TeV for gluino/1 TeV for stopを超えていく

まとめ : Strong SUSY Results

終状態	ターゲット	Run1		Run2 2015		Run2 2016	
		ATLAS	CMS	ATLAS	CMS	ATLAS	CMS
0L	グルイーノ						
1L	グルイーノ			2.1 σ			
Z+ E _T ^{miss}	on-shell Z	グルイーノ	3.0 σ	2.2 σ		/	
	off-shell Z	グルイーノ		/		/	3.1 σ
Multi-Leptons	グルイーノ					異なる領域	
Multi-bjet	グルイーノ					/	
Stop 0L	ストップ						
Stop 1L	ストップ			2.3 σ		3.3 σ	
Stop 2L	ストップ						/

- ▶ 小さな兆候を見逃さない
- ▶ 基本SUSY信号は複数チャンネルで見えるはずなので、チャンネル間でのチェックが重要
- ▶ **今後もどんどん探索領域は伸びていくので、注目して下さい！**