

LHC-ATLAS実験における弱ボソン対に 崩壊する共鳴状態の探索

寺師弘二、田中純一、中村浩二、増渕達也

東京大学素粒子物理国際研究センター

アウトライン

弱ボソン対共鳴探索の現状

解析のストラテジー

MC解析の結果

予想感度と将来の展望

弱ボソン対生成での探索

終状態に $WW/ZZ/WZ$ を含む、弱ボソン対共鳴状態の探索を行っている

- ▶ Warped Extra Dimension (RS)、Extended Gauge Model (EGM) W'/Z' 、Higgsなどからの信号が期待される
- ▶ レプトン対崩壊を用いた解析から強い制限がつけられている
 - EGM $W' \rightarrow l\nu : M_{W'} > 2.3 \text{ TeV}$
 - RS Graviton $\rightarrow ll : M_G > 1.8 \text{ TeV}$

弱ボソン対が主要な信号になる模型

Technicolor

- $\rho_{TC}/\alpha_{TC} \rightarrow WZ$

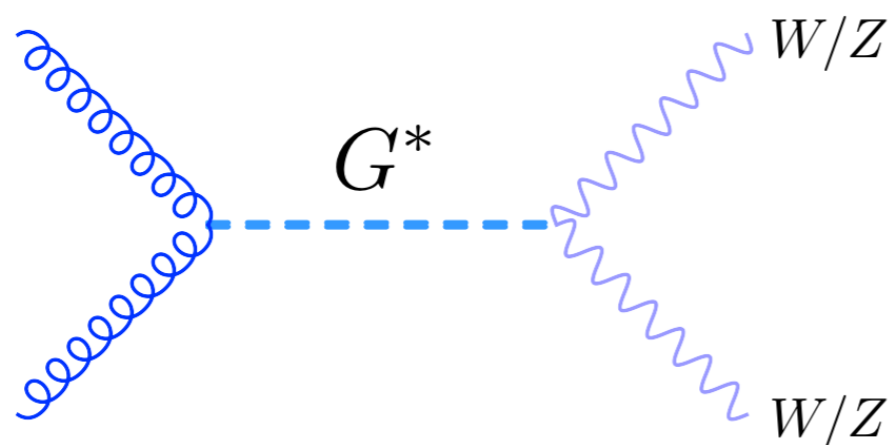
Bulk Randall-Sundrum

- KK Graviton $\rightarrow WW/ZZ$

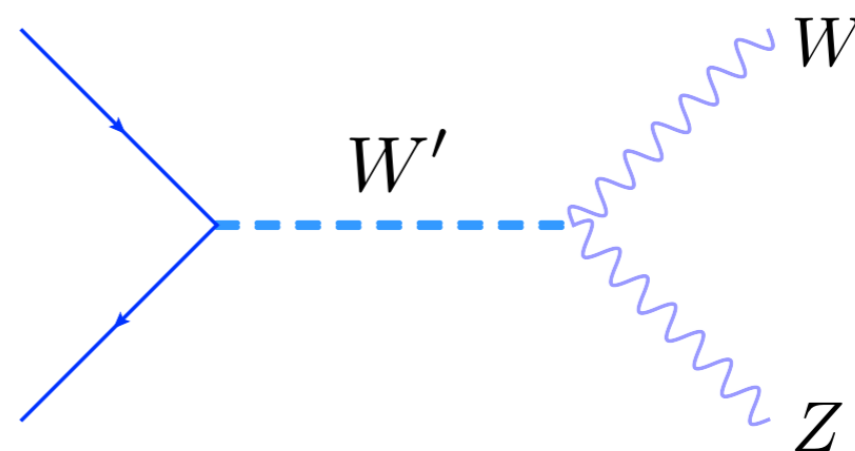
Three-site Higgsless

- $Z' \rightarrow WW, W' \rightarrow ZZ$

ベンチマーク過程



Spin-2 RS Graviton $\rightarrow WW/ZZ$



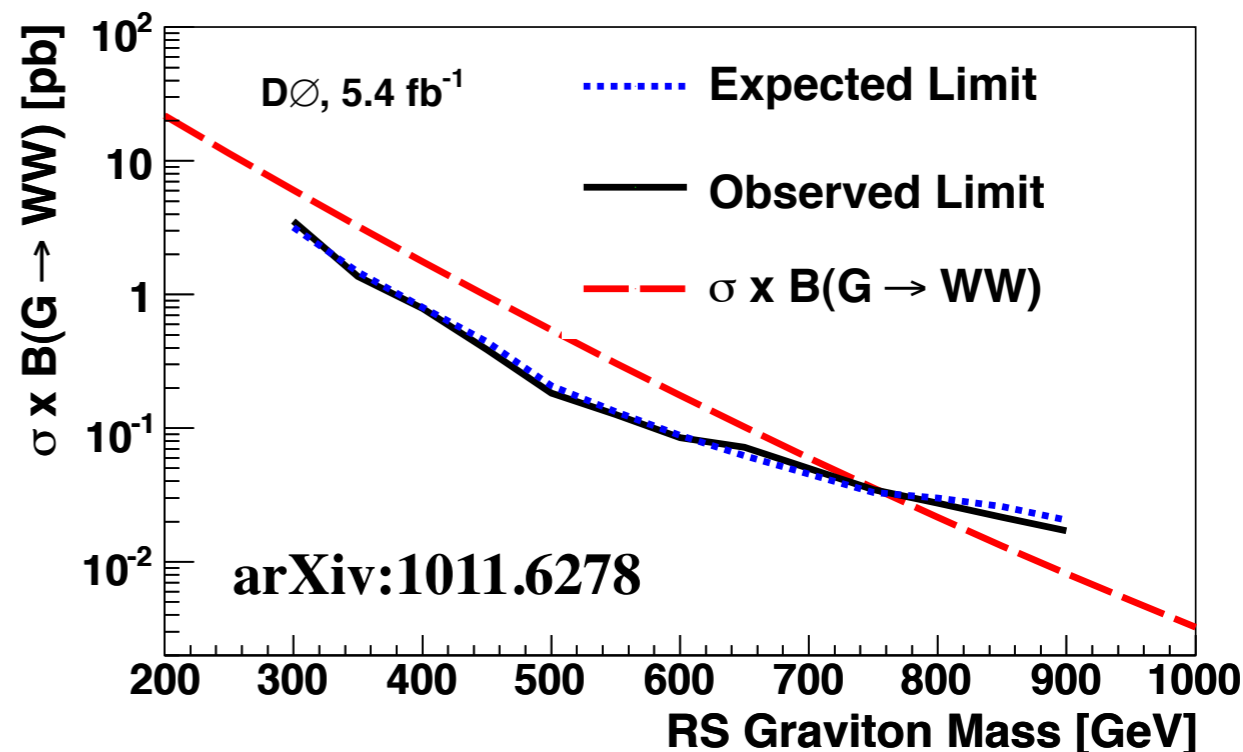
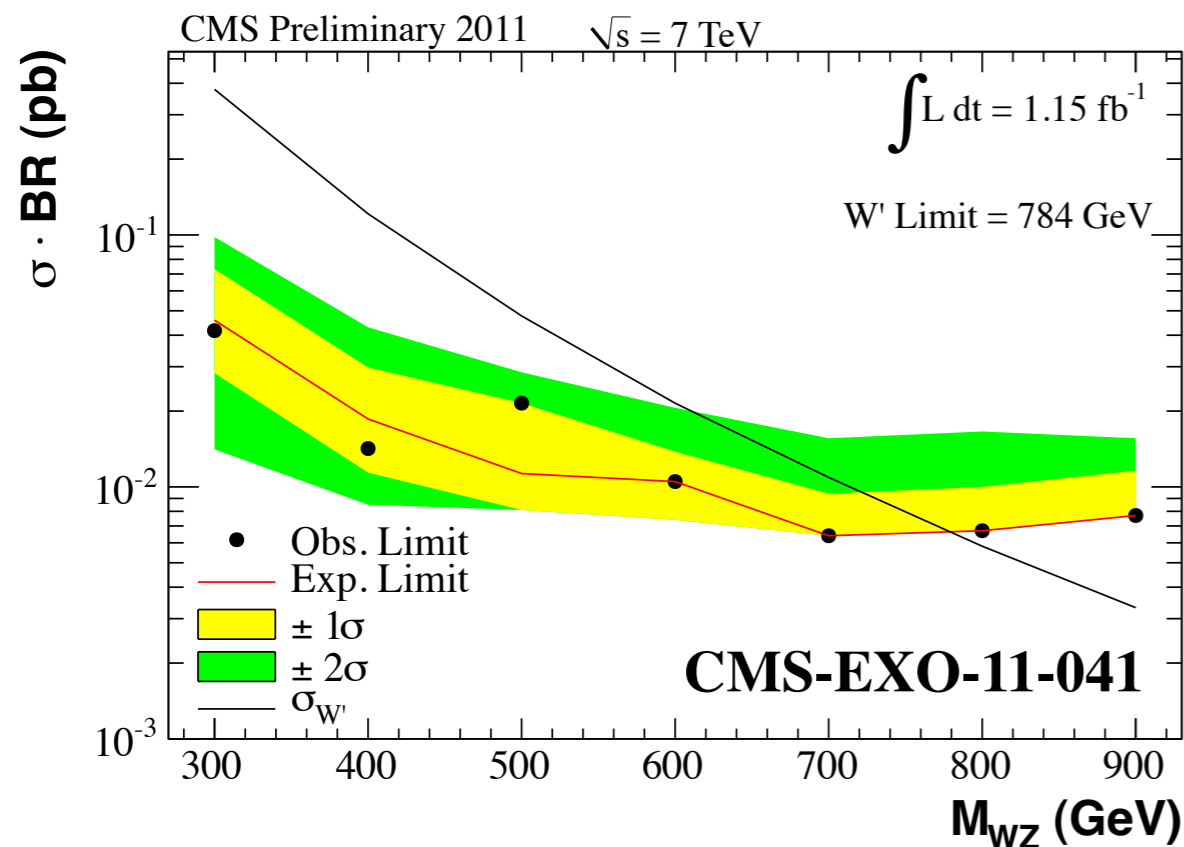
Spin-1 EGM W' -boson $\rightarrow WZ$

→ RS Graviton、EGM W' に対する棄却感度を調べる

MC解析のみです。残念ながらデータを使った結果は間に合わず、、、

実験での現状

ベンチマーク EGM $W' \rightarrow WZ$, Randall-Sundrum $G \rightarrow WW$ への制限



CMS (1.15 fb⁻¹)

- ▶ EGM $W' \rightarrow WZ \rightarrow l\nu + ll$
- ▶ Low-Scale Technicolor $\rho_{TC}/a_{TC} \rightarrow WZ \rightarrow l\nu + ll$

DØ (5.4 fb⁻¹)

- ▶ RS $G \rightarrow WW \rightarrow l\nu + jj$
- ▶ High mass signalへの感度は $l\nu + jj$, $ll + jj$ が最も高い

	95% C.L. で棄却
CMS EGM $W' \rightarrow WZ$	M < 784 GeV
DØ RS $G \rightarrow WW$, ($k/\bar{M}_{pl}=0.1$)	300 < M < 754 GeV
CDF RS $G \rightarrow ZZ$, ($k/\bar{M}_{pl}=0.1$)	M < 491 GeV

解析のストラテジー

	WW	WZ
$l\nu + jj$	44%	23%

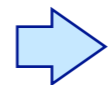
WW/WZ \rightarrow $l\nu + jj$ の場合

- ▶ $W \rightarrow l\nu + \geq 2$ jets 事象の選別
- ▶ Background Control領域の設定
- ▶ $M_{l\nu jj}$ (あるいはMT)分布でのBump Search

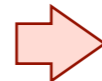
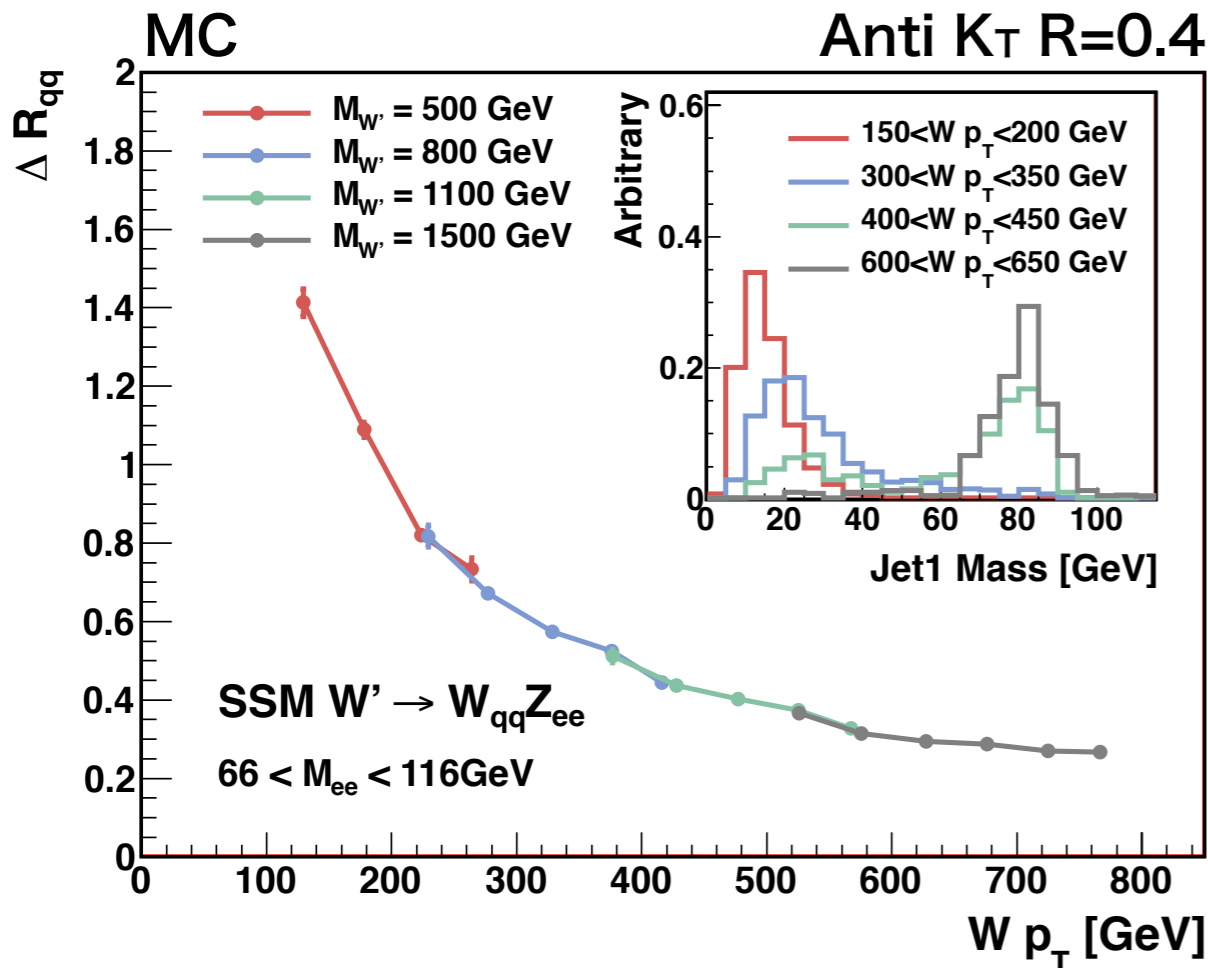
	ZZ	WZ
$ll + jj$	14%	7%

ZZ/ZW \rightarrow $ll + jj$ の場合

- ▶ $Z \rightarrow ll + \geq 2$ jets 事象の選別
- ▶ Background Control領域の設定
- ▶ M_{lljj} 分布でのBump Search



Resolved Approach (up to $\sim 1 \text{ fb}^{-1}$)



Merged Approach ($> 1 \text{ fb}^{-1}$)

1 TeVを超える共鳴状態の崩壊から生成される $W/Z \rightarrow jj$ は、高い確率でSingle Jetとして再構成される。

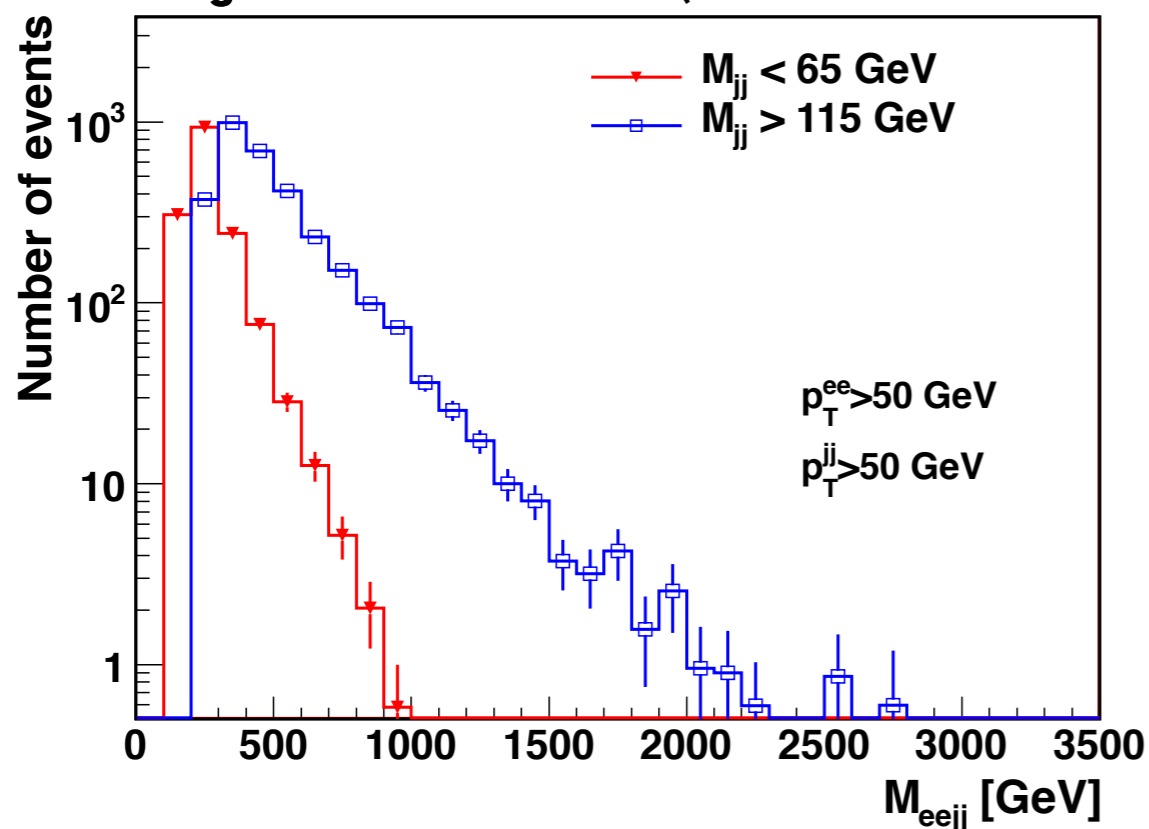
- ▶ ジェット質量・subject構造等を事象選別に利用

背景事象の評価

ZZ/ZW \rightarrow ll+jjの場合：Resolved Approach

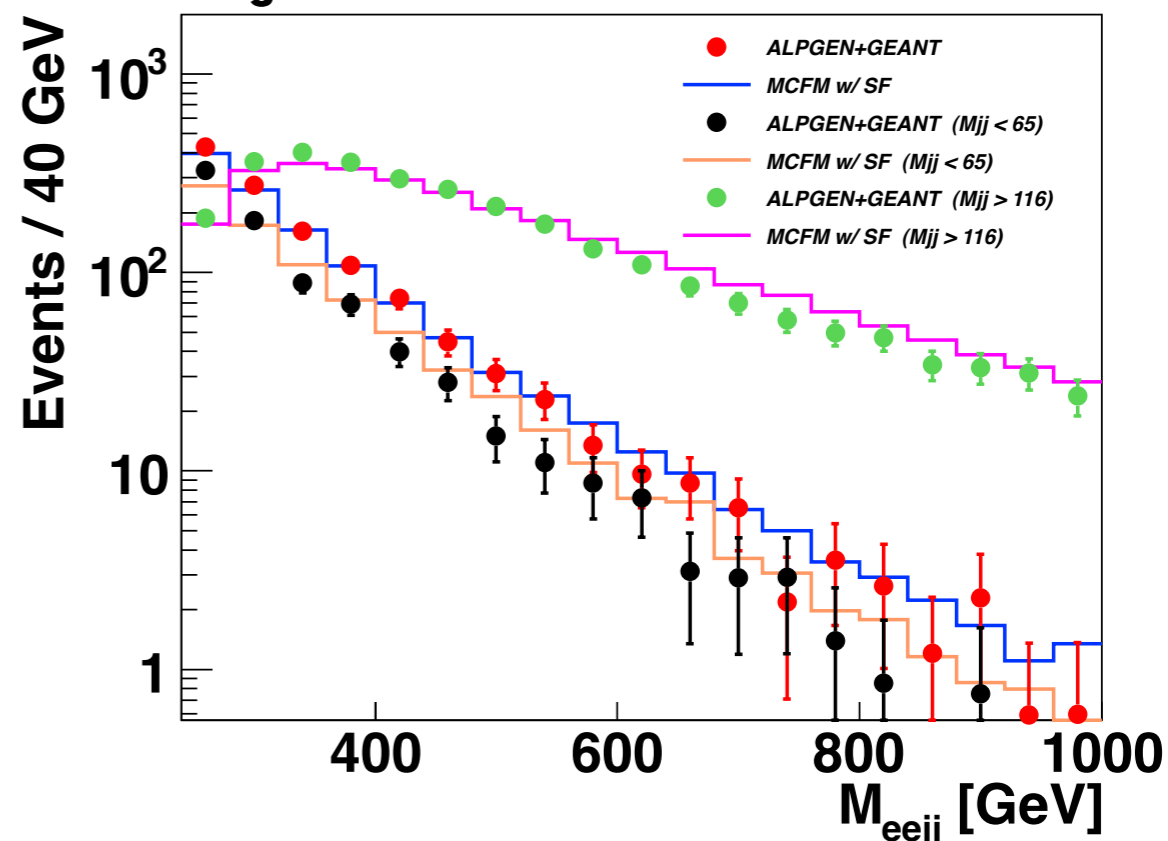
- ▶ Z \rightarrow ll+jetsが最も主要なBackground
- ▶ Z \rightarrow ll+jets Control領域 (M_{jj} sideband) でデータ/MCの比較
- ▶ ttbar Control領域でMC予想の確認
- ▶ Diboson, single top, W+jetsはMCで評価
- ▶ QCDはデータで評価

Z+jets : ALPGEN (NLOに規格化)



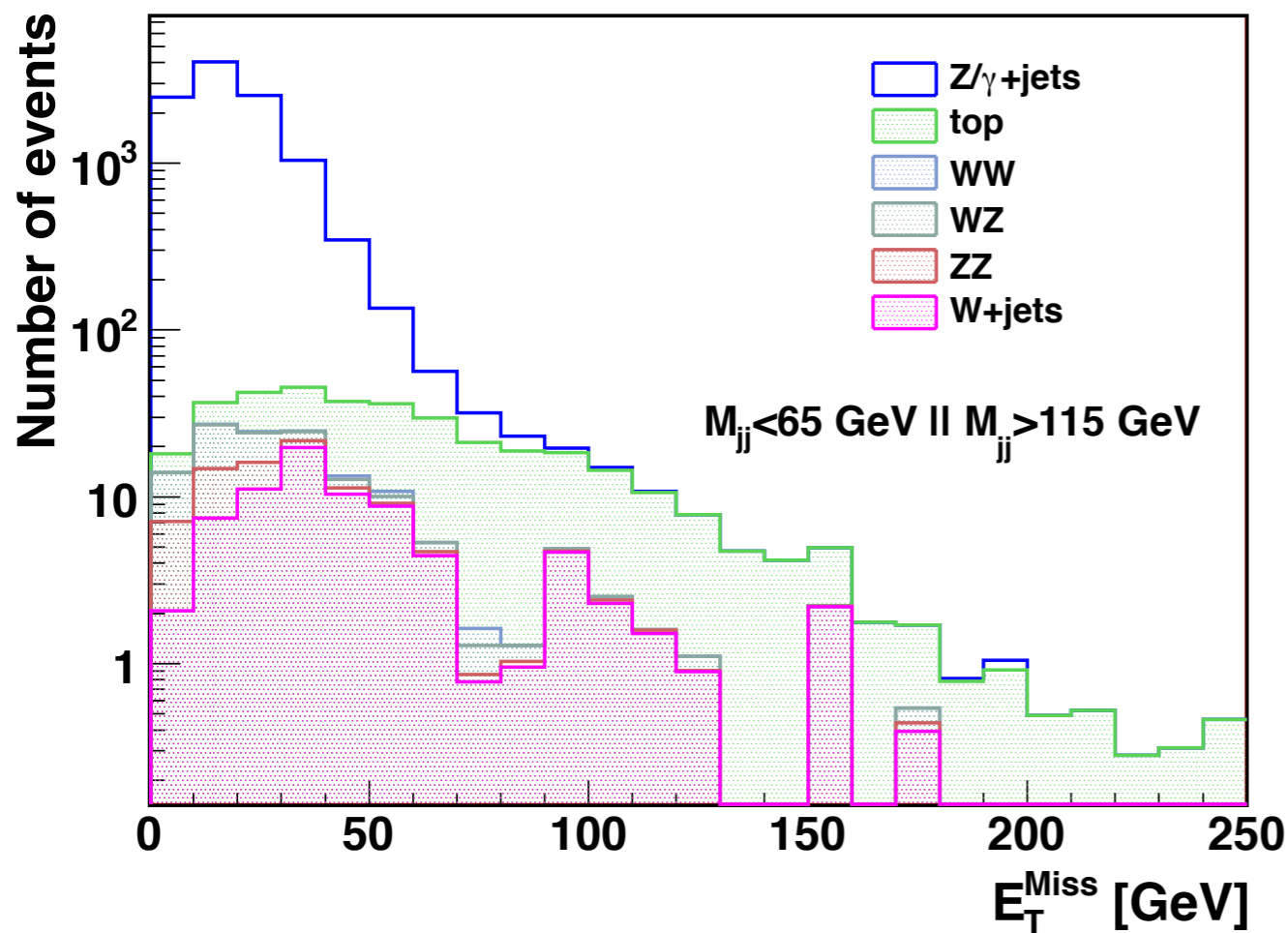
- ▶ データとの比較でMCを規格化
- ▶ 2つの M_{jj} 領域で系統誤差の評価

Z+jets : ALPGENとMCFMの比較



- ▶ 高次の寄与によるZ+jj分布変化の確認
- ▶ Control領域とSignal領域での分布形の変化

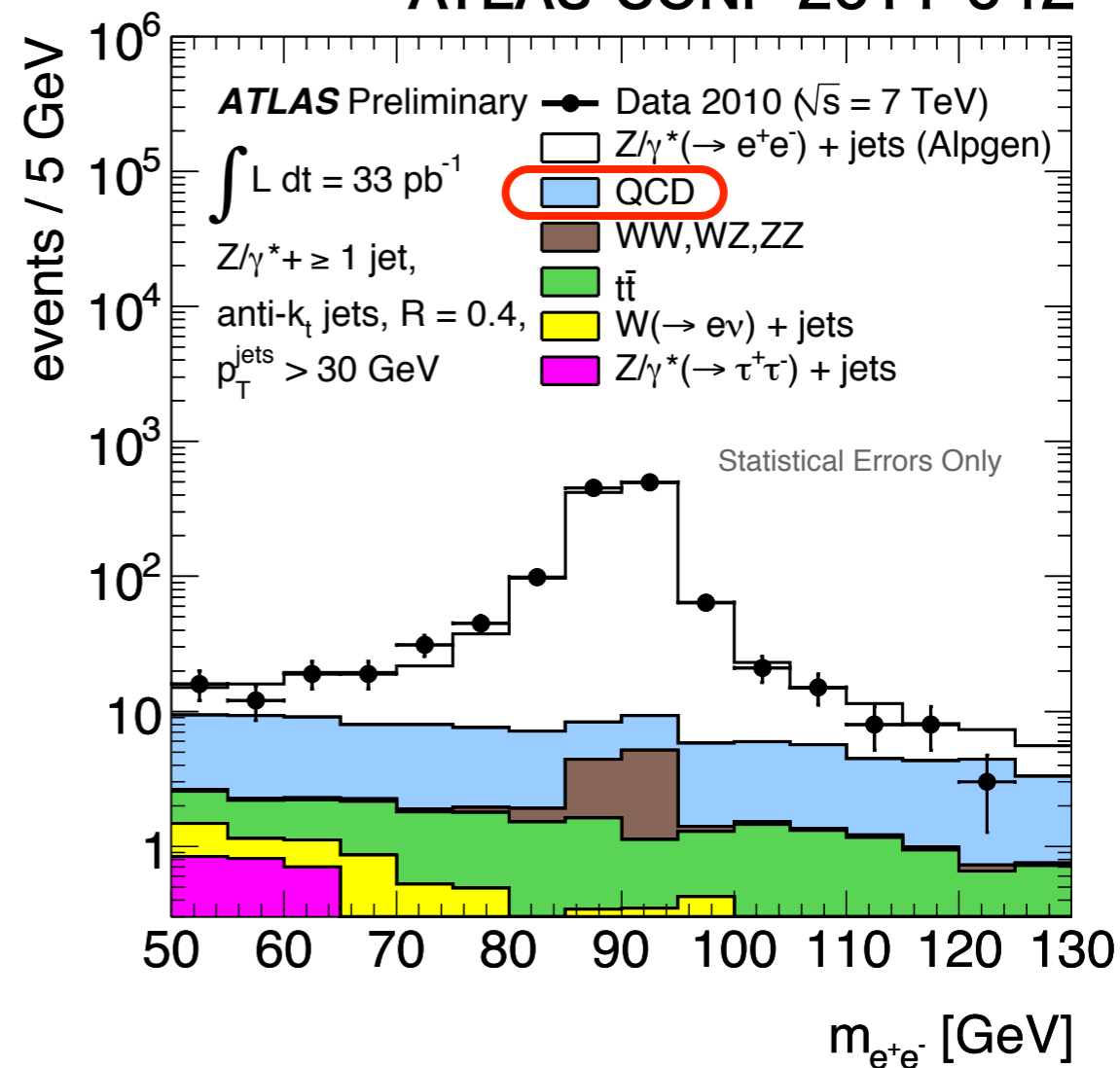
背景事象の評価



tt Background

- ▶ MCベースのBackground評価
- ▶ 2 leptons + M_{jj} sideband + $E_T^{\text{Miss}} > \sim 80 \text{ GeV}$ で normalization をデータで確認
- ▶ 異なるGeneratorで系統誤差を評価

ATLAS-CONF-2011-042



QCD Background

- ▶ Loose lepton selection で M_{ll} の QCD 分布形をデータで評価
- ▶ 標準カット後の M_{ll} 分布への Fit で normalization を決定

MCでの解析

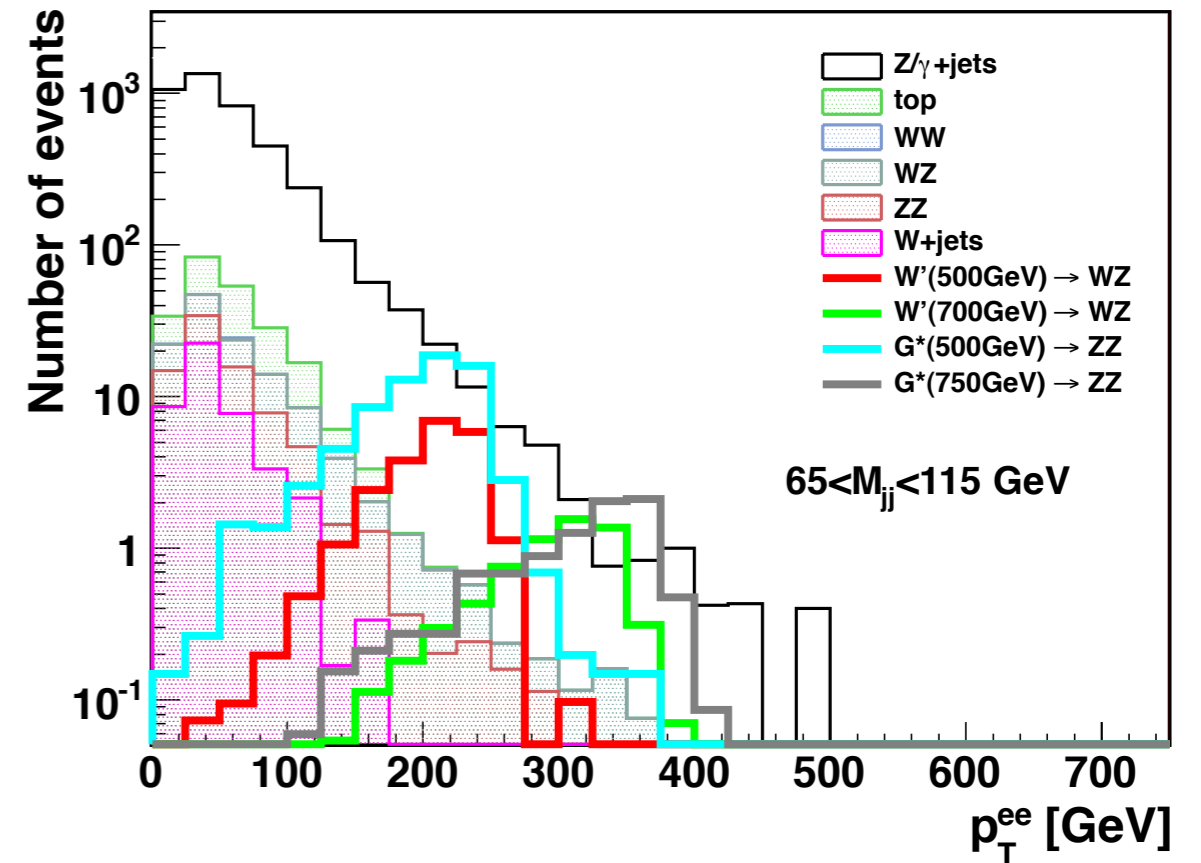
ll+jjチャンネル

Background

- ALPGEN+HERWIG/JIMMY Z/γ^* +jets
- ALPGEN+HERWIG/JIMMY W+jets
- MC@NLO+HERWIG/JIMMY tt
- MC@NLO+HERWIG/JIMMY single top
- HERWIG+JIMMY WZ/ZZ/WW

Signal

- PYTHIA $G \rightarrow ZZ \rightarrow qqll$ ($l=e, \mu$) : $k/\bar{M}_{pl} = 0.1$
- PYTHIA $W' \rightarrow WZ \rightarrow qqll$ ($l=e, \mu$)



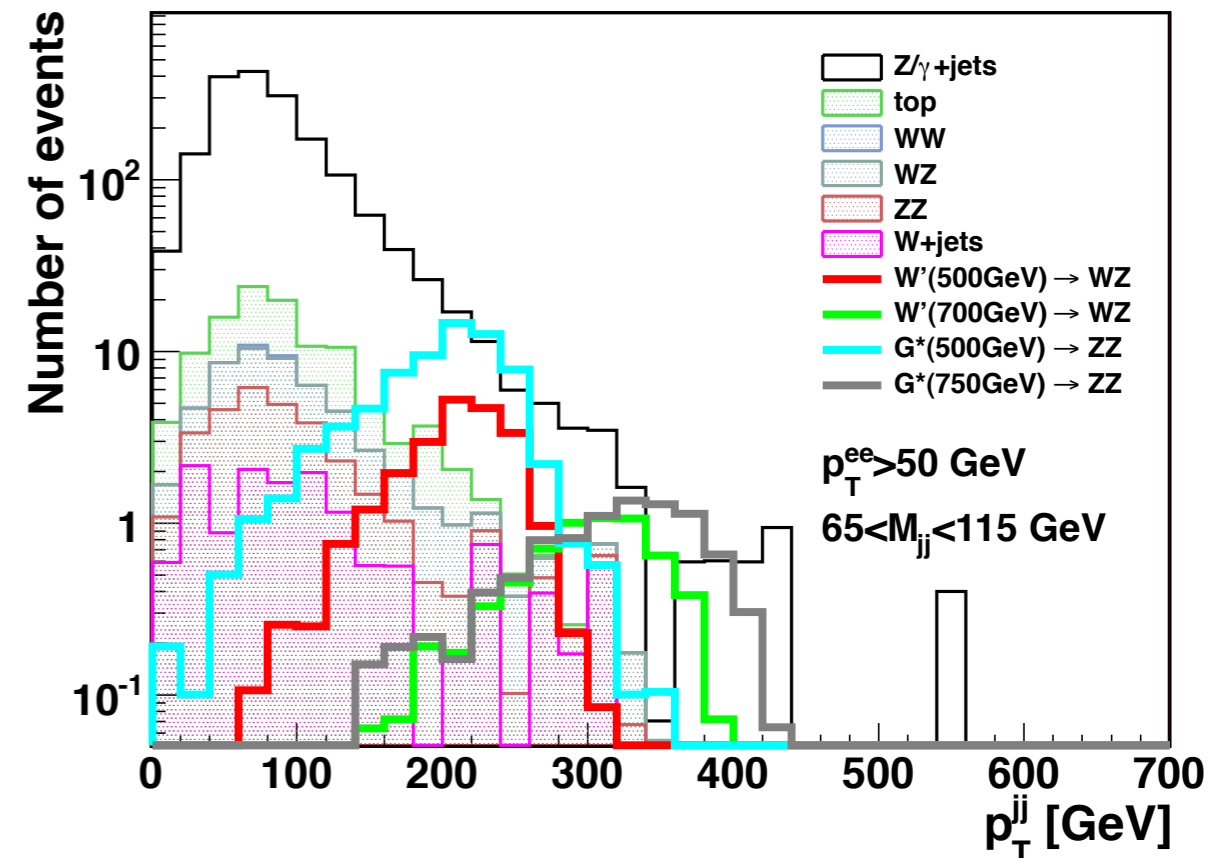
Resolved Approach

Pre-selection

- ▶ =2 electrons or =2 muons ($p_T > 20$ GeV)
- ▶ $|M_{ll} - M_Z| < 25$ GeV
- ▶ ≥ 2 jets ($p_T > 25$ GeV)

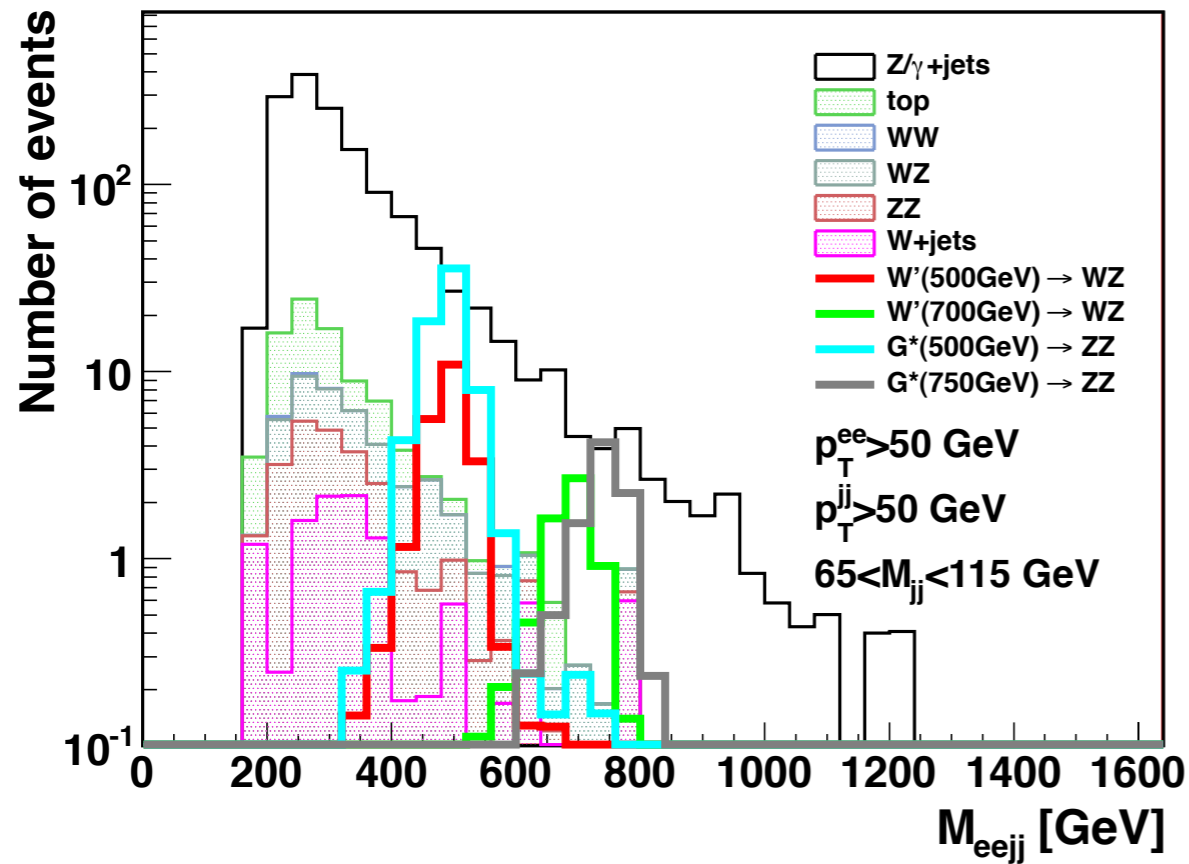
Low (High) Mass signal selection

- ▶ $65 < M_{jj} < 115$ GeV
 - ▶ $p_T^{ll} > 50$ (200) GeV
 - ▶ $p_T^{jj} > 50$ (200) GeV
- W/Zはboostされることを利用

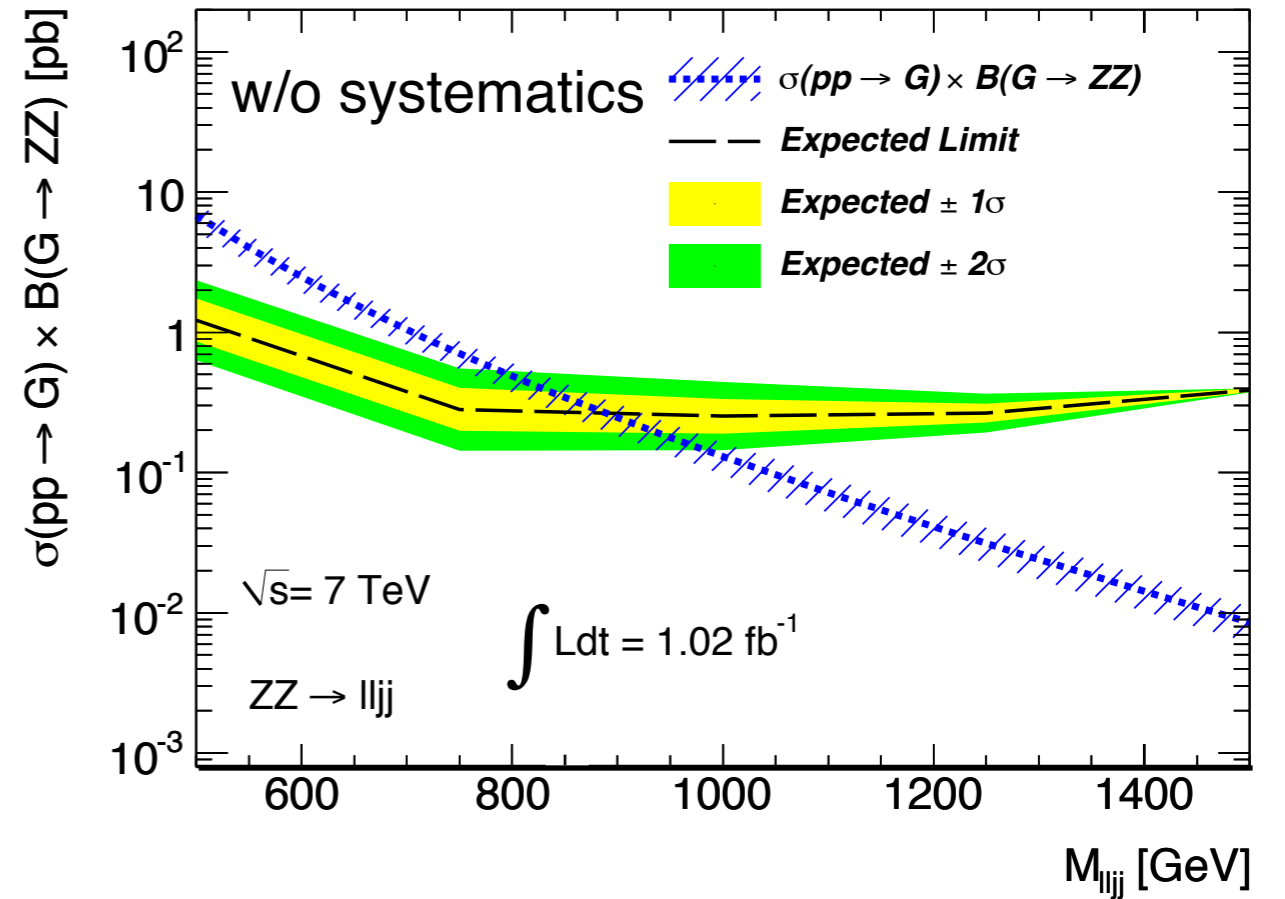


MC解析の結果 (1 fb⁻¹)

Low Mass signal selection



RS $G \rightarrow ZZ$ に対するExpected Sensitivity



- ▶ 分布は全て1 fb⁻¹に規格化
- ▶ M_{ljj} 分布でlikelihood fit
 - 250 GeV毎の信号サンプルを使用
 - 実際の解析では信号のresolution ($\sigma_{\text{gaus}}=30-50$ GeV)毎にテンプレートを作成

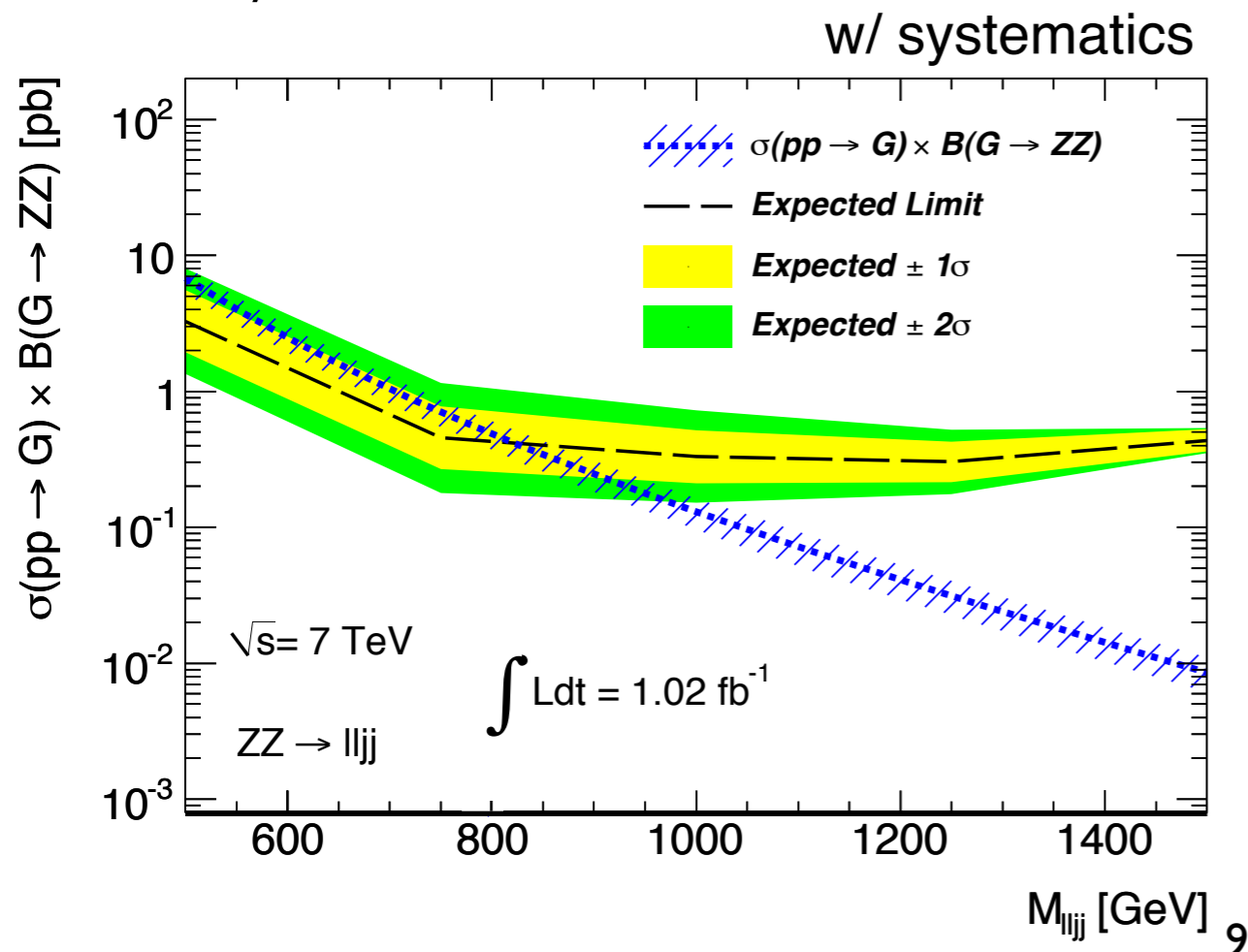
- ▶ Modified frequentist method
- ▶ 系統誤差は含まない
- ▶ 850GeV程度までのRS Gravitonに感度がある

系統誤差の予想

ZZ/ZW→ll+jjの場合：

Resolved Approach

- ▶ 理論断面積の誤差 (diboson, ttなど)
- ▶ Z→ll+jets Control領域での比較
- ▶ MC予想の分布形の違い (Z+jets, tt)
- ▶ 信号アクセプタンスの不定性
 - PDF (NLO)
 - ISR/FSR



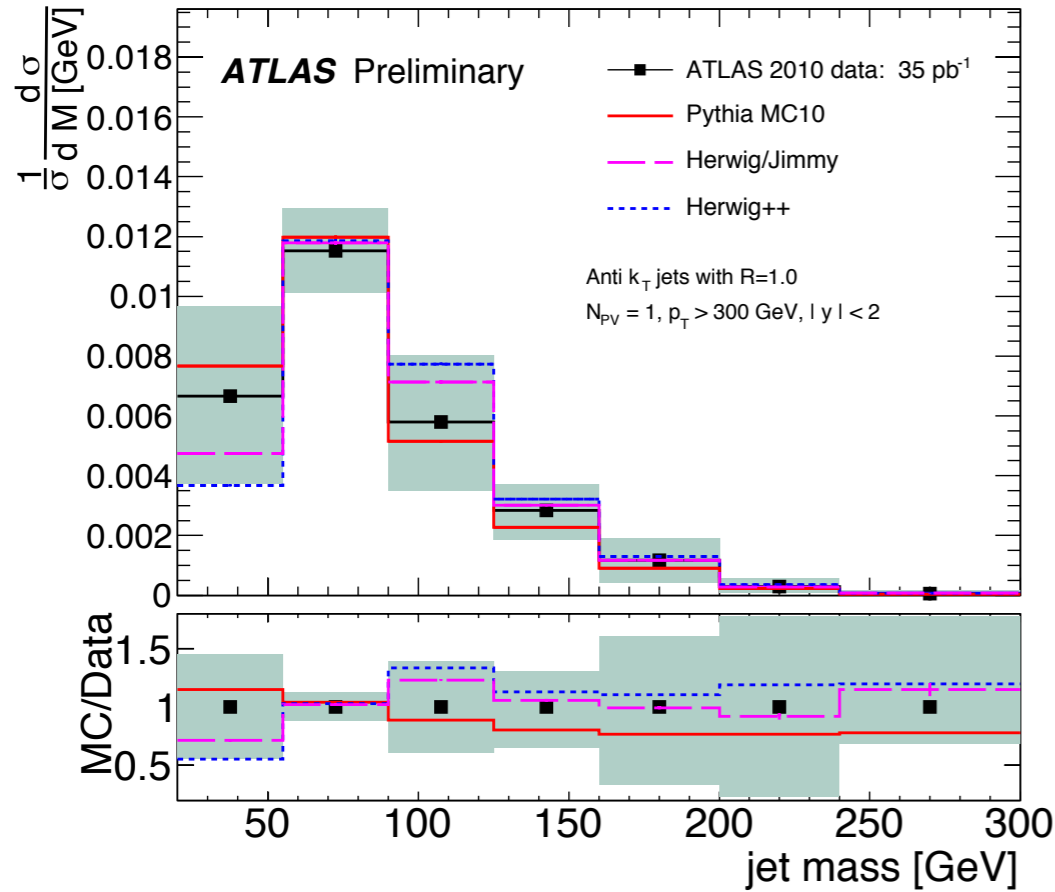
現在予想されている系統誤差

Luminosity	3.7%
Backgroundの評価	
Z+jets (normalization)	~35%
Z+jets (Control Region shape)	~20%
Z+jets (Signal Region shape)	~20%
ttbar (σ)	10%
ttbar (shape)	25%
W+jets (σ)	30%
WZ/ZZ (σ)	5-7%
QCD (normalization)	100%
Signalの評価	
PDF	~1%
ISR/FSR	~10%

➔ Z+jets BGの系統誤差を
押さえることが重要

Merged Approachの可能性

ATLAS-CONF-2011-073



Jet massやsubjet再構成の理解が進み、軟正法・系統誤差の評価方法が確立されてきた。

▶ QCD jet massの測定 (Anti- k_T $R=1.0$)

▶ Track jetを使った系統誤差の評価

→ Jet mass/subjet情報をW/Z→qqのselectionに利用できる環境が整いつつある。

Merged Approach

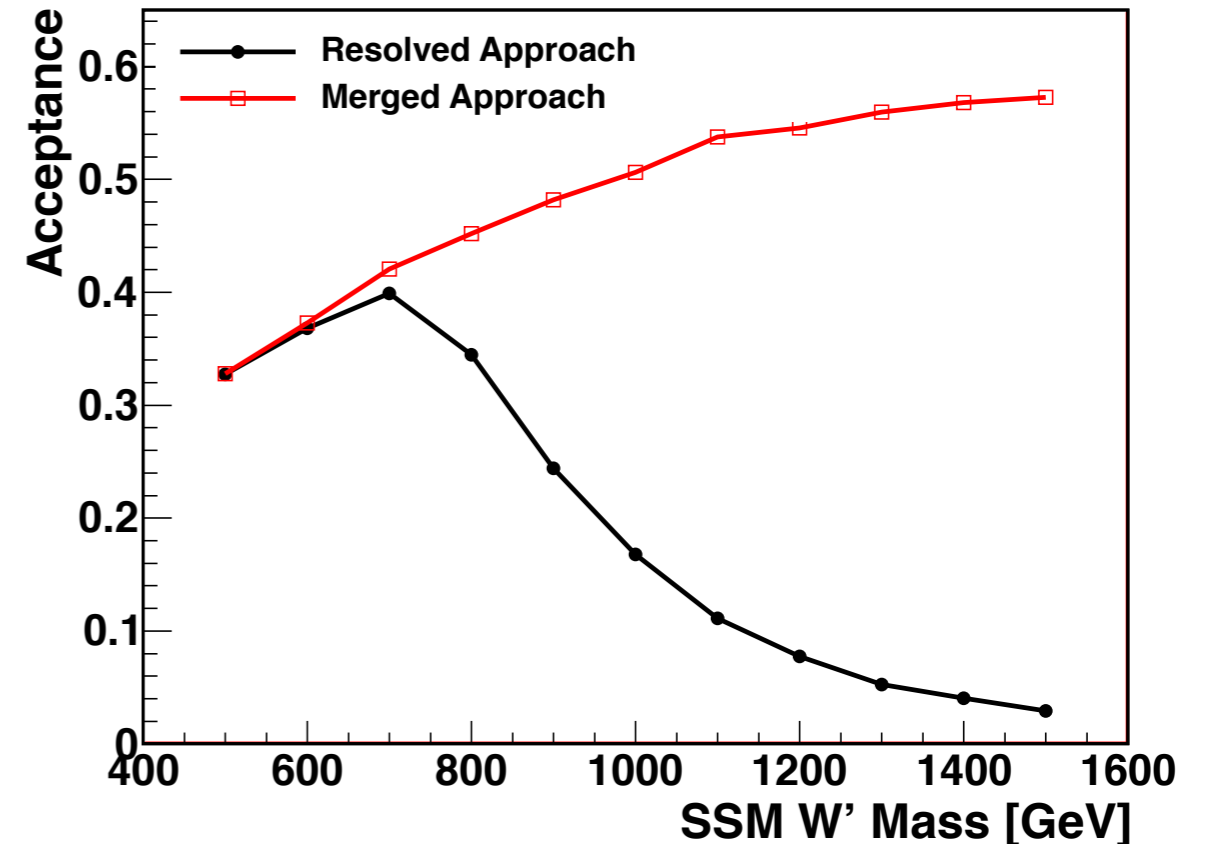
Pre-selection

- ▶ =2 electrons or =2 muons ($p_{T>20} \text{ GeV}$)
- ▶ $|M_{ll} - M_Z| < 25 \text{ GeV}$

Merged signal selection

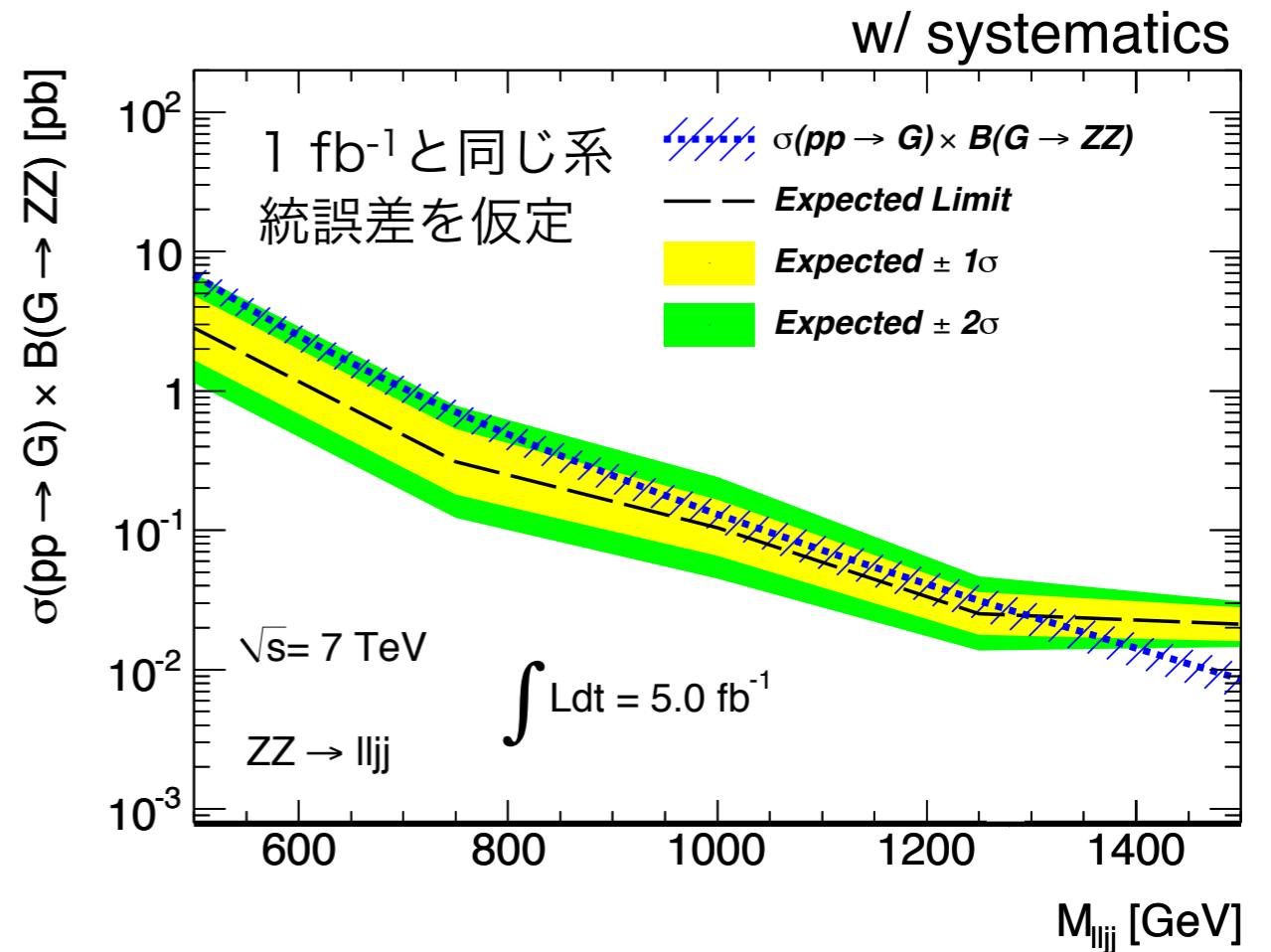
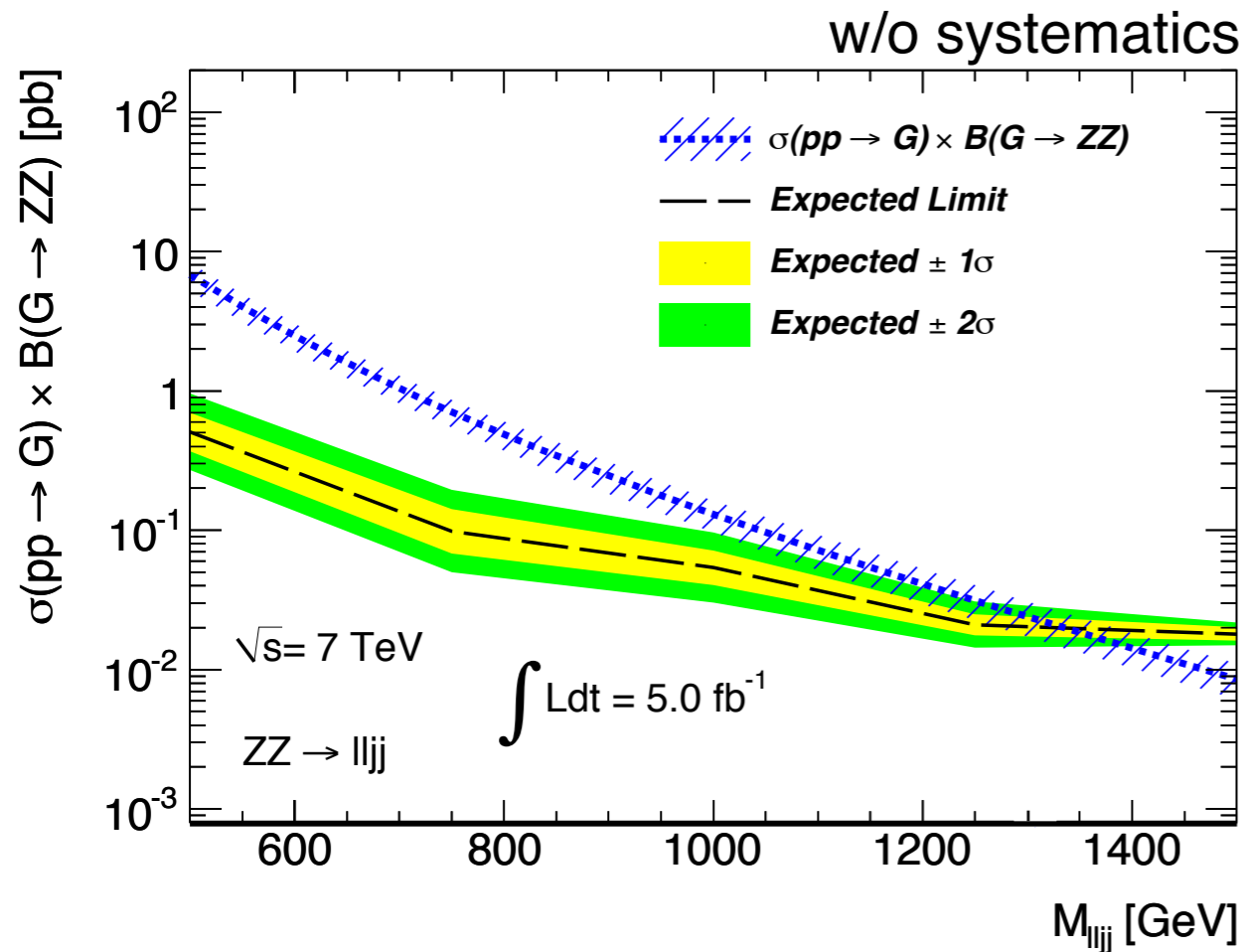
- =1 jet : $65 < M_{\text{jet}} < 115 \text{ GeV}$
 - ≥ 2 jets : $65 < M_{\text{jet}1} < 115 \text{ GeV}$
- otherwise resolved approach

EGM W'に対するアクセプタンス



Merged Approachでの予想 (5 fb⁻¹)

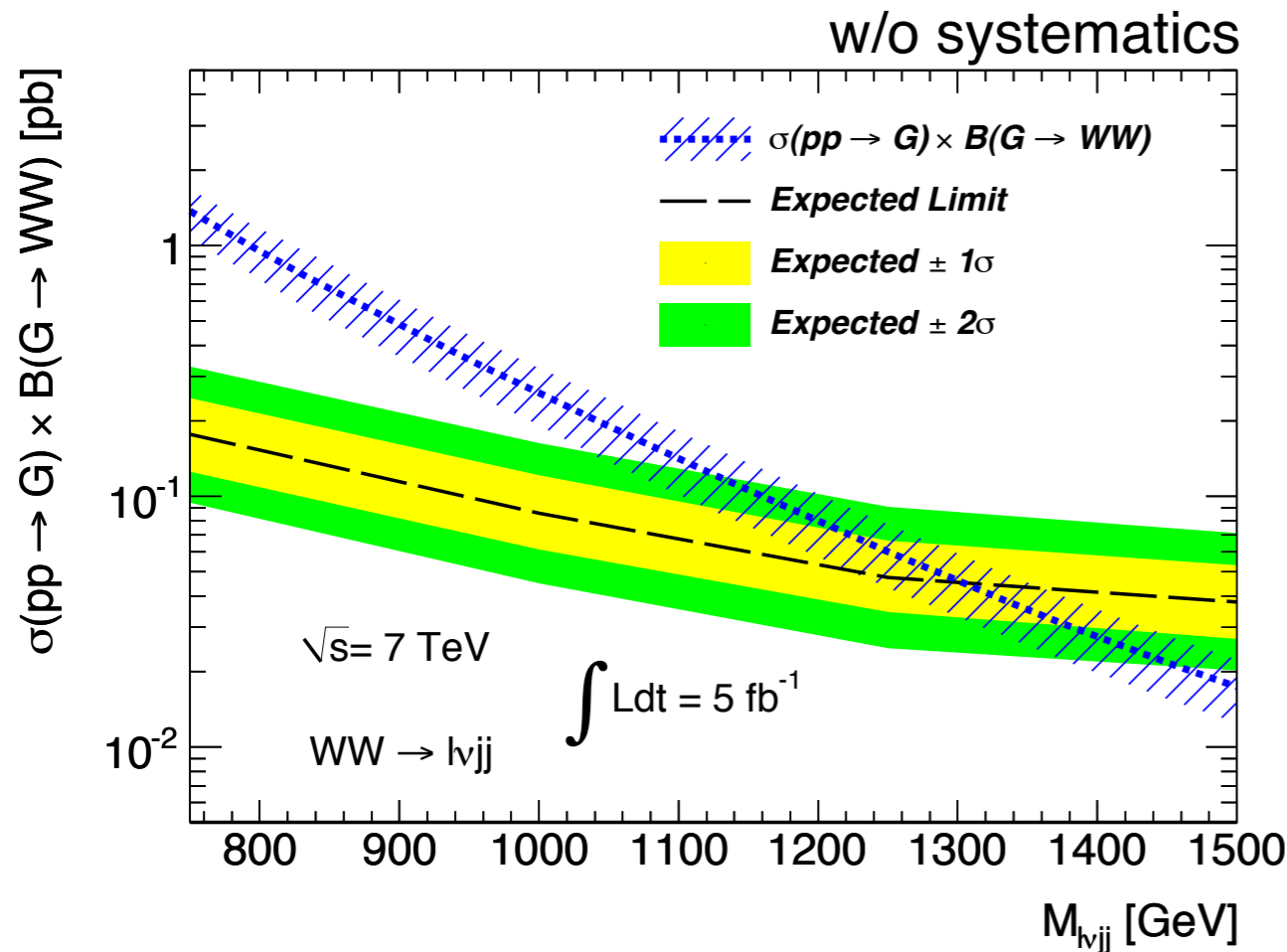
RS G→ZZに対するll+jjのExpected Sensitivity



- ▶ High Mass Signalへの感度向上が期待できる (Expected : 850GeV→1.3TeV)
- ▶ ただし系統誤差の改善が必要
 - W/Z+jets過程のM_{jj}質量分布等のさらなる理解
 - ジェット質量軟正の改善
 - Pile-upに対してRobustな解析方法の構築

Merged Approachでの予想 (5 fb⁻¹)

RS G→WWに対するlν+jjのExpected Sensitivity



Merged Approach

Pre-selection

- ▶ =1 electron or =1 muon ($p_T > 30 \text{ GeV}$)
- ▶ $E_T^{\text{Miss}} > 30 \text{ GeV}$
- ▶ $M_T(l, E_T^{\text{Miss}}) > 20 \text{ GeV}$

Merged signal selection

- =1 jet : $65 < M_{\text{jet}} < 115 \text{ GeV}$
- ≥ 2 jets : $65 < M_{\text{jet}1} < 115 \text{ GeV}$

otherwise resolved approach

- ▶ RS G→ZZ→ll+jjと同程度の感度がある (Expected : ~1.3TeV)
- ▶ 系統誤差の評価を現在進めている
 - W/Z+jets過程の理解、ジェット質量軟正などはll+jjと共通項が多い
 - E_T^{Miss} 、fake backgroundの理解

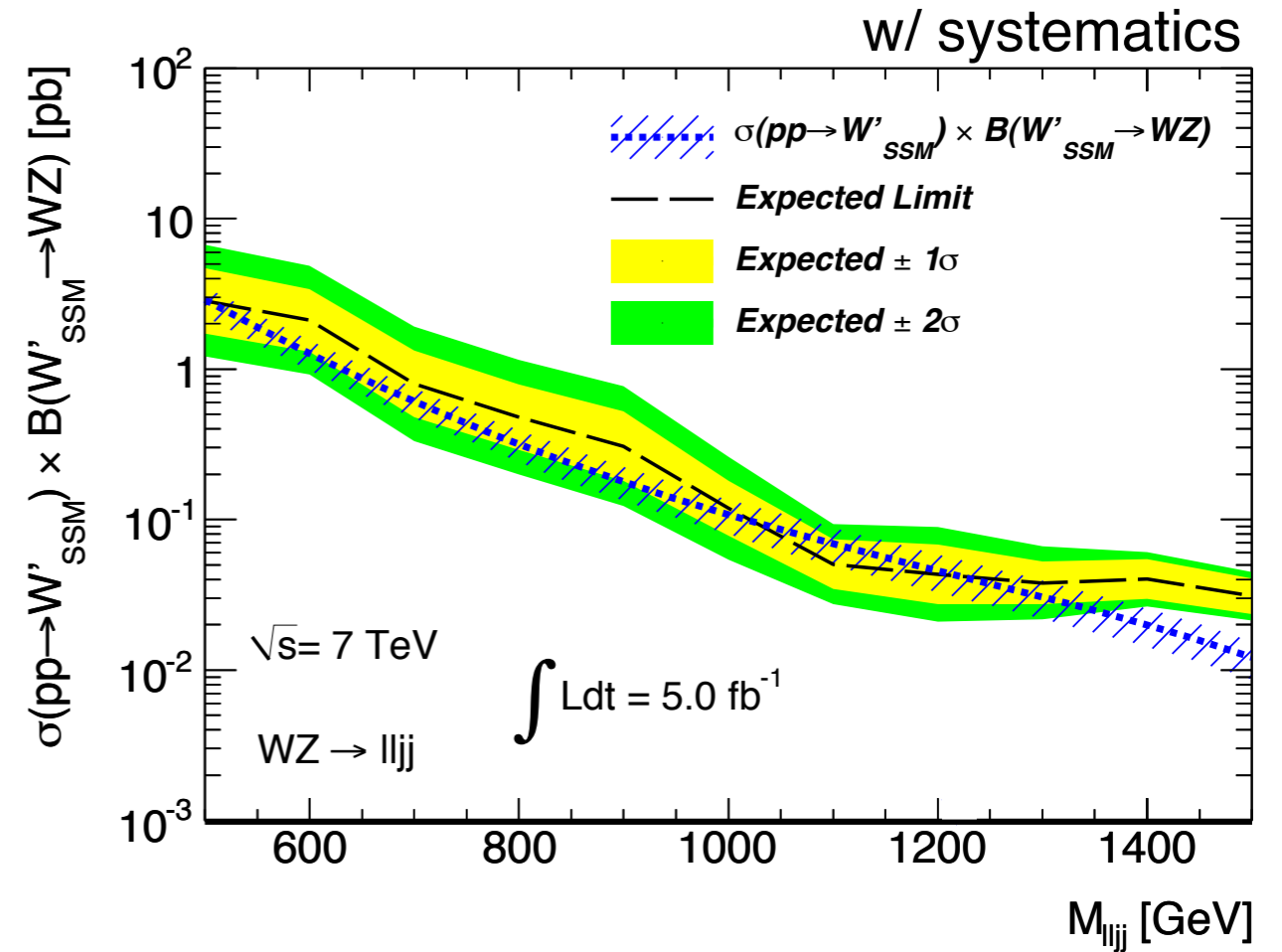
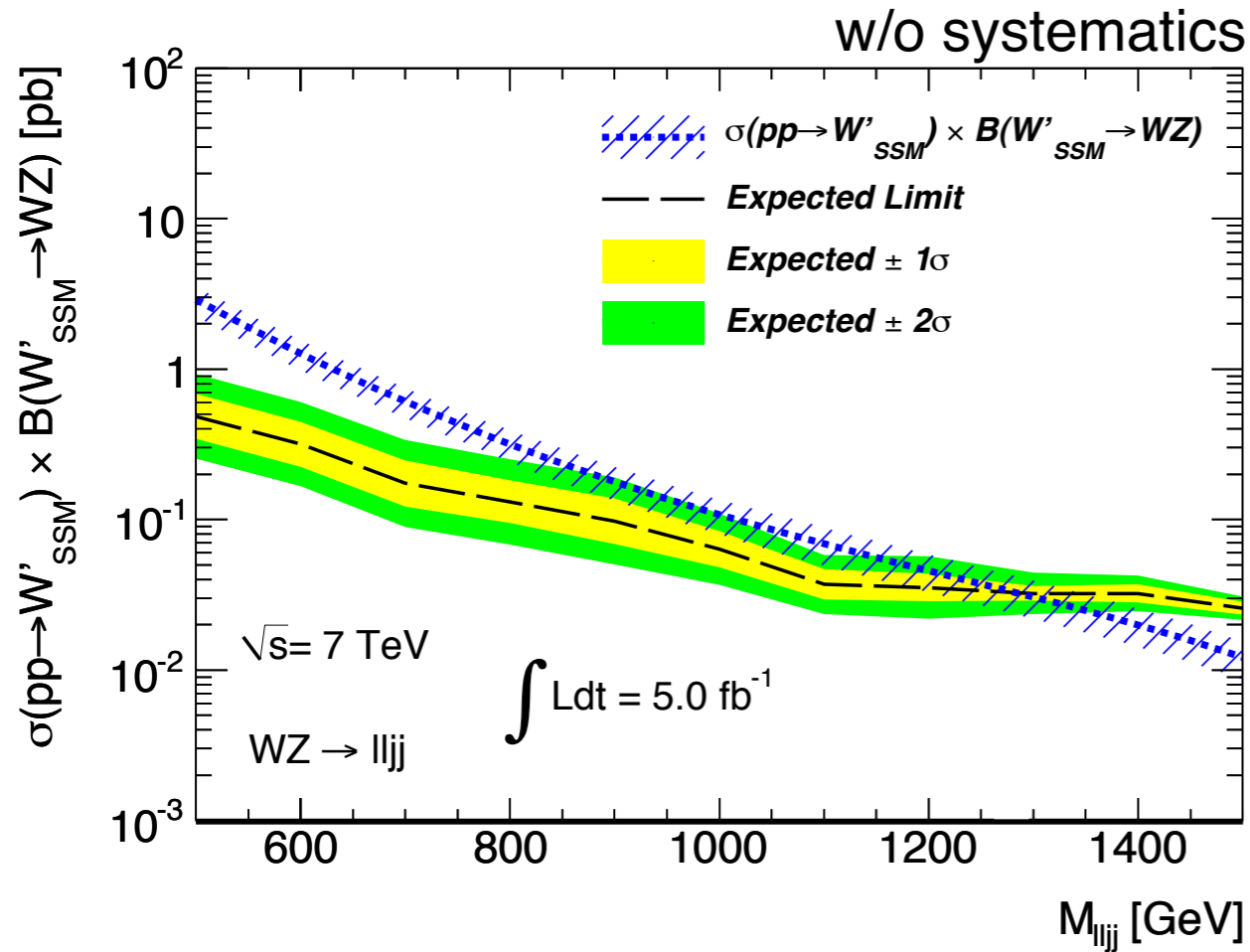
まとめ

- ▶ 弱ボソン対生成を伴う信号粒子探索を進めている。
- ▶ 信号粒子の質量とデータの理解に合わせて、ResolvedとMerged Approachを採用する予定。
- ▶ 現在予想される系統誤差を考慮した場合、 $ll+jj$ チャンネルで1 (5) fb^{-1} のデータをもとに800 GeV (1.3 TeV)程度までのRandall-Sundrum Gravitonを棄却できる可能性がある。
- ▶ 弱ボソン対崩壊が主要な信号となるモデルを調査中。
- ▶ データを使った解析を鋭意進めている。

バックアップ

Merged Approachでの予想 (5 fb⁻¹)

EGM W' → WZに対するExpected Sensitivity



- ▶ 系統誤差を含まない場合、RS $G \rightarrow ZZ$ と同程度の感度がある (Expected : 1.25TeV)
- ▶ 系統誤差の改善が非常に重要