

ATLAS実験におけるミュオンに崩壊 する重い新粒子の探索

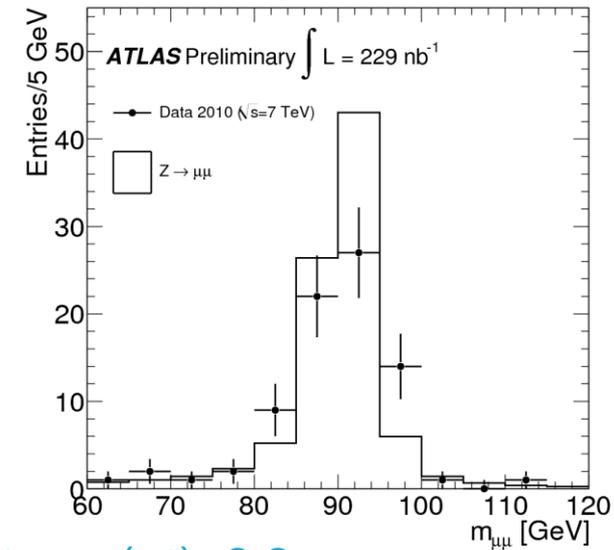
石川 明正, 他ATLAS Collaboration

神戸大学

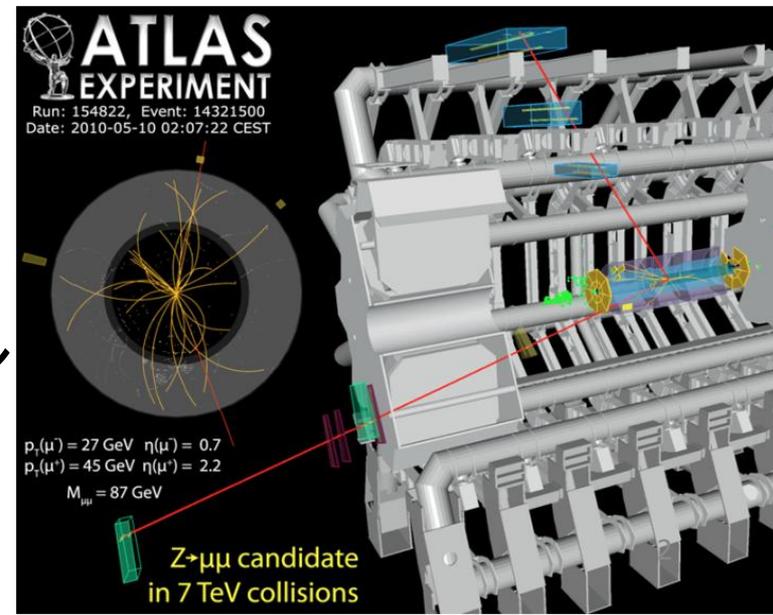
Introduction

- ハドロンコライダーでは高運動量のミュオン対はクリーンな Signature
- ATLAS ミュオン検出器
 - $|\eta| < 2.7$
 - cf. CDF 高運動量 μ $|\eta| < 1.0$
- ATLAS実験におけるミュオン対を用いた共鳴探索は実験初期でも
 - 断面積の小さい領域まで探索可能
 - Tevatronの制限を超える
- Z'がミュオン対に崩壊するモードのシミュレーションによる探索感度の研究

Background free

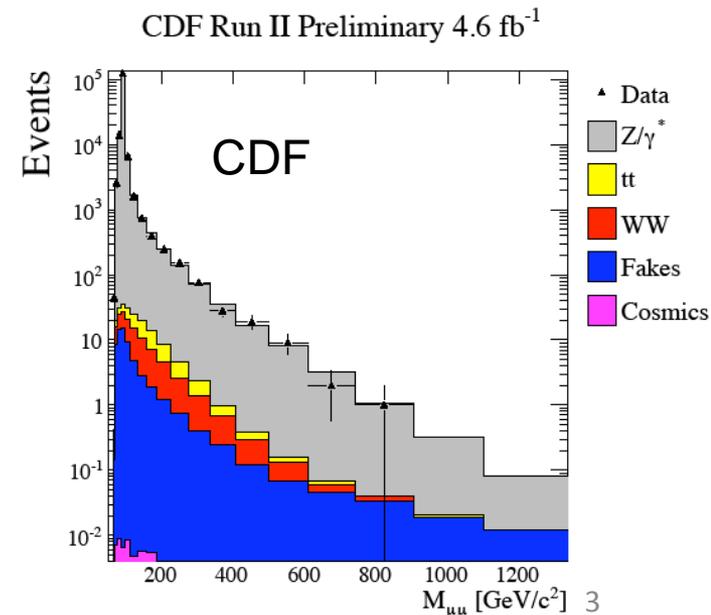


$Z \rightarrow \mu^+\mu^-$, $\eta(\mu^+) = 2.2$



Z'

- 新たなゲージ対称性 + 自発的破れ → Z'
 - 例えばGUT
- ゲージ群とその破れ方により性質が異なる
 - $Z'_R : SO(10) \rightarrow SU(4) \times SU(2)_L \times SU(2)_R$
 - $Z'_\chi : SO(10) \rightarrow SU(5) \times U(1)_\chi$
 - $Z'_\phi : E_6 \rightarrow SO(10) \times U(1)_\phi$
 - $Z'_\eta : E_6$, mixture of Z'_χ and Z'_ϕ
- ベンチマークモデル
 - Sequential Standard Model (SSM) : Z'_{SSM}
 - 標準模型と性質が同じであるが質量だけ重い
- 現在の質量の下限は CDF により決定
 - $m_{Z'_{SSM}} > 1071 \text{ GeV}$
- これ以降は Z'_{SSM} を Z' と呼ぶ



シミュレーション

- Full シミュレーション
- $E_{\text{CM}} = 7 \text{ TeV}$
- MCサンプル
 - $Z' \rightarrow \mu\mu : m_{Z'} = 1.0, 1.5 \text{ TeV} (\sigma = 130\text{fb}, 15\text{fb})$
 - Drell-Yan $\mu\mu$ (例えば $0.8 < M_{\mu\mu} < 1.25 \text{ TeV}$ だと $\sigma = 3.6\text{fb}$)
 - Irreducible background
 - Top pair ($\sigma = 160\text{pb}$, NLO)
 - QCD jets, $E_T > 8 \text{ GeV} (\sigma \sim 10\text{mb})$
 - σ が大きいのでこのままだと大量の積分Luminosity相当を作るのは無理
 - E_T の bin ごとに分けて生成し、background になる high E_T 領域の積分Luminosityを増やす
- MC は Top pair だけが NLO Generator を用い他は LO で、 σ の K-factor は考慮に入っていない

ミューオンの測定

- ATLAS検出器

- ID : 内部飛跡検出器

- $\delta p_T/p_T = 0.5 [\text{TeV}^{-1}] \times p_T$ (10% at $p_T = 200\text{GeV}$)

- $|\eta| < 2.5$

- Cal : カロリーメータ

- MS : ミューオン測定器

- $\delta p_T/p_T = 10\%$ at $p_T = 1 \text{ TeV}$

- $|\eta| < 2.7$

- ミューオンの測定

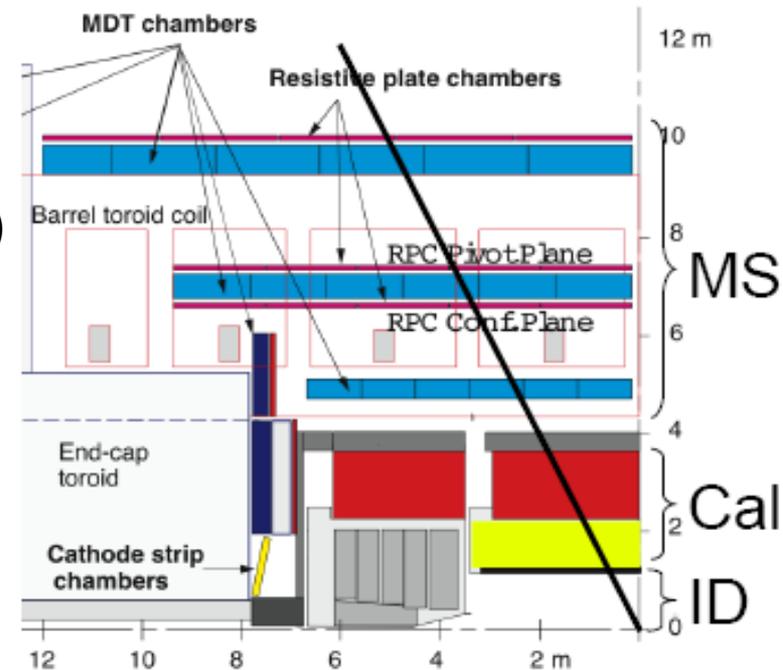
- トロイド磁場とミューオン測定器を用いて飛跡を再構成し運動量を測定

- カロリーメータでのエネルギー損失を補正

- 内部飛跡検出器による飛跡とのマッチング

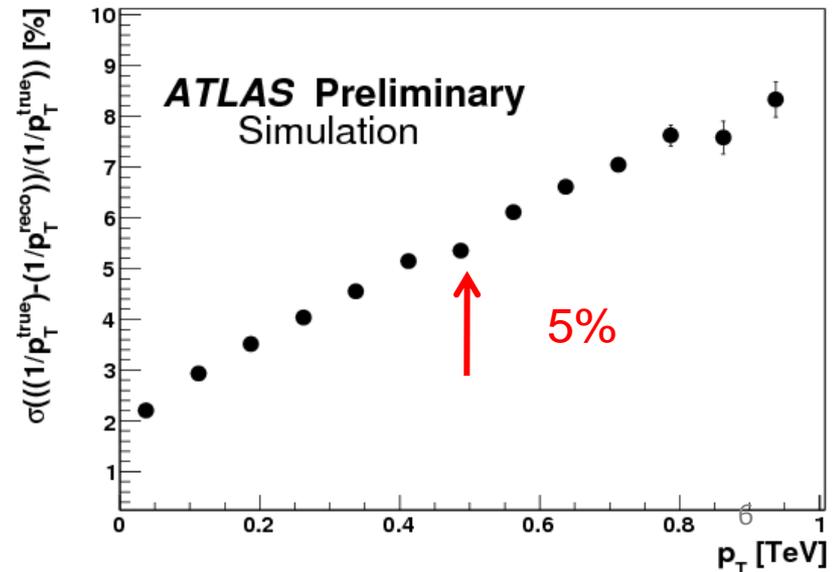
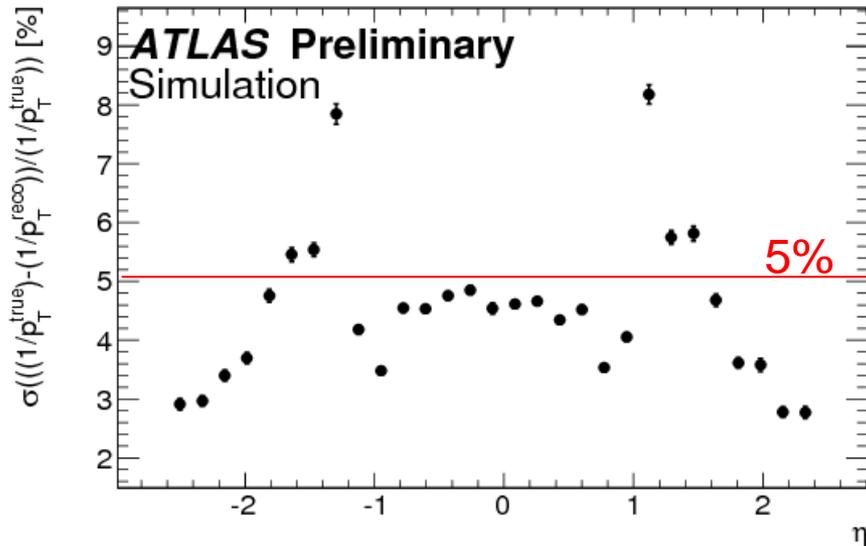
- 運動量分解能の改善

- cosmic BGの減少



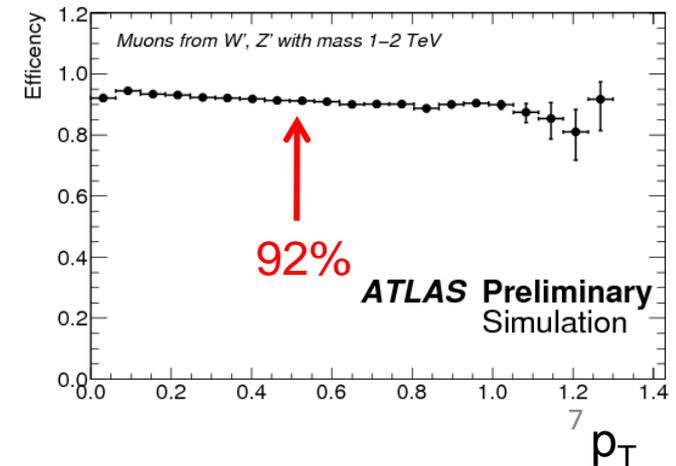
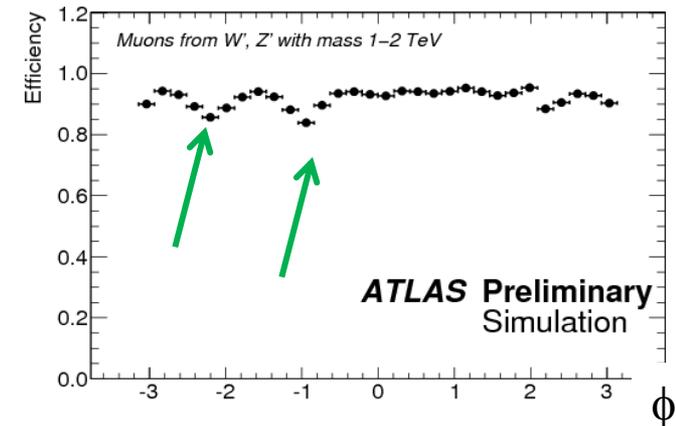
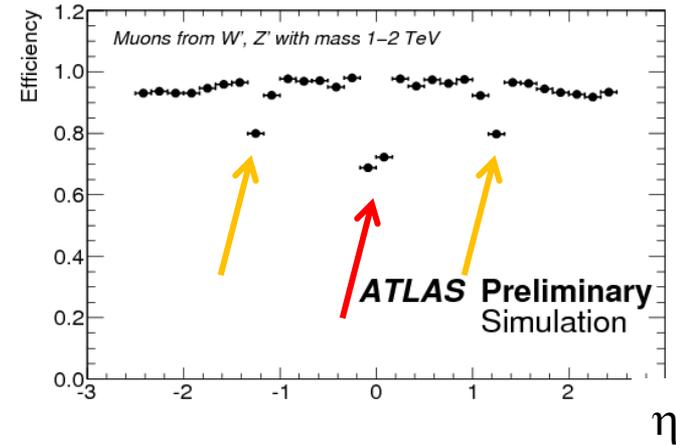
ミューオンの運動量分解能

- 高運動量のミューオンの分解能が解析の鍵
- 質量1TeV ~2TeV Z' の崩壊からのミューオンの運動量精度
 - トロイド磁場の積分が小さくなる $1.2 < |\eta| < 1.7$ を除き5%以下
 - バレルとエンドキャップトロイド磁石による複雑な磁場
 - $p_T \sim 0.5\text{TeV}$ で5%程度
- 1TeVの Z' を測定するのに十分な分解能



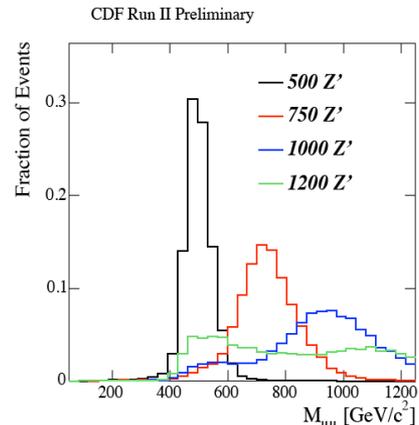
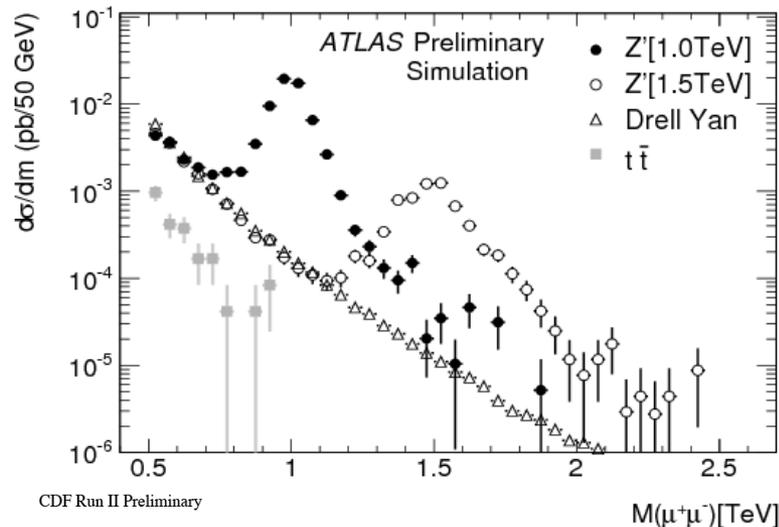
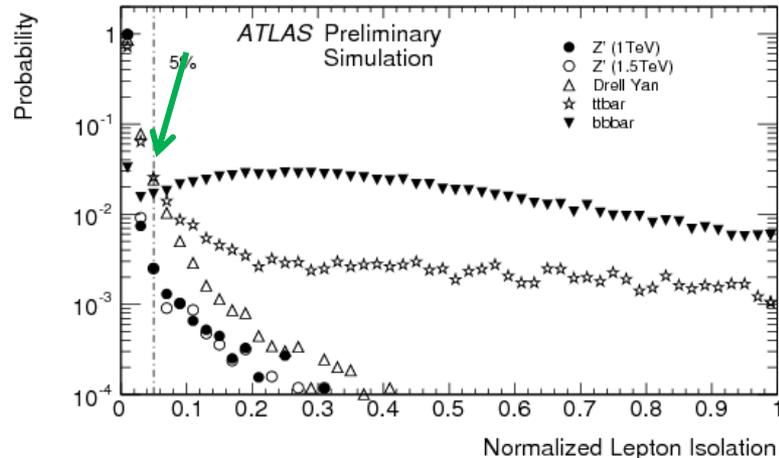
ミューオンの検出効率

- 検出効率を η , ϕ , p_T の関数で測定
- 検出効率のよくない領域
 - $|\eta| \sim 0$
 - バレルミューオン検出器のサービス
 - $|\eta| \sim 1.2$
 - バレルとエンドキャップの境目
 - $|\phi| \sim -1, -2.2$
 - アトラス検出器の足
 - 検出器がある場所では 95% 程度の効率
- p_T が高くなると、検出効率が落ちる
 - 制動放射の影響
 - 1TeV の Z' の測定に重要な $p_T < 0.5\text{TeV}$ では 92% 以上



再構成

- Z' だけでなく他の重い共鳴も探れるように単純で robust な selection
 - ミューオントリガー $p_T > 10$ GeV
 - $p_T > 20$ GeV, $|\eta| < 2.5$ を満たす異電荷の muon 対
 - 内部飛跡検出器での track Isolation
 - $\Sigma p_T^{\text{track}} / p_T^{\text{muon}} < 0.05$, $\Delta R < 0.3$
 - QCD background の完全な除去
 - Top pair の 65% を除去
 - Signal は 99% 以上の検出効率
 - 不変質量の再構成
 - log scale でもきれいなピーク
 - ほぼ Background free
 - シグナル領域
 - > 0.8 TeV for $M=1.0$ TeV Z'
 - > 1.2 TeV for $M=1.5$ TeV Z'
 - 検出効率は $\sim 55\%$

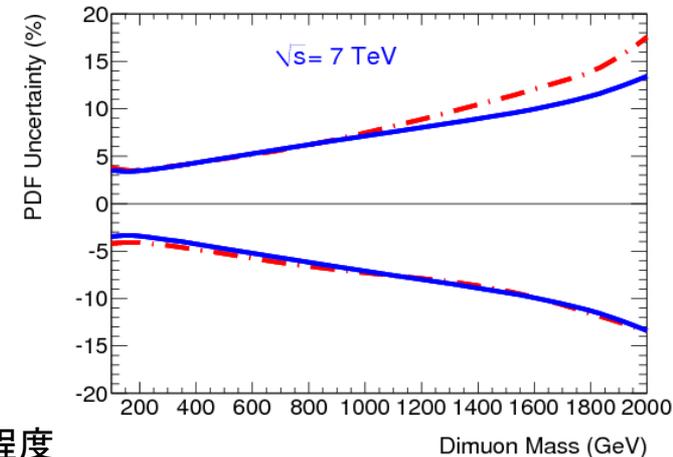


CDF

系統誤差

• 検出効率

- 50pb⁻¹のデータを用いると仮定
 - 50k events の Z→μμ が良い較正サンプル
- 2009年のcosmic ray を用いた alignment の結果
- これらの仮定から計算
 - ミューオン検出効率 10%
 - 運動量スケール 3%
 - 運動量分解能 バレル 200%、エンドキャップ100%
 - 運動量分解能の不定性によるZ'検出効率の誤差は3%程度
- Z' signal の検出効率に対する系統誤差は **21%**



Symmetric error
Asymmetric error

• PDFの不定性による断面積の系統誤差

- NLO PDF の不定性から Drell-Yanの断面積の不定性をdimuon mass の関数で計算(MCFM)
 - DY と Z' の不定性は同じ
 - 7% at 1 TeV
 - 11% at 1.5TeV
- Factorization/renorm. scale は無視できる

発見

- Significance を以下のestimator を用いて計算

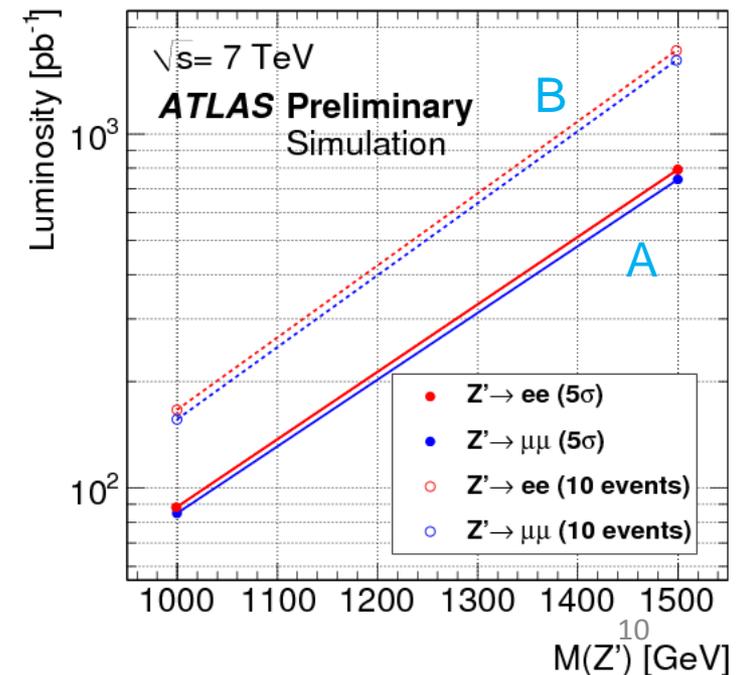
$$S = \sqrt{2(s+b) \ln(1+s/b) - s}$$

- 不定性は Likelihood を計算する際に入れる
- 二つの条件で発見に必要な Luminosity を見積もる

A : $> 5\sigma$

B : $> 5\sigma$ かつ signal > 10 events

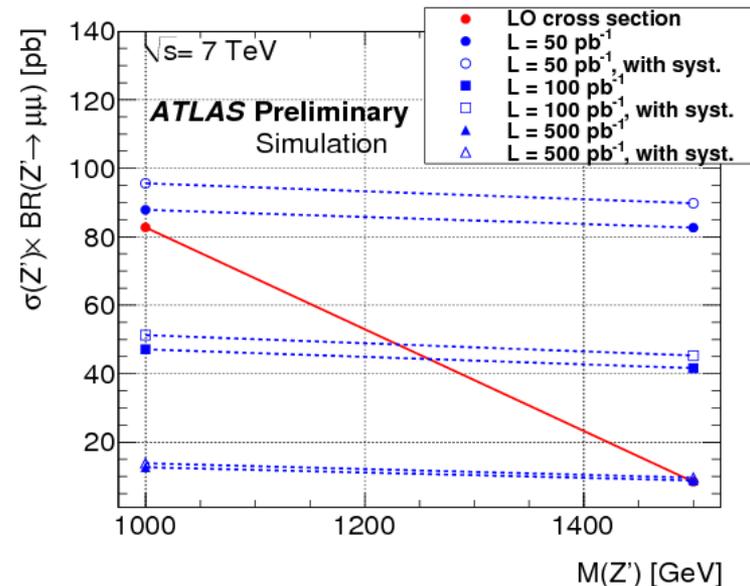
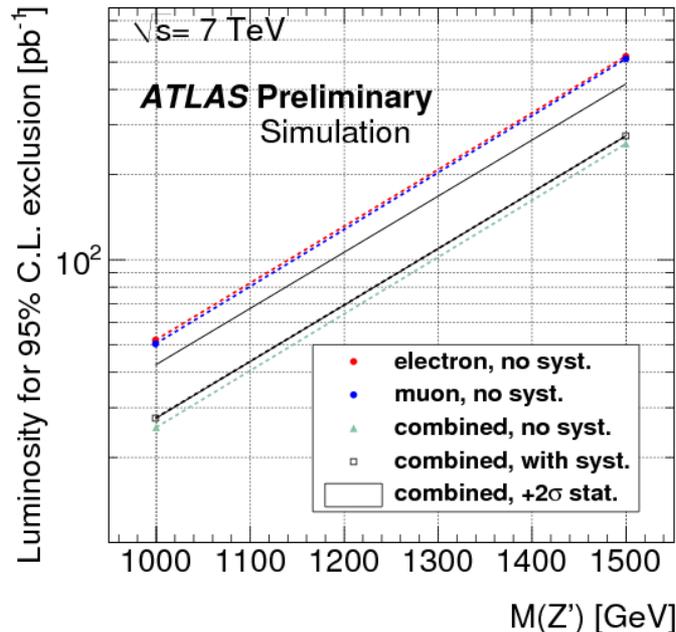
	1 TeV	1.5TeV
A	85pb^{-1}	720pb^{-1}
B	170pb^{-1}	1600pb^{-1}



排除

- Frequentist アプローチによる CL を設定 T. Junk, 1999, Nucl.Instrum.Meth.A434:435-443.
 - Signal と background で独立な系統誤差はそのまま取り扱える
 - 独立でない系統誤差は Toy MC を用い見積もる。
 - 95% CL となる Luminosity を設定

	1 TeV	1.5TeV
Lumi	60pb ⁻¹	500pb ⁻¹



まとめ

- シミュレーションにおいて、 Z' がミュオン対崩壊する事象の探索感度を研究した
- 高運動量領域でもミュオンの検出効率・運動量分解能は十分である
- 1TeV の SSM Z' は 60pb^{-1} で排除、もしくは 170pb^{-1} で発見可能である
 - 電子と合わせれば $1/2$ のルミノシティー
 - » Background free
 - 30pb^{-1} で排除、 85pb^{-1} で発見
- 今年中に $40 \pm 10 \text{pb}^{-1}$ 取得する予定
 - Tevatron を超える質量の下限が設定できる
 - 発見は来年以降