

ATLAS実験における超対称性事象 のバックグラウンドの実験的評価

日本物理学会
2007年3月27日 首都大学東京

大川英希, 麻植健太^A, 富島佑允^A,
浅井祥仁^A, 小林富雄^A, 駒宮幸男



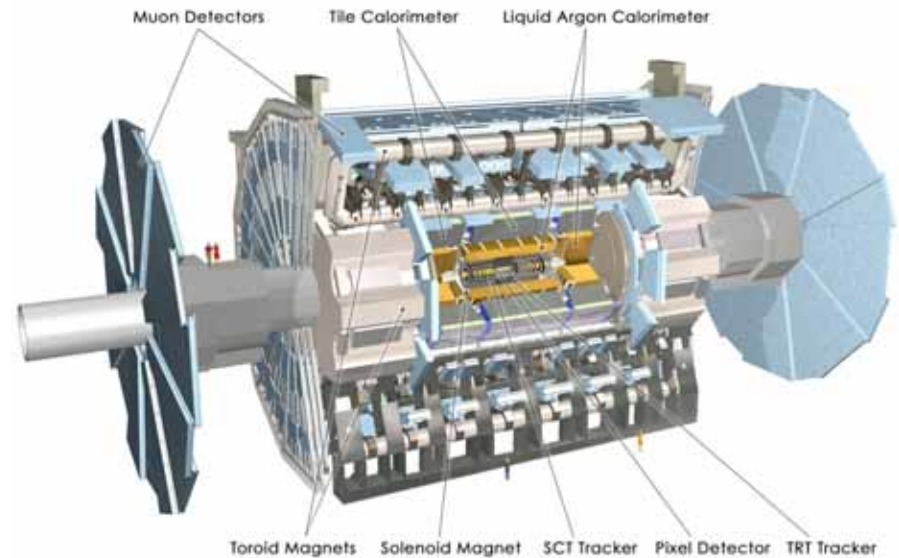
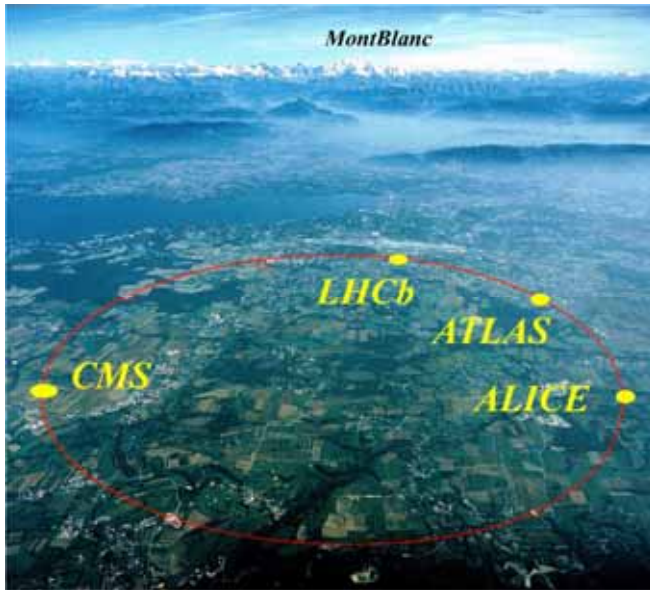
東京大学理学部,
東京大学素粒子物理国際研究センター^A



概要

- LHC加速器とATLAS検出器
- 超対称性事象のイベントトポロジー
- バックグラウンドの実験データからの評価法
- まとめ

LHC加速器とATLAS検出器



LHC加速器はスイスのジュネーブ近郊に位置する欧州原子核研究機構 (CERN)にある周長27kmの陽子・陽子衝突器

重心エネルギー 14 TeVの世界最高エネルギー
最終到達ルミノシティ $10^{34}/\text{cm}^2\text{s}$

2008年から14TeVでの本格的な運転開始の予定

衝突点の一つに汎用検出器である**ATLAS検出器**が設置されている。

長さ44m、高さ22m、総重量7000t

超対称性粒子、ヒッグス粒子、高次元ブラックホールなどの発見が期待されている

LHCにおける超対称性粒子の生成

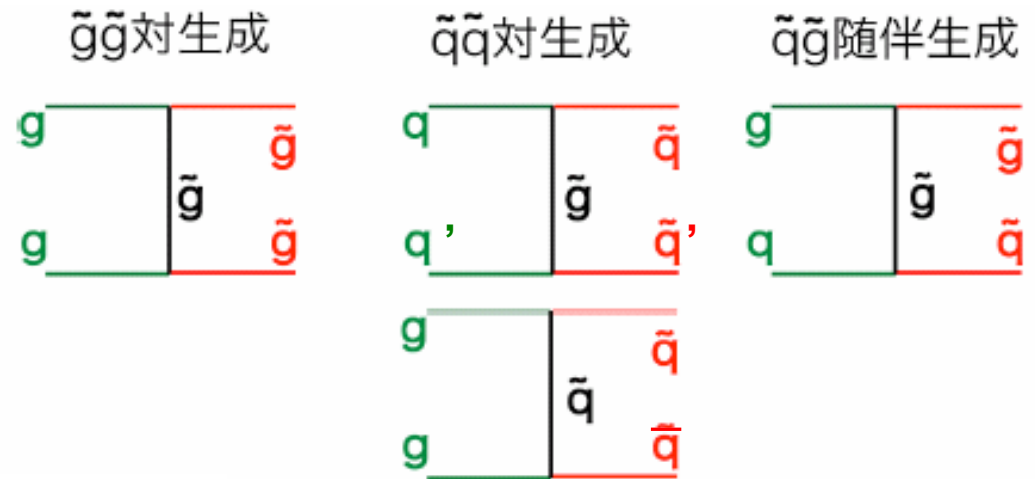
LHCは陽子・陽子衝突器

陽子はクォークとグルーオンで構成されているので、これらのパートンが衝突することでさまざまな粒子が生成される

LHCでは、 $\tilde{g}\tilde{g}$, $\tilde{q}\tilde{q}$, $\tilde{g}\tilde{q}$ が多く生成されると予想される。

バーテックスは強い相互作用なので、この生成過程はモデルやパラメータ依存性が小さい。超対称性粒子の生成断面積は主にその質量に依存する。

予想される超対称性事象の例



超対称性事象とバックグラウンド

超対称性事象はMissing E_T やEffective MassにおいてStandard Modelからのexcessとして現れる。

$$\text{Effective Mass} = \text{Missing } E_T + \sum_{i=1 \sim 4} (\text{jet } p_{T,i})$$

→ M_{SUSY} に比例する量

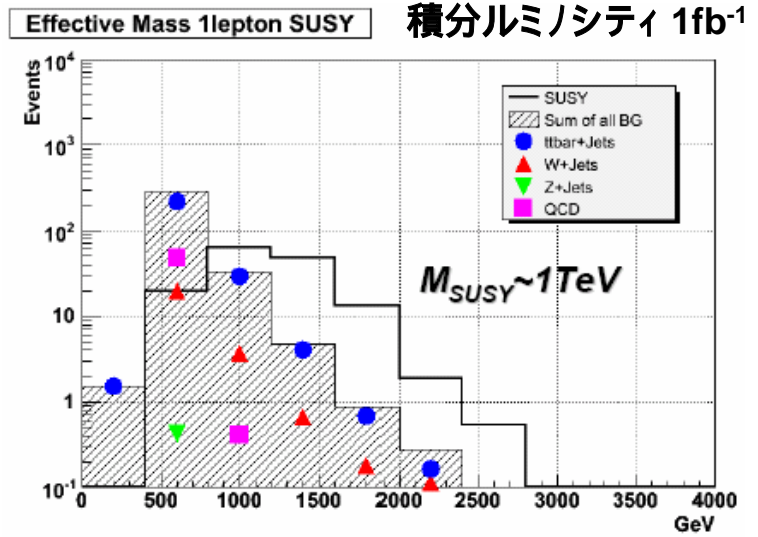
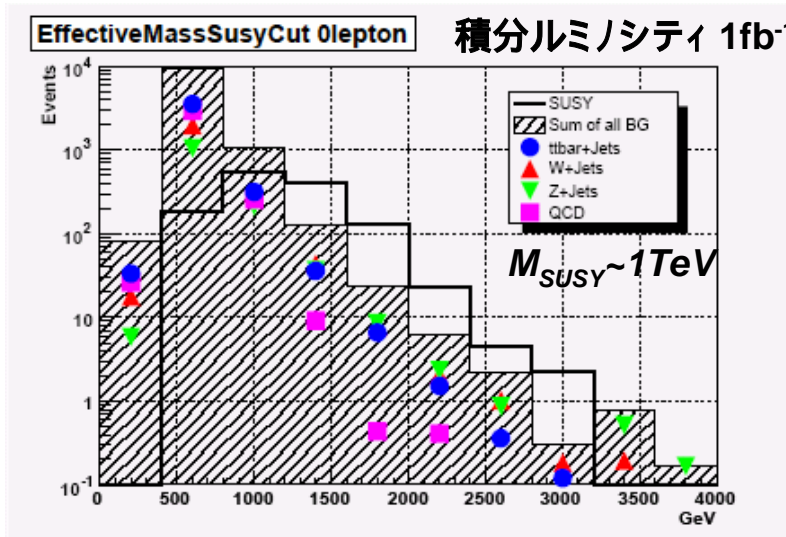
$$M_{SUSY} = \text{Min}(m(\tilde{g}), m(\tilde{u}_R))$$

超対称性事象のイベントセレクション:

Jet数 ≥ 4 、Leading jet $p_T > 100$ GeV、2nd ~ 4th jet $p_T > 50$ GeV、Transverse sphericity > 0.2 、Missing $E_T > \text{Max}(100 \text{ GeV}, 0.2M_{\text{eff}})$

Lepton がないイベントポロジ
(No Lepton Mode)

Lepton が1つ見えるイベントポロジ
(1 Lepton Mode) → 次の講演



No Lepton Modeのバックグラウンドの評価

超対称性事象の探索にはバックグラウンドを実データから精度良く評価することが必要不可欠

Missing E_T が大きい領域での主要なバックグラウンドは、
 $Z(\rightarrow \nu\nu) + \text{jets}$ 、 $W(\rightarrow l\nu) + \text{jets}$ 、 $t\bar{t} + \text{jets}$

2つの評価手法

(1) データからコントロールサンプルを作り、バックグラウンドの分布を予測

$Z(\rightarrow ll) + \text{jets}$ から $Z(\rightarrow \nu\nu) + \text{jets}$ の分布を予測する

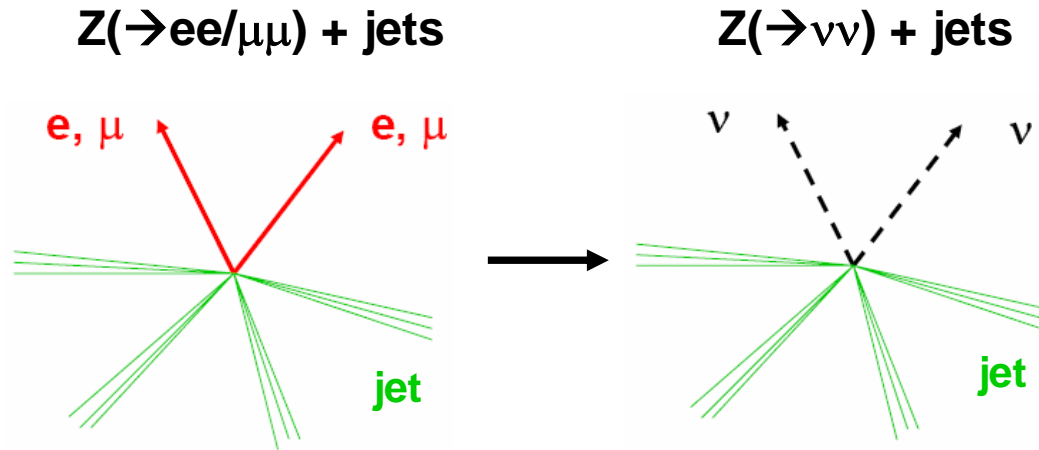
(2) 分布の形はモンテカルロの分布を使う

Normalizationは不定性があるので、データと比較して決定する ($Z(\rightarrow ll)$ を用いて $Z(\rightarrow \nu\nu) + \text{jets}$ 、 $W(\rightarrow l\nu) + \text{jets}$ の評価)

コントロールサンプルからの評価

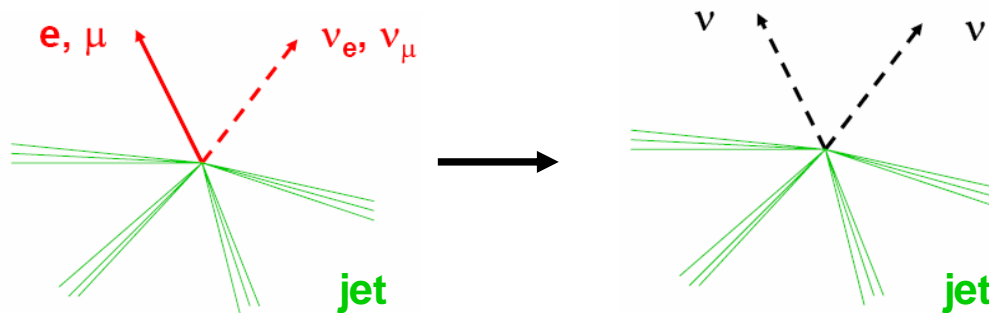
コントロールサンプルからの $Z(\rightarrow \nu\nu) + \text{jets}$ の評価

1. ドレル・ヤン過程 ($Z(\rightarrow ee/\mu\mu)$)を用いて予測



レプトンのアクセプタンスや検出効率の寄与を除けば、両者は同じkinematics

2. $W(\rightarrow l\nu)$ のコントロールサンプルを用いて予測



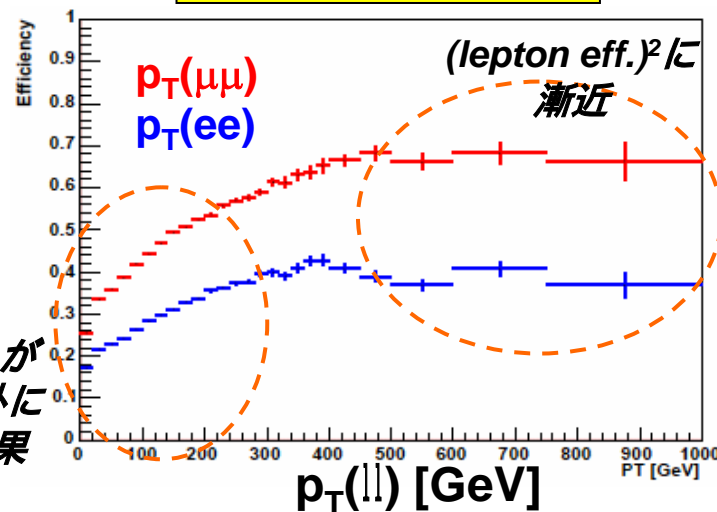
こちらもレプトンのアクセプタンスや検出効率の寄与を除けば、同じkinematicsだが、コントロールサンプルから $t\bar{t}$ 事象の contamination を除くのが困難

Dilepton reconstruction efficiencyの考慮とBGの評価

$Z(\rightarrow\nu\nu)$ は当然 ν の p_T や η について制限はない

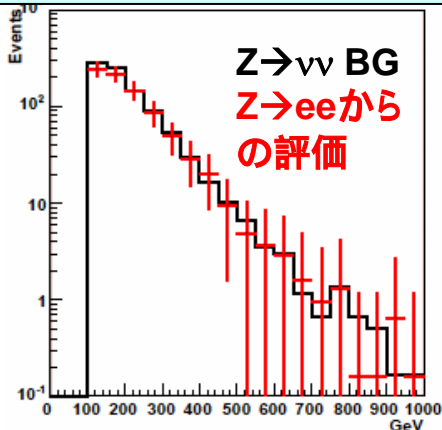
$Z(\rightarrow ll)$ において、dilepton事象としてreconstructされるのは、両方のleptonが $p_T \geq 10 \text{ GeV}$, $|\eta| \leq 2.5$ のもの。さらに、lepton自体のefficiencyが p_T 依存性を持っていることからの寄与もある。

Dilepton rec. eff.



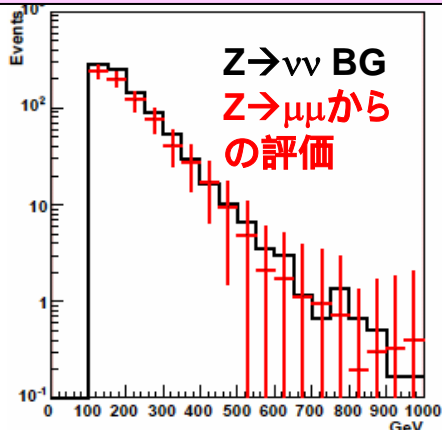
片方のleptonがacceptance外に行っている効果

Missing E_T ($Z \rightarrow ee$ での評価)



2007.3.27

Missing E_T ($Z \rightarrow \mu\mu$ での評価)



日本物理学会・2007年春季大会

Missing $E_T > 300 \text{ GeV}$
のイベント数 (1 fb^{-1})

129 +/- 11 ($Z \rightarrow \nu\nu$)
117 +/- 51 ($Z \rightarrow ll$ からの評価)

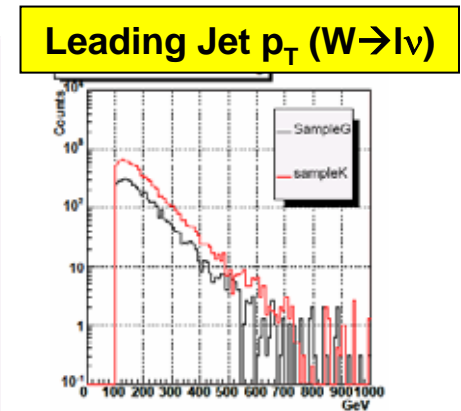
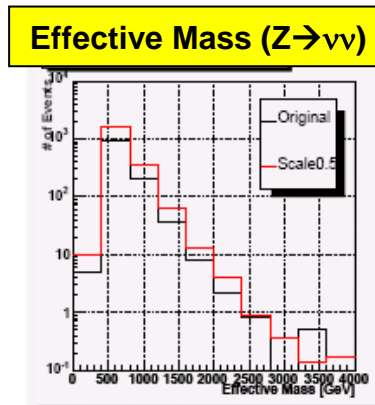
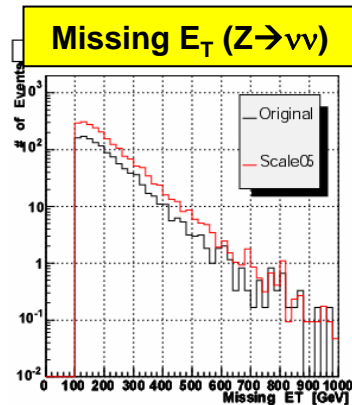
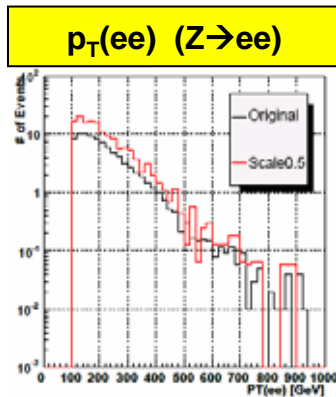
分布をよく再現できるが、 $Z \rightarrow ll$ の統計が少ないのでエラーが大きい (~44%)

モンテカルロ法

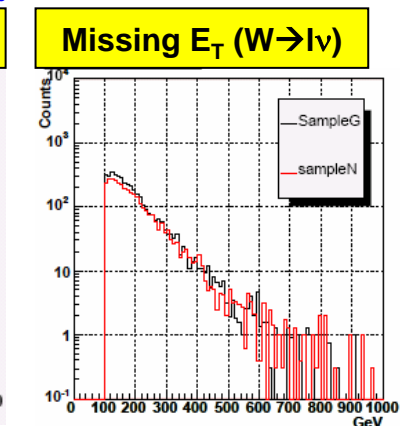
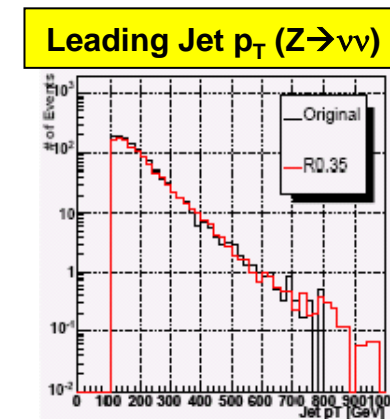
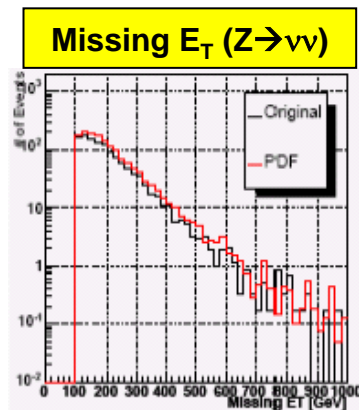
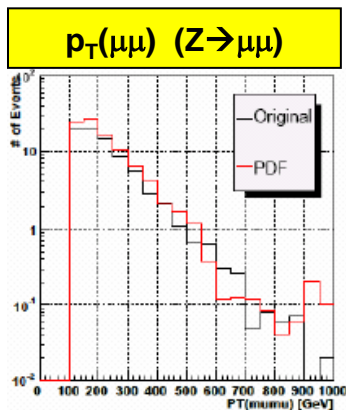
モンテカルロ分布の不定性

Alpgen (Leading Order)とJimmyを用いてイベントをジェネレートした分布の形はinput parameterにほとんどよらない

Renormalization scaleを変えた場合

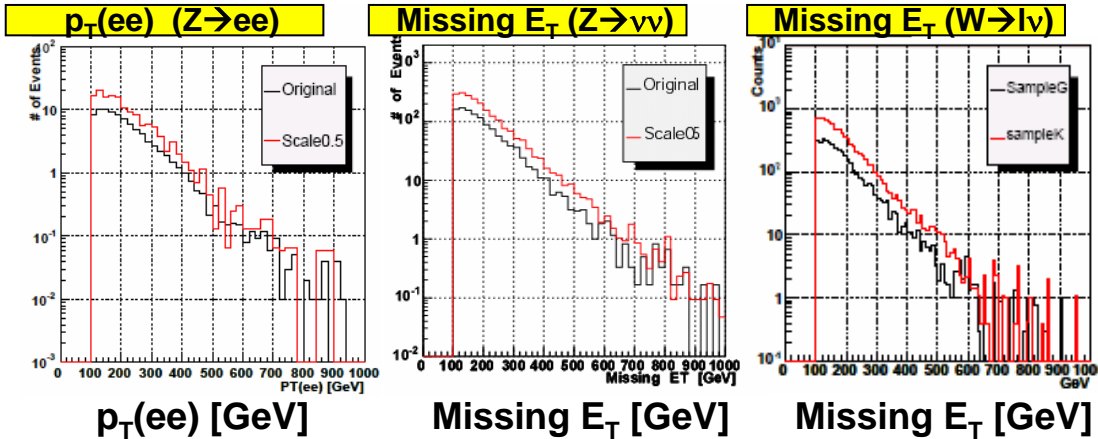


PDFを変えた場合

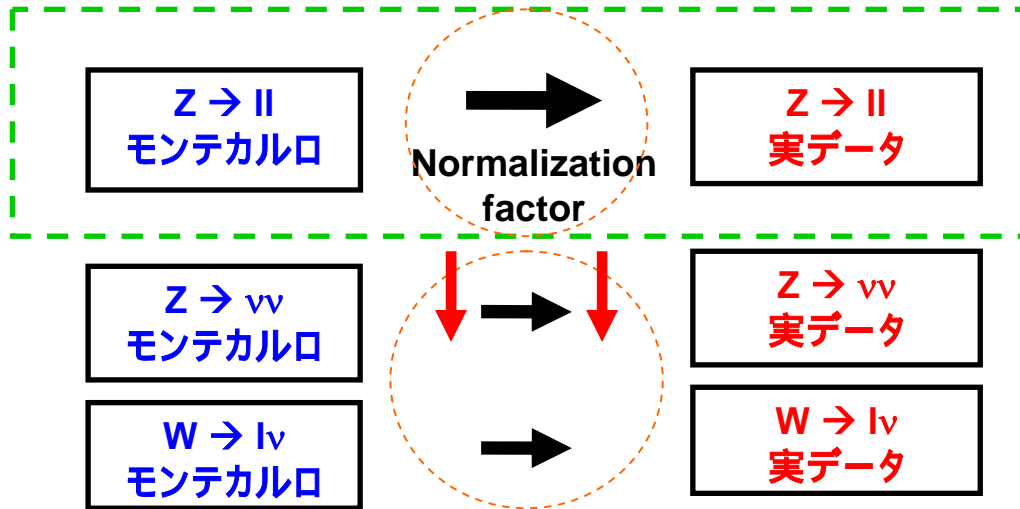


Parton distance dR_{ij} のCutを変えた場合

モンテカルロの分布を用いた手法



- 分布の形はそのままモンテカルロのものを用いる。
- Normalizationは、実データとの比較で決定する ($Z \rightarrow ll$ のdilepton p_T 分布を用いて)



$Z \rightarrow ll, Z \rightarrow \nu\nu, W \rightarrow l\nu$ のモンテカルロサンプルのinput parameterは統一する。同じ物理課程なので、**normalization factor**は同じであると考えられる。

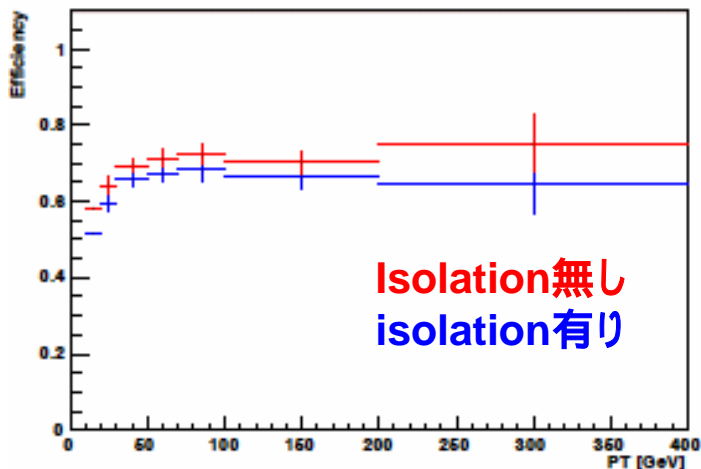
ここでは、入力パラメータを変えたサンプルを用意し、擬似データとした
以下この手法をモンテカルロ法と呼ぶ

モンテカルロ法におけるZ p_T 分布

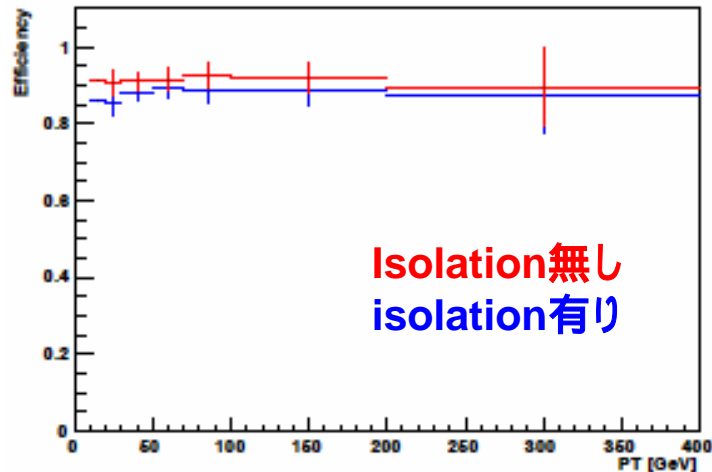
この方法を用いるには、実データとモンテカルロの分布の形が同じであることが大前提

検出器の寄与をよく理解する必要がある(レプトンの検出効率、Missing E_T のスケール、jetの再構成の確率、jetのエネルギースケール)→これらの寄与によって分布の形やnormalizationが変わりうる

Electronの検出効率 (p_T 依存性)



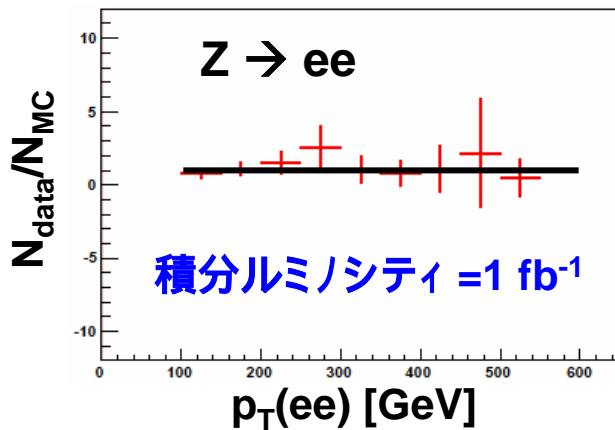
Muonの検出効率 (p_T 依存性)



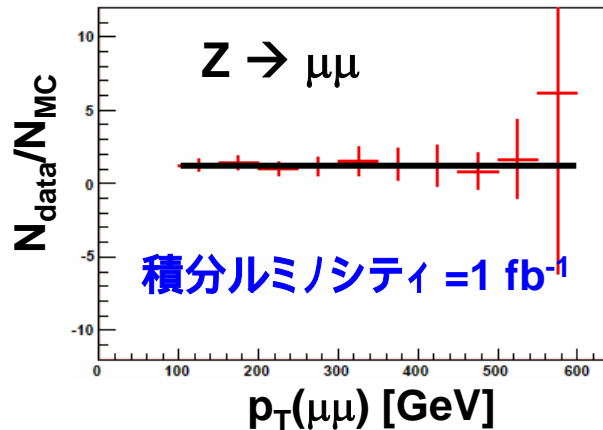
Normalization Factorの決定

イベントセレクション

lepton $p_T > 10$ GeV & $|\eta| < 2.5$ かつ isolateされたもの
 $81 \text{ GeV} < M(\text{ll}) < 101 \text{ GeV}$
 $p_T(\text{ll}) > 100 \text{ GeV}$ & $p_T(\text{ll}) > 0.2 (p_T(\text{ll}) + \sum_{i=1\sim 4}(\text{Jet } p_T)_i)$
Transverse sphericity > 0.2
Jet数 ≥ 4 , Leading jet $p_T > 100 \text{ GeV}$ & 2nd ~ 4th jet $p_T > 50 \text{ GeV}$



$\alpha = 1.02 \pm 0.24$ ($Z \rightarrow ee$)



$\alpha = 1.23 \pm 0.22$ ($Z \rightarrow \mu\mu$)

Normalization Factor

$$\alpha = N_{\text{data}} / N_{\text{MC}}$$

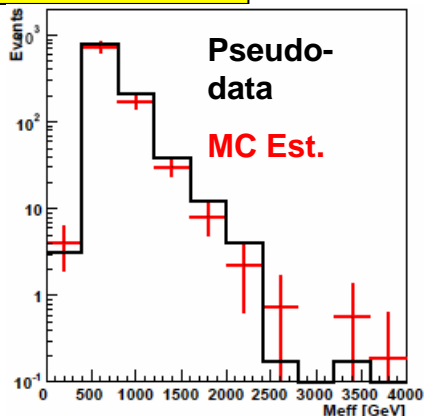
N_{data} : 擬似データのイベント数
 N_{MC} : モンテカルロのイベント数

$\rightarrow \alpha = 1.12 \pm 0.16$
($Z \rightarrow \text{ll}$)

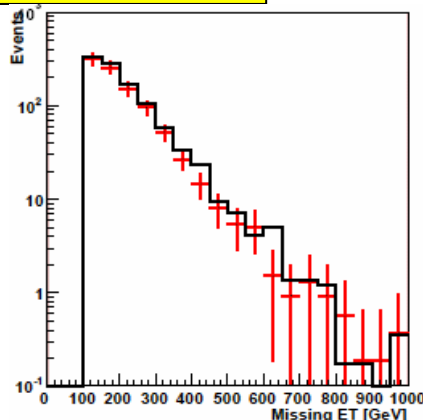
Z/Wバックグラウンドの評価

Z \rightarrow $\nu\nu$

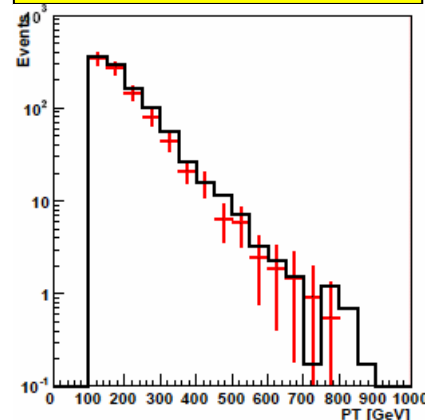
Effective Mass



Missing E_T



Leading Jet の p_T



Missing $E_T > 300\text{GeV}$
のイベント数

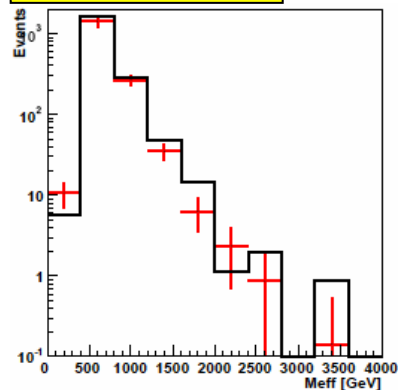
147 +/- 12 (擬似データ)

118 +/- 20 (モンテカルロからの評価)

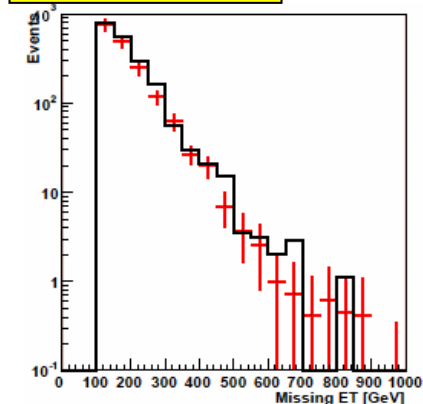
~17%のエラー

W \rightarrow $l\nu$

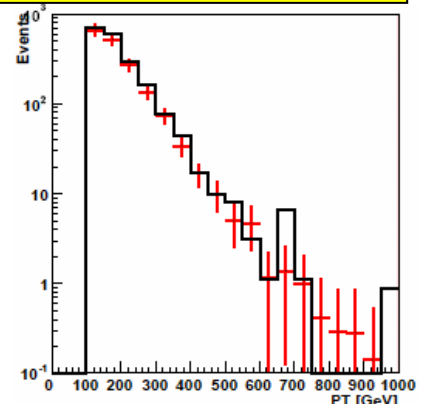
Effective Mass



Missing E_T



Leading Jet の p_T



Missing $E_T > 300\text{GeV}$
のイベント数

134 +/- 11 (擬似データ)

126 +/- 21 (モンテカルロからの評価)

~17%のエラー

積分ルミノシティ 1 fb^{-1} の場合

1fb⁻¹での統計エラーとNormalization factorのエラーを考慮

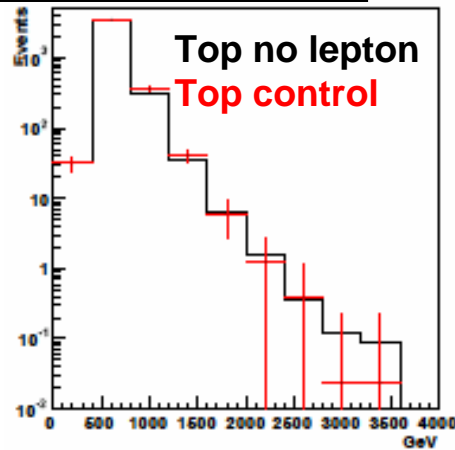
まとめ

- 実験初期に超対称性事象を探索するためには、実験データからバックグラウンドを精度良く評価することが必要不可欠
- No Lepton Modeの主要なバックグラウンドは $Z(\rightarrow \nu\nu)$ 、 $W(\rightarrow l\nu)$ 、 $t\bar{t}$ の3つ
- $Z(\rightarrow \nu\nu)$ のバックグラウンドは $Z(\rightarrow ll)$ から評価することができる(モンテカルロ法、コントロールサンプルからの評価の2通り)。
- $W(\rightarrow l\nu)$ のバックグラウンドはモンテカルロ法で評価できる
- $t\bar{t}$ バックグラウンドのコントロールサンプルを用いた評価では、 $t\bar{t}$ 事象と W +jets事象を分離することが必要不可欠(現在調査中)
- 1 Lepton Modeのバックグラウンドの評価については次の講演

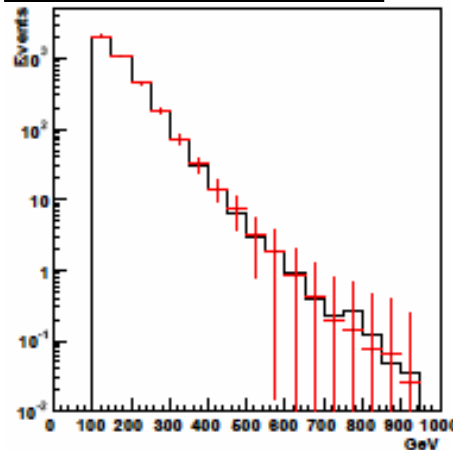
backups

Top No Lepton バックグラウンドのコントロールサンプルからの評価

Effective Mass



Missing E_T



B: 1 fb^{-1} にnormalizeした

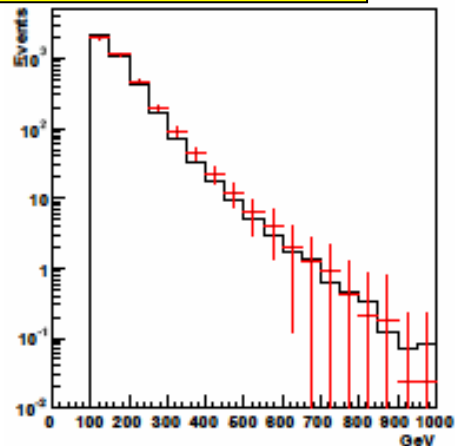
R: Missing E_T 100-200GeV
の領域を用いてnormalizedした
もの

of Events (MET > 300GeV)

127 \pm 11

132 \pm 21

Leading Jet P_T



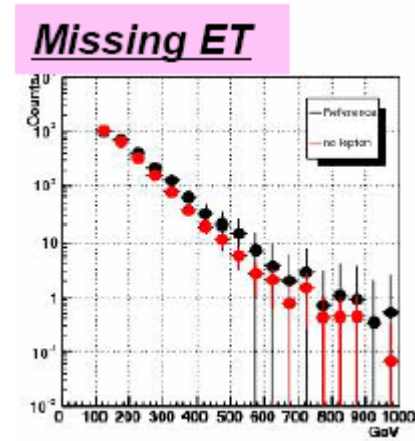
Top no leptonバックグラウンドは、Top 1 lepton事象とほぼ同じkinematics (No leptonバックグラウンドは τ 由来のものが大多数)。

ただし、コントロールサンプルからWの1 lepton事象を取り除くことが困難。

W No Lepton バックグラウンドのコントロールサンプルからの評価

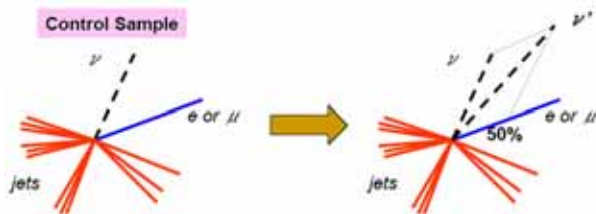
W no leptonバックグラウンドは、W 1 lepton事象と若干kinematicsが異なる(特にWの p_T)。

コントロールサンプルからttの1 lepton事象を取り除くことが必要なだけでなく、何らかの補正が必要。

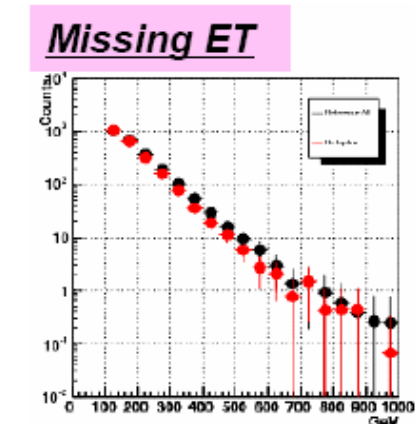


N_{evt} (MET>300GeV)
157 ± 13 (No lepton)
274 ± 28 (Estimated)
factor 1.7 difference

τ hadronic decayの評価のための補正



他にもacceptance外に行ったno lepton eventの評価のためのW p_T についての補正などを行ったが、factor 1.5程度の不定性がある(現在調査中)



補正後

N_{evt} (MET>300GeV)
157 ± 13 (No lepton)
226 ± 16 (Estimated)
factor 1.5 difference