

# SUSY探索のバックグラウンド その不定性とdata-driven評価法

片岡 洋介 (ICEPP)

# 1. イントロ及びカット、BGの説明

- イントロダクション
- SUSYカット
- no-, one-, di-lepton modeバックグラウンド
- non-collision起源のバックグラウンド

# イントロダクション

- バックグラウンド評価のモチベーション

- SUSYはテールにexcessをつくる物理のためサイドバンドをとることができない  
discoveryにはバックグラウンドの形と大きさの理解が重要
- $100\text{pb}^{-1}$ 程度の比較的初期の段階で結果が出るので、検出器の理解やMCの調整がまだ不完全であると想定される  
この不定性をコントロールするため実データを用いたバックグラウンドの評価が不可欠

- 評価方法

- 基本的にcontrol regionからsignal regionへの外挿法  
MCの不定性を被らない、検出器の不定性のキャンセルが期待される
- BG毎にshapeが異なるので、それぞれに対し評価法を提案  
control data、外挿の変数、etc
- これらによりnormalizationとshapeの両方をデータから引き出すことを目指す  
(control data等の制約上、MCに頼る場合もある)

- 解析に使ったsimulation

- 高統計でのテールのstudy、SUSY parameter scanを可能にするために、full simulationでチューンしたsmearing algorithmを用意 (transfer function)  
jetのeta,  $p_T$ 依存性、leptonのefficiency、fakeを考慮、METを含めてfull sim.を再現
- スライドのプロット、数字はfirst dataとして期待される $10\text{TeV}$ 、 $200\text{pb}^{-1}$ のもので

# 基本的なカット

SUSYカットは2つのsignatureによる

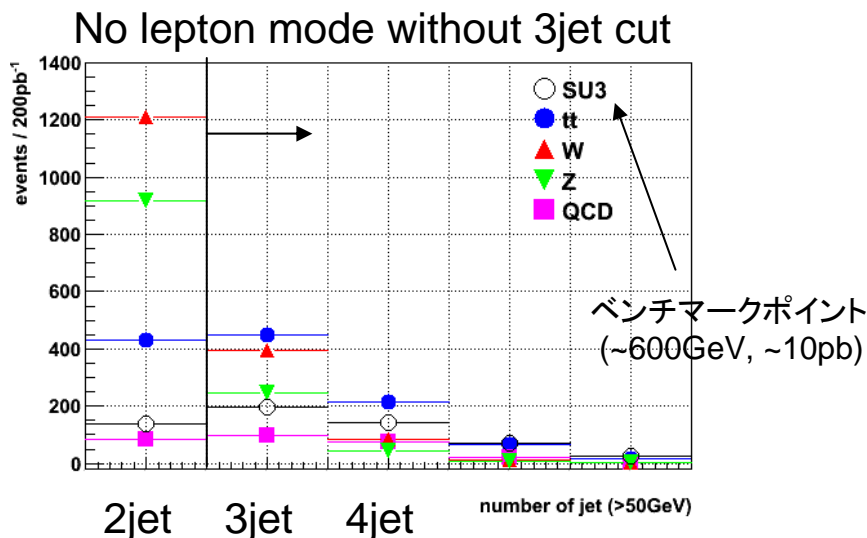
- 3 jets > 50GeV ... multi-jet cuts
- leading jet > 100GeV
- missing ET > 100GeV
- missing ET > 0.2 x Meff ... MET cuts
- transverse sphericity > 0.2

(トリガーもstart up時 $\sim 10^{31}$ は3jet, METのredundant、その後、METあるいはcombinedの予定)

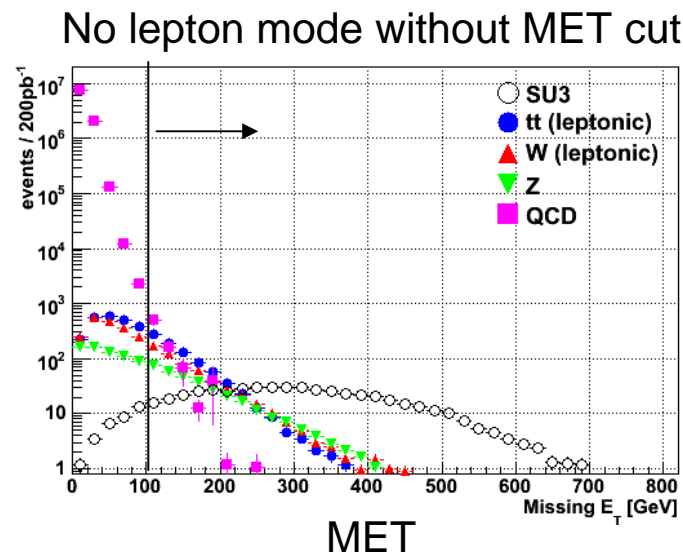
Effective Mass ( $M_{\text{eff}}$ )

$$= \sum_{4 \text{ jets}} p_T + \text{missing } E_T$$

2つのsignatureを含む  
SUSY eventのdiscriminating変数



- 3jet以上はtt dominant、2jetはW/Z dominant
- first dataでは広いトポロジーをカバーするため、統計を稼ぐため、3jet以上でサーチ

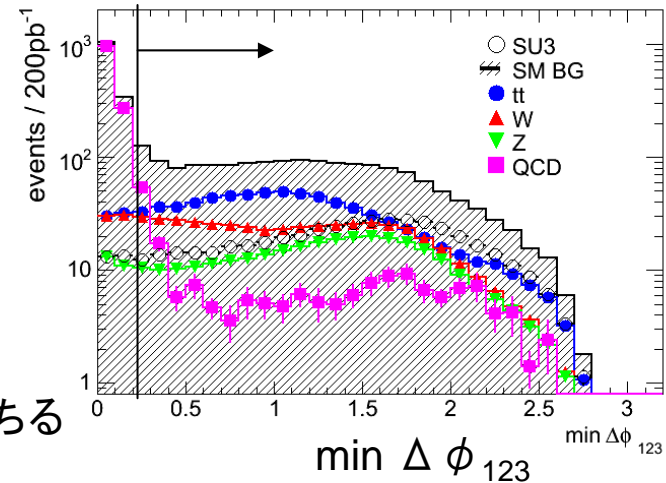


- QCD BGをおとすのにcriticalなカット
- high METではfakeに対しheavy flavorが優勢なため比較的predictable

# no lepton modeのバックグラウンド

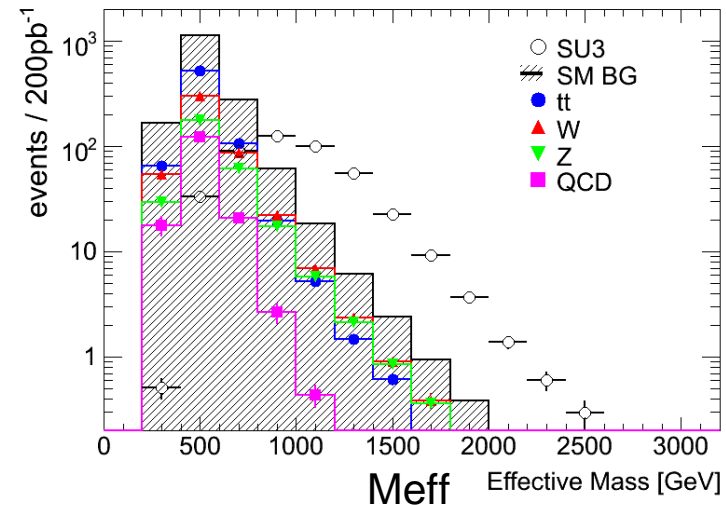
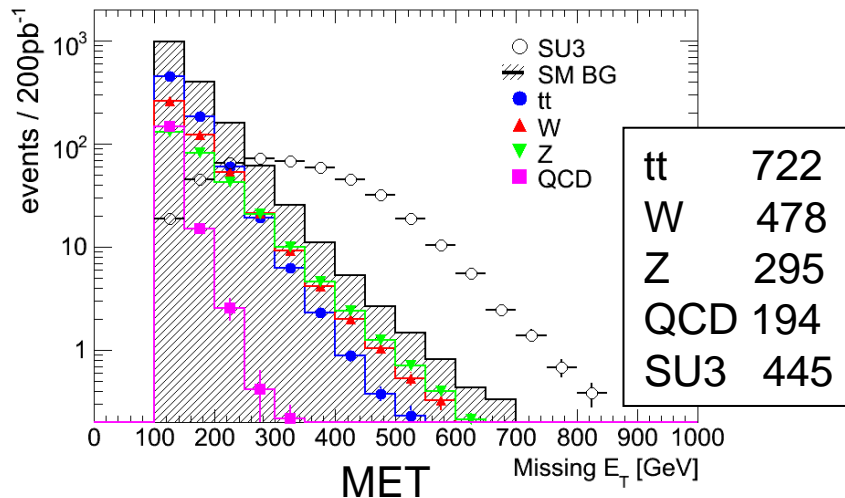
- ベースラインカットの他、**min  $\Delta\phi$  カット**を導入  
 $\Delta\phi = \text{jetとMETの角度}$   
 leading 3jetから0.2以上離れていることを要求  
 $\Delta\phi(\text{jet1-MET}) > 0.2$   
 $\Delta\phi(\text{jet2-MET}) > 0.2$   
 $\Delta\phi(\text{jet3-MET}) > 0.2$

→ heavy flavorやjetのmis-measurement起源の  
 QCD BGはjetとMETがcorrelateし、効果的に落ちる



## no lepton mode BG shape

- tt, W, Z  $\rightarrow \nu\nu$  BG が同等に効く、最も統計の大きいmode  $\sim 1700$  events at 10TeV, 200pb $^{-1}$
- tt, Wでno leptonになる理由は、tau mode(4割)、acceptance(4割)、isolation(2割)
- shapeはそれぞれ異なり、high METではW/Z, low METではQCDが効く

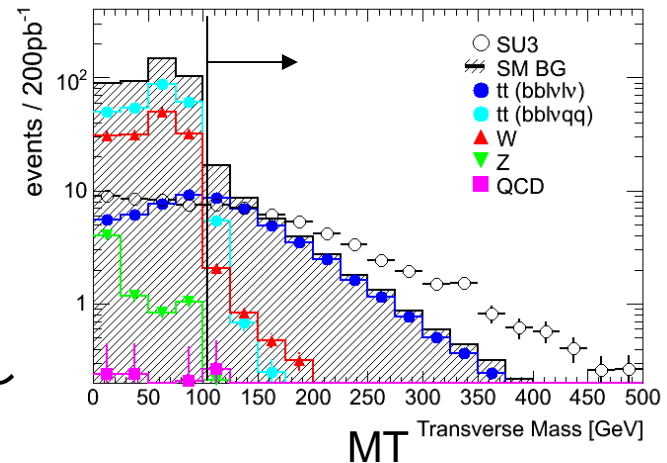


# one lepton modeのバックグラウンド

- one lepton( $e, \mu$ ) $>20\text{GeV}$
- additionallyにMTカットを導入  
transverse mass ( $MT$ )  $> 100\text{GeV}$

$$M_T = \sqrt{2 p_T(l) p_T(miss)[1 - \cos(\varphi(l) - \varphi(miss))]}$$

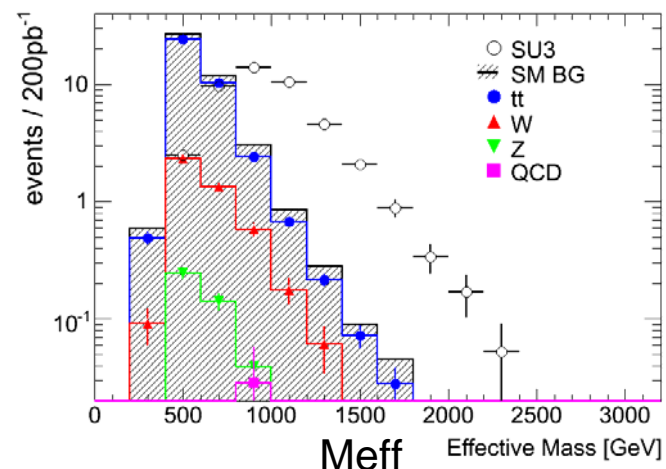
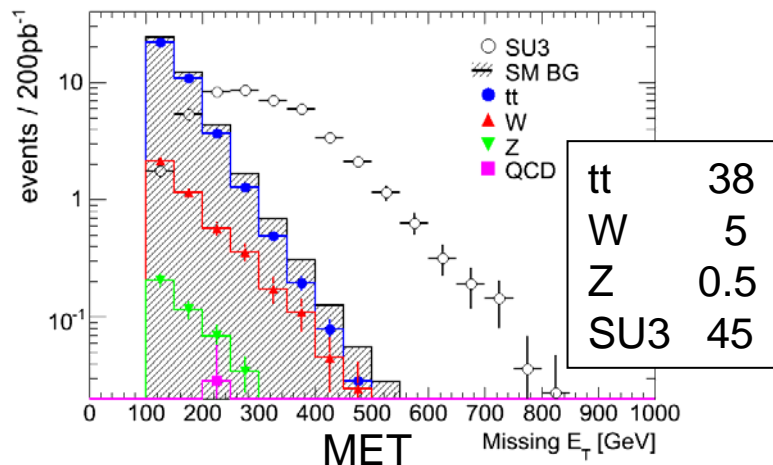
→  $W$ , semi-leptonic  $tt$  を効果的におとす  
di-leptonic  $tt$ のみ2つの $\nu$ により $M_W$  constraintなし



## one lepton mode BG shape

- 統計はno leptonより1,2桁小さい ~40 event
- ほぼdi-leptonic  $tt$ のみ、評価は容易になる
- 一般にno leptonと比較してS/Nがよい

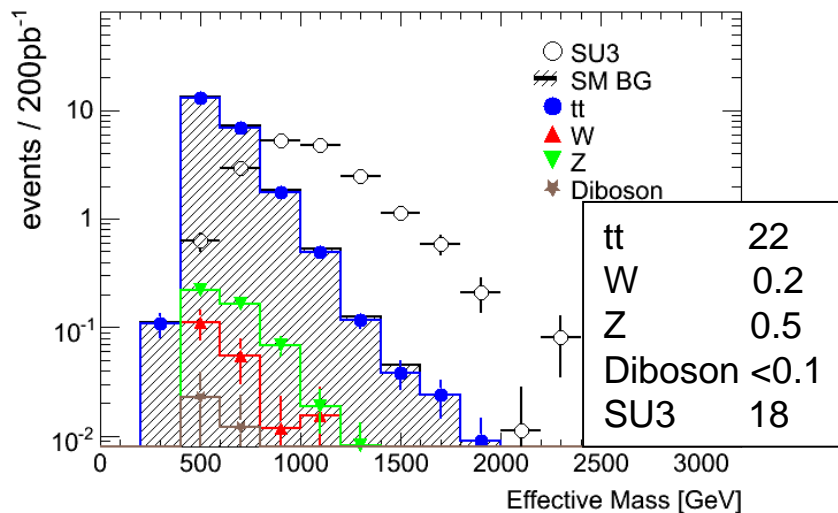
→ SUSY探索のゴールデンモード



# di-lepton modeのバックグラウンド

## Oposite-sign

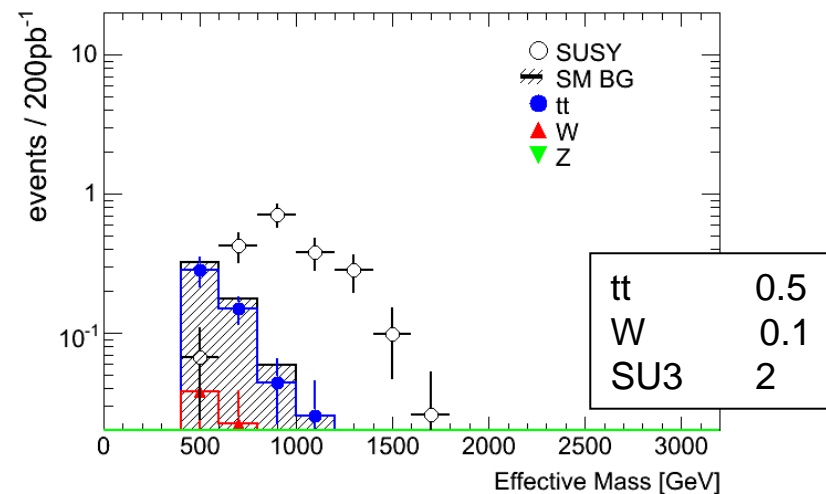
- di-lepton  $>20\text{GeV}$ ,  $>10\text{GeV}$



- ほぼ完全にtt BG
- one leptonよりさらに統計少
- しかし、exclusive studyには重要

## Same-sign

- di-lepton  $>20\text{GeV}$ ,  $>20\text{GeV}$

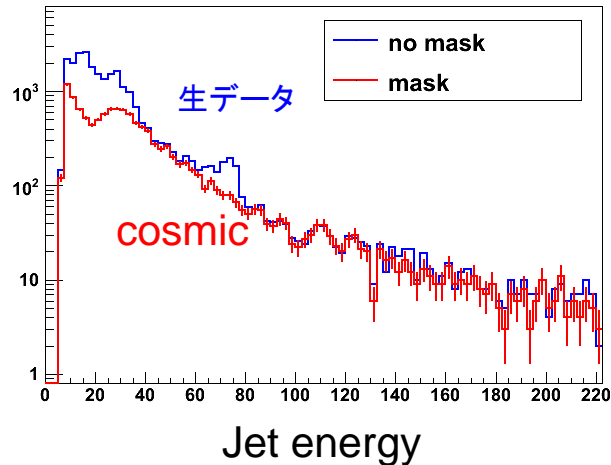


- first dataでは統計がない
- fake lepton からの寄与のみ、BGフリー  
 $tt(l \nu qq) + \text{lepton from } b$   
 $tt(l \nu qq), W + \text{fake lepton}$

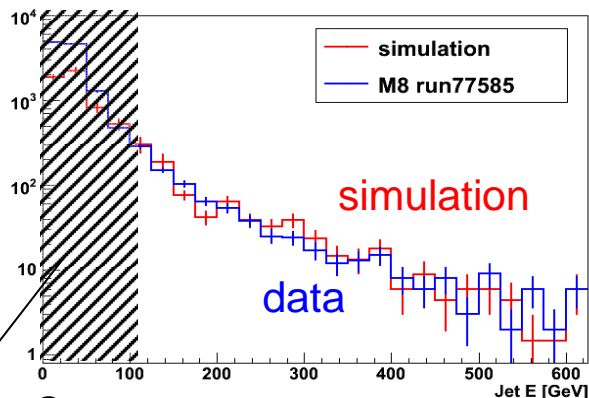
# non-collision起源のバックグラウンド

- cosmic ray, beam halo、あるいはhot cells, noiseなどの検出器起源

去年秋のcosmicのデータ



- 簡単なclean up(mask)によりdetector起源は除くことができる
- しかし、cosmicはsingle jet likeなactivityを残すことができ、バランスしないのでそのままfake METになる



simulationの  
フィルタにより  
バイアス有

- ATLASホールを含むcosmicのfull simulationにより再現
- high energy jetはcalorimeter中でのhard brems  $\gamma$  の寄与
- cosmicによる大きなfake METのレートは比較的大きく  
0.05Hz (MET>100GeV)



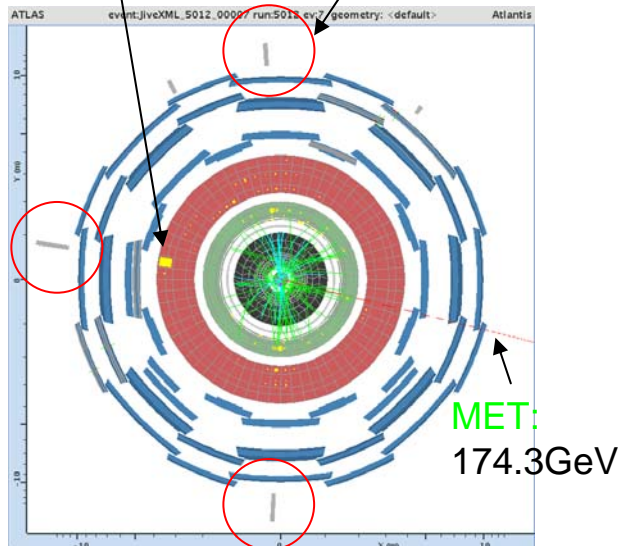
# Cosmic + QCD のpile-up事象

single jet-likeなeventはSUSY探索のバックグラウンドにはならないが、QCD BGとのpile-upすることで、MET cutとmulti-jet(3jet) cutを同時に通る可能性がある

- simulationでのcosmicとQCDのpile-upイベント

From cosmic: 163.5 GeV

From QCD: 60.5 GeV



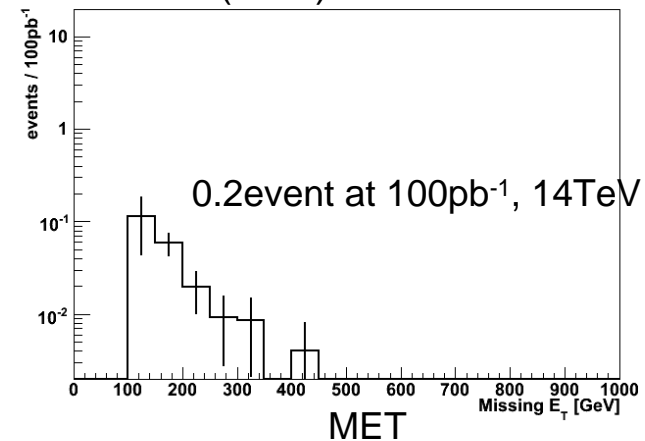
MET:  
174.3 GeV

From QCD: 78.6 GeV

→ このイベントは実際に  
no lepton mode のカットを通る

※ 25ns widthでのpile-upを仮定

QCD(J3-5) with cosmic



- 14TeV, 100pb<sup>-1</sup>のとき

cosmic	SM BG
0.2 event	<< 2000 event

→ 無視できる寄与 ( $\sim 10^{-4}$ )

- beam halo muonについても同様に nominalな状況(1M proton loss/s)で $10^{-4}$

## 2. バックグラウンド評価

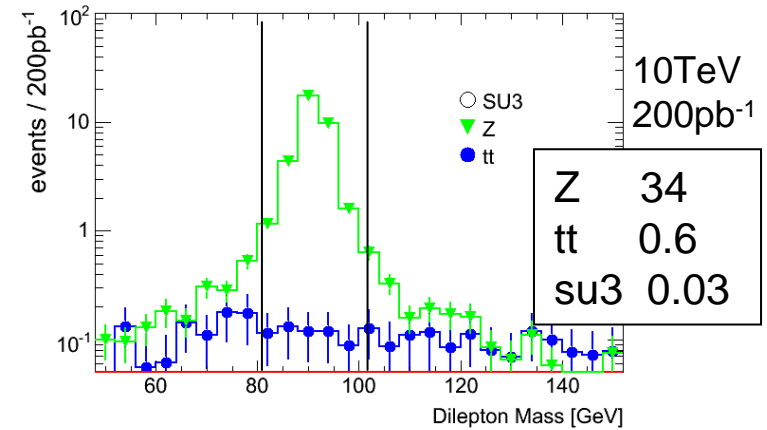
- $Z \rightarrow \nu \nu$  バックグラウンド評価
- QCD バックグラウンド評価
- $t\bar{t}/W$  バックグラウンド評価
- 不定性まとめ

# Z → $\nu\nu$ バックグラウンドの評価

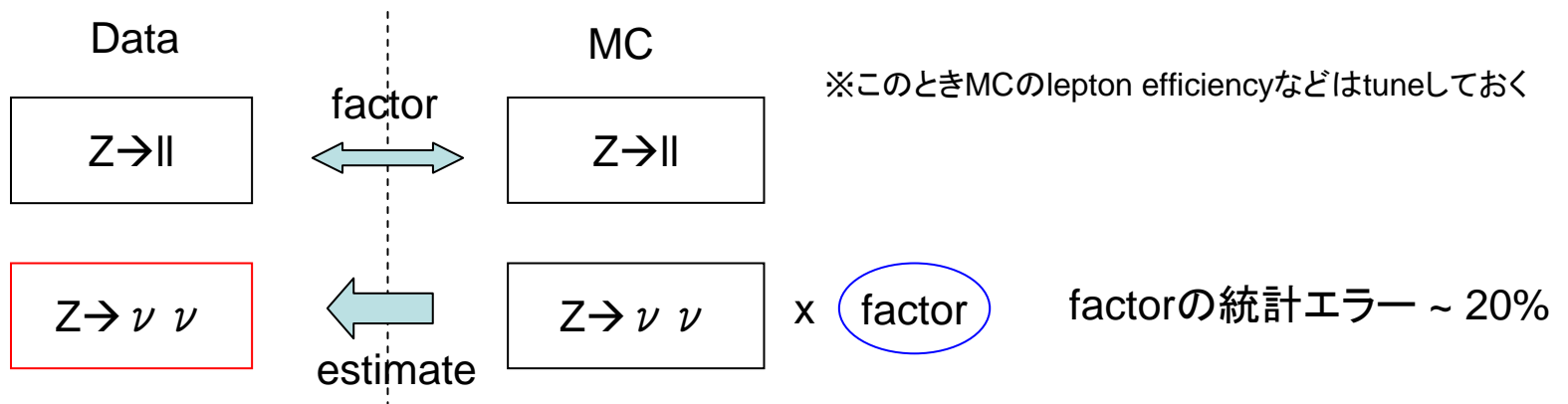
- $Z \rightarrow \ell\ell + \text{multi-jets}$  がほぼ純粋でよい control sample (di-lepton でトリガー)
- $\ell\ell \rightarrow \nu\nu$  の置き換えで signal region と同じ kinematic region をプローブできる

di-lepton control sample

- same flavor OS di-lepton  $> 20\text{GeV}$
- missing  $ET < 40\text{GeV}$
- $|M_{\ell\ell} - M_Z| < 10\text{GeV}$
- $\ell\ell$  を  $\nu\nu$  に置換後、no lepton SUSY cuts

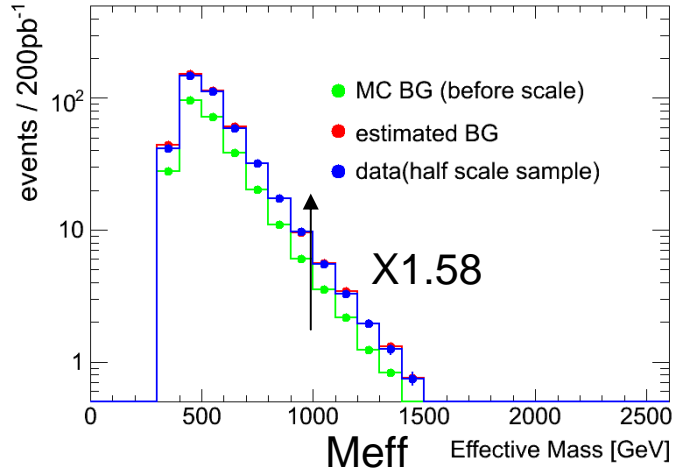


- 統計が少ないため、first data では shape の情報を得ることが難しい
- normalization factor のみ抽出、shape は MC に頼る

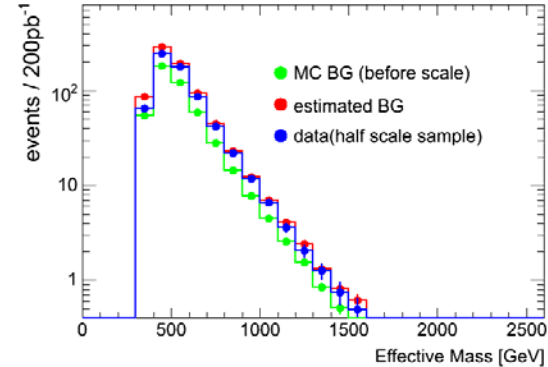


一般的に、normalizationと比べてshapeの不定性は比較的小さく、  
データ(half renormalization scale)を再現

Z → ν ν BG

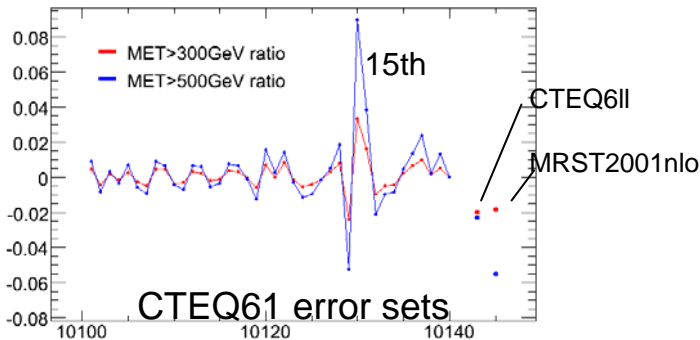


※ W → l ν についても生成過程に相関が強いので同じscale factorが使える



- shapeはMCを使うので不定性はそのまま伝播

PDF 5~10%



other MC parameters < 10%

	Norm.	MET>300GeV ratio
renorm. scale (half)	+77%	-5%+3%
factori. scale (half)	-27%	+0%+3%
parton pT (40→15)	+11%	3%+9%
parton ΔR (0.7→0.35)	-45%	9%+4%

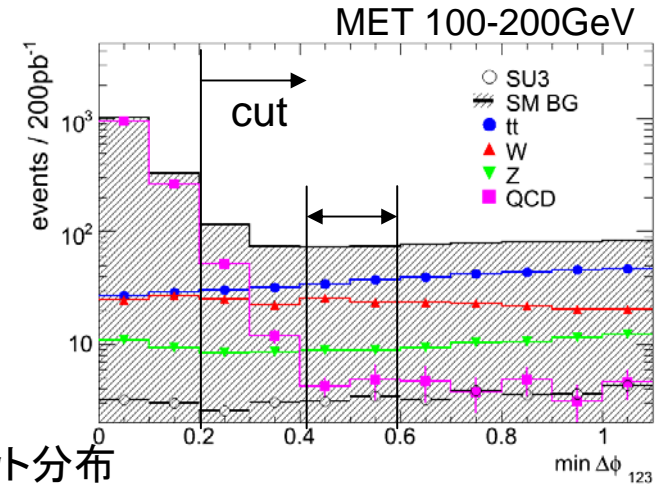
normalizationに対してshapeは比較的stable

※ 15th vector sensitive to high x gluon

# QCD バックグラウンドの評価

- 2段階に分けて考える、まずはnormalization  
 $\Delta\phi$  methodにより low MET (100-200GeV)でのQCD BGの量を求める

heavy flavor、mis-measurement of jet起源の  
QCD BGはMETとjetが相関、  
 $\min \Delta\phi \sim 0$ にピークを立てる



- JetとMETの相関が小さいQCD以外の成分はフラット分布  
サイドバンドの差引きによりピークからcontaminationを除く  
 $N(\text{QCD}, < 0.2) \sim N(\text{all}, < 0.2) - N(\text{all}, 0.4-0.6)$
- $\Delta\phi$ カット efficiency = R を掛けてsignal regionでのnormalizationを得る  
 $N(\text{QCD}, > 0.2) \sim N(\text{QCD}, < 0.2) \times R$  (from MC)

- 統計エラー a few %
- systematics from R
  - MC (pythia, herwig, alpgen) ~ 50%
  - 検出器 (MET reso. 10%) ~ 10%

次に、QCD BG shapeの評価、これにより今求めたlow METからsignal regionへ外挿できる

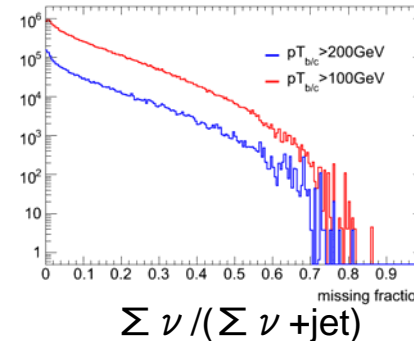
### smearing method

heavy flavorの寄与がdominantなので、  
multi-jetのdataが、semi-leptonic decayによるhigh  $p_T$   $\nu$ を含む状況を考える

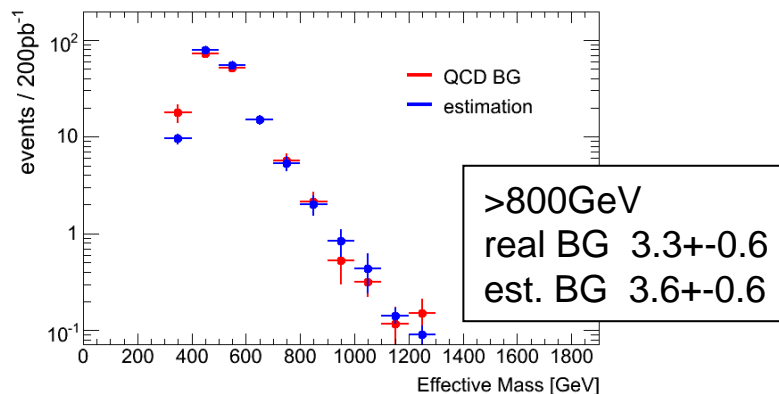
1. missingのないmulti-jet control dataを収集 (トリガーはprescaleでよい)

- 3jet>50GeV
- leading jet>100GeV
- missing ET<50GeV

2. leading jetがsemi-leptonic decay  
を含むと考えると、一部の $p_T$ をmissingで置き換える  
(この関数は、MCから)



3. no lepton SUSY cutをかけると、BG shapeを再現する

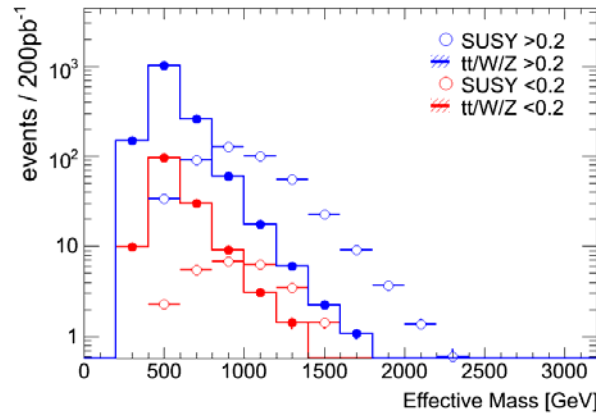
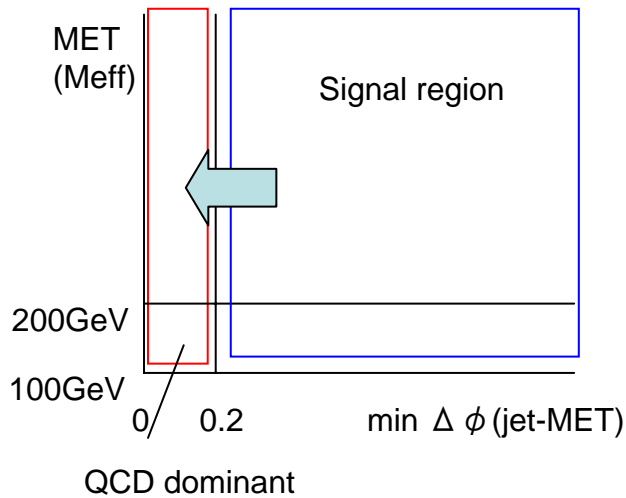


• reconstructされたjetを使っているため、  
JESといった検出器の不定性にも安定

- 統計エラー 10% (prescale=100)
- systematic error at MET>200GeV
  - MC dependence (pythia, alpgen bb/cc) ~30%
  - decay from second jet ~30%

subtraction method ... 同じくQCD shapeの評価、response functionを仮定しないもう一つの方法

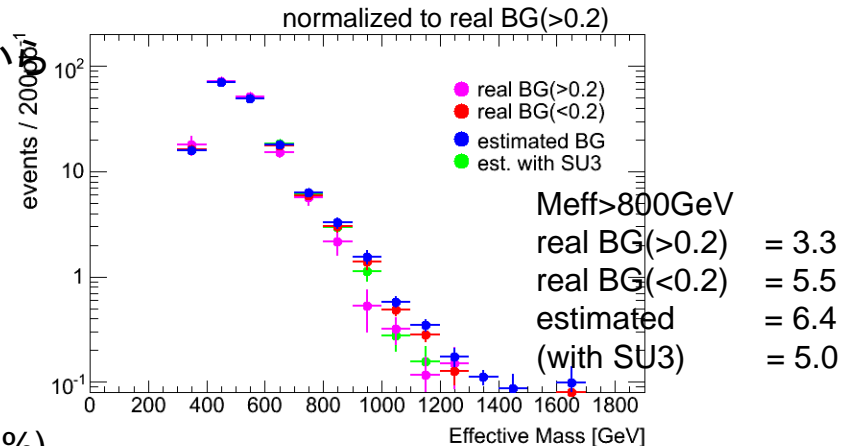
- low MET regionでnormalizationを求めるのに使った $\Delta\phi$ ピークからshapeも引き出す
- Jet-MET相関の小さなtt/W/Z, SUSYは $\Delta\phi$ カット前後でshapeが同じ、 $\Delta\phi$ ピーク部分のcontaminationを分布ごと差引くことができる



- scale factorは $\Delta\phi$  methodのようにサイドバンドから  
QCD shape = shape(<0.2) - F x shape(>0.2)

$$F \sim N(\text{all}, 0.4-0.6) / N(\text{all}, >0.2) = 0.10$$

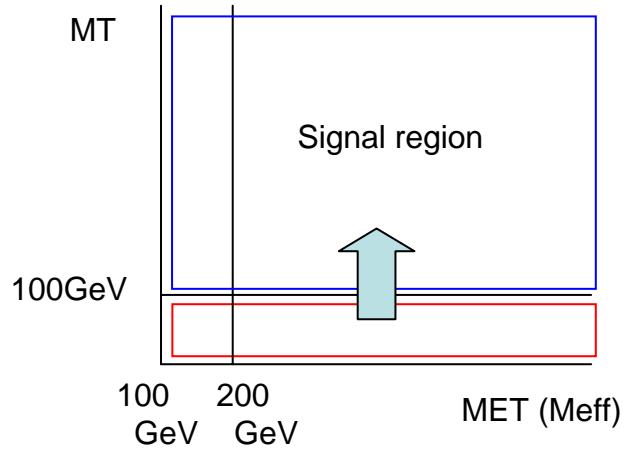
- 統計エラー                       $M_{eff} > 800 \text{ GeV}$  16%
- systematic/バイアス         $\sim 12\%$



ただし、求めたshapeは $\Delta\phi$ カット前のもの(バイアス $\sim 60\%$ )

# tt / W BG estimation

**MT method** tt / Wはトポロジーが似ていて分離することが困難なので、同時に評価する

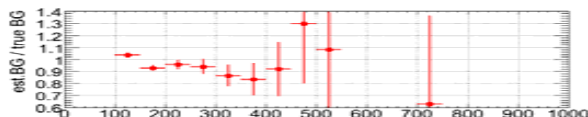
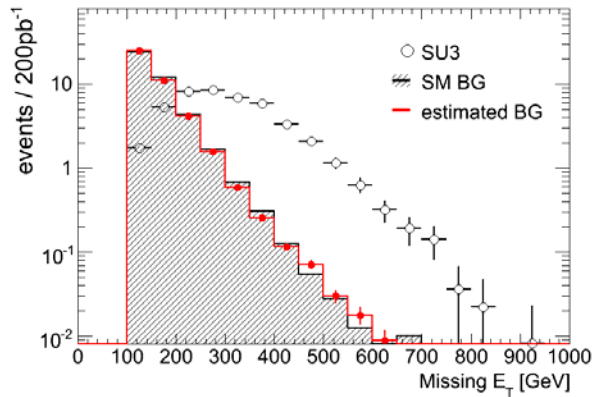


control sampleはMT<100GeV

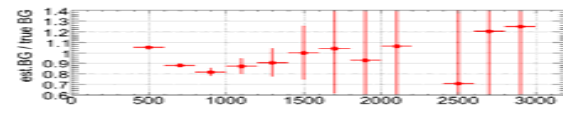
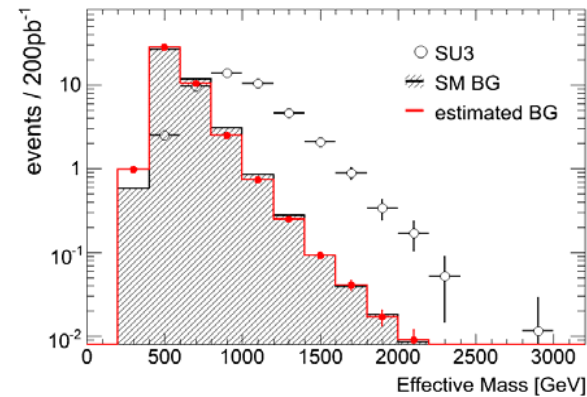
- SM  $\gg$  SUSY
- MTとMET(Meff)の相関が小さい

→ control regionのshapeをそのまま外挿できる  
normalizationは low MET(100-200GeV)で合わせる

one lepton mode MET

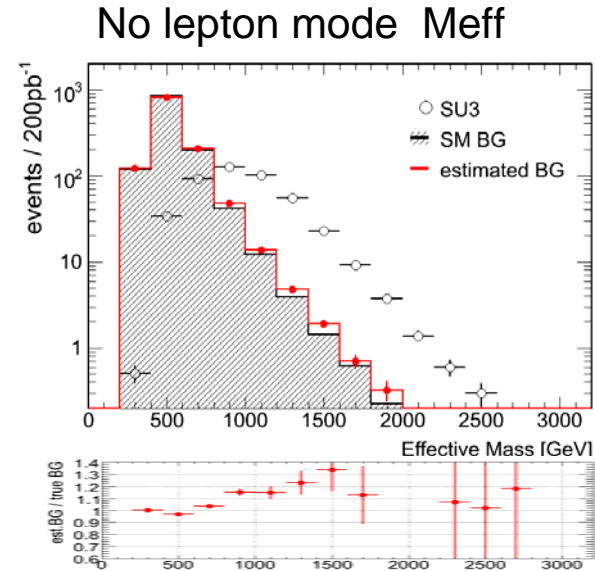
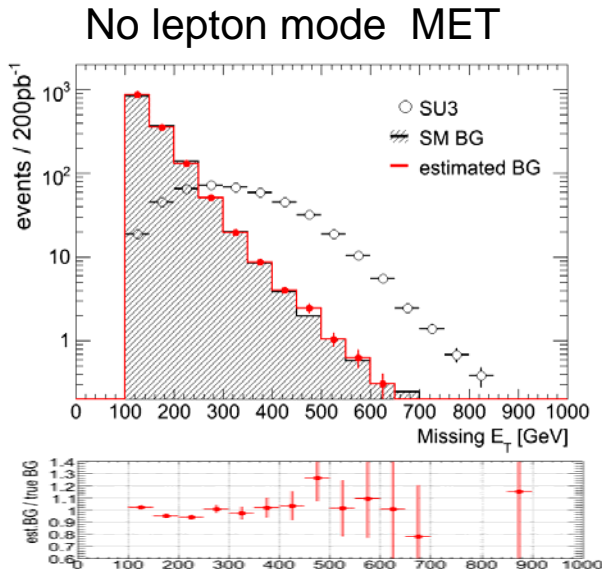


one lepton mode Meff





No lepton modeのtt/W shapeも同様にone lepton MT control sampleで評価  
 • normalizationはQCD, Z BGの寄与を引いてから



### •統計エラー

one lepton ... norm: 17%

shape: 16%(>800GeV) 48%(>1200GeV)

no lepton ... norm: 5%+15%(from QCD,Z) shape: 16%(>800GeV) 48%(>1200GeV)

### •systematicエラー

bias ... < 20%

W ratio (+-20%) ... < 10%

detector uncertainty ... a few %  
 (jet scale 5%,reso.10%,etc)

← data-drivenのキャンセルによるメリット

first data(10TeV,200pb<sup>-1</sup>)の不定性について簡単なまとめone lepton mode (M<sub>eff</sub>>800GeV)

- tt/W (MT method)  
統計エラー ~ 24%  
systematic error ~ 20%

} ~30%



Data統計 (BG only) 50%

データの統計エラーが効く

no lepton mode (M<sub>eff</sub>>800GeV)

- tt/W (MT method)  
統計エラー ~ 22%  
systematic error ~ 20%
- Z (replace method)  
統計エラー ~ 20%  
systematic error ~ 10%

} ~ 30%



Data統計 (BG only) 11%

BG評価のエラーが効く

- QCD ... 残らない、  
MT methodのnormalization経由



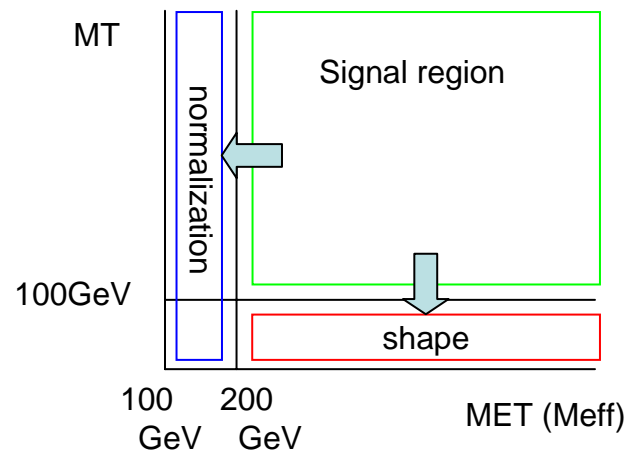
no-leptonのdiscovery reachは若干後退して  
one-leptonと同程度 m<sub>q</sub>~800GeV  
(金谷さんのトーク)

### 3. BG評価 (SUSYのある場合)

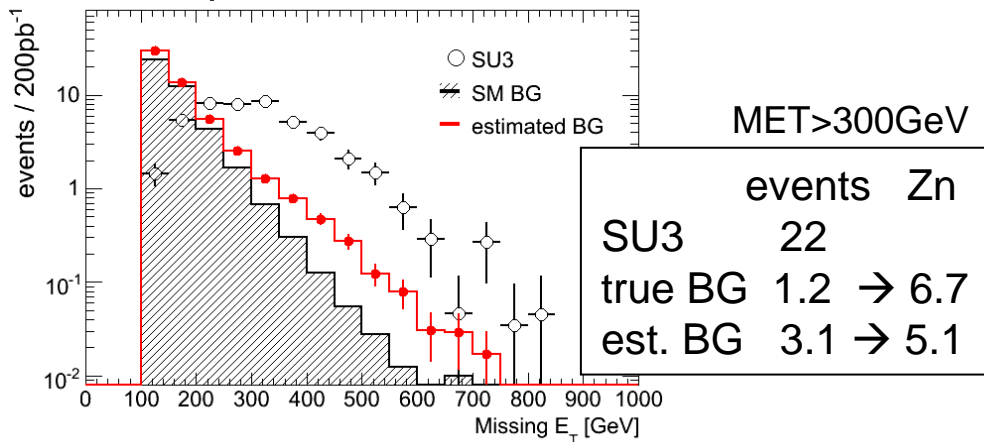
- SUSY contamination
- new MT method

- $Z \rightarrow \nu \nu$ 、QCD BG estimationについてはnegligible
- tt/W estimationのMT methodはSUSYの影響を受ける

1. normalization region (MET:100-200GeV)へのSUSYのしみだしによる、normalization factorの過大評価
2. control region (MT<100GeV)へのSUSYのしみだしによるshapeのexcess



One lepton mode with SU3



- どちらもBGを過大評価する方向に働く  
significanceは小さくなる方向
- 影響が大きいところは、発見も容易。  
統計が必要な1~2TeVでは影響は小さい
- discovery前にBG onlyの立場をとるならば、  
signalの存在は仮定できない

→ discovery前のcorrectionは考えていない

しかし、discovery後にexcessを正しく理解するためには修正が必要

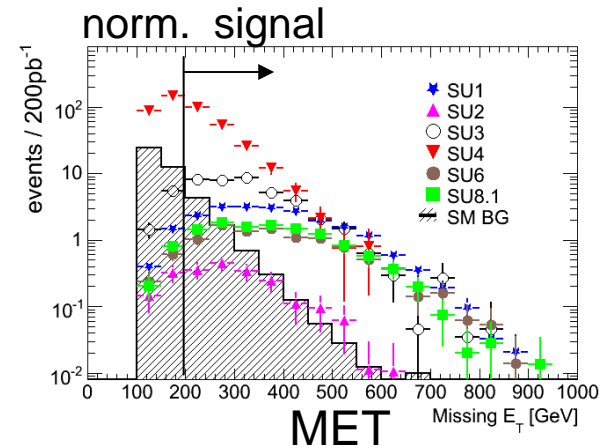
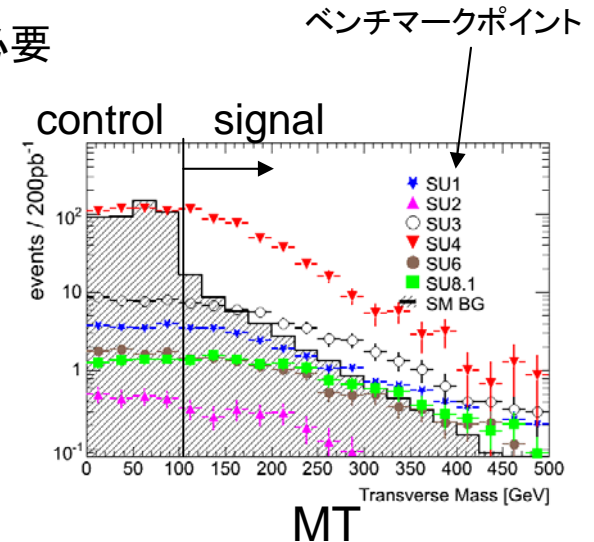
- shapeの変化について  
SUSYのMT shapeは比較的同形、control regionに0.5~0.7

control, signal regionでBGもSUSYもMETのshapeが同形  
control regionのshape – 0.6 x signal regionのshape

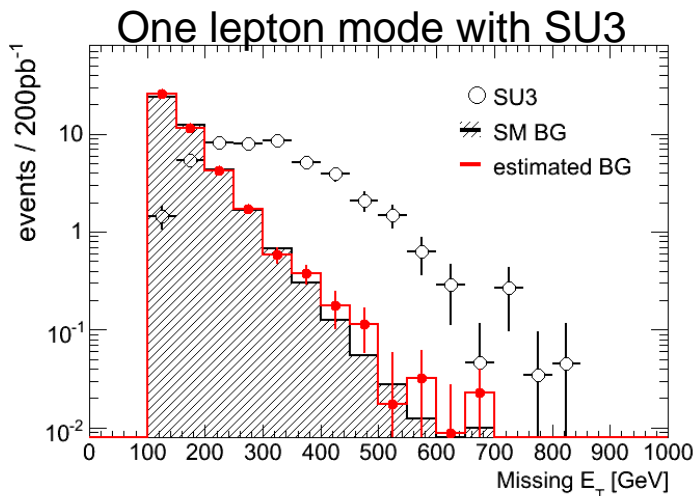
により近似的に分布として差引ける

- normalization factorの変化について  
normalization regionへのしみだしは、mass、Xsecで変化
  - 依存性を入れて、しみだしの割合を出す
  - low massではMCのfactor (SM BGのMT cut effi.)を使う
  - normalization regionを下げる

ここでは簡単にnormalizationを100-150GeV



2点の修正を施した **new MT method** でほぼ正しいレベルに復帰



	events	Zn
SU3	22	
true BG	1.2	→ 6.7
est. BG	1.3	→ 6.6

### その他のSUSYのベンチマークポイント

	Msusy	Xsec (pb)	control / signal	Old MT Est. BG / true BG ratio MET>300GeV	New MT Est. BG / true BG ratio MET>300GeV
SU1	760GeV	3.5	0.66	1.8	0.9
SU2	860GeV	4.0	0.90	1.0	0.9
SU3	630GeV	9.7	0.72	2.5	1.1
SU4	410GeV	160	1.05	11.3	1.6
SU6	870GeV	1.6	0.65	1.3	0.9
SU8.1	800GeV	2.6	0.44	1.2	0.7

# まとめ

- MC、検出器の不定性を直接かぶらないように、  
実データを用いてSUSYのバックグラウンドを評価する
- 我々の提案する手法は、discoveryに必要なno lepton mode, one lepton modeの各BGをカバーする
- エラーはfirst data(10TeV, 200pb<sup>-1</sup>)に対してだいたい30%程度、  
no lepton modeではすでに効きはじめリーチが若干後退して、  
one lepton modeと同程度  $m_q \sim 800\text{GeV}$
- SUSYのcontaminationは特にlow massでバイアスを与える  
discovery後にはcorrectionが可能