

SUSY探索のバックグラウンド (評価と不定性)

片岡洋介 (東大)

on behalf of Tokyo group

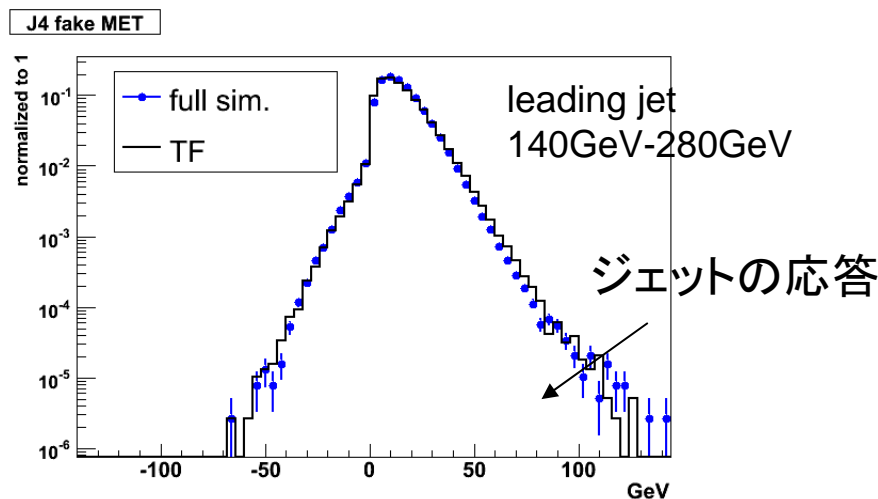
内容

- SUSY探索のバックグラウンド
 - イベントセレクション、SUSY signature
 - 各modeのcross section、分布
- 実験データによる評価と不定性
 - 各mode、各バックグラウンドの評価法

本題に入る前に今回使ったシミュレーションについて

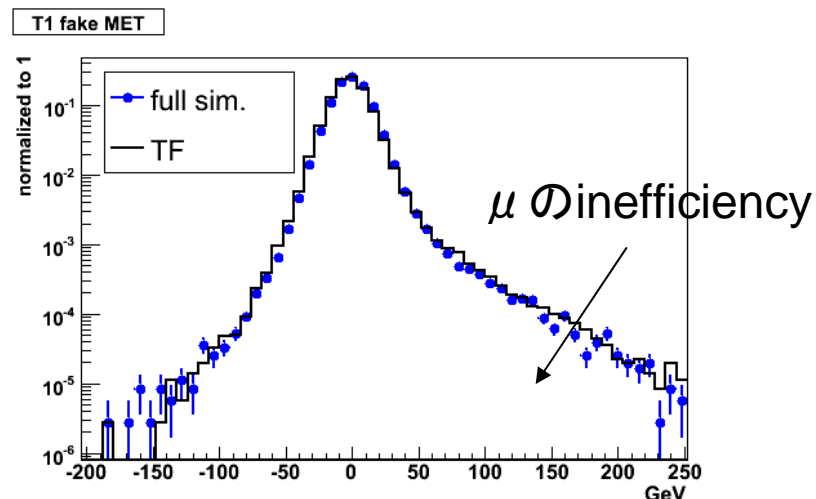
- バックグラウンドの研究には統計が必要なため、full simulation(Geant4)でなく、smearing algorithmを使う
- ジェットの応答、レプトンのefficiency, fake rateなどはfull simulationからパラメータを抽出
- missing ETについてもfull simulationと同等のパフォーマンスを示す

QCD(di-jet) sample



fake missing ET
(rec. MET- truth MET)

ttbar sample



fake missing ET

イベントセレクション

ベースラインSUSYカット

- 4 jets > 50GeV
- leading jet > 100GeV
- missing ET > 100GeV
- missing ET > 0.2 x Meff
- Transverse Sphericity > 0.2

Effective Mass (M_{eff})

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

no lepton mode

- $d\phi$ (jet1-missing ET) > 0.2
- $d\phi$ (jet2-missing ET) > 0.2
- $d\phi$ (jet3-missing ET) > 0.2

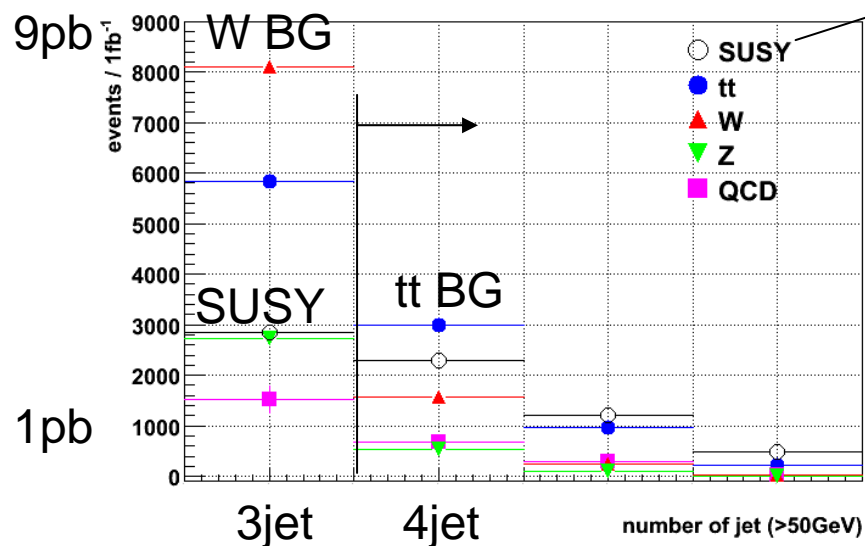
one lepton mode

- Transverse Mass > 100GeV

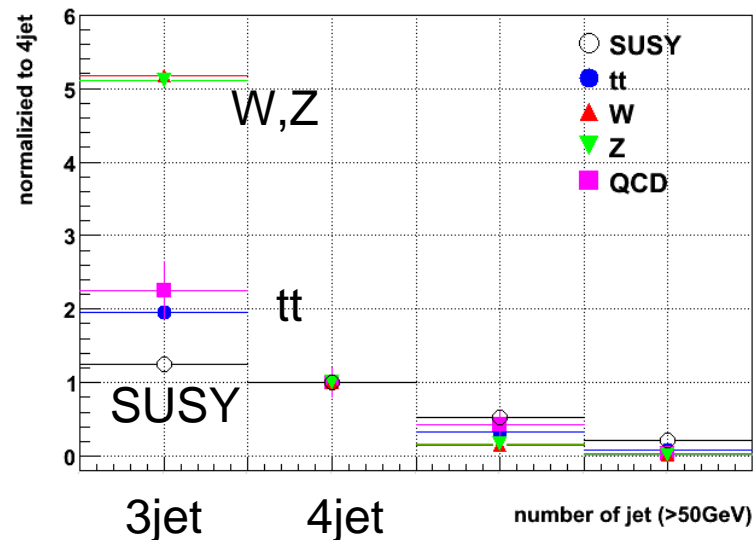
SUSY signature 1 ~ multi jets

ジェット数によりBGの成分が大きく変わる

referenceとして、
M_{susy} ~ 700 GeV (SU3)



Number of jet >50GeV
(no lepton mode)

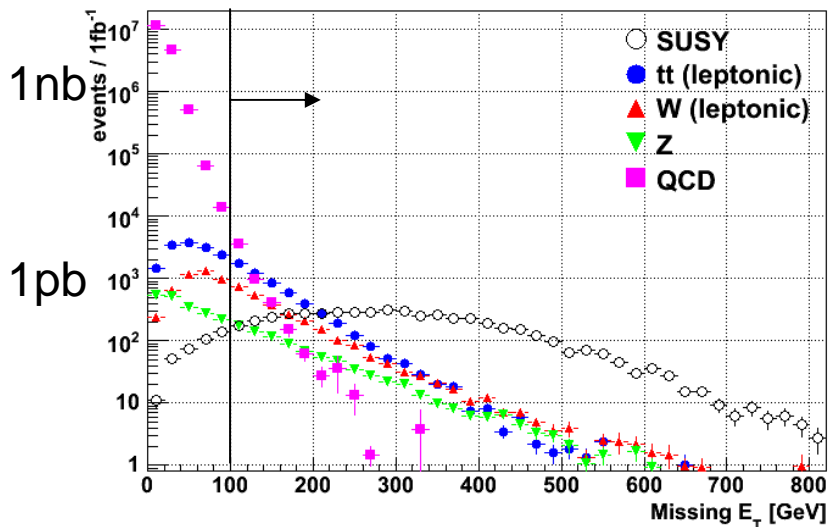


Number of jet >50GeV
(normalized to 4jets)

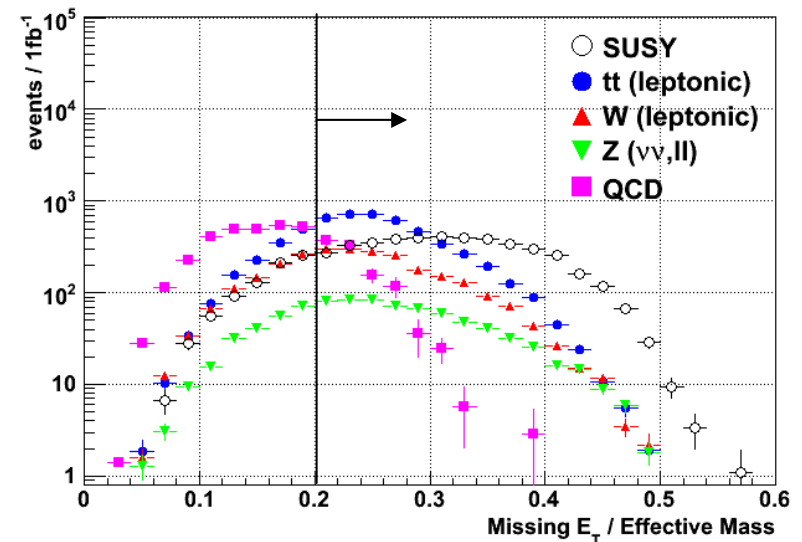
- 3jetではWがdominant
- 4jetでは0~2lepton mode通してtt dominant
→ S/Nが良いだけでなく、BG shapeが同じなので評価が容易 (後述)

SUSY signature 2~missing ET

- Missing ET > 100 GeV
 - Missing ET > 0.2 x M_{eff}
- の2つのカットでQCD BGをほぼ完全におとす



Missing ET
(after 4jet cut, no lepton mode)

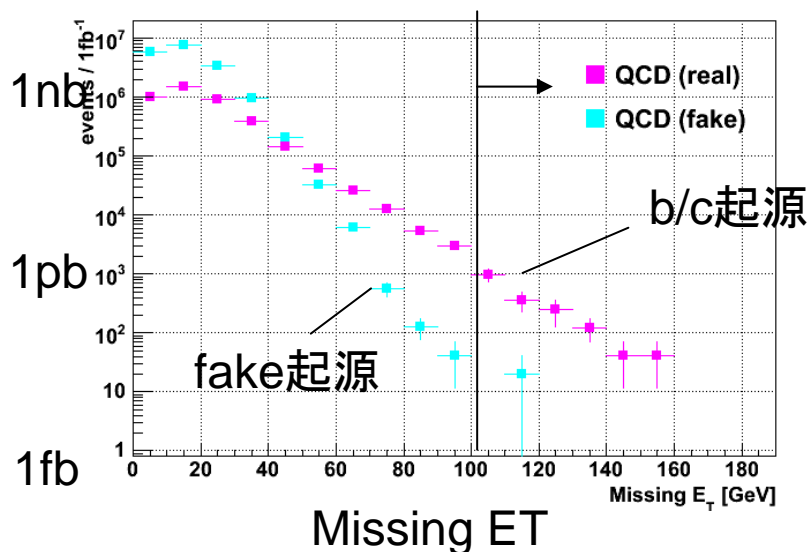


Missing ET / Effective Mass

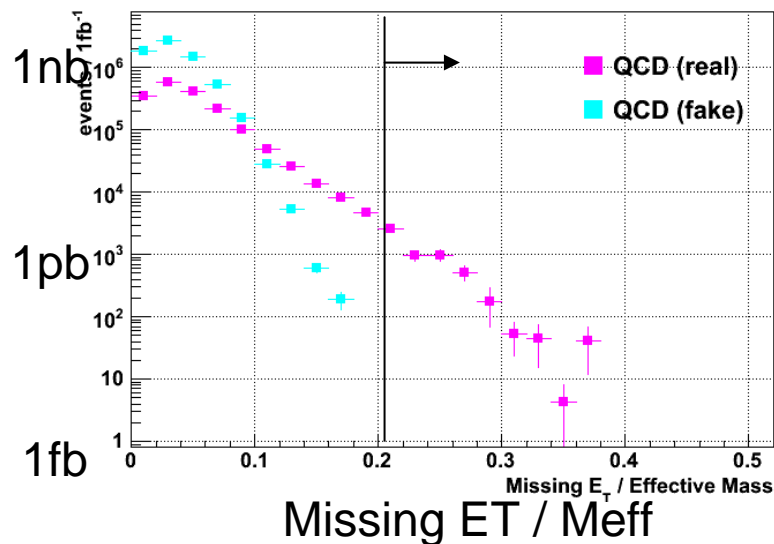
つづき、 fake QCD BGの寄与

fake missing ET起源のQCD BGは
cross section、shapeの評価が最も困難

1. Missing ET > 100 GeV カットが効く領域
~ Effective Mass < 500 GeV



2. Missing ET > 0.2 x Meff が効く領域
~ Effective Mass > 500 GeV

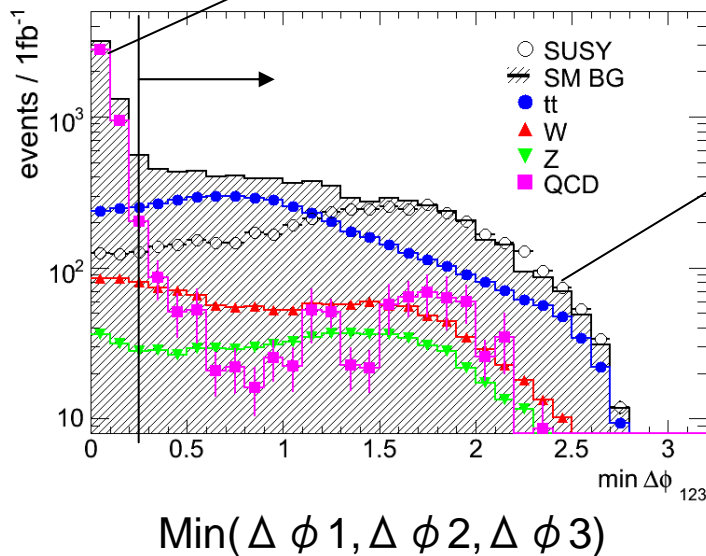


シミュレーションによる評価であるが、
fake起源のQCD BGが小さいと予想されることはありがたい

$\Delta \phi$ カット(no lepton mode)

QCD BGが効くno lepton modeでは
ジェットとmissing ETとの相関をみてさらにsuppressする

heavy flavor起源(fake起源でも)のQCD BGは
jetの方向と一致する



W, tt, Z, SUSYのmissing ETは
Jetとの相関が少ない

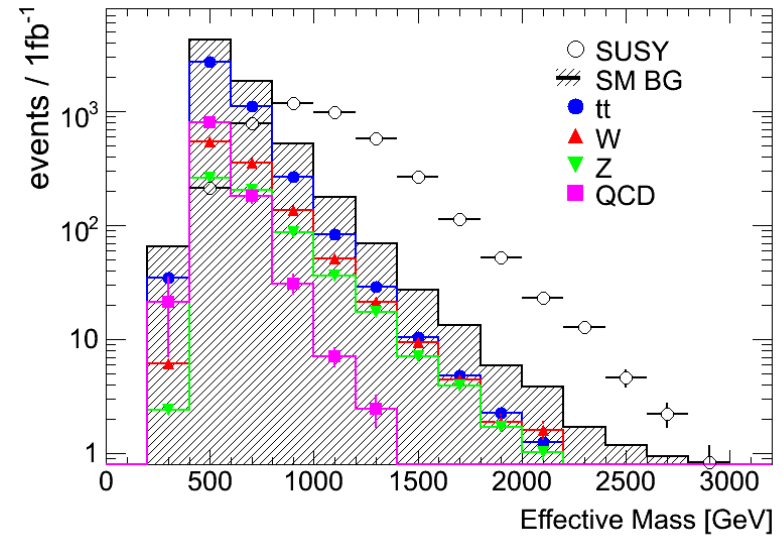
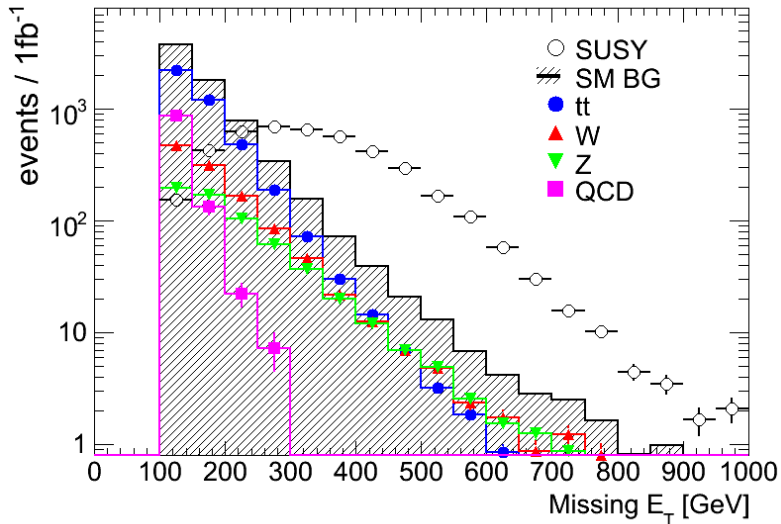
number of events @ 1fb⁻¹

	Before cut	After cut	efficiency
QCD	4778	1041	22%
tt	4722	4237	90%
W	1309	1138	87%
Z	691	623	90%
SUSY	4466	4219	94%

QCD BGのみを効率よく落とす

no lepton modeの分布

- no lepton > 20GeV



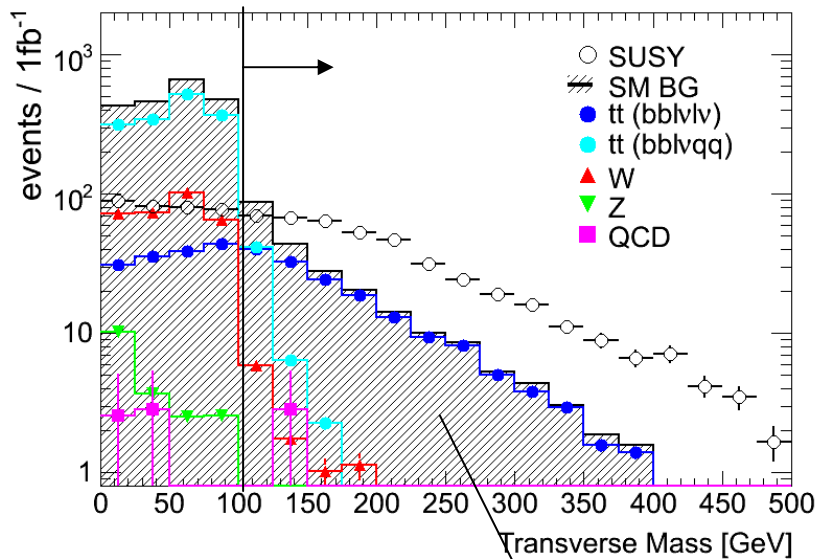
特徴

- 高統計、BG評価の系統誤差が重要
- tt,W,Z,QCD全て効くのでBG評価は難しい

	#event @1fb-1	ratio
QCD	1041	15%
tt	4237	60%
W	1138	16%
Z	623	9%
SUSY	4219	

Transverse Massカット(one lepton mode)

W起源のmissing ETによるBGをおとす



dileptonic tt BG

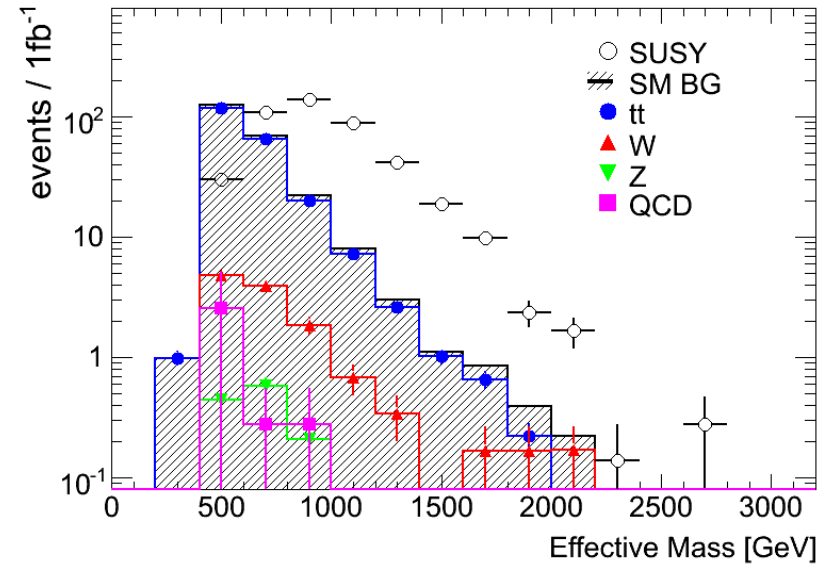
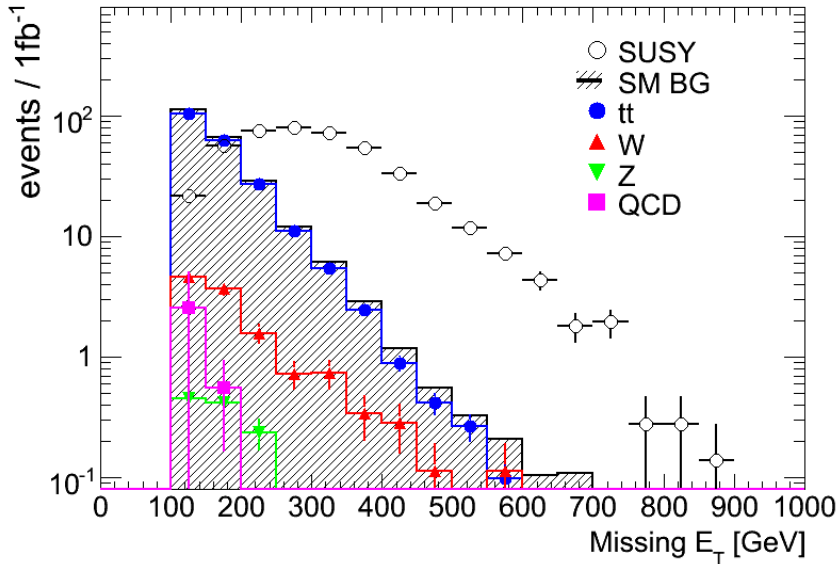
number of events @ 1fb^{-1}

	Before cut	After cut	efficiency
Tt (lnln)	312	164	53%
Tt (lnqq)	1593	52	3%
W	324	12	4%
Z	20	1	
QCD	9+-4	3+-3	
SUSY	769	441	57%

W BG, semileptonic tt BGはほぼおち、
dileptonic tt BG, SUSYがのこる

one lepton modeの分布

- one lepton > 20 GeV, no lepton 10 GeV ~ 20 GeV



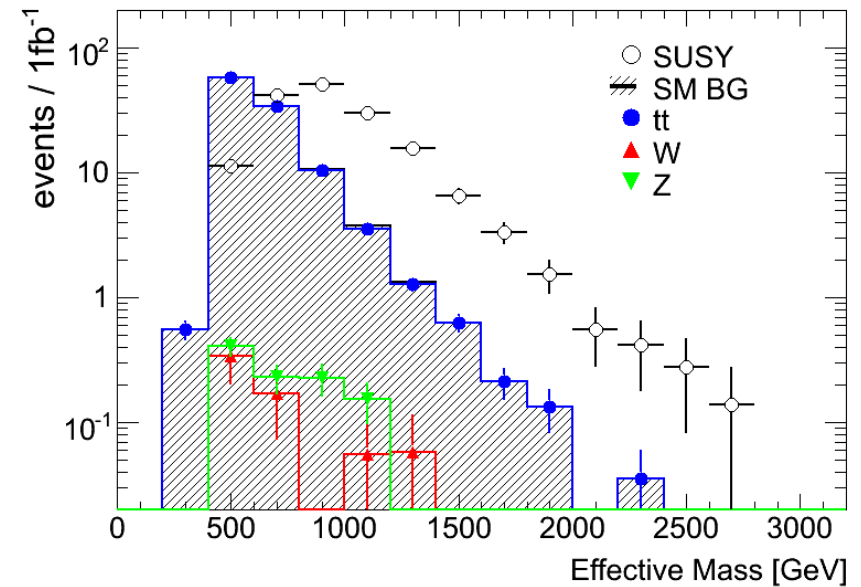
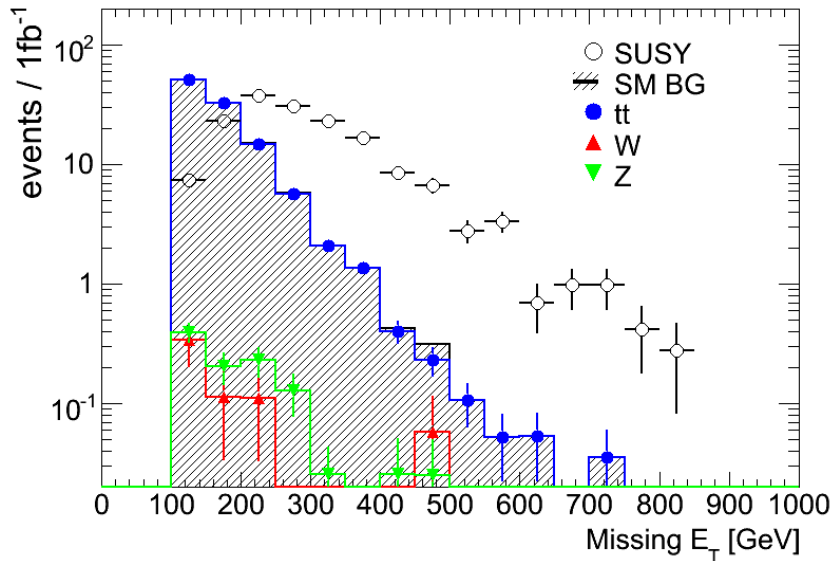
特徴

- 統計は減る、統計誤差 ~ 系統誤差
- ほぼQCD BGフリー、
tt dominantでBG評価が容易

	#event @ 1fb ⁻¹	ratio
Tt	216	93%
W	12	5%
Z	1	
QCD	3+-3	
SUSY	442	

OS di lepton modeの分布

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



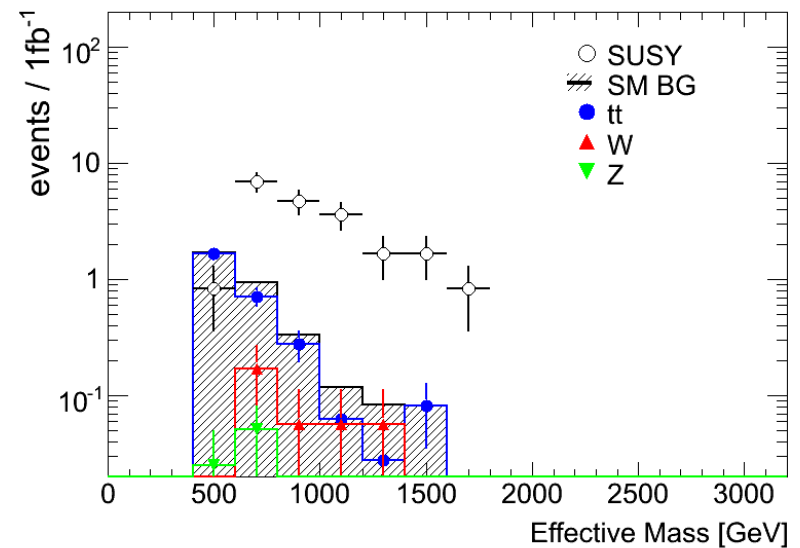
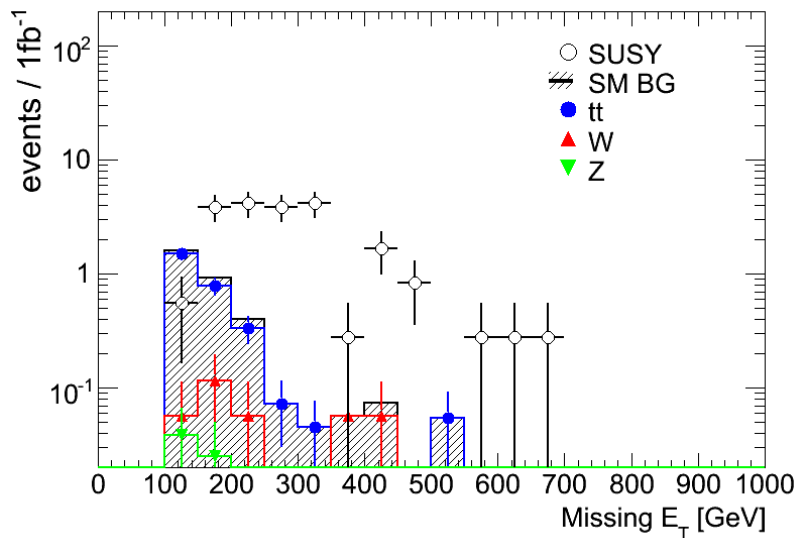
特徴

- さらに統計少
- ほぼ全てtt BG

	#event@ 1fb ⁻¹	ratio
Tt	108	99%
W	0.6	
Z	1.0	
SUSY	163	

SS di lepton modeの分布

- $2\text{lepton} > 20\text{GeV}$ (fake leptonが効くので)



特徴

- BGはfake lepton起源
 $tt(l \nu qq) + \text{lepton from } b$
 $tt(l \nu qq), W + \text{fake lepton}$
- 1fb^{-1} ではほぼBGフリー

	#event@ 1fb^{-1}
tt	2.8
W	0.3
Z	0.1
SUSY	20

実験データによるバックグラウンドの評価

Motivation

1. MCの不定性は高いと考えられるのでデータを使う(特にlarge missing ET、multi jet領域)
2. 早期($100\text{pb}^{-1}\sim 1\text{fb}^{-1}$)には、detectorの理解(jet energy scale)が完全でないを考える
3. 鋭いピークをつくらないので、BG shapeの見積もりが必要不可欠

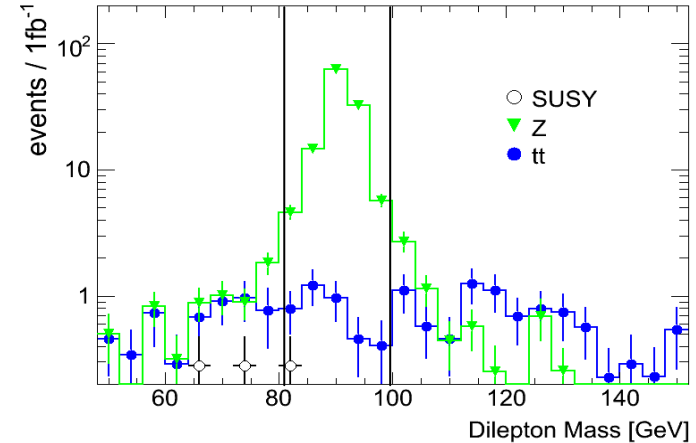
我々が提案している評価法は早期のdiscoveryに重要な
No lepton, one lepton, OS di leptonをカバーする

mode	BG	Control data	shape	normalization
No lepton	Z	Z \rightarrow ll	MC	ll置換
	W / tt	one lepton MT < 100 GeV	MT外挿	Low MET
	QCD	Multi jets No lepton $\Delta\phi < 0.2$	Jet置換 $\Delta\phi$ 外挿	$\Delta\phi$ 外挿
One lepton	W / tt	one lepton MT < 100 GeV	MT外挿	Low MET
OS di lepton	tt	one lepton MT < 100 GeV	MT外挿	Low MET

Z \rightarrow llを用いたZ(\rightarrow $\nu\nu$)の評価

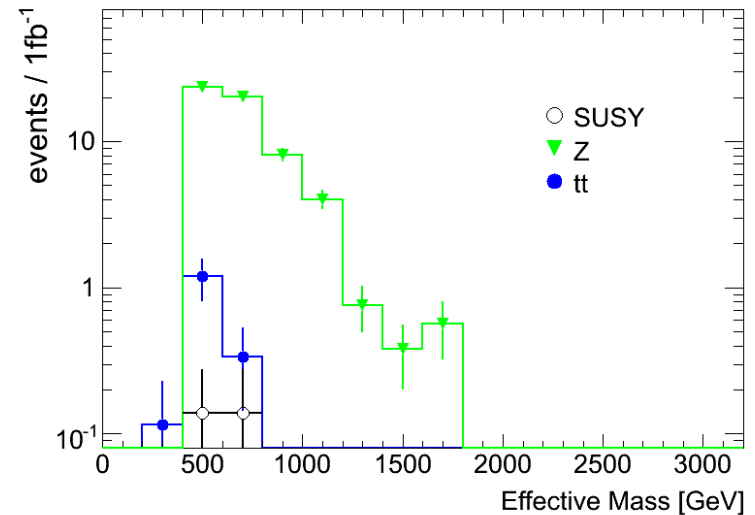
Control sample

- same flavor dilepton ($>20\text{GeV}$)
 - leading $> 100\text{GeV}$
 - 4jets $> 50\text{GeV}$
 - missing ET $< 40\text{GeV}$
 - $|m_{ll}-m_Z| < 10\text{GeV}$
 - Transverse Sphericity > 0.2
- \rightarrow llを $\nu\nu$ に置換後、missing cuts



	#event @1fb ⁻¹	M _{eff} >800GeV	M _{eff} >1200GeV
Z	58	14	2
tt	1.6		
SUSY	0.3		

ほぼpureなサンプル



Shapeを出すのは統計的にきつい

- shapeはMCを使い、control dataのイベント数に合うようにMCをスケールする

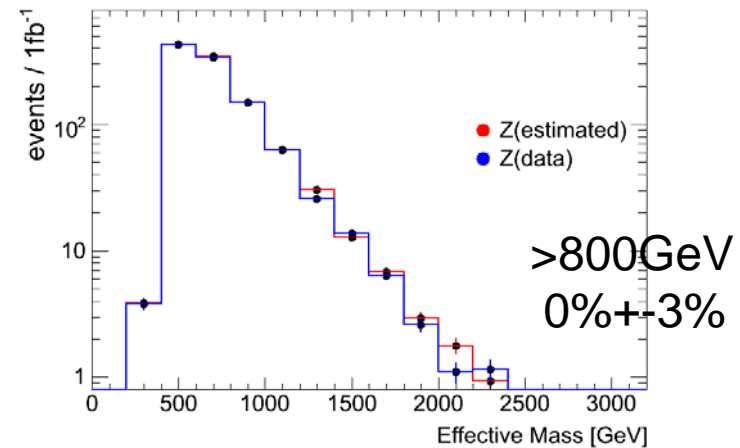
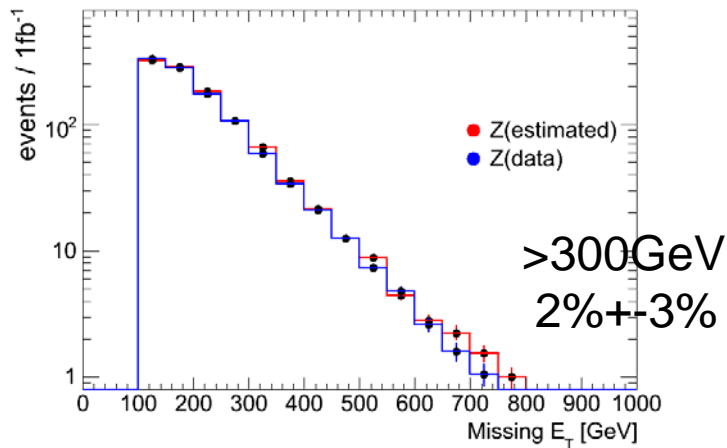
MC (standard)

58 event

data (half renormalization scale)

105 event

→ 1.82 でMCをスケールする



MCの不定性は主にnormalization、shapeの変化は小さい

$Z(\rightarrow \nu\nu)$	events	$\cancel{E}_T > 300$ GeV	$M_{\text{eff}} > 800$ GeV
pseudo real data	4% ± 4%	5% ± 4%	3% ± 4%
half renormalization scale	4% ± 2%	2% ± 3%	0% ± 3%
lower parton pT	6% ± 18%	9% ± 21%	4% ± 20%

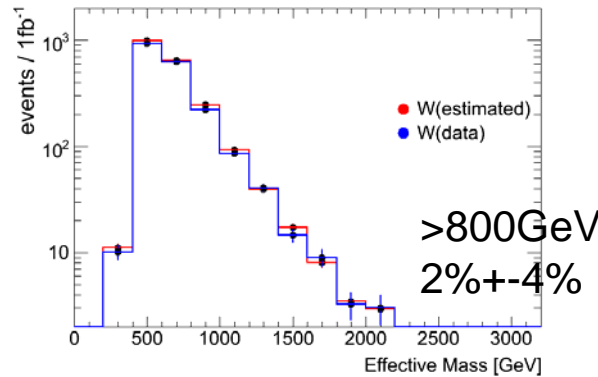
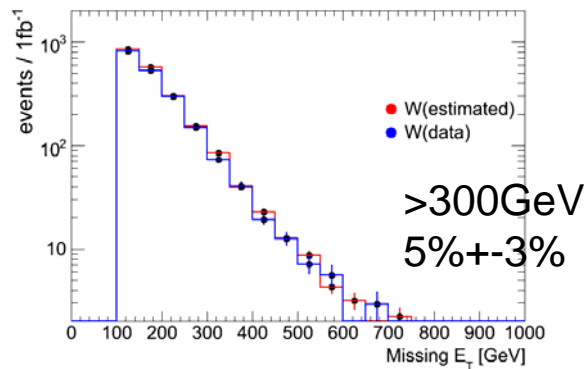
不定性

- statistic error 13% @ 1fb-1, 42% @ 100pb-1
- MC shape ~ 10%
- detector performance

	events	$\cancel{E}_T > 300 \text{ GeV}$	$M_{\text{eff}} > 800 \text{ GeV}$
jet energy scale (+-5%)	4%	6%	6%
jet energy resolution	1%	1%	1%
\cancel{E}_T soft component scale	< 1%	1%	< 1%
lepton energy scale	< 1%	< 1%	< 1%
lepton id efficiency	2%	2%	2%

leptonのefficiencyの情報が必要 (1% @ 1fb⁻¹)

Z→ll法の応用、W BGの評価



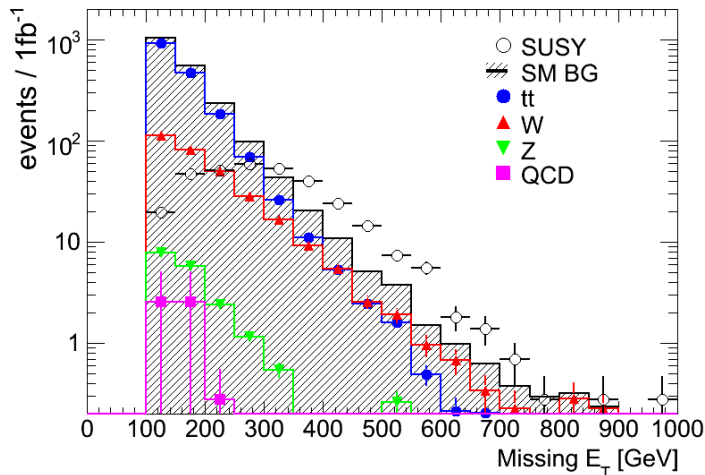
生成機構が同じなので、
同じscale factorで再現する

$W(\rightarrow l\nu)$	events	$\cancel{E}_T > 300 \text{ GeV}$	$M_{\text{eff}} > 800 \text{ GeV}$
pseudo real data	6% ± 4%	16% ± 8%	7% ± 6%
half renormalization scale	5% ± 3%	4% ± 4%	2% ± 4%
lower parton pT	11% ± 20%	12% ± 30%	15% ± 31%

one lepton W / tt BGの評価 (MT法)

Control sample

- one lepton mode MTカットでおとしたイベント(MT<100GeV)



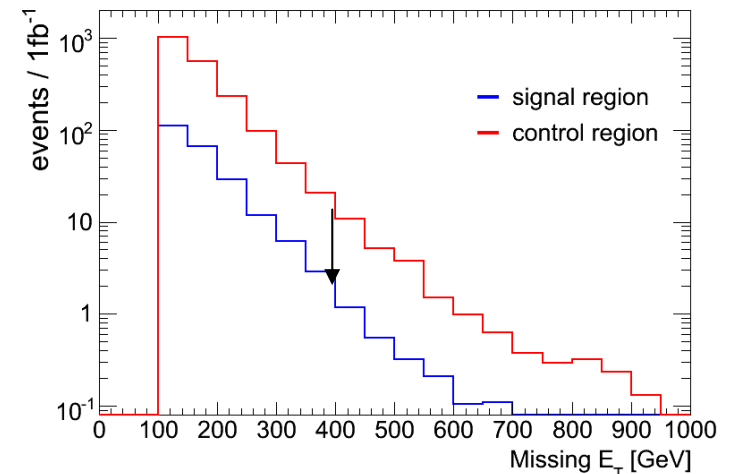
tt 78%

W 22%

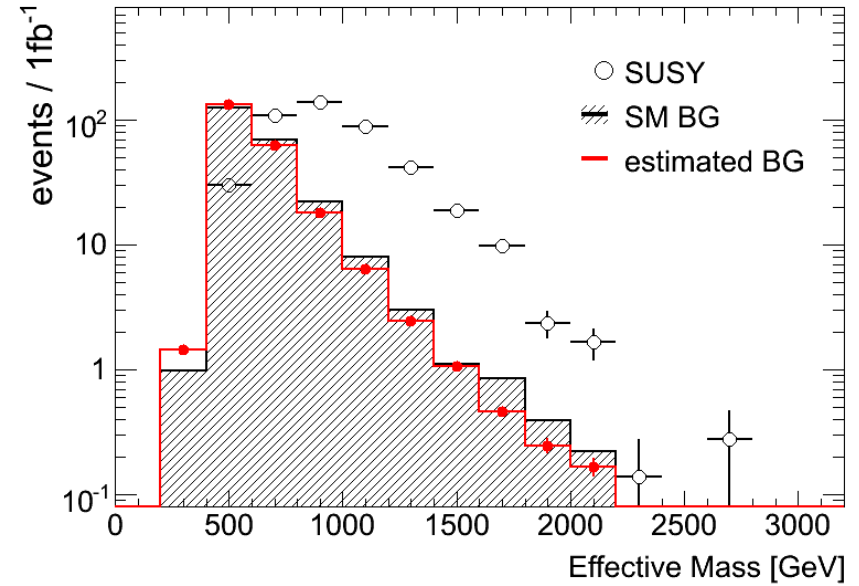
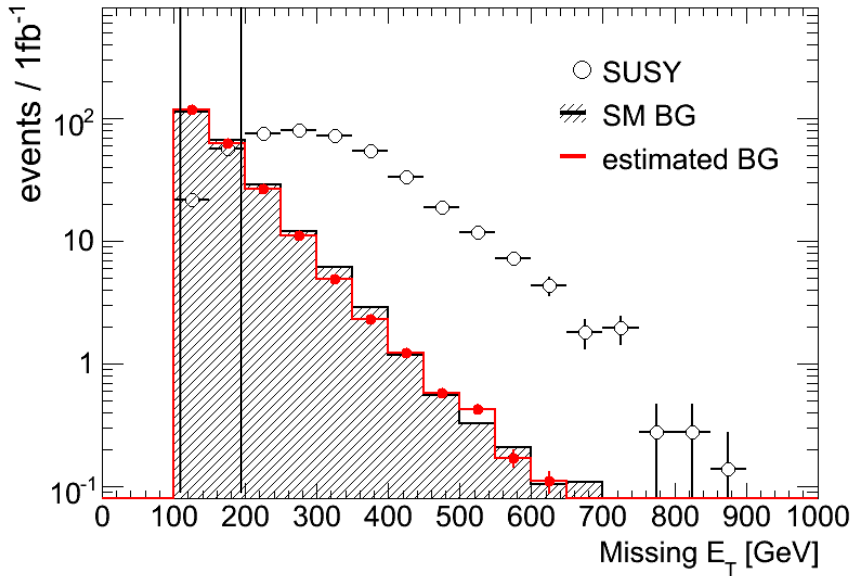
分離することが難しいので同時に評価

MT<100GeV control dataの利点

- SUSYの寄与が小さい
 - SM BGの統計が大きい
 - MTとの相関が小さい
- shapeをMT>100GeVに外挿できる



- low missing ET領域(100GeV-200GeV)でnormalize



	#event @ 1fb ⁻¹	Meff >800GeV
real	232	36.1
estimated	227	29.0
ratio	0.98	0.81±0.03

不定性

- Statistics
 - scale factor: 8% @ 1fb⁻¹ 24% @ 100fb⁻¹
 - shape: 6% (M_{eff}>0.8TeV), 16% (>1.2TeV)
- Jet energy scale < 5%
- MC parameters < 5%

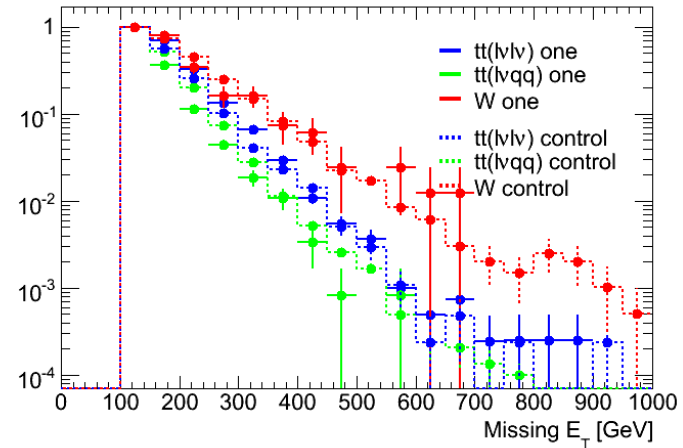
補足ですが、

MT>100GeV領域への外挿は自明ではない

1. BGの成分が変化する

	Signal region	control region
Tt (bbl $\nu l \nu$)	70%	7%
Tt (bbl νqq)	22%	71%
W	8%	22%

2. それぞれの成分で傾きが異なる



- Wのcontamination小さい (14%の変化)
- $l\nu l \nu, l\nu qq$ の傾きの差が小さい (Wと逆のbiasをかける)
ことによりMT法がうまくいく

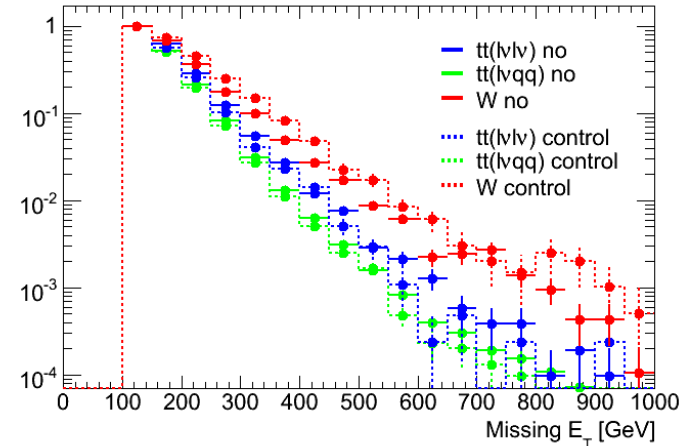
W / tt ratioからの不定性は1桁suppress

	W+0%	W+20%	W+50%
real BG	36.1	36.7	37.8
estimated BG	28.5	29.9	32.0
ratio		+2%	+5%

no lepton modeのtt/W BGへの適用

- no lepton modeとone lepton control dataは成分が同じ → W/ttの傾きの差が効かない

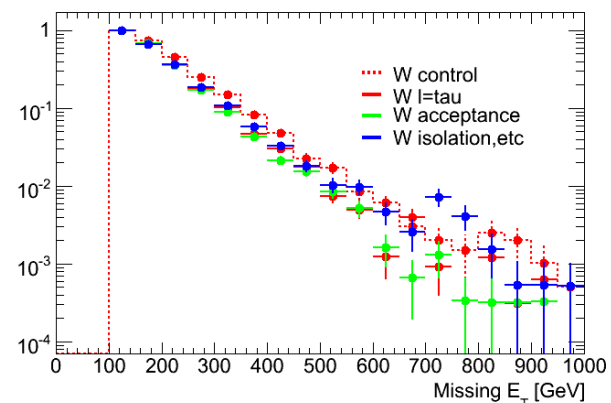
	0l signal	1l control
Tt (bbl ν ν)	7%	7%
Tt (bbl ν qq)	71%	71%
W	22%	22%



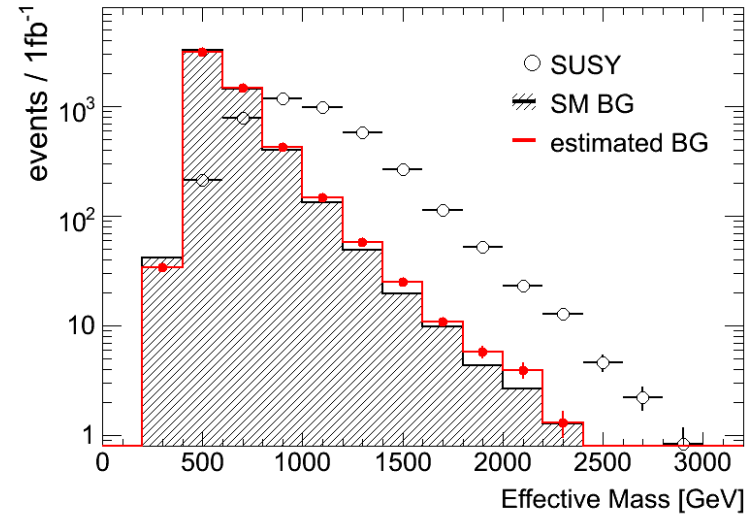
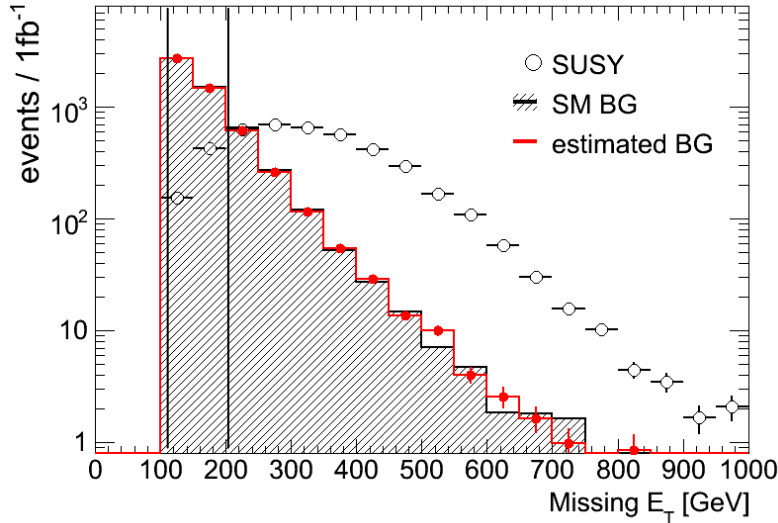
- leptonのIDによるバイアス → W/ttの差と比べて小さい

W \rightarrow $l\nu$ のleptonがIDされない原因

tau mode	39%
out of acceptance	37%
Isolation, efficiency	24%



- low missing ET領域(100GeV-200GeV)でnormalize
 $N(tt/W) = N(\text{all}) - N(\text{QCD}) - N(\text{Z})$



	#event @ 1fb ⁻¹	Meff >800GeV
real BG	5369	622
estimated BG	5327	681
ratio	0.99	1.10

不定性

- Statistics

scale factor: 3% @ 1fb⁻¹ 9% @ 100fb⁻¹

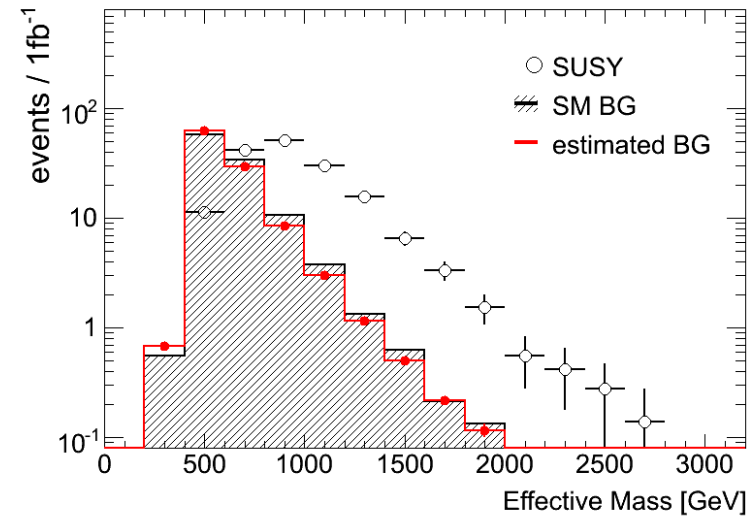
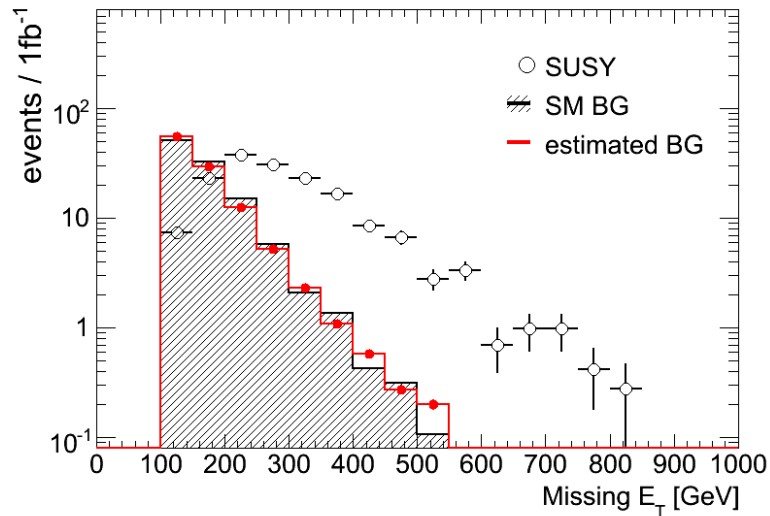
他QCDの不定性(50%)から 9%

shape: 6% (Meff>0.8TeV), 16% (>1.2TeV)

- Jet energy scale < 5%
- MC parameters < 5%

OS di lepton modeへのMT法の適用

- BGの成分はone leptonと同じ(ほぼ全てdileptonic tt)

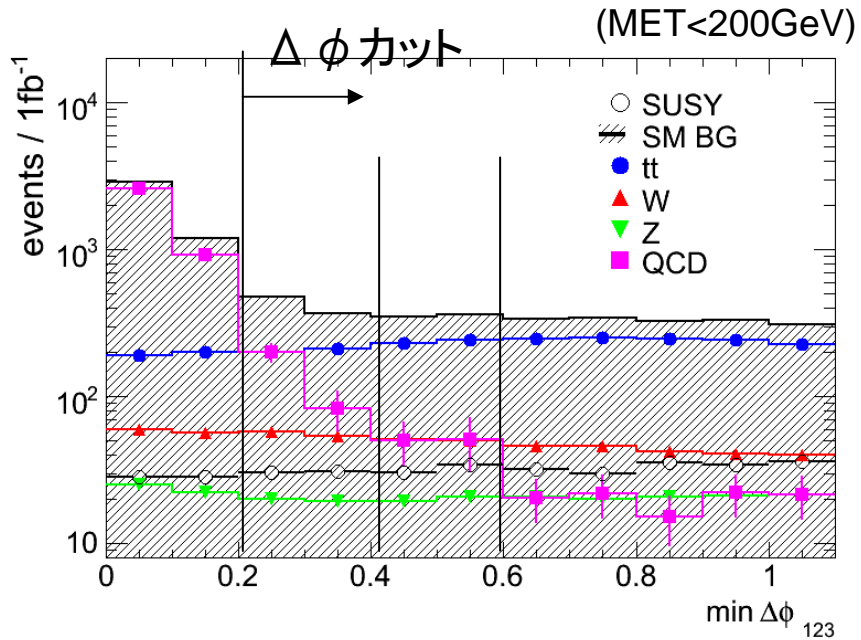


	#event @ 1fb ⁻¹	Meff >800GeV
real BG	110	17
estimated BG	107	14
ratio	0.97	0.82±0.03

不定性

- Statistics
 - scale factor: 11% @ 1fb⁻¹ 34% @ 100fb⁻¹
 - shape: 6% (Meff>0.8TeV), 16% (>1.2TeV)
- Systematics
 - one leptonと同じ

QCD BG normalizationの評価



1. $\Delta\phi$ 分布、QCD BGの集中するピークから絶対量を見積もる

$$N(\text{QCD}, < 0.2) \sim N(\text{all}, < 0.2) - N(\text{all}, 0.4-0.6)$$

	0-0.2	0.4-0.6	差
QCD	3497	101	3396
W,Z,tt	553	611	-58
All SM	4051	712	3339
susy	56	65	-9

0.95で
よく一致

2. $\Delta\phi$ カット efficiency をかけて、 $\Delta\phi > 0.2$ の QCD BG を求める (3339 × 0.21 = 701)

	0-0.2	0.2以上	R (ratio)
MC (Pythia)	3497	728	0.21 ± 0.02

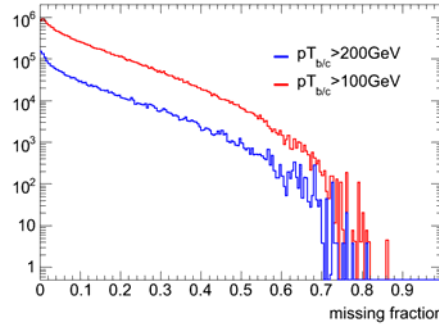
Rの不定性

Jet resolution -10%	0.18	-15%
Jet resolution +10%	0.23	+9%
No add muon to jet pT	0.29	+39%
Alpgen+Herwig	0.32 ± 0.03	+52%

QCD BG shapeの評価1

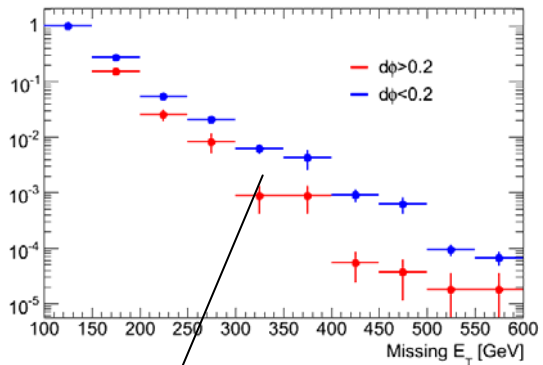
Multi jetのcontrol dataからMCによるheavy flavorのmissing fractionを施してQCD BGをつくる

- 4jet > 50 GeV
- leading > 100 GeV
- missing ET < 50 GeV

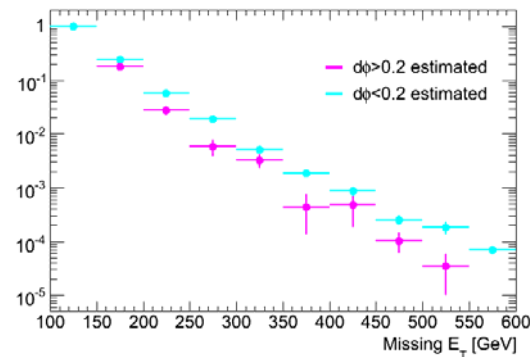


estimated
QCD BG

real BG shape



estimated BG shape

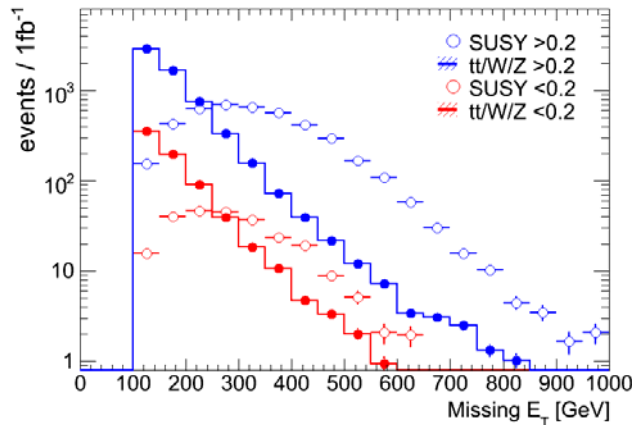


$\Delta\phi$ カットによるバイアス
(missing が大きいと smear されにくい)

	$\Delta\phi < 0.2$	$\Delta\phi > 0.2$
real shape	0.087 \pm 0.006	0.035 \pm 0.007
Estimated shape	0.084 \pm 0.004	0.038 \pm 0.006
ratio	0.97 \pm 0.08	1.09 \pm 0.26

QCD BG shapeの評価2

- jetとmissing ETの相関が小さいtt,W,Z,SUSYは
 $\Delta\phi = 0.2$ 前後でshapeを変えない

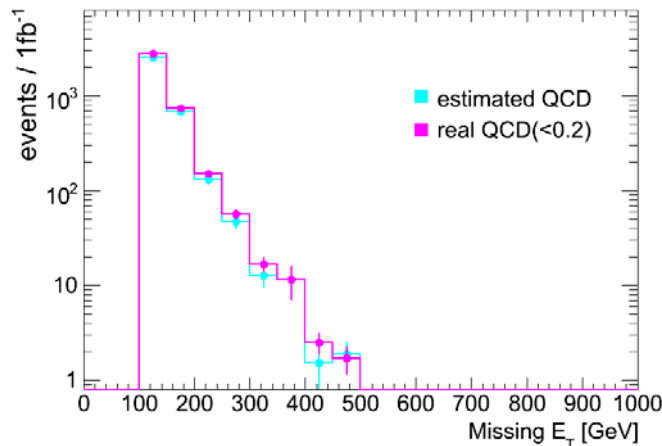


$\Delta\phi < 0.2$ の領域からQCD以外の寄与を
差し引くことができる

$$\frac{N(\text{all}, 0.4-0.6)}{N(0.2\text{以上})} = 0.144$$

← N(non-QCD, 0.2未満)

をかけて差し引く



	MET > 300 GeV	M _{eff} > 800 GeV
real BG	239	326
estimated BG	245	328
ratio	1.03	1.01
stat. error @ 1fb ⁻¹	+0.05	+0.04

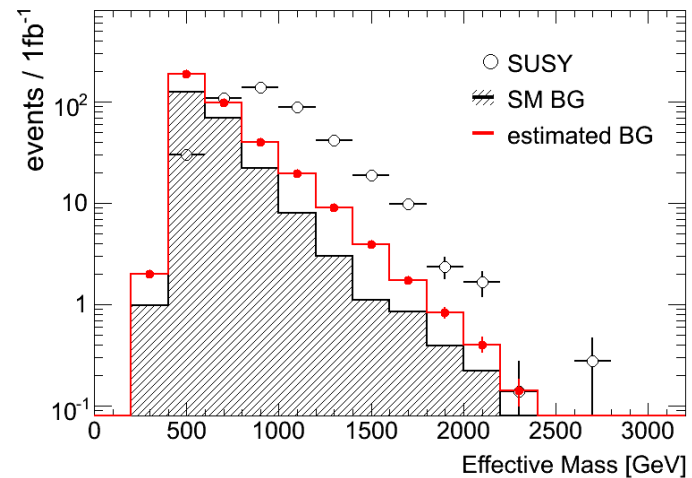
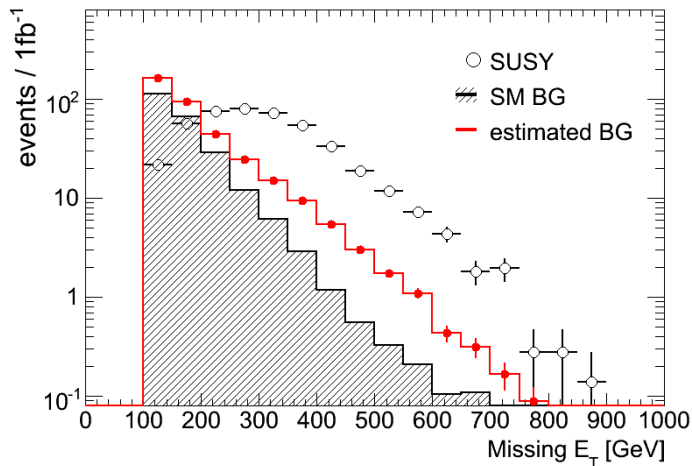
- missing ETの分布を直接みる
 → MCによらず、fakeにもsensitive
- $\Delta\phi$ カットバイアスはMCに拠る

SUSY contamination

ここまで、SUSYのcontaminationを無視してきましたが、

- normalization領域(MET=100-200GeV)への混入
- control dataのshapeを変える

の2点でBGの評価にバイアスかける



	#event @ 1fb ⁻¹	M _{eff} >800GeV
real BG	233	36
estimated BG	364	76
ratio	(0.98→) 1.57	(0.81→) 2.11

- バイアスが大きいときはsignalも大きいので、discoveryには問題ないと考えられる

New method

いくつかのSUSY point (referenceとして)

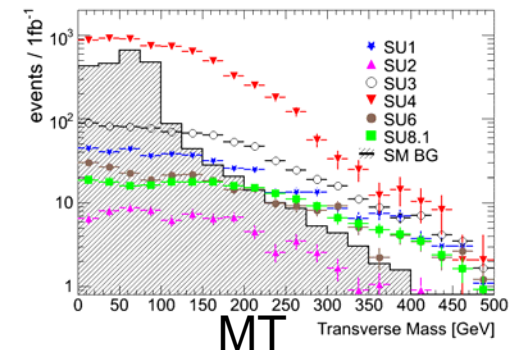
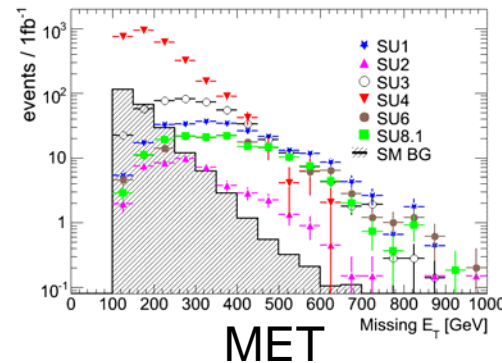
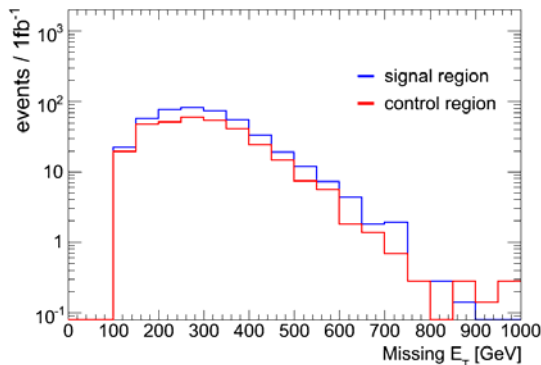
	Msusy	Xsec (pb)	Sig/BG 100-200	Sig/BG 100-150	control / signal
SU1	760GeV	10.9	0.14	0.05	0.49
SU2	860GeV	7.2	0.06	0.02	0.49
SU3	630GeV	27.7	0.47	0.19	0.75
SU4	410GeV	402	9.57	6.63	1.17
SU6	870GeV	6.1	0.09	0.04	0.61
SU8.1	800GeV	8.7	0.08	0.03	0.45

1. normalizationのバイアスを抑える

- normalization領域をなるべく低く contamination 1/2~1/3
- scale factorがMCとfactorで異なるとき → MCの値を使えば十分でしょう。。

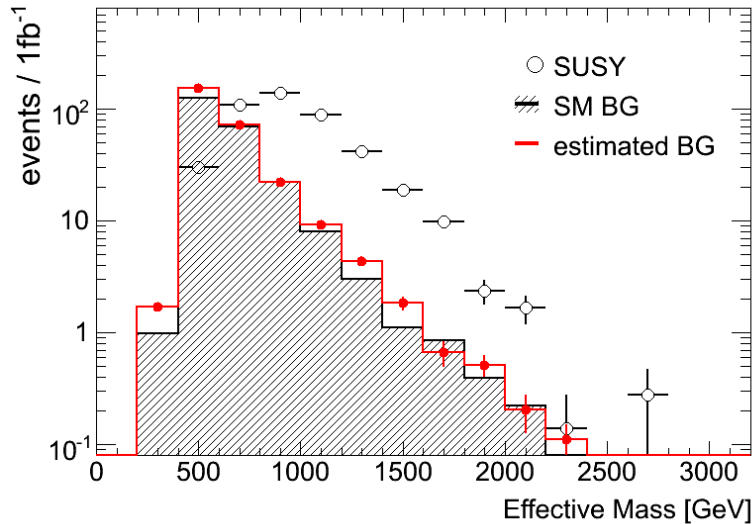
2. control dataのshapeの変化を抑える

- SUSYもMTと相関がない signal regionの分布を引くことで control dataから除く



- scale factorは未知であるが、Msusy 600GeV以上で0.5~0.7と比較的安定

- normalization領域 100GeV-150GeV
- scale factor=0.6でsignal regionの分布をcontrol regionから差し引く
によりリトライ



	nevent	$M_{\text{eff}} > 800 \text{ GeV}$
real BG	233	36
estimated BG	267	39
ratio	(1.57 →) 1.15	(2.11 →) 1.09
ratio (scale=0.5)	+0.03	+0.11
ratio (scale=0.7)	-0.03	-0.11

その他のpoint

$M_{\text{eff}} > 800 \text{ GeV}$

	MT method	New method
No SUSY	0.81	0.76
SU1	1.37	0.84
SU2	0.93	0.78
SU3	2.11	1.09
SU4	10.80	6.19
SU6	1.15	0.80
SU8	1.04	0.71

MCのnormalization factorを使えば 1.44

summary

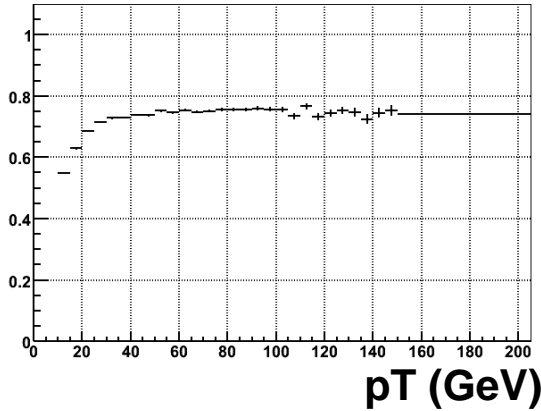
- 実験データによりSUSYのバックグラウンドを評価する
- 我々が提案している手法で、no lepton, one lepton, OS di leptonをカバーする
- Normalizationはデータで直接決めるため、cross sectionの不定性は効かない
- Shapeについては、一部の方法を除いてデータから見積もるため、detector performanceの不定性に対しても安定

backup

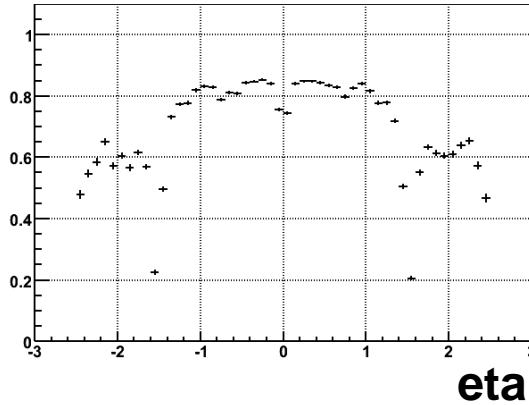
Correction for lepton efficiency

efficiencies are given by $p_T \times \eta$ bins (extracted from T1 sample with SUSY WG standard Lepton ID)

electron



X

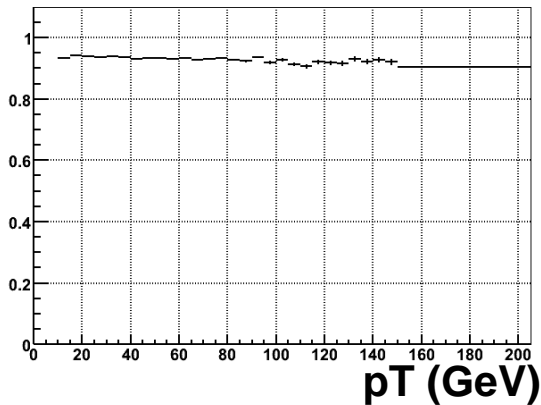


/ 0.734
(global efficiency for $p_T > 20 \text{ GeV}, |\eta| < 2.5$)

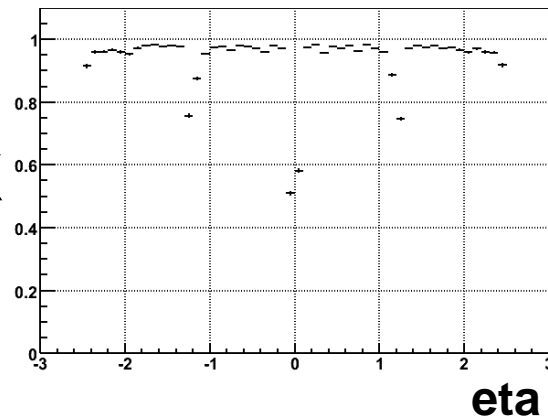
in the case of inefficiency

 jets

muon



X



/ 0.931
(global efficiency for $p_T > 20 \text{ GeV}, |\eta| < 2.5$)

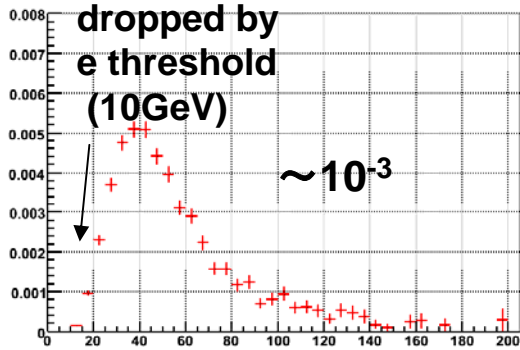
 missing

Correction for lepton fake rate

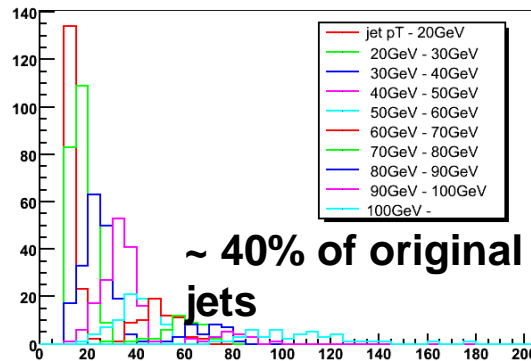
- fake rate expressed as a function of pT of matched jet (the origin)
- fake electrons from **tau jet** and **non-tau jet** are separately treated
- PDFs for energy scale shift are prepared to reproduce pT of fake electron

$$\frac{\text{matched jet (pT)}}{\text{jet spectrum (pT)}}$$

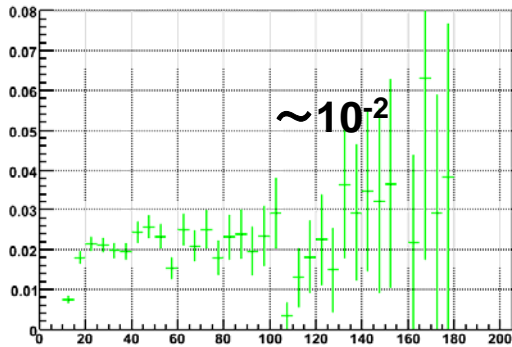
fake electron from non-tau jet



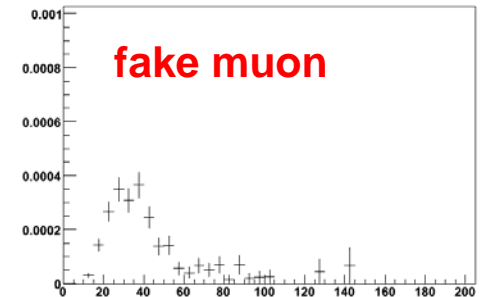
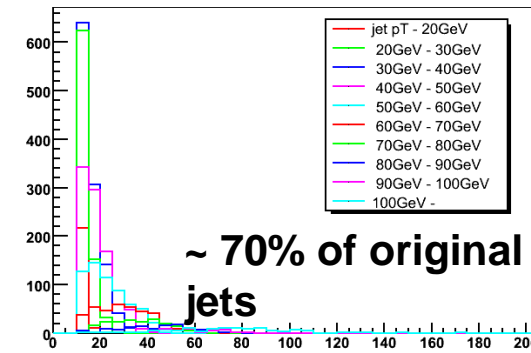
scale shift PDF



fake electron from tau jet



scale shift PDF



... currently neglected
(less than 1/10 of fake electron $\sim 10^{-4}$)