

Atlas検出器を用いた 2jet + missingの研究

日本物理学会 2009年秋季大会@甲南大学

東大理， 東大素粒子センター^A

武市祥史， 浅井祥仁， 片岡洋介^A， 小林富雄^A

Motivation

squarkとgluinoのmass scaleは同じか?
→squarkとgluinoはLHCで同時に見えるか?

(ex.)
mSUGRA $m^2(\tilde{q}) \approx m_0^2 + O(1) \cdot m^2(\tilde{g})$

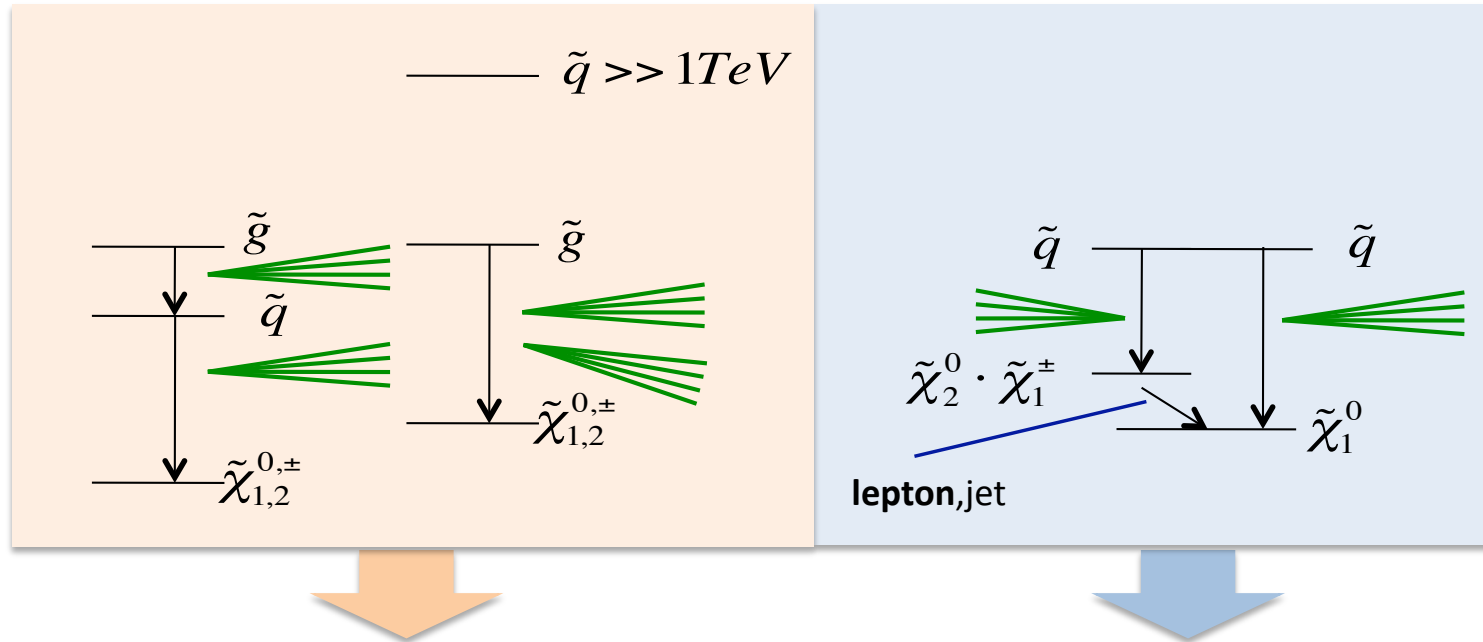
gluino massがTeVスケールでLHCで発見できるとして、

squarkとgluinoがLHCで同時に見える → m_0 が小さい。
LHCではgluinoしか見えない → m_0 が大きい。

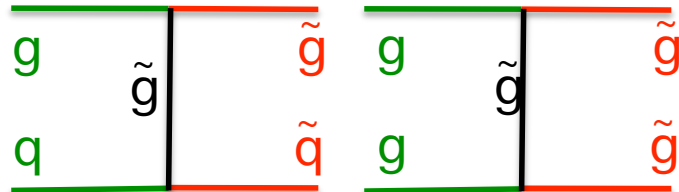
→squarkとgluinoが同時に見えるかどうかで m_0 がどの程度かがわかる。

**squark とgluinoのmassが
同じスケールなのか、違うスケールなのかということは、
“ m_0 ”を決めるために重要であり、
SUSYのモデルを理解する上で重要である。**

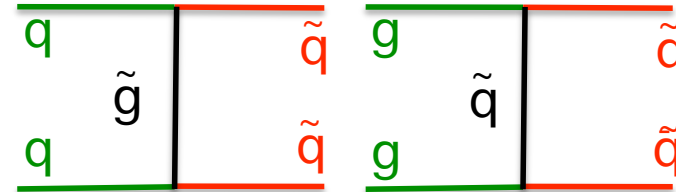
LHCで予想されるSUSYの生成過程は3つ。
 GluinoをTeVスケールと考えると、



Multi jet + missing



2jet + missing



Gluinoが生成される事象ではsquarkの生成の有無に関わらず、multi jet + missingの事象になる。
 一方、squarkのpairが生成される場合、2jet + missingの事象になる。

Multi jet + missing と 2jet + missingの解析の両方にSUSY-likeな信号が見えるか、
 Multi jet + missing だけに見えるのかで、squarkの存在の可能性を吟味することができる。

Sampleについて

$\sqrt{s}=10\text{TeV}$ のsampleを使用。

SignalとしてmSUGRA モデルを使用。Generator:Herwig
($m_0=100\text{GeV}$, $m_{1/2}=300\text{GeV}$, $A_0=-300\text{GeV}$, $\tan\beta=6$, $\mu>0$)

代表的なmass spectrum		Sample xsec	
\tilde{u}_L	631.5GeV	$\tilde{g} \tilde{g}$	0.26pb
\tilde{u}_R	611.8GeV	$\tilde{q} \tilde{g}$	2.09pb
\tilde{g}	717.4GeV	$\tilde{q} \tilde{q}$	2.18pb

BGとして、

W + jet/Z + jet Alpgen

Top pair MC@NLO

QCD Jet Pythia を使用した。

G4ベースのfull simulationでplotを作成。

Selection criteria

Multi jet + missing analysisのSelection criteria

1. $N_{\text{jet}}(P_t > 50 \text{ GeV}/c \ \&\& \ |\eta| < 2.5) \geq 3$
2. 1st jet $P_t > 100 \text{ GeV}/c$
3. $m_{\text{ET}} > 100 \text{ GeV}$
4. $m_{\text{ET}} > 0.2 * M_{\text{eff}}$ ($M_{\text{eff}} = m_{\text{ET}} + \sum \text{jet } P_t (1^{\text{st}} \sim 3^{\text{rd}})$)
5. Transverse Sphericity > 0.2

One lepton mode

No lepton mode

6. $N_{\text{lepton}} = 1 (P_t > 20 \text{ GeV}/c)$
7. Transverse mass $> 100 \text{ GeV}/c^2$

6. $N_{\text{lepton}} = 0 (P_t > 20 \text{ GeV}/c)$
7. $\Delta\Phi(\text{Jet}, m_{\text{ET}}) > 0.2$

lepton($P_t > 20 \text{ GeV}/c$)の数によって2つのanalysisに分ける。

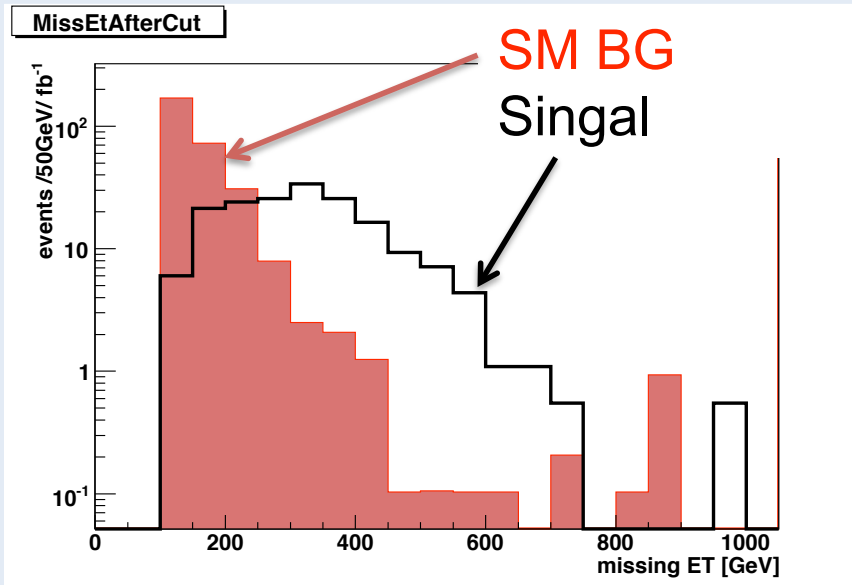
2jet + missing analysisはmulti jet + missing analysisと似た方法

1.の条件 → $N_{\text{jet}}(P_t > 50 \text{ GeV}/c \ \&\& \ |\eta| < 2.5) = 2$

同様に One lepton mode と No lepton mode に分けて解析する。

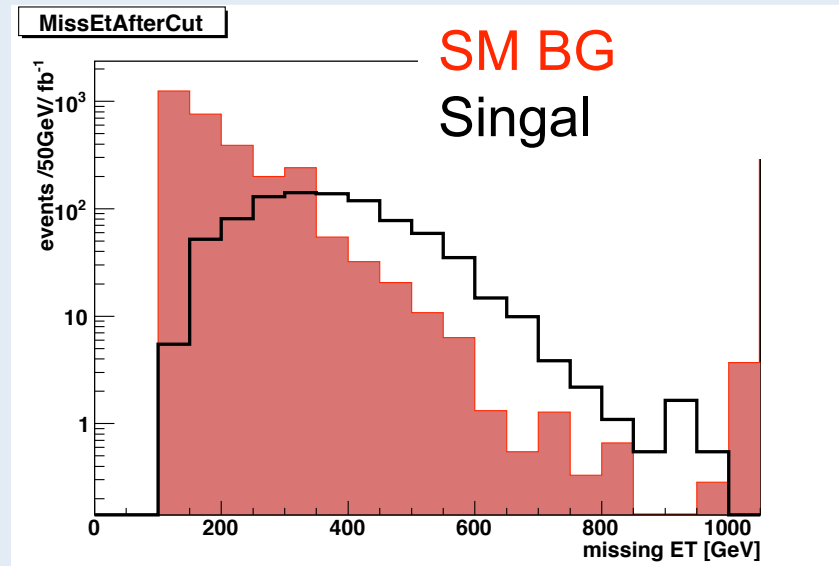
Multi jet + missing analysis

Missing ET分布 (One lepton mode)



Signal = 177 events

Missing ET分布 (No lepton mode)

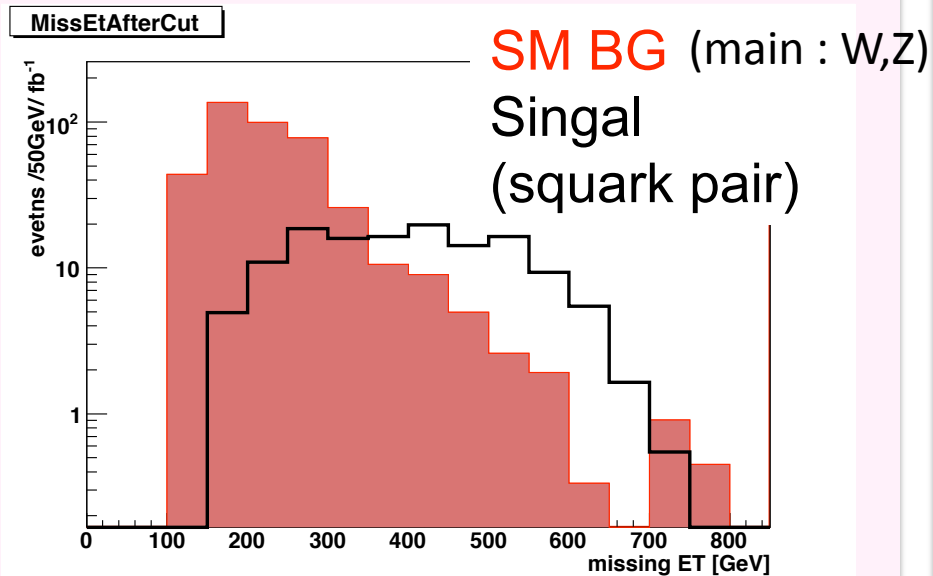


Signal = 873 events

→ Multi jet + missing analysis (one lepton, no lepton) ともに SUSY-like な excess が見える。

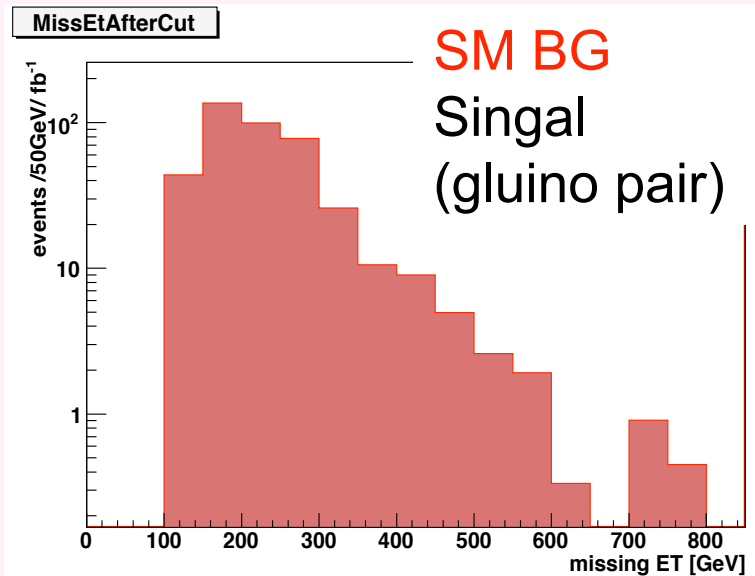
2jet + missing analysis

Squark pair の生成event(No lepton mode)



Signal = 134 events

Glauino pair の生成event



Signal = 0 events

→2jet + missing analysisはsquark に対してsensitive.

(one lepton modeについても同じような結果が得られる。)

→Multi jet + missing analysisでSUSY-likeなexcessが見えた時、
2jet + missing analysisもSUSY-likeなexcessが見えれば、
Squarkがgluinoと同じmass scaleに存在を示唆する。

次にsquark massを重くし、2jet + missing analysisのplotをだしたかったが...

Squarkのxsecを少しずつ変化させることで
6つのsampleを用意し、significanceの変化を見る。

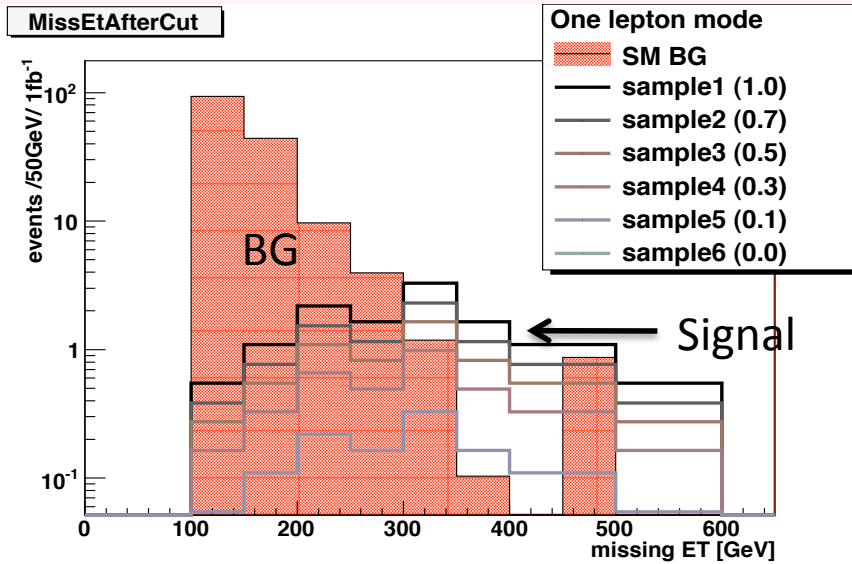
	gluino pair	squark, gluino	squark pair
xsec	0.26pb	2.09pb	2.18pb
Sample 1(factor1.0)	× 1.0	× 1.0	× 1.0
Sample 2(factor0.7)	× 1.0	× 0.7	× 0.7
Sample 3(factor0.5)	× 1.0	× 0.5	× 0.5
Sample 4(factor0.3)	× 1.0	× 0.3	× 0.3
Sample 5(factor0.1)	× 1.0	× 0.1	× 0.1
Sample 6(factor0.0)	× 1.0	× 0.0	× 0.0

sample1(factor1.0)のmass

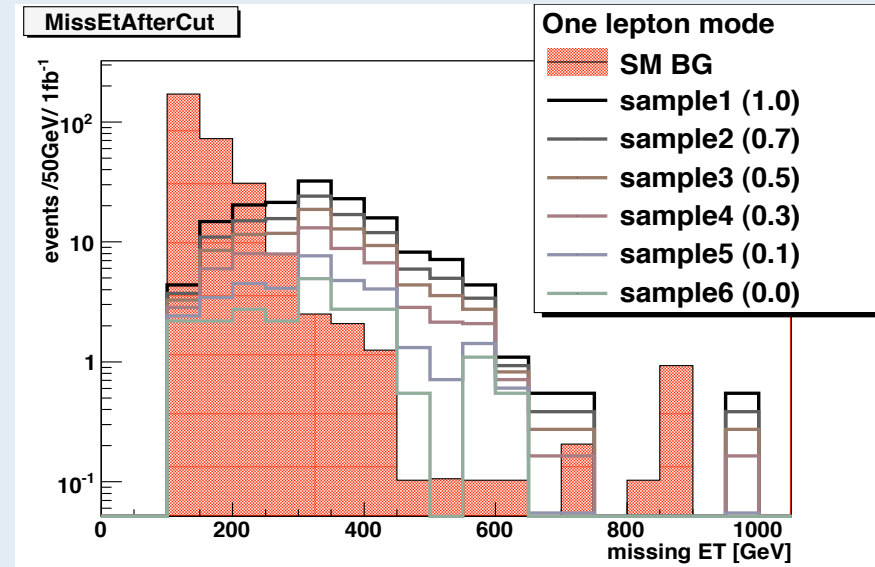
\tilde{u}_L	631.5GeV
\tilde{u}_R	611.8GeV
\tilde{g}	717.4GeV

One lepton mode

2jet one lepton mode



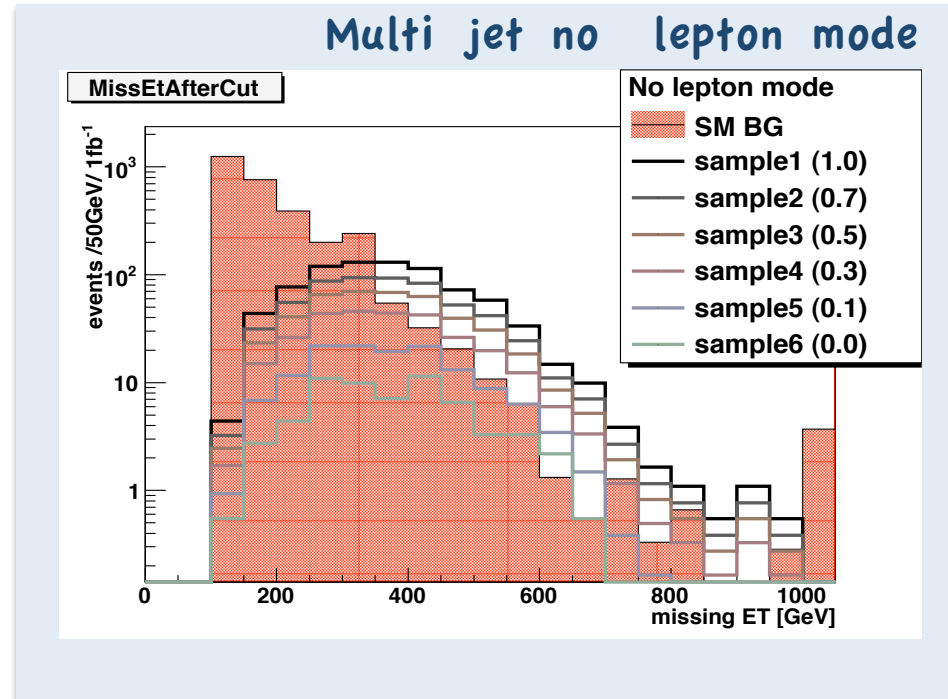
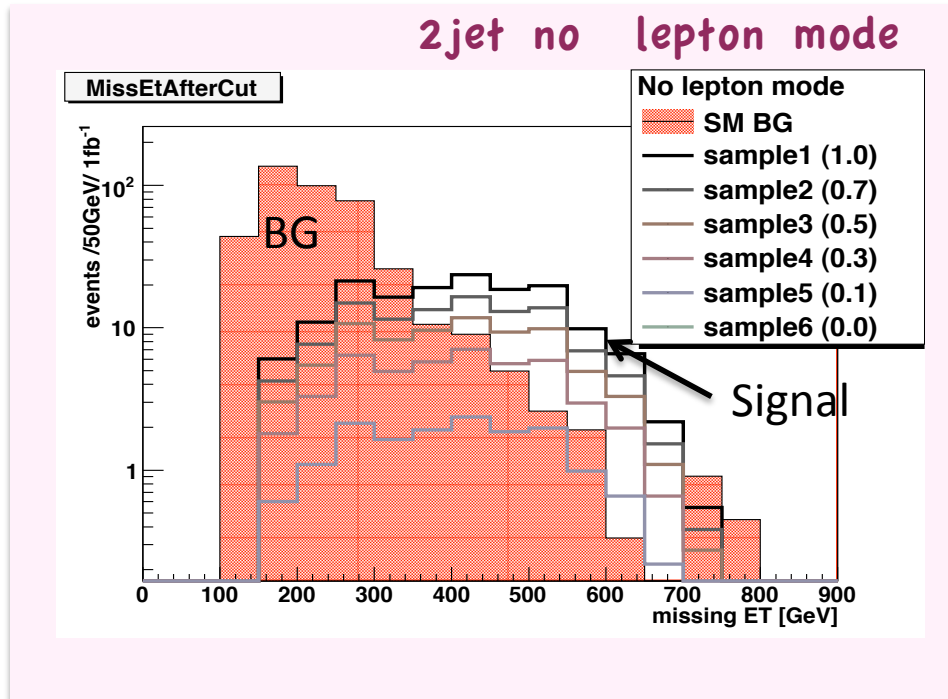
Multi jet one lepton mode



	S/vB	#excess(>300)		S/vB	#excess(>250)
Sample1(×1.0)	5.6	6.1	Sample1(×1.0)	22.6	101.1
Sample2(×0.7)	3.9	3.7	Sample2(×0.7)	16.8	70.9
Sample3(×0.5)	2.8	2.3	Sample3(×0.5)	12.8	50.8
Sample4(×0.3)	1.7	1.1	Sample4(×0.3)	8.9	30.7
Sample5(×0.1)	0.6	0.3	Sample5(×0.1)	5.0	14.5
Sample6(×0.0)	0	0	Sample6(×0.0)	3.1	6.5

squarkのxsecがoriginalの30%以下だった場合、
one lepton mdeでは95%CLでsquarkの確認をすることができない。

No lepton mode



	S/vB	#excess		S/vB	#excess
Sample1(×1.0)	16.5	70.3	Sample1(×1.0)	33.2	313.1
Sample2(×0.7)	11.6	40.4	Sample2(×0.7)	24.1	190.9
Sample3(×0.5)	8.3	21.4	Sample3(×0.5)	18.1	109.5
Sample4(×0.3)	5.0	7.3	Sample4(×0.3)	12.0	39.0
Sample5(×0.1)	1.7	0.5	Sample5(×0.1)	6.0	3.3
Sample6(×0.0)	0	0	Sample6(×0.0)	2.9	1.0

No lepton modeではsquarkのxsecが10%までsquarkの存在を示唆できる。

Conclusion-1

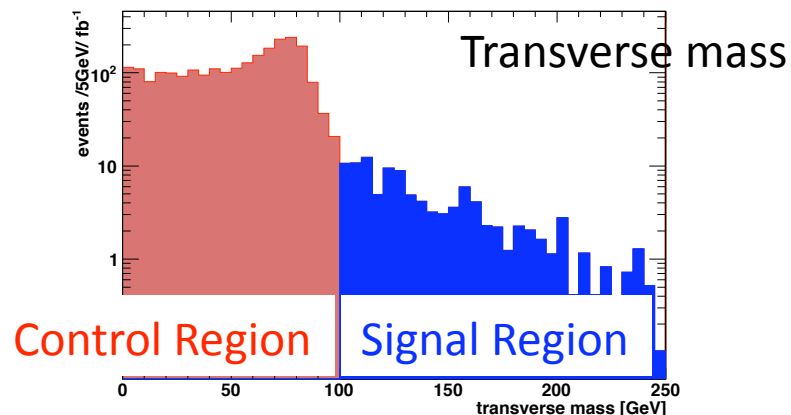
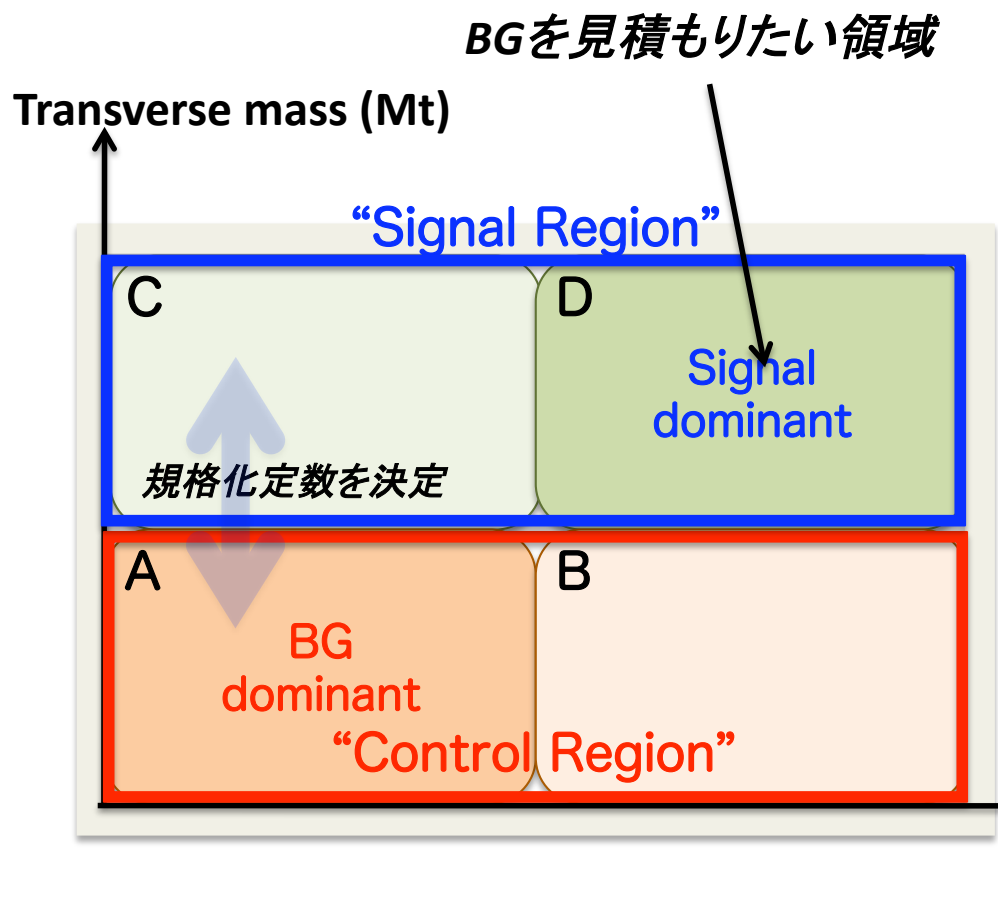
- * Multi jet analysisでSUSY-likeなexcessがある場合、
2jet + missing (+lepton)でのexcessがあるかないかで
squark pairの有無を探ることができる。
squarkを探ることで m_0 のスケールを探ることができ、SUSY Studyの第一歩となる。

- * 2jet + missing analysisは“squark”を探るカギであり、
xsecの0.1倍まで探ることができる。

Data-driven Background estimation

Mt 法

SUSY search のkeyであるmETと無相関な Transverse mass(Mt)を用いて Signal dominantな領域のBGを評価する。



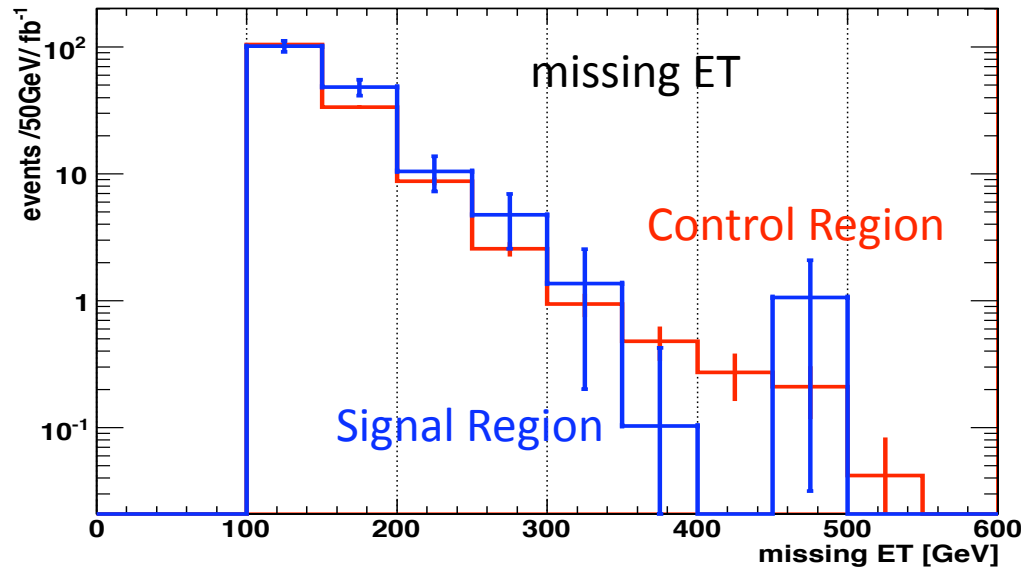
左図において、Signal RegionとControl RegionのmET分布は相似形である。これを利用しBの領域からDのBGを見積もる。なお規格化にはAとCの領域を使用する。

つまり、 $D=(C/A)*B$ になるかを示す。

AおよびCはSignalの影響をなるべく受けないうmET<150GeVの領域を使用。逆にDの領域はSignalの影響を受けらうmET>300GeVの領域を使用した。

2jet one lepton modeに対して

Control RegionからSignal RegionのBGを評価する。



Signal Regionがhard。
なぜ、うまくいかないか？

One lepton mode の要素	
Signal Region	
$tt \rightarrow bbl \nu l \nu (qq)$: 16%
W	: 83%
Control Region	
$tt \rightarrow bbl \nu l \nu (qq)$: 2%
W	: 98%
Z, QCD	: 0%

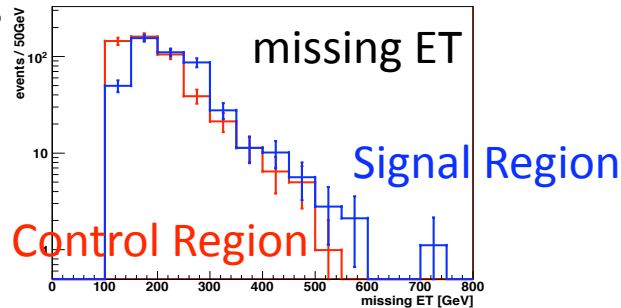
W($\rightarrow l \nu$)がほとんど選ばれている。

→ off-shell W
(massが大きい→missing ETも大きくなり
Control RegionのWでは合わない)

→ on-shell W

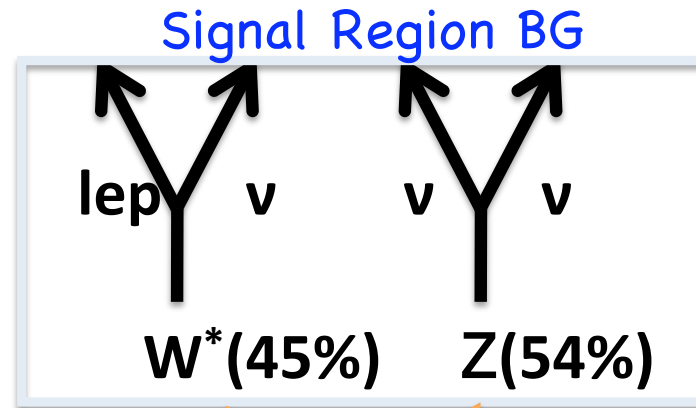
Massが違うので単純なMt法はうまくいかない。(これについては調べている。)¹⁴

2jet no lepton modeに対しても
 One lepton modeと同様にControl RegionからSignal RegionのBGを
 評価する。



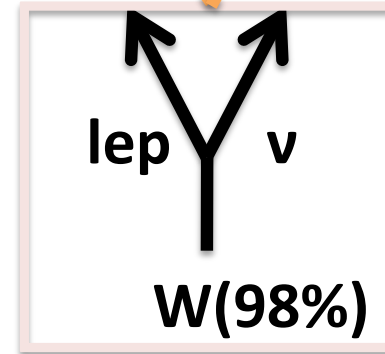
No lepton mode の要素

Signal Region	
$tt \rightarrow bbl \nu \nu$ (qq)	: 1%
W	: 45%
Z	: 54%
Control Region	
$tt \rightarrow bbl \nu \nu$ (qq)	: 2%
W	: 98%
Z, QCD	: 0%



One leptonと
 同じ理由で
 うまいかない

ν の数が違うため
 うまいかない



Control Region BG

Control Regionのmissingに補正を加えないといけない。

例えば、Signal RegionのBGが全てZであればW \rightarrow lvのlを全て ν に書き換えればmissing ETが揃う。
 Off-shellの問題が無ければ、ZとWは同数なため、W \rightarrow lvのlを半分 ν に書き換えれば揃う。
 よってleptonの半分から全部をニュートリノに書き換えればよい。

1. $N_{jet}(Pt > 50 \text{ GeV}/c \ \&\& \ |\eta| < 2.5) = 2$
2. 1st jet $Pt > 200 \text{ GeV}/c$

Control Region

3. $N_{lepton} = 1$
- New MissEX = MissEX + lepton PX * α**
- New MissEY = MissEY + lepton PY * α**
- とし、新たにmETを計算する。
4. New mET > 100GeV
5. New mET > 0.2 * Meff
6. Transverse Sphericity > 0.2
7. Transverse mass < 100

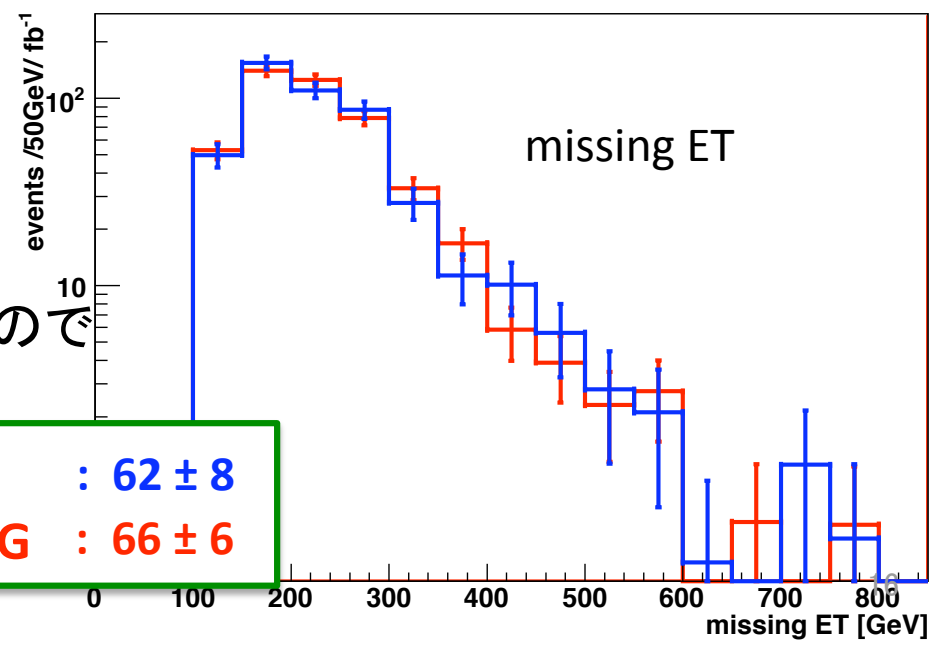
Signal Region

3. mET > 100GeV
4. mET > 0.2 * Meff
5. Transverse Sphericity > 0.2
6. $N_{lepton} = 0$
7. $\Delta\Phi(\text{Jet}, \text{mET}) > 0.2$

α について、
Truth情報でmissingの値を見てみると、
 $\alpha=0.85$

この値についてはMCの情報を使っているので
まだ吟味しなくてはならない。

Signal Region BG : 62 ± 8
Control Region BG : 66 ± 6



Conclusion-2

*2jet + missing analysisでMt 法が単純にはBGの評価として使えない。

→One lepton modeに関しては、off-shellのWの問題でうまくいかない。(調査中)

→No lepton modeに関しては、Control Region BGはWがメインだが、
Signal Region BG はWとZで構成されている。

そのため、単純なMt法では使えず、

Control Region BGの一部を補正する必要がある。

その方法として、 $W \rightarrow l\nu$ のleptonの運動量の一部をmissing energyにすることを考えた。

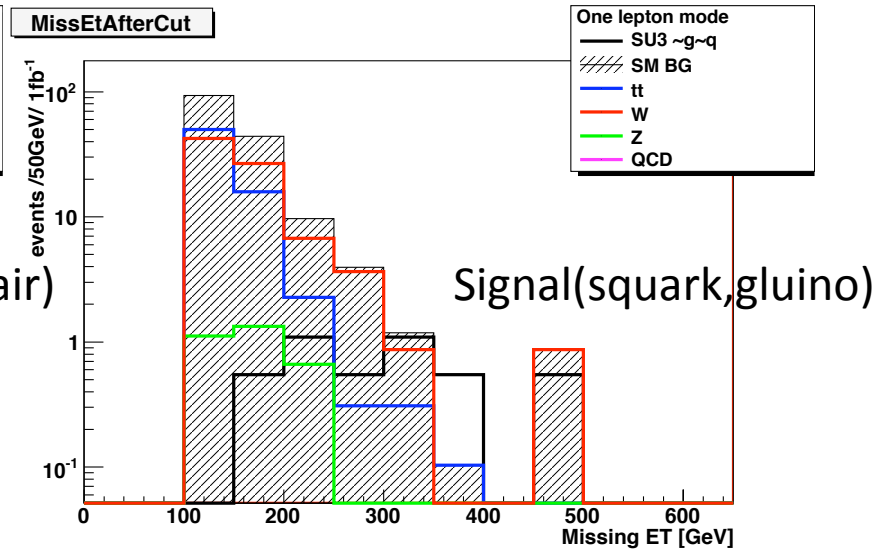
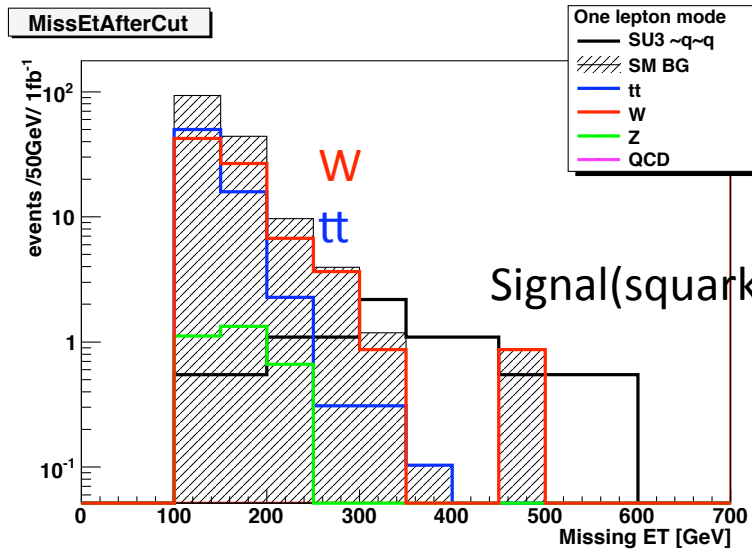
Best parameterを見つけることができたが、これについてはまだ吟味が必要。

Back up

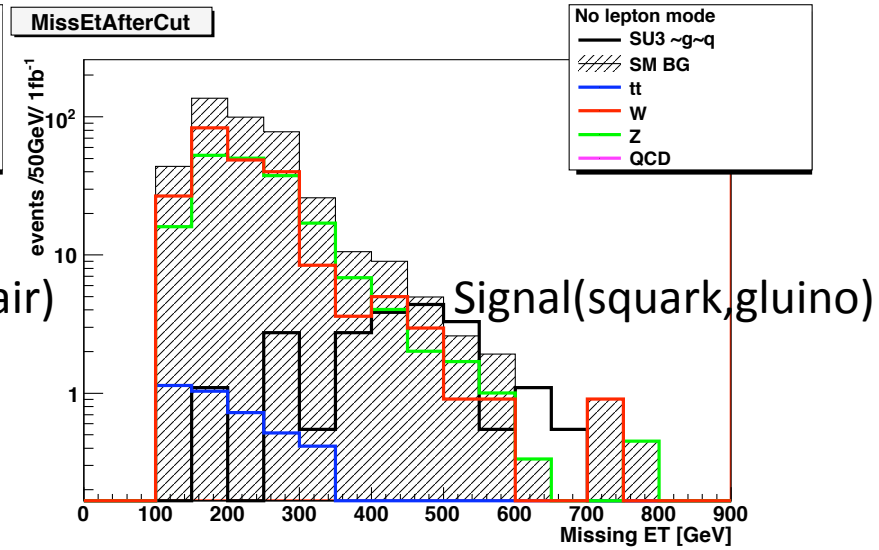
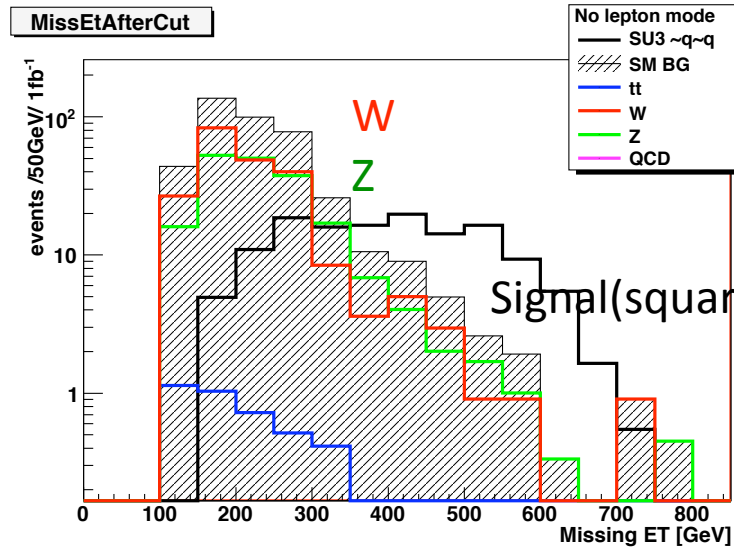
SUSY mass

Particle	SU1	SU2	SU3	SU4
\tilde{d}_L	764.90	3564.13	636.27	419.84
\tilde{u}_L	760.42	3563.24	631.51	412.25
\tilde{b}_1	697.90	2924.80	575.23	358.49
\tilde{t}_1	572.96	2131.11	424.12	206.04
\tilde{d}_R	733.53	3576.13	610.69	406.22
\tilde{u}_R	735.41	3574.18	611.81	404.92
\tilde{b}_2	722.87	3500.55	610.73	399.18
\tilde{t}_2	749.46	2935.36	650.50	445.00
\tilde{e}_L	255.13	3547.50	230.45	231.94
$\tilde{\nu}_e$	238.31	3546.32	216.96	217.92
$\tilde{\tau}_1$	146.50	3519.62	149.99	200.50
$\tilde{\nu}_\tau$	237.56	3532.27	216.29	215.53
\tilde{e}_R	154.06	3547.46	155.45	212.88
$\tilde{\tau}_2$	256.98	3533.69	232.17	236.04
\tilde{g}	832.33	856.59	717.46	413.37
$\tilde{\chi}_1^0$	136.98	103.35	117.91	59.84
$\tilde{\chi}_2^0$	263.64	160.37	218.60	113.48
$\tilde{\chi}_3^0$	466.44	179.76	463.99	308.94
$\tilde{\chi}_4^0$	483.30	294.90	480.59	327.76
$\tilde{\chi}_1^+$	262.06	149.42	218.33	113.22
$\tilde{\chi}_2^+$	483.62	286.81	480.16	326.59
h^0	115.81	119.01	114.83	113.98
H^0	515.99	3529.74	512.86	370.47
A^0	512.39	3506.62	511.53	368.18
H^+	521.90	3530.61	518.15	378.90
t	175.00	175.00	175.00	175.00

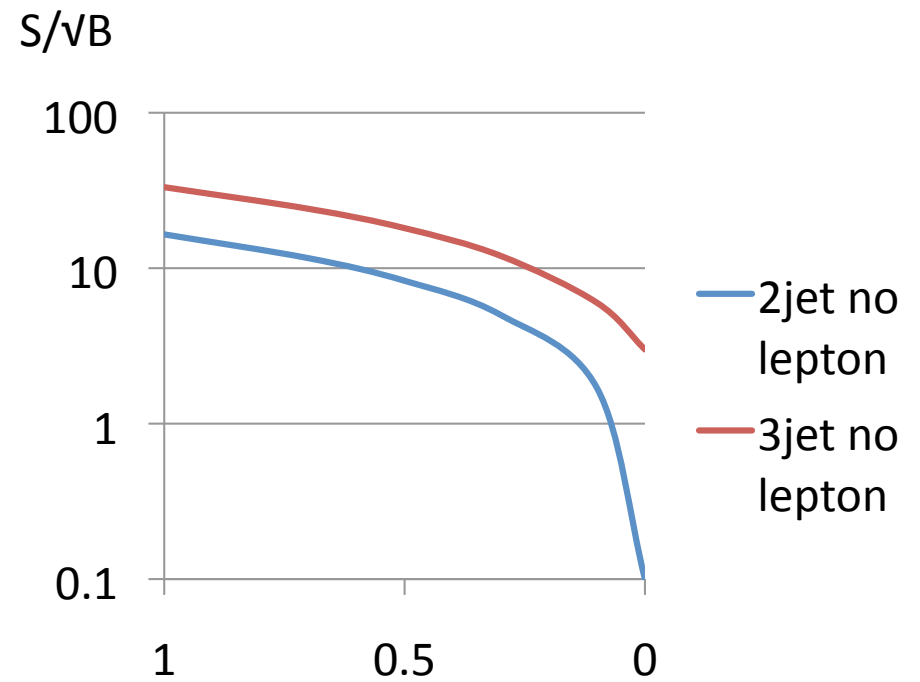
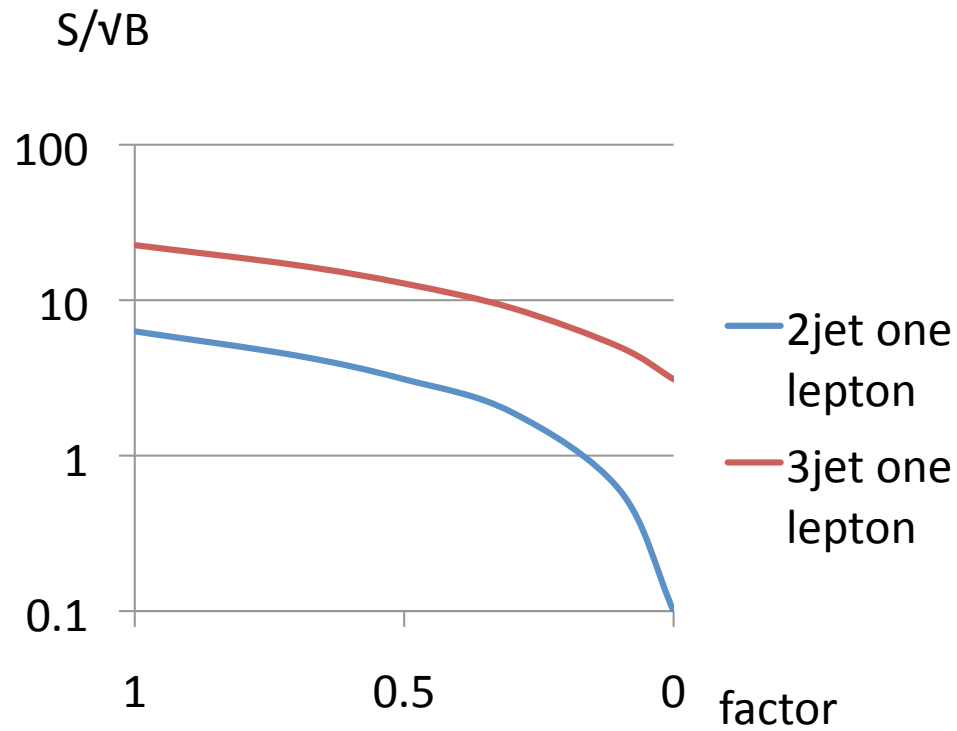
2jet one lepton mode



2jet no lepton mode



2jet + missing analysis と 3jet + missing analysisでのsignificanceの違い



Sample1(factor1)	#excess	3jet/2jet
2jet one lepton	8.0	12.3
3jet one lepton	98.5	
2jet no lepton	63.8	4.4
3jet no lepton	282.3	

Sample2(factor0.7)	#excess	3jet/2jet
2jet one lepton	5.2	12.8
3jet one lepton	66.7	
2jet no lepton	39.1	3.9
3jet no lepton	154.2	

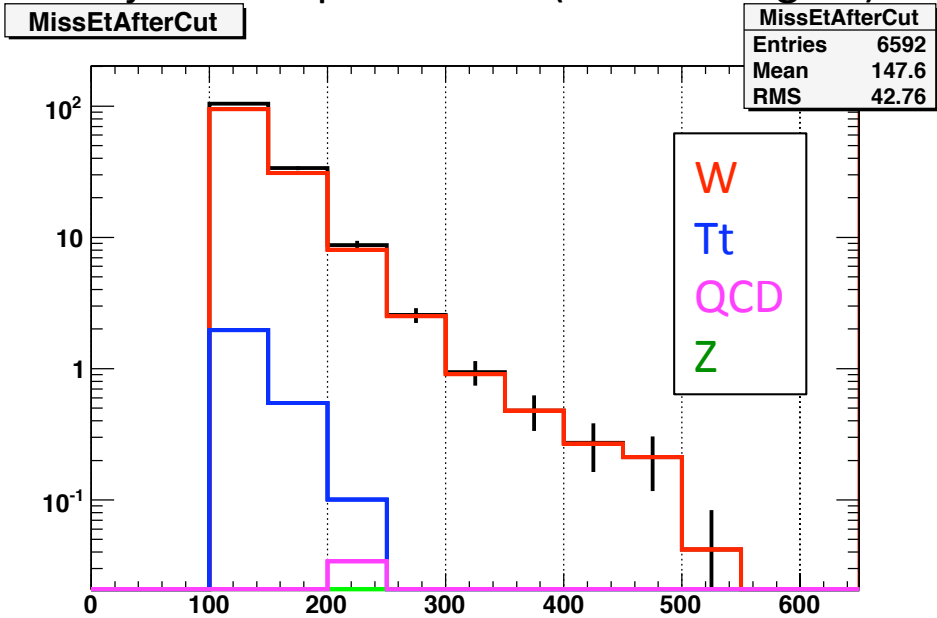
Sample3(factor0.5)	#excess	3jet/2jet
2jet one lepton	3.3	14.4
3jet one lepton	47.6	
2jet no lepton	23.2	3.5
3jet no lepton	82.0	

Sample4(factor0.3)	#excess	3jet/2jet
2jet one lepton	1.6	18
3jet one lepton	28.8	
2jet no lepton	14.0	2.2
3jet no lepton	31.2	

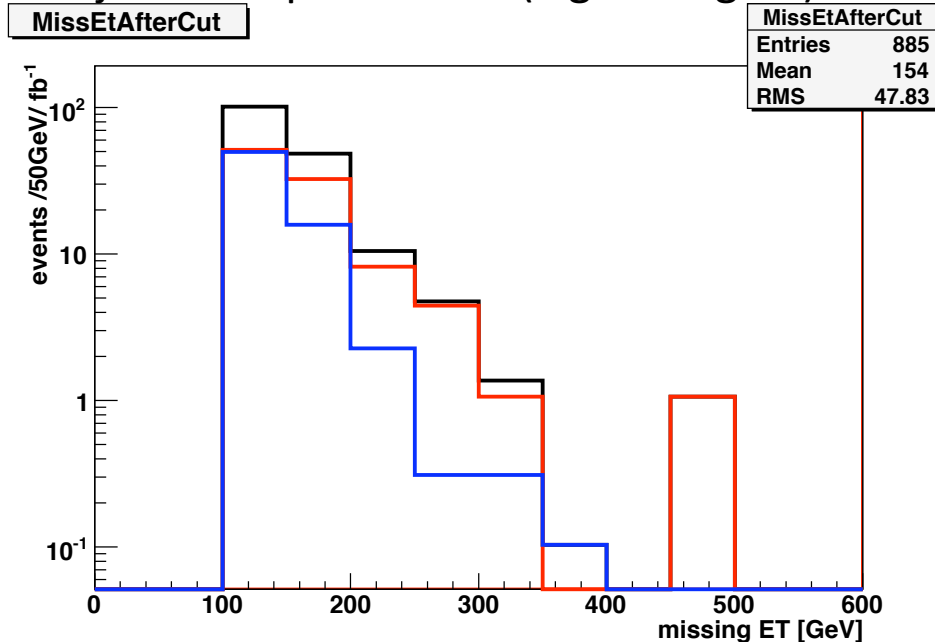
Sample5(factor0.1)	#excess	3jet/2jet
2jet one lepton	0.5	21.4
3jet one lepton	10.7	
2jet no lepton	1.3	3.9
3jet no lepton	5.1	

Sample6(factor0)	#excess	3jet/2jet
2jet one lepton	0	
3jet one lepton	4.1	
2jet no lepton	0	
3jet no lepton	0	

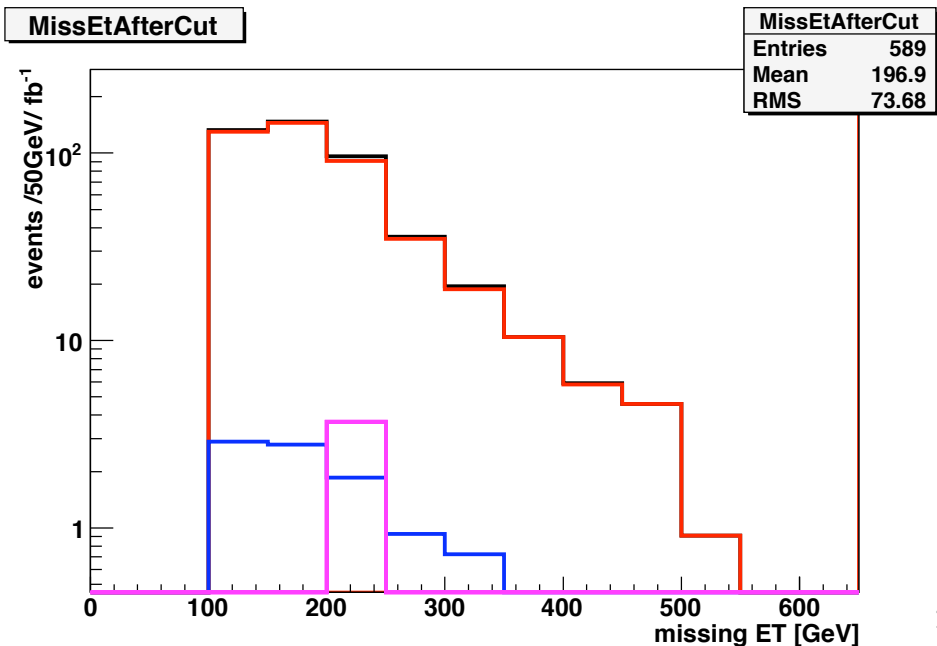
2jet one lepton mode (Control Region)



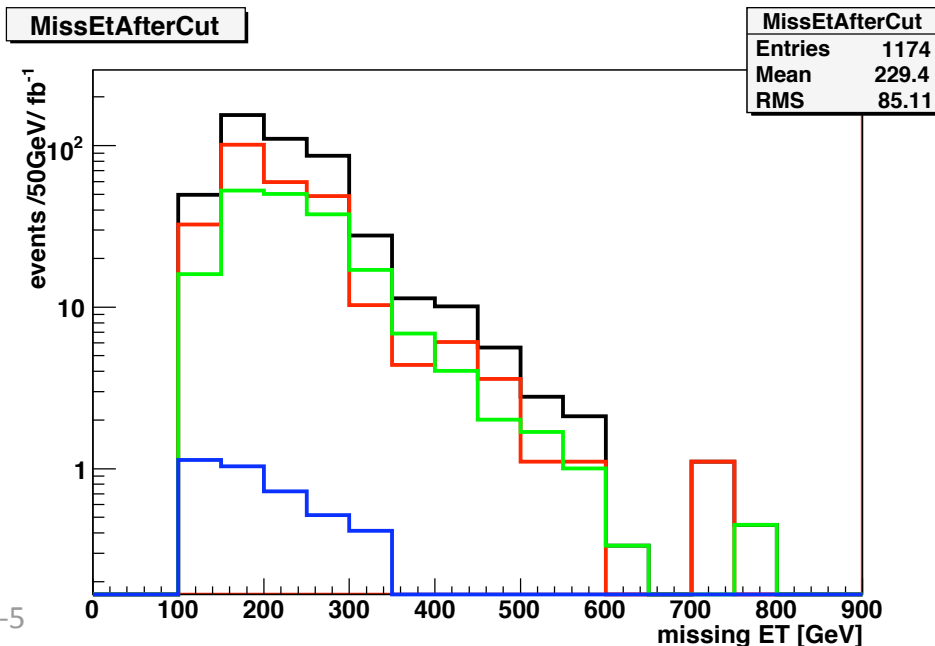
2jet one lepton mode (Signal Region)



2jet no lepton mode (Control Region)

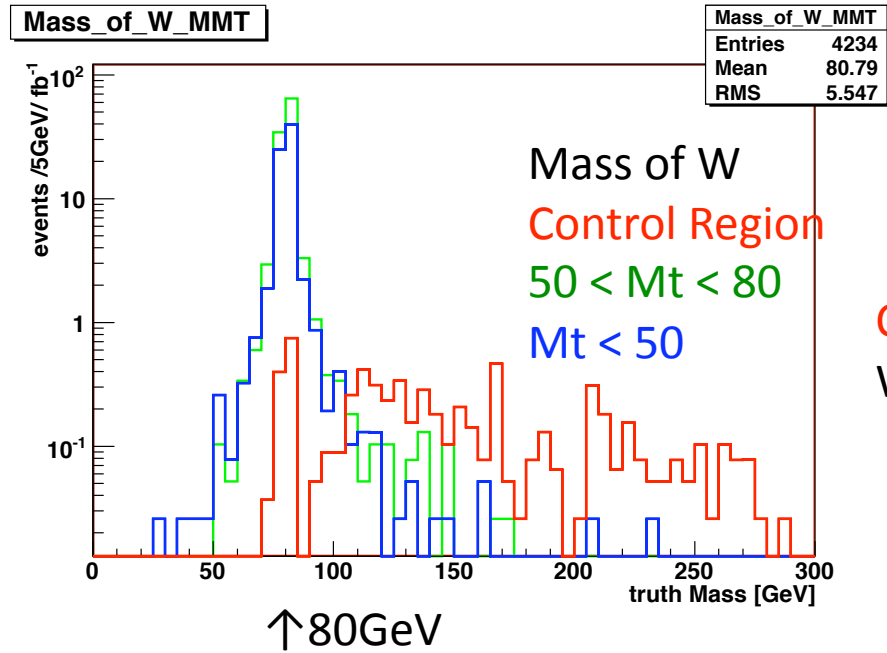


2jet no lepton mode (Signal Region)



Mt 法がうまくいかない理由1

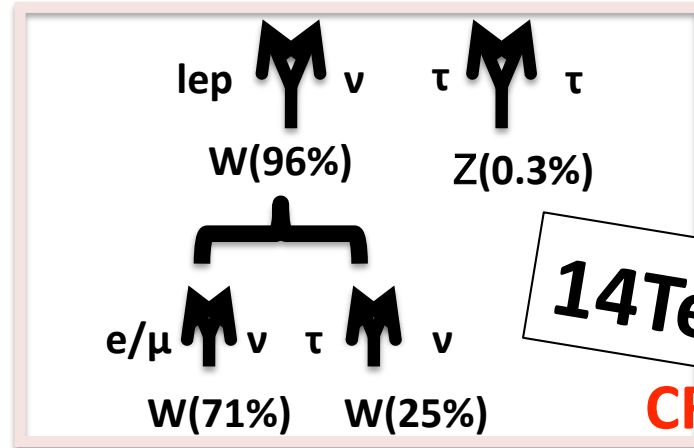
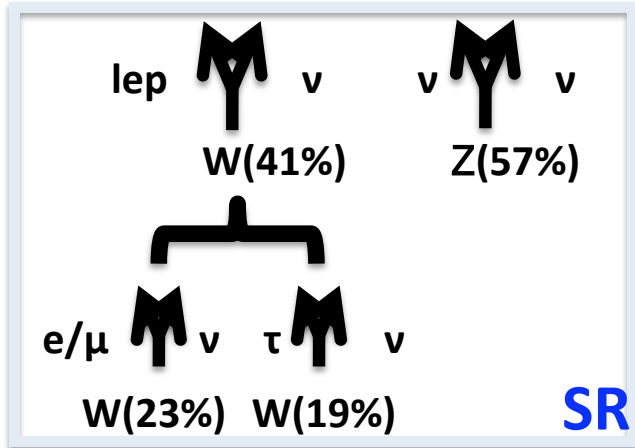
Truth情報でのWのMassを確認してみた。



14TeVでの解析結果

Control Region (Mt > 100)の
Wのmassがうまく組めていないことがわかる。

2jet no lepton mode CRを補正する ν を数えることによって補正しようと考えた



14TeVでの解析結果

ν を数える(τ はその半分を ν とする)

SR	割合	Weight
W->e/ μ + ν	23	1
W-> τ + ν	19	3/2
Z-> ν + ν	57	2
	23×1+19×2/3+57×2= 165.5	

CR	割合	Weight
W->e/ μ + ν	71	1
W-> τ + ν	25	3/2
Z-> τ + τ	0.3	1
	71×1+25×2/3+0.3×1=108.8	

CR:Wの一部(x)をZにしSRにする

$$71(1-x) \times 1 + 25(1-x) \times \frac{3}{2} + (71x \times 1 + 25x \times \frac{2}{3}) \times 2 + 0.3 = 165.5$$



$\rightarrow x = 0.84837\dots$

Wのlepton運動量の85%をmissingにした。

