

ATLAS実験におけるタウを用いた 超対称性粒子探索

富島佑允

田中純一、片岡洋介、浅井祥二、小林富雄

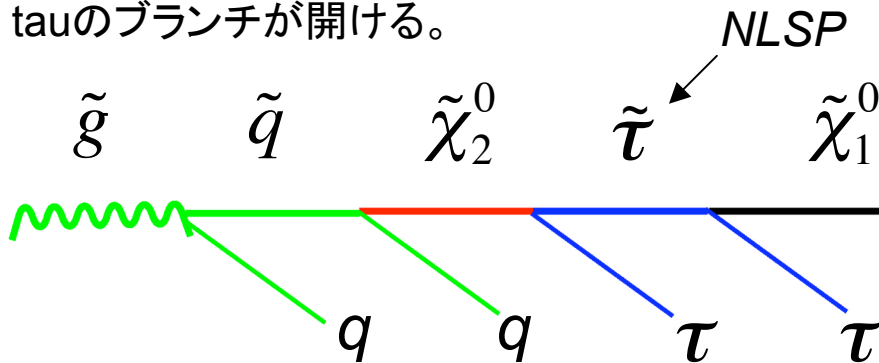
東京大学素粒子物理国際研究センター

Why tau?

SUSYのモデルやパラメーターによっては、tauが多く生成される。
 →tauを含むイベントの解析により、モデルやパラメーターの絞り込みが可能。

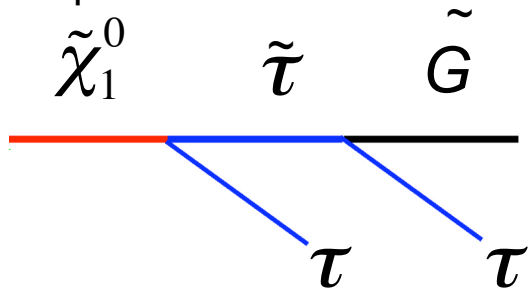
mSUGRA

m_0 が小さく、 $\tan\beta$ が大きい時
 stauが軽くなって $m(\tilde{\tau}) < m(\tilde{1})$ となり、
 tauのブランチが開ける。



GMSB

$\tan\beta$ が大きいとき、stauが軽くなる。



SU1 (coannihilation point)

$\tan\beta=10, m_{1/2}=350\text{GeV}, m_0=70\text{GeV}$

$m(\tilde{g}) \sim m(\tilde{q}) \sim 800\text{GeV}$

	Br
$\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow \tilde{\tau}\tau$	24%
$(\tilde{1}\tilde{1})$	8%
$\tilde{\chi}_1^\pm \rightarrow \tilde{\tau}\tilde{\chi}_1^0$	21%

$\tan\beta=45$ GMSB

$\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \tilde{\tau}\tau$	60%
---	-----

Event topology :
 taus + MissingET(消失横運動量) + Jets

Tau ID

Tau decay mode (主なもののみ)

leptonic $\tau^- \rightarrow l^- \nu_\tau$

Br

34.8 %

1prong

$\pi^- \nu_\tau + N\pi^0$ (N=0,1,2)

45.9 %

←1本のトラック

3prong

$\pi^- \pi^+ \pi^- \nu_\tau + N\pi^0$ (N=0,1)

13.9 %

←3本のトラック

tau jetの特徴

1. 1本または3本のトラック (QCD jetはより多くのトラックを持つ)
2. Jetが細い (QCD jetは真空から $q\bar{q}$ を拾って広がる)

Tau候補を選ぶ手順

1.トラックの本数

$$\Delta R = (\Delta\eta^2 + \Delta\phi^2)^{1/2}$$

Pt>10GeVで、 $\Delta R < 0.4$ にPt>2GeVの他のトラックが2本以下のトラックを見つける

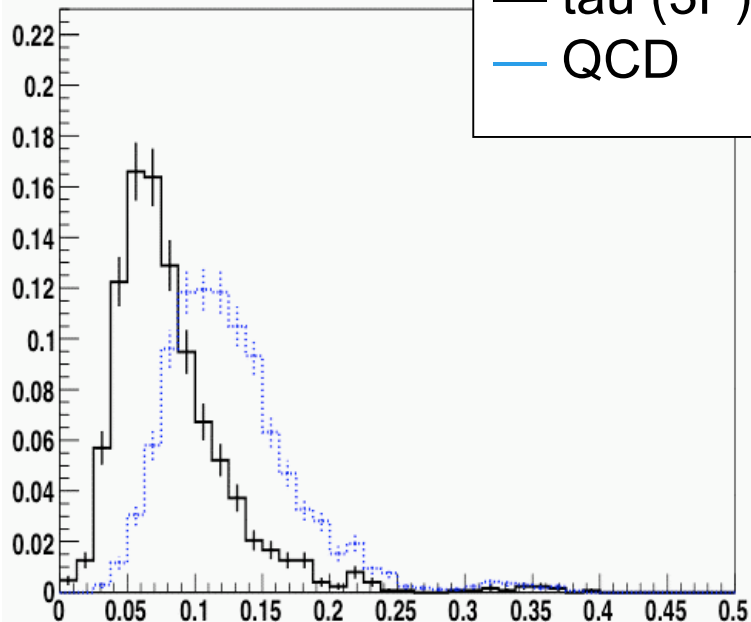
$\Delta R < 0.2$ にPt>2GeVのトラックが2本

3prongの候補

$\Delta R < 0.2$ にPt>2GeVのトラックがない

1prongの候補

2.jetの細さ



— tau (3P)
— QCD

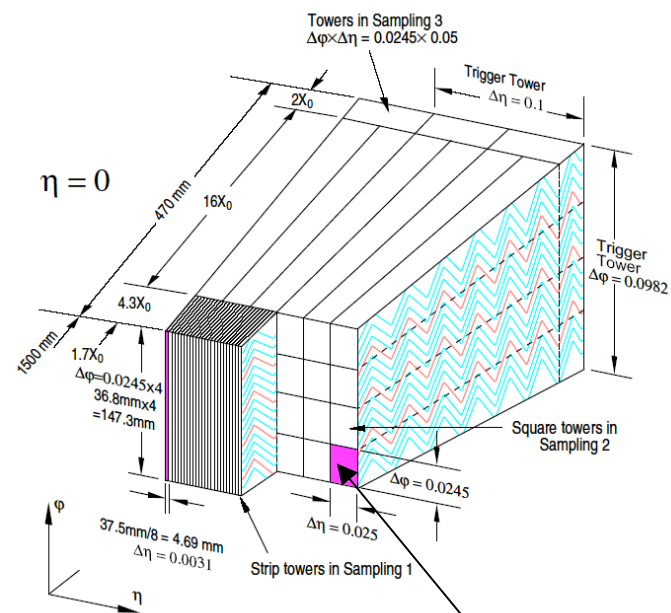
R_{em}

Jetの広がり: R_{em}

$$R_{em} = \frac{\sum_{i=1}^n E_{T_i} \sqrt{(\eta_i - \eta_{seed})^2 + (\phi_i - \phi_{seed})^2}}{\sum_{i=1}^n E_{T_i}}$$

一番エネルギーの落ちている cell(seed cell)と周囲($\Delta R < 0.2$)の各cellとの角度 ΔR を、各cellに落ちた横エネルギーの重みを付けて足す。

ATLASのEM Calorimeter

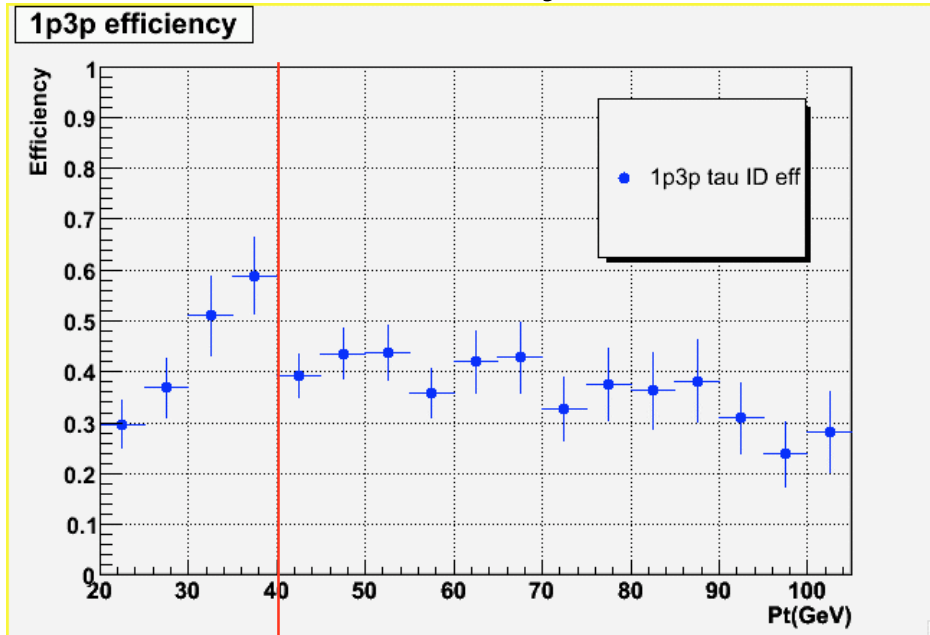


cell ($\delta\eta \times \delta\phi = 0.025 \times 0.025$)

これら以外にも、トラックやクラスターの invariant massがtauのmass以下になるよう要求するなど、複数のカットをかける。

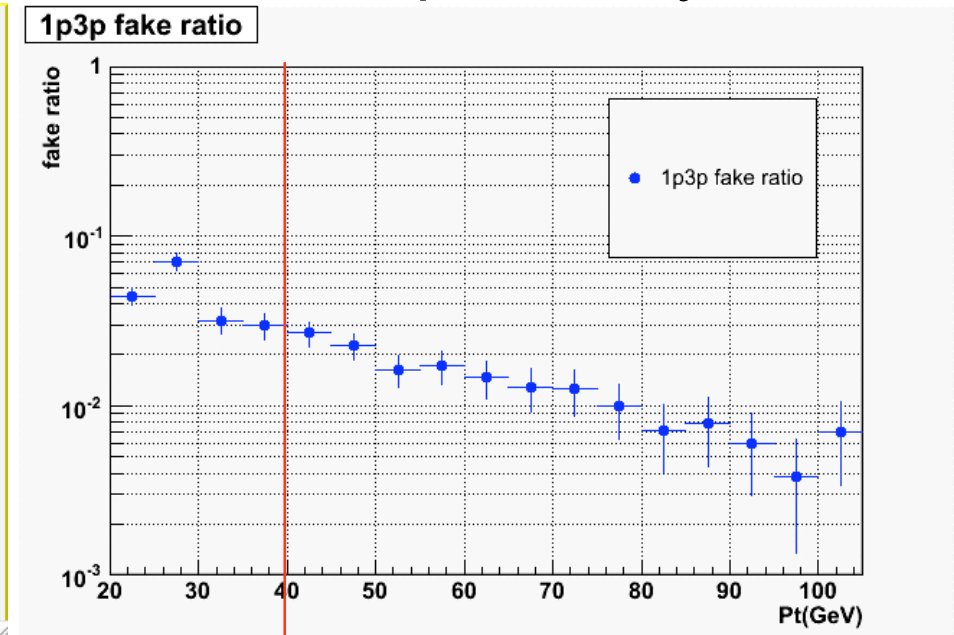
ATLAS実験における、タウのパフォーマンス (Full Simulation)

Efficiency



Pt=40GeV

Fake probability



Pt=40GeV

Low Ptなほどfake tau
が増えるので、softなtau
は使わない。

TauのPt>40GeVを要求した場合、

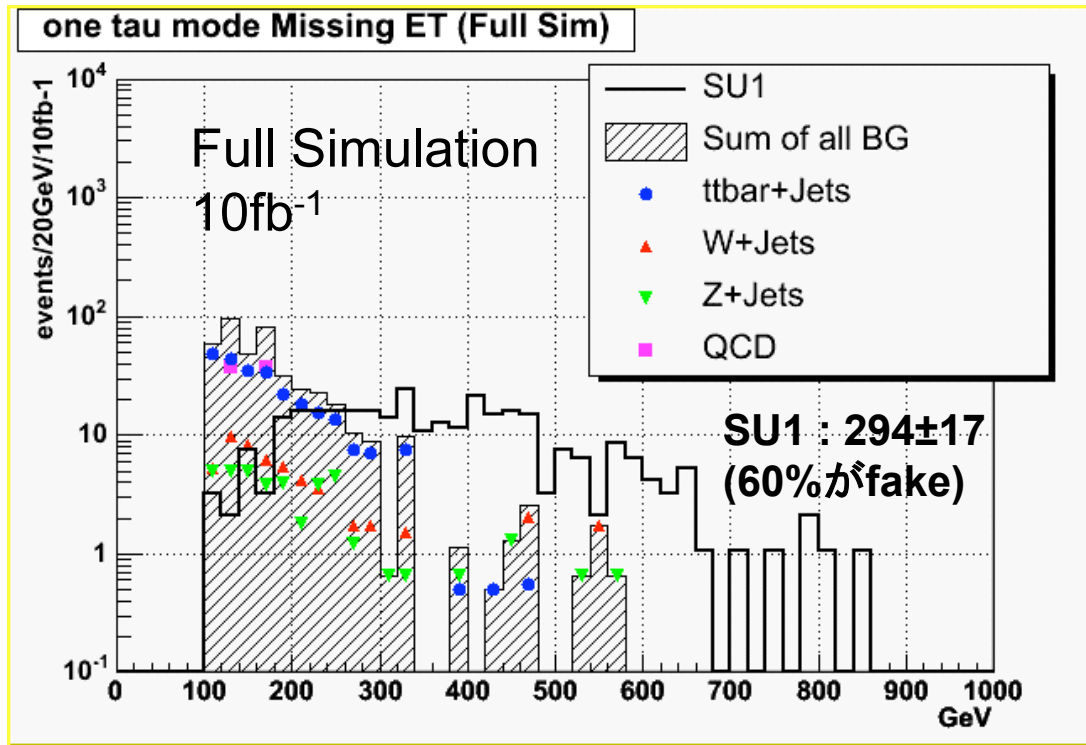
- 約40%のタウを正しく捕まえる事が出来る。
- Jetの約2%程度をタウと間違える。

※ tauとしてreconstructされるのは、tauのdecay productのhadronic成分のみ。

One tau mode の信号

One tau modeのカット

= 1tau($P_t > 40\text{GeV}$) + high Pt jets + large MissingET + $M_T > 100\text{GeV}$



Missing ET (GeV)

10fb⁻¹でSUSYのexcessが見える。

問題点: fakeが多い

SUSYは60%がfake

FakeのSUSY信号では、observed tauとSUSY事象が実質的に無関係

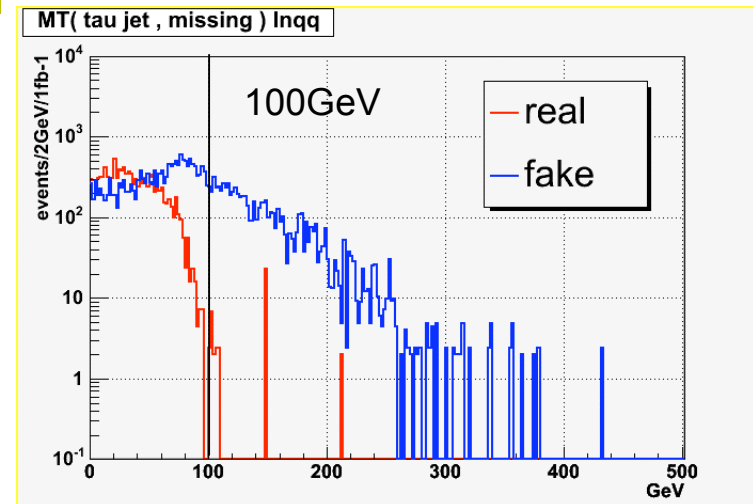
BGは、90%以上がfake

MT cutでrealのBGは殆どが落ちてしまう：右図

Backgroundの成分

	process		Event # (10fb ⁻¹)	%
Real tau	tt	bblvlv	24.8 ± 5.0	6
		bblvqq	184 ± 14	44
Fake tau	tt	bblvlv	42.6 ± 6.5	10
		W+Jets	44.7 ± 6.7	10
		others	112 ± 11	27
total			416 ± 20	100

topのsemi-leptonic decayが主成分



top semi-leptonic decayのMT(tau jet , missing)分布

実データを用いた、one tau modeのBackgroundの見積もり

SUSY信号の正確な量を知ることで、Cross SectionやBranchの情報得られる。よって、Backgroundの見積もりが必要。

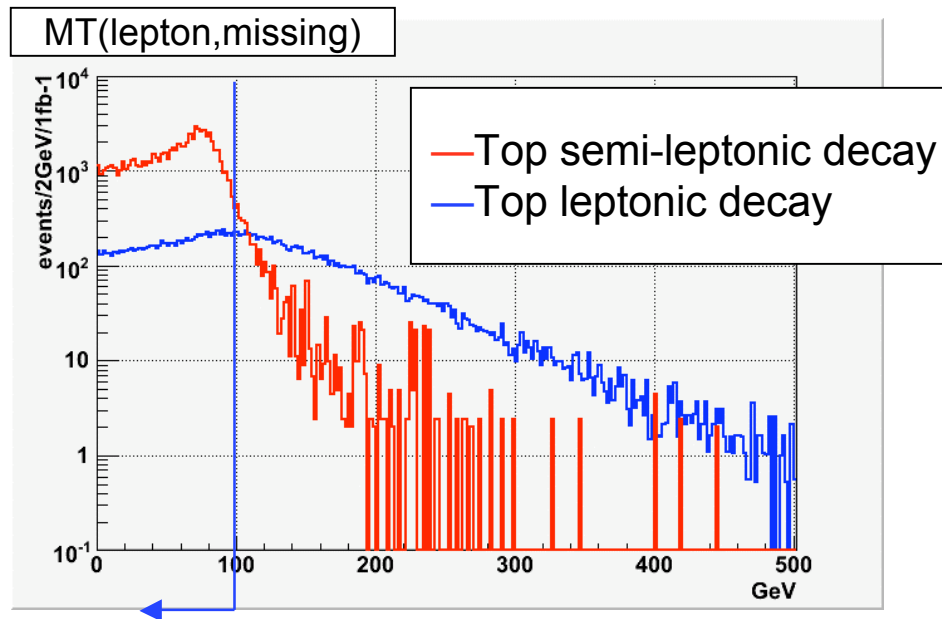
One tau modeのBackgroundに近い分布(=Control Sample)を作ることで、実データからBackgroundを見積もる。

Backgroundは、topのsemi-leptonic decayが主成分なので、topのsemi-leptonic decayを選ぶようにCutを決めてやればよい。

Control Sampleのカット

= 1lepton + high Pt jets + large MissingET + MT<100GeV

↑ top semi-leptonic decayを選ぶ



↑ MT<100GeVのCutをかける

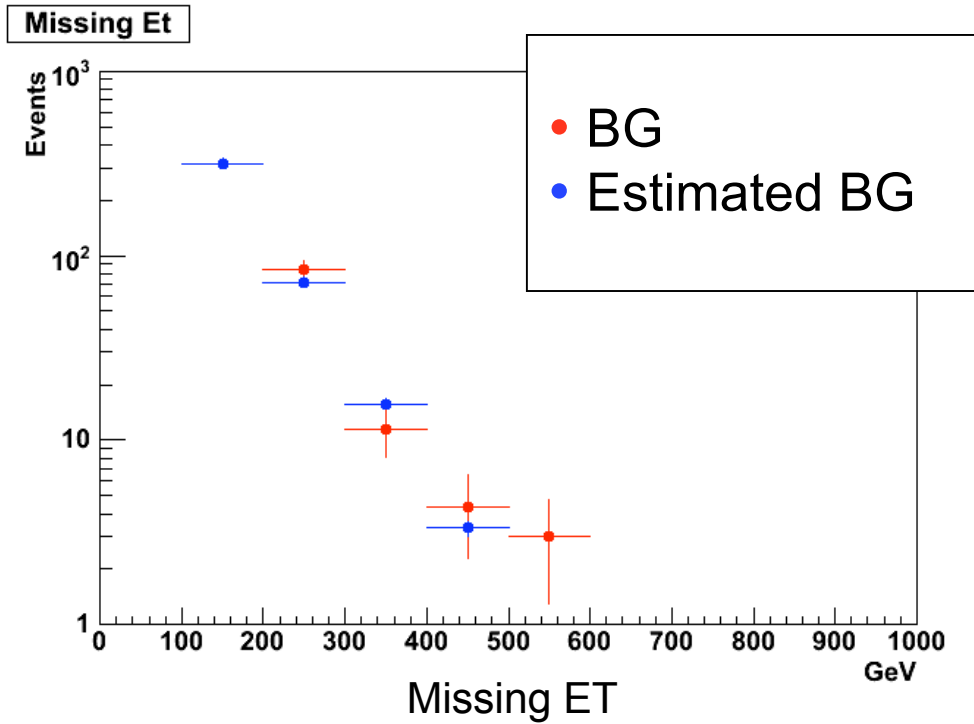
Control Sampleの成分

process		Event # (10fb ⁻¹)	%
tt	bblvlv	1084 ± 33	7
	bblvqq	10295 ± 101	63
W+Jets		3610 ± 60	22
others		968 ± 31	6
total		16228 ± 127	100
SU1		1390 ± 37	

期待通り、semi-leptonic decayが主成分になっている。

Missing ET = 100-200 GeVの数がBackgroundと同じになるように、Control Sampleをnormalizeする。→ Backgroundが再現出来る。

BG estimationの結果 (Full Simulation)

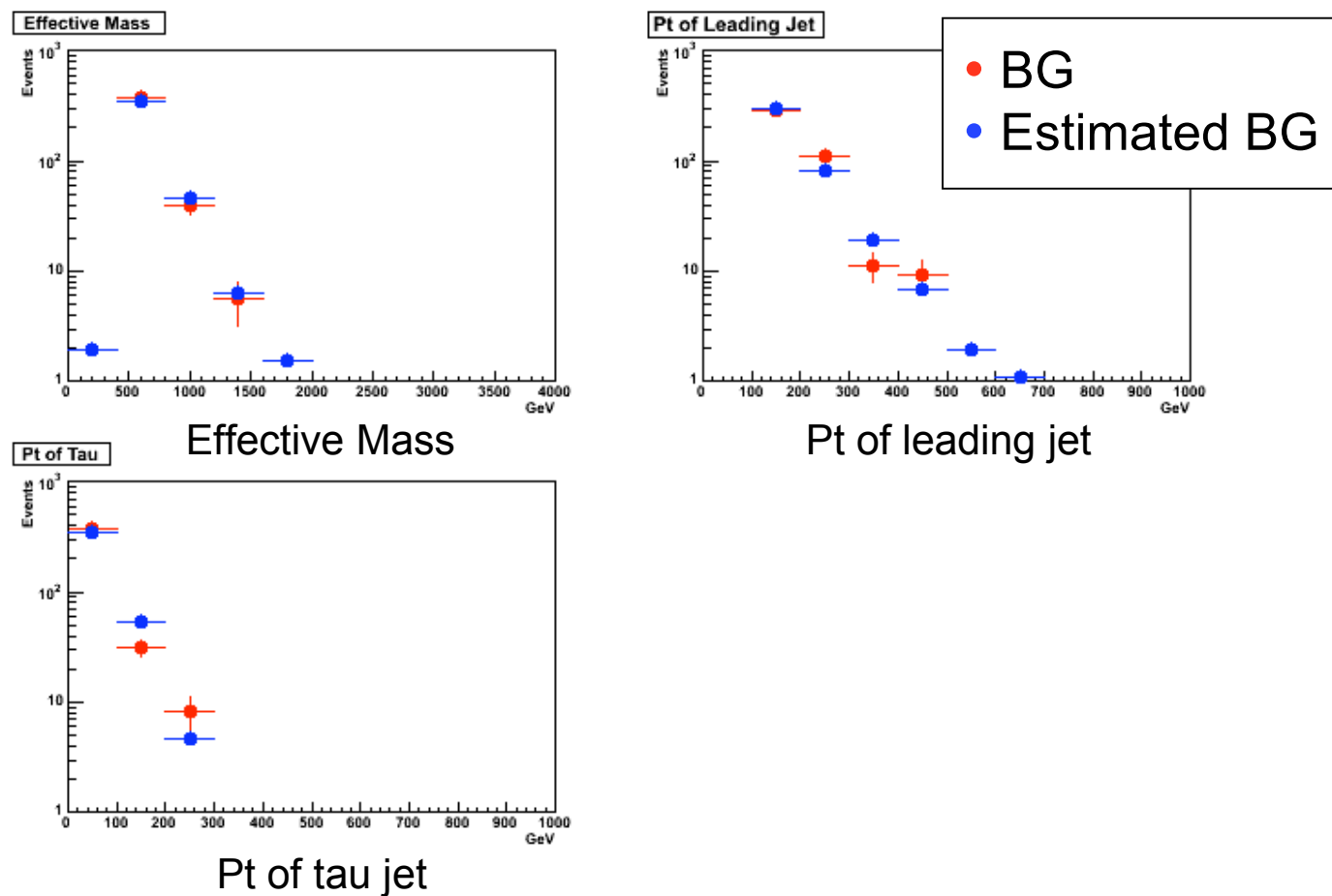


Result of Estimation (10fb⁻¹)

	BG	Estimated BG
MET>100GeV	416 ± 20	405 ± 3
MET>300GeV	18.8 ± 4.3	20.7 ± 0.7

Backgroundが再現されている。

Missing ETだけでなく、他の分布も一致するか確認

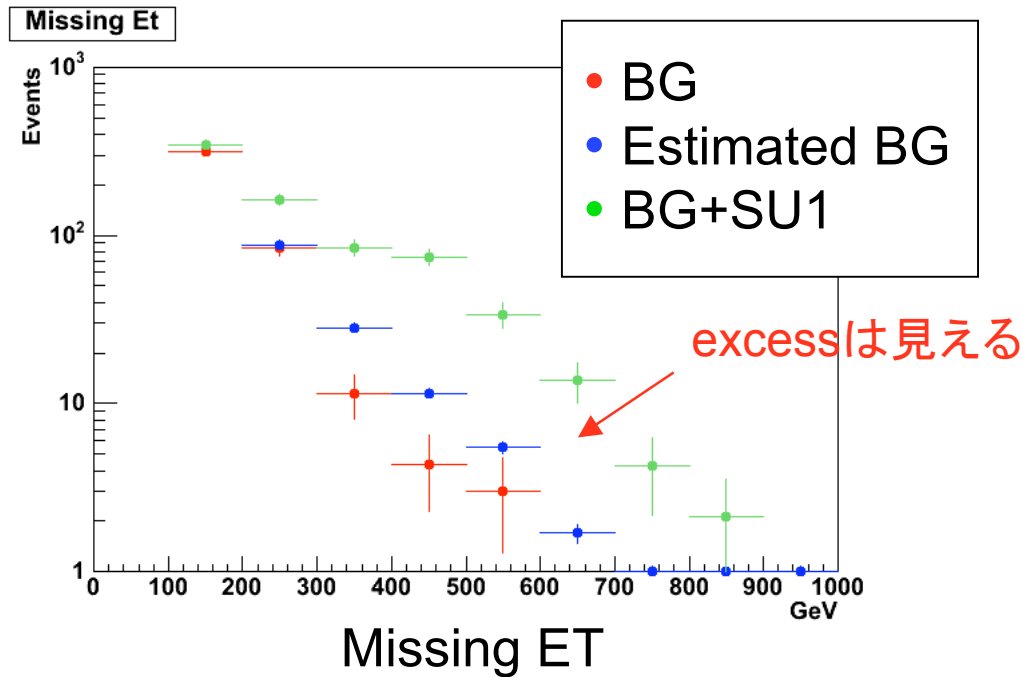


Effective Mass, Pt of leading jetの分布は、よく再現されている。

Pt of tau jetの分布が合っているかを確認するには、より統計が必要。

実際は、Control SampleにはSUSYの信号も混ざっているのので、その効果も入れて考えなければならない。

BG estimationの結果 (Control SampleにSU1が混ざってる場合)



Result of Estimation (10fb⁻¹)

	BG	Estimated BG
MET>100GeV	416 ± 20	478 ± 4
MET>300GeV	18.8 ± 4.3	47.6 ± 1.2

over estimate

Missing ETの大きな領域では、Estimationが悪くなるが、SUSYのexcessは見える。ただし、より詳細な研究のためには、SUSYの効果をControl Sampleから除く必要がある。

BGの見積もりだけでなく、SUSYのfake信号の割合も重要

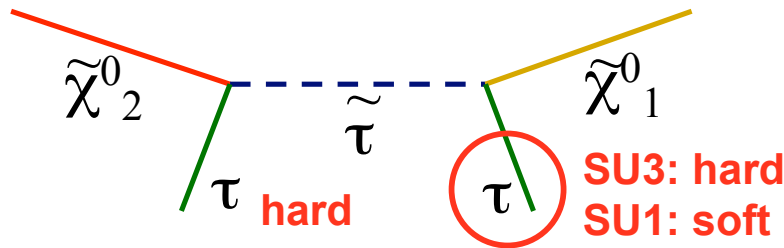
Backgroundの量が分かったとしても、実際はSUSY信号にもfakeが混ざっているのので、本当にtauを生成したSUSYイベントの数や分布を知るためには、SUSYのfake信号の割合を見積もる必要がある。

Tauを用いたmass reconstruction

ditau mode (2taus + high Pt jets + large MissingET)を要求して、Mass reconstructionを行う。

SU1, SU3の2点で結果を比較する。

SU3: $\tan\beta=6, m_{1/2}=300\text{GeV}, m_0=100\text{GeV}, A=-300$
 $m(\tilde{g}) \sim 700\text{GeV}, m(\tilde{q}) \sim 600\text{GeV}$



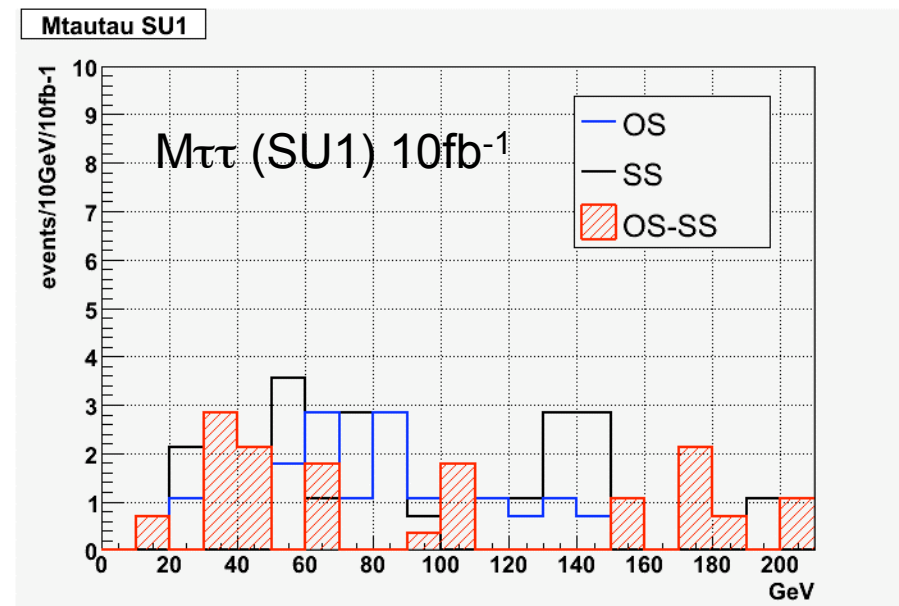
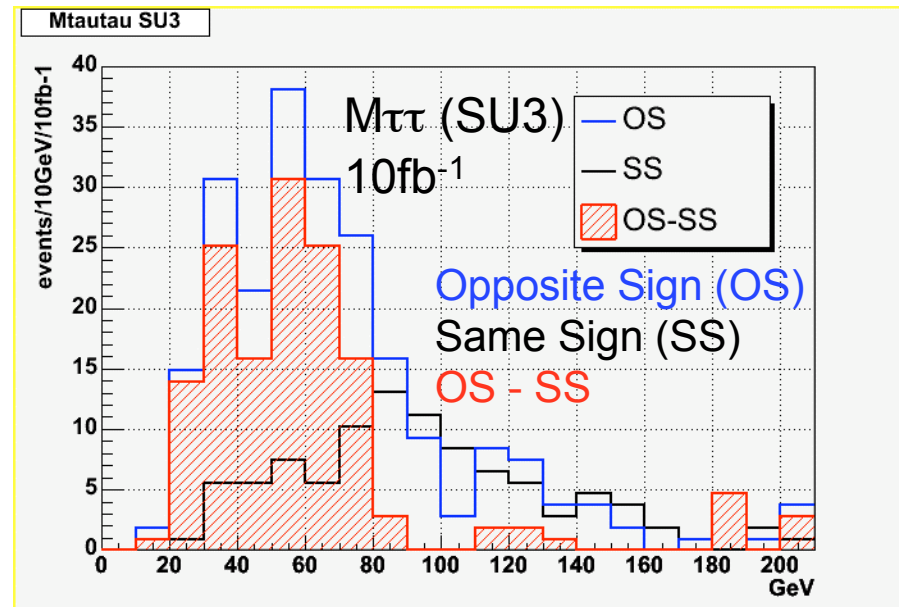
SU1: $m(\tilde{\tau}) = 148\text{GeV}$
 $m(\tilde{\chi}_1^0) = 137\text{GeV}$
 massが縮退

エッジの位置は、

$$M_{ll}^{\max} = M(\tilde{\chi}_2^0) \sqrt{1 - \frac{M^2(\tilde{l}_R)}{M^2(\tilde{\chi}_2^0)}} \sqrt{1 - \frac{M^2(\tilde{\chi}_1^0)}{M^2(\tilde{l}_R)}}$$

SU1: $M_{\tau\tau}^{\max} = 82\text{GeV}$
 SU3: $M_{\tau\tau}^{\max} = 106\text{GeV}$

ニュートリノが出るので、
 実際のエッジの位置はこれより下がる。



SU1では、一方のtauがsoftになっているため、Ptのカットで落ちてしまい、エッジが見えない。
 →よりsoftなtauに使えるID&reconstruction algorithmが必要。

まとめ

- tauの研究はSUSYのモデルやパラメーターの絞り込みのために重要である。
- One tau modeのbackgroundは実データから見積もる事が出来る。ただし、SUSY信号にもfakeが混ざっているので、SUSY信号に含まれるfakeの割合を見積もる研究も必要。
- Fakeを減らすため、tauのperformanceを上げる必要がある。特に、soft tauをID&reconstructするalgorithmを開発する必要がある。

backup

カットの詳細

One tau mode

1 tau $P_t > 40\text{GeV}$

Number of jet ($P_t > 20\text{GeV}$) ≥ 4

1st jet $P_t > 100\text{GeV}$, 2nd~4th jet $P_t > 50\text{GeV}$

$MET > \max (100\text{GeV} , 0.2 * M_{\text{eff}})$

Transverse Mass (tau , missing) $> 100\text{GeV}$

Transverse Sphericity > 0.2

Control Sample

1 lepton (e or mu) $P_t > 20\text{GeV}$

Number of jet ($P_t > 20\text{GeV}$) ≥ 4

1st jet $P_t > 100\text{GeV}$, 4th jet $P_t > 50\text{GeV}$

$MET > \max (100\text{GeV} , 0.2 * M_{\text{eff}})$

MT (lepton , missing) $< 100\text{GeV}$

Transverse Sphericity > 0.2

ditau mode

2 tau $P_{t_1\text{st}} > 40\text{GeV}$, $P_{t_2\text{nd}} > 20\text{GeV}$

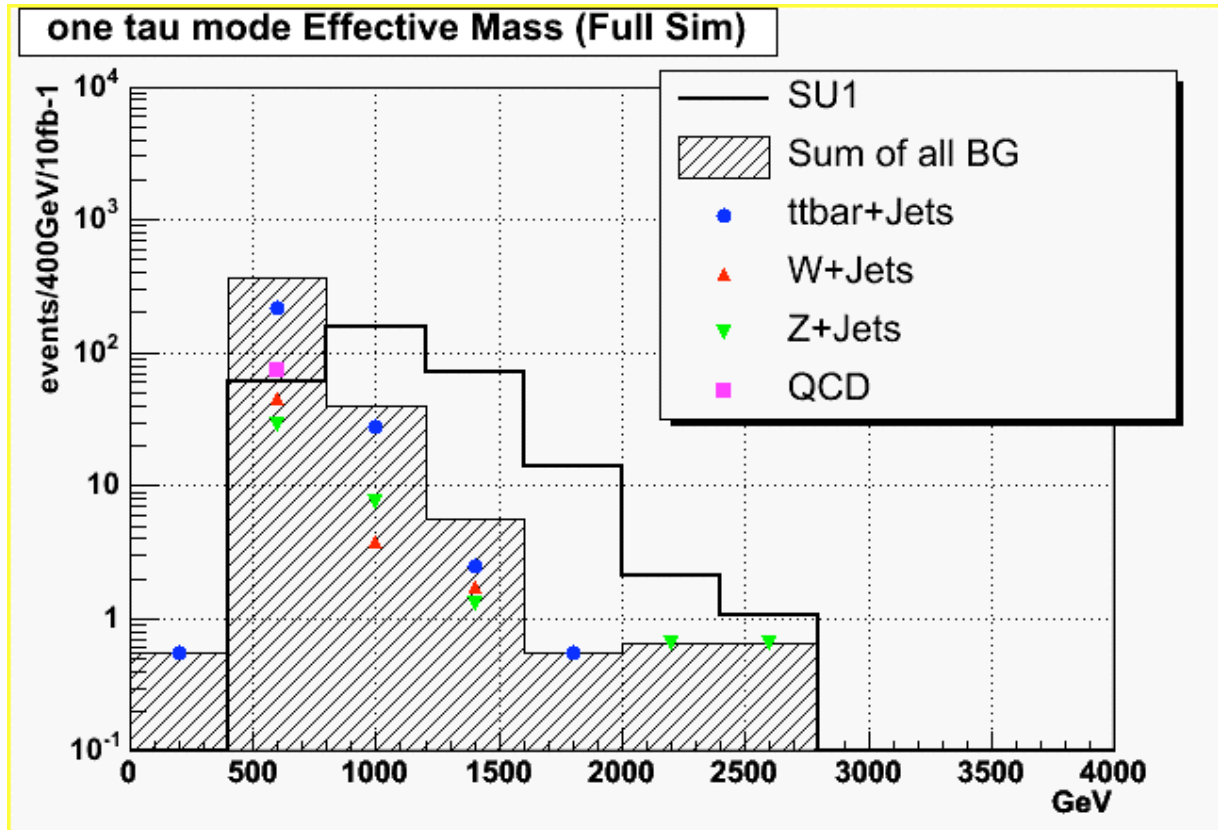
Number of jet ($P_t > 20\text{GeV}$) ≥ 4

1st jet $P_t > 100\text{GeV}$, 2nd~4th jet $P_t > 50\text{GeV}$

$MET > \max (100\text{GeV} , 0.2 * M_{\text{eff}})$

Transverse Sphericity > 0.2

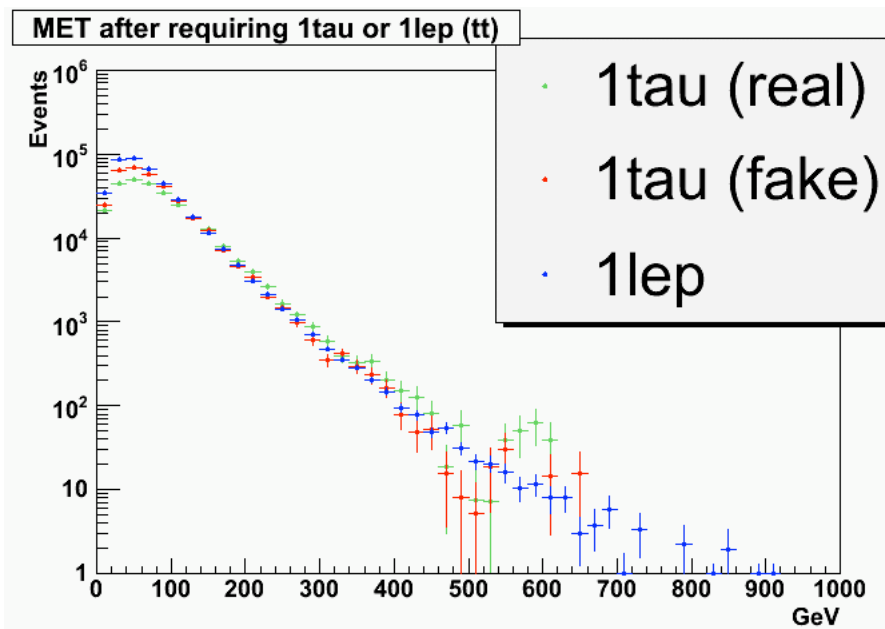
One tau mode Effective Mass



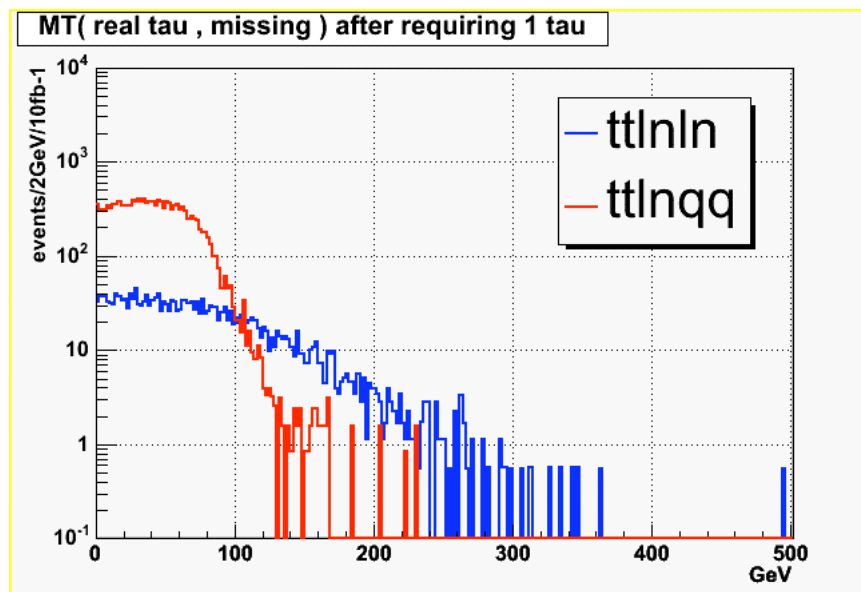
BackgroundとControl Sampleの分布が何故合うかの詳しい説明(tt process only)

Note: 分布の形の微妙な違いを議論するために、p16-p19ではFull Simulationよりも高統計のATLFAST simulationを用いている。

1tau or 1leptonのみ要求



Missing Et (GeV)

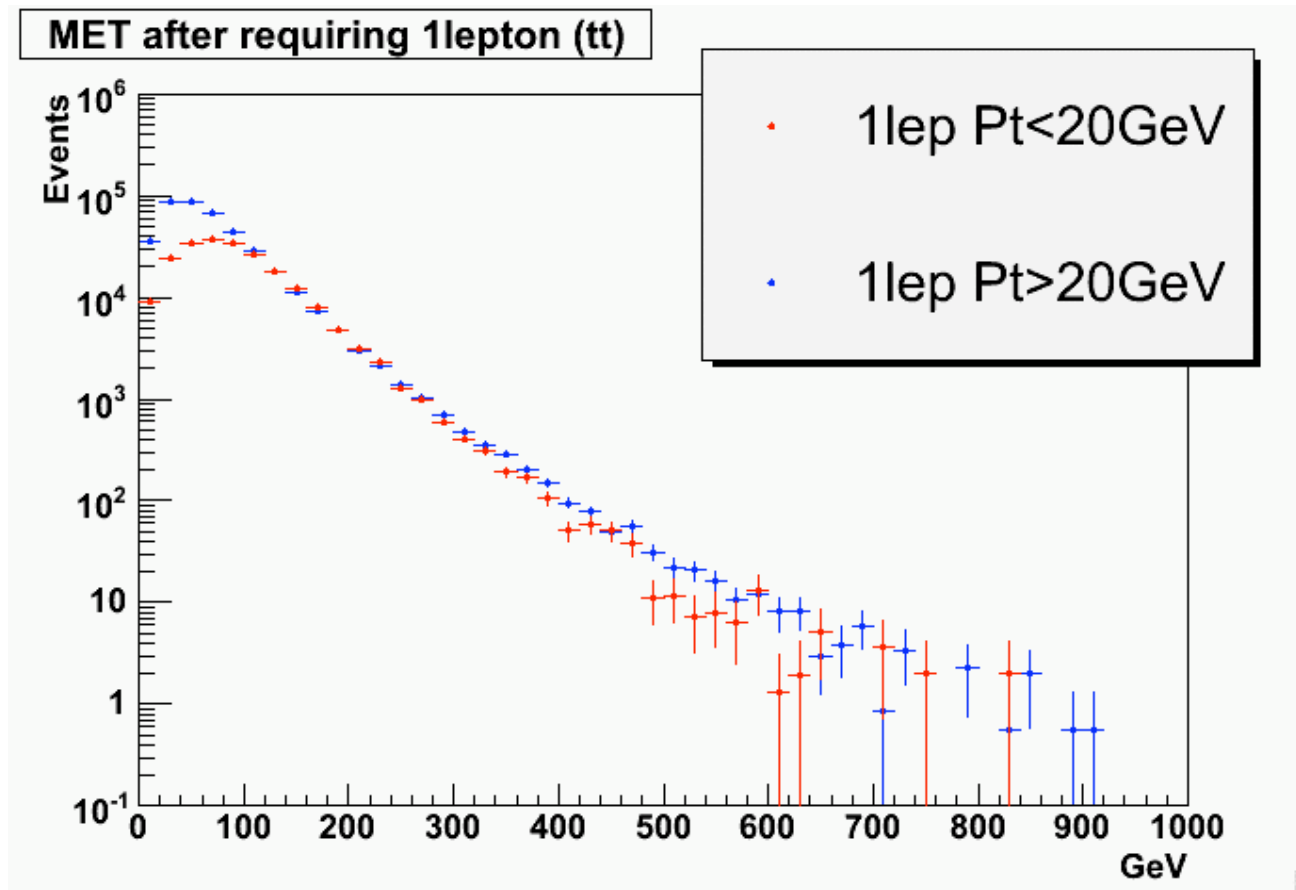


MT(real tau , missing) (GeV)

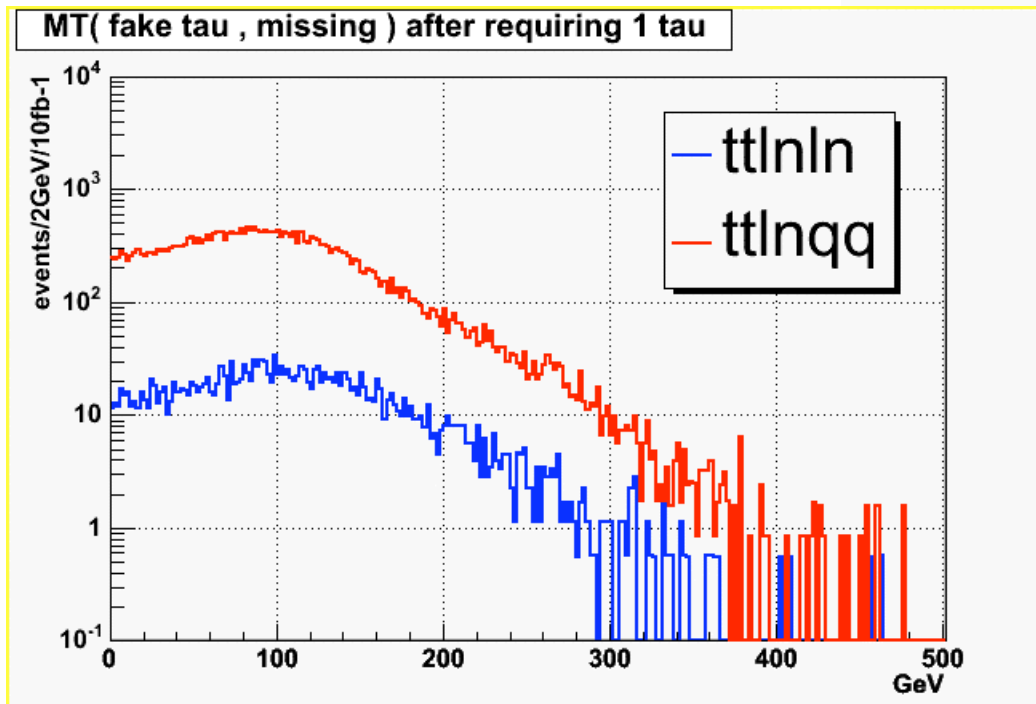
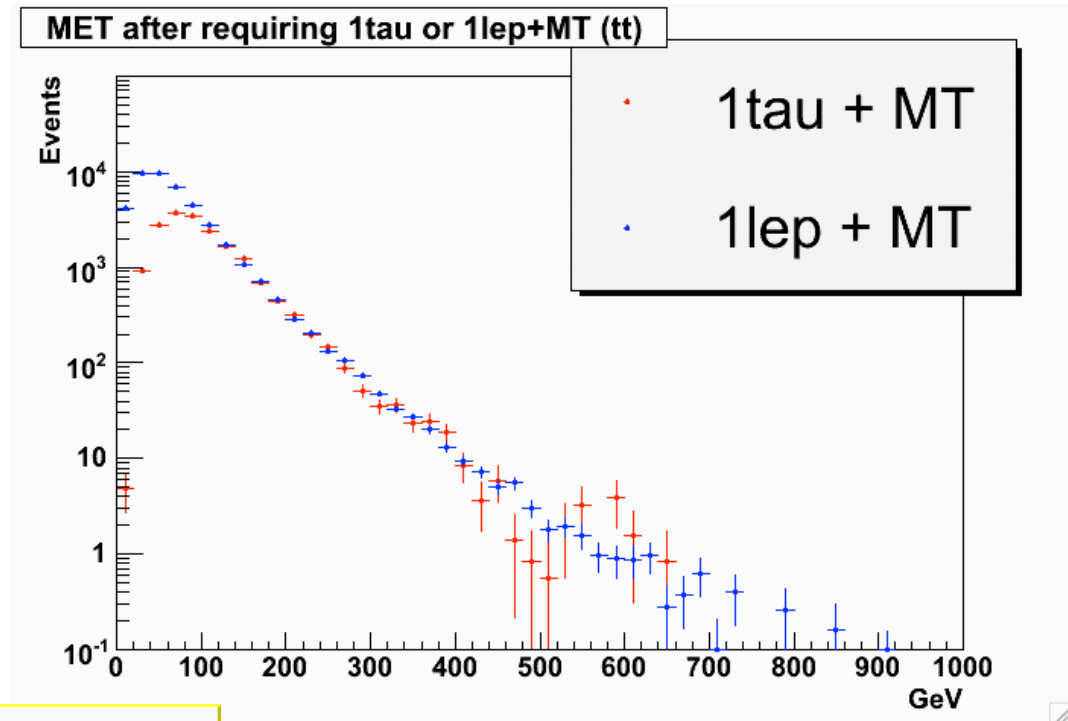
Additionalなneutrinoによって、Real tau BGはハードになる。だが、MT Cutでreal tau BGは殆ど落ちてしまう。

Fake tau BGは、Control Sampleと同じでInqq dominantなので、分布が合うのは自然。では、なぜlow METの所だけずれているのか？

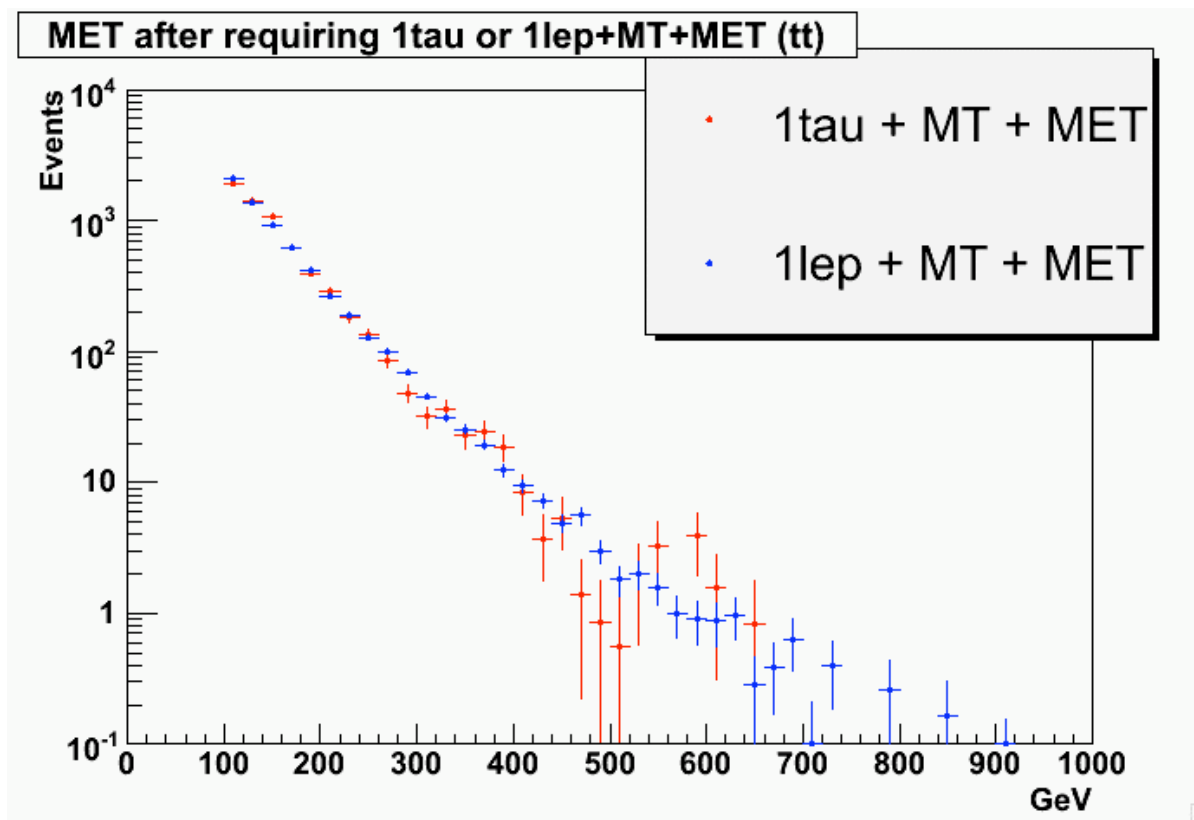
Fake tau BGは、InqqのPt_lep<20GeVのイベントを、Control SampleはPt_lep>20GeVのイベントを選んでは、tt->bbWWのWがboostしてなければ、W->lνのleptonがhigh Ptの場合neutrinoはlow Ptになる。なので、low METのイベント数は、Control Sampleの方が相対的に少なくなる。



MT cutをかけても、分布は変化しない。
 →fake dominantなので、 $lnln$ と $lnqq$ の
 MT分布は似た形をしている。なので、
 MT Cutをかけた後でも、 $lnln$ と $lnqq$ の
 比率は変わらないから。



結局、分布はlow METの領域だけずれているので、
MET>100GeVのカットをかけることで、分布は一致する。



ditau mode cut後の、SU1のreal BGとfake BGの割合

SU1 (10fb-1)

Opposite Sign	Tau is real	7
	Tau is fake	14
Same Sign	Tau is real	1
	Tau is fake	15

BGを加えた $M_{\tau\tau}$ 分布(SU3)

$M_{\tau\tau}$ (SU3+BG) 10fb^{-1}

