

ATLAS実験における，超対称性粒子の
質量が縮退したモデルとmSUGRAモデルとの間の
パラメータの対応関係について

日本物理学会 秋季大会 @北海道大学

2007年9月21日(金)

神戸大自然，高工研^A

岡田勝吾，喜家村裕宣，野尻美保子^A，川越清以

目次

- 超対称性粒子の質量が縮退したモデル
- 研究目的
- ETmiss分布のフィッティング
- 縮退モデルとmSUGRAとの区別
- まとめと今後

超対称性粒子の質量が縮退したモデル

超対称性粒子間の質量差が小さくなっている為、
カスケード崩壊の際に放出されるジェットや
レプトン, LSPの横方向の運動量が小さい。

→BGと見分けがつけにくいが発見可能な領域がある

(春の学会)



Mixed Modulus Anomaly Mediation Model

$$\alpha = \frac{R}{\ln(M_{\text{Planck}}/m_{3/2})} \quad \left(R = \frac{F_C}{F_T} \right)$$

see for example:
K.Kawagoe & M. Nojiri
Phys. Rev. D74,
115011 (2006)

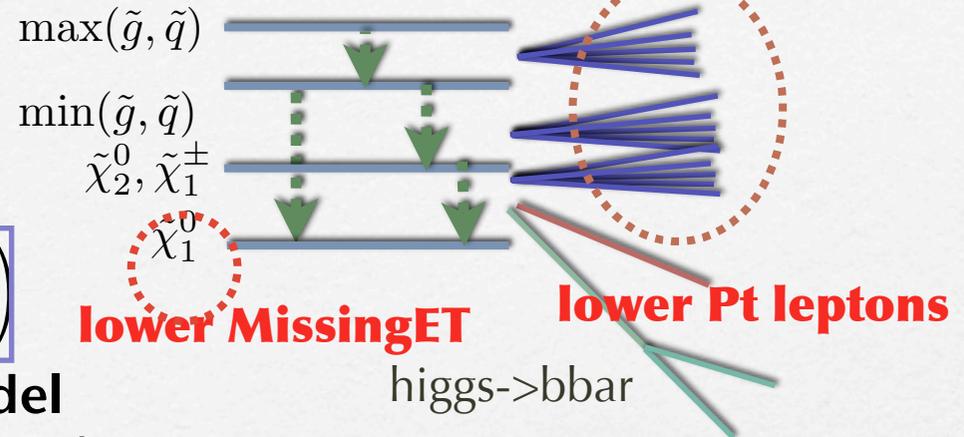
この1つのパラメータで超対称性粒子の質量パターンを
mSUGRA-likeからAMSB-likeに変化させることが出来る。

→質量が縮退したポイントを設定(下表)。

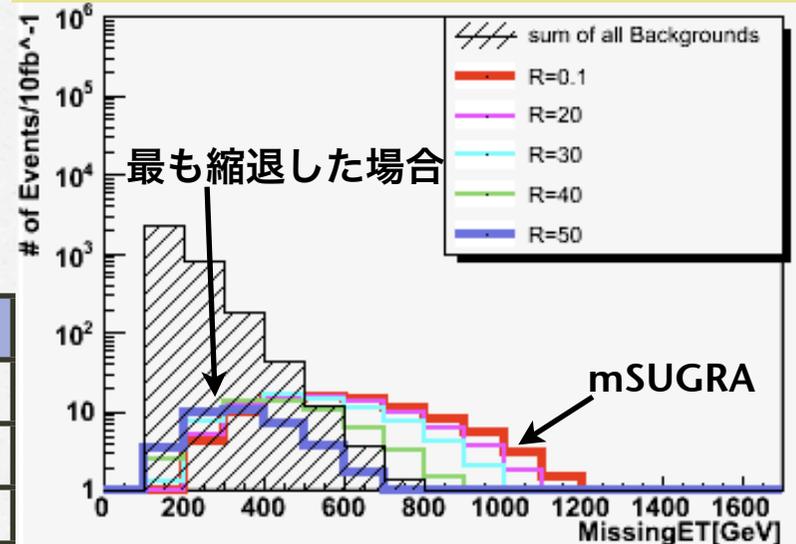
mSUGRA

縮退モデル

R	0.1	20	30	40	50
$M_{\text{gluino}}[\text{GeV}]$	1493	1490	1488	1486	1486
$M_{\text{squark}}[\text{GeV}]$	1468	1473	1474	1471	1461
$M_{\text{LSP}}[\text{GeV}]$	270	486	639	840	1039
Discovery		○	○	△	×



Missing ET分布(1-lepton mode;10fb⁻¹)



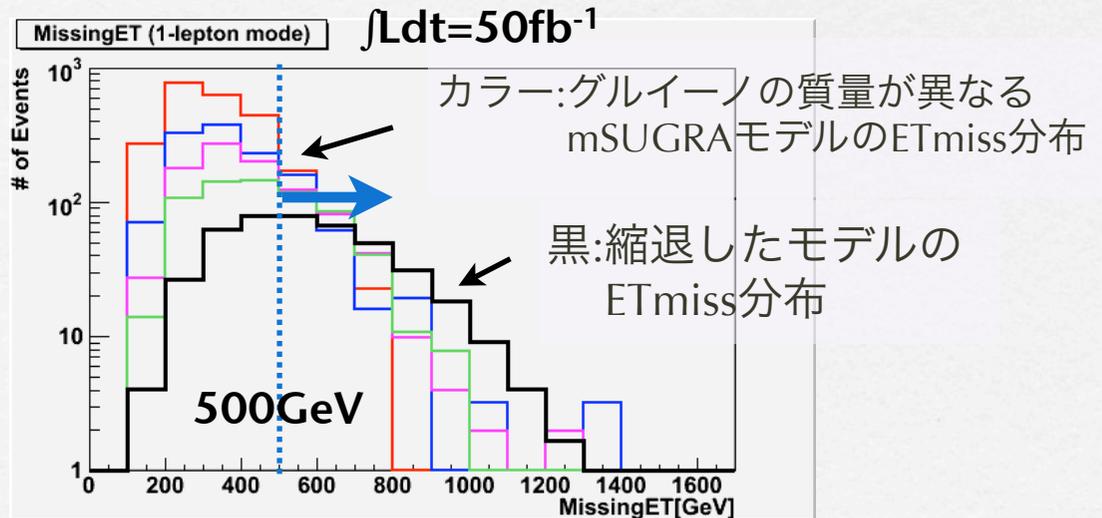
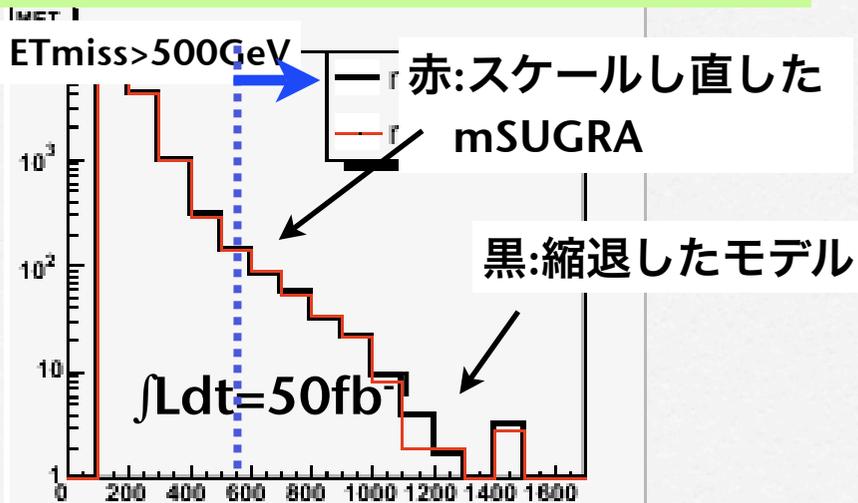
研究目的

- 春の学会では、縮退モデルの超対称性粒子の発見可能性の研究を行った。
- そこで今回は、縮退モデルとmSUGRAの超対称性イベントが区別可能か研究を行った。

Backgroundの影響が少ない1-lepton modeだけで話を進めます。

- ETmiss>500GeVでmSUGRAのETmiss分布を縮退モデルに合うように、gluinoの質量を変えてcross-sectionをフリーパラメータとして、 χ^2 フィットした。
- **フィッティングから分かる”イベントの持つ典型的な質量スケール”と”cross-section”を評価する事で、縮退モデルとmSUGRAモデルが区別できるか議論していく。**

縮退モデルとスケールしたmSUGRAのETmiss分布(1-lepton mode)



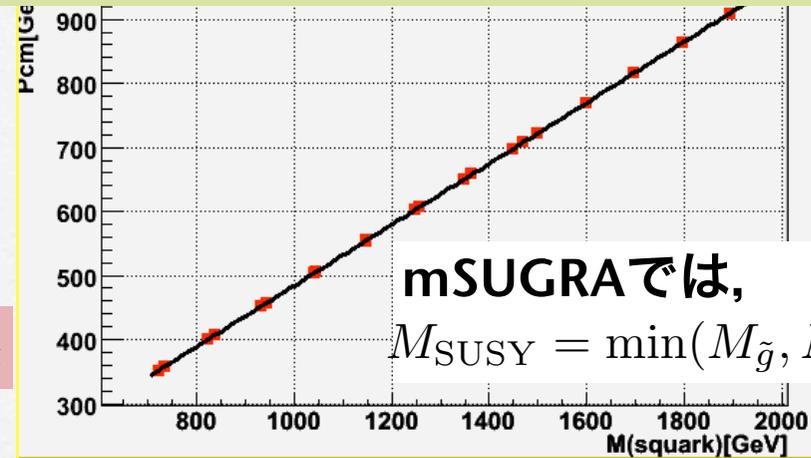
ETmissの大きなところで、縮退モデルをmSUGRAでフィットが出来そう。

“イベントの持つ典型的な質量スケール”として，squarkが直接LSPへ崩壊したときのジェットの持つ運動量 P_{cm} と定義する。

$$P_{cm} = \frac{1}{2} \left(\frac{m_{\tilde{q}}^2 - m_{\tilde{\chi}_1^0}^2}{m_{\tilde{q}}} \right)$$

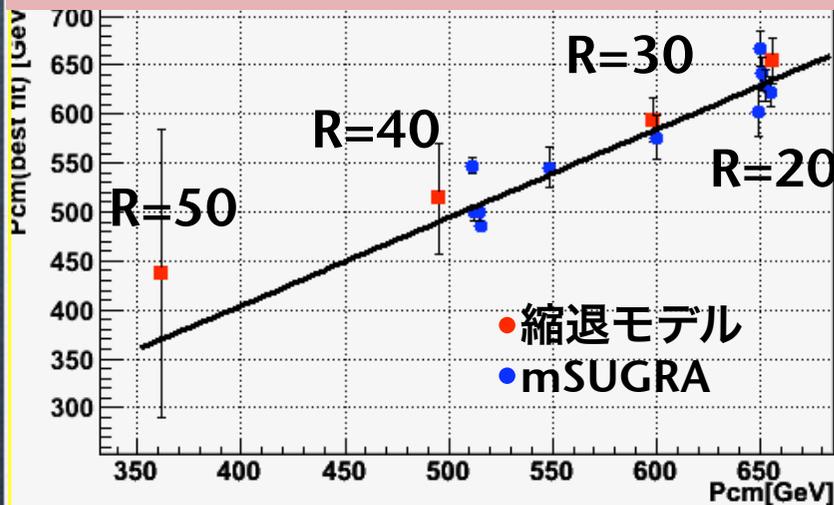
$$\simeq \frac{1}{2} m_{\tilde{q}} \quad (\text{if } m_{\tilde{q}} \gg m_{\tilde{\chi}_1^0})$$

squarkの質量と P_{cm} の関係(mSUGRA)



mSUGRAでは，
 $M_{SUSY} = \min(M_{\tilde{g}}, M_{\tilde{q}}) \simeq 2P_{cm}$

P_{cm} (縮退モデル)と P_{cm} (mSUGRA)の関係



- mSUGRAのETmiss分布を縮退モデルに χ^2 フィット。
→ベストフィットポイントの P_{cm} が決まる。
- 縮退モデルとベストフィットのmSUGRAとで P_{cm} の相関を調べたところ P_{cm} は両モデルでほぼ一致した。
- P_{cm} は縮退モデルとmSUGRAの両方で使える良い量。

	P_{cm}		P_{cm}		P_{cm}		P_{cm}
R=20	656GeV	R=30	598GeV	R=40	495GeV	R=50	361GeV
mSUGRA	654.3 ± 22.7 GeV	mSUGRA	594.2 ± 22.8 GeV	mSUGRA	514.1 ± 56.4 GeV	mSUGRA	437.6 ± 146.9 GeV

Msusy=2Pcmの関係からベストフィットのmSUGRAポイントのsquarkの質量を計算して、縮退モデルのsquarkの質量と比較。

	R=20	R=30	R=40	R=50
Msquark[GeV] : mSUGRA	1357.5±22.7	1231.3±22.8	1063.4±56.4	903.0±146.9
Msquark[GeV] : 縮退モデル	1473	1474	1471	1461

→縮退モデルとは異なる質量を持つ。

ここまでのまとめ

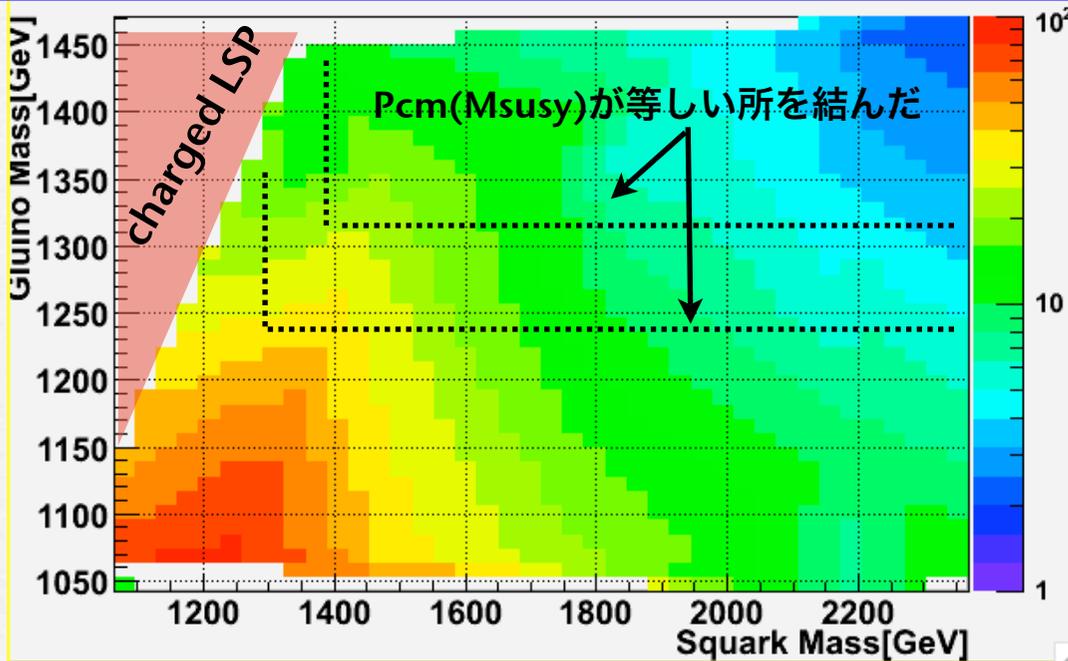
縮退モデルのETmiss分布をmSUGRAモデルのETmiss分布でフィットした。

- ETmiss分布のフィットでイベントの持つ質量スケールPcmが決まり、これは、縮退モデルとmSUGRAの両方で使えるパラメータである。
- 一方、ベストフィットするmSUGRAポイントの超対称性粒子は縮退モデルとは異なる質量を持つこともある。

縮退モデルとmSUGRAモデルは区別出来るか？

縮退モデルとmSUGRAモデルとの区別

cross-section[fb] (mSUGRA;1-lepton mode)



- SUSY Parameter Calculation:
 - ISAJET 7.75
- Event Generator & Detector Simulator:
 - ATLFast (11.0.42)
- SUSY Standard Cut (1-lepton mode)

mSUGRAでは P_{cm} が同じ値を取っても,
 M_{gluino} と M_{squark} が変化することでcross-sectionが大きく変わっていく.

縮退モデルの P_{cm} の範囲で, M_{gluino} または M_{squark} を変えていくことで, 1-lepton modeでの縮退モデルのイベント数と等しくなるmSUGRAポイントが存在するか調べる.
→イベントの特徴を調べることで, 縮退モデルとmSUGRAが区別出来るか探っていく.

$M_{\text{susy}}=M_{\text{squark}}$ (M_{squark} fixed) の場合

mSUGRAモデルで
縮退モデルのイベント数に出来る限り
近づけたポイントがAとB.

point A :

$m_0=309, m_{1/2}=640, A_0=0, \tan\beta=10, \text{sgn}(\mu)=+$

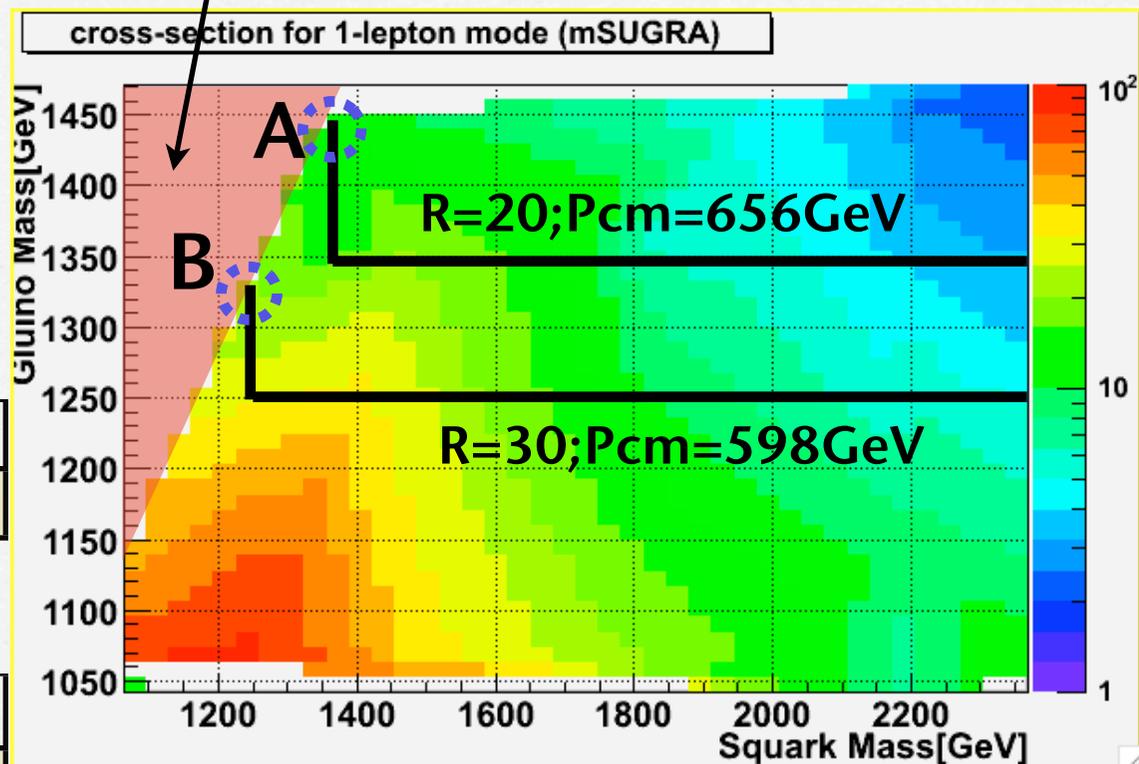
	point A	R=20
# of evt/ 10fb^{-1}	169events	87events

point B :

$m_0=138, m_{1/2}=590, A_0=0, \tan\beta=10, \text{sgn}(\mu)=+$

	point B	R=30
# of evt/ 10fb^{-1}	321events	81events

charged LSP (not mSUGRA region)



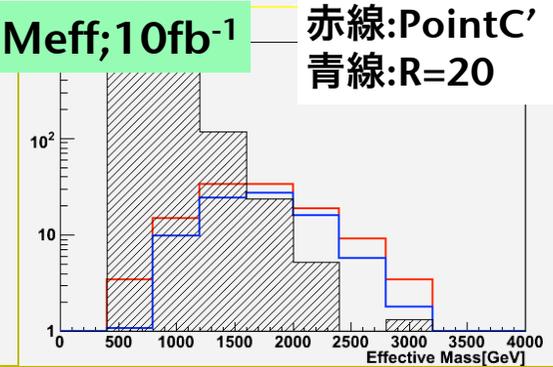
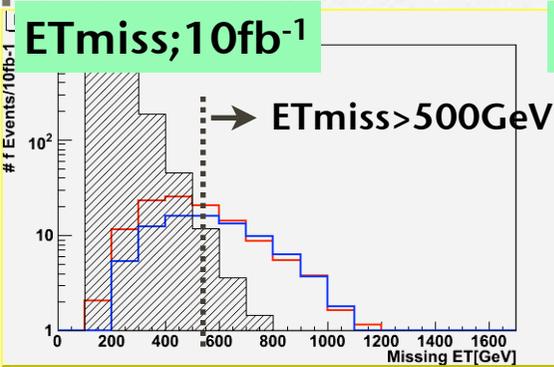
- PointAおよびBの 10fb^{-1} での1-lepton modeのイベント数は縮退モデルの2倍以上多い。
- $M_{\text{susy}}=M_{\text{squark}}$ の場合は、イベント数から縮退モデルとmSUGRAモデルの区別できる。

Msusy=Mgluino(Mgluino fixed)の場合

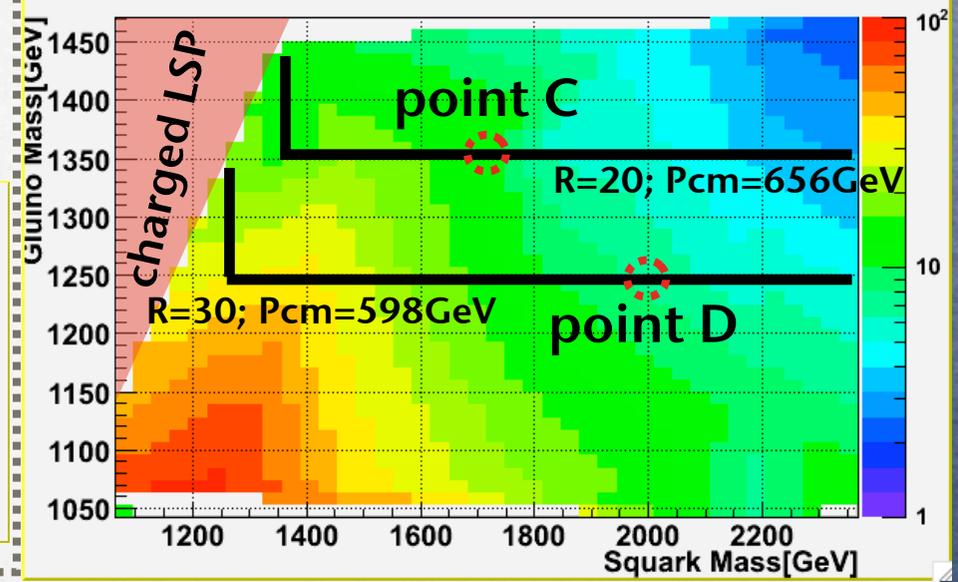
point C:

$m_0=1302, m_{1/2}=568, A_0=0, \tan\beta=10, \text{sgn}(\mu)=+$

	R=20	pointC'
# of Evt/10fb ⁻¹	87events	118events



cross-section[fb] for 1-lepton mode



Msusy=Mgluinoとした場合は、縮退モデルの1-lepton modeの現象を再現するmSUGRAのポイントが存在する。

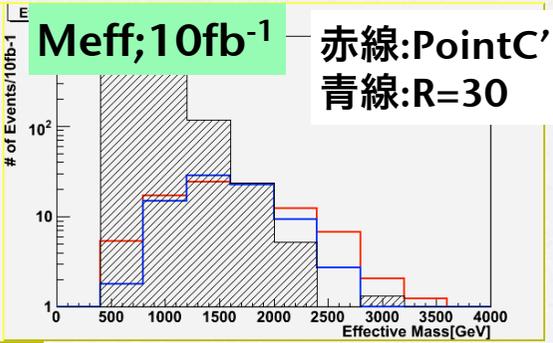
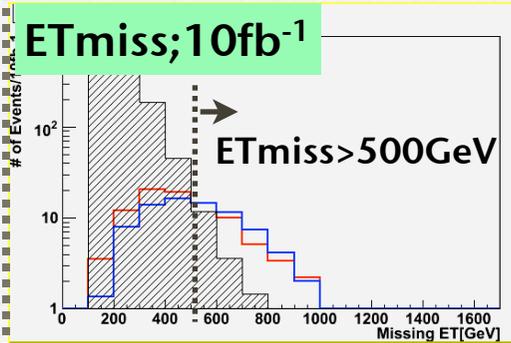


イベントの特徴などを調べて縮退モデルとmSUGRAモデルを区別する必要性がある。

point D:

$m_0=1707, m_{1/2}=503, A_0=0, \tan\beta=10, \text{sgn}(\mu)=+$

	R=30	pointD'
# of evt/10fb ⁻¹	81events	93events



”レプトンの電荷分布から区別が可能ではないか？”

Point C & Point D では $M_{\text{gluino}} < M_{\text{squark}}$ だから

● pp衝突で gluino が生成されて LSP へとカスケード崩壊するのがメイン.

gluino はマヨラナ粒子なため, gluino の崩壊で放出される l_+ と l_- の比は 1:1 である.

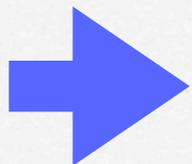
縮退モデルでは $M_{\text{gluino}} > M_{\text{squark}}$ だから

● pp衝突により squark が生成されて LSP へ崩壊するのがメイン.

\tilde{u}_L の方が \tilde{d}_L よりも多く生成されるので l_+ の方が l_- よりも多くなる傾向にある.

”leading 4jets のうち 2nd jet 以降の PT 分布の違いから区別出来ないか？”

質量が縮退しているため, 2nd jet 以降の PT は mSUGRA と比べたら低い傾向にある.



現在研究中です.

まとめと今後

1-lepton modeにおいて、超対称性粒子の質量が縮退したモデルのETmiss分布を、mSUGRAモデルでフィットすることで、イベントの持つ質量スケールや生成断面積(イベント数)を評価することで、両モデルの区別を付けることが可能か研究を行った。

ETmiss分布のフィッティング

- イベントの持つ質量スケール P_{cm} は、縮退モデルとmSUGRAで一致。どちらでも使えるパラメータ。
- ベストフィットポイントのmSUGRAの超対称性粒子は、縮退モデルとは全く異なる質量を持つ。

縮退モデルとmSUGRAとの区別

- $M_{susy}=M_{squark}$ の場合、イベント数から両者の区別が出来る。
- $M_{susy}=M_{gluino}$ の場合、1-lepton modeの縮退モデルの現象を再現するmSUGRAポイントが存在する。
- イベントの特徴から縮退モデルとmSUGRAモデルの区別が必要。

現在研究中(→レプトンの電荷分布やジェットのPT分布)。

今後の予定

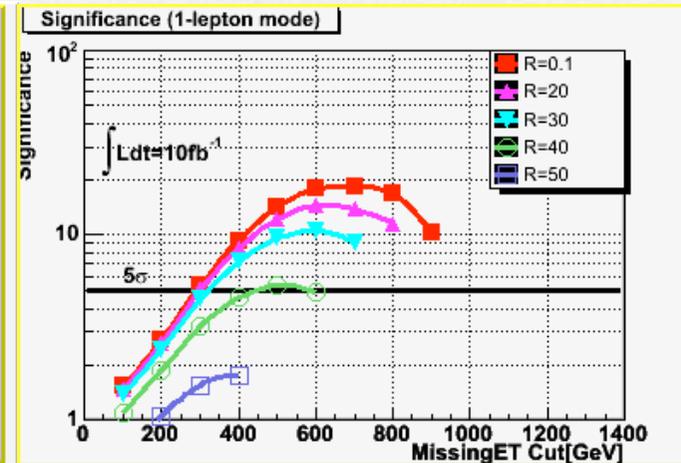
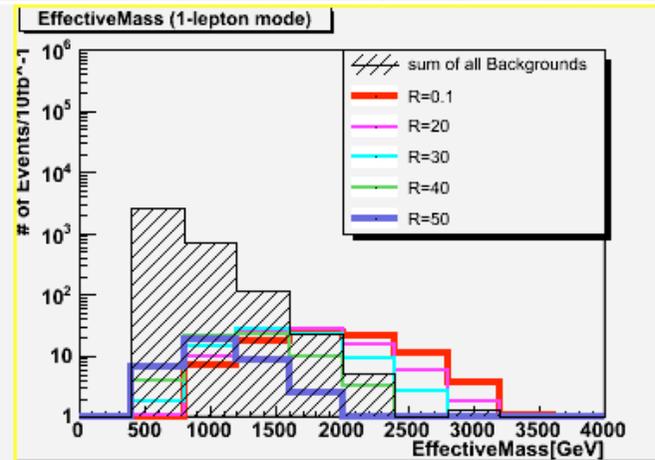
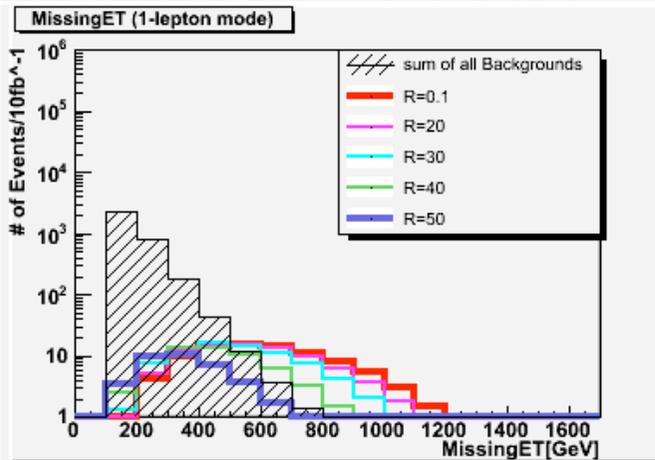
- $M_{susy}=M_{gluino}$ (1-lepton mode)での、縮退モデルとmSUGRAモデルの区別の研究。
- Full Simulationでの研究。
- 0-lepton modeでの縮退モデルとmSUGRAモデルの区別の研究。

Backup

SUSY Standard Cut (1-lepton mode)

- # of Jets ≥ 4 (Pt(1st) $>100\text{GeV}$, Pt(others) $>50\text{GeV}$ && $|\eta|<2.5$)
- # of Leptons ≥ 1 (only isolated electron or muon with Pt >25 && $|\eta|<2.5$)
- ETmiss $>\max(0.2 \cdot M_{\text{eff}}, 100\text{GeV})$
- $M_{\text{eff}}>400\text{GeV}$
- $M_t>100\text{GeV}$
- $S_t>0.2$

Event Distributions & Significance (1-lepton mode; $\int dt L=10\text{fb}^{-1}$)



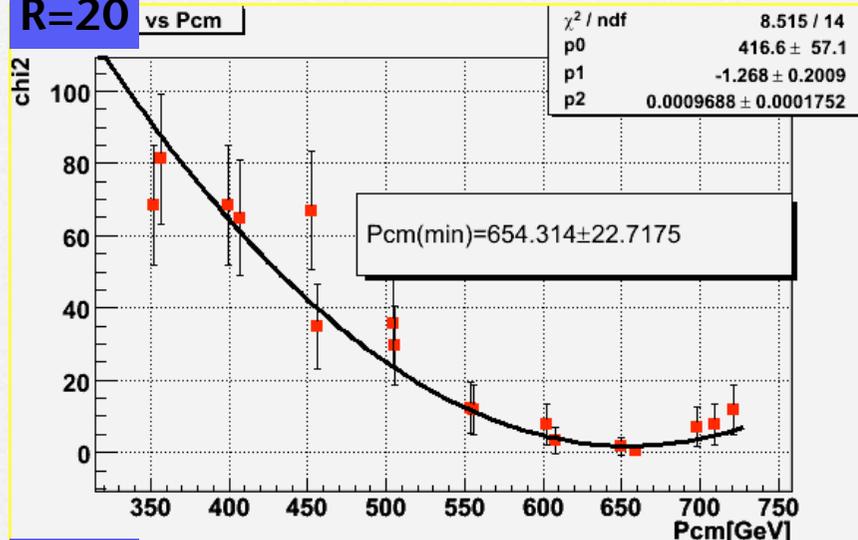
total cross-section for each degenerate point

	R=0.1	R=20	R=30	R=40	R=50
cross-section	156.9fb	128.3fb	120.7fb	115.9fb	113.4fb

mSUGRAモデルのETmiss分布による縮退モデルの χ^2 フィットから ベストフィットポイントのPcmの決定

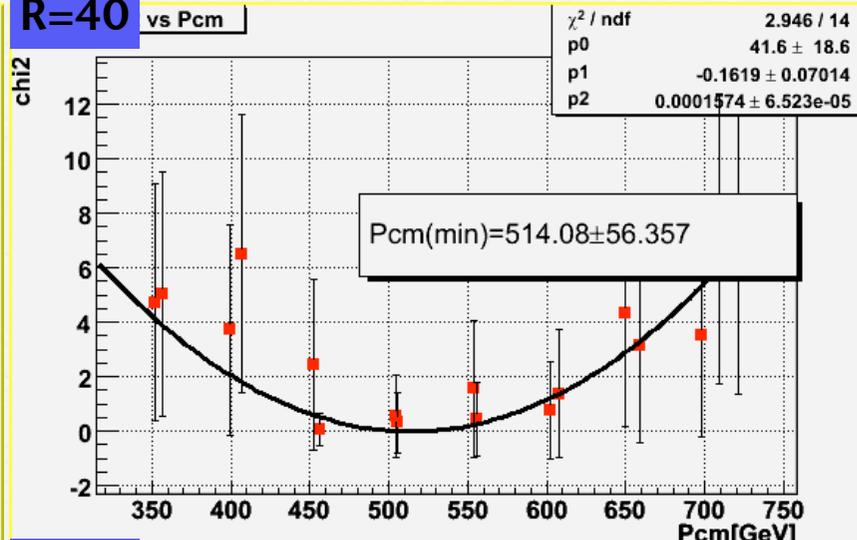
R=20

vs Pcm



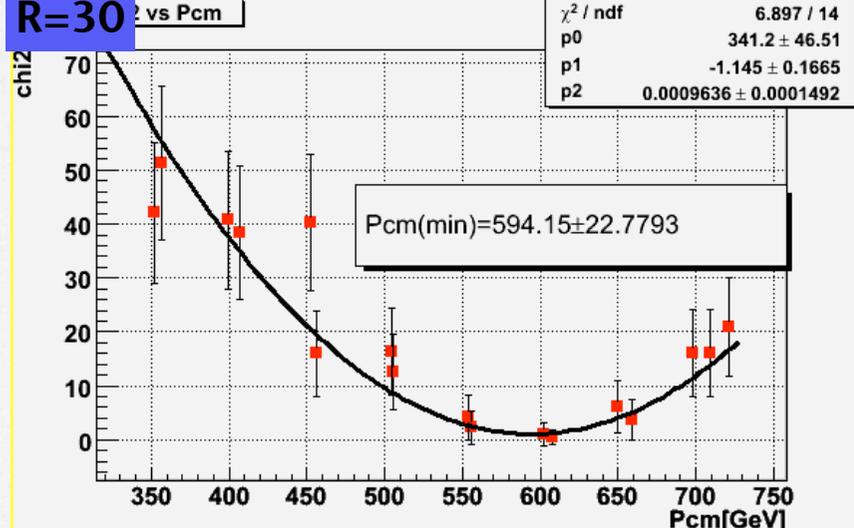
R=40

vs Pcm



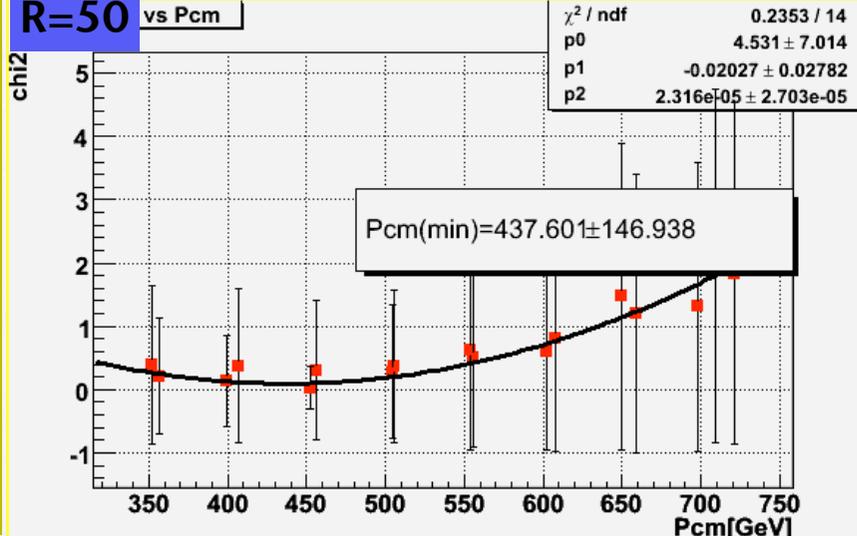
R=30

vs Pcm

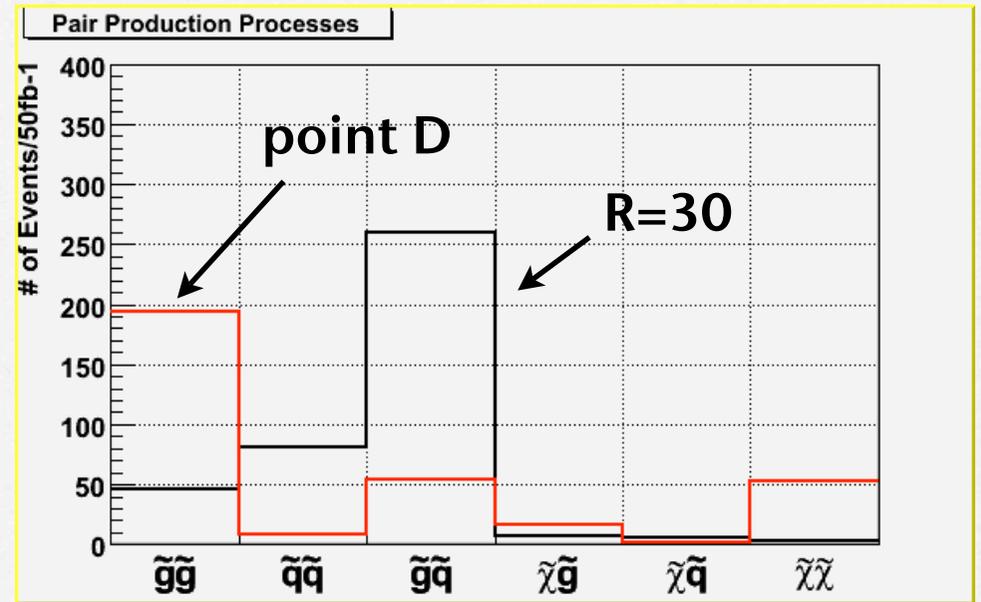
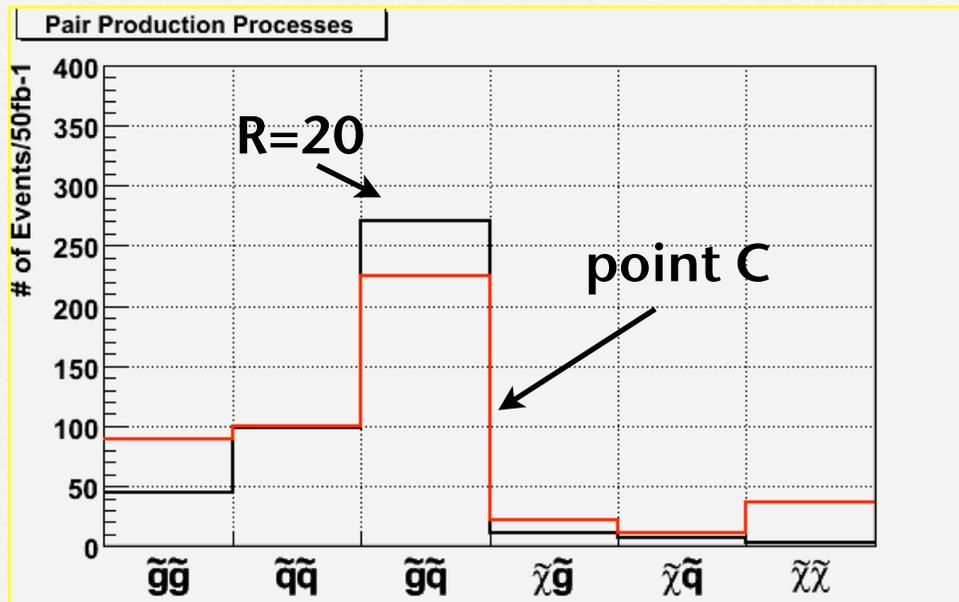


R=50

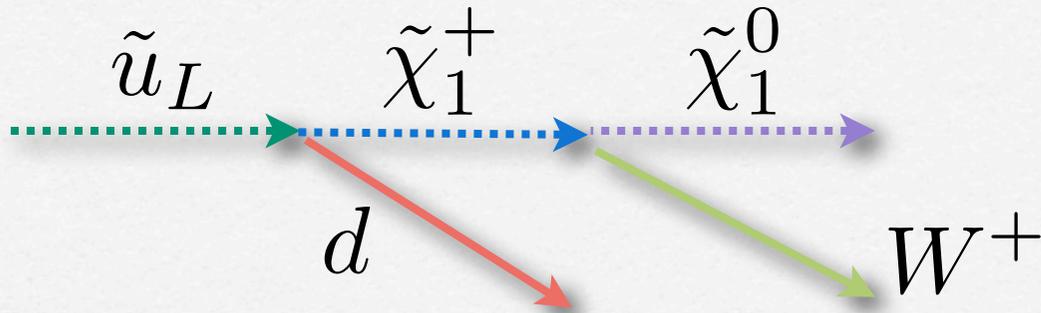
vs Pcm



Pair Production Processes (1-lepton mode) $\int dt L = 50 \text{ fb}^{-1}$

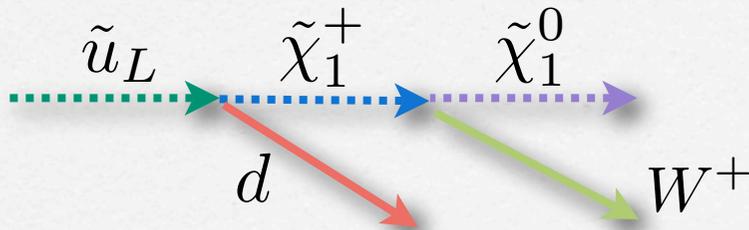


Branching Ratio into lepton mode (R=20 & R=30)

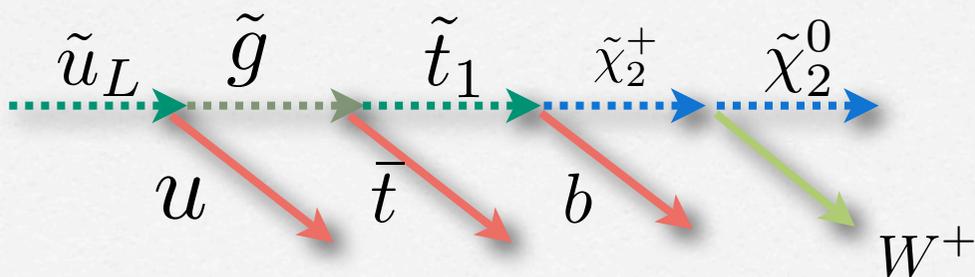


	R=20	R=30
UPL->W1SS DN	0.656	0.653
W1SS->Z1SS W+	0.998	0.999
W+ -> leptons	0.22	0.22

Branching Ratio into lepton mode (PointC)

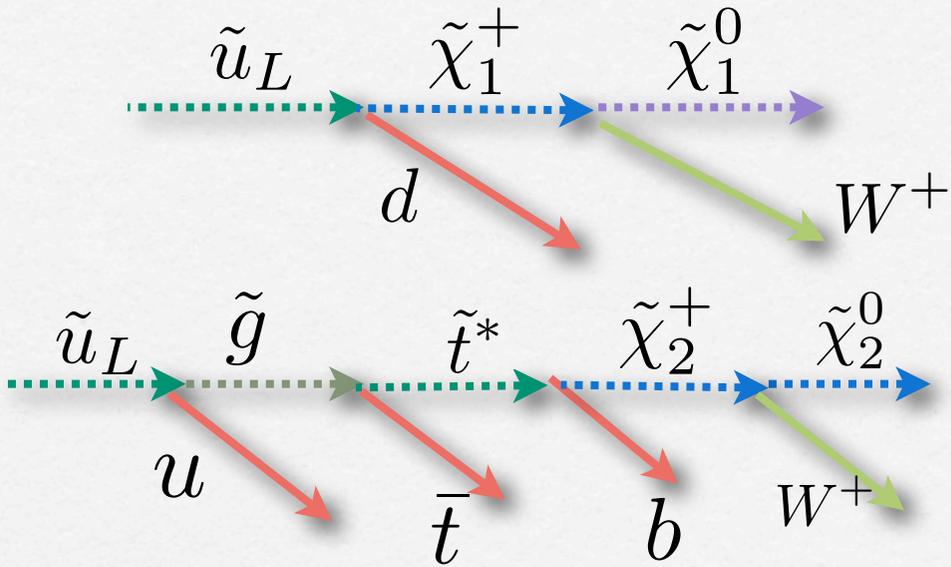


UPL->W1SS DN	0.357
W1SS->Z1SS W+	0.999
W+ -> leptons	0.22



UPL->GLSS UP	0.443
GLSS -> TP1 TB	0.388
TP1 -> W2SS+ BT	0.374
W2SS+ -> Z2SS W+	0.313
W2SS+ -> W1SS+ Z0	0.300
W2SS+ -> Z1SS W+	0.108

Branching Ratio into lepton mode (PointD)



UPL->W1SS DN	0.228
W1SS->Z1SS W+	1.000
W+ -> leptons	0.22

UPL->GLSS UP	0.443
GLSS -> W2SS BT TB	0.128
W2SS+ -> Z2SS W+	0.314
W2SS+ -> W1SS+ Z0 (W1SS -> Z1SS W+)	0.303
W2SS+ -> Z1SS W+	0.110

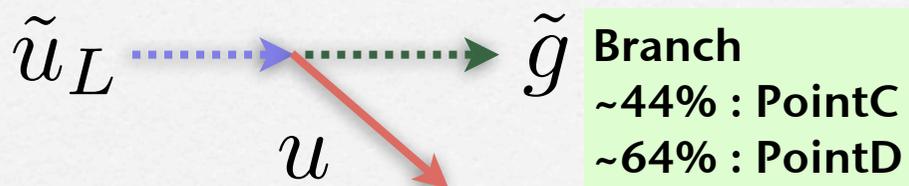
sparticle mass (PointC & PointD)

	Mgluino	Msquark	MLSP
PointC	1361GeV	1733GeV	240GeV
PointD	1248GeV	1972GeV	213GeV

GulinoとSquarkのどちらが重いかによって現象にどのような影響を与えるか考察する。

$M_{\text{gluino}} < M_{\text{squark}}$ の場合

- point CおよびDではsquarkはgluinoよりも質量が大きいため、pp衝突では軽い方のgluinoが主に生成されてLSPへとカスケード崩壊する。
- しかし、pp衝突でsquarkが生成されることもあり、その場合は質量差も400GeV~700GeVと大きいため、squarkはおおよそgluinoへ崩壊してLSPへと崩壊していくはずである。



Branch
 ~44% : PointC
 ~64% : PointD

	PointC'	PointD'
M_{gluino}	1361GeV	1247GeV
M_{squark}	1732GeV	1972GeV

PointCとDは、結構な割合でgluinoを経由してLSPへ崩壊していく。
 さらにgluinoはマヨラナ粒子のため、gluinoの崩壊で放出される l_+ と l_- の比は1:1である。

$M_{\text{gluino}} > M_{\text{squark}}$ の場合

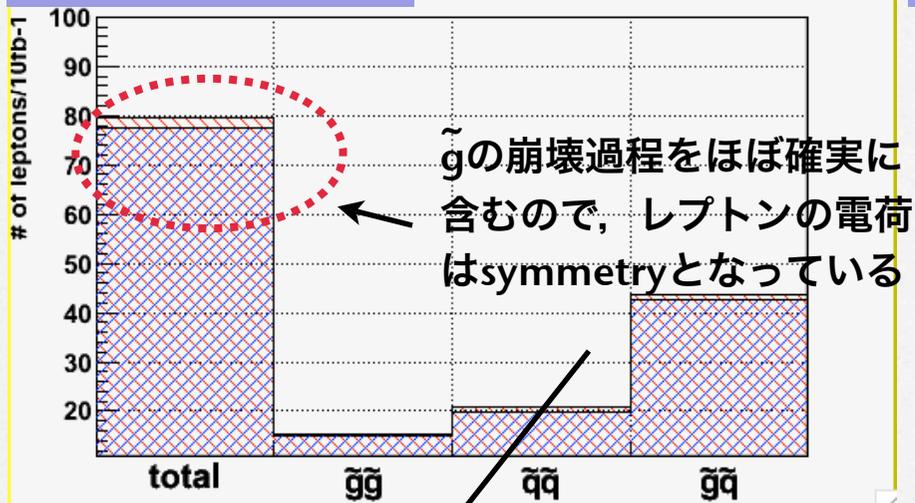
- 一方、縮退モデル($R=20, R=30$)の様にgluinoの方がsquarkより重い場合は、pp衝突によりsquarkが主に生成されてLSPへ崩壊していく。

\tilde{u}_L の方が \tilde{d}_L よりも多く生成されるので l_+ の方が l_- よりも多くなる傾向にある。

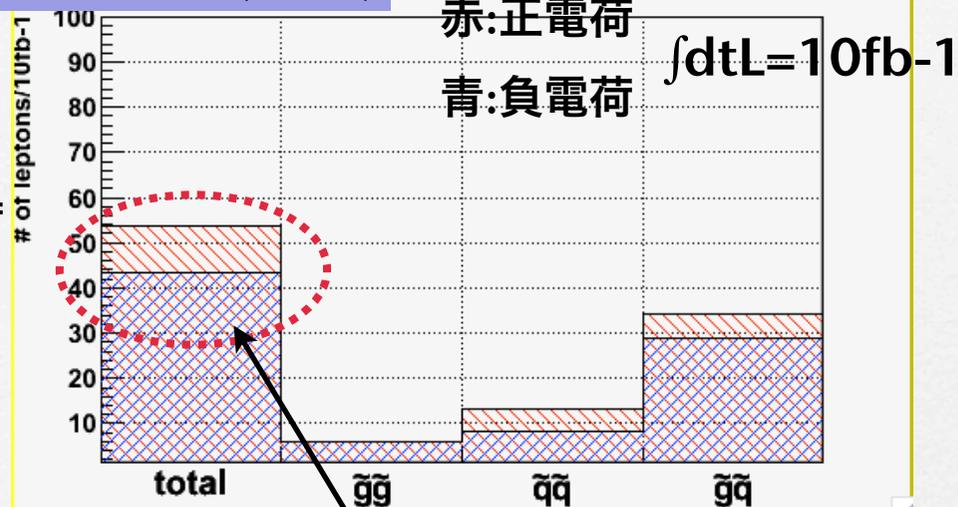
mSUGRA(PointC&PointD)と縮退モデル(R=20&R=30)の電荷分布

PointC vs R=20

PointC'(mSUGRA)

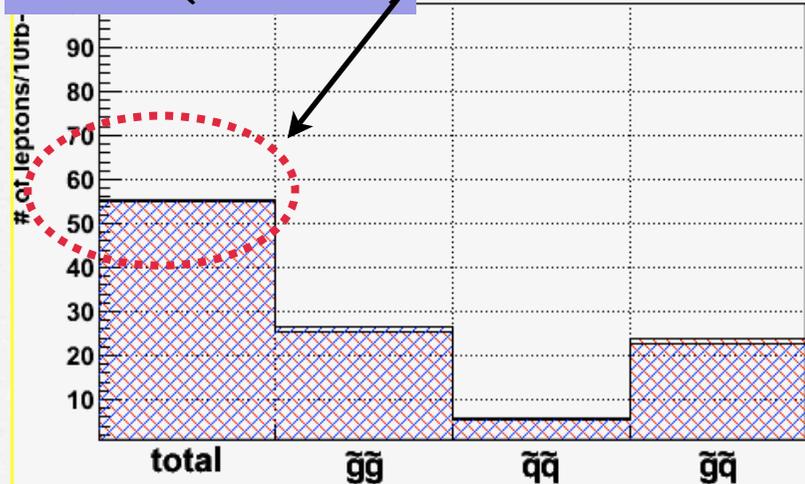


縮退モデル(R=20)

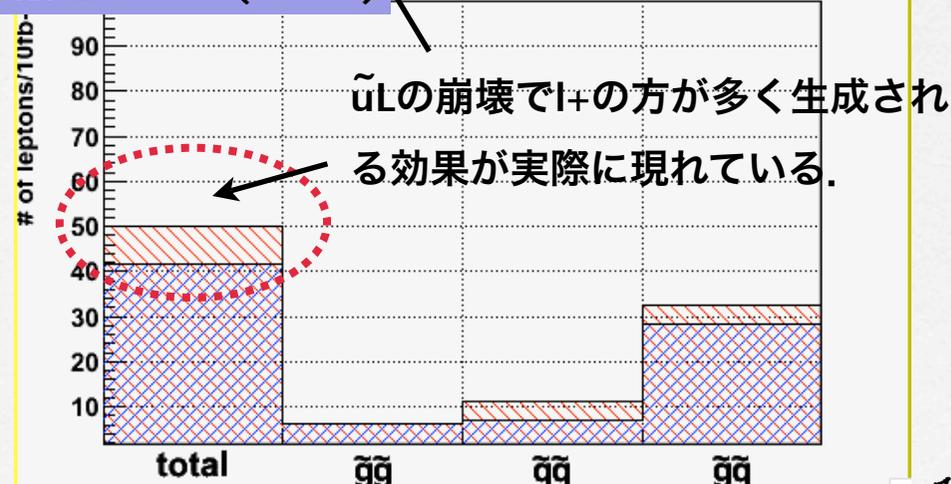


PointD vs R=30

PointD'(mSUGRA)



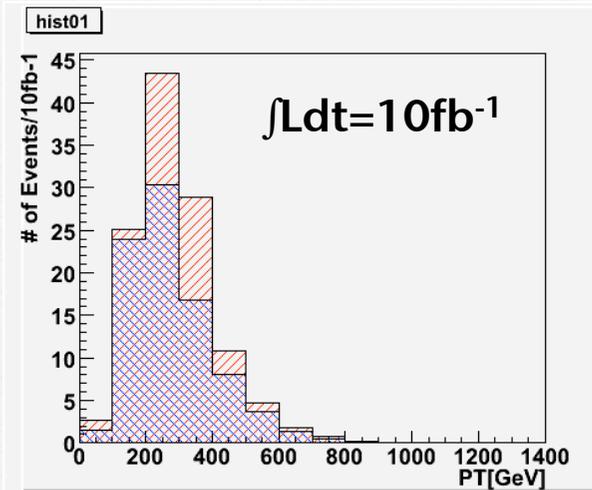
縮退モデル(R=30)



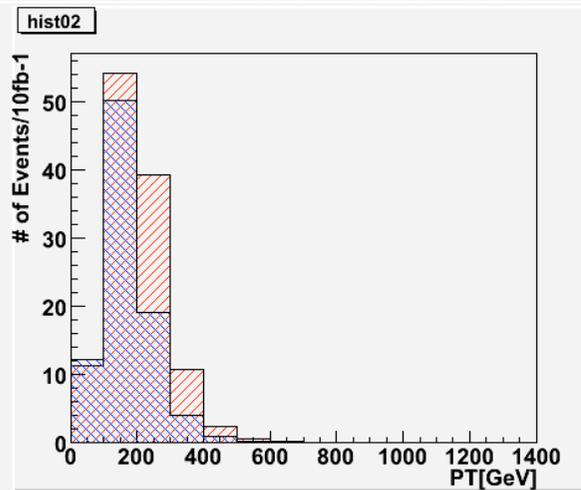
縮退モデル(R=20&R=30)とmSUGRA(PointC&PointD)の2nd~4th jetの横運動量分布

PointC vs R=20

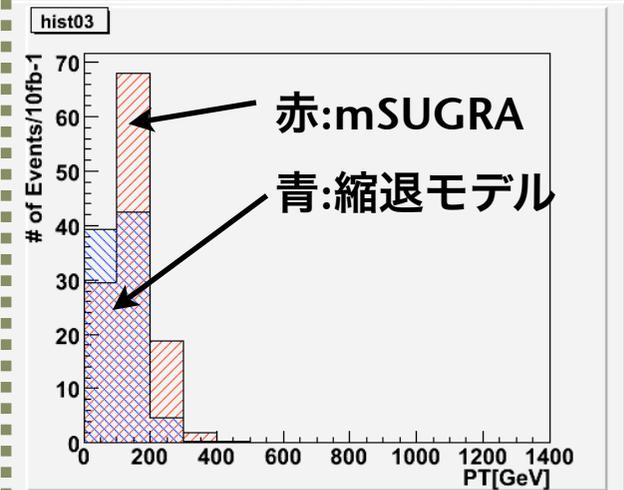
2nd Jet



3rd Jet



4th Jet



PointD vs R=30

