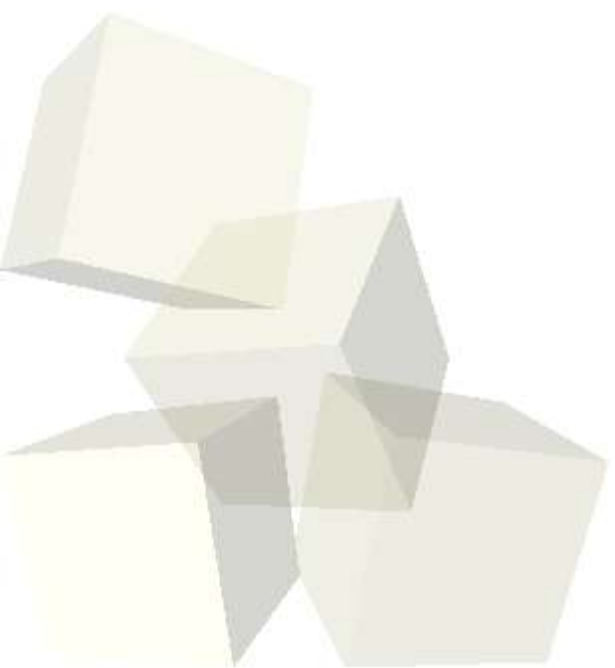




# SUSYにおける Colored sector と EW sector の コンシステンシのチェック



ICEPP M1  
佐々木貴之

- イン트로ダクション
- Colored sector
- EW sector
- ニューラルネット
- まとめと課題



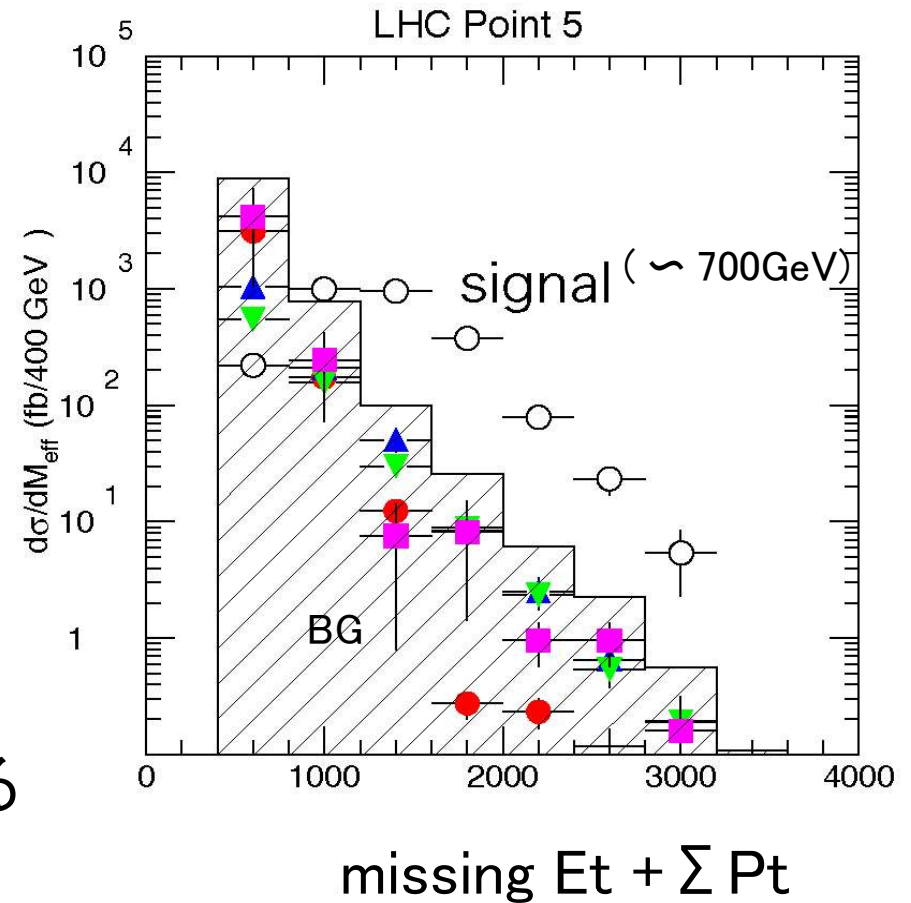
SUSY は  $L=1\text{fb}^{-1}$  で  
1.5TeV まで発見可能



SUSY があれば、すぐに発見



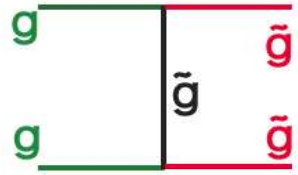
SUSY が mSugra かどうか確認する  
必要あり



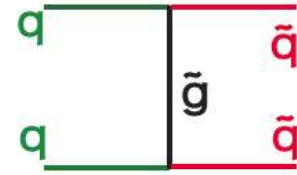


# LHC での SUSY の生成

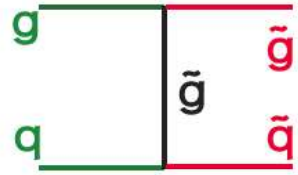
$\bar{g}\bar{g}$  prod.



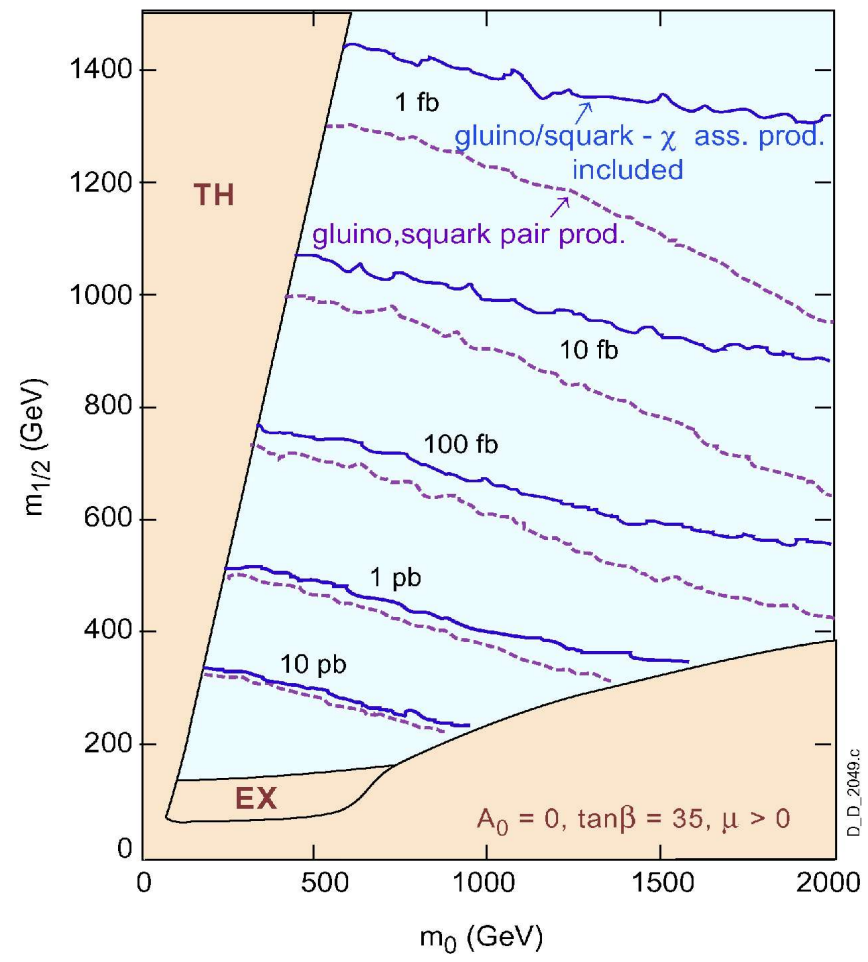
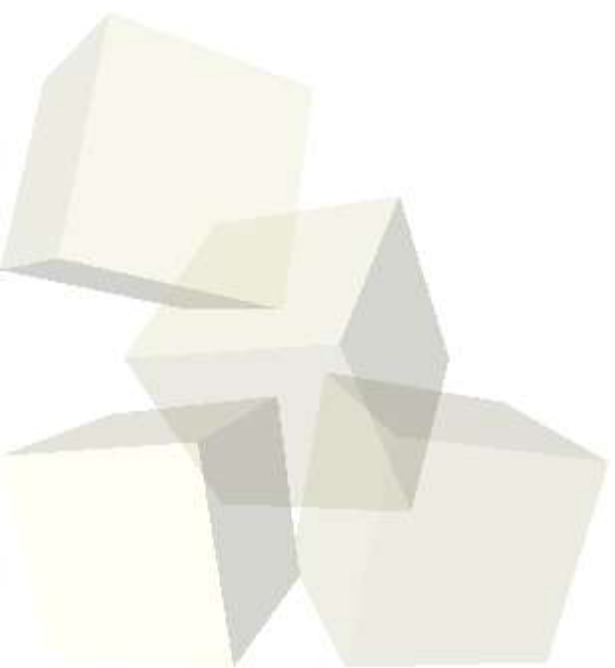
$\bar{q}\bar{q}$  prod.



$\bar{q}\bar{g}$  prod.

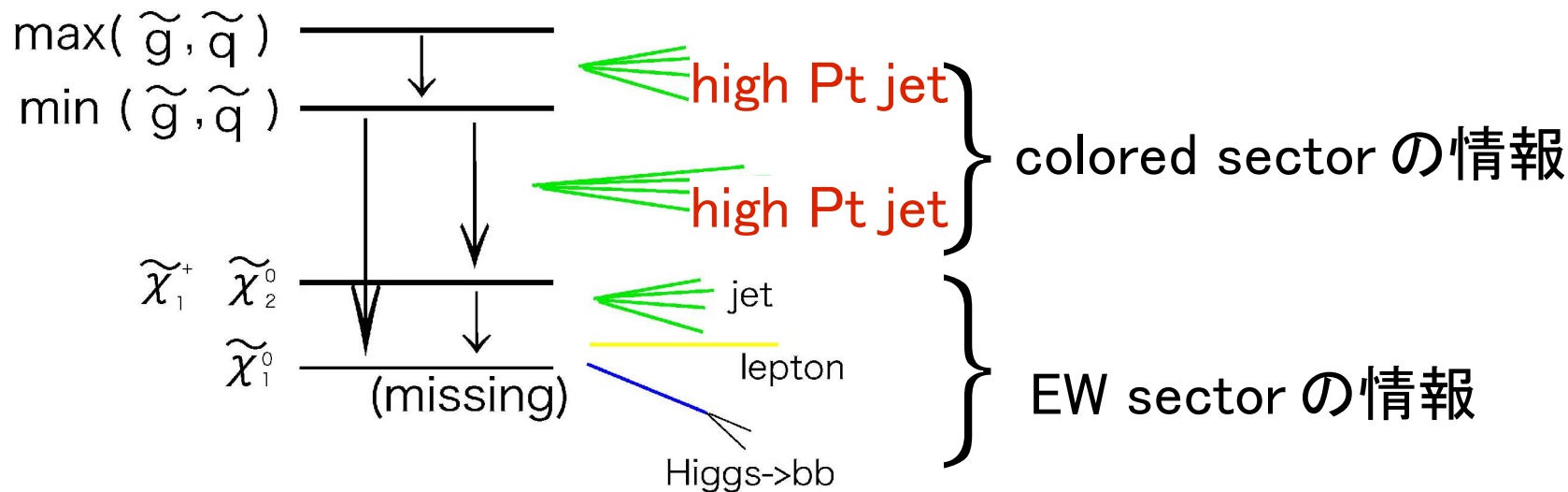


グルイーノやスクォークは強い相互作用によって作られ、そのクロスセクションは  $\tilde{g}$  や  $\tilde{q}$  の質量による





# SUSY が mSugra であることの確認

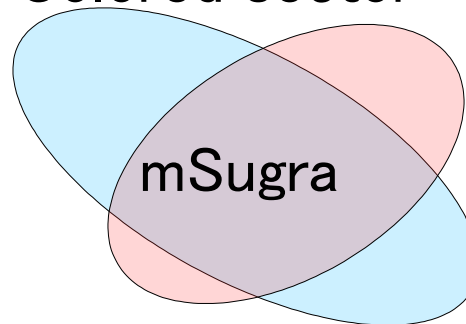


Colored sector EW sector の一致を見る

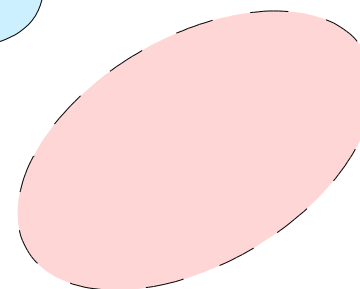
$m_{1/2}$

Colored sector

EW sector

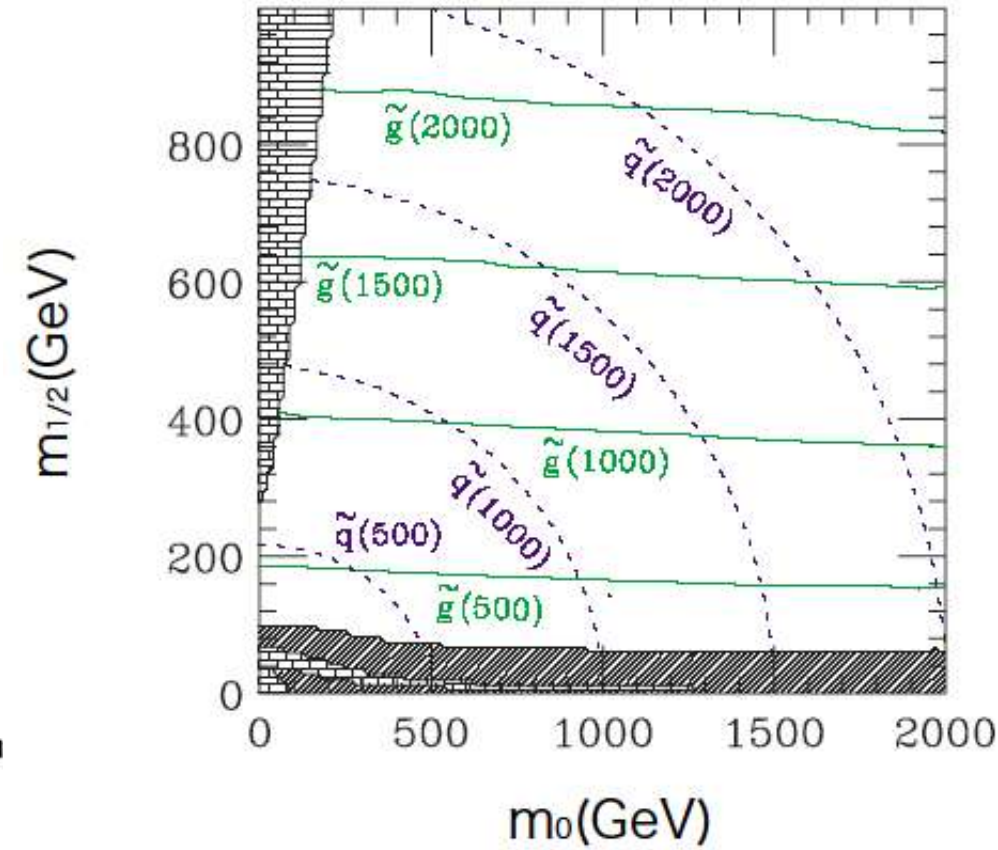
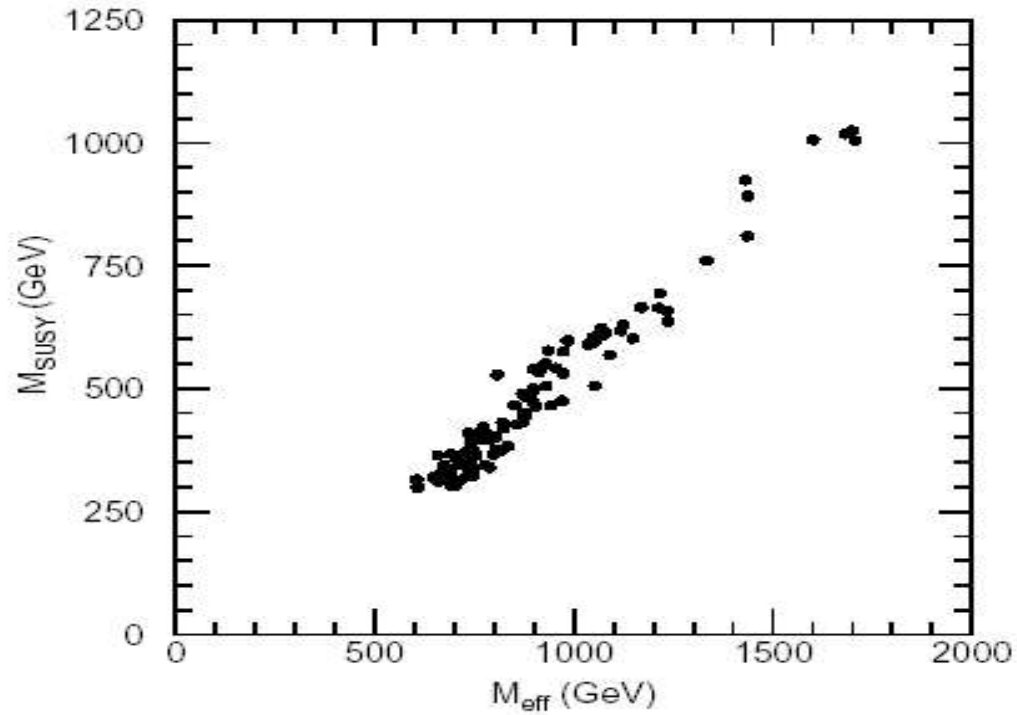


mSugra



一致しないとすれば、  
beyond mSugra か？

$m_0$



**Figure 20-5** Peak of  $M_{\text{eff}}$  distribution as a function of  $M_{\text{SUSY}} = \min(M_{\tilde{g}}, M_{\tilde{u}_R})$  for various models.

effective mass  $E t_{\text{miss}} + \sum P t$  は

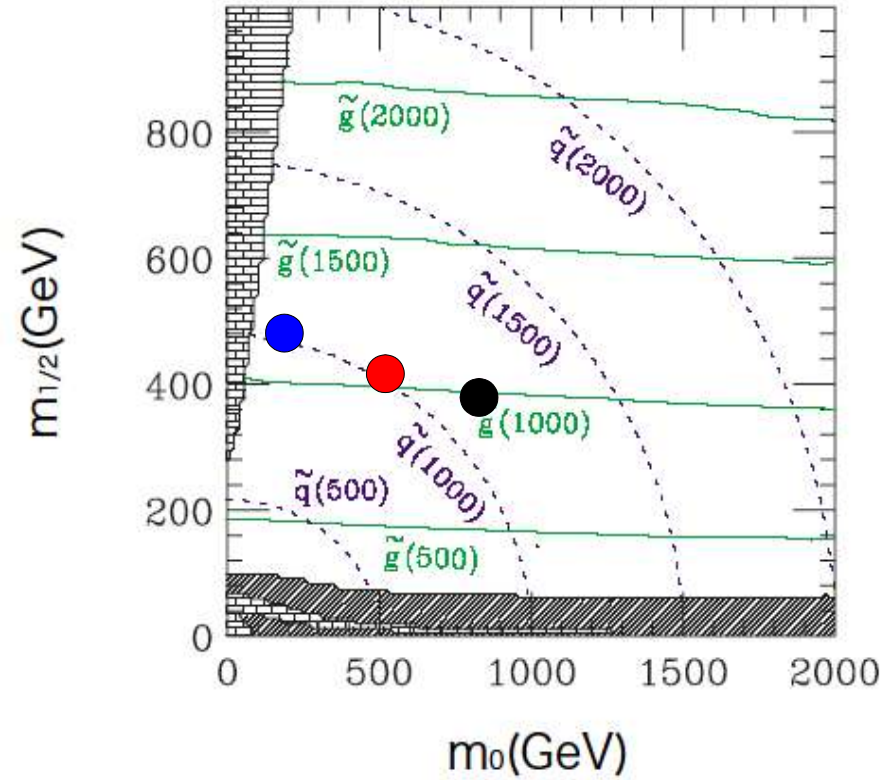
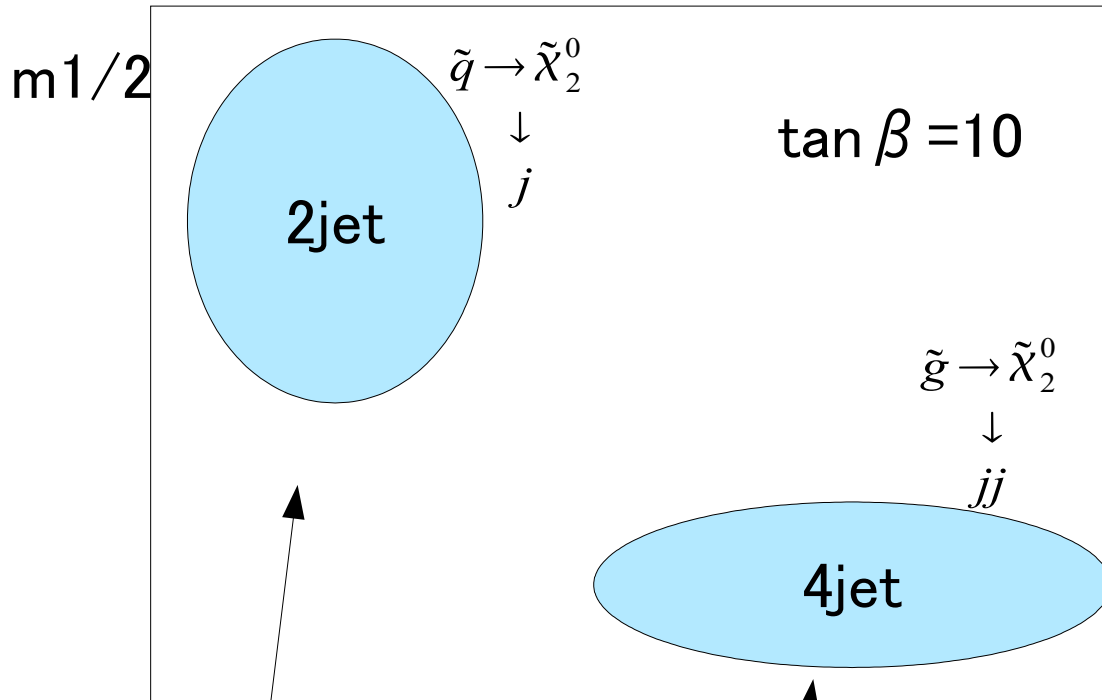
グルイーノの質量と右巻きアップクォークの質量の小さい方に比例する。



パラメータを  $m_0$ 、 $m_{1/2}$  平面の線上に絞り込める



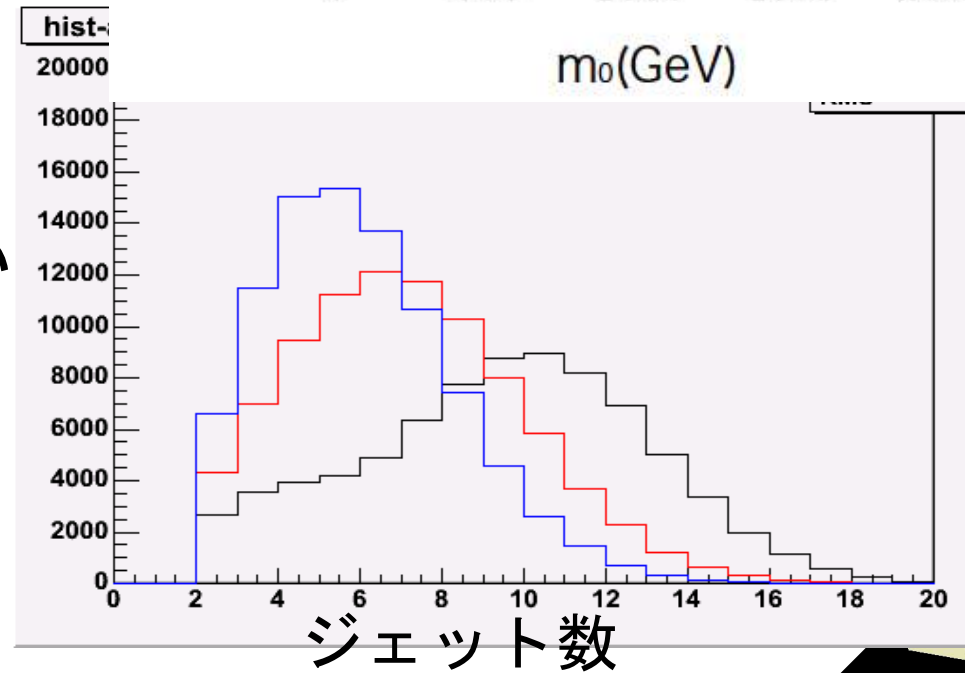
# ジェットの数

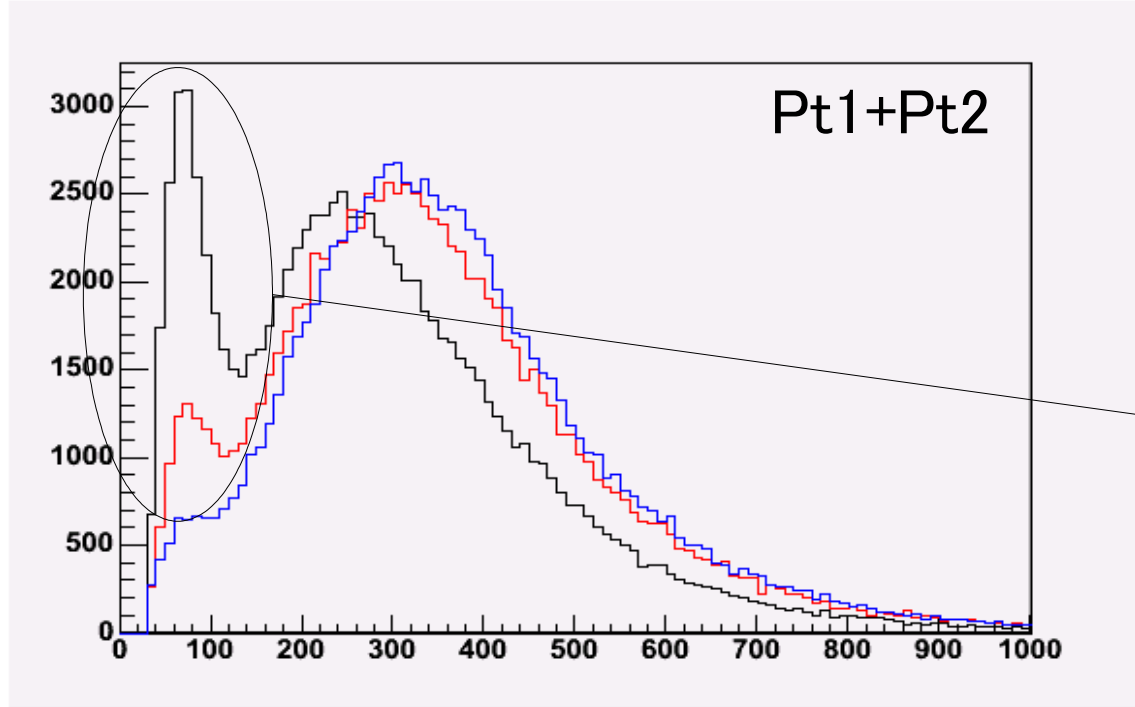


$\tilde{g}$  より  $\tilde{q}$  が軽い

$\tilde{q}$  より  $\tilde{g}$  が軽い

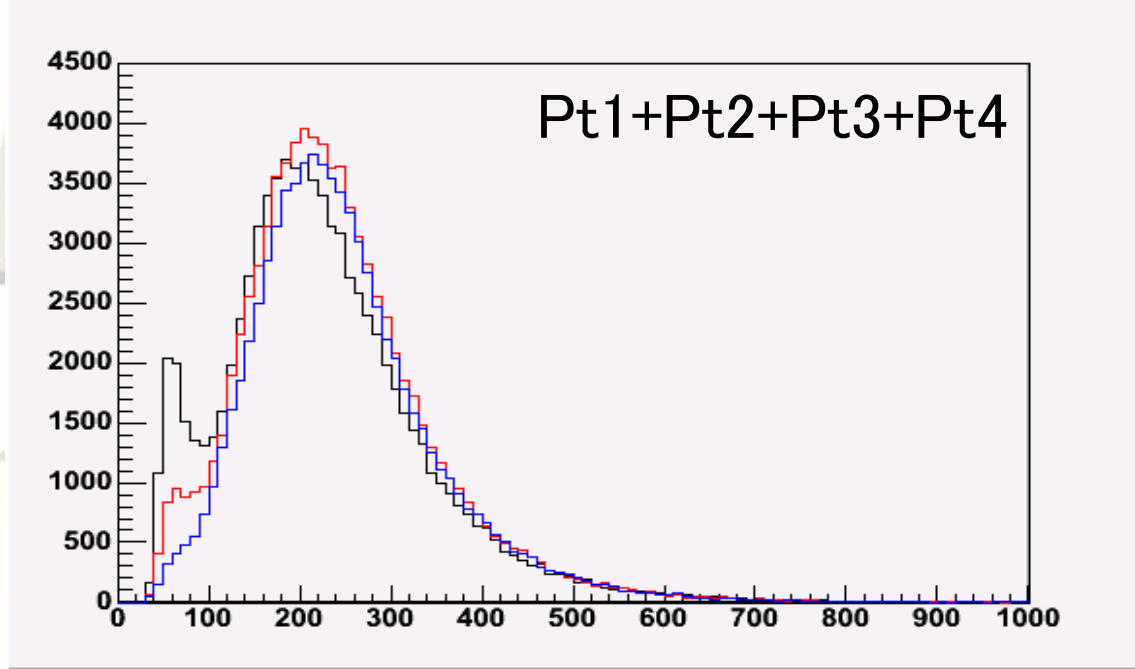
- パラメータ
  - $\tan \beta = 10$
  - $A = 0$
  - $\text{sign}(\mu) > 0$





Pt1+Pt2  
2jet の領域のほうが高い

$\tilde{\chi}_2^0 \tilde{\chi}_1^\mp$  の直接生成  
 $q \bar{q} \rightarrow \tilde{\chi}_2^0 \tilde{\chi}_1^\mp$



Pt4 まで足すと差  
が無くなる



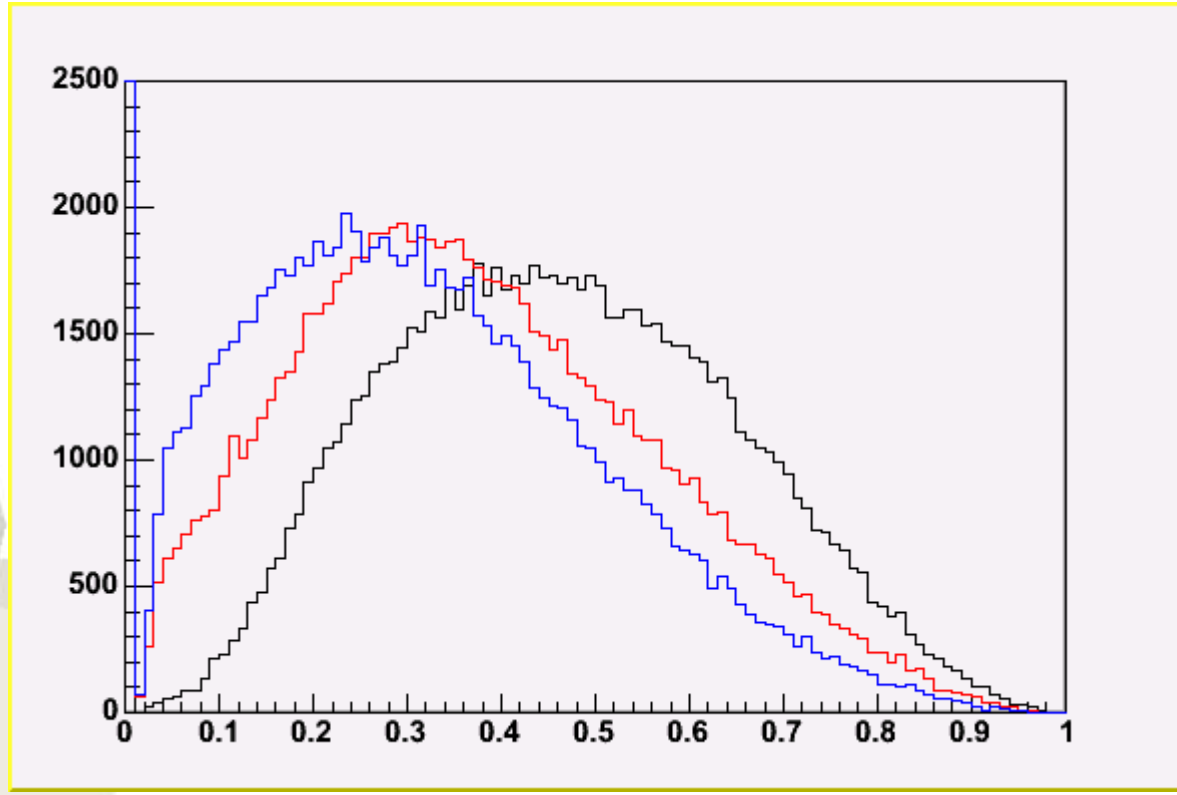
$M_{\text{eff}}$  に近づくから

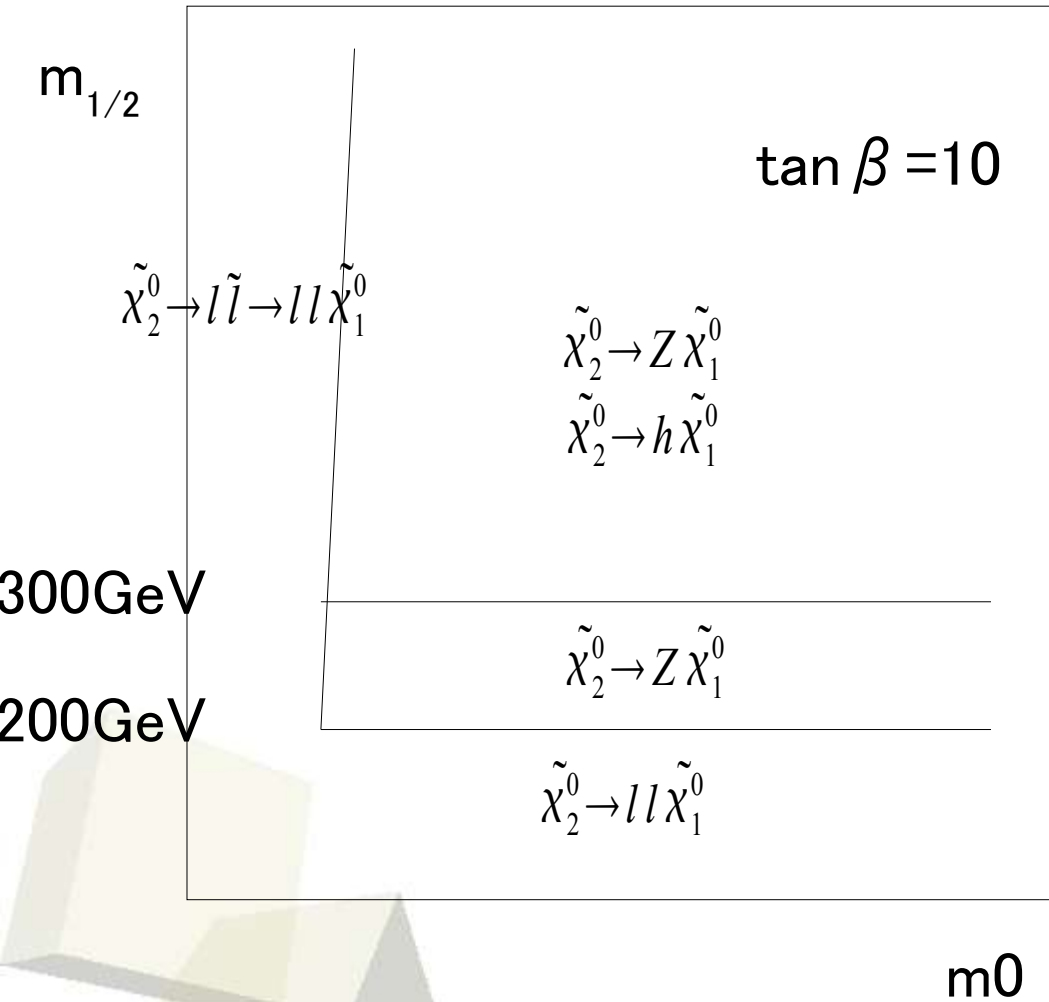




- 4jet 領域では  $\tilde{g} \rightarrow j\bar{j}\tilde{\chi}$  でジェットが出るので、4つのジェットの Pt はほぼ同じ
- 2jet 領域では  $\tilde{q} \rightarrow j\tilde{\chi}$  でジェットが出るので、3,4番目のジェットは EW からジェットや ISR など Pt が低い

$\frac{Pt3 + Pt4}{Pt1 + Pt2}$  は 4jet で 1 に近く、2jet で 0 に近い





$$M(\tilde{\chi}_2^0) = 0.8 M_{1/2}$$

$$M(\tilde{\chi}_1^0) = 0.4 M_{1/2}$$

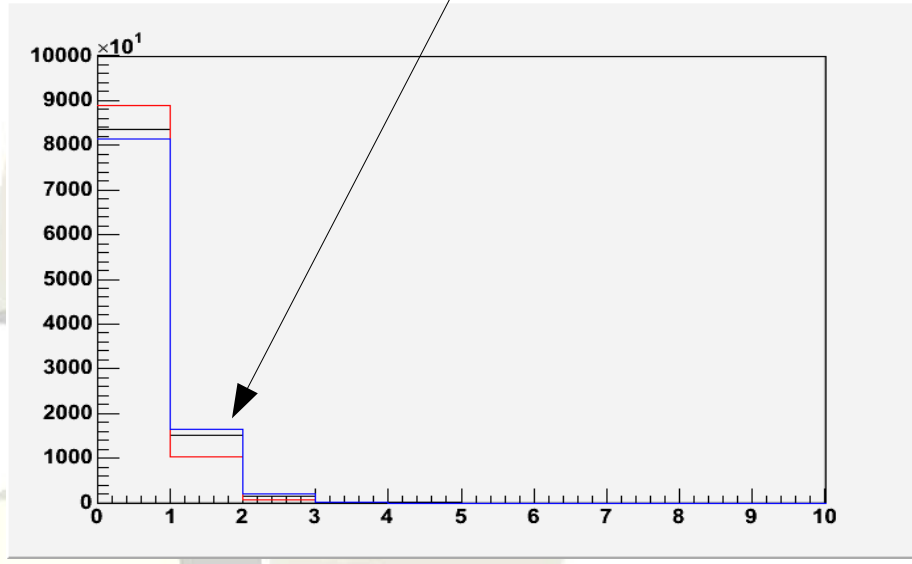
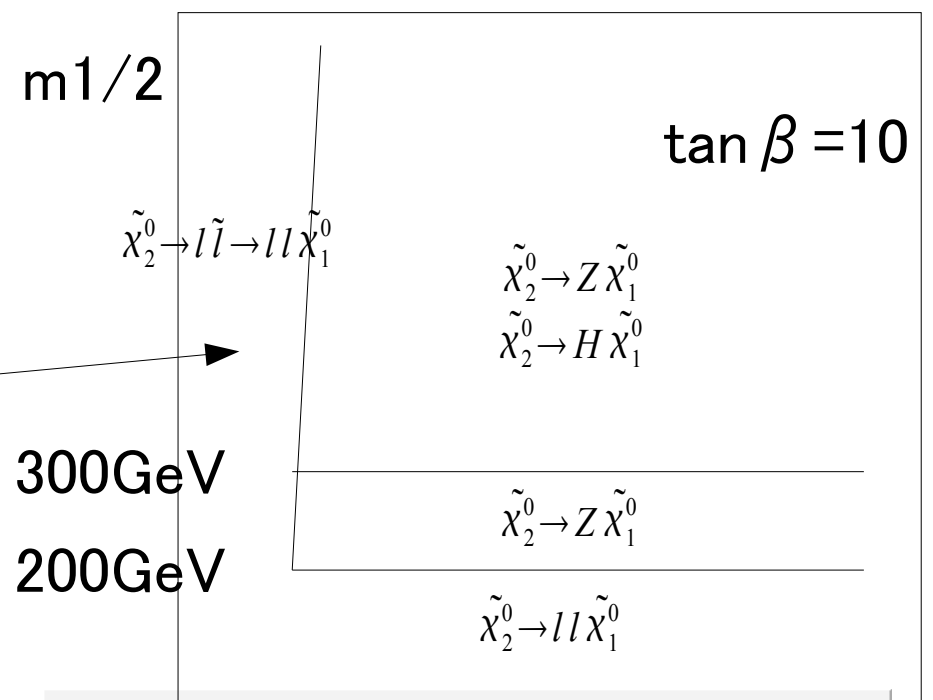
- $0.4M_{1/2} > M(h)$  ではヒッグスを出せる
- $0.4M_{1/2} > M(Z)$  では Z を出す
- $0.4M_{1/2} < M(Z)$  は 3body decay
- $\tilde{l}$  が  $\tilde{\chi}_2^0$  よりも軽くなると  $\tilde{l}$  を通して崩壊

Second lightest neutralino の崩壊モード

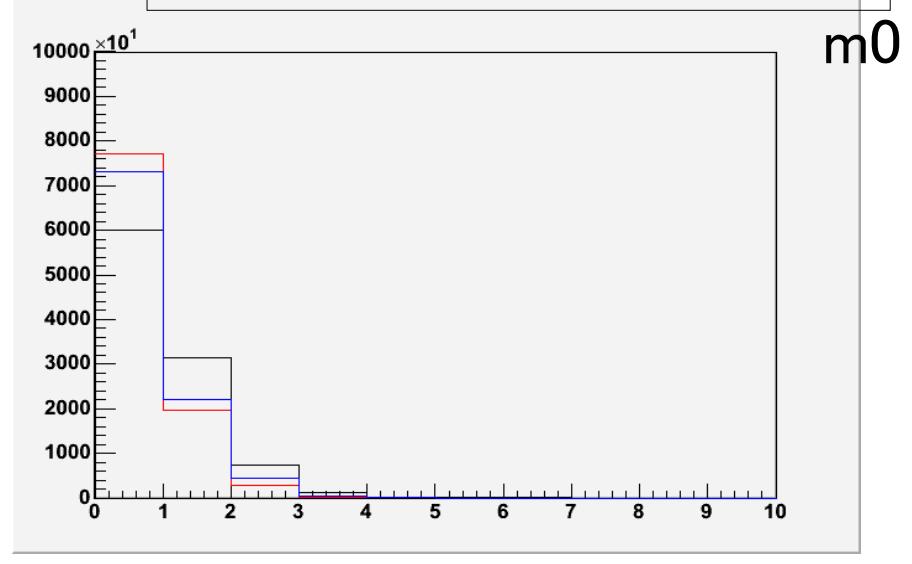


# レプトンの数

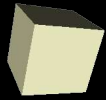
$\tan \beta = 10$  では  $\tilde{\tau}$  が軽いので  $m_0$  が小さい 2body decay 領域では  $\tilde{\tau}$  が多くなる



$\tau$  の数



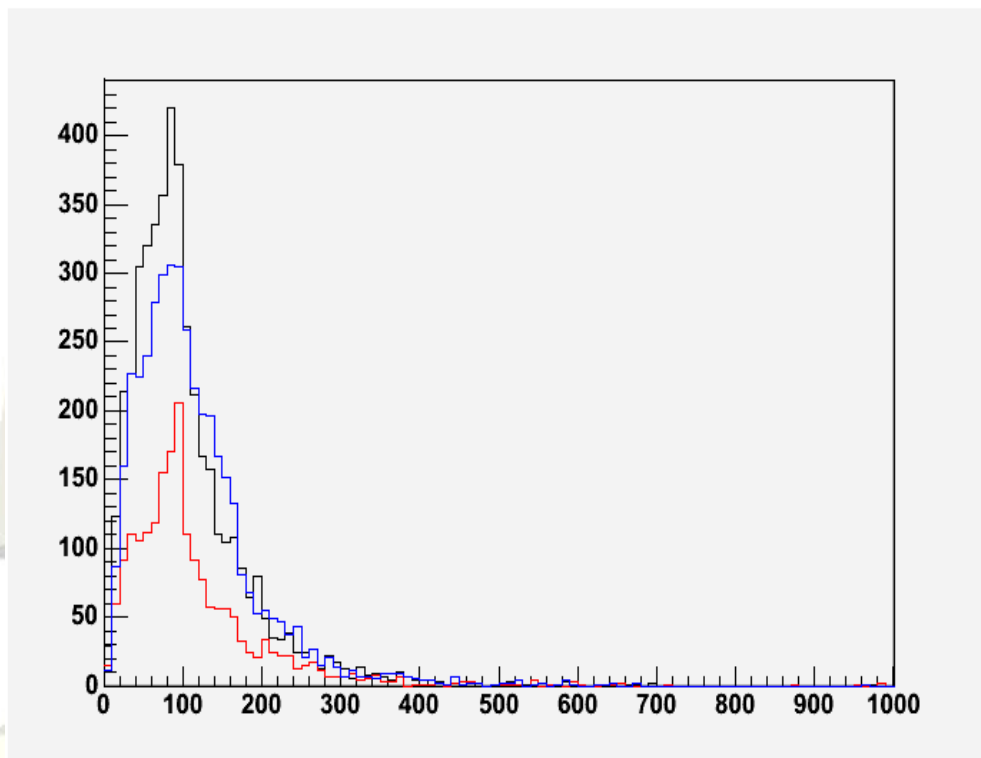
e の数 +  $\mu$  の数



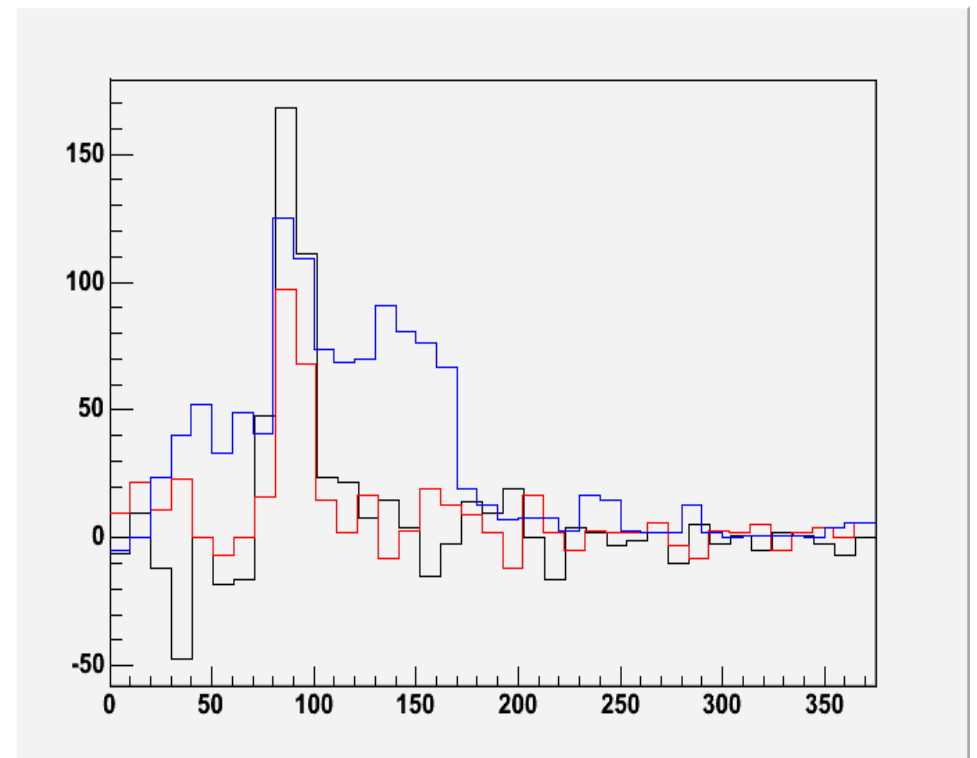
# 2レプトンをリコンストラクトした質量

Lepton を reconstruct した Mass は  
エッジまたは、Z のピークが見えるはず

間違った組み合わせや、Wからのレプトンのために、  
はっきりしたピークやエッジが出ない



reconstructed mass



subtracted mass  
( $ee^+ \mu \mu^- e \mu^+ \mu^-$ )

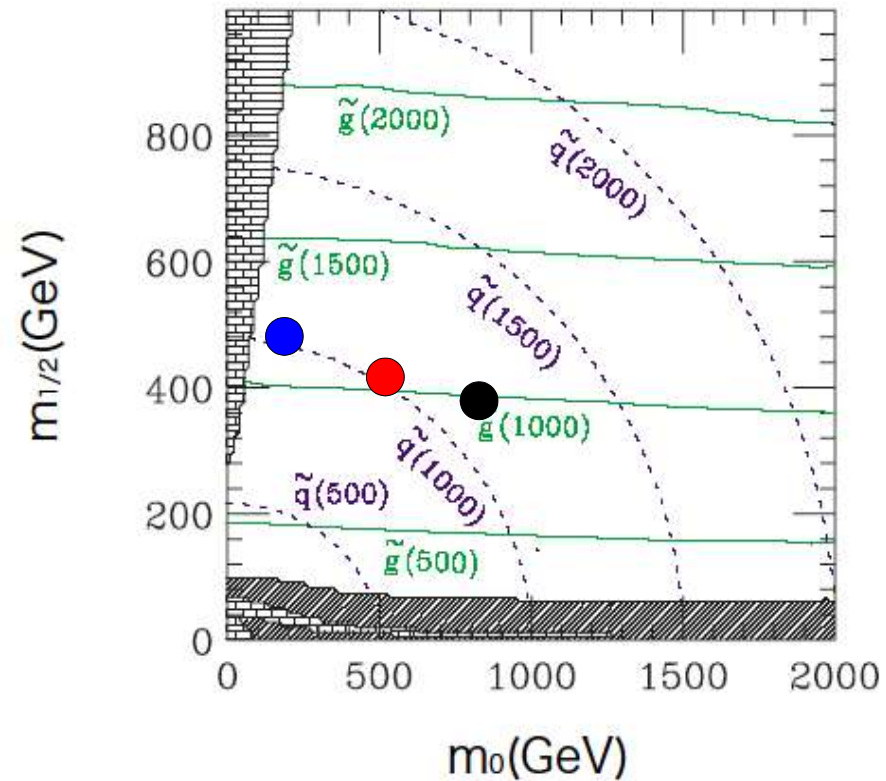
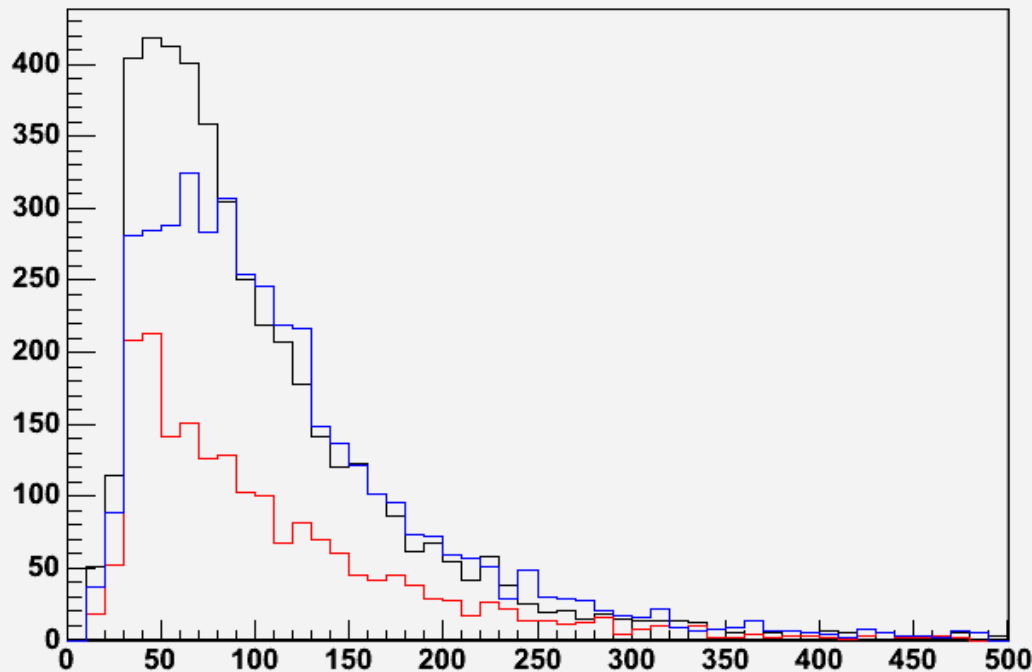


$$\tilde{\chi}_2^0 = 0.8 m_{1/2}$$

$$\tilde{\chi}_1^0 = 0.4 m_{1/2}$$

lepton の Pt は  $m_{1/2}$  にセンシティブ

$M_{\text{SUSY}} = 1\text{Tev}$  の線上では  
ほぼ差が出ない



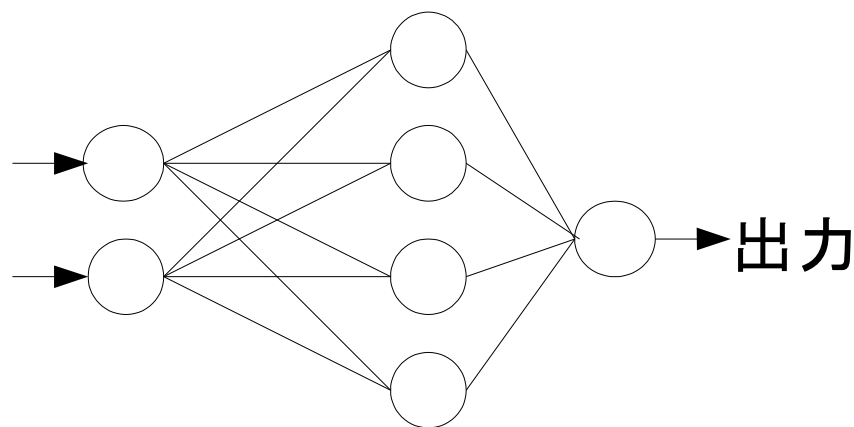


# メッシュスキャン & ニューラルネット

- $m_0, m_{1/2}$  平面でメッシュ状に解析する点を選び、MC データを作成
- colored sector または EW sector の情報をニューラルネット (JETNET) に入力
- 出力を確率と解釈し、出力の log の和をとる



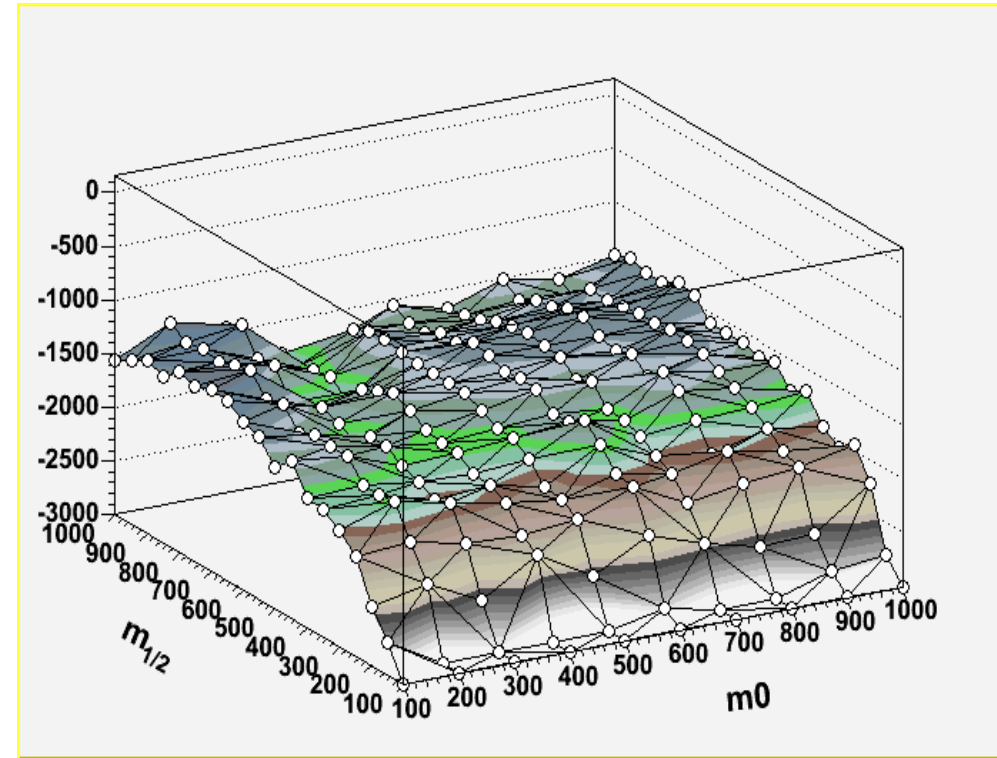
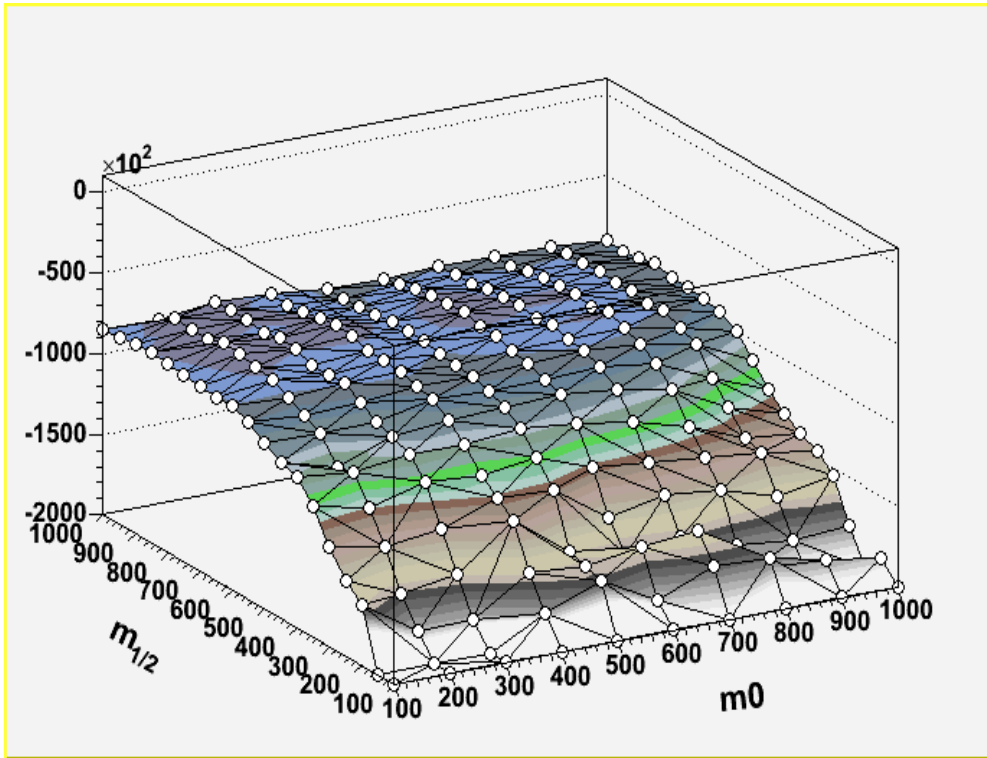
入力  
colored sector  
EW sector



入力層 中間層 出力層



# ニューラルネットの結果



colored sector

$m_0=200\text{GeV}$

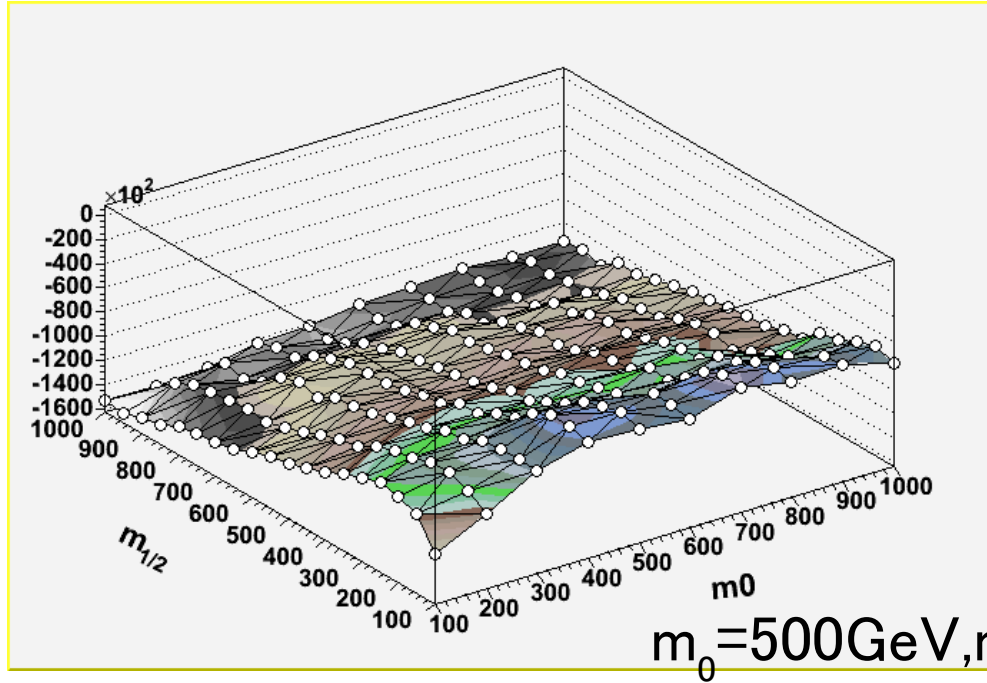
EW sector

$m_{1/2}=800\text{GeV}$

EW sector の情報を使った結果は、  
~l を通る崩壊モードの領域が高くなっている

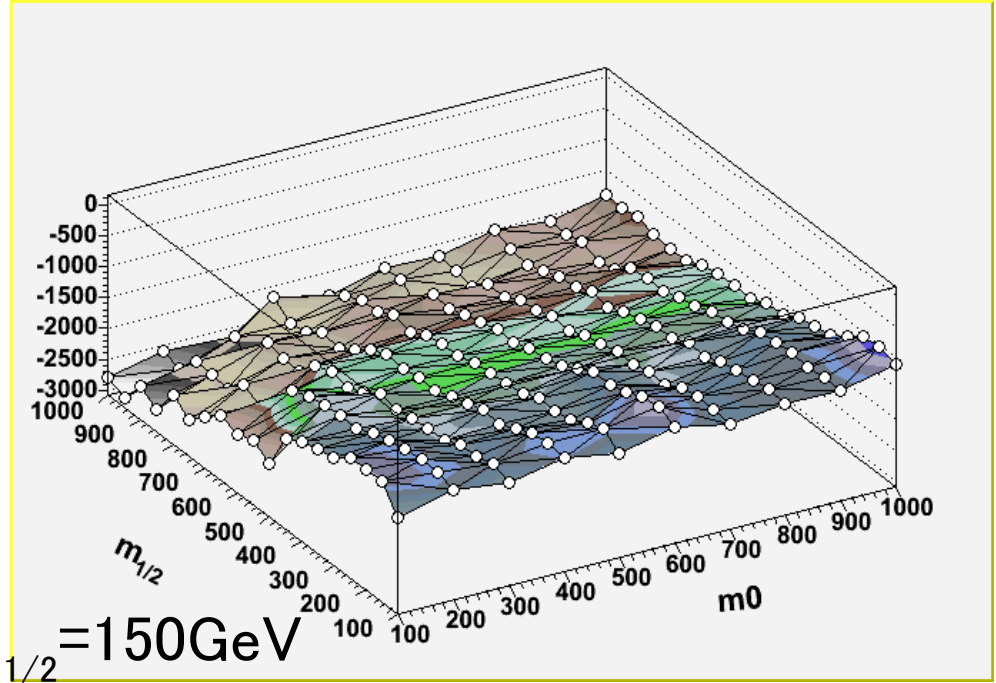


# ニューラルネットの結果2

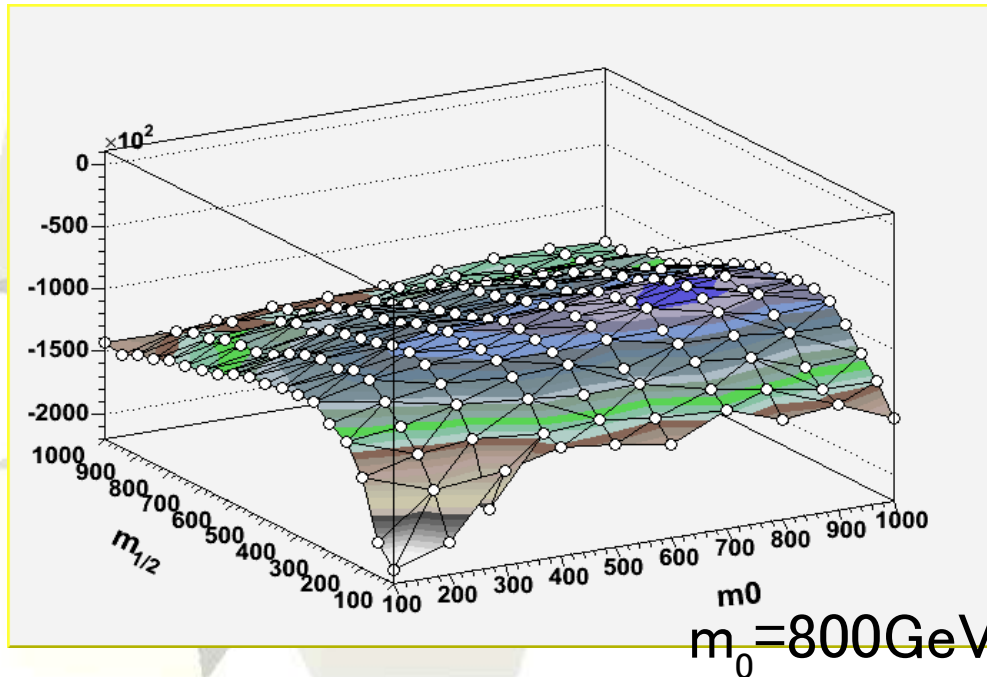


$m_0=500\text{GeV}, m_{1/2}=150\text{GeV}$

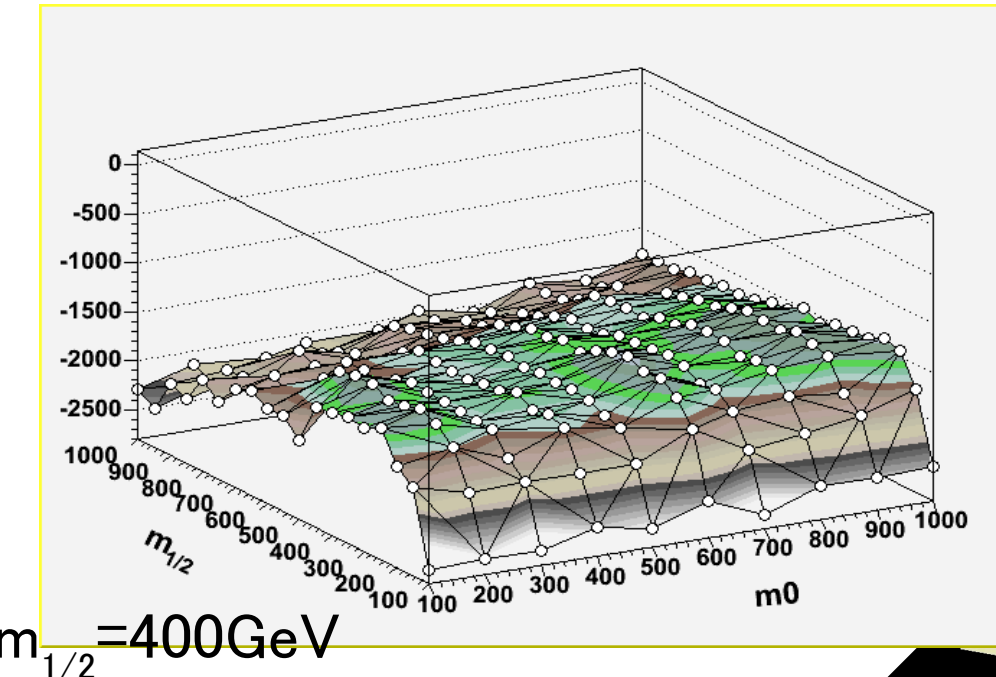
colored sector



ew sector



$m_0=800\text{GeV}, m_{1/2}=400\text{GeV}$





- SUSY のモデルの判定（発見）の研究開始
  - ◆ Colored sector と EW sector の一致
- EW sector で  $m_0$  を決定するのが難しい
  - ◆  $\tilde{\chi}_2, \tilde{\chi}_1$  の質量がほぼ  $m_{1/2}$  に比例するため
  - ◆ lepton 数と jet 数の比較など？
- 良いセパレータの研究
- バックグラウンドの評価

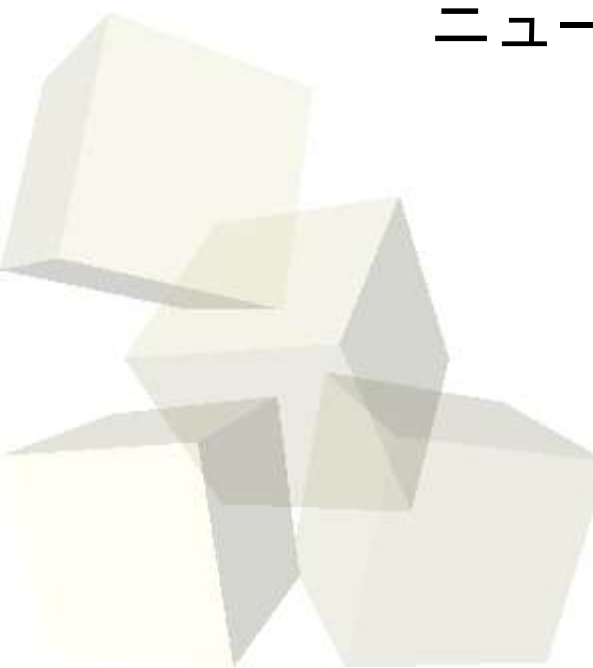
- General Cut
  - ◆ jet
    - $P_t > 30 \text{ GeV}$
    - $|\eta| < 2.0$
  - ◆ lepton(e,  $\mu$ )
    - $P_t > 10 \text{ GeV}$
    - $|\eta| < 2.5$
  - ◆ missing  $E_t > 100 \text{ GeV}$  ( SM のバックグラウンドを落とすため )
- Colored sector
  - ◆ at least 2jets
- EW sector
  - ◆ at least same flavor opposite charge 2leptons



ニューラルネットの出力は

$$o(x) = \frac{\frac{N_{teacher1}}{N_{teacher0} + N_{teacher1}} pdf_1(x)}{\frac{N_{teacher1}}{N_{teacher0} + N_{teacher1}} pdf_1(x) + \frac{N_{teacher0}}{N_{teacher0} + N_{teacher1}} pdf_0(x)}$$

各点のデータ数を同じにして学習させると、  
ニューラルネットの出力は pdf に比例



## その他の粒子の性質

Mass@EW      共通@GUT      Running effect  
 ↓                      ↓                      ↓  
 結合が強い程太る

$$m^2(\tilde{g}) = (2.8m_{1/2})^2$$

$$m^2(\tilde{u}_L) = m_0^2 + 6.28m_{1/2}^2 + 0.35D$$

$$m^2(\tilde{u}_R) = m_0^2 + 5.87m_{1/2}^2 + 0.16D$$

$$m^2(\tilde{d}_L) = m_0^2 + 6.28m_{1/2}^2 - 0.42D$$

$$m^2(\tilde{d}_R) = m_0^2 + 5.82m_{1/2}^2 - 0.08D$$

$$m^2(\tilde{e}_L) = m_0^2 + 0.52m_{1/2}^2 - 0.27D$$

$$m^2(\tilde{e}_R) = m_0^2 + 0.15m_{1/2}^2 - 0.23D$$

$$m^2(\tilde{\nu}_L) = m_0^2 + 0.52m_{1/2}^2 + 0.50D$$

$(D = M_Z^2 \cos 2\beta < 0 \text{ (Higgs)})$

LとR：SU(2)に対する電荷を持っているか否かでfermionも2つに分類される。それ以外の量子数は同じ。

- SU(3)：強い力 一番太る
- SU(2)：少し太る L>R

• Coloured particles  $(\tilde{g}, \tilde{q})$  は重い

• この関係式は(1),(2)に共通(3)に対しては、 $m_{1/2}$ の係数が予言出来なくなる

• 第3世代の  $\tilde{f}$  は軽い。(Yukawa+LR mixingの効果)

DMとの関係では  $\tau$  が大切

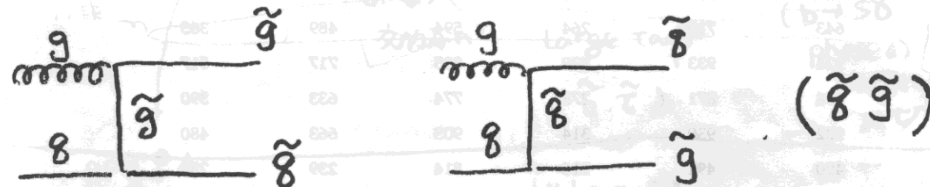
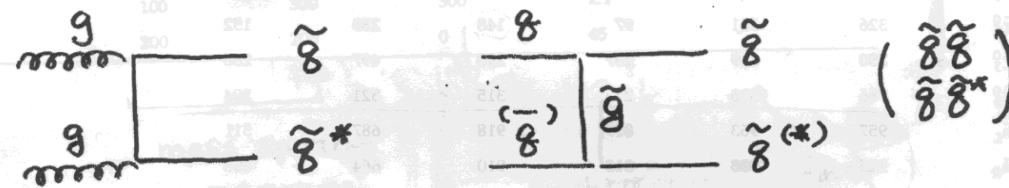
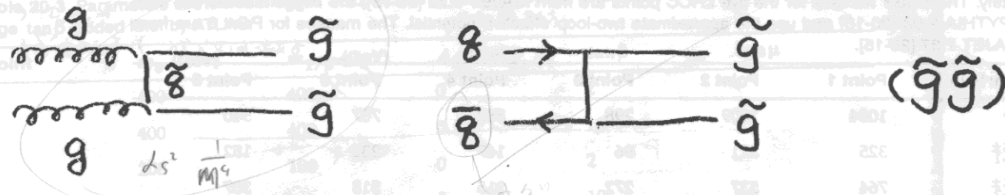
$$m^2(\tilde{\tau}) = \begin{bmatrix} m_0^2 + 0.52m_{1/2}^2 + m_\tau^2 - 0.27D & -m_\tau(A_\tau + \mu \tan \beta) \\ -m_\tau(A_\tau + \mu \tan \beta) & m_0^2 + 0.15m_{1/2}^2 + m_\tau^2 - 0.23D \end{bmatrix}$$

$\tan \beta$  が大きいと、 $\tau$  が大切 9

この場合、質量は tree level

## [2] Coloured Particles

[2-1]  $\tilde{g}, \tilde{8}$  の生成について. (Model 度  $\Delta$ )



•  $\tilde{8}$  と  $\tilde{g}$  の mass を与えれば

$\sigma$  は決まってしまう. (Model 度  $\Delta$ )

•  $g, 8$  供給源が Proton

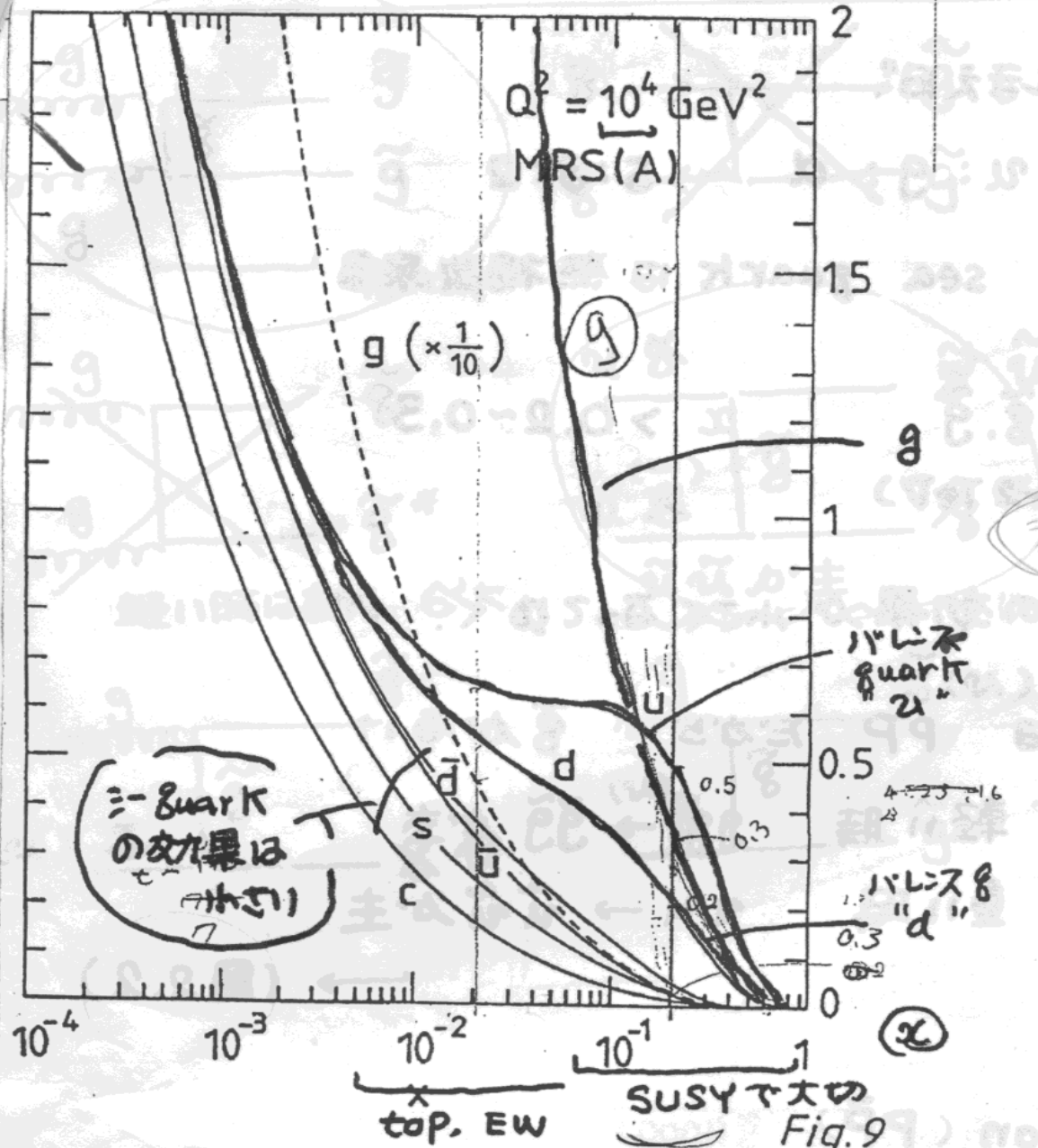
(図 2.1)  
 $0 (0.1 \sim 1)$

(PDF!!)

$$\sqrt{\hat{S}} = \alpha_1 \alpha_2 \sqrt{S}$$

a few TeV                      14 TeV

Proton の PDF high  $Q^2$



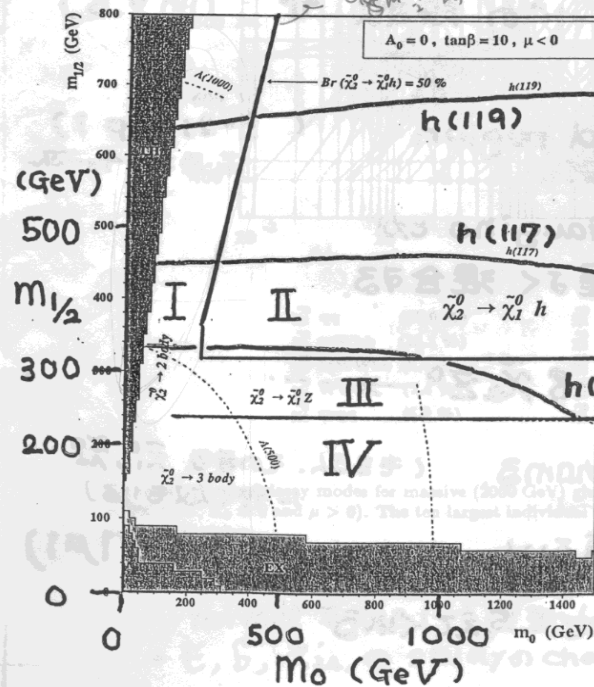
## [2] Decay of $\tilde{g}$ and $\tilde{g}$ mが大きいと、 $\tilde{g}$ は崩壊しなくなる

	$m_{\tilde{g}} > m_{\tilde{g}}$	$m_{\tilde{g}} \sim m_{\tilde{g}}$	$m_{\tilde{g}} < m_{\tilde{g}}$
$\tilde{g}$	$\tilde{g} \rightarrow \begin{cases} g \bar{\chi}_1^0 (\sim 1) \\ g \bar{\chi}_2^0 (\sim 2) \\ g \bar{\chi}_1^\pm (\sim 4) \end{cases}$		$\tilde{g} \rightarrow g \tilde{g}$
$\tilde{g}_R$	$\tilde{g}_R \rightarrow g \tilde{g}$	$\tilde{g}_R \rightarrow g \tilde{\chi}_1^0$	
$\tilde{g}_L$	$\tilde{g}_L \rightarrow g \tilde{g}$	$\tilde{g}_L \rightarrow \begin{cases} g \tilde{\chi}_2^0 (\sim 1) \\ g \tilde{\chi}_1^\pm (\sim 2) \end{cases}$	

## [3] Decay of $\tilde{\chi}_2^0$ and $\tilde{\chi}_1^\pm$

- (I)  $\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow \tilde{\ell} \ell$  (2-body decay chain,  $m_{\tilde{\ell}} < m_{\tilde{\chi}_2^0}$ )  
 $m^2 + 0.15 m_{1/2}$   
 $\hookrightarrow \ell \tilde{\chi}_1^0$  (Rem)  $\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow \tilde{\tau}_1 \tau$  ( $\tan\beta \gg 1$ )  
 $0.8 m_{1/2}$
- (II)  $\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow h \tilde{\chi}_1^0$  (2-body,  $m_{\tilde{\chi}_2^0} - m_{\tilde{\chi}_1^0} > m_h$ )  
 $0.4 m_{1/2}$
- (III)  $\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow Z \tilde{\chi}_1^0$  (2-body,  $m_h > \Delta m > m_Z$ )  
 $0.4 m_{1/2}$
- (IV)  $\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow f \bar{f} \tilde{\chi}_1^0$  (3-body)  
 $0.8 m_{1/2}$  (Rem)  $\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow \tau \bar{\tau} \tilde{\chi}_1^0$  ( $\tan\beta \gg 1$ )  
 $0.4 m_{1/2}$

### Dominant Decay mode



$$\tilde{\chi}_1^\pm \rightarrow$$

- (~I)  $\tilde{\ell}_R \nu$
  - $\tilde{\tau}_1 \nu$  ( $\tan\beta \gg 1$ )
  - (~II+III)  $W \tilde{\chi}_1^0$
  - (~IV)  $f \bar{f} \tilde{\chi}_1^0$
  - $\tau \nu \tilde{\chi}_1^0$  ( $\tan\beta \gg 1$ )
- (3 body decay)

