

# LHCで期待されるSUSY事象 のイベントトポロジー (イントロもかねて)

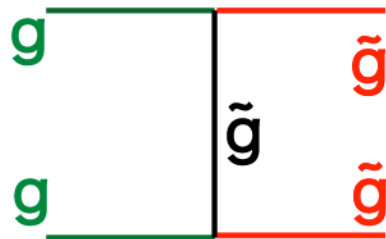
1. 生成過程
2. 崩壊過程
3. イベントトポロジー

# 1 SUSY粒子の生成過程

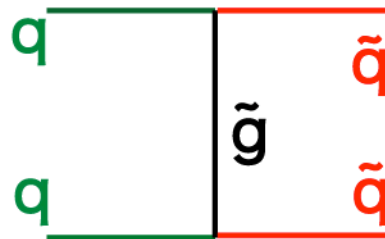
陽子は、クォークとグルオンで構成されている。クォークとグルオンからt-channelで

$(\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g}\tilde{q}, \tilde{q}\tilde{q})$  が、主要な生成過程である。

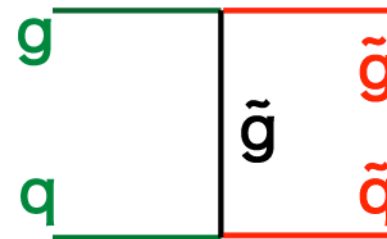
$\tilde{g}\tilde{g}$ 対生成



$\tilde{q}\tilde{q}$ 対生成



$\tilde{q}\tilde{g}$ 随伴生成



・大きな生成断面積  
 ・ただの強い相互作用:  
 mass以外は SUSY parameter  
 に強く依存しない。

(1) gluinoのcross-section は steep

(2) su, sdは比較的緩やか：他のflavourや反squarkは、gluino-like (PDF)

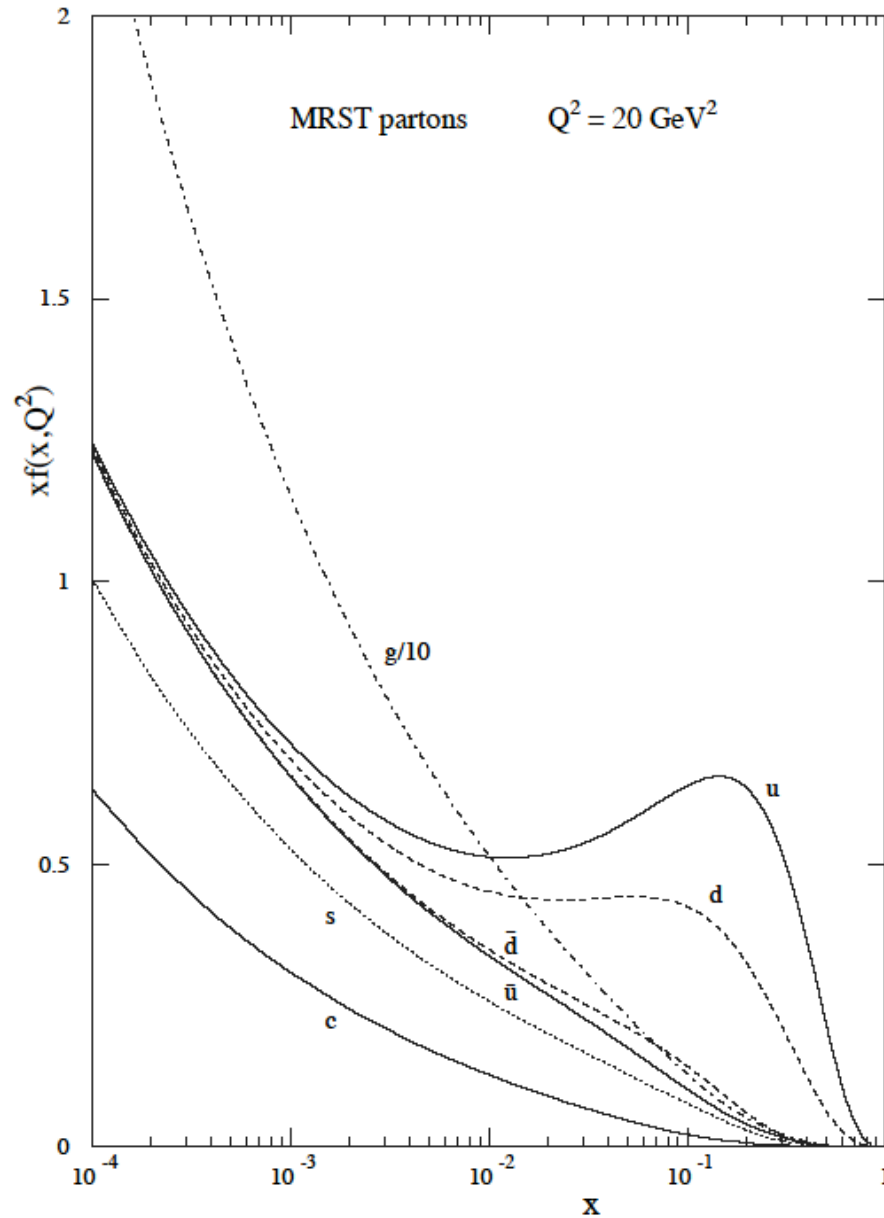


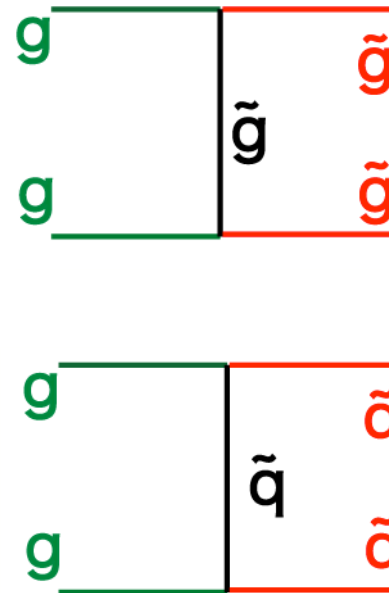
Fig. 3. MRST partons at  $Q^2 = 20 \text{ GeV}^2$

$$\sqrt{s(\text{eff})} = \sqrt{x_1 x_2} 14 \text{ TeV}$$

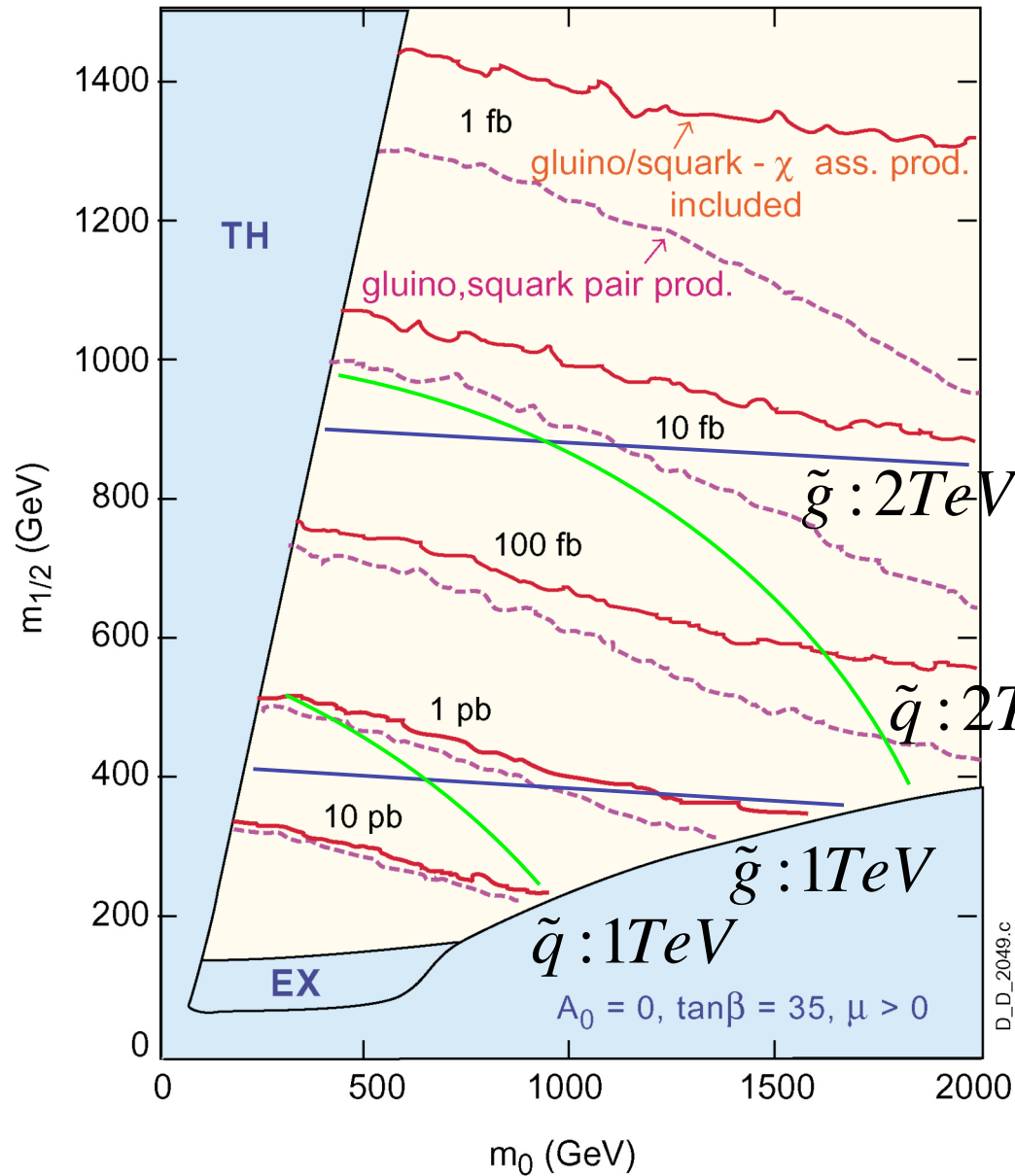
$$\langle x \rangle = 0.3 \quad \text{Mass} = 2 \text{ TeV}$$

重いと u,d(valence)

少しでも軽くなると、gluonが効いてきて、



# $(\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g}\tilde{q}, \tilde{q}\tilde{q})$ 生成断面積 at LHC



$m(\tilde{q}) = m(\tilde{g}) = 0.5\text{TeV}$	$\sigma \sim 100\text{pb}$ $\tilde{g}\tilde{g}$ が main
$m(\tilde{q}) = m(\tilde{g}) = 1\text{TeV}$	$\sigma \sim 3\text{pb}$
$m(\tilde{q}) = m(\tilde{g}) = 2\text{TeV}$	$\sigma \sim 20\text{fb}$ $\tilde{u}\tilde{u}, \tilde{u}\tilde{d}$ が main

L が  $0.1\text{-}1\text{fb}^{-1}$  なので、  
300-3000個 (1TeV)

mSUGRAだと

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

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

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

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

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

mSUGRA

$$m(\tilde{g}) = 2.6m_{1/2}$$

$$m(\tilde{q}) = \sqrt{m_0^2 + \sim 6m_{1/2}^2}$$

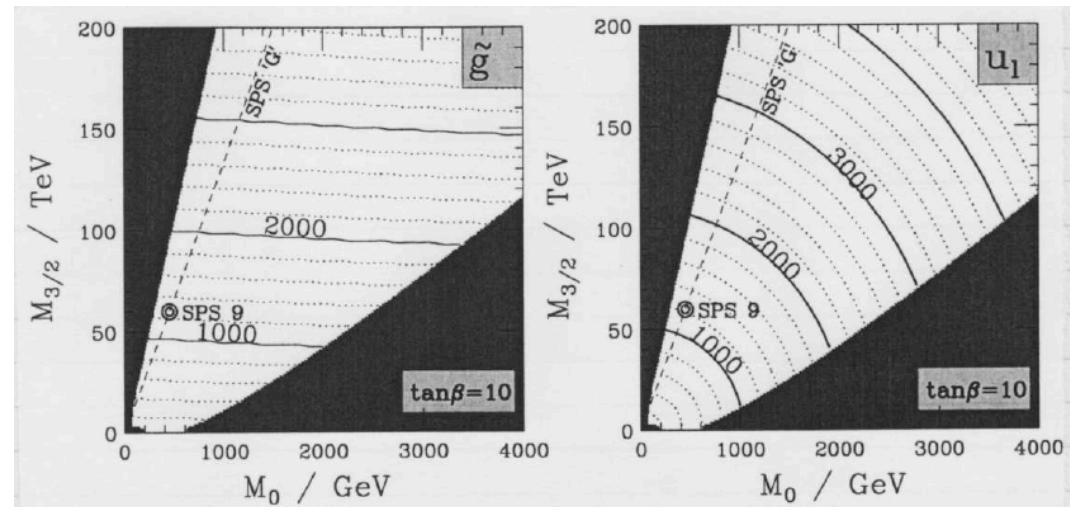
$$m(\tilde{q}) \gtrsim m(\tilde{g})$$

m0が小さいと少しだけ軽い。  
無茶苦茶軽い squarkはない

AMSB

mSugraと同じような関係

m0が小さいと  
少しだけ軽い



GMSB

$$m(q) = \sqrt{\frac{\sim 2}{Nm}} m(g)$$

Nm >> 1だと軽いsquarkが出る。

sfermion mass  $\sqrt{Nm}$  に比例、gaugino mass Nm

## 2. 崩壊過程

$\tilde{g}, \tilde{q}$  の decay table

	$m(\tilde{g}) < m(\tilde{q})$	$m(\tilde{g}) \approx m(\tilde{q})$	$m(\tilde{g}) > m(\tilde{q})$
$\tilde{g}$	$q\bar{q}\tilde{B}^0 (\approx 1)$ $\tilde{g} \rightarrow q\bar{q}\tilde{W}^0 (\approx 2)$ $q\bar{q}\tilde{W}^\pm (\approx 4)$		$\tilde{g} \rightarrow q\tilde{q}$
			$\tilde{g} \rightarrow t\tilde{t}_1$ $b\tilde{b}_1$
$\tilde{q}_L$	$\tilde{q}_L \rightarrow q\tilde{g}$		$\tilde{q}_L \rightarrow q\tilde{W}^0 (\approx 1)$ $q\tilde{W}^\pm (\approx 2)$
$\tilde{q}_R$	$\tilde{q}_R \rightarrow q\tilde{g}$		$\tilde{q}_R \rightarrow q\tilde{B}^0$

# $\tilde{g}, \tilde{q}$ のdecay table

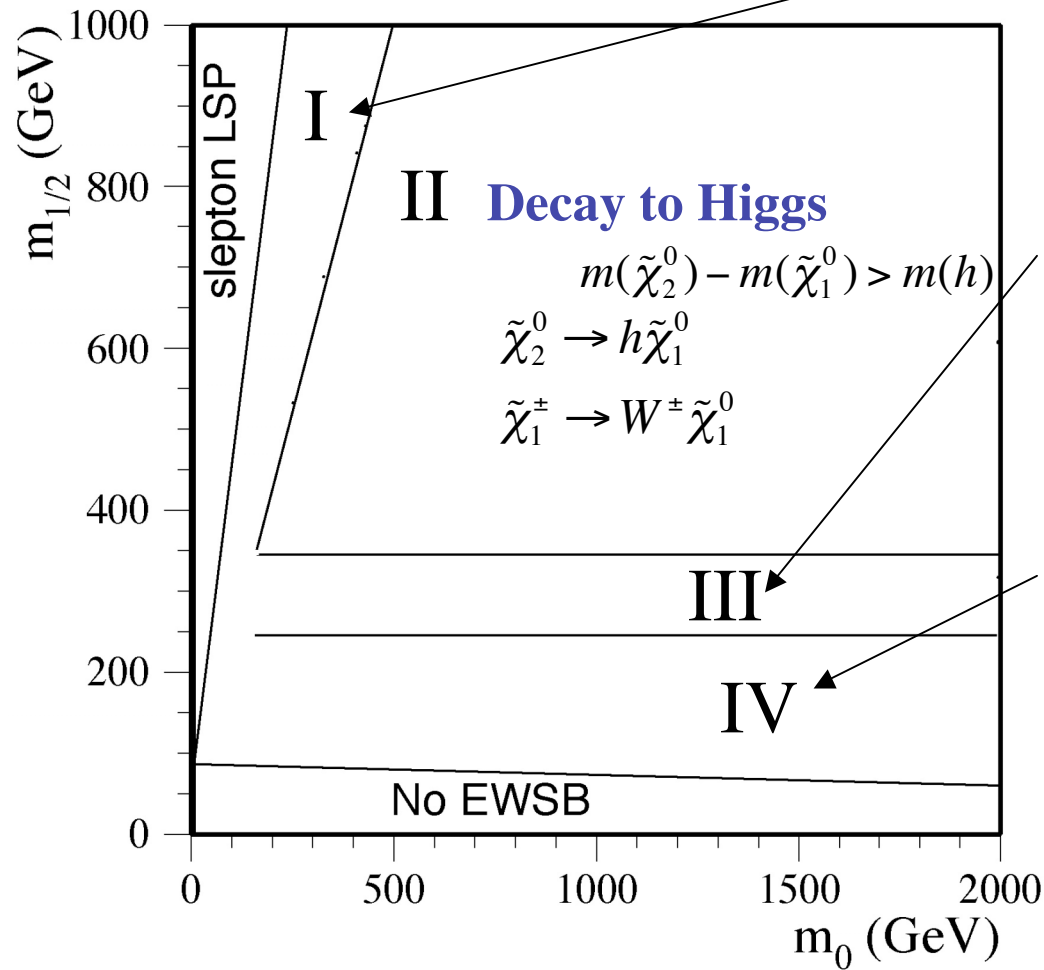
	<b>EW interaction</b> $m(\tilde{g}) < m(\tilde{q})$	$m(\tilde{g}) \approx m(\tilde{q})$	$m(\tilde{g}) > m(\tilde{q})$
$\tilde{g}$	$q\bar{q}\tilde{B}^0 (\approx 1)$ $\tilde{g} \rightarrow q\bar{q}\tilde{W}^0 (\approx 2)$ $q\bar{q}\tilde{W}^\pm (\approx 4)$		$\tilde{g} \rightarrow q\tilde{q}$
		$\tilde{g} \rightarrow t\tilde{t}_1$ $b\tilde{b}_1$	
$\tilde{q}_L$	$\tilde{q}_L \rightarrow q\tilde{g}$		$\tilde{q}_L \rightarrow q\tilde{W}^0 (\approx 1)$ $q\tilde{W}^\pm (\approx 2)$
$\tilde{q}_R$	$\tilde{q}_R \rightarrow q\tilde{g}$		$\tilde{q}_R \rightarrow q\tilde{B}^0$

**Strong interaction**

**EW interaction**

Massの関係やB,Wと $\chi$ の関係、第3世代などが、モデル依存が強い

# $\tilde{\chi}_1^\pm, \tilde{\chi}_2^0$ の崩壊モードについて



## 2-Body decay chain

$$m(\tilde{\chi}_1^\pm), m(\tilde{\chi}_2^0) > m(\tilde{\ell}^\pm)$$

$$\tilde{\chi}_1^\pm \rightarrow \tilde{\ell}^\pm \nu \rightarrow \ell^\pm \tilde{\chi}_1^0 \nu$$

$$\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow \tilde{\ell}^\pm \ell^\mp \rightarrow \ell^\pm \ell^\mp \tilde{\chi}_1^0$$

## Decay to W/Z

$$m(h) > \Delta m > m(W, Z)$$

$$\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow Z^0 \tilde{\chi}_1^0$$

$$\tilde{\chi}_1^\pm \rightarrow W^\pm \tilde{\chi}_1^0$$

## 3-Body decay $\Delta m < m(W, Z)$

$$\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow f\bar{f}\tilde{\chi}_1^0$$

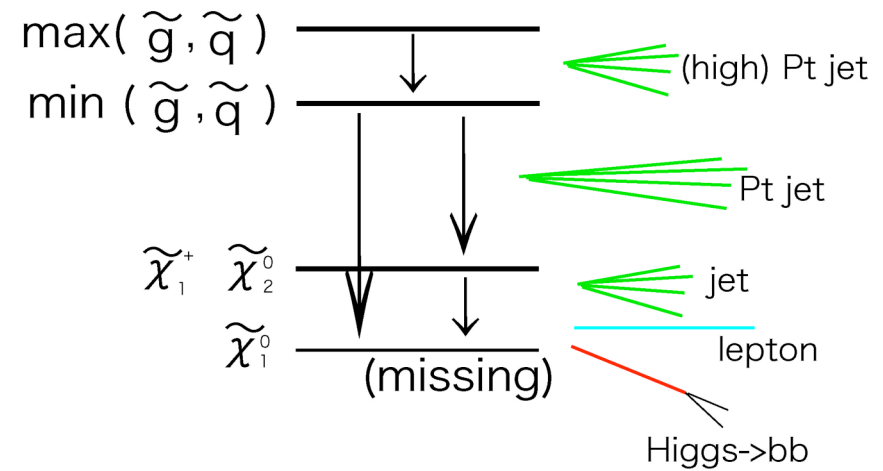
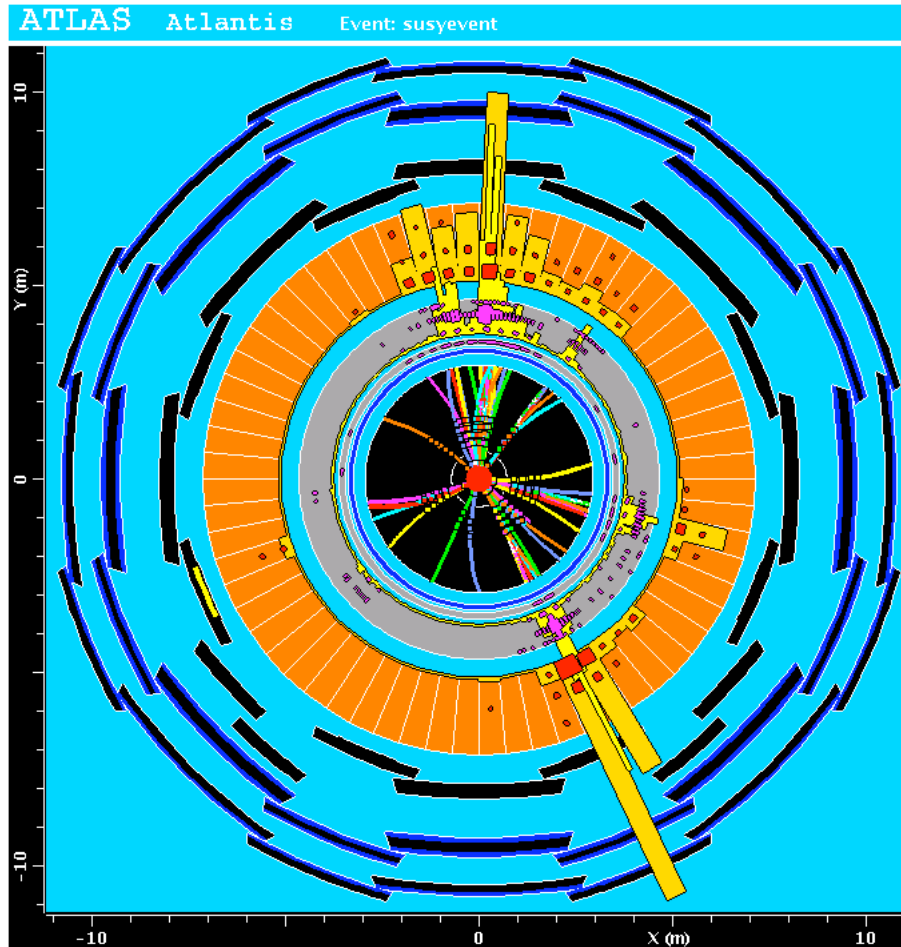
$$\tilde{\chi}_1^\pm \rightarrow f\bar{f}\tilde{\chi}_1^0$$

これらは基本的にkinematics  
Higgsino成分??  
Sfermion propagatorで3body





Events topologyとしては、

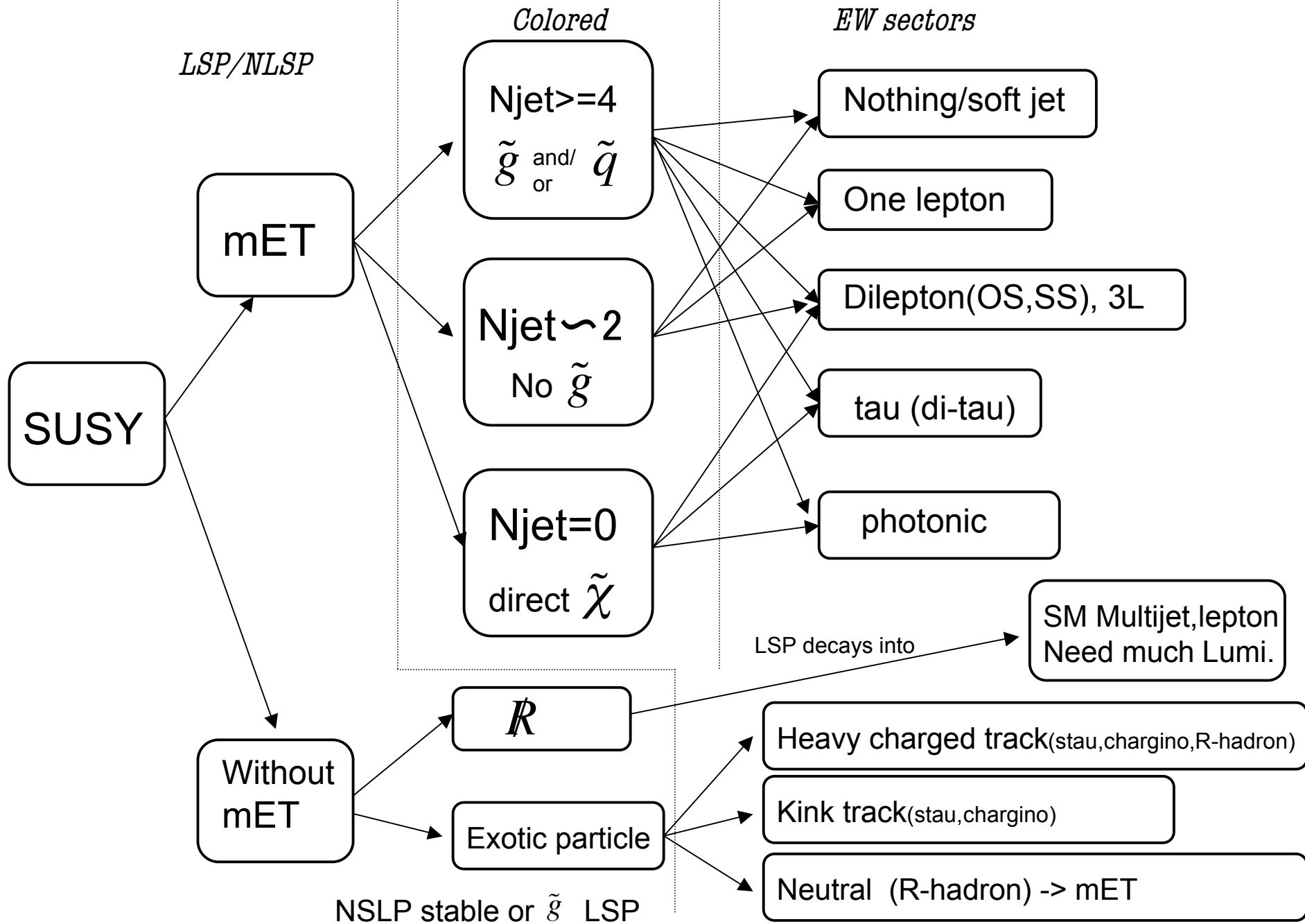


event topologies of SUSY

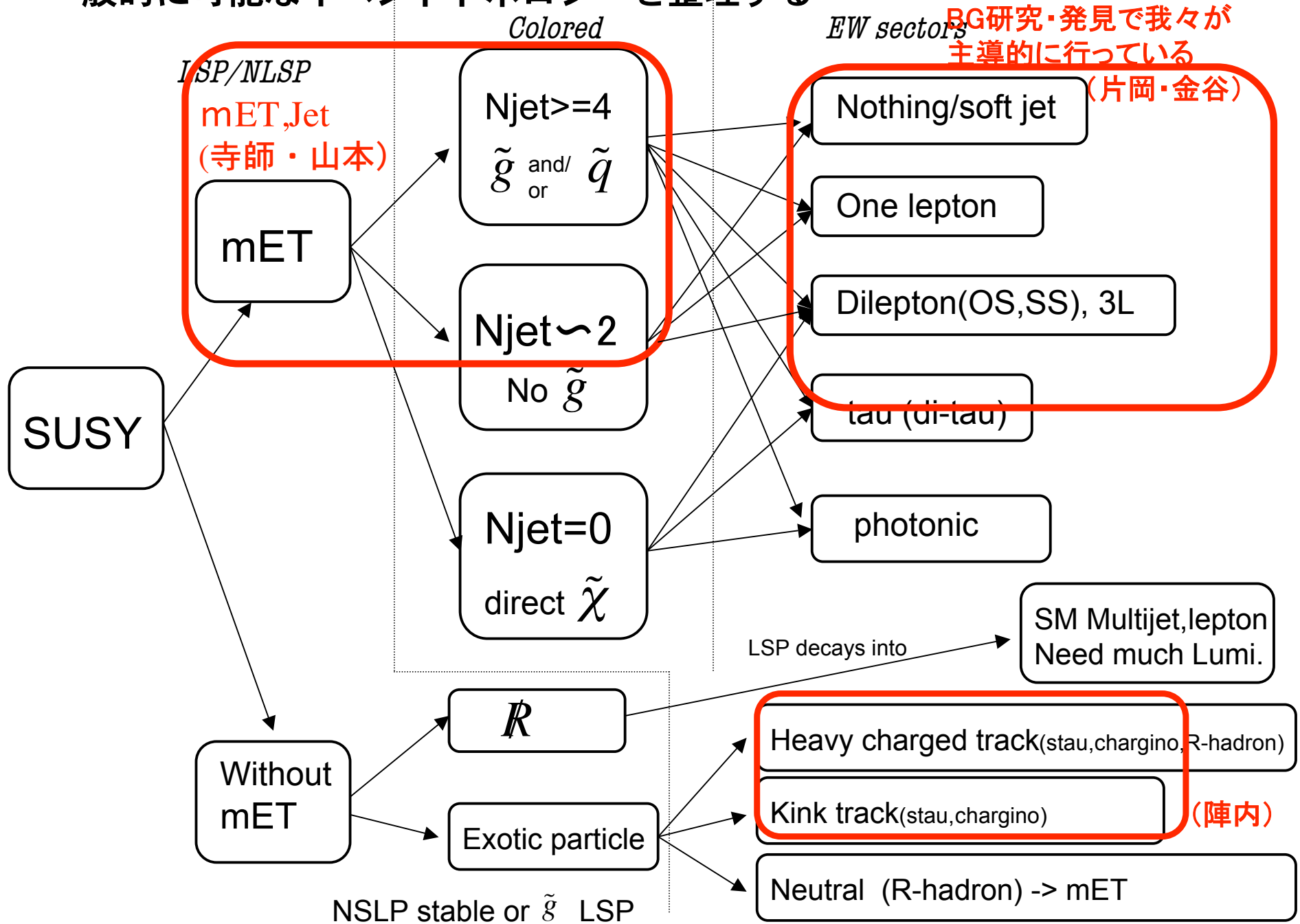
multi  $E_T$  + High  $P_T$  jets + b-jets  
leptons  
 $\tau$ -jets

High Pt jetはcolored sector & おまけはEW sectorの情報を運んでいる

# 一般的に可能なイベントトポロジーを整理する



# 一般的に可能なイベントトポロジーを整理する



# mEt があるもののうち、有望なやつ (BGの詳細は次の片岡君)

Njet (high Pt)	Additional	Favored scenario	Dominant background processes
Nj>=4	No lepton	SUGRA,AMSB, Split: Heavy $\tilde{q}$	QCD(light & bb/cc) Top pair Z(->nunu) and W(->taunu)
	One lepton	SUGRA,AMSB, Split: Heavy $\tilde{q}$	Top pair W
	Dilepton,3L	SUGRA,AMSB,G MSB (Nm>1)	OS: tt SS,3L tt,ZW,ZZ
	Tau (ditau)	Large tan $\beta$ , GMSB (Nm>1)	Top pair, W
	$\gamma\gamma$	GMSB (Nm~1)	Almost BG Free (top)
Nj~2	No lepton	Heavy $\tilde{g}$	QCD(light & bb/cc),Top pair Z(->nunu) and W(->taunu)
	One lepton	Heavy $\tilde{g}$	Top pair, W
Nj = 0	Dilepton,3L	Direct $\tilde{\chi}$	WW,WZ,ZZ WZ main for 3L
	Ditau, 3tau	Direct $\tilde{\chi}$ Large tan $\beta$	
	Photonic	Direct $\tilde{\chi}$ GMSB	

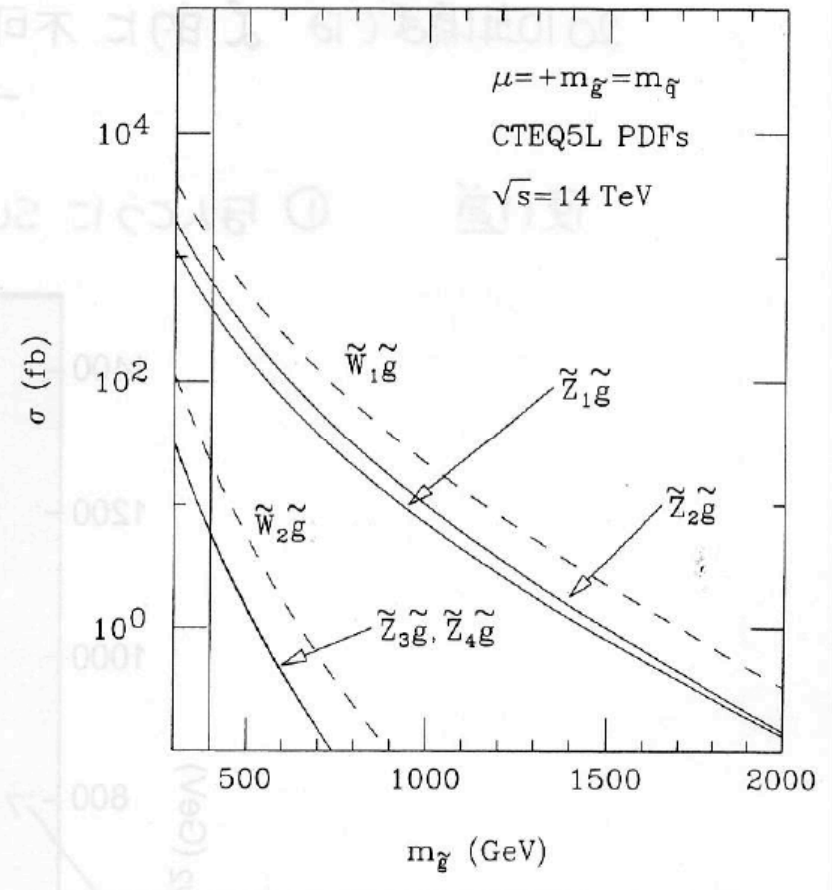
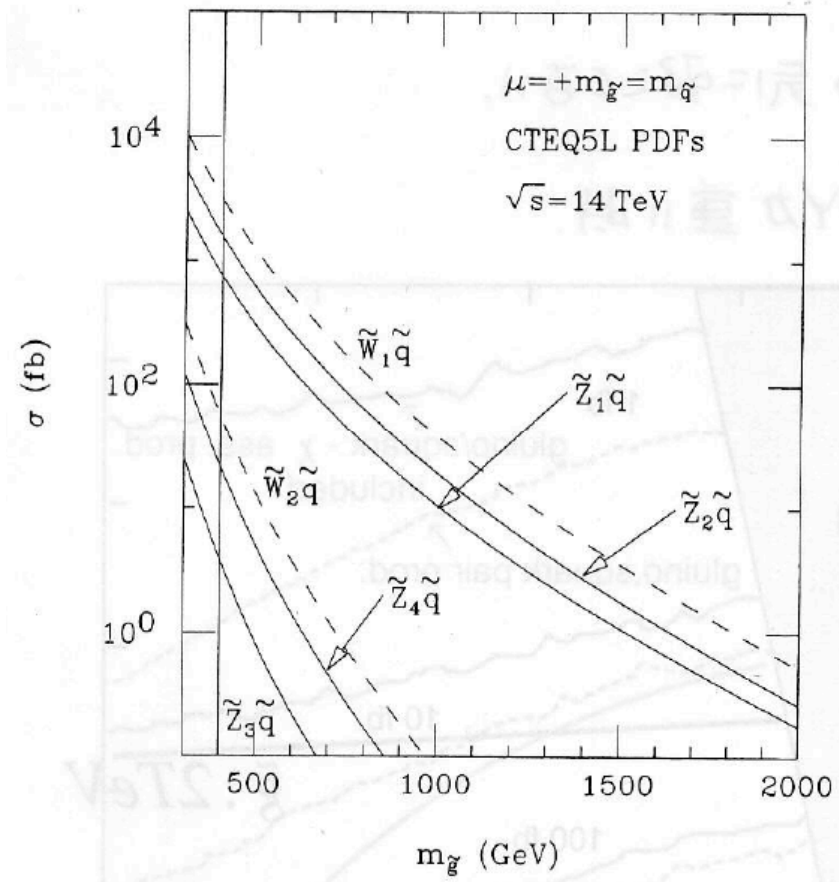


**LHC**  
**自然な**

**Squark**  
**dominate**

**LEP,**  
**Tevatron**  
**粒子・反粒子**  
**コライダー**

Backup

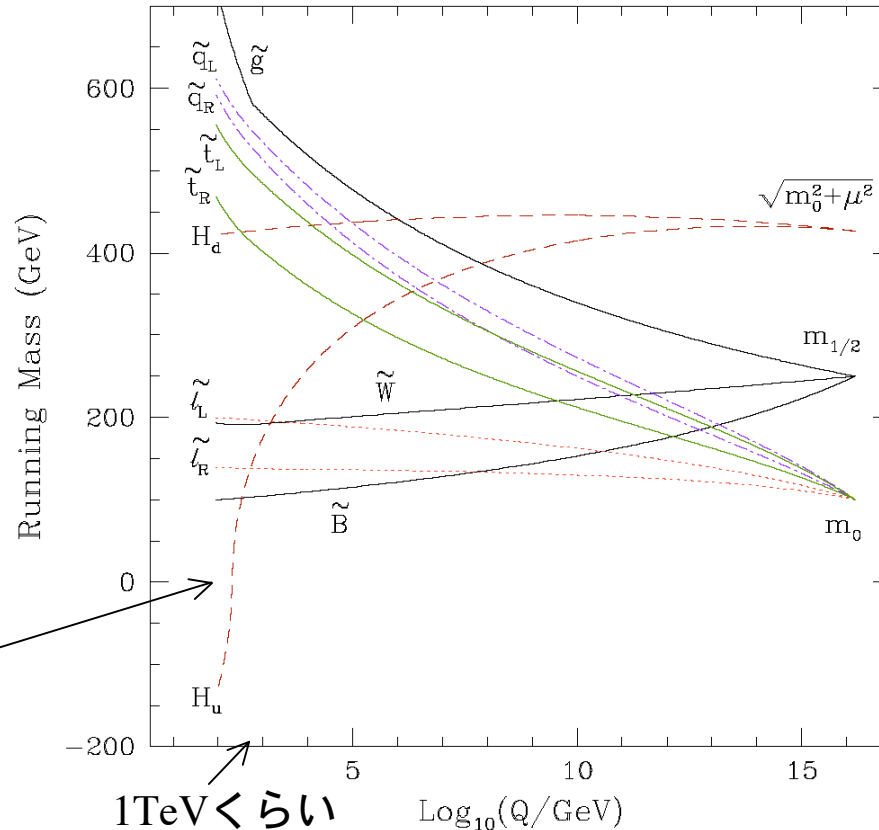


4.5個のパラメター(**mSugra**) :

$m_0$ ,  $m_{1/2}$ ,  $\tan\beta$ ,  $A_0$ ,  $\text{sign}(\mu)$   
 (mass @GUT) (VEV) (scalar 3点) (Higgsino mass)

S=0	charged scalar lepton: $\tilde{e}, \tilde{\mu}, \tilde{\tau}$ scalar neutrino: $\tilde{\nu}, \tilde{\nu}, \tilde{\nu}$ scalar quark: $\tilde{u}, \tilde{d}, \tilde{c}, \tilde{s}, \tilde{t}, \tilde{b}$
S=1/2	Bino: $\tilde{B}^0$ ( $M_1$ ) Wino: $\tilde{W}^{+}, \tilde{W}^0$ ( $M_2$ ) gluino: $\tilde{g}$ ( $M_3$ )
S=1/2	Higgsino: $\tilde{H}_1^0, \tilde{H}_2^0, \tilde{H}^{\pm}$ ( $\mu$ )
S=3/2	gravitino: $\tilde{G}$

GUT scale( $2 \times 10^{16} \text{GeV}$ )で、共通の質量、3点結合  
 ヒッグスセクターもsfermion, gauginoと同じ



GUTの  
スケール

$$M_1 : M_2 : M_3 =$$

$$\alpha_1 : \alpha_2 : \alpha_3 =$$

$$0.4 m_{1/2} : 0.8 m_{1/2} : 2.8 m_{1/2}$$

自然にマイナスになる。  
 これが自発的対称性の破れ  
 ヒッグス機構

1TeVくらい  $\text{Log}_{10}(Q/\text{GeV})$



# Chargino/ Neutralino

S=1/2	Bino: $\tilde{B}^0$ Wino: $\tilde{W}^+$ , $\tilde{W}^0$	$m_1$ $m_2$
S=1/2	Higgsino: $\tilde{H}_1^0$ , $\tilde{H}_2^0$ , $\tilde{H}^\pm$	$\mu$

同じ量子数を持っている状態は混合し、質量のeigenstateを作る。

これが、

Chargino (charged wino + charged higgsino)

Neutralino(bino, neutral wino+ neutral higgsino)

$$\begin{bmatrix} M_1 & 0 & -M_Z \sin\theta_W \cos\beta & M_Z \sin\theta_W \sin\beta \\ 0 & M_2 & M_Z \cos\theta_W \cos\beta & -M_Z \cos\theta_W \sin\beta \\ -M_Z \sin\theta_W \cos\beta & M_Z \cos\theta_W \cos\beta & 0 & -\mu \\ M_Z \sin\theta_W \sin\beta & -M_Z \cos\theta_W \sin\beta & -\mu & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \tilde{B}^0 \\ \tilde{W}^0 \\ \tilde{H}_1^0 \\ \tilde{H}_2^0 \end{pmatrix}$$



Mass eigenstate

$$\begin{pmatrix} \tilde{\chi}_1^0 \\ \tilde{\chi}_2^0 \\ \tilde{\chi}_3^0 \\ \tilde{\chi}_4^0 \end{pmatrix}$$

1.  $\tilde{\chi}_1^0$  がLSP( Lightest stable particle ) -> DM
2.  $M_1, M_2, \mu, M_Z$ の大小関係が大切。  $M_Z$ が小さいとすれば、LSPは、Bino-like( $M_1$ が小)、Wino-like( $M_2$ が小)、higgsino-like( $\mu$ が小)。。

**DMの性質(結合定数、質量)はこれらの大小関係が鍵となる。**

Charginoも $M_2, \mu$ の混合状態でWino-like とhiggsino-like

# 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