

LHCでのSUSY研究(I)

— Gravity mediationの基礎 —
(2枚)

[0] 資料のリスト

[1] パラメーターとModelの整理 (虎ノ巻)

(1) パラメーターについて (7枚) ← Modelの定義

(2) 登場人物のキャラクター (3枚)

[2] Coloured Particles

[2-1] \tilde{g}, \tilde{g} の生成と Proton Collider (8枚)

[2-2] \tilde{g}, \tilde{g} の decay (6枚)

[2-3] 見つけ方と反運用 (8枚)

[2-4] Massを決める (上から決める) (3枚)

[2-5] $\tilde{t}_1 / \tilde{b}_1$ の Direct production (2枚)

[3] 無色 ($\tilde{\chi}^{\pm} \tilde{\chi}^0 / \tilde{\ell}^+ \tilde{\ell}^-$) の Direct process

[3-1] $\tilde{\chi}^{\pm} \tilde{\chi}^0$ (5枚)

[3-2] $\tilde{\ell} \ell$ (2枚)

[4] Reconstruction (下から決める)

[4-1] Isolated Lepton (8枚)

[4-2] b-jet (4枚)

[4-3] high Pt jet (2枚)

[5] まとめ (何を測定すべきか)

[6] 付録 $\tilde{\chi}_2^0$ の decay と τ -ID

[資料]

(1) 総合資料

- ① ATLAS TDR (ちよと. model に依存せず)
- ② F. Paige hep-ph/9801254 (LHC 全部で ~80頁)
- ③ M. Carena et al. Rev. Mod. Phys. Vol. 71 (1999)
P. 937 (Tevatron, I+II+環)

(2) G, Br 理論

- ① E. Eichten et al. Rev. Mod. Phys. 56 (1984)
P. 579 (SSC に向けて τ - e G の訂正式も
ちよとあて スパライ. ~130 μ -3 μ)
- ② H. Boer (森廉正) Phy. Rev. D 35 (1985)
P. 1598 (Gaugino at 2 TeV)
- ③ W. Beenakker et al Phy. Rev. Lett. 83 (1999)
P. 3780 (Gaugino for LHC)
NLO ϵ
- ④ S. Abel et al. Tevatron Run-II sugra WG
の Report
(全部 ~170 μ -3 μ カリタリ。但し
msugra)
- ⑤ D.I. Kazakov. Phy. Report 344 (2001) P. 309
(SUSY の RG の Review)

(3) 測定, Reconstruction.

① D. R. Tovey. *Phy. Let.*, B 498 (2001) P.1
(上から取の3)

② I. Hinchliffe et al *Phy. Rev. D* 55 (1997) 5520

H. Bachacou et al *hep-ph/9907513*

LHC point 1~5の Reconstruction

③ 野尻正 *hep-ph/0001267*

lepton. *M&R. All*

④ B.C. Allanch *hep-ph/0007009*

point 3 の reconstruction

⑤ I. Hinchliffe et al. *hep-ph/9907519*

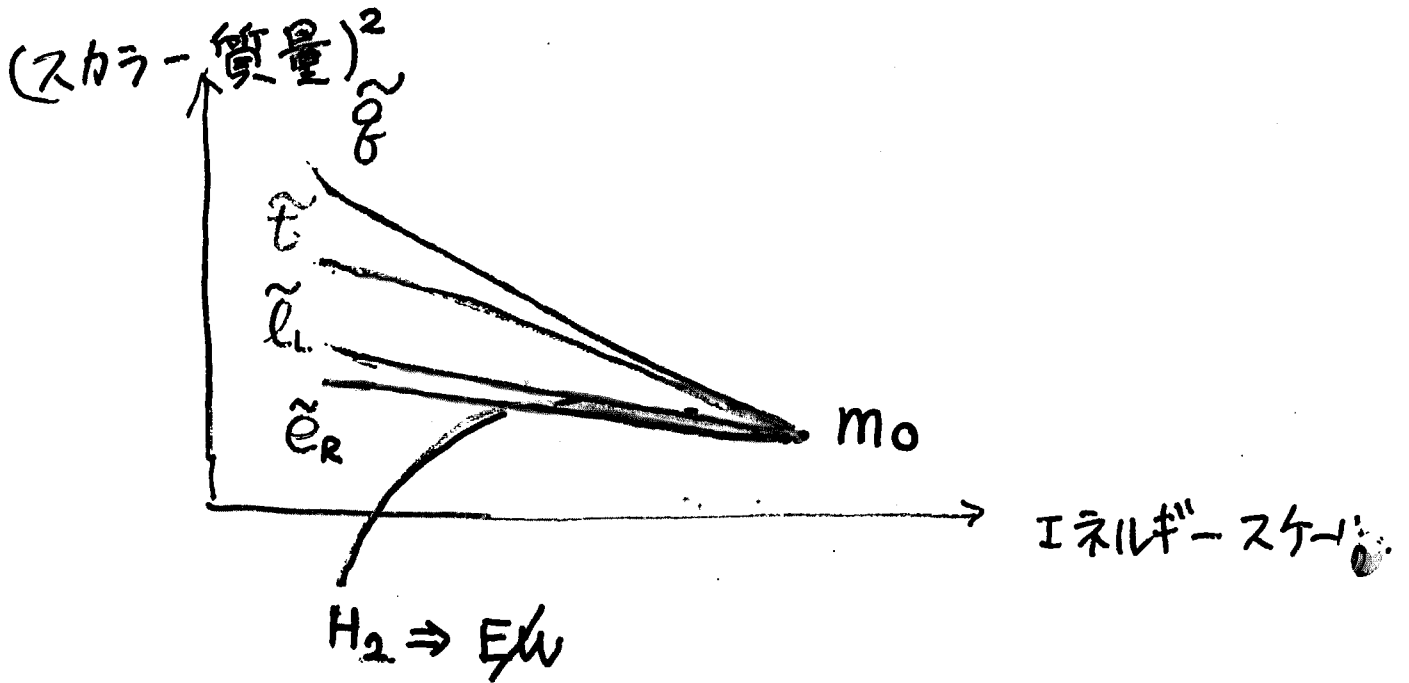
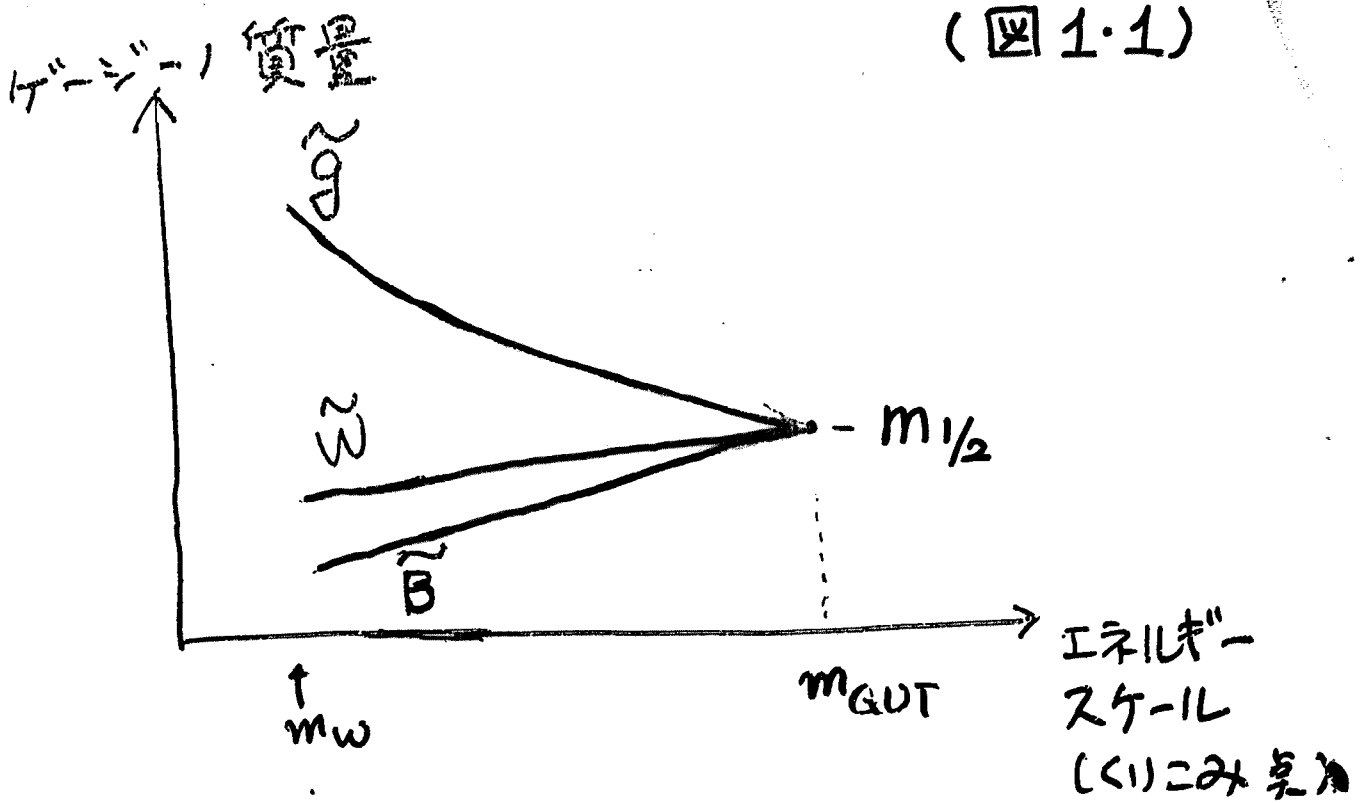
Large $\tan\beta$ case (point 6)

⑥ A. DJOUADI et al *hep-ph/0104115*

Large $\tan\beta$ の時の $\tilde{\chi}_1^\pm, \tilde{\chi}_2^0$ の性質

F
か
5
の
点

(図 1.1)



- (1) coloured Particle は重い)
- (2) 3世代は Yukawa の RG で、5世代と軽くなる。
- (3) SU(2) 2重項は、singletより、5世代と5代目重い。
- (3) m_0 が、 μ が大きい限りは $\tilde{\chi}_1^0, \tilde{\chi}_2^0$ 日 $|\mu|$ が大きくなる。 \rightarrow (\tilde{w}, \tilde{B}) にあてはまる。
- (4) $\tan\beta, A$ は 3世代に対しては大切

(2) "CMSSM" (Model度 $\Delta\Delta\Delta$)
(LEP ...)

Higgs は . GUT で 別 mass
($\rightarrow |\mu|$ が $\tilde{\chi}_1^\pm, \tilde{\chi}_{1,2}^0$ の性質に
著しい effect)

Higgsino mass
 $|\mu|$ の大きさを自由.

$\tan\beta, m_0, m_{1/2}, A, \mu \rightarrow \underline{\underline{50}}$

同じく RGT 決まる (\rightarrow 図 1.2)

(問題点)

① ナイ-ブ $M_1 = M_2 = M_3 = m_{1/2}$ at GUT
??
 $\underline{\hspace{2cm}}$ (図 1.3)

② sfermion の mass を

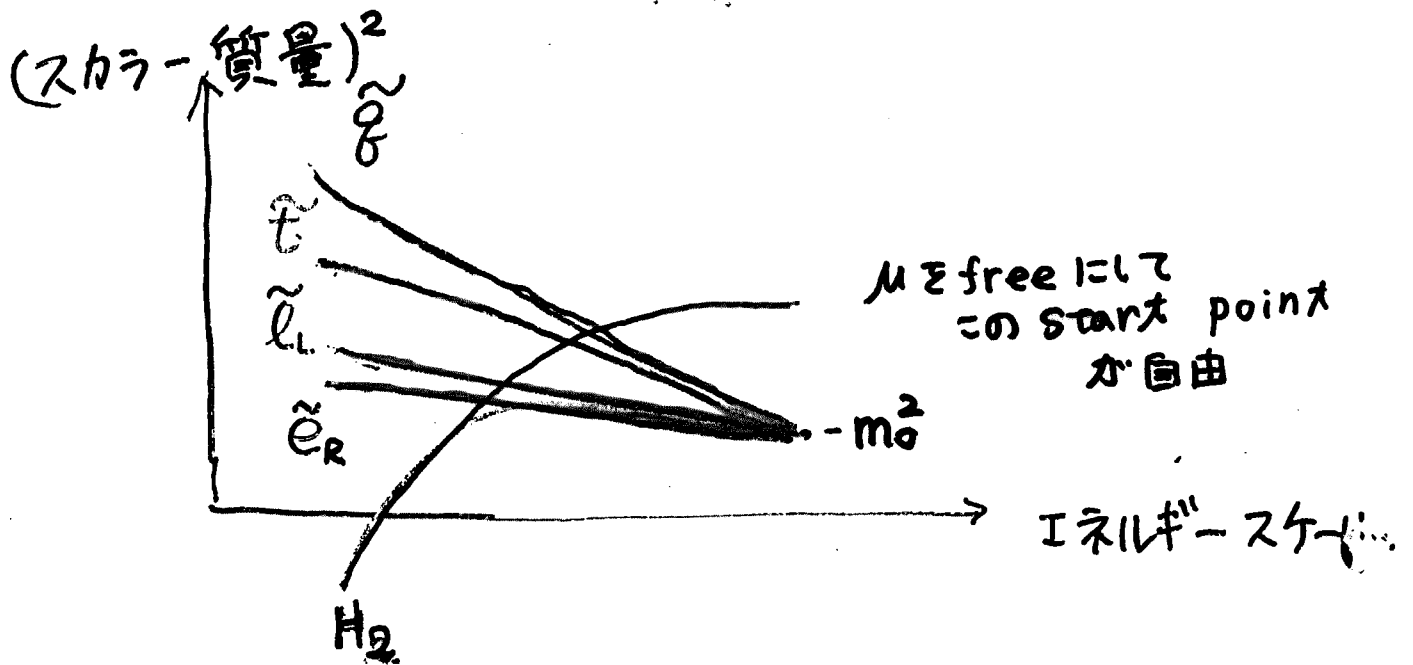
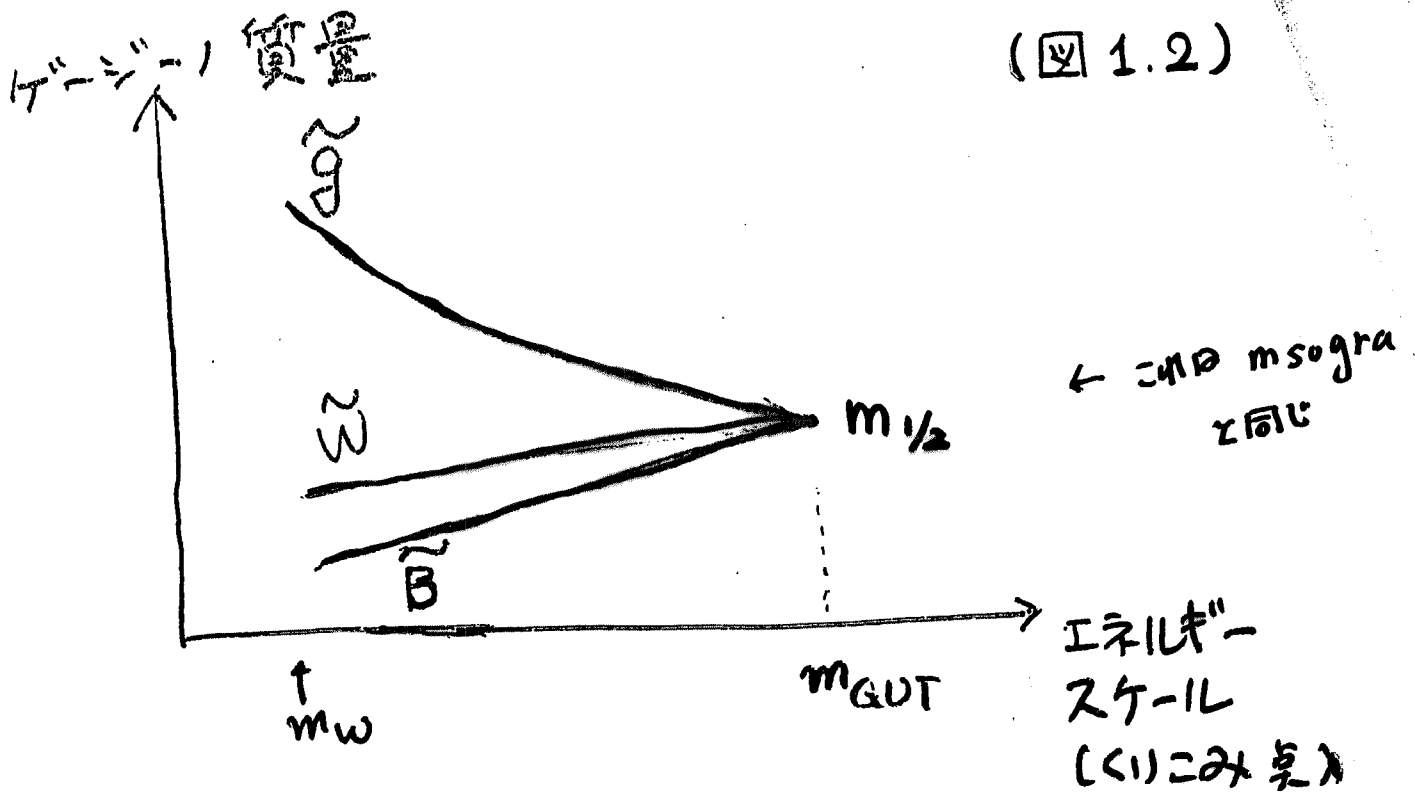
きめて m_0 ?

• GUT model

D-term

• GUT 群の コシカ

) \rightarrow (図 1.4)



(1) Higgsino mass μ は free

\tilde{w}^\pm と \tilde{H}^\pm がよく混ざるとか可 $\tilde{\chi}_1^\pm, \tilde{\chi}_2^\pm$

$\tilde{w}^0, \tilde{B}^0, \tilde{H}_1^0, \tilde{H}_2^0$ " $\tilde{\chi}_1^0, \tilde{\chi}_2^0, \tilde{\chi}_3^0, \tilde{\chi}_4^0$

⇒ なんか \tilde{w} -like, \tilde{B} -like, \tilde{H} -like
かが 予想出来るかも。

$\tilde{\omega}^G$
Gaugino masses

理論 (の可能性)

\tilde{g}

Universal \tilde{B}

$$M_3 : M_2 : M_1 \text{ (at } M_x)$$

$$1 : 1 : 1$$

(τ - η)

dilaton-dominat \tilde{g}

Naive GUTs (with F_1)

Non-universal

$$M_3 : M_2 : M_1 \text{ (at } M_x)$$

$$2 : -3 : -1$$

$$10 : 5 : 1$$

Free

$\tilde{\chi}_i^0, \tilde{l}_R$
が軽い

\tilde{g} が $\tilde{\chi}_i^0, \tilde{\chi}_i^\pm$ と比較して
軽のになる

$SU(5)$ GUT with F_{24}

Kaluza-Klein mediation
(heavy modes of loop 補正)

D-brane

$SO(10) \rightarrow SM$: D-term contribution

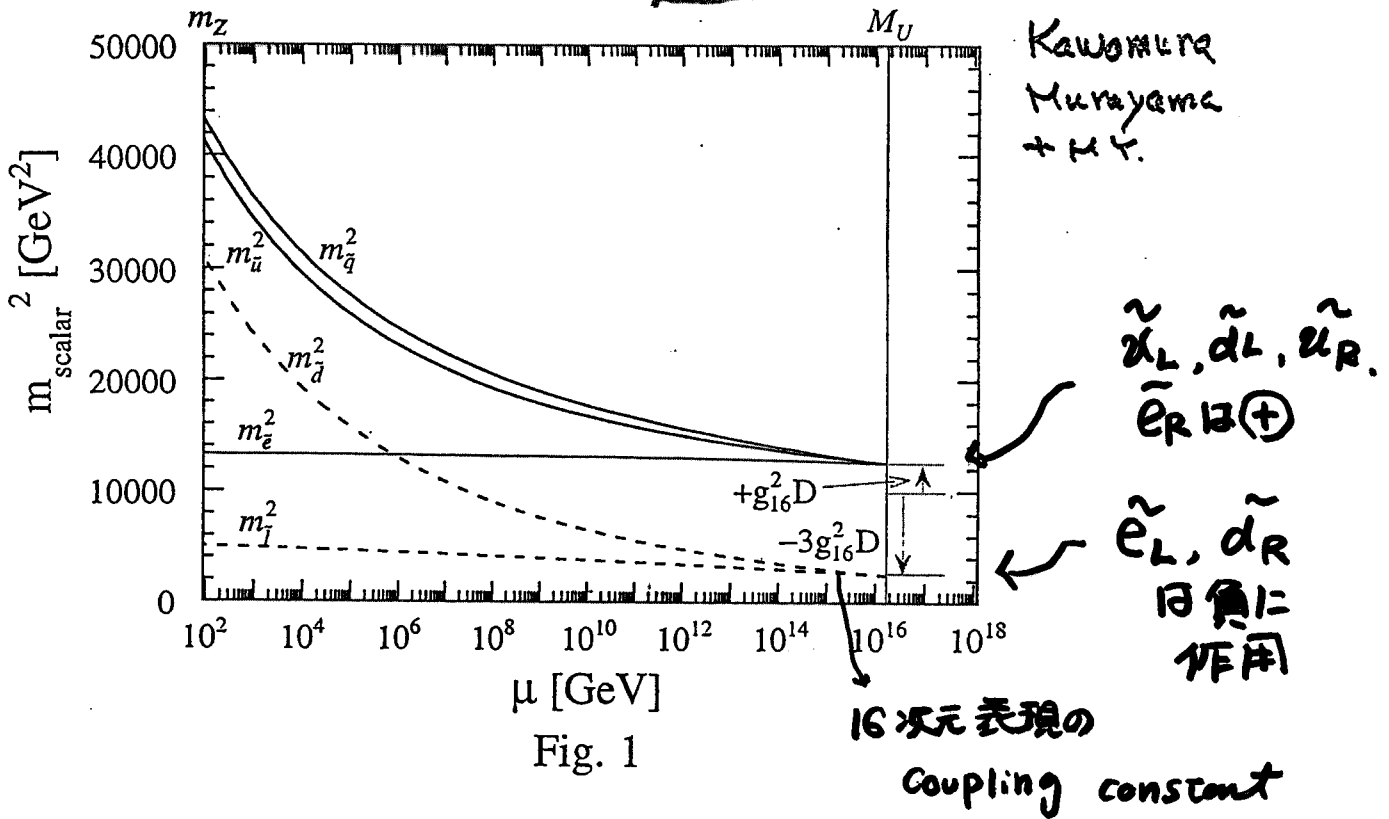


Fig. 1

$SO(10) \rightarrow SU(4) \times SU(2)_C \times SU(2) \rightarrow SM$

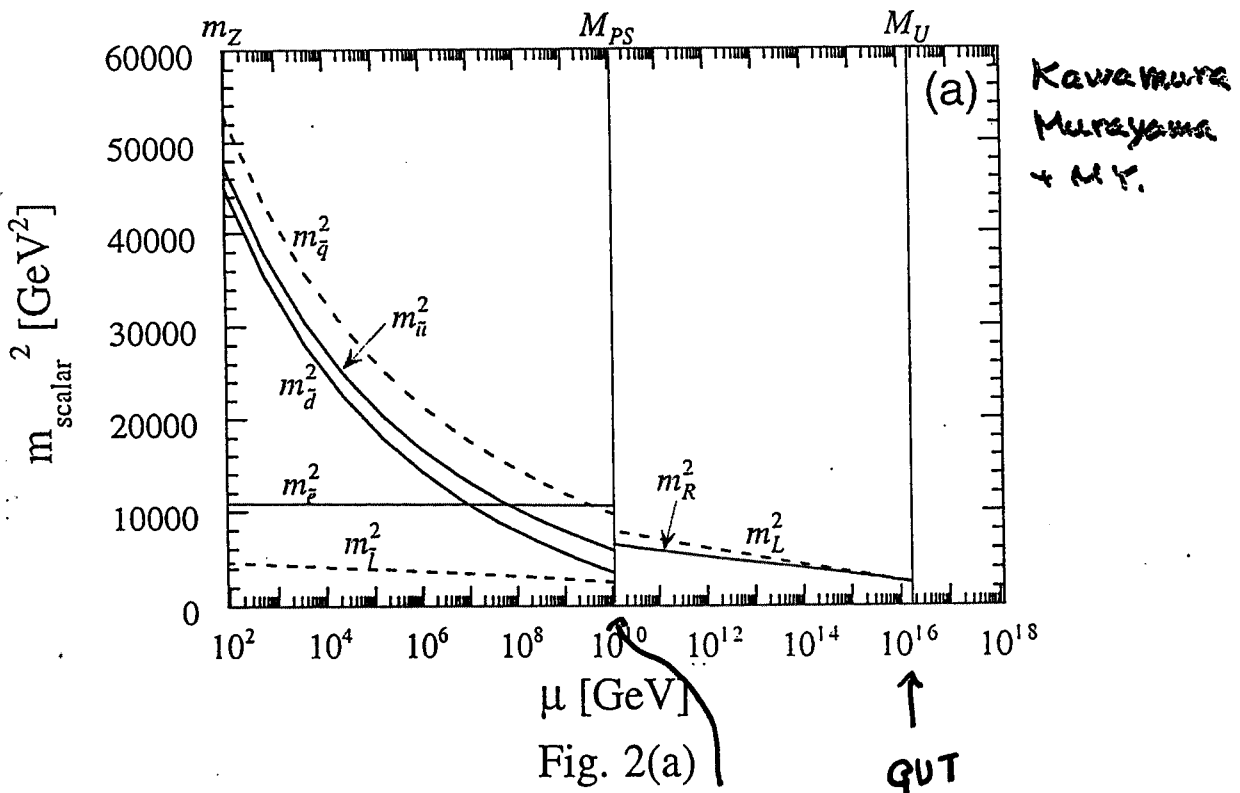


Fig. 2(a)

194. 3352
中間エネルギー-スケール

(前回の山口さんのトラバサリ)

(3) "MSSM" (Model 度 Δ)

18個の free

Gaugino at GUT

Higgsino at GUT

$M_1, M_2, M_3, \mu, \tan\beta$ 5個

第1, 2世代 $m_{\tilde{L}_L}, m_{\tilde{L}_R}, m_{\tilde{g}_L}, m_{\tilde{g}_R}$ 4個

第3世代 $m_{\tilde{b}_L}, m_{\tilde{b}_R}, m_{\tilde{t}_R}, m_{\tilde{t}_L}, m_{\tilde{t}_R}$ 5個

Trilinear A_b, A_τ, A_t, A 4個

細かい話を除けば

ほとんど、登場人物に制限を加えただけ。

⊕ いままでの Limit \rightarrow (第1, 2世代の縮退)

⊕ $\tilde{\chi}_0^0$ が LSP

⊕ \tilde{g} が、 $\tilde{\chi}_{1,2}^0$ より重い。

⊕ 第3世代: が、それらに $44 + 74 + 7$ はるい。 \downarrow

⊕ $A_b = A_\tau = A_t = A$ 程度

(Model 度 $\Delta\Delta$)

(注) 正しい "MSSM" の free parameter は、100以上ある

登場人物のキャラクター

particle name	symbol	spin
gluino	\tilde{g}	1/2
charginos	$\tilde{\chi}_1^\pm, \tilde{\chi}_2^\pm$	1/2
neutralinos	$\tilde{\chi}_1^0, \tilde{\chi}_2^0, \tilde{\chi}_3^0, \tilde{\chi}_4^0$	1/2
sleptons	$\tilde{e}_L, \tilde{\nu}_{eL}, \tilde{e}_R$	0
	$\tilde{\mu}_L, \tilde{\nu}_{\mu L}, \tilde{\mu}_R$	0
	$\tilde{\tau}_1, \tilde{\tau}_2, \tilde{\nu}_{\tau L}$	0
squarks	$\tilde{u}_L, \tilde{d}_L, \tilde{u}_R, \tilde{d}_R$	0
	$\tilde{c}_L, \tilde{s}_L, \tilde{c}_R, \tilde{s}_R$	0
	$\tilde{t}_1, \tilde{t}_2, \tilde{b}_1, \tilde{b}_2$	0
higgs	h, H, A, H^\pm	0

$\leftarrow \tilde{W}^\pm \subset \tilde{H}^\pm$
 $\leftarrow \tilde{w}^0, \tilde{B}^0, \tilde{H}_1^0, \tilde{H}_2^0$

(1) Chargino

\tilde{W}^\pm と \tilde{H}^\pm の混合

$$\begin{bmatrix} m_2 & \sqrt{2} M_w \sin\beta \\ \sqrt{2} M_w \cos\beta & \mu \end{bmatrix}$$

Higgs sector での mixing

$m_2, \mu \gg M_w \rightarrow$ simple になる。(混ざらなくなる)

$\mu > M_2$ (Model 依存 $\Delta\Delta\Delta\Delta$) $m_{\text{sugra}} \neq m_0$ があるとき

$\tilde{\chi}_1^\pm$ は W の coupling
 $\tilde{\chi}_2^\pm$ は H の coupling

を持つ

(2) Neutralino, $\tilde{B}, \tilde{w}^0, \tilde{H}_1^0, \tilde{H}_2^0$ の混合

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & -M_2 c\beta s_w & M_2 s\beta s_w \\ 0 & m_2 & M_2 c\beta c_w & -M_2 s\beta c_w \\ -M_2 c\beta s_w & M_2 c\beta c_w & 0 & -\mu \\ M_2 s\beta s_w & M_2 s\beta c_w & -\mu & 0 \end{bmatrix}$$

- $m_2 < m_1, m_2 < \mu$ (Model度 $\Delta\Delta\Delta\Delta$ の
msugra で m_0 が
そんなに大きい場合は)

$$\begin{cases} \tilde{\chi}_1^0 \text{ は } \tilde{B}^0 & \Rightarrow \tilde{f}_R \text{ に } \delta < \text{結合する} \\ \tilde{\chi}_2^0 \text{ は } \tilde{\omega}^0 & \Rightarrow \tilde{f}_L \text{ に } \dots \quad \tilde{f}_R \text{ は } \text{タマ} \\ \tilde{\chi}_{3,4}^0 \text{ は } \tilde{H}^0 & \Rightarrow \text{ } \#1, 2 \text{ 世代とは decouple する.} \end{cases}$$

(3) $\#3$ 世代は $L \leftrightarrow R$ が混合する. (Model度 Δ)
(Yukawa が大きいので)

ex

$$m_{\tilde{t}_1} \begin{bmatrix} m_{\tilde{Q}}^2 + m_{\tilde{t}}^2 & -m_t (A_t - \mu \cot \beta) \\ -m_t (A_t - \mu \cot \beta) & m_{\tilde{U}}^2 + m_{\tilde{t}}^2 \end{bmatrix}$$

非対角成分 $\propto m_f (t, b, \tau)$
 $\propto A_f$ (scalar 3点)
 $\propto \mu \tan \beta (b, \tau)$
 $\mu \cot \beta (t)$

(\rightarrow Large $\tan \beta$ なら \tilde{t}_1, \tilde{b}_1 が軽くなる
 A_t, μ が大きいなら \tilde{t}_1 が軽くなる.)

Model 度 ($\Delta\Delta\Delta$) の RG

$$\left\{ \begin{array}{l} m_1 (= \tilde{B}) = 0.4 m_{1/2} \\ m_2 (= \tilde{W}) = 0.8 m_{1/2} \\ m_3 (= \tilde{g}) = 2.6 m_{1/2} \end{array} \right. \quad \text{Gut } \tau \text{ 全部 } m_{1/2}$$

$$\frac{m_i}{d_i} = \frac{m_j}{d_j}$$

($|M| \gg m_{1/2}$ とき, $\tilde{\chi}_1^\pm = \tilde{W}^\pm$, $\tilde{\chi}_1^0 = \tilde{B}$, $\tilde{\chi}_2^0 = \tilde{W}^0$)
(model $\Delta\Delta\Delta$)

$$\left\{ \begin{array}{l} m_Q^2 = m_0^2 + 6.3 m_{1/2}^2 \\ m_U^2 \sim m_D^2 = m_0^2 + 5.8 m_{1/2}^2 \\ m_L^2 \approx m_0^2 + 0.5 m_{1/2}^2 \\ m_E^2 \approx m_0^2 + 0.15 m_{1/2}^2 \\ (m_D^2 - m_E^2 = M_{\tilde{W}}^2 \cos 2\beta) \end{array} \right. \quad \left. \begin{array}{l} \text{SU(2)}_E \\ \text{ひ3うか否か} \\ \text{colour SU(3)} \\ \text{Eひ3うか否か} \\ \text{SU(2)}_E \text{ひ3うか} \\ \text{否か} \end{array} \right.$$

- L が R よりも 重い (SU(2) の効果)

$$m(\tilde{u}) = m_g \sqrt{\left(\frac{0.93}{0.85}\right)^2 + 0.15 \left(\frac{m_0}{m_{1/2}}\right)^2}$$

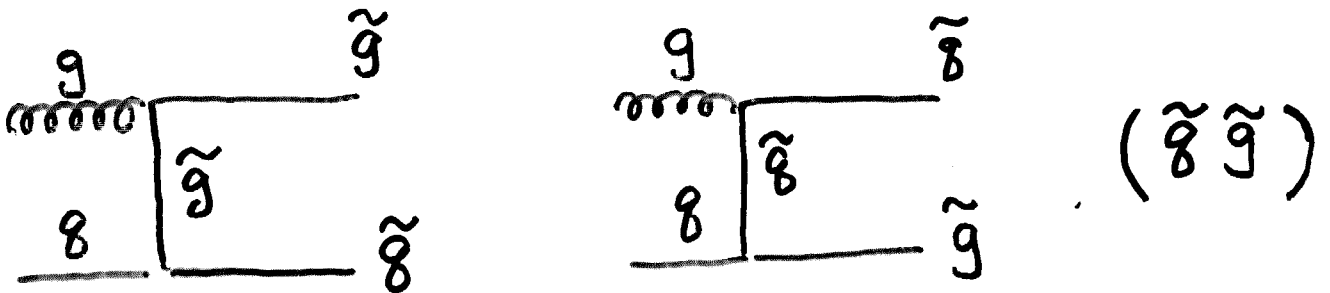
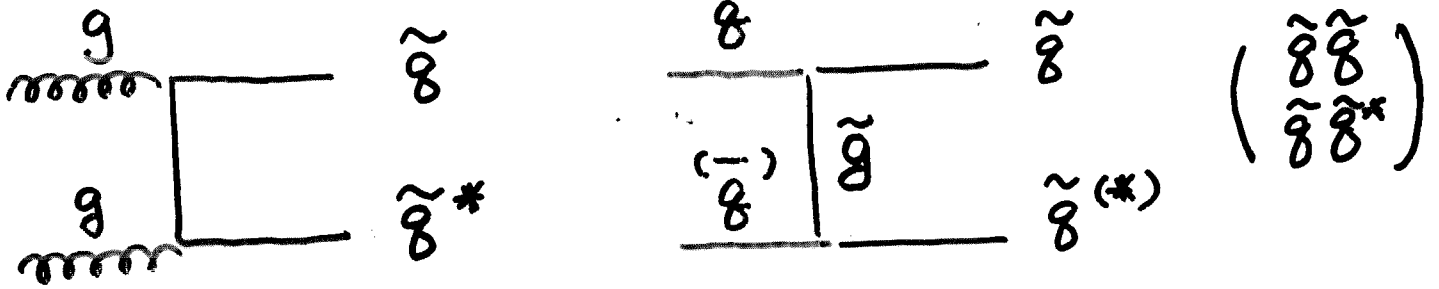
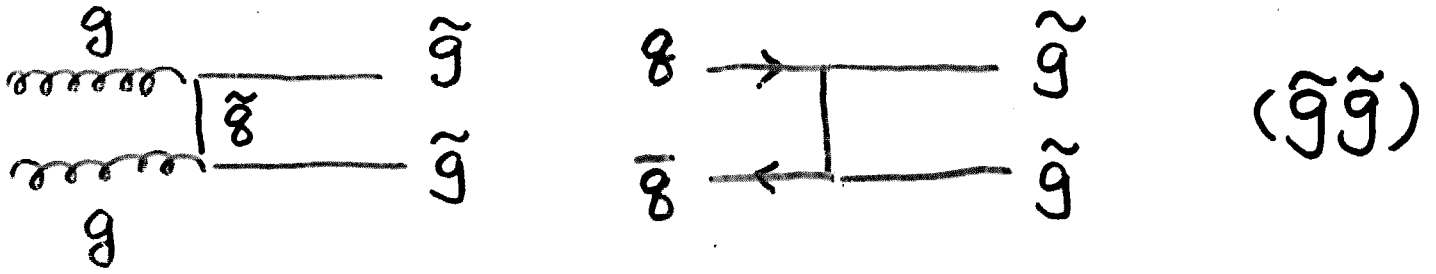
$$\left\{ \begin{array}{l} m_0 > m_{1/2} \quad m_{\tilde{g}} > m_{\tilde{g}} \end{array} \right.$$

$$m_{\tilde{g}_L} > 0.96 m_{\tilde{g}} \quad (\tilde{g} \text{ が } \tilde{g} \text{ より})$$

$$m_{\tilde{g}_R} > 0.92 m_{\tilde{g}} \quad (\text{4+7+4+重い} \rightarrow \text{はるい})$$

[2] Coloured Particles

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



• \tilde{g} と \tilde{q} の mass を与えない

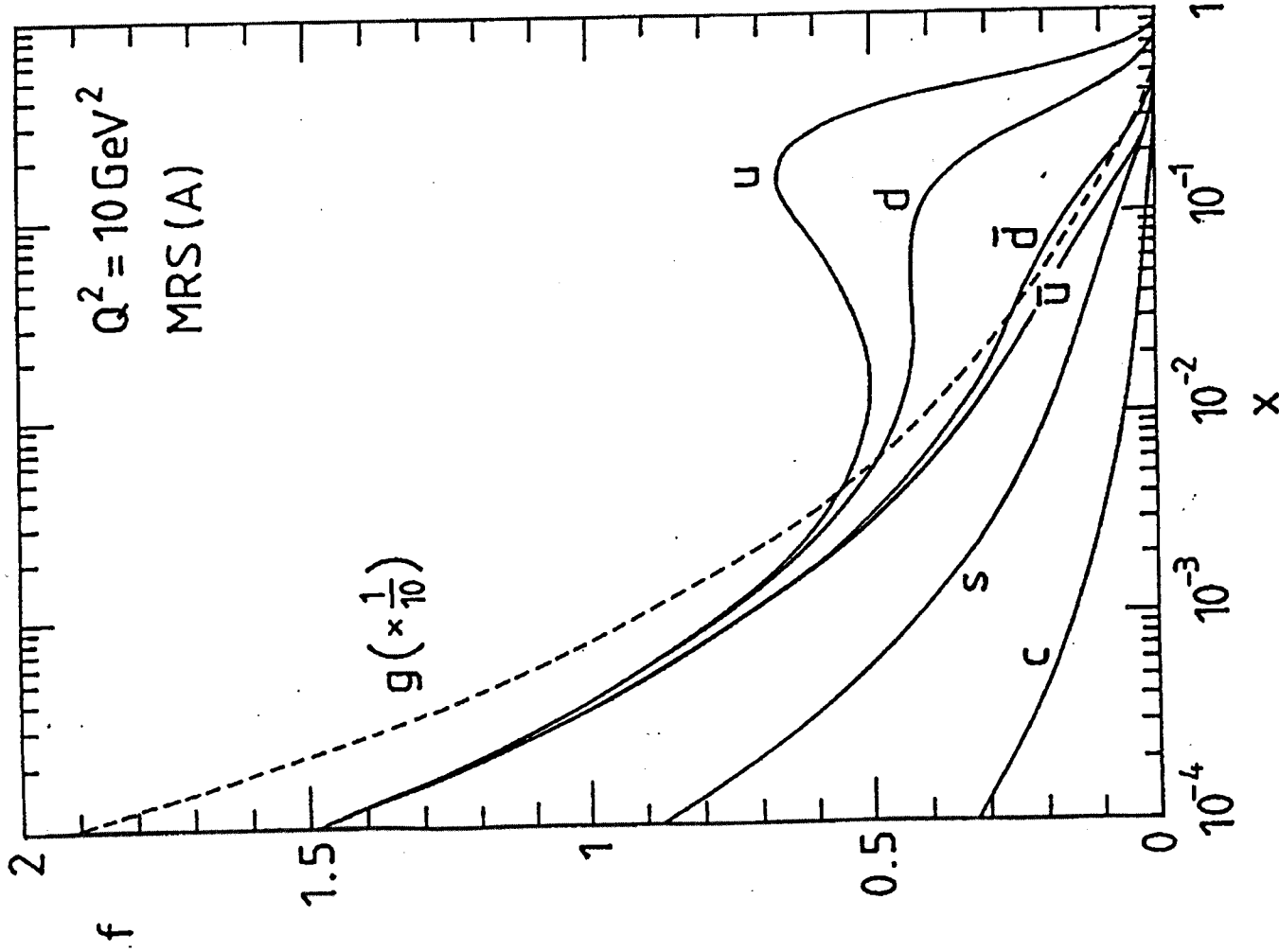
σ は決まってしまう. (Model 度 Δ)

(図 2.1)

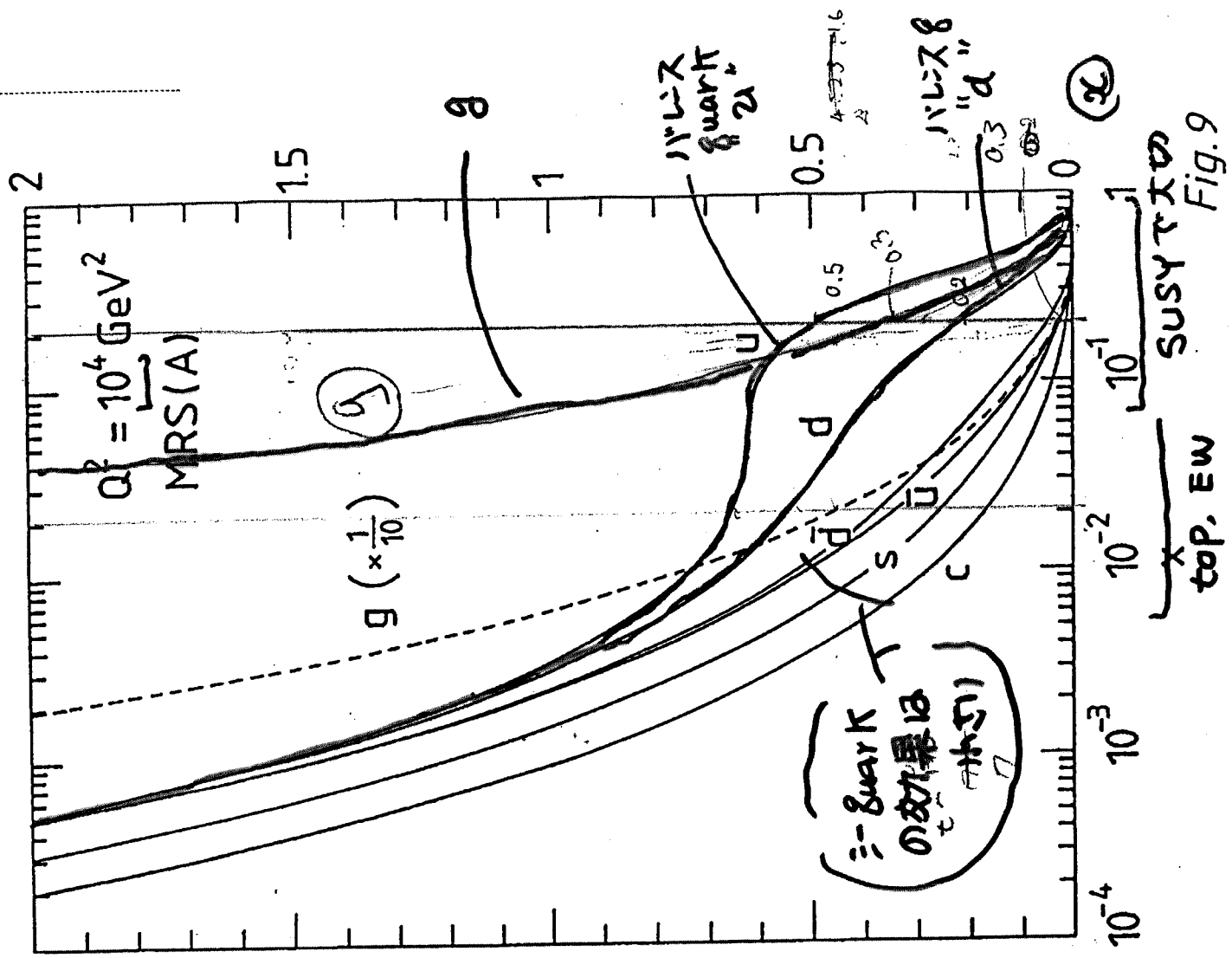
▶ g, q 供給源が Proton (PDF!!) $O(0.1 \sim 1)$

$$\sqrt{\hat{s}}_{\text{a few TeV}} = \alpha_1 \alpha_2 \sqrt{s}_{14 \text{ TeV}}$$

(図2.1)



Proton の PDF high Q^2



極論してしまえば

$$u : g : d \sim 5 : 3 : 2$$

の筈で. sea quark は無視出来る

▶ Heavy \tilde{g}, \tilde{q} $\alpha > 0.2 \sim 0.3$
(1~2 TeV)

• 重い程. g の効果が小さくなる

▶ LHC は PP だから \bar{g} が重い

$\left\{ \begin{array}{l} \text{軽い時} \quad gg \rightarrow \tilde{g}\tilde{g} \text{ が主} \\ \text{重い時} \quad uu \rightarrow \tilde{u}\tilde{u} \text{ が主} \end{array} \right.$

→ (図 2.2)

▶ Tevatron (P \bar{P})

\tilde{g} -Pair が主 → (図 2.3)

LEP の SUSY Search ($\tilde{\chi}_1^{\pm} > 100 \text{ GeV}$)



+ GUT (Model 度 $\Delta\Delta\Delta$)

→ $\tilde{g} > 300 \text{ GeV}$

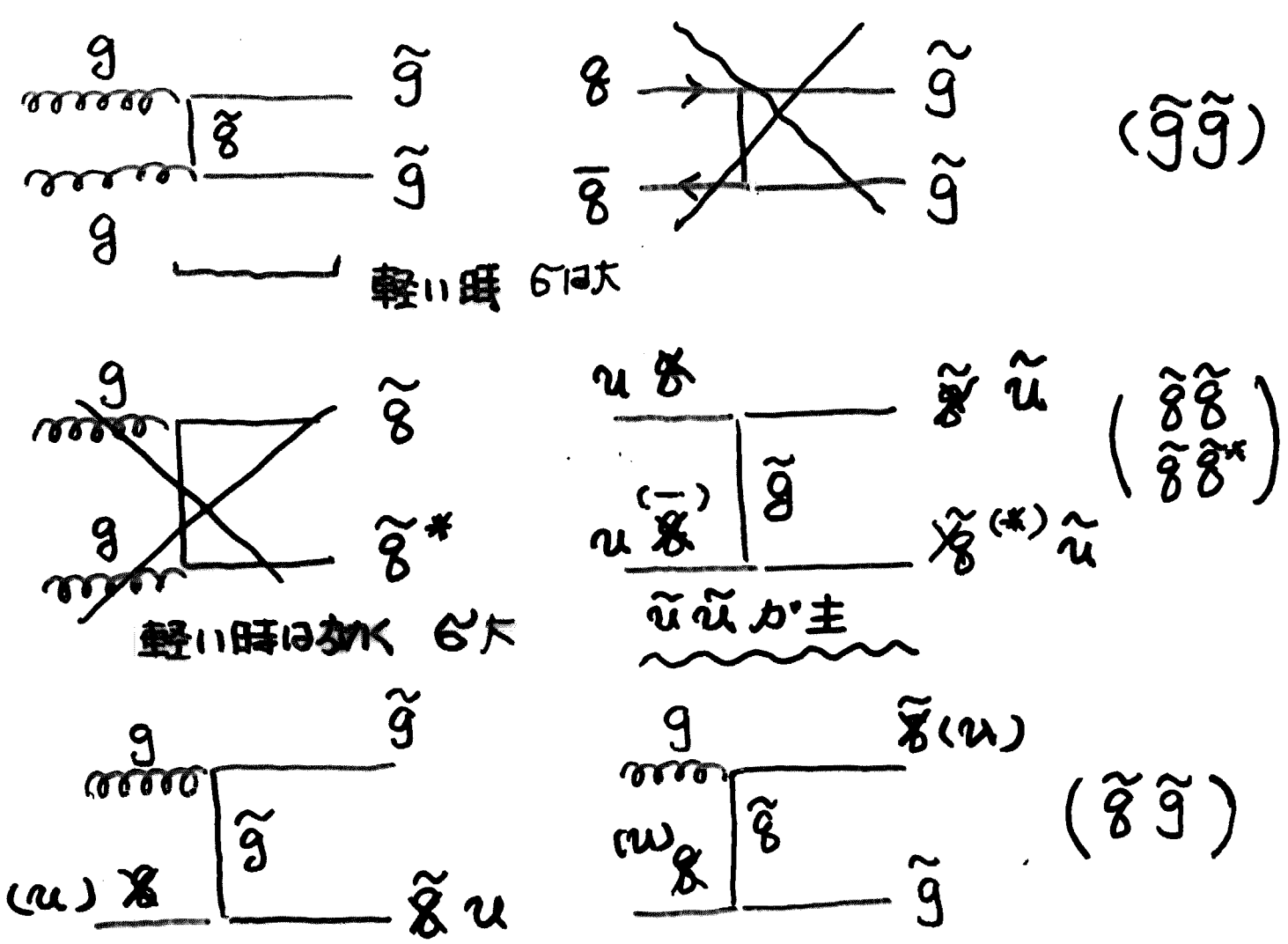
$\tilde{g} > 300 \text{ GeV}$

$\tilde{g}\tilde{g}$ -search は. 新しい領域を cover 出来る。

$g\bar{g} \rightarrow \tilde{g}\tilde{g}^*$ が.

[2] Coloured Particles LHC

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



• \tilde{q} と \tilde{g} の mass を与えるのは Δ は決まってる. (Model 度 Δ)

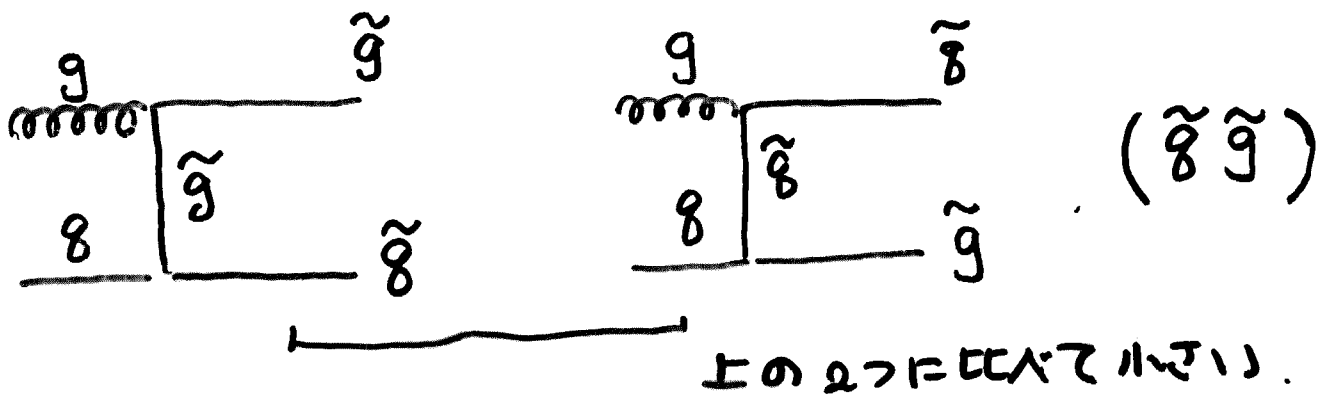
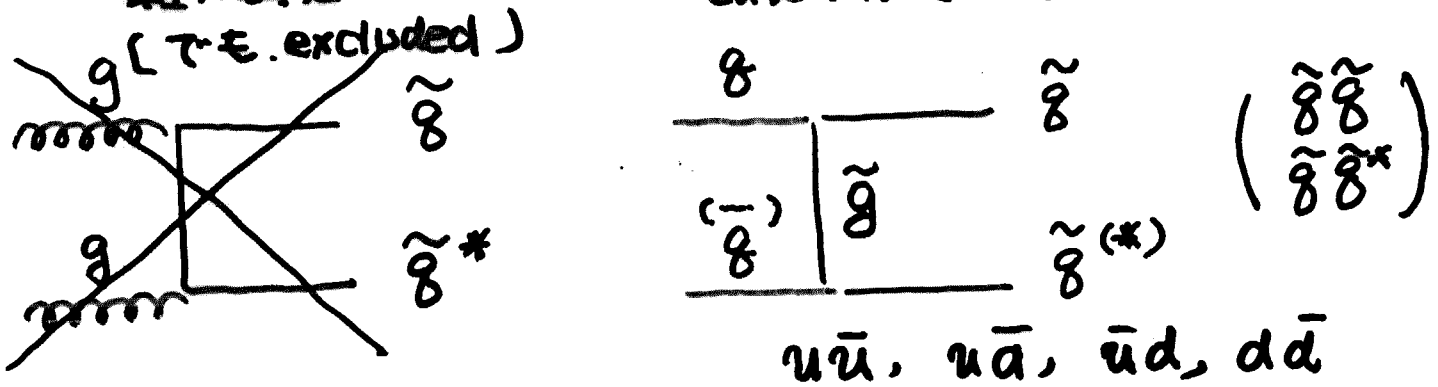
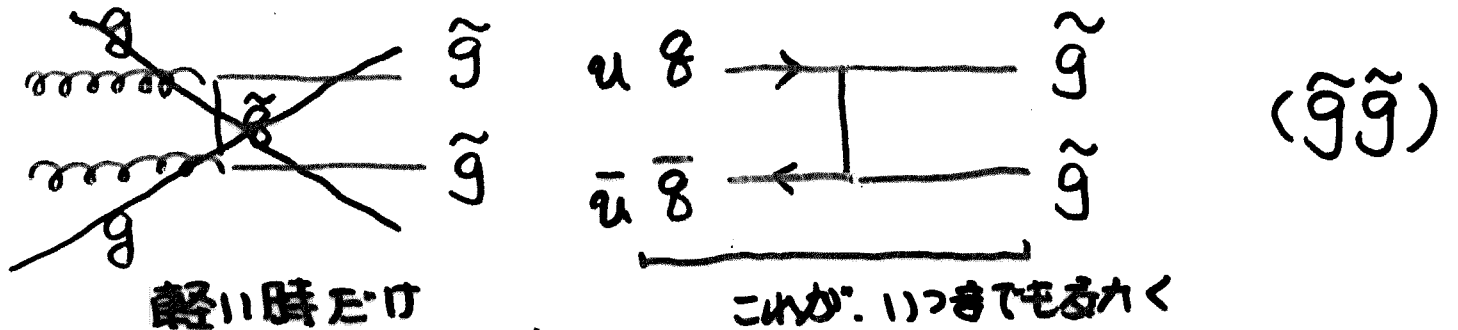
• g, q 供給源が Proton (PDF!!) (図 2.1)
 $0(0.1 \sim 1)$

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

a few TeV 14 TeV

[2] Coloured Particle Stevatron

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



• $\tilde{8}$ と \tilde{g} の mass を与えよう

δ は 決まってしまう. (Model 度 Δ)

(図 2.1)

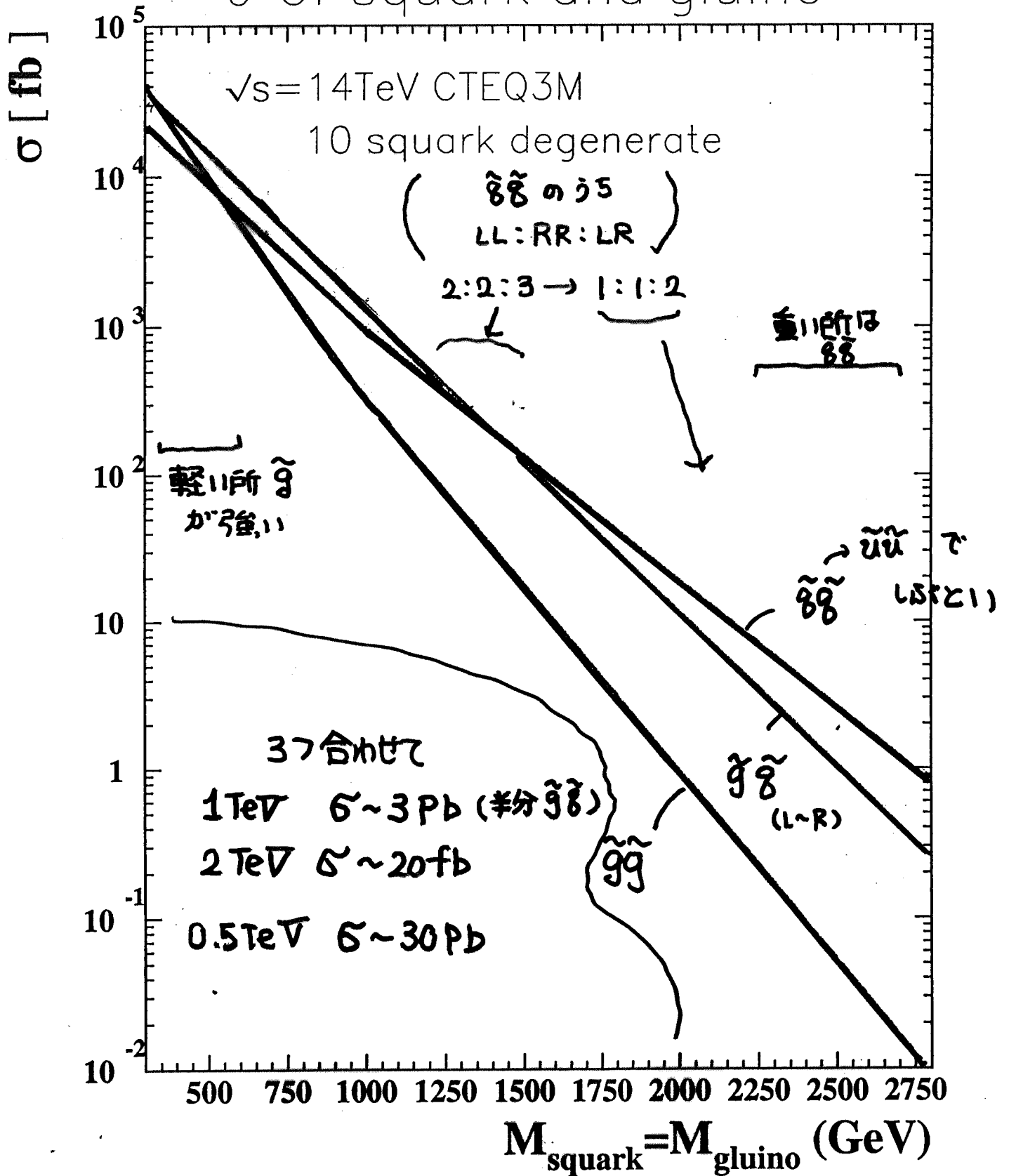
• $g, 8$ 供給源 が Proton (PDF !!)

$0(0.1 \sim 1)$

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

a few TeV 14 TeV

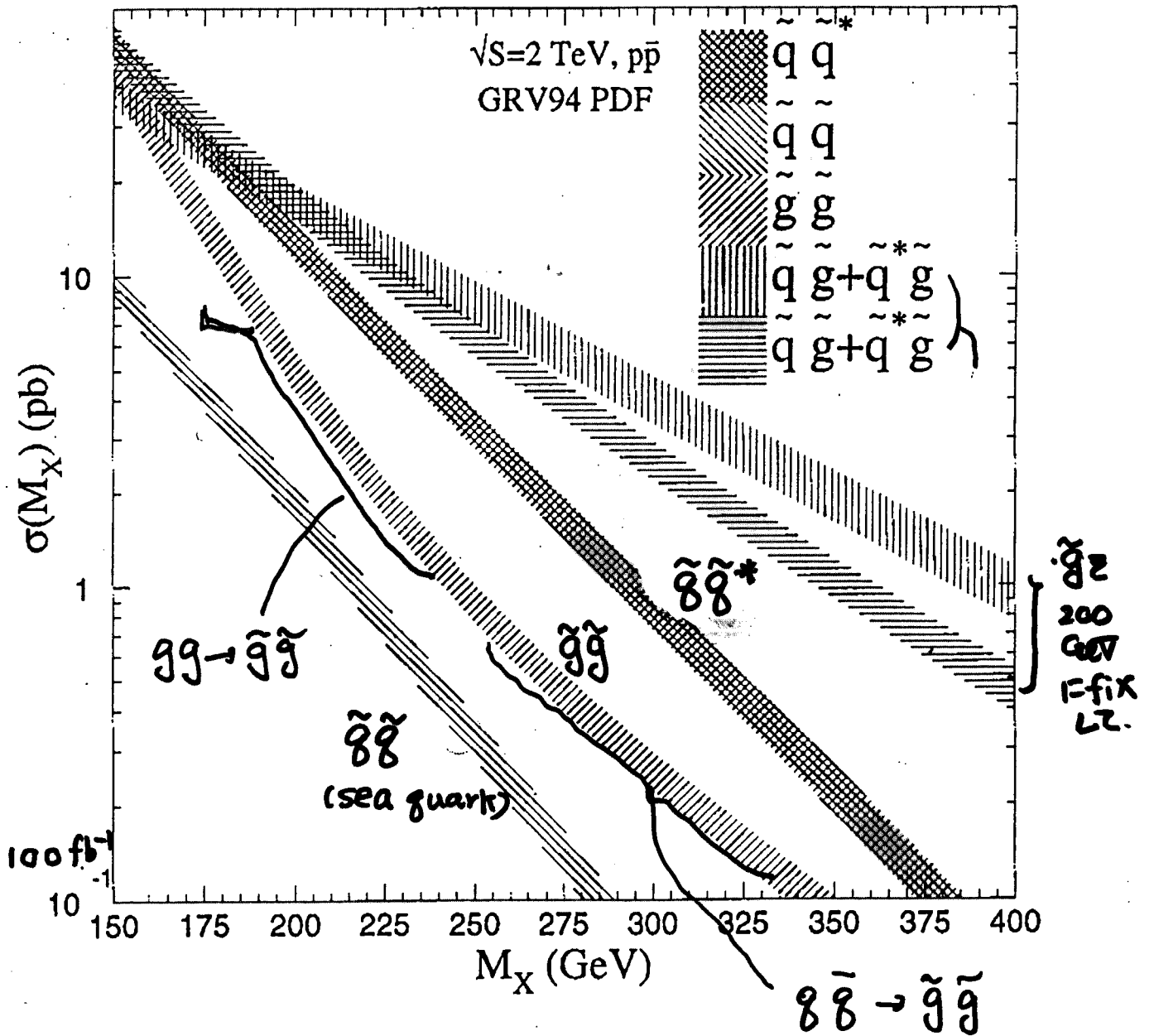
σ of squark and gluino



Tevatron Run-II

(2.3)

(b) Squark and Gluino Production at NLO, 2 TeV



幅は不安定性 (~15%) NLO

K-factor $K = 1.1 \sim 1.8$
 $\tilde{g}\tilde{g}$ の方が大きい

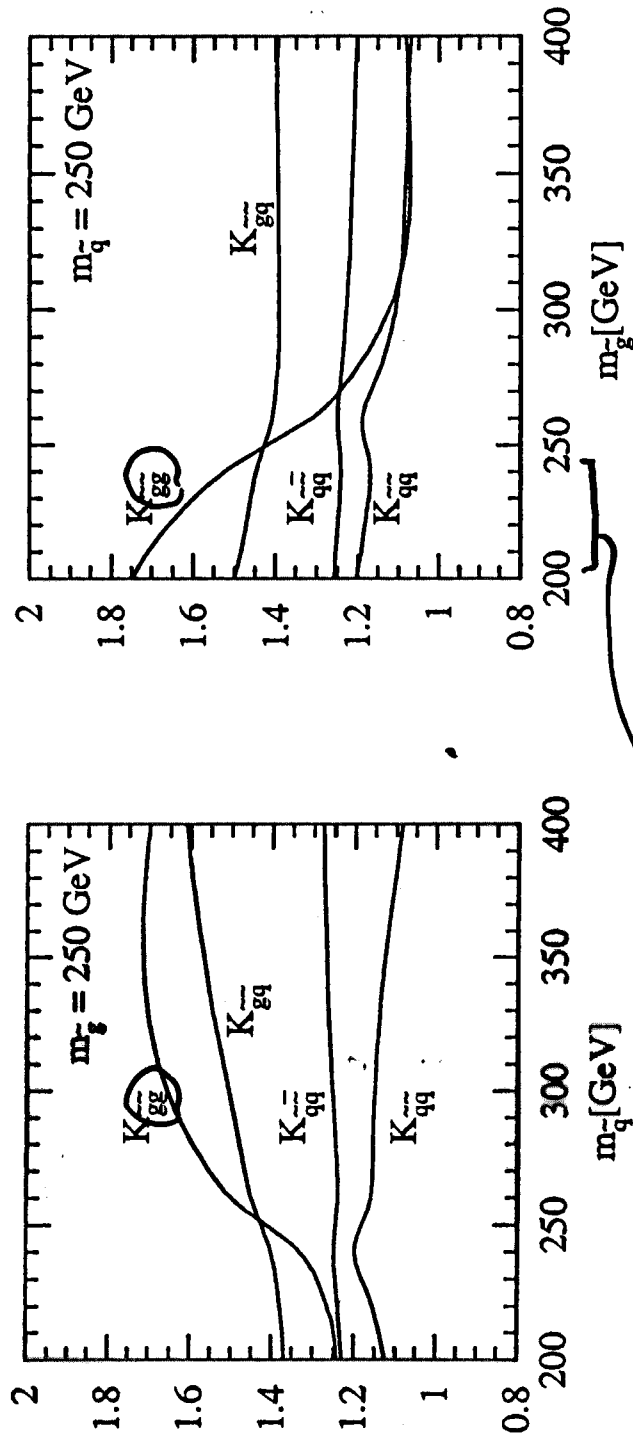


FIGURE 6. *K*-factors of the squark and gluino production cross sections at $Q = m$.

急激な変化
 $(LO) \tilde{g}\tilde{g} \rightarrow \tilde{g}\tilde{g}\tilde{g}\tilde{g} \rightarrow FSR$] 二次の効果がある所は $K \sim 1.8$ と大きい。
 NLO (real effect) \rightarrow さらに増える 並の $1.4 < b_1$ (図 2.4)

[2-2] \tilde{g}, \tilde{q} の decay について (model 度 $\Delta\Delta$)

	\tilde{g} の方が軽い	$m(\tilde{g}) \sim m(\tilde{q})$	\tilde{q} の方が軽い
\tilde{g}	$\tilde{g} \rightarrow q\bar{q}\tilde{\chi}^0$ $\tilde{g} \rightarrow q\bar{q}'\tilde{\chi}^\pm$		$\tilde{g} \rightarrow q\tilde{q}_R \xleftarrow{\text{P.S.}}$ \downarrow $q\tilde{q}_L$
\tilde{q}_R	$\tilde{q}_R \rightarrow q\tilde{g}$	$\tilde{q}_R \rightarrow q\tilde{\chi}^0$	
\tilde{q}_L	$\tilde{q}_L \rightarrow$ $q\tilde{g}$	$\tilde{q}_L \rightarrow q\tilde{\chi}^0$ \searrow $q'\tilde{\chi}^\pm$	

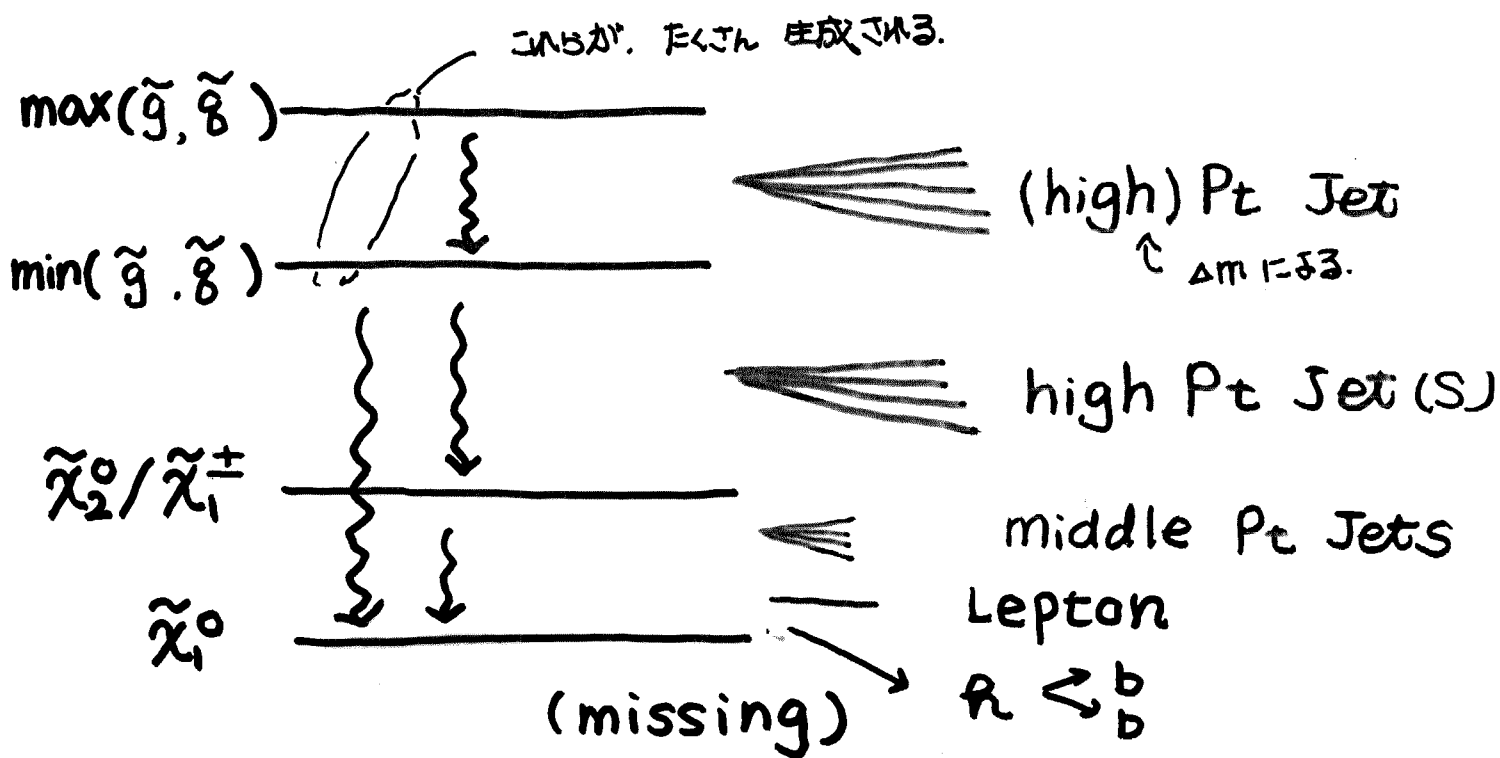
- ▶ Kinematics が可能な. colour を通して decay
- ▶ 不可能な EW を通して decay
- ▶ 第3世代の splitting が大きいと. 113113 ヲヤコシイ.

[2-2] \tilde{g}, \tilde{q} の decay について (model 度 $\Delta\Delta\Delta\Delta$)

	\tilde{g} の方が軽い $m_0 > m_{1/2}$	$m(\tilde{g}) \sim m(\tilde{q})$ $m_0 \sim m_{1/2}$	\tilde{q} の方が軽い $m_0 < 0.6$
color	$\tilde{g} \rightarrow q\bar{q} \tilde{\chi}_{1,2}^0$ Br(+2) ~ 60% Br(-1) ~ 10% ($\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow l\bar{l}, q\bar{q}, \nu + \tilde{\chi}_1^0$) $\tilde{g} \rightarrow q\bar{q}' \tilde{\chi}_1^\pm$ Br(-1) ~ 30% ($\tilde{\chi}_1^\pm \rightarrow q\bar{q}', l\nu + \tilde{\chi}_1^0$)		$\tilde{g} \rightarrow q\tilde{q}_R$ $\tilde{g} \rightarrow q\tilde{q}_L$ ← P.S. $\rightarrow \begin{cases} t & \tilde{t}_1 \\ b & \tilde{b}_1 \end{cases}$
\tilde{q}_R	$\tilde{q}_R \rightarrow q\tilde{g}$ } } $\tilde{q}_R \rightarrow q\tilde{\chi}_1^0$ (Br ~ 100%)		
\tilde{q}_L	$\tilde{q}_L \rightarrow$ } $q\tilde{g}$ } } $\tilde{q}_L \rightarrow q\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow (f\bar{f}\tilde{\chi}_1^0)$ Br ~ 60% $\tilde{q}_L \rightarrow q'\tilde{\chi}_1^\pm \rightarrow (f\bar{f}'\tilde{\chi}_1^0)$ Br ~ 30%		

- ▶ kinematics が可能なら. colour を通して decay
- ▶ 不可能なら EW を通して decay
- ▶ 第3世代の splitting が大きいと. 13113 44331.
- ▶ $|\mu|$ が m_1, m_2 より大きくなり過ぎると $\tilde{\chi}_{3,4}^0, \tilde{\chi}_2^\pm$ は. Higgsino-like \rightarrow 第1, 第2世代とは結合しない.

絵で簡単にしてみると. (model度 $\Delta\Delta\Delta\Delta$)



[Event topologies]

	$m_0 > m_{1/2}$ \tilde{g} が軽い	$m_0 \sim m_{1/2}$ $\tilde{g} \sim \tilde{q}$	$m_0 < 0.6 m_{1/2}$ \tilde{q} が軽い
$\tilde{g}\tilde{g}$	4 Jets + 2 $\tilde{\chi}$ ($\tilde{\chi} = \tilde{\chi}_0, \tilde{\chi}_2^0, \tilde{\chi}_1^\pm$)		
$\tilde{g}\tilde{q}$	5 Jets + 2 $\tilde{\chi}$	}	3 Jets + 2 $\tilde{\chi}$
$\tilde{q}\tilde{q}$	6 Jets + 2 $\tilde{\chi}$		2 Jets + 2 $\tilde{\chi}$

• 簡単に話ができるケース

(1) 第3世代が軽くなっている場合.

- $\tan\beta$ が大きい (\tilde{b} が軽い)
- 一般に \tilde{t} は軽い.

⇒ この場合

$$\tilde{g} \rightarrow \begin{matrix} t\tilde{t}_1 \\ b\tilde{b}_1 \end{matrix} \text{ decay} \quad \leftarrow \quad \underline{\underline{Br \sim 0.1 \sim 0.6}}$$

しかも、Yukawa が大きいので

Higgsino 成分にも結合する

⇒ カスケードの段数 ↑ (図 2.5)

(2) $m_{1/2} \sim |\mu|$ mixed region ($g-2 + \text{Lep} ?$)
 萩原さん 43-25

$\tilde{\chi}$: Higgsino と Gaugino とが
 程よく混合する.

$$\tilde{g}_{L,R} \rightarrow \tilde{g} \tilde{\chi}_{3,4}^0 \rightarrow \tilde{g} \tilde{\chi}_2^0 Z^0 \rightarrow \dots$$

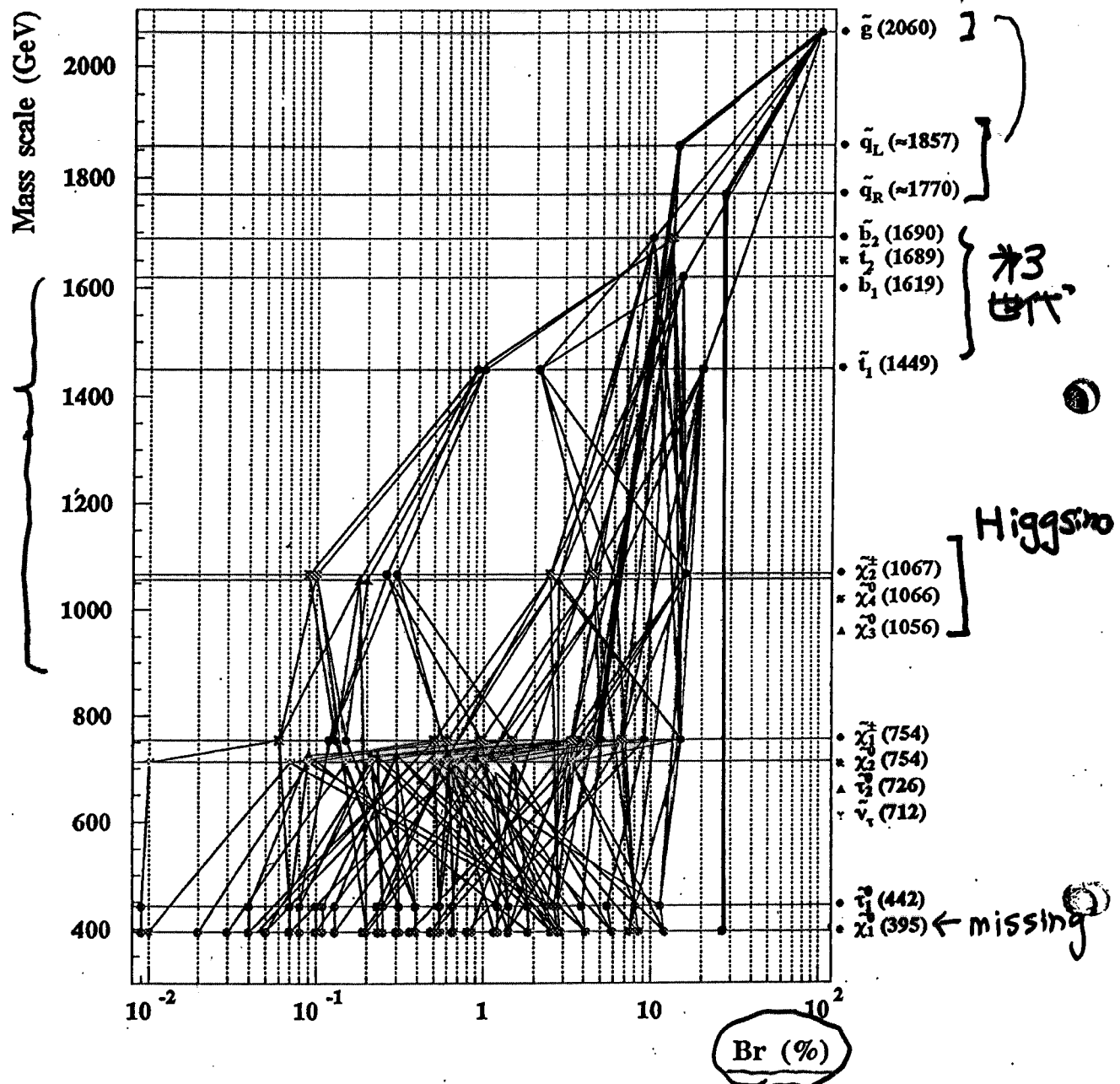
- step 加わる. (もちろん、そのうち $\tilde{\chi}_1^0, \tilde{\chi}_2^0$ に行く奴もいる)

これも、発見には問題ないし、Higgsino 成分 ($\sim |\mu|$)
 を測定出来る chance を与えてくれる.

▶ Cascade decay (例)

サクサク
生成する

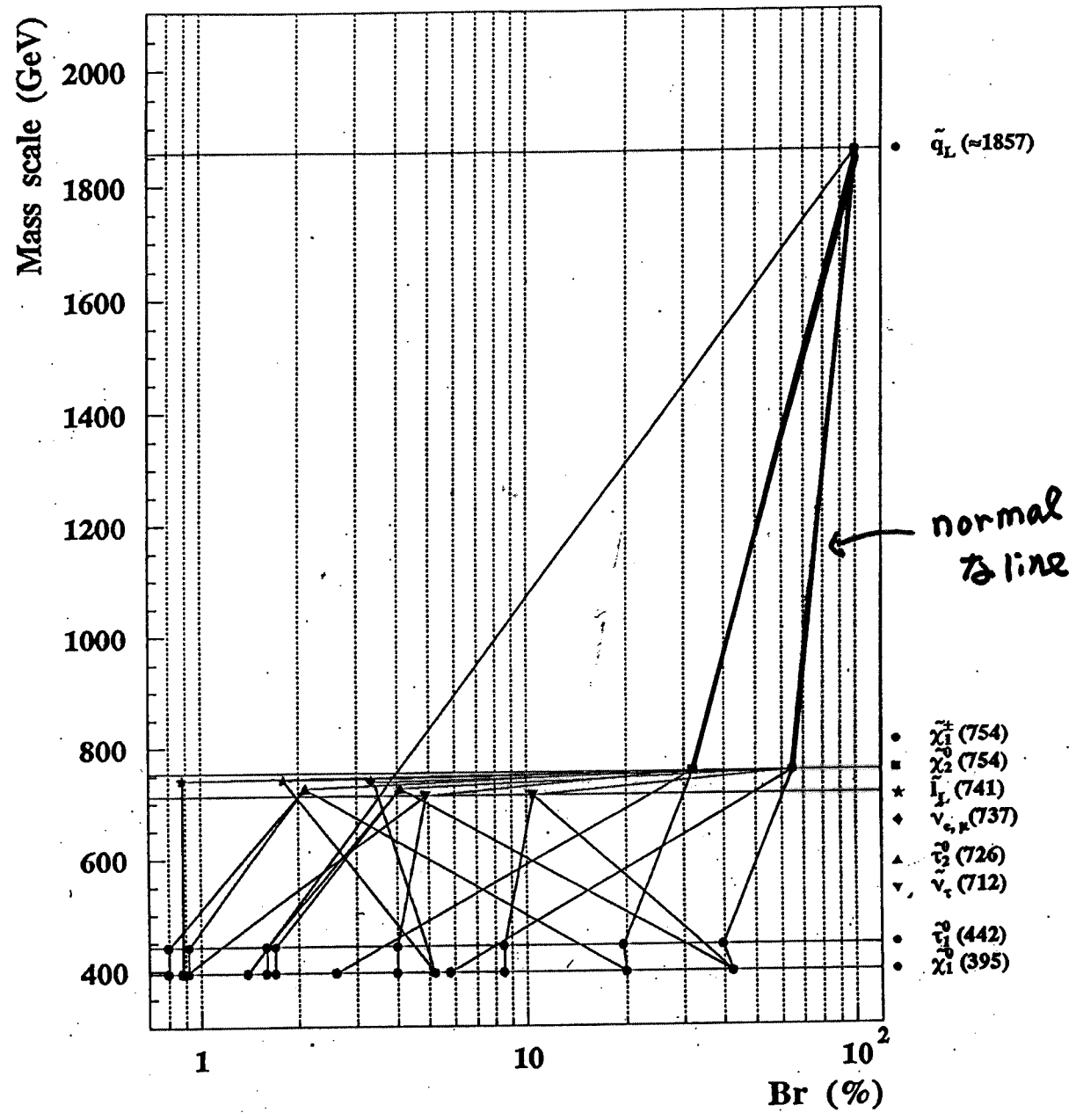
新しく
加わる



$\tilde{\chi}_1^0$ qq (27.0 %)	$\tilde{\chi}_1^0$ τ WWbb (4.1 %)
$\tilde{\chi}_1^0$ τ Wbb (12.1 %)	$\tilde{\chi}_1^0$ τ bb (2.9 %)
$\tilde{\chi}_1^0$ τ WWbb (8.4 %)	$\tilde{\chi}_1^0$ τ qq (2.9 %)
$\tilde{\chi}_1^0$ WWbb (7.4 %)	$\tilde{\chi}_1^0$ τ ZWbb (2.8 %)
$\tilde{\chi}_1^0$ τ qq (5.9 %)	$\tilde{\chi}_1^0$ τ hWbb (2.6 %)

Figure 4: Typical decay modes for massive (2060 GeV) gluino for high $\tan\beta = 35$ ($m_0 = 400$ GeV, $m_{1/2} = 900$ GeV, $A_0 = 0$ and $\mu > 0$). The ten largest individual decay modes are specified. Note multiplicity of b and τ final states.

- ▶ 二つの τ の状態で τ の発見は出来るし、測定に使う
- normal な line (-) τ と b とある。(但し、SUSY BG ↑)
- ▶ \tilde{t} , \tilde{b} , $\tilde{\chi}_{3,4}^0$ の study の chance を与えてくれる。



$\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \tau \nu q$ (42.3 %)	$\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \tau \nu W q$ (4.0 %)
$\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \tau \tau q$ (20.0 %)	$\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow h q$ (2.6 %)
$\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \tau \tau W q$ (8.5 %)	$\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \tau \nu Z q$ (1.7 %)
$\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow W q$ (5.8 %)	$\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \tau \nu h q$ (1.6 %)
$\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow l \nu q$ (5.2 %)	$\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow q$ (1.4 %)

Figure 5: Typical decay modes for massive (1857 GeV) left squark for high $\tan\beta = 35$ ($m_0 = 400$ GeV, $m_{1/2} = 900$ GeV, $A_0 = 0$ and $\mu > 0$).

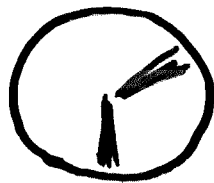
▶ \tilde{g} が、 Δ チャクチャクで \tilde{g}_L や \tilde{g}_R は安心して使える。
 (主に \tilde{g} , \tilde{a} だから。余程、 $\tilde{\chi}_{1,2}^0$, $\tilde{\chi}_2^\pm$ にSU(2)成分が、まじり
 ない限り。フレイ)

[2-3] 見つけ方と計算用

(1) at least 2jet.
 共に. $P_t > \max(100, P)$ trigger OK

(2) $\cancel{E}_T > \max(100, P)$
 Pは. S/\sqrt{B} が < 5 になる
 (ex. $\tilde{g}\tilde{g} \sim 1\text{TeV}$ 区と $\langle \cancel{E}_T \rangle \sim 450\text{GeV}$) 様に. SUSY Parameter 依存

(3) $S_T = \frac{2\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} > 0.2$



Jet (r, φ) 平面で
 back to back
 である。
 mono-jet like ではない。

▶ QCD BGE reject.

(4) EL. $P_t > 20\text{GeV}$ e, μ ($|\eta| < 2.5$)

にあ, EB. "Lepton mode" として.

$$M_T(l, \cancel{E}_T) > 100\text{GeV}$$

▶ $W \rightarrow l\nu$ veto

⇒ efficiency ~ 10~20% (軽い \tilde{g}/\tilde{g} 程. 低い)

(本番では. $X \sim 0.7$ for cleaning up, cDF, DØ)

(図 2.7)

trigger の table (5.1 と 5.11. 今は multi-b など 追加)

Table 5.1: List of LVL1 and LVL2 trigger requirements and associated rates at high and low luminosity

Trigger requirement	LVL1 rate (kHz)	LVL2 rate (kHz)
Luminosity $\mathcal{L} = 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$		
$\geq 1 \mu p_T > 20 \text{ GeV} (1\mu_{20})$	4	
$\geq 1 \text{ isolated } \mu p_T > 20 \text{ GeV} (1\mu_{20I})$		0.2
$\geq 1 \mu p_T > 40 \text{ GeV} (1\mu_{40})$		0.1
$\geq 1 \text{ isolated e.m. cluster } E_T > 30 \text{ GeV} (1em_{30})$	20	
$\geq 1 e E_T > 30 \text{ GeV} (1e_{30})$		0.3
$\geq 1 \gamma E_T > 60 \text{ GeV} (1\gamma_{60})$		0.1
$\geq 2 \mu p_T > 6 \text{ GeV} (2\mu_6)$	1	
$\geq 2 \mu p_T > 10 \text{ GeV} (2\mu_{10})$		0.08
$\geq 2 \text{ isolated } \mu p_T > 6 \text{ GeV} (2\mu_{6I})$		0.1
$B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-, B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$		0.01
$\geq 2 \text{ isolated e.m. clusters } p_T > 20 \text{ GeV} (2em_{20})$	4	
$\geq 2 e p_T > 20 \text{ GeV} (2e_{20})$ or $\geq 2 \gamma p_T > 20 \text{ GeV} (2\gamma_{20})$		0.2
$\geq 1 \text{ jet } p_T > 150 \text{ GeV} (1j_{150})$	3	
$\geq 1 \text{ jet } p_T > 200 \text{ GeV} (1j_{200})$		see text
$\geq 1 \text{ jet } p_T > 300 \text{ GeV} (1j_{300})$		0.1
$\geq 3 \text{ jets } p_T > 150 \text{ GeV} (3j_{150})$		0.04
Large $E_T^{\text{miss}} (E_T^{\text{miss}})$	1	0.1
Other prescaled triggers	5	0.1
Total	$\lesssim 38$	$\lesssim 1.4$
Luminosity $\mathcal{L} = 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$		
$\geq 1 \mu p_T > 6 \text{ GeV} (1\mu_6)$	8	
B-physics LVL2 triggers (see Section 5.1.4)		0.8
$\geq 1 \mu p_T > 20 \text{ GeV} (1\mu_{20})$		0.2
$\geq 1 \text{ isolated e.m. cluster } p_T > 20 \text{ GeV} (1em_{20})$	10	
$\geq 1 e p_T > 20 \text{ GeV} (1e_{20})$		0.2
$\geq 1 \gamma p_T > 40 \text{ GeV} (1\gamma_{40})$		0.06
$\geq 2 \text{ isolated e.m.-clusters } p_T > 15 \text{ GeV} (2em_{15})$	2.5	
$\geq 2 e p_T > 15 \text{ GeV} (2e_{15})$		0.01
$\geq 2 \gamma p_T > 20 \text{ GeV} (2\gamma_{20})$		0.01
$\geq 1 \text{ jet } p_T > 100 \text{ GeV} (1j_{100})$	0.9	
$\geq 1 \text{ jet } p_T > 200 \text{ GeV} (1j_{200})$		0.06
$\geq 3 \text{ jets } p_T > 100 \text{ GeV} (3j_{100})$		0.02
Large $E_T^{\text{miss}} (E_T^{\text{miss}})$	0.1	0.01
Other prescaled triggers	1	0.1
Total	$\lesssim 23$	$\lesssim 1.5$

high \mathcal{L}
100 fb⁻¹/y

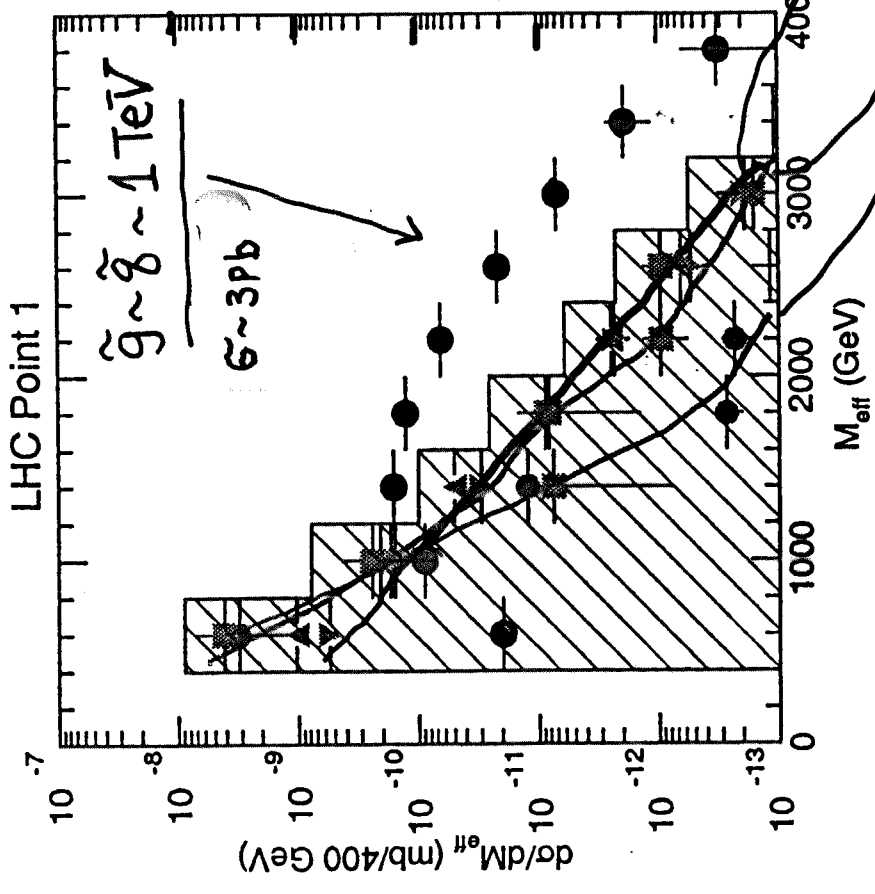
Low \mathcal{L}
10 fb⁻¹/y

χ_0^0
 χ_2^0
 χ_1^0
1 = 12.

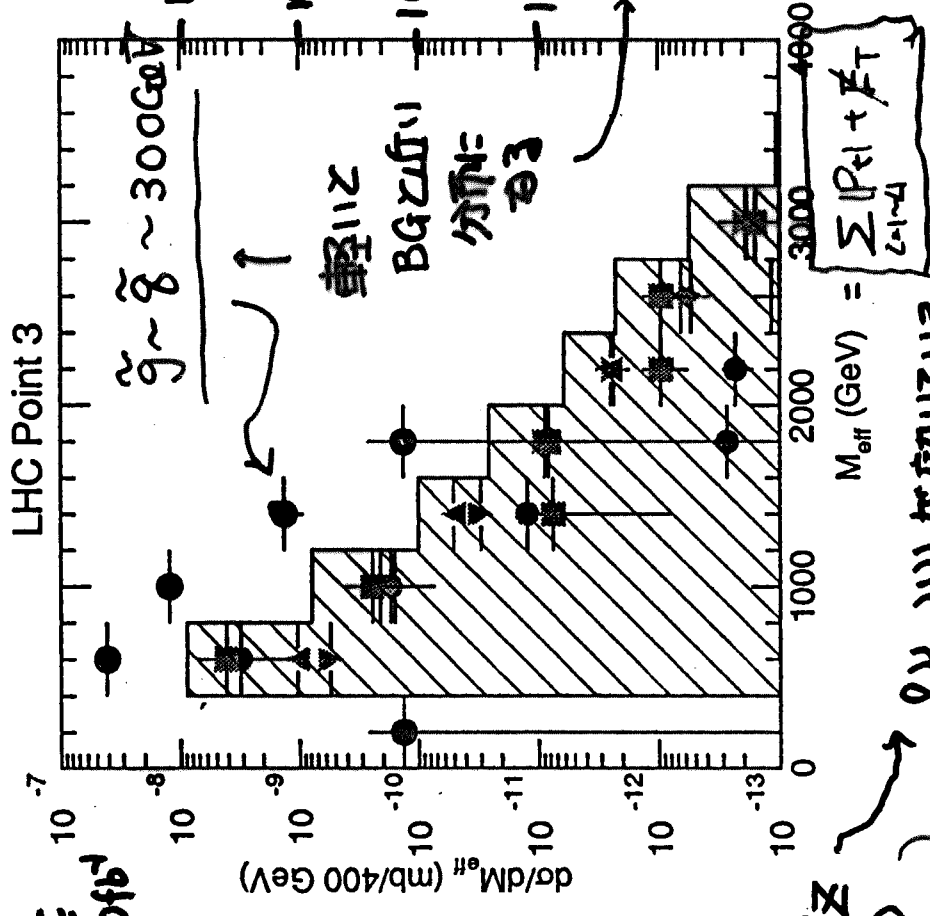
SUSY

実験で どんを感じて見えるか??

(図 2. 7b)



- (1) $N_{\text{jet}} \geq 4$ for $P_t > 50 \text{ GeV}$
- (2) $N_{\text{jet}} \geq 2$ for $P_t > 100 \text{ GeV}$
- (3) $ST > 0.2$
- (4) $\cancel{E}_T > 100 \text{ GeV}$
- (5) No lepton (no lepton mode)



2.2, 2.3 が効いてくる

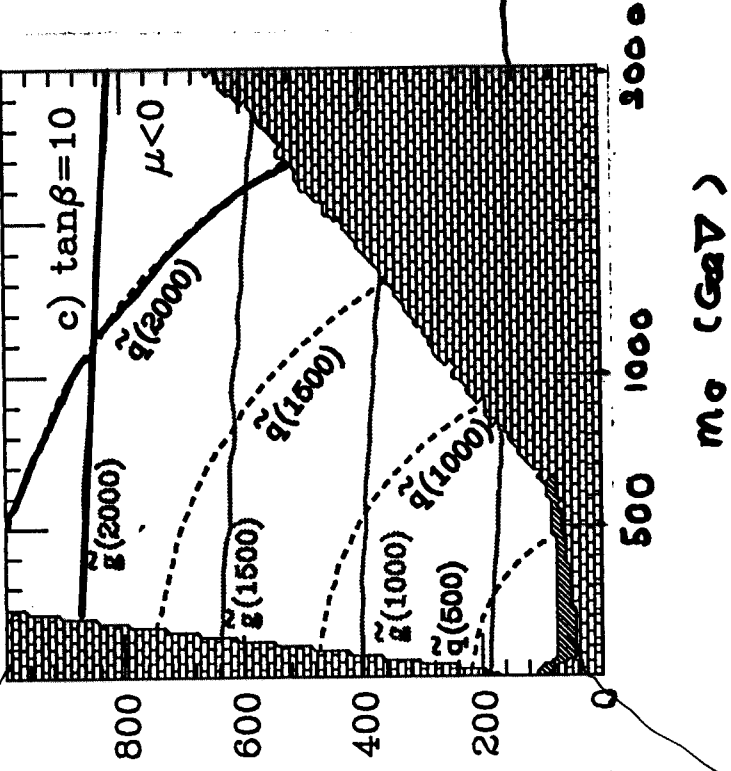
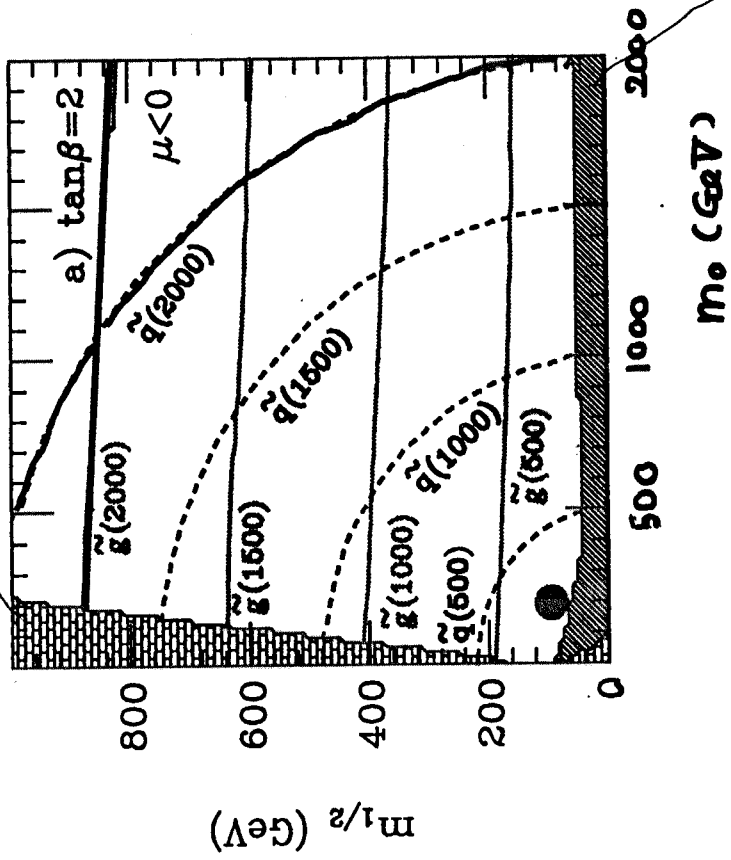
$\frac{d\sigma}{dP_t^2} \sim P_t^{-6}$ で 落 53 が 数 が 多 11
 Lepton mode には \cancel{E}_T

2.3 W が 出 7. 2b
 check 可

no lepton mode には 少 11.

(不定性 LO ~ factor 2 NLO ~ 1.2)

$\tilde{\chi}_R^+$ が LSP にあつては



— \tilde{g} 2 TeV
 — \tilde{q} 2 TeV

復習

$m_{\tilde{g}} \sim 2.6 m_{1/2}$

$m_{\tilde{g}} \sim \sqrt{m_0^2 + 6 m_{1/2}^2}$

GUT

Higgs が重く
 きて F_W

かゝる μ が行かぬ
 (model $\Delta\Delta\Delta$)

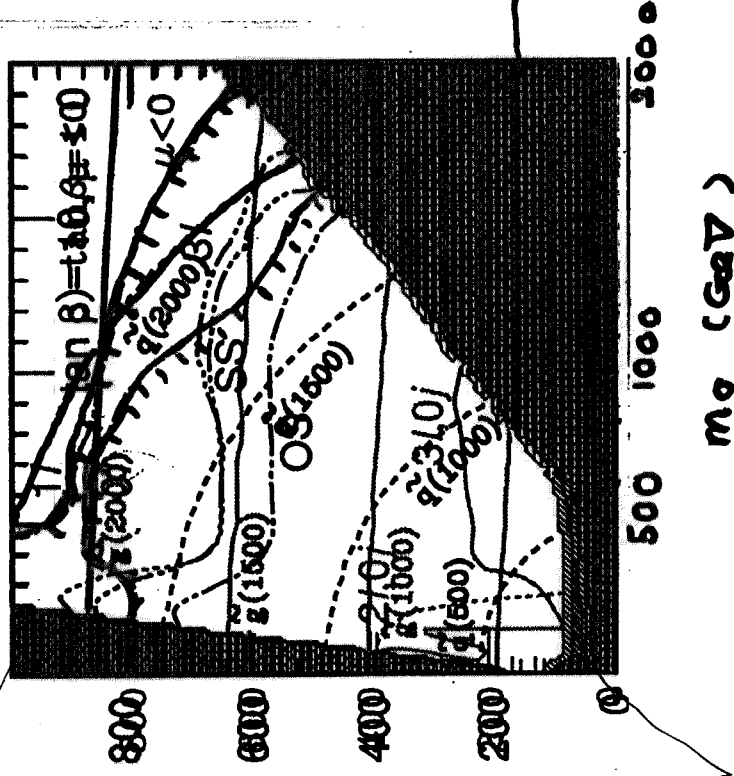
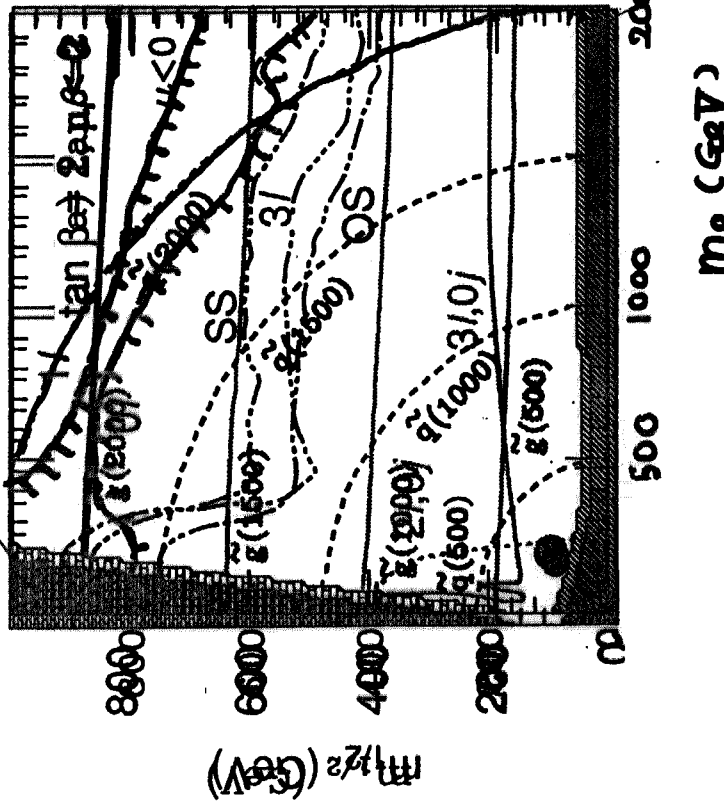
LEP で 被レド

m_0 (GeV)

m_0 (GeV)

$m_{1/2}$ (GeV)

$\tilde{\chi}_R^0$ が LSP にあつた場合



— \tilde{g} 2 TeV
 — \tilde{t} 2 TeV

復習

$m_{\tilde{g}} \sim 2.6 m_{1/2}$

$m_{\tilde{g}} \sim \sqrt{m_0^2 + 6 m_{1/2}^2}$

GUT

Higgs が重く
 きて $\beta \omega$
 が大きくなる

(model $\Delta \Delta \Delta$)

LEP: 報告済

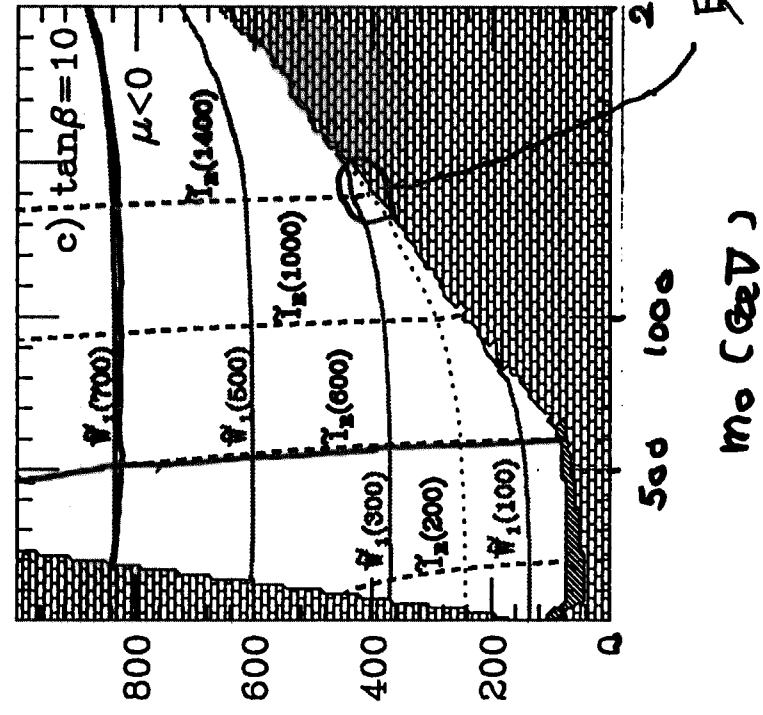
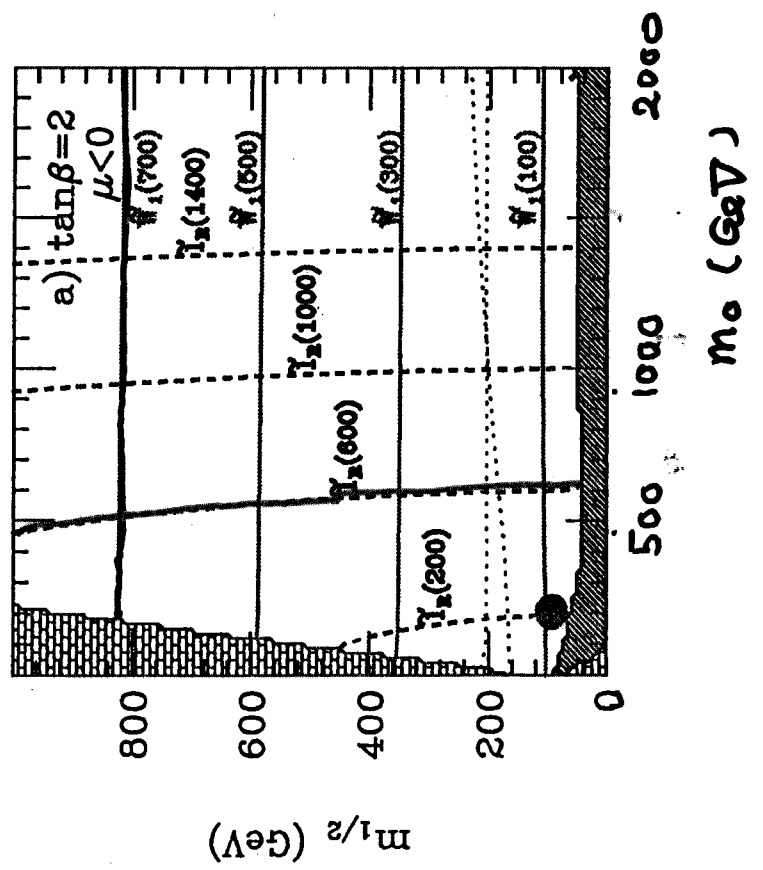
$\mathcal{L} = 10 \text{ fb}^{-1}$ (ATLAS 1年) で 5 σ discovery region.

— Lepton mode — no Lepton mode

$\Rightarrow \tilde{g}, \tilde{t}$ 2 TeV

(model 度 $\Delta < 511$)

(図 2.10)



$\tilde{\chi}_1^\pm \sim 700 \text{ GeV}$

$\tilde{L}_R \sim 600 \text{ GeV}$

復習

$m_2 \sim 0.8 m_{1/2}$

$m_{\tilde{L}_R} \sim \sqrt{m_0^2 + 0.15 m_{1/2}^2}$

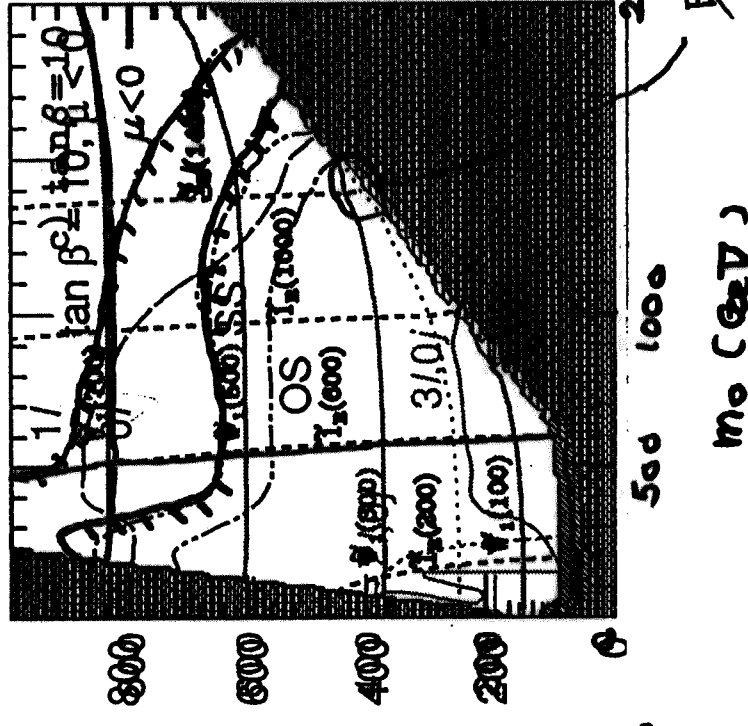
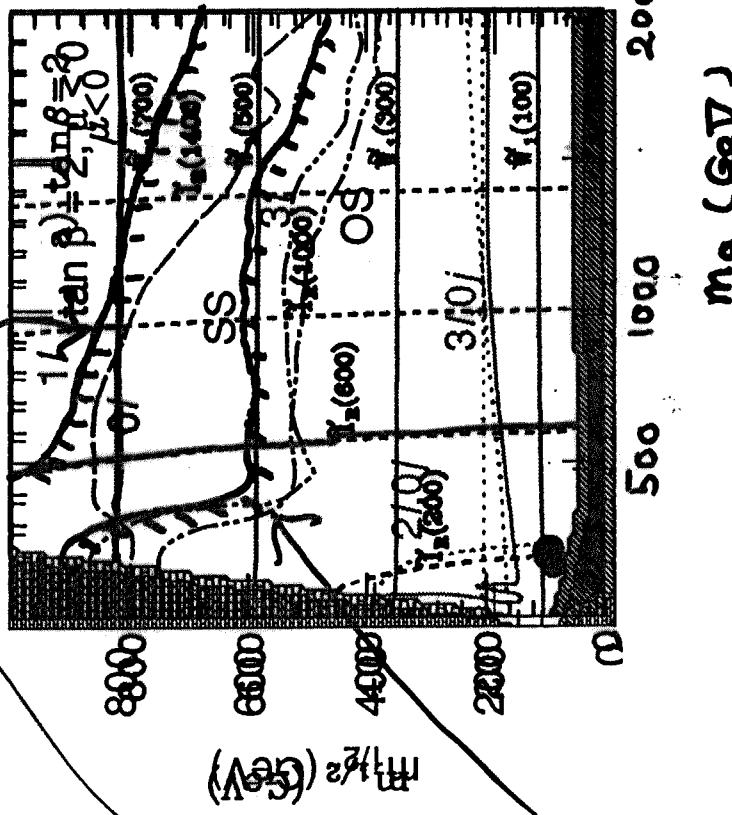
$F\tilde{W}$ のために $|\mu|$ が小さくなる

$|\mu| \sim m_{1/2}$

mixed region

$m_{1/2}$ が大きくなる
 $\tilde{\chi}_1^\pm$ は軽います

(2.116)



$\tilde{\chi}_1^\pm$ 700 GeV

$\tilde{\chi}_R$ 600 GeV

復習

$m_2 \sim 0.8 m_{1/2}$

$m_{\tilde{\chi}_P} \sim \sqrt{m_0^2 + 0.15 m_{1/2}^2}$

FWの為に $|\mu|$ が小さくなる

$|\mu| \sim m_{1/2}$

mixed region

$m_{1/2}$ が大きくなると $\tilde{\chi}_1^\pm$ は軽くなります。

▷ (model 度 $\Delta\Delta\Delta$) GUT-relation
 $2\text{TeV } \tilde{g} \rightarrow 700\text{ GeV } \tilde{\chi}_1^\pm$ に対応

▷ (model 度 $\Delta\Delta\Delta$)

$\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow \tilde{\chi}_1^\pm + \tilde{\chi}_2^0 / \tilde{\chi}_2^0 \rightarrow \tilde{\chi}_1^0$
 \rightarrow lepton 数 "出ている" 及び τ 崩壊

500 GeV $\tilde{\chi}_1^\pm, \tilde{\chi}_R$

は 157 頁

High までと 何処まで ??

⇒ $\mathcal{L} = 300 \text{ fb}^{-1}$ (High まで 3年 ~ 2013年頃)

$\tilde{g}, \tilde{\delta} \sim 2.5 - 3.0 \text{ TeV} < \text{GMSB } 5\sigma$

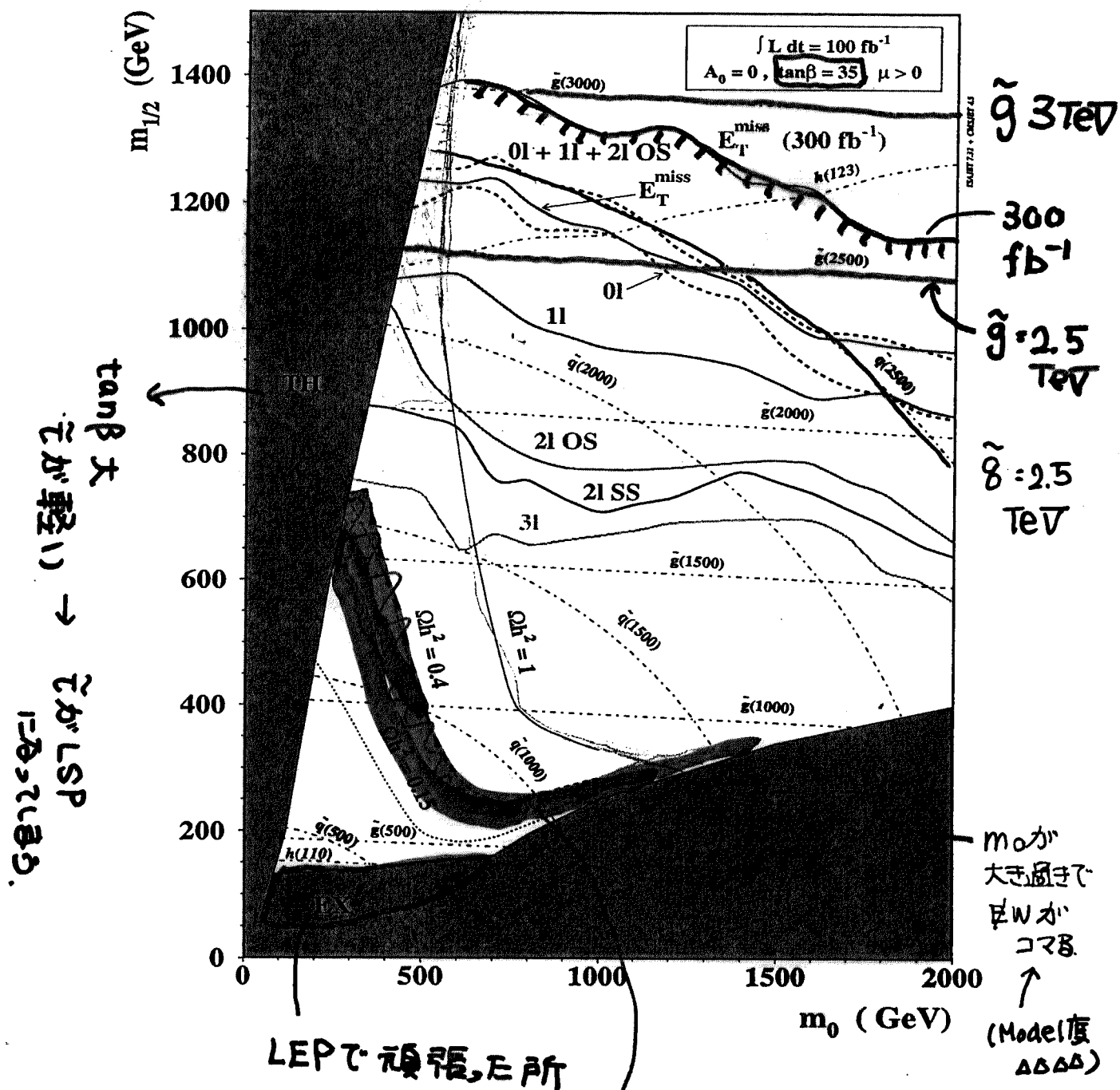
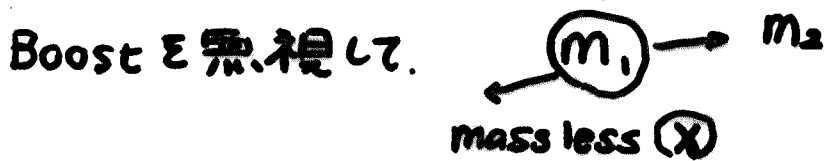


FIG. 6: 5 sigma reach contours for various final states with 100 fb^{-1} (see also comments in text).

[2-4] Mass を決める. (上から攻める方法)



α の $|P_{Tc}| \propto \frac{1}{2} (m_1 - \frac{m_2^2}{m_1})$ に比例する.

⇒ Jet の $|P_{Tc}|$ は, S-particle の mass に 関係している.

実験的には. どの Jet か. どの E が 親 見るのか ???

⇒ もう. 全部 (大きい奴だけ) 足したら.
ある程度. 親の S-particle の mass に 比例して
くめる.
(経験的)

$$\left\{ \begin{array}{l} (1) M_{est} \equiv \sum_{i=1}^4 |P_{Tc}^i| + \cancel{E_T} \\ (2) M_{est} \equiv \sum_{i=1}^{\text{大きい全部}} |P_{Tc}^i| + \cancel{E_T} \end{array} \right.$$

2 $\times \tilde{\chi}^0$ (LSP) が逃げる分の補正

(> 50 GeV)

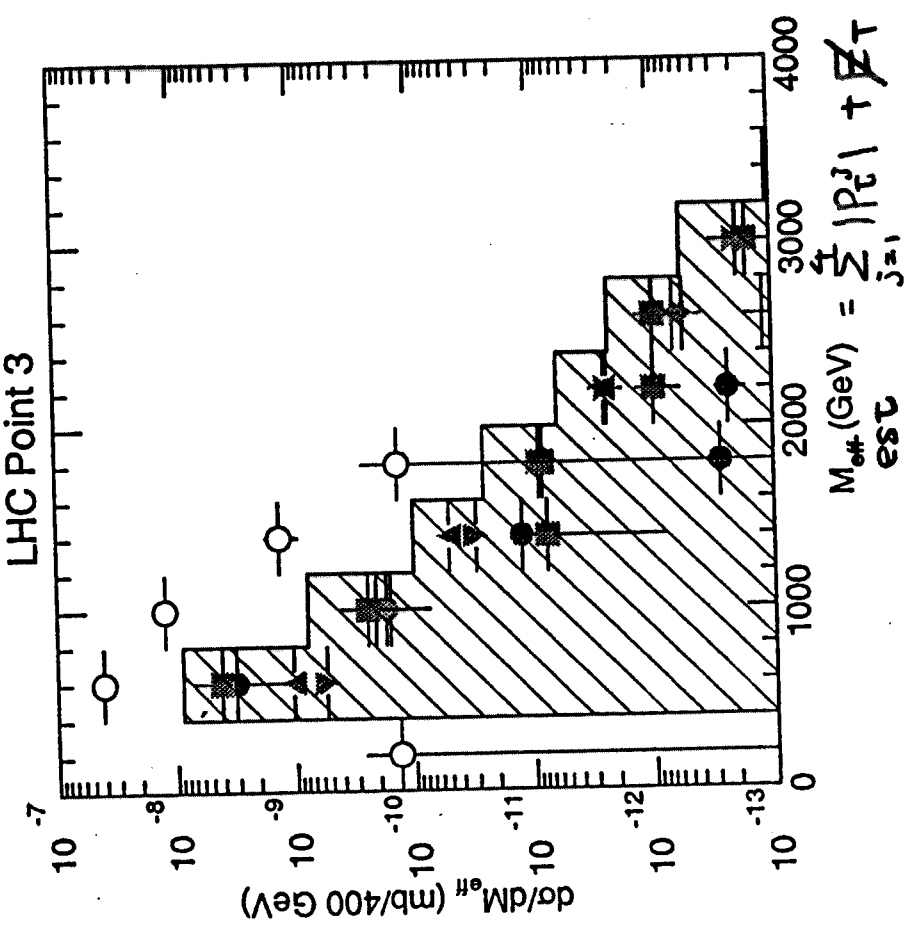
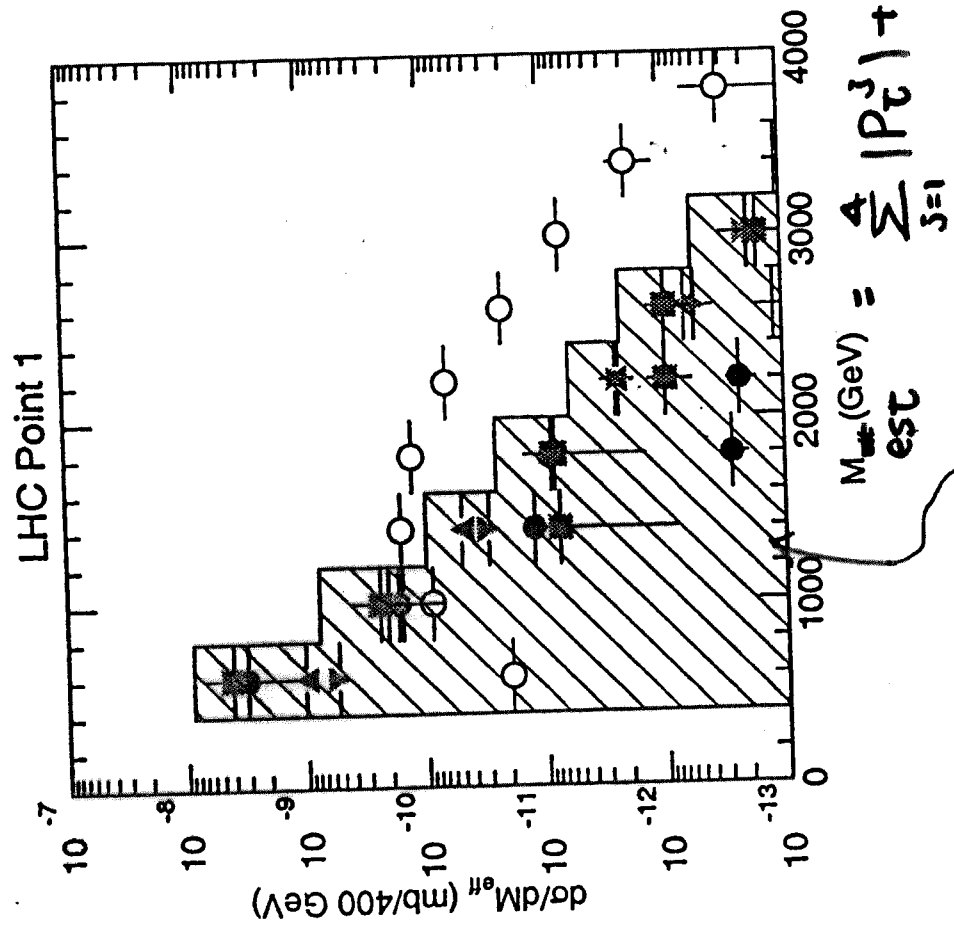
CONE を大きくとれば g-emission も CONE の中で 採れる

⇒ この場合は. 上の方が. QCD のゴミに対しては 強い.

CONE を. 大きくとらる場合や. カスケードの段数が

多い時は. 下の方が 良い.

- ▶ Selection
- ① $N_{jets} \geq 4$ for $|P_{Tc}| > 50 \text{ GeV}$
 - ② $N_{jet} \geq 2$ for $|P_{Tc}| > 100 \text{ GeV}$
 - S_T , not Back to back
- ⇒ M_{est} が 分り 見える (図2-13)



① BG と $\bar{\sigma}$ (この systematic error が大きい → 補正)

② 残りを Gaussian で fit する

③ 中心値 と colored sparticle の mass との 相関を見る。

① $\min (M\tilde{g}, M\tilde{u})$

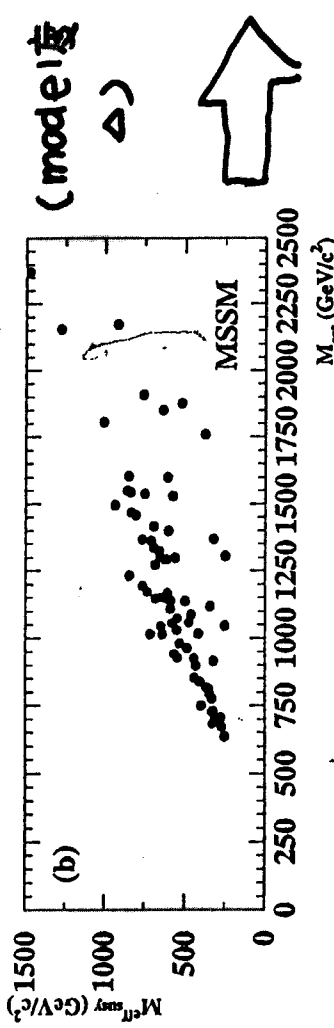
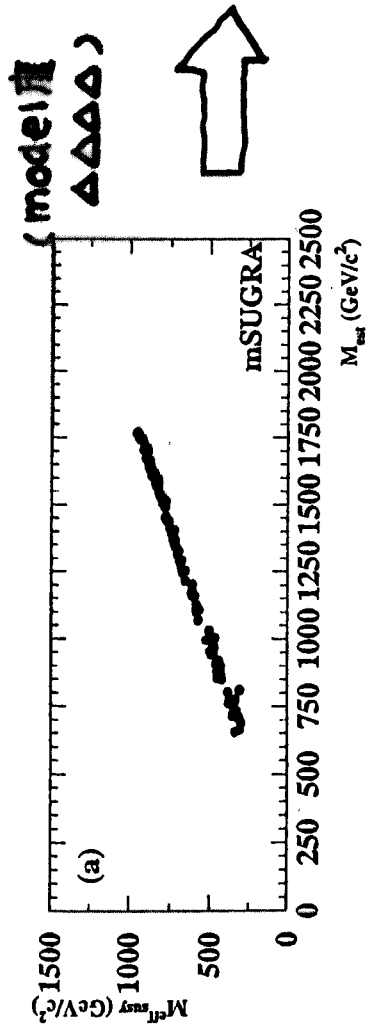
② $\tilde{M}_S = \sum_{i=g, \tilde{u}, \tilde{d}} w_i m_i$

$M_{Sory} = (M\tilde{S} - m_{\tilde{S}}^2)$

$$M_{\text{susy}} = \left(\sum_{i=1}^3 6\epsilon \tilde{m}_i - \frac{m_{\tilde{\chi}_0^0}}{\sum_{i=1}^3 \tilde{m}_i} \right) \text{ と } \sum_{i=1}^3 |\tilde{P}_i| + \tilde{P}_T$$

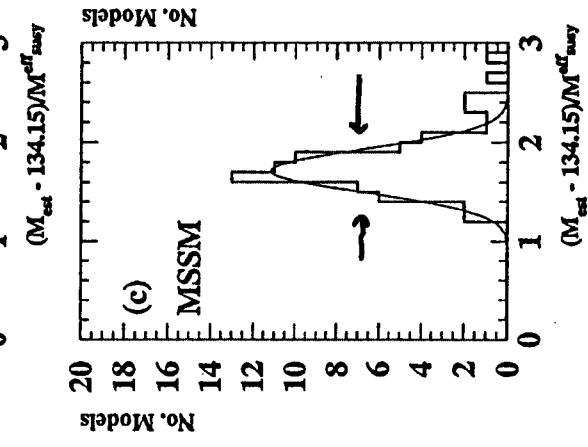
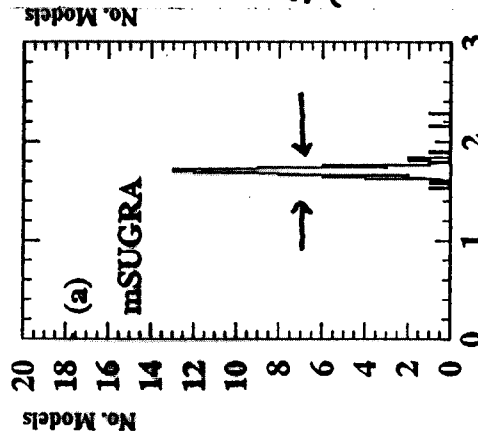
の相関

L.A. Harvey / Physics 44



μ free $\rightarrow \tilde{\chi}_2^\pm, \tilde{\chi}_3^0$ contribute

(注!!)
 自然は、1点(又は0点)
 だ。0(15%)の誤差??



2.1% \Rightarrow 15%
 systematic
 • BG 不定性 50%
 • Escala 1%
 12.8% \Rightarrow 40%

もっと話を簡単にする為
 に $\min(g, \tilde{u}_p)$
 と比較しても
 5%と悪くはない。
 $\rightarrow g, \tilde{u}_R$ の mass (65%)

カスケードの段数
 がババババババ
 になっていく点もある。

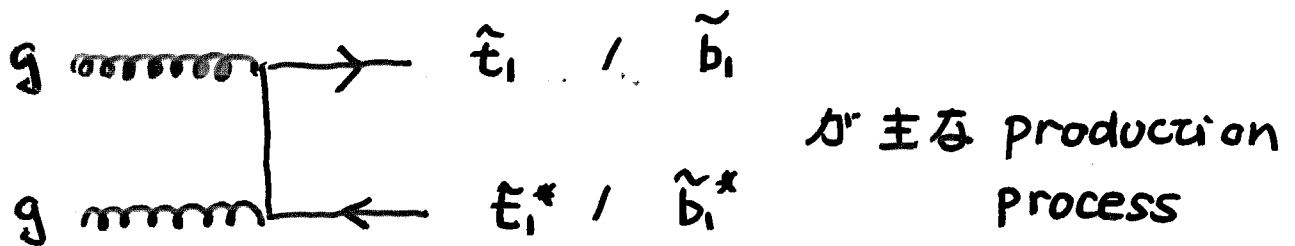
[2-5] \tilde{t}_1, \tilde{b}_1 の direct production

\tilde{t}_1, \tilde{b}_1 は軽い. (オ1章)

$\tilde{g} \rightarrow t \tilde{t}_1, b \tilde{b}_1$ が主の decay mode
になる. (colour 2体 decay)

$g\tilde{g}, \tilde{g}\tilde{g}$ production の cascade decay

を理解する上で $\tilde{t}_1, \tilde{t}_1^*, \tilde{b}_1, \tilde{b}_1^*$ の direct production
は役に立つ. (参考文献. 測定で用いる コントロール・サンプル)



Production σ は. (Model 度 Δ)

m	σ
400 GeV	1 Pb
500 GeV	0.5 Pb
600 GeV	0.2 Pb
700 GeV	0.1 Pb
:	
1 TeV	10 fb

と急速に小さくなる. (gg process のため)

Decay

$$\begin{array}{l}
 \tilde{t}_1 \left\{ \begin{array}{l} \rightarrow \left. \begin{array}{l} b \tilde{\chi}_1^+ \\ b \tilde{\chi}_2^+ \end{array} \right\} \text{CC} \quad \text{Br} \sim 60\% \\
 \rightarrow t \tilde{\chi}_{1,2,3,4}^0 \text{NC} \quad \text{Br} \sim 40\% \\
 \quad \downarrow \\
 \quad b+W
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 \tilde{b}_1 \left\{ \begin{array}{l} \rightarrow \left. \begin{array}{l} t \tilde{\chi}_1^+ \\ t \tilde{\chi}_2^+ \end{array} \right\} \text{CC} \quad \text{Br} \sim 40 \sim 60\% \\
 \rightarrow b \tilde{\chi}_{1,2,3,4}^0 \text{NC} \quad \text{Br} \sim 40 \sim 60\%
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

Large $\tan\beta$ である時 b の Yukawa は
 小さいので $b\tilde{\chi}_3^0, b\tilde{\chi}_4^0, t\tilde{\chi}_2^+$ は
 少ない。

- ▶ $2t + \cancel{F}_T$ Type Z enhance する cut
 $\Rightarrow \tilde{t}_1, \tilde{t}_1^*$ Z enhance 出来る
- ▶ $4b + \cancel{F}_T + 4W$ Z enhance するは \tilde{b}, \tilde{b}^* の CC
 (即ち $4t + \cancel{F}_T$)
- ▶ $2b + \cancel{F}_T + nZ$ like $\rightarrow \tilde{b}, \tilde{b}$ NC

これらのコントロールパネルを言えば、 \tilde{t}, \tilde{b} の study 出来る
 (まだまだ)