

基研研究会 電弱対称性の破れ

Discussion: SUSY

2011.03.16.

- **メンバー**

- 阿部、藺藤、下村、杉山、
永田、中村、浜口、前川、
梁、渡辺 + 後藤

“Kitano Rule” を SUSY session に当てはめる

Rule #1: EWSB と fermion mass に集中せよ

--> EWSB は Higgs. (議論の主演: 後で議論)

--> fermion mass は SM と同じ。

(Yukawa の起源は LHC 後に postpone.)

Rule #2: Glashow model より良いか。

--> Yes. 少なくとも SM 程度には。

Rule #3: 予言せよ。(意味のない計算はダメ)

--> Higgs !!! (後で議論) + new physics

“Kitano approach” を SUSY session に当てはめる

1. identify the problems.
2. seriousness of the problem
(Possible to postpone? --> need a reason.)
3. solutions
4. (LHC) predictions
5. future situations (1.5 years later.)

“Kitano approach” を SUSY session に当てはめる

1. identify the problems. **Flavor/CP problem**
2. seriousness of the problem
(Possible to postpone? --> need a reason.)
3. solutions
4. (LHC) predictions
5. future situations (1.5 years later.)

“Kitano approach” を SUSY session に当てはめる

1. identify the problems. **Flavor/CP problem**
2. seriousness of the problem **Yes. it's serious.**
(Possible to postpone? --> need a reason.)
3. solutions
4. (LHC) predictions
5. future situations (1.5 years later.)

“Kitano approach” を SUSY session に当てはめる

1. identify the problems. **Flavor/CP problem**
2. seriousness of the problem **Yes. it's serious.**
(Possible to postpone? --> need a reason.)
3. solutions **GMSB, AMSB, MMSB, ??MSB, decoupling,...**
4. (LHC) predictions
5. future situations (1.5 years later.)

“Kitano approach” を SUSY session に当てはめる

1. identify the problems. **Flavor/CP problem**
2. seriousness of the problem **Yes. it's serious.**
(Possible to postpone? --> need a reason.)
3. solutions **GMSB, AMSB, MMSB, ??MSB, decoupling,...**
4. (LHC) predictions **FCNCのsolutionとは直接関係ない**
5. future situations (1.5 years later.)
 - **LHC**: GMSB は exotic. それ以外は基本的に jets + mET (+ leptons)
2年以内に出るかどうかは模型 + fine-tuning 次第。後ほど議論。
 - **DM direct detection** は GMSB に不利？
-> 一応逃げる模型はある (Hisano-Nakayama-Sugiyama-Takesako-Yamanaka 1003.3648)
 - **MEG で LFV** が出たら GMSB は不利？
-> でも GMSB でも出せる ($M_{\text{mess}} > M_R > 10^{14}$ GeV Tobe-Wells-Yanagida 0310148)

“Kitano approach” を SUSY session に当てはめる

1. identify the problems. **Flavor/CP problem**

2. seriousness of the problem **Yes. it's serious.**

(Possible to postpone? → need a reason.)

→ **Yes. Let's postpone it!**

3. solutions **GMSB, AMSB, MMSB, ??MSB, decoupling,...**

4. (LHC) predictions

• FCNCのsolutionとは直接関係ない

5. future situations (1.5 years later.)

• **LHC**: GMSB は exotic. それ以外は基本的に jets + mET (+ leptons)

2年以内に出るかどうかは模型 + fine-tuning 次第。後ほど議論。

• **DM direct detection** は GMSB に不利？

→ 一応逃げる模型はある (Hisano-Nakayama-Sugiyama-Takesako-Yamanaka 1003.3648)

• **MEG** で **LFV** が出たら GMSB は不利？

→ でも GMSB でも出せる ($M_{\text{mess}} > M_R > 10^{14}$ GeV Tobe-Wells-Yanagida 0310148)

“Kitano approach” を SUSY session に当てはめる

1. identify the problems.
2. seriousness of the problem
(Possible to postpone? --> need a reason.)
3. solutions
4. (LHC) predictions
5. future situations (1.5 years later.)

“Kitano approach” を SUSY session に当てはめる

1. identify the problems. μ problem
2. seriousness of the problem
(Possible to postpone? --> need a reason.)
3. solutions
4. (LHC) predictions
5. future situations (1.5 years later.)

“Kitano approach” を SUSY session に当てはめる

1. identify the problems. μ problem
2. seriousness of the problem **serious ?!**
(Possible to postpone? --> need a reason.)
3. solutions
4. (LHC) predictions
5. future situations (1.5 years later.)

“Kitano approach” を SUSY session に当てはめる

1. identify the problems. μ problem
2. seriousness of the problem serious ?!
(Possible to postpone? --> need a reason.)
3. solutions Giudice-Masiero, NMSSM,....
4. (LHC) predictions
5. future situations (1.5 years later.)

“Kitano approach” を SUSY session に当てはめる

1. identify the problems.

μ problem

2. seriousness of the problem

serious ?!

(Possible to postpone? --> need a reason.)

Yes. Let's postpone it!

3. solutions

Giudice-Masiero, NMSSM,....

4. (LHC) predictions

5. future situations (1.5 years later.)

“Kitano approach” を SUSY session に当てはめる

1. identify the problems.
2. seriousness of the problem
(Possible to postpone? --> need a reason.)
3. solutions
4. (LHC) predictions
5. future situations (1.5 years later.)

“Kitano approach” を SUSY session に当てはめる

1. identify the problems.

naturalness / little hierarchy

2. seriousness of the problem

(Possible to postpone? --> need a reason.)

3. solutions

4. (LHC) predictions

5. future situations (1.5 years later.)

“Kitano approach” を SUSY session に当てはめる

1. identify the problems.

naturalness / little hierarchy

2. seriousness of the problem

serious ?!

(Possible to postpone? --> need a reason.)

3. solutions

4. (LHC) predictions

5. future situations (1.5 years later.)

“Kitano approach” を SUSY session に当てはめる

1. identify the problems.

naturalness / little hierarchy

2. seriousness of the problem

serious ?!

(Possible to postpone? --> need a reason.)

もともと28桁 ($GUT^2 - EW^2$) の
tuning を気にした以上全く無視は出来ない。
(28桁に戻ってしまう split SUSY はイヤですよね?)

ではどこまで許せるのか？

10% なのか？ 1% なのか？ 0.1% なのか？

Naturalness

How far is the fine-tuning?

1%?, 0.01%? 10%?

In the SM with cutoff scale $\Lambda \sim 10\text{TeV}$,

(← the scenario is also good for data and theory.)

$$m_h^2 / 2 \iff (y_t^2 / 16\pi^2) M_{\text{Pl}}^2$$

$$(100 \text{ GeV})^2 / 2 \quad / \quad (y_t^2 / 16\pi^2) (10 \text{ TeV})^2 \quad \lesssim 1\%$$

- If we allow $\sim 1\%$ tuning, we don't need to consider low scale SUSY for Naturalness.
- If we consider the low scale SUSY for Naturalness, $\geq 10\%$ tuning is favor.

 In this talk, **< 10 % tuning is called fine-tuning.**

Naturalness

How far is the fine-tuning?

1%?, 0.01%? 10%?

In the SM with cutoff scale $\Lambda \sim 10\text{TeV}$,

(← the scenario is also good for data and theory.)

$$m_h^2 / 2 \iff (y_t^2 / 16\pi^2) M_{\text{Pl}}^2$$

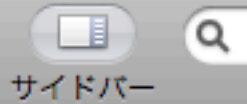
$$(100 \text{ GeV})^2 / 2 \quad / \quad (y_t^2 / 16\pi^2) (10 \text{ TeV})^2 \quad \lesssim 1\%$$

- If we allow $\sim 1\%$ tuning, we don't need to consider low scale SUSY for Naturalness.
- If we consider the low scale SUSY for Naturalness, $\geq 10\%$ tuning is favor.

➔ In this talk, $< 10\%$ tuning is called fine-tuning.

3 / 1 2 の伊部さんのスライドより

[ibe][EWSB].pdf (ページ 45/45)



Summary

Perturbative GUT strongly motivates the perturbative SUSY to stabilize the scale of the Higgs mass.

It allows the model to be perturbative up to the unification scale at the price of just $O(1)\%$ tuning in Higgs sector.

Coupling unification looks better than the SM!

Perturbative SUSY models predict the upper bound on the Higgs mass.

Higgs search will exclude most of the parameter space if we do not see any hints on higgs by the end of 2012!

3 / 1 2 の伊部さんのスライドより

[ibe][EWSB].pdf (ページ 45/45)

前へ 次へ 縮小/拡大 移動 テキスト 選択 注釈

サイドバー

Summary

Perturbative GUT strongly motivates the perturbative SUSY to stabilize the scale of the Higgs mass.

It allows the model to be perturbative up to the unification scale at the price of just $O(1)\%$ tuning in Higgs sector.

Coupling unification looks better than the SM!

Perturbative SUSY models predict the upper bound on the Higgs mass.

Higgs search will exclude most of the parameter space if we do not see any hints on higgs by the end of 2012!

3 / 1 2 の伊部さんのスライドより

[ibe][EWSB].pdf (ページ 45/45)

前へ 次へ 縮小/拡大 移動 テキスト 選択 注釈

サイドバー

Summary

Perturbative GUT strongly motivates the perturbative SUSY to stabilize the scale of the Higgs mass.

It allows the model to be perturbative up to the unification scale at the price of just $O(1)\%$ tuning in Higgs sector.

Coupling unification looks better than the SM!

Perturbative SUSY models predict the upper bound on the Higgs mass

Higgs search will exclude most of the parameter space if we do not see any hints on higgs by the end of 2012!

3 / 1 2 の伊部さんのスライドより

[ibe][EWSB].pdf (ページ 45/45)

前へ 次へ 縮小/拡大 移動 テキスト 選択 注釈

サイドバー

Summary

Perturbative GUT strongly motivates the perturbative SUSY to stabilize the scale of the Higgs mass.

It allows the model to be perturbative up to the unification scale at the price of just $O(1)\%$ tuning

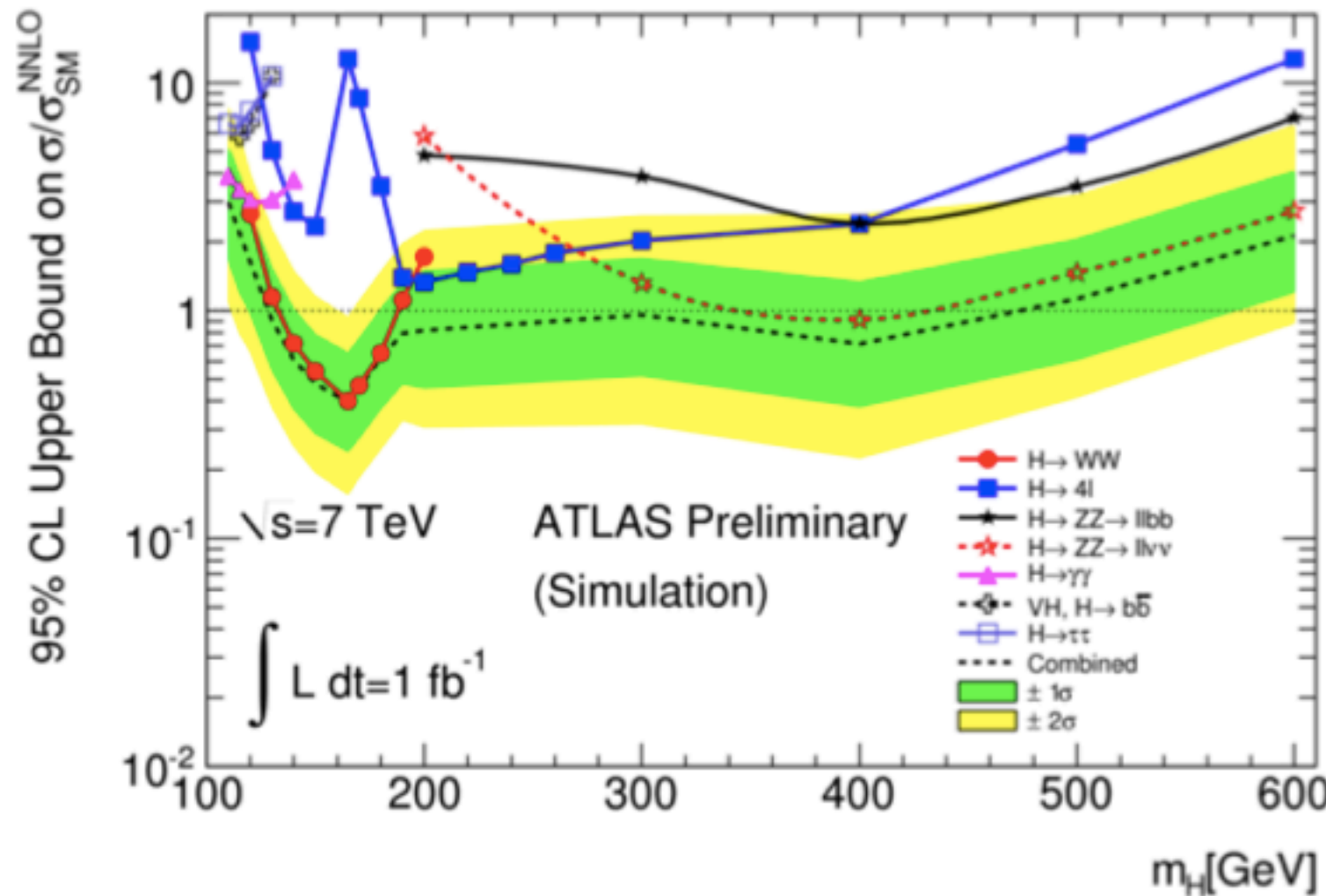
Coupling unification looks better

Perturbative SUSY models predict the Higgs mass

Higgs search will exclude most of the parameter space if we do not see any hints on higgs by the end of 2012!

1% か 10% かは
後で議論する事にして、
まずは Higgs に
注目しよう！

5-4 この夏の予想(寂しい場合)



WWが軽いときも鍵
思っていたより
 $\gamma\gamma$ $\tau\tau$ は
根性無し

大事なことは、
gluon fusionをexclude
しただけ。
 $\gamma\tau$ がsuppressされると
このlimitは有効でない
(生成図)

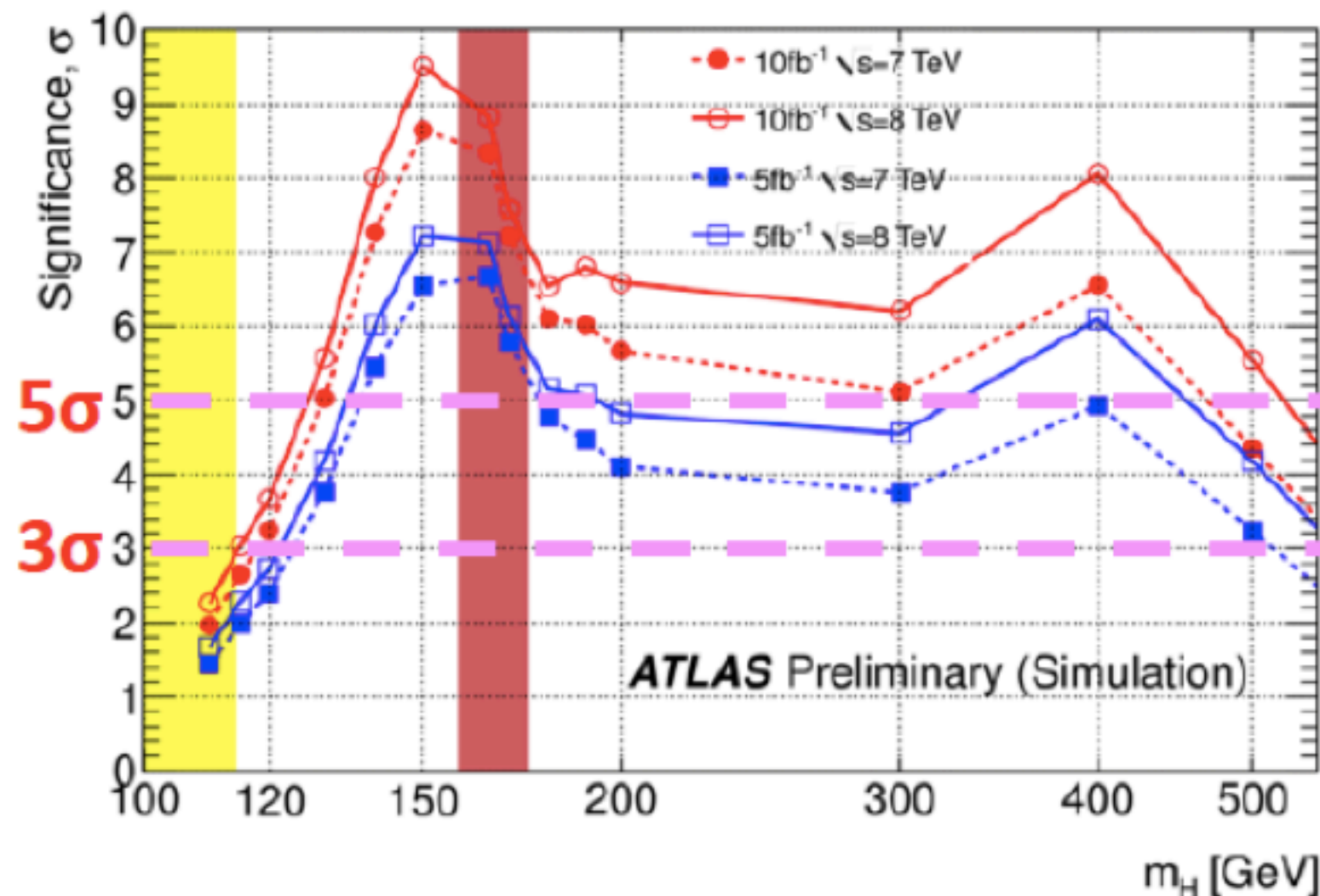
$m_{H_{\text{SSG}}} = 130-450 \text{ GeV}$ SM Higgs をexclude 出来る

3 / 9 の浅井さんのスライドより

<http://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~ppp/program.html>

検索

5-5 来年の予想 (もってもらしい)



$m_H > 130 \text{ GeV}$
だと ATLAS 単独で
軽く 5σ 超え

そろそろ W/top
と分離して何か
議論が出来る
ようになる。。

来年 7 fb⁻¹ だと あわせて 10 fb⁻¹ いくので 3σ レベル
ATLAS + CMS で 5σ 近い発見 が可能

というわけで、Higgs に注目して
場合分け--> 斑分けをしてみました。

discussion 初日に阿部くんがスライド作ってくれました

2012まで jets + mET, 2 γ + mET, heavy charged,...	2012まで Higgsなし (実験で見つからない)	mh < 130 GeV	mh > 140 GeV	200GeV < mh < 500 GeV
SUSY的信号有	higgs隠せる?	軽いストップならfine tune は 10%? happy 次の課題: FCNCとか	重くできる? NMSSM?	他のNew Phys
susy 的信号無 (7TeV) 2012末	susyでhiggs隠す。 (SM苦しい)	fine tune 1%? susyあきらめない stopとLSPの縮退で susy隠す? 隠せる? ISR?	重くできる?	susyあきらめる
susy 的信号無 14TeV (100 fb-1) 2014(5?)~	susyでhiggs隠す。	重いsusy? split susy?	最悪! (SMじゃん)	susyあきらめる

jets + mET,
2 γ + mET,
heavy charged,...

阿部
永田
わたなべ

イトウ
浜口
前川

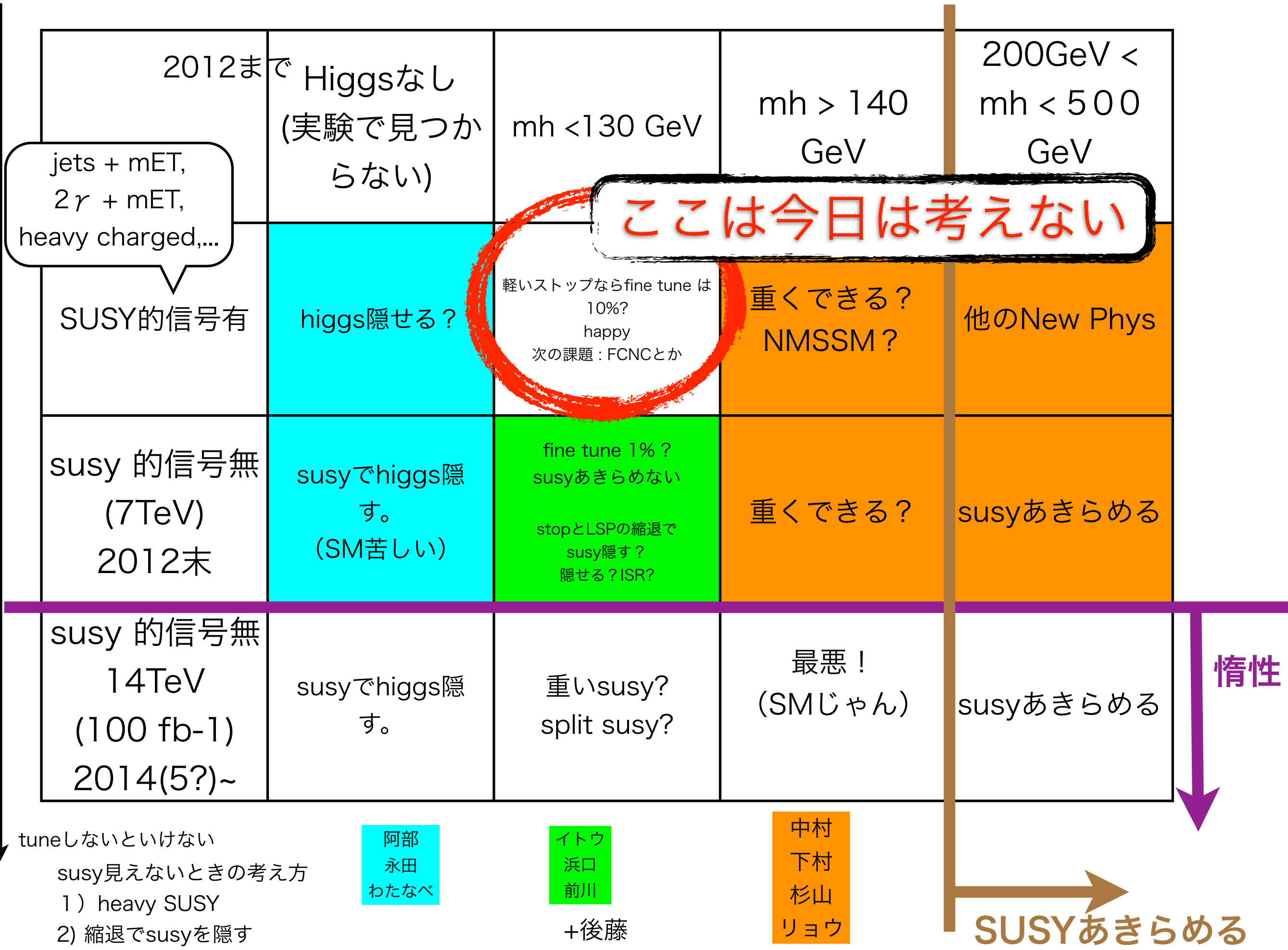
+後藤

中村
下村
杉山
リョウ

惰性

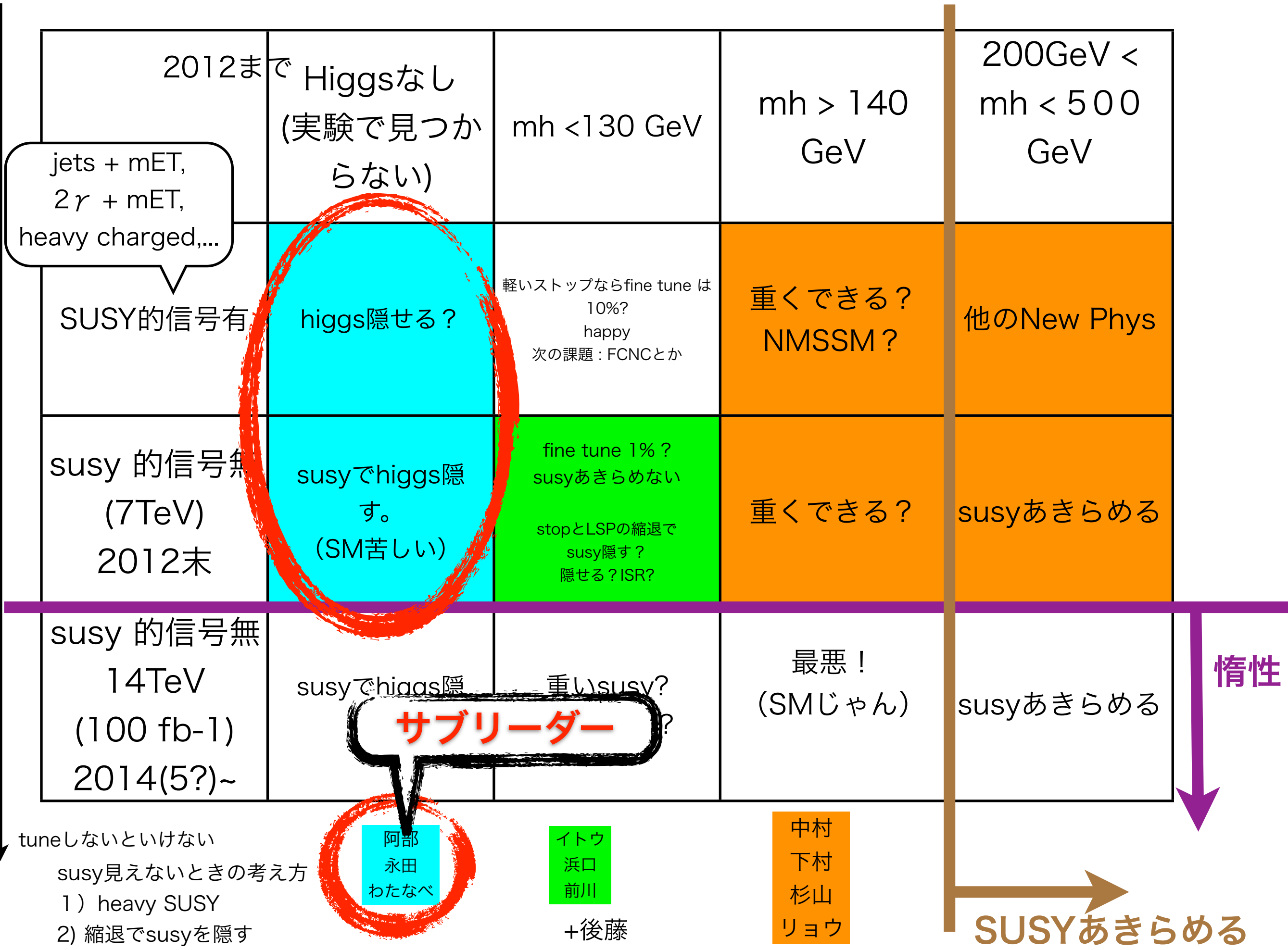
SUSYあきらめる

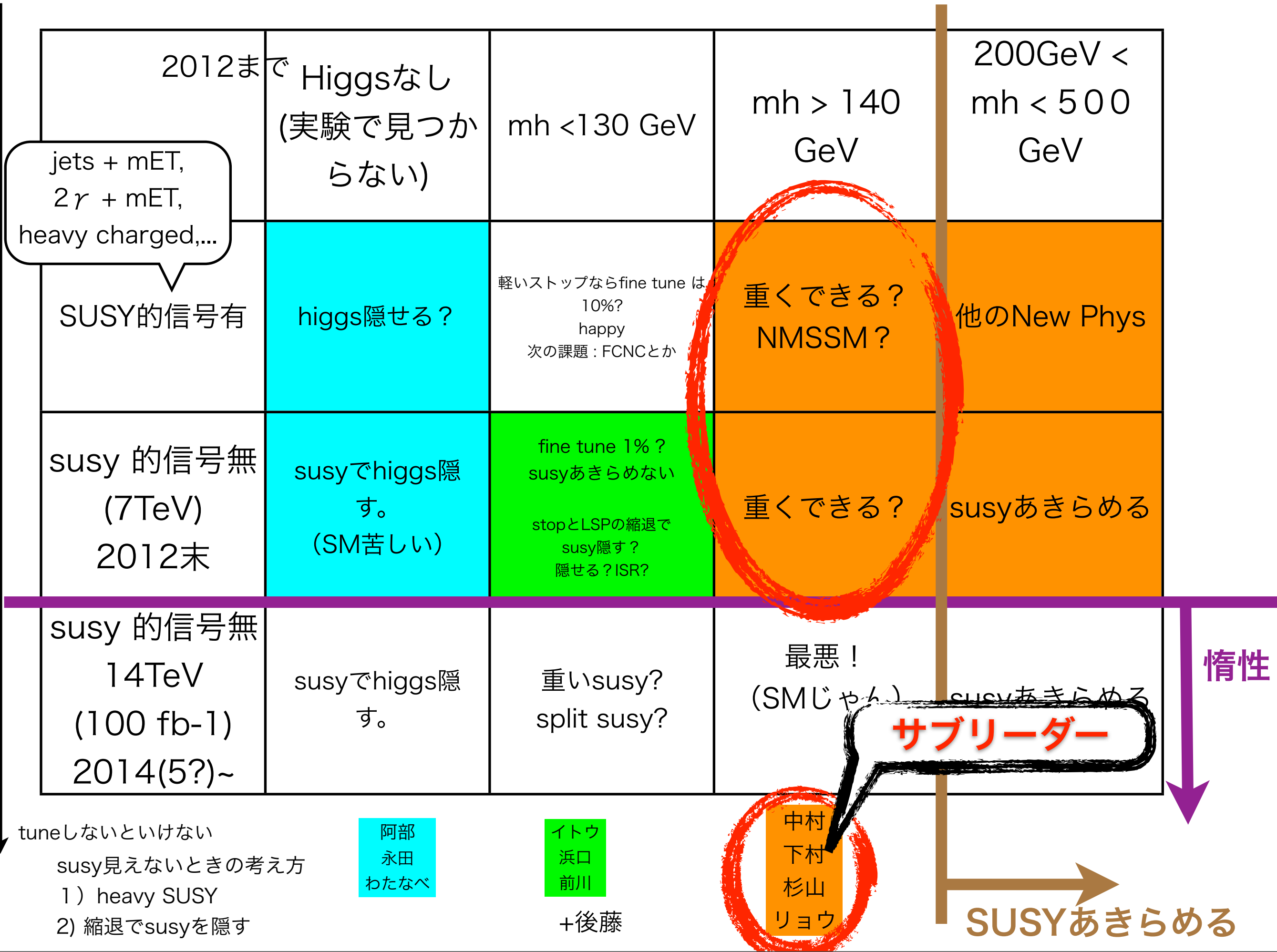
tuneしないとイケない
susy見えないときの考え方
1) heavy SUSY
2) 縮退でsusyを隠す



tuneしないとイケない
susy見えないときの考え方
1) heavy SUSY
2) 縮退でsusyを隠す







tuneしないとイケない
susy見えないときの考え方
1) heavy SUSY
2) 縮退でsusyを隠す

阿部
永田
わたなべ

イトウ
浜口
前川
+後藤

ここから先は各サブリーダーに
~~丸投げしました。~~

スライドを作ってもらいました。

モデルに詳しい皆さん、攻撃しないで議論を助けて下さい。

2012まで	Higgsなし (実験で見つからない)	$m_h < 130 \text{ GeV}$	$m_h > 140 \text{ GeV}$	$200 \text{ GeV} < m_h < 500 \text{ GeV}$
SUSY的信号有	higgs隠せる?	軽いストップならfine tune は 10%? happy 次の課題: FCNCとか	重くできる? NMSSM?	他のNew Phys
susy 的信号無 (7TeV) 2012末	susyでhiggs隠す。 (SM苦しい)	fine tune 1%? susyあきらめない stopとLSPの縮退で susy隠す? 隠せる? ISR?	重くできる?	susyあきらめる
susy 的信号無 14TeV (100 fb-1) 2014(5?)~	susyでhiggs隠す。	重いsusy? split su	最悪! サブリーダー	susyあきらめる

惰性 ↓

→ SUSYあきらめる

tuneしないとイケない
susy見えないときの考え方
1) heavy SUSY
2) 縮退でsusyを隠す

阿部
永田
わたなべ

イトウ
浜口
前川
+後藤

中村
下村
杉山
リョウ

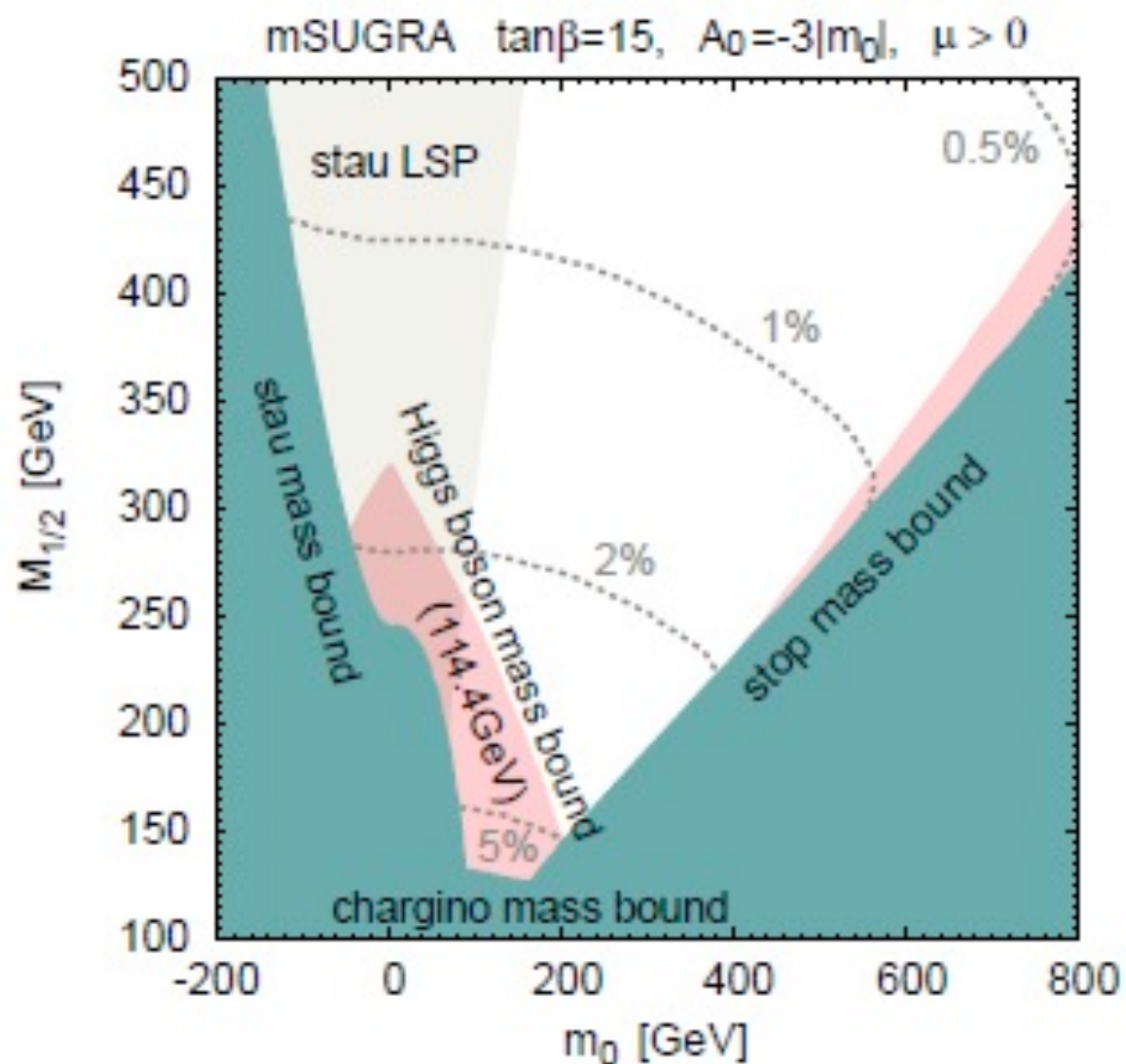
2012年末までに、

- Higgs を発見。 ($M_{\text{higgs}} \sim 120 \text{ GeV}$)
- しかし、SUSY 的 signal はナシ



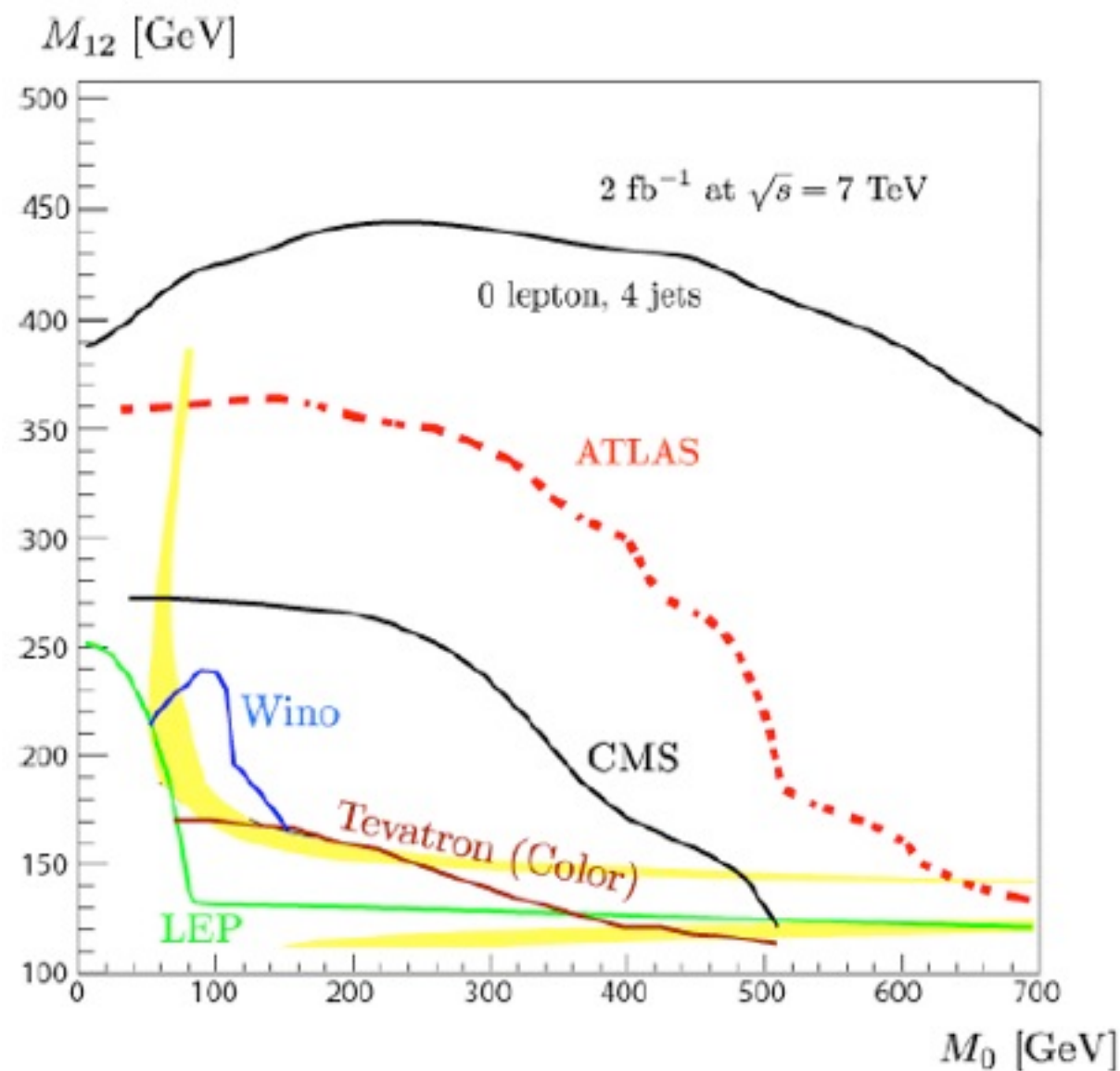
あくまで SUSY を信じるという立場では、
こういった可能性が残されているのか？

可能性(1) : 超対称粒子はもう少し重い質量



Kitano, Nomura (06)

Nakamura, PPP2011



可能性(2) : SUSY イベントが見えにくい

2.1) 全ての sparticle mass が縮退

Model: Mirage mediation

2.2) fine-tuning にとって大事な粒子は軽く
(=stop, higgsino)、他のものは重い

Model: ?

可能性 (1) よりも fine-tuning が小さい。

Model の方はどうだろうか？

2012まで	Higgsなし (実験で見つからない)	$m_h < 130 \text{ GeV}$	$m_h > 140 \text{ GeV}$	$200 \text{ GeV} < m_h < 500 \text{ GeV}$
SUSY的信号有	higgs隠せる?	軽いストップならfine tune は 10%? happy 次の課題: FCNCとか	重くできる? NMSSM?	他のNew Phys
susy 的信号無 (7TeV) 2012末	susyでhiggs隠す。 (SM苦しい)	fine tune 1%? susyあきらめない stopとLSPの縮退で susy隠す? 隠せる? ISR?	重くできる?	susyあきらめる
susy 的信号無 14TeV (100 fb ⁻¹) 2014(5?)~	susyでhiggs隠す 重いsusy?	最悪! (SMじゃん)		susyあきらめる



サブリーダー

阿部
永田
わたなべ

イトウ
浜口
前川

+後藤

中村
下村
杉山
リョウ

惰性 ↓

→ SUSYあきらめる

tuneしないとイケない
susy見えないときの考え方
1) heavy SUSY
2) 縮退でsusyを隠す

ヒッグスが見つからない場合

実験で見えなくすればよい（ヒッグスは本当はある）

- 生成断面積 小さくする

$$\sigma(pp \rightarrow h)$$

- 崩壊先を増やして崩壊率を小さくする

$$BR(h \rightarrow \gamma\gamma), BR(h \rightarrow WW), \dots \quad \longleftarrow \text{小さくする}$$

$$BR(h \rightarrow aa), \dots \quad \longleftarrow \text{大きくする}$$

ヒッグスが見つからない場合

実験で見えなくすればよい（ヒッグスは本当はある）

- 生成断面積 小さくする

$$\sigma(pp \rightarrow h)$$

- 崩壊先を増やして**崩壊率**を小さくする

$$BR(h \rightarrow \gamma\gamma), BR(h \rightarrow WW), \dots \quad \longleftarrow \text{小さくする}$$

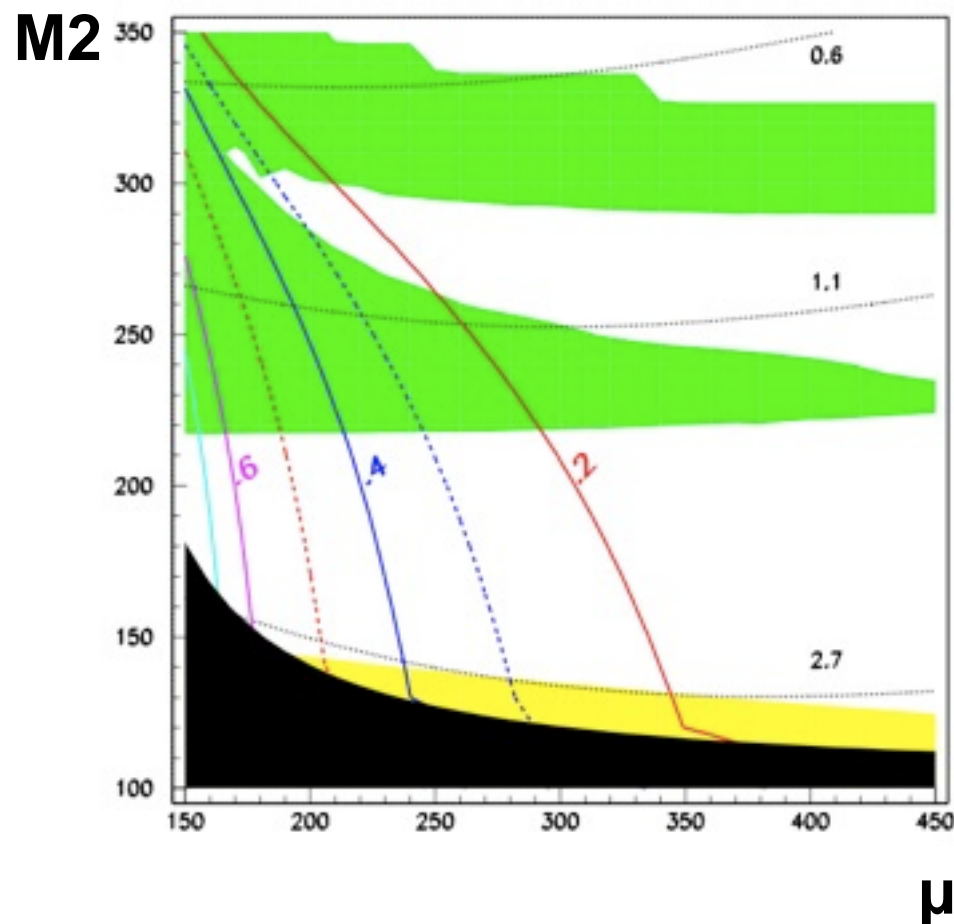
$$BR(h \rightarrow aa), \dots \quad \longleftarrow \text{大きくする}$$

ヒッグスが見つからない場合：例

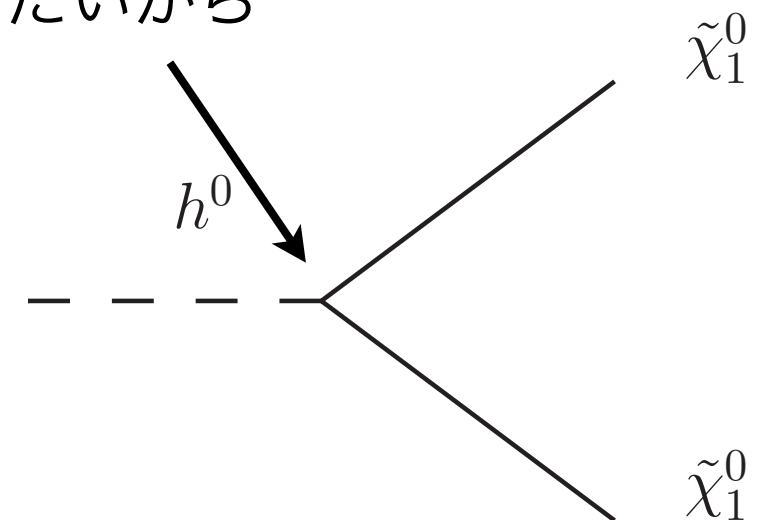
例 1) $h \rightarrow \tilde{\chi}_1^0 \tilde{\chi}_1^0$ でヒッグスを隠す (MSSM)

Belanger et.al.
Phys.Lett.B519 (2001) 93-102

- $2m_{\tilde{\chi}_1^0} < m_h < 130\text{GeV}$
- Chargino mass $> 103\text{ GeV}$ (LEP) に注意
- neutralino の Higgsino 成分を大きくする必要がある



ここを大きくしたいから



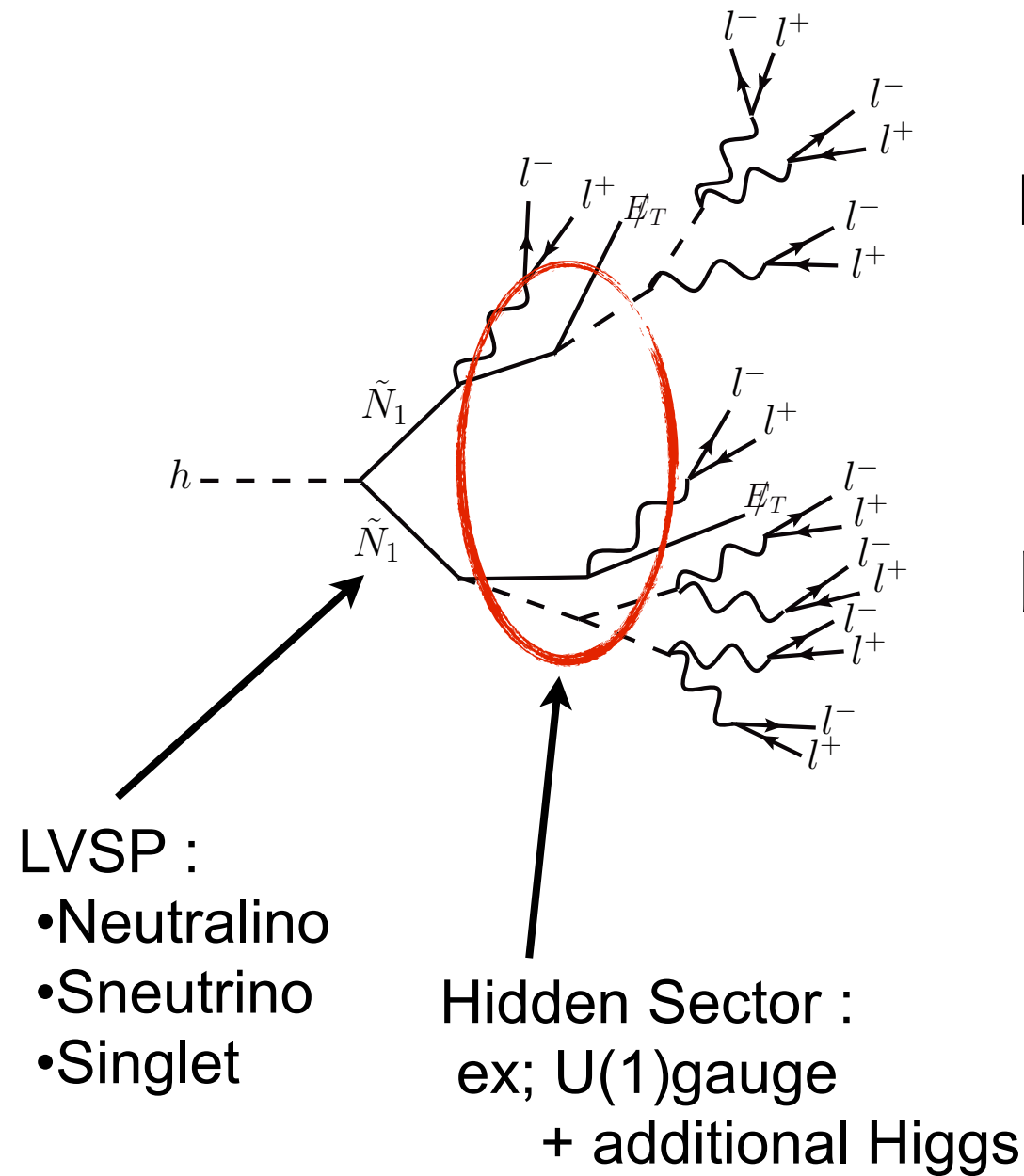
このとき gaugino mass unification はできない

ヒッグスが見つからない場合：例

例 2) Lepton Jetでヒッグスを隠す (Modelは各種ある)

Falkowski, et. al
arXiv:1002.2952

(主にLEPとTevatronに対しての言い訳)



Lepton Jets :

high-multiplicity clusters of boosted
and collimated leptons

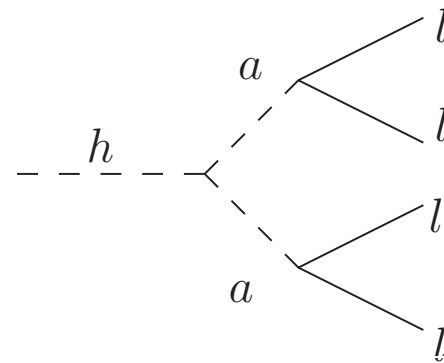
隠し方 :

- 質量の軽いHidden sectorを用意
- まずHiggsがLVSPに崩壊
- LVSPがHidden sectorへ崩壊
- Hidden sectorがLSPやleptonへ崩壊
- Jetっぽく出るのでbackgroundに隠れる

ヒッグスが見つからない場合：例

例 3) $h \rightarrow 4\tau$ でヒッグスを隠す

NMSSMでの例
Dermisek
arXiv:1008.0222



a : CP odd Higgs

($m_h \sim 100\text{GeV}$ でも大丈夫)

• aはすでに見つかっていないのか？

a \rightarrow $\mu\mu$ (DYからのBG大)

a \rightarrow tau tau (BG 大)

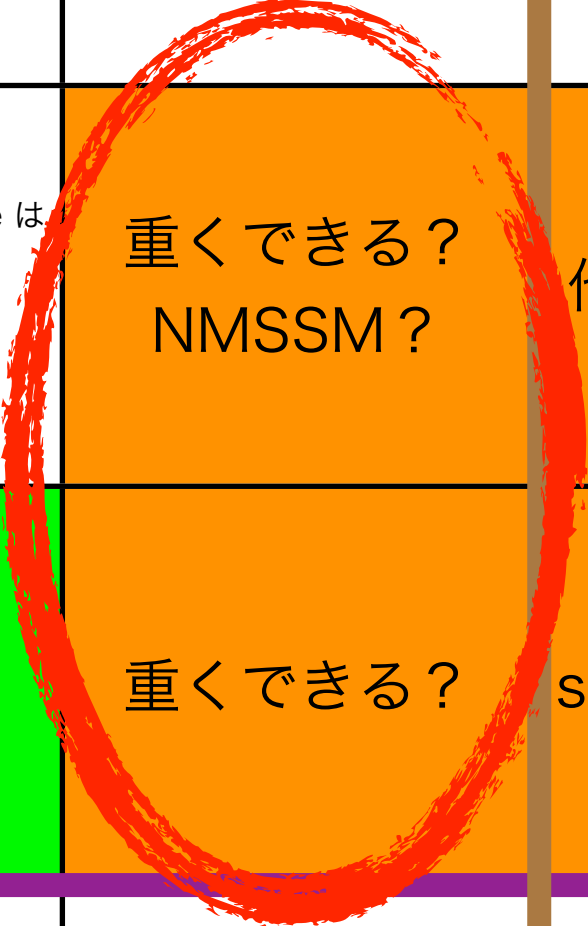
• LHCでは以下のを期待

• $gg \rightarrow h \rightarrow aa \rightarrow 2\tau 2\mu$ [28],

• $gg \rightarrow a \rightarrow 2\mu$ [30],

• $t \rightarrow H^+ b, H^+ \rightarrow W^+ a, a \rightarrow \mu^+ \mu^-$ [32]

2012まで	Higgsなし (実験で見つからない)	$m_h < 130 \text{ GeV}$	$m_h > 140 \text{ GeV}$	$200 \text{ GeV} < m_h < 500 \text{ GeV}$
SUSY的信号有	higgs隠せる?	軽いストップならfine tune は10%? happy 次の課題: FCNCとか	重くできる? NMSSM?	他のNew Phys
susy 的信号無 (7TeV) 2012末	susyでhiggs隠す。 (SM苦しい)	fine tune 1%? susyあきらめない stopとLSPの縮退でsusy隠す? 隠せる? ISR?	重くできる?	susyあきらめる
susy 的信号無 14TeV (100 fb ⁻¹) 2014(5?)~	susyでhiggs隠す。	重いsusy? split susy?	最悪! (SMじゃん)	susyあきらめる



サブリーダー

中村
下村
杉山
リョウ

惰性

SUSYあきらめる

tuneしないとイケない
susy見えないときの考え方
1) heavy SUSY
2) 縮退でsusyを隠す

阿部
永田
わたなべ

イトウ
浜口
前川
+後藤

130 GeV 以上のヒッグス

ヒッグス質量 = トリー質量 + 輻射補正

大きな輻射補正

→ Fine tuning

ヒッグス 4 点結合 × 真空期待値

the SM : $m_h^2 = 2\lambda v^2$,

the MSSM : $m_h^2 \simeq m_Z^2 \cos^2 2\beta = \frac{1}{4} (g_1^2 + g_2^2) v^2 \cos^2 2\beta$,
SUSYの縛り

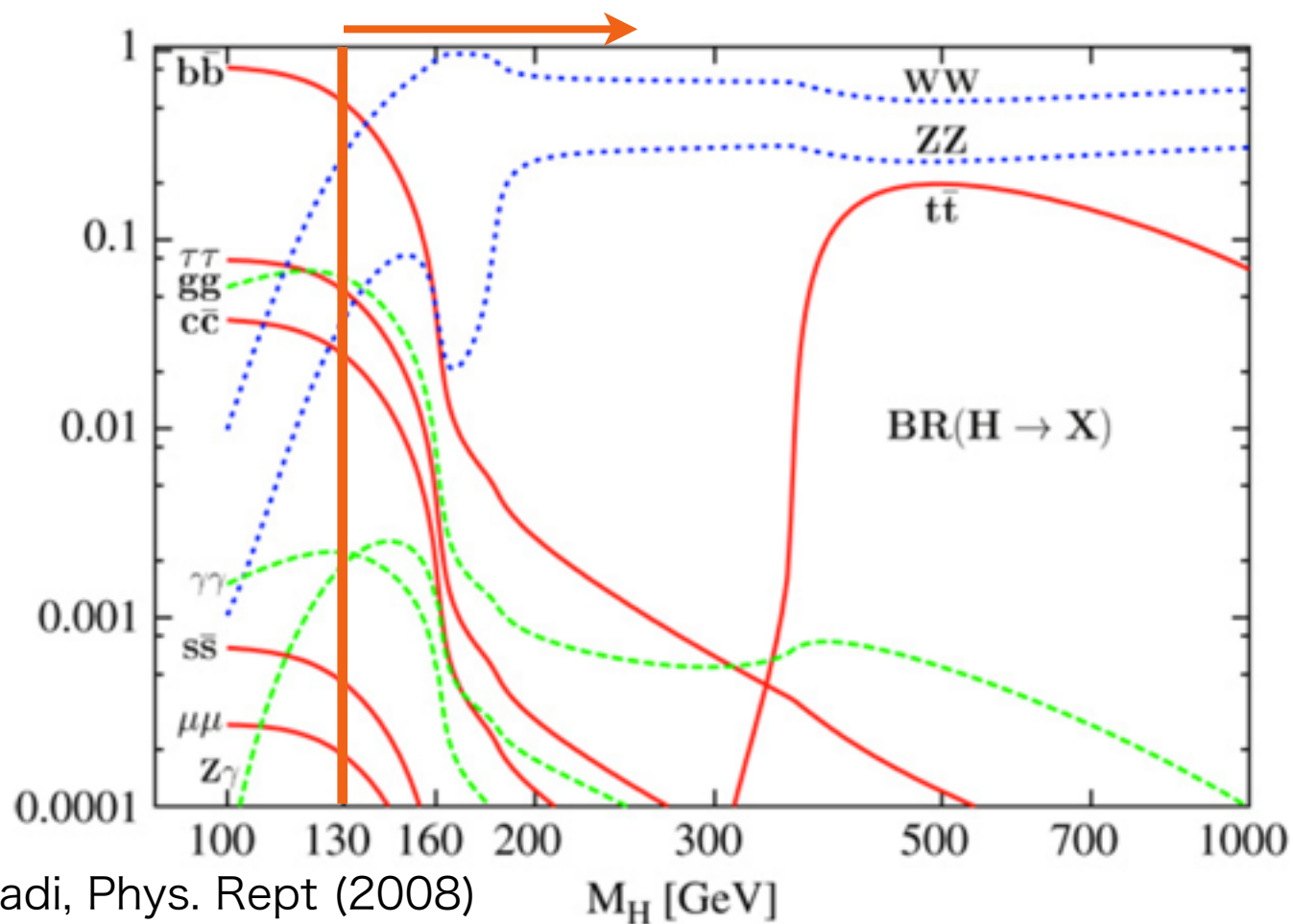
Fine tuning せずに (輻射補正に頼らずに) ヒッグスの質量を重くしたい

→ 大きな 4 点結合

大きな (新たな) 4点結合

SUSYの呪縛があるので新しい粒子を加えて新たな4点を作る

m_h (GeV)	< 130	130 - 200	> 200
Models	MSSM	NMSSM Fat Higgs MSSM+Triplet	Fat Higgs (NMSSM at low energy)



$h \rightarrow WW$ or ZZ

$WW, ZZ \rightarrow W, Z + l + \nu$

$WW \rightarrow 2l + 2\nu$

$ZZ \rightarrow 4l$

Easy to find

新たな4点結合

- Next-to-MSSM … MSSMにゲージシングレットを加える

シングレットのF-term $F_S^* = -\lambda H_u H_d + \kappa S^2,$

新たなヒッグスの4点結合

$$\longrightarrow m_h^2 = m_Z^2 \cos^2 2\beta + \lambda^2 v^2 \sin^2 2\beta,$$

λ が大きければtreeのヒッグス質量を重くなる

ただし

輻射補正はMSSMと同じ

λ がGUT scale までLandau
poleを打たない

$$\longrightarrow m_h \leq 150 \text{ GeV}$$

新たな4点結合

- Fat Higgs … 低エネルギーではNMSSMのいところ

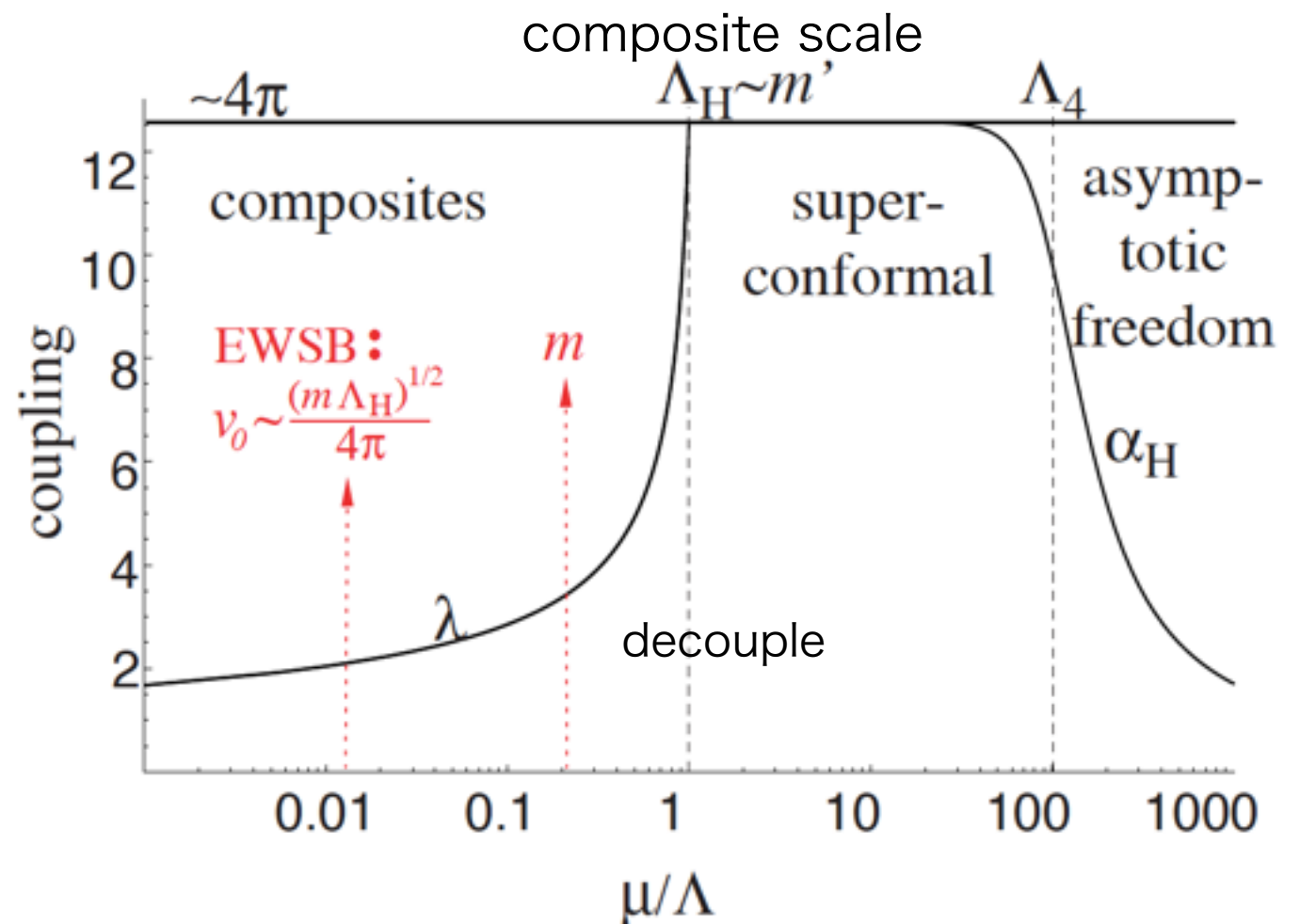
superpotential: $\mathcal{W} = \lambda N (H_u H_d - v_0^2),$

λがLandau poleを打つくらい大きいのでtreeのヒッグス質量が結構重くなる

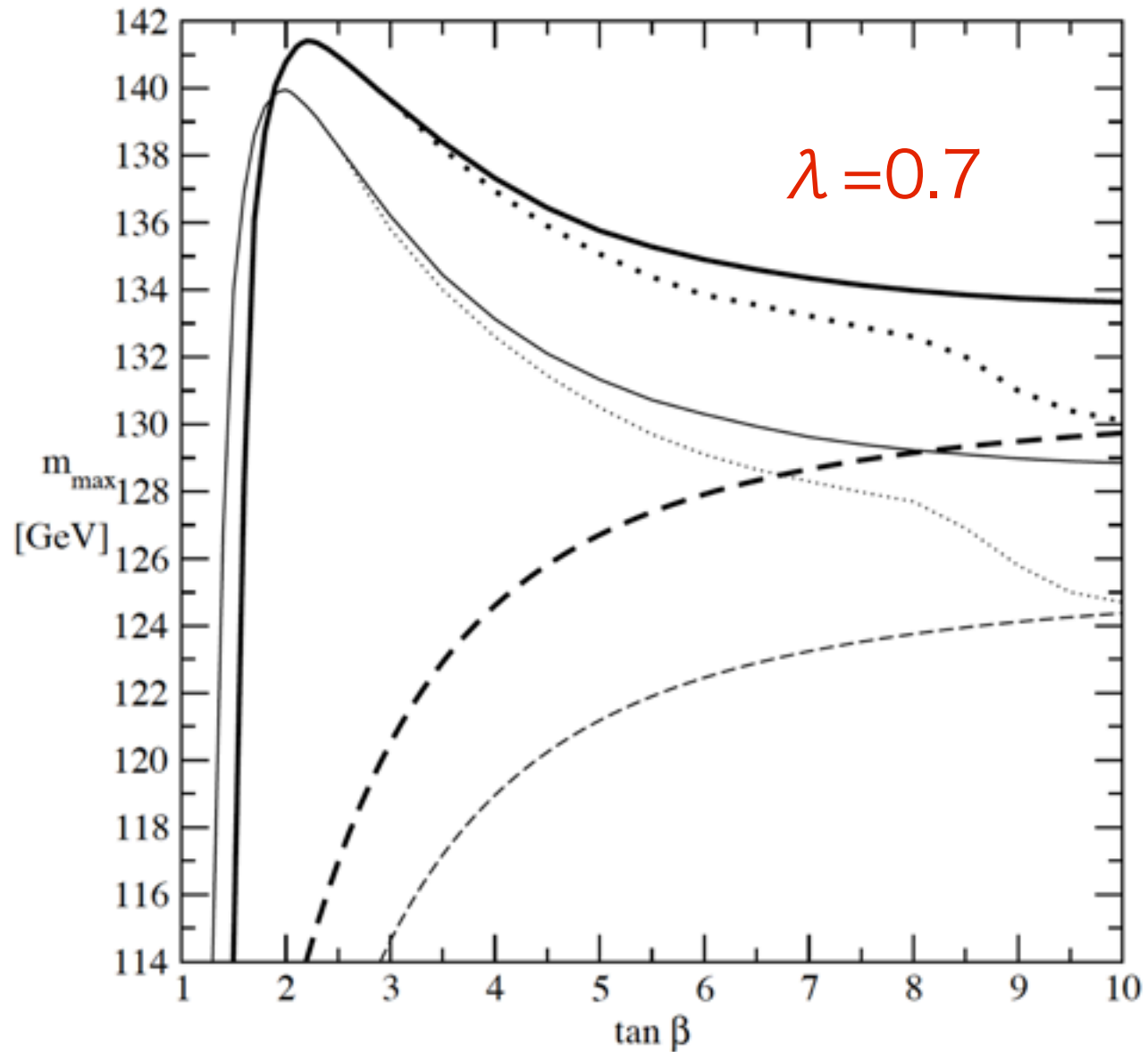
- ヒッグスは実はコンポジット
- Landau pole より上で weakly coupled



UV completion できていて
しかもGUTもするからOK

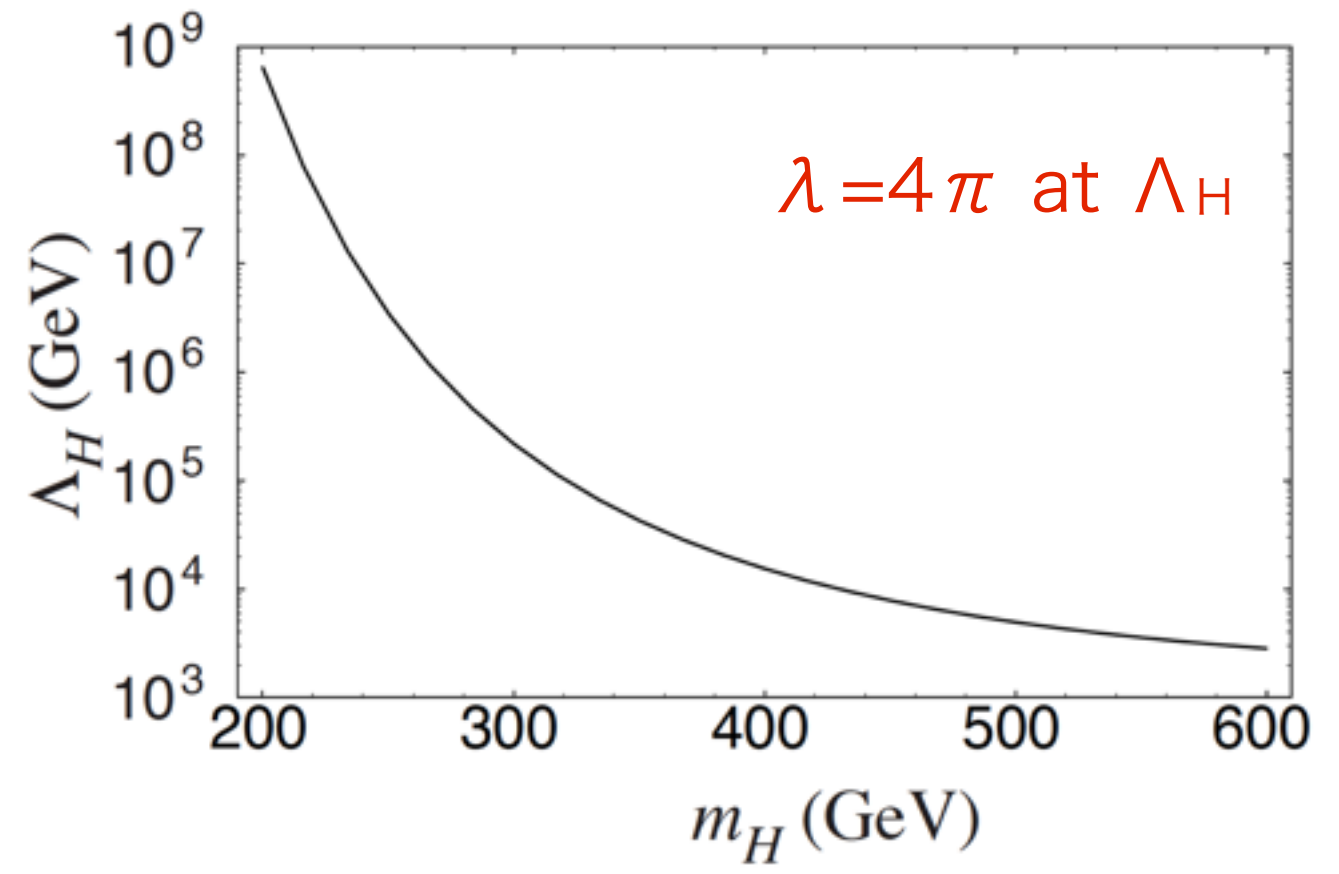


NMSSM



140 GeV for $\tan \beta = 2$
(112 GeV at tree-level)

Fat Higgs



600 GeV at $O(1)$ TeV

130 GeV 以上のヒッグス

600 GeV までなら(そこそこ)納得出来る模型がある。
7 TeV + 1 fb⁻¹で見えるかどうかは模型の詳細。

なので

SUSYでここまで粘っても良い? ダメ?



まとめ (?)

2012まで jets + mET, 2 γ + mET, heavy charged,...	Higgsなし (実験で見つからない)	mh < 130 GeV	mh > 140 GeV	200GeV < mh < 500 GeV
SUSY的信号有	higgs隠せる?	軽いストップならfine tune は 10%? happy 次の課題: FCNCとか	重くできる? NMSSM?	他のNew Phys
susy 的信号無 (7TeV) 2012末	susyでhiggs隠す。 (SM苦しい)	fine tune 1%? susyあきらめない stopとLSPの縮退で susy隠す? 隠せる? ISR?	重くできる?	susyあきらめる

2012末の状況を（特に Higgs に関して）想定して、
何が出たらどう考えるかを、今のうちに考えておこう！
(まだまだ詰めるべき事がありそう。)

tuneしないとイケない
susy見えないときの考え方
1) heavy SUSY
2) 縮退でsusyを隠す

阿部
永田
わたなべ

イトウ
浜口
前川
+後藤

中村
下村
杉山
リョウ

