

# Bino-Higgsino Mixed Dark Matter in a Focus Point Gaugino Mediation

Norimi Yokozaki (Kavli IPMU)

参考文献: 柳田・横崎 (2013-2014)

# 話の流れ

超対称性によって電弱対称性の破れの起源が理解できるならば、**ヒッグシーノは軽い**。質量は $O(100)\text{GeV}$ 。

**Focus Point Gaugino Mediation** (柳田・横崎) は  
これを説明する

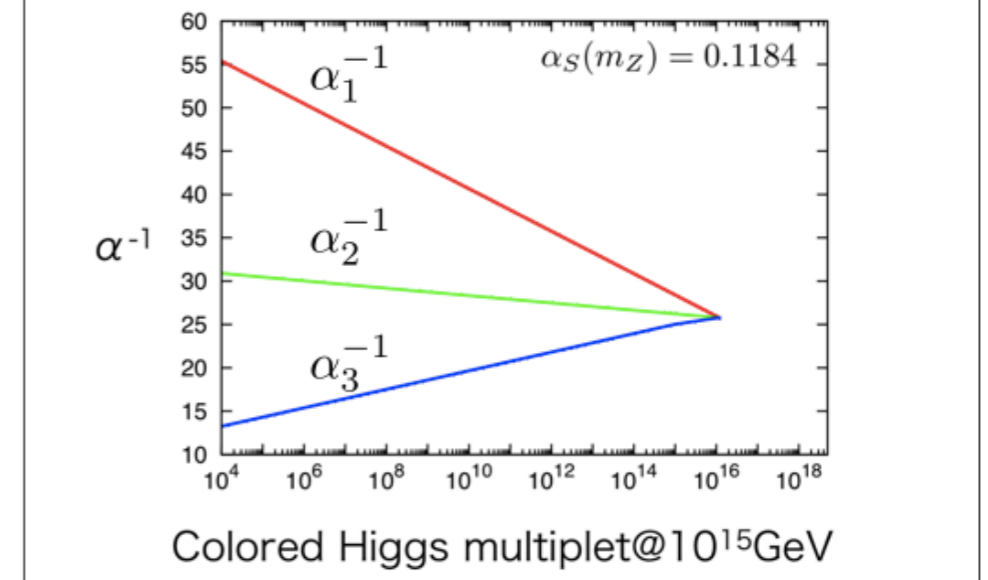
ヒッグシーノとビーノが混ざったニュートラリーノ (暗黒物質候補) は直接探索実験のよいターゲット  
(一部はすでに排除されている)

# なぜ超対称性か

- ゲージ結合定数の統一
- 暗黒物質の候補がある
- 2次発散がない

## Gauge coupling unification

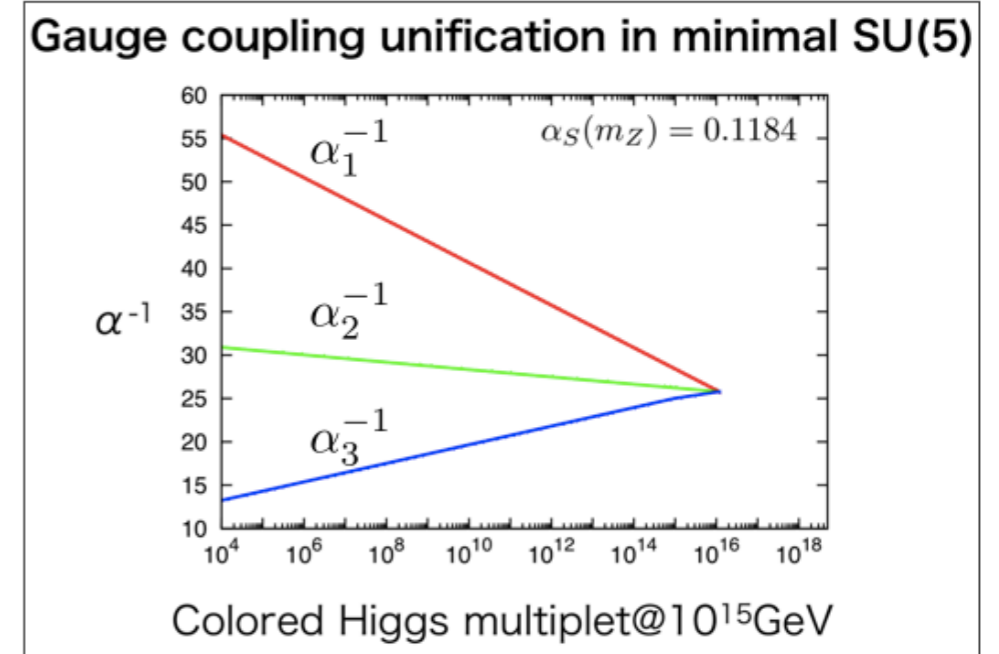
Gauge coupling unification in minimal SU(5)



# なぜ超対称性か

- ゲージ結合定数の統一
- 暗黒物質の候補がある
- 2次発散がない

## Gauge coupling unification

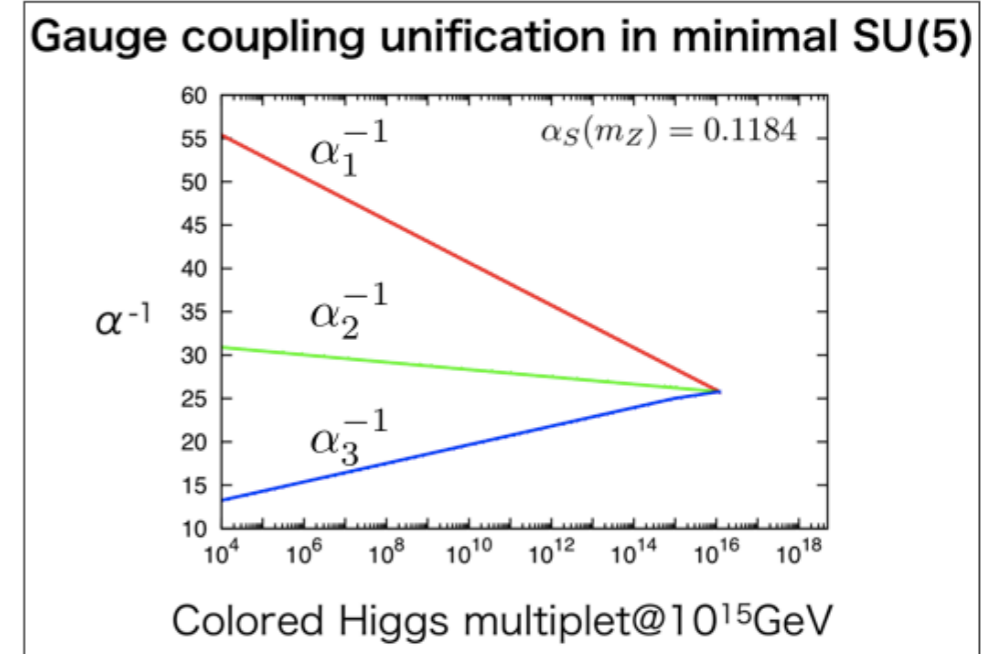


電弱対称性の破れの起源  
を説明しうる

# なぜ超対称性か

- ゲージ結合定数の統一
- 暗黒物質の候補がある
- 2次発散がない

## Gauge coupling unification



電弱対称性の破れの起源  
を説明しうる

# 電弱対称性の破れと超対称模型

$$V \simeq m^2 |H|^2 + \left( \frac{g_Y^2 + g_2^2}{8} \cos^2 2\beta \right) |H|^4 + \dots$$

negative In the decoupling limit

電弱対称性の破れ  
のスケール

$$\langle H^0 \rangle \simeq 174 \text{ GeV}$$

From スーパーポテンシャル

$$W = \mu H_u H_d$$

ヒッグシーノ質量

$$m^2 \sim (m_{H_u}^2 + \mu^2) \sim -\frac{m_Z^2}{2}$$

up to  $(1/\tan^2 \beta)$

# 電弱対称性の破れと超対称模型

$$V \simeq m^2 |H|^2 + \left( \frac{g_Y^2 + g_2^2}{8} \cos^2 2\beta \right) |H|^4 + \dots$$

negative

unitarity limit

電弱対称性の破れ  
のスケール

SUSYではなぜnegativeか  
なぜ電弱対称性が破れるのか  
が説明できる

From スーパーポテンシャル

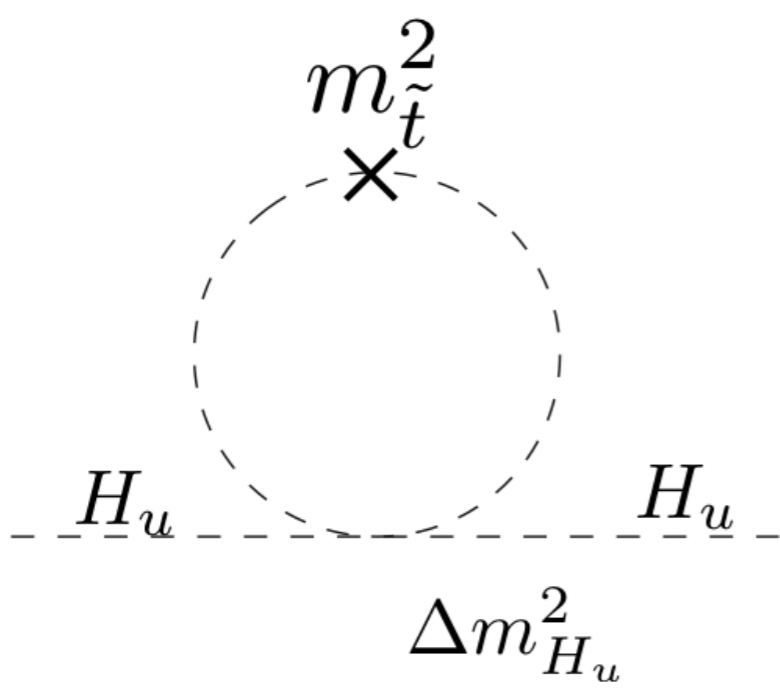
$$W = \mu H_u H_d$$

ヒッグシーノ質量

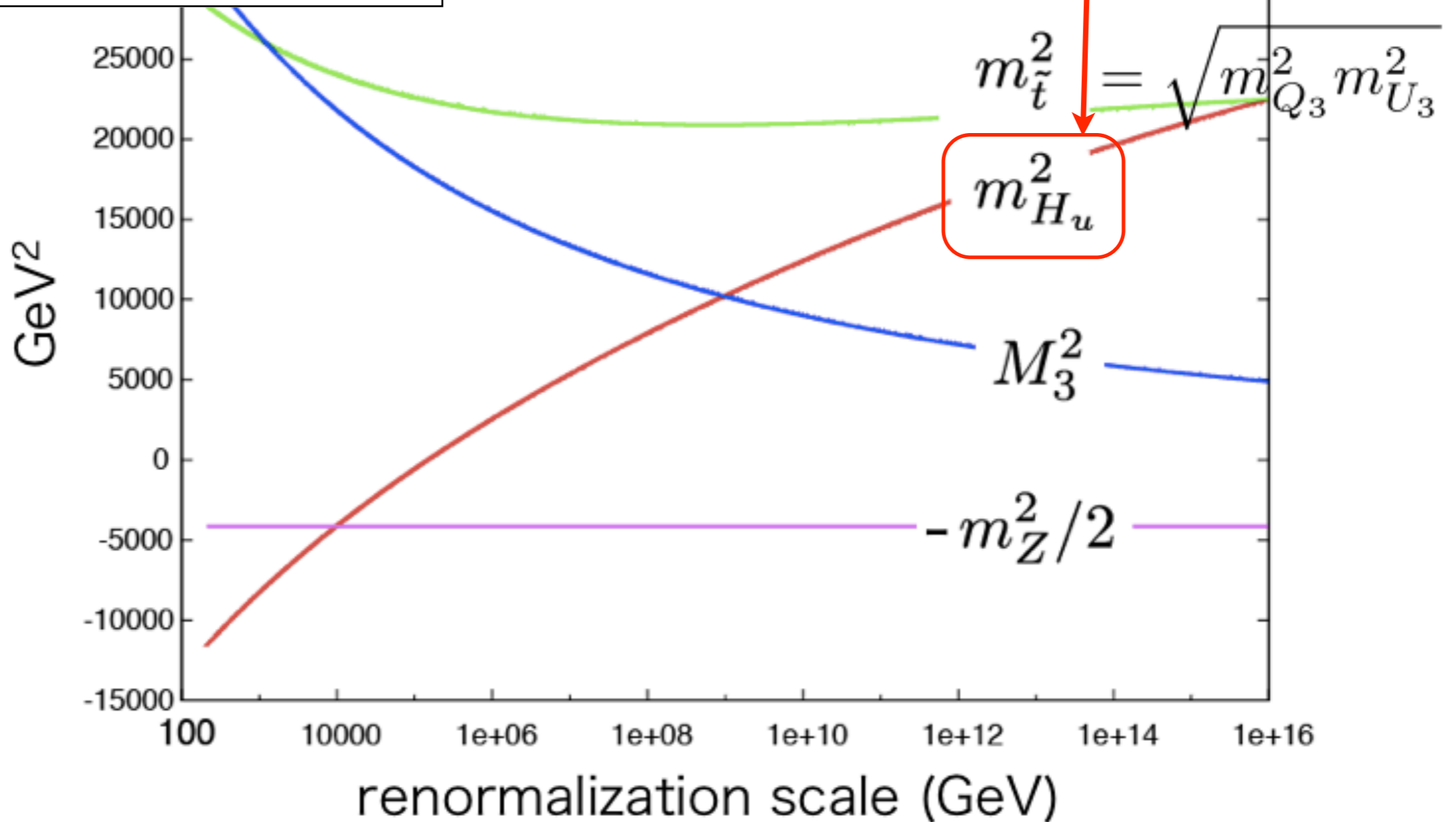
$$m^2 \sim (m_{H_u}^2 + \mu^2) \sim -\frac{m_Z^2}{2}$$

up to  $(1/\tan^2 \beta)$

Radiative correctionによって  
ヒッグスポテンシャルの2次の項が  
negativeになる

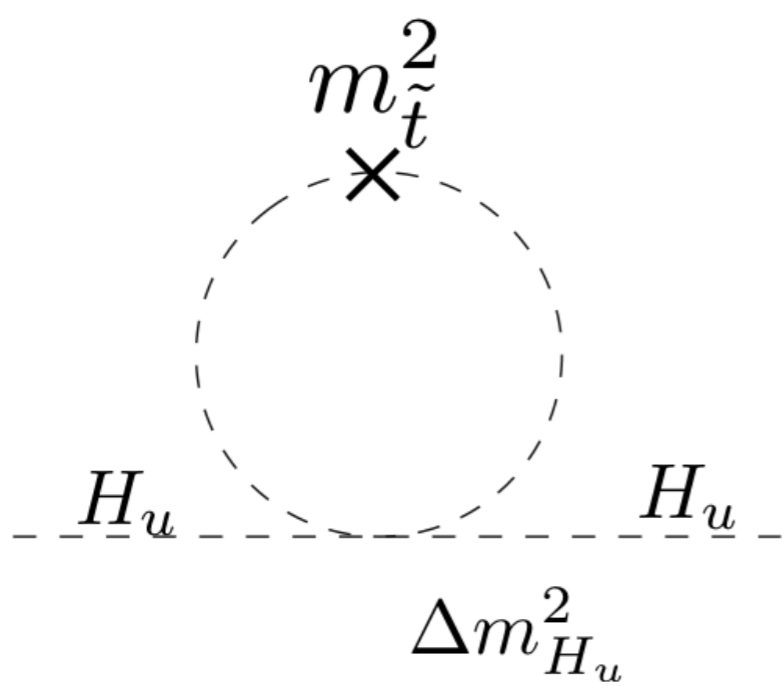


stop mass of ~170GeV

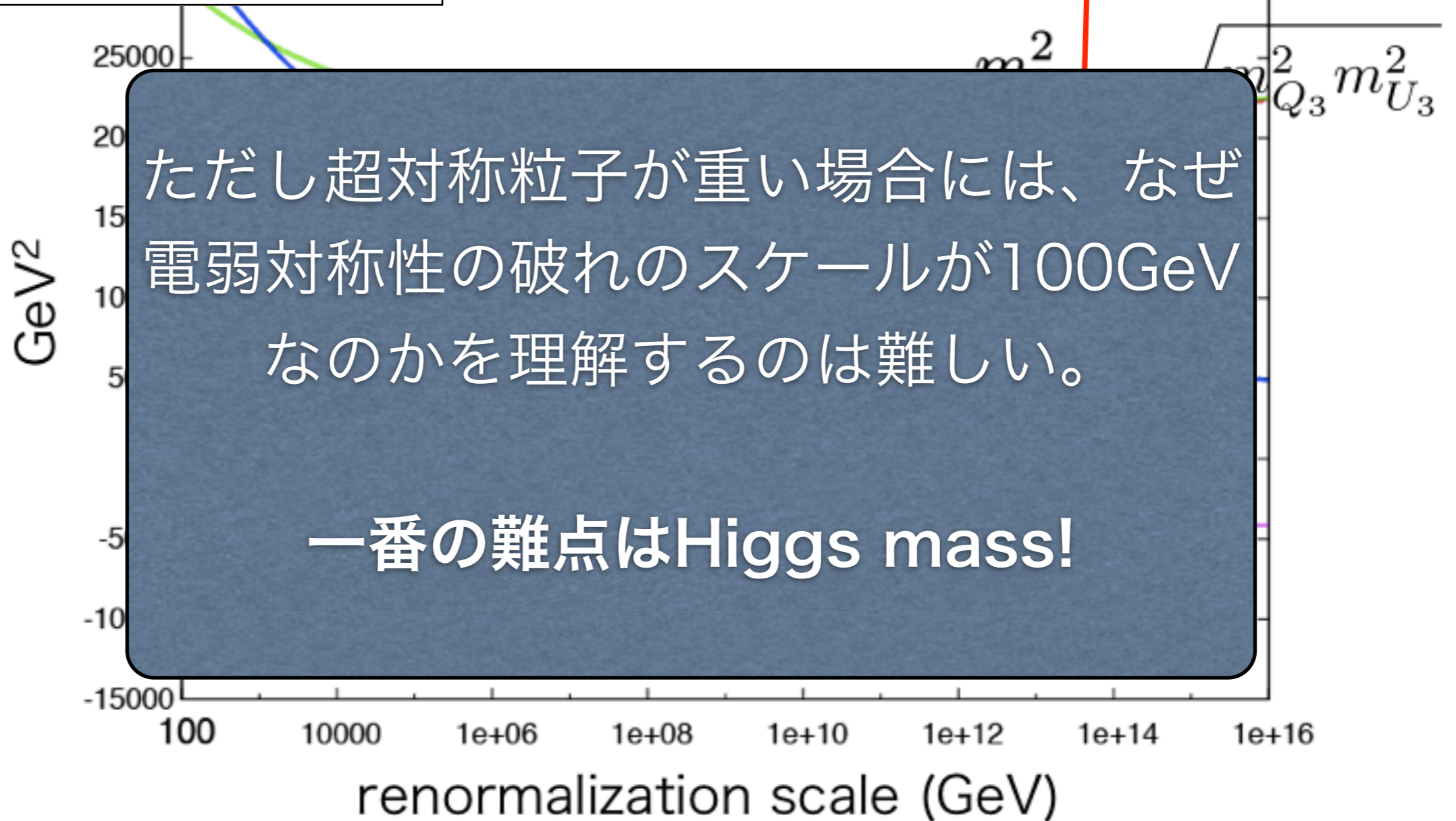




Radiative correctionによって  
ヒッグスポテンシャルの2次の項が  
negativeになる



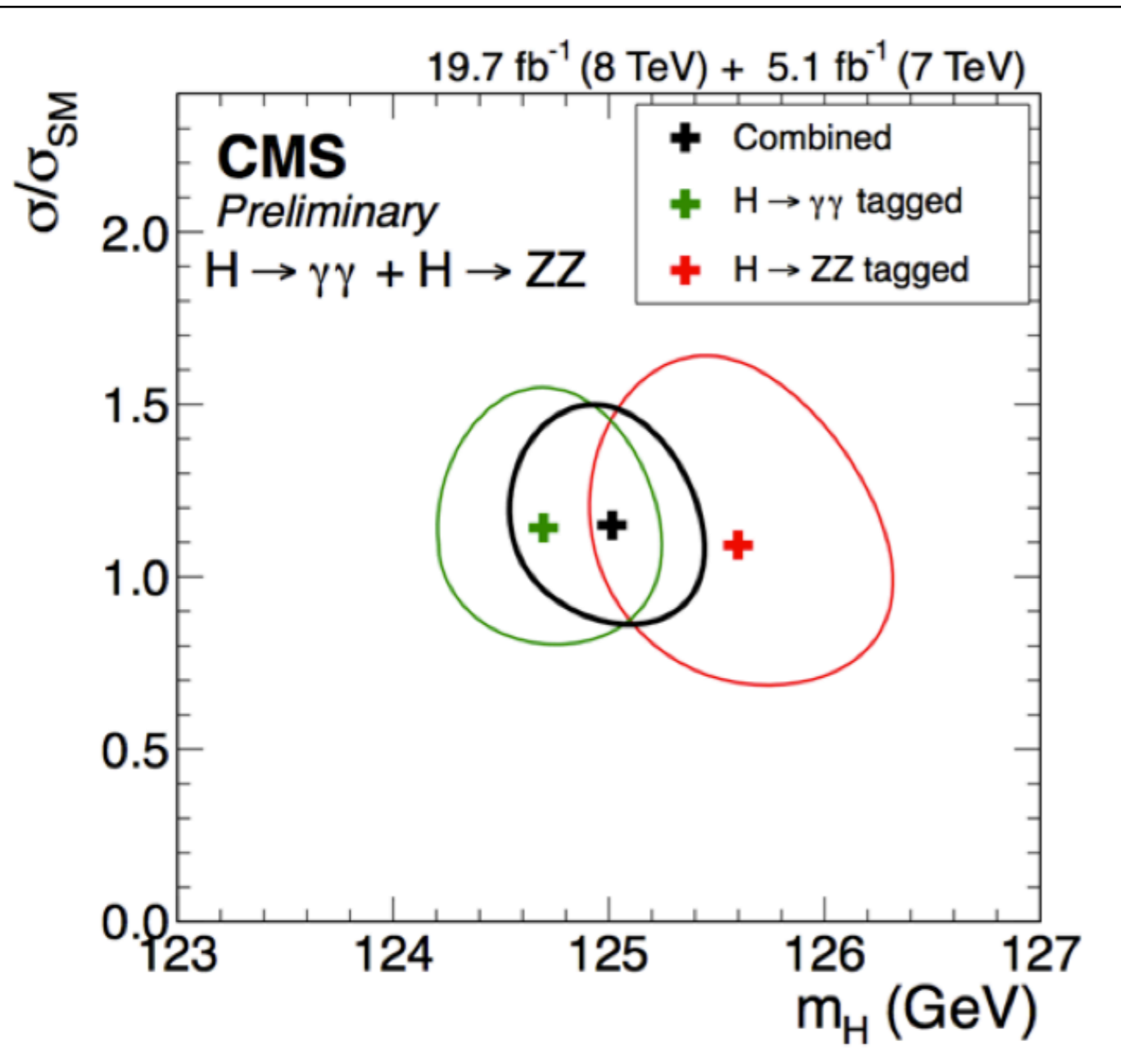
stop mass of ~170GeV



ただし超対称粒子が重い場合には、なぜ  
電弱対称性の破れのスケールが100GeV  
なのかを理解するのは難しい。

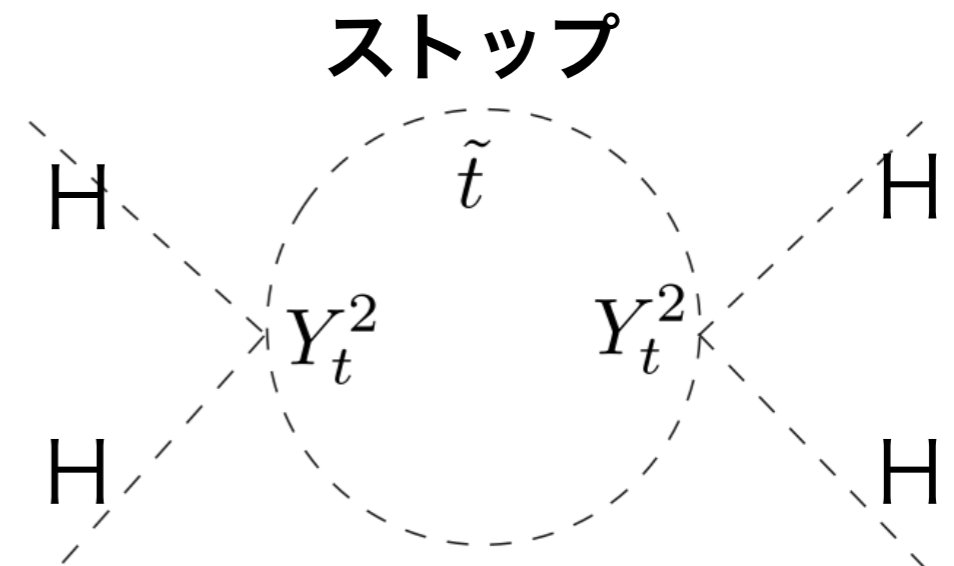
一番の難点はHiggs mass!

# The Higgs boson mass vs. SUSY

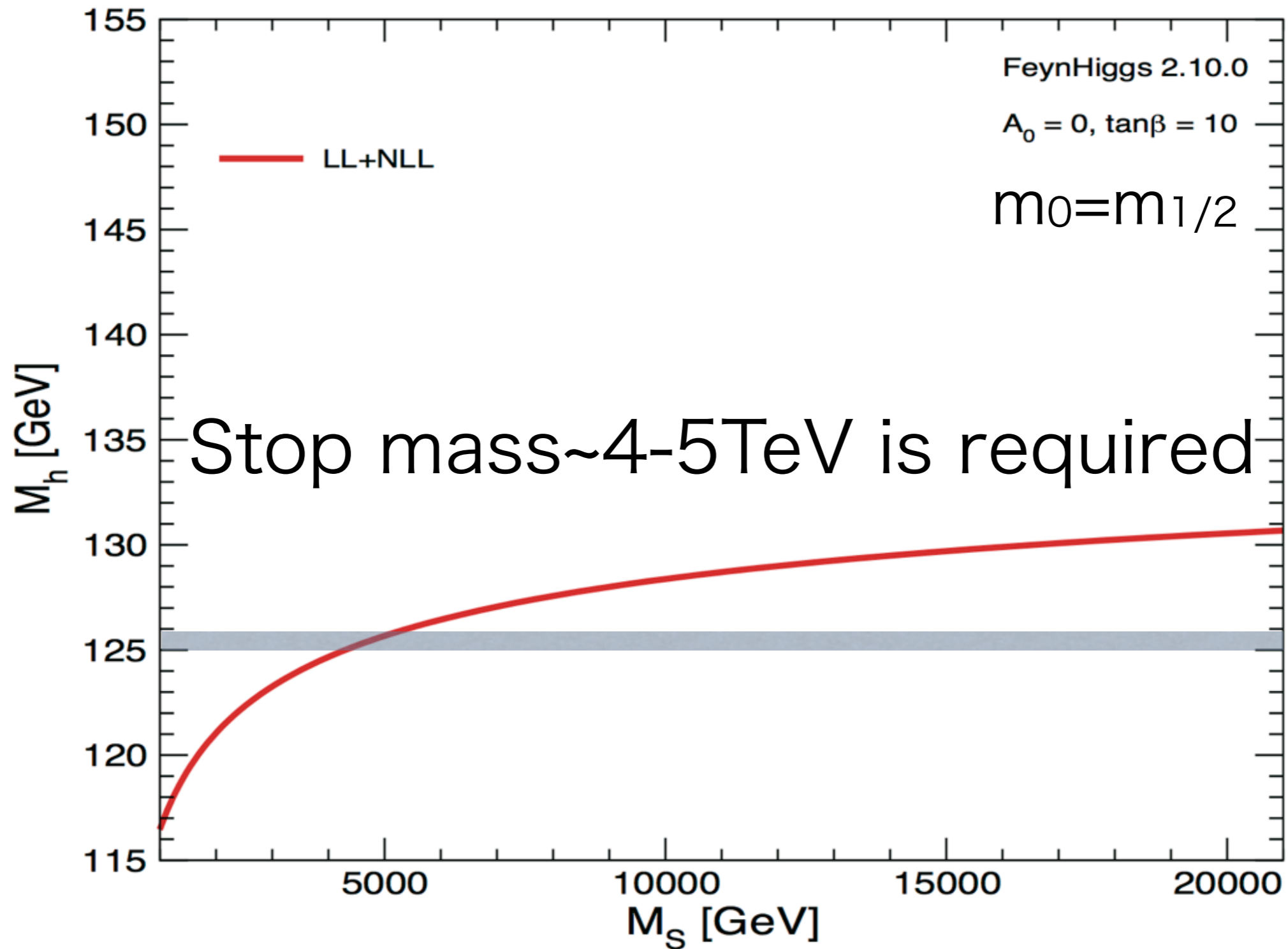


$m_H \sim 125 \text{ GeV}$ を説明するにはストップの質量項が大きくなってはならない

(radiative correctionで持ち上げている)

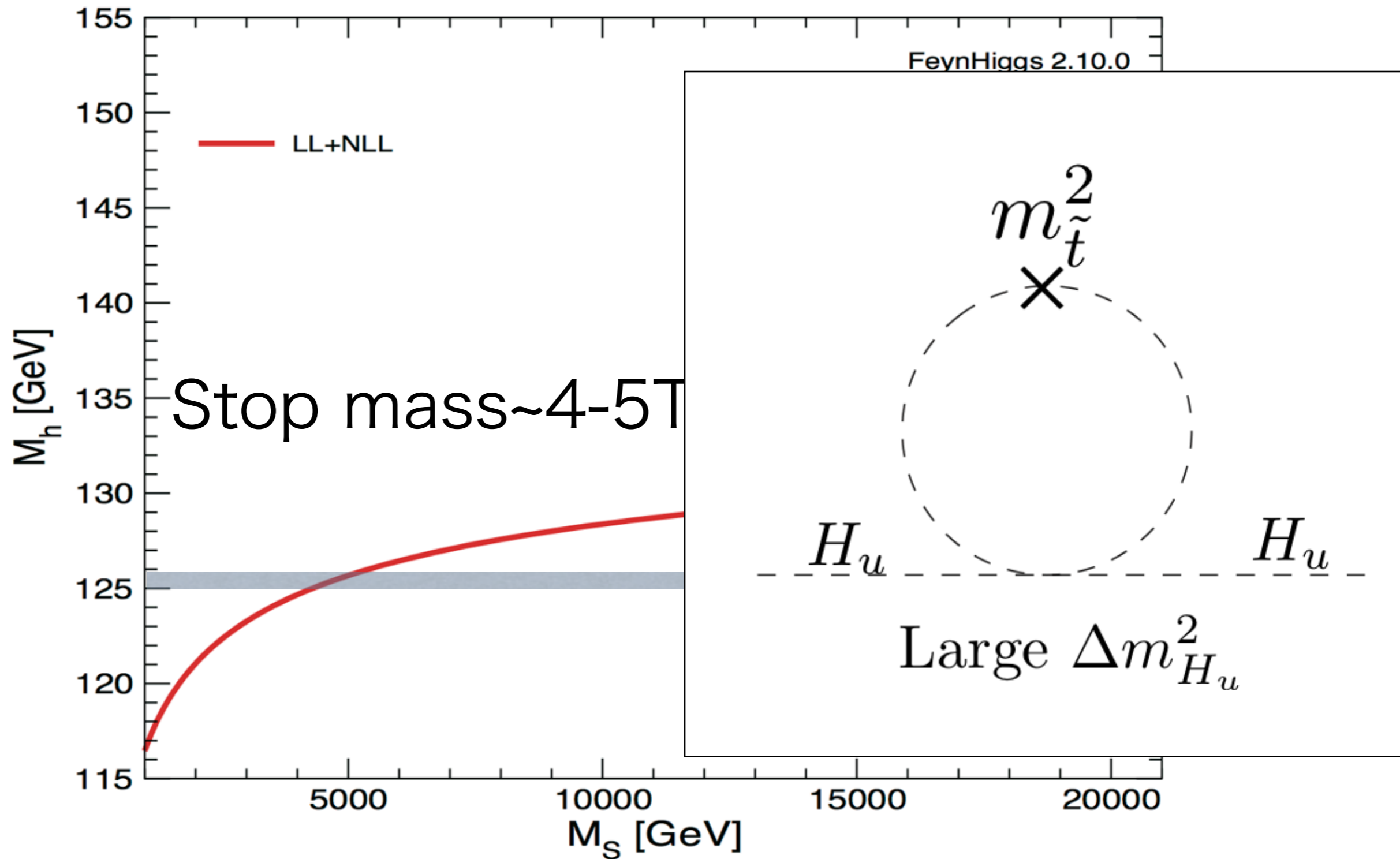


# The Higgs boson mass vs. SUSY



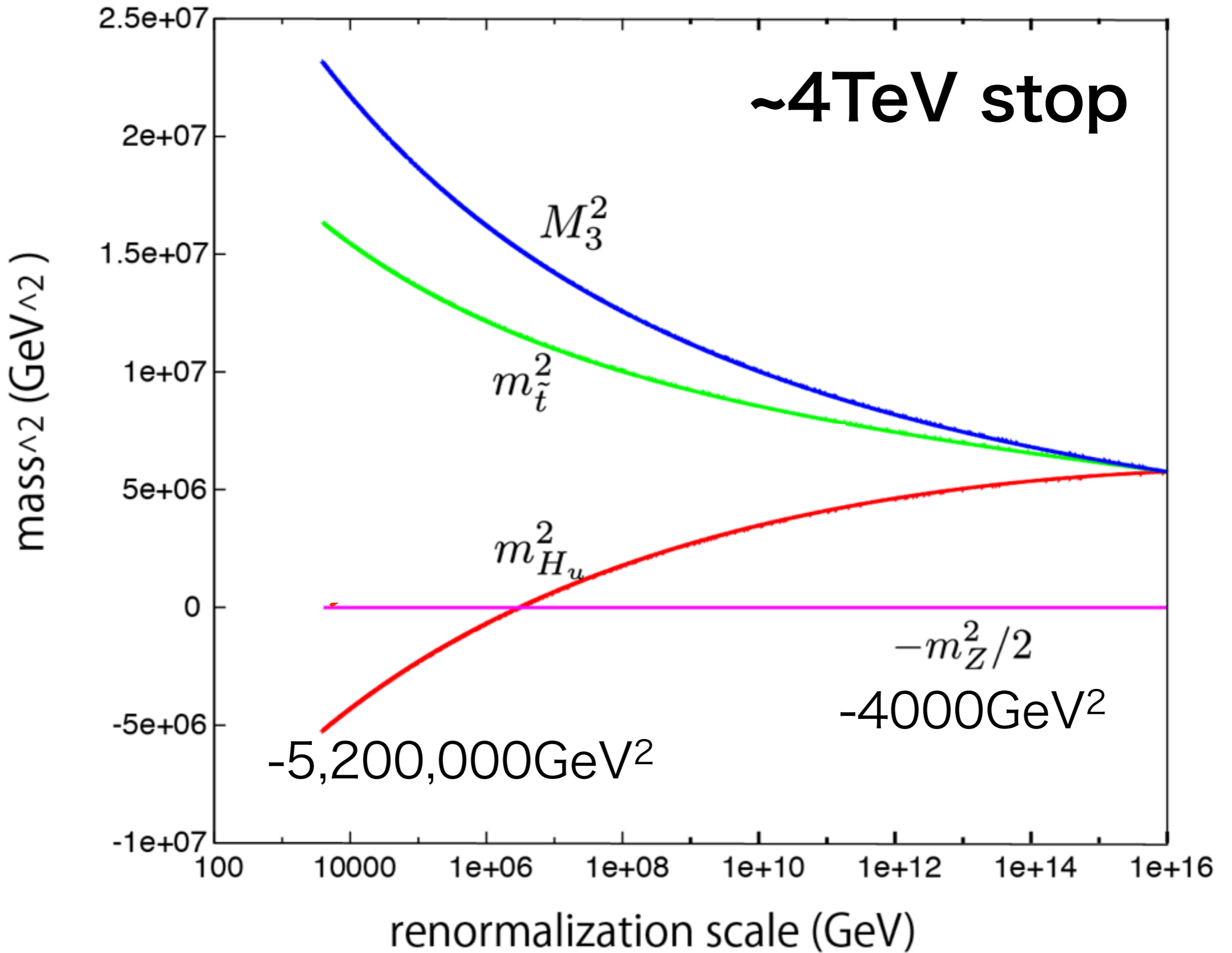
[T. Hahn, S. Heinemeyer, W. Hollik, H. Rzehak, G. Weiglein, 2013]

# The Higgs boson mass vs. SUSY

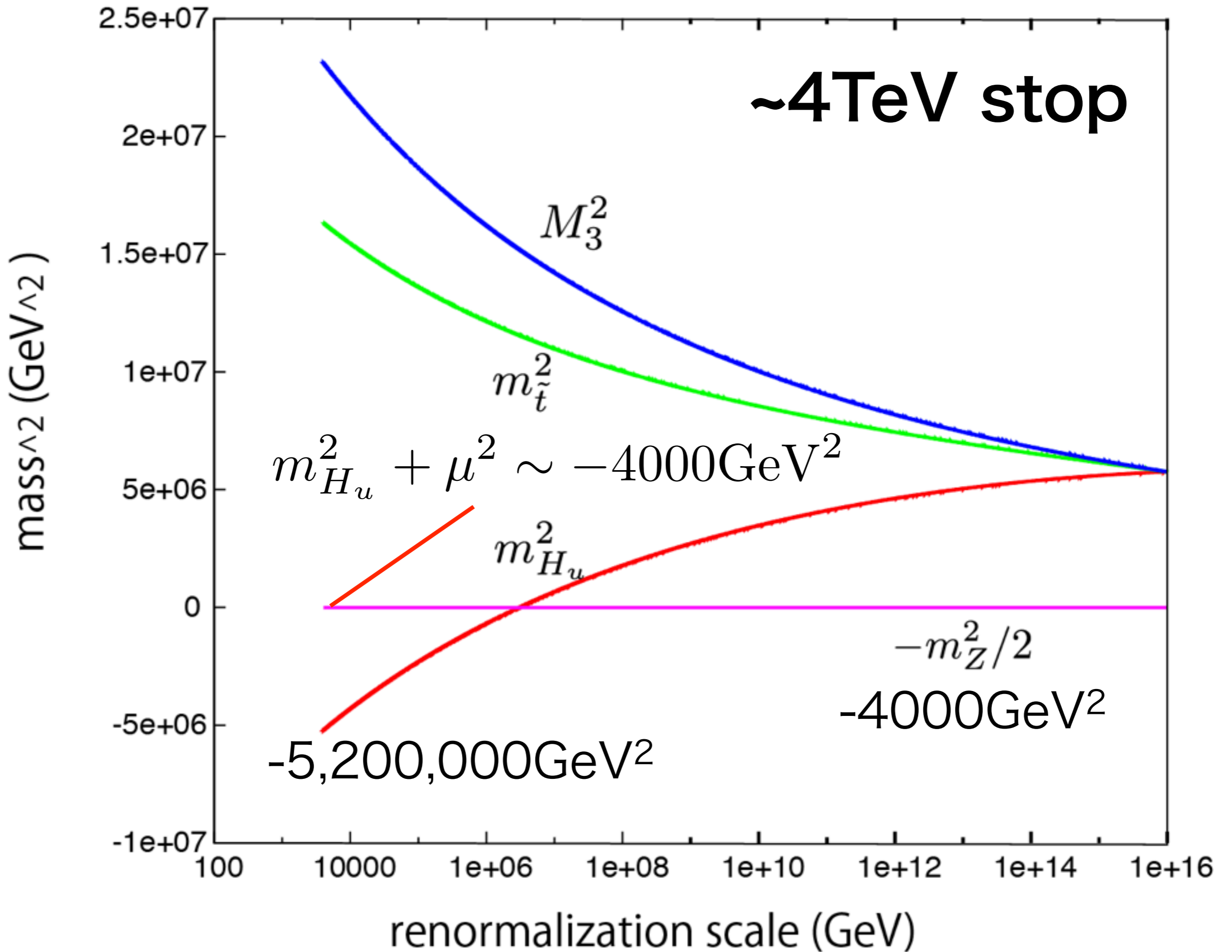


[T. Hahn, S. Heinemeyer, W. Hollik, H. Rzehak, G. Weiglein, 2013]

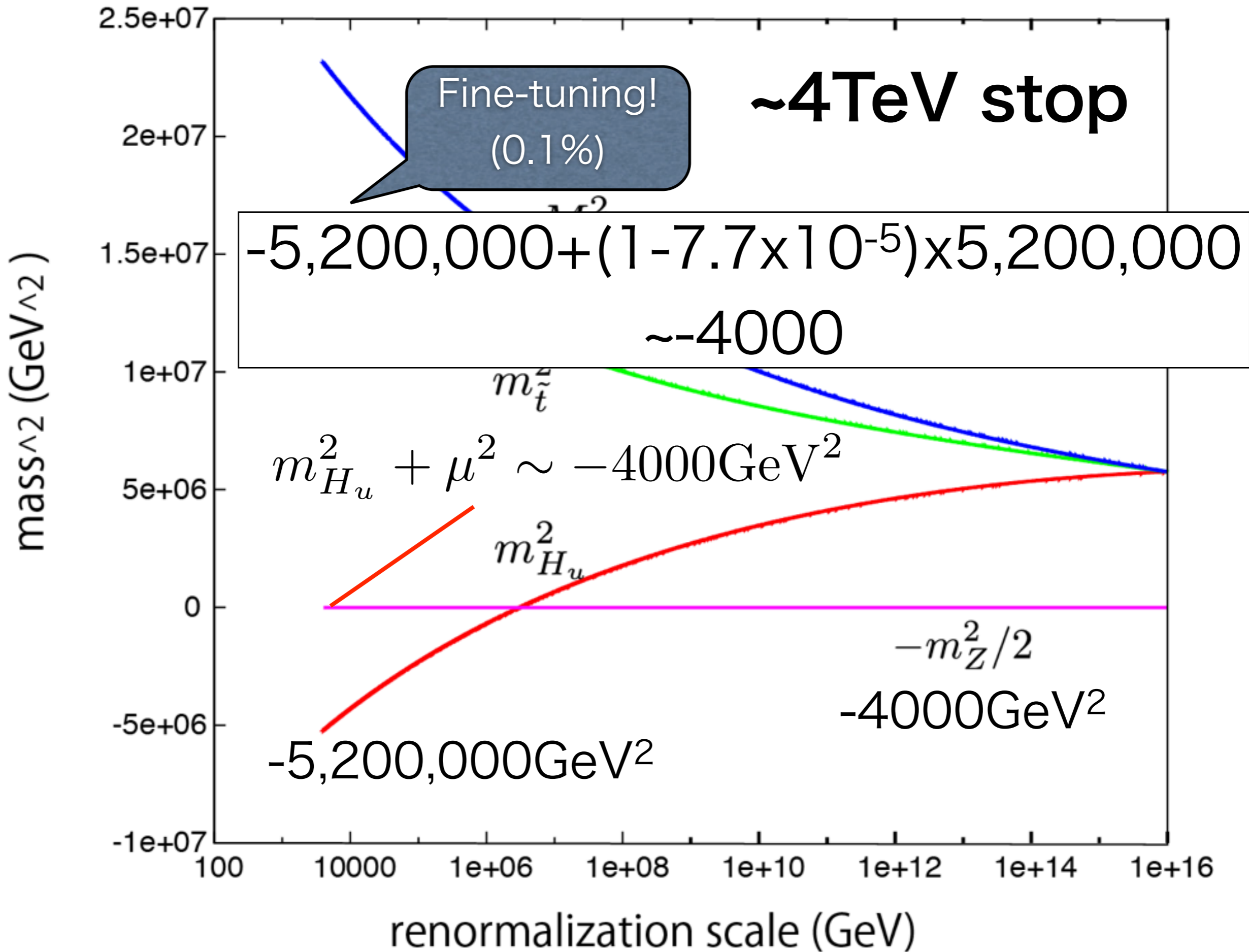
**~4TeV stop**

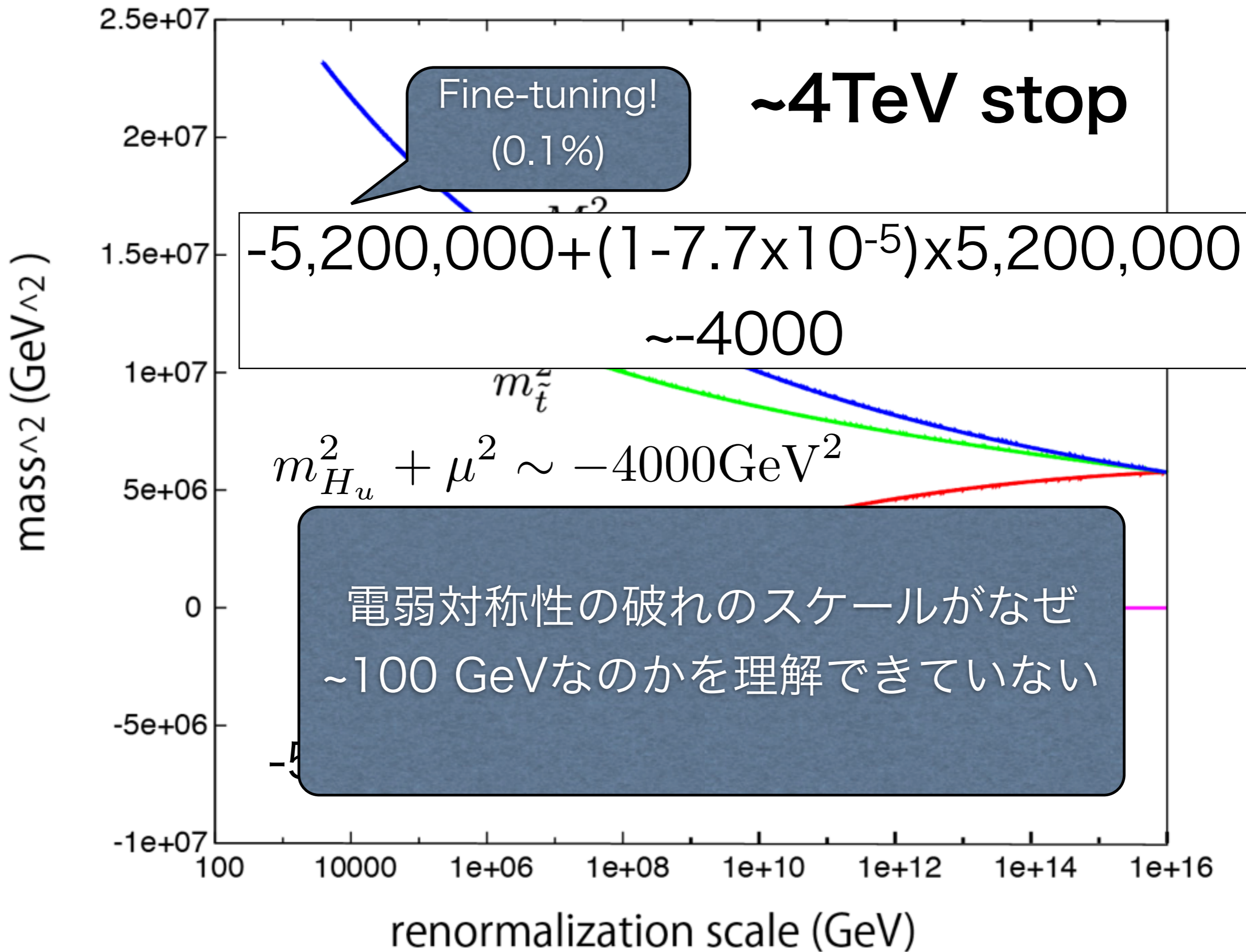


**~4TeV stop**











**EWSB scaleの起源をSUSY  
breakingから理解できるか？**

いいかえると

MildなFine-tuningですむ模型があるか？

**EWSB scaleの起源をSUSY  
breakingから理解できるか？**

いいかえると

MildなFine-tuningですむ模型があるか？

Focus point!

# EWSB scaleの起源をSUSY breakingから理解できるか？

いいかえると

MildなFine-tuningですむ模型があるか？

Focus point!

- UV physicsに特別な関係があり、EWSB scaleがSUSY particle scaleから理解できる。

“Focus point gaugino mediation”

[Yanagida, Yokozaki '13]

# “Focus point gaugino mediation”

[Yanagida, Yokozaki '13]

$M_3/M_2$

Very simple

1つのパラメータでFocus pointがきまる。

Binoの質量はあまり関係ない。

# “Focus point gaugino mediation”

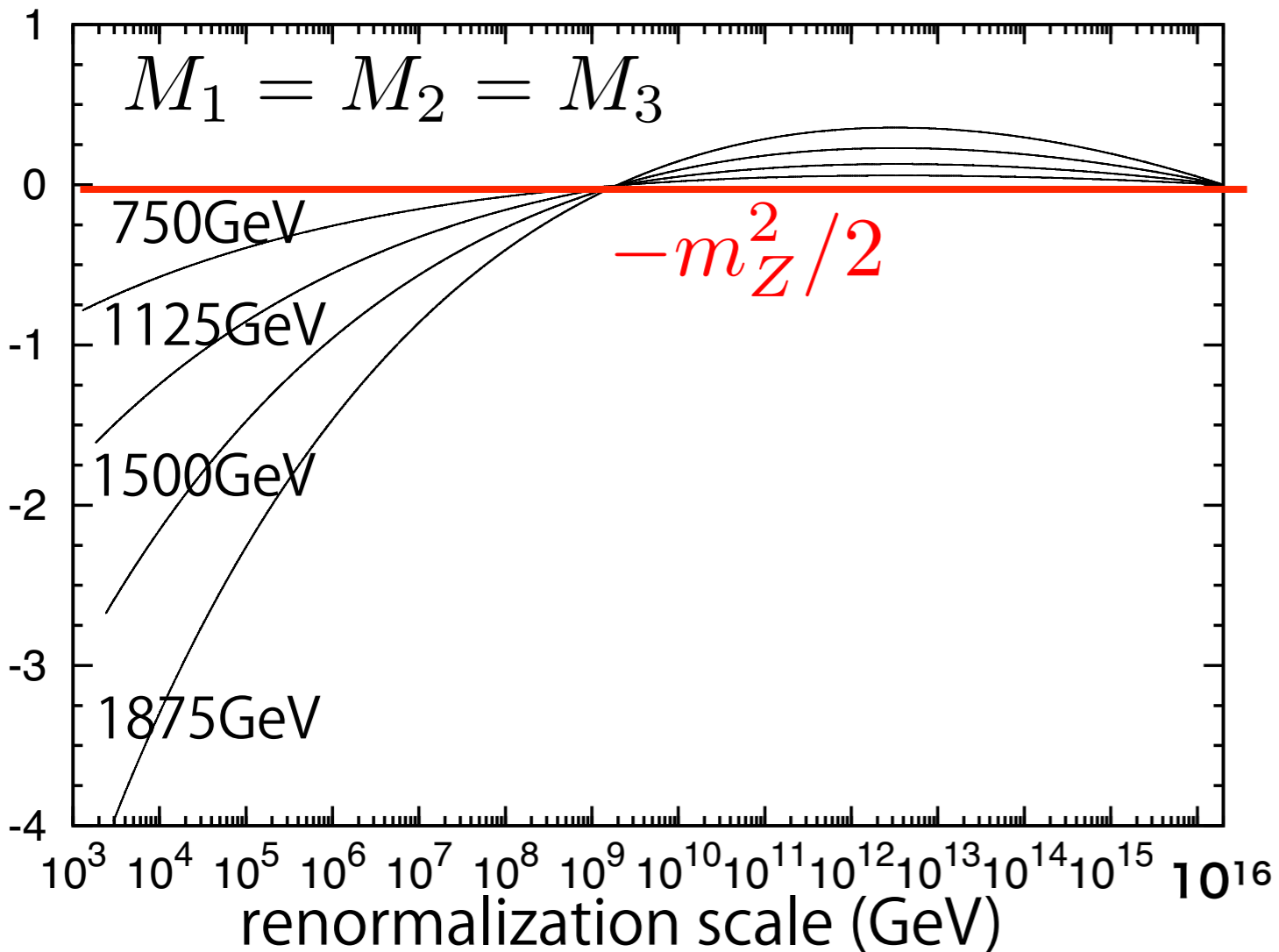
[Yanagida, Yokozaki '13]

SUSY particle massはradiative correctionによつてGaugino massから与えられる

gluino massとwino massの比が  $M_3/M_2 \sim 3/8$  ならば fine-tuningが非常に良くなる。

$$m_{H_u}^2(2.5\text{TeV}) \simeq \underline{-0.006M_2^2} \text{ for } M_3/M_2 = 3/8$$

# The running of $m_{H_u}^2$ (TeV<sup>2</sup>) (期待されるEWSBの2乗)

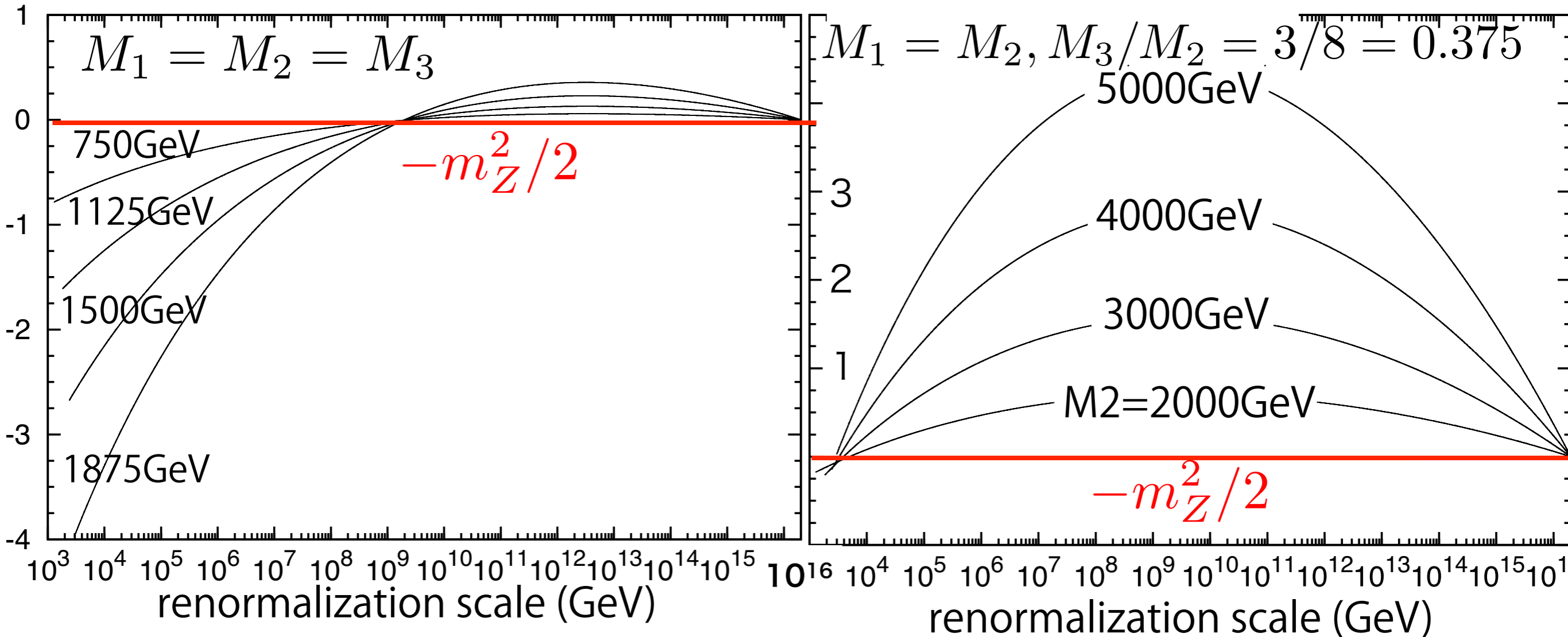


universal case

For almost same gluino mass

# The running of $m_{H_u}^2$ (TeV<sup>2</sup>)

(期待されるEWSBの2乗)



universal case

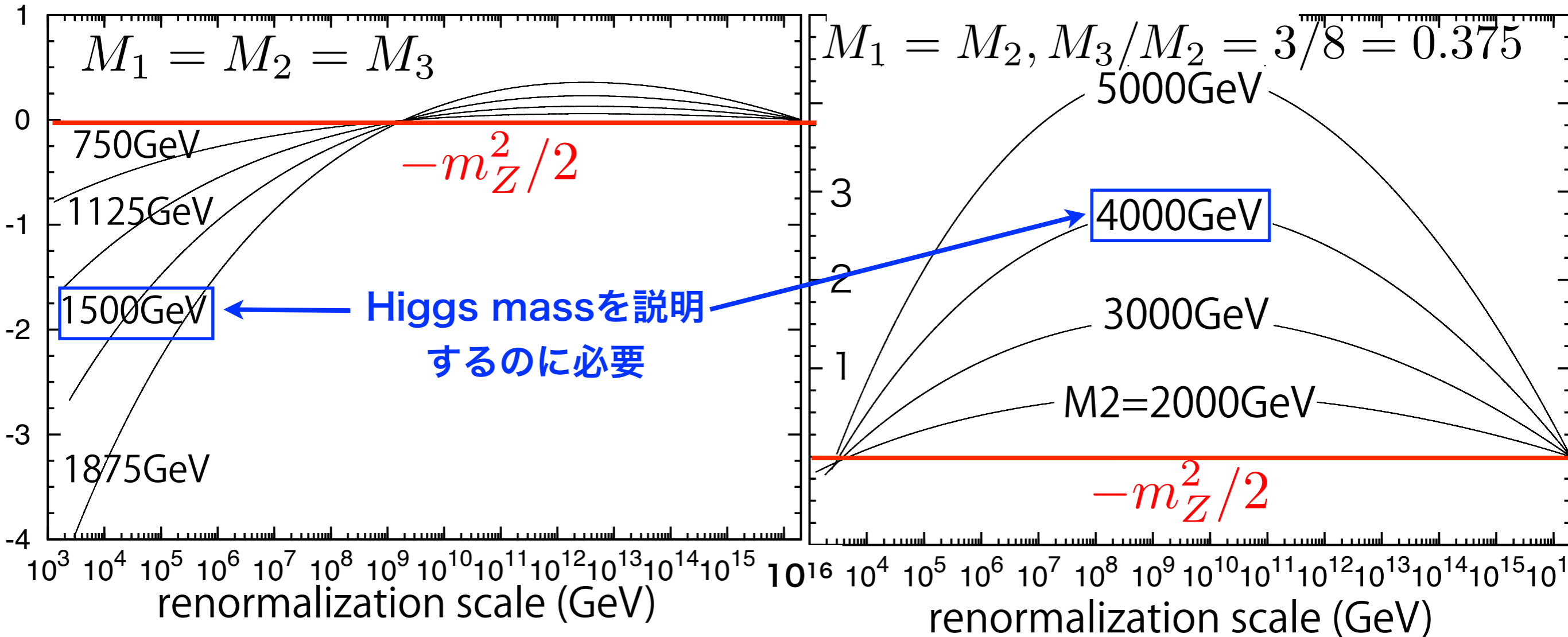
$M_2:M_3=8:3$  case

For almost same gluino mass



# The running of $m_{Hu}^2$ ( $\text{TeV}^2$ )

(期待されるEWSBの2乗)



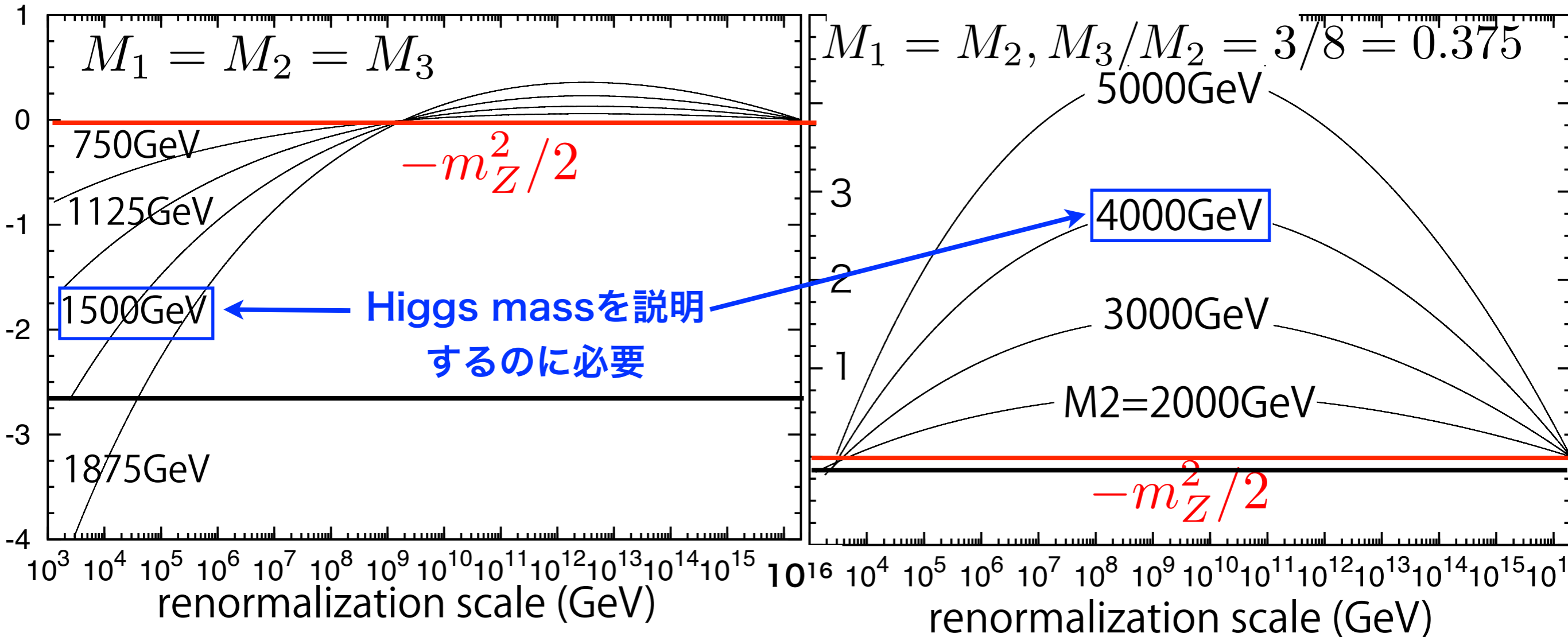
universal case

$M_2:M_3=8:3$  case

For almost same gluino mass

# The running of $m_{Hu}^2$ ( $\text{TeV}^2$ )

(期待されるEWSBの2乗)



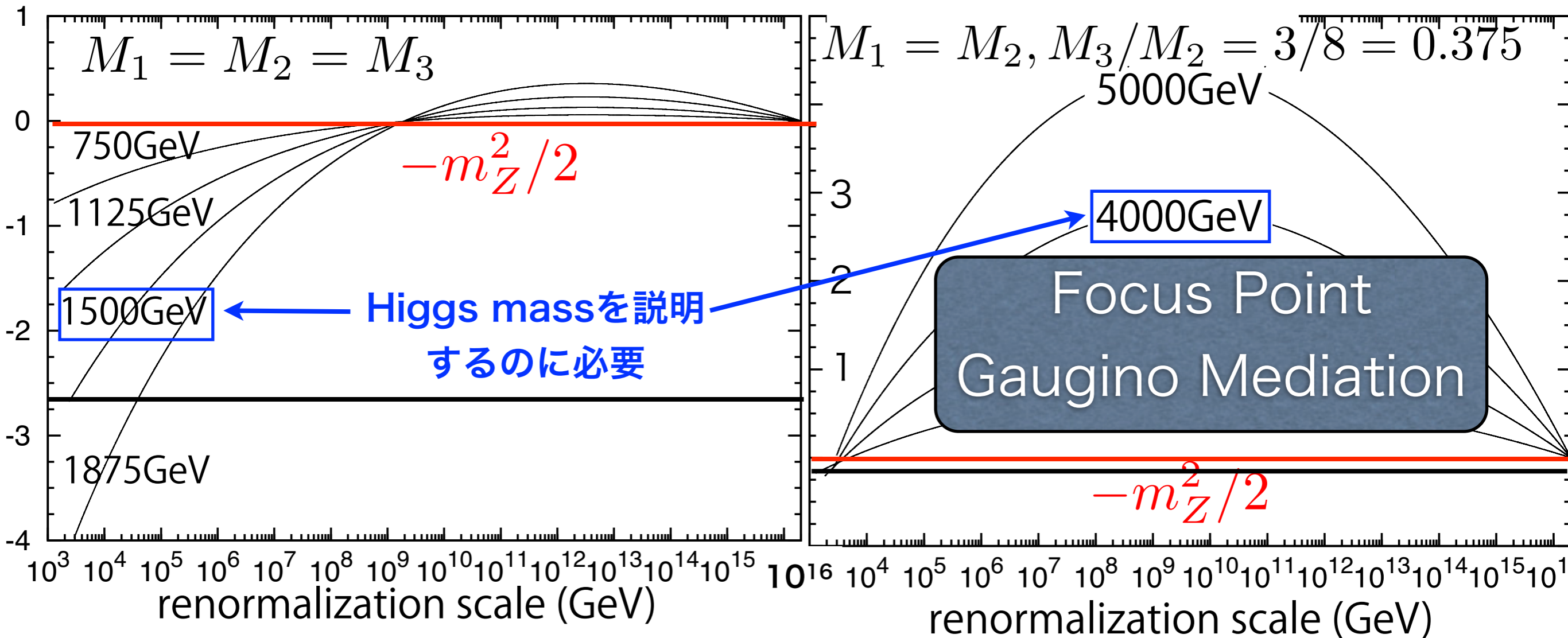
universal case

$M_2:M_3=8:3$  case

For almost same gluino mass

# The running of $m_{Hu}^2$ ( $\text{TeV}^2$ )

(期待されるEWSBの2乗)



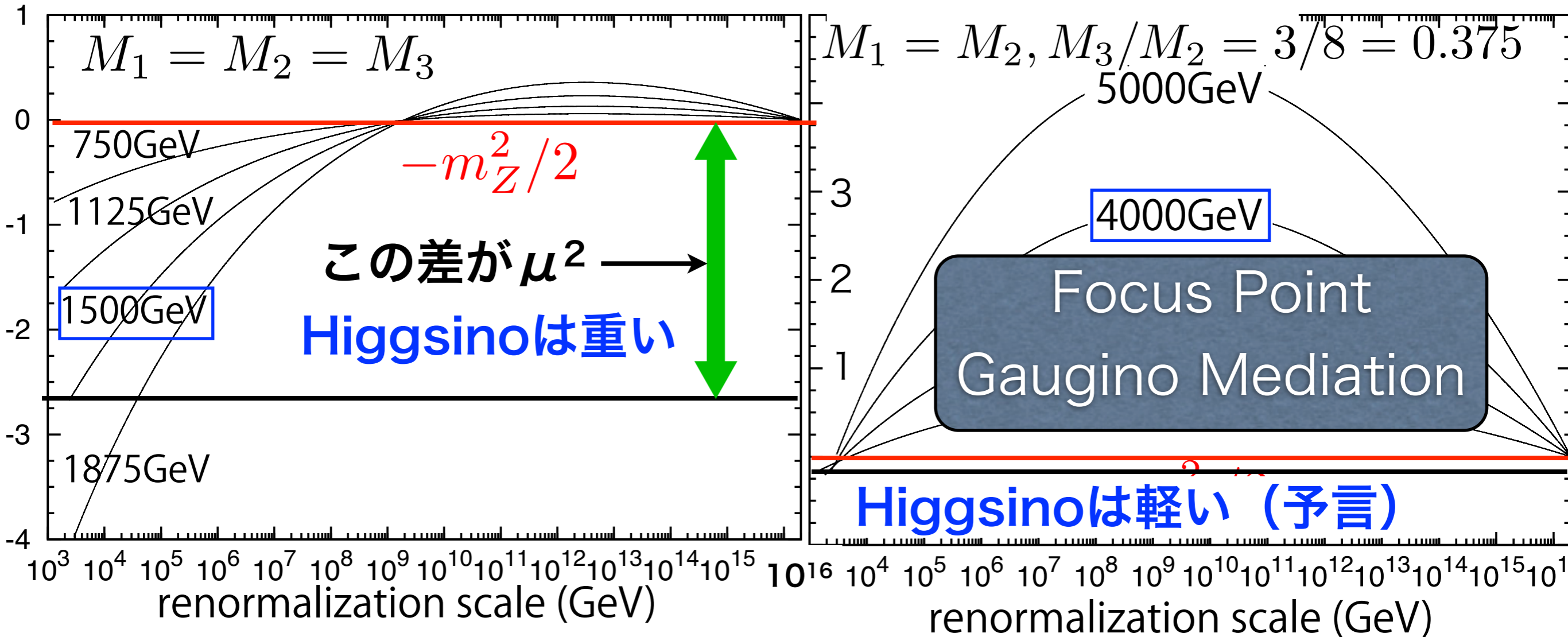
universal case

$M_2:M_3=8:3$  case

For almost same gluino mass

# The running of $m_{Hu}^2$ ( $\text{TeV}^2$ )

(期待されるEWSBの2乗)



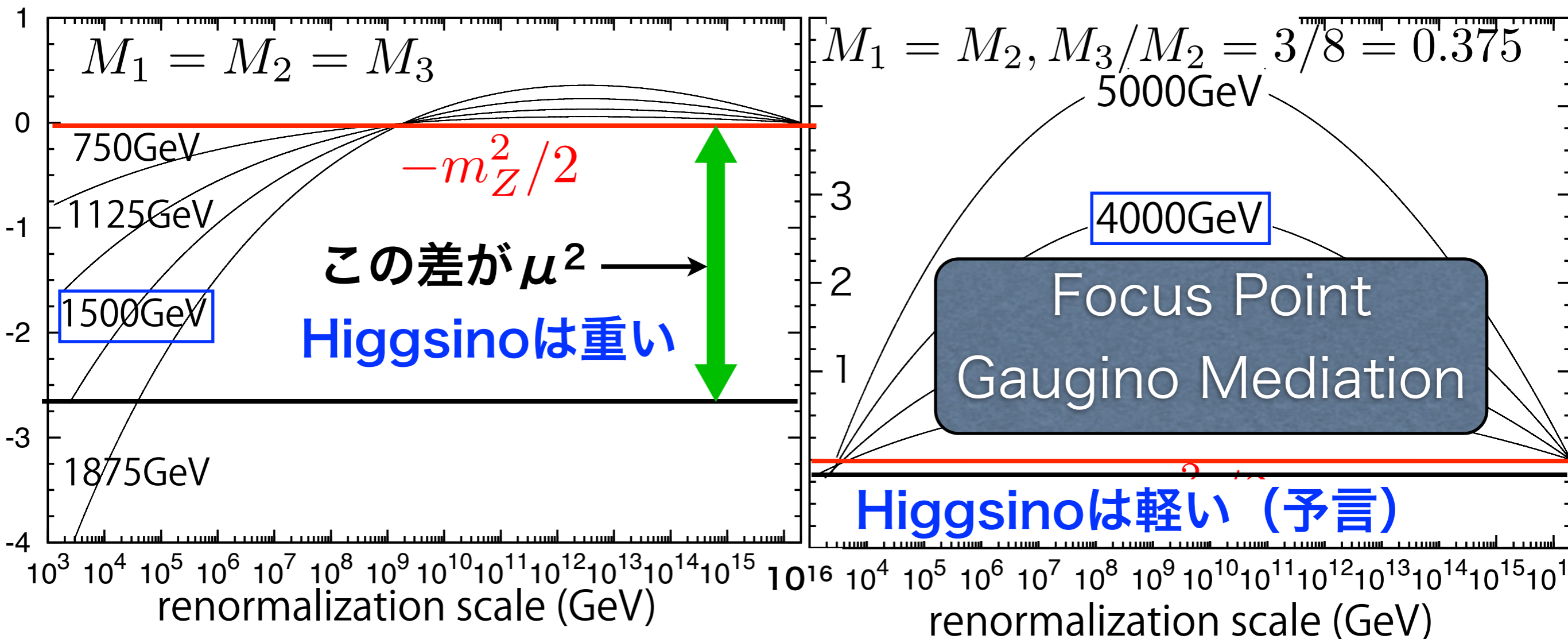
universal case

$M_2:M_3=8:3$  case

For almost same gluino mass

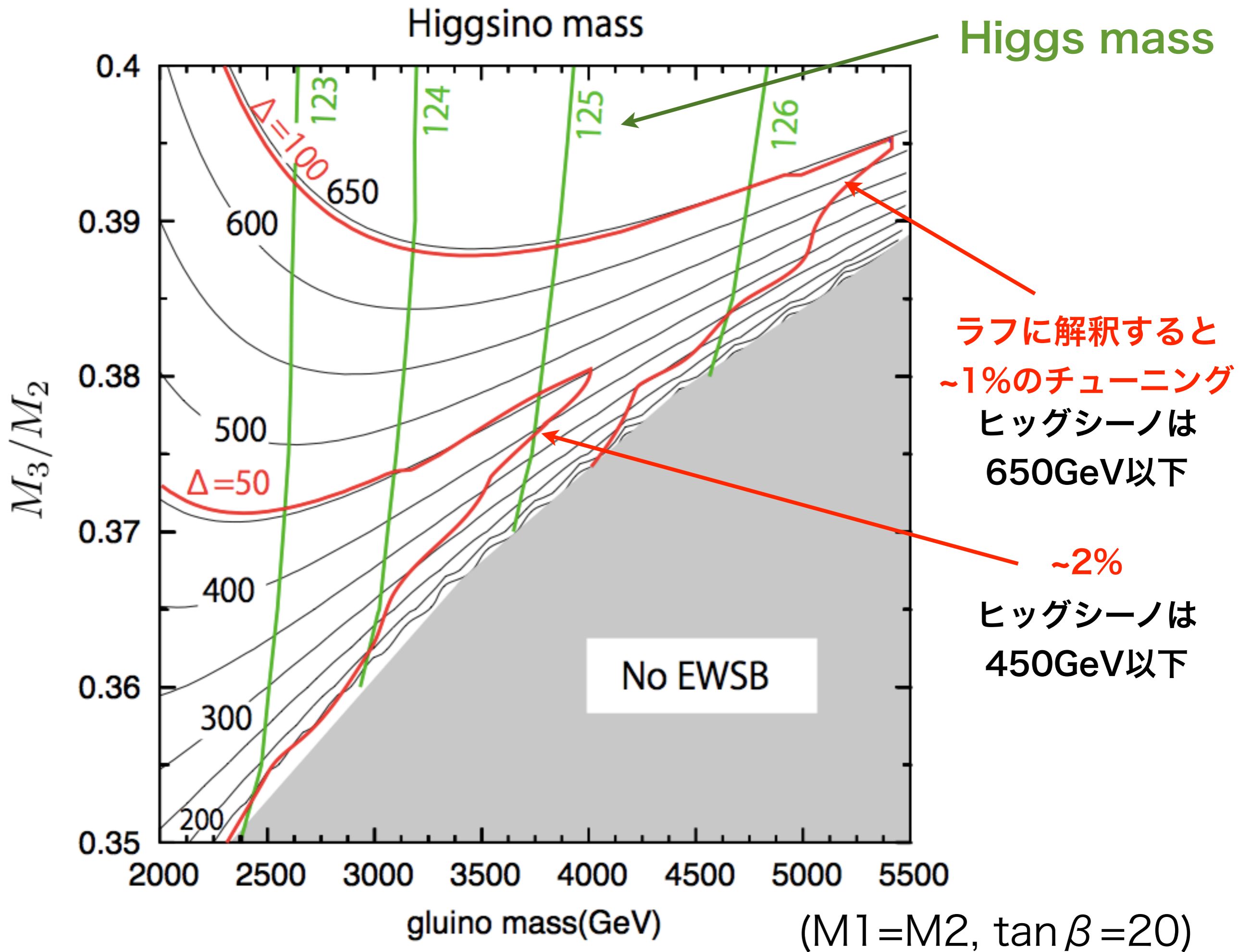
# The running of $m_{Hu}^2$ ( $\text{TeV}^2$ )

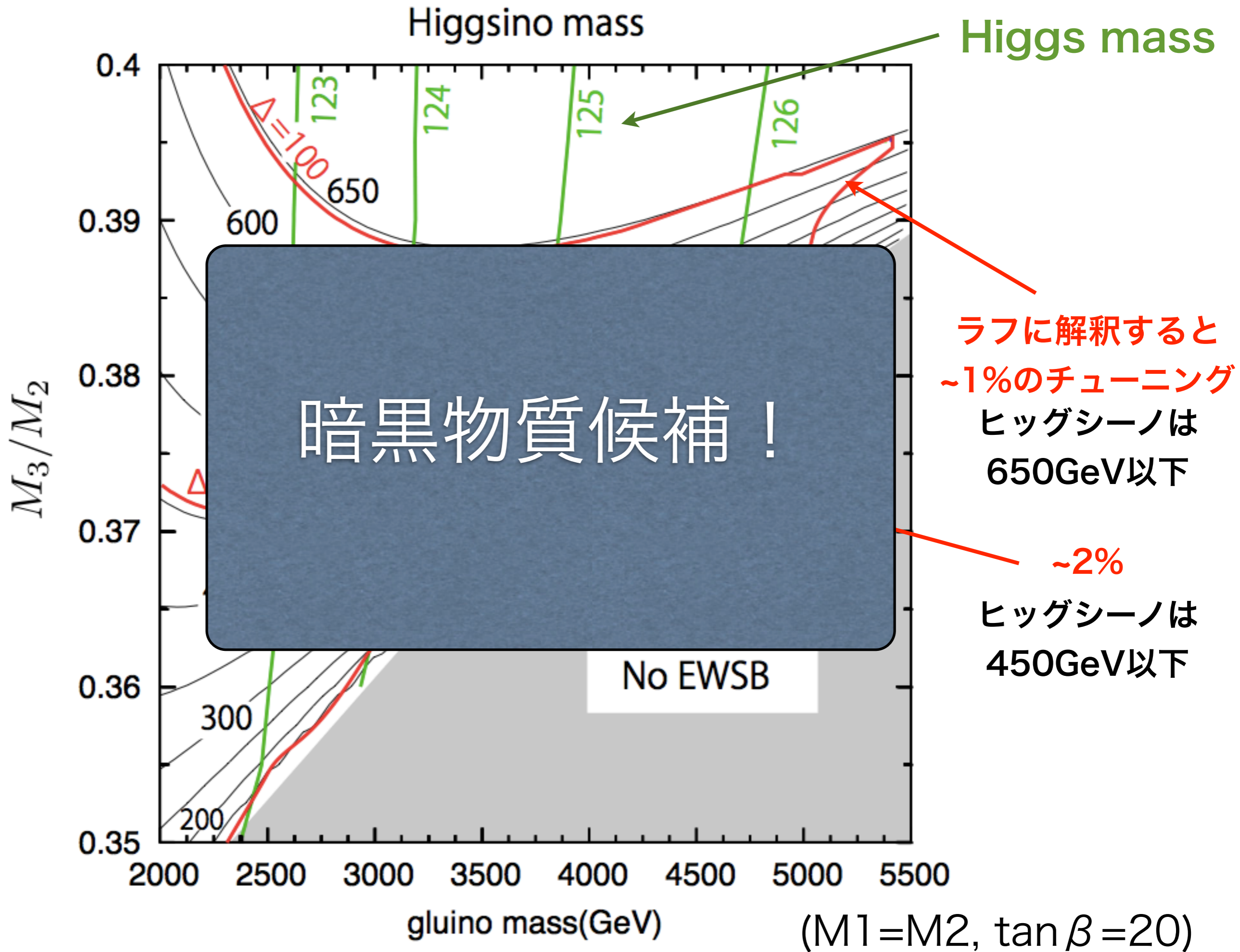
(期待されるEWSBの2乗)



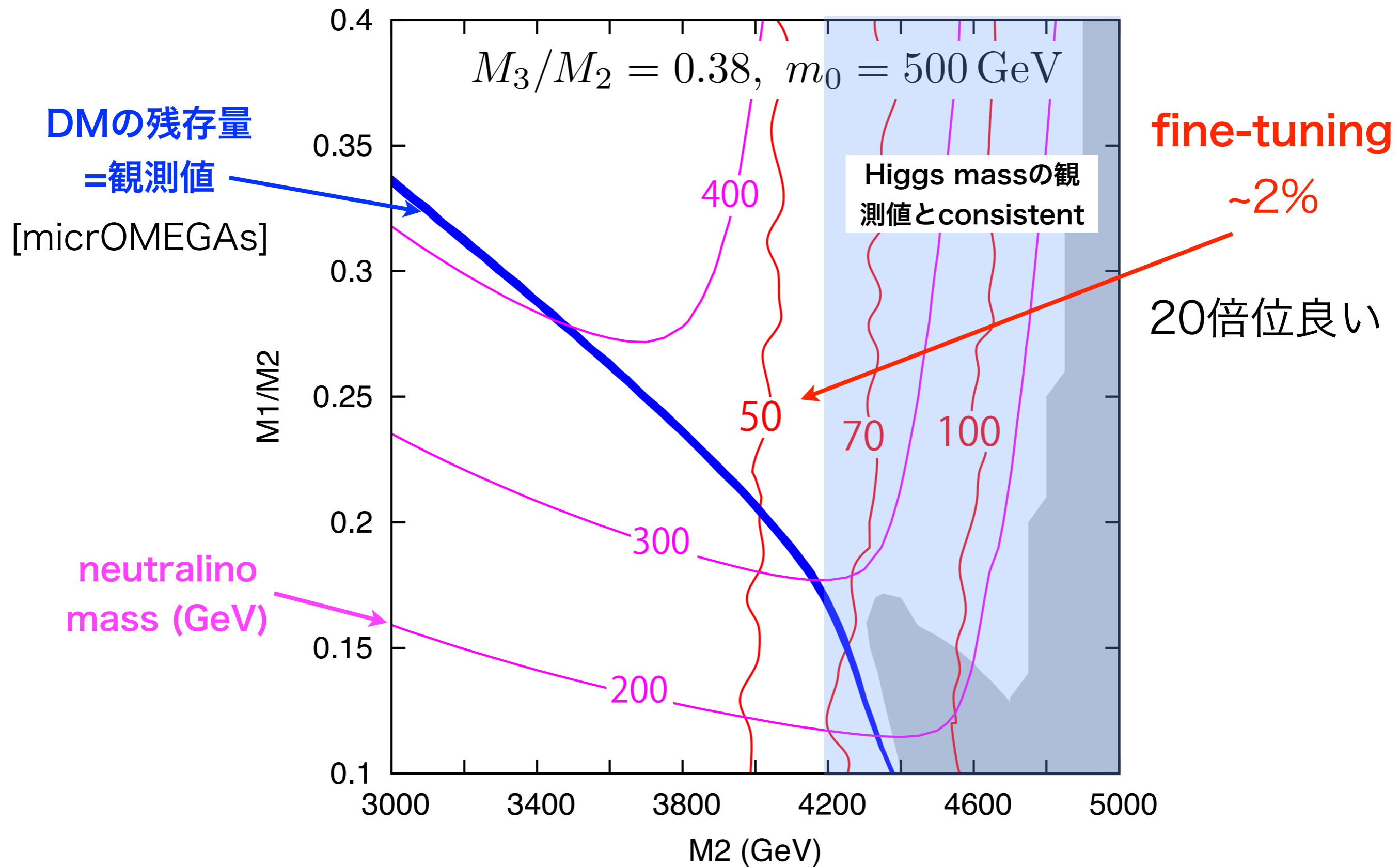
電弱対称性の破れとそのスケールが説明できる  
 ことの帰結としてDMになりうる軽いヒッグシ  
 ーノが予言される



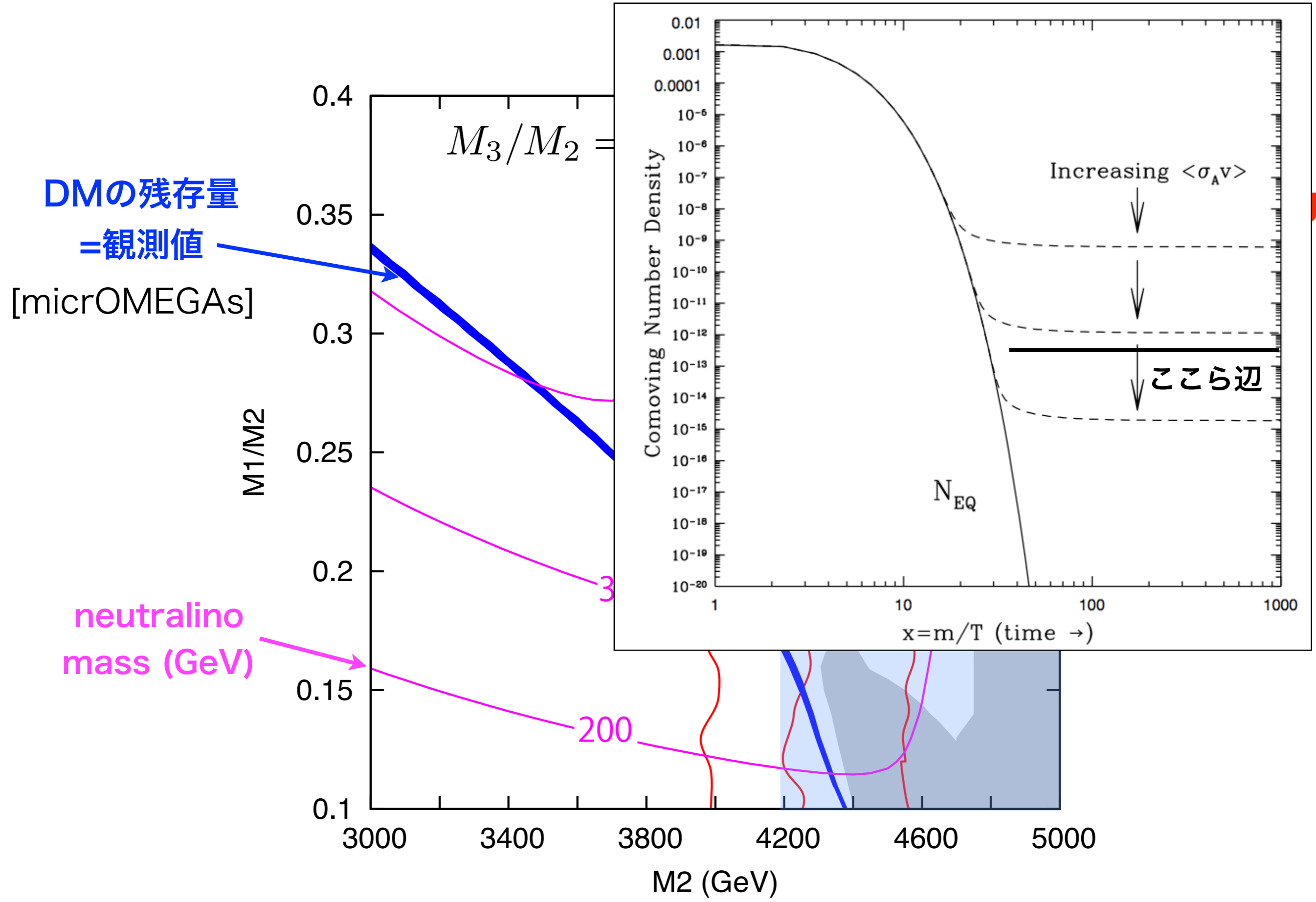




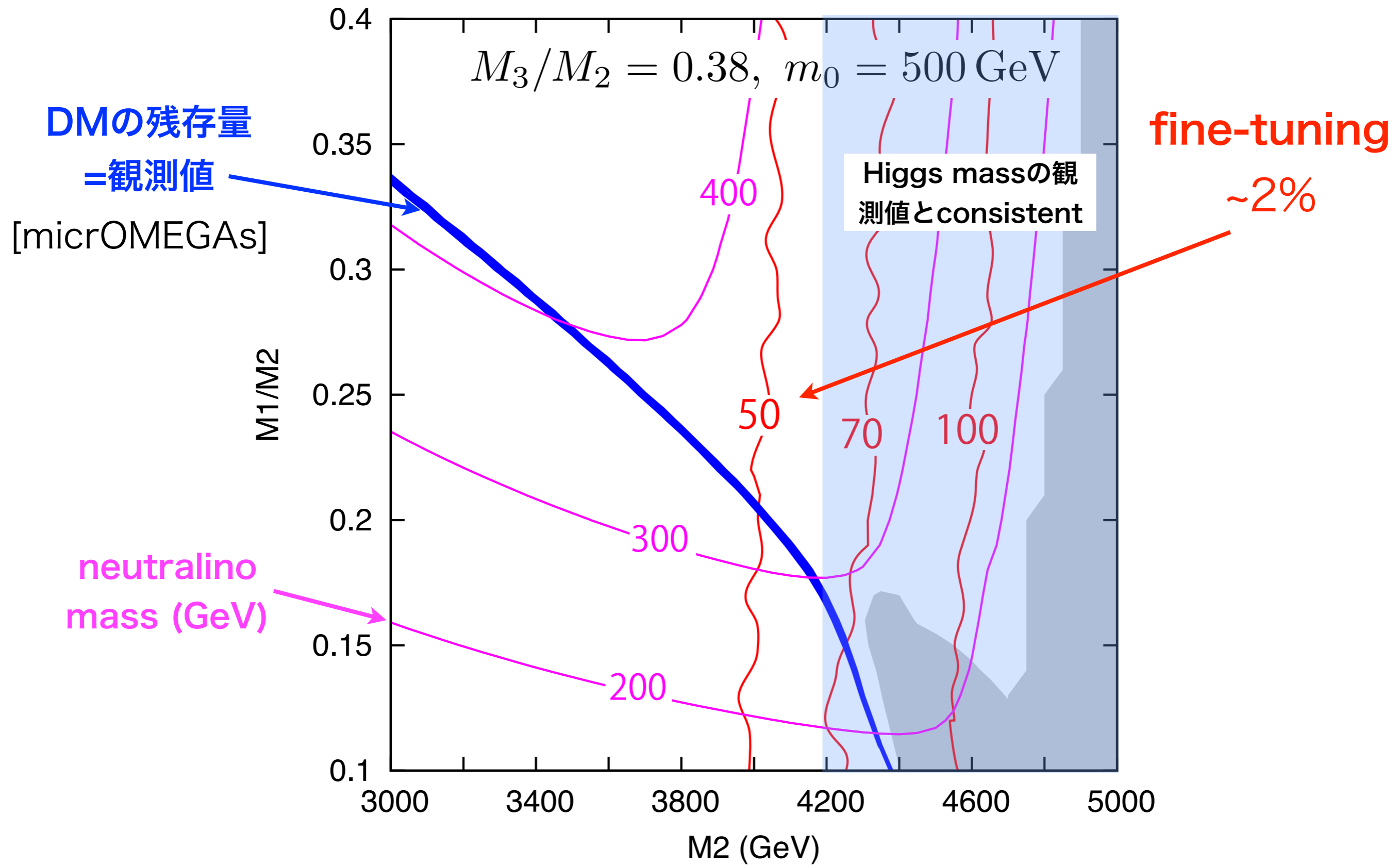
# ビーノが混ざっている状態を考える

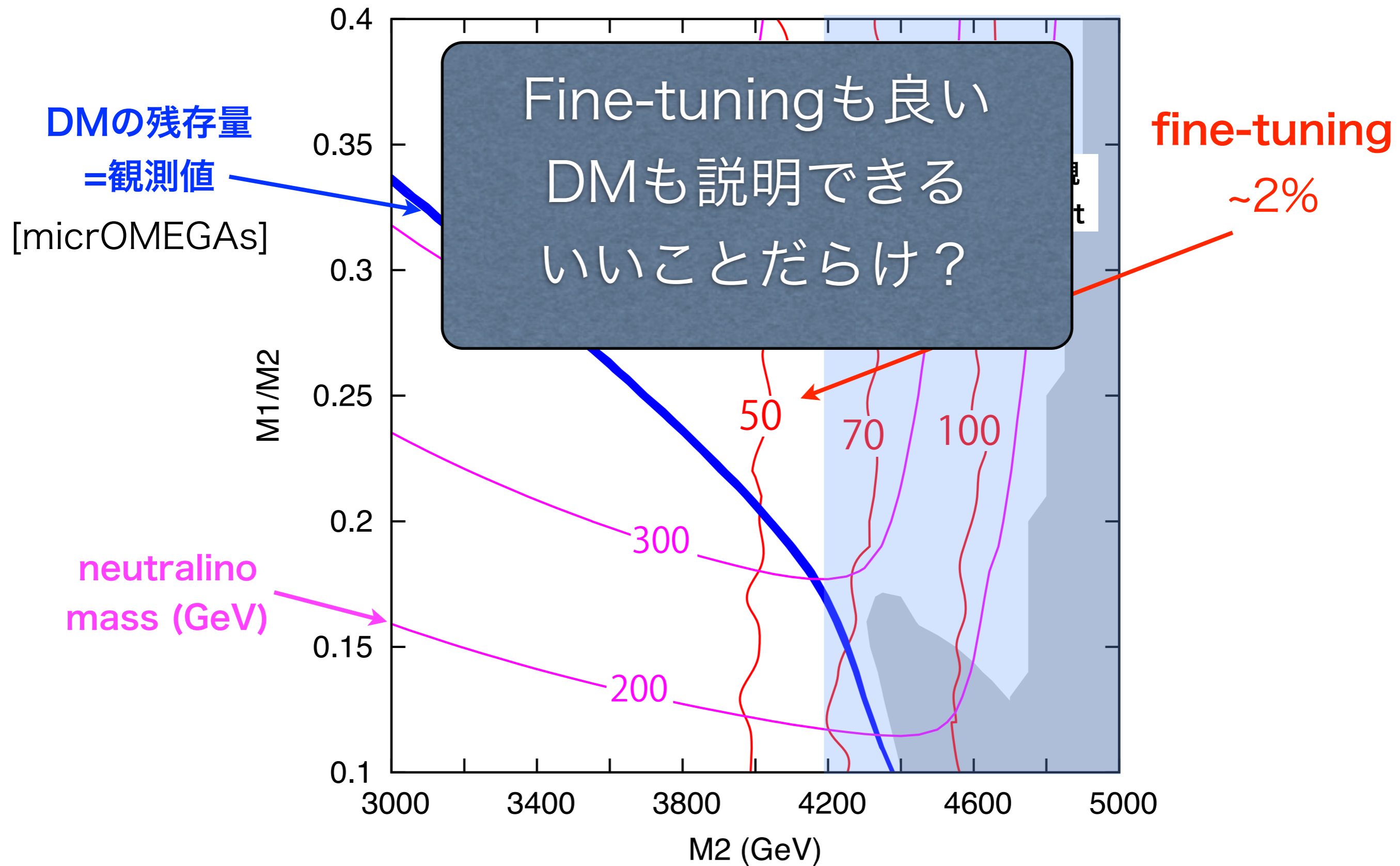


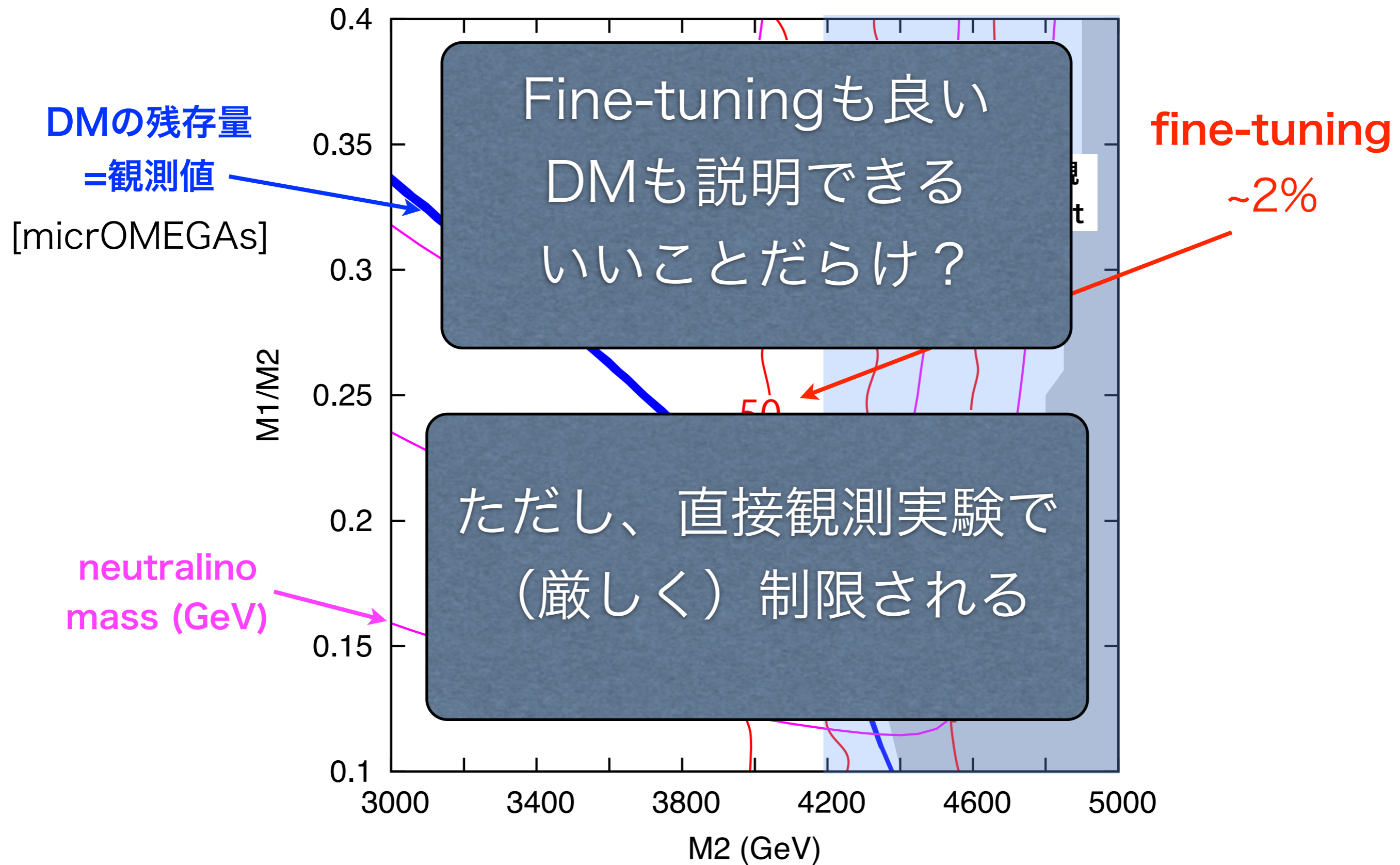




[Fig from Supersymmetric Dark Matter]



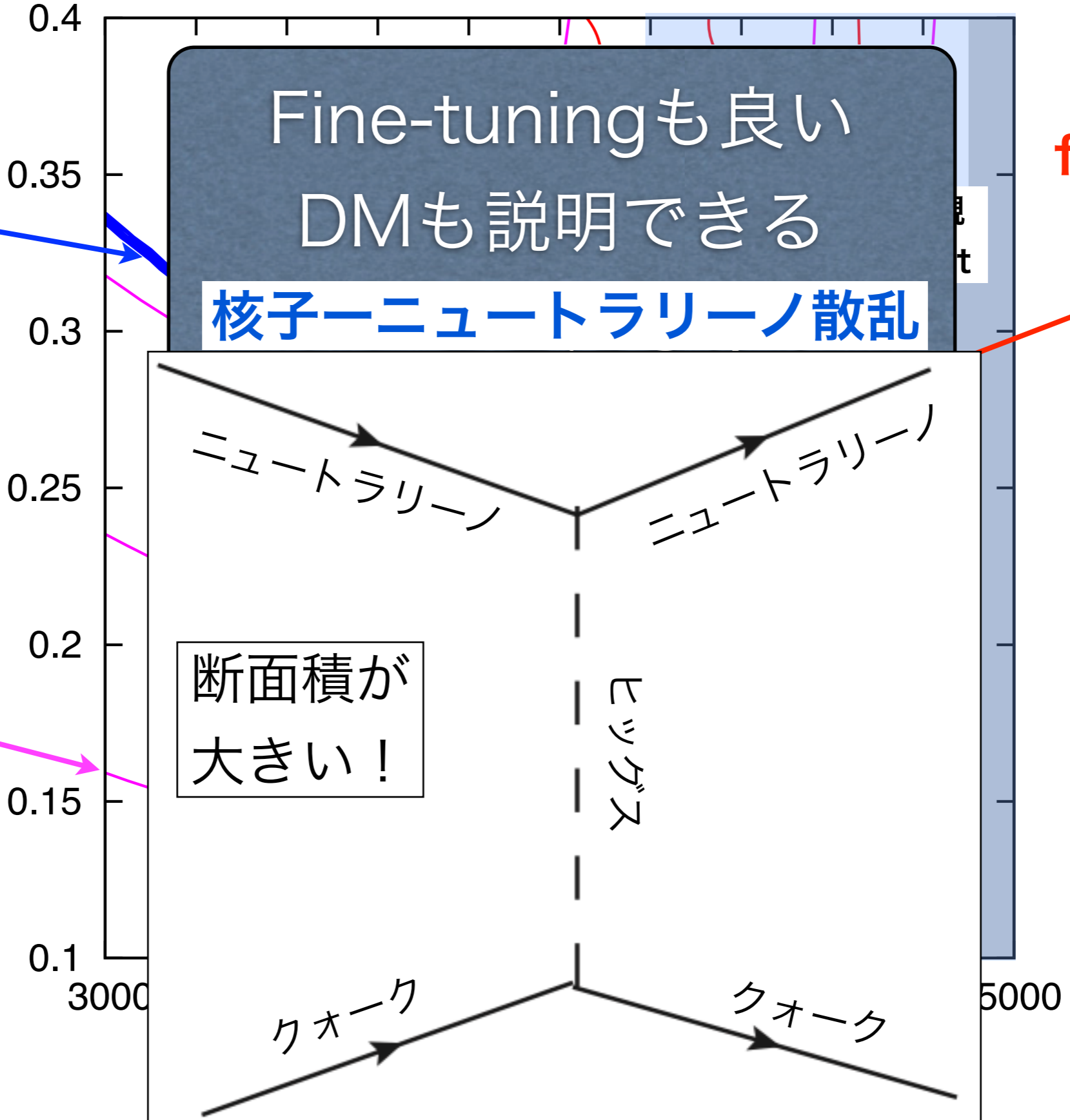


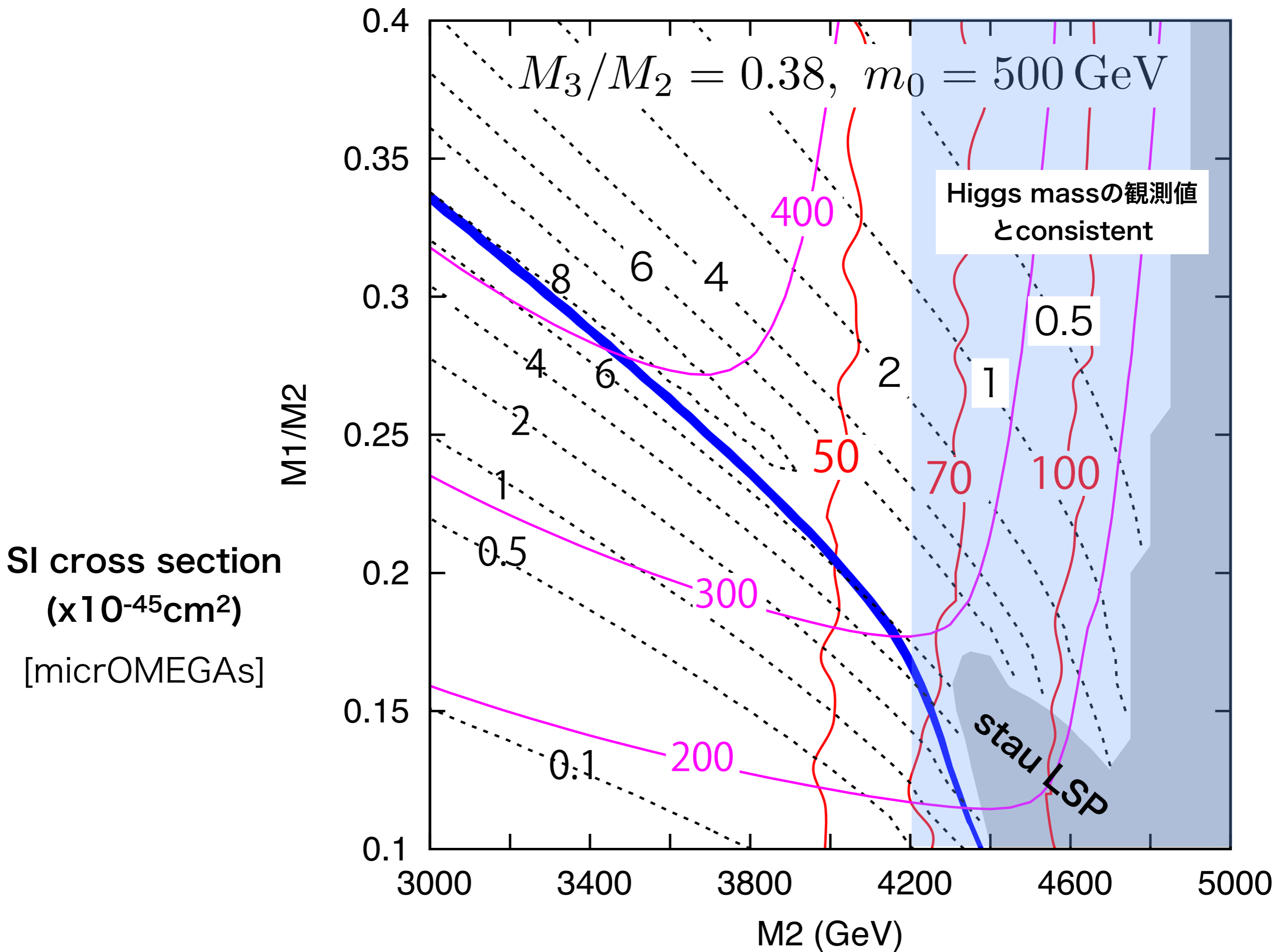


DMの残存量  
=観測値

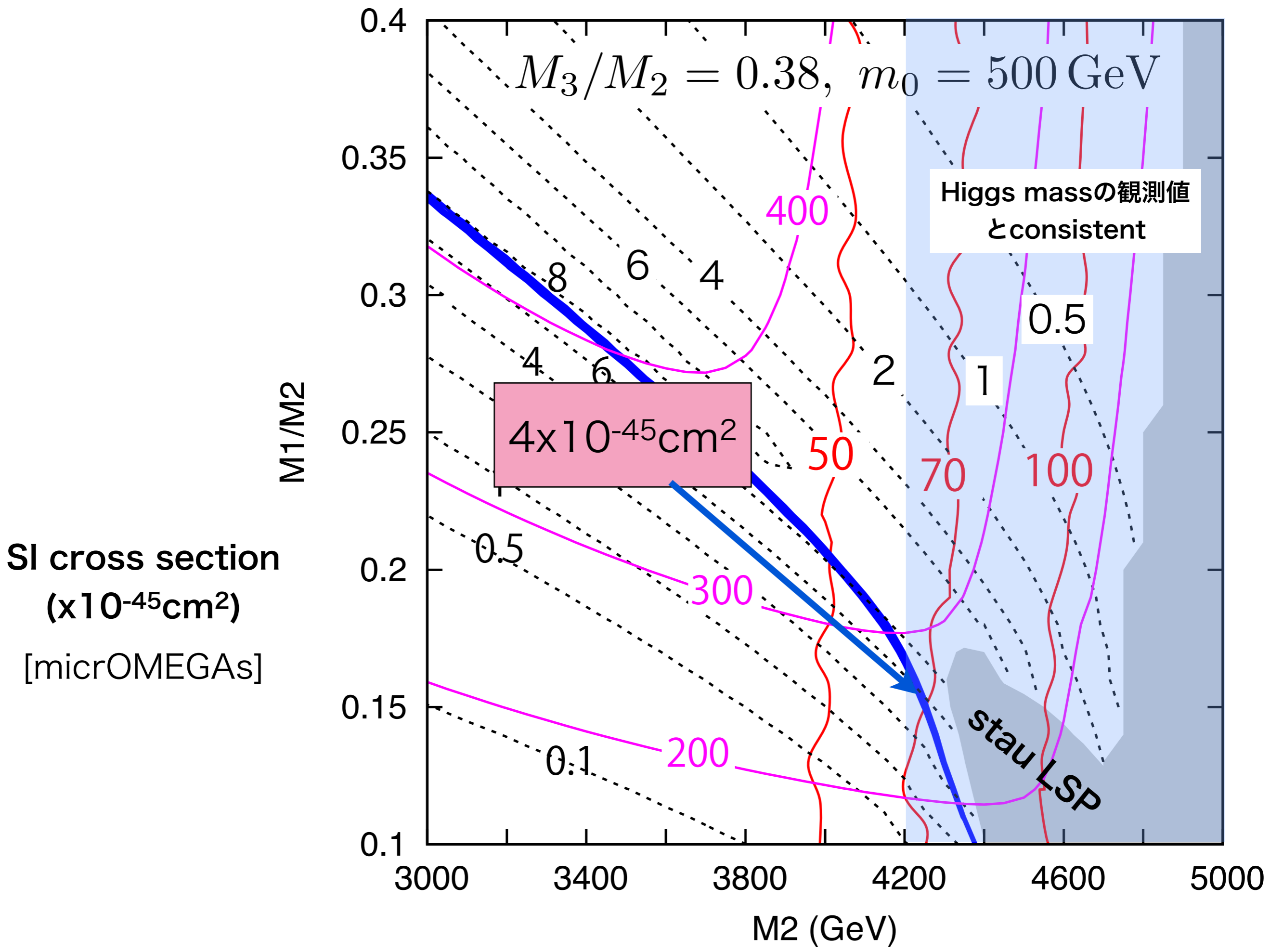
[micrOMEGAs]

neutralino  
mass (GeV)

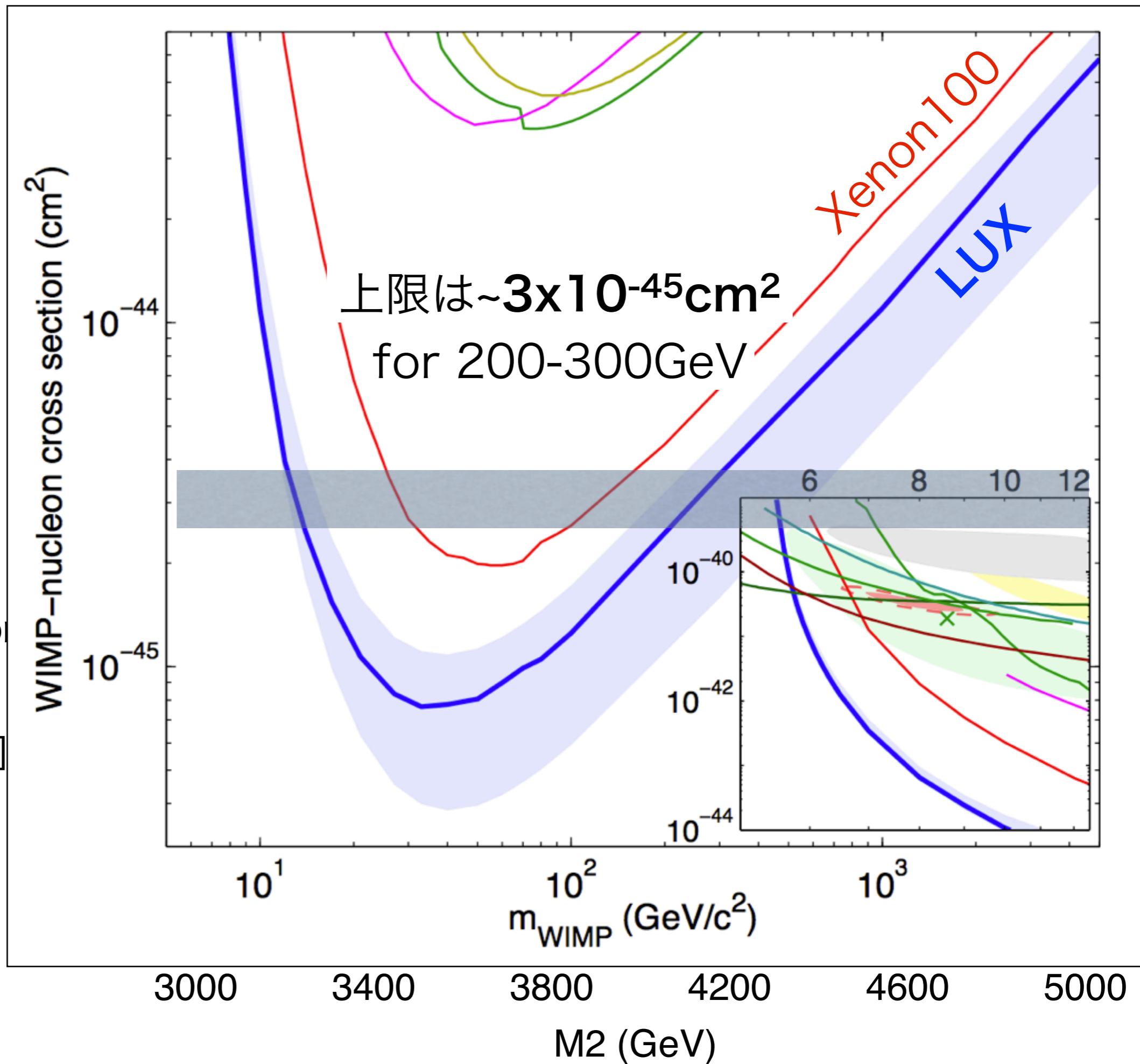






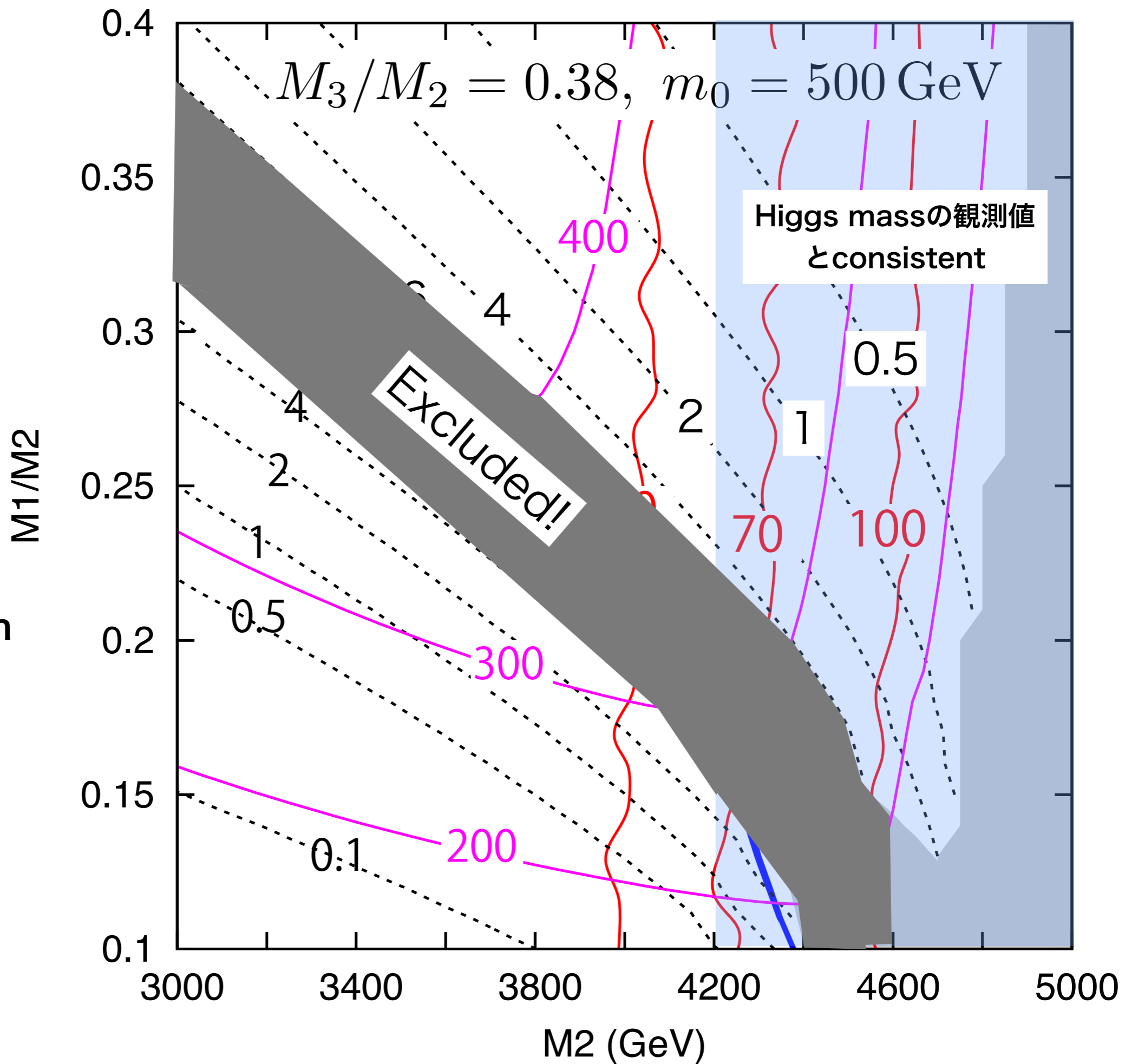


SI cross section  
( $\times 10^{-45} \text{cm}^2$ )  
[micrOMEGAs]

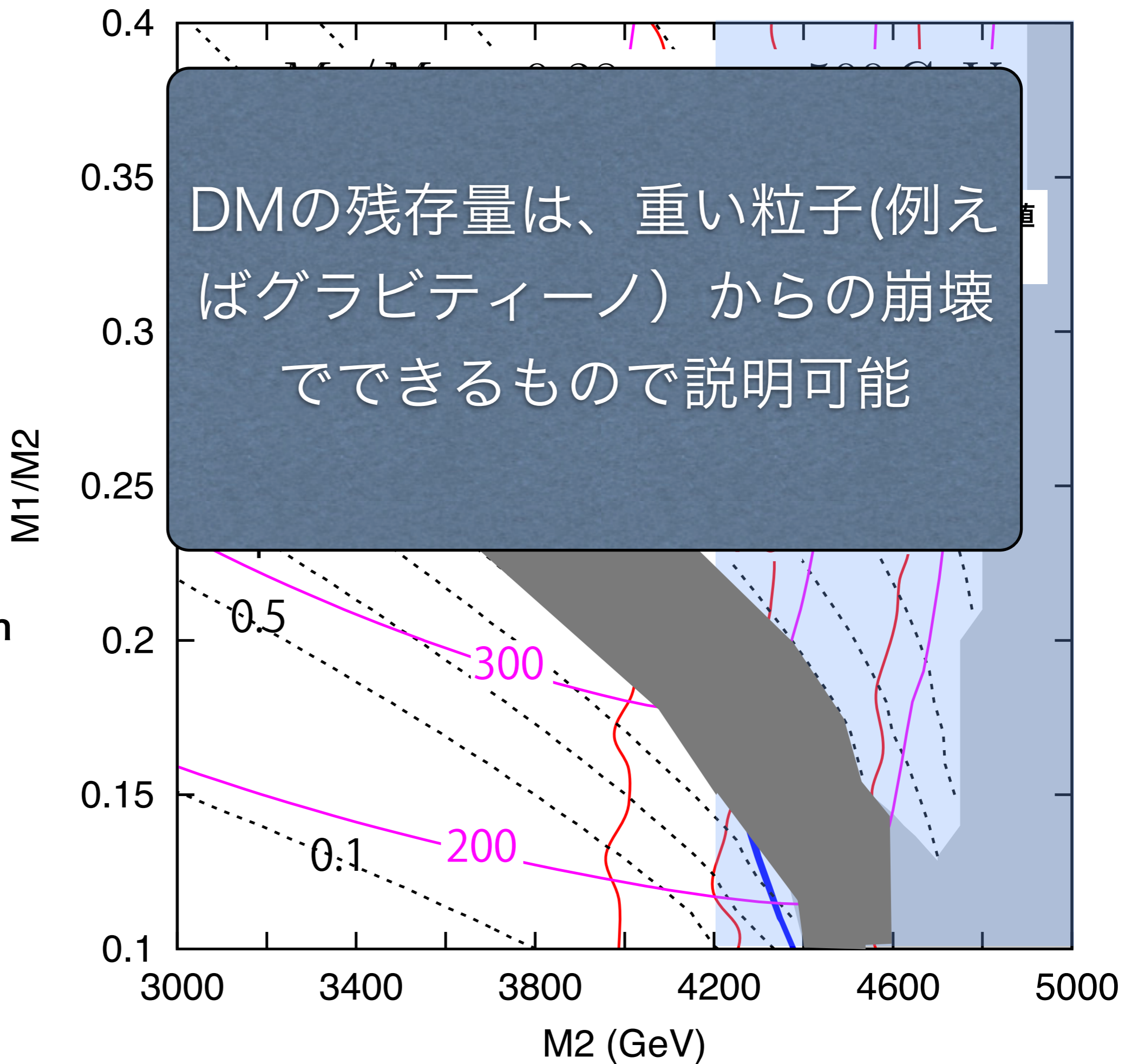




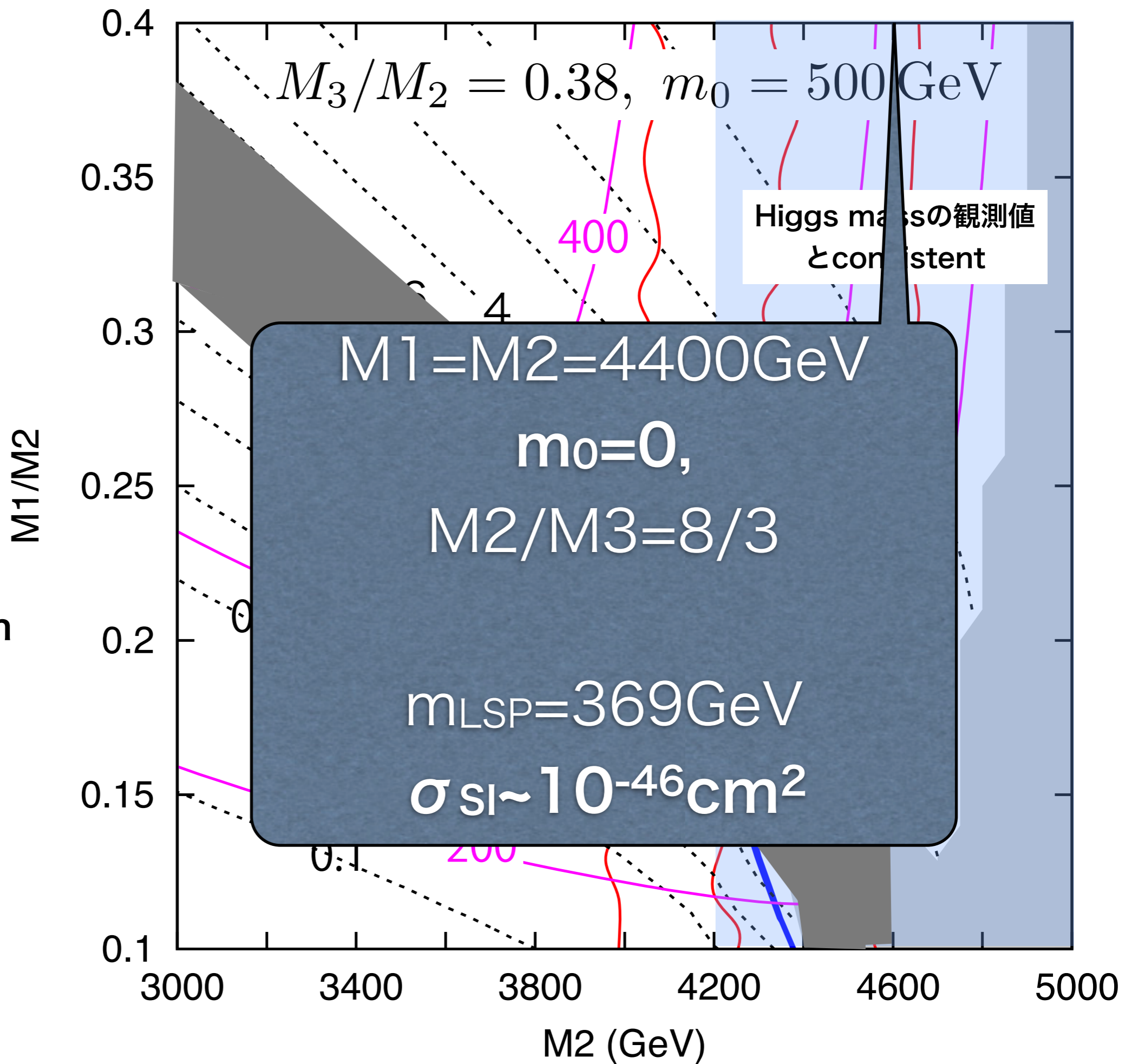
SI cross section  
( $\times 10^{-45} \text{cm}^2$ )  
[micrOMEGAs]



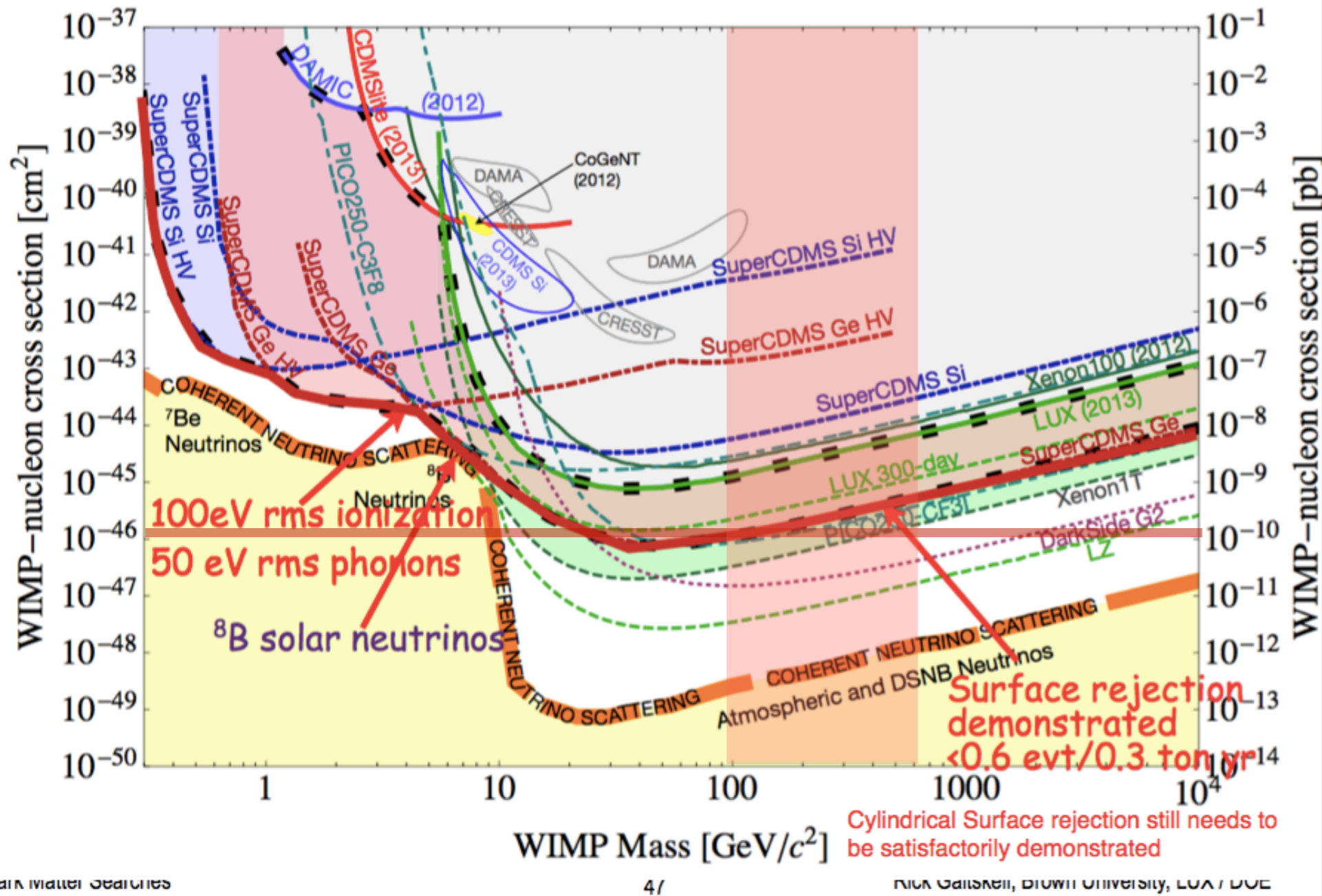
SI cross section  
( $\times 10^{-45} \text{cm}^2$ )  
[micrOMEGAs]



SI cross section  
( $\times 10^{-45} \text{cm}^2$ )  
[micrOMEGAs]







将来実験  
 Xenon1T  
 DarkSide-G2  
 LUX-ZEPLIN(LZ)  
 XMASS  
 $10^{-46} \text{ cm}^2$   
 はカバーされる

[ [http://www.pa.ucla.edu/sites/default/files/webform/140226\\_DM2014\\_Gaitskell\\_Review\\_v06.pdf](http://www.pa.ucla.edu/sites/default/files/webform/140226_DM2014_Gaitskell_Review_v06.pdf) ]

# まとめ

- Focus Point Gaugino Mediationは電弱対称性の破れを理解するLast hopeかもしれない
- このとき軽いヒッグシーノは予言であり、暗黒物質の候補
- 暗黒物質直接検出の将来実験では、見えるか排除される