

# Vacuum Stability and the Higgs to diphoton decay rate in the MSSM

Teppei Kitahara, Collaborator Takahiro Yoshinaga, The University of Tokyo

Based on *JHEP* **11** (2012) 021, *JHEP* **05** (2013) 035

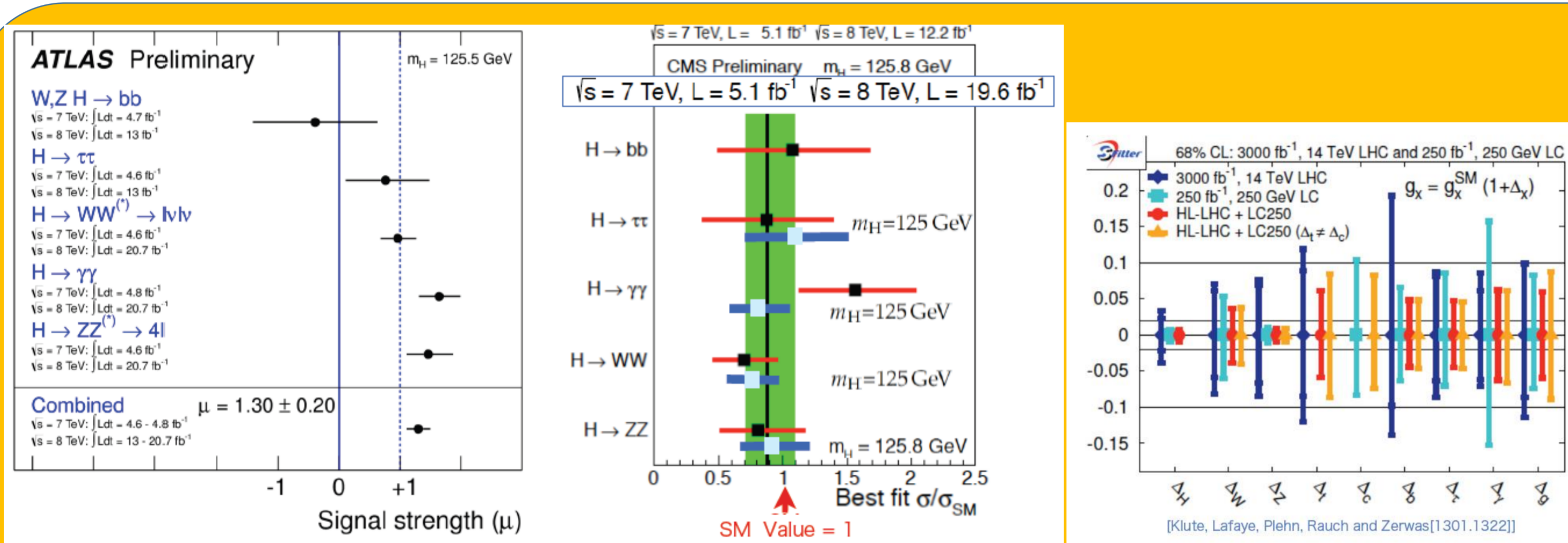


## まとめ

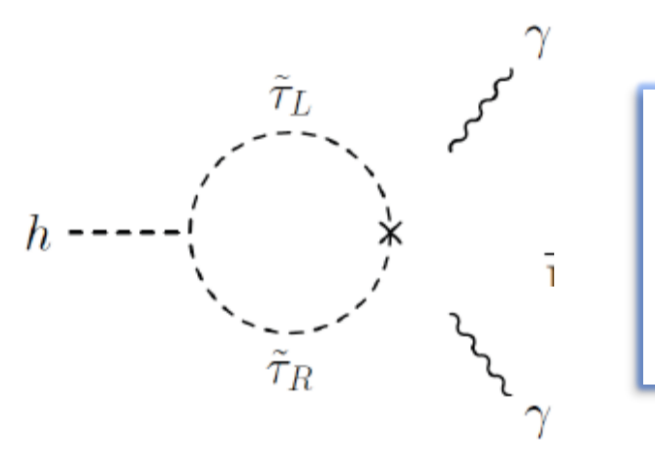
ヒッグス粒子が観測され、ヒッグスの精密測定の時時代となった。新しい物理を探す手段としてloop-inducedなヒッグス結合定数を精密測定することは重要である。我々はこの目的でヒッグスと2つの光子との結合定数に着目し、理論側からこの結合定数がどの範囲まで許されているかに注目した。超対称性理論(SUSY)は非常に魅力的な理論であるが、SUSYにおいて真空崩壊を考慮にいと、この結合定数が厳しく制限されていることを指摘し、初めて数値計算でこれを示した。また大きな質量差を持つスタウが真空崩壊の制限を緩めることを初めて指摘し、数値計算によって確かめた。結果、超対称性最小模型(MSSM)においてヒッグスの2つの光子への崩壊率の**上限値は標準模型と比較して40%程度までしか増加できないことがわかった。**

## Loop-induced Higgs coupling and diphoton coupling

$h\gamma\gamma$ ,  $hgg$ ,  $hZ\gamma$  Higgs couplingは1 loopのプロセスがLeadingであり、同時にSMを超える物理も同じオーダーで寄与をする。従ってこのようなloop-induced couplingの研究は新しい物理の重要な手掛かりを与える。

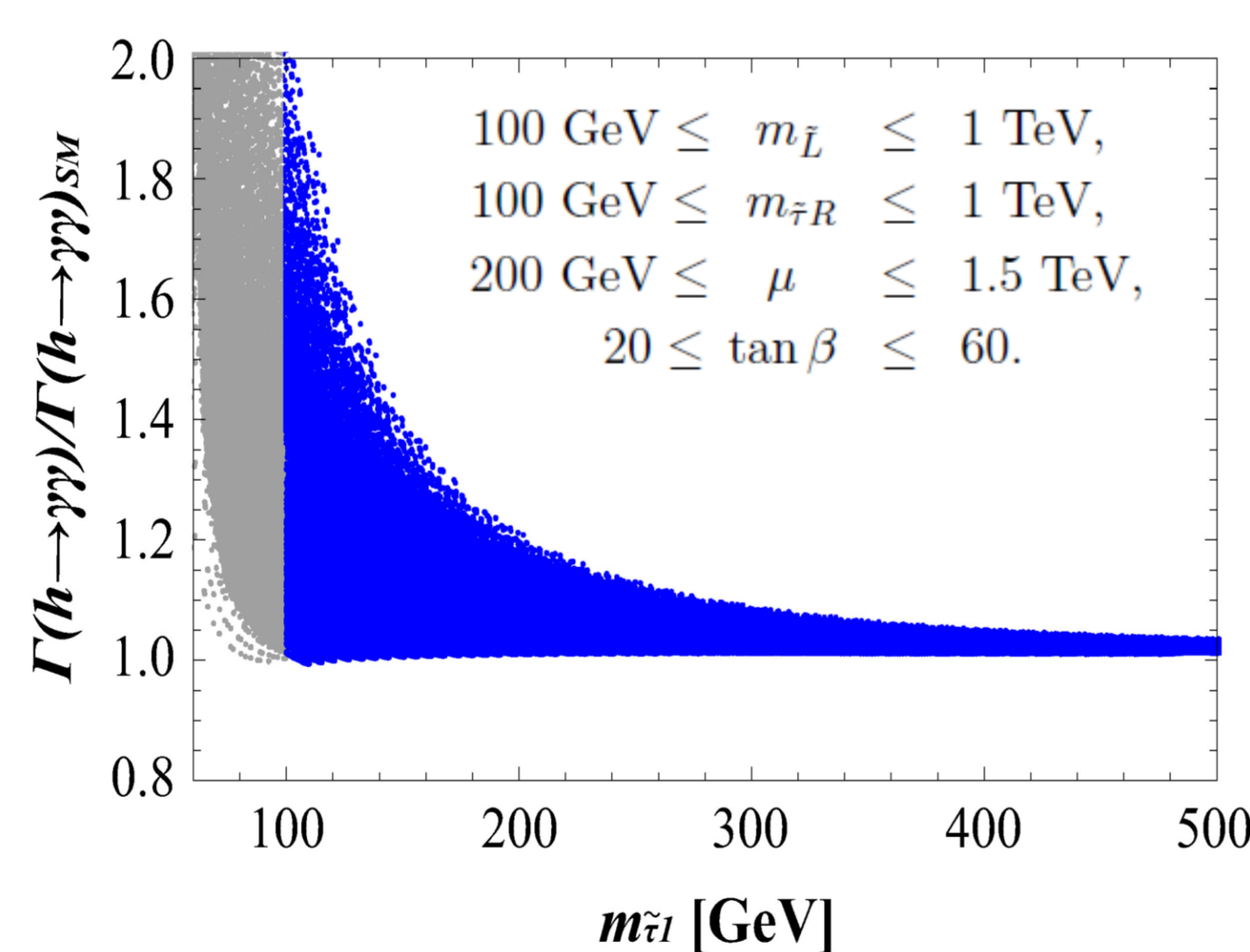
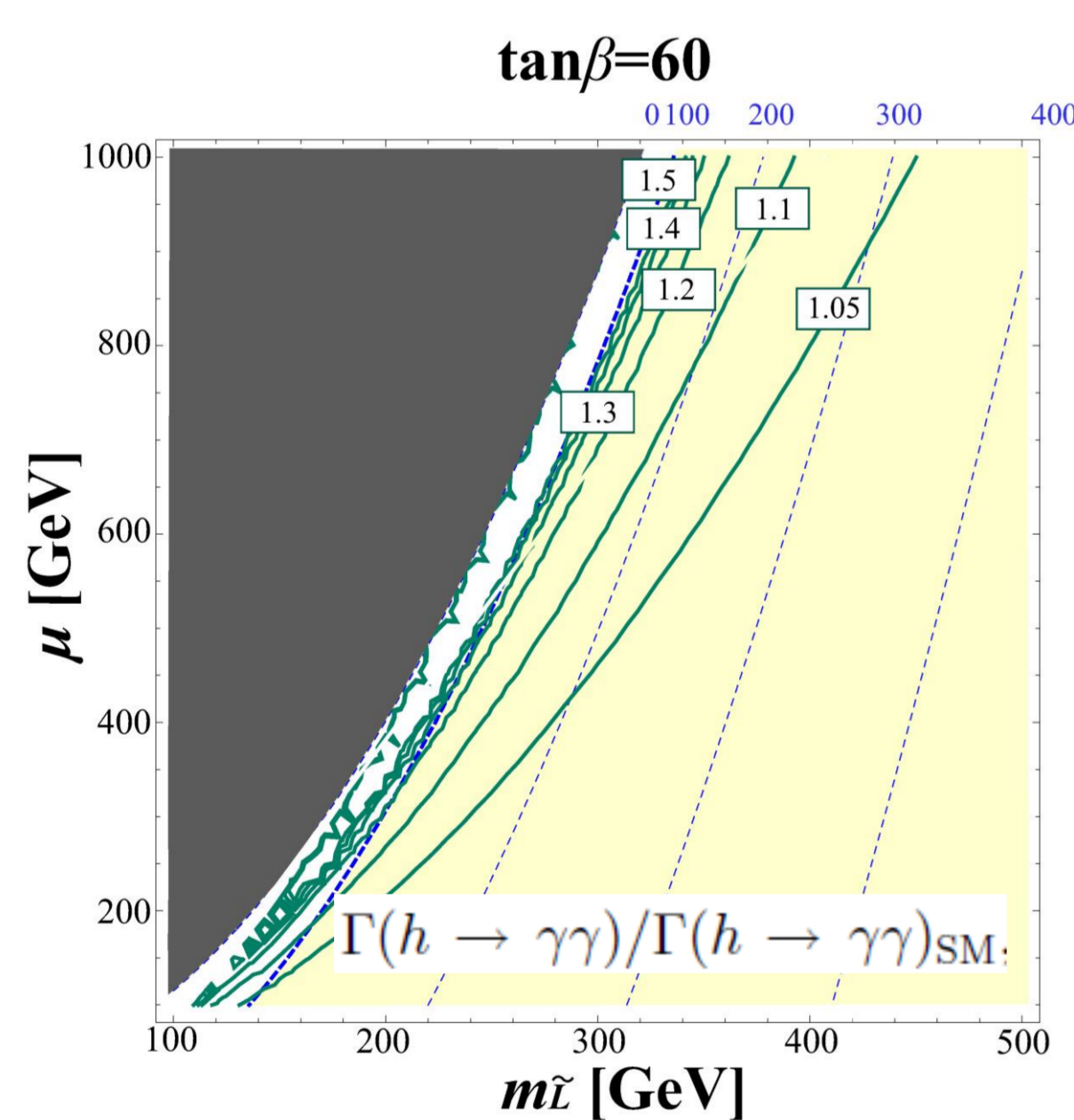


## Higgs to Diphoton decay rate with light stau in the MSSM



$$\propto \frac{|m_\tau \mu \tan \beta|}{m_{\tilde{\tau}_L}^2}$$

Light stau and Large left-right mixing of stau

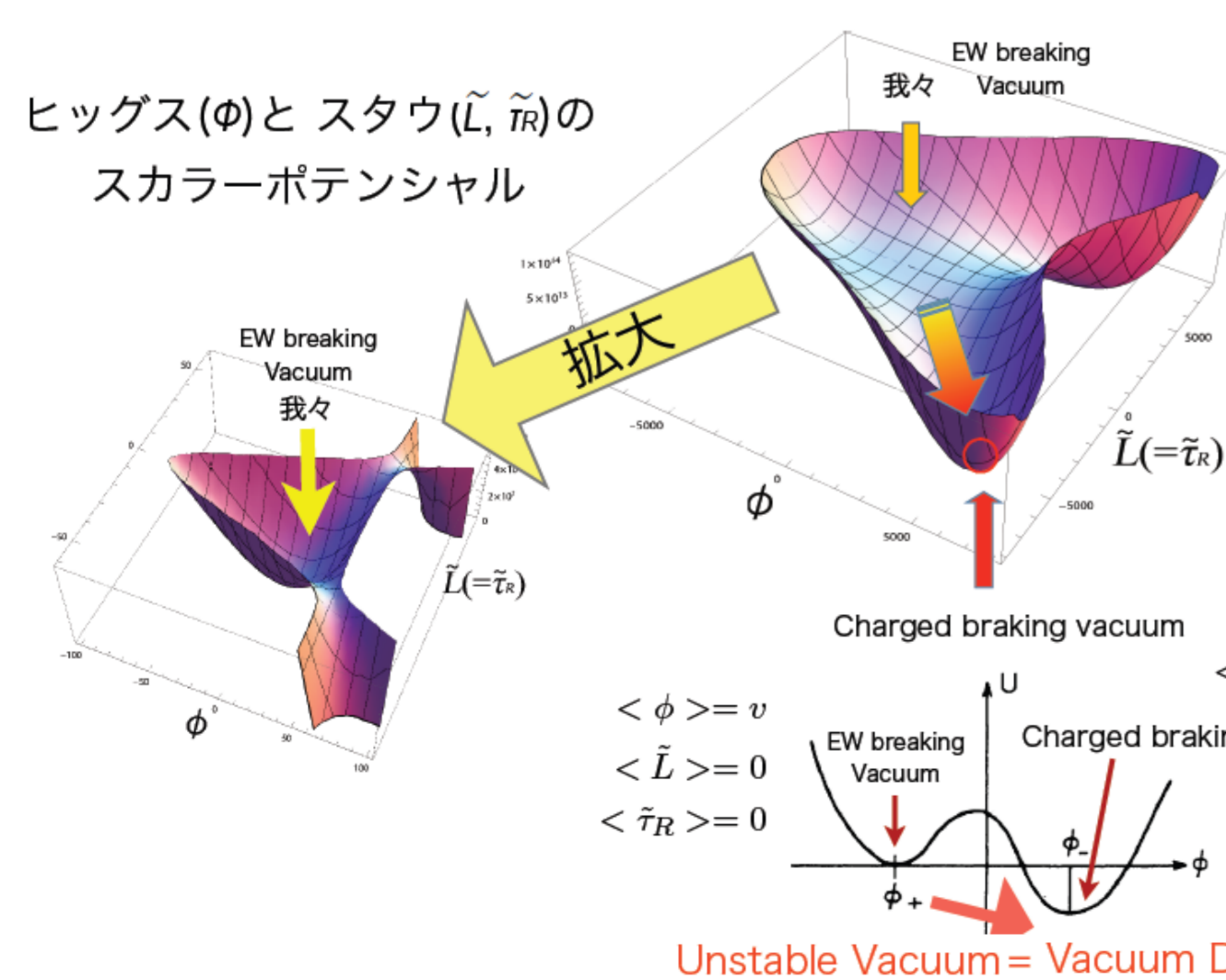


## The Vacuum stability Condition of the stau sector

diphoton decay rateを増化できる程度に大きなleft-right混合を持つスタウは、**真空の安定性も考慮**に入れなければいけません。

$$V = \frac{1}{2} m_\tau^2 \sin^2 \beta (1 + \Delta_\tau) \phi^2 + (m_L^2 + \frac{g^2 - g'^2}{4} v_\tau^2) \tilde{L}^2 + (m_R^2 + \frac{g^2 - g'^2}{2} v_\tau^2) \tilde{R}^2 - 2g_\tau \mu \tilde{L} \tilde{R} (v_2 + \frac{\phi}{\sqrt{2}}) + \frac{g^2 - g'^2}{2\sqrt{2}} v_2 \phi \tilde{L}^2 + \frac{g^2}{\sqrt{2}} v_2 \phi \tilde{R}^2 + \frac{m_\tau^2 \sin^2 \beta (1 + \Delta_\tau)}{2\sqrt{2} v_2} \phi^3 + \frac{m_\tau^2 (1 + \Delta_\tau)}{16v^2} \phi^4 + \frac{g^2 + g'^2}{8} \tilde{L}^4 + \frac{g^2}{2} \tilde{R}^4 + (g_\tau^2 - \frac{1}{2} g^2) \tilde{L}^2 \tilde{R}^2 + \frac{g^2 - g'^2}{8} \phi^2 \tilde{L}^2 + \frac{g^2 - g'^2}{8} \phi^2 \tilde{R}^2$$

The scalar potential in the MSSM



Lifetime of EW-breaking Vacuum VS Age of the universe

Vacuum Meta-stability condition

Enhancement of the ONLY diphoton signal strength

VS

Vacuum stability

## Some contributions affect Vacuum stability

$$V \supset -\frac{2m_\tau}{v \cos \beta} \frac{1}{1 + \Delta_\tau} \mu \tilde{L} \tilde{R} \frac{h_u}{\sqrt{2}} + \left\{ \left( \frac{m_\tau}{v \cos \beta} \frac{1}{1 + \Delta_\tau} \right)^2 - \frac{1}{2} g^2 \right\} \tilde{L}^2 \tilde{R}^2$$

スタウが大きな質量差を持つ場合

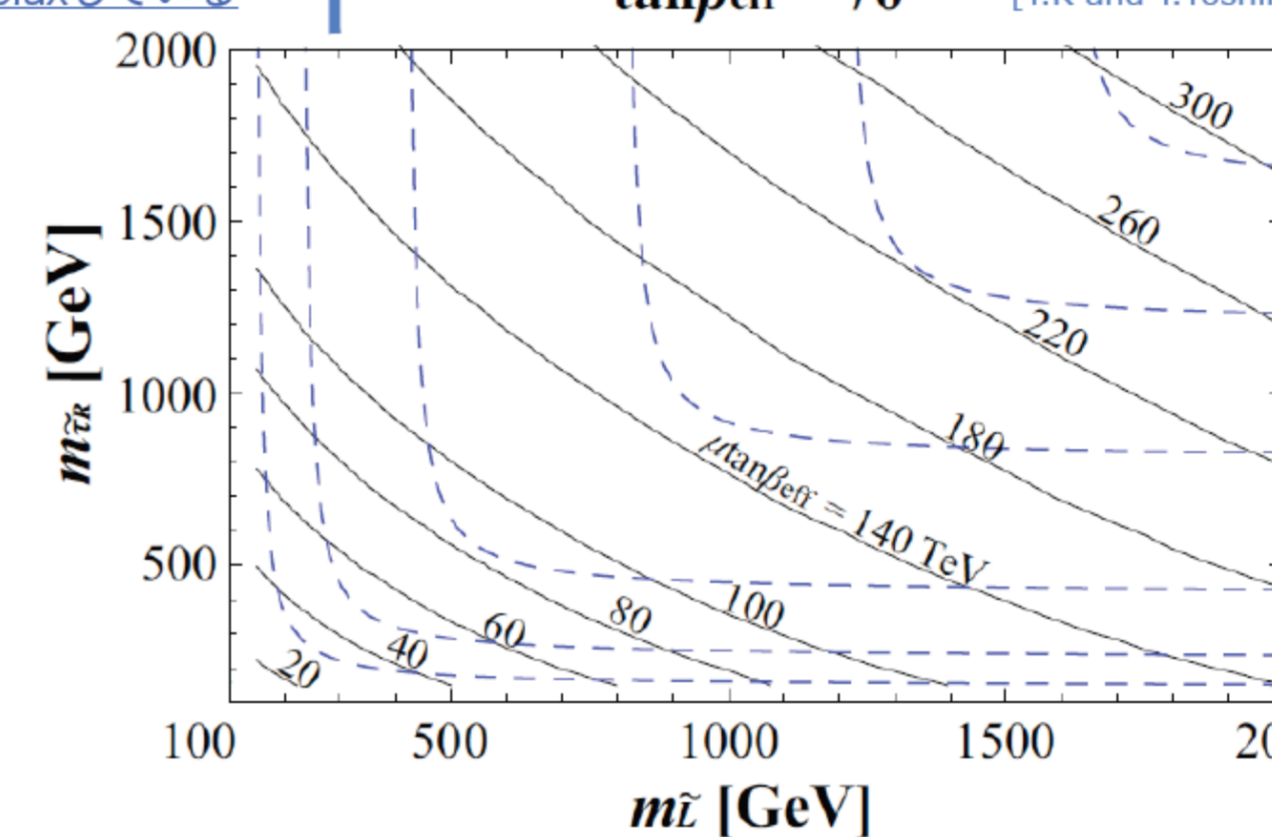
3点結合は $m_{\tilde{L}}$ と $m_{\tilde{R}}$ が等しい時に最も真空を不安定にさせる  
 逆に、**スタウの質量差があれば真空の不安定性は回復する**

if  $m_{\tilde{R}} \rightarrow \infty$ , then we can decouple  $\tilde{R}$

$$V = \frac{1}{2} m_\tau^2 \sin^2 \beta (1 + \Delta_\tau) \phi^2 + (m_L^2 + \frac{g^2 - g'^2}{4} v_\tau^2) \tilde{L}^2 + \frac{g^2 - g'^2}{2\sqrt{2}} v_2 \phi \tilde{L}^2 + \frac{m_\tau^2 \sin^2 \beta (1 + \Delta_\tau)}{2\sqrt{2} v_2} \phi^3 + \frac{m_\tau^2 (1 + \Delta_\tau)}{16v^2} \phi^4 + \frac{g^2 + g'^2}{8} \tilde{L}^4 + \frac{g^2 - g'^2}{8} \phi^2 \tilde{L}^2$$

この時、ポテンシャルは不安定にならない

Vacuum Stabilityの制限がrelaxしている  
 $\mu \tan \beta_{\text{eff}}$  上限値  
 $\tan \beta_{\text{eff}} = 70$  [T.K and T.Yoshinaga[1303.0461]]



実際に数値計算によって確かめた

Fitting formulaを導いた

$$\mu \tan \beta_{\text{eff}} < 56.9 \sqrt{m_L m_R} + 57.1 (m_L + 1.03 m_R) - 1.28 \times 10^4 \text{ GeV} + 1.67 \times 10^6 \text{ GeV}^2 - 6.41 \times 10^7 \text{ GeV}^3 \left( \frac{1}{m_L^2} + \frac{0.983}{m_R^2} \right)$$

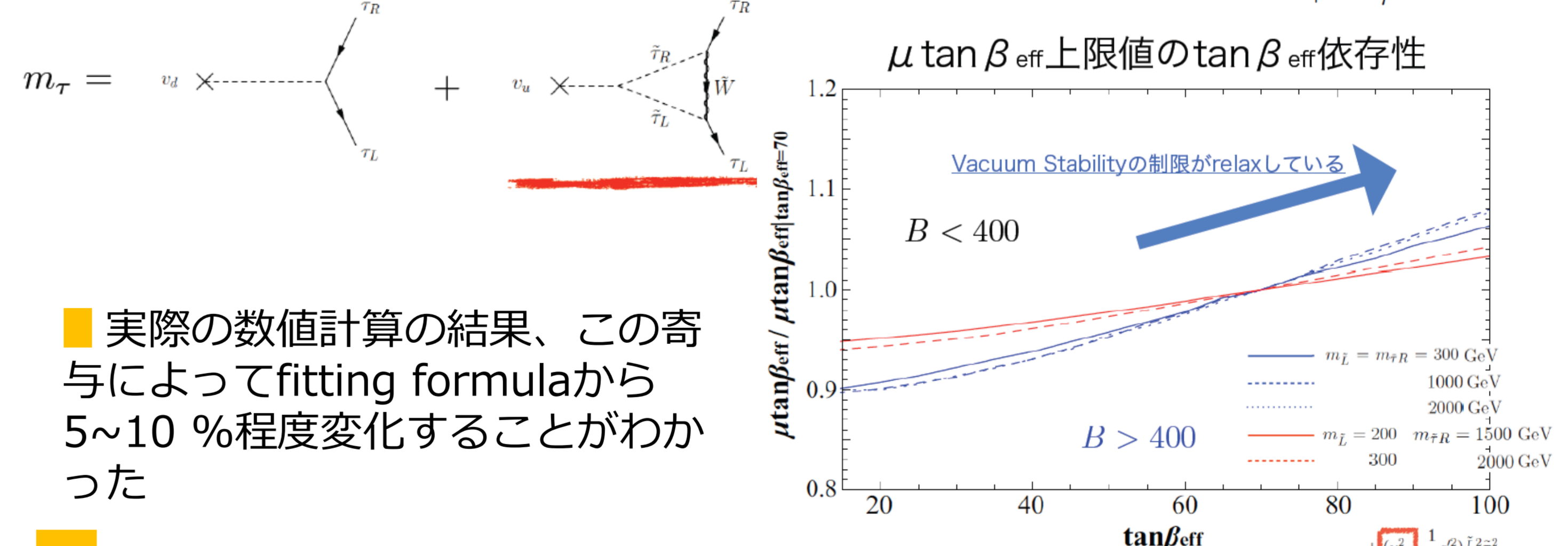
## Non-holomorphic Yukawaが大きい場合

Non-holomorphic Yukawaの寄与 $\Delta$ が負に大きい場合は、ポテンシャル4次を通じて真空の不安定性を回復できる

$$y_\tau = \frac{m_\tau}{v \cos \beta} \frac{1}{1 + \Delta_\tau}$$

Yukawaは補正を受ける

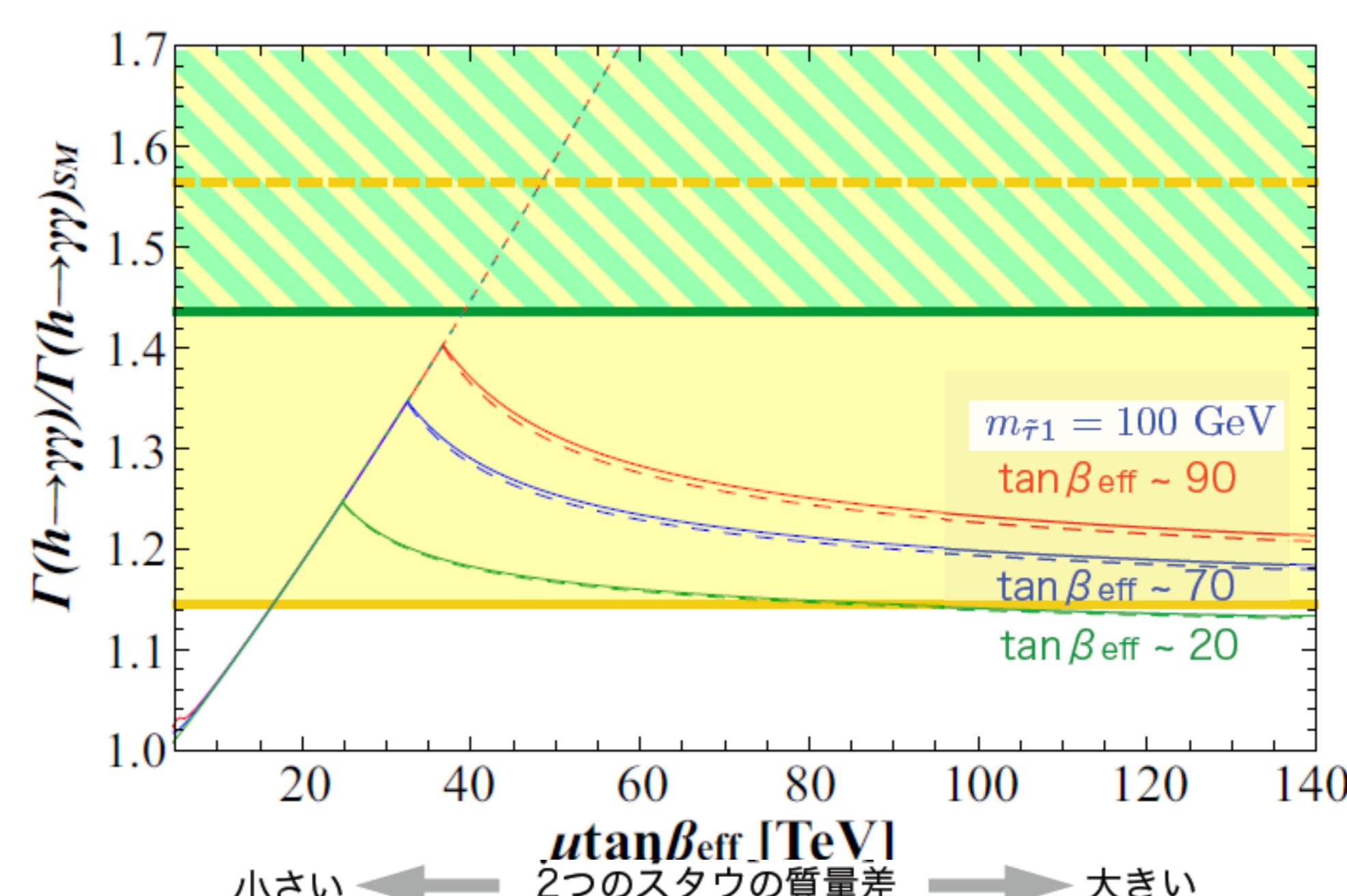
$$\tan \beta_{\text{eff}} \equiv \tan \beta \frac{1}{1 + \Delta_\tau}$$



実際の数値計算の結果、この寄与によってfitting formulaから5~10%程度変化することがわかった

## Result

$h \rightarrow \gamma\gamma$  崩壊率の上限値



大きな質量差を持つスタウは真空の不安定性を回復したものの、 $H \rightarrow \gamma\gamma$ 崩壊率は増加させられないことがわかった。一方、non-holomorphic Yukawaの寄与は $H \rightarrow \gamma\gamma$ 崩壊率を5%程度増加させることができることがわかった。