



# 電弱対称性の破れと 新物理学模型の発展

岡田安弘 (KEK/ 総合研究大学院大学)

2009年3月27日

日本物理学会 @ 立教大学

# 20世紀の素粒子物理

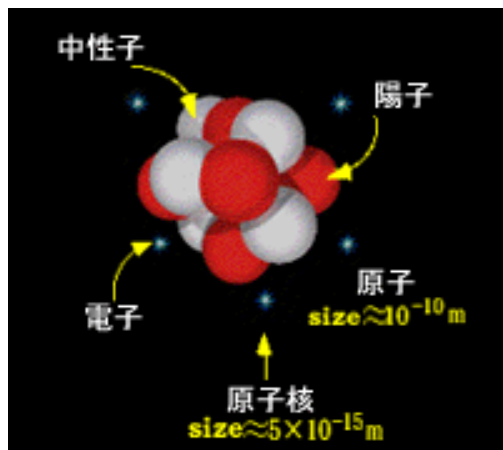
- 重力、電磁力に加えて 強い相互作用と弱い相互作用が新しい力として登場した。どう理解するかを通じて発展してきた。

ゲージ相互作用

自発的対称性の破れ

第一期 中性子の発見(1932年)から標準模型の提案まで(1970年代初頭)  
第二期 1970年代から今日まで (ゲージ原理の実験的検証)

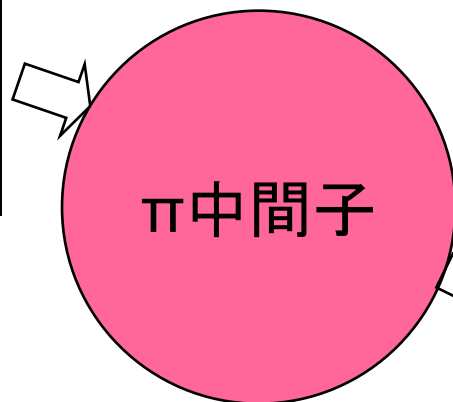
# 強い相互作用



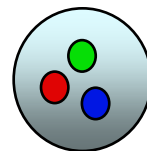
中性子の発見

核力

湯川中間子論



クォーク模型



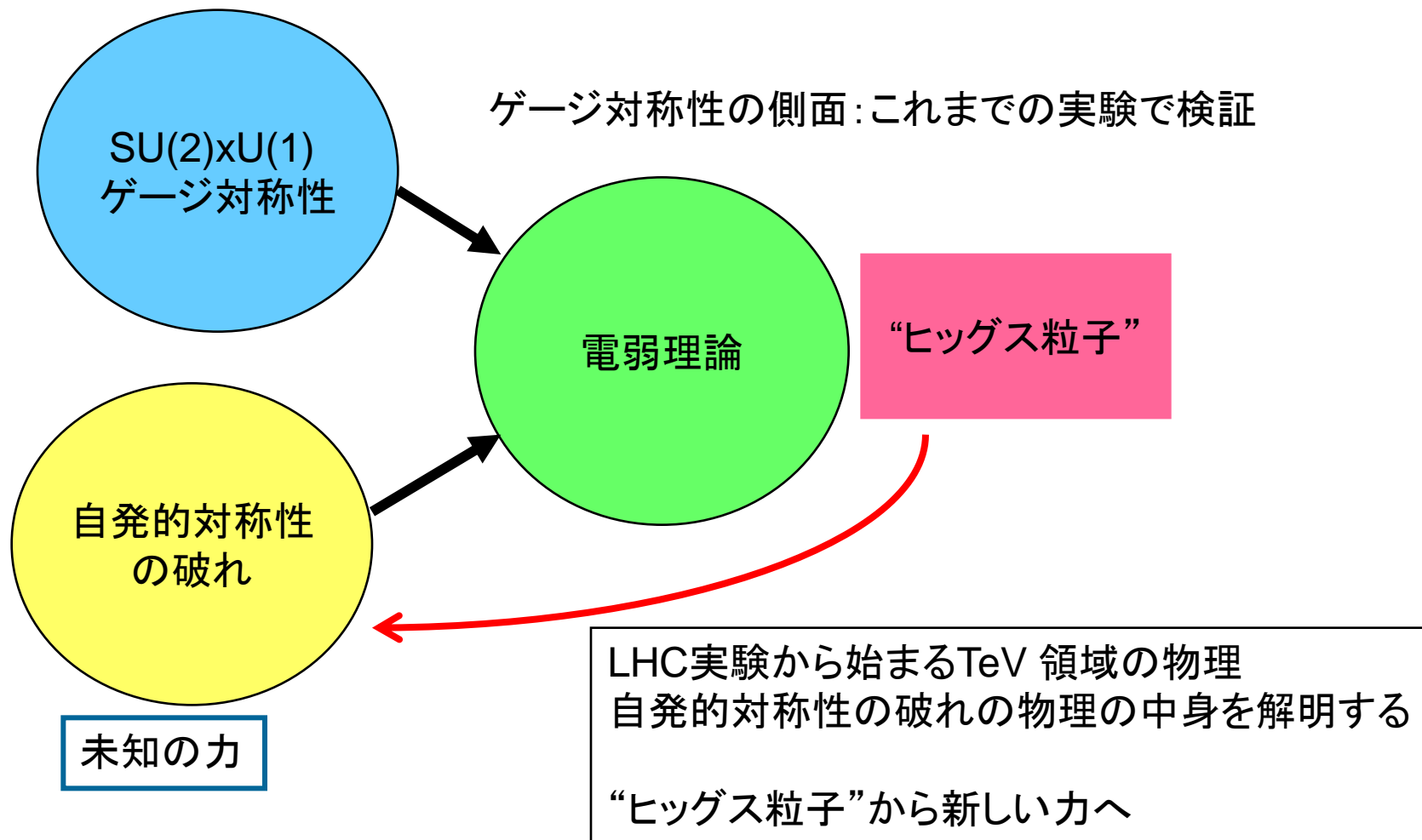
ゲージ理論

自発的対称性の破れ

QCD

南部陽一郎

# 弱い相互作用



# ヒッグスラグランジアン

$$L = |D_\mu \phi|^2 + \mu^2 |\phi|^2 - \lambda |\phi|^4$$

このラグランジアンによる記述はカットオフスケール( $\Lambda$ )以下の有効理論と考えられる。  
スカラーの質量項の2次発散の

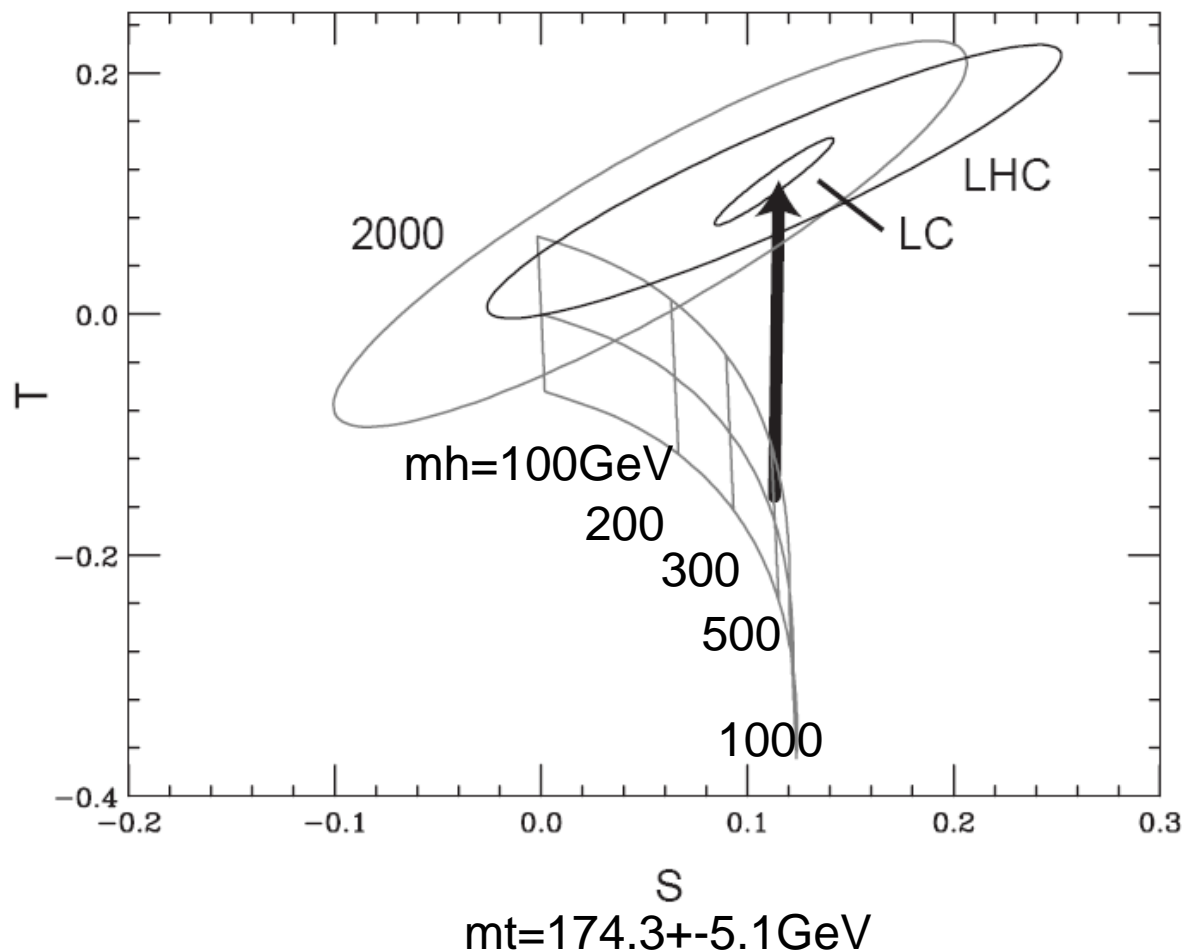
$$\Lambda = 10 TeV \leftrightarrow 0(1)\% \text{ のパラメータ微調整}$$

$$\Lambda = M_{Planck} \leftrightarrow 30 \text{桁以上の微調整}$$

カットオフスケールはどこか？  
より基本的な物理から見直すと、 $\phi$  は何か。  
 $-\mu^2$  や  $\lambda$  はどう決まるのか。

# 電弱精密測定 of 制限

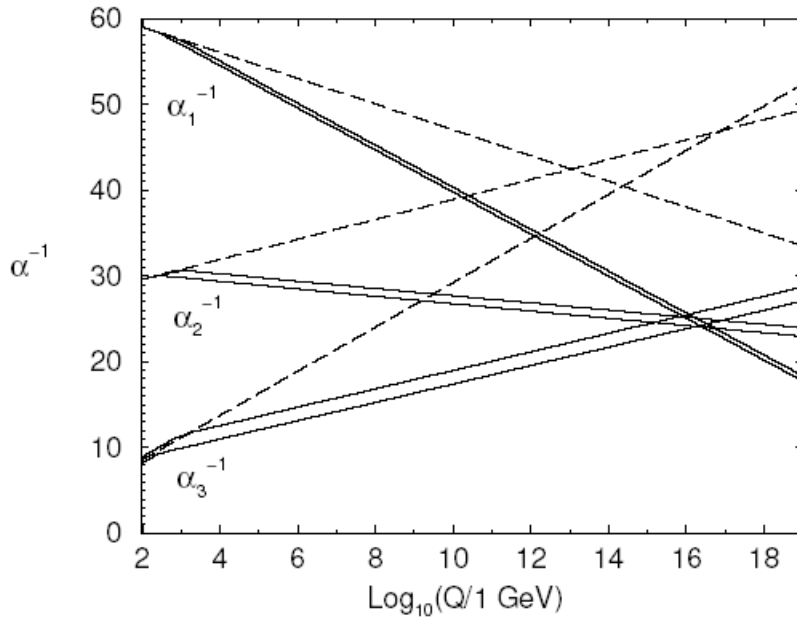
- SMの場合は軽いヒッグス粒子が favor される。
- もし、重いヒッグス粒子が見つかったら何か別の粒子／相互作用もあるはず。



# 様々な理論的なアイデア

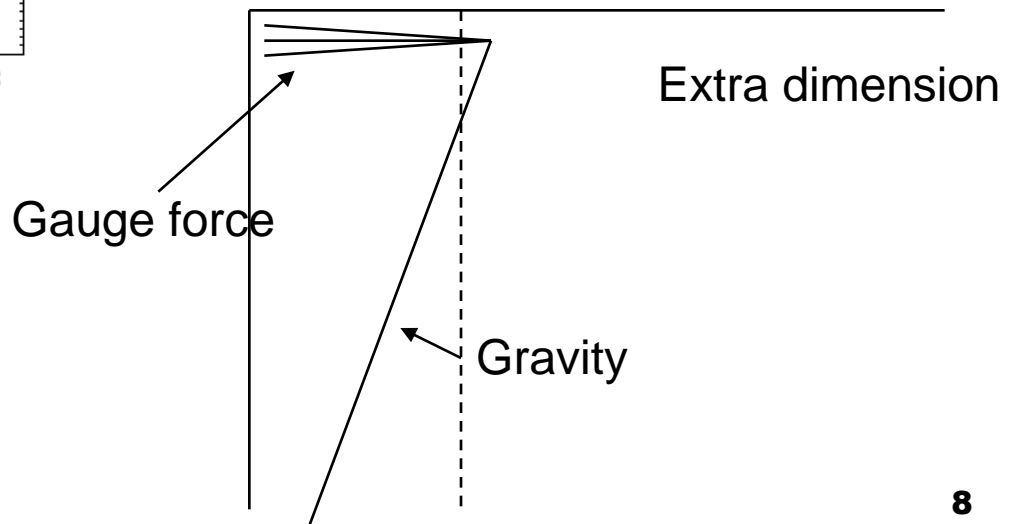
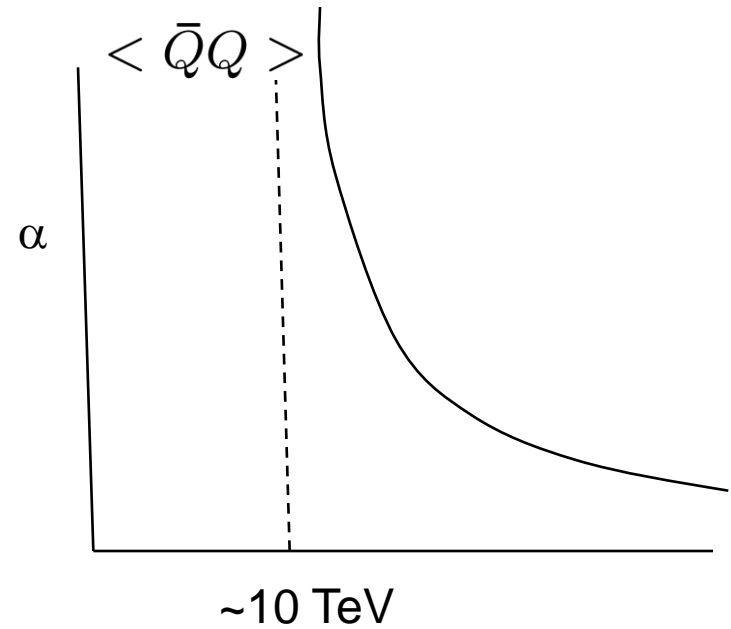
- SUSY model
- Little Higgs Model
- Large extra-dimension model
- Warped extra-dimension model
- Higgsless model
- Twin Higgs model
- Inert Higgs model
- etc.

# SUSY GUT



いろいろな理論はたとえ100GeV  
スケールで同じように見えても  
数値上では全く違う。

# Composite model





# 超対称模型 (SUSY)

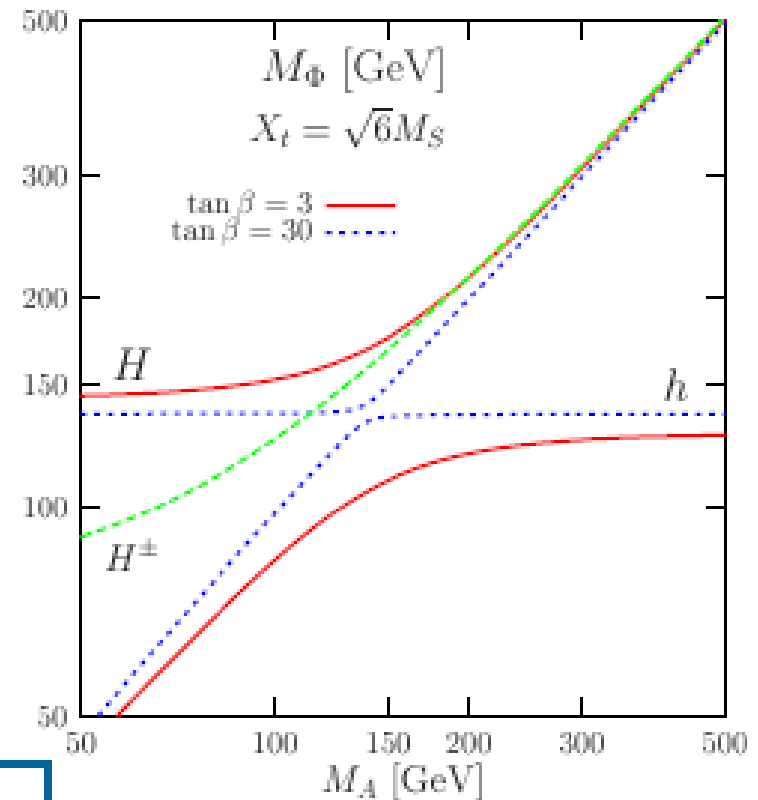
- 相対論の拡張。
- 超対称粒子のおかげで2次発散はでない。
- 超対称粒子のおかげで大統一理論のゲージ結合定数の統一がうまくいく。
- Rパリティを導入すると、宇宙の暗黒物質となる候補の粒子が存在する。
- $-\mu^2$  は 超対称性の破れと関連する。(Radiative Electroweak Breaking Scenario)

Inoue, Kakuto, Komatsu, and Takeshita 1982

Weak scaleから Planck scale まで統一的な素粒子と宇宙像を与える。

# 超対称模型のヒッグスセクター

- 最低でも2ヒッグスダブルレット模型
- MSSMの場合は140 GeV以下の軽いヒッグス粒子が存在。
- ヒッグス粒子の質量公式は模型のいろいろな情報を含んでいる。



Higgs masses と  $\tan \beta = v_2/v_1$

標準模型の  $\rho$  parameter,  $\sin^2 \theta_W$  の役割

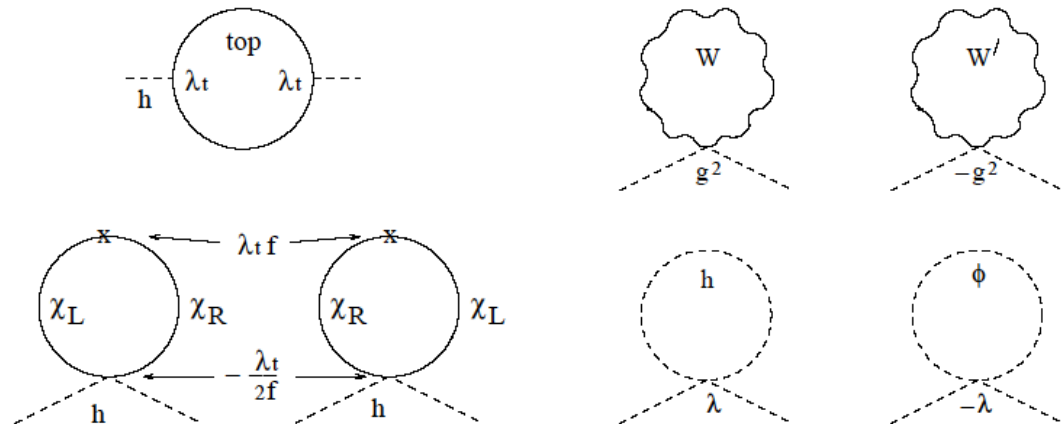
# リトルヒッグス模型

N.Arakani-Hamed, A.G.Cohen, E.Katz  
and A.E.Nelson, T.Gregoire, and J.G.Wacker;  
N.Arakani-Hamed, A.G.Cohen, E.Katz  
and A.E.Nelson, 2002

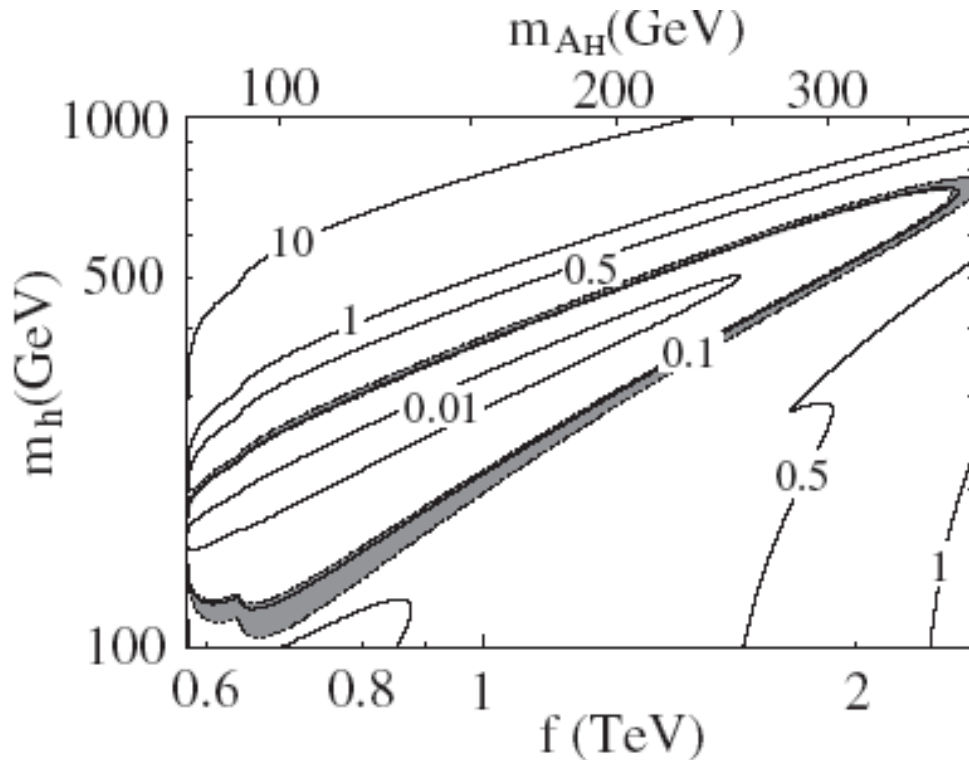
- ヒッグス場は10TeVスケールの新しいダイナミクスの擬南部-Goldstone boson。
- 1ループでは2次発散が無いように仕組んでいる。
- T-parity を課すと1TeV領域に重いゲージ粒子とトップクォークのパートナーが存在する (LHC シグナル)
- T-parity が正確に保たれるなら重い光子が暗黒物質の候補になる。

$$\phi \in G/H$$

C.H.Cheng and I.Low, 2003

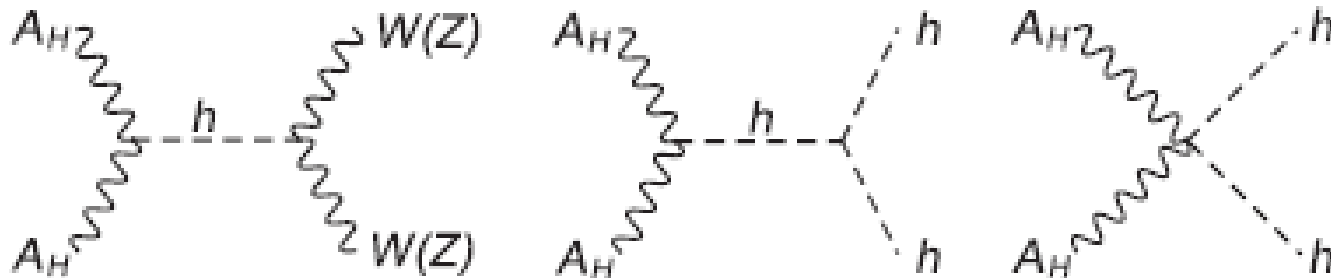


# Higgs 粒子と Dark matter 粒子の質量の関係



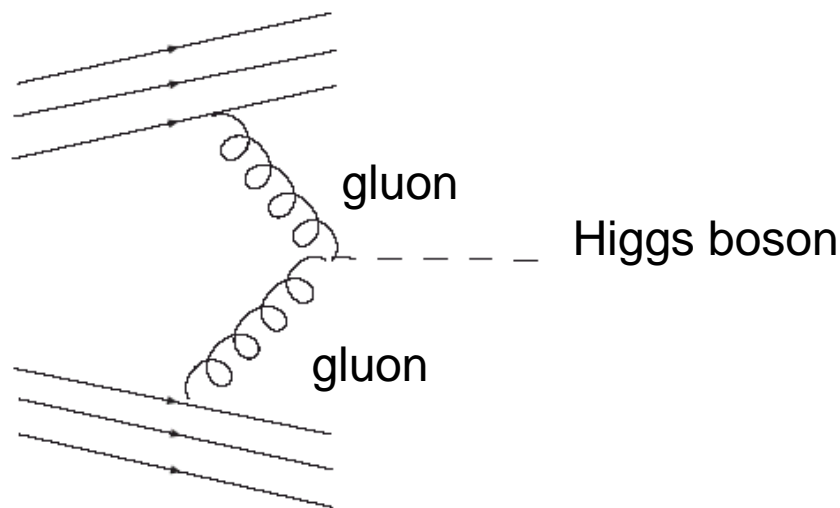
重いトップパートナー  
 のおかげで、ヒッグス粒子  
 でも電弱作用の精密測定  
 の制約を満たすようにできる

M.Asano, S.Matsumoto, N.Okada, Y.Okada, 2007



# LHC実験

- 軽いヒッグス粒子は大量のグルーオン衝突で生成される。
- ヒッグス粒子と重い新粒子が生成されるか、ヒッグス粒子だけ生成されるか。
- ヒッグス粒子に関する結合を精密測定をすることが次のステップとして大切。



陽子のパートン分布関数

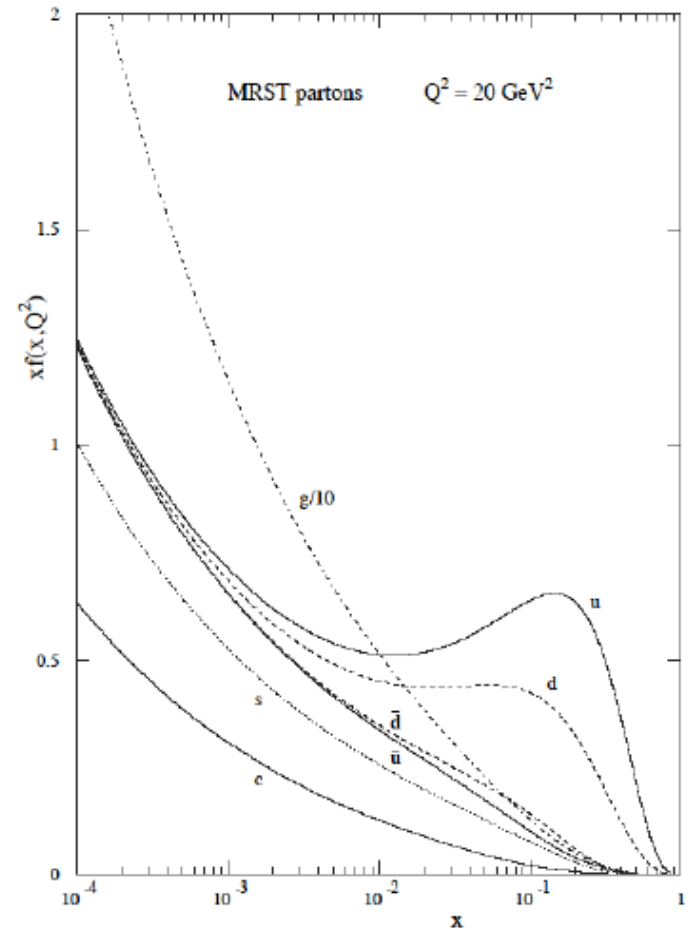


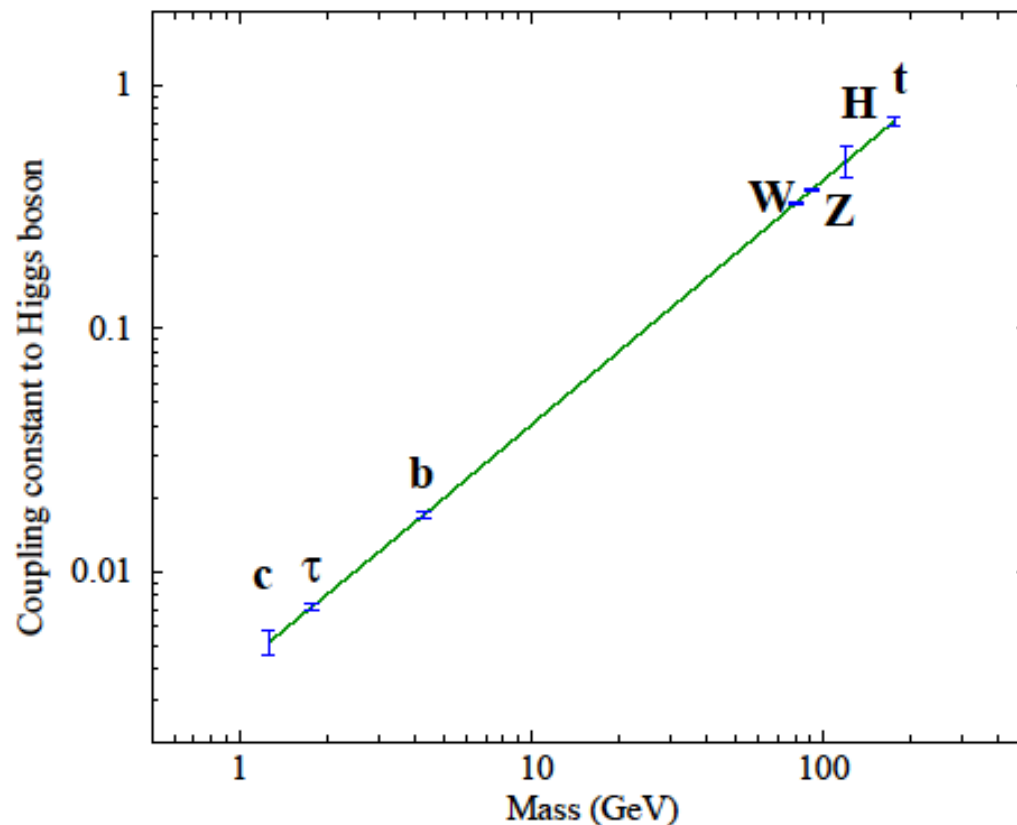
Fig. 3. MRST partons at  $Q^2 = 20 \text{ GeV}^2$

# ヒッグス粒子の結合の精密測定

ILCにおけるヒッグス結合定数の決定

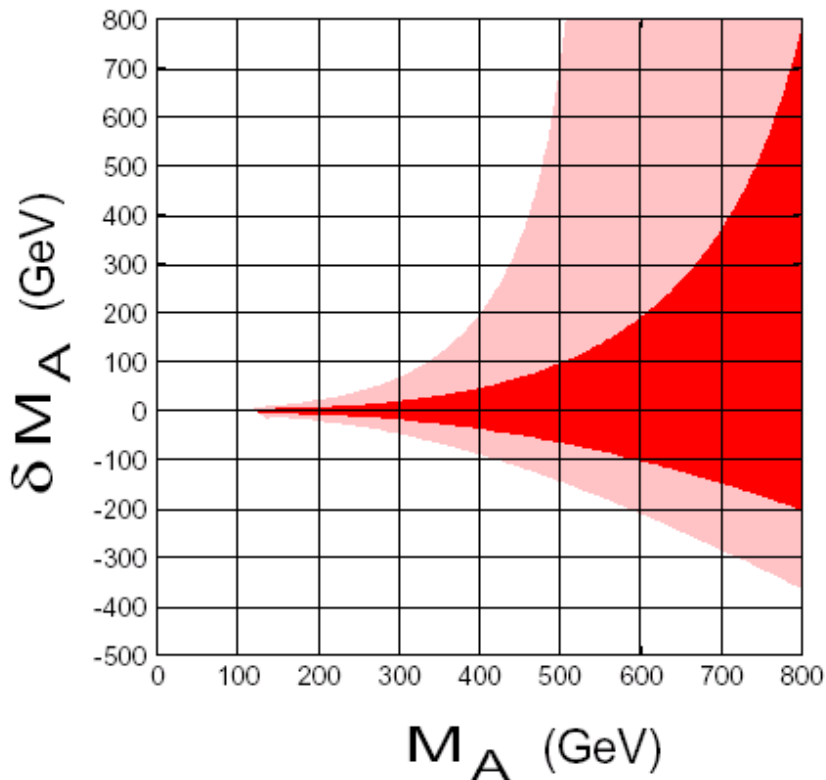
Coupling Mass Relation

- ゲージカと違ってヒッグス粒子に関する結合は重い粒子ほど強い。
- 完全な比例関係からのずれを探ることが重要。

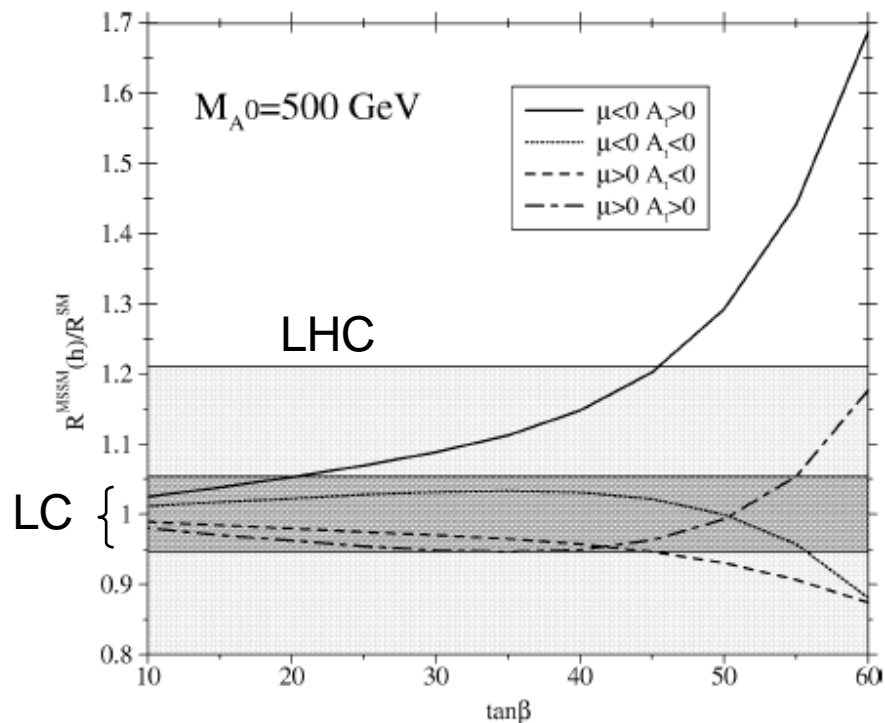


# MSSMの分岐比測定から模型のパラメータへの制限

軽いヒッグス粒子の分岐比測定  
による重いヒッグス粒子の質量の制限



超対称粒子のループ効果による  
 $B(h \rightarrow bb)/B(h \rightarrow \tau\tau)$  の変化



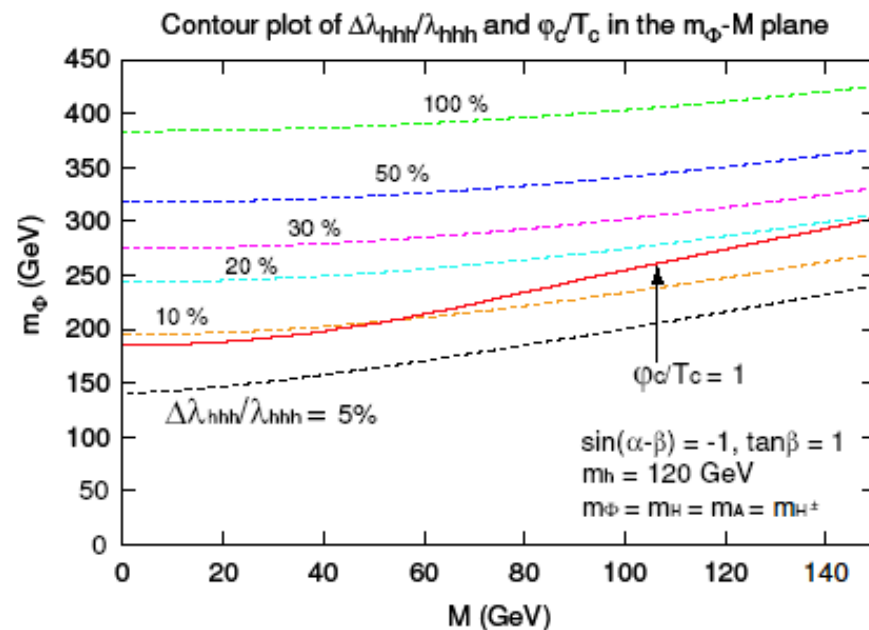
Dark region = LC  
Light region = LHC

J.Guasch, W.Hollik, S.Penaranda 2001

# ヒッグスポテンシャル

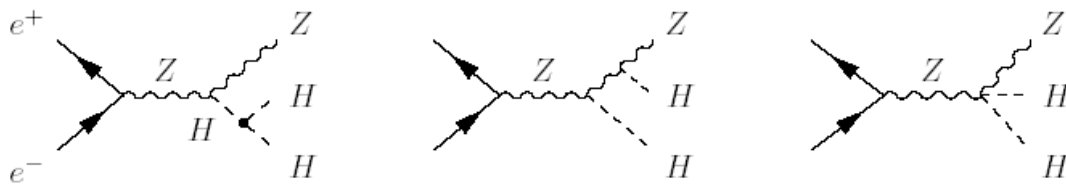
- 2ヒッグス生成過程はヒッグスポテンシャルの形を決める過程。
- ゲージ結合と違って用意に新しい物理の効果で変形される。
- 電弱相転移の物理と直結する。
- SLHC, ILC,  $\gamma\gamma$  collider のテーマ

2HDMにおける電弱バリオン数生成とヒッグス3点結合の補正の関係



$$\Delta\lambda_{hhh}/\lambda_{hhh} \gtrsim 10\%$$

S.Kanemura, Y. Okada, E.Senaha, 2005





# まとめ

- 電弱対称性の破れを解明することは、4つの基本相互作用から一歩踏み出すことを意味する。
- 電弱対称性の破れの物理の背後には、何か新しい対称性、新しい次元、新しいゲージ力などがあるはず。
- それが何かを明らかにするためには、新粒子探索とともに、ヒッグス粒子の結合の精密測定が大切。