

日本物理学会2011年秋季大会，弘前大学，2011年9月17日

# SU(5) Compatible Yukawaon Model

小出義夫（大阪大学理）

Based on arXiv:1106.0971 [hep-ph]:

# 1. Introduction

ユカワオンモデル:

$$(Y_f^{eff})_{ij} = \frac{y_f}{\Lambda} \langle (Y_f)_{ij} \rangle$$

具体的には would-be Yukawa interactions として

$$W_Y = \frac{y_e}{\Lambda} l_i Y_e^{ij} e_j^c H_d + \frac{y_\nu}{\Lambda} l_i Y_\nu^{ij} \nu_j^c H_u + \lambda_R \nu_i^c Y_R^{ij} \nu_j^c \\ + \frac{y_u}{\Lambda} u_i^c Y_u^{ij} q_j H_u + \frac{y_d}{\Lambda} d_i^c Y_d^{ij} q_j H_d,$$

なる superpotential を考える.

Yukawaons は  
 $SU(3)_c \times SU(2)_L \times U(1)_Y$   
に対して gauge singlets



モデルを  
GUT化\*しても,  
GUTシナリオには  
影響を与えない

\* Family symmetry とのGUTは考えない

# GUT化のトライアル版

$$W_Y = \frac{y_u}{\Lambda} 10_i Y_{(10,10)}^{ij} 10_j 5_H + \frac{y_d}{\Lambda} \bar{5}_i Y_{(5,10)}^{ij} 10_j \bar{5}_H \\ + \frac{y_\nu}{\Lambda} \bar{5}_i Y_{(5,1)}^{ij} 1_j 5_H + \lambda_R 1_i Y_{(1,1)}^{ij} 1_j$$

(i)  $Y_e$  と  $Y_d$  の区別ができない.

(ii) この際,  $\Lambda$  の登場しないモデルをつくりたい.

( $\Lambda$  のスケールをはっきりさせたい. )

結果: GUTシナリオにはほとんど影響を与えないが,  
**Yukawaon sector** には大きな制約が生ずる.

## 2. Splitting of $Y_d$ from $Y_e$ :

(i) Vector-like  $5 + \bar{5}$  の導入  $\bar{5}_i = (D_i^c, \ell_i)$   
 $\bar{5}'_i = (d_i^c, L_i)$   
 $5'^i = (\bar{D}^{ci}, \bar{L}^i)$

(ii) 24+1 fields  $\Sigma_2, \Sigma_3$  の導入

$$\langle \Sigma_2 \rangle = v_2 \mathbf{1}_2 \equiv v_2 \text{diag}(0, 0, 0, 1, 1)$$

$$\langle \Sigma_3 \rangle = v_3 \mathbf{1}_3 \equiv v_3 \text{diag}(1, 1, 1, 0, 0)$$

$$\begin{aligned} W_\Sigma &= \lambda_D \bar{5}_i^A (\Sigma_3)_A^B 5'_B{}^i + \lambda_L (\bar{5}')_i^A (\Sigma_2)_A^B 5'_B{}^i \\ &= \lambda_D v_3 \bar{D}^{ci} D_i^c + \lambda_L v_2 \bar{L}^i L_i \end{aligned}$$

## (補足) $\Sigma_2, \Sigma_3$ の VEV 形

The GUT symmetry  $SU(5)$  is broken into  $SU(3)_C \times SU(2)_L \times U(1)_Y$  by a  $SU(5)$  24-plet scalar  $\Sigma_{24}$

$$\langle \Sigma_{24} \rangle = v_{\Sigma_{24}} (21_3 - 31_2)$$

仮定:  $\Sigma_2, \Sigma_3$  の VEV 形は,  $\Sigma_{24}$  が対角型である基底で対角型であると仮定

→  $\langle \Sigma_2 \rangle$  and  $\langle \Sigma_3 \rangle$  are described by a linear combination of  $1_2$  and  $1_3$

$$W_{\Sigma} = \lambda_{\Sigma} (\Sigma_2)_A^B (\Sigma_3)_B^C (\Theta_{\Sigma})_C^A + W(\Sigma_{24})$$

**SUSY vacuum conditions:**  $\langle \Sigma_2 \rangle \langle \Sigma_3 \rangle = 0, \quad \langle \Theta_{\Sigma} \rangle = 0$

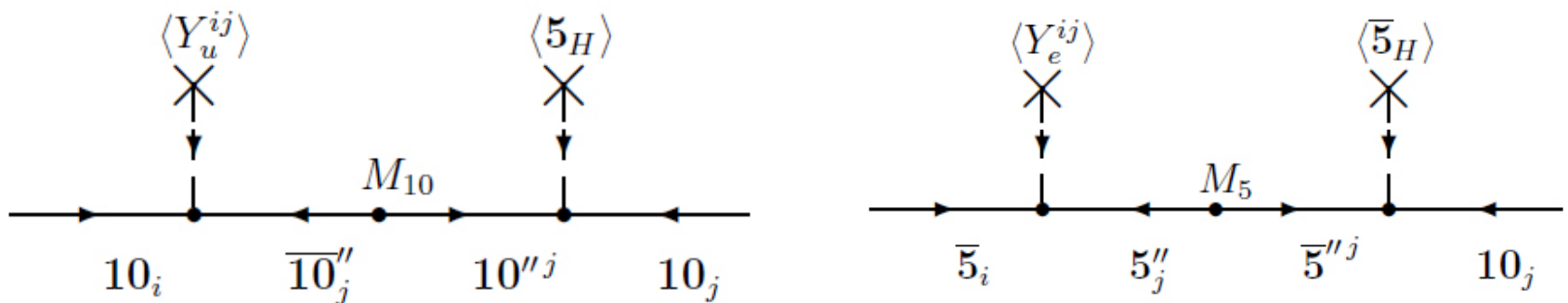
# 3. How to build a model without $\Lambda$

## Vector-like fields

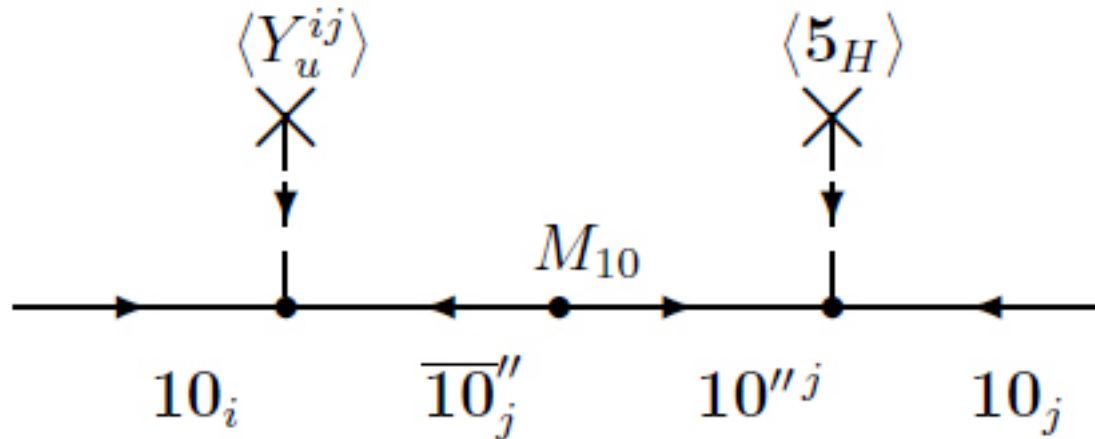
$$f'' = (\bar{5}'' + 10'')^i + (5'' + \overline{10}'')_i$$

を導入

(注)この  $f''$  は,  $f$  and  $f'$  とは混合しない.  $U(3)$ の足が異なる.



## Up-quark sector



$$W_u = y_u 10_i Y_u^{ij} \overline{10}_j'' + M_{10} \overline{10}_i'' 10''^i + y_{10} 10''^i 10_i 5_H$$

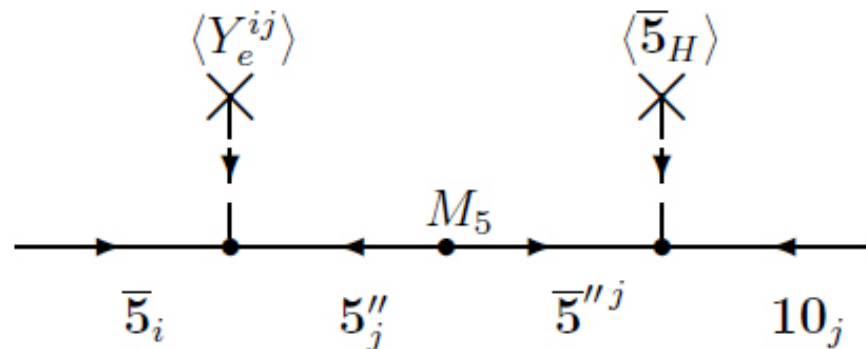
$$\longrightarrow W_u^{eff} = \frac{y_u y_{10}}{M_{10}} 10_i Y_u^{ij} 10_j 5_H$$

## • Charged lepton and down-quark sectors

$$W_{e,d} = y_e \bar{5}_i Y_e^{ij} 5''_j + y_d \bar{5}'_i Y_d^{ij} 5''_j$$

$$+ M_5 5''_i \bar{5}''^i + y_5 \bar{5}''^i 10_i \bar{5}_H$$

$$\rightarrow W_{e,d}^{eff} = \frac{y_e y_5}{M_5} \bar{5}_i Y_e^{ij} 10_j \bar{5}_H + \frac{y_d y_5}{M_5} \bar{5}'_i Y_d^{ij} 10_j \bar{5}_H$$





# 4. Neutrino sector

- Neutrino Dirac mass term

$$W_\nu = y_e \bar{5}_i Y_e^{ij} 5''_j + M_5 5''_i \bar{5}''^i + y_1 \bar{5}''^i 1_i 5_H$$

$$\longrightarrow W_\nu^{eff} = \frac{y_e y_1}{M_5} \bar{5}_i Y_e^{ij} 1_j 5_H$$

すなわち, ユカワオン  $Y_\nu$  は不要で,  $Y_e$  がその役割を代役する!

- $M_\nu$  は seesaw type で与えられる.

$$W_R = \lambda_R 1_i Y_R^{ij} 1_j$$

$$M_\nu = \frac{y_e^2 y_1^2}{\lambda_R} \left( \frac{v_{Hu}}{M_5} \right)^2 \langle Y_e \rangle \langle Y_R \rangle^{-1} \langle Y_e \rangle = \frac{y_1^2 \tan^2 \beta}{\lambda_R y_5^2} M_e \langle Y_R \rangle^{-1} M_e$$

## 5. Energy scale of $\Lambda_{fam}$

$$M_u = y_u y_{10} \frac{\langle Y_u \rangle}{M_{10}} \langle H_u^0 \rangle$$

観測事実  $m_t \sim \langle H_u^0 \rangle \longrightarrow M_{10} \sim \langle Y_u \rangle \sim \Lambda_{fam}$

U(3) gauge boson effects を visible にしたい

→  $\Lambda_{fam}$  をできるだけ低く選びたい

しかし、 $M_{10}$  をあまり低く選ぶと  $10'' + \overline{10}''$  の存在により、SU(3)xSU(2)xU(1) gauge couplings が blow up してしまう！

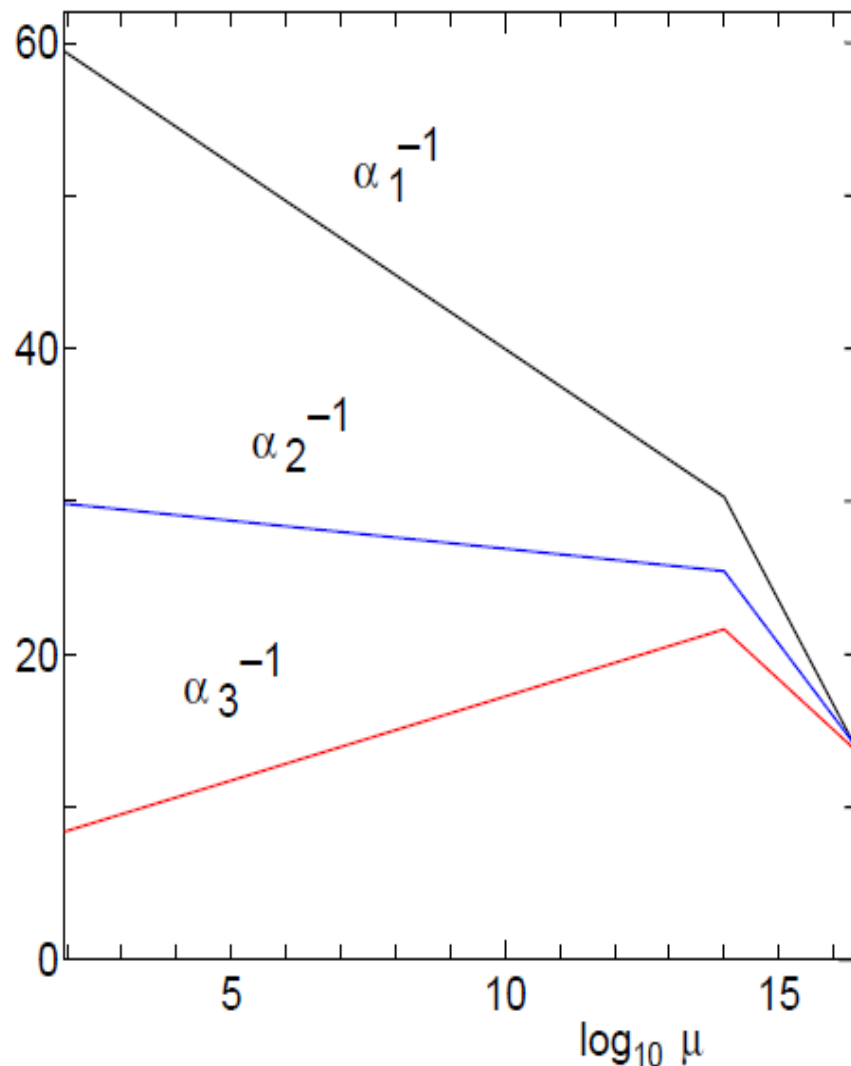
$$M_{10} \geq 10^{12} \text{ GeV}$$

# パラメター値

$M_\nu$  も考慮して

$$M_5 \sim M_{10} \sim 10^{14} \text{ GeV}$$

$$\langle Y_f \rangle \sim \langle Y_R \rangle \sim \Lambda_{fam} \sim 10^{13} \text{ GeV}$$



## 6. まとめ

- (1) SU(5) compatible yukawaon model は, 一応, 可能.  
例えば,  $Y_\nu$  は不要で,  $Y_e$  が代役を務めると言うことが natural に導けた.
- (2) しかし,  $\Lambda_{\text{fam}} < 10^{13}$  GeV なるモデルはつくれない.  
せっかく導入した U(3) family gauge bosons は invisible.
- (3) yukawaon sector でのモデルはこれまでの yukawaon model から大きく制約される. SU(5) compatible にしたからというより,  $\Lambda$  なしのモデルを作ろうとしたことによる.