

日本物理学会2015年秋季大会(大阪市立大学), 2015年9月25日

講演番号: 25pSD-14

ユカワオン模型の新展開 I

Unified Q & L mass matrices described by only six family-independent parameters in addition to family-dependent parameters m_{ei}

小出義夫(大阪大理) 西浦宏幸(大阪工大)



クォークとレプトンの質量行列を,
(荷電レプトンの質量値) + (たった6個のファミリー非依存パラメター)
だけで記述するという夢のようなモデルについて報告する.

従来のモデルであったなら,
例えそれが, ファミリー依存性をもったパラメターであってすら,
たった6個のパラメターでは, 観測値と合う 統一的モデルの
構築は難しかっただろう.

Contents

1. 「ユカワオン」って, なんだ?
2. 「新展開」って, 何が?

Masses, CKM, MNS 等の予言については (特に, CP の破れについては),
この後の talk Part II をご期待下さい.



1. 「ユカワオン」って、なんだ？



1.1 私は依然としてこの式にこだわっています

$$m_e + m_\mu + m_\tau = \frac{2}{3}(\sqrt{m_e} + \sqrt{m_\mu} + \sqrt{m_\tau})^2$$

(1982)

(i) 我々はすでに CKM mixing や PMNS mixing の存在を知っている。したがって、quarks や neutrinos で同様な式が成り立つはずがない。これは charged leptons における特殊事情である。

=> **Flavor physics の基本基底は M_e が対角型となる基底である**

(ii) この式は U(3) family symmetry に基づいて導かれた

しかし、 (m_e, m_μ, m_τ) の観測値は大きな階層的値を示している。

これは従来の手法 symmetry + its small breaking では理解できない。

m_{ei} (i=1,2,3) の起源が VEV であるなら、理解可能。

=> **湯川結合定数は「定数」ではなく、effective な量であり、ある scalars (Yukawaons) の VEV が起源である:**

$$Y_f^{eff} = \frac{y_f}{\Lambda} \langle Y_f \rangle$$

(参考)モデル

- 「仮定」のないモデルはありえない。
- 従って、モデルに基づく記述は当然適用限界を持つ。
- あれもこれもと、現象の細かな点までも数値あわせに拘らない。それでは、かえって、現象の背後にある本質的法則を見失う。
- 「仮定」の内容を説明できたり、証明できたりしたらそれはもはや仮定ではない。
それを置く理由が不明であるからこそ「仮定」と呼ぶ。

1.2 Yukawaon model の目標 (前回のスライドをもとに)

- Quarks and leptons の質量比と混合を 3×3 の成分を持つ flavons の VEV matrices の積の形で与えたい。
- 観測される物理量の hierarchical structure の起源はただ1つ。よって, M_e を選べば, そのパラメータ値で他の mass matrices はすべて記述できるはず。

(i) hierarchical structure を持つパラメータとして, 荷電レプトン質量値のみをinput とし,

(ii) 後は family number independent parameters のみですべての masses and mixings の統一的記述を目指す。

(例) family number independent parameters の例


$$\langle S_f \rangle = 1 + a_f X_3 \quad \mathbf{1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad X_3 = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

- 位相行列 $P(\phi_1, \phi_2, \phi_3)$ ですら (m_e, m_μ, m_τ) で表す(前回のtalk)
- (m_e, m_μ, m_τ) の起源は当面問わない

(補足) 前回のトークより
なぜ family-number dependent なパラメター ϕ_i
を荷電レプトンの質量 m_{ei} で表せるのか？

位相パラメター $(\phi_1, \phi_2, \phi_3) = (\phi_0 + \tilde{\phi}_1, \phi_0 + \tilde{\phi}_2, \phi_0)$
において, $(\tilde{\phi}_1, \tilde{\phi}_2)$ は観測量であるが, ϕ_0 は観測量ではない!
このことを利用して, ϕ_0 の値を適当に選ぶことにより
 (ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3) を (m_e, m_μ, m_τ) に結びつけることができる。
ただし. そのためには, family-number-independent な
パラメターを2つ必要とする。(従って, パラメター数の増減はない。
 ϕ_0 の値は, そのパラメターによって一義的に決まる.)

For more details, see YK & HN, PRD91, 116002 (2105)



2. 「新展開」って、何が？

2.1 前回のモデルとの形式的な違い



前回 PRD(2015)

今回

$$\hat{Y}_f = \Phi_f \bar{\Phi}_f + \xi_f \mathbf{1}$$

$$\hat{Y}_f = \Phi_{0f} (S_f)^{-1} \bar{\Phi}_{0f}$$

$$\begin{aligned} \bar{P}_f \Phi_f \bar{P}_f &= \bar{\Phi}_0 S_f \bar{\Phi}_0, \\ P_f \bar{\Phi}_f P_f &= \Phi_0 \bar{S}_f \Phi_0, \end{aligned}$$

$$\Phi_{0f} = \Phi_0 \bar{P}_f$$

$$\langle S_f \rangle = 1 + a_f e^{i\alpha_f} X_3$$

$$a_f e^{i\alpha_f} = -\frac{b_f e^{i\beta_f}}{1 + b_f e^{i\beta_f}}$$

$$\langle S_f \rangle = 1 + b_f e^{i\beta_f} X_3$$

$$\Phi_0 \equiv \text{diag}(m_e^{1/4}, m_\mu^{1/4}, m_\tau^{1/4})$$

$$\Phi_0 \equiv \text{diag}(m_e^{1/2}, m_\mu^{1/2}, m_\tau^{1/2})$$

$U(3) \times U(3)'$ の足は略した. むろん " \langle " や " \rangle " も略した.

パラメータ数

$$a_u, \xi_u, a_d, \alpha_u, \xi_d,$$

$$b_u, b_d, \beta_d$$

$$P_u(\phi_1, \phi_2), a_\nu, \beta_\nu, \xi_\nu$$

$$P_u(\phi_1, \phi_2), \xi_R$$

10/16

6/16

Bilinear model が linear model に変わっただけで, 何ら「新展開」と呼ぶほどのことはないように見える, この点について, さらに説明を続ける,

2.2 Democratic Seesaw Model からのヒント

" Top-quark-mass enhancement in a seesaw quark mass matrix"

Y.K and H.Fusaoka, Z.Phys, C71, 459, (1996)

今回の仕事は、上記論文から大きなヒントを得ている。

Model:

$$M = \begin{pmatrix} 0 & m_L \\ m_R & M_F \end{pmatrix}$$

$$m_L = \frac{1}{k} m_R \propto \text{diag}(\sqrt{m_e}, \sqrt{m_\mu}, \sqrt{m_\tau})$$

$$M_F \propto 1 + b_f e^{i\beta_f} X_3$$

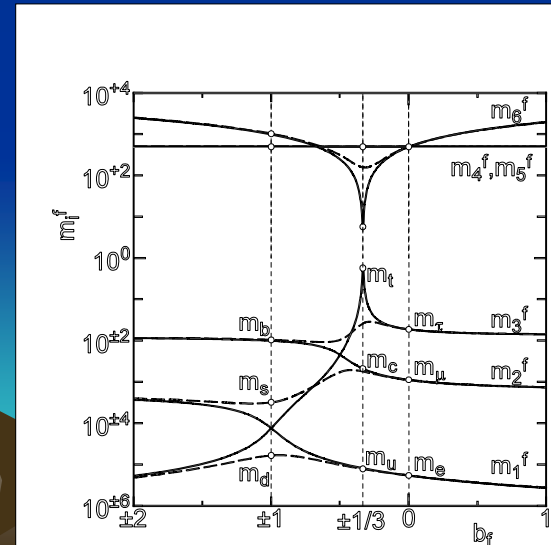
特徴:

Top quark mass の enhancement は、
seesaw model において $\det M_F = 0$ と
なっていることに原因がある。

$b_u = -1$ は $M_F = k \text{diag}(1, 1, 0)$ を与える。
 m_u と m_c だけが suppressed されて、 m_t はそのまま！

$m_t \sim \Lambda_{\text{weak}}$ が natural に理解できる。

さらに $m_u \sim m_d \sim m_e$ も得る。



2.3 新展開: Yukawaon model + Seesaw Model

ところが, シーソー・シナリオをユカワオン模型に適用することは
そう簡単ではない

(i) シーソー・シナリオでは, スタートでの 6×6 質量行列において
 $\bar{f}_L f_R$ の要素はゼロである.

(ii) ユカワオンなしのモデルで行こうとすると, ニュートリノ質量行列
での現象論的成功を引き継げない: Y_u がないので!

$$M_\nu = Y_\nu (Y_R^{-1}) Y_\nu \quad Y_R = \Phi_{0f} Y_u + Y_u^T \Phi_{0f}^T$$

(iii) Yukawaon + Seesaw とすると, 対角化後の U(3) triplet
fermions の質量行列は

$$M_f \simeq Y_f + \Phi_{0f} S_f^{-1} \Phi_{0f}$$

で与えられる. Y_f を与える論理がない.

暫定的仮定



$$(\bar{f}_L^i \quad \bar{F}_L^\alpha) \begin{pmatrix} (\hat{Y}_f)_i^j & (\Phi_{0f})_i^\beta \\ (\bar{\Phi}_{0f}^T)_\alpha^j & -(S_f)_\alpha^\beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f_{Rj} \\ F_{R\beta} \end{pmatrix}$$

[仮定1] \hat{Y}_f と Φ_{0f} とは同じスケール変換を受ける

$$M_f = \zeta_f \hat{Y}_f + \frac{1}{\zeta_f} \Phi_{0f} S_f^{-1} \bar{\Phi}_{0f}$$

[仮定2] この変換の下で M_f は不変(となるようにVEVが決まる)

$$\frac{\partial M_f}{\partial \zeta_f} = \hat{Y}_f - \frac{1}{\zeta_f^2} \Phi_{0f} S_f^{-1} \bar{\Phi}_{0f} = 0 \quad \longrightarrow \quad \hat{Y}_f = \frac{1}{\zeta_f^2} \Phi_{0f} S_f^{-1} \bar{\Phi}_{0f}$$

$$\longrightarrow \quad M_f = \frac{2}{\zeta_f} \Phi_{0f} S_f^{-1} \bar{\Phi}_{0f} = 2\zeta_f \hat{Y}_f$$

このシナリオにご不満の方々へ

- (i) シーソー・シナリオを棄てて, old Yukawaon model へ戻る.
- (ii) Yukawaons なしのモデルを構築 (in future)

Part I のまとめ

(i) 前ページで与えた仮定から得られた関係

$$\hat{Y}_f = \Phi_{0f} S_f^{-1} \bar{\Phi}_{0f}$$

の下に, クォークとレプトンの質量と混合を統一的に記述する.

(ii) もちろん, パラメーターには family number dependent なものは一切使わない (荷電レプトンの質量値 以外は).

(iii) 用いるパラメーターは極めて少なく (6 parameters), PMNS mixing に至っては **no free parameter** !

(iv) 既存の観測値はすべて見事な一致で説明できる.

未報告の物理量についての予言としては

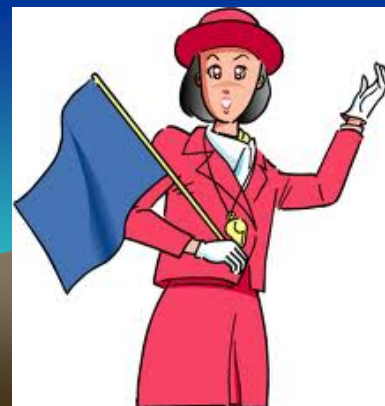
$$\delta_{CP}^l = -68^\circ$$

$$\langle m \rangle = 21 \text{ meV}$$

Thank
you



次の西浦さんの
トークに
乞うご期待.



To the
next
talk
Follow
me!