

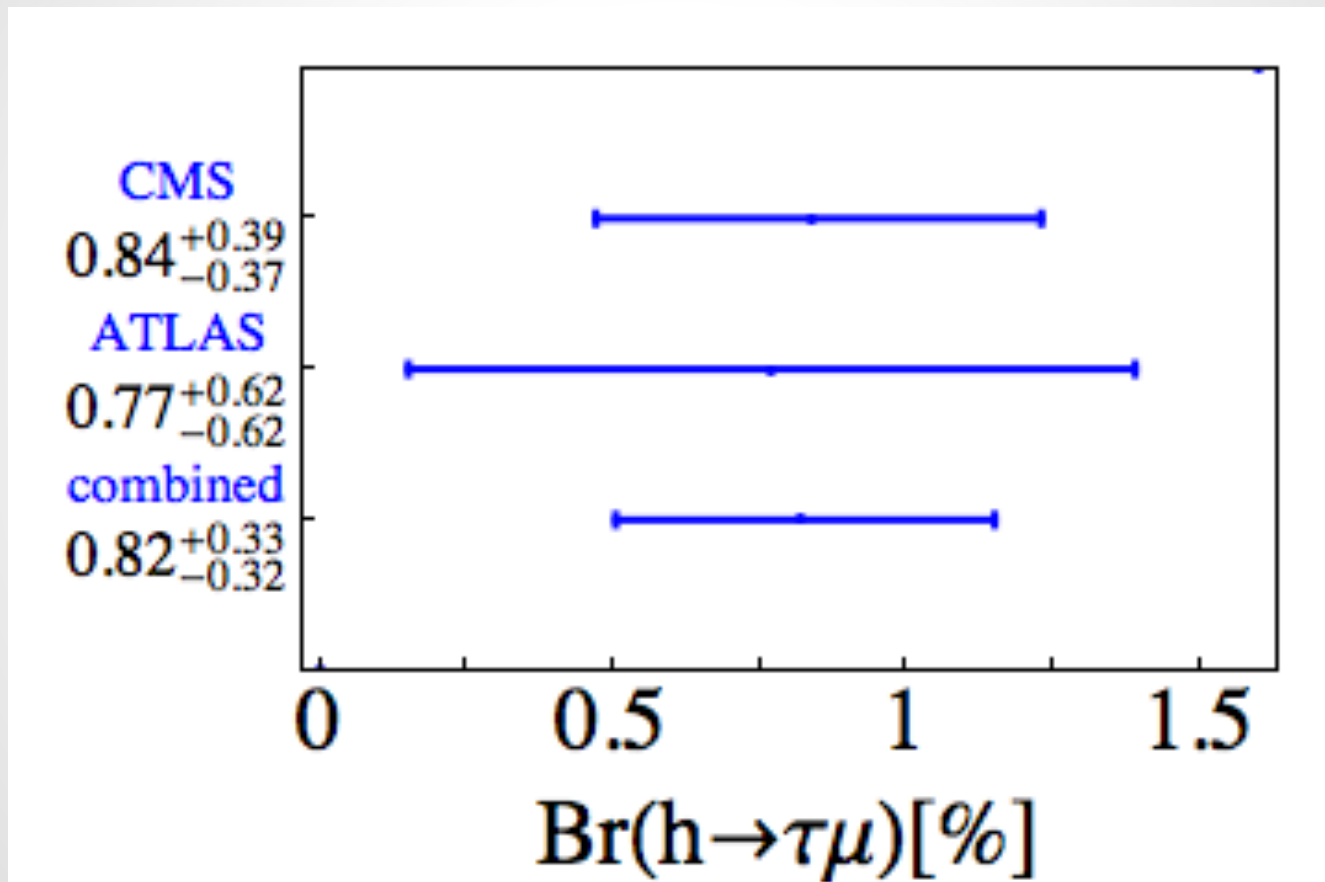
# **FCNC Decays in Top-Specific Variant Axion Model**

Hajime Fukuda (Kavli IPMU)

with: Cheng-Wei Chiang, Michihisa Takeuchi and  
Tsutomu T. Yanagida  
arXiv:1507.04354 [hep-ph]

**Dibosonが  
世間を賑わせていますが**

# $h \rightarrow \mu\tau$



<http://resonaances.blogspot.jp/2015/08/weekend-plot-atlas-weighs-in-on-higgs.html>

# Flavor Violation in LHC

- 結構大きい ( $\text{Br}(h \rightarrow \tau\tau) \sim 6\%$ )
  - Tree level?
- $\text{Br}(t \rightarrow hq) < 10^{-5}$  in the future @ LHC
  - ついでにtop FVも予言できるとうれしい

# Type III 2HDM

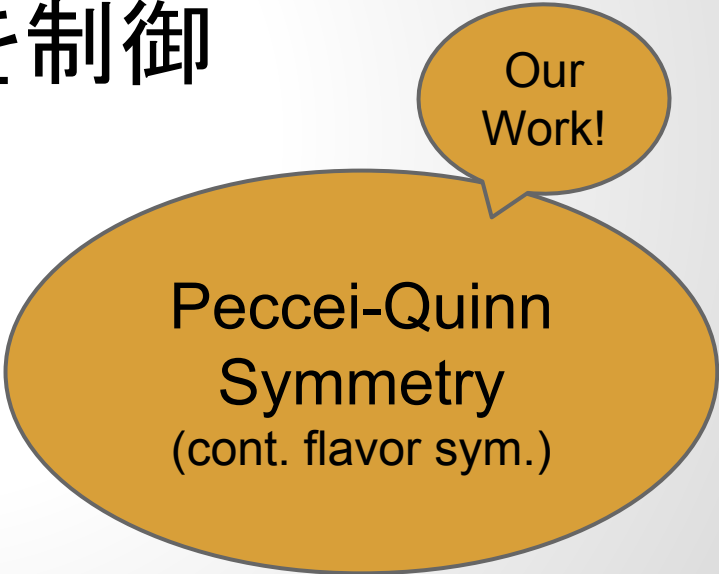
- 2HDMいろいろ
  - Type I, Type II, Type X and Type Y
  - Type III
- そもそも「なぜ」2HDMが必要？
  - まずは対称性

# 対称性とType III 2HDM

- 対称性にmotivateされて2HDを導入
- 同時に対称性でFVを制御



Discrete Flavor  
Symmetry

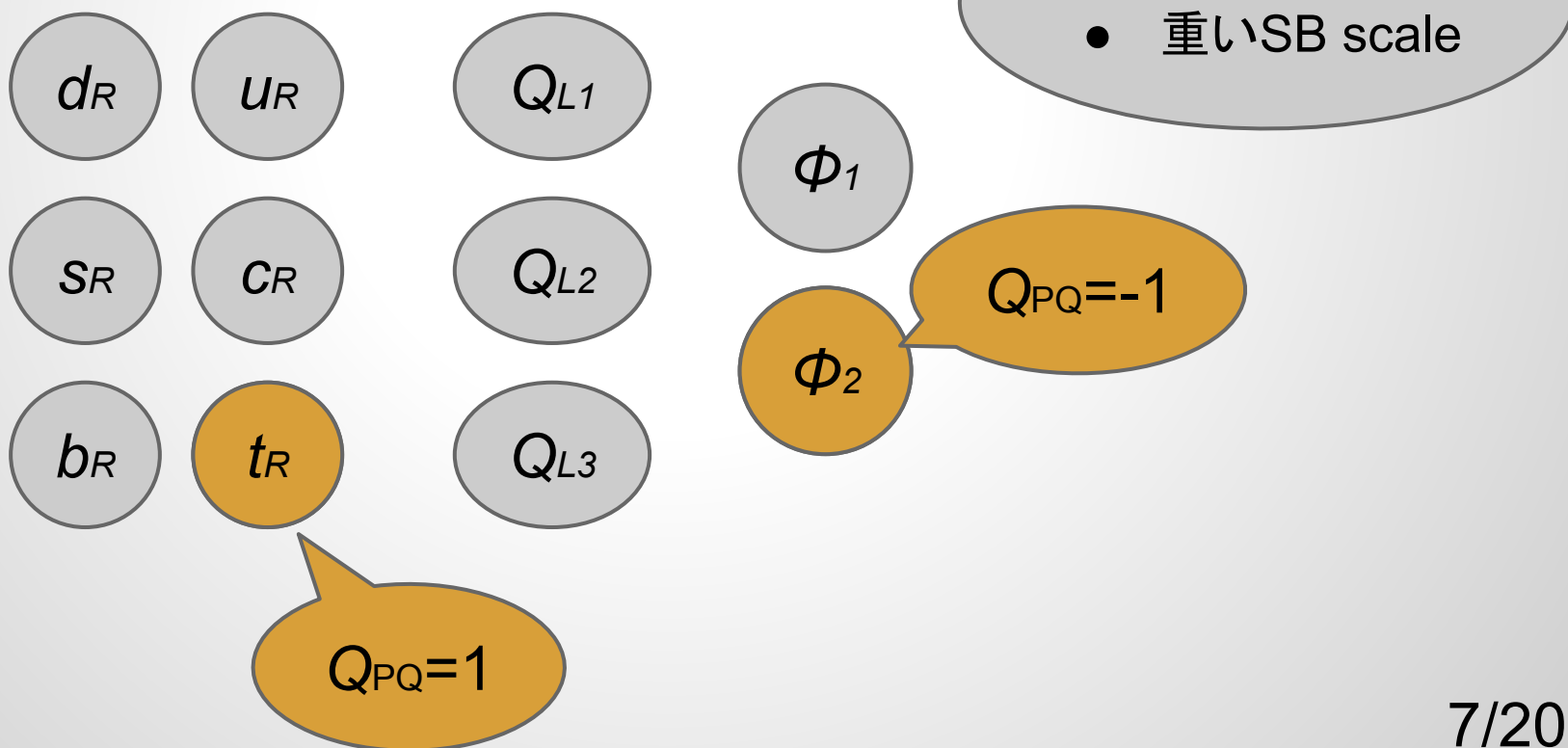


Peccei-Quinn  
Symmetry  
(cont. flavor sym.)

Our  
Work!

# Variant Axion Model

- 1 quarkのみPQ chargedなZDFS



# Variant Axion Model

- $t_R$ のみchargedなPQ sym. 2HDM

[Peccei, Wu and Yanagida, 1986] [Krauss and Wilczek, 1986]

[Chen, Frampton, Takahashi and Yanagida, 2010]

- FCNCを生じる！

- 厳密に言うとHiggsによるFCですが

$$\mathcal{L}^u = -\Phi_1 \bar{u}_{Ra} [Y_{u1}]_{ai} Q_i - \Phi_2 \bar{u}_{R3} [Y_{u2}]_i Q_i + \text{h.c.}$$

$$Y_{u1} = \begin{pmatrix} * & * & * \\ * & * & * \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad Y_{u2} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ * & * & * \end{pmatrix},$$



# 我々の模型の何が面白いのか

- 実は、FCNCの構造が特徴的
  - helicityを大きく破る

# Yukawa structure

$$\mathcal{L}^u = -\Phi_1 \bar{u}_{Ra} [Y_{u1}]_{ai} Q_i - \Phi_2 \bar{u}_{R3} [Y_{u2}]_{i3} Q_i + \text{h.c.}$$

$$Y_{u1} = \begin{pmatrix} * & * & * \\ * & * & * \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad Y_{u2} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ * & * & * \end{pmatrix},$$

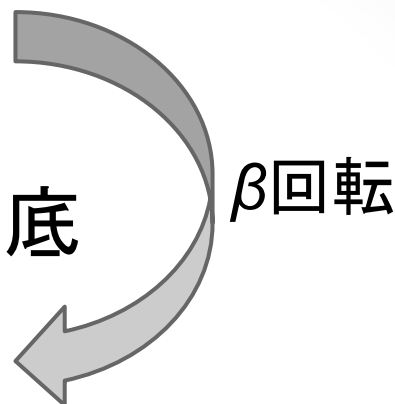
第3世代のみ  
PQ charged

Higgsを回転してHiggs basisへ

# Higgsの基底いろいろ

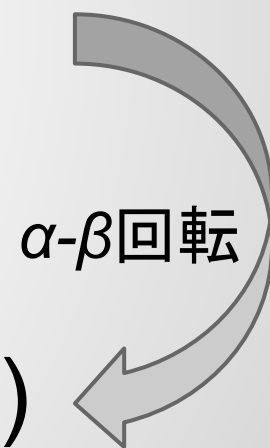
- PQ basis

- $\phi_1, \phi_2$
- PQ chargeの基底



- Higgs basis

- $\phi^{\text{SM}}, \phi'$
- $\phi^{\text{SM}}$ のみがVEVを持つ



- Physical basis (for neutral scalar)

- $h, H$

# Yukawa in Higgs basis

$$\mathcal{L}^u = -\Phi^{\text{SM}} \bar{u}_{Ri} [Y_u^{\text{SM}}]_{ij} Q_j - \Phi' \bar{u}_{Ri} [Y'_u]_{ij} Q_j + \text{h.c.} ,$$

$$Y_u^{\text{SM}} = \cos \beta Y_{u1} + \sin \beta Y_{u2} ,$$

$$Y'_u = -\sin \beta Y_{u1} + \cos \beta Y_{u2} = \begin{pmatrix} -\tan \beta & & \\ & -\tan \beta & \\ & & \cot \beta \end{pmatrix} Y_u^{\text{SM}} .$$

- 2行列にYukawa indep.な関係が入る
  - 「rank2とrank1行列からはrank3行列はひとつだけ」
- 対角行列で関係している
  - 「Yukawaは非退化」

$$Y_{u1} = \begin{pmatrix} * & * & * \\ * & * & * \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} , \quad Y_{u2} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ * & * & * \end{pmatrix} ,$$

# Yukawaの対角化

$$Y_u^{\text{SM,diag}} = Y_u^{\text{diag}} = \text{diag}(y_u, y_c, y_t),$$

$$Y_u^{\prime,\text{diag}} = \begin{pmatrix} -\tan \beta & & \\ & -\tan \beta & \\ & & \cot \beta \end{pmatrix} Y_u^{\text{diag}} + \underbrace{(\tan \beta + \cot \beta) H_u Y_u^{\text{diag}}}_{\text{FCNC part}},$$

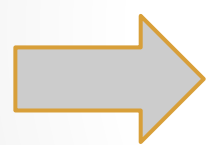
$$H_u \equiv V_R \begin{pmatrix} 0 & & \\ & 0 & \\ & & 1 \end{pmatrix} V_R^\dagger = \begin{pmatrix} 0 & & \\ & 0 & \\ & & 1 \end{pmatrix}.$$

- 右巻きunitary回転のみmixingに入る
- mixing行列はHermitian

# FCNC structure

$$\mathcal{L}_{\text{FCNC}} = -a \sum_{f, f'=u, c, t} (H_u)_{ff'} y_{f'} h \bar{f}_R f'_L + \text{h.c.},$$

$$a \equiv (\tan \beta + \cot \beta) \cos(\beta - \alpha).$$


$$\begin{cases} htc \text{ coupling} & -a(H_u)_{tc} y_c \\ hct \text{ coupling} & -a(H_u^*)_{tc} y_t \end{cases}$$

- FCNCが左巻きYukawaに比例！
- leptonセクターでも同様

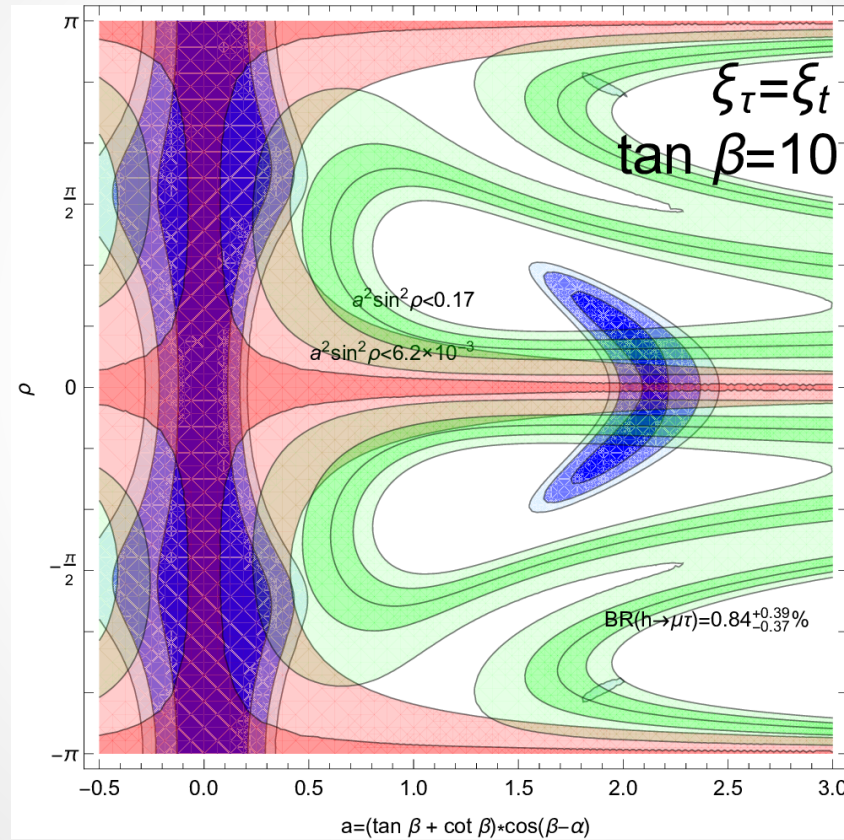
# 各種制限と 現象論

# ありうるFCNCシグナル

- tree
  - top  $t \rightarrow hc$
  - Higgs  $h \rightarrow \tau\mu$
- loop
  - $\tau$  decay  $\tau \rightarrow \mu\gamma, \tau \rightarrow 3\mu, \dots$
  - meson oscillations  $D_0-\bar{D}_0$
  - muon  $g-2$  etc.



# Tree signal



# loop signal

- $\tau \rightarrow \mu \gamma$  はぎりぎり
- $g-2$  は説明できるかも

[Omura, Senaha and Tobe, arXiv:1502.07824]

- D oscillations は三世代必要

# helicityを見分けられるか

- helicityはこの模型のsmoking gun
- Spin correlationを考えると良い
- 大体130eventで見える
  - HL-LHCでわかる(かも)しれない  
 $BR(t \rightarrow ch) \sim 10^{-4}$

# Summary

- Flavor依存のPQ対称性から特徴的なFCがYukawaにでてくる
  - 対称性+Type III 2HDM、おもしろそう
- LHCで見える/見えている、かも

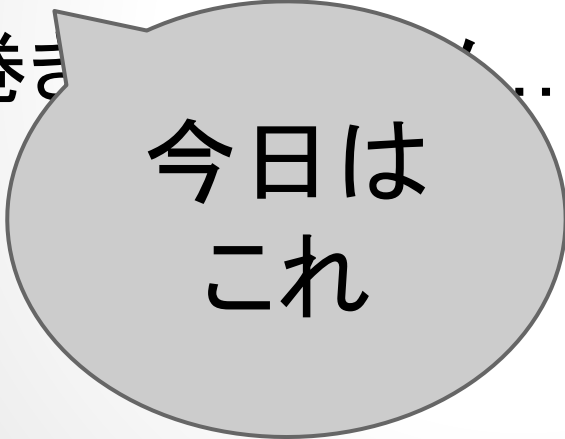
# パラメタの説明

$$H_u = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 - \cos \rho & \sin \rho \\ 0 & \sin \rho & \cos \rho - 1 \end{pmatrix}$$

$$BR(t \rightarrow ch) \simeq 3.24 \times 10^{-2} a^2 \sin^2 \rho$$

# DMいろいろ

- DM候補、いろいろあります
  - WIMP
  - axion
  - 右巻き...



今日は  
これ

# 2 Types of Invisible Axion Model

## KSVZ type

- 追加の重いquark
- axion以外全部重い
- axion DMが可能
  - $NDW=1$ が可能

## ZDFS type

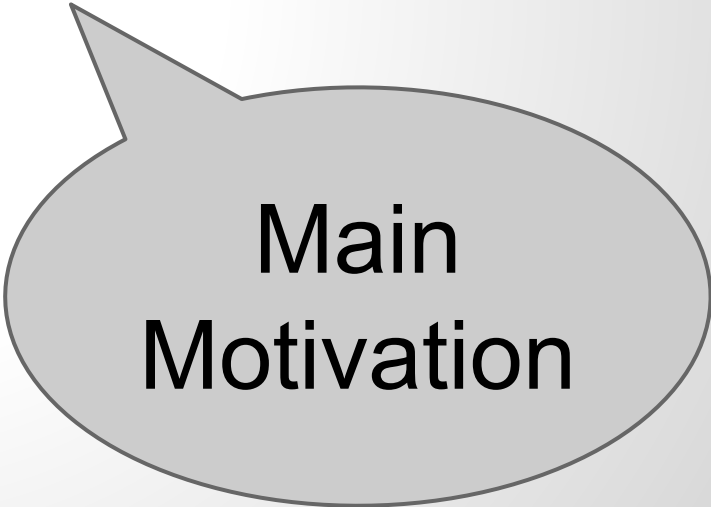
- 2HDM w/ PQ sym.
- SB scaleが重い
- axion DMは、？
  - $NDW=3$

でもこっちも魅力的 ...

# PQ対称性と低エネルギー物理

- 基本的には高エネルギーでの物理
  - $f_a$  suppressed
- 低エネルギーでの示唆はあるか？

(PQ+2HDM w/ axion DMを生かせないか)



Main  
Motivation