

# 離散対称性 $M_3$ を持つ超対称標準模型のシーソー機構

基研研究会 素粒子物理学の進展2022 8月29日(月) ポスター発表

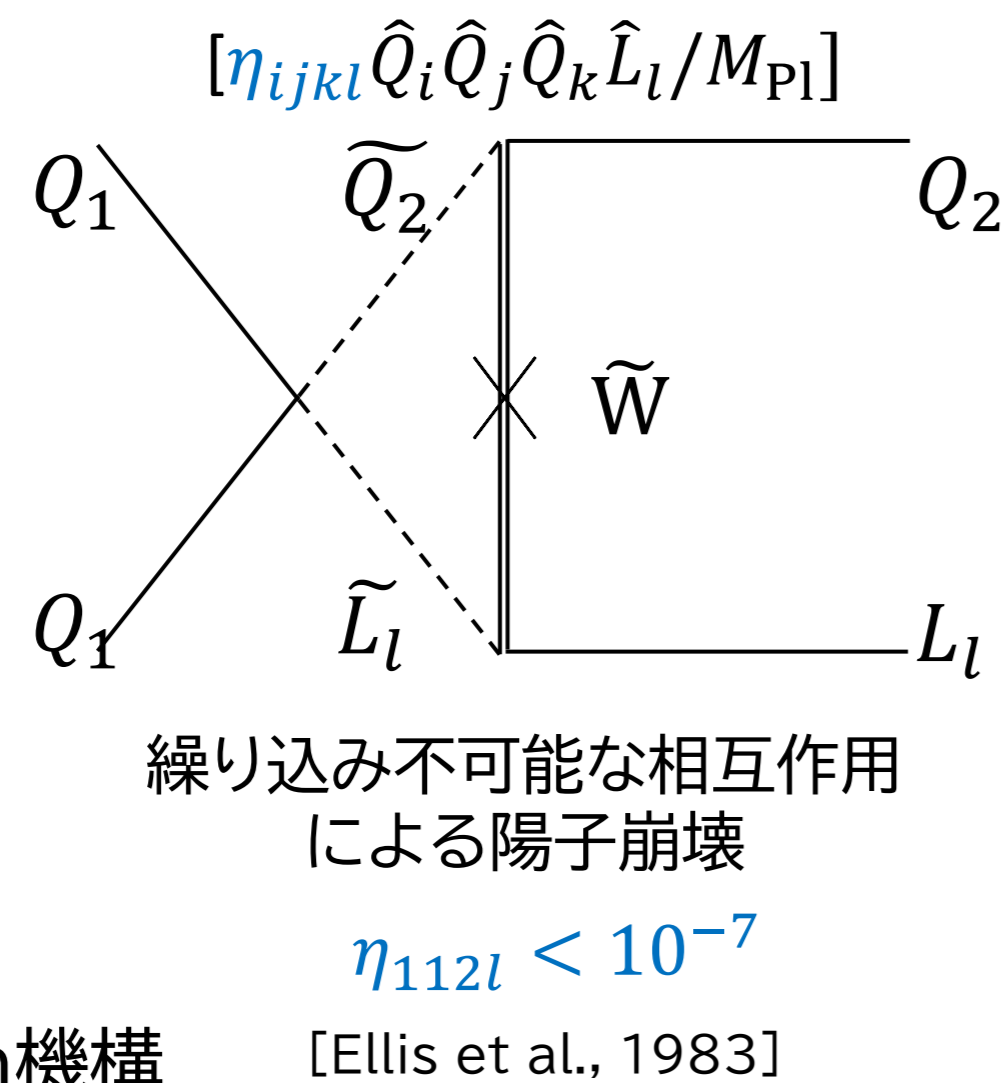
早大 日向 敦 PTEP 2022 073B03 (arXiv:2112.10337)

## 0. 概要

本研究ではR-パリティに代わり超対称標準模型(SSM)のバリオン数(B)の破れを禁止することのできる  $Z_3$  対称性  $M_3$  (matter triality) を用いて、シーソー機構を実現する。右巻きニュートリノ(RHN)のMajorana質量は対称性の下で禁止されるが、スニュートリノの真空期待値がRHN超場の自己三点結合を通じてソフトスケール程度のMajorana質量を与える。Froggatt-Nielsen機構に基づき、クォーク・レプトンの質量を再現するフレーバー電荷の割り当てを解析した。また、MeVスケールのステライルニュートリノの存在により、ニュートリノのない二重ベータ崩壊からステライルニュートリノの質量に制限が課されることを確認した。

## 1. 導入

- バリオン数(B)の破れ  
⇒SSMにおける陽子崩壊
- 離散対称性  $M_3$  [Ibanez & Ross, 1992]
  - ✓ B保存
  - ✓ 3世代右巻きニュートリノ
- ニュートリノ質量・混合角  
⇒シーソー & Froggatt-Nielsen機構 [Froggatt & Nielsen, 1979]



$M_3$  を課したSSMにおけるフレーバー模型の構築

## 2. シーソー機構

[超ポテンシャル ( $M_3$  により B 保存)]

$$W \supset y_{ij}^{\nu} \hat{\nu}_i^c \hat{L}_j \hat{H}_u + \frac{1}{3!} \kappa_{ijk} \hat{\nu}_i^c \hat{\nu}_j^c \hat{\nu}_k^c$$

Dirac質量  
 $m_D = y^{\nu} v_u / \sqrt{2}$

Majorana質量  
 $(M_R)_{ij} = \kappa_{ijk} \langle \tilde{\nu}_k^c \rangle$

RH-スニュートリノ VEV:  $\langle \tilde{\nu}_k^c \rangle \sim m_{\text{soft}}$

$m_{\text{soft}} \sim \mathcal{O}(\text{TeV})$  スケールシーソー機構:  $m_{\text{eff}} = -m_D^T M_R^{-1} m_D - M_X^T M_N^{-1} M_X$

[中性フェルミオン質量行列]

$$\bar{\Psi} \mathcal{M}_n \Psi = (\bar{\psi}_n^c \quad \bar{\nu}_L^c \quad \bar{\nu}_R) \begin{pmatrix} M_N & M_X & 0 \\ M_X^T & 0 & m_D^T \\ 0 & m_D & M_R \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \psi_n \\ \nu_L \\ \nu_R^c \end{pmatrix}$$

$$M_X^T = (0 \quad 0 \quad 0 \quad y_{ki}^{\nu} \langle \tilde{\nu}_k^c \rangle)$$

$$\rightarrow U^T \mathcal{M}_n U \approx \begin{pmatrix} M_X & 0 & 0 \\ 0 & m_{\text{eff}} & 0 \\ 0 & 0 & M_N \end{pmatrix}$$

RHニュートリノ

ニュートラリーノ

R-パリティの破れ

## 3. ゲージ化フレーバー対称性

$M_3 \subset U(1)_X$ : フレーバー対称性

湯川行列:  $y_{ij}^{\nu} \sim \epsilon^{n_{ij}}, \epsilon = \langle \Theta \rangle / \Lambda \sim 0.22$

$$n_{ij}^{\nu} = k_{N_i} + k_{L_j} + k_{H_u} \quad \Theta: \text{フラボン}$$

X電荷:  $X_{\Phi_i} = q_{\Phi} + 3k_{\Phi_i}$   
 $M_3$ 電荷: fixed 世代依存パラメータ

アノマリー相殺 ⇒ Green-Schwarz機構 [Green & Schwarz, 1984]

$$\mathcal{A}_{CCX} = \mathcal{A}_{WWX} = \frac{\mathcal{A}_{YYX}}{k_Y}$$

Kac-Moodyレベル:  $k_Y \in \mathbb{Q}$ : パラメータ

## 4. フレーバー模型の構築

( $-15 \leq k_{\Phi_i} \leq 15, k_{\Phi_3} \leq k_{\Phi_2} \leq k_{\Phi_1}$ )

Q. ニュートリノの質量・混合角を再現するフレーバー電荷の割り当ては?

A. RHニュートリノの寄与:

$$(m_D^T M_R^{-1} m_D)_{ij} \sim \frac{v^2}{m_{\text{soft}}} \sin^2 \beta \epsilon^{2+2k_{H_u} + k_{L_i} + k_{L_j} - k_{N_3}}$$

B. MSSMニュートラリーノの寄与:

$$(M_X^T M_N^{-1} M_X)_{ij} \sim -\frac{m_{\text{soft}}}{1 + \tan^2 \beta} \epsilon^{2(k_{H_u} + k_{N_3}) + k_{L_i} + k_{L_j}}$$

- 行列テクスチャ:  $k_{L_i}$   $\tan \beta \sim (m_t/m_b) \epsilon^x$  ( $x = 0 \sim 3$ )
- スケール:  $k_{N_3}, k_{H_u}, \tan \beta, m_{\text{soft}}$

シーソースケール  
 $\Lambda_R \sim m_{\text{soft}} \epsilon^{-2+k_{N_3}}$

$m_{\text{soft}} \sim v \epsilon^{-w} \in [1, 10^3] \text{TeV}$  ( $w = 1 \sim 6$ )

[質量・混合角 (Normal Hierarchy)]

1. 質量スケール:  $(m_{\text{eff}})_{33} \sim 0.05 \text{eV}$

2. 質量比:

$$\epsilon^{k_{L_2} - k_{L_3}} = \frac{m_2}{m_3} \sim \frac{\sqrt{\Delta m_{21}^2}}{\sqrt{\Delta m_{32}^2 + \Delta m_{21}^2}}$$

3. 混合角:  $\sin \theta_{ij} \sim \epsilon^{k_{L_i} - k_{L_j}}$

ゲージアノマリー相殺と質量/混合角を満たす  $k_{\Phi_i}$  を解析

⇒ フレーバー電荷によってどちらが支配的か決定

## 5. 結果

- 131個の解:  $m_{\text{eff}}$  の支配的な項で分類 ⇒ ニュートリノ obs. を再現
- $k_{N_{1,2}}$ : 未定 ⇒ ニュートリノのない二重ベータ崩壊

有効Majorana質量:

$$m_{ee} = \sum_i \Theta_{ei}^2 m_{si} f_{\beta}(m_{si}) + \sum_i (U_{\text{PMNS}})_{ei}^2 m_i < 61 - 165 \text{meV}$$

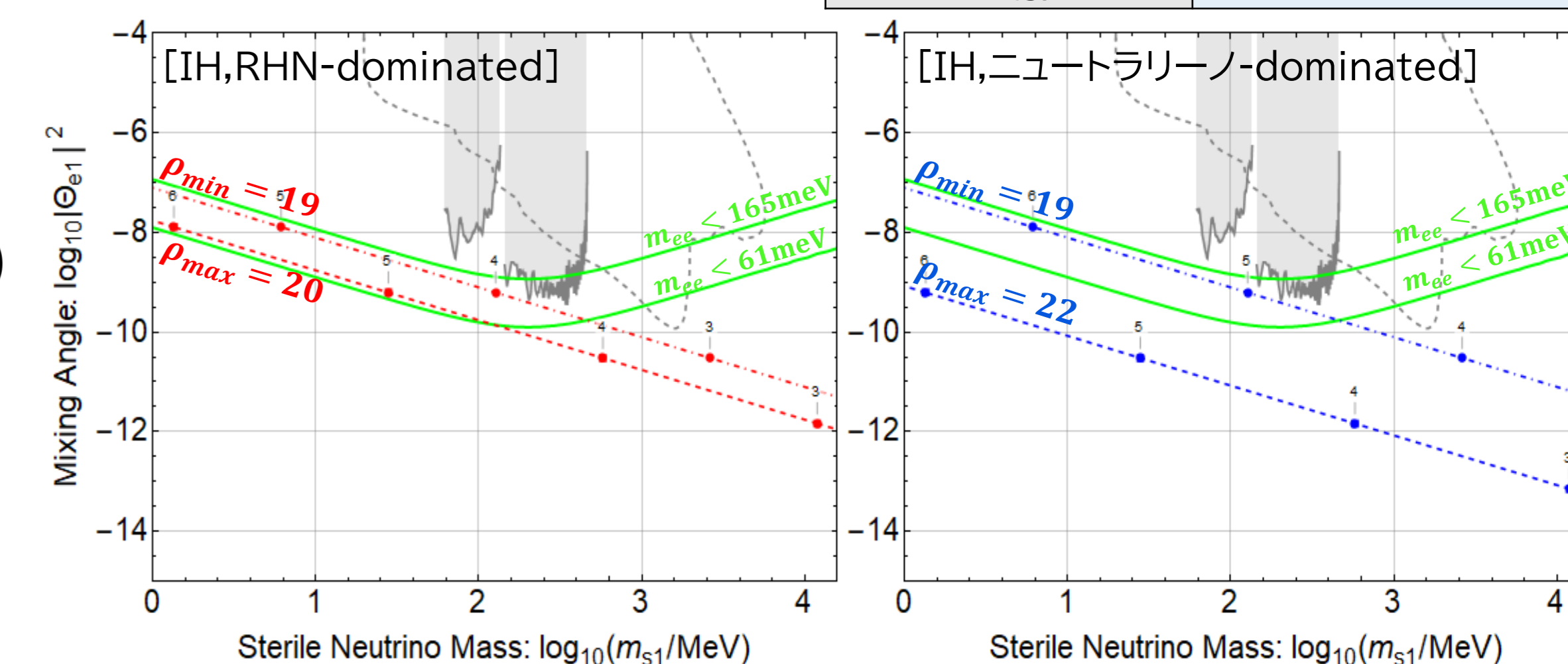
[KamLAND-Zen, 2016]

RH(ステライル)ニュートリノからの寄与

$$\begin{cases} m_{ee}^N \sim \sum_i v \epsilon^{\rho} f_{\beta}(m_{si}) \\ \rho = 2 + w - k_{N_3} + 2(k_{H_u} + k_{L_1}) \end{cases}$$

$m_{s1}$  VS  $\nu_a - \nu_s$  混合:  $\Theta_{e1} = (m_D M_R^{-1})_{11}$

⇒  $m_{s1}/k_{N_1}$  に対する制限



observables	RHN-dominated, NH
$\Delta m_{21}^2 [10^{-5} \text{eV}^2]$	7.420
$\Delta m_{31}^2 [10^{-3} \text{eV}^2]$	2.514
$\sin^2 \theta_{12}$	.304
$\sin^2 \theta_{23}$	.570
$\sin^2 \theta_{13}$	.0222
$\delta_{\text{PMNS}}/\pi$	1.056