

# Neutrino Masses and Mixing from $S_4$ Flavor Twisting

新潟大学素粒子論研究室 D2 清水 勇介

ニュートリノ振動実験 [1] により、ニュートリノには質量があり、大きな世代混合があることが分かってきた。素粒子標準模型 ( $SU(3)_C \times SU(2)_L \times U(1)_Y$ ) ではニュートリノの質量はゼロなので実験を再現するような理論を考えなければならない。さらに、素粒子標準模型には3世代のクォーク・レプトンがあるが、世代間の質量や混合について上手く説明できていない。この問題を解決する手段の一つとしてフレーバー対称性がある。

フレーバー対称性はクォーク・レプトンの世代間の質量と混合を関連付ける対称性である。特に非可換離散対称性を用いると、レプトンの混合である tri-bimaximal 混合行列 [2] を自然に導くことができる。素粒子標準模型に離散群の電荷を割り当て、自発的に世代対称性を破ることによって、質量行列を得る。その質量行列を対角化すると質量と混合が導き出せる。レプトンに対して tri-bimaximal 混合行列である、牧・中川・坂田 (MNS) 行列 (1) 式が得られる。

$$U_{\text{Tri-bi}} = \begin{pmatrix} \frac{2}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & 0 \\ -\frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \quad (1)$$

質量行列を得るためには、素粒子標準模型に離散群の電荷を持ったスカラー場を導入し、世代対称性を自発的に破る先行研究が多いが、ここでは、レプトンセクターに関して、高次元における境界条件による対称性の破れ [3] を、 $S_4$  離散対称性 [4] を用いて議論した。

$S_4$  群は4つのものの置換群で、要素の数は24個あり、既約表現には1, 1', 2, 3, 3' の5つがある。素粒子標準模型を  $S^1/Z_2$  コンパクト化した5次元模型に拡張し、バルク場に5次元右巻きニュートリノを導入する。境界条件により、 $S_4$  群の要素を用いて、 $S_4$  対称性を破る。また、シーソー機構を用いて、左巻きニュートリノの質量行列を得る。さらにその質量行列を対角化することにより、混合行列を導くことができる。

本研究では、荷電レプトンセクターは対角的にでき、ニュートリノセクターから tri-bimaximal 混合行列に近い行列を得ることができた。さらに、tri-bimaximal 混合行列からのずれも議論でき、 $\sin \theta_{13}$  と  $\sin \theta_{23}$  に相関があることが分かった。また、 $\theta_{13}$  が大きい場合はニュートリノの質量階層型が順階層型となることを预言する。

## References

- [1] T. Schwetz, M. Tortola, and J.W.F. Valle, arXiv:0808.2016.
- [2] P.F. Harrison, D.H. Perkins, and W.G. Scott, Phys. Lett. B **535**, 163 (2002).
- [3] N. Haba, A. Watanabe, and K. Yoshioka, Phys. Rev. Lett. **97**:041601 (2006).
- [4] H. Ishimori, Y. Shimizu, M. Tanimoto, and A. Watanabe, arXiv:1010.3805.