KamLANDデータの意味するもの

素粒子模型の立場から

谷本盛光（新潟大学 理）

特定・宇宙ニュートリノ第１１回研究会

2002年12月11日：宇宙線研究所

KamLANDはLMA-MSW解を確証か!?

$$\frac{54}{87}$$

Atmospheric neutrinos + Solar neutrinos + Chooz neutrinosは

Nearly Bi-Maximal Mixings を示している。

$$U_{MNS} \sim \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \epsilon \\ -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}$$

$$\frac{\Delta m^2_{\mathrm{sol}}}{\Delta m^2_{\mathrm{atm}}} = 0.01 \sim 0.1$$

Neutrino Mass が Hierarchical と仮定すると

$$m_1 \leq m_2 \ll m_3 \ , \qquad \frac{m_2}{m_3} = 0.1 \sim 0.3$$

$$\frac{m_e}{m_\mu} \simeq 5 \times 10^{-3} \ , \qquad \frac{m_\mu}{m_\tau} \simeq 6 \times 10^{-2}$$

なぜ Nearly Bi-Maximal Mixings なのか

I. 完全なBi-Maximal Mixingsを導く理論があってそこからずれている。

Zee Model, $L_e - L_\mu - L_\tau$, S_3 Symmetry ...

$\sin^2 2\theta_{\rm sol} < 1$ と $\sin^2 2\theta_{\rm chooz} \neq 0$ は 理論の対称性からのずれである。

$\sin^2 2\theta_{\rm sol}$ と $\sin^2 2\theta_{\rm chooz}$ の定量的関係式が重要。

$$U_{e1},\ U_{e2},\ U_{e3}$$

II. Bi-Maximal Mixingsが本質的なのではなくニュートリノ質量行列の形がNearly Bi-Maximal Mixingsを導くようになっている。

$\sin^2 2\theta_{\rm sol} < 1$ と $\sin^2 2\theta_{\rm chooz} \neq 0$ はニュートリノ質量行列の構造の反映である。

U_{e1}, U_{e2}, U_{e3}は オーダーとしては 関係がつく。

Iの例：$U_{MNS} = [U^{(1)\dagger} U^{(0)}]$

$U^{(0)}$ **Bi-Maximal Mixing;** $U^{(1)}$ **Deviation**

$$U^{(1)} = \begin{pmatrix} 1-\frac{1}{2}\lambda^2 & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ -\lambda & 1-\frac{1}{2}\lambda^2 & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(1-\rho-i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix}$$

where λ, A, ρ and η are independent of ones in the quark sector.

$$\tan^2\theta_{\mathrm{sol}} \sim 1 - 4\mathrm{U_{e3}} + \mathrm{O}(\mathrm{U_{e3}^2})$$

Iの例： Non-Abelian Flavor Symmetry

$\mathrm{S_{3L}} \times \mathrm{S_{3R}}$ symmetric mass matrix

leads to LMA-MSW solution naturally.

$$M_E = \frac{c_E}{3}\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}, \quad M_\nu = c_\nu \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Orthogonal matrix, which diagonalizes M_E

$$F = \begin{pmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{6} & 1/\sqrt{3} \\ -1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{6} & 1/\sqrt{3} \\ 0 & -2/\sqrt{6} & 1/\sqrt{3} \end{pmatrix}$$

$$U_{MNS} \simeq F^T = \begin{pmatrix} 1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} & 0 \\ 1/\sqrt{6} & 1/\sqrt{6} & -2/\sqrt{6} \\ 1/\sqrt{3} & 1/\sqrt{3} & 1/\sqrt{3} \end{pmatrix}$$

$$\sin^2 2\theta_\odot = 1 \ , \quad \sin^2 2\theta_{\rm atm} = \frac{8}{9} \ (\tan^2\theta_{\rm atm} = 2)$$
$$U_{e3} = 0 \ , \quad m_1 = m_2 = m_3$$

$\mathbf{S_{3L} \times S_{3R}}$ 対称性の破れが必要

$\sin^2 2\theta_{\rm atm} \to 1$

$\sin^2 2\theta_{\rm sol} \to < 1 \quad , \qquad \Delta m^2 \neq 0$

Then, non-zero U_{e3} is predicted.

IIの例： Typical Texture of M_ν

(M_E Diagonal base)

$$M_\nu = \begin{pmatrix} \epsilon^2 & \epsilon^2 & \epsilon \\ \epsilon^2 & 1 & 1 \\ \epsilon & 1 & 1 \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} \epsilon^2 & \epsilon & \epsilon^2 \\ \epsilon & 1 & 1 \\ \epsilon^2 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

(2-3)軸の 対角化（45度近くでの回転）

$$M_\nu = \begin{pmatrix} \epsilon^2 & \epsilon & \epsilon \\ \epsilon & \epsilon' & 0 \\ \epsilon & 0 & 2 \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} \epsilon^2 & \epsilon & \epsilon \\ \epsilon & \epsilon' & 0 \\ \epsilon & 0 & 2 \end{pmatrix}$$

$$\frac{\Delta m^2_{\text{sol}}}{\Delta m^2_{\text{atm}}} \simeq \epsilon^2$$

$\tan^2\theta_{\text{sol}} \simeq O(1)$ **depends on** ϵ/ϵ'

$U_{e3} = O(\epsilon)$

$\Delta m^2_{\mathrm{sol}}$

$\tan^2\theta_{\mathrm{sol}}$

U_{e3}

are correlated in many models

We hope precise determination of $\Delta m^2_{\mathrm{sol}}$ and $\tan^2\theta_{\mathrm{sol}}$ in KamLAND.

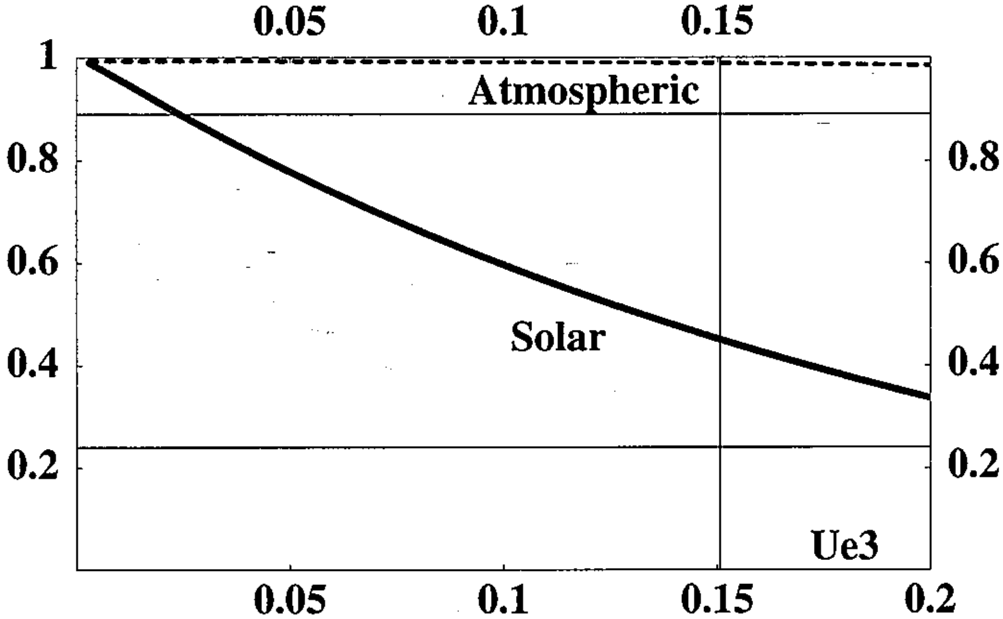

Figure 1: Predictions in the $|U_{e3}| - \tan^2\theta_{\rm sol}$ plane and $|U_{e3}| - \sin^2 2\theta_{\rm atm}$ plane. The thick solid curve corresponds to $\tan^2\theta_{\rm sol}$, while the dashed one to $\sin^2 2\theta_{\rm atm}$. Horizontal lines delimit the experimental allowed regions for solar neutrinos. The parameter λ is varied from 0 to 0.28. The vertical line around $|U_{e3}| = 0.15$ corresponds to the result in the case of $\lambda = 0.22$.