

論文の内容の要旨

Constraints of the neutrino oscillation parameters from 1117 day observation of solar neutrino day and night spectra in Super-Kamiokande

(スーパーカミオカンデによる1117日の太陽ニュートリノ昼・夜スペクトルの観測から得られたニュートリノ振動パラメータの決定)

櫻井 信之

平成12年12月20日

スーパーカミオカンデは、岐阜県神岡町神岡鉱山の地下1000 m に建設された50,000 t の水チェレンコフ型検出器である。太陽ニュートリノ観測は、入射ニュートリノと検出器内の電子との弾性散乱による反跳電子を観測することによって行う。1996年5月31日に太陽ニュートリノ (^8B ニュートリノ) の観測を開始して以来、2000年4月24日までに1117日分のデータを蓄積してきた。

その結果得られた ^8B ニュートリノのフラックスと Bahcall、Pinsonneault による標準太陽模型で予想される値の比をとると、

$$0.465 \pm 0.005(\text{stat.})_{-0.013}^{+0.015}(\text{syst.}).$$

と得られた。

太陽ニュートリノについては、過去に行われた全ての実験において観測されるフラックスの値が理論予想値よりはるかに小さいという結果が得られている。これは「太陽ニュートリノ問題」とよばれ原因はまだ解明されていない。

現在最も有力な解と考えられているのがニュートリノのフレーバーが飛行中に別のフレーバーに変化するというニュートリノ振動である。

ニュートリノ振動が起こる確率は2つのパラメータで表現される。一つは、振動する二種類のニュートリノの質量差の二乗 (Δm^2)、もう一つは

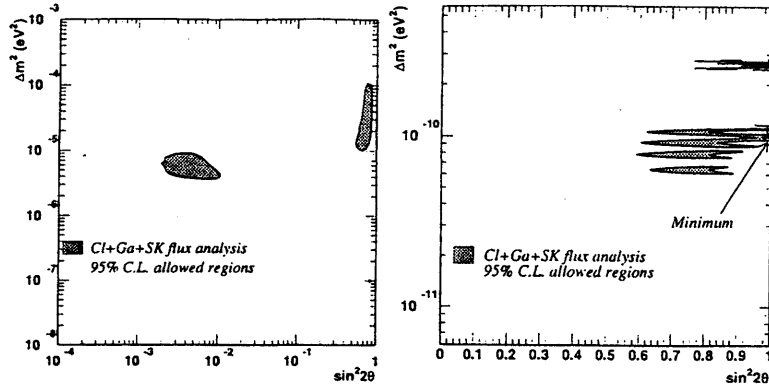


図 1:

ニュートリノフレーバーの固有状態とニュートリノ質量の固有状態との間の混合度を表す量 ($\sin^2 2\theta$) である。

ここで、ニュートリノ振動の発生機構について二つの可能性が考えられている。一つは、真空中でのニュートリノフレーバーの変化である。もう一つは電子型ニュートリノ (ν_e) (太陽ニュートリノは電子ニュートリノ) と他の型のニュートリノ (ν_μ or ν_τ) が感じるポテンシャルが物質中で異なるために、更に振動が促進されるという MSW 効果をいれたニュートリノ振動である。

全ての太陽ニュートリノフラックスの観測実験の結果をニュートリノ振動を仮定して説明しようとする、上に挙げた2つのパラメータ ($\sin^2 2\theta$, Δm^2) の平面上に、ニュートリノ振動が許される領域 (解と呼ばれる) が4つ現れる。この図を図1に示す。各々の線の内側が、95%信頼度でニュートリノ振動が許容される領域を示している。

左の図は物質中での MSW 効果が入ったニュートリノを仮定した場合で、これらの許容領域 (解) は各々、以下の様に呼ばれる。

- SMA 解 $\sin^2 2\theta = 5 \times 10^{-3}$, $\Delta m^2 = 3 \times 10^{-6} \text{ eV}^2$.
- LMA 解 $\sin^2 2\theta = 0.9$, $\Delta m^2 = 3 \times 10^{-5} \text{ eV}^2$.
- LOW 解 $\sin^2 2\theta = 0.9$, $\Delta m^2 = 1 \times 10^{-7} \text{ eV}^2$.

右の図は真空中のニュートリノ振動を仮定した場合で、この中での解は真空解と呼ばれる。

これらの解に制限を与えることが、本論文の目的である。

もしニュートリノ振動が太陽ニュートリノ問題の原因であるならば、太陽ニュートリノフラックスが小さくなるだけでなく、フラックスの昼夜ま

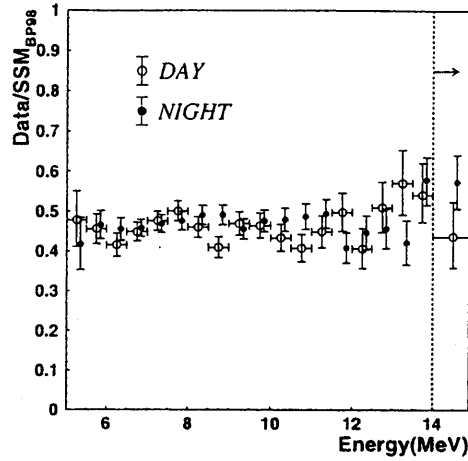


図 2:

たは季節変動、或はエネルギー分布の理論予想からの歪みが観測されるはずである。

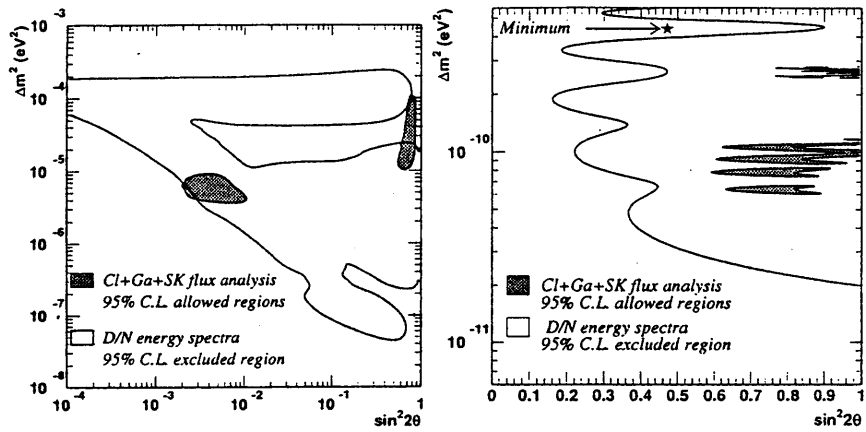
本論文ではスーパーカミオカンデで観測された昼の時間の反跳電子のエネルギー分布と夜の時間の反跳電子のエネルギー分布を用いてニュートリノ振動の解析を行った。エネルギーの範囲は、5.0 MeV から 20 MeV である。

図 2 にスーパーカミオカンデでの 1117 日の観測で得られた昼と夜のエネルギー分布を理論予想で割った分布を示す。

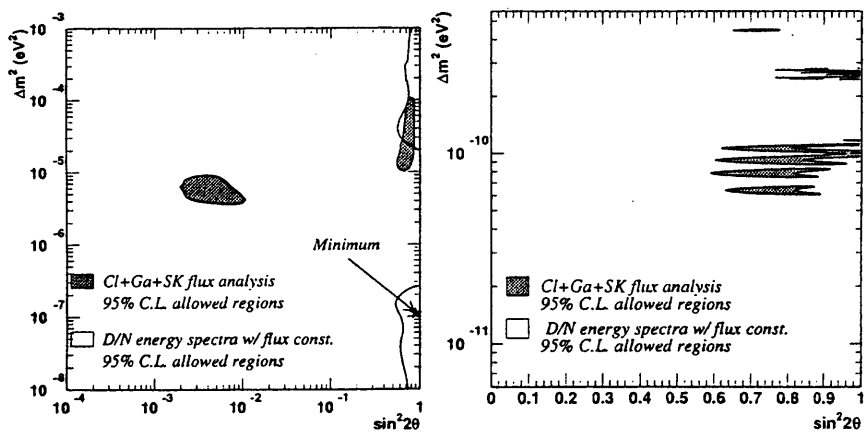
この分布と、ニュートリノ振動を仮定したときに予想される分布とを χ^2 検定の方法を用いて比較することによって、ニュートリノ振動のパラメータに対する制限を得る。

ここでは例として三つの解析の結果を示す。まず、 ^8B ニュートリノのフラックスの絶対値をフリーパラメータとして行った解析の結果を紹介する。結果を図 3 に示す。実線で囲まれた領域が 95 % 信頼度で禁止される領域である。黒い星印は検定の結果、 χ^2 が最小になったパラメータを表している。この解析の結果、真空解の全て、SMA 解の大部分、LMA 解の下半分が 95 % 信頼度で禁止されることが分かった。

次に、 ^8B ニュートリノフラックスの理論予想が正しいとして行った解析を紹介する。昼・夜のエネルギースペクトルを使うだけで 95 % 信頼度でニュートリノ振動を許容する領域があらわれる。この結果を図 4 に示す。2つの領域はともにニュートリノ混合角が大きいことを示し、各々 LMA 解と LOW 解と重なっている。



3:



4: