

## 太陽ニュートリノの問題の 曲がり角

本誌7月号の記事<sup>1)</sup>の時点では、太陽ニュートリノ問題の解はニュートリノ物質振動の非断熱解に収束しつつあるように見えた。ガリウムを用いた実験セイジ (SAGE) が有意な信号を検出しなかったのが有力な根拠の一つである。6月初め、「太陽ニュートリノ問題」は大きな曲がり角に差しかかった。同じくガリウムを使ったガレックス (GALLEX) が予側値に近い有意な信号を検出し、さらにセイジもそれを追認したのである。この新しい観測結果を踏まえて、今もう一度「解の行方」を考えてみる。

### 1. ガリウム実験で見た太陽ニュートリノ

太陽ニュートリノのフラックスは標準太陽模型を用いて計算されている<sup>2)</sup> (図1)。核融合反応の各段階においてさまざまなニュートリノが放出されるが、例えばカミオカンデ (Kamiokande) とホームステイク実験で主として検出される<sup>8</sup>Bニュートリノは、フラックスの予言値に43% (3 $\sigma$ ) の誤差を持っている。一方、全太陽ニュートリノ・

フラックスの約90%を占めているppニュートリノは太陽光度の観測値から約2%の精度で決まっています、もしppニュートリノが不足していれば太陽ニュートリノ問題の解はニュートリノ振動などのニュートリノの未知の性質に起因する。

1990年にロシアとアメリカ中心のガリウム実験セイジが、太陽ニュートリノの有意な信号を検出できずにフラックスを  $(20^{+15}_{-20} \pm 32)$  発表すると<sup>3)</sup>、太陽ニュートリノ問題はニュートリノ物質振動 (MSW効果) の非断熱解に収束するのように見えた。標準太陽模型の修正だけでppニュートリノを大幅に減らすことは不可能だからである。

ところが1992年、ヨーロッパ主体のガレックスが検出成功を宣言し、太陽ニュートリノ問題は曲がり角にさしかかった。標準太陽模型を用いるとガリウム検出器の予言値は合わせて  $(132 \pm 7)$  SNUで<sup>4)</sup>、ppニュートリノが71 SNU、<sup>7</sup>Beニュートリノが36 SNU、<sup>8</sup>Bニュートリノが14 SNU寄与している。観測されたフラックスは  $(83 \pm 19 \pm 8)$  SNU<sup>5)</sup>。一転してセイジも1991年は  $(85^{+22}_{-32} \pm 20)$  SNUという有意な信号を検出し、90年と合わせると  $(58^{+17}_{-24} \pm 14)$  SNUとなり、ガレックスの結果を追認した<sup>6)</sup>。

ガリウム実験もホームステイクの塩素による実験と同じく、検出器内の原子がニュートリノを捕獲してできる別の原子を回収してその崩壊を比例係数管で計測するもので、バックグラウンドとの区別が困難であり、また入射ニュートリノのエネルギー・スペクトルの測定は不可能である。またガリウムとニュートリノとの衝突断面積は自明ではな

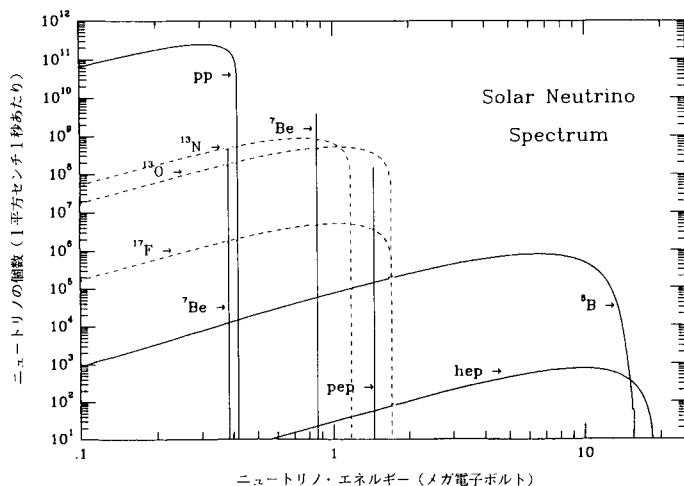


図1 標準太陽模型で予言される太陽ニュートリノのフラックス<sup>2)</sup>より転載)。pp連鎖からのものは黒色でCNO回路のものは青色で表してある。

い。ガレックスで1993年秋に予定されている大強度のニュートリノ源 $^{51}\text{Cr}$ を使った測定器全体としての較正が待たれている。

## 2. 解の行方は

まず、標準太陽模型の微少な修正の範囲内で今までの観測結果が説明できるかどうかである。

ガレックスの結果は予言値と $2\sigma$ 程度違うだけで、統計的に有意な違いがあるとはいえないが、太陽の中心温度を下げても $^8\text{B}$ ニュートリノや $^7\text{Be}$ ニュートリノを減少させる可能性はある。カミオカンデとホームステイク実験の $2.5\sigma$ の違いを有意とみるとスペクトルの変形をおこさないこの解はありえず、また陽震学の観測から中心温度は1~2%しか動かす余地がないことを考えると $^8\text{B}$ ニュートリノを半分以下に抑えるのは難しい。但し、観測結果や予言値の不確定性を考慮すると必ずしも捨てることのできない解である。

ニュートリノ物質振動の解はまだ残っているだろうか。図2で青で塗りつぶされているのがホームステイク実験とカミオカンデとガレックスが90%の信頼度で許容している領域である<sup>7)</sup>。一方は非断熱解の一部で $\Delta m^2$ が $3 \times 10^{-6} \sim 10^{-5} \text{eV}^2$ で $\sin^2 2\theta$ が $4 \times 10^{-3} \sim 10^{-2}$ の領域で、ここが太陽ニュートリノ問題の解ならばニュートリノのエネル

ギー・スペクトルは低エネルギー側が多少削られる。もう一方の解は混合角 $\sin^2 2\theta$ が1に近いところでこの場合エネルギー・スペクトルの変形は期待できない。実線の内部はガレックスの結果から90%の信頼度で却下された領域、点線の内部はカミオカンデで昼と夜にフラックスの違いが観測されなかったために90%信頼度で却下された領域である。太陽ニュートリノは夜は地球の内部を通るが昼はほとんど通らずに測定器に到達するため、ニュートリノが地球の密度分布に対応したある質量差と混合角を持てば昼夜の観測値に差が出るからである。

さて、残った2つの領域をエネルギー・スペクトルの違いによって区別できるだろうか。現行のカミオカンデに関しては、答えは残念ながら“No”である。統計が少なすぎて、スペクトルの違いが誤差に埋もれてしまう。1995-6年にデータ収集開始予定のスノー(SNO)やスーパー・カミオカンデ(Super Kamiokande)を待たざるを得ない。スーパー・カミオカンデでは1日で20個以上(5メガ電子ボルト以上)もの太陽ニュートリノの検出が予測されていて、3年分のデータのスペクトルを調べることによって有意に変形しているかどうか結論することができる。標準太陽模型を変更しただけの場合はスペクトルの変形は起こらないので、もしスペクトルが変形していたら標準太陽模型の修正だけでは太陽ニュートリノ問題は説明できないということになる。

平田慶子(高エネルギー研)

## 参考文献

- 1) 平田慶子 1992, 天文月報, 85, No. 7, 310.
- 2) J. N. Bahcall and R. K. Ulrich 1988, *Rev. Mod. Phys.*, 60, 297.
- 3) A. I. Abazov et al. 1991 *Phys. Rev. Letters*, 67, 3332.
- 4) J. N. Bahcall and M. H. Pinsonneault, 1992 *Rev. Mod. Phys.*, 64, 885.
- 5) P. Anselmann et al. 1992 *Phys. Letters*, B285, 376.
- 6) G. Zatsepin, 1992 talk at ISNA92, Takayama, JAPAN.
- 7) P. Anselmann et al. 1992 *Phys. Letters*, B285, 390.

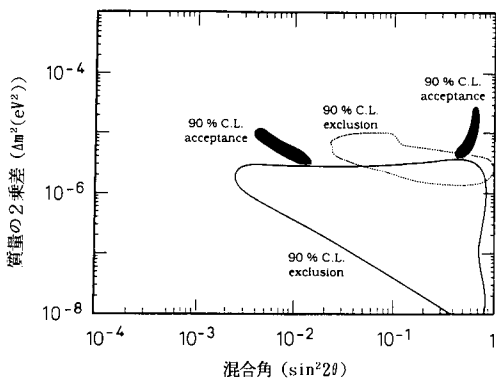


図2 太陽ニュートリノ問題の解となるニュートリノ振動のパラメータ(7)より転載)。青色の領域ならば全ての実験結果と矛盾しない。