

論文審査の結果の要旨

氏名 池田一得

ニュートリノが物質中を通過するときにニュートリノ振動を強める物質効果の検証を視野に入れた太陽ニュートリノフラックスの精密測定が、ニュートリノ観測の次のステップとして宇宙線・素粒子実験物理学の最重要課題の一つとなっている。

本論文は、2001年に起こった光電子増倍管破損事故後、全面復旧されたスーパーカミオカンデ検出器 SK-III の観測データ（観測期間は2006年8月から2008年8月に亘り、例えば6.5MeV以上の解析エネルギー閾値の場合の live time は548日）を用いた⁸B太陽ニュートリノの精密測定に関する研究である。

本論文は13章からなり、第1章は導入部、第2章は動機と共に標準太陽模型・太陽ニュートリノ、ニュートリノ振動及び太陽ニュートリノ観測実験のレビュー、第3章はスーパーカミオカンデ検出器によるニュートリノ信号検出原理とハードウェア構成詳細、第4章は低エネルギー事象再構成ソフトウェアに関する説明、第5章はモンテカルロシミュレーションの詳細、第6章は検出器の時間・エネルギースケール等の校正方法、第7章はデータ解析手法、特に太陽ニュートリノの雑音となる事象の除去ソフトウェアの説明、第8章は最終サンプルからの太陽ニュートリノ信号抽出方法、第9章は系統誤差の見積もりに関する詳細、第10章はSK-IIIによる太陽ニュートリノのフラックス・エネルギースペクトル・時間変動に関する測定結果、第11章はその測定結果を用いたニュートリノ振動解析や物質効果に関する解析結果、第12章はSK-III及びその他のニュートリノ実験の結果の比較やそれらの統合解析によるニュートリノ振動パラメーター測定等の物理的な議論、第13章は結論について述べている。

太陽は、核融合反応で燃焼する過程で生ずる⁸Bのベータ崩壊に起因する電子ニュートリノ(最大エネルギーが約15MeV)を放出する。標準太陽モデルによると、地球上では約 $6 \times 10^6 / \text{cm}^2 / \text{sec}$ の⁸B太陽ニュートリノが観測されることが予想されている。現在までの様々な太陽ニュートリノ実験はそのフラックス予想値の約40%の太陽ニュートリノしか観測していないが、その欠損はニュートリノ振動現象に起因すると考えられている。ニュートリノがスーパーカミオカンデ検出器中の水に含まれる電子と弾性散乱し、反跳電子が水中で発するチェレ

シコフ光を 11129 本の直径 20 インチ光電子増倍管で検出し、その電荷及び時間情報から事例のエネルギー及び方向を算出するリアルタイム計測実験である。論文提出者はレーザーダイオードを用いた新しい時間校正装置を導入し、系統誤差全体の主たる要素であった観測装置の有効体積に関する系統誤差を約 40% に激減することに成功した。また、低エネルギー事例の位置的なクラスターと時間的なクラスターの相関に着目して低エネルギー雑音事例を削減する解析ツールを新たに開発することにより、それまでは 5MeV 以上に限られていた解析エネルギー閾値を 4.5MeV まで下げることも成功した。これらの新しい時間校正装置及び雑音低減ソフトウェアの導入により、SK-I と比較して SK-III は約 1/3 の統計量ながら、世界最高精度で ^8B 太陽ニュートリノフラックスの測定 ($2.28 \pm 0.04_{\text{stat.}} \pm 0.05_{\text{syst.}}$) $\times 10^6/\text{cm}^2/\text{sec}$ を行った。SK-III、世界の様々な太陽ニュートリノ実験及び原子炉反ニュートリノ実験のデータを組み合わせて総合解析することにより、ニュートリノ振動パラメーターの範囲を世界で一番強く制限することにつながった。ニュートリノ振動の物質効果に関して有意な結果を出すには到らなかったが、論文提出者の導入した新しい時間校正装置及び低エネルギー雑音事例ソフトウェアにより、SK-I のデータの再解析と数年分の新しいデータを組み合わせることにより、ニュートリノ振動の物質効果（エネルギースペクトルの低エネルギー側での上方向への歪み）が 3σ 程度で検証できる道を切り拓いたことになる。

以上のように、本論文は 2006 年に全面復旧したスーパーカミオカンデ検出器 (SK-III) を用いて、 ^8B 太陽ニュートリノフラックスを世界最高精度で測定した結果に関する研究であり、宇宙線物理学および素粒子実験物理学に大きく貢献するものである。したがって、審査員一同は本論文が博士（理学）の学位論文として合格であると判定した。なお、本論文の実験はスーパーカミオカンデ実験という大きなグループ実験であるが、論文提出者が主体となって導入した新しい時間校正装置による系統誤差の激減及び低エネルギーでの雑音を除去する解析ツールの開発を行った。これらの貢献により、スーパーカミオカンデ実験は太陽ニュートリノを世界最高感度で観測することが可能となり、ニュートリノ振動の物質効果の観測可能性を射程距離（数年後）捕らえることとなった。従って、論文提出者のスーパーカミオカンデ実験及び論文に関する寄与が十分であると判断した。また、共同実験代表者から論文内容の結果を学位論文として提出することについて了承を得ているものであることを確認した。