

論文審査の結果の要旨

氏名 中野佑樹

ニュートリノ振動現象が検証された現在、ニュートリノ観測の次のステップとして、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、2008年の行われた新フロントエンドエレクトロニクスへの入れ替え後から始まるスーパーカミオカンデ検出器 SK-IV の観測データ（観測期間は2008年9月から2015年4月に亘り、live timeは2055.5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14章からなり、第1章はニュートリノの性質とニュートリノ振動に関する導入部、第2章は動機と共に標準太陽模型・太陽ニュートリノ、太陽ニュートリノ観測実験のレビュー、水チェレンコフ検出器によるニュートリノ信号検出原理、第3章はスーパーカミオカンデ検出器のハードウェア構成詳細とモンテカルロシミュレーション、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章は検出器の時間・エネルギースケールや水の透過率等の校正方法とその系統誤差の評価、第6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7章はSK-IVで導入された新フロントエンドエレクトロニクスの低エネルギー事象に対するトリガー効率の測定、第8章は低エネルギー事象に関与するバックグラウンド事象（主としてラドンガスからのベータ線）の測定とその発生源の特定及び削減の見通し、第9章は最終データサンプルからの太陽ニュートリノ信号抽出方法、第10章は系統誤差の評価に関する詳細、第11章はSK-IV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やニュートリノフラックスの昼夜差効果に関する測定結果、第12章はSK-I+II+III+IVで取得された全データを用いた太陽ニュートリノ振動解析や物質効果に関する解析結果及びニュートリノフラックスの年変化の測定結果、第13章はSK-I+II+III+IV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測定等の物理的な議論や物質効果に関する将来の見通し、第14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 ${}^8\text{B}$ 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。 ${}^8\text{B}$ 太陽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ンコフ光を 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。

論文提出者は新エレクトロニクス導入後の **SK-IV** に関して低エネルギー領域でのトリガー効率の測定及び測定器の様々な校正や系統誤差の評価を行い、それまでは 4MeV 以上に限られていた解析エネルギー閾値を 3.5MeV まで下げることに成功した ($3.5\text{--}4\text{MeV}$ の観測データは世界最高精度)。また、**SK-I+II+III+IV** の太陽ニュートリノ観測データを解析することにより、地球での物質効果であるフラックスの昼夜差(昼・夜)について、 $(-3.3 \pm 1.1_{\text{stat.}} \pm 0.8_{\text{sys.}})\%$ という有限値を 2.4σ の有意性で観測し、物質効果を示唆する結果を得た。さらに、ニュートリノ振動の太陽での物質効果(エネルギースペクトルの低エネルギー側の **upturn**) に関しては有意な結果を出すには到らなかったが、バックグラウンド(ラドンガス)の混入源が検出器の給水系の一部であることを同定し、その削減方法の目途が立ったため、今後約 6 年分の新しいデータを加えることにより、エネルギースペクトルの **upturn** が 3σ 程度で検証できる道を切り拓いたことになる。さらに、ニュートリノフラックスの年変化がないことやニュートリノ振動パラメーターの測定に関する高精度の実験結果を出した。

以上のように、本論文はスーパーカミオカンデ検出器(**SK-IV**)を用いて、 ${}^8\text{B}$ 太陽ニュートリノフラックスを測定した結果に関する研究であり、宇宙線物理学及び素粒子実験物理学に大きく貢献するものである。

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 **SK-IV** の新エレクトロニクスのトリガー効率の測定、様々な測定器校正、系統誤差の評価等により、太陽ニュートリノを 3.5MeV から観測することが可能となった。また、低エネルギー領域のバックグラウンドであるラドンガスの混入源の測定・特定を行い、その削減方法に見通しをつけたことよってニュートリノ振動の太陽での物質効果の観測可能性を射程距離に(約 6 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。

従って、審査員一同は博士(理学)の学位を授与できると認める。