

1. 研究課題名：原子炉起源、地球起源反電子ニュートリノと太陽起源電子ニュートリノの高精度精密測定
2. 研究期間：平成16年度～平成20年度
3. 研究代表者：鈴木 厚人（東北大学・名誉教授）

4. 研究代表者からの報告

(1) 研究課題の目的及び意義

素粒子物理研究を大きく発展させたニュートリノ振動観測のなかで、原子炉反電子ニュートリノの振動観測に成功したカムランドは、同時にもっとも高精度なニュートリノ質量情報をもたらした。ニュートリノ質量のなりたちや粒子・反粒子対称性の研究を進展させ、より根源的な素粒子・宇宙の理解を得るには、振動パラメータの高精度化は最重要課題であり、その重要な一翼を担うカムランドでの系統誤差の縮小や統計精度の向上には大きな期待が集まっている。

また、ニュートリノ伝搬の理解とともにカムランドが開拓したニュートリノの地球内部観測への応用は、全く新しい地球観測手法の実現として高く評価されており、形成された新分野は同原理の多くの新計画の提案など活発な広がりを見せている。カムランドにおいても、観測精度の向上と最前線実験としてのバックグラウンドの理解やその除去法の確立を行い、ニュートリノ地球科学をさらに推進するよう期待がかかっている。液体シンチレータの高純度化によるバックグラウンド除去は、同時に低エネルギー太陽ニュートリノの実時間観測を可能にし、カムランドでのさらなる高純度化の実現とそれによるニュートリノ天文学の推進にも強い期待がかかる。

本研究は、観測データの蓄積および解析手法の改良による統計精度向上、また位置・エネルギー較正の改善による系統誤差の向上、さらに液体シンチレータの高純度化、データ収集用電子回路のデッドタイムフリー化により、これらの研究課題を遂行する。

(2) 研究の進展状況及び成果の概要

カムランドの順調稼働により、ニュートリノ振動の証拠を得た時点と比べ3倍の期間のデータを蓄積した。また平成18年度より導入した、検出器内の任意の位置に放射線源を配置する装置により、これまで最大の系統誤差要因であった位置・エネルギー再構成における位置依存の不定性を格段に縮小することに成功し、同時に解析プログラムの最適化と併せて有効体積も3割以上拡大することに成功した。また、地球反ニュートリノ観測における最大のバックグラウンドであり、反応断面積の不定性による評価誤差が大きかった $^{210}\text{Po}(\alpha, n)^{13}\text{C}$ 反応に対して、PoC線源を作成してカムランド内で直に測定することにより、評価の不定性を大幅に改善することに成功した。これらの成果により、平成19年6月までの時点で約1600事象の反ニュートリノ候補を観測し、ニュートリノ振動および地球ニュートリノの高精度精密測定が可能になった。

また、低エネルギー太陽ニュートリノ観測を実現するための重元素除去装置・放射性希ガス除去装置の建設・試験運転を完了し、平成19年6月より高純度化作業を開始した。効率向上には新旧液体シンチレータの混合を避けるため、密度・温度の制御を精密に行う必要があり、0.01%以内の精度での密度制御と適切な温度管理により新旧の層を維持できることを確認した。また、十分な性能を持つデッドタイムフリー電子回路の試作にも成功し、純化作業の継続とともに、電子回路を実導入し、平成20年度の低エネルギー太陽ニュートリノ初観測を目指す。

5. 審査部会における所見

A (現行のまま推進すればよい)

カムランドにおけるニュートリノ検出の高精度精密測定に向けて、装置開発等、研究は順調に進められている。その結果、原子炉起源反電子ニュートリノ振動の観測からはニュートリノ質量情報の高精度精密測定に成功し、また、地球起源反電子ニュートリノの高精度測定も順調に進行して、大きな成果を上げている。特に後者に関しては、物理学のみならず地球惑星科学における新しい展開が期待される。低エネルギーの太陽起源電子ニュートリノの測定に向けては、液体シンチレータ内の放射性物質の徹底的除去を行う高純度化作業が着実に進行中で、これにより、太陽ニュートリノの観測の実現が期待される。以上から、現行のまま研究を推進すれば良いと判断した。