

東北大学大学院理学研究科物理学専攻・数学専攻・天文学専攻

21世紀 COE 拠点形成プログラム

「物質階層融合科学の構築」

平成15年度リサーチ・アシスタント (RA) 研究報告書

氏名	清水 格
学籍番号	
専攻	東北大学大学院理学研究科 物理学 専攻
学年	博士課程後期3年の課程 1 年
指導教官	井上 邦雄
研究題目	原子炉を使ったニュートリノ振動パラメータの精密測定
I. 研究発表 (学術雑誌に15年度中に発表または掲載決定したもの、および15年度中の学会等での本人の発表)	
平成15年9月20日～22日 KamLAND Collaboration Meeting (東北大学)	
・カムランドにおけるバックグラウンドの現状	
・エネルギー校正の改善	
・チャージに基づいた位置校正	
・データクオリティ	
平成15年11月1日～2日 KamLAND Analysis Meeting (Lawrence Berkeley National Laboratory University)	
・原子炉反ニュートリノへのバックグラウンドの見積もり	

II. 研究活動結果の概要

私は、1,000トン液体シンチレータを用いた低エネルギーニュートリノ・反ニュートリノ検出実験（KamLAND 実験）に2000年より参加し、装置の建設、次世代の液体シンチレータ開発、原子炉反ニュートリノによるニュートリノ振動現象の解析などの研究活動を行ってきた。

KamLAND 実験は、約170 km離れた原子炉からの反電子ニュートリノを観測することでニュートリノ振動の検証をする。そのため、これまで最大1 kmでの原子炉ニュートリノ実験を大きく上回る規模のものとなり、まさに大混合角解に対して最高感度の実験となる。実験装置は、岐阜県神岡の地下約1000 mのカミオカンデ跡地にあり、中心部に1200 m³の液体シンチレータ槽とその周りを取り囲むバッファオイル槽、純水槽などにより環境放射線によるバックグラウンドを減らし、極低放射線実験装置を実現している。

原子炉反ニュートリノは、液体シンチレータ中で逆β崩壊し、先発陽電子の発光と陽子の熱中性子捕獲に伴う2.2 MeVのγ線の遅発発光を遅延同時計測することにより検出される。2002年3月4日から10月6日までのデータを用いた解析の結果、観測された原子炉ニュートリノ事象数と期待値の比は 0.611 ± 0.085 (stat.) ± 0.041 (syst.) であり、99.95%の信頼度でニュートリノの減少を確認した。この結果によって、振動解は大混合角解に決定したが、今回の研究ではさらにニュートリノ振動パラメータである質量の2乗差や混合角を精密測定することを目標としている。そのためには、有効体積外側でのエネルギー、位置の再構成の系統的なずれによる系統誤差を減少させ、有効体積を拡大し統計誤差を減少させる。

有効体積外側でのエネルギーの系統誤差は1.5%程度あり、これを改善するためにはエネルギー再構成の精度を向上させる必要がある。エネルギーの再構成は、イベントの発生した位置を考慮し、中心からの距離などで補正する必要があり、今回新たに発光の減衰長、光電子増倍管への入射角、検出器の影などによる補正を行った。これにより、系統誤差を1.0%に縮小することに成功した。この結果、これまでの半径5 mの有効体積が半径5.5 mに拡張することができ、統計量は1.3倍になった。

有効体積拡大のためのキャリブレーションには、熱中性子捕獲に伴う2.2 MeVのγ線以外にもミュオンによるからのβ線なども使うことによって広いエネルギーでの再校正能が確認できた。今後、さらにデータが増えることにより、より高い精度でのキャリブレーションが実現できる。原子核破碎によって生成された放射性原子核は、原子炉ニュートリノに対するバックグラウンドになるが、それ自身、生成過程、生成比などは原子核物理の観点から重要な情報を含んでいる。この放射線原子核の解析を行うと同時に、これを使ったキャリブレーションの手法を確立したことは、今後の研究に大きく役立つものと期待できる。