

科学研究費補助金（特別推進研究）公表用資料
〔研究進捗評価用〕

平成20年度採択分

平成23年5月25日現在

研究課題名（和文）原子炉ニュートリノによるニュートリノ
物理の新展開

研究課題名（英文）New Development of Neutrino Physics by
Reactor Neutrinos

研究代表者

末包 文彦 (SUEKANE FUMIHIKO)

東北大学・ニュートリノ科学研究センター・准教授



研究の概要:本研究の目的は、原子炉ニュートリノを用いて第3のニュートリノ振動を検出し、現在ニュートリノ研究で最も火急の課題である θ_{13} と呼ばれるニュートリノ混合パラメータの測定を行い、ニュートリノ物理に新しい展開の道を拓くことである。

研究分野:素粒子実験

科研費の分科・細目:物理学, 素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード:ニュートリノ, ニュートリノ振動, 原子炉, DoubleChooz, 混合角, θ_{13}

1. 研究開始当初の背景

研究開始までの十年は、ニュートリノ振動の研究が劇的に進み、それまで全く分かっていなかったニュートリノの質量や混合に多くの知見が得られつつあった。ニュートリノは、クォークと比較して、その質量が異常に小さく、測定されている混合角は大きいという特徴を持っている。このような違いは、自然の構造の何らかの現れであると考えられる。現在ニュートリノの理解はクォークに比べるとまだまだ浅いため、自然の構造を解明するためにはニュートリノの研究を進め、その理解を深めることが重要である。しかしニュートリノの CP 非対称効果の測定・質量階層性の決定などの重要な課題を解決するためには、まず、未だ測定されていない第3のニュートリノ混合角 θ_{13} 角の値を知ることが不可欠である。そのため、新しいニュートリノ振動を測定し、 θ_{13} 角の検出とその精密測定を行い、ニュートリノ研究に新しい展開を拓くことが強く求められていた。その中で本研究グループは原子炉ニュートリノによる θ_{13} 角測定の重要性と可能性を指摘し、実験の R&D を進めていた。

2. 研究の目的

(1) θ_{13} 角は、3種類あると考えられているニュートリノ混合角のうちの一つであり、その有限値が確定していない最後の混合角である。その大きさは、これまでの実験的探索に

より上限値 $\sin^2 2\theta_{13} < 0.15$ が得られており、小さいことからその検出には高精度の測定が必要となる。本研究ではフランスの Chooz 原子力発電所にニュートリノ検出器を設置することで新しいニュートリノ振動を測定し、従来の実験の約5倍の精度である $\delta \sin^2 2\theta_{13} = 0.03$ での探索を行うことが目的である (Double Chooz 実験) 以下 DChooz と呼ぶ。 (2) 原子炉ニュートリノ実験には θ_{13} 角の測定以外にも、質量階層性の決定、 θ_{12} 角の精密測定、加速器実験と組み合わせて CP 非対称効果の早期検出などの可能性があるため、DChooz 後の原子炉ニュートリノ実験の展開を見据え、次世代の精密ニュートリノ検出器の開発を行う。

3. 研究の方法

(1) 本研究は、Chooz 原子力発電所の原子炉から 400m (Near 検出器) と 1km (Far 検出器) の場所に同一構造を持つ2台の高精度ニュートリノ検出器を設置し、両検出器で測定されるニュートリノのスペクトルを比較する。Near 検出器で振動開始前の原子炉ニュートリノスペクトルを測定し、Far 検出器でニュートリノ振動が加わったニュートリノスペクトルを測定し、両者を比較することにより系統誤差を相殺して θ_{13} 角を精密に測定する。この研究のため本研究グループはこの実験装置の心臓部である光電子増倍管 (PMT) システムとデータ収集システム、LED キャリブレーションなどを担当し、その開発、建設及

び運用を行う。また日米欧の3つのデータ解析軸の一つになり信頼性のたかい物理結果を出す。

(2) 将来の原子炉ニュートリノ実験の very near 検出器の開発を行う。これまで行っていた 1m^3 のニュートリノ検出器の R&D を発展させバックグラウンド除去能力の高いニュートリノ検出器を開発する。

4. これまでの成果

(1) これまでは、主に Far 検出器の建設を行い、検出器の主要部分を完成させ、現在物理データを収集・解析中である。

DChooz 検出器では、ニュートリノ反応により生じるシンチレーション光を検出するため合計 390 本の 10 インチ PMT を使用する。本研究グループは、低バックグラウンドの 10 インチ PMT を浜松ホトニクスと共同で開発した。H20 年度にはこの PMT の製作、動作テストと高電圧の設定などを行った。H21 年 4 月から 7 月にかけて、フランスの Chooz 原子力発電所敷地内にある地下実験室で検出器本体への PMT の設置を行った。また、PMT に高電圧を供給する高電圧電源システムを実験現場に設置し、それらを正常に稼働させるとともに、制御・モニターシステムを構築した。さらに LED ライトパルサーによる較正装置を導入、設置しその調整を行った。並行してデータ収集システムのオンラインソフトウェアの開発と整備を行った。測定器建設後は LED 光を用いて各 PMT のゲインやタイミングの較正を行いデータの解析を行っている。H22 年 12 月に Far 検出器の主要部分の建設を終了し、ヨーロッパでデータ収集開始のプレスリリースを行った(下記 URL 参照)。その後、コミショニングを、本グループが中心の一つとなり行い、4月に物理データの収集を開始した。

解析関係ではシミュレーションによって、 θ_{13} 角測定のための解析手法の開発を行って来た。データ収集開始後はデータ解析に集中し、H23年2月のコラボレーションミーティングでは、データ収集開始後2ヶ月弱できれいな原子炉ニュートリノ候補事象を示し、検出器が正常に動作していることを確認した。まだ公表前なので詳しいことを述べることはできないが、これまでの予備的(preliminary)な解析によると、バックグラウンドが少ないニュートリノ事象を順調に得つつある。

Near 検出器のためのトンネルの掘削は H23 年 4 月より開始された。

(2) 原子炉ニュートリノ検出器の開発では、 0.2m^3 の液体シンチレーター検出器で高速中性子バックグラウンドを波形識別方で除去することに成功した。この R&D は、ニュートリノによる原子炉未申告運転監視に応用で

きる可能性があるため、国際原子力機関 (IAEA) に注目され、H20 年秋に IAEA 本部で開催された安全保障措置のための新技術の研究会に招待された。また H22 年 8 月には、世界の研究者の参加の下、東北大学でニュートリノの応用に関する研究会「AAP2010」を開催した(下記 URL 参照)。

5. 今後の計画

(1) H23 年度は、いよいよ最初の物理結果を出せる見込みである。年度前半は、秋頃の発表を目指してデータ解析に力をいれる。

解析と平行して Near 検出器の建設準備を行う。そのため Near 検出器用の PMT やデータ収集システムの整備を行う。現在 Chooz で行われている Near 検出器のトンネルの削孔は H23 年度末に終了し、Near 検出器の建設を始める予定である。Near 検出器の建設は H24 年度中に終え、Near+Far の検出器での高精度測定を開始する予定である。

(2) ニュートリノ検出器開発では、高速中性子除去に加え、放射線シールドにボロンを入れ、熱中性子の除去を行うことと波形識別による宇宙線事象の除去のテストを行うことを計画している。

6. これまでの発表論文等

(1) T.Konno, A.Cabrera, M.Ishitsuka, M.Kuze, Y.Sakamoto, Online Data Monitoring Framework Based on Histogram Packaging in Network Distributed Data Acquisition Systems, The International Conferences on Computing in High Energy and Nuclear Physics (CHEP) 2010 proceeding

(2) M.Ishitsuka, The Double Chooz reactor neutrino experiment, Proceedings of Science (35th ICHEP conference) 2010

(3) F.Suekane, Prospects of reactor neutrino experiments, Progress in Particle and Nuclear Physics, 64, (2010) 178-180

(4) F.Suekane, for DoubleChooz group, A High Precision Reactor Neutrino Detector for the Double Chooz Experiment, Nucl.Instrum.Meth. A623 (2010) 440-441.

ホームページ等

* DoubleChooz-Japan ホームページ
<http://dchooz.titech.jp.hep.net/>

* プレスリリース

http://doublechooz.in2p3.fr/Status_and_News/Press/Press_release_Dec2010.pdf

* Applied Antineutrino Physics Workshop
<http://www.awa.tohoku.ac.jp/AAP2010/>