

平成 22 年 4 月 30 日現在

研究種目：基盤研究（A）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19204025
 研究課題名（和文）CHOOZ 原子炉を用いたニュートリノ振動角 θ_{13} の精密検出
 研究課題名（英文）Precise measurement of θ_{13} with CHOOZ nuclear reactor

研究代表者
 川崎 健夫（ KAWASAKI TAKEO ）
 新潟大学・自然科学系・助教
 研究者番号：00323999

研究成果の概要（和文）：

本研究の目的は、原子炉ニュートリノを用いる国際共同実験：ダブルショー実験を推進し、ニュートリノ振動角 θ_{13} を測定することである。日本グループが担当する光電子増倍管、データ収集系コントロールシステムの準備はすべて問題なく完了した。平成22年夏の実験開始後に速やかにデータ解析を始めるために、ソフトウェアツールの準備・解析グループの体制作りも進んでおり、振動角 θ_{13} を測定するための準備を完了させるという本研究の目的が十分に達成された。

研究成果の概要（英文）：

The aim of this study is to promote Double Chooz experiment, where we will detect reactor neutrino at Chooz nuclear power plant in France, and to measure a mixing angle, θ_{13} . We have completed the preparation and the installation of Photo Multiplier Tubes and Data Acquisition control system to Double Chooz detector without any problems. We are also ready to start data analysis after the experiment started in year 2010. The primary goal of this study has been achieved as scheduled.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	18,500,000	5,550,000	24,050,000
2008 年度	10,000,000	3,000,000	13,000,000
2009 年度	9,000,000	2,700,000	11,700,000
年度			
年度			
総計	37,500,000	11,250,000	48,750,000

研究分野：素粒子物理学(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：素粒子実験，ニュートリノ振動，原子炉ニュートリノ， θ_{13} ，ダブルショー実験

1. 研究開始当初の背景

素粒子物理学の標準模型において、3種類あるニュートリノの質量はいずれもゼロであるとされてきた。しかしスーパーカミオカンデ（SK）や K2K 実験などによるニュートリノ振動の観測によって、非常に小さいがゼロで無い質量を有している証拠が得られた。一方、その質量の小ささの源と、混合角 θ_{12} , θ_{23} , θ_{13} で表される混合の大きさの解明という新しい課題を生み出した。

これらの混合角のうち二つ (θ_{12} , θ_{23}) については既に、SK、K2K、KamLAND その他の実験により既に測定され、その混合が非常に大きいことが分かっている。しかしながら、残る一つ (θ_{13}) については、原子炉ニュートリノを用いた CHOOZ 実験によって、非常に小さいことは分かったが、有限の測定値を得ることができなかった。未だ測定されていないニュートリノ振動パラメータ θ_{13} を精密に測定することは、現在の素粒子物理学では、最も重要かつ緊急の課題である。

2. 研究の目的

- (1) 原子炉ニュートリノを用いた θ_{13} の測定は、比較的安価で、他のパラメータによる不定性無く、速やかに行えることが知られている。本研究は、フランスの Chooz 原子力発電所の原子炉ニュートリノを用いて測定を行おうとする、ダブルショー（Double Chooz。以下、DC）実験を推進し、ニュートリノ物理の喫緊の課題に取り組み、結果を出すことである。
- (2) DC 実験はフランスを初めとする国際共同研究で行われるが、その中で日本グループは光電子増倍管(以下、PMT)に関する一切について責任を持つことになっている。その責任を果たすことと、シミュレーションを用いてデータ解析の準備を進め、実験データが得られた段階での解析をする為の環境・体制を整え、速やかに初期の結果を出すことが本研究の目的である。

3. 研究の方法

- (1) 上記で述べたように、日本グループは光電子増倍管に関する一切に関する責任を持つことになっている。そのため、必要な性能を満たす PMT の開発する。また、その基本性能の測定方法の確立と性能の確認をすることを目的として測定システムを構築する。

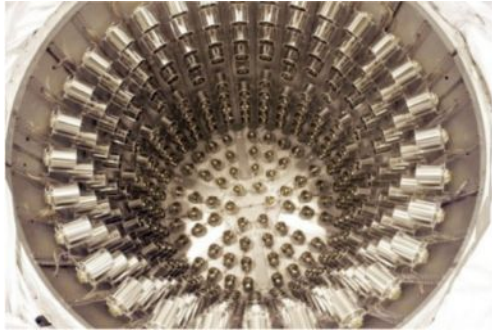
- (2) DC 実験に使用する全数(~400)の PMT の調達と性能の確保、実験施設への運搬、検出器へのインストールを行う。
- (3) 実験開始後、速やかに θ_{13} の測定を行うため、シミュレーションによって実験データ解析に関する研究を行う。また、評価した PMT の性能は、DC 実験で使用されるシミュレーション環境へ反映させる。
- (4) DC 実験で用いる、データ収集システムを、研究者がコントロールするための「ランコントロールシステム」の開発を行う。

4. 研究成果

- (1) ニュートリノ実験における背景事象を飛躍的に削減するために、浜松ホトニクス社と共同して、ガラス中の放射性物質がこれまでの 1/10 に削減された新しい PMT の開発に成功した（平成 19 年度）。これにより、当初からの PMT に対する要求を、余裕を持ってクリアすることができた。下表の数字は、DC 実験で使用する全 PMT (390 本) に換算した、放射性元素の量である。

	Th ²³²	U ²³⁸	K ⁴⁰
旧PMT	5.71×10 ² [Bq]	1.46×10 ³ [Bq]	3.12×10 ² [Bq]
新PMT	5.41×10 ¹ [Bq]	4.25×10 ² [Bq]	2.15×10 ¹ [Bq]

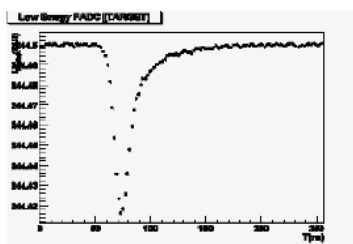
- (2) 平成 20 年度に、インストールするすべての PMT の詳細な性能評価を行った。まず、2種類の測定システムを開発した。1つは、納品された各 PMT の性能の詳細な評価に使用し、もう1つは、製作後マックスプランク研究所（ドイツ）へ移送し、PMT が輸送時にダメージを受けていないことをチェックした。これらシステムにより、平成 21 年中に DC 検出器へインストールするために必要な、PMT400 本の詳細な性能評価を行い、要求を満たす PMT を選別した。
- (3) DC 実験グループでは H20 年度末から検出器の建設作業を開始した。平成 21 年初頭より、上記の PMT のインストールを行った。インストール作業は 5~7 月に行われ。すべての PMT は問題なく検出器内へ設置され、その後のテストにおいて全数正しく動作していることが確認された（次頁の図は、PMT が DC 検出器にインストールされた状態である）。



- (4) DC 検出器の PMT の詳細な振る舞いを再現するシミュレータを構築した。これは、光を検出する量子効率や、アフターパルスと呼ばれる疑似信号など、考えうるすべての振る舞いを取りこんだものである。上記(2)で測定された PMT の性能も、すべてシミュレータへインプットされた。下図は、検出器の中央で起こった事象をシミュレートしたものである。



このとき、1つの PMT からの信号波形は下図のように精密にシミュレートされている。



- (5) DC 検出器では、PMT からの信号は、2つの独立したデータ収集システムによって収集される。そのため、これらのシステムを統合してコントロールするシステム（ランコントロールシステム）の構築を行った。構築されたシステムは、21年度秋ごろに実験サイトに設置されたデータ収集用計算機システムにインストールされた。DC 実験は 22 年夏ごろに開始するが、このシステムはすでに問題なく稼働

している。

- (6) 液体シンチレータの性能測定についての研究を進めた。DC 検出器では、液体シンチレータの性能は、ニュートリノ振動の測定において、信号事象の検出効率や、背景事象の除去能力に影響し、実験データの解析方法にも密接に関連する。そのため、21, 22 年に計 3 回、新潟大学アイソトープ総合センターにおいて、中性子線源を用いて液体シンチレータの性能テストを行った。結果、粒子の種類による信号波形の違いを見分けるための新しい解析方法を開発した。その結果は日本物理学会（岡山大学 3 月 19 - 22 日）において発表された。
- (7) DC 実験グループでは、得られた実験データを日欧米の 3 地域のグループで独立して解析をする予定である。そのため、国内の共同研究者のアクティビティをまとめるための解析グループを立ち上げた。頻繁にミーティングを行い、実験開始時に速やかに θ_{13} の測定を行うために、データ解析の戦略を議論している。
- (8) DC 検出器建設中の 21 年度 11 月に、ニュートリノを検出するターゲットとなるアクリル容器に、微小ではあるが傷が発見され、その補修に時間を要したため実験開始のスケジュールが、当初の 21 年度から半年程度遅れ、22 年度となった。しかし、日本グループの担当部分は、すべて問題なく完了し、また、データ解析のための準備も進んでいる。H22 年夏の実験開始後は速やかに θ_{13} が測定できる状態である。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 4 件）

- ① T.Kawasaki, Double Chooz, AIP Conf. Proc., 査読無、981、2008、202-204
- ② 末包文彦、原子炉ニュートリノ実験：Double Chooz、高エネルギーニュース（高エネルギー物理学研究者会議）、査読無、26 号 No.3、2007、210-218
- ③ Y.Sakamoto, H.Furuta, H.Tabata, F.Suekane and Y.Nagasaka、VPN Based Data Acquisition System for KASKA Prototype Detector、Proceeding of 15th IEEE NPSS Real Time Conference 2007、査読無、PS2A010、2007、なし（電子媒体のため）
- ④ J. Maeda, T.Matsubara, K.Nitta, and M.Kuze、Development of cosmic-ray

tracker for KASKA neutrino oscillation experiment、Physica、査読有、E40、2007、425-429

[学会発表] (計 7 件)

- ① 坂本泰伸、Double Chooz 実験オンラインソフトウェアシステムの開発、日本物理学会、2010年3月22日、岡山大学
- ② 香山翔・住吉孝行・川崎健夫、シミュレーションを用いた Double Chooz 実験における θ_{13} 感度の評価、日本物理学会、2010年3月22日、岡山大学
- ③ Takeo Kawasaki、Status of the Double Chooz Experiment、BEYOND THE STANDARD MODELS OF PARTICLE PHYSICS, COSMOLOGY AND ASTROPHYSICS、2010年2月2日、ケープタウン大学 (南アフリカ共和国)
- ④ 佐藤文孝・住吉孝行・W. Brandon・Y.Kamyshkov、Double Chooz 実験における PMT 設置時の PMT 最終試験の報告、日本物理学会、2009年9月10日、甲南大学
- ⑤ 石塚正基、Double Chooz 実験計画の現状と θ_{13} 測定の見通し、日本物理学会、2009年3月30日、立教大学池袋キャンパス
- ⑥ 今野智之・久世正弘・松原綱之・住吉孝行・遠藤裕介、Double Chooz 実験に用いる 10" PMT の大量性能検査の現状報告、日本物理学会、2008年9月21日、山形大学小白川キャンパス
- ⑦ Takeo Kawasaki、Status of the Double Chooz Experiment、9th International Workshop on Neutrino Factories, Superbeams and Betabeams (NuFact07)、2007年7月6-11日、岡山大学

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

<http://dchooz.titech.jp/hep.net/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田村 詔生 (TAMURA NORIO)
新潟大学・自然科学系・教授
研究者番号：00025462
川崎 健夫 (KAWASAKI TAKEO)
新潟大学・自然科学系・助教
研究者番号：00323999

(2) 研究分担者

川崎 健夫 (KAWASAKI TAKEO)
新潟大学・自然科学系・助教
研究者番号：00323999
末包 文彦 (SUEKANE FUMIHIKO)
東北大学・理学研究科・准教授
研究者番号：10196678
住吉 孝行 (SUMIYOSHI TAKAYUKI)
首都大学東京・理工学研究科・教授
研究者番号：30154628
久世 正弘 (KUZE MASAHIRO)
東京工業大学・理工学研究科・准教授
研究者番号：00225153
原 俊雄 (HARA TOSHIO)
神戸大学・理学研究科・准教授
研究者番号：50156486
宮田 等 (MIYATA HITOSHI)
新潟大学・自然科学系・准教授
研究者番号：80192368
坂本 泰伸 (SAKAMOTO YASUNOBU)
東北学院大学・教養学部・准教授
研究者番号：60350328
福田 善之 (FUKUDA YOSHIYUKI)
宮城教育大学・教育学部・准教授
研究者番号：40272520

(3) 連携研究者

原 俊雄 (HARA TOSHIO)
神戸大学・理学研究科・准教授
研究者番号：50156486
宮田 等 (MIYATA HITOSHI)
新潟大学・自然科学系・准教授
研究者番号：80192368
坂本 泰伸 (SAKAMOTO YASUNOBU)
東北学院大学・教養学部・准教授
研究者番号：60350328