

# 論文審査の結果の要旨

氏名 竹馬 匠 泰

本論文は、ニュートリノ・原子核反応を実験的に研究したものであり、全9章からなる。

第1章は導入であり、研究の背景が概観される。ニュートリノ振動が発見されて以来、様々な実験がニュートリノ振動パラメータを測定してきた。T2KはJ-PARCでミュー粒子ニュートリノビームを使い、スーパーカミオカンデで測定する長基線ニュートリノ振動実験である。T2Kは電子ニュートリノ出現とミュー粒子ニュートリノ消失を観測し、ニュートリノセクターにおけるCP非保存観測における目標値を設定した。CP非保存検証のためには反ニュートリノビームによる測定を行うが、ニュートリノ振動を正確な測定にあたり、ニュートリノ・原子核相互作用の理解が不十分であることからくる系統誤差が問題であった。

第2章ではニュートリノ振動の原理と測定の歴史、第3章でニュートリノ・原子核相互作用の概略と現時点での理論的・実験的到達点が説明される。そのなかで、本研究の目標は、T2K実験で用いるニュートリノのエネルギー領域であるサブGeVで反ニュートリノと水および炭化水素標的に対するニュートリノ荷電カレント反応を測定することで、反ミュー粒子ニュートリノ相互作用の理解を向上するための新しいデータを提供することと設定された。

第4章では、本研究の目的を達成するためにJ-PARCで行った実験について記述されている。このため、学位申請者らは新たに検出器WAGASCIを開発した。WAGASCIはスーパーカミオカンデ同様、水を標的とするニュートリノ検出器であり、0.6トンの水と3mm厚のプラスチックシンチレータで構成されている。WAGASCIは、標的領域内の大部分(80%)が水である一方で、水標的からの散乱イベントを大角度アクセプタンスで飛跡構築する能力を持つ。これを炭化水素標的モジュールとして使用されるProton Moduleと後段飛跡検出に用いるINGRIDモジュールと組み合わせてWAGASCIによる最初のデータ収集が遂行された。

第5章では解析の方針、第6章でイベント選択の詳細がそれぞれ示される。終状態にパイ粒子や陽子がない荷電カレント相互作用チャンネル( $CC0\pi0p$ )に注目する。このチャンネルは、T2Kニュートリノ振動解析における主な信号である荷電カレント準弾性(CCQE)チャンネルの特性に対応する。終状態はミュー粒子のみとなり、この飛跡を検出する。

第7章では反応断面積の算出と誤差の検討について詳述している。上記飛跡の数とシミュレーションで求めた反ニュートリノビームフラックスが用いられた。炭化水素起源

のイベント数は Proton Module で観測されたイベント数に基づいて算出される一方で、多くのバックグラウンドイベントはシミュレーションによって推定され、選択されたイベント数から差し引かれた。この断面積抽出には、D'Agostini 展開方法が採用された。

水、炭化水素標的それぞれに対する  $CC0\pi0p$  反応断面積の絶対値・断面積比と誤差が示された。統計誤差は支配的な誤差のひとつであり、反応断面積の絶対値について 5～6%、断面積比では約 8% となった。系統誤差は反ニュートリノビームフラックスの予測、ニュートリノ相互作用模型、検出器応答に分けて議論された。このうち断面積絶対値は反ニュートリノフラックス起因の約 10% の不定性をもつが、断面積比を取る際に相殺される。ニュートリノ相互作用模型からの誤差は、主に検出効率の推定とバックグラウンドイベントの差し引きに影響する。解析に関連するシミュレーション内の各変数を、現時点での模型の理解を反映して変化させることで、系統誤差が見積もられている。また、はじめて角度分布が議論されている。断面積絶対値の測定データが代表的なシミュレーション NEUT の予言と 1 シグマの範囲で一致することが示された。また角度分布についてもシミュレーションの結果に沿うことが示された。

第 8 章では解析手法の正当性をシミュレーションに基づき検証している。

第 9 章は結論と総括である。あらためて測定結果が示されるとともに、T2K 反ニュートリノビームを用いた測定の中で、ニュートリノ相互作用のための水と炭化水素ターゲット間の直接の関係を示す最初のデータであることが再度位置付けられた。T2K ニュートリノ振動解析においては遠方検出器と水標的とのニュートリノ相互作用が炭化水素標的による近検出器と比較され、水と炭化水素の断面積比が特に重要であることが述べられた。また、WAGASCI プロジェクトは進行中で、検出器と磁石を追加してより広い角度の許容範囲をカバーし、より正確な測定が計画されるなど、その発展性が言及された。

委員会は、T2K 実験で重要となるサブ GeV で反ニュートリノと水および炭化水素標的に対するニュートリノ荷電カレント反応を初測定した意義は大きいと認めた。また、論文の記述が目的、手法、解析、考察にわたり十分であると認めた。なお、本論文の実験は共同研究であるが、論文提出者が主な実験装置の計画・建設を行い、データ整理、解析および解釈を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。