

(続紙 1)

京都大学	博士（	学）	氏名	村上 明
論文題目	Measurement of Neutrino Oscillation Parameters with the Precise Neutrino Flux Prediction in the T2K Experiment			
(論文内容の要旨)				
本論文は、加速器ニュートリノ実験 T2K のニュートリノビームフラックスを高精度で予測し、その予測によりニュートリノ振動のパラメータを世界最高精度で測定した研究についての報告である。ニュートリノ振動は、素粒子物理の標準模型の枠を超え、異なった種類のニュートリノが互いに移り変わる現象である。ニュートリノ振動の存在は、ニュートリノが有限質量を持ち、且つ異なった種類のニュートリノが混合している証拠である。ニュートリノ質量とニュートリノ間の混合の情報を得るために、近年研究が活発に進められている。T2K 実験は、茨城県東海村にある大強度陽子加速器 J-PARC を使い高強度で高品質なミューオン型ニュートリノビームを生成し、295km 離れた岐阜県飛騨市神岡町にあるスーパーカミオカンデ測定器で観測することで、ニュートリノ振動の研究を行う。T2K 実験では、ミューオン型ニュートリノが他の型に振動する過程を、ミューオンニュートリノ消失と電子ニュートリノ出現という 2 つのモードで観測する。ミューオンニュートリノ消失は、実際はミューオン型ニュートリノがタウ型ニュートリノに振動しているのであるが、タウ型ニュートリノが観測にかからないため、ミューオン型ニュートリノの消失として観測される。このミューオン型ニュートリノ消失の確率を高精度で測定することで、ニュートリノ振動パラメータを高精度で測定することが可能である。 本論文は、ニュートリノ振動現象のレビューと T2K 実験の紹介から始まり、大きく 3 部に分かれている。第 1 部は、2010 年から 2012 年にかけて行われた T2K 実験のニュートリノビーム生成とデータ収集について、村上氏の参加、貢献を中心に詳しく記述されている。ニュートリノは反応確率が非常に小さい素粒子であり、ニュートリノ振動の測定には十分な量の統計が必要で、大強度のビームを長期間安定に生成する必要がある。村上氏はデータ収集とビームモニターの解析を中心に、このビームの長期安定生成に大きく貢献している。第 2 部は世界中の陽子・原子核衝突反応の断面積測定データをインプットとしたニュートリノビームシミュレーションプログラムの開発とそれによるニュートリノビームフラックスの高精度予測について書かれている。特に、欧州素粒子原子核研究所 CERN で現在行われている NA61 実験の最新測定結果を取り込み、シミュレーションの予測精度を向上させたことが、実験の感度向上において重要な要素となっている。第 3 部は、ニュートリノ振動パラメータの世界最高精度の測定について報告してある。スーパーカミオカンデで 58 ミューオン型ニュートリノ事象を観測し、ニュートリノ振動効果を含んだ予測は 57.78 事象で非常によい一致を示している。観測されたニュートリノのエネルギー分布を解析し、ニュートリノ振動パラメータを $\sin^2 2\theta_{23}=1.00^{+0.00}_{-0.04}$、$\Delta m_{23}^2(\text{eV}/c)^2=(2.45\pm 0.19)\times 10^{-3}$ と世界最高の精度で測定した。この測定は、素粒子物理学において非常に重要な結果である。 まとめると、本論文は、T2K ニュートリノビームを精密に予測し、ニュートリノ振動パラメータを世界最高精度で測定した研究成果について報告されている。				

(論文審査の結果の要旨)

本学位申請論文は、加速器を使ったニュートリノ振動実験 T2K において、ニュートリノビームフラックスを高精度で予測することに成功し、さらにその結果を使ってニュートリノ振動のパラメータ $\sin^2 2\theta_{23}$ と Δm_{23}^2 を世界最高精度で決定した、非常に重要な結果である。T2K 実験の目的の一つは、ニュートリノ振動の精密測定を通じ、ニュートリノ質量に関する情報 Δm_{23}^2 とニュートリノ間の混合率 θ_{23} を精密に決定することであり、今回世界最高精度での測定結果を発表した本論文の研究は、ニュートリノ物理を発展させる上で大きな成果であると言える。

本論文では、ニュートリノ研究の歴史と近年急速に進歩しているニュートリノ振動の物理について詳しく解説し、更に世界で行われている様々なニュートリノ振動実験を紹介した後、T2K 実験の目的と実験手法についてまとめており、本研究の目的を明確に紹介している。また、実験の説明部分では装置の設計思想、較正方法、シミュレーションとその性能について、詳細に記述されている。そして、村上氏が中心となって進めた T2K ニュートリノビームの詳細な理解・研究について丁寧に記述されている。ニュートリノビームは 2010 年から 2012 年 6 月まで長期にわたり生成され、その間のハードウェアの動作確認、ビームパラメータ測定と長期安定性の確認等、ビームに関する専門家の観点から、非常丁寧に記述されている。更に、ビームフラックスを正確に予測するために、現存する様々なハドロン生成のデータをシミュレーションに組み込み、シミュレーションの予測精度を 4% と格段に向上させることに成功している。このビーム予測の向上が本論文の主要な成果の一つである。その後、遠方のスーパーカミオカンデにおけるミューオンニュートリノ事象の測定、測定に関する系統誤差の評価と予測、ニュートリノ振動解析とその結果の考察について詳細に記述されている。導入から結論に至るまで、論旨がはっきりしており、本人の理解の深さが読み取れる。

村上氏が行ったニュートリノビームの予測向上は、加速器ニュートリノ振動実験において、もっとも重要な研究の一つである。特に、長期間にわたる安定したニュートリノビームの生成に貢献したこと、実在するハドロン生成のデータを基にした予測の向上は、村上氏の大きな業績である。また、ニュートリノ振動解析においては、その手法の確立、プログラムの開発、実データにおける様々な確認等、本論文で報告されている測定全体に渡り、村上氏の能力は特筆すべきである。最終的には、ニュートリノビームフラックスの不定性を 4% に抑え、ニュートリノ振動パラメータを世界最高レベルの精度 $\sin^2 2\theta_{23} = 1.00^{+0.00}_{-0.04}$ 、 $\Delta m_{23}^2 (\text{eV}/c)^2 = (2.45 \pm 0.19) \times 10^{-3}$ で測定することに成功している。

以上のように、T2K 実験という国際共同研究の中において、村上氏が寄与した貢献は非常に大きい。彼の研究により、T2K 実験はミューオンニュートリノ測定で $\sin^2 2\theta_{23}$ と $\Delta m_{23}^2 (\text{eV}/c)^2$ を世界最高レベルの精度で決定した。この結果は、ニュートリノ物理学全体の進展に結びついたことは間違いない。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 25 年 1 月 17 日に論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果、村上氏は多数の難問にも明確な解答をした。その結果合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降