

# 学位審査報告書

|  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| （ふりがな）<br>氏名   | おおたに まさし<br>大谷 将士                    |
| 学位（専攻分野）   | 博士（理学）                               |
| 学位記番号  | 理博第 号                                |
| 学位授与の日付  | 平成 年 月 日                             |
| 学位授与の要件  | 学位規則第4条第1項該当                         |
| 研究科・専攻   | 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻                    |
| （学位論文題目）<br><br>Measurement of Neutrino Oscillation in the T2K Experiment<br>（T2K 実験におけるニュートリノ振動の測定） |                                      |
| 論文調査委員   | （主査） 中家 剛 教授<br>市川 温子 准教授<br>谷森 達 教授 |

理学研究科

( 続紙 1 )

|      |   |    |       |
|------|---|----|-------|
| 京都大学 | 博士 ( 理学 )   | 氏名 | 大谷 将士 |
| 論文題目 | Measurement of Neutrino Oscillation in the T2K experiment |    |       |

(論文内容の要旨)

本論文は、長基線加速器ニュートリノ振動実験 T2K で行ったニュートリノ振動の精密測定について報告している。ニュートリノ振動は、素粒子の標準模型の枠に収まらない新現象であり、ニュートリノが有限質量を持つ証拠となっている。また、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、近年活発に研究が進められている。T2K 実験は、茨城県東海村にある大強度陽子加速器 J-PARC で高強度・高品質ミューオンニュートリノビームを生成・測定し、J-295km 離れた岐阜県飛騨市神岡町にあるニュートリノ測定器スーパーカミオカンデで観測することで、ニュートリノ振動を世界最高感度で研究する実験である。T2K 実験では、ミューオンニュートリノが他のニュートリノに振動する過程を、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。このため、ニュートリノ振動の測定には、振動する前のミューオンニュートリノビームの測定が決定的に重要である。本論文における研究は、この振動前のミューオンニュートリノビームの精密測定と、スーパーカミオカンデでのミューオンニュートリノ消失の観測によるニュートリノ振動パラメータの決定が中心となっている。

本論文は、最初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る。本文の重要パートは2部構成であり、第1部はJ-PARCサイトに新たに設置されたニュートリノビーム測定器の設計、性能評価、そしてニュートリノビームの精密測定からなる。T2K実験において、ニュートリノビームは、実験の成否を決定するもっとも重要な要素であり、ニュートリノビームの正確な理解なくして、加速器ニュートリノ実験でニュートリノ振動の研究は成り立たない。まず、大谷氏が行ったニュートリノ測定器の詳細な設計、装置較正、シミュレーション、その性能評価について詳細に報告されている。そして、2010年1月から2011年3月までの1年以上の長期にわたり、効率99%以上でニュートリノビームを測定したデータ解析について詳細に記述されている。結果として、ニュートリノビームの方向を、実験の目標であった1mradを超える0.4mradの高精度で測定することに成功している。また、ニュートリノビーム強度も、ビームフラックスの予想値と6%の精度で一致したことが報告されている。この高精度なニュートリノビーム測定が、T2K実験が世界で始めてミューオンニュートリノから電子ニュートリノへの振動の兆候を発見した成果につながっている。第2部は、世界最高レベルの感度でのニュートリノ振動パラメータの決定について報告している。ニュートリノ振動がなければ、ニュートリノビーム測定からスーパーカミオカンデでは103.7ミューオンニュートリノ事象が予測された。しかし、観測された数はわずか31事象であり、ニュートリノ振動によりミューオンニュートリノが消失したことを確証した。更に、ニュートリノ振動の特徴のエネルギースペクトルの変化を測定することで、世界最高レベルでニュートリノ振動パラメータを、 $0.86 < \sin^2 2\theta_{23} < 1.0$  (90%信頼度)、 $2.1 \times 10^{-3} < \Delta m_{23}^2 (\text{eV}/c)^2 < 3.1 \times 10^{-3}$ 、と決定した。この測定は、素粒子物理学において非常に重要な結果となっている。

以上よりまとめると、本論文では、T2K ニュートリノビームを精密に測定し、T2K 実験で世界最高レベルの精度でニュートリノ振動を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で、前置ニュートリノ測定器を使って振動前のニュートリノビームを高精密で測定し、後置測定器スーパーカミオカンデでニュートリノ振動パラメータ $\sin^2 2\theta_{23}$ と $\Delta m_{23}^2$ を世界最高レベルの精度で決定した、非常に重要な結果である。T2K実験は、ニュートリノの混合角 $\theta_{23}$ の精密測定と $\theta_{13}$ の世界初の測定を目指す実験であり、T2K実験からの初期の結果を発表した本論文での研究は、ニュートリノ物理学を発展させる上で大きな成果を挙げたと言える。

本論文では、ニュートリノ振動測定の物理的意義をわかりやすく解説し、これまでに世界で行われた様々な実験を紹介した後、T2K実験の意義と要点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、申請者本人が研究開発し製作した前置ニュートリノ測定器 INGRID については、特に丁寧に記述されている。更に、INGRID 測定器を運転し、1年以上の長期にわたってニュートリノビームデータを取得し、ニュートリノビーム方向を 0.4mrad の精度で測定したこと、ニュートリノビーム強度を 4%の精度で測定したことが、本論文の主要な研究成果の一つである。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、ニュートリノ振動パラメータの決定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。

大谷氏の行ったニュートリノビームの測定は、加速器ニュートリノ振動実験において、もっとも重要な測定の一つである。大谷氏は、その測定器である INGRID の開発と設計から始まり、製作、運転、解析に渡ってそのすべてに関わっており、その中で主導的役割を果たしている。INGRID 測定器は総数 10000 チャンネルの大型装置であり、この測定器を製作し、ニュートリノビームを要求以上の精度で測定することに成功したことは大谷氏の最も大きな研究業績である。更に、ニュートリノビーム方向の不定性に起因する実験の系統誤差の評価を正確に行っている。また、スーパーカミオカンデにおけるニュートリノ測定においては、大気ニュートリノデータを解析することで、実験データから測定器の系統誤差を信頼度高く見積もっている。本論文で報告されている測定全体に渡り、大谷氏の能力は特筆すべきである。最終的に、ニュートリノビームフラックスの不定性を 10%以下に、スーパーカミオカンデにおける系統誤差も 10%以下に抑え、ニュートリノ振動を世界最高レベルの精度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、大谷氏が寄与した貢献は非常に大きい。彼の研究により、T2K実験は期待通りの感度で電子ニュートリノ出現の兆候を発見し、ミューオンニュートリノ測定で $\sin^2 2\theta_{23}$ と $\Delta m_{23}^2$ (eV/c)<sup>2</sup>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24年1月12日に論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果、申請者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。