

学位審査報告書

(ふりがな)	まつおか こうだい
氏名	松岡 広大
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)	<p>Measurement of the Neutrino Beam with the Muon Monitor and the First Result of the T2K Long-Baseline Neutrino Oscillation Experiment (ミューオンモニターを用いたニュートリノビームの測定と T2K 長基線ニュートリノ振動実験の最初の結果)</p>
論文調査委員	(主査) 中家 剛 教授 永江 知文 教授 市川 温子 准教授

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	松岡 広大
論文題目	Measurement of the Neutrino Beam with the Muon Monitor and the First Result of the T2K Long-Baseline Neutrino Oscillation Experiment		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文では、加速器を使った長基線ニュートリノ振動実験 T2K でのニュートリノビームの測定と、ニュートリノビームフラックスの見積もりについて報告されている。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そのニュートリノを測定し、ニュートリノ振動現象を研究する実験である。T2K 実験では、ミュオンニュートリノ消失事象の精密測定と電子ニュートリノ出現事象の探索を目的としているが、そのためには、ニュートリノビームの方向を1ミリラジアン以内に制御し、ニュートリノフラックスを精度良く見積もる必要がある。特に、T2K 実験はビーム運転を開始した直後であり、ビームをよく理解することが実験の成否を決める喫緊の最重要課題であった。</p> <p>本論文では、ニュートリノビームの方向をミュオンモニターという測定器を使って測定した。ミュオンモニターは、パイ中間子崩壊からニュートリノビームとともに生成されるミュオンビームのプロファイルを測定してニュートリノビームの方向をモニターする装置である。大強度のミュオンビームを精度良くかつ高放射線下で安定に測定することが要求されるが、シリコン PIN フォトダイオードとイオンチェンバーの2つの異なる検出器からなるシステムを設計・製作し、これを実現した。検出器の開発においては、京都大学化学研究所の電子ビームおよび米国フェルミ国立加速器研究所のミュオンビームを用いて検出器の性能を評価し、T2K ミュオンモニターとして十分使用できることを確認している。このミュオンモニターを用いることで、2010年1月から開始したT2K 物理データ収集のビーム運転において安定にニュートリノビームを生成することに成功した。2010年6月までの間、ビーム方向のふらつきは0.06ミリラジアン以下、ビーム強度のふらつきは0.8%以下であった。その間、72kW強度の運転で、標的当たり3.28×10^{19}個の陽子のデータを収集した。</p> <p>また本論文では、ニュートリノビームフラックスを見積もる手法を確立した。T2K ニュートリノビームラインを再現するモンテカルロ・シミュレーションを開発した。陽子ビームのパラメータ、ホーン電流の測定値、CERN-NA61 実験でのパイ中間子生成断面積の測定値、を用いることで高精度でニュートリノビームフラックスを見積もった。また、ビームおよびハドロン生成断面積の不定性に起因するニュートリノビームフラックスの系統誤差についても詳細に評価し、精度良いビーム測定と安定なビーム供給により、ビーム起因の系統誤差が要求以下に抑えられていることを確認した。そして、スーパーカミオカンデで観測されるニュートリノ事象数を予測した。ミュオンニュートリノ事象については、観測8事象に対して予測は6.35 (系統誤差+1.09/-1.08)、電子ニュートリノ事象については、観測1事象に対してバックグラウンドの予測は0.30 (± 0.08) となった ($\sin^2 2\theta_{23} = 1.0$, $\sin^2 2\theta_{13} = 0$ を仮定)。以上より、本論文の研究により、T2K ニュートリノビームがよく理解され、最初のT2K 実験での物理結果を得ることに成功した。</p>			

(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生成を高精度でモニターすることで信頼できる実験データを長期間にわたり取得し、更にスーパーカミオカンデで観測されるニュートリノ振動した事象数を正確に見積もることでニュートリノ振動を確認した、重要な結果である。T2K実験は、ニュートリノの混合角 θ_{23} の精密測定と θ_{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、ニュートリノの物理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、これまでに世界で行われた様々な実験を俯瞰しながらニュートリノ振動の物理について述べた後、T2K実験の意義と実験の要点についてわかりやすくまとめられており、本論文の研究目的が明確になっている。また、実験の説明部分では装置の設計思想やその性能についても詳細に記述されている。そして、ミュオンモニターを用いたビームの測定とニュートリノフラックスの見積もりの2つの主題について詳細に議論されている。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。

松岡氏の研究は、ミュオンモニターの開発・設計から始まり、製作、運転、解析に渡ってミュオンモニターのすべてに関わっており、その中で彼は主導的役割を果たした。ミュオンモニターの設計・製作においては、本人が行った京都大学化学研究所の電子ビーム試験および米国フェルミ国立加速器研究所のミュオンビーム試験の実験結果が報告されている。これらの実験結果をフィードバックすることで、世界最高性能のミュオンモニターが完成したことが分かる。そして、ミュオンモニターにより、ニュートリノビームを要求以上の精度でモニターすることを実現したことは松岡氏の最も大きな研究業績である。また、T2K実験のミュオンモニターは、世界最強強度のミュオンビームを測定するという点で、これまでの他の実験のモニターと比べて格段に難しい検出器であり、要求される性能をすべてクリアした検出器を作り出したことも高く評価できる。

ニュートリノビームフラックスの不定性は、加速器ニュートリノ振動実験でもっとも理解が難しいところである。ニュートリノビームフラックスの見積もりについては、モンテカルロ・シミュレーションの開発、パイ中間子生成断面積の測定値を用いたシミュレーションのチューニング、およびハドロン生成断面積の不定性とニュートリノビーム方向の不定性に起因するニュートリノフラックスの系統誤差の評価が松岡氏の主な業績である。K中間子生成断面積については、T2Kで利用できるデータがほとんどない中で、Feynmanスケーリング則を導入することでその不定性の評価を可能にした点は特筆すべきである。そして、ニュートリノビームフラックスの不定性を10%程度に抑え、高精度でスーパーカミオカンデで観測されるニュートリノ事象数を見積もることに成功した。

以上のように、T2K実験という共同研究の中において、松岡氏が寄与した貢献は大きい。彼の研究により、期待通りの感度で θ_{23} の精密測定と θ_{13} の探索を開始できたこと、さらにはニュートリノ物理学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23年3月30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。