

学 位 審 査 報 告 書

(ふ り が な) 氏 名	くりもと よしのり 栗本 佳典
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) Measurement of Neutral Current Neutral Pion Production on Carbon in a Few-GeV Neutrino Beam (炭素標的を用いた数GeV領域のニュートリノビー ムによる中性カレント中性パイオン生成反応)	
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

理 学 研 究 科

京都大学	博士（理 学）	氏名	栗本 佳典
論文題目	Measurement of Neutral Current Neutral Pion Production on Carbon in a Few-GeV Neutrino Beam		
（論文内容の要旨） 本論文は、ニュートリノ中性カレント反応による中性π中間子生成を世界最高精度で測定した結果について報告されている。ニュートリノによる中性π中間子生成の研究は、原子核物理学および素粒子物理学の両方で大変興味深い研究テーマである。原子核物理学では、中性π中間子の生成機構、特に共鳴状態を介した生成機構とコヒーレントな生成機構の解明が望まれている。素粒子物理学では、中性カレント中性π中間子生成反応はニュートリノ振動、特に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を測定する上での最大のバックグラウンドとなり、その反応断面積の精密測定が要求されている。しかし、現存する中性π中間子生成のデータの精度は低く、より詳細な実験データが必要不可欠な状況である。本論文では、ニュートリノによる中性π中間子生成反応を世界最高の感度で測定し、高精度な測定データを提供し、その理解を飛躍的に改善させた。 本研究は米国フェルミ国立加速器研究所で行われた SciBooNE 実験（FNAL E954）からの結果である。SciBooNE 実験ではフェルミ研の 8GeV 陽子加速器により生成された数 GeV エネルギーのニュートリノビームを使って、ニュートリノと原子核の反応を精密に測定している。SciBooNE 実験の測定器は、陽子標的より 100m 下流に設置されており、高感度ニュートリノ測定器 (SciBar)、電磁カロリメータ (EC)、ミューオン飛程測定器 (MRD) で構成されている。ニュートリノ標的である SciBar 測定器は中心部分がシンチレータで作られており、その主成分は炭素である。よって、本論文ではニュートリノと炭素原子核の反応による中性カレント中性π中間子生成断面積を測定している。 物理解析においては、中性π中間子の崩壊の信号である 2 本のγ線を選択し、他の粒子のバックグラウンドは除去している。その後、2 本のγ線のエネルギーと運動量を使って不変質量を再構築しπ中間子を同定している。中性カレント中性π中間子生成反応機構のうち、共鳴状態を介した生成機構では終状態としてπ中間子と共に陽子もしくは中性子が観測されるが、コヒーレントな生成機構ではπ中間子のみが終状態に観測される。本論文では中性π中間子を選択した後、π中間子の発角度分布の測定と、反応点近傍にπ中間子以外のアクティビティが存在するかどうかを同定することで、コヒーレントπ反応を共鳴反応より分離し、測定することに成功した。 この論文では、中性π中間子の生成断面積を荷電カレント反応との比で 7.7 ± 0.5（統計誤差）± 0.5（系統誤差）%と測定している。またコヒーレントな生成反応においては 1.17 ± 0.23%と測定している。中性π中間子の運動量分布と生成角度分布も測定し、理論モデルの一つである Rein-Sehgal モデルの予想とよく一致していることを確認した。この結果は、現在世界最高精度であり、以前日本で行われた K2K 実験の測定とも、米国の MiniBooNE 実験の結果ともよく一致している。しかし、コヒーレントな反応の測定においては、SciBooNE 実験で測定した荷電カレントコヒーレントπ生成反応の測定結果と大きく異なっており、両者を同時に説明する理論モデルは存在しない。このため、ニュートリノ研究の分野でコヒーレントなπ中間子生成機構に関して、大きな議論を呼んでいる。 本結果は、ニュートリノと原子核の反応の理解、およびニュートリノ振動の研究において非常に重要な結果であり、ニュートリノによる中性π中間子生成反応の理解を飛躍的に向上させた。			

(論文審査の結果の要旨)

本学位申請論文は、素粒子・原子核物理学の分野で重要な「ニュートリノ中性カレント反応による中性 π 中間子生成反応」を世界最高精度で測定した、重要な結果である。特に素粒子物理学において、ニュートリノ振動の研究のため、ニュートリノと原子核の反応の詳細な理解が重要と認識されている。特に、本学位論文のテーマである中性カレント中性 π 中間子生成反応の研究は、その中で、もっとも重要な反応の一つである。中性カレント中性 π 中間子生成反応には、デルタ粒子共鳴を通して反応する機構と、原子全体とコヒーレントに反応する機構がある。本論文では、中性 π 中間子生成の全断面積、それに続いて、コヒーレント中性 π 中間子生成反応の両方を測定し、ライン&シーゲルモデルとよく一致することを確認した。しかし、ライン&シーゲルモデルは荷電カレント π 中間子生成反応を再現できず、ニュートリノ研究のコミュニティーに大きなインパクトを与えている。

論文中の随所に見られるように、栗本氏は SciBooNE 実験初期から実験グループの中心で活躍し、特に実験のデータ収集システムの構築と運用においては多大な功績を積んでいる。共同研究ではあるが、論文においても審査会においても栗本氏の研究の独創性が十分に見出せる。以下に、本論文での重要な結果とその意義についてまとめ、最後に審査結果を示す。

論文には、ニュートリノ振動の物理、ニュートリノと原子核反応の物理が大変わかりやすくまとめられている。実験に関しても、フェルミ研のニュートリノビームライン、SciBooNE 測定器に関して明確に記述されている。特に栗本氏は、SciBooNE 実験の測定器制作、データ収集システム開発、物理解析、シミュレーション開発と実験全般に関わっており、実験に対する理解の深さが読み取れる。物理解析では、中性 π 中間子を同定するための、 γ 線識別方法の開発と改善、中性 π 中間子の再構築方法、コヒーレント反応識別のためのニュートリノ反応バーテックス近傍でのエネルギー測定法の開発が栗本氏の主たる業績である。栗本氏の貢献により、SciBooNE 実験は世界最高感度でニュートリノ反応の研究を遂行できている。物理解析においても、全ニュートリノ反応中 1 % しか存在しない、コヒーレント中性 π 中間子生成反応を 5σ 以上の統計精度で測定したことは、特筆すべき点である。

結果は、SciBooNE 実験で中性カレント中性 π 中間子生成反応の断面積を世界最高精度で測定した。また、中性 π 中間子の運動量分布と生成角度分布も高精度で測定している。その結果、ニュートリノ研究の分野で広く活用されているライン&シーゲルモデルを確認することとなったが、荷電カレントコヒーレント π 中間子生成反応の結果とは矛盾しており、現在ニュートリノ研究の分野で物議を呼んでいる。本論文の結果は、加速器ニュートリノを使ったニュートリノ反応実験では、世界最高感度の結果であり、学位論文として非常に高い価値を有している。また、ニュートリノの研究に大きなインパクトを与える結果で、本論文に対する注目度は非常に高い。

以上より、本論文は博士（理学）の学位論文として、大変高い価値があることを認める。また、平成 22 年 1 月 20 日に、論文内容とそれに関連した事項について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。その結果論文審査合格と認めた。

