

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 理学 )	氏名	小田川 高大
論文題目	Study of Neutrino-Water Interactions using Nuclear Emulsion Detectors with Improved Event Reconstructions (原子核乾板検出器を用いたニュートリノ-水反応の研究と事象再構成手法の改善)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、ニュートリノビームと原子核乾板検出器を用いた実験で、ニュートリノと原子核、特に酸素原子核との相互作用を精密に測定した結果について報告している。原子核乾板検出器の優れた空間分解能という特徴を生かし、ニュートリノ反応で生成される荷電粒子を世界最高の感度で (例として陽子の運動量閾値で200MeV/cまで) 捕らえることに成功した。その結果は、ニュートリノと原子核反応の新しい測定を可能とする画期的な成果といえる。</p> <p>素粒子物理学における大きな問題の一つとして、「宇宙における物質と反物質の非対称性の起源」が分かっていないことが挙げられる。この問題に理解には、粒子と反粒子の間の対称性 (CP対称性) が破れていることが必要で、近年ニュートリノにおけるCP対称性の破れが注目されている。ニュートリノにおけるCP対称性の破れを探索する目的で、加速器からのニュートリノビームを使った長基線ニュートリノ振動実験T2Kが進められている。論文において、T2K実験の詳細な記述と最新結果がレビューされている。そして、ニュートリノ振動実験における主要な系統誤差として、ニュートリノ・原子核反応の理解が十分でないことを示し、その改善を本論文の主目標に掲げている。理解を進展させるには、原子核中のハドロンを記述する「原子核効果」に対する新しい測定データが必要である。本論文では、この新しい測定データを提供するために、原子核乾板検出器を使った実験のデザインと遂行、また原子核乾板の優れた空間分解能を使った事象再構成手法の改善、そしてその改善された手法を基にした世界に類を見ない低運動閾値でのニュートリノ反応生成粒子の測定が主要な結果として報告されている。</p> <p>論文は、ニュートリノ物理のレビューから始まる。特に、ニュートリノ振動、ニュートリノに関係した素粒子物理と宇宙物理における未解決課題、ニュートリノ反応の理論について、解説している。次に、加速器ニュートリノ振動実験T2Kを紹介し、世界最高精度でのニュートリノ振動パラメータの測定結果について報告している。そして、ニュートリノ振動実験のデータを解析する上で必要不可欠なニュートリノ反応模型を説明し、ニュートリノ反応を精密に測定するために行ったNINJA実験についての説明が始まる。NINJA実験では、水でのニュートリノ反応を理解するために、原子核乾板検出器を用い、200MeV/cという低運動量の陽子まで測定を可能とした。この低い運動量閾値の達成により、他の実験では検出できない低運動量の陽子と荷電パイ中間子の新しいデータが収得された。また、高統計を実現するために、大型化した実験装置、特にシンチレータ飛跡検出器の設計と制作について報告している。さらに、多重クーロン散乱を用いた新しい事象再構成手法が開発され、その結果、粒子の運動量測定精度、粒子の識別能力が大幅に改善された。そして、広い運動量領域でハドロン多重度の測定が行われた。ここからさらなる事象選別を実行し、荷電パイ中間子を伴わない陽子2個の荷電カレントニュートリノ-水反応を、世界で初め</p>			

て観測することに成功した。この事象はニュートリノ反応モデルを研究するために重要で、その初観測の意義は極めて大きい。

本研究は世界最高感度でのニュートリノ・原子核反応測定実験の重要な結果である。そして、ニュートリノ・原子核反応の理解を進展させることで、素粒子物理学と宇宙物理学の発展に貢献する重要な結果である。

(続紙 2 )

(論文審査の結果の要旨)

本学位申請論文は、ニュートリノ反応測定実験 (NINJA実験) で、原子核乾板検出器を使った新しい事象再構成手法を開発し、これまで観測が困難であった低運動量閾値まで荷電粒子を検出し、ニュートリノと水との反応の世界最高感度での測定結果について発表している。ニュートリノ反応の理解は、素粒子物理学においてニュートリノ研究を進める上で非常に重要な研究課題で、特にニュートリノ振動 (2015年にノーベル物理学賞) の研究に直結している。本論文の結果は素粒子物理学、原子核物理学、宇宙物理学を発展させる重要なものである。

本論文で小田川氏は、ニュートリノ振動の物理と、そのために加速器ニュートリノ実験における研究が重要であることを明確に説明している。次に、測定に必要なNINJA実験の測定器を紹介し、小田川氏が開発したシンチレータ飛跡検出器の設計、製作、運用、解析について丁寧に説明している。ニュートリノ実験は、データの収集と解析が長期間に渡り、データ解析を長年にかけて改善してきた小田川氏の研究は、NINJA実験の根幹と言える。NINJA実験における本データの解析の随所に、小田川氏の独創性が見て取れた。特に、原子核乾板内での粒子の運動量測定、粒子識別、原子核乾板下流のシンチレータ飛跡検出器とミュオン飛程測定器の全データ解析、を小田川氏が行っている。また、ニュートリノ反応と測定器のシミュレーションを実行し、測定の系統誤差を見積もり、本測定の信頼度を向上させた。測定は、これまでNINJA実験で取得した8分の1のデータを使って行われ、統計誤差はまだ大きい、ニュートリノ反応で生成されたミュオン、陽子、荷電パイ中間子の運動量分布とハドロンの多重度測定が主要結果となった。また、さらなる事象選別を行い、荷電パイ中間子を伴わない陽子2個の荷電カレントニュートリノ-水反応の初観測が報告された。

本論文でのニュートリノ反応の測定は共同研究NINJA実験の結果ではあるが、その結果を導き出した小田川氏の実力は本物である。ニュートリノ実験が難しい点は、ニュートリノという素粒子が弱い相互作用しかしないため、その反応率が極端に小さいことにある。このため実験においては、ニュートリノ測定器の大型化と長期的な運用、その反応事象の正確な理解とバックグラウンドの排除、が必須となる。小田川氏はこの2点について、測定器の大型化と新しい事象再構成手法の開発により、世界最高感度でのニュートリノと水との反応測定を実現し、その物理過程の理解を大きく進展させた。以上のように、共同研究の成果による本論文の結果に対し、小田川氏の貢献は非常に大きいと判断した。小田川氏の研究により、NINJA実験から新しい物理結果が生まれ、その結果が将来のニュートリノ振動実験の感度向上につながり、素粒子物理学、原子核物理学、宇宙物理学のさらなる発展が期待できる。

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、令和5年1月19日に論文内容とそれに関連した事項について試問を行い、小田川氏は多くの質問にも的確に解答した。その結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 2023年 4月 1日以降