

東邦大学学術リポジトリ

Toho University Academic Repository

タイトル	1GeVエネルギー領域におけるニュートリノ・鉄荷電カレント反応の研究
作成者（著者）	大島, 仁
公開者	東邦大学
発行日	2021.03.17
掲載情報	東邦大学大学院理学研究科 博士論文 内容の要旨及び審査結果の要旨.
資料種別	学位論文
内容記述	主査: 小川了
著者版フラグ	none
報告番号	32661甲第1005号
学位記番号	甲第162号
学位授与年月日	2021.03.17
学位授与機関	東邦大学
メタデータのURL	https://mylibrary.toho u.ac.jp/webopac/TD28182545

論文審査の要旨及び審査結果の要旨

2016年入学	研究分野 素粒子物理学	氏名 大島 仁
審査委員	(主査) 小川 了 (副査) 河原林 透 (副査) 金 衛国 (副査) 中 竜大 (副査) 早戸 良成	
(論文題目) 1 GeV エネルギー領域におけるニュートリノ・鉄荷電カレント反応の研究		
(論文審査の要旨及び審査結果の要旨) 本論文は、大強度陽子加速器施設 (J-PARC) のニュートリノビームラインに原子核乾板を主体とする検出器を導入し、新しい感度でニュートリノ・鉄反応を検出し、生成粒子とそれらの力学的情報からニュートリノ・原子核反応を研究した報告である。 J-PARC のニュートリノビームラインでは、スーパーカミオカンデ検出器にニュートリノビームを照射することにより、ニュートリノ振動実験を行っている。ニュートリノ振動の確率を測定するためには、ニュートリノビームのエネルギーと照射量を知る必要があり、そのために、前置検出器を J-PARC に設置し、ニュートリノビームの測定を行っている。ニュートリノビームの測定は、ニュートリノ-原子核反応のモデルを用いて測定結果と比較することにより行われるため、モデルの不定性はニュートリノの照射量の不定性となって現れる。本研究は、ニュートリノ-原子核反応のモデルの不定性に対し、これまでにない低閾値で二次粒子を検出することにより、新しい実験的なデータを提供する。本研究では、同じ発生源からの平均エネルギー 1 GeV のニュートリノを、ニュートリノ振動実験の前置検出器である INGRID の上流側に 65kg の鉄板と原子核乾板フィルムによるエマルジョンクラウドチェンバー (ECC) を独自に設置することにより、その中で起こるニュートリノ・鉄反応の検出実験を行った。鉄板の厚さを $500\ \mu\text{m}$ とし、 $200\text{MeV}/c$ まで低運動量の陽子を検出することで、ユニークな低エネルギー閾値の実験を実現した。 大島さんは、照射データの内、 4.0×10^{19} POT に相当する正ニュートリノによる反応に着目し解析を行った。そのデータの抽出には、INGRID と ECC の間に導入したマルチステージエマルジョンシフターを用い、原子核乾板中のミュー粒子の飛跡に時間情報を付与することを可能とし、INGRID の飛跡と同期を取ることが可能となった。同期が取られたミュー粒子の飛跡に対し、ECC 中の反応点 (飛跡の始まる点) を、最終的には、前後のフィルムを直接観測することにより、確実に鉄板中での反応を抽出した。反応点の決定後、そこに収束してくる飛跡		

を付与することにより反応が再構成される。個々の飛跡に対しては、原子核乾板中の飛跡の濃さと飛程、長い飛跡に対しては多重電磁散乱法による運動量情報が付与される。これらの情報を組み合わせることにより、個々の飛跡に対して粒子同定も可能となる。解析は、総統計となる 65kg の標的を構成する 276 フィルム全体に対して行われた。

最終的に観測した 183 事象に対し、モンテカルロシミュレーション NEUT と比較することにより、解析を行った。NEUT には、ニュートリノと核子の間の素過程に加えて、原子核モデルと原子核中の生成粒子の伝搬過程モデルが実装されており、特に、後者は理論的な不定性を大きく含んでいる。本研究は、その不定性に対しての新しい実験的知見を与える。低エネルギー陽子まで含んだ放出粒子を分離測定したデータは唯一であり、より高統計で測定することで、ニュートリノ反応を精度よく理解できることが期待される。GEANT を用いた検出器シミュレーションを通した後の反応断面積は、他の実験と矛盾のない結果を得た。ニュートリノのエネルギーが 1 GeV 以下のデータは少なく、系統誤差は最も小さい測定となっている。はじめて原子核乾板を用いた実験において統計的解析を成功させた点も評価される。終状態の陽子と荷電パイ中間子の多重度相関は、本実験で初めて測られたものであり、統計が不足していることにより、モデルの予想と有意な違いは見られないが、モデルの実験的検証を行っていく上で、重要な実験データである。今後の反ニュートリノビーム照射データの解析および高統計のデータにより、より詳細かつ精度の良い検証が期待される。

以上、審査委員全員は、論文提出者の素粒子物理学に関する知識と本研究結果の素粒子物理学への貢献は十分であり、論文提出者 大島 仁 が、十分な学力はあると認め、博士の学位を受ける資格があると認めた。

東邦大学審査学位論文（博士）の要旨

論文要旨

1998年にニュートリノ振動が発見され、今日の重要な研究課題の一つは加速器によるニュートリノビームを用いたニュートリノ振動の精密測定である。ニュートリノ振動実験に用いられるのは主に数百 MeV から数 GeV のエネルギー領域におけるニュートリノ・原子核反応である。しかし、その基礎となるニュートリノ・原子核反応自体の理解が不十分なため、測定における大きな不定性となっている。複数の反応素過程の存在に加えて、生成された二次粒子が標的原子核内で衝突や吸収を起こす終状態反応や、電子散乱実験によって示唆されている複数の核子が関わる反応などの混在が不定性の要因と考えられている。これらのニュートリノ・原子核反応を実験的に理解し、明確な描像を得ることはニュートリノ振動測定の精密化に向けた喫緊の課題である。

ニュートリノと鉄の反応を詳細に研究することを目的として、本研究では大強度陽子加速器施設 (J-PARC) のニュートリノモニター棟に 65 kg 鉄標的原子核乾板検出器を設置し、 4.0×10^{19} 個の陽子を標的に衝突させて生成した平均エネルギー 1.49 GeV のニュートリノビームを照射した。原子核乾板は sub- μm の分解能と広い角度アクセプタンスを有する飛跡検出器であり、500 μm 厚鉄プレートと 300 μm 厚原子核乾板を交互積層することで、ニュートリノ・原子核反応における終状態の荷電ハドロンを低運動量閾値 (陽子で 200 MeV/c, 荷電パイ中間子で 50 MeV/c) で検出することができる。本研究において原子核乾板検出器を用いた 1 GeV エネルギー領域におけるニュートリノ・鉄荷電カレント反応の系統的な解析方法を確立し、183 事象のニュートリノ・鉄荷電カレント反応を検出した。

本照射実験で検出したニュートリノ・鉄荷電カレント反応事象に対して系統的な解析を行い、フラックス平均断面積を測定した結果、 $\sigma_{\text{CC}}^{\text{Fe}} = (1.28 \pm 0.11(\text{stat.})_{-0.11}^{+0.12}(\text{syst.})) \times 10^{-38} \text{ cm}^2/\text{nucleon}$ を得た。また、ミューオンの位相空間を $\theta_{\mu} < 45^{\circ}$, $p_{\mu} > 400 \text{ MeV}/c$ に制限したフラックス平均断面積を測定した結果、 $\sigma_{\text{CC phase space}}^{\text{Fe}} = (0.84 \pm 0.07(\text{stat.})_{-0.06}^{+0.07}(\text{syst.})) \times 10^{-38} \text{ cm}^2/\text{nucleon}$ を得た。これらの断面積の測定結果は同ビームラインで過去に測定された断面積の測定結果と矛盾せず、現在のニュートリノ反応モデルによる予測とも一致した。さらに、ニュートリノ・鉄反応由来のミューオン、陽子、荷電パイ中間子の多重度、放出角、運動量を測定し、モンテカルロシミュレーションの予測データと比較した。ミューオンの測定結果はシミュレーションデータとよく一致している一方で、統計的な不定性は大きい。陽子と荷電パイ中間子の測定結果はシミュレーションデータの一部と相違が見られた。

本測定結果は 1 GeV エネルギー領域におけるニュートリノ・鉄荷電カレント反応に対して、200 MeV/c の低運動量陽子まで含めた測定データとシミュレーションデータを比較した初めての結果である。本研究はニュートリノ・原子核反応を詳細に理解するための第一歩であり、ニュートリノ反応由来の陽子と荷電パイ中間子の多重度ならびに運動学的情報はニュートリノ反応モデルの将来的な検証と構築のための重要な基礎データとなる。