

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。