

機関番号：82118

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20740160

研究課題名(和文)

ニュートリノ振動での CP 対称性破れ測定実験におけるビーム生成による系統誤差の研究

研究課題名(英文)

Study for neutrino flux uncertainty toward an experiment of CP violation in neutrino oscillation

研究代表者

坂下 健 (SAKASHITA KEN)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・助教

研究者番号：50435616

研究成果の概要(和文)：

本研究の目的は、将来の「ニュートリノ振動における粒子・反粒子対称性(CP 対称性)の破れ」を測定する実験において、ビーム生成の不定性による対称性の大きさの系統誤差を小さく抑える事である。

研究では、CERN SPS 加速器を用いた実験で、陽子と炭素の反応からのハドロン (π や K 中間子) の分布を測定して、その結果を用いてニュートリノビーム生成の不定性を小さくすることができた。

研究成果の概要(英文)：

Motivation of this study is to reduce systematic uncertainty in the neutrino beam production. A main source of the uncertainty is a distribution of hadron production in proton and carbon interaction. We measured pion yield distribution from interaction of proton and carbon. Based on the results, we successfully reduce the uncertainty of neutrino beam.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：ニュートリノ物理

科研費の分科・細目：

キーワード：ニュートリノ振動、ハドロン生成

1. 研究開始当初の背景

ニュートリノのフレーバーが変化するニュートリノ振動の研究において今後の課題は、これまでに測定されていない第3の混合角(θ_{13})や「ニュートリノ振動における粒子・反粒子対称性(CP 対称性)の破れ」を測定することである。CP 対称性の破れの測定は、 θ_{13} が有限な場合のみ可能となる。

この課題を解決するために、まず現在準備

が進められているニュートリノ振動実験において θ_{13} を測定し、次に将来の実験においてニュートリノ振動における CP 対称性の破れを測定する。

ニュートリノ振動実験では、陽子をターゲットに入射してニュートリノの親となるパイ中間子を生成する(図1)。将来の CP 対称性の破れを測定する実験は、このパイ中間子の生成分布の不定性が問題となる。特に CP

対称性の破れの測定実験では、陽子とターゲットの相互作用からの正電荷パイ中間子と、負電荷パイ中間子の分布の違いが大きな問題となる。

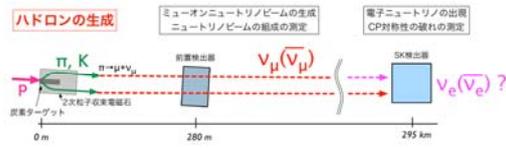


図 1 : 実験の概要

2. 研究の目的

本研究の目的は、将来の「ニュートリノ振動における CP 対称性の破れ」を測定する実験において、ビーム生成の不定性による対称性の大きさの系統誤差を小さく抑える事である。

3. 研究の方法

陽子と炭素ターゲットの反応からのハドロン生成分布 (図 2) を測定して、そのハドロン生成分布をもとにニュートリノの生成の不定性を小さく抑えて研究目的の達成を目指す。ハドロン生成の測定では、まず薄いターゲットからのパイ中間子の分布を測定する。この測定から陽子と炭素の 1 次相互作用からのパイ中間子分布を得ることができる。一方で、実際のニュートリノ振動実験で利用するターゲットは、90 cm と長いターゲットであり、ターゲットの内部で 1 次相互作用から生成されたパイ中間子が、再び物質と相互作用 (2 次相互作用) を起こす可能性がある。

研究では、ハドロン生成の測定の一方で、ニュートリノビーム生成のモンテカルロシミュレーションを用いて、1 次相互作用及び 2 次相互作用の不定性によるニュートリノビームの影響を調査し、ニュートリノ振動実験において、総合的にどのような不定性が大きく影響するかを見極める。

4. 研究成果

本研究では、まず平成19年度にCERN NA61実験 (図 1) にて測定した薄いターゲットと陽子の反応からのハドロン生成のデータの解析および理解を海外共同研究者と協力して行っ

た。この解析により、反ニュートリノの親粒子である負電荷のπ中間子の生成断面積分布を実験データより求めた。

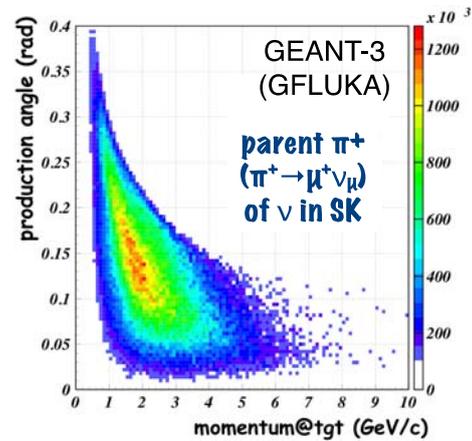


図 2 : シミュレーションで求めたハドロン生成分布の例。

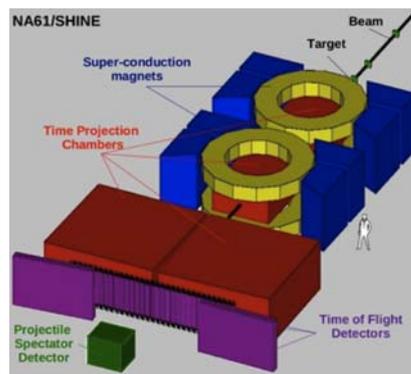


図 3 : NA61実験のセットアップ

平成20年度、21年度は、陽子と炭素ターゲットとの相互作用からのハドロン生成分布の高統計のデータをNA61実験で収集した。データ収集は、薄いターゲット及び90 cmのターゲット共に行った。(図4)

また、生成されたπ中間子がターゲット内で再度相互作用を起こして、ターゲットから出てくる正電荷パイ中間子と負電荷パイ中間子の違いを調べるためのデータも収集した。

データ収集と平行して、ニュートリノを生成する正電荷のπ中間子と、反ニュートリノ

を生成する負電荷の π 中間子の運動量-角度分布を解析してまとめた。

2 different graphite ($\rho = 1.84 \text{ g/cm}^3$) targets



Thin target data
($4\% \lambda_l, 2.5 \times 2.5 \times 2 \text{ cm}^3$)
Measurement of differential
inclusive inelastic
cross-section



T2K replica target data
($1.9 \lambda_l = 90 \text{ cm}, \phi = 2.6 \text{ cm}$)

図4：ハドロン生成実験で用いた炭素ターゲット。本科研費にて制作を行った。

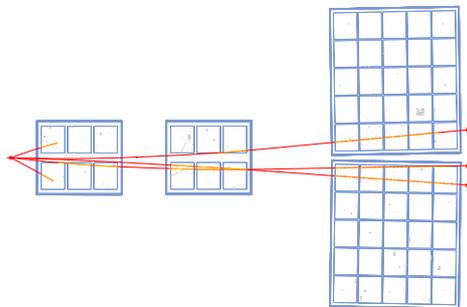


図5：NA61 実験でのパイ中間子生成のイベントディスプレイ。陽子ビームを左側から入射させて、赤い線が始まっている部分に設置されているターゲットと相互作用して、複数の荷電粒子生成されている（赤い線）。このうち、パイ中間子の線を使って、生成分布の測定を行う。

最終的に 30GeV の陽子と炭素ターゲットの相互作用から生成される π 中間子の運動量-角度分布(図6)について結果をまとめ(学術雑誌 Physics Review C に投稿。現在査定中のため電子プリント版を研究発表として本報告書に記載)、この結果を用いて東海-神岡長基線ニュートリノ振動実験における、ニュートリノおよび反ニュートリノビームの不定性を小さくした。また、ハドロン生成およびそれ以外の要素からのニュートリノビームの不定性も見積もり、 μ ニュートリノ(反 μ ニュートリノ) ビームについて、それぞれ約 20% (15%) の不定性がある事を求めた。また、将来の CP 対称性の破れを測定する実験計画や大強度ニュートリノビームについて、国際会議で発表を行った

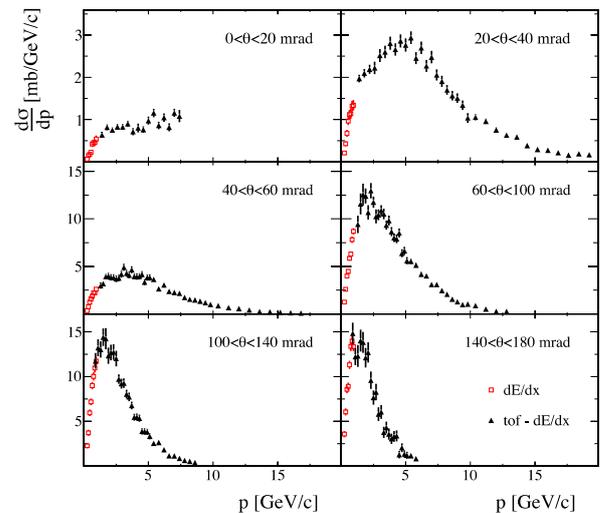


図6：測定したパイ中間子の運動量分布。各生成角度毎にまとめている。(学術論文より引用)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

Measurements of Cross Sections and Charged Pion Spectra in Proton-Carbon Interactions at 31 GeV/c, N.Abgrall, K.Sakashita et. al., CERN-PH-EP-2011-005, 2011

[学会発表] (計 1 件)

“Super Beams”, Ken Sakashita, Neutrino2010, ギリシャ・アテネ, 2010

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坂下健 (SAKASHITA KEN) 高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・助教

研究者番号 : 50435616

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :