

## 加速器ニュートリノビームを用いたニュートリノ混合の究明

Study of Neutrino Mixing by using  
accelerator neutrino beams

中家 剛 (NAKAYA TSUYOSHI)

京都大学・大学院理学研究科・教授



### 研究の概要

ニュートリノ混合現象の究明とニュートリノ質量差の精密測定を目標に、加速器ニュートリノビームを活用し、ニュートリノ実験 SciBooNE と T2K を実施する。

SciBooNE 実験で世界最高精度でニュートリノ・原子核反応を測定し、そのデータを活用し、T2K 実験で世界最高感度でニュートリノ振動の研究を実施する。

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：素粒子（実験）、ニュートリノ

### 1. 研究開始当初の背景

21世紀初頭、ニュートリノ振動現象の発見とその後の追試により、ニュートリノ質量の存在とニュートリノ間の大きな混合が確認された。この発見により、ニュートリノを使って素粒子の「質量と相互作用」という、基本物理量の関係を究明することが可能となった。本研究では世界に先駆け、高強度加速器ニュートリノビームを使いニュートリノ振動現象を高精度で研究することにより、ニュートリノ混合の全貌解明を目指す。

### 2. 研究の目的

ニュートリノの諸性質を決定していくことは、素粒子物理学の最重要課題であり、更には原子核物理や宇宙物理にも強烈なインパクトを与える。本研究ではフェルミ研 E954 実験 SciBooNE でニュートリノと原子核の反応の精密データを解析し、その結果を活用し、大強度陽子加速器施設 J-PARC でのニュートリノ振動実験 T2K でニュートリノ振動を高感度で測定する。

### 3. 研究の方法

研究期間前半は SciBooNE 実験でデータ収集、物理解析を行ないながら、平行して T2K 実験の実験準備、測定器製作を行なう。SciBooNE の実験結果は、T2K 実験開始当初に必要なので、データ収集は平成20年秋までの1年を予定しており、平成22年度までに全ての物理結果を出すことを目標とする。

T2K 実験は平成21年4月に初のニュートリノビームを発生し、22年から前置ニュートリノ測定器が始動しニュートリノビーム計測が始まる。その後、本格的に実験を開始する。T2K 実験で、本研究の終了時までに蓄積予定の $\sim 1 \times 10^{21}$ 陽子/標的のビームデータを使って、現在よりも10倍近く感度を向上させ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探索する。ニュートリノ振動の基本パラメータに関してもそれぞれ世界最高精度で測定する。次に、電子ニュートリノ出現の信号を発見した場合は、ニュートリノ振動での CP 対称性の破れの探索が重要な目標となる。そのため、T2K で反ニュートリノビームを使った実験計画の検討も行う。

### 4. これまでの成果

平成23年3月までに、加速器ニュートリノビームを活用し、SciBooNE 実験で世界最高精度でニュートリノと原子核の反応断面積の測定を行った。それと並行して、世界最高感度でのニュートリノ振動測定を行うため T2K 実験の準備、データ収集、初期の物理解析を行った。

SciBooNE 実験では、荷電カレントコヒーレント  $\pi$  生成反応の探索、中性カレント  $\pi^0$  生成反応断面積の測定、中性カレントコヒーレント  $\pi^0$  生成反応断面積の測定、荷電カレント全断面積の測定を行った。また、SciBooNE 実験でフェルミ研ブースターニュートリノビームのフラックスを精密におさえ、MiniBooNE

実験と共同して、短基線でのミューオンニュートリノ消失事象の探索を行った。ミューオンニュートリノ消失の信号は発見されず、世界最高感度で上限値を設定した。

T2K 実験は、平成 20 年に前置ニュートリノ測定器建設を中心に実験準備を進め、平成 22 年 2 月に前置ニュートリノ測定器を完成させた。平成 21 年 4 月に初ニュートリノビームがミューオンモニターで観測された。その後、ミューオンモニターを使いビームを調整し、設計方向にビームを向け、電磁ホーンによるビーム増幅を確認した。平成 21 年 11 月には、初ニュートリノ事象がニュートリノモニターで観測され、平成 22 年 1 月より物理ランをスタートし、同年 2 月にスーパーカミオカンデ測定器で初ニュートリノ事象を観測した。データ収集は、夏のシャットダウン時を除き、東日本大震災が起こる平成 23 年 3 月 11 日まで行った。この間、 $1.46 \times 10^{20}$  陽子/標的のデータを取得することに成功した。

平成 22 年 1 月から 6 月までに取った  $3.23 \times 10^{19}$  陽子/標的のデータを使ってニュートリノ振動解析を行った。振動解析は、(1) ニュートリノビームの方向をミューオンモニターで確認し、解析に使うビームスピルの選択、(2) ビームシミュレーションを使って、前置ニュートリノ測定器とスーパーカミオカンデ測定器間でのフラックス比とその系統誤差の計算、(3) 前置ニュートリノ測定器でニュートリノ事象を測定しスーパーカミオカンデでの事象数を見積もる、(4) 予想した事象数と観測した事象数を比較し、ニュートリノ振動を測定する。この結果は、京大博士学生であった松岡の学位論文「Measurement of the Neutrino Beam with the Muon Monitor and the First Result of the T2K Long-Baseline Neutrino Oscillation Experiment」としてまとめられている。観測された電子ニュートリノ事象数は 1 で、ニュートリノ振動が無い場合の予想値が 0.3 事象、ニュートリノ振動が  $\sin^2 2\theta_{13}=0.1$  で起こる場合は 1.2 事象で、興味深い結果となっている。

## 5. 今後の計画

SciBooNE 実験では、国際会議で報告した数々の結果を論文としてまとめる。特に SciBooNE-MiniBooNE でのミューオンニュートリノ消失の探索、反ニュートリノビームでのニュートリノ断面積測定が予定している結果である。

T2K 実験は、これまでに取得した  $1.46 \times 10^{20}$  陽子/標的のデータを使ったニュートリノ振動解析の結果をまとめる。これと並行して、ニュートリノビーム強度を増強しながら、更なるデータ収集を継続する。ただし、3 月 11 日に起こった東日本大震災で、加速器 J-PARC と T2K ニュートリノビームラインが被害を受けており、当面は実験の復旧を第 1 目標にする。

## 6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

(1) “Measurement of inclusive charged current interactions on carbon in a few-GeV neutrino beam”, Y. Nakajima, T. Nakaya 他, Phys.Rev.D83: 012005, 2011

(2) “Design and performance of the muon monitor for the T2K neutrino oscillation experiment”, K. Matsuoka, T. Nakaya 他, Nucl. Instrum. Meth. A624: 591-600, 2010.

(3) “Performance of Multi-Pixel Photon Counters for the T2K near detectors”, M. Yokoyama, T. Nakaya 他, Nucl. Instrum. Meth. A622: 567-573, 2010.

(4) “Improved measurement of neutral current coherent  $\pi^0$  production on carbon in a few-GeV neutrino beam. Y. Kurimoto, T. Nakaya 他, Phys.Rev. D81: 111102, 2010

(5) “Search for Charged Current Coherent Pion Production on Carbon in a Few-GeV Neutrino Beam”, K. Hiraide, T. Nakaya 他, Phys.Rev. D78 : 112004, 2008.

-----  
(a) “Long-baseline neutrino experiments” (invited talk), T. Nakaya, The 35th International Conference on High Energy Physics, July 22-28, 2010, Paris, France.

(b) “New results from the FNAL SciBooNE neutrino experiment” (invited talk), T. Nakaya, FOURTEENTH LOMONOSOV CONFERENCE ON ELEMENTARY PARTICLE PHYSICS, Aug 19-25, 2009, Moscow.

ホームページ等

<http://www-he.scphys.kyoto-u.ac.jp/research/Neutrino/index.html>