

## 平成 29 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：東海 to 神岡長基線ニュートリノ実験 T2K

英文：Tokai to Kamioka Long Baseline Experiment T2K

研究代表者 中家 剛

参加研究者 カナダ、フランス、ドイツ、イタリア、日本、ポーランド、ロシア、スイス、イギリス、アメリカ、ベトナムからの約 500 名による共同研究。日本からは、大阪市立大学、岡山大学、京都大学、高エネルギー加速器研究機構、神戸大学、首都大学東京、東京大学、東京大学宇宙線研究所、東京大学カブリ IPMU、東京工業大学、東京理科大学、宮城教育大学、横浜国立大学が参加している。

### 研究成果概要

東海-神岡間長基線ニュートリノ実験(T2K)は、茨城県東海村の大強度陽子加速器施設(J-PARC)で生成したニュートリノビームを 295 km はなれたスーパーカミオカンデ(SK)に向かって打ち込み、電子型ニュートリノ( $\nu_e$ )出現現象やミュー型ニュートリノ( $\nu_\mu$ )欠損現象の測定によってニュートリノ振動の全容を解明する実験である。

2010 年より 2016 年 5 月までにニュートリノビームモードおよび反ニュートリノビームモードでそれぞれ  $7.5 \times 10^{20}$  POT (protons-on-target, J-PARC 加速器からニュートリノビームを生成するために取り出された陽子数) 分のデータを取得し、ニュートリノ振動において統計的信頼度 90% で CP 対称性が破れているという結果を得ていた。

2016 年 10 月から 2017 年 4 月までは主にニュートリノビームモードでのデータ取得を行った。加速器のビームパワーが 425kW から 470kW に増強されたこともあり、総 POT は、ニュートリノビームで  $14.7 \times 10^{20}$ 、反ニュートリノビームで  $7.6 \times 10^{20}$  となった。解析においても実効的な統計を増やす大きな進展があった。これまでスーパーカミオカンデにおける事象の選択では、再構成された反応点が内部 PMT 壁から 2 メートル以上離れて内側にあることを要求してきた。しかし、近年開発された新しい事象再構成アルゴリズムにより、より壁に近い位置まで事象を再構成することが可能となった。その他の改良と合わせて、電子ニュートリノ選択で約 30%、反電子ニュートリノ選択で約 20% の効率改善が達成された。4 月までに取得された全データに対して、新しい解析を行った結果、電子ニュートリノとして観測されたのは 89 個あった。「CP 対称性の破れがない」場合の予想数は約 67 個で、観測数はこの予想を上回る。一方、反電子ニュートリノについても、「CP 対称性の破れがない」場合の予想数は約 9 個であるのに対し、観測数は 7 個と、予想よりも少なかった。(反)電子ニュートリノに加え、(反)ミューニュートリノの

観測結果、また原子炉や太陽ニュートリノ実験の結果も考慮し、振動解析を行った結果、データを最も再現する CP 位相角は $-105^\circ$  であり、統計的に 95%( $2\sigma$ )で許容される範囲は、 $-171^\circ$  から $-70^\circ$  という結果が得られた。CP 位相角は $0^\circ$  ないし $180^\circ$  以外の場合に CP 対称性を破るパラメータであり、得られた結果は CP 対称性の破れの統計的信頼度が 95%と前年度に比べてさらに高まったことを意味している。混合角 $\theta_{23}$  および質量二乗差  $\Delta m^2_{32}$  の測定については、ニュートリノ-原子核反応の不定性が統計誤差に比べて無視できない寄与をし始めてきている。特に、前置検出器データのフィットでうまくパラメータ化できないモデルの不定性の取り扱いについて検討が進められ、最終結果へそれらの不定性を取り込む方法が開発された。これらの方法を用いて、まもなく 2017 年夏までのデータを用いた最終結果が公表される予定である。

夏の定例シャットダウンでは、陽子ビームラインターゲット上流のビーム窓の交換が遠隔操作により行われた。10 月からは、反ニュートリノビームモードでデータ取得を行っている。

ビーム強度増強のための各種 R&D および機器増強、系統誤差削減のための 2021 年の前置検出器アップグレードに向けた設計も進んでいる。米国 NOvA 実験グループとの共同解析に向けて議論するための会議もあった。スーパーカミオカンデにおいては、さらに事象選択の効率を高めるため、これまで使われてきたチェレンコフがシングルの事象に加えてマルチリングの事象を使えるようスタディーが進んでいる。また、SK-Gd 計画に向けて、Gd による中性子タグで T2K の感度を向上させるスタディーも進められている。

【発表論文】(author はすべて T2K collaboration)

- [1] “Combined Analysis of Neutrino and Antineutrino Oscillations at T2K”, Phys. Rev. Lett. 118(2017), 151801
- [2] “Search for Lorentz and CPT violation using sidereal time dependence of neutrino flavor transitions over a short baseline”, Phys. Rev. D 95(2017), 111101
- [3] “Updated T2K measurements of muon neutrino and antineutrino disappearance using  $1.5 \times 10^{21}$  protons on target”, Phys. Rev. D 96(2017), 011102
- [4] “Measurement of anti- $\nu_\mu$  and  $\nu_\mu$  charged current inclusive cross sections and their ratio with the T2K off-axis near detector”, Phys.Rev. D96 (2017) 052001
- [5] “Measurement of neutrino and antineutrino oscillations by the T2K experiment including a new additional sample of  $\nu_e$  interactions at the far detector”, Phys. Rev. D 96(2017), 092006
- [6] “First measurement of the  $\nu_\mu$  charged-current cross section on a water target without pions in the final state”, Phys. Rev. D97(2018), 012001