

平成 30 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、スペイン、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、慶應義塾大学、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 to 神岡長基線ニュートリノ実験 T2K は、茨城東海村にある大強度陽子加速器施設 J-PARC により生成されたミューオンニュートリノ(ν_μ)ビームによるニュートリノ反応を前置検出器 ND280 と 295 km 離れたスーパーカミオカンデにより観測し、ニュートリノ振動現象を測定する実験である。T2K では振動前の ν_μ が振動後の電子ニュートリノ(ν_e)に変化する ν_e 出現現象と、 ν_μ が他のニュートリノに変化する ν_μ 消失現象を観測し、ニュートリノの混合角、質量二乗差を測定する。また、電磁ホーンの収束モードを変更することで反ミューオンニュートリノ($\bar{\nu}_\mu$)ビームの生成が可能で、T2K は ν_e 出現現象と $\bar{\nu}_e$ 出現現象の事象数を比較し、ニュートリノにおける CP 対称性の破れの大きさを測定する。

加速器のビームパワーが 485 kW に増強されたこともあり、T2K は 2017 年 10 月から 2018 年 5 月までの運転で今まで取得していた反ニュートリノモードのデータを倍増させた。これまでで合計 3.16×10^{21} POT (protons on target, ニュートリノ生成標的に照射された陽子の数)の統計を取得し、全データを用いてニュートリノ振動解析を行った。CP 対称性の破れがない場合の事象予想数が ν_e と $\bar{\nu}_e$ 出現現象がそれぞれ約 62 個と約 19 個に対して、スーパーカミオカンデにおける ν_e 出現現象候補数が 90 個と多く、 $\bar{\nu}_e$ 出現現象候補数が 15 個と少なく観測された。 ν_μ と $\bar{\nu}_\mu$ 消失事象の観測結果も考慮して振動解析を行った結果、ニュートリノの質量二乗差の順序が通常順序であり 2-3 世代混合角が 45° 以上であることを示唆する結果が得られた。T2K の全データと原子炉実験結果による 1-3 世代混合角の上限値を考慮して振動解析を行ったところ、データを最も再現する CP 位相角が -108° であり、統計的に 95%(2σ)で許容される CP 位相角の範囲が -170° から -36° という結果が得られた。これにより、T2K の振動解析において CP 対称性の破れ

を 2σ の信頼度で示唆する解析結果が得られた。

J-PARC は安定して供給できるビームパワーを 485 kW から 1.3 MW へ逐次増強することを計画している。T2K はこれにより将来的に 20×10^{20} POT のデータを取得することを提案している。この全統計を用いることにより、ニュートリノの質量順序が分かっている場合、T2K は 4 割以上の CP 位相角の値において 99.7%(3σ)以上の信頼度で CP 対称性の破れの兆候を得ることが可能である。この予定されている統計増加に伴い、振動解析における系統誤差の削減が重要となる。現在 T2K において系統誤差の主要因であるニュートリノ反応断面積の不定性を削減するため、前置検出器 ND280 のアップグレード計画が進行中である。

ND280 アップグレードでは、現在の ND280 上流に配置されている一部検出器を、大角度トラック測定用 TPC 2 台と高位置分解能検出器 SuperFGD から構成されるトラックャー、その表面を覆う飛行時間検出器に置き換える計画である。SuperFGD は反射層を持つ 1cm^3 の立方体シンチレータを並べることで $1.9 \times 0.6 \times 1.9 \text{ m}^3$ の体積を形成した標的飛跡検出器である。その各立方体の三方向から波長変換ファイバーと MPPC による光量読み出しを行うことにより、大角度飛跡に対するアクセプタンスの向上と低運動量荷電粒子の精密測定を行い、ニュートリノ反応起因の系統誤差削減を目標としている。2018 年 11 月に ND280 アップグレード計画の技術設計書(TDR)が J-PARC における原子核素粒子共同利用実験の審査委員会(PAC)に提出された。現在 2021 年の ND280 アップグレード実装に向けて研究開発が進行中である。

【発表論文】 (author はすべて T2K collaboration)

- [1] “A new electron-multiplier-tube-based beam monitor for muon monitoring at the T2K experiment”, Progress of Theoretical and Experimental Physics, Volume 2018, Issue 10, 1 October 2018, 103H01
- [2] “Measurement of the single π^0 production rate in neutral current neutrino interactions on water”, Phys. Rev. D **97**, 032002
- [3] “Measurement of inclusive double-differential ν_μ charged-current cross section with improved acceptance in the T2K off-axis near detector”, Phys. Rev. D **98**, 012004
- [4] “Characterization of nuclear effects in muon-neutrino scattering on hydrocarbon with a measurement of final-state kinematics and correlations in charged-current pionless interactions at T2K”, Phys. Rev. D **98**, 032003
- [5] “Search for CP Violation in Neutrino and Antineutrino Oscillations by the T2K Experiment with 2.2×10^{21} Protons on Target”, Phys. Rev. Lett. **121**, 171802