

2019 (令和元) 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、大強度陽子加速器施設 J-PARC により生成されたニュートリノビームをニュートリノ生成点直後に設置された前置検出器と 295 km 離れたスーパーカミオカンデで観測することによりニュートリノ振動の精密測定を行う。ミューオンニュートリノ(ν_μ)が電子ニュートリノ(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。さらにニュートリノと反ニュートリノの振動を比較することによりニュートリノにおける CP 対称性の破れを検証する。

当年度においては、これまで取得した 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)の統計量のビームデータを解析し、CP 対称性を表す複素位相に対して $-3.41 < \delta_{CP} < -0.03$ (標準質量順序の場合)、 $-2.54 < \delta_{CP} < -0.32$ (逆質量順序の場合)という 99.7%(3 σ)の信頼領域を初めて与えた。この結果についての論文は Nature 誌に受理された[7]。その他にも前置検出器やスーパーカミオカンデを用いたニュートリノ反応断面積測定やステライルニュートリノ、重いニュートリノの探索などの新結果についての論文が出版された[1-6]。

さらに 2019 年 11 月から 2020 年 2 月までビーム運転を行い、新たに 0.48×10^{21} POT の統計量のビームデータを取得した。このビーム運転においては 503kW という過去最高のビーム強度で安定した連続運転を達成し、さらに後述の新検出器や改修工事後のスーパーカミオカンデにおいて初ビームデータを取得した。

現在の測定結果は統計誤差の影響が大きく、統計量増大のために加速器の大強度化(段階的に 1.3MW まで)や電磁ホーンの増強(電流を現在の 250kA から 320kA まで)、スーパーカミオカンデにおける新サンプル導入に向けた研究などが進められている。さらに

系統誤差の主要因となっているニュートリノ反応の不定性を削減するため、新検出器 WAGASCI-Baby MIND を用いた測定とスーパーカミオカンデ方向に向かうニュートリノを測定する前置検出器 ND280 のアップグレード計画が進行中である。

WAGASCI-Baby MIND は、特殊なシンチレータ構造を持つ水標的のニュートリノ検出器や鉄コア電磁石を含んだミューオン検出器などの複数の検出器から構成され、ND280 よりエネルギーの高いニュートリノについての反応断面積を精密に測定することを目的としている。2019年2月に検出器のインストール、再配置が完了し、2019年11月から2020年2月まで初ビームを取得し、現在はデータ解析が進行中である。

ND280 アップグレードでは ND280 上流に配置されている検出器の一部を、高位置分解能ニュートリノ反応点検出器 Super-FGD とその上下に設置する大角度飛跡測定用 TPC 2台、それらを取り囲む飛行時間検出器に置き換えることが計画されている。Super-FGD は 1cm^3 の立方体シンチレータを約二百万個並べることで $2.0 \times 0.6 \times 1.9 \text{m}^3$ の体積を形成し、各シンチレータからの蛍光を波長変換ファイバーと光センサーMPPCにより3方向から読み出す。現在の ND280 では測定が困難な大角度に散乱された粒子や飛程の短い低運動量のハドロン、 ν_e などを精密に測定し、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。2021年のインストールに向けて、シンチレータの組み立てやエレクトロニクスなどの構成要素の開発、ビーム試験による性能評価が進められている。

【発表論文】(著者はすべて T2K collaboration)

- [1] "Search for neutral-current induced single photon production at the ND280 near detector in T2K", J. Phys. G. 46 08LT01 (2019)
 - [2] "Search for light sterile neutrinos with the T2K far detector Super-Kamiokande at a baseline of 295km", Phys. Rev. D 99, 071103 (2019)
 - [3] "Search for heavy neutrinos with the T2K near detector ND280", Phys. Rev. D 100, 052006 (2019)
 - [4] "Measurement of the ν_μ charged-current cross sections on water, hydrocarbon, iron, and their ratios with the T2K on-axis detectors" PTEP 2019, 9, 093C02 (2019)
 - [5] "Measurement of neutrino and antineutrino neutral-current quasielasticlike interactions on oxygen by detecting nuclear deexcitation γ rays", Phys. Rev. D 100, 112009 (2019)
 - [6] "Measurement of the muon neutrino charged-current single π^+ production on hydrocarbon using the T2K off-axis near detector ND280", Phys. Rev. D 101, 012007 (2020)
- "Constraint on the Matter-Antimatter Symmetry-Violating Phase in Neutrino Oscillations", Nature 580, 339–344 (2020)