

科学研究費助成事業（特別推進研究）公表用資料
〔平成 3 1 (2019) 年度研究進捗評価用〕

平成 2 8 (2016) 年度採択分

令和元(2019)年 5 月 17 日現在

研究課題名（和文） T2K 実験の高度化によるニュートリノの
CP 対称性の測定
研究課題名（英文） Measurement of CP symmetry of
neutrino by upgrading T2K experiment

課題番号：16H06288

研究代表者

小林 隆 (KOBAYASHI TAKASHI)

高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授



研究の概要：T2K 実験を高度化して、素粒子研究で重要な課題である「レプトンの対称性の破れ」の解明を目指す。本研究では加速器、ニュートリノビームライン、前置ニュートリノ検出器および物理解析手法をそれぞれ高度化し、本研究期間内にニュートリノの粒子・反粒子対称性の破れ(CP 対称性の破れ)を 95%~99%の信頼度で発見を目指す。また、本研究によって実装された感度をもってその後 2026 年頃までデータ収集を継続することで 99.9%の信頼度で CP 対称性の最大の破れの発見が可能となる。

研究分野：素粒子物理実験

キーワード：ニュートリノ振動、CP 対称性、J-PARC、T2K 実験、スーパーカミオカンデ

1. 研究開始当初の背景

(1) T2K 実験は、茨城県東海村にある大強度陽子加速器 J-PARC の陽子ビームを使って、人工的にニュートリノという素粒子を大量に作り出し、そのビームを地中を素通りさせ、295km 離れた岐阜県神岡のスーパーカミオカンデ検出器で検出し、ニュートリノ振動現象という、飛行中にニュートリノの種類が変化する現象を調べる長基線ニュートリノ振動実験です(図 1)。2010 年に実験を開始し、2011 年~2013 年にかけて、ミュー型と呼ばれる種類のニュートリノが飛行中に電子型という別の種類に変化することを世界に先駆けて発見しました。

(2) 同様な変化がニュートリノの反粒子である反ニュートリノでも生じるか、またその変化の割合はニュートリノと反ニュートリノで異なるか(CP 対称性の破れ)を調べ始めました。平成 28 年度当初、T2K は世界ではじめて CP 対称性が破れている可能性を示唆しました。ただこの信頼度(確度)は低く、さらなるデータ収集による検証が必要でした。

2. 研究の目的

(1) 本課題研究では、T2K 実験のビームの増強や検出器の高性能化により、感度をさらに高め、ニュートリノの CP 対称性の破れを精密に測定することによって、ニュートリノの未知の性質を明らかにすることを目的として



図 1 T2K 実験の概要

います。

(2) ニュートリノにおける CP 対称性の破れは、宇宙の物質起源の謎という根源的な問題の解明の鍵となる可能性が指摘されており、素粒子物理学における今後のもっとも重要な課題の一つとなっています。

3. 研究の方法

(1) T2K 実験の感度向上のため、統計精度と系統精度双方の向上を図ります。統計精度はスーパーカミオカンデで検出するニュートリノの数を増やすことで高めます。そのためには J-PARC の陽子ビームをさらに強く安定にし、神岡に送るニュートリノの数を増やします。大強度陽子ビームの安定運転のために、陽子ビームの位置や太さなどの性質を常に精密に測定して、ビーム制御に反映させる必要があります。本研究ではそのための陽子ビーム測定器を製作、設置します。さらにニュートリノビームを強くするため、陽子ビームからニュートリノを生成するための装置の一部である「電磁ホーン」と呼ばれる装置の性能

を高めます。

(2) また系統誤差向上のためには、生成直後のニュートリノビームの個数や、エネルギー分布、ミュー型ニュートリノと電子型ニュートリノの割合などをより高い精度で求める必要があります。本研究では、J-PARC 敷地内に設置されているニュートリノ測定器の一部を新たなアイデアに基づく新型検出器で置き換えることによって測定精度向上を図ります。

4. これまでの成果

(1) 本研究によって加速器ビーム強度が350kWから500kWに増強し、またT2K実験の解析手法も改良しました。これらの結果、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の候補信号を90事象、反ミューオンニュートリノから反電子ニュートリノへの振動の候補信号を15事象観測しました。これらT2K実験のデータと原子炉実験からの θ_{13} 測定結果を組み合わせることで、ニュートリノCP対称性が破れていることを信頼度95%で検証することができました。

(2) 本研究期間内での成果は、学術的には例えば2017年までのデータ解析の結果が、科学雑誌Physical Review Letters 121, 171802 (2018)に掲載されています。この論文は米国物理学会の注目論文として選ばれ特集記事が公開されており、この結果が物理学に与えたインパクトは大きいと言えます。また、これらの成果は多くの全国紙・地方紙・TV報道・一般向け科学誌などで取り上げられています。

(3) 加速器、ニュートリノビームライン、前置検出器の高度化では、新しいビームモニターの開発や“SuperFGD”と呼ばれる新しいニュートリノ検出器の設計で進展がありました。

5. 今後の計画

(1) 残りの研究期間では、引き続き加速器高度化、ニュートリノビーム高度化、前置検出器の高度化、解析手法の改良を進めて、T2K実験でCP対称性の破れを99.9%以上の確度で測定できるよう実験全体の高度化を進めます。また、さらなる解析の改良にむけて、系統誤差の大きな要因であるニュートリノ原子核反応モデルの改良、系統誤差の改善、新しい事象サンプルの導入などを進めます。

(2) 引き続き500kWのビームパワーで安定した運転を行うことで、T2K実験のデータ量は約25%増になることが予想されます。この研究期間内までの全データから、CP対称性の破れを99%の確度で検証することができると予想しています。また、T2K実験前置検出器ホールに設置した水標的を含んだWAGASCI-

BabyMIND実験では、水におけるニュートリノ反応の精密測定を行います。本研究によって実装されたCP対称性破れに対する感度をもって、その後2026年頃までにデータ収集を継続することで99.9%の確度でCP対称性の最大の破れの発見を可能にします。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)
研究代表者は二重線、研究分担者は一重下線、
連携研究者(平成29年度(2017年度)まで)
は点線を付してください。

発表論文(全37件)

1. “Search for CP Violation in Neutrino and Antineutrino Oscillations by the T2K Experiment with 2.2x10²¹ Protons on Target”, K. Abe 他 (T2K collaboration), Phys. Rev. Lett., 査読有り, 121, no. 17, 171802, p1-p9, (2018).
他36件

国際会議講演(全49件)

1. B. Yee-Rendon et al., “UPDATED MODEL OF THE RESISTIVE WALL IMPEDANCE FOR THE MAIN RING OF J-PARC”, poster presentation, IPAC2018, Vancouver, BC, Canada, April 29-May4, 2018.
2. T. Kobayashi, “Present and future accelerator-based experiments in Japan”, 2nd international WS “Particle, Gravitation and the Universe, Hanoi Vietnam, December 10-15, 2018.
他43件

国内学会講演(全65件)

1. 小林 愛音 他, “J-PARC MR の大強度運転へ向けたバンチトレインチューンシフトの研究 / BUNCH TRAIN TUNE SHIFT STUDY FOR HIGHER BEAM POWER AT J-PARC MR”, 日本加速器学会, Nagaoka, Japan, August 7-10, 2018.
2. 横山将志, 「T2Kニュートリノ振動実験による反電子ニュートリノ出現とCP対称性の破れの探索の最新結果」, 企画講演, 日本物理学会 2018年秋季大会, 信州大学松本キャンパス, 2018年9月14日-17日.
他61件

ホームページ等

<http://t2k-experiment.org/>