

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：14301

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2018～2022

課題番号：18H05537

研究課題名(和文) 加速器ニュートリノビームで探る素粒子の対称性

研究課題名(英文) Exploration of the Symmetry in Particle Physics with an Accelerator Neutrino Beam

研究代表者

中家 剛 (NAKAYA, Tsuyoshi)

京都大学・理学研究科・教授

研究者番号：50314175

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 145,300,000円

研究成果の概要(和文)：長基線加速器ニュートリノ実験T2Kでニュートリノ振動のパラメータを精密に測定し、さらにCP対称性の破れを高感度で探索する。T2K実験の性能を向上させるべく、ニュートリノビームの大強度化による大量データの蓄積とニュートリノフラックスの高精度決定、ニュートリノと原子核反応の高精度測定、ニュートリノ振動解析の高度化、をおこなった。ニュートリノビームデータとして 3.8×10^{21} 陽子分を使ってニュートリノ振動を解析し、 θ_{23} は $0.4 - 0.491$ 、あるいは $0.526 - 0.578$ と $\pm 5\%$ の精度で測定した。CP対称性の破れに関しては、そのパラメータ δ_{CP} を99.7%の有意度で制限した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

素粒子、宇宙、ニュートリノの研究は、日本国民の関心が非常に高い基礎科学の研究分野であり、現在も日本の研究者が世界の最先端に立っている。本研究の最大の成果は、世界最高精度でニュートリノ振動パラメータを測定し、ニュートリノによる粒子・反粒子対称性の兆候を捕まえたこと、である。これにより、T2K実験は世界の素粒子と宇宙の研究分野を牽引する重要な役割を担った。本結果は、マスメディアや一般講演で配信することに加え、4コマ漫画で簡易に説明することで、基礎科学の面白さを広く社会に向けて発信した。

研究成果の概要(英文)：Precise measurement of neutrino oscillation parameters and sensitive search for CP violation have been conducted in the long-baseline accelerator neutrino experiment T2K. To improve the performance of the T2K experiment, we have increased the intensity of the neutrino beam to accumulate large amounts of data, estimated the neutrino flux with high precision, accurate measurements of neutrino and nuclear interactions, and advanced neutrino oscillation analysis. Neutrino oscillations analysis was conducted by using 3.8×10^{21} protons of neutrino beam data, and θ_{23} was measured with an accuracy of $\pm 5\%$, ranging from 0.46 to 0.491 or 0.526 to 0.578. For CP symmetry violation, the parameter δ_{CP} was constrained with a significance of 99.7%.

研究分野：素粒子物理学

キーワード：素粒子 CP対称性 ニュートリノ 加速器 原子核反応 ニュートリノビーム 宇宙

1. 研究開始当初の背景

ニュートリノは素粒子物理学の最重要な研究対象の一つである。特に、ニュートリノ振動の研究は、その発見にノーベル物理学賞（2015年）が授与されたように、素粒子物理学や宇宙物理学にとって非常に重要である。ニュートリノ振動の発見により確立した微小なニュートリノ質量の存在は、大統一理論等において重要な超高エネルギースケールの物理に起源があると考えられ、我々が目標とする「新しい素粒子・宇宙像」の創造に必要な知見を与える。この「ニュートリノ振動」の測定によりニュートリノ質量とその混合が決定でき、「素粒子の対称性」の研究が進展し始めた。「素粒子の対称性」とは、「クォークとレプトンの間の対称性」、「粒子と反粒子の間の対称性（CP対称性）」、「レプトンの世代間の対称性」のことである。これらの対称性は、大統一理論など、我々がまだ知らない新物理を解明する鍵となるため、精力的に研究が進められていた。

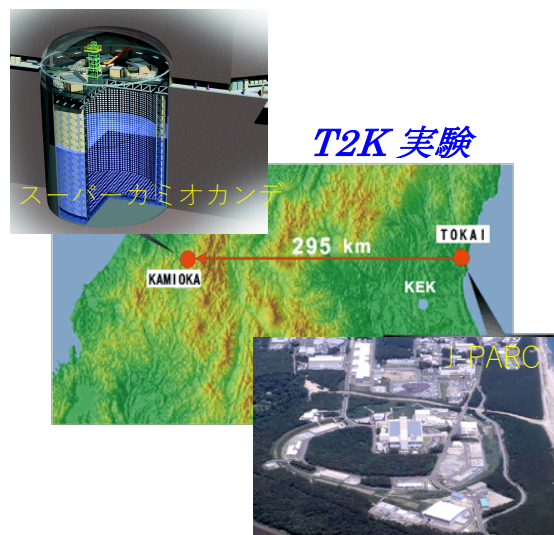
ニュートリノ研究は日本が世界をリードしてきた科学分野である。特にスーパーカミオカンデという世界最高の性能を持つ唯一無二のニュートリノ検出器の存在がその原動力となってきた。また世界最大強度の陽子加速器 J-PARC でニュートリノビームを生成することで、世界最高感度の長期線加速器ニュートリノ実験 T2K が実現した。T2K 実験は、世界中から 12 カ国総勢 500 名（日本人は約 100 名）で実行する国際共同研究であり、これまで数々の研究成果を創出してきた（2016 年ブレークスルー賞受賞等）。本研究の特色は、世界最高精度の「ニュートリノ振動」の研究にある。重要な研究成果として、「ミューオンニュートリノから電子ニュートリノへの振動の発見」と、「ニュートリノにおける CP 対称性の破れの兆候観測」を発表していた。ただし、近年、米国フェルミ研究所の NOvA 実験が強力な競争相手になっており、T2K 実験の更なる高度化が急務な状況にあった。

2. 研究の目的

我々が進める加速器ニュートリノビームを使った実験では、ニュートリノ振動のパラメータ θ_{23} , θ_{13} , δ_{CP} , Δm_{32}^2 を高精度で決定できる。特に T2K 実験（右図）で、 θ_{23} , δ_{CP} , Δm_{32}^2 を 世界最高精度で決定している。「素粒子の対称性」の研究を進める、つまり真の対称性を探求するには、 θ_{23} , δ_{CP} , Δm_{32}^2 の 更なる精度向上が必要である。このために、我々は T2K 実験の性能をより一層向上させ、さらに高精度なニュートリノ振動測定に向け、(1)統計誤差を削減するために大量データの蓄積とデータ解析の高度化、(2)系統誤差を削減するためにニュートリノと原子核反応の高精度測定を実施する。特に、(1)により統計誤差が改善された場合は、ニュートリノと原子核反応の不定性がニュートリノ振動の測定限界を決める要因となるため、本研究による革新的な測定でブレークスルーを目指す。

本研究で T2K 実験の感度を向上させることで期待される成果は、

- 世界最高精度での「ニュートリノ振動」の測定（現在精度の悪い混合角 θ_{23} を 5% の精度に改善）。それをクォークの混合（小林・益川行列）と比較することから、間接的に大統一理論を検証する。
- ニュートリノにおける CP 対称性の破れを世界最高感度で探索する（99% の有意度で検



証可能)。

- ニュートリノ振動以外にも、暗黒物質の候補となる可能性のある軽い右巻きニュートリノの探索や暗黒光子の探索。

である。これらの結果は、「発見」すればノーベル賞級の成果といえる。

3. 研究の方法

茨城県東海村にある大強度陽子加速器 J-PARC で生成したミュー型ニュートリノビームを使って、295km 離れた岐阜県飛騨市神岡町にあるスーパーカミオカンデでニュートリノ振動を測定する。ニュートリノ振動測定の精度向上のために、次の研究課題を実行する。

- ① J-PARC 加速器の大強度陽子ビームを見る新しい目となる革新的なビームモニター (16 電極ピックアップ型非破壊ビームモニター) とそのデータ処理装置、さらにその情報を用いたビーム制御の手法を開発する。また、ニュートリノ生成に用いるハドロン生成反応の理解と、ハドロン収束電磁石の電流測定精度を向上し、ニュートリノビームの強度・エネルギー分布の精度を向上する。
- ② ニュートリノ振動の測定精度、特に θ_{23} と Δm_{32}^2 の精度を制限しているニュートリノ反応の不定性を削減するために「ニュートリノ反応断面積の測定」を実行する。ニュートリノ反応断面積の実験には、名古屋大学が開発してきた原子核乾板を主検出器に使用する。さらに、スーパーカミオカンデの主成分である「水」を標的とした測定器を設計、導入する。

上記①, ②で得られる測定データを用いて、ニュートリノ振動の解析手法を改善し、反応模型や核子構造因子・原子核模型を選定し、ニュートリノ反応断面積の不定性を 10% 以下に削減する。選定した最適な模型をニュートリノ反応シミュレーション NEUT に導入するとともに、ニュートリノ振動解析を高度化し、 θ_{23} を 5% 以下の高精度で測定する。計画研究 A01 との合同解析を実施し、CP 対称性の破れを 99% の有意度で発見することを目指す。

4. 研究成果

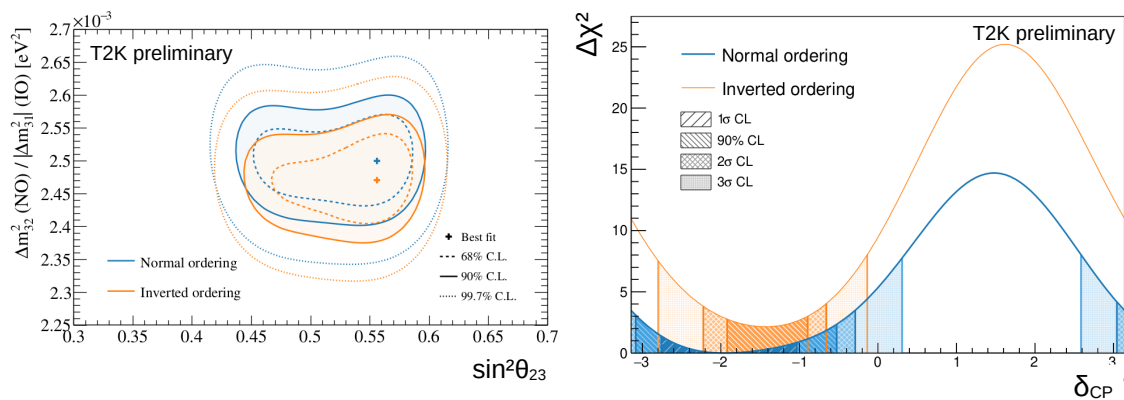
ニュートリノ混合行列の構造を調べることによって「素粒子の対称性」の研究を進展させた。長基線加速器ニュートリノ実験 T2K でニュートリノ振動のパラメータ、特に θ_{23} 、を精密に測定し、さらに CP 対称性の破れを高感度で探索した。このための T2K 実験の性能向上として、(a)ニュートリノビームの大強度化による大量データの蓄積とニュートリノフラックスの高精度決定、(b)ニュートリノと原子核反応の高精度測定、を進めた。ニュートリノビームデータとして 3.8×10^{21} 陽子分をこれまでに収集し、その大部分を使ってニュートリノ振動解析を実行した。そして、 θ_{23} は 0.46~0.491、あるいは 0.526~0.578 とほぼ当初目標であった $\pm 5\%$ の精度で測定することに成功した。CP 対称性の破れに関しては、そのパラメータ δ_{CP} を 99.7% の有意度で制限した。その結果を下図に示す。ニュートリノ振動の研究で、当初の目標を達成した。

具体的には、(a)について、J-PARC 加速器は当初目標の 750kW のビーム強度を 2023 年に達成した。また、新たに「16 電極ピックアップ型非破壊ビームモニター」を完成させビーム診断を実施した。(b) ニュートリノ反応の不定性を削減するために、新しい方法でニュートリノ反応断面積を測定した。T2K 実験 ND280 検出器を使って、“Transverse Kinematic Imbalance” という量を π 中間子生成反応で測定し、原子核効果を検証した。また、原子核乾板を使った新しい実験 NINJA を立ち上げ、ニュートリノ反応のエネルギー依存性まで含

めた測定を実現した。原子核乾板の採用により、これまでの検出器では観測できなかった低エネルギー陽子を高い効率で検出することに成功している。ニュートリノ振動解析においては、A01 班との共同研究のもと、有効体積の拡充と多粒子生成事象の活用することで、測定感度を向上させた。ニュートリノ振動解析で、ニュートリノと反ニュートリノのデータを解析し、CP が破れている兆候を発見し Nature 誌に発表した。その結果、CP が破れていない δ_{CP} の値を 2σ (95%) の有意度で排除し、 $\sin^2 \theta_{23} = 0.53^{+0.03}_{-0.04}$ と測定した。さらに、データを追加し、2022 年のニュートリノ国際会議で最新結果を更新した。

T2K 実験と独立に新たに立ち上げた NINJA 実験では、ニュートリノ反応における生成粒子の多重度を測定することでニュートリノ反応を研究した。その結果は、後方に放出される低エネルギーの π 中間子に理論予想との違いが見えており興味深い結果となっている。ニュートリノと水における荷電カレント反応を検出し、 μ 粒子の運動量再構成法を改良し、より高精度な測定を可能とした。

我々が T2K 実験で発表した、ニュートリノ振動パラメータの精密測定結果と CP 対称性への制限結果 ($\sin^2(2\theta_{13}) = 0.0861 \pm 0.0027$ を使用) を以下に示す。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計25件（うち査読付論文 23件 / うち国際共著 20件 / うちオープンアクセス 23件）

1. 著者名 T. Nakaya, T. Nakadaira, Y. Seiya, T. Kikawa et al. (T2K collaboration)	4. 巻 103
2. 論文標題 First T2K measurement of transverse kinematic imbalance in the muon-neutrino charged-current single- π production channel containing at least one proton	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phys.Rev.D	6. 最初と最後の頁 112009
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.103.112009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 T. Nakaya, T. Nakadaira, Y. Seiya, T. Kikawa et al. (T2K collaboration)	4. 巻 103
2. 論文標題 Improved constraints on neutrino mixing from the T2K experiment with 3.13×10^{21} protons on target	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phys.Rev.D	6. 最初と最後の頁 112008
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.103.112008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 T. Nakaya, T. Nakadaira, Y. Seiya, T. Kikawa et al. (T2K collaboration)	4. 巻 580
2. 論文標題 Constraint on the matter-antimatter symmetry-violating phase in neutrino oscillations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 7803
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-020-2177-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 A. Hiramoto, T. Nakaya, T. Fukuda et al. (NINJA collaboration)	4. 巻 102
2. 論文標題 First measurement of anti-muon-neutrino and muon-neutrino charged-current inclusive interactions on water using a nuclear emulsion detector	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys.Rev.D	6. 最初と最後の頁 72006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.102.072006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 T. Nakaya and K. Nishikawa	4. 巻 80
2. 論文標題 Long baseline neutrino oscillation experiments with accelerators in Japan: From K2K to T2K	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Eur.Phys.J.C	6. 最初と最後の頁 344
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-020-7906-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 T. Nakaya, T. Nakadaira, Y. Seiya, T. Kikawa et al. (T2K collaboration)	4. 巻 101
2. 論文標題 Simultaneous measurement of the muon neutrino charged-current cross section on oxygen and carbon without pions in the final state at T2K	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys.Rev.D	6. 最初と最後の頁 112004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.101.112004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 A. Hiramoto	4. 巻 1468
2. 論文標題 Study of Charged-Current neutrino interactions on water with nuclear emulsion in the NINJA experiment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J.Phys.Conf.Ser.	6. 最初と最後の頁 12121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1468/1/012121	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 T. Nakaya, T. Nakadaira, Y. Seiya, T. Kikawa et al. (T2K collaboration)	4. 巻 10
2. 論文標題 Measurement of the charged-current electron (anti-)neutrino inclusive cross-sections at the T2K off-axis near detector ND280	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JHEP	6. 最初と最後の頁 114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP10(2020)114	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Nakaya, T. Nakadaira, Y. Seiya, T. Kikawa et al. (T2K collaboration)	4. 巻 101
2. 論文標題 First combined measurement of the muon neutrino and antineutrino charged-current cross section without pions in the final state at T2K	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys.Rev.D	6. 最初と最後の頁 112001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.101.112001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Nakaya, T. Nakadaira, Y. Seiya, T. Kikawa et al. (T2K collaboration)	4. 巻 124
2. 論文標題 Search for Electron Antineutrino Appearance in a Long-baseline Muon Antineutrino Beam	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys.Rev.Lett.	6. 最初と最後の頁 161802
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.124.161802	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Nakaya, T. Nakadaira, Y. Seiya, T. Kikawa et al. (T2K collaboration)	4. 巻 101
2. 論文標題 Measurement of the muon neutrino charged-current single pi+ production on hydrocarbon using the T2K off-axis near detector ND280	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys.Rev.D	6. 最初と最後の頁 12007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.101.012007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Nakaya, T. Nakadaira, Y. Seiya, T. Kikawa et al. (T2K collaboration)	4. 巻 102
2. 論文標題 First measurement of the charged current anti-nu_mu double differential cross section on a water target without pions in the final state	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys.Rev.D	6. 最初と最後の頁 12007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.102.012007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 H. Oshima, T. Fukuda, T. Kikawa, T. Nakaya et al (NINJA collaboration)	4. 巻 2021
2. 論文標題 First measurement using a nuclear emulsion detector of the ν_μ charged-current cross section on iron around 1 GeV energy region	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Prog. Theor. Exp. Phys.	6. 最初と最後の頁 033C01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptab027	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 小林 愛音, 外山 毅, 菟蒲田 義博, 中村 剛, 佐藤 洋一	4. 巻 17
2. 論文標題 J-PARC MRにおける横方向ビーム不安定性の抵抗性壁効果の影響の調査	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 17th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 684
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 外山 毅, 小林 愛音, 中村 剛, 菟蒲田 義博	4. 巻 17
2. 論文標題 長距離ウェーク場を含む不均等蓄積したビームの集団不安定性のHIRフィルターを用いた解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 17th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 689
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Nakaya, T. Nakadaira, Y. Seiya, T. Kikawa et al. (T2K collaboration)	4. 巻 99
2. 論文標題 Search for light sterile neutrinos with the T2K far detector Super-Kamiokande at a baseline of 295 km	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Phys. Rev. D	6. 最初と最後の頁 71103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.99.071103	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Nakaya, T. Nakadaira,, Y. Seiya, T. Kikawa et al. (T2K collaboration)	4. 巻 100
2. 論文標題 Search for heavy neutrinos with the T2K near detector ND280	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Phys. Rev. D	6. 最初と最後の頁 52006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.100.052006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Nakaya, T. Nakadaira,, Y. Seiya, T. Kikawa et al. (T2K collaboration)	4. 巻 100
2. 論文標題 Measurement of neutrino and antineutrino neutral-current quasielasticlike interactions on oxygen by detecting nuclear deexcitation rays	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Phys. Rev. D	6. 最初と最後の頁 112009
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.100.112009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Nakaya, T. Nakadaira,, Y. Seiya, T. Kikawa et al. (T2K collaboration)	4. 巻 2019
2. 論文標題 Measurement of the μ charged-current cross sections on water, hydrocarbon, iron, and their ratios with the T2K on-axis detectors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 PTEP	6. 最初と最後の頁 093C02
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptz070	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Nakaya, T. Nakadaira,, Y. Seiya, T. Kikawa et al. (T2K collaboration)	4. 巻 46
2. 論文標題 Search for neutral-current induced single photon production at the ND280 near detector in T2K	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Phys. G	6. 最初と最後の頁 08LT01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6471/ab227d	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Nakaya, T. Nakadaira, Y. Seiya, T. Kikawa, A.K. Ichikawa, Y. Hayato et al. (T2K collaboration)	4. 巻 98
2. 論文標題 Measurement of inclusive double-differential μ charged-current cross section with improved acceptance in the T2K off-axis near detector	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 12004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.98.012004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Nakaya, T. Nakadaira, Y. Seiya, T. Kikawa, A.K. Ichikawa, Y. Hayato et al. (T2K collaboration)	4. 巻 98
2. 論文標題 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	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 32003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.98.032003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Nakaya, T. Nakadaira, Y. Seiya, T. Kikawa, A.K. Ichikawa, Y. Hayato et al. (T2K collaboration)	4. 巻 121
2. 論文標題 Search for CP Violation in Neutrino and Antineutrino Oscillations by the T2K Experiment with 2.2×10^{21} Protons on Target	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 171802
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.121.171802	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Fukuda et al. (OPERA collaboration)	4. 巻 6
2. 論文標題 Final results of the search for μ \rightarrow e oscillations with the OPERA detector in the CNGS beam.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 JHEP	6. 最初と最後の頁 151
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP06(2018)151	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Fukuda et al. (OPERA collaboration)	4. 巻 120
2. 論文標題 Final results of the OPERA experiment on appearance in the CNGS beam	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 211801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.120.211801	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計70件 (うち招待講演 17件 / うち国際学会 29件)

1. 発表者名 T. Odagawa
2. 発表標題 Observation of neutrino-water interaction using nuclear emulsion detector (Poster)
3. 学会等名 US-Japan Hawaii Symposium of the US-Japan Science and Technology Cooperation Program (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Matsuo
2. 発表標題 Current Status and Future Plan of NINJA Experiment at J-PARC
3. 学会等名 International Conference on Advanced Imaging 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Oshima
2. 発表標題 Measurement of neutrino charged-current interactions on iron using a nuclear emulsion detector in the NINJA experiment
3. 学会等名 International Conference on Advanced Imaging 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Mikado
2. 発表標題 A new application of nuclear emulsion film for shifters in the NINJA experiment (Poster)
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Suzuki
2. 発表標題 Analysis status of Physics Run a in NINJA experiment (Poster)
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Fukuda
2. 発表標題 NINJA experiment : Neutrino research program with nuclear emulsion at J-PARC
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Yasutome
2. 発表標題 Towards the measurement of neutrino cross section on H ₂ O and CH target at 1GeV region by T2K-WAGASCI experiment ,
3. 学会等名 NuFact 2021: The 22nd International Workshop on Neutrinos from Accelerators (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Toyama
2. 発表標題 Beam Instability Issue and Transverse Feedback System in the MR of J-PARC
3. 学会等名 HB2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福田 努
2. 発表標題 NINJA実験・物理ランにおけるニュートリノ反応探索
3. 学会等名 日本物理学会 2021 年秋季大会, 2021年9月14日～17日, 神戸大学 現地開催中止, オンライン開催
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小田川 高大
2. 発表標題 NINJA 実験物理ランにおけるニュートリノ反応に由来する荷電粒子の運動量再構成
3. 学会等名 日本物理学会 2021 年秋季大会, 2021年9月14日～17日, 神戸大学 現地開催中止, オンライン開催
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小田川 高大
2. 発表標題 NINJA 実験物理ランにおけるニュートリノ反応の測定
3. 学会等名 日本物理学会第 77 回年次大会 (2022年), 2022年3月15日～18日, 岡山大学 津島キャンパス, 岡山理科大学 岡山キャンパス (新型コロナウイルスにより現地開催中止) オンライン開催
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 霞 綺花
2. 発表標題 NINJA 実験物理ランにおける電子ニュートリノ反応の解析手法の開発
3. 学会等名 日本物理学会第 77 回年次大会 (2022年), 2022年3月15日 ~ 18日, 岡山大学 津島キャンパス, 岡山理科大学 岡山キャンパス (新型コロナウイルスにより現地開催中止) オンライン開催
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本條 貴司
2. 発表標題 T2K-WAGASCI 実験の横方向ミュオン飛跡検出器の位置分解能の評価と次期物理測定に向けた展望
3. 学会等名 日本物理学会 2021 年秋季大会, 2021年9月14日 ~ 17日, 神戸大学 現地開催中止, オンライン開催
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高安 咲妃
2. 発表標題 T2K-WAGASCI 実験におけるセルオートマトンを用いた 飛跡再構成アルゴリズムの性能評価
3. 学会等名 日本物理学会 2021 年秋季大会, 2021年9月14日 ~ 17日, 神戸大学 現地開催中止, オンライン開催
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西崎 勁矢
2. 発表標題 T2K-WAGASCI 実験におけるMinimum Spanning Treeを用いた飛跡再構成アルゴリズムの性能評価
3. 学会等名 日本物理学会 2021 年秋季大会, 2021年9月14日 ~ 17日, 神戸大学 現地開催中止, オンライン開催
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本條 貴司
2. 発表標題 J-PARCニュートリノビーム大強度化に対応するミュオンモニターの開発
3. 学会等名 日本物理学会第 77 回年次大会(2022年), 2022年3月15日~18日, 岡山大学 津島キャンパス, 岡山理科大学 岡山キャンパス (新型コロナウイルスにより現地開催中止) オンライン開催
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本 達也
2. 発表標題 T2K実験ミュオンモニターに用いる電子増倍管の電子ビーム試験による初期不安定性及び放射線耐性の評価
3. 学会等名 日本物理学会第 77 回年次大会(2022年), 2022年3月15日~18日, 岡山大学 津島キャンパス, 岡山理科大学 岡山キャンパス (新型コロナウイルスにより現地開催中止) オンライン開催
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西森早紀子
2. 発表標題 T2K実験におけるニュートリノフラックス推定精度の向上のための電磁ホーン冷却水分布測定
3. 学会等名 日本物理学会第 77 回年次大会(2022年), 2022年3月15日~18日, 岡山大学 津島キャンパス, 岡山理科大学 岡山キャンパス (新型コロナウイルスにより現地開催中止) オンライン開催
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 李耀漢
2. 発表標題 16電極ビームモニターを用いたビームプロファイル測定のための最適化アルゴリズムの開発,
3. 学会等名 第18回日本加速器学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 栗林宗一郎
2. 発表標題 T2K 実験における前置検出器アップグレードに向けたニュートリノ振動解析手法の開発
3. 学会等名 日本物理学会 2021 年秋季大会, 2021年9月14日～17日, 神戸大学 現地開催中止, オンライン開催
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木河達也
2. 発表標題 水標的ニュートリノ反応精密測定に向けた3Dプリンタと水ベース液体シンチレータを用いた新型飛跡検出器の開発
3. 学会等名 日本物理学会 2021 年秋季大会, 2021年9月14日～17日, 神戸大学 現地開催中止, オンライン開催
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川上将輝
2. 発表標題 T2K 新前置検出器SuperFGD建設時における波長変換ファイバー試験システムの開発
3. 学会等名 日本物理学会 2021 年秋季大会, 2021年9月14日～17日, 神戸大学 現地開催中止, オンライン開催
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 谷真央
2. 発表標題 T2K実験新型ニュートリノ検出器のためのシンチレータキューブ品質検査システムの開発
3. 学会等名 日本物理学会 2021 年秋季大会, 2021年9月14日～17日, 神戸大学 現地開催中止, オンライン開催
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木河達也
2. 発表標題 カメラとロボットアームを用いたシンチレータの品質管理
3. 学会等名 日本物理学会第 77 回年次大会(2022年), 2022年3月15日~18日, 岡山大学 津島キャンパス, 岡山理科大学 岡山キャンパス (新型コロナウイルスにより現地開催中止) オンライン開催
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川上将輝
2. 発表標題 T2K実験新前置検出器のための低電圧印加SiPMを用いたファイバー試験システムの開発
3. 学会等名 日本物理学会第 77 回年次大会(2022年), 2022年3月15日~18日, 岡山大学 津島キャンパス, 岡山理科大学 岡山キャンパス (新型コロナウイルスにより現地開催中止) オンライン開催
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 浅野有香
2. 発表標題 ニュートリノ反応の精密測定のための水ベースの液体シンチレータ検出器の開発
3. 学会等名 日本物理学会第 77 回年次大会(2022年), 2022年3月15日~18日, 岡山大学 津島キャンパス, 岡山理科大学 岡山キャンパス (新型コロナウイルスにより現地開催中止) オンライン開催
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 有元隼太
2. 発表標題 加速劣化試験によるT2K前置検出器シンチレータの光量減少評価およびHK実験への影響の見積もり
3. 学会等名 日本物理学会第 77 回年次大会(2022年), 2022年3月15日~18日, 岡山大学 津島キャンパス, 岡山理科大学 岡山キャンパス (新型コロナウイルスにより現地開催中止) オンライン開催
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平本綾美
2. 発表標題 原子核乾板検出器を用いたニュートリノの水との反応の測定
3. 学会等名 日本物理学会第 77 回年次大会(2022年), 2022年3月15日~18日, 岡山大学 津島キャンパス, 岡山理科大学 岡山キャンパス (新型コロナウイルスにより現地開催中止) オンライン開催
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Lukas Berns
2. 発表標題 T2K Experiment
3. 学会等名 日本物理学会第 77 回年次大会(2022年), 2022年3月15日~18日, 岡山大学 津島キャンパス, 岡山理科大学 岡山キャンパス (新型コロナウイルスにより現地開催中止) オンライン開催
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤洋一
2. 発表標題 J-PARC MRのビーム増強計画の進捗と展望
3. 学会等名 日本物理学会第 77 回年次大会(2022年), 2022年3月15日~18日, 岡山大学 津島キャンパス, 岡山理科大学 岡山キャンパス (新型コロナウイルスにより現地開催中止) オンライン開催 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 市川温子
2. 発表標題 大強度ビームで実現する加速器ニュートリノ実験の展開
3. 学会等名 日本物理学会第 77 回年次大会(2022年), 2022年3月15日~18日, 岡山大学 津島キャンパス, 岡山理科大学 岡山キャンパス (新型コロナウイルスにより現地開催中止) オンライン開催 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 李 耀漢
2. 発表標題 16電極ビームモニターを用いたビームプロファイル測定のための最適化アルゴリズムの開発
3. 学会等名 第18回 加速器学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林愛音
2. 発表標題 J-PARC MRのFXセプタムとFXキッカーのインピーダンスの評価と対策
3. 学会等名 第18回 加速器学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 外山毅
2. 発表標題 伸長ワイヤー法による縦方向結合インピーダンス測定値の因果律による吟味
3. 学会等名 第18回 加速器学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Nakaya
2. 発表標題 Neutrino oscillations in long baseline experiments
3. 学会等名 5th International Conference on Particle Physics and Astrophysics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小幡 拓也
2. 発表標題 T2K-WAGASCI実験による大角度方向ミュオン検出器 と中心部CH標的検出器を用いた飛跡再構成
3. 学会等名 日本物理学会 2020 年秋季大会, 2020年9月14日～17日, 筑波大学 現地開催中止, オンライン開催
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本條 貴司
2. 発表標題 T2K実験ミュオンモニターに用いる 新型検出器・電子増倍管の電子ビーム照射試験による性能評価
3. 学会等名 日本物理学会 2020 年秋季大会, 2020年9月14日～17日, 筑波大学 現地開催中止, オンライン開催
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本條 貴司
2. 発表標題 T2K実験ミュオンモニターに用いる電子増倍管の放射線耐性試験(1): 試験の概要
3. 学会等名 日本物理学会第 76 回年次大会(2021年), 2021年3月12日～15日, 東京大学 駒場キャンパス(新型コロナにより現地開催中止)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高安 咲妃
2. 発表標題 T2K-WAGASCI実験の大角度散乱ミュオン検出器の シミュレーションにおける光量および検出効率のパラメータ調整
3. 学会等名 日本物理学会第 76 回年次大会(2021年), 2021年3月12日～15日, 東京大学 駒場キャンパス(新型コロナにより現地開催中止)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 A. K. Ichikawa
2. 発表標題 CPV in the neutrino sector
3. 学会等名 40th International Conference on High Energy Physics. ICHEP, (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Nakaya
2. 発表標題 Neutrino Physics in Japan with a gigantic detector, Super-Kamiokande
3. 学会等名 A joint theoretical & experimental webinar: CP violation in neutrino oscillations and leptogenesis (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 A. Hiramoto
2. 発表標題 Measurement of charged-current interactions on water using a nuclear emulsion detector in the NINJA experiment,
3. 学会等名 New Directions in Neutrino-Nucleus Scattering workshop (NDNN), (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Fukuda
2. 発表標題 NINJA experiment : Neutrino Interaction research with Nuclear emulsion and J-PARC Accelerator
3. 学会等名 Fermilab Neutrino Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福田 努
2. 発表標題 NINJA実験・物理ランのニュートリノ反応解析の現状
3. 学会等名 日本写真学会 2020年秋季研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 A. Hiramoto
2. 発表標題 NINJA
3. 学会等名 「ニュートリノで拓く素粒子と宇宙」研究会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小田川 高大
2. 発表標題 NINJA 実験物理ランにおけるミュオン飛跡の再構成と接続
3. 学会等名 日本物理学会 2020 年秋季大会, 2020年9月14日~17日, 筑波大学 現地開催中止, オンライン開催
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木 陽介
2. 発表標題 NINJA実験物理ランにおける水標的ECC中のニュートリノ反応再構成
3. 学会等名 日本物理学会 2020 年秋季大会, 2020年9月14日~17日, 筑波大学 現地開催中止, オンライン開催
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 内木 茉柚子
2. 発表標題 NINJA実験物理ランの原子核乾板における大角度飛跡の評価
3. 学会等名 日本物理学会 2020 年秋季大会, 2020年9月14日～17日, 筑波大学 現地開催中止, オンライン開催
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平本 綾美
2. 発表標題 NINJA実験によるニュートリノ反応モデリングの展望
3. 学会等名 日本物理学会 2020 年秋季大会, 2020年9月14日～17日, 筑波大学 現地開催中止, オンライン開催
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大島 仁
2. 発表標題 NINJA実験における1 GeV領域のニュートリノ-鉄荷電カレント反応の全断面積の測定
3. 学会等名 日本物理学会 2020 年秋季大会, 2020年9月14日～17日, 筑波大学 現地開催中止, オンライン開催
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小田川 高大
2. 発表標題 NINJA実験物理ランにおけるミューオン飛跡再構成の性能評価
3. 学会等名 日本物理学会第 76 回年次大会(2021年), 2021年3月12日～15日, 東京大学 駒場キャンパス(新型コロナにより現地開催中止)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木 陽介
2. 発表標題 NINJA実験物理ランにおける水標的ECCの解析
3. 学会等名 日本物理学会第 76 回年次大会 (2021年), 2021年3月12日 ~ 15日, 東京大学 駒場キャンパス (新型コロナにより現地開催中止)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平本 綾美
2. 発表標題 NINJA実験によるニュートリノ反応の多変量解析の展望
3. 学会等名 日本物理学会第 76 回年次大会 (2021年), 2021年3月12日 ~ 15日, 東京大学 駒場キャンパス (新型コロナにより現地開催中止)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大島 仁
2. 発表標題 NINJA実験における1 GeV領域のニュートリノ-鉄荷電カレント反応の断面積測定
3. 学会等名 日本物理学会第 76 回年次大会 (2021年), 2021年3月12日 ~ 15日, 東京大学 駒場キャンパス (新型コロナにより現地開催中止)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Nakaya
2. 発表標題 The worldwide status and outlook: What's next: Asia
3. 学会等名 The 27th edition of the International Workshop on Weak interactions and Neutrinos (WIN2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. K. Ichikawa
2. 発表標題 Prospect of Long Baseline Neutrino Oscillation Experiments
3. 学会等名 The 40th Anniversary Symposium of the US-Japan Science and Technology Cooperation Program in High Energy Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Tajima
2. 発表標題 Development of 16-electrodes beam-size monitors for J-PARC MR
3. 学会等名 International Beam Instrumentation Conference 2019 (IBIC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Hiramoto
2. 発表標題 Study of Charged-Current neutrino interactions on water with nuclear emulsion in the NINJA experiment
3. 学会等名 The 16th International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (TAUP 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Yasutome
2. 発表標題 First physics run of the WAGASCI-BabyMIND detector with full setup,
3. 学会等名 The 21st International Workshop on Neutrinos from Accelerators (NuFact 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Odagawa
2. 発表標題 Prospects and status of the physics run of the NINJA experiment
3. 学会等名 The 21st International Workshop on Neutrinos from Accelerators (NuFact 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Ashida
2. 発表標題 Neutrino-Oxygen Neutral-Current Elastic Interaction as a Background in Supernova Relic Neutrino Search
3. 学会等名 The 16th International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (TAUP 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Kuribayashi
2. 発表標題 Performance test of the prototype for Super-FGD in the T2K experiment,
3. 学会等名 The 40th Anniversary Symposium of the US-Japan Science and Technology Cooperation Program in High Energy Physics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Honjo
2. 発表標題 Development of New Muon Monitors for J-PARC Neutrino Beam Line
3. 学会等名 The 11th International Workshop on Neutrino Beams (NB12019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Fukuda
2. 発表標題 Nuclear emulsion detector for future neutrino research - NINJA and EMPHATIC -
3. 学会等名 The 21st International Workshop on Neutrinos from Accelerators (NuFact 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Nakaya
2. 発表標題 Search for Neutrino CP violation in accelerator neutrino experiments
3. 学会等名 Discrete Symmetries in Particle, Nuclear and Atomic Physics and implications for our Universe (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Nakaya
2. 発表標題 Future Outlook and Summary
3. 学会等名 TMEX 2018 WCP: European Workshop on Water Cherenkov Precision Detectors for Neutrino and Nucleon Decay Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Nakaya
2. 発表標題 Neutrino CP violation in the J-PARC neutrino experiments
3. 学会等名 International Symposium in Honor of Professor Nambu for the 10th Anniversary of his Nobel Prize in Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Fukuda
2. 発表標題 NINJA Experiment and EMPHATIC Experiment.
3. 学会等名 2nd International Workshop on Nuclear Emulsions for Neutrino Studies and WIMP Search (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Fukuda
2. 発表標題 NINJA Experiment: Neutrino Interaction research with Nuclear emulsion and J-PARC Accelerator.
3. 学会等名 NuInt2018: 12th International Workshop on Neutrino-Nucleus Interactions in the Few-GeV Region (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Nakadaira
2. 発表標題 Latest results of CP violation measurement by long baseline neutrino oscillation experiments
3. 学会等名 5th Joint Meeting of the APS Division of Nuclear Physics and the Physical Society of Japan, (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 ステン オデンワルド (著), 中家 剛 (監修), 今田 マーサ (翻訳)	4. 発行年 2021年
2. 出版社 ニュートンプレス	5. 総ページ数 256
3. 書名 量子論がゼロからわかる~古代ギリシャの原子論から最新の量子重力理論まで	

〔産業財産権〕

〔その他〕

ニュートリノで拓く素粒子と宇宙
<https://www-he.scphys.kyoto-u.ac.jp/nucosmos/index.html>
 T2K実験ホームページ
<https://t2k-experiment.org>
 ニュートリノ反応精密測定実験 NINJA
<https://flab.phys.nagoya-u.ac.jp/ninja/>
 スーパーカミオカンデ
<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/>
 J-PARC
<http://j-parc.jp/c/index.html>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	福田 努 (Fukuda Tsutomu) (10444390)	名古屋大学・高等研究院(理)・特任助教 (13901)	原子核乾板現像、画像解析
研究分担者	中平 武 (Nakadaira Takeshi) (30378575)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授 (82118)	ビームモニタリング
研究分担者	小関 忠 (Koseki Tadashi) (70225449)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・加速器研究施設・施設長 (82118)	ビームの大強度化
研究分担者	清矢 良浩 (Seiya Yoshihiro) (80251031)	大阪公立大学・大学院理学研究科・教授 (24405)	水標的測定器の開発
研究分担者	木河 達也 (Kikawa Tatsuya) (60823408)	京都大学・理学研究科・助教 (14301)	ニュートリノ測定器のデータ収集システム開発

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計2件

国際研究集会 NINJA mini-workshop with theorists	開催年 2021年～2021年
国際研究集会 NINJA-WAGASCI Joint Workshop	開催年 2020年～2020年

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
	米国	UC Irvine	Boston University	U. Colorado
カナダ	TRIUMF	York	U. Victoria	他5機関
イタリア	INFN, U.Bari	INFN,U.Napoli	INFN,U.Padova	他1機関
ポーランド	IFJ PAN, Cracow	NCBJ, Warsaw	U. Silesia, Katowice	他3機関
スイス	ETH Zurich	U. Geneva	CERN	他1機関