

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03701

研究課題名(和文)原子核乾板を用いた「水」標的によるニュートリノ反応断面積の精密測定

研究課題名(英文)Precise Measurements of Neutrino Cross Sections on the water target with the Emulsion detector

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) 34,200,000円

研究成果の概要(和文)：ニュートリノ振動をより高精度に測定するために、ニュートリノと水の反応を研究している。J-PARC加速器からのニュートリノビームを使い、原子核乾板測定器を用いることで水とのニュートリノ反応を高解像度で測定した。その結果、世界の他の実験では到達できなかった200MeV/cの低運動量まで陽子を観測することに成功した。また、荷電カレント・ニュートリノ反応断面積を世界最高の精度で測定した。我々のデータを使ってニュートリノ・原子核反応モデルの再現性を確認し、データがニュートリノ・原子核反応モデルの改良に適用できることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ニュートリノは素粒子と宇宙の研究において重要である。ビッグバン後に、なぜ反物質が消滅し、物質からなる我々の宇宙が誕生したかという根源的な謎を解明する鍵に「粒子と反粒子間の対称性(CP対称性)」がある。最近、T2K実験から、ニュートリノでCP対称性が破れている兆候が観測されており、この観測の感度向上が素粒子の研究分野で望まれている。本研究は、この探索感度の向上のために新しい実験を行い、ニュートリノと原子核(水)との反応を世界最高の精度で測定した。また、ニュートリノは不思議な素粒子として一般の国民も興味を持っており、その好奇心を刺激する結果と言える。

研究成果の概要(英文)：We studied the neutrino-nucleus interactions with water in order to measure neutrino oscillations with higher precision. We used the neutrino beam at J-PARC, and measured neutrinos with the best spacial resolution by using a nuclear emulsion detector. We successfully detect a proton in the neutrino interaction with the lowest momentum threshold of 200 MeV/c, which no other experiment in the world has been able to reach. We also measured the charged-current neutrino cross sections with the world's best precision. Our data are found to be well reproduced by theoretical models of neutrino-nucleus interactions, and can be applied to improve the models.

研究分野：素粒子物理

キーワード：ニュートリノ 原子核 加速器

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研究対象の一つであり、ニュートリノに質量が存在することは「素粒子の標準模型」を超えた驚くべき実験事実であった。このため、「ニュートリノ質量の存在」を確立した「ニュートリノ振動の発見」は画期的な研究成果であり、2015年に梶田氏たちがノーベル物理学賞を受賞した。この「ニュートリノ振動」をより精密に測定し、ニュートリノ質量と混合の情報を得ることで、素粒子の対称性の研究が進展している。特に「粒子と反粒子の間の対称性（CP対称性）」について、T2K実験からの興味深い結果が出てきており、活発な研究が行われていた。CP対称性は、ビッグバンの後に、なぜ反物質が消滅し、物質からなる我々の宇宙が誕生したかという根源的な謎を解明する鍵になると考えられている。

「ニュートリノ振動」は、その振動確率がニュートリノエネルギーに関係しており、振動の精密測定には「ニュートリノエネルギー測定の高精度化」が決定的に重要である。「ニュートリノエネルギーの測定法」は世界中で様々な研究が進んでいるが、GeV領域のエネルギーでは「ニュートリノと原子核反応」の理解がそのエネルギーの決定精度を制限している。GeV領域のニュートリノビームや大気ニュートリノを使った「ニュートリノ振動の高精度測定」において、「ニュートリノと原子核反応」を深く理解することが重要であると認識されている。

2. 研究の目的

本研究の目的は「ニュートリノ振動の高精度測定」にある。「ニュートリノ研究」の分野で、日本はスーパーカミオカンデのおかげで世界的にも非常に研究が進んでおり、独創的な研究成果を数多く出してきた。「ニュートリノ振動の高精度測定」には、スーパーカミオカンデが水をニュートリノに対する標的としているため、「ニュートリノと水（特に酸素原子核）の反応」を正確に理解することが重要となる。T2K実験において、茨城県東海村にある大強度陽子加速器J-PARCで生成したニュートリノビームを使い、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、その精度の向上を本研究の目標とする。本研究で新たに行う実験では、ニュートリノビームを使ってニュートリノの水（酸素）との反応の不定性を大幅に低減することを目標とする。「ニュートリノと水」の反応断面積を高精度で測定することで、T2K実験でニュートリノ振動測定に必要なエネルギーの測定精度を向上させる。

3. 研究の方法

本研究では、原子核乾板と水からなる検出器を作製し、酸素とニュートリノの反応において低エネルギーの粒子の生成までを観測し、その反応の理解を深め、最終的に振動解析における系統誤差を3%以下（現在は約5%）に低減することを目指す。観測に用いるGeVのニュートリノビームによる原子核反応は、荷電レプトンと核子を放出する荷電カレント準弾性散乱（CCQE： $\nu_{\mu} + n \rightarrow \mu^{-} + p$ ）、 π 粒子を生成する反応（CC1 π ： $\nu_{\mu} + p \rightarrow \mu^{-} + p + \pi^{+}$ ）が主である。また、始状態に複数の核子が関与する2p2h反応（ $\nu_{\mu} + n + p \rightarrow \mu^{-} + p + p$ ）がニュートリノ反応でまだ観測されておらず、その反応断面積の不定性が大きく、改善が必要である。本研究は、世界で初めてニュートリノ・原子核反応の研究に原子核乾板検出器を利用することで、CCQE、CC1 π 、2p2h反応を調べる上で、低いエネルギー閾値で陽子や π 粒子の測定が可能となる。これまで、ニュートリノと酸素の散乱を、低エネルギーのハドロンまで観測したCCQE反応やCC1 π 反応のデータは非常に少なく、2p2h反応に至っては皆無である。すなわち、本研究からのデータは世界初の貴重なものとなる。このデータを用い、各反応や原子核構造のモデルを選別し、不定性を評価する。

本研究では、2p2h 反応や CC1 π 反応を正確に測定することで、エネルギーの測定精度を向上させ、T2K 振動解析における系統誤差を低減させ、CP 対称性の破れの研究を進展させる。

実験では、名古屋大学が開発してきた原子核乾板技術と、京都大学が開発してきたニュートリノ測定器技術を融合させ、新しい実験装置を J-PARC・ニュートリノモニター棟に設置する。ニュートリノ反応標的の下流には、ニュートリノと反ニュートリノの識別が可能な磁場印加型ミューオン飛程検出器（以下 B-MRD）を設置している。また、原子核乾板は時間情報を持たない装置であり、時間情報を付加し B-MRD と飛跡をつなげる役割のシンチレーション・ファイバトラック（SFT）を導入した。T2K 実験のパラサイト実験として実験を遂行し、2年間のデータ収集でニュートリノ・原子核散乱から生成した荷電レプトン、陽子、荷電 π 粒子等の飛跡を観測し、運動量や方向を測定する。 μ 粒子の運動量は原子核乾板のデータを用いた多重散乱法と、B-MRD による飛程測定を併用して測定する。陽子飛跡検出の運動量閾値を 200MeV/c とし、これまで困難であった CCQE、2p2h、CC1 π 生成事象を弁別、観測する。このデータを用い、最適な反応模型や核子構造因子、原子核模型を選定し、各反応の（微分）散乱断面積の推定精度を改善する。また、ニュートリノ反応のシミュレーションプログラム NEUT に、測定で選定した最適の模型を導入することで、T2K 実験におけるニュートリノ振動測定の系統誤差を低減する。

4. 研究成果

本研究では、75kg の水標的と 2mm の間隔の原子核乾板からなる測定器を 2018 年度に製作し、必要な量のデータ収集に成功した。また、それと並行して、プロトタイプ検出器によるパイロットランのデータを解析して、以下の物理結果を発表した。本測定では、原子核乾板を薄層構造に配置して用いることで、図 1 に示すようにサブ μm の空間分解能を達成し、低い運動量閾値で荷電粒子を精密に測定できる。

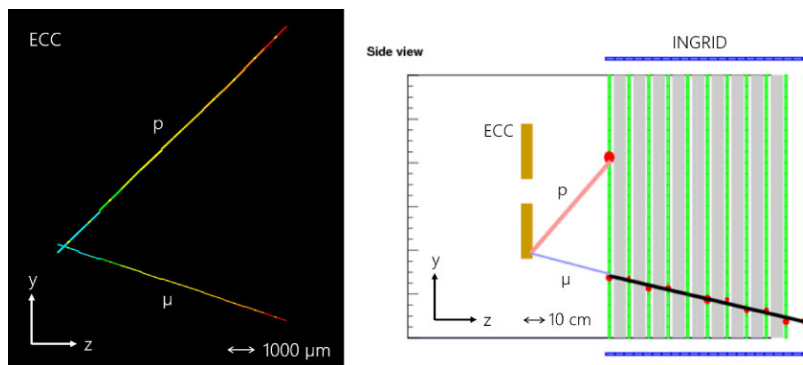


図 1： 本実験で測定した荷電カレント準弾性散乱 (CCQE: $\nu_{\mu} + n \rightarrow \mu^{-} + p$) 反応の候補。サブ μm で荷電粒子の飛跡の測定が実現している。(引用②)

(1) 「原子核乾板測定器を使った水標的によるミューオンニュートリノと反ミューオンニュートリノ荷電カレント反応の最初の測定」(引用①)

この研究では、原子核乾板測定器を使って水標的によるニュートリノと反ミューオンニュートリノ荷電カレント反応を測定した。水標的は 3kg で、平均エネルギー 1.3GeV の反ニュートリノビーム（ただしニュートリノビームも混入している）を 7.1×10^{20} POT (Protons-On-Target) のビーム照射量のデータを解析した。ミューオン、陽子、荷電 π 中間子の粒子数と運動学的分布を高精度で測定し、観測データが理論モデルによる予測とよく一致することを確認した（図 2 参照）。そして、当初の目標であったニュートリノと水の相互作用による 200MeV/c までの陽子を検

出することに成功した（図3参照）。この結果は、我々のデータがニュートリノ・原子核反応モデルを改良できる精度に達していることを示している。

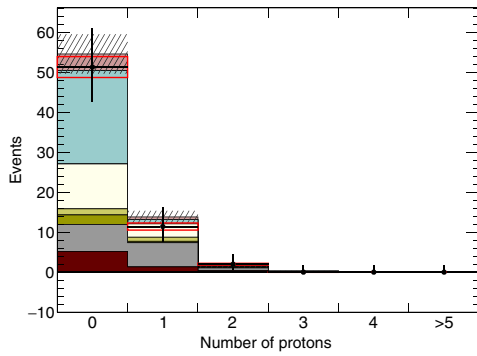


図2：観測された陽子数の分布（引用①）

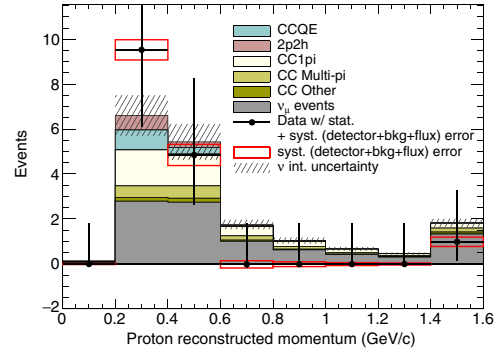


図3：観測された陽子の運動量分布（引用①）

(2) 「原子核乾板測定器を使った 1GeV エネルギー領域でのミューオンニュートリノ荷電カレント反応断面積の測定」(引用②)

この研究では、原子核乾板測定器を使って鉄標的によるニュートリノ荷電カレント反応断面積を世界最高精度で測定した。ニュートリノビームの平均エネルギーは 1.5GeV で 4.0×10^{19} POT (Protons-On-Target) のビーム照射量のデータを解析した。結果は

$$\sigma_{CC}^{Fe} = (1.28 \pm 0.11(\text{stat.})^{+0.12}_{-0.11}(\text{syst.})) \times 10^{-38} \text{ cm}^2/\text{核子}$$

と測定された。この結果は世界最高精度の測定で、過去に T2K 実験で測定された値とも一致している。さらに、ニュートリノ反応における荷電粒子の生成数(多重度)も測定し、ニュートリノ・原子核反応モデルと比較した。そして、我々のデータがニュートリノ・原子核反応モデルでよく再現されていることが確かめられた。これらの結果から、我々の実験データが 1GeV エネルギー領域におけるニュートリノ-核反応の詳細な研究に適用できることがわかった。



図4：原子核乾板で捕らえたニュートリノ反応(引用②)。発生した複数の荷電粒子が観測されている

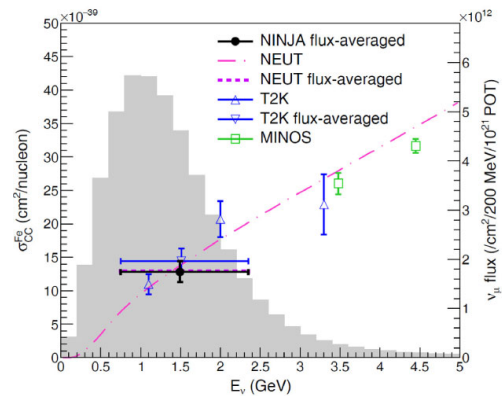


図5：測定したニュートリノ反応断面積(引用②)。本結果(NINJA 実験)に加えて、過去の実験結果、ニュートリノ反応モデルによる予想曲線、ビームフラックスも載せてある

上の(1)と(2)の結果に加えて、「5. 主な発表論文等」で報告しているように、T2K 実験で既
に取得したデータを使ってもニュートリノ反応のデータ解析を実行し、ニュートリノ原子核反
応の断面積を多数のチャンネルで測定し、その結果を発表した。

これまでの知見から、ニュートリノ原子核反応の理解には、低運動量閾値での測定が決定的に
重要であり、世界の他の実験では出せないユニークなデータを本科研費で遂行した NINJA 実験
で取得した。さらに、機械学習による多変数解析を実行し、本研究の最終目標であったニュート
リノによる $2p2h$ 反応への実験感度を計算している (引用③)。ただし、 $2p2h$ 反応の結果は注意
深く解析する必要がある。もう少し時間がかかる予定である。

<引用文献>

① PHYS. REV. D 102, 072006 (2020)

② PTEP 2021 (2021) 3, 033C01

③ Ayami Hiramoto Ph.D. thesis at Kyoto University, January 2021, “Measurement of
Neutrino Interactions on Water using Nuclear Emulsion Detectors” ,

https://www-he.scphys.kyoto-u.ac.jp/theses/doctor/hiramoto_dt.pdf

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 20件 / うち国際共著 14件 / うちオープンアクセス 18件）

1. 著者名 T. Nakaya, T. Nakadaira, 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. 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. 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. Nakaya, T. Nakadaira, Y. Hayato 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 295km	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review 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. Hayato 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 Physical Review 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. Hayato et al. (T2K collaboration)	4. 巻 9
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. Hayato 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 γ rays	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review 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. Hayato et al. (T2K collaboration)	4. 巻 101
2. 論文標題 Measurement of the muon neutrino charged-current single μ + production on hydrocarbon using the T2K off-axis near detector ND280	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review 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 A. Hiramoto, Y. Suzuki, T. Fukuda, T. Nakaya and for the NINJA collaboration	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. [TAPU 2019 Proceedings]	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 H. Oshima, H. Shibuya, S. Ogawa, T. Matsuo, Y. Morimoto, Y. Kosakai, K. Mizuno, H. Takagi and for the NINJA collaboration	4. 巻 1468
2. 論文標題 Study of neutrino charged current interactions on iron in the NINJA experiment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys. Conf. Ser. [TAPU 2019 Proceedings]	6. 最初と最後の頁 12128
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1468/1/012128	査読の有無 有
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. Odagawa and T. Kikawa	4. 巻 2019
2. 論文標題 Performance Test of New-type MPPC	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc. [PD18 Proceedings]	6. 最初と最後の頁 12013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.27.012013	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. Hayato 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 339344
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 T. Nakaya, T. Nakadaira, Y. Hayato et al. (T2K collaboration)	4. 巻 101
2. 論文標題 First combined measurement of the muon neutrino and anti-neutrino charged-current cross section without pions in the final state at T2K	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review 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. Hayato 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 Physical Review 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 T. Nakaya, T. Nakadaira, Y. Hayato et al. (T2K collaboration)	4. 巻 102
2. 論文標題 First measurement of the charged current anti-muon neutrino double differential cross section on a water target without pions in the final state	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review 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 T. Nakaya, T. Nakadaira, Y. Hayato et al. (T2K collaboration)	4. 巻 2020
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 Journal of High Energy Physics	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. Hayato et al. (T2K collaboration)	4. 巻 103
2. 論文標題 T2K measurements of muon neutrino and antineutrino disappearance using 3.13×10^{21} protons on target	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 11101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.103.L011101	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 et al. (NINJA Collaboration)	4. 巻 102
2. 論文標題 First measurement of ν_{μ} and $\bar{\nu}_{\mu}$ charged-current inclusive interactions on water using a nuclear emulsion detector	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review 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 H. Oshima 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 the 1 GeV energy region	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PTEP	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 -

1. 著者名 T. Odagawa for the NINJA Collaboration	4. 巻 2020
2. 論文標題 Prospects and status of the physics run of the NINJA experiment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PoS(NuFact2019)144 (2020)	6. 最初と最後の頁 144
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 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 H. Oshima for the NINJA Collaboration	4. 巻 2020
2. 論文標題 First cross section measurement of neutrino charged current interactions in the iron ECC	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PoS(NuFact2019)122 (2020)	6. 最初と最後の頁 122
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 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 -

〔学会発表〕 計51件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 26件)

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: 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. 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 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Fukuda
2. 発表標題 Precise measurement of Neutrino Cross-sections and Neutrino Flux with Hybrid Emulsion Experiments for finding neutrino CP violation - NINJA and EMPHATIC - (poster)
3. 学会等名 Neutrino2018: 28th International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Hiramoto
2. 発表標題 Neutrino event detection with nuclear emulsion in the NINJA experiment
3. 学会等名 The XXVIII International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Hiramoto
2. 発表標題 Water-target neutrino event measurement with nuclear emulsion in the NINJA experiment (poster)
3. 学会等名 NuInt2018: 12th International Workshop on Neutrino-Nucleus Interactions in the Few-GeV Region (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Hayato
2. 発表標題 NEUT, QE-like in Generators (NEUT), 2p2h implementation in NEUT, Pion production and absorption in NEUT
3. 学会等名 ECT workshop: Modeling neutrino-nucleus interactions (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Odagawa
2. 発表標題 Performance Test of New-type MPPC
3. 学会等名 5th International Workshop on New Photon-Detectors (PD18) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福田 努
2. 発表標題 NINJA実験によるニュートリノ - 原子核反応の精密研究
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木 洋輔
2. 発表標題 NINJA実験における水標的検出器の飛跡解析
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大島 仁
2. 発表標題 NINJA実験：ミューニュートリノ - 鉄 荷電カレント反応の解析
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小田川 高大
2. 発表標題 NINJA 実験物理ランにむけた大型ファイバートラッカーの開発
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平本 綾美
2. 発表標題 NINJA実験における水標的ニュートリノ反応の解析
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木 陽介
2. 発表標題 NINJA実験物理ランに向けた水標的検出器の開発
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Suzuki
2. 発表標題 Cross section measurement with NINJA: Status and Prospects
3. 学会等名 Rencontres du Vietnam 2019: 3 Neutrinos and Beyond (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Oshima
2. 発表標題 First cross section measurement of neutrino charged current interactions in the iron ECC
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. 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) (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 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 H. Oshima
2. 発表標題 Study of neutrino charged current interactions on iron 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 T. Fukuda
2. 発表標題 Status and future prospect of the NINJA experiment
3. 学会等名 The 3rd J-PARC Symposium (J-PARC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Fukuda
2. 発表標題 Neutrino-water cross-section measurements in the NINJA experiment (J-PARC E71)
3. 学会等名 ESSnuSB/EuroNuNET annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 O. Sato
2. 発表標題 Study on the neutrino interactions in subGeV to GeV Energy range : NINJA
3. 学会等名 Internatonal Conference on Materials and Systems for Sustainability (ICMaSS) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Matsuo
2. 発表標題 Upgrading of momentum measurement techniques in emulsion-based particle detectors
3. 学会等名 Internatonal Conference on Materials and Systems for Sustainability (ICMaSS) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019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 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 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 松尾友和
2. 発表標題 NINJA実験の鉄ECC中におけるニュートリノ反応解析のための基礎的測定
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大島仁
2. 発表標題 NINJA実験におけるニュートリノ - 鉄 荷電カレント反応の研究
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平本綾美
2. 発表標題 NINJA実験テストランにおける水標的ニュートリノ反応の解析
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小田川高大
2. 発表標題 NINJA実験物理ランに向けたトラックの製作と性能評価
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木陽介
2. 発表標題 NINJA実験の物理ランに向けた準備状況と今後の展望
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷原裕史
2. 発表標題 NINJA実験物理ランに向けた粒子識別手法の検証
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平本綾美
2. 発表標題 NINJA実験テストランの結果および物理ランの展望
3. 学会等名 26th ICEPPsymposium
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中家剛
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 中家剛
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 平本綾美
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) (国際学会)
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ミュー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
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
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
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
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中野 昇
2. 発表標題 原子核乾板における現像銀粒子像の詳細測定
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
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
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
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
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福田 努
2. 発表標題 NINJA実験・物理ランにおける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年度秋季大会
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の解析
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 杉村 昂
2. 発表標題 原子核乾板連続塗布設備の構築(4)
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
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
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

京大ニュートリノグループアクティビティ：
<https://www-he.scphys.kyoto-u.ac.jp/research/Neutrino/T2K/activity.html>
T2K実験：
<https://t2k-experiment.org>
NINJA実験：
<https://flab.phys.nagoya-u.ac.jp/ninja/>
ニュートリノ解説用のマンガ：<https://www-he.scphys.kyoto-u.ac.jp/nucosmos/files/NC-pamph.pdf>

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)	
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・准教授 (82118)	
研究分担者	早戸 良成 (Hayato Yoshinari) (60321535)	東京大学・宇宙線研究所・准教授 (12601)	
研究分担者	三角 尚治 (Mikado Shoji) (80408947)	日本大学・生産工学部・准教授 (32665)	

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0件

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	Stony Brook, University of New York	University of Rochester	Boston University	他9機関
イタリア	INFN, U.Bari	INFN,U.Napoli	INFN,U.Padova	他1機関
ポーランド	NCBJ, Warsaw	U. Silesia, Katowice	IFJ PAN, Cracow	他3機関
フランス	IRFU, CEA Saclay	Ecole Polytechnique	LPNHE	
スイス	U. Geneva	ETH Zurich	CERN	他1機関
カナダ	TRIUMF	U. Toronto	U. Victoria	他5機関