

平成 30 年 8 月 30 日現在

機関番号：14301

研究種目：国際共同研究加速基金（国際活動支援班）

研究期間：2015～2017

課題番号：15K21734

研究課題名（和文）国際ニュートリノ研究ネットワーク構築によるニュートリノフロンティアの展開

研究課題名（英文）Development of Neutrino Science Frontier based on the International Neutrino Research Network

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） 30,500,000 円

研究成果の概要（和文）：素粒子から宇宙のスケールに渉る自然の各階層で展開する、世界最先端を走る日本のニュートリノ研究を融合し、ニュートリノを使った科学研究フロンティアを進化・発展させてきた。ニュートリノ振動の研究で3世代混合パラダイムを確立し、ニュートリノの粒子・反粒子対称性（CP対称性）の破れの測定の展望を開いた。T2K実験で、CP対称性が大きく破れていることを示唆する結果を報告した。IceCube実験で高エネルギー宇宙ニュートリノ観測技術を確立し、TeVを超える高エネルギー宇宙ニュートリノを発見した。国際的な枠組みでニュートリノ研究を議論する「国際ニュートリノ研究ネットワーク」を立ち上げた。

研究成果の概要（英文）：We develop Neutrino Science Frontier by unifying Japanese neutrino research projects. Japanese neutrino research is well advanced in the world in the scale of elementary particle to cosmology. Three generation paradigm of neutrino oscillations is established, and explore the possibility to measure the symmetry between a particle and the anti-particle in neutrinos (CP symmetry). The T2K experiment reports a hint of large CP violation. The IceCube experiment establishes the observation technology of cosmic neutrinos, and discovers the high energy cosmic neutrinos beyond TeV energy. In the international framework, we establish the International Neutrino Research Network to advance neutrino science.

研究分野：素粒子物理学

キーワード：ニュートリノ 素粒子 宇宙物理 加速器 原子炉

1. 研究開始当初の背景

素粒子から宇宙のスケールに渉る自然の各階層で展開する、世界最先端を走る日本のニュートリノ研究を融合し、ニュートリノを使った科学研究フロンティアを進化・発展させることを目標に新学術領域「ニュートリノフロンティアの融合と進化」を進めてきた。ニュートリノ研究は日本のお家芸と言われるくらい、日本にある最先端実験装置を使った研究が多く、成果を上げてきた。また、海外で行われた研究であっても、日本の研究者が積み重ねてきた実験技術や経験が、重要な貢献をしてきた。しかし近年は、日本の厳しい財政状況(新しい研究設備の拡充が難しい状況)に加えて、中国のニュートリノ研究分野での台頭、米国の「ニュートリノ実験」への研究資本集約による国際化の推進等で、日本のニュートリノ研究の優位性は弱まりつつある。日本のニュートリノ研究は一転機にさしかかっており、個別の国際共同研究の枠を超えた国際研究ネットワークの構築が必要であり、国際協力による日本のニュートリノ研究の発展を推進していく。日本のニュートリノ研究の優位性がある今、日本で行われているニュートリノ研究全般をより一層国際化することで、世界のニュートリノ研究の中での日本の立場を確固たるものにし、更なる研究の飛躍を目指す状況にある。

2. 研究の目的

ニュートリノの質量は他の素粒子よりもずっと小さい。これはニュートリノが他の素粒子とは大きく異なる性質をもつことを示唆している。その起源として、大統一理論を見据えたシーソー機構、超弦理論と余剰次元、複合粒子仮説等、様々な可能性が考えられている。その起源の解明に向け、「加速器ニュートリノを使った素粒子、原子核実験」、「原子炉反ニュートリノを使った素粒子実験」、「大気ニュートリノと太陽ニュートリノの観測」等で、ニュートリノそのものの性質(質量、混合、粒子と反粒子間の CP 対称性)を研究していく。同時に、「地球反ニュートリノ、太陽ニュートリノ、宇宙ニュートリノ等の自然ニュートリノ観測」により、自然の様々な理解(地球内部の熱発生源の解明、太陽の核融合燃焼メカニズム確立、宇宙線起源の解明等)を進めていく。さらに理論研究において、牧・中川・坂田によるニュートリノ振動の提唱、柳田によるニュートリノ質量の理解(シーソー機構)、柳田・福来によるニュートリノ起源による物質優勢宇宙論モデルの提唱(レプトジェネシス)等を基盤にそれを超えた理論的枠組みを探求し、ニュートリノを通して素粒子・宇宙の深部を探る。ニュートリノの基本性質を究明するために、加速器、原子炉、自然のニュートリノ源を組み合わせることでニュートリノ振動の研究を総合的に進展させることはきわめて重要で、それが本領域の主目的である。 13 0、つ

まり3世代間ニュートリノ混合が確立した今日、複数の測定を組み合わせることで、ニュートリノにおける CP の破れを探る。

大気ニュートリノと宇宙ニュートリノの同時観測により、ニュートリノ天文学のさらなる展開を目指す。特に、本領域の A04 班が進めるニュートリノ望遠鏡 IceCube で発見した高エネルギー宇宙ニュートリノの起源の解明を目指す。

3. 研究の方法

本研究は、新学術領域「ニュートリノフロンティアの融合と進化」の国際活動支援であり、領域の各研究班の国際協力における研究方法とそのための国際支援の方法を切り分けることは難しい。最初に領域における研究方法の概要を説明し、次に国際活動支援班に特化した研究方法を紹介する。

【領域の研究方法】

領域では、加速器ニュートリノ実験 T2K の A01 班、原子炉反ニュートリノ実験 Double Chooz の A02 班、大気ニュートリノ実験 Super-K と将来計画 Hyper-K 実験の A03 班、宇宙ニュートリノ実験 IceCube の A04 班の研究成果を合わせることで、ニュートリノに関する未解決問題にアプローチして行く。この際に、ライバル実験である NOvA 実験(米国)、RENO 実験(韓国)や Daya Bay 実験(中国)とも協力し、様々な国際的研究が融合していくことで、世界全体のニュートリノ研究を進めていく。この海外の研究者との連携は重要であり、国際活動支援班のミッションでもある。さらに、測定器の専門家集団である B01~B03 班、理論班 C01~C03 の総力を結集し、それぞれの専門性を活用し、「国際ニュートリノ研究ネットワーク」を構築し、「ニュートリノフロンティアの国際的融合と世界的進化」を進める。

【国際活動支援班の活動】

国際的な枠組みでニュートリノ研究の将来計画を議論し、方針と戦略を決定して行く「国際ニュートリノ研究ネットワーク」を立ち上げる。このネットワークを通じ、海外の研究者との連携を強化し共同研究を推進して行く。特に、日本で計画している次期大型ニュートリノ実験計画ハイパーカミオカンデは、加速器ニュートリノ、大気ニュートリノ、太陽ニュートリノ、宇宙ニュートリノ、陽子崩壊探索と素粒子の大統一理論の検証、という非常に広範囲な研究テーマに渡っている。ハイパーカミオカンデ計画を国際的にどのように進めて行くかは、国内外の研究者による国際的な計画の策定が必要不可欠であり、国際ニュートリノ研究ネットワークが必要となる。具体的に行う活動は、(a)リーダークラス(研究代表者、分担者等)の海外派遣、(b)若手研究者の海外派遣と成果発表、(c)海外研究者の招聘、(d)海外ポスドクの雇用、(e)国内外外国人研究者の招聘、を積極的に行い「国際ニュートリノ研究ネットワー

他 (Super-Kamiokande Collaboration),
Astrophysical Journal Letter, 査読有,
Volume 830, Number 1, 2016,
DOI : 10.3847/2041-8205/830/1/L11
“ Isospin decomposition of gamma N ->
N^{*} transitions within a dynamical
coupled-channels model ”, H. Kamano,
S. X. Nakamura, T.-S. H. Lee, T. Sato,
Physical Review C, 査読有, 94 巻, 2016,
P015201, 1-14,
DOI : 10.1103/PhysRevC.94.015201
“ Primordial Lepton Oscillations and
Baryogenesis ”, Y. Hamada, R. Kitano,
JHEP, 査読有, 1611 巻, 2016, P010.
DOI : 10.1007/JHEP11(2016)010
“ Measurements of neutrino
oscillation in appearance and
disappearance channels by the T2K
experiment with 6.6E20 protons on
target”, T. Nakaya 他 (T2K
Collaboration), Phys. Rev. D, 査読
有, 91, 072010 (2015)
DOI : [10.1103/PhysRevD.91.072010](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.91.072010)
“ Measurement of the numu charged
current quasi-elastic cross-section
on carbon with the T2K on-axis
neutrino beam ”, T. Nakaya 他 (T2K
Collaboration), Phys. Rev. D 91,
112002, 2015, 査読有
DOI : [10.1103/PhysRevD.91.112002](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.91.112002)
“ Neutrino Oscillation Physics
Potential of the T2K Experiment ”, T.
Nakaya 他 (T2K Collaboration), Prog.
Theor. Exp. Phys., 査読有, 2015,
043C01
DOI : <http://dx.doi.org/10.1093/ptep/ptv031>
“ Limits on sterile neutrino mixing
using atmospheric neutrinos in
Super-Kamiokande ”, T. Nakaya, Y.
Hayato, M. Shiozawa, M. Yokoyama 他
(Super-Kamiokande Collaboration),
Phys. Rev. D 91, 052019(2015). 査読
有
DOI : [10.1103/PhysRevD.91.052019](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.91.052019)
“ Test of Lorentz Invariance with
atmospheric neutrinos ”, T. Nakaya, Y.
Hayato, M. Shiozawa, M. Yokoyama 他
(Super-Kamiokande Collaboration),
Phys. Rev. D 91, 052003(2015). 査読
有
DOI : [10.1103/PhysRevD.91.052003](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.91.052003)
“ Atmospheric and Astrophysical
Neutrinos above 1 TeV interacting in
IceCube ”, A. Ishihara, K. Mase,
S. Yoshida et al. (IceCube
Collaboration), Phys. Rev. D 91 022001
(2015). 査読有
DOI : [10.1103/PhysRevD.91.022001](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.91.022001)

“ Cosmic neutrino spectrum and the
muon anomalous magnetic moment in the
gauged L_μ-L model ”, T. Araki, F.
Kaneko, Y. Konishi, T. Ota, J. Sato,
T. Shimomura, Phys. Rev. D 91,
037301(2015). 査読有

DOI : [10.1103/PhysRevD.91.037301](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.91.037301)

“ Discrimination of dark matter
models in future experiments ”, T. Abe,
R. Kitano, R. Sato, Phys. Rev. D91,
095004 (2015). 査読有

DOI : [10.1103/PhysRevD.91.095004](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.91.095004)

- 21 “ Search for Neutrinos from
Annihilation of Captured Low-Mass
Dark Matter Particles in the Sun by
Super-Kamiokande ”, T. Nakaya, M.
Shiozawa 他 (Super-Kamiokande
Collaboration), Physical Review
Letters, 査読有, 114 巻, 2015,
P141301
DOI : 10.1103/PhysRevLett.114.141301

[学会発表](計8件)

“ The sensitivity of the T2HKK
experiment to the flavor-dependent
non-standard interactions ”, O.
Yasuda, The 19th International
Workshop on Neutrinos from
Accelerators (NUFACT2017), Uppsala
University, Sweden, 2017/9/25-30

“ Neutrino Physics from Particle Beam
and Decay Experiments ”, T. Nakaya,
EPS Conference on High Energy Physics,
2017/7/5-12, Venice, Italy

“ A Status Report of
J-PARC/T2HK/T2HKK ”, T. Nakaya, The
International Symposium on Lepton
Photon Interactions at High Energies
(Lepton Photon 2017), 2017/8/7-12,
Guangzhou, China

“ Exclusive Meson Electroweak
Production off Bound Nucleons ”, T.
Sato, The 11th International Workshop
on the Physics of Excited
Nucleons(NSTAR2017), South Carolina,
USA, 2017/8/20-23

“ Strong CP problem on the lattice ”,
R. Kitano, Johns Hopkins Workshop
Series on Current Problems in Particle
Theory Summer 2017, “ Beyond the
Standard Model - Exploring the
Frontier ”, Budapest, Hungary,
2017/7/6

“ Latest results from Double
Chooz ”, M. Kuze, Neutrino Telescope,
Venice, 2017/3/13-17

“ Overview of Hyper-Kamiokande ”, M.
Shiozawa, Korean Physics Society
Meeting, Gwangju, Korea,

2016/10/19-21
“ Status and Prospect of Recent
Neutrino Experiments ”, T.Nakaya,
Invisibles 16 Workshop, 2016/9/12-16,
Padova, Italy.

〔図書〕(計3件)

鈴木厚人 監修(中家 剛 共著)、「カ
ミオカンデとニュートリノ」、丸善出版、
1-178、2016年、ISBN:4621300490。
中家 剛、「ニュートリノ物理：ニュート
リノで探る素粒子と宇宙(基本法則から
読み解く物理学最前線)」、共立出版、
1-85、2016年、ISBN:4320035291。
久世正弘、他「現代素粒子物理」、森北出
版、256ページ、2016年、ISBN:
978-4-627-15581-7

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ

[https://www-he.scphys.kyoto-u.ac.jp/nuf
rontier/index.html](https://www-he.scphys.kyoto-u.ac.jp/nuf
rontier/index.html)

6. 研究組織

(1)研究代表者

中家 剛(NAKAYA, Tsuyoshi)
京都大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号: 50314175

(2)研究分担者

久世 正弘(KUZE, Masahiro)
東京工業大学・理学院・教授
研究者番号: 00225153

塩澤 真人(SHIOZAWA, Masato)
東京大学・宇宙線研究所・教授
研究者番号: 70272523

吉田 滋(YOSHIDA, Shigeru)
千葉大学・大学院理学研究院・教授
研究者番号: 00272518

中村 光廣(NAKAMURA, Mitsuhiro)
名古屋大学・未来材料・システム研究所・
教授
研究者番号: 90183889

金 信弘(KIM, Shinghong)
筑波大学・数理解物質系・教授
研究者番号: 50161609

丸山 和純(MARUYAMA, Takasumi)

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
研究者番号: 80375401

安田 修(YASUDA, Osamu)
首都大学東京・理工学研究科・教授
研究者番号: 50183116

佐藤 透(SATO, Toru)
大阪大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号: 10135650

北野 龍一郎(KITANO, Ryuichiro)
高エネルギー加速器研究機構・素粒子
原子核研究所・教授
研究者番号: 50543451

(3)連携研究者

横山 博美(YOKOYAMA, Hiromi)
東京大学・国際高等研究所カブリ数物連携
宇宙研究機構・教授
研究者番号: 50401708

(4)研究協力者

- Chang Kee Jung
Stony Brook 大学(米国)・教授
- Kevin McFarland
Rochester 大学(米国)・教授
- Eric D. Zimmerman
Colorado 大学(米国)・教授
- Hank Sobel
University of California, Irvine(米
国)・教授
- Ed Kerns
ボストン大学(米国)・教授
- Kendall Mahn
ミシガン州立大学(米国)・講師
- Akira Konaka
TRIUMF 研究所(カナダ)・上級研究員
- Sampa Bhadra
York 大学(カナダ)・教授
- Morgan Wascko
Imperial College London(イギリス)・
講師
- Dave Work
Oxford 大学(イギリス)・教授
- Francesca Di Lodovico
Queen Mary ロンドン大学(イギリス)・
教授
- Alain Blondel
ジュネーブ大学(スイス)・教授
- Federico Sanchez
バルセロナ大学(スペイン)・教授
- Marco Zito
Saclay 研究所(フランス)・上級研究員
- Michel Gonin
エコール・ポリテクニク(フランス)・
教授

- Ewa Rondio
国立原子核研究所 (ポーランド)・教授
- Lucio Ludovici
ローマ大学 (イタリア)・教授
- Gabriella Catanesi
INFN 研究所 (イタリア)・上級研究員
- Nguyen Hong Van
Institute of Physics, Vietnam Academy
of Science and Technology (ベトナム)・
講師
- Soo Bong Kim
ソウル大学 (韓国)・教授
- Jun CAO
ICHEP 研究所 (中国)・教授
- Serguey Petcov
SISSA 研究所 (イタリア)・教授
- Peter Shanahan
フェルミ研究所 (米国)・科学者
- Sajjad Athar
Aligarh Muslim 大学 (インド)・教授
- Jean Tran Thanh Van
ICISE 研究所 (ベトナム)・所長