

令和 2 年 5 月 27 日現在

機関番号：12601
研究種目：若手研究
研究期間：2018～2019
課題番号：18K13536
研究課題名（和文）Next Generation of Neutrino CP measurement with TNT2K and Its Physical Potentials
研究課題名（英文）Next Generation of Neutrino CP measurement with TNT2K and Its Physical Potentials
研究代表者
GE SHAOFENG (Ge, Shaofeng)
東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・客員准科学的研究員
研究者番号：20817639
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：私の研究は主に、T2KおよびT2HKニュートリノ振動実験において探索される物理の可能性を拡げることである。この2つの実験では、ニュートリノ振動を利用してニュートリノのCP位相を測定する。ただしCP位相の発見（ゼロかそうでないか）を目的として設計されているため、CP位相の値を正確に測定することはできない。私は共同研究者とともに、神岡実験場周辺の富山県に新しい低エネルギーニュートリノ源を追加するTNT2K実験を提案した。私の研究においてはTNT2K実験の設計では多目的測定により、最大限の結果を引き出すことができるため、日本の既存のニュートリノ実験の将来のアップグレードに最適であることを示している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我々の宇宙は、反物質ではなく物質で構成されている。物質と反物質の量は、宇宙の初期では全く同じである。物質と反物質のペアは、対で生成および消滅をすることができる。しかし現在、私たちの宇宙には物質のみで反物質は見られない。この事実に対して、日本の物理学者の柳田勉と福来正孝はレプトン生成を可能な説明として提案した。その鍵となる要素のニュートリノのCP位相は、物質と反物質の違いを指し示す。T2K / T2HKと比較して、TNT2K実験ははるかに正確な測定を行うことができる。私のプロジェクトは、TNT2K実験における物理の可能性をさらに拡げ、TNT2K実験をより魅力的なものにするのに役立つものである。

研究成果の概要（英文）：My project is mainly about extending the physics potential of the T2K and T2HK neutrino oscillation experiment in Japan. This two experiments uses the neutrino oscillation to measure the neutrino CP phase. However, these two experiments are designed for discovery, namely, whether the neutrino CP phase is zero or not. But they are not good at measuring the value of the neutrino CP phase precisely due to some intrinsic design issues. Together with some colleagues, I proposed the TNT2K experiment by adding a new low energy neutrino source in Toyama county around the Kamioka experiment site. My current project extended the physics potential of this TNT2K experiment by allowing it to measure more interesting phenomena in neutrino oscillation. Then, the TNT2K experiment can do multi-purpose measurement to make the largest outcome. My study shows that this new TNT2K design is an optimal design for future upgrade of the existing neutrino experiments in Japan.

研究分野：Particle physics

キーワード：Neutrino Neutrino Oscillation Dark Matter NonStandard Interaction CP

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

In 2012, the Large Hadron Collider at CERN in Europe discovered the Higgs boson so that the particle spectrum of the Standard Model (SM) of particle physics became complete. Since then, people has been looking for new physics beyond the SM. More importantly, the Higgs boson mass is 125GeV. This makes the electroweak phase transition not first order and hence not large enough to explain the observed matter-antimatter asymmetry in Universe via electroweak baryogenesis. Very interestingly, also in 2012 the Daya Bay reactor antineutrino experiment in China measured a nonzero θ_{13} in neutrino oscillation, opening the possibility of existing leptonic CP violation in the neutrino sector. Then it's possible to explain the matter-antimatter asymmetry in our Universe via the leptogenesis mechanism. These two important experimental progresses in 2012 make it very attractive to measure the leptonic Dirac CP phase in neutrino oscillation, which is exactly the thing that the T2K and T2HK experiments in Japan are designed for.

Back in 2017 when this research proposal was applied for, the accelerator neutrino oscillation experiments T2K in Japan and NOvA in US have been running for several year. There have already been some preliminary results favoring a maximal CP phase around -90° which indicates a very bright future.

However, the T2K and NOvA experiments are designed for making discovery of a nonzero leptonic Dirac CP phase, rather than making precision measurement. Although the T2HK experiment would improves a lot than T2K, they share the same configuration and hence same problems. My previous studies show that T2K/T2HK has at least five fold problems:

- 1) Low efficiency & event rates;
- 2) Degeneracy between the CP phase δ_D & $\pi - \delta_D$;
- 3) Large CP uncertainty, especially for a large CP phase $\delta_D \sim -\pi/2$;
- 4) Theoretical uncertainty from non-unitary mixing;
- 5) Theoretical uncertainty from non-standard interactions.

So I proposed the TNT2K configuration, combining T2K/T2HK and μ SK/ μ HK with muon decay at rest neutrino sources, to solve these problems.

2. 研究の目的

After we proposed the TNT2K configuration to solve the five issues in the leptonic CP phase measurement, this new configuration has attracted a lot of attention in the community. To make it more attractive, I made this research proposal to further study the physics potential of the TNT2K project.

The future develop of the T2K experiment has been under intensive studies. Several upgrade plan has appeared:

- 1) Flux upgrade: T2K-II with higher luminosity;
- 2) Detector upgrade: T2HK with larger detector Hyper-K;
- 3) Baseline upgrade: T2HKK puts one HK detector in Kamioka & one in Korea

Nevertheless, these new designs cannot solve the above issues. T2K-II & T2HK basically makes the event rates bigger with higher flux or larger detector, but has exactly the same configuration as T2K. For T2HKK, although the second HK detector has totally different baseline, it is at the second oscillation peak and hence has almost the same features.

To make the TNT2K experiment more attractive, I proposed to JSPS in 2017 for studying its physics potential. Not just for solving the intrinsic problems in the CP measurement, but also for constraining or probing new physics.

3 . 研究の方法

This research proposal is mainly phenomenological study about the CP phase measurement. It mainly focuses on the physics potential at the TNT2K experiment. Especially, whether there is any new physics that can effect the neutrino oscillation probabilities. I use the GLOBES software & my own NuPro package to simulate the neutrino experiments. If new physics affects the effective Hamiltonian of neutrino oscillation, the oscillation probability is also affected. The GLOBES & NuPro simulation can demonstrate the phenomenological consequences of the new physics. Comparing this affected oscillation probability with the pseudo data, we can estimate the projected sensitivity on new physics.

4 . 研究成果

In FY2019 I have published one PRL paper Phys.Rev.Lett. 122 (2019) 21, 211801 on the scalar non-standard interactions (NSI) in neutrino oscillation. This paper pointed out that the scalar NSI can have totally different phenomenological consequences than the vector type, contrary to the naive expectation. In addition, I have finished another paper [arXiv:1904.02518 [hep-ph]] to propose the dark NSI in neutrino oscillation. Both scalar & dark NSI leads to mass term correction in the effective Hamiltonian of neutrino oscillation. These are two new types of NSI that haven't been massively studied before.

I have also published one PLB paper Phys.Lett.B 801 (2020) 135159 for the the broken democratic neutrino mass matrix with intermediate $S_2 \times S_2$ residual symmetry. This approach improves the anarchy model of neutrino mixing with residual symmetries, first $S_3 \times S_3$ and then the intermediate $S_2 \times S_2$.

My fourth paper on neutrino is about the neutrino mass ordering. Currently, global fits of all neutrino experimental data prefer the normal mass ordering. This seems not good for the

neutrinoless double beta decay measurement. I point out the opposite and provide two arguments: the normal ordering can allow the neutrinoless double beta decay experiments to exclude the higher octant of θ_{12} and simultaneously determine the two Majorana CP phases.

All these works are about neutrino and can be related to the TNT2K experiment that is the focus of this project.

In addition, I have also finished one paper (Chin.Phys.C 44 (2020) 063106) on testing the anomalous neutral triple gauge coupling (nTGC) at lepton colliders. This is also for new physics search.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件／うち国際共著 9件／うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Ge Shao-Feng, Parke Stephen J.	4. 巻 122
2. 論文標題 Scalar Nonstandard Interactions in Neutrino Oscillation	5. 発行年 2019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.122.211801	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
1. 著者名 John Ellis, Shao-Feng Ge, Hong-Jian He, Rui-Qing Xiao	4. 巻 44
2. 論文標題 Probing the Scale of New Physics in the ZZ Coupling at e^+e^- Colliders	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chin.Phys.C 44 (2020) 063106	6. 最初と最後の頁 63106
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1674-1137/44/6/063106	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 Barrie Neil D., Ge Shao-Feng, Yanagida Tsutomu T.	4. 巻 801
2. 論文標題 Broken democracy with intermediate $S_2 \times S_2$ residual symmetry and random perturbations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 135159 ~ 135159
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.physletb.2019.135159	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 Shao-Feng Ge and Jing-Yu Zhu	4. 巻 -
2. 論文標題 The Normal Neutrino Mass Ordering is Exactly What We Need!	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chinese Physics C	6. 最初と最後の頁 -
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ge Shao-Feng, Shoemaker Ian M.	4. 巻 2018
2. 論文標題 Constraining photon portal Dark Matter with TEXONO and COHERENT data	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 NULL
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP11(2018)066	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 Ge Shao-Feng, He Hong-Jian, Wang Yu-Chen	4. 巻 781
2. 論文標題 Flavor structure of the cosmic-ray electron/positron excesses at DAMPE	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 88 ~ 94
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2018.03.065	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 Ellis John, Ge Shao-Feng	4. 巻 121
2. 論文標題 Constraining Gluonic Quartic Gauge Coupling Operators with gg	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 41801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.121.041801	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 Ge Shao-Feng, Kusenko Alexander, Yanagida Tsutomu T.	4. 巻 781
2. 論文標題 Large leptonic Dirac CP phase from broken democracy with random perturbations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 699 ~ 705
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2018.04.040	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 An Fenfen et. al.	4. 巻 43
2. 論文標題 Precision Higgs physics at the CEPC	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chinese Physics C	6. 最初と最後の頁 043002 - 043002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1674-1137/43/4/043002	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20件 (うち招待講演 15件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 Shao-Feng Ge
2. 発表標題 TNT2K for CP Measurement & Non-Standard Interactions
3. 学会等名 China 14th Workshop on TeV Physics (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shao-Feng Ge
2. 発表標題 Determine the Two Majorana CP Phases with the help of Neutrino Electromagnetic Measurements
3. 学会等名 Neutrino-Electron Scattering at Low Energies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shao-Feng Ge
2. 発表標題 Axion & ALP Searches @ Beam Dump Experiments
3. 学会等名 Workshop on Fractional Charge Particles, Monopoles, and Dark Photon (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shao-Feng Ge
2. 発表標題 TNT2K for CP Measurement & Non-Standard Interactions
3. 学会等名 8th Workshop on Flavor Symmetries and Consequences in Accelerators and Cosmology (FLASY2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shao-Feng Ge
2. 発表標題 Neutrino Matter Effect & (vector, scalar, dark) Non-Standard Interactions
3. 学会等名 Workshop of Jinping Neutrino Experiment 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shao-Feng Ge
2. 発表標題 Leptonic CP Measurement & New Physics Alternatives
3. 学会等名 The 21st International Workshop on Neutrinos from Accelerators (NUFACT2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shao-Feng Ge
2. 発表標題 New Physics & (vector, scalar, dark) NSI 's
3. 学会等名 The 16th International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (TAUP2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shao-Feng Ge
2. 発表標題 New Physics & (vector, scalar, dark) NSI 's
3. 学会等名 International Workshop on New Physics at the Low Energy Scales (NEPLES-2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shao-Feng Ge
2. 発表標題 Leptonic CP Measurement & New Physics Alternatives
3. 学会等名 Neutrino Platform Week 2019: Hot Topics in Neutrino Physics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shao-Feng Ge
2. 発表標題 The Normal Neutrino Mass Hierarchy is Exactly What We Need!
3. 学会等名 The 1st Asian-European-Institutes (AEI) Workshop for BSM & the 9th KIAS Workshop on Particle Physics and Cosmology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shao-Feng Ge
2. 発表標題 Leptonic CP Phase Measurement with Muon Decay at Rest
3. 学会等名 第三届中国高功率強子加速器上的粒子物理前沿研究研讨会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shao-Feng Ge
2. 発表標題 Atmospheric Neutrino Trident Production and Neutrino Collider
3. 学会等名 Advanced Workshop on Physics of Atmospheric Neutrinos (PANE 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shao-Feng Ge
2. 発表標題 Measuring the Leptonic Dirac CP Phase with Muon Decay at Rest
3. 学会等名 The 20th International Workshop on Neutrinos from Accelerators [NuFact 2018] (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shao-Feng Ge
2. 発表標題 Mad-ee: Polarized Parton Shower @ Lepton Colliders
3. 学会等名 Mini-Workshop on Precision Physics and Future Colliders (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shao-Feng Ge
2. 発表標題 Constraining Gluonic Quartic Gauge Coupling Operators with gg
3. 学会等名 The 4th China LHC Physics Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shao-Feng Ge
2. 発表標題 Leptonic CP Phase Measurement & New Physics
3. 学会等名 Symposium on the Frontier of Particle Physics
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shao-Feng Ge
2. 発表標題 TNT2K for Better CP Measurement
3. 学会等名 8th Hyper-Kamiokande Proto-Collaboration Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shao-Feng Ge
2. 発表標題 Observables & New Physics Scales @ Future Lepton Colliders
3. 学会等名 The 4th International Workshop on "Higgs as a Probe of New Physics" (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shao-Feng Ge
2. 発表標題 Null Observation of $0 \leq 2$ is Even Better
3. 学会等名 Revealing the history of the universe with underground particle and nuclear research 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shao-Feng Ge
2. 発表標題 Polarized Parton Shower @ Lepton Colliders
3. 学会等名 FeynRules/MadGraph School on Collider Phenomenology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
--	---------------------------	-----------------------	----