

【新学術領域研究（研究領域提案型）】 理工系



研究領域名 ニュートリノで拓く素粒子と宇宙

京都大学・大学院理学研究科・教授 なかや つよし
中家 剛

研究課題番号： 18H05535 研究者番号： 50314175

【本領域の目的】

今、素粒子物理学と宇宙物理学は大きな転換期にあります。素粒子物理学の「標準理論」は加速器の発展により TeV のエネルギースケールまでの広い範囲で検証され、理論の予想値と実験の測定値が驚くほど良く一致しています。「標準宇宙論」は、宇宙の進化における元素合成を説明する一方で、暗黒物質・暗黒エネルギーの存在を揺るぎないものとししました。しかし、宇宙に存在する物質・反物質非対称性の起源、暗黒物質・暗黒エネルギーの正体、インフレーションの起源、力・物質場の統一像などは「標準理論」、「標準宇宙論」では説明できません。宇宙の初期から現在に至る描像を統一的に理解するには、物理学の革新となる「新しい素粒子、宇宙像」が必要と考えられています。本領域では、これら未解決の課題を解決するために重要な鍵となる素粒子「ニュートリノ」を研究することで、「新しい素粒子・宇宙像」の創造に挑戦します。

【本領域の内容】

本領域では、世界最先端のニュートリノ実験：スーパーカミオカンデ実験、T2K実験、IceCube実験を進め、ニュートリノ振動を研究し、粒子と反粒子の対称性の破れを探り、ニュートリノ天文学を進めていきます。さらに、素粒子の統一理論と宇宙初期を調べるために、スーパーカミオカンデ実験で陽子崩壊を探索し、宇宙背景放射の観測 (Simons Array / GroundBIRD 実験) からニュートリノ質量を測定し、インフレーション (原始重力波) の検証に挑みます。ほかにも、ニュートリノのマヨラナ性の検証等、より根源的な問題にも挑戦していきます。さらに次世代ニュートリノ実験を実現するために、ハイパーカミオカンデ実験や IceCube Gen2 実験の基幹実験技術の開発を進めていきます。

ニュートリノを基軸に素粒子、原子核、宇宙線、宇宙にわたる分野を融合した研究内容です。

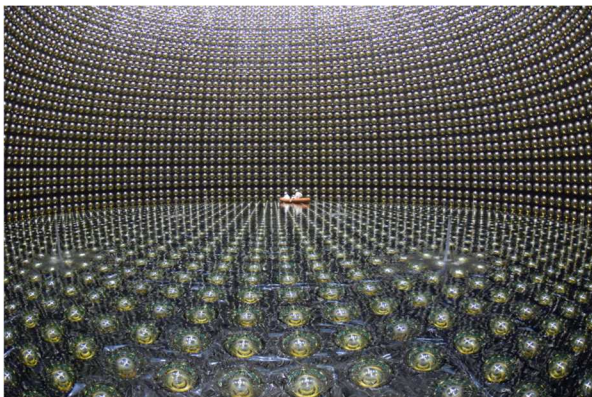


図 1：スーパーカミオカンデ実験装置の内部

【期待される成果と意義】

【ニュートリノ物理学の発展】：ニュートリノ振動を高精度で決定します。ニュートリノ絶対質量や世代数の情報を加え、ニュートリノ質量と混合の起源の理解が進みます。

【ニュートリノ天文学の進化】：宇宙背景ニュートリノ、太陽、超新星、銀河系外天体、AGN 等からのニュートリノを観測します。

【大統一理論構築】：大統一の証拠となる陽子崩壊を世界最高感度で探索します。クォークとレプトンの対称性を調べることで、大統一モデルを制限します。

【宇宙進化史の解明】：原始重力波、物質・反物質非対称性の起源 (CP 対称性の破れ)、暗黒物質の崩壊と消滅の信号、宇宙背景放射 B モード、を発見し、宇宙進化を解明できる可能性があります。

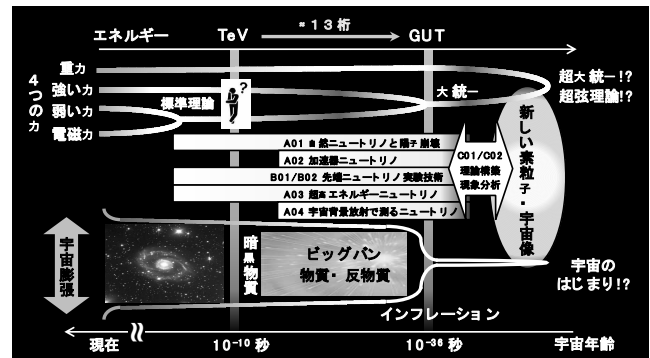


図 2：本領域の研究課題と目指す物理

【キーワード】

ニュートリノ：素粒子の一種で、電荷を持たない電子の仲間である。三つのタイプが存在する。物質との反応が極端に弱く、幽霊粒子と呼ばれたりもする。質量を持つことが、スーパーカミオカンデで発見された。三つのタイプ間で存在が入れ替わる現象「ニュートリノ振動」が発見されており、その性質の解明が進んでいる。

【研究期間と研究経費】

平成 30 年度～34 年度
1,129,900 千円

【ホームページ等】

<http://www/he.scphys.kyoto-u.ac.jp/nucosmos/>
t.nakaya@scphys.kyoto-u.ac.jp



Title of Project : Exploration of Particle Physics and Cosmology with Neutrinos

Tsuyoshi NAKAYA
(Kyoto University, Graduate School of Science, Professor)

Research Project Number : 18H05535 Researcher Number : 50314175

【Purpose of the Research Project】

Today, Particle Physics and Cosmology are in a big turning point. The standard model of Particle Physics is well verified in a wide energy range up to TeV with the development of accelerators. Standard Cosmology describes Nucleosynthesis in the evolution of our universe, and firmly establish the existence of dark matter and dark energy. However, Standard Model and Standard Cosmology can not explain the origins of asymmetry between matter and anti-matter in our universe, the origin of inflation, the unified picture between forces and particles consisting of matter. To understand a picture from the beginning of our universe to the present, we must innovate a novel concept of Particle Physics and Cosmology. We challenge to build the new concept of Particle Physics and Cosmology by studying "neutrinos" that are the essential key particle to address these unresolved problems.

【Content of the Research Project】

We proceed with the world's best neutrino experiments: Super-Kamiokande, T2K, and IceCube, and we study neutrino oscillations, explore CP violation, and advance neutrino astronomy. Furthermore, in order to investigate the Grand Unification Theory and the initial state of our universe, we search for proton decay, measure neutrino mass from observation of Cosmic Microwave Background (CMB), and search for the signal of inflation (primitive gravity wave). In addition, we also study the Majorana nature of neutrinos.

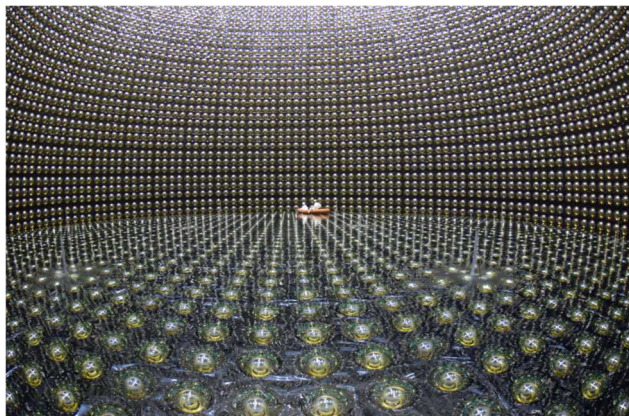


Fig-1 : Super-Kamiokande Detector

In order to realize the next-generation neutrino

experiments, we proceed with the development of basic technologies of Hyper-Kamiokande and IceCube Gen 2 experiments. With neutrinos, our research integrates particle physics, nuclear physics, cosmic rays, and cosmology.

【Expected Research Achievements and Scientific Significance】

【Development of neutrino physics】:

Determination of neutrino oscillations with high precision. Adding absolute neutrino mass and the number of generations, we advance understanding of the origin of neutrino mass and mixing.

【Evolution of neutrino astronomy】: We study Cosmic Neutrino Background, and observe neutrinos from sun, supernovae, galactic extraterrestrial objects, and AGN.

【Great Unified Theory (GUT)】: We search for the proton decay as an evidence of unification. By examining the symmetry between quarks and leptons, the GUT models are constrained.

【Elucidation of the evolution of our universe】: We have a big discovery potential to primitive gravitational waves, the origin of asymmetry between a particle and an anti-particle, dark matters, the B mode polarization of CMB.

【Key Words】

Neutrino: Neutrinos are elementary particles, similar to electrons but with no electric charge. There are three types of neutrinos. Non-zero neutrino mass was discovered by Super-Kamiokande. Neutrinos change their types through a phenomenon called "neutrino oscillation". Study of neutrino oscillations has advanced understanding nature of neutrinos.

【Term of Project】 FY2018-2022

【Budget Allocation】 1,129,900 Thousand Yen

【Homepage Address and Other Contact Information】

[http:// www-he.scphys.kyoto-u.ac.jp/nucosmos/](http://www-he.scphys.kyoto-u.ac.jp/nucosmos/)
t.nakaya@scphys.kyoto-u.ac.jp