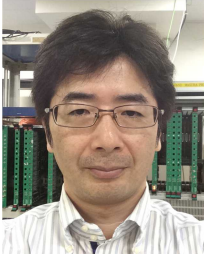


## 【新学術領域研究（研究領域提案型）】

### 理工系



#### 研究領域名 宇宙の歴史をひもとく地下素粒子原子核研究

東北大学・ニュートリノ科学研究センター・教授

井上 邦雄

研究課題番号：26104001 研究者番号：10242166

#### 【本領域の目的】

宇宙の始まりから現在までの歴史には多くの謎が存在し未だ系統的な理解には至っていない。宇宙の始めには物質の元となる素粒子が作られ軽い元素が合成された。重力がそれらを引きつけ宇宙には大小様々な構造が形成される。超新星爆発を起こした恒星は多様な元素をばらまき、それらを原料に資源に富んだ地球が形成された。そして、太陽活動に影響されながら人類が誕生する環境が実現した。この経過には、宇宙・素粒子の大問題といわれる現在の標準理論が説明できない謎が含まれ、また未解明の事柄も多い。

なぜ物質の元となる素粒子と反物質の元となる反粒子は同数でなかったのか？宇宙の構造形成に必要な標準理論には含まれない暗黒物質とは何か？超新星爆発の歴史とその詳細機構は？太陽活動や地球活動のエネルギー源は？物質粒子の中で宇宙に桁違いに多く存在するニュートリノはなぜ極端に軽いのか？

本領域は、これらの謎を地下の極低放射能環境で究明し、系統的な理論で結びつけることで統一的な素粒子モデル・宇宙像の構築を目指す。

#### 【本領域の内容】

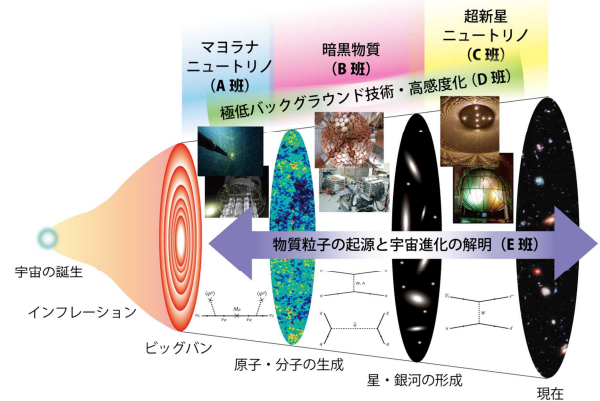
(a)物質・反物質の非対称性やニュートリノの極端な軽さは、物質粒子中でニュートリノのみが持ちうるマヨラナ性が鍵となる。マヨラナ性検証の唯一現実的手法が、ニュートリノレス二重β崩壊探索である。継続的な感度向上とともに革新的技術を開発する。

(b)宇宙構成要素の約4分の1を占める暗黒物質を直接的に探索し、さらに太陽系の移動に伴う暗黒物質の風を捉えるための技術開発を行う。

(c)星形成の歴史を写す過去の超新星ニュートリノの世界初観測を実現する。また、近傍の超新星爆発に対して、前兆ニュートリノを捉える体制を構築し、爆発機構・星進化の解明につなげる。並行して、太陽や地球などの天体活動をニュートリノ観測で究明する。

(d)それぞれの観測は低バックグラウンド実現のための極低放射能技術を共通課題としており、より高度な極低放射能素材や材料表面の構築・測定技術を実現し、各探索にフィードバックすることで探索感度を飛躍的に高める。

(e)マヨラナ性や暗黒物質を統一的に扱う理論モデルを構築し、宇宙の歴史を記述する新しいパラダイムを開拓するとともに、各実験の進展による波及効果を相乗的に高める。



宇宙の歴史と領域研究の関係

#### 【期待される成果と意義】

ニュートリノレス二重β崩壊の世界最高感度かつ多様な原子核での探索や暗黒物質の幅広い反応様式での高感度探索を行い、同時に革新的技術や方向感度をもつ検出器を開発することで、長期的に世界をリードし、宇宙・素粒子の大問題の解明に先陣を切る。また超新星を中心とした天体ニュートリノ観測連携体制は世界最大規模であり、星形成の歴史や天体活動の解明に対する大きな貢献や、前兆ニュートリノ観測による重力波観測などへの波及効果が期待できる。宇宙史各時代の重要課題を串刺しする本領域は、宇宙の歴史を系統的にひもとく上で最も効果的といえる。特にそれぞれの観測が蓄積してきたノウハウを結集する連携は、重複を廃した効率的な極低放射能技術の高度化を実現する。この技術は、宇宙・天文・素粒子・原子核研究での希な現象研究の基盤であり、高精度高感度を必要とする広い分野への波及効果も期待できる。長期的かつ広い視野で世界をリードし続ける研究体制は、将来の強いリーダーを育て、科学技術立国日本に必要な人材育成にも貢献する。

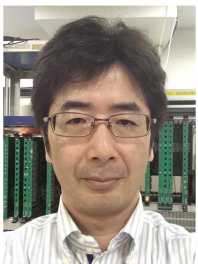
#### 【キーワード】

マヨラナ性：電荷が反転する粒子・反粒子は区別可能だが、電荷0のニュートリノは粒子・反粒子が同一でもよく、それをマヨラナ性という。  
暗黒物質：重力による宇宙構造形成で中心的役割を果たした素粒子標準理論にない未知粒子。

#### 【研究期間と研究経費】

平成26年度～30年度

1,122,800千円



**Title of Project : Revealing the history of the universe with  
underground particle and nuclear research**

**Kunio Inoue**  
(Tohoku University, Research Center for Neutrino Science,  
Professor)

Research Project Number : 26104001 Researcher Number : 10242166

**【Purpose of the Research Project】**

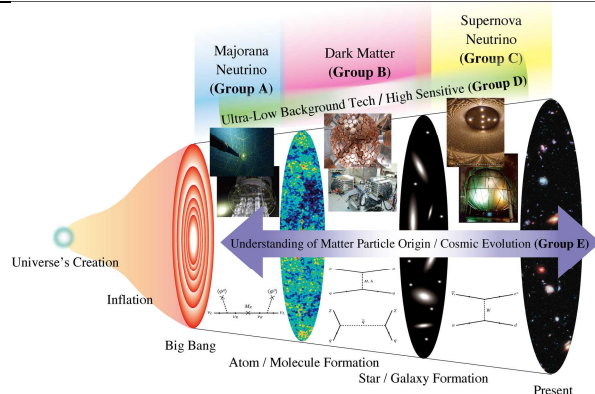
There are yet unsolved problems in the history of the universe. Initially created elementary particles formed light elements in the first three minutes. Gravity gathered them and produced large and small structures in the universe. Supernova synthesized and spread variety of elements and the Earth with rich resources was formed from them. Habitable environment was finally realized with the aid of the sun. This history contains so-called Big mysteries of particle physics and cosmology beyond the present standard theory.

Why weren't the same amount of particles and anti-particles created? What is dark matter essential for the structure formation but not in the standard theory? What is the supernova history and their explosion mechanism? What energy drives the sun and the Earth? Why are neutrinos so light?

This project challenges these questions in the ultra-low radioactivity environment, and aims at forming the unified particle theory and cosmological understanding.

**【Content of the Research Project】**

- (a) The only feasible way to investigate the Majorana nature of neutrinos is a search for neutrino-less double- $\beta$  decay and continuous improvement of its sensitivity and development of innovative technologies are both planned.
- (b) Direct search and detector development for dark matter including its directionality are planned.
- (c) The first detection of relic supernova and pre-burst neutrinos from nearby supernova are aimed at. In parallel, solar and geological neutrinos are observed.
- (d) Commonly important ultra-low background techniques are gathered and improved to be fed back to each observation.
- (e) New paradigm of the unified theory seamlessly involving the Majorana nature and dark matter and describing the history of the universe is studied.



History of the universe and our challenges

**【Expected Research Achievements and Scientific Significance】**

The world leading searches for neutrino-less double- $\beta$  decay and dark matter, and also development of innovative techniques are done simultaneously to sustain the cutting edge sensitivities longer term thus to expect the first discoveries. Astro-neutrino observation with the largest detectors will influence related fields like gravitational wave observations. This project connects important epochs and subjects in the history of the universe and is effective to establish its systematic understanding. The project gathers various knowhow and develops them, avoiding duplications. These technologies will be applied to various rare phenomena and high precision experiments in diverse fields.

**【Key Words】**

Majorana nature : Charge 0 neutrinos may not distinguish particles and anti-particles. It is a unique feature of neutrinos.

Dark matter : Unknown particle that played important role in the gravitational structure formation of the universe.

**【Term of Project】** FY2014-2018

**【Budget Allocation】** 1,122,800 Thousand Yen