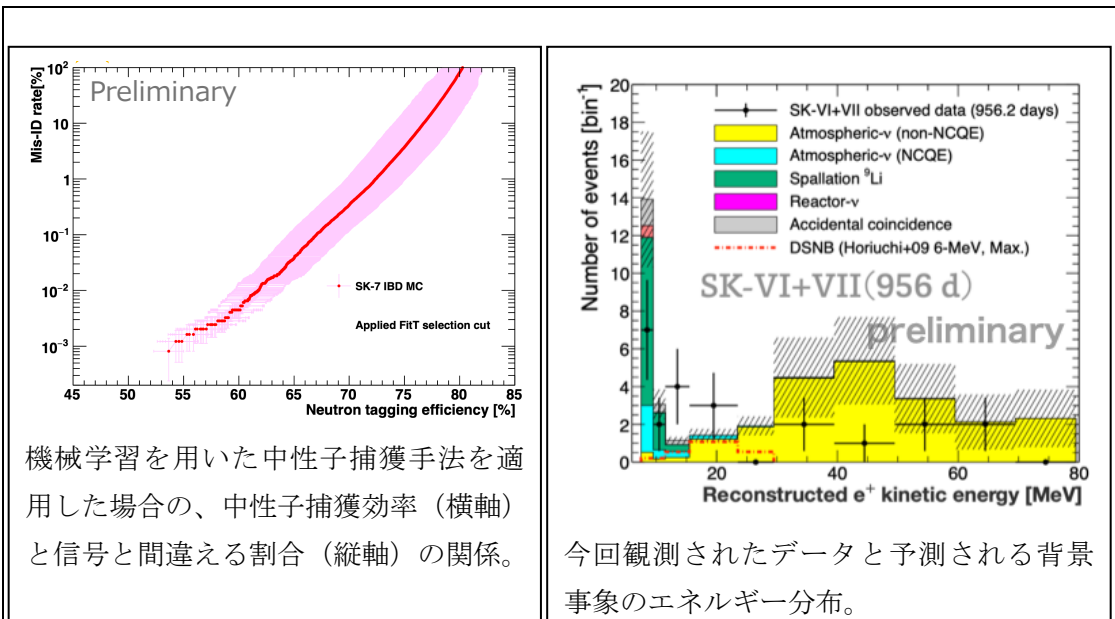


令和 6 年度（2024） 共同利用研究・研究成果報告書

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 研究課題名 和文：超新星背景ニュートリノの研究<br>英文：Study of Supernova Relic Neutrinos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |
| 研究代表者 岡山大学環境生命自然科学学域 小汐由介<br>参加研究者 岡山大学・日野陽太、原田将之、中西史美、多田智昭、濱口紘希、東大宇宙線研・中畑雅行、関谷洋之、竹田敦、池田一得、矢野孝臣、東大理学部・中島康博、宮城教育大学・福田善之、神戸大学・竹内康雄、鈴木州、東京大学数物連携宇宙研究機構・Mark Vagins、横浜国立大学・南野彰宏、Lluís Martí Magro、Univ. Autònoma de Madrid・Luis Labarga、Nataly Ospina、Univ. California Irvine・Hank Sobel、Michael Smy、Jeff Griskovich、Volodymyr Takhistov、清華大学・Shaomin Chen、Benda Xu、Bin Zhang、Yiyung Wu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |
| <p>研究成果概要</p> <p><b>研究目的：</b>太陽の 8 倍以上の質量を持つ恒星はその一生の最後に超新星爆発を起こす。その際、爆発の 99% 以上のエネルギーはニュートリノによって宇宙空間にばらまかれる。1987 年 2 月に人類史上初めてそのニュートリノが検出された。宇宙に最初の星ができて以来、超新星爆発は約 1 秒に 1 回の頻度で絶えず起きており、その都度ニュートリノや重元素物質が宇宙にまき散らされている。このことは現在の宇宙には超新星背景ニュートリノ（Supernova Relic Neutrinos, SRN）が大量に存在することを示唆している。一方、ニュートリノは超新星の芯から外に直接出ることができる唯一の素粒子であるので、超新星爆発のメカニズムや中性子星・ブラックホール形成過程を「見る」唯一の手段であると期待されている。本研究は超新星ニュートリノの観測を目的とする。</p> <p><b>研究方法：</b>この研究を SK に硫酸ガドリニウムを溶かした SK-Gd 実験で行う。同時に、200 トンタンクを使った検出器 (EGADS) での検証実験を継続する。ガドリニウムは反電子ニュートリノと水中の陽子との反応により発生する中性子の検出感度が高く、ガドリニウムの SK への導入により SRN 信号と雑音事象との識別能力が飛躍的に高まる。本研究では、SK-Gd 実験で世界初の SRN の観測を目指す。</p> <p><b>2024 年度の研究成果：</b>2020 年夏に硫酸ガドリニウムを 13 トン（ガドリニウムの質量濃度で 0.01% に相当）SK に導入し、SK-Gd 実験が始まった。さらに 2022 年の夏には硫酸ガドリニウム 26 トンを追加で SK に導入した（ガドリニウムの質量濃度でトータル 0.03%）。このフェーズ 956 日分のデータを用いた超新星背景ニュートリノの探索を行った。その際、中性子捕獲手法に機械学習 (NeuralNet) を導入し、たまたま信号に間違える割合を十分低く抑える条件に設定し (0.018%)、中性子捕獲効率は 63.3% のデータ解析を行なった。その結果、世界初の発見には至らなかったが、背景事象に対し 2 シグマ程度の超過が見られた。(次ページ図) 以上の成果は、ニュートリノ国際会議で報告し大きなインパクト与え、雑誌 Nature などでも取り上げられた。また、国内外での研究会や、日本物理学会などでも報告された。</p> |  |
| 整理番号 A08                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |



#### 発表論文（2024 年度）

- [1] Super-Kamiokande collaboration (K.Abe et. al)., Second gadolinium loading to Super-Kamiokande, NIM A 1065, 169480 (2024)
- [2] Y. Hino et al., Modification on Thermal Motion in Geant4 for Neutron Capture Simulation in Gadolinium Loaded Water, TPEP 2025 013C01 (2024)
- [3] F.Nakanishi et al., Supernova Burst and Diffuse Supernova Neutrino Background simulator for Water Cherenkov Detectors, The Astrophysical Journal, 965, 91 (2024)

#### 国際会議発表（2024 年度）

- (1) Neutrino 2024, Milano, Italy, June 20, 2024, M. Harada, Review of Diffuse SN Neutrino Background. 他 8 件
- (2) International school of subnuclear physics, Sicily, Italy, June 14 – 23, 2024, M.Nakahata, Highlights from Super-Kamiokande and Hyper-Kamiokande.

#### 国内会議発表（2024 年度）

- (3) 原田将之、SK-Gd 実験での超新星背景ニュートリノ探索、第 11 回超新星ニュートリノ研究会、東京大学、2025 年 3 月 3-4 日
- (4) 日本物理学会・年次大会・2025 年 3 月・オンライン・一般講演 7 件  
関谷洋之、超新星背景ニュートリノの観測 Super-K/Hyper-K（招待講演）  
原田将之、スーパーカミオカンデによる超新星背景ニュートリノの探索（招待講演）
- (5) 日本物理学会・秋季大会・2024 年 9 月・北海道大学・一般講演 7 件