

## 令和 4 年度 (2022) 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 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
参加研究者	岡山大学・日野陽太、原田将之、酒井聖矢、中西史美、多田智昭、田野智大、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、Alexander Goldsack、横浜国立大学・南野彰宏、Lluís Martí Magro、Univ. Autònoma Madrid・Luis Labarga、Nataly Ospina、Univ. California Irvine・Hank Sobel、Michael Smy、Shunichi Mine、Jeff Griskovich、Volodymyr Takhistov、清華大学・Shaomin Chen、Benda Xu
研究成果概要	<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爆発背景ニュートリノ (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、将来に向けた 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>2022 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。中性子捕獲効率について、期待通りの性能を示し、検出機も安定して運用できていることから、2022 年の夏に硫酸ガドリニウム 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%)。最初導入の 2 倍のスピードで導入され、約 1 ヶ月で完了した。中性子とガンマ線を同時に放出する AmBe 線源を用いた検出器校正を行ったところ、ガドリニウムに捕獲される場合に予測される中性子捕獲時間が確認され (図 1)、その値も時期によらず安定している。現在、中性子捕獲効率の詳細解析を鋭意進めており、2023 年度中には論文で報告できる予定である。また硫酸ガドリニウム導入による SK の水の透過率の低下の影響は一時的なものにとどまり (図 2) 現在は順調にデータを取得している。</p> <p>さらに追加導入前のフェーズ約 2 年分のデータを用いた超新星背景ニュートリノ探索も行っており、SK-Gd での初めての探索結果を 2023 年度中には論文で報告できる予定である。以上の成果は、国内外での研究会や、日本物理学会のシンポジウム講演などで報告された。</p>
整理番号	A08

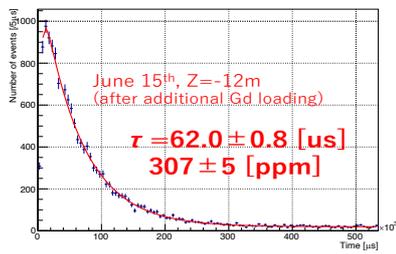


図 1: AmBe 線源による中性子捕獲時間の時間。導入した硫酸ガドリニウム量と誤差の範囲で一致している。



図 2: 水の透過率 (タンクを突き抜けるミュオンの光量を用いた光の減衰長) の時間変動。'Second loading'が、2022 年夏に行った追加導入時期を示す。導入時には一時的に低下するが、その後、回復していることが見て取れる。

### 発表論文 (2022 年度)

[1] K.Hosokawa et al, Development of ultra-pure gadolinium sulfate for the Super-Kamiokande gadolinium project, Progress of Theoretical and Experimental Physics, 2023, 013H01 (2023).

### 国際会議発表 (2022 年度)

- (1) Y.Takeuchi, Recent oscillation results and future prospects of Super-Kamiokande, NOW2022, Ostuni, Italy, Sep. 4-11, 2022.
- (2) M.Harada, Evaluation of neutron tagging efficiency for SK-Gd experiment., ICHEP2022, Bologna, Italy, July 6-13, 2022.
- (3) L.Labarga, HP-Ge detectors for controlling the very low levels of Radioactive Contaminations in the Gadolinium salt needed at the Super-Kamiokande Gd experiment., UGAP2022, online, June 13, 2022.
- (4) M.Vagins, SK-Gd., Neutrino2022, online, June 2, 2022.

### 国内会議発表 (2022 年度)

- (5) 細川佳志、SK-Gd 実験における Gd 追加導入と現状、新学術「地下宇宙」第 9 回超新星ニュートリノ研究会、九州大学、2023 年 3 月 2-3 日
- (6) 原田将之、SK-Gd 実験における Gd 質量濃度 0.01% での超新星背景ニュートリノ探索、新学術「地下宇宙」第 9 回超新星ニュートリノ研究会、九州大学、2023 年 3 月 2-3 日
- (7) 酒井聖矢、SK-Gd 実験での超新星背景ニュートリノ探索における大気ニュートリノ背景事象の研究、新学術「地下宇宙」第 9 回超新星ニュートリノ研究会、九州大学、2023 年 3 月 2-3 日
- (8) 池田一得、スーパーカミオカンデアップグレード、日本物理学会・シンポジウム「2022 夏、SK-Gd による超新星ニュートリノ高感度観測開始」、オンライン、2022 年 9 月 10 日
- (9) 日本物理学会・第 77 回年次大会・2023 年 3 月・オンライン・一般講演 9 件
- (10) 日本物理学会・秋季大会・2022 年 9 月・岡山理科大学・一般講演 6 件
- (11) 日本天文学会・秋季年会・2022 年 9 月・新潟大学・一般講演 2 件

整理番号 A08