様式 8

令和 3 年度（2021） 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　岡山大学自然科学学域　小汐由介

参加研究者　岡山大学・伊藤慎太郎、原田将之、酒井聖矢、北川芙西音、中西史美、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, Univ. Autonoma Madrid・Luis Labarga、Lluis Marti Magro、Bryan Zaldivar, Univ・California Irvine・Hank Sobel、Michael Smy, Shunichi Mine, Jeff Griskevich、Volodymyr Takhistov、清華大学・Shaomin Chen、Benda Xu

研究成果概要

研究目的：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。

研究方法：この研究を従来のスーパーカミオカンデ実験(SK)で行うと同時に、200 トンタンクを使った硫酸ガドリニウム入り水チェレンコフ装置を使った実証実験(EGADS 実験)を行い、SK にガドリニウムを溶かす実験計画（SK-Gd 実験）に繋げる。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。

2021 年度の研究成果：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 に導入した。導入は順調に行われ、約 1 ヶ月で完了した。この導入に関する論文が出版された[1]。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、その値も時期によらず安定している（図 1）。現在、中性子捕獲効率の詳細解析を鋭意進めており、2022 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も見られず（図 2）現在も順調にデータを取得している。さらに硫酸ガドリニウム導入前の、SK phase IV（純水）約 8 年分のデータを用いて超新星背景ニュートリノの探索を行い、論文が掲載された[2]。残念ながら有意な信号の発見には至らなかったが、13MeV 以上のエネルギーで最も強い上限値を与えることができた。以上の成果は、日本物理学会のシンポジウム講演により報告された。

整理番号　A09

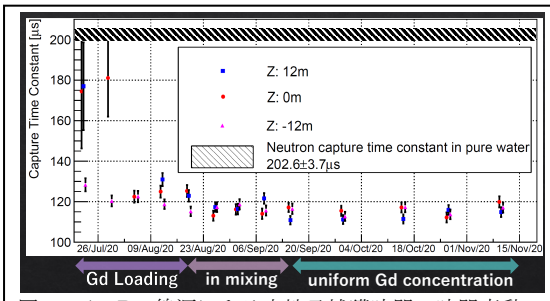

図 1 ：AmBe 線源による中性子捕獲時間の時間変動。2020 年 9 月以降は 115.6±0.6 μsで安定しているが、これはガドリニウム濃度 110.9±1.4ppm に相当し、導入した量と誤差の範囲で一致。

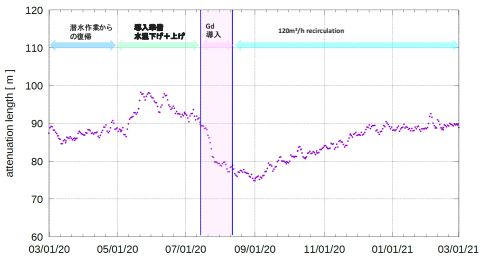

図 2：水の透過率（タンクを突き抜けるミューオンの光量を用いた光の減衰長）の時間変動。ガドリニウムを導入した後も、純水時期と同じレベルとなっている。

発表論文（2021 年度）

[1] K.Abe et al, First Gadolinium Loading to Super-Kamiokande, Nucl. Instr. Meth. A, 1027, 166248 (2022).
[2] K.Abe et al, Diffuse supernova neutrino background search at Super-Kamiokande, Physical Review D 104, 122002 (2021).

国際会議発表（2021 年度）

(1) L.I.Marti, Galactic Supernova Detection with EGADS/HEIMDALL, Synergies at new frontiers, Kashiwa, Japan, Mar.24-25, 2022.
(2) L.N.Machado, Pre-Supernova Alert System for Super-Kamiokande with Gadolinium, SNeGWv2021, online, Dec.1-2, 2021.
(3) Y.Koshio, Supernova neutrino detection in Super-Kamiokande., Int workshop, online, Sep.25, 2021.
(4) A.Goldsack, The New Phase of Super-Kamiokande: SK-Gd., NuFact2021, online, Sep.9, 2021.
(5) M.Ikeda, Status of Super-Kamiokande Gadolinium project., TAUP2021, online, Aug.26, 2021.
(6) L.I.Marti, SK-Gd looks forward., ICRC2021, online, July.20, 2021.

国内会議発表（2021 年度）

(7) 細川佳志、SK-Gd 報告、新学術「地下宇宙」第８回超新星ニュートリノ研究会、早稲田大学、2022 年 1 月 6-7 日
(8) 中島康博、Status and prospects of the Super-Kamiokande and the Hyper-Kamiokande、KEK 素核研招聘セミナー、online、2021 年 11 月 19 日
(9) 関谷洋之、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「新生スーパーカミオカンデがもたらす超新星研究の新展開」、オンライン、2021 年 9 月 17 日
(10) 中島康博、SK-Gd における超新星観測の現状と展望、日本物理学会・シンポジウム「新生スーパーカミオカンデがもたらす超新星研究の新展開」、オンライン、2021 年 9 月 17 日
(11) 小汐由介、超新星背景ニュートリノ精密測定、日本物理学会・シンポジウム「新生スーパーカミオカンデがもたらす超新星研究の新展開」、オンライン、2021 年 9 月 17 日
(12) 日本物理学会・秋季大会・2021 年 9 月 14 日・一般講演２件
(13) 日本物理学会・第 77 回年次大会・2022 年 3 月 15 日・一般講演４件

整理番号	