

2020 (令和二) 年度 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 岡山大学自然科学研究科 (理) 小汐由介

参加研究者 岡山大学・作田誠、伊藤慎太郎、Nishtha Piplani、原田将之、酒井聖矢、馬聞傑、北川芙西音、東大宇宙線研・中畑雅行、関谷洋之、竹田敦、池田一得、中島康博、Lluis Marti Magro、矢野孝臣、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、Charles Simpson, Alexandar Goldsack, Univ. Autonoma Madrid・Luis Labarga、David Bravo, Univ・California Irvine・Hank Sobel、Michael Smy, Shunichi Mine, William Cropp、Jeff Griskevich、Volodymyr Takhistov、Scott Locke、清華大学・Shaomin Chen

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。

2020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)スーパーカミオカンデに導入した。導入は順調に行われ、約1ヶ月で完了した。ガドリニウムを導入することにより、先発信号に加え中性子の遅延信号が確認できた(図1上)。ガドリニウムの導入により、遅延信号がタンク下部から上部に向かって増えていることも確認できた(図1下)。ガンマ線と中性子を同時に放出するAmBe線源を用いた検出器較正を行ったところ、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た(図2)。正式にSK-Gd実験が開始され、現在も順調にデータを取得している。また、EGADS実験の全成果を報告した論文[1]を出版した。さらに、ガドリニウム導入前のSKでの超新星背景ニュートリノの探索を行った。preliminaryな結果を公表し、国内外での様々な研究会で報告した。現在、論文作成中である。

整理番号

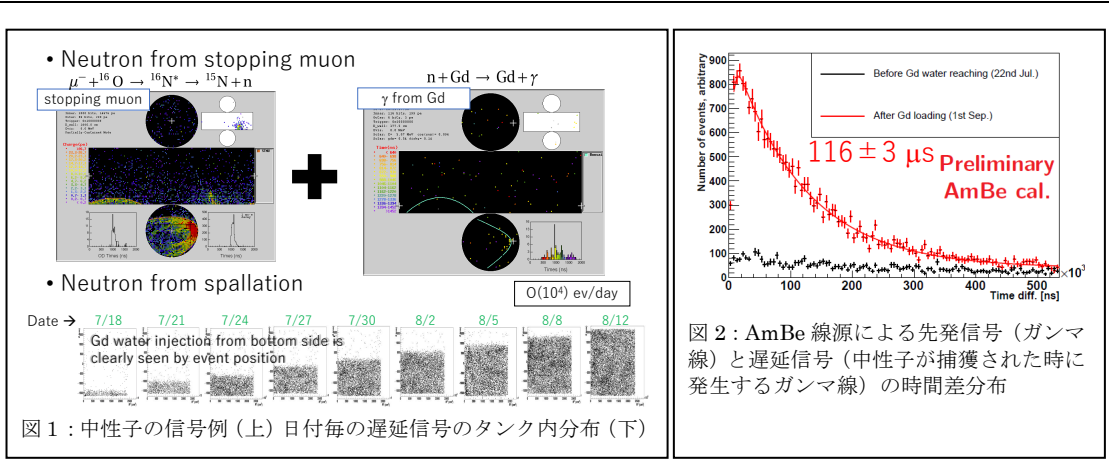


図 1 : 中性子の信号例 (上) 日付毎の遅延信号のタンク内分布 (下)

図 2 : AmBe 線源による先発信号 (ガンマ線) と遅延信号 (中性子が捕獲された時に発生するガンマ線) の時間差分布

発表論文 :

[1] L.Marti et al, Evaluation of gadolinium' s action on water Cherenkov detector systems with EGADS, Nucl. Instr. Meth. A, 959, 163549 (2020).
 [2] S.Ito et al, Improved method for measuring low-concentration radium and its application to the Super-Kamiokande Gadolinium project, PTEP, 093H02 (2020).

国際会議発表 (2020 年度)

(1) M.Vagins, Investigation of Supernova Mechanism via Neutrinos – Experiment, Gravitational Wave Genesis Innovative Area 4th Annual Symposium, Feb.24, 2021.
 (2) M.Smy, Super-Kamiokande, Neutrino telescope, online, Feb.22, 2021.
 (3) M.Vagins, DSNB Detection with a Gadolinium-loaded Super-Kamiokande, SNEUNW20, online, Dec.14, 2020.
 (4) Y.Nakajima, (Super to Hyper)-Kamiokande Gd, Snowmass 2020 NF01 Topical Workshop, online, Oct.20, 2020.
 (5) M.Vagins, Observing Supernova Neutrinos... Within the Next Two Years, Kavli IPMU Astro Day 2020, online, Sep.29, 2020.
 (6) L.Marti, Status of the SK-Gd project, ICHEP 2020, online, July 30, 2020.
 (7) M.Vagins, Supernova Neutrinos Without the Annoying Wait, SURF@DAWN, online, July 16, 2020.
 (8) S.Sakai, Study of the atmospheric neutrino background for Supernova Relic Neutrino search, poster, Neutrino 2020, July 2, 2020.
 (9) Y.Nakajima, Recent results and future prospects from Super-Kamiokande, Neutrino 2020, onilne, June 30, 2020.

国内会議発表 (2020 年度)

(10) 中島康博、ガドリニウムを加えた新生スーパーカミオカンデ、環境放射能研究会、2021年3月10日
 (11) 中畑雅行、スーパーカミオカンデによるニュートリノ研究の新展開、CRC タウンミーティング、2020年9月29日
 (12) 小汐由介、中性カレントニュートリノ検出計画、日本物理学会・シンポジウム「軽中重核の電弱励起・崩壊と宇宙物理」2020年9月17日
 (13) 日本物理学会・秋季大会・2020年9月14-17日・一般講演5件
 (14) 日本物理学会・第76回年次大会・2021年3月12-15日一般講演3件