2019(令和元)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、萩原開人、Nishtha Piplani、原田将之、蓬莱明日、東大宇宙線研・中畑雅行、岸本康宏、関谷洋之、竹田敦、池田一得、中島康博、Lluis Marti Magro、矢野孝臣、大阪大学・久野良孝、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、Pierce Weatherly、Scott Locke, 清華大学・Shaomin Chen、Linyan Wan	

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。

2019 年度の研究成果：2018 年の後半に約半年にわたって行われた SK の大規模な改修後、2019 年 1 月 29 日から純水でのオペレーションを再開した。検出器較正の後、データ取得を開始した。その結果、超新星ニュートリノのエネルギー領域における雑音事象のレートは改修工事前に比べて有意に低減していることを示した。(図１）これは改修工事における水循環システムおよび配管の改善、クリーン化の成果であると考えられる。また 2020 年度のガドリニウム導入に向けた準備も進めている。2019 年 9 月までに 14 トンの硫酸ガドリニウムが納入された。(図２）納入された硫酸ガドリニウム中に含まれる放射性不純物量の測定も行なったところ、基準をクリアしていることを確認した。平行して SK へのガドリニウム導入のための水システムの準備を行なった。(図３）配管、タンク、樹脂、フィルター、紫外線殺菌装置などから構成されるシステムの準備は完了した。さらに改修前の SK での超新星背景ニュートリノの探索も行なっている。解析結果を 2020 年の夏に公表予定である。

整理番号　Ａ09

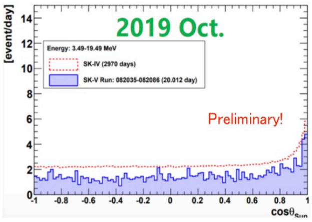

図１：MeV エネルギー領域での太陽方向分布。赤点線が改修工事前、青の塗りつぶしが改修工事後

図２：神岡に納入された硫酸ガドリニウム

図３：ガドリニウム水システムの一部

<u>発表論文</u>：

[1] S.Ito et al, Development of a method for measuring rare earth elements in the environment for future experiments with Gadolinium-loaded detectors, PTEP, 063H03 (2019).
[2] C.Simpson et al. (Super-K Collab.), Sensitivity of Super-Kamiokande with Gadolinium to Low Energy Antineutrinos from Pre-supernova emission, Astrophs. J. 885, 2 (2019).
[3] L.M.Magro et al, SuperK-Gd: The Gd future of Super-Kamiokande, PoS(ICRC2019)957 (2019).

<u>国際会議発表</u>（2019 年度）17 件

(1) H.Sekiya, Status of Super-K(-Gd) and Hyper-K for supernova neutrinos., Theory meeting experiments (TMEX-2020), Qui Nhon, Vietnam, Jan.9, 2020.
(2) M.Vagins, Supernova Neutrinos in a Gadolinium-loaded Super-Kamiokande., NuPhys2019, London, UK, Dec.18, 2019.
(3) L.Marti, SuperK-Gd: benefits and outline., IEEE NPSS, Manchester, UK, Oct.26-Nov.2, 2019.
(4) Y.Koshio, Status of SK-Gd., Multi-dimensional Modeling and Multi-Messenger observation from Core-Collapse Supernovae (4M-COCOS), Fukuoka, Japan, Oct.22, 2019.
(5) L.Marti, EGADS as a real-time galactic supernova detector: HEIMDALL, Multi-dimensional Modeling and Multi-Messenger observation from Core-Collapse Supernovae (4M-COCOS), Fukuoka, Japan, Oct.22, 2019.
(6) G.Pronost, Radon/Radium measurements from Gd-loaded water., TAUP2019, Toyama, Japan, Sep.9-13, 2019.
(7) Y.Nakajima, Status towards SK-Gd., 15th Reneontres du Vietnam, Three Neutrinos and Beyond, Qui Nhon, Vietnam, Aug. 4-10, 2019.
(8) L.Marti, SuperK-Gd: the Gd future of Super-Kamiokande., ICRC2019, Wisconsin, USA, July 24-Aug.1, 2019.
(9) M.Vagins, Supernova Neutrinos Without the Annoying Wait., Institute for Basic Science Seminar, Daejeon, Korea, July 3, 2019.
(10) A.Goldsack, The future of Super-Kamiokande: SK-Gd., PASCOS2019, Manchester, UK, July 2, 2019.

他７件

<u>国内会議発表</u>（2019 年度）日本物理学会など、計 6 件

整理番号　A09