

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：スーパーカミオカンデを用いた宇宙素粒子研究

英文：Astroparticle physics using the Super-Kamiokande detector

研究代表者 東京大学宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設・教授・中畑雅行

参加研究者 以下の大学・研究機関から総勢 229 名 (2022 年 3 月)

KEK、神戸大学、京都大学、岡山大学、東京大学、東京工業大学、名古屋大学、東海大学、宮城教育大学、岐阜大学、横浜国立大学、東京理科大学、福岡工業大学、静岡福祉大学、慶應大学、ボストン大学、カリフォルニア州立大学、デューク大学、ストーニーブルック大学、カリフォルニア大学アーバイン校/デービス校、ハワイ大学、ソウル大学校、全南大学校、光州科学技術院、成均館大学、National Center for Nuclear Research、ワルシャワ大学、BC 工科大学、トライアンプ研究所、トロント大学、ウィネブグ大学、ブリティッシュコロンビア大学、清華大学、マドリード自治大学、インペリアル・カレッジ・ロンドン、キングスカレッジロンドン大学、リバプール大学、オックスフォード大学、シェフィールド大学、ラザフォード・アップルトン・ラボラトリー、ウォーリック大学、INFN パドバ大学、INFN ナポリ大学、INFN ローマ支部、INFN バリ支部、エコールポリテクニク、ベトナム IFIRSE

研究成果概要

本研究では、スーパーカミオカンデ (以下、SK) が観測する大気・太陽ニュートリノデータを用いて精密なニュートリノ振動研究をおこなうとともに、超新星ニュートリノの観測等を通して天体物理学の研究もおこなっている。また、陽子崩壊事象の探索をおこない、未知なる大統一理論の解明を目指す研究もおこなっている。

2020 年 7-8 月に 0.01% の濃度でガドリニウム(Gd)を導入し、その後、タンク水は 120 トン毎時の流速で Gd 水循環・純化装置を通して循環している。図 1 は宇宙線ミュオン粒子を使って測定している水の透過率の時間変化である。Gd 導入期間中は透過率が 75m ぐらいまで低下したが、その後循環・純化により向上し、2021 年 1 月にはほとんど Gd 導入以前と変わらない 90m 近い透過率まで回復した。その後はその良い透過率を保って安定している。データ取得は継続して行われており、99.5%以上の稼働率を達成している。

0.5%弱の死時間のほとんどは装置の較正のために使用された時間である。最近の特質すべき成果としては、「自動超新星警報」を導入したことである。以前からも我々の銀河系や大マゼラン星雲を対象とした超新星爆発モニター (SNWATCH) が走っていたが、候補があった場合でも宇宙線核破砕によるノイズ

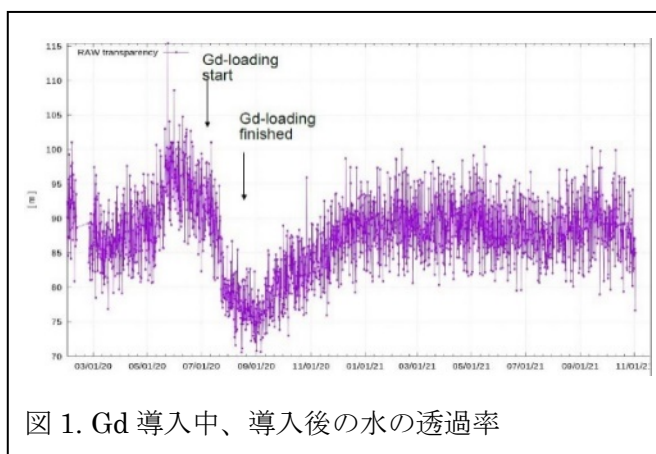


図 1. Gd 導入中、導入後の水の透過率

である可能性もあるため、研究者が集まって判断してから警報を世界へ発信することとしていた。Gd導入によって、反電子ニュートリノ事象は間違いなく同定できるようになったため、もし反電子ニュートリノ事象がある既定数以上あれば、自動的に警報を発するようになった。Gdが導入された後のデータから太陽ニュートリノ、大気ニュートリノ、超新星背景ニュートリノを選び出す解析が進められている。2021年度は主としてデータ解析プログラムの整備、絶対エネルギー較正を進めている。それに並行して、2018年までに取得されたデータを詳しく解析して論文として発表することも行っている。図2は超新星背景ニュートリノの解析結果であるが、各種モデルからの予想値（黄色の星印）、予想される感度（ピンク点線）、フィット結果（誤差棒付き黒）、上限値（黒線）となっており、感度としてはいくつかの理論に迫るところまで来ている。

最近の発表論文

- (1) “Neutron–Antineutron Oscillation Search using a 0.37 Megaton·Year Exposure of Super–Kamiokande”, K. Abe et al. (The Super–Kamiokande Collaboration), Phys. Rev. D 103, 012008 (2021), arXiv: 2012.02607.
- (2) “Search for neutrinos in coincidence with gravitational wave events from the LIGO–Virgo O3a Observing Run with the Super–Kamiokande detector”, K. Abe et al. (The Super–Kamiokande Collaboration), Astrophys. J. 918 78 (2021), arXiv:2104.09196.
- (3) “Search for Tens of MeV Neutrinos associated with Gamma–Ray Bursts in Super–Kamiokande”, A. Orii et al. (The Super–Kamiokande Collaboration), Prog. Theor. Exp. Phys. 2021, 103F01, arXiv:2101.03480.
- (4) “Diffuse supernova neutrino background search at Super–Kamiokande”, K. Abe et al. (The Super–Kamiokande Collaboration), Phys. Rev. D 104, 122002 (2021), arXiv: 2109.11174.
- (5) “First Gadolinium Loading to Super–Kamiokande”, K. Abe et al. (The Super–Kamiokande Collaboration), Accepted in Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A, arXiv:2109.00360.
- (6) “Atmospheric neutrino oscillations with Super–Kamiokande and prospects for SuperK–Gd”, Pablo Fernandez Menendez for the Super–Kamiokande Collaboration, presentation in the International Cosmic Ray Conference (ICRC2021), Highlight plenary talk, July 12–23, 2021.
- (7) “The Diffuse Supernova Neutrino Background in Super–Kamiokande IV”, Sonia El Hedri for the Super–Kamiokande Collaboration, presentation in the International Cosmic Ray Conference (ICRC2021), parallel session talk, July 12–23, 2021.

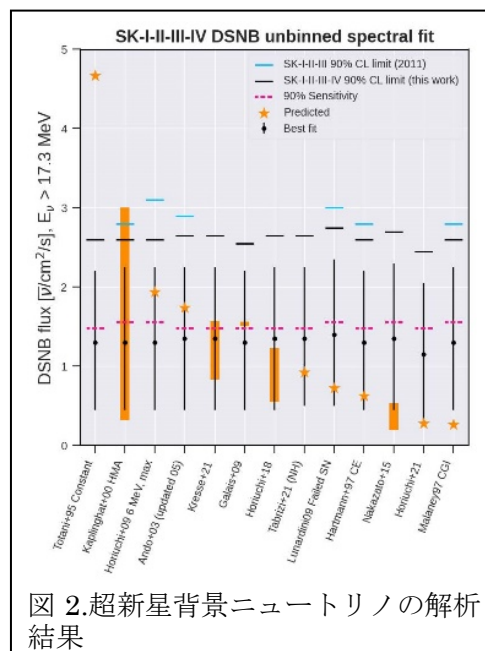


図2.超新星背景ニュートリノの解析結果