

令和 7 年度 (2025) 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：太陽ニュートリノエネルギースペクトルの研究 英文：Study of solar neutrino energy spectrum
研究代表者	中島 康博（東京大学大学院理学系研究科・准教授）
参加研究者	（所属はいずれも申請時のもの） 東京大学大学院理学系研究科：正木結太 東京大学宇宙線研究所：中畑雅行、関谷洋之、池田一得、家城佳、矢野孝臣、原田将之 富山大学学術研究部理学系：中野祐樹 神戸大学理学研究科：竹内康雄 岡山大学大学院自然科学研究科：小汐由介、多田智昭 東京理科大学大学院創域理工学研究科：石塚正基、伊藤博士、若生宮世 慶應義塾大学理工学部物理学科：西村康宏、前川雄音 宮城教育大学教育学部：福田善之 Univ. of California, Irvine, Dept. of Physics and Astronomy: H. W. Sobel, M. B. Smy, J. Griskevich, Y. Alejandro
研究成果概要	本研究は、スーパーカミオカンデ (SK) において、太陽ニュートリノを精密に測定することを目的としている。とりわけ、電子ニュートリノのスペクトラムを精密に測定することで、5MeV 程度以上の物質効果 (MSW 効果) が支配的な状態から、それ以下のエネルギーでの真空中のニュートリノ振動確率への遷移 (up-turn) を精密に測定することで、ニュートリノ振動モデルの精密検証を目指している。この目的のためには、安定したさらなるデータ取得と、エネルギースケールの系統誤差の削減が不可欠である。 SK は、中性子の検出効率の飛躍的な向上を実現するため、2020 年に重量濃度 0.01% に相当するガドリニウムをその水中に溶解し、SK-Gd として新たな観測を開始した[1]。さらに 2022 年には 2020 年度の導入量の約 2 倍のガドリニウムを追加導入し、重量濃度 0.03%での観測をスタートさせた[2]。 これまでに、SK-IV 期間(2008-2018)に取得した 2970 日分のデータを含む、純水期の SK 用いた太陽ニュートリノ観測の最終結果を発表した[3]。KamLAND 実験による原子炉ニュートリノ測定の結果との比較においては、θ_{12}についてはコンシステントな結果が得られている一方で、Δm_{21}^2については約 1.5σ の有意度の差異が観測された。さらに、太陽ニュートリノの生存確率のエネルギー依存性を評価した結果、1.2σ の有意度で 5 MeV 付近の生存確率の遷移(up-turn)を観測した。 SK-Gd 開始後においても、引き続き太陽ニュートリノ観測を継続し、より高い精度でのニュートリノの振動パラメーターの決定を目指している。そのためには、エネルギース

ケールの精密較正が主要な課題となっている。特に 2023 年から 2024 年にかけては、地磁気補償コイルの不具合により一部の光電子増倍管の光検出効率が低下した状態で観測を行った。この期間のデータを解析するため、コイル不具合時の光電子増倍管の検出効率を評価しエネルギー再構成に導入した。ミューオン崩壊電子を用いた解析を開発し時期変動を評価した結果、コイル故障の前後でエネルギースケールの変動は 0.5%程度以下に抑えられていることを確認した(図 1)。核破碎中性子や ^{12}B など、他の宇宙線由来の事象を用いたエネルギースケールの評価も並行して行っている。また、2025 年夏に、約 3 週間にわたり電子 LINAC を用いたエネルギー較正データ取得を行なった。データ取得は問題なく終了し、エネルギースケールの絶対値の評価を進めている。今後、これらの較正結果を用いエネルギーの再構成精度を向上させ、より高精度での太陽ニュートリノスペクトルの測定を実現することを目指す。

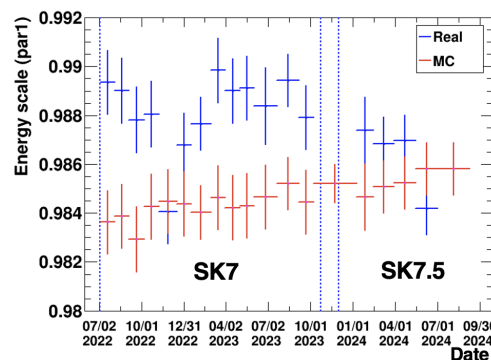


図 1: ミューオン崩壊電子を用いて評価した、エネルギースケールの時間変動。
「SK7.5」がコイル故障期間を示す。(東京大学・正木結太・修士論文(2026))

最近の発表論文

- [1] “First gadolinium loading to Super-Kamiokande”, [Super-Kamiokande], Nucl. Instrum. Meth. A 1027 (2022) 166248.
- [2] “Second gadolinium loading to Super-Kamiokande”, [Super-Kamiokande], Nucl. Instrum. Meth. A 1065 (2024) 169480.
- [3] “Solar neutrino measurements using the full data period of Super-Kamiokande-IV”, [Super-Kamiokande], Phys. Rev. D **109**, no.9, 092001 (2024).

整理番号2025d-A-05