

## 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：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 (東大宇宙線研 神岡宇宙素粒子研究施設・助教) 参加研究者 東京大学宇宙線研究所：中畑雅行、関谷洋之、池田一得、Lluís Marti、矢野孝臣、Guillaume Pronost、伊藤博士、岡本幸平、鈴木洋一郎 神戸大学理学研究科：竹内康雄、中野祐樹 岡山大学大学院自然科学研究科：小汐由介、酒井聖矢 東京理科大学：石塚正基、篠木正隆 宮城教育大学教育学部：福田善之 東海大学理学部物理教室：西嶋恭司 Univ. of California, Irvine, Dept. of Physics and Astronomy: H. W. Sobel, W. R. Kropp, M. B. Smy, Scott Locke, J. Griskevich 東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構：Mark Vagins
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。SK は、1996 年の観測開始当初より純水を用いて観測を行なってきたが、2020 年、ガドリニウムを加え SK-Gd として新たな観測を開始した。これまでに取得した純水フェーズでのデータの解析手法を改善するとともに、SK-Gd においても高感度の観測を継続し、太陽ニュートリノ測定の精度を高める研究を行なっている。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。 スーパーカミオカンデは、2008 年 9 月から 2018 年 5 月にかけて、第 4 フェーズ (SK-IV) としてデータ取得を行ってきた。この間 SK で用いられている光電子増倍管のゲインが 10% から 15% 程度増加し、このことによるエネルギースケールの変化が問題となっていたが、これを補正したエネルギー再構成手法を開発した。加えて、水の透過率や光電子増倍管の応答のより正確な補正により、エネルギーの位置依存性を 1.7% 程度から 0.5% 程度まで削減することに成功した。この新たな手法を用いた SK-IV の 2970 日分のデータを含めた解析を行い、結果を Neutrino 2020 国際会議で発表した [1]。得られたニュートリノスペクトラムの測定結果、及びニュートリノ振動パラメーターへの制限を図 1 及び図 2 に示す。今後、これらの結果を SK-IV の最終結果としてまとめ、論文として発表する予定である。今後 SK-Gd でも観測を継続し、さらなる高統計・高精度で

の太陽ニュートリノスペクトラムの測定を目指す。

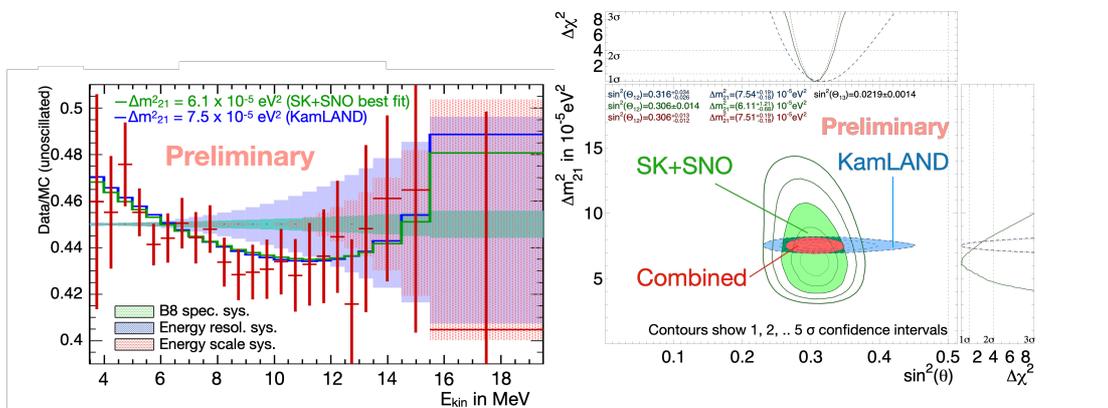


図 1: スーパーカミオカンデで測定された、太陽ニュートリノ反応による散乱電子のエネルギースペクトルとその振動無し予想との比。実線はニュートリノ振動による予想、網掛け領域は系統誤差の大きさを示す。

図 2:  $\sin^2(\theta_{12})$  と  $\Delta m^2_{21}$  の測定結果。SK 及び SNO による太陽ニュートリノ観測からの制限 (緑)、KamLAND による原子炉ニュートリノ観測からの制限 (青)、及びその合成 (赤) を示す。

2020 年、我々は企業との共同開発を経て製造に成功した約 13 トンの超高純度硫酸ガドリニウム・八水和物を成功裏にスーパーカミオカンデに溶解した。現在は SK-Gd として安定した観測を行っており、ガドリニウム導入後の背景事象の定量的な評価を進めている。2022 年度には、さらにガドリニウムを追加することを計画しており、それに向けた純化手法の更なる改良やガドリニウムのスクリーニングを進めている。

最近の発表論文(国内外での学会における発表を含む)

- [1] “Recent results and future prospects from Super-Kamiokande”, oral presentation in The XXIX International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics (NEUTRINO2020), June 22 – July 2, 2020.
- [2] “Solar and Supernova Neutrinos”, Yasuhiro Nakajima, oral presentation in “The 20th International Workshop on Next generation Nucleon Decay and Neutrino Detectors (NNN19)”, November 7–9, Medellin, Colombia.
- [3] “Solar neutrino measurements with Super-Kamiokande”, Motoyasu Ikeda, oral presentation in “The XXVIII International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics (Neutrino 2018)”, June 4–9, 2017, Heidelberg, Germany.
- [4] “Solar Neutrino Measurements in Super-Kamiokande-IV” The Super-Kamiokande Collaboration, Phys. Rev. D 94, 052010 (2016).

整理番号 A06