

令和 5 年度 (2023) 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：太陽ニュートリノにおける昼夜効果の精密観測 英文：Precise measurement of Day/Night effect for B8 solar neutrinos
研究代表者	宮城教育大学・教授・福田 善之
参加研究者	東京大学 宇宙線研究所・教授・中畑 雅行
研究成果概要	<p>2015年に梶田先生とともにノーベル物理学賞を受賞したA. McDonald教授が率いたSNO実験による太陽ニュートリノ振動の確立は、2001年のスーパーカミオカンデによる結果も大きな寄与を与えていた。その太陽ニュートリノ振動のグローバル解がLMA領域にあることは、その後にカムランド実験による原子炉ニュートリノ観測結果や最新の観測結果から同様にLMA解を支持していることから、ほぼ確定したと思われる。しかし、混合角の値には実験的な誤差があり、真の解を具体的に特定することが急務となってきた。本研究は、太陽ニュートリノを精密に観測し続けているスーパーカミオカンデのデータを解析し、昼夜効果の精密な観測を行うことによりLMA解に対して独立に制限を与えてニュートリノ振動解を特定するとともに、太陽ニュートリノ振動の確実な証拠を得ることを目的としている。</p> <p>2018年5月にSK-IVは終了し、5万トンの水槽タンクを開け、SK-Gdを開始するための準備として故障した光電子増倍管の交換とタンクの補修工事を行い、2019年12月にSK-Gd用の純水装置に交換し純水の供給を始めた。純水供給によるフロー試験等の後、2020年7月にGdの溶解を開始した。これまでにSK-IV全期間のデータを用いてB8太陽ニュートリノ観測の解析結果から、昼夜の太陽ニュートリノの流量差と系統誤差の詳細な評価を行っているが、2023年度の研究計画では、SK-V以降のデータを用いて、Gdを溶解させたことによるスーパーカミオカンデ検出器の観測事象のエネルギー再構成と角度依存性の影響や、バックグラウンド事象の発生場所依存性や方向の特性を理解する計画である。また、ニュートリノ振動のLMA解における昼夜効果は、ニュートリノフラックスを数%レベルの精密さで観測量の違いを要求するため、スーパーカミオカンデ検出器のエネルギー決定精度や系統誤差の評価は極めて重要である。特に、Gd溶解後に観測されている低エネルギー事象の増加について慎重に議論する必要がある。そこで、定期的に行われるLINAC（電子発生装置）によるスーパーカミオカンデ検出器のエネルギー較正や、DT中性子発生器により発生するN16の崩壊電子による場所依存性や方向依存性などの較正を継続的に行い、これらの系統誤差の精密な評価を行った。</p>

令和5年度は、昨年同様にSK-Gd以降のデータについてデータクオリティのチェックを行っていたため、太陽ニュートリノの解析の更新が行われなかったことから、SK-IからSK-IVのまでの約5,804日の全データを用いて、4.5MeV (SK-IIは6.5MeV)から19.5MeVの運動エネルギー領域で、季節変動における太陽ニュートリノの昼夜効果の再評価を行った。太陽ニュートリノの地球内部の通過する領域は季節毎に変化するため、夜間のフラックスに対してMSW効果の季節性が期待できる。まず、通常の太陽ニュートリノの季節変動に対して、SK-IからSK-IVについて解析したところ、系統誤差も評価し、ケプラーの楕円軌道による偏心率が期待値1.67%に対し $1.53 \pm 0.35\%$ の結果を得た。更に、太陽ニュートリノの昼夜フラックスに対する季節変動を見たところ、 $\sin^2 \theta_{13} = 0.20$ および 0.25 を仮定すると、楕円軌道の偏心率は $1.456 \pm 0.35\%$ および $1.476^{+0.34}_{-0.36}\%$ となり、1シグマの誤算の範囲で期待値と一致しており、夜間のフラックスによるMSW効果が顕著に観測された結果は得られていない。

今後、SSK-Gd以降のデータを加えて、SK-IからSK-VIまでの太陽ニュートリノの昼夜効果について、新たな解析手法の導入や系統誤差の再評価を行う計画である。

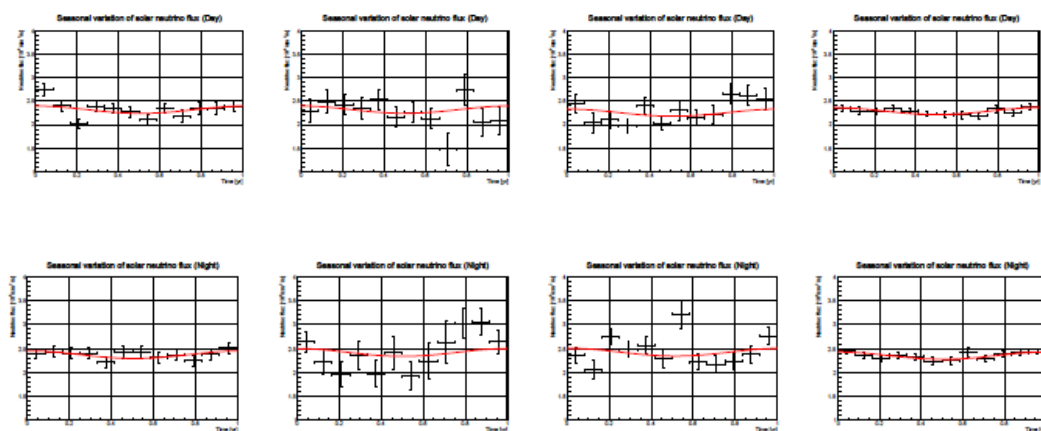


図1 左からSK1,2,4,3の季節変化（上段が昼のフラックス、下段が夜のフラックス）