

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、純水タンクを開け、SK-Gdのために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年にはSK-Gd用の純水装置に付け替えて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。本研究では、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、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角度依存性の影響を正確に行なわなければいけない。また、バックグラウンド事象の発生場所依存性や方向の特性も理解する必要がある。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実施し、系統誤差の精密な評価を行った。</p>

解析では、本年度は2008年10月6日から2018年5月31日までの2970.1日のSK-IVの全データを用いて、3.5MeVから19.5MeVのエネルギー領域で太陽ニュートリノの昼夜効果の解析を行った。昼の時間は1433.9日で夜の時間は1536.2日であった。SLEトリガーでデータ収集しているため、5.0MeV以上のデータでは22.5ktonの有効体積であるが、4.5-5.0MeVでは $Z > -8m$ の16.45kton、3.5-4.5MeVでは検出器上部の8.85ktonの有効体積を使用している。今回、昨年度の解析手法を改善して解析を行った。昼夜効果のAmplitudeでfittingを行った結果、測定した昼夜時間におけるB8ニュートリノの標準太陽模型と観測された流量比による非対称性は3.49-19.49MeVで $A_{DN} = -2.1 \pm 1.1\%$ 、4.49-19.49MeVで $A_{DN} = -2.0 \pm 1.1\%$ を得た。これは、昨年度の解析から得られた非対称性の値と統計的に同じ値であり、夜のニュートリノの流量が約2%多いことを示している。また、新しいspallation cutを施すと、非対称性は3.49-19.49MeVで $A_{DN} = -1.9 \pm 1.2\%$ 、4.49-19.49MeVで $A_{DN} = -1.8 \pm 1.2\%$ を得ている。いずれも統計的有意性は 2σ 以下となっており、昼夜効果の発見には至っていない。今後、SK-Gdにおいて新たな解析手法の高度化や系統誤差を抑えるための解析手法の開発を行う計画である。

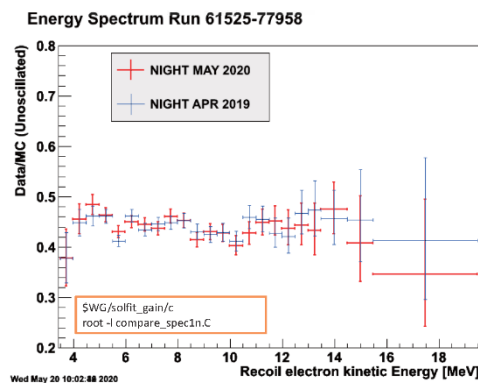
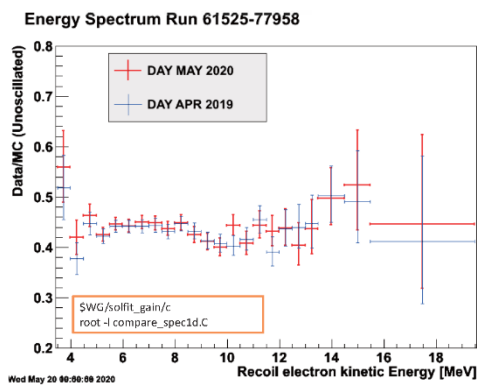


図 1 Gd 導入前後の昼時間のエネルギー分布

図 2 Gd 導入前後の夜時間のエネルギー分布

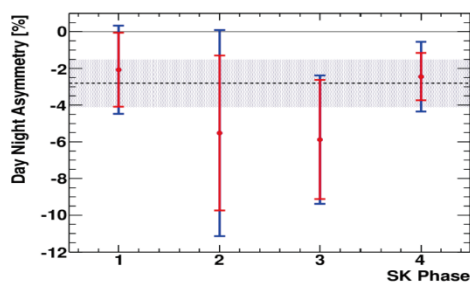


図 3 過去の収集期間における昼夜対称性