

2019(令和元)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、タンクを開けて、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。そこで、2020年度では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う計画である。太陽ニュートリノの反応の時間的な違いを観測するため、スーパーカミオカンデ検出器の系統誤差の角度依存性の評価を正確に行わなければならない。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。更に、現在行っているSK-Gdの準備に合わせて、昼夜効果の測定に対する影響の評価も重要になってくる。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^{16}N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行い、これらの系統誤差の精密な評価を行う計画である。</p>

今年度は、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 $A_{DN} = -2.4 \pm 1.3 \pm 1.4\%$ を得た。これは、昨年度の2859.7日のデータから得られた非対称性の値 $-1.9 \pm 1.3 \pm 1.4\%$ より非対称性が向上しているが、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。しかし、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。また、SK-IからSK-IVを合算した結果でも、非対称性は $A_{DN} = -2.8 \pm 1.0 \pm 0.8\%$ であり、依然として2.2σ程度である。更に、エネルギー分布の違いに対しても、有意に違いは観測されていない（図1参照）。一方、ニュートリノ流量の天頂角分布や、過去のデータ収集期間に分けて昼夜対称性を解析したが、これらも誤差の範囲内で有意な差は見られていない（図2、図3参照）。今後、SK-IVの全期間のデータを用いた解析を行い、統計量を増やし、系統誤差を低減させた解析を行う計画である。

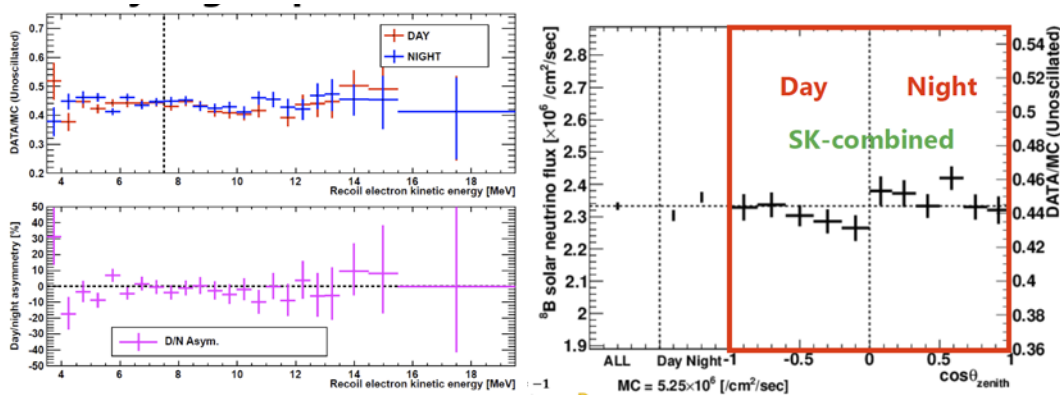


図 1 昼夜時間に分けたエネルギー分布

図 2 ニュートリノ流量の天頂角分布

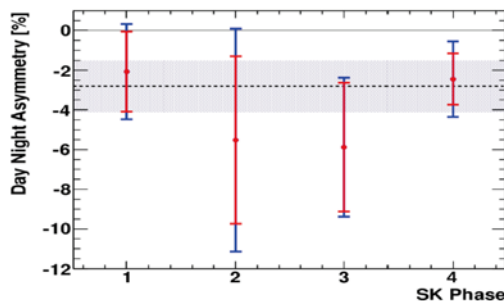


図 3 過去のデータ収集期間における昼夜対称性