

論文の内容の要旨

Search for Neutrinos associated with Solar Flares in Super-Kamiokande (スーパーカミオカンデにおける 太陽フレア由来のニュートリノ探索)

氏名 岡本 幸平

本研究では、スーパーカミオカンデ検出器を用いて、太陽フレアに伴うニュートリノの探索を行った。太陽フレアからのニュートリノは、天体での陽子加速のメカニズムを理解する上で重要である。陽子が磁力線に沿って太陽コアに向かって、ビーム状に加速された陽子は、高密度プラズマ中の原子核により衝突しやすくなる。その結果、ニュートリノの生成率が高まる。もしこのようなビーム状の加速が太陽の裏側で起こると、地球のニュートリノ検出器で大きなニュートリノ束が検出されると期待される。太陽フレア由来のニュートリノ探索は今までに Homestake 実験、SNO 実験、KamLand 実験、IceCube 実験、Borexino 実験などで探索が試みられたが、有意な太陽フレア由来のニュートリノシグナルは観測されていない。スーパーカミオカンデ検出器は太陽フレア由来のニュートリノが持つと考えられるエネルギー帯(10 MeV から 10 GeV)において世界最高感度をもつ検出器である。

検出感度を向上させるために、まず、太陽の表側と裏側のそれぞれで起きた太陽フレアを選択し、ニュートリノの放出時間を推定した。太陽の表側で発生した X5.0 クラス以上の太陽フレア 23 個と、裏側で発生した放出速度が 2000km/s 以上の CME に伴う太陽フレア 10 個を選んだ。表側と裏側で発生した太陽フレアについては、光学的な観測によって得られた光度曲線と CME の観測結果からニュートリノの放出時刻を推定した。本研究で用いた探索時間の平均は、可視側の太陽フレアでは 700 s (GOES による軟 X 線の微分)、1586 s/flare (RHESSI によるラインガンマ線) である。また、可視光側の太陽フレアの研究から、太陽フレア中に発生する加速、エネルギー放出などのすべての過程がこの時間内で完結することから、7238 s/flare (CME 放出時刻の 3060 s 前から CME 放出時刻の 4178 s 後まで) を探索時間窓として設定した。その結果、スーパーカミオカンデにおける太陽フレアの平均バックグラウンドレートは、表側で 0.12 event/flare、裏側で 0.64 event/flare となった。

その後、スーパーカミオカンデ検出器で太陽フレアと同時に発生するニュートリノ事象を探索した。その結果、表側で発生した太陽フレアと同期したニュートリノ事象が2例、裏側で発生した太陽フレアと同期したニュートリノ事象が6例観測されたが、いずれもスーパーカミオカンデ検出器のバックグラウンドレートと矛盾しない結果であった。そのため観測された事象数に基づいて、太陽フレアのニュートリノフルエンスの上限値を求めた。例えば、2003年11月4日に太陽の表側で発生したクラスX28.0の最大の太陽フレアについてフルエンス上限は、 $< 8.5 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}$ となった。また、最大規模の太陽フレアに続いて2003年11月7日に太陽の裏側で発生した太陽フレアのフルエンス上限は $< 1.2 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}$ と得られた。図1は本研究で得られたニュートリノフルエンス上限と理論モデルによるニュートリノフルエンスの予測値の比較を示している。これらからもわかるように、Fargion and Moscato (2003)の予測値は本研究で得られた結果から大きすぎる予測値になっていることがわかる。他の理論モデルはスーパーカミオカンデ検出器では検出感度が達していないために検証ができなかった。Kocharov et. al (1991)に関してはハイパーカミオカンデ実験やJUNO実験、DUNE実験などで検証できると期待される。またこれらのフルエンスの上限から、Fargion and Moscato (2003)の仮定に使用されている太陽フレアの全エネルギーからニュートリノのエネルギーへの効率である変換係数 η の上限値を推定した。2003年11月4日の最大の太陽フレアの場合は、 $\eta < 0.004$ と決定され、Fargion and Moscatoによる仮定値よりも2桁小さい値となった。したがって、この実験結果は、太陽フレア中のエネルギー変換の理論的仮定を再検討する必要があることを示唆している。他の実験によるフルエンス上限と本研究の結果を比較するために、100 MeV以下のモデル固有のフルエンス限界も計算した。図2は得られたフルエンスリミットと他の実験の結果を図示したものである。この結果は、どの理論モデルも否定するものではないが、数十 MeV 領域における太陽フレアニュートリノのフルエンスに最も強い制約を与えるものである。

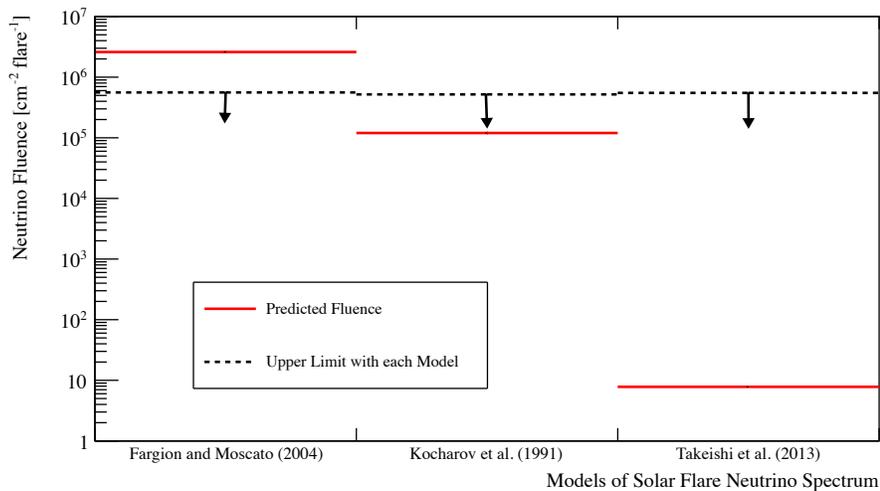


図.1: 本研究で得られた太陽裏側の太陽フレアに対するニュートリノフルエンス上限と理論モデルによるニュートリノフルエンスの予測値の比較。

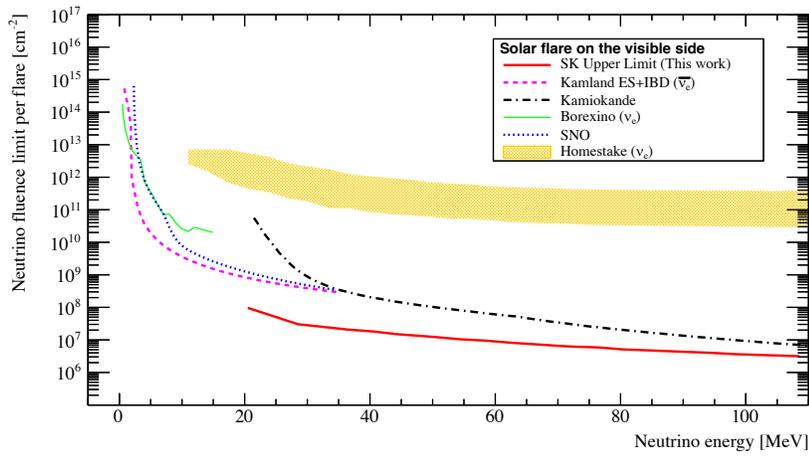


図.2: 太陽フレアニュートリノのフルエンスの上限値。赤い実線は本研究で得られたもの。ピンクの点線は KamLand 実験、黒の一点鎖線は Kamiokande 実験、緑の実線は Borexino 実験、青い破線は SNO 実験でそれぞれ得られたフルエンスの上限値である。オレンジのバンドは Homestake 実験で得られたニュートリノフルエンスの推定値である。(Homestake 実験では、太陽フレア発生時にニュートリノイベントのバックグラウンドに対する超過が見られた。)