

別紙 4

報告番 -	※ 甲 第 号
----------	---------

主 論 文 の 要 旨

論文題目 Observation of cosmic rays by the new solar neutron telescope, SciCRT

(新型太陽中性子望遠鏡(SciCRT)を用いた宇宙線観測)

氏 名 永井 雄也

論 文 内 容 の 要 旨

我々は高エネルギー粒子加速の機構を解明するために太陽中性子望遠鏡を用いて太陽フレアを観測している。太陽の磁場のエネルギーが粒子の運動エネルギーへと変換されていることはわかっているが、加速の現場を直接観測できないので不明なことが多い。特に、運動エネルギーが数十 GeV まで及ぶハドロン成分の高エネルギー領域は、加速の機構と限界を調べるために重要となる。加速された陽子やイオンなどを地球近傍で観測しようとする、太陽表面および惑星間の磁場の影響を受けるため、加速時における情報の多くを失う。そこで太陽表面でイオンと水素またはイオン同士の衝突などによって生成される中性子を観測することで、磁場の影響を受けない情報を得ることができる。我々はこの中性子を観測することに特化した太陽中性子望遠鏡を開発し、赤道に近い高山に設置し、観測を行ってきた。前回の太陽活動周期(23 期)の極大である 2000 年から 2006 年にかけて 7 個の太陽フレアに伴う中性子が地上で観測された。これまでの観測装置では感度が十分でなく、太陽表面での中性子発生時刻を仮定しないとエネルギースペクトルが求められず、粒子加速について十分理解が進んでいない。そこでよりエネルギー分解能に優れた太陽中性子検出器の登場が期待されてきた。

より高い確率で中性子イベントをとらえ、より深く粒子加速の議論をするために現在の太陽中性子望遠鏡よりも高い検出率、エネルギー分解能、粒子弁別性能を持つ望遠鏡の開発を行った。SciCRT と名付けられた新型太陽中性子望遠鏡は、K2K、SciBooNE 実験に用いられたニュートリノ検出器である SciBar を望遠鏡に転用したもので、メキシコの 4,600m 高山シエラネグラに設置することにした。長さ 3m のプラスチックシンチレーターのバー約 15,000 本を井桁状に組んだ粒子トラッカーであり、装置内で中性子によって作られる反跳陽子を検出することで粒子を弁別し観測を行う。15.3m³の体積は標準的な既存の中性子望遠鏡の約 10 倍である。また、これまでの中性子望遠鏡がいくつかのエネルギー閾値ごとの計数を測定しているのに対し、エネルギー損失をデジタル値に変換し直接読むという点が大きく異なる。

る。SciCRT が中性子イベント用に取得するデータは閾値を超えた信号の計数とエネルギー損失の分布である。私はモンテカルロ計算を用いて、最適なトリガー条件を求め、閾値とアンチ信号のロジックを決定した。その条件下で、計数データのバックグラウンド宇宙線に対する信号の有意性を見積もったところ、これまでの太陽中性子望遠鏡の 1.9 倍になることが分かった。エネルギー損失の情報は統計としては少なくなるが、粒子弁別性が高いのでより詳しい解析ができる。現在、読み出し速度を 10 倍にした新読み出し回路を制作中であり、それによりさらなる検出感度の向上が見込まれる。これにより優位性は 3.1 倍までよくなることが見積られた。これまでの太陽中性子観測ではエネルギースペクトルのべきは中性子の地球までの到来時間の差を用いることで求めてきたが、到来時間差情報を用いることなくエネルギーを直接求めることができることを示した。また、各粒子の入射角度とエネルギーごとの検出率を求めた。

SciCRT の観測に先立ち、私は小型試作機を製作し、名古屋とメキシコ・シエラネグラ山頂でキャリブレーションと宇宙線観測を行った。これらの実験によって得られたデータはモンテカルロ計算に反映した。予備観測のために SciBar 検出器をメキシコの標高 2,150m にある国立天文工学電気研究所(INAOE)に輸送し、フレームを制作、装置全体の 5/8 の読み出し回路を組み立て、宇宙線観測を行った。中性子観測の際にはアンチとして用いる最上下の 4 層のバーの同時計数を調べ、 $409.3(\pm 0.1)\text{Hz}$ となり、モンテカルロ計算の結果($383.7(\pm 3.6)\text{Hz}$)と近い値になった。またこれらのうち最下層の 2 層でバー 10 本以上に信号があったものをシャワーイベントとして選び出し、軌跡の形状により電磁由来のものとハドロン由来のものを分別した。それぞれの割合は $0.15(\pm 0.02)\%$, $0.16(\pm 0.02)\%$ となった。モンテカルロ計算の結果は $0.16(\pm 0.03)\%$, $0.18(\pm 0.02)\%$ となり、よく一致した。これらの予備観測結果とモンテカルロ計算の一致から太陽中性子に対する応答が計算通りに期待できることが示された。その後、装置はシエラネグラ山頂に輸送され、2013 年 9 月より連続測定を開始した。本論文はこれまでの太陽中性子の到来時間からエネルギーを求める方法に加え、装置でエネルギーを直接測ることで中性子生成におけるエネルギースペクトルを知ることができることを初めて示したものである。