

2012年3月5日_X1.1フレアに伴う太陽中性子イベントの解析

村木 綏、増田 智(名大 STE)、古賀清一、松本晴久、奥平 修、五家建夫、(JAXA)
小原隆博(東北大)、柴田祥一 (中部大)、山本常夏 (甲南大)、藤井雅之 (ファムサイエンス)

1. ISS 搭載 SEDA-NEM 測定器について

宇宙ステーションに搭載された太陽中性子観測装置 SEDA-NEM には太陽フレアに伴って作られる大量の浸透度の高い高エネルギー放射線(SEP)をいち早く検出し、宇宙ステーションに滞在する宇宙飛行士に、**太陽放射線**による被爆を予知し、被爆線量を少なくするという設置目的がある。いわゆる宇宙天気予報である。宇宙飛行士にとって幸せなことであるが、第 24 期の太陽活動は低調で危険な大量の太陽放射線は宇宙ステーションにまだ飛来してきていない。今期の太陽フレアの強度は、第 22 太陽活動期の頻度と比べて一桁程度低いと言えるだろう。前々期には X10 を超えるような巨大なフレアが何度も発生した。

宇宙ステーションに搭載された太陽中性子観測装置 SEDA-NEM は、太陽活動に伴って加速された陽子やヘリウムイオンが太陽表面を叩くときに太陽表面で発生する中性子を捕えイオン加速過程を研究する目的も含まれている。太陽フレアは従来から X 線望遠鏡や電波望遠鏡、光学望遠鏡を使って研究されている。また荷電粒子の高エネルギーへの加速過程は、ガンマ線検出器を用いて研究されている。太陽フレアに伴って生成される X 線や電波、紫外線は主として電子のシンクロトロン放射で作られだされる。従って研究対象は**高温プラズマ**の振る舞いを調べることになる。

一方高エネルギーへの**粒子加速過程**の研究は、高エネルギー電子が制動放射で作り出すガンマ線や、加速された陽子が太陽表面のヘリウムの原子核と衝突した際バラバラになった中性子が、太陽表面に弾性衝突を繰り返して減速し、やがて陽子と再結合して重水素を形成するときに生成する 2.223MeV のラインガンマ線の研究を通してなされてきた。他に陽電子が電子と対消滅して生成される 1.02MeV のラインガンマ線や励起された炭素の原子核が放出する 4.44MeV のラインガンマ線も研究に利用された。しかしこれらの情報は、データ量は多いが、放出源は低エネルギー粒子であるため、陽子の 10GeV 以上への加速過程の理解のためには、2.223MeV のラインガンマ線の情報だけでは不十分である。**高エネルギー粒子加速過程**の理解や宇宙飛行士への被爆源である SEP の生成過程を理解するための研究課題は重要で、その目的達成ため SEDA-NEM は宇宙ステーションに設置された。

それでは今までに太陽中性子の観測はなかったのかというと、そうではない。最初の太陽中性子の検出は SMM 衛星に搭載された NaI,CsI 検出器によって 1980 年 6 月 21 日になされた[1][2]。一方高山に設置された中性子モニター(NM64)によって、1982 年 6 月 3 日に太陽からの中性子が受信された。大気を浸透してきた中性子が受信された。大気トップの中性子のエネルギーは数 100MeV を有していたと考えられるので、太陽表面で中性子を生成した陽子は数 GeV まで加速されたと考えられる。なお生成過程については 1980 年 6 月 21 日のイベントはガンマ線が発生した約 1 分間の間に、瞬間的に加速されたと考えて解釈できることがわかった(impulsive production)。しかし 1982 年 6 月 3 日のイベントは impulsive production のみで中性子の生成時刻分布を説明するのは難しく gradual production の成分が含まれていた可能性が指摘された[3]。

このような問題が発生したのは、中性子に質量があるため運動エネルギーにより太陽・地球間の飛行時間が異なるためである。この問題を解決するには、エネルギーが測定できる検出器を用いて個々の中性子のエネルギーを計測する必要がある。SEDA-AP はこの条件を満足する装置として設計された。1991 年 12 月頃から、上記の条件を満足する新種の計測器を宇宙に上げて、太陽からの中性子を検出してはどうかとの機運が学会で高まり、JSUP の活動を通して 1994 年に proposal としてまとめ上げられた。そして宇宙ステーション暴露部の計測装置の公募に応募して、1997 年 4 月に ISS の船外活動部に設置する計測器の一つとして決まった。しかし Challenger の事故の為、その実現は 2009 年 7 月 16 日になった。以来、JAXA 宇宙ステーションオペレーション部の協力を得て、順調にデータの取得が行われている。本講演では得られた一例を示し、この原稿の最後に我々が調べたフレアリストと中性子が受信されたイベントのリストを公表する。

2. SEDA-NEM 観測装置の概要とその運用実績

宇宙環境計測装置 (SEDA) には様々なセンサーが搭載されている。そのうちの 하나가高エネルギー中性子検出装置 NEM である。またボナボール型低エネルギー中性子検出装置(BBD)も設置されている。以降は NEM について述べる。NEM は長さ 96mm、幅 6mm、厚さ 3mm のシンチレータ棒 16 本を一列に並べて一層を形成し、16 層を互いに直角に積み上げてできた装置であり、X 層と Y 層を形成している。(図 1) “シンチレータ箱”の 6 面は板状のプラスチックシンチレータで覆われており、荷電粒子を排除するために使用される。このアンタイ機能は大変有効で、膨大な数の荷電粒子から中性子を選別するための強力な役割を荷っている。

信号はシンチレータ棒の先端に付着された光ファイバーを通してマルチアノード光電子増倍管の先端まで輸送される。この光ファイバーの通過のための穴はアンチカウンターのシンチレータに開けられている。光電子増倍管は 256 チャンネルを有しており、X 層の信号と Y 層の信号を別々に受信している。光電子増倍管は高エネルギー研と浜松フォトニックス社が共同開発した H4140-20 を使用している。現在両光電子増倍管には約 1950V の電圧が印加されており、約 55mA の電流が流れている。打ち上げてから約 5 年が経過したが現在のところ、搭載前に心配されていた管面端での放電は見られない。

信号の取得は 3 つの mode に分けられる。イベントの頻度が 15Hz 以下の時は、512 チャンネル信号を ADC によって 8bit に分解し記録する。しかし中性子の飛来が 64Hz 以上になった時は、アノード信号の取得は止めダイノード出力のみを記録する。（打ち上がったから現在まで、そのような巨大フレアは残念ながらまだ受信されていない。）ダイノードの信号のエネルギー分解能はエネルギーによらず約 $\leq 30\%$ であるが、何層通過したかの情報を使って飛跡長(range)を計測する方法では、高エネルギーになるほどエネルギー分解能がよくなる。35MeV の中性子に対して、エネルギー分解能は約 23% であるが、100MeV の中性子に対しては約 4% の精度で計測できる[4]。入射中性子は“シンチレータ箱”の中で陽子に変換され、飛跡長が計測され、太陽方向からの散乱角 θ を使った関係式 $E_n = E_p / \cos^2 \theta$ より E_n が求められる。また中性子の検出効率はモンテカルロシミュレーションで求められており、エネルギーによらず約 20% である。

各チャンネルの信号とノイズのレベルは地上実験で求められており、また上空に上がった後のデータも使って相互チェックが行われている。これらのデータから光電子増倍管の最適電圧が決められる。光電子増倍管に加える電圧は地上のコントロールルームから変更可能である。トリガー信号は X 層と Y 層の光電子増倍管のダイノード信号の論理和または論理積でなされるが、通常は論理積によってデータを取得している。ダイノードへの信号の deposit energy が 35MeV 以上の時、トリガーされることになる。この energy threshold は陽子が 4 層以上(>12mm)通過して、到来方向が原理上区別できるエネルギーとしてセットされている。検出できる中性子の最大エネルギーは約 120MeV でシンチレータ層の最上段で陽子に変換され、最下層で静止した場合に対応している。陽子のエネルギーがそれ以上高くなると、下段の anti 機能用のシンチレータに陽子が到達するので anti 機能が働き、中性子が荷電粒子と判断され排除される。すなわち中性子の検出エネルギー範囲は $E_n = 35\text{--}120\text{MeV}$ となる。

宇宙ステーションは約 90 分で地球を一周する。そのうち約 1/3 が日陰、約 2/3 が日照である。日陰の時間帯には太陽中性子は受信できない。典型的なトリガー頻度は、赤道上空で 数個/分、北極や南極近傍で ~20 個/分程度である。また

南アメリカ異常(SAA)上空では頻度は極端に上昇する。通過する軌道にもよるが約 1600 個/分になる。従って SAA 上空で太陽フレアが発生したら実験室でのデータ解析は止めることになる。また SAA 上空を通過した時に入射する中性子はエネルギーの高いものが多く含まれている。赤道上空は background 中性子の頻度がすくなく、非常に太陽中性子の観測に良好な測定環境にある。上記の background の flux 3~20 個/分に対して方向選別能力を使用して太陽方向から到来した中性子か、宇宙ステーションの物質と宇宙線の衝突により作られた中性子か判別し、background 中性子を排除している。最適な飛行方向と飛行長は画面上で示されるが、約 10% 弱のイベントは 2 個の陽子が含まれている。そのため最終的な判断は目視で実施する。太陽方向からほぼ 30 度の円錐中に飛跡がある陽子を太陽中性子の信号とする。この方向判別機能を利用するので background が $\sim 1/16$ に減少する。従って宇宙ステーションが極域を通過した時に到来した中性子に対して 1~2 例程度 background 中性子が含まれる可能性は排除できない。

今日の講演ではこれらの作業で得られた太陽中性子の候補のなかから、比較的わかりやすいイベントを紹介する。

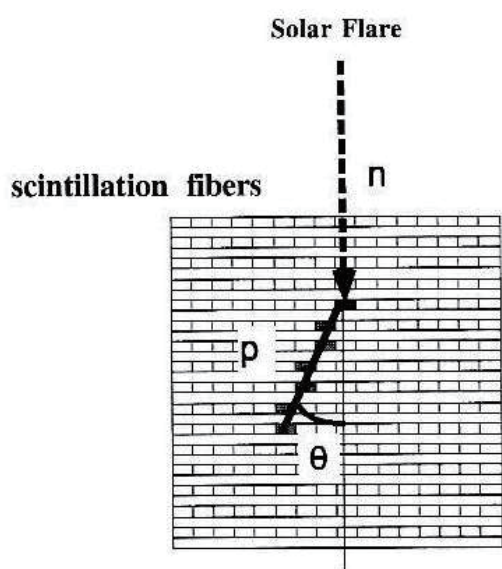


図1 SEDA-FIB 検出器概要

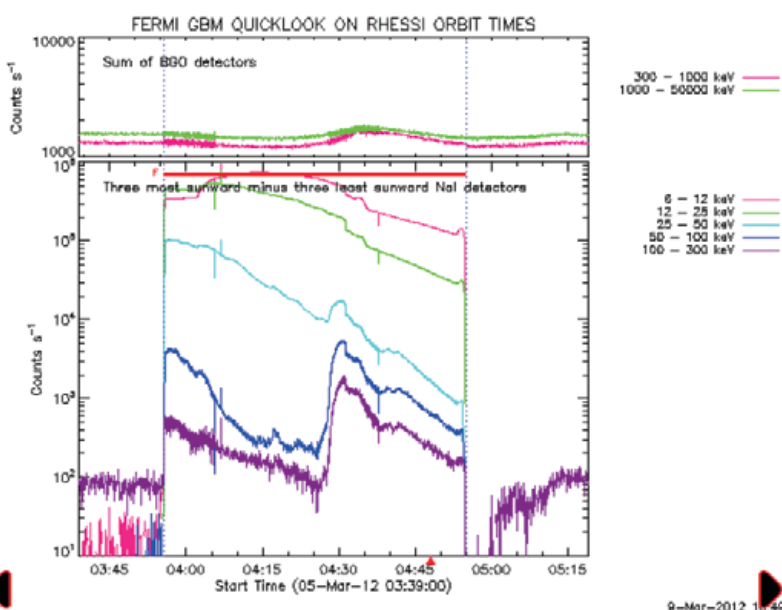


図2 2012.3.5 04UT の hard X 線の時間分布。FERMI-LAT 衛星撮影

3. 2012 年 3 月 5 日と 2012 年 3 月 7 日のフレア

2012 年 3 月 2 日から太陽黒点 NOAA region 1429 が活発な活動を始めた。3 月 5 日には黒点は N17E52 に移動し、04:09UT 頃 X1.1 のフレアが発生した。さらに 3 月 7 日には黒点は N17E27 に移動し、00:24UT には X5.4 のフレアが発生した。そして 3 月 9 日には M6.3 のフレアを、3 月 10 日には M8.4 のフレアをまた 3 月 13 日には M7.9 のフレアが発生した。NOAA 1429 に関して太陽中性子の有無を調べた結果を下記の表に記載する。合わせて FERMI-LAT 衛星が高エネルギーガンマ線を検出しているため、両者の観測結果と対比して示す。

Table I 太陽中性子・ガンマ線検出表

日時	X 線 class	黒点位置	SEDA	Fermi-LAT	hard X-ray peak(UT)
2012.3.2	M3.3	N16E83	weak	---	no data (GOES 17:45)
2012.3.5	X1.1	N17E52	O	O	03:42? 04:31
2012.3.7	X5.4	N17E27	O	O	00:30? 01:15
2012.3.9	M6.3	---	O	O	03:50 04:01
2012.3.10	M8.4	---	X eclipse	$\sim 2\sigma$	17:55
2012.3.13	M7.9	N18W62	O	$\sim 2\sigma$	17:23

3 月 5 日(X1.1), 3 月 7 日 (X5.4), 3 月 9 日(M6.3), 3 月 13 日(M7.9)のフレアに伴って SEDA で中性子が、また FERMI-LAT 衛星では高エネルギーガンマ線が受信された。3 月 13 日のフレアに対しては FERMI-LAT 衛星のデータには bump はあるが、 3σ を越える信号ではない。3 月 13 日には黒点は西側に移動したので、フレアに伴って生成された陽子が観測されているが、3 月 7 日には黒点は E27 に移動したので陽子も観測されている。

3 月 5 日のフレアの面白い点は、GOES 衛星では一山に見えるソフト X 線の時間分布がハード X 線で見ると 2 山になっていることである。(図 2) FERMI-LAT 衛星の最初の hard X 線の山はその立ち上がりは日陰のため検出されていない。そこで野辺山の太陽電波望遠鏡のデータを見てみると、立ち上がり時間は 03:32 頃に立ち上がり、フラックスのピークは 03:50 頃である。そこでこれらの時間情報を使い、SEDA のデータを解析することにする。

4. 2012 年 3 月 5 日のフレアに伴う SEDA のデータ

X1.1 のフレアが発生したときの宇宙ステーションの位置は、03:36-04:17UT までが日陰、03:30-03:46UT と 04:17-05:00UT は日照であった。GOES の発表では start time が 02:30UT, peak time が 04:09UT, soft X-ray flux が 1/2 に減少した時間は 04:43UT となっている。一方 FERMI-LAT 衛星のデータは太陽が衛星の視野に入った 03:55UT にはすでにピークに到達している。100-300keV の hard X-ray はすでに peak になっていた。図 2 のデータは、初めのピークの信号は 04:27UT まで減少し再度 04:31UT に peak に達するという 2 回放射の可能性を示唆している。

我々はこれらのデータと独立に太陽からの中性子放射があるか否かを調べた。図 3 に示すように、中性子も 2 回放射があったと考えられる結果が得られた。図 3 の黒い点は中性子の観測時間を表し、赤い点はエネルギーを求めて飛行時間を考慮し、太陽からいつ出発したかを示したデータである。図 3 の上図はダイノード出力をエネルギーに換算したものを、さらに飛行時間に換算したものであり、下図はレンジを計測してエネルギー→飛行時間に換算したものである。先に述べたように下図の方がエネルギーの決定が正確である。2 回の放射の赤い線は横軸に並行に近く、図 4 に示すように、ハード X 線の強度が最大に達した時刻に太陽から出発したとして説明できることを示している。縦軸は 04:00UT から測定した時刻である。すなわちこれらの中性子は X1.1 の太陽フレアで 2 回作られたと結論できる。図 4 の上図はダイノードのエネルギーを換算した出発時刻分布を表し、下図はレンジ法によって作成した太陽表面出発時刻の分布である。縦軸は 04UT から時刻で単位は分である。エネルギー誤差約 25%を考えれば、ほぼ同時刻に出発したという仮説で説明可能である。すなわち初めの群は 03:52UT に、あとの群は 04:38UT にほぼ同時刻に作られたと考えてよい(impulsive production)。

ここで太陽からの中性子であることを示すもう一つの証拠を示そう。それは到来方向分布である。03:52UT から 04:38UT までの 46 分間に、宇宙ステーションはほぼ地球を半周する。従って初めに太陽を観測した測定器の方向と後で太陽を観測する時間に検出器は反転している。この場合は南緯 50 度付近上空で太陽を見ていた検出器は北緯 50 度から太陽を見ていることになる。そのため太陽方向は両時間でほぼ反対方向になることが理解できる（上下逆転している）。図 5 を見てみよう。確かに中性子の作りだした陽子の方向は反対方向に作られていることがわかる。従ってこれらの中性子は太陽で作られたと考えられる。

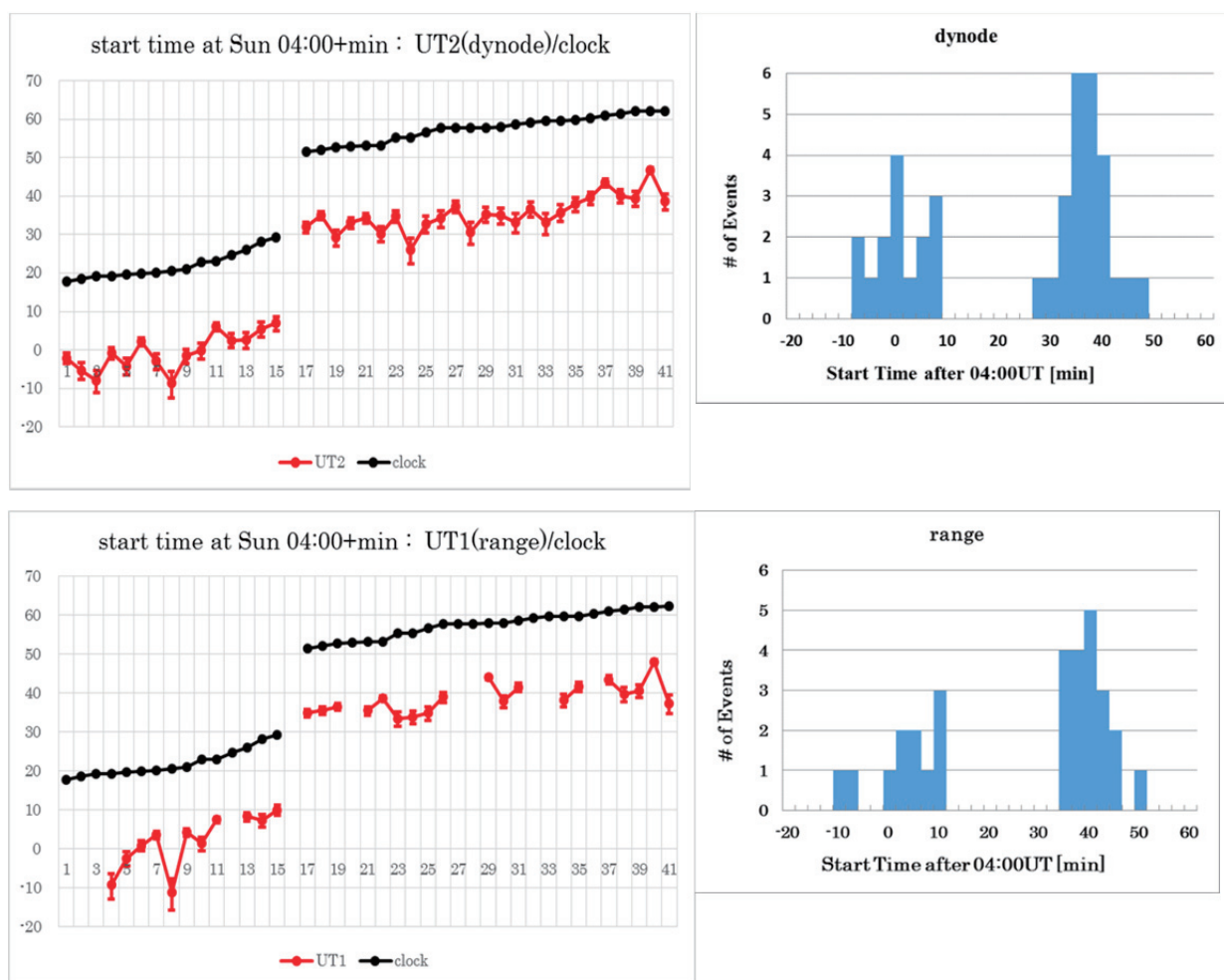
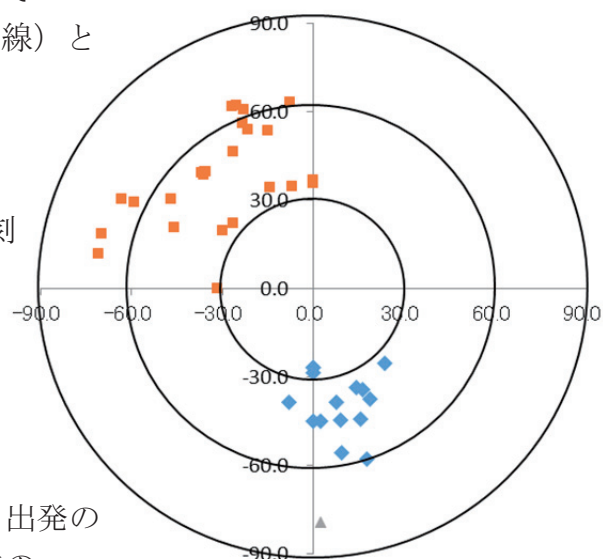


図3、4（上段）ダイノード出力によって求められた太陽表面を出発した時刻（赤線）とその時間分布（右上の青の棒線）。

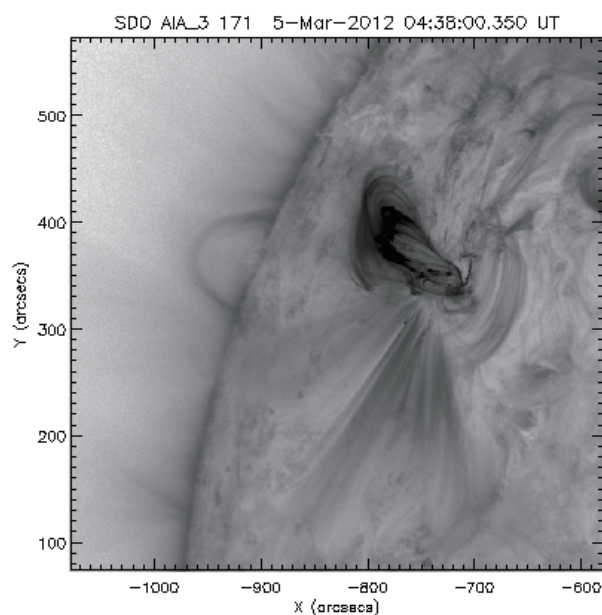
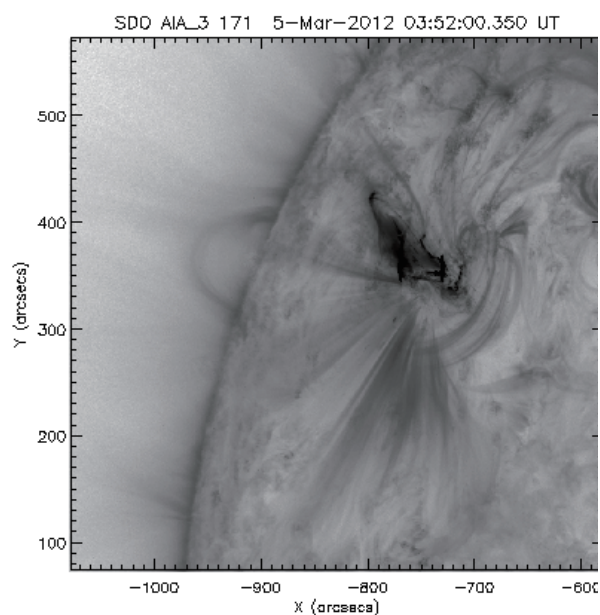
（下段）レンジ法によって求められた太陽表面出発時刻（赤線）とその時間分布（右下の棒線）。黒点は観測時刻を表す。2個のピークの存在がわかる。04:00UTを基準にした時刻で単位は分(minute)である。

図5（右の円）極座標上に投影された太陽中性子の角度分布。青色は03:56UT出発の中性子の方向分布。橙色は04:31UT出発の中性子の方向分布を表す。



5. Solar Dynamical Observatory のデータの解析

それでは 03:52UT と 04:38UT の両時間に太陽表面で何が起こっていたのか？
そこで時刻に太陽表面がどうなっていたのか、Solar Dynamical Observatory の紫外線の連続写真を基に考察をしてみよう。まず解析の結果次のことがわかった。



- (1) 03:33UTCME がスタートしている。実際コロナグラフで 03:36UT にはすでに太陽表面から上昇するコロナが撮像されている。
- (2) 03:42-03:43UT にかけて中央部の南北に走る loop の先端が光り始める。光っている中心の座標は $X=-635\text{arcsec}$, $Y=370\text{arc sec}$ である。
- (3) 野辺山の電波の信号が最大になる 03:56UT 頃にはこの中心部の明るい光のため CCD がハレーションを起こし、詳細に解像できない。
- (4) 04:04UT には中心部の東の loop も明るく光りだす。おそらく高温のプラズマがこの loop に打ち込まれたからであろう。
- (5) 04:38UT の二回目の hard X 線の増光に関して、発光の座標が少し東の方に移動しているように見える。 $X=-615\text{arcsec}$, $Y=400\text{arc sec}$ である。
- (6) ギリシャ文字の Υ のようなフレアが撮像されている。2 個のループの足元近傍で磁気ループが衝突しているように見える。(上の右の写真。04:38UT)

上の左の写真は一回目のフレアの発生場所を示している(03:52UT に撮像)。

以上が SDO の 171nm の写真の概要である。

6. まとめ

今回のデータからは、中性子がどのような粒子の動きで作られたのかまでは観測的に解明できなかった。太陽表面の磁気ループの衝突の際、高い電位差を有する領域が形成されその電場で陽子が加速された可能性や[5]、高温のプラズマ中の陽子が、磁気ループ再結合で作られる高速流のプラズマジェットと衝突を繰り返し、衝撃波加速モデル[6]のように高エネルギーまで加速された可能性が考えられる。

03:00-03:47UT まで“ひので衛星”はこのフレアを Ti-poly 及び Be-thin のチャンネルで多数回観測しており、またフレアが最大に達した 04:20UT には Be-thick, Al-med のチャンネルでも 4 回撮像している。より高温のプラズマ領域が SDO ではハレーションを起こしている領域のどこにあるのかを“ひので衛星”のデータから知ることができるものと思われる。今後の解析に期待したい。

2012 年 3 月 5 日 X1.1 のフレアに伴って、SEDA-NEM 測定器は太陽からの中性子を捉えた。中性子は hard X 線の発生時間分布のように、2 回発生したと考えられる。中性子のエネルギー測定誤差を考慮すれば、中性子はほぼ同時刻に短時間の間に太陽表面で作られたと考えられる。この時 FERMI-LAT 衛星は高エネルギーガンマ線を観測していた。なお SEDA-AP の仕事はつぎの論文で発表されている[7][8][9][10]。

参考文献

- [1] L. Dorman, Solar Neutrons and Related Phenomena, 1-873p, Springer 出版(2010)
に詳細にまとめられている。
- [2] E.L. Chupp et al., ApJ 263 (1982) L95.
- [3] E.L. Chupp et al., ApJ 318 (1987) 913.
- [4] I. Imaida et al., NIM A421 (1999) 99.
- [5] G.D. Holman, ApJ, 293 (1985) 584., S. Tsuneta, ApJ 290 (1985) 353.
- [6] S. Tsuneta and T. Naito, ApJ 495 (1998) L67.
- [7] K. Koga et al., Astrophys. Space Sci. Trans., 7 (2011) 411-416.
- [8] Y. Muraki et al., Advances in Astronomy, (2012) 14 pages,
doi:10.1155/2012/379304.
- [9] K. Koga et al., Proceed. 32nd ICRC in Beijing, 10 (2011) page 169-173.
- [10] Y. Muraki et al., Proceed. 33rd ICRC in Rio de Janeiro, (2013) paper #65, Oral
presentation was given in July 4th, 2013.

以下調べたフレアと中性子の存在の有無を表にする。赤丸は確実なイベント、

緑の weak は 2σ 程度のエクセス、very weak は 1σ 程度、Fermi はガンマ線が FERMI-LAT 衛星で受信されたものに対応している。

フレアリスト

Date	X 線強度	衛星位置	中性子存在	コメント (Fermi γ)
Year 2010 (M>2.0)				
Feb. 6 th 18:59	M2.9	sun side O	neutrons X	
Feb. 7 th 02:34	M6.4	sun side O	neutrons X	near pole
Feb. 8 th 07:43	M4.0	sun side O	neutrons X	
Feb. 8 th 13:47	M2.0	sun side O	neutrons X	near SAA
Feb. 12 th 11:26	M8.3	sun side O	neutrons X	very impulsive
June 12 th 00:57	M2.0			very impulsive
Year 2011 (M>2.0)				
Feb. 13 th 17:38	M6.6	eclipse X	neutrons X	
Feb. 15 th 01:44	X2.2	eclipse X	neutrons X	
Feb. 18 th 10:11	M6.6	sun side O	neutrons X	after SAA no proton
Feb. 24 th 07:35	M3.5	eclipse X	neutrons X	
Mar. 7th 20:12	M3.7	sun side O	neutrons O	02:10 out from eclipse
Fermi				
Mar. 8 th 10:44	M5.3	eclipse X	neutrons X	10:42:50 in eclipse
Mar. 8 th 18:28	M4.4	eclipse X	neutrons X	18:20:49
Mar. 9 th 23:23	X1.5	eclipse X	neutrons X	23:21:26
Jun. 7th 06:25	M2.5	O \rightarrow X	neutrons O	Fermi
Jul. 30 th 02:09	M9.3	sun side O	neutrons X	maybe no (no proton)
Aug. 3 rd 13:48	M6.0	sun side O	neutrons X	14:06:59 just after SAA
Aug. 4 th 03:57	M9.3	sun side O	neutrons X?	03:58:48 maybe Fermi
Aug. 8 th 18:10	M3.5	sun side O	neutrons X	before SAA very weak
Aug. 9 th 03:54	M2.5	sun side O	neutrons X	04:03:31 before SAA weak
Aug. 9 th 08:05	X6.9	sun side O	neutrons X	no proton
Sep. 6 th 01:50	M5.3	sun side O	neutrons X	after 1:55 OK, SAA
Sep. 6 th 22:20	X2.1	sun side	neutrons ?	very weak Fermi
Sep. 7 th 22:38	X1.8	sun side O	neutrons X ?	Fermi.(3.3a)
Sep. 8 th 15:46	M6.7	sun side O	neutrons X	near SAA
Sep. 9 th 06:11	M2.7	O \rightarrow X	neutrons X	

- Sep. 22nd 11:01 X1.4 O → X neutrons ? **very weak**, soon eclipse
- Sep. 24th 09:40 X1.9 X → O neutrons X
- Sep. 24^h 13:20 M7.1 sun side O neutrons X
- Sep. 24th 19:18 M3.0 sun side O neutrons **O** radio, probably yes **No Fermi !?**
- Sep. 24th 20:36 M5.8 sun side O neutrons X
- Sep. 25th 02:33 M4.4 eclipse (X→O) neutrons ? only tail
- Sep. 25th 04:50 M7.4 eclipse (X→O) neutrons ? **weak signal**
- Sep. 25th 15:33 M3.7 sun side O neutrons X small bkg region → SAA
- Sep. 26th 05:08 M4.0 sun side O neutrons X small bkg region after 05:35
- Sep. 26th 14:45 M2.6 sun side O neutrons X
- Oct. 2nd 00:50 M3.9 sun side O neutrons X
- Nov. 2nd 22:01 M4.3 sun side O neutrons X small bkg region
- Nov. 3rd 20:27 X1.9 sun side O neutrons **O** (X → O after 20:38 OK) **No Fermi**
- Nov. 5th 03:35 M3.7 sun side O neutrons X
- Dec. 25th 18:16 M4.0 eclipse X neutrons X impulsive after 18:45 OK
-
- **Year 2012 (M>3.0)**
- Jan. 19th 16:05 M3.2 sun side X→O neutrons X before 16:32 eclipse
- **Jan. 23rd 03:59 M8.7 sun side O→X neutrons **O** before 04:38 OK **Fermi****
- Jan. 27th 18:37 X1.7 sun side O neutrons X after 18:31 OK **Fermi (4.0σ)**
- Mar. 2nd 17:46 M3.3 sun side O neutrons ? **weak signal**
- Mar. 4th 10:45 M2.0 eclipse X neutrons X before 10:49 OK
- Mar. 5th 04:05 X1.1 X → O **neutrons **O**** after 04:17 OK **Fermi(3.7σ)**
- Mar. 7th 00:24 X5.4 O → X **neutrons **O**** 0:28-0:57 eclipse **Fermi**
- Mar. 9th 03:45 M6.3 sun side O neutrons **O** **Fermi (3.6σ)**
- Mar. 10th 17:50 M8.4 eclipse X neutrons X
- **Mar. 13th 17:25 M7.8 sun side O neutrons **O** **No Fermi !?****
- May. 9th 12:32 M4.7 sun side O neutrons X
- May. 9th 21:01 M4.1 sun side O neutrons ? near SAA

•	May. 10 th	04:18	M5.7	sun side O	neutrons X	
•	May. 17 th	01:47	M5.1	sun side O	neutrons X	1 st GLE event Fermi (3.2σ)
•	Jun. 3 rd	17:55	M3.3		not yet analyzed??	Fermi
•	Jun. 14 th	14:35	M1.9		not yet analyzed??	
•	Jul. 2 nd	10:52	M5.6	eclipse X	neutrons X	very impulsive Fermi (3.1σ)
•	Jul. 2 nd	20:07	M5.6	eclipse X	neutrons X	very impulsive
•	Jul. 4 th	09:55	M5.3	sun side O	neutrons X	very impulsive
•	Jul. 4 th	22:05	M4.6	eclipse X	neutrons X	very impulsive
•	Jul. 5 th	11:44	M6.1	sun side O	neutrons X	very impulsive
•	Jul. 5 th	03:36	M4.7	very impulsive	not yet analyzed??	
•	Jul. 6 th	23:08	X1.1	X → O	neutrons X?!	Fermi
•	Jul. 8 th	16:32	M6.9	eclipse X	neutrons X	proton associated
•	Jul. 12 th	16:49	X1.4	sun side O	neutrons X	CME
•	Jul. 17 th	17:15	M1.7	sun side O	neutrons ?	weak signal
					gradual	
•	Jul. 19 th	05:58	M7.7	sun side O	neutrons X	gradual increase
•	Jul. 27 th	17:26	M2.7	X → O	neutrons ?	weak signal
•	Jul. 28 th	20:56	M6.1	eclipse X	neutrons X	over SAA
•	Aug. 18 th	01:02	M5.5	sun side O	neutrons ?	very weak signal
•	Aug. 31 st	20:43	C8.4	eclipse X	eclipse X	proton event
•	Sep. 27 th	23:57	C3.7	X → O	neutrons X	proton event
•	Oct. 20 th	18:14	M9.0	sun side O	neutrons X	
•	Oct. 22 nd	18:51	M5.0	sun side O	neutrons X	proton event
•	Oct. 23 rd	03:17	X1.8	sun side O	neutrons X	impulsive flare
•	Nov. 8 th	02:23	M1.7	sun side O	neutrons X	gradual flare
•	Nov. 13 th	02:04	M6.0	sun side O	neutrons ?	impulsive
•	Nov. 13 th	20:54	M2.8	sun side O	over SAA	impossible
•	Nov. 21 st	15:30	M3.5	sun side O	neutrons ?	impulsive
•						
•	Until March 2013, solar flares with M>3.0 were NOT observed					
•	Also no signal observation by the FERMI-LAT detector.					
•						
•	<u>Year 2013 (M>3.0)</u>					
•	Apr. 11 th	07:16	M6.5	sun side O	neutrons O	Fermi

•	Apr. 12 th	20:38	M3.3	sun side O	neutrons O	weak signal	
•	May. 10 th	00:57	M3.9	sun side O	neutrons O	weak signal	
•	May. 13 th	02:17	X1.7	O → X	neutrons X !?	Fermi	
•	May. 13 th	16:05	X2.8	eclipse X	neutrons X !?	Fermi	
•	May. 14 th	01:11	X3.2	O → X	neutrons X !?	Fermi	
•	May. 15 th	01:48	X1.2	sun side O	neutrons X		
•	May. 17 th	08:57	M3.2	sun side O	neutrons X		
•	May. 22 nd	13:20	M5.0	O → X	neutrons O	weak signal	
•	Jun. 7 th	22:49	M5.9	no observation			
•	Oct. 22 nd	21:20	M4.2	sun side O	neutrons ?	weak signal	
•	Oct. 24 th	00:08	M3.1	eclipse X	neutrons X		
•	Oct. 24 th	00:30	M9.3	sun side O	neutrons ?	weak signal	
•	Oct. 24 th	10:33	M3.5	sun side O	neutrons X		
•	Oct. 25 th	03:02	M2.9	sun side O	neutrons ?	weak signal	
•	Oct. 25 th	08:01	X1.7	sun side O	neutrons X !?	p-event Fermi	
•	Oct. 25 th	15:03	X2.1	X → O	neutrons X	proton event	
•	Oct. 26 th	19:27	M3.1	sun side O	neutrons X		
•	Oct. 27 th	12:48	M3.5	sun side O	neutrons X		
•	Oct. 28 th	02:03	X1.0	sun side O	neutrons X		
•	Oct. 28 th	04:41	M5.1	O → X	neutrons X	proton event	
•	Oct. 28 th	15:15	M4.4	sun side O	neutrons ?	weak signal (3σ) Fermi	
•	Oct. 29 th	21:54	X2.3	sun side O	neutrons X	proton event	
•	Oct. 31 st	13:51	M1.9	sun side O	neutrons X	proton event	
•	Nov. 1 st	19:53	M6.3	sun side O	neutrons ?	weak signal	
•	Nov. 3 rd	05:22	M5.0	sun side O	neutrons X		
•	Nov. 5 th	22:12	X3.3	sun side O	neutrons X		
•	Nov. 7th	00:02	M1.8	sun side O	neutrons O	proton event	
•	Nov. 8 th	04:26	X1.1	X → O	neutrons X		
•	Nov. 10 th	05:14	X1.1	sun side O	neutrons X		
•	Nov. 19 th	10:26	X1.0	sun side O	neutrons X		
•	Dec. 19 th	23:10	M3.5			impulsive	
•	Dec. 22 nd	15:00	M3.3			impulsive	
•	Dec. 28 th	17:50	C9.3			p-event	
•	Dec. 29 th	07:50	M3.1			impulsive	
•	Dec. 31 st	21:45	M6.4			impulsive	
•	Jan. 1 st	18:40	M9.9			impulsive	

- Jan. 4th 19:00 M4.0 p-event (small size) / 22:40 M1.9 the second flare
- Jan. 6th 09:30 C2.6 p-event (3 bumps)
- Jan. 7th 10:00 M7.2 impulsive
- Jan. 7th 18:00 X1.2 p-event (important)
- These events could not be detected due to the lack of the power supply from the space station.

•

• Year 2014 (M>3.0)

- Jan. 27th 22:10 M4.9 sun side O neutrons X
- Jan. 28th 07:31 M3.6 sun side O neutrons X very weak($\sim 1\sigma$)
- Jan. 28th 15:26 M3.5 sun side O neutrons X very weak($\sim 1\sigma$)
- Jan. 28th 19:40 M4.9 X -> O neutrons X 19:51~
- Jan. 30th 16:11 M6.6 eclipse X neutrons X
- Feb. 1st 07:23 M3.0 X -> O neutrons X 07:30~
- Feb. 2nd 09:31 M4.4 eclipse neutrons X 09:50~
- Feb. 2nd 18:11 M3.1 sun side O neutrons X
- Feb. 4th 01:23 M3.8 sun side O neutrons X ~01:33 pair flare
- Feb. 4th 04:00 M5.2 sun side O neutrons X
- Feb. 12th 04:25 M3.7 sun side O neutrons ? weak ($\sim 2\sigma$) pair flare
- Feb. 20th 07:56 M3.0 eclipse neutrons X O->X->O 08:20~ proton event
- Feb. 25th 01:00 X4.9 eclipse neutron X O -> X ->O ~00:47, 01:20~

Fermi

- Mar. 11th 03:50 M3.5 O -> X neutrons X
- Mar. 12th 22:34 M9.3 sun side O neutrons X
- Mar. 29th 17:48 X1.0 O->X->O neutrons X
- Apr. 2nd 14:05 M6.5 sun side O neutrons ? weak signal strong CME
- Apr. 18th 13:03 M7.3 O->X neutrons X proton flare
- Apr. 25th 00:27 X1.3 X -> O neutrons X
- May. 8th 10:07 M5.2 X -> O neutrons X
- May. 27th 22:10 M4.9
- Jun. 10th 11:42 X2.2 S15E80 pair (1)
- Jun. 10th 12:52 X1.5 S17E82 pair (1) strong CME
- Jun. 11th 08:09 M3.0 S18E68 pair (2)
- Jun. 11th 09:06 X1.0 S18E65 pair (2) weak CME

•	Jun. 11 th	21:03	M3.9			
•	Jun. 12 th	09:37	M1.8	S25W53	pair(3)	
•	Jun. 12 th	10:21	M2.7			
•	Jun. 12 th	21:13	M1.0			
•	Jun. 12 th	22:16	M3.1	S20W55	pair(3) strong CME	
•	Jun. 13 th	07:56	M2.6			
•	Due to the heat problem, those flares were not observed by SEDA.(May 8 th -June 20 th)					
•						
•	Jul. 8 th	16:20	M6.5	sun side O	neutron O	very impulsive, SONTEL
•	Aug. 20 th	13:36	M3.4	sun side O	neutron X	
•	Aug. 24 th	12:17	M5.9	eclipse X	neutron X	
•	Aug. 25 th	15:11	M2.0	sun side O	neutrons ?	very weak signal
•	Aug. 25 th	20:21	M3.9	sun side O	neutrons?	weak signal (~2σ)
•	Sep. 3 rd	13:54	M2.5	O→X→O	neutrons O	
•	Sep. 8 th	00:29	M4.5	O→X→O	neutrons X	
•	Sep. 10 th	17:45	X1.6	O→X	neutrons X	
•	Sep. 14 th	02:16	M1.5	X	SAA	
•	Sep. 28 th	02:58	M5.1	sun side O	neutron O	
•	Oct. 2 nd	19:01	M7.3	O→X	SAA	
•	Oct. 14 th	18:37	M1.1	sun side O	neutrons X	
•	Oct. 14 th	21:21	M2.2	O→X→O	neutrons ?	very weak
•	Oct. 16 th	13:03	M4.3	X	neutrons X	
•	Oct. 19 th	05:03	X1.1	sun side O	neutrons X	
•	Oct. 20 th	09:08	M3.9	sun side O	neutrons X	
•	Oct. 20 th	16:32	M4.5	X→O	neutrons X	
•	Oct. 22 nd	01:40	M8.7	O→X	neutrons X	SAA
•	Oct. 22 nd	14:30	X1.6	O→X	neutrons X	
•	Oct. 24 th	21:35	X3.1	sun side O	neutrons O	
•	Oct. 25 th	17:05	X1.0	X→O	neutrons X	
•	Oct. 26 th	10:50	X2.0	sun side O	neutrons X	
•	Oct. 26 th	18:10	M4.2	sun side O	neutrons ?	very weak
•	Oct. 26 th	20:21	M2.4	sun side O	neutrons ?	weak (~2σ)
•	Oct. 27 th	00:20	M7.1	sun side O	neutrons X	
•	Oct. 27 th	10:05	M6.7	sun side O	neutrons ?	weak (~2σ)
•	Oct. 27 th	14:45	X2.0	sun side O	neutrons X	
•	Oct. 28 th	02:42	M3.4	sun side O	neutrons X	

•	Oct. 28 th	03:32	M6.6	O → X	neutrons X	
•	Oct. 30 th	01:35	M3.5	sun side O	neutrons ?	very weak
•	Nov. 3 rd	11:50	M2.2	sun side O	neutrons X	
•	Nov. 3 rd	22:40	M6.5	sun side O	neutrons X	
•	Nov. 4 th	08:38	M2.6	sun side O	neutrons ?	very weak (flare two peaks)
•	Nov. 5 th	09:48	M7.9	sun side O	neutrons X	
•	Nov. 5 th	19:44	M2.9	sun side O	neutrons ?	weak (~2σ)
•	Nov. 6 th	01:38	M3.2	eclipse X → O	neutrons X	after 01:52 OK
•	Nov 6 th	03:45	M5.4	sun side O	neutrons X	
•	Nov. 6 th	22:15	M2.5	sun side O	neutrons ?	very weak
•	Nov. 7 th	02:50	M2.7	sun side		directional information ?
•	Nov. 7 th	17:26	X1.6	no data		
•	Nov. 15 th	12:03	M3.2	sun side O	neutrons X	
•	Nov. 15 th	20:46	M3.7	eclipse X	neutrons X	
•	Nov. 16 th	17:48	M5.7	sun side O	neutrons X	(17:57-18:08) over SAA