

2024年5月におけるフォーブッシュ効果の観測について

金野百合子¹, 小林美登里¹, 塚本葉月¹, 牛田舞羽¹, 倉科采佳¹, 福崎菜々香¹, 松永瑞紗¹, 林忠誉², 田中香津生³

¹女子学院中学校高等学校、東京都

²University College London、London

³加速キッチン合同会社、宮城県

本研究では、学校の検出器を用いて、太陽フレア発生時にフォーブッシュ効果が起こり宇宙線到来数が減少するという結果を得た。具体的には、学校に設置したQuarknet検出器を4つ用いて、2つずつ重ねたコインシデンスレベル2の状態宇宙線の測定をした。また、e-labから世界各地のQuarknet検出器のデータを収集し、このデータをPython言語でコードを用いて解析することで、今年の5月9日からの到来数のわかるグラフを観測地点ごとに作成することが出来た。これらを比較した結果、太陽活動が活発だった5月10日深夜から11日早朝(UTC準拠)にかけての約4%の減少をはじめとして複数回減少が見られ、前述のことが言える。本研究の結果により、Quarknet検出器のような比較的小型な検出器でもフォーブッシュ効果の観測ができることがわかった。また、この結果は今年5月の宇宙線のデータを扱う際の参考となると考えられる。

1. フォーブッシュ効果の観測

1.1. 背景

フォーブッシュ効果とはフォーブッシュ減少とも呼ばれ、太陽フレアに伴いコロナ質量放出が起こった後に、地球で観測する銀河宇宙線が急激に減少し、その後数日かけて回復するという現象である。これは図1のようにコロナ質量放出で放出したプラズマとともに磁気が地球付近に到来し宇宙線を遮るためだ。

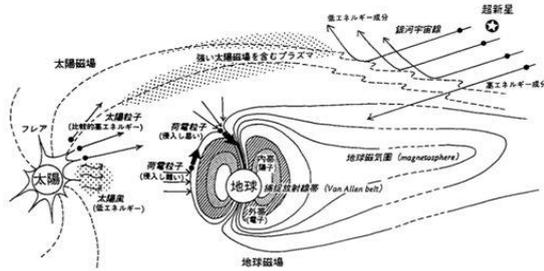


図1 宇宙放射線環境の概念図[1]

宇宙線検出器はQuarknet検出器(図2)を用いた。Quarknet検出器は放射線が通過すると発光するシンチレータと、そのごくわずかな光を観測できる大きさまで増幅する光電子倍增管(PMT)で構成されている。PMTによって変換された信号が電子回路を介してデータ収集システム(FPGA)に送られ、信号を受け取ったこと、イベントが来たシンチレータや時間、エネルギーなどを記録する(図3)。

今回はQuarknet検出器4枚を2枚ずつ重ねてコインシデンスレベル2の状態に設定し、検出した。コインシデンスレベル2とは、4枚の検出器のうち2枚同時に宇宙線が通過したときにデータを取る設定のことで、2枚重ねかつコインシデンスレベル2の状態にすることで重ねた2枚を同時に通過した宇宙線のみを検出するため、地上がもととなり入射角が低い環境放射線のある程度省いたデータを取ることが出来る。

1.2. 実験装置



図2 学校に設置しているQuarknet検出器

シンチレータのサイズは774cm²

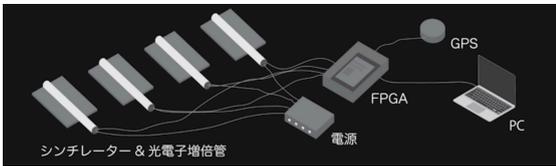


図3 Quarknet検出器の構造[2]

1.3. 仮説

今年5月には以下のグラフのようにXクラスの大規模な太陽フレアが頻発したため、フォーブッシュ効果が見られるのではないかと考えた。

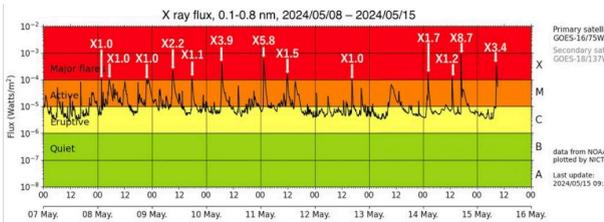


図4 2024年5月の単位面積あたりの到来したX線のエネルギーの変化

1.4. 結果

(A)のグラフは東京都千代田区的女子学院中学高等学校に設置した2枚重ね、コインシデンスレベル2の状態のQuarknet検出器で観測された5月9日から15日にかけての宇宙線の到来数のグラフである。

図5と(A)の10日の午後を比較すると、図5は地球の周辺を回っている衛星の観測データのため、フレアの影響が地球に届いた時間にグラフに変化が起きると考えられる。

よって、図5で粒子数が増えているときに(A)でも変化が見られたことから、(A)の減少は太陽フレアの影響を受けたフォーブッシュ効果とすることができる。従って大規模な太陽フレアが起きたとき、数時間遅れて宇宙線の観測数が大幅に減少したことがわかる。

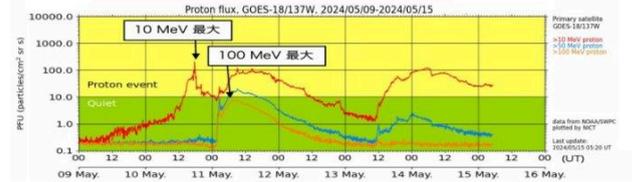
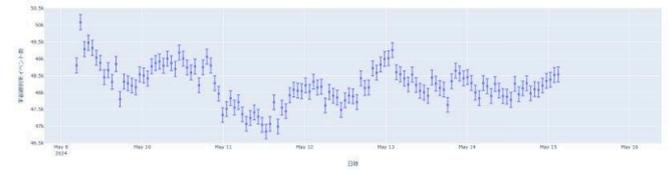
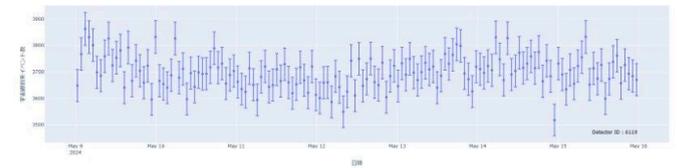


図5 GOSEで観測された、単位面積当たりのある一定のエネルギー量の陽子の到来数
縦軸は単位面積、単位立体角、単位時間当たりの陽子の粒子数を示す。



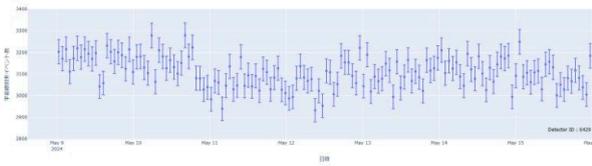
(A) 日本 東京都 千代田区 女子学院中学高等学校 2枚重ね、コインシデンスレベル2

またe-labから引用した海外の検出器のデータのグラフ(B)、(C)、(D)を見ると、(A)と同様に10日の午後から11日にかけてと12日以降で到来数の減少を確認することができたデータもあった。(Aは減少幅が大きく、わかりやすいが(B)、(C)、(D)の中には他のものと比べて減少幅が小さい範囲もある)

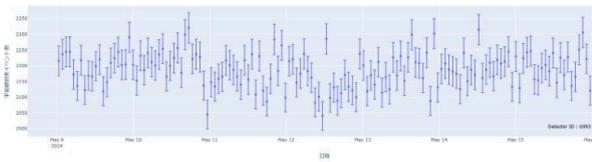


(B) Detector ID: 6119 アメリカ中部 シカゴ Fermilab Test Beam Facility 平置きで

設置¹ コインシデンスレベル²



(C) Detector ID: 6429 アメリカ中部 シカゴ Glenbrook North High School 平置き¹ (1つだけ高いところにある) コインシデンスレベル³



(D) Detector ID: 6993 ハワイ ホノルル島 Brigham Young University-Hawaii 4つ重ね コインシデンスレベル⁴

1.5. 結論・考察

太陽フレアが起きた後数時間にかけて宇宙線の到来頻度が減少していた。よって2024年5月の大規模太陽フレアによるフォーブッシュ効果を観測できたと考える。

またアメリカの複数の地点の観測データでも同様の減少が見られ他の地点でフォーブッシュ効果が観測されたこともわかった。太陽フレアの影響が地球付近に届いたと思われる時刻に、複数の地点で宇宙線到来頻度が減少しフォーブッシュ効果を観測したと言える。

2. 太陽宇宙線の観測

2.1. 仮説

今回行ったフォーブッシュ効果の研究の次に、フレア発生時に到来した宇宙線のエネルギーに着目した。宇宙線は主にエネルギーの高い銀河宇宙線とエネルギーの低い太陽宇宙線の2種類があることが知られている。一般的に太陽宇宙線のエネルギーが1MeV~10³MeV、銀河宇宙線のエネルギーが10²MeV~10¹⁴MeVと言われている。文献によって数値は異なっており、重複している範囲もあるが比較的銀河宇宙線のエネルギーが高いとわかる。また、銀河宇宙線は先

程のフォーブッシュ効果の影響で到来数が減少するのに対し、太陽宇宙線は太陽フレアによるコロナ質量放出が発生すると大量に放出され、到来数が増加することも知られている。そこで私たちは通常時と比べてフレア時はエネルギーの低い太陽宇宙線の割合が増え、エネルギーの高い銀河宇宙線の割合が減ることが宇宙線のエネルギーのグラフから確認できると仮説を立てた。

2.2. 結果

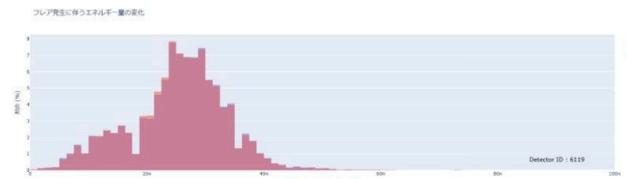
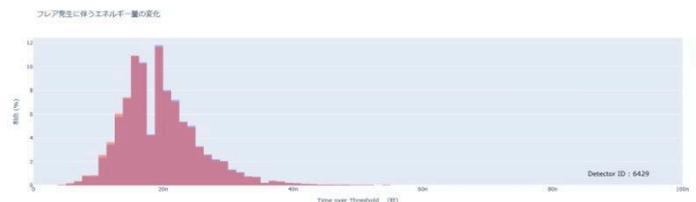
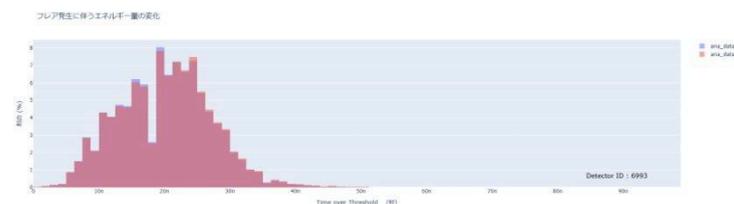


図6 (A) Detector ID: 6119 アメリカ中部 シカゴ Fermilab Test Bean Facility 平置き コインシデンスレベル²



(B) Detector ID: 6429 アメリカ中部 シカゴ Glenbrook North High School 平置き (1つだけ高いところにある) コインシデンスレベル³



(C) Detector ID: 6993 アメリカ ハワイ ホノルル島 Brigham Young University-Hawaii 4つ重ね コインシデンスレベル⁴

タイムオーバースレッシュヨルド (tot) とは、1つの宇宙線が検出器に落としたエネルギーのうち、スレッシュヨルドと呼ぶ一定の値を上回った時間のことである。今回はこのtotを宇宙線のエネルギーの大きさと考えた。私たちは、通常時のグラフとフレア時のグラフを重ねた時、低エネルギーの宇宙線が増加し、高

エネルギーの宇宙線が減少してグラフに大きなずれが見られると予想したが、実際は図10～12のようにほぼ全て重なっており、今回の解析では仮説についての有意差を見ることができなかった。

2.3. 結果についての考察

totとして観測しているエネルギーが宇宙線のエネルギーそのものではなく、宇宙線が検出器を通過する際に検出器が受け取ったエネルギーであるため、宇宙線のエネルギーの大きさとtotの長さが必ずしも比例しているとは言えないことから、totに太陽宇宙線と銀河宇宙線のエネルギー差が反映されなかったのではないかと考えられる。また、太陽宇宙線と銀河宇宙線のエネルギーの大きさは文献によって多少異なっていて、明確な定義が無いこともこのような結果となった要因だと考えている。

3. 展望

(B)、(C)、(D)のグラフを比較し地点ごとに到来数の増減幅や縦軸の概数に差が見られたことについて、場所、昼夜による到来数の違いがあるのではないかと仮説を立てた。

アメリカでQuarknet検出器を置いている高校とデータの交換や共同研究を計画しており、場所や昼夜以外の条件が関係していないかという点を確認した上でこの仮説についての研究を進めようと考えている。

また、女子学院の天体望遠鏡で観測している黒点のデータを使用して11年周期の太陽活動と宇宙線の到来数の関係についての研究も始めたいと考えている。

注1 平置き 検出器を重ねずに設置すること

参考文献

[1]プラズマ・核融合学会．"プラズマ・核融合学会誌"．Journal of Plasma and Fusion Research．2024．
https://www.ispf.or.jp/Journal/PDF_JSPF/jspf2014_02/jspf2014_02-148.pdf，(参照 2024-12-08)

[2]国立研究開発法人情報通信研究機構．"レポート | トピックス詳細 | 宇宙天気予報"．宇宙天気予報．2024．

<https://swc.nict.go.jp/report/topics/202405101630.html>，(参照 2024-12-08)

[3]日本原子力研究所．"宇宙用太陽電池の耐放射線性"．JAERI-Mレポート．1989．

[JAERI-M-89-085.pdf](https://www.jaeri.go.jp/ftp/89/89-085.pdf)，(参照 2024-12-08)

[4]山崎耕造．『トコトンやさしい太陽の本』．日刊工業新聞社，2018，[160ページ] (参照 2024-8-26)

[5]日本原子力学会．藤高和信．"宇宙環境の放射線"．1993．

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jaesj1959/35/10/35_10_880/_pdf，(参照 2024-12-08)