

# 太陽の $\gamma$ 線バースト\*

奥平清昭\*\*・平島 洋\*\*・山上隆正\*\*  
森岡博美\*\*・村上浩之\*\*

## 概 要

太陽フレヤにともなって放出される $\gamma$ 線を検出するため1968年9月27日フォスウィッチ・シンチレーション・スペクトロメータによる気球観測中3時45分(UT)頃太陽電波バーストと同時に $\gamma$ 線強度の急激な増加がみられた。この増加は太陽電波バーストと同時に起こっていること、地磁気カノトオフの高い場所で観測されたことから太陽面でおこった $\gamma$ 線バーストによるものと考えられる。エネルギー・スペクトルはいくつかの線スペクトルからなり統計的に最も顕著な1.4—1.7 MeVのピークでは増加は $5\sigma$ をこえている。またバーストの持続時間はたかだか1分程度であった。

## 1. ま え が き

太陽フレヤの際に陽子、電子などが高エネルギーに加速されることはよく知られているが、この高エネルギー陽子が太陽大気中で核反応をおこし $\gamma$ 線を発生する可能性があり、このような $\gamma$ 線の観測が重要な意義をもつことはすでに1956年に指摘されたところである[1]。

$\gamma$ 線は磁場の影響をうけず直進するので太陽 $\gamma$ 線を観測すれば直接太陽面付近の高エネルギー核子成分に関する情報が得られ、その結果はフレヤ・モデル、荷電粒子の惑星間空間伝ぱん、軽元素の起源など多くの問題と関連を持つであろう。

太陽 $\gamma$ 線については、従来多くの理論的研究がなされているが[2][3][4][5]、実験の面では肯定的な観測は100 keV以上ではごくわずかしかなく、しかも解釈のambiguityをともなっているものが多い[6][7][8]。

我々は数年前から太陽 $\gamma$ 線を観測するべく実験を続けてきたが1968年9月27日の気球観測で太陽の $\gamma$ 線バーストを確認できたのでその結果を報告する。

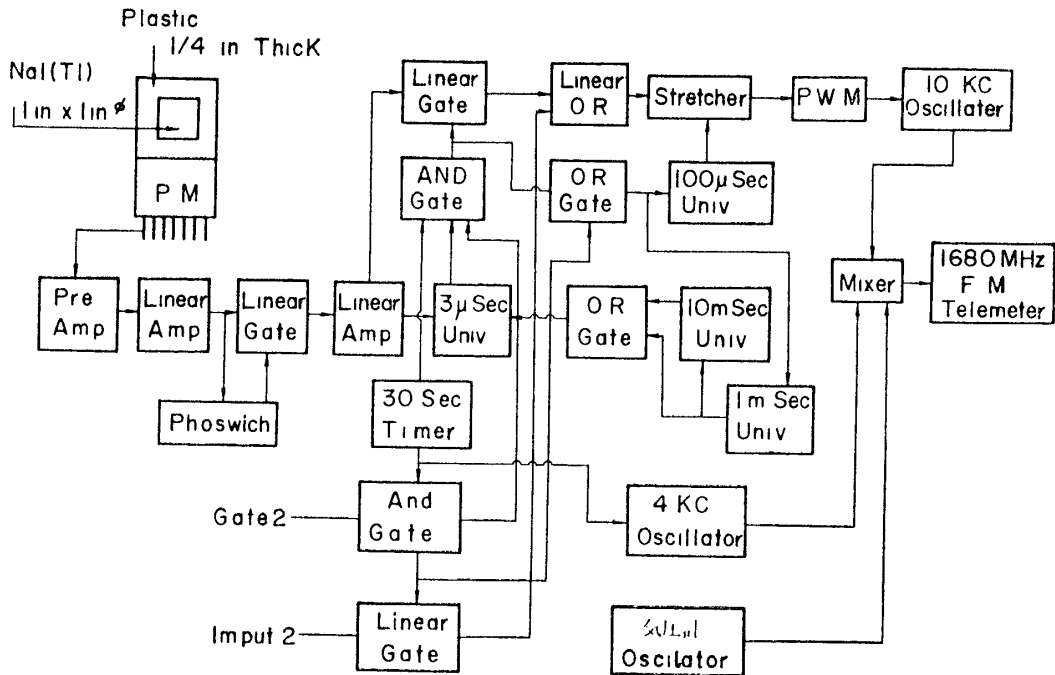
## 2. 観 測 装 置

$\gamma$ 線検出器としては、高さ1" 直径1"の円筒形のNaI(Tl)結晶を厚さ1/4"のプラスチック・シンチレータで包んだフォスウィッチ・シンチレータを用いその発光を光電増倍管RCA 6199で電気的信号に変えて処理する。プラスチック・シンチレータはNaI(Tl)にくらべて発光の減衰時間が短かいので、信号に速い成分がふくまれるときはゲートを閉じて信号が波高分析器に入らないようにしてある(フォスウィッチ回路)。したがってプラスチック・シンチレータは荷電粒子の計数を除去するguard counterの役目を果している。

回路のブロック図を第1図に示してある。入力パルスはゲートを通り増幅後PWMでそ

\* 特別事業費による研究論文

\*\* 立教大学理学部



PWM ( Pulse Width Modulation )

第 1 図 Block Diagram

のパルス高に応じた時間幅で高さ一定のパルスに変換し、その出力で 10 KHz の発振器を動作させる。10 KHz の信号は、アナロイド気圧計の 3 組の接点につないだ各 250 Hz, 400 Hz, 600 Hz の発振器の出力とミックスしたのち 1680 MHz のテレメータ主発振器を周波数変調している。

引き続き 2 個のパルスが入った場合、回路が誤動作をするのを防ぐためパルスが入ると 14 m sec の間ゲートを閉じるようになっている。

回路は別の観測項目と共用で 27.5 sec ごとに互に切替えられる。

地上では 1680 MHz の電波を受信復調後 10 KHz のバンドパス・フィルタを通し検波、シュミット・トリガーで整形し積分回路を通して時間幅に比例した高さの信号にし、さらにこれを微分して立上りの速いパルスにして T. M. C. 404C. 400 チャンネル波高分析器に入れて解析を行なう。

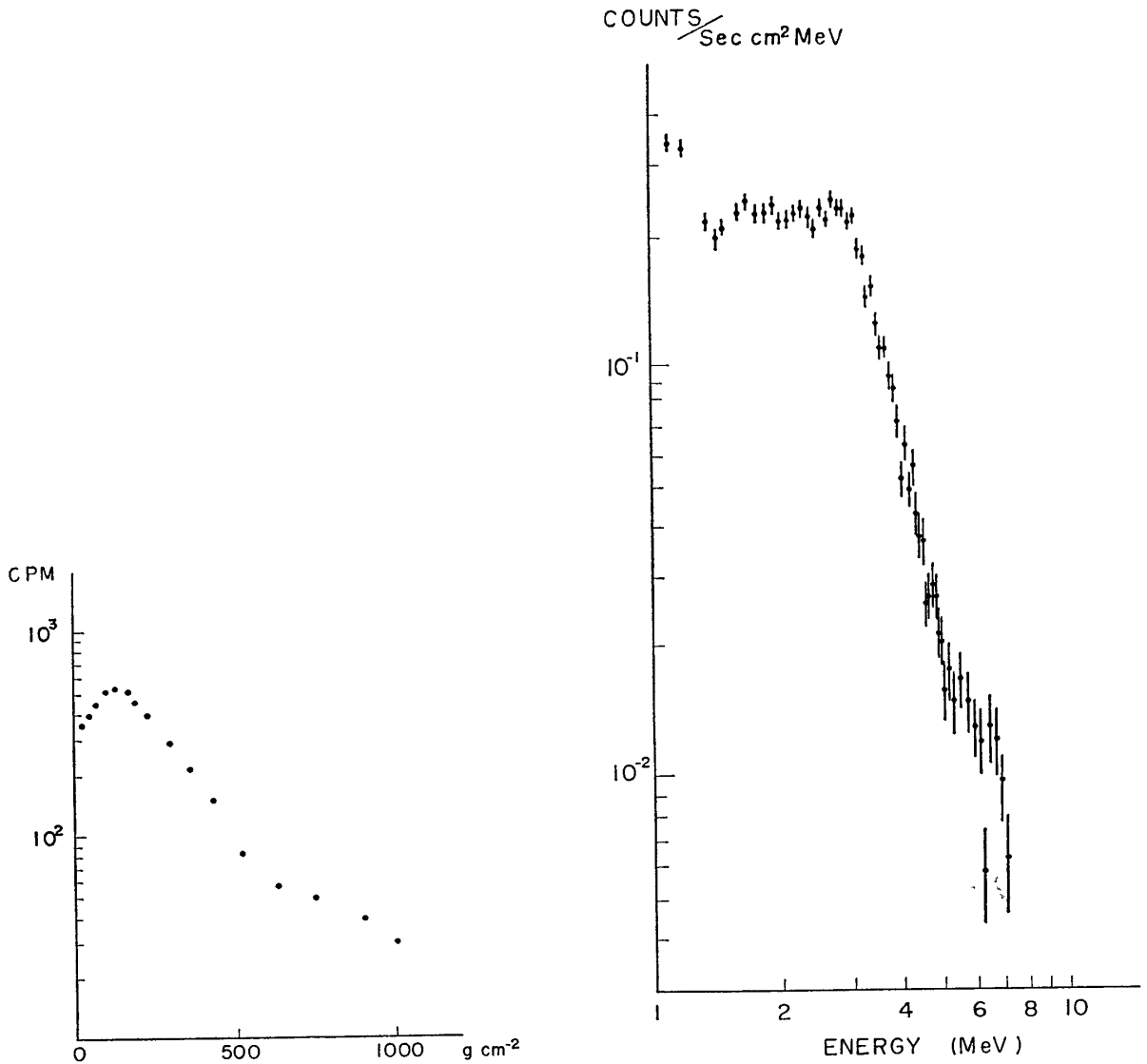
電子回路の較正曲線は水銀パルサーのパルスを入れて求め、エネルギーの絶対較正には  $\text{Co}^{60}$  (1.17 MeV, 1.33 MeV)  $\text{Na}^{24}$  (1.37 MeV, 2.75 MeV) を用いた。気球観測中の較正はしていないが装置回収後の再較正では飛揚前と比較して変化は認められなかった。低温テストによると  $0^\circ\text{C}$  まで下げたとき、シンチレータの出力は 15%、回路は 10%、あわせて 25% 下へずれることがわかった。

この検出器で観測できるエネルギー範囲は 1.16 MeV ~ 7.36 MeV である。また気球搭載部の重量はテレメータ送信器、リモート・コントロール受信器、全電源をふくめて 32 kg であった。

### 3. 気球観測の経過

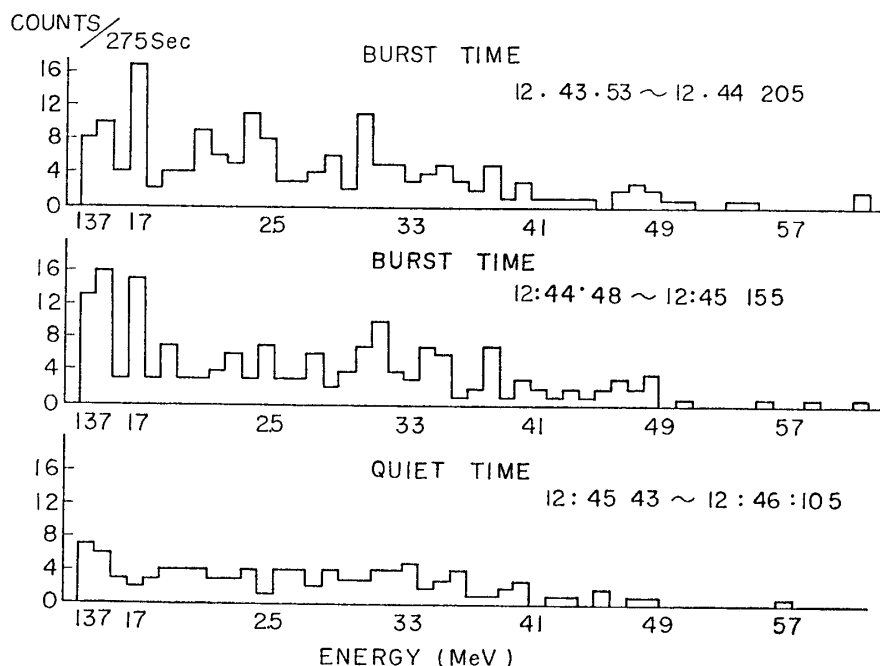
太陽 $\gamma$ 線の観測には、気球の水平飛行中に太陽フレヤがおこることが不可欠なので、気球飛揚の日取決定に当っては太陽電波S成分の強度とその変化、黒点群の型を考慮してフレヤのおこりそうな日を待つこととした[9].

気球は東京大学宇宙航空研究所原町大気球実験場（地磁気緯度27.5度）から1968年9月27日7時58分に放球、9時48分高度20mbに達して水平飛行に入り13時18分まで観測を行なった。気球上昇中得られた全計数の高度変化を第2図に示す。水平飛行中装置は正常に動作し12時45分頃の異常増加時を除くと計数は安定していた。第3図は異常増加時を除く水平飛行時の平均エネルギー・スペクトルである。これらの結果は以前の我々の観



第2図 Altitude Dependence

第3図 Energy Spectrum  
(増加時を除く水平飛行時の平均)



第 4 図 Energy Spectrum in Burst Time and Quiet Time

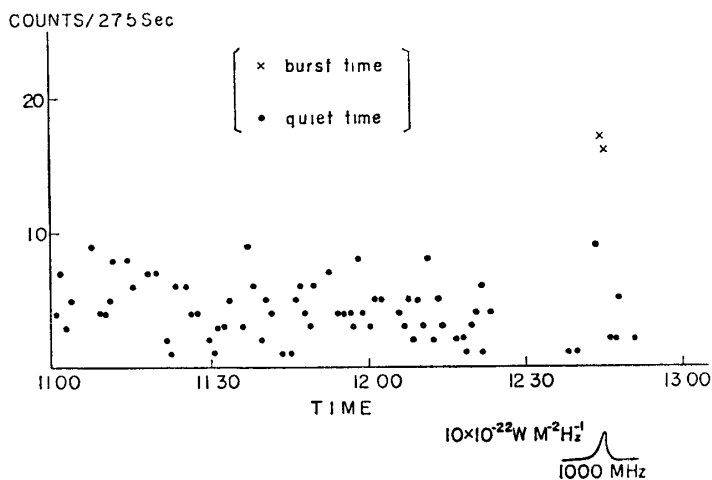
測 [10] と矛盾しない エネルギー・スペクトルが 1—3 MeV の間で平になっているが、このような傾向は我々の以前の観測以外にも 2, 3 見られており [11][12], その意味については検討中である。

#### 4. $\gamma$ 線バースト

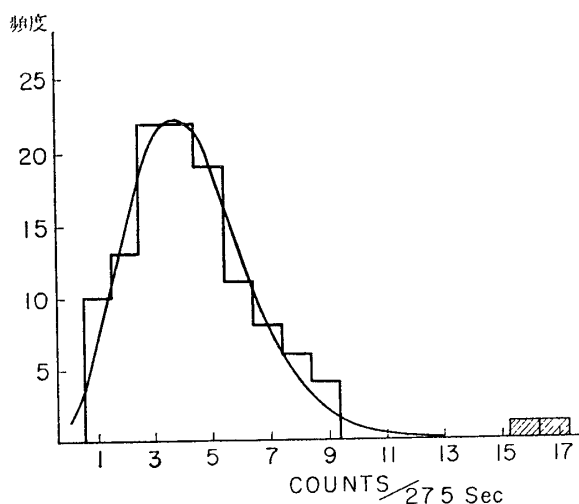
水平飛行中、前にもふれたように 12 時 43 分 (0343 UT) から 12 時 45 分 (0345 UT) までの間の計数が他の時刻とくらべて著しく増加した 第 4 図は増加時の波高スペクトルである。比較のため増加直後のスペクトルを示してある。エネルギー目盛は測定器の温度を  $0^{\circ}\text{C}$  としたときの校正によっている。図でみると 1.7 MeV の  $\gamma$  線による完全吸収ピークとコンプトン・ピークと、その他にもいくつかのピークがあるように見える。

第 5 図は 1.7 MeV のピークに当る 5 チャンネルの計数の時間変化を示している。この増加に対応する太陽面現象として、この日は雨のため東京天文台の光学的観測は欠測となっているが、名古屋大学空電研究所では同じ時刻に 1000 MHz の周波数で太陽電波バーストを観測している。第 5 図には名大空電研の好意により 1000 MHz の電波強度の時間変化をあわせて示した。電波バーストは 0343 UT に始まり 0345 UT に極大に達し 0346 UT に終わっている。極大時の強度は  $10 \times 10^{-22} \text{ Wm}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$  であった。また、2000 MHz, 3750 MHz, 9400 MHz の周波数では増加は認められなかった

第 6 図は水平飛行中の 27.5 sec ごとの計数の度数分布でハッチをつけたのが増加時の計数である 全体の分布はポアソン分布に従い、増加は  $5.7\sigma$ ,  $6.1\sigma$  で統計的変動では説明できないことを示している。他のラインについては現在検討中である。



第5図 Time Profile of 5 Channel



第6図 5 Channel における計数の度数分布

今回観測された異常増加は電波バーストと同時に起こっていること、荷電粒子に対する地磁気カットオフの高い地磁気緯度の低い所で観測されたことを考えると、太陽γ線バーストとみなして間違いないと思われる。

#### 4. む す び

一口に太陽フレヤといっても大小いろいろあり、これを電波でみるとそのスペクトル、強度などまちまちであるからγ線についても同様の多様性が期待される。たとえばこの観測の翌日、名古屋大学の近藤氏らが太陽中性子、γ線の気球観測中前日より

も大きな電波バーストがあったにもかかわらずγ線の増加は確認できなかった[13]。これは観測しているエネルギー範囲の差、分解能のちがいで一応は説明できるが、あるいはフレヤの個性のちがいによるものかも知れない。したがって当面の課題としてはγ線バーストの観測例を増す必要がある。このような観測計画をたてるにあたり、今回の結果は有益な指針として役立つだろう。

今回の結果をまとめると、特徴的な事実として比較的小さな検出器でも十分に検出できるだけの強度があったこと、そのエネルギーは1.4—1.7 MeVの単色γ線と他にもいくつかのラインがあるらしいこと、持続時間はたかだか1分程度しか続かなかったことの三点をあげることができる。

おわりにこの気球飛揚を担当された東京大学宇宙航空研究所の西村 純教授はじめ大気球飛揚グループの方々に心から感謝したい。特につまった日程の中にありながら、無理な注文

を快く入れていただかなかつたらフレヤをとらえることはできなかつたかも知れない 飛揚日の決定については名古屋大学空電研究所田中春夫氏, 鯨目信三氏, 立教大学理学部伊藤謙哉教授の適切な予想が有益であった また東京天文台太陽観測部の光学観測の結果を毎日知らせていただき太陽電波のデータとあわせて参考にした.

最後になったが実験の全般にわたって立教大学中川重雄教授, 仙 正昊教授のいろいろな助言, 援助がなかつたら今回の結果は得られなかつたであろう.

1969 年 2 月 10 日

### 参 考 文 献

- [1] 早川幸男 宇宙線研究 **1**, 63 (1956)
- [2] P Morrison Nuv Cimento **7**, 858 (1958)
- [3] J F. Dolan and G G Fazio Rev Geophys **3**, 319 (1965)
- [4] R E Lingenfelter and R Ramaty High Energy Nuclear Reactions in Astrophysics  
B S P. Shen 編 (New York W. A Benjamin Inc 1967)
- [5] K Ito, H Okazoe and M. Yoshimori Can J Phys **46**, S 780 (1968)
- [6] L E Peterson and J R Winckler J Geophys Res **64**, 697 (1959)
- [7] C De Jager Solar Physics **2**, 327 (1967)
- [8] 近藤一郎・長瀬文昭 宇宙航空研究所報告 第 4 卷第 1 号 (B) (1968)
- [9] 伊藤謙哉・田中春夫・鯨目信三 宇宙航空研究所大気球シンポジウム 昭和 43 年度
- [10] 奥平清昭 平島 洋・山上隆正 宇宙航空研究所報告 第 4 卷 第 1 号 (B) (1968)
- [11] J. A. Arnold, A E. Metzger, E C. Anderson and M A Van Dilla  
J. Geophys Res **67**, 4878 (1962)
- [12] R Rocchia, J. Labeyrie, G Ducros and D Boclet Proc 9th International Conf on Cosmic  
Rays, London (1965) Vol 1. 423
- [13] 近藤一郎・長瀬文昭・安江洋志 宇宙航空研究所大気球シンポジウム 昭和 43 年度