

ロケットによる太陽の極端紫外二次元像の観測*

平山 淳**・田中 捷雄**・浜名 茂男**
渡辺 鉄哉**・秋田 亨***・桜井 隆***
山口 朝三**・中桐 正夫**・西 恵三**

(1983年11月30日受理)

The Rocket Observation of Two Dimensional Pictures of The Sun in the Extreme Ultraviolet Emission Lines By

Tadashi HIRAYAMA, Katsuo TANAKA, Shigeo HAMANA,
Tetsuya WATANABE, Kyō AKITA, Takashi SAKURAI,
Asami YAMAGUCHI, Masao NAKAGIRI, and Keizo NISHI

Abstract : Two dimensional pictures of the sun were obtained with the use of the Japanese sounding rocket (S520-5CN) in the extreme ultraviolet emission lines and continua such as CIII 970 Å, NeVIII 770 Å, and hydrogen Lyman continua with a spatial resolution of ten seconds of arc. The instrument was composed of a 10 cm Cassegrain telescope (F/15), a 50 cm stigmatic spectrograph, and a two dimensional microchannel plate. Also one dimensional raster scan was performed with a photomultiplier at 1650 Å. Fortunately a solar flaring was in progress during the observation. We have obtained physical parameters such as the electron temperature for the flare, the active region, and dark filaments. The relationship between the shape of the flare and the structure of the photospheric magnetic fields was discussed. Pointing accuracy was, for about half of the observation time, around 0.5 seconds of arc.

*宇宙研特別事業費による研究論文

東京大学東京天文台, *東京大学理学部

概 要

太陽の2次元画像を、C III 977 Å, Ne VIII 770 Å, 水素ライマン連続光などにより、約10秒角の空間分解能で得ることに成功したので報告する。観測機器は口径10 cm カセグレン望遠鏡(F/15)と50 cm ステイグマティック分光器で、2次元マイクロチャンネルプレートにより極端紫外の画像を、光電子増倍管で1650 Åの1次元スキャンを行った。使用ロケットはS520-5CN。幸いにも偶然発生していたフレアを捉えることができ、フレアや活動領域の電子温度等を決定することができたのみならず、磁場構造とフレアの形態に関して有意義な情報を得ることができた。ポインティングは、観測時間の約50%の間±0.5秒角以内に収まった。

1. 序

太陽表面は6000 Kであるのに対し、コロナが100万 Kの高温になっている理由として、電磁流体力学波等の熱化という仮説の他に、直流電場・ジェット噴流・磁気流体表面波などによる熱化過程が考えられているが、いずれも決定的な解釈を提供するに至っていない。一方観測的には、スカイラブなどにより明らかにされたように、コロナはループ状のプラズマの集合体であるが、その微細構造・ダイナミクスが未だ解明されていないため、理論に対して有力な判断の材料を提供し得ないでいる。

この方面に探りを入れるため、約10分角の視野を約10秒角の空間分解能によってコロナとコロナ・彩層間の遷移層及び彩層の2次元画像を680 Å-1031 Åの極端紫外輝線を用いて取得することを試みたのである。また従来より東京天文台で実施してきた1600 Åにおける1次元スキャンの測光も試みることにした(文献1, 2, 3, 4)。

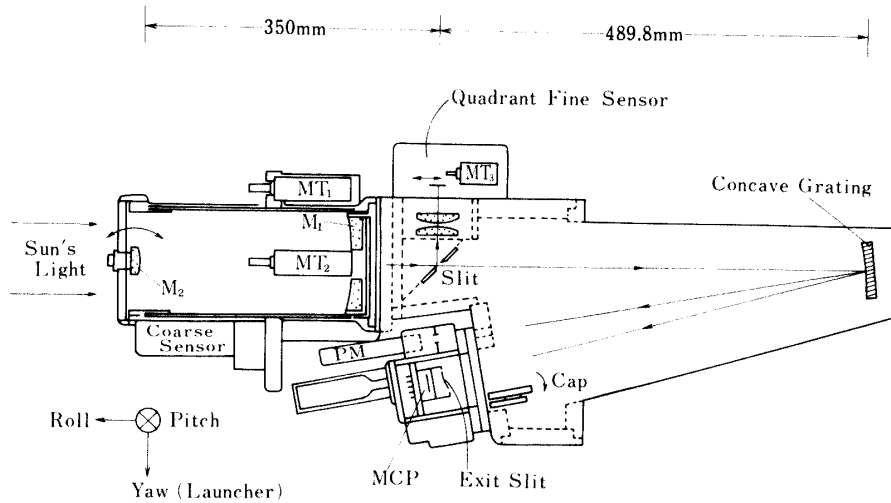
上記の目的を達成するために、二つの新しい技術的な試みを導入した。その第一は、2次元マイクロチャンネルプレートを検出器として用いたことであり(文献1及び5)、第二はポインティングの精度を高めたことで(文献6)、宇宙研担当のボディポインティングに対しては0.1度以内という精度をPI側より要請し、我々の担当した精密ポインティングは2~4秒角以内を目標とした。

2. 観測装置

装置は望遠鏡・分光器・検出器よりなる(第1図参照)。

(a) 光学系

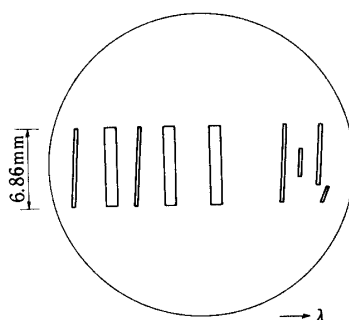
望遠鏡は古典カセグレン型で有効径10 cm, 口径比は15である。焦点面におかれたスリット(30 μm幅)を通った光はステイグマティック分光器により分光され、検出器である2次元マイクロチャンネルプレート(レジスティブアノード型、以下MCPと略記)及び光電子増倍管(PM)で結像する(第1表に詳細な数値を列記した)。入口スリット及び波長方向の焦点(spectral focus)はローランド円上にある。spectral focus上には波長撰択のための出射スリット群があり、特定の輝線のみとり出す(第2図)。この後方約20 mmの



第1図 観測装置

第1表 観測機器諸元

望遠鏡	口径10cm古典カセグレン，合成焦点距離1.5m，バックフォーカス10cm 倍率4.60， $1''=7.3\mu\text{m}$ ，ゼロドゥア，金蒸着， $\lambda/4(0.5\mu\text{m})$ 溝尻光学製，副鏡に有効径40mm遮光板附属，集光面積 66cm^2 ，鏡筒特殊ジュラルミン（円筒型），副鏡2軸ジンバル支持($\pm 2^\circ$ 以内，リミットスイッチ付)
分光器	50cmスチグマティック，凹面回折格子（Bausch-Lomb，1200本/mm，700A blaze，白金蒸着， $R=498.1\text{mm}$ ），入射角 10.5° （入射スリット・回折格子間距離489.8mm），中心波長 860\AA （MCP），1次スペクトル，逆分散 $16\text{\AA}/\text{mm}$ ，入射スリット（ $\sim 30\mu\text{m}\times 30\text{mm}$ ），入射スリット面Cr全反射蒸着SUS製，出射スリット群バネ用 0.15mm 厚磷青銅板にエッチング，筐体特殊ジュラルミン製組立箱型
MCP	2次元，タンデム，入射主光線に対し各 10.3° の傾角，ion feed back free， CsI 蒸着，使用高圧2100V， $26\text{mm}\phi$ 浜松Photonix製，レジスティブアノード（ $1.4\text{吋}\times 1.4\text{吋}$ 角，Surface Science Eng.製），最大カウント数 $\sim 4\times 10^4\text{cps}$ （全面），局所的飽和200cps/pixel.
PM	浜松Photonix社R1081， MgF_2 窓，分光感度 $1150-2000\text{\AA}$ ，
総合特性	空間分解能 $5.5''(\text{raster方向})\times 5.2''$ 時間分解能 1s（1画像は100s） 分光分解能 4\AA （輝線）， 16\AA （連続光）.



第2図 出射スリット群

位置に spatial focus ができ、ここに検出器がある。

高い空間分解能を得るために後述のポインティングの精度を高めることの他に、望遠鏡鏡筒(特殊ジュラルミン)の温度による焦点の変化に注意せねばならない。コマ収差を4"以内に収めるためには観測時における温度の見積りを±3.5度以内に押えねばならないが、打上当日の気温を予測することは不可能なので、東京における最良焦点の位置で観測を行った。また、出射スリット群の波長方向の位置は、実験室ではHIライマンβの写真撮影(露出時間6時間)を行って決めたが、他の輝線は計算値を採用した。波長設定が多少狂っても出射スリット群(第2図)上のY軸上どこかに輝線が入るように、図の如く狭いスリットは2.1°傾けてある。また、MCPを焦点面に正しく設置することも、実験的にきめることができず、計算値に頼ったが、これによるボケは2"強(focus位置の狂い±0.2mm)と推定している。他に入射スリット幅が有限(≈4")であること、MCPの分解能が約7"(≈50μm, 文献1, 5)であることを考慮すると、光学系の分解能は約10"と見積られる。

(b) ポインティング及び太陽センサー(CSAS及びFSAS)

ボディポインティングは、望遠鏡の収差と精密ポインティングの時定数の制約より±0.1°及び0.1°/sを要請、また4"の分解能が得られるよう、光軸まわりのポインティング(Roll軸)は0.5°/s以内でかつ分光器入射スリットが太陽自転軸にほぼ垂直になるように要請した。

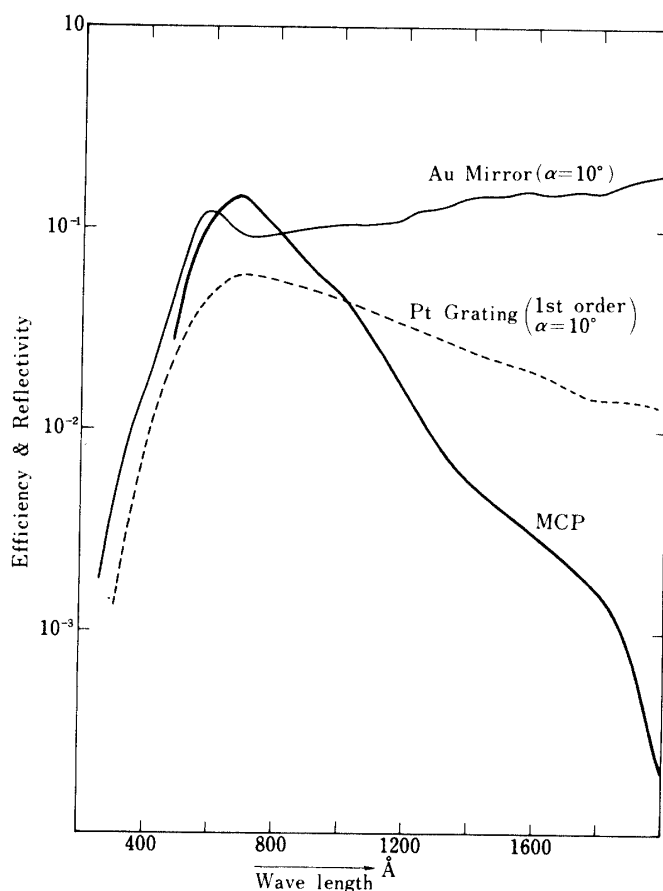
ボディポインティング用のCoarse Sun Sensor(CSAS)は天文台の担当であり、±4°以内に太陽を捉えたときにジャイロからCSASへ移行する。CSASは、3mmφのピンホールとそれより80mm離れた位置にあるPosition Sensitive Detector(S1200, 浜松Photonix)より成り、ピンホール前面には熱線カットフィルター(HA30, 保谷硝子)が装着されている。CSASの精度は、16bitのテレメトリー及び割算器(LOG Amp)の温度による特性変化できまっておき、±0.03°である。S1200の絶対値付けは太陽標準電池(宇宙研後川研より借用)と太陽の南中時の測定値を比較して行われた。

精密ポインティングは、望遠鏡の副鏡を微小角傾け、太陽像のずれの誤差信号を傾角にフィードバックする方法をとった。これは、我々が太陽気球望遠鏡で常用している形式である(文献7)。副鏡の高速微小角回転は、2個のDCサーボモータ(max 3.8W)でYaw

軸・Pitch 転まわりに行う。Fine Sun Sensor (FSAS) は入射スリット面から反射した太陽像を1:1に再結像し、四分割検出器 (QD 320, Centronic Co.) で太陽像のずれを検出する。フィルターは、HA30+ND13+ND5+VR65 (保谷) で、またスリット面の反射率は約64%であった。

(C) 検出器——MCP 及び PM

MCP: 主たる特性を第1表に記した。CsI 蒸着した channel plate 表面に photon が入射すると、 10° 傾いた $12\ \mu\text{m}\phi$ の各 channel 内の壁に当たり electron を放出し、順次 electron が増えて逆に 10° 傾いたタンデムのもう一つの channel plate に入り、結局 $10^6\sim 10^7$ electrons/photon で resistive anode に到達する。一次元で考えると、anode の場所の差により両端へ流れる電流が異なる。この電流比より position が分かる。今回は電流比を slit 方向に256個、波長方向に8個に分割し、それを memory に1 sec 間溜めてから、 256×8 個の各位置の光子 count 数を送信する。量子効率の波長依存性を東京天文台で測定したものを、望遠鏡用 Au 蒸着ミラー及び凹面回折格子のやはり我々の測定した反射率と共に第3図に示す。なお絶対較正は、サルチル酸ソーダ付 photomultiplier を仲介として、N.B.S.(米国) で calibrate された窓なし photodiode によって行った。仲介を必要としたのは、



第3図 MCPの量子効率、望遠鏡鏡面及び凹面回折格子の反射率の波長依存性

photodiode の感度が悪いこと、及び光源の光量を変えることが困難なためである。MCP の最大 count 数は 4×10^4 cps であるが、観測の予想値は全て quiet region として 1.4×10^4 cps, 全てが active region であるとするれば 8×10^4 cps 程度である。MCP が放電を起こさないようにするため、天文台で高い真空度 ($\leq 10^{-5}$ Torr) にして真空容器に密閉し、上空で蓋開けを行った。

出射スリット群と MCP：第 2 図に示した検出器前の出射スリット群は、太い slit が 16 Å 幅で Lyman 連続光用、細い slit が 4 Å 幅で輝線用である。slit 長は 6.9 mm であるが、これを 172 channel に分割、両端に dark・散乱光を見るための 84 channel を加え合計 256 個の channel として MCP に検出される (1 channel = 5.19"). 波長方向は 8 個に分割 (OIV 1032 Å と Lyβ は、ひとまとめ)、光学系の F 比の分だけ MCP 上で広がって入る photon を全て count する。2nd order の SiXII は、強度が弱くかつ両隣りの Lβ と CIII からの洩れ込みが予想されたため短かくしてある (第 2 表参照)。

第 2 表 観測値(平均)

チャンネル	波長 Å	イオン	log Te K	平均カウント 数(Quiet) ph·s ⁻¹ ·ch ⁻¹	強度* erg·cm ⁻² s ⁻¹ ·strd ⁻¹	Active/ Quiet**	Flare/ Active**
1	680.7	Na IX	5.9	0.3	4.7***	2	5
2	732.8	HI Lyc	3.9	0.5	0.64	3	5
3	769.6	Ne VIII	5.6	0.7	11***	3	11
4	815.0	HI Lyc	3.9	2.0	3.4	2.6	3.2
5	880.0	HI Lyc	3.9	3.9	7.3	3.1	3.4
6	976.6	C III	4.7	3.9	140	3.5	18.4
7	499.5(2次)	Si XII	6.3	1.7	370?	2.6	10.8
8	1025.4	HI Lyβ	4.3	4.5	180	2.2	4.8
8'	1031.7	O VI	5.5	—	—	—	—

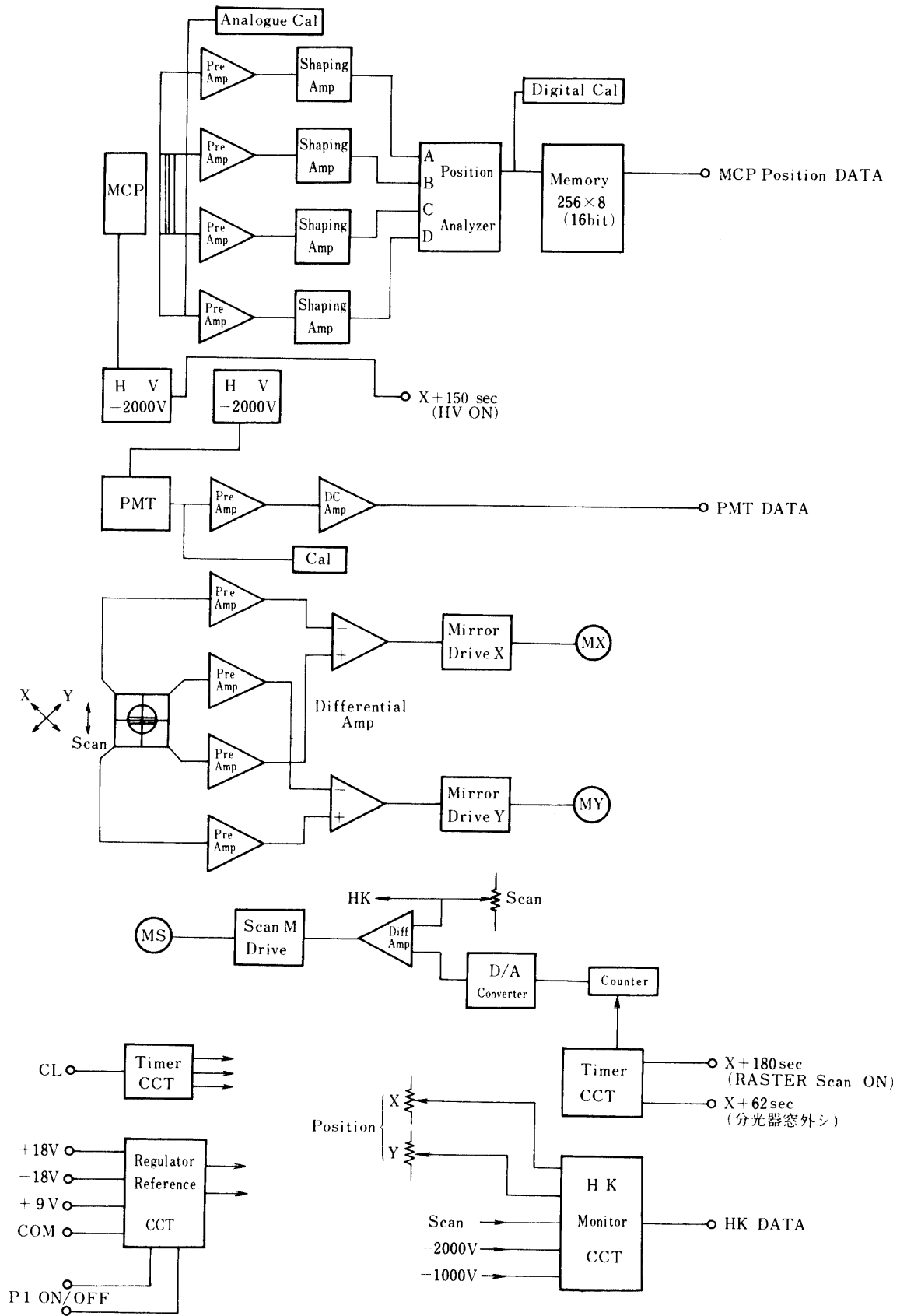
*：強度の単位はLyc連続光に対しては1 Å当たりの値。

：強度の比。場所により2倍以上異なる。*：Lyc成分差引き済み。

PM：量子効率も含めた光電子増倍率は 2.6×10^4 electrons/photon, 実際には 0.87×10^{-6} V·s/photon (高圧 2000 V) で DC 測光を行い、quiet 領域の入射 flux $100 \text{ erg/cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{sterad} \cdot \Delta\lambda = 1 \text{ Å}$ に対して 1.5 V の出力となるよう設定した (full range 5 V)。なお光電面直前の spatial focus 上に $5 \times 5 \text{ mm}^2$ の出口窓があり、1648 Å を中心に 83.7 Å 幅 (FWHM) の波長域と太陽面上 11.5' に相当する部分が平均されて観測されることになる。なお絶対較正には N.B.S. で較正された窓あり photodiode (EMR Schlumber 543P-09-00) を用いた。

(b) エレクトロニクス等

本装置 (PI 名は SUV-T) の全重量は CSAS を除いて 46.5 kg で、消費電力は約 25 W である。そのうち副鏡回転用モーター 2 個 (第 1 図で MT₁ 及び MT₂) 及びラスタースキャン用モータ (MT₃, 後述) 1 個が計 10 W 消費する。第 4 図に electronics のブロック図を示す。



第4図 エレクトロニクス・ブロック図

(e) テレメトリーとコマンド

送信は MCP の 38.4 kbps を含め 54.4 kbps で行った。他の情報としては、光電管受光量、粗センサー出力、精密センサー出力、MCP と PM の高圧値、ポテンショによるラスター位置等が A/D 変換され、MCP status 情報を含めて送信された。コマンドは、MCP の Discr Up (count 4.5×10^4 cps 以上のとき打つ予定であった) と All Motor Off の 2 つである。後者は、高度 100 km 以下で打ち、他の P.I. に対して我々の Motor によるノイズを消す為で、実際そのようにした。

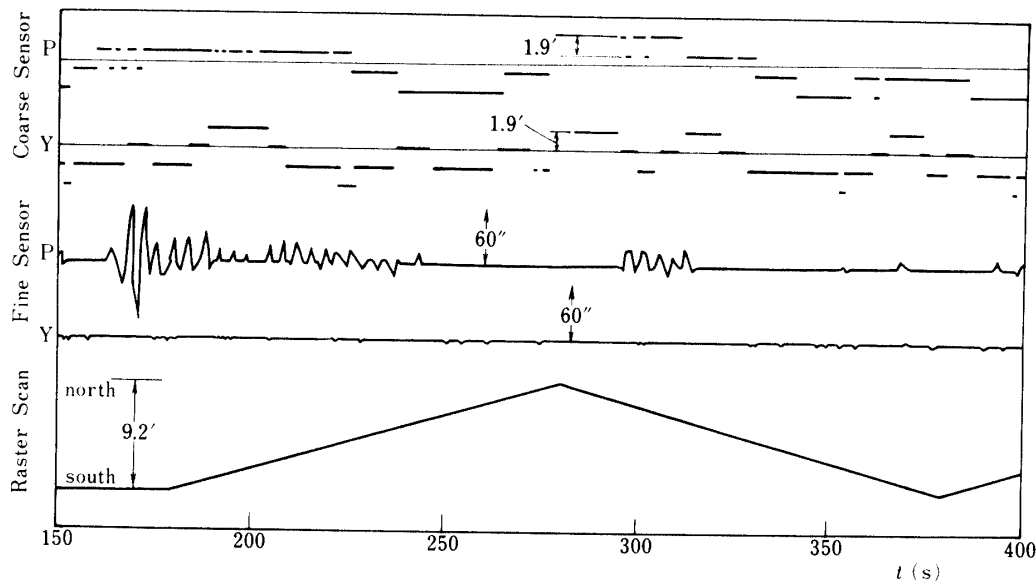
(f) CAL 及び Quick Look

機上でのキャリブレーションは MCP, PM ともに電気系へ直接擬似信号を送りこみ、アンプを含む処理系をチェックするためのものである。MCP の場合 2 つのモードがあった。一つは Digital Cal と呼ばれるもので、メモリーカウンターへテレメトリーのクロックに同期して信号を送り後段の回路をチェックする。打ち上げ後開頭まではこのモードで、開頭後は Analog Cal になる。これはレジスティブアノードからの信号を擬して入力され、アンプ、割り算器のチェックを目的としていて、MCP の高圧が入るまでモニターされこの間電氣的干渉等によりノイズが入る場合はコマンドによりディスクリレベルを上げることも考えられていた。MCP の出力や他の HK 及び PM のデータは実験中にリアルタイムでマイクロコンピュータ (NEC PC-8001) にとりこまれ、CRT へ 1 秒おきにモニターされるようになっていた。また PM の Cal 信号はプリアンプへ直接階段状の信号として入力された。高インピーダンスの非密封型アンプ系であったため湿気によるゼロレベルのドリフトが懸念されこのチェックは特に重要であった。

3. 観測経過及びポインティング

打上げは、内ノ浦において 1982 年 9 月 6 日 11 h00 m00 s (JST) に行われた。打上時の方位角は 140° 、高度 80° 、発射後 246.1 秒で最高高度 237.0 km に達し、600.0 秒に着水した。なお、150 秒後の高度は 196.7 km、180 秒で 217.5 km、280 秒で 231.7 km、380 秒で 155 km、400 秒で 130 km であった。62 秒後に MCP 蓋開け及び CAL OFF、150 秒後 MCP 高圧 on、Timer 信号によりそれより 1.3 秒後観測開始、30 秒間太陽面中心附近に slit を固定して観測を行った。180 秒後より太陽面上をラスタースキャン開始、 $9.2'$ (=4 mm) の領域を往復観測し (片道 100 秒)、420 秒で観測終了した (All Motor Off のコマンドを打つ)。ラスタースキャンは、第 1 図の 4 分割検出器 (精密センサー) を光軸方向に動かす (MT₃) ことにより、入射スリットに入る太陽像の位置を順次変えた。MCP の取り込み時間は 1 秒であるから、ラスター方向の分解能は、 $5.5''$ である。

ポインティングに関する詳細は文献 [6] に記したが、我々の担当した精密ポインティングの結果を第 5 図に示す。打上げ前に心配された問題は、side jet 噴射の頻度が多いと、噴射の瞬間には精密ポインティングが追従できず、宇宙研中谷氏等のシミュレーションの結果によると全観測時間の約半分程しか欲する数秒角の追尾ができないであろうと予想された。これは、三鷹における追尾の実験で $0.1^\circ/\text{s}$ のランプ入力に対し 60 秒角 (1 s 継続) という大きな誤差を生じていたことと、他の PI の 5 m のアンテナが伸展するため噴射頻度



第5図 ポインティングの時間経過

が多くなるだろうという二つの要因が重なったためである。しかし、実際には噴射頻度は極めて少なく、かつまた噴射時の加速度も小さかったので、追尾精度は予想よりずっとよいところに収まった。ただし第5図に見られる $\pm 20''$ 程の準周期的ぶれは、主増幅器の後に安定化回路を入れてしまったために、飽和現象が起り、自励振動を生じたものと推定している。

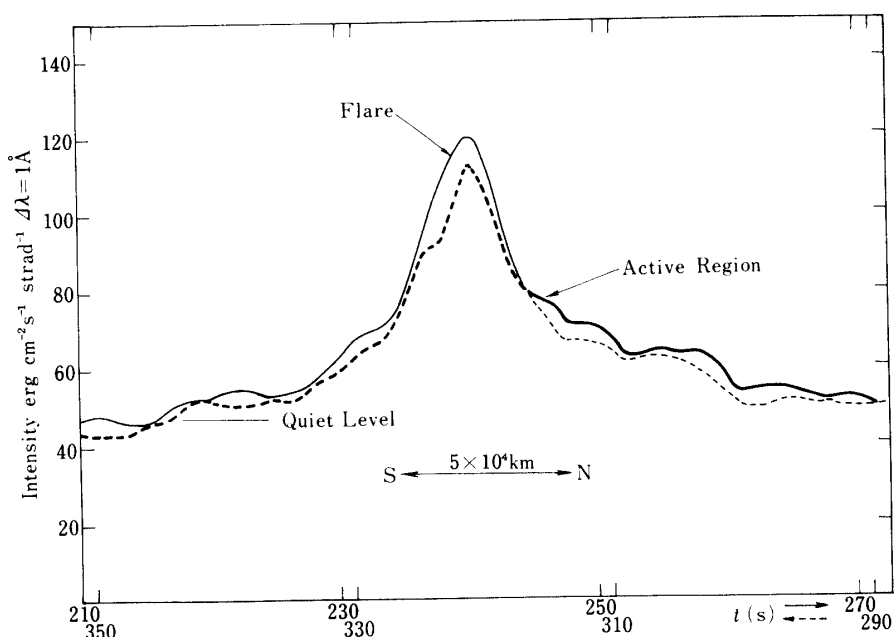
この大きな振幅を除くと、テレメトリー (16 bit) の最終ビットでできる $\pm 0.5''$ の範囲に入る時間帯が多い。かつ、1.1往復したラスタースキャンで一画像を得ることを考えると、280-380秒のうち、300秒付近のポインティングが荒れた部分(P:ピッチ側)は、250~260秒の静かな部分で補えば平均2秒角未満のポインティングの画像が得られることになる。なお図の上2つのグラフは、ボディポインティングの結果で、これもテレメトリーの最終ビットの精度 ($\pm 1.9' = 0.03^\circ$) まで追い込んでいることが分かる。

ロール軸(第1図)まわりのボディポインティングは、 $\pm 0.05^\circ$ に大部分が収まり、太陽面上の角に直して $\pm 1''$ 以内になった。また、ラスタースキャンの方向は、太陽の自転軸より 2.8° 東に傾いており、南より北へスキャンを始めた。ただし、スキャン開始の位置、すなわちポインティングの絶対精度は、予め正確に測定しておかなかったので、1~2分角の誤差を見込む必要があり、最終的には同時に地上で撮影された $H\alpha$ 画像に合うように2次元画像(東西 $14.9'$ 、南北 $9.2'$)の位置をきめた。それによれば、画面の中心(ラスター開始後50sかつ、127と128チャンネルの中間の位置)は太陽面中心より $0.9'$ 離れたところで、位置角は太陽自転軸の北極から測って 20.2° の場所にあった。

4. 観測結果(1)—— 1650 \AA 1次元スキャン

第6図に 1650 \AA による1次元ラスタースキャンの結果を示す。図の横軸は太陽面(天球

ではない) のほぼ南北方向で、かつまた打上時からの時間でもある。縦軸は太陽面上での絶対強度で、太陽赤道方向に平行な 11 分角の領域の平均値である。第 5 図で、精密ポインティングが悪いのは幸いラスター方向 (第 1 図のピッチ方向, 即ち南北方向) のみであり、ポインティングの偏差が分かっているのでその分を補正して第 6 図を作製した。第 6 図で太線はポインティングが 2 秒角以下の補正なしの場所 (ないし時間) である。特にフレア近くの元のデータはジグザグが激しいのであるが、補正後は図のようにスムーズになっている。



第 6 図 1650 Å の強度

第 6 図の Quiet Level は活動のない場所の強度で、 $47 \text{ erg} \cdot \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{sterad}^{-1} \text{Å}^{-1}$ となったが従来の値は 250-300 程度である (文献 8, 9)。集光面積・スリット幅・鏡と回折格子の反射率・光電管の量子効率・高圧の voltage のいずれか又は組合せが 5 倍強にもものぼる絶対値の狂いの原因である。このうち鏡の反射率は 82 年 3 月 (2.3%) から 8 月 18 日 (1.3%) の間に systematic に落ちており、打上げの 9 月 6 日における反射率として外挿 (対数スケールでリニア) した値 1.2% を用いることにし、かつ周辺減光の影響 (4%) を考慮しても、上記の値は 53 にしかならない。とくに副鏡には 8 月期にすでにうすいピンク色の奇妙なパターンが現れていた。しかし、後述のごとくはるか短波長の MCP もほぼ同様の光量絶対値の不足が見られたので、主たる原因は入射スリット幅が狭くなったためと推定している。

入射スリットは、第 1 図のように 45° 傾けて設置してあり、衝撃で幅が変化しないようスペーサーを入れていた。しかし、スリット自身は厚みの大きい (5 mm) ステンレス板で尖端が丸味を帯びていることも加わって、両方の刃が一平面上に無ければ、 45° 傾いているた

め実際上のスリット幅はスペーサーがあるにもかかわらず変化し得る。事実両方の刃の平面度が悪く、メーカーに再調整してもらったことがあったのである。

絶対値はこのように怪しく使えないので、以下の議論は全て相対値を用いる。即ち1650 Åの静かな領域における輝度温度を4300 K(今回の実測値は4150 K)として、第6図より活動領域は静かな領域を含む平均強度の1.4倍(面積15%)、フレアは同様に強度2.6倍(面積4.8%)と見積り、活動領域・フレアの輝度温度を求める。面積はH α のそれと同じとした。

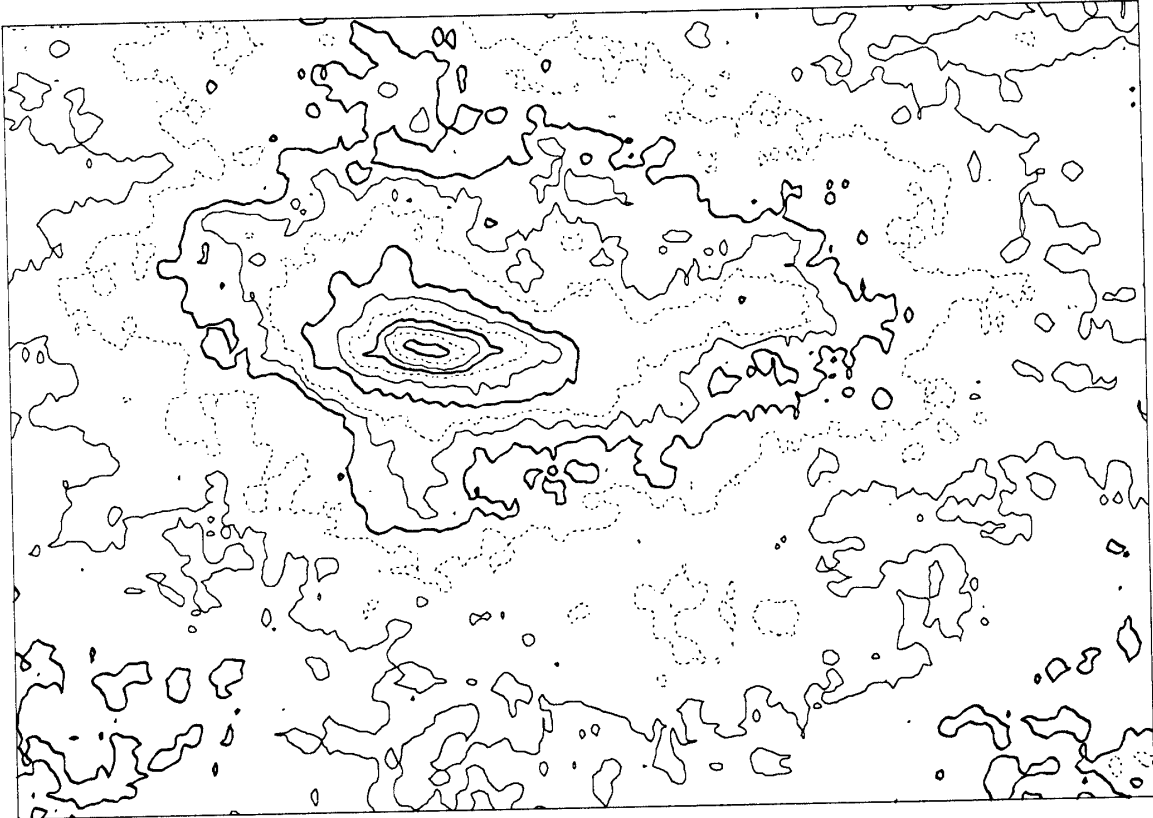
$$\left. \begin{array}{l} \text{活動領域の輝度温度 } T_A = 4400 \text{ K} \\ \text{フレア領域の輝度温度 } T_F = 5000 \text{ K} \end{array} \right\} (1650 \text{ \AA} \text{ 連続光}) \quad (1)$$

強度比は、 $I_A/I_Q=2.5$, $I_F/I_Q=27.5$ となっている。フレアのこの波長域の輝度温度は従来3例しか報告がなく、貴重な資料となった。過去の例は1973年のSkylabによるAug. 9, Sep. 5, Sep. 7のもので4800—5200 Kとなっており良い一致を示している(文献10・11)。(1)の値は、我々の観測は1650 Åではwide band(84 Å)なので、輝線の効果をSkylab dataより見積って差引いてある。

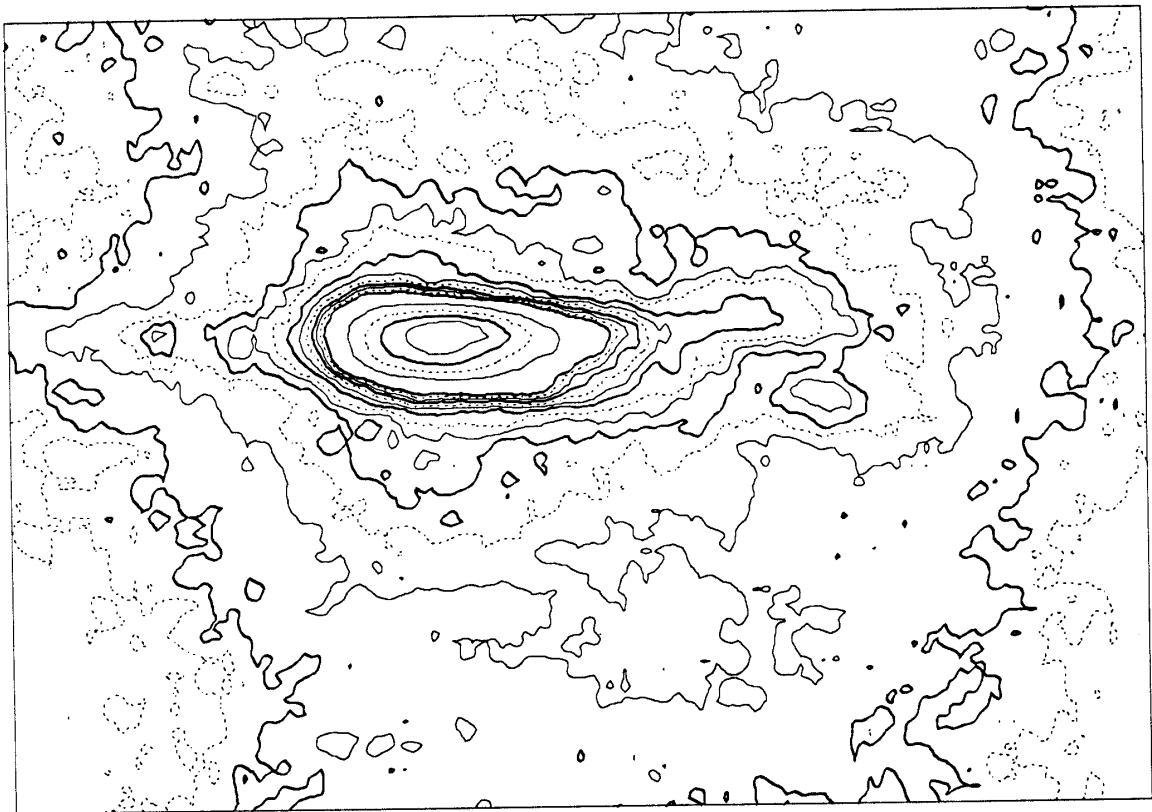
フレアは01^h52^m—02^h22^mUT(max. 01^h53^m)に発生、位置はN14°, E12°でH α クラスは1B, GOESからX-rayクラスを推定するとC3となる。最大時のH α の面積は $1.3 \times 10^{19} \text{ cm}^2$, ロケット観測時の02^h04^m—05^mには $4.0 \times 10^{18} \text{ cm}^2$ であった。これは北京天文台のH α 写真02^h00^m及び02^h07^mの二枚より見積った。1.0から9.40 GHzの μ -波はいずれも01^h49^m—53^mに極大となり02^h00^mには終っている。ただし、2.0と3.75 GHzで吸収(−4〜−5 sfu)が02^h00^mから1時間近くにわたって報告されている。

5. 観測結果(2)——EUV2次元像

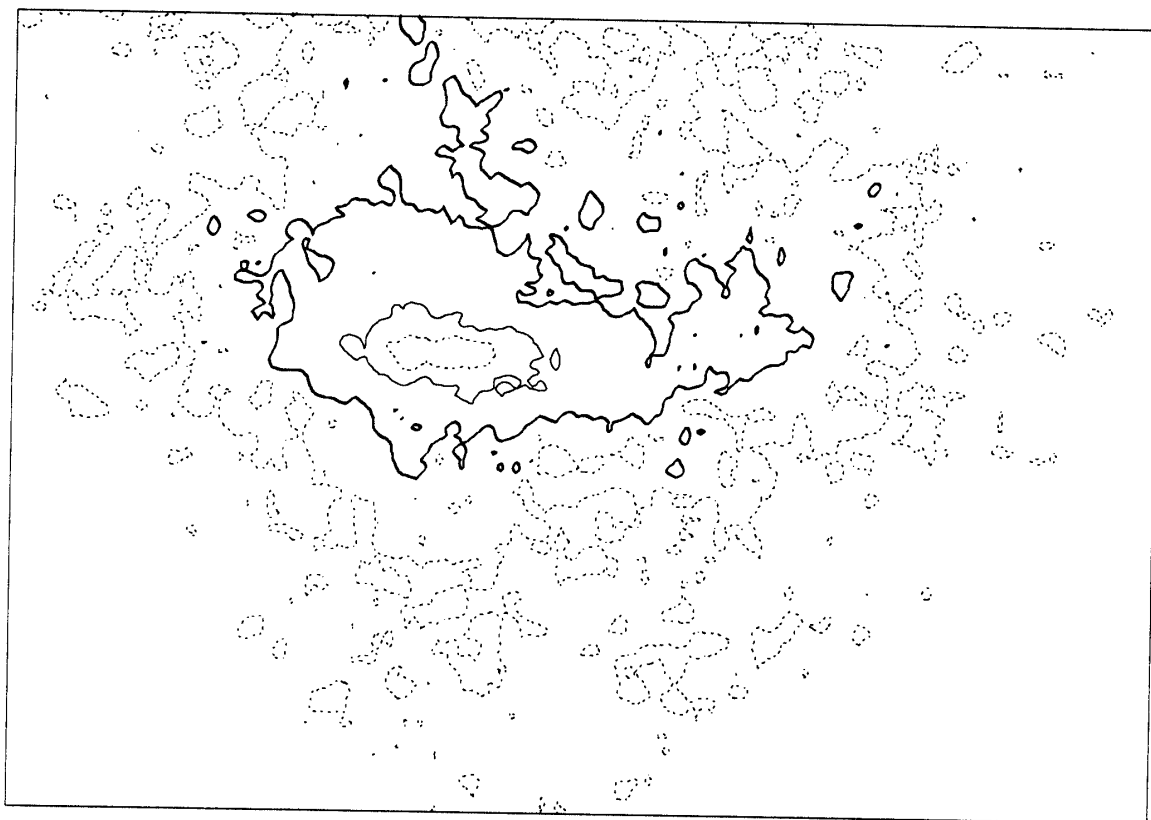
MCPによる2次元像の例を第7図(a)~(d)に示す。上が太陽自転軸の北より東に2.8°傾いた方向、左が東。縦全長は550", 横は780" (74-223の150 ch, 往復ラスターの和)。又3×3 chでならしてマップを書いている。即ち15"の分解能。生のカウント数を示し、カウントの少い方より点線, 太線, 細線をサイクルでくり返して表示。最初の点線は3, 次は5で更に3ずつ増して30からは増分は10, 100からは100おきに書いてある。中央部左寄りのフレアの最強等高線はそれぞれ100 (HILyc 880とLy β), 500(C III), 15(Ne VIII)である。この図を作るに当って次の点を考慮に入れた。第一に、MCPのX-Y軸が入口スリットに平行でなかったため、各輝線に依り例えばフレアのピークの場所が波長のほぼ1次関数の形でずれていたため、これを補正した。補正するに際しては、raster方向の全カウント数を加算したカーブを一致させるようにした。第二に、どの観測時間・波長をとってもMCPの特定のチャンネル(例えば128, 192等)にカウント数が多く現れ、その近傍のチャンネルは少く現れるという現象がみられた。これは統計的誤差をはるかに越えており、レジスティブ・アノードの電流をA-D変換する際の系統的誤差と考えられる。これを補正するのに、上記波長によるずれを考慮する前に、全ての輝線につき、かつまた、全てのラスターにつきカウント数の和を各1~256チャンネルに対してとり、それとrunning mean(21



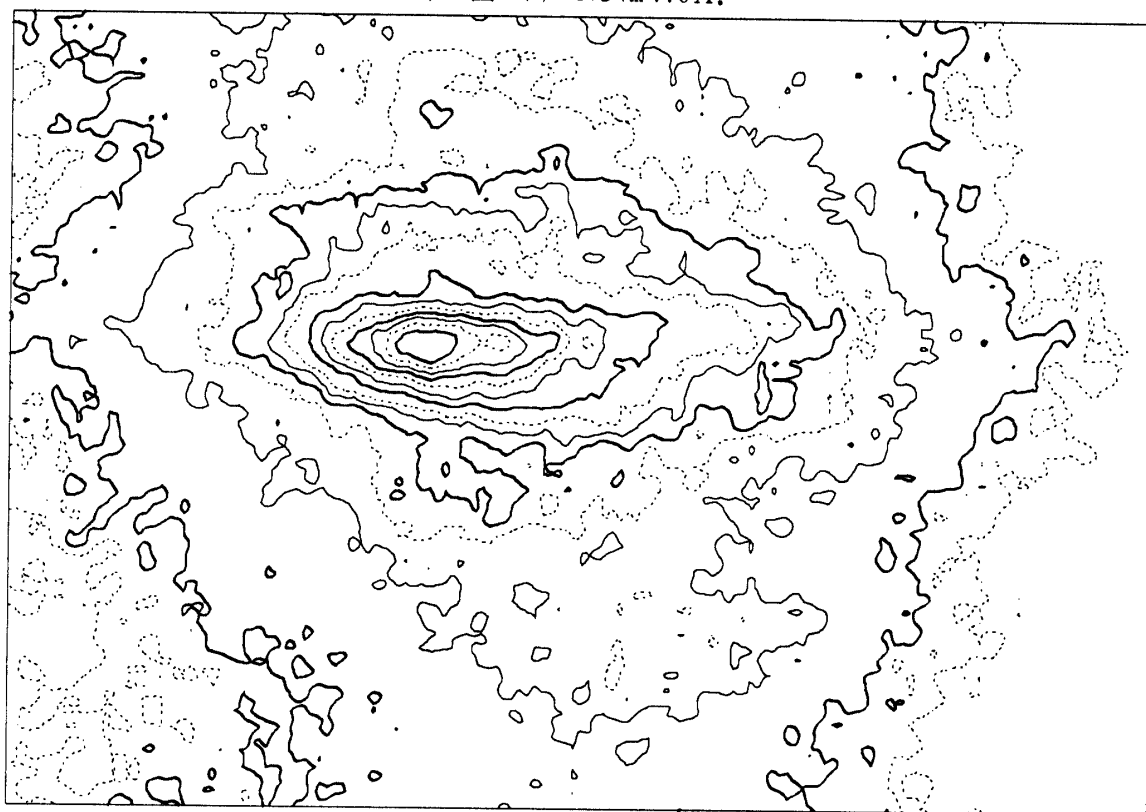
第7図 (a) HI Lyc880 Åの等強度図.



第7図 (b) C III 970 Å.



第7図 (c) Ne VIII 770 Å.



第7図 (d) HI Lyβ 1025 Å.

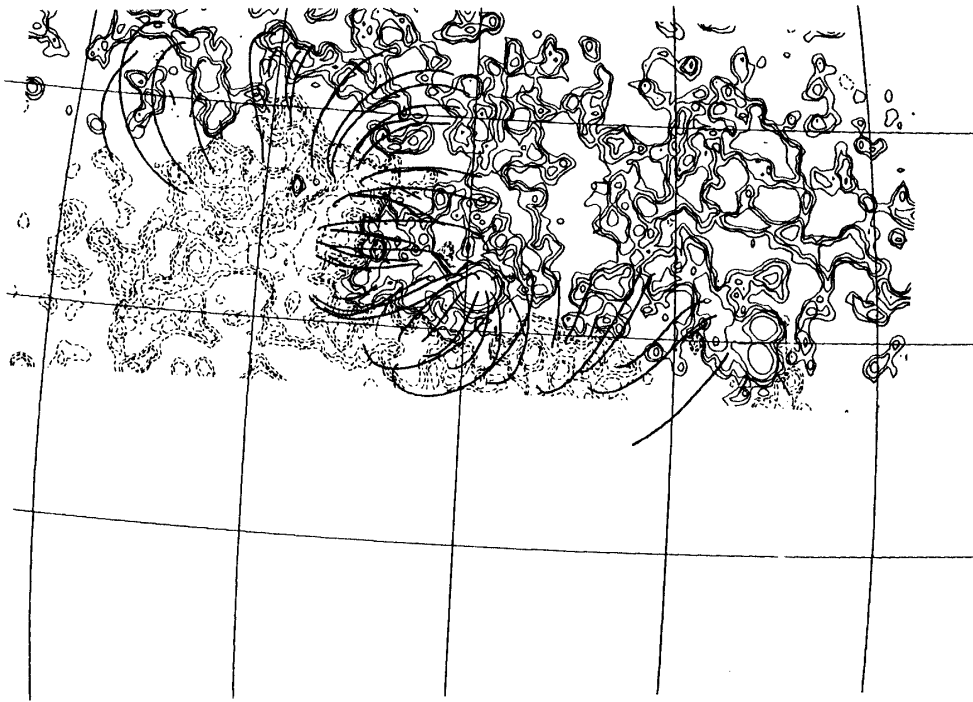
個)との比をとって、各チャンネルの補正を行った(最大400%,平均20%)。この第二の補正をしていない2次元像は文献[4]の図にみられる。本来ならば、実験室で一様光源を用いて、補正值を出すべきであるが、実験室ではカウント数が少くこれを検出するに至らなかった。ここでは一様光源の代わりに、全ラスターを加算して太陽面のローカルな影響を少くとも一方向は除去し、かつ各輝線で少しずつ異なった太陽面の場所を観測したのをやはりかまわず加算することにより、一様ではないが「ゆっくりと場所的に変る光源」を用いたことになる。

$H\alpha$ 写真(北京の02^h00^mと07^mUT)位置の照合は、 $H\alpha$ の活動領域の明るい場所・dark filament・spot(3個)を合わせるようにした。ここでの誤差は±20"程度と考えられる。以下 $H\alpha$ 写真(第8図)とマグネットグラフ(第9図、磁力線はポテンシャル場を仮定したもの)から得られたMorphologicalな結果につき述べる(第7図から第10図までは拡大率も位置も同じである。)

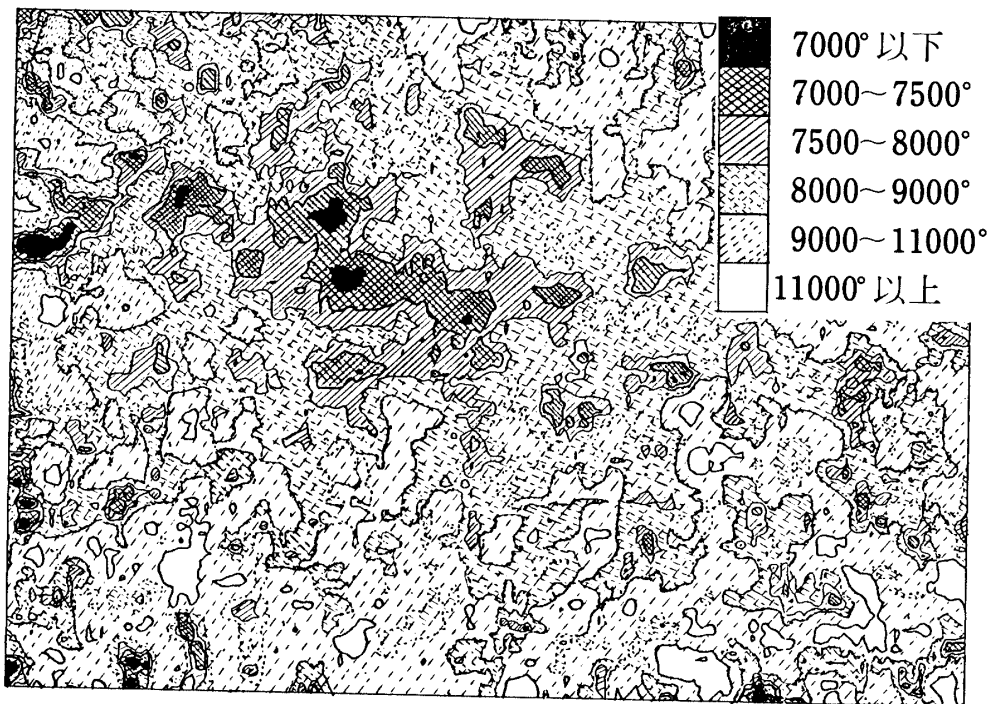
1. $H\alpha$ -フレアは磁気中性線のS側でのみ顕著に明るいのに対し、Lyc(ライマン連続光)、C III, Ne VII, Ly β では中性線をはさんで対称的に明るい。これは黒点寄りの方が磁場が強いことと関連しているかもしれない。
2. C IIIのみが他のLyc, L β , Ne VIIに比べてフレアのコアがN側にかたよっている。
3. 黒点は周囲と比べてあまり明るくない。



第8図 第7図より3分後に得られた $H\alpha$ 写真(北京天文台)。



第9図 磁場のマップ (元のデータはキットピーク天文台).



第10図 ライマン連続光の強度化から求めた色温度 (≒電子温度) 分布.

4. 暗條は $\text{Lyc } 880.0 \text{ \AA}$ でとくに暗くみえる
 5. 視線方向の磁場の強い場所は, EUV 輝線が強いが, 30 秒角未満のこまかい構造をみると必ずしも 1:1 の対応はしていない.

Lyc の強度比より色温度 (\cong 電子温度) を求めて図にしたのが第 10 図で, 5×5 channel でならしてある (即ち分解能 $\cong 30''$). ここでは, 静穏域をほぼ 9300 K になるように補正してある.

6. フレア域・活動域は温度が低く, 暗條は多少高い. 温度と強度のマップは活動域全体ではほぼ一致するものの, フレアの形は温度のマップからは明らかにならない.

今後フレア近傍をくわしく解析する他, $\text{Lyc } 733 \text{ \AA}$ 等についても吟味する予定である. またラスターの往復の和の図で議論したが, フレアの場所では行きと帰りとの差があり, 1650 \AA に見られるような decay の徴候を探ることも行う.

次に定量的な結果を記す. 第 2 表に静かな領域の平均の生のカウント数, 受光面積・量子効率・反射率・MCP 面むら (最大 15%) を考慮に入れた強度, それに活動域とフレア域の静穏域に対する強度の比を示した. 先に述べたように, 静かな領域での強度は約 5 倍足らず, 強い波長依存性がないことからスリットの幅が狭くなったと考える. 以下では, 従って静かな領域の強度を標準値 (Skylab による文献 [12] [13] の値) に合わせ, 活動域とフレアについて議論する.

まずライマン連続光より電子温度を 880 \AA と 815 \AA の強度比から求める. $I(\lambda_i) = b_i \cdot B(T_e, \lambda_i)$. ここで B は Planck 放射, $I(\lambda_i)$ は得られた各波長での強度である. 結果を, $I(\lambda_{880}) = B(T_B)$ として, 次に示す.

領域	Quiet	Active	Flare	Dark Fil.
$T_e(\text{K})$	9300	7500	7000	~(9500)
$T_B(\text{K})$	6600	6900	7300	~(6400)
b_i	1300	6	0.4	~(4000)

ここで b_i は基底単位にある原子数の, 熱平衡における原子数との比である. フレアでは電子密度が電離によって多くなった結果, 熱平衡に近づき, かつそのために深い層まで見透せることになって電子温度が低く求まると解釈される. b_i が 1 より小さくなり得るのは, すぐ上層の温度が高くその輻射により電離がきまる場合で, Dinh のモデル [文献 14] はその例であろう. 活動領域は静穏域とフレアの間にある.

次にフレアの Emission Measure ($n_e^2 L$, L は幾何学的厚み) につき簡単に述べる. GOES より soft X-ray の $n_e^2 L \times \text{面積} = 10^{47.3}$ と推定, 先きの面積より $n_e^2 L = 10^{28.7}$ と求まる. soft-X の温度を 10^7 K とすれば, フレアの decay phase には pressure balance がほぼ成立つと考えられるので, 10^7 K 領域の電子密度を仮定すれば各層での厚みが求まる. Quiet の $n_e^2 L$ を Dupree [15] で与えられるとして, Ne VIII, C III のフレア時の $n_e^2 L$ を第 2 表より推算する. 下表で [] 内は推定した量である.

	log T _e	log n _e ² L	(a)		(b)		(c)	
			log n _e	L	log n _e	L	log n _e	L
soft X	[7.0]	28.7	[9.5]	5 万 km	[10.0]	5000 km	[11.0]	50 km
Ne VIII	5.85	28.19	10.7	80 km	11.2	8 km	12.2	80 m
C III	4.95	27.79	11.6	500 m	12.1	50 m	13.1	50 cm
HILyc	3.845	—	12.7	—	13.2	—	14.2	—

ライマン連続光の電子密度が $10^{14.2} \text{cm}^{-3}$ は考えにくく、 $n_e < 10^{9.5}$ ($T \approx 10^7 \text{K}$) も小さすぎるので、(a)と(b)の間がこのフレアで実現していると考えられる。いずれにせよ C III領域の $L = 50 \sim 500 \text{m}$ は極めて小さい。

6. 結 語

極めて短期間の準備で複雑な器械を組んだにしては、うまく結果が出たというべきであろう。絶対値が5倍も狂ったのは残念であるが、フレアに遭遇したのでそれを補って余りあると考えている。主な結果として次の3点があげられる。

1. 1650 Å でフレアを捉えたこと (史上4ケ目)。
2. ライマン連続光から色温度の地図を初めて作ったこと。
3. H α 画像と極端紫外線像が著しく異なること。

第3点については、今後時間変化(2枚の画像別)をフレア近傍のみにしぼってくわしく検討したい。

次の極大期になるまでの間にもう一度観測が許されるならば、器械の全長を長くして、空間分解能を上げることが第一の課題であろう。

本稿では機器の概要および観測結果を主として記し、天文学的結果の詳細は他に発表する論文にゆずることとした。

今回のロケット観測に際して、平尾実験主任及び中谷助教授に大変お世話になった。とくに、電波の干渉及びロケット噴射による精密ガイドへの影響については、懇切なる御指導をいただいた。また、宇宙研林教授・松尾教授からも有益な御教示を受けた。ここに厚く感謝する。

望遠鏡・分光器は溝尻光学工業所 K.K.・三鷹光器 K.K. により製作され、またエレクトロニクス及び粗センサーは明星電気 K.K. により製作・テストが行われた。特に明星電気 K.K. 古賀氏・三鷹光器 K.K. の中村氏等・溝尻光学工業所 K.K. の河村氏の御尽力によるところが大きいのでここに記して感謝の意を表したい。

H α 写真は中国北京天文台より、またマグネトグラフの生のデータは米国キットピーク国立天文台より提供された。

参 考 文 献

- [1] 平山他：宇宙観測シンポジウム 昭和56年度, 390頁。
- [2] 昭和57年度第一次飛翔実験計画書 (SUV-T) 155頁 (宇宙研)。

- [3] 西 他：宇宙観測シンポジウム 昭和57年度, 360頁.
- [4] 平山他：宇宙観測シンポジウム 昭和58年度, 17頁.
- [5] 田中：文部省科学研究費報告, 00546292, 1982.
- [6] Nakatani, I. et al. : Inst. Space Astronaut. Sci. Report No. **608**, 1983.
- [7] 浜名：東京天文台報, **18**, 533頁, 1979.
- [8] Semain, D. et al. : Astron. Astrophys. **39**, 71, 1975.
- [9] Nishi, K. : Solar Phys. **33**, 23, 1973 及び **42**, 37, 1975.
- [10] Cook, J.W. and Brueckner, G.E. : Astrophys. J. **227**, 645, 1979.
- [11] Cheng, C.C. and Kjeldseth Moe, O. : Solar Phys., **59**, 361, 1978.
- [12] Reeves, E. M. et al. : Applied Optics **16**, 837, 1977.
- [13] Vernazza, J.E. et al. : Astrophys. J. Suppl **45**, 635, 1981.
- [14] Dinh, Q.V. : Publ. Astron. Soc. Japan **32**, 495, 1980.
- [15] Dupree, A.K. : Astrophys. J. **178**, 527, 1975.