

東京天文台における $H\alpha$ フレアのルーチン観測について

山口喜助

A History of Routine Observations of Solar $H\alpha$ Flares at the Tokyo Astronomical Observatory

by

Kisuke Yamaguchi

(1990年4月30日受理)

Abstract

Forty years have passed since routine observations of Solar $H\alpha$ phenomena, mainly flares, were started in 1948 at the Tokyo Astronomical Observatory. In this period, the observational instruments have changed several times. In addition the method of importance-classification of $H\alpha$ flares has been revised several times for the past few decades. These two points seem to cause us a confusion when we try to connect old flare data with new ones. Hence, this report describes in detail how the instruments and the reduction methods of the $H\alpha$ flare observations have been changed at Mitaka. Some important results obtained from our observations are also reported. Finally, we make a few suggestions on the future routine observations of $H\alpha$ flares.

1. はじめに

太陽からくる光を波長の短い方から見ると、 γ 線、硬X線、軟X線、紫外線、可視光線、赤外線そして広い波長範囲にわたる電波などがある。その中でも可視光のもたらすエネルギー量が非常に多く、我々人間にとって最も身近なものである。このように考えると、我々には可視光で見える太陽の光球、彩層、コロナについての観測が手近にあることがわかる。その可視光で見られる太陽表面のさまざまな現象には粒状斑、超粒状斑、黒点、白斑、羊斑、スピキュール、フレア、紅炎(暗条)そしてコロナなどがある。中でも対流層から上昇していく磁束管の切り口として光球面上に現れる黒点、その磁気エネルギーが粒子加速や熱エネルギーとしてコロナ(彩層)で開放されるフレア、及び低温のプラズマが水平方向の磁場によって支えられている状態を示す紅炎(暗条)などが最も顕著な現象として印象づけられる。

国立天文台では前身である東京天文台の時代から黒点、白斑、フレア、紅炎(暗条)そしてコロナのルーチン観測が現在に至るまで続けられている。このように続けられている観測も時代と共に観測の仕方が変わってきている。特に彩層におけるフレアや紅炎(暗条)などの観測は1948年から開始された実視観測が写真観測に変わり、そしてまた、まさに写真観測から CCD によるビデオ観測の画像処理や太陽全面の輝度観測などに変ろうとしている。

これまで東京天文台においてはフレア及び紅炎(暗条)のルーチン観測については具体的に報告されていない。そこで、特にフレアを中心にした実視観測から写真観測までの実際の測定方法などの基本的なルーチン観測の記録を残して新しい観測のための参考になるようにしたい。

またフレアの重要度の定義が時代と共にいろいろと変化しているので過去のデータとこれからの新しいデータとを比較するときには困難が生じる可

能性があるので、フレアの重要度を明確にしておきたい。

そしてこれまでルーチン観測によって得られた成果をまとめて、これからの新しい観測方法をどのように発展させていくかの指標として役立つようにしたい。

2. 実視観測について

最初の観測はスペクトロ・ヘリオスコープ（今後、ヘリオスコープと略記する）という装置によってできる $H\alpha$ 単色光の太陽像を眼視で観測することにより行った。この観測は1948年より1965年まで行われた。このヘリオスコープは米国の G. E. Hale¹⁾ によって考案されたもの（1924～1929）で、東京天文台（三鷹）では図1、2に示した日本光学製のヘリオスコープが1947年に設置された^{2,3)}。このヘリオスコープの原理はよく知られているが、これまで東京天文台におけるヘリオスコープについての報告がなく、当初の装置の原形はここに報告する写真のみである。

この装置は図1、2に示したような構成になっており、まず対物レンズ T（口径 13 cm, 焦点距離 5 m）で太陽像（50 mm）を第1スリット S_1 （ $l=30$ mm）上に結像させる。そして、スリットを通過した太陽光は第1凹面鏡 M_1 （鏡径 8 cm, 焦点距離 3 m）、回析格子 G（600本/mm, 67 mm \times 85 mm, 分散度 $5.4\text{\AA}/\text{mm}$ ）、第2凹面鏡 M_2 （鏡径 8 cm, 焦点距離 3 m）で反射されて、スペクトル像が第2スリット S_2 （ $l=30$ mm）上につくられる。スペクトル像上の $H\alpha$ 線の位置に第2ス

リットを置き、目の残像によって太陽面の $H\alpha$ 単色像を観測できるようにしたものである。このため第1スリットと第2スリットの前面に同軸の角柱プリズム RP（10 mm \times 10 mm \times 215 mm）を置き、高速（480回/分）で回転させる。この原理図を図3に示す。

図3に示したように、角柱の回転に対し、第1スリット上の太陽像と第2スリットを通る $H\alpha$ 太陽像の同じ場所が見える。即ち、観測する人間の眼に対し、角柱を回転することにより、相対的に太陽像を高速に左右に動かしていることになる。但し、第1スリットの直後に像反転用の梯形プリズム（TP）を使用し、角柱プリズムの回転による第2スリット上の太陽像も第1スリット前の太陽像と同じ向きの像として移動するようになっていく。このように角柱プリズムが回転することによって入射した線状の太陽の部分像を単色の像として見る事ができる。また、このヘリオスコープには現象の輝度を測定する光度測定用の平行平面ガラス（PS）と光学楔（W）や現象の視線方向の速度測定とその現象の有効線幅を測定するラインシフター（LS）そして現象の面積測定用の目盛板（レゾ）がアイピース（E）につけられている。このヘリオスコープでは、視野が狭いので実際の観測では移動ハンドルにより対物レンズを上下・左右に移動させて太陽面のいろいろの場所を観測する。シーロスタットから導かれた太陽光を赤色フィルター（RF）を通して第1スリットに入れると、その太陽面の短冊形の $H\alpha$ 単色太陽像がアイピースで見られる。その赤色の視野に明る

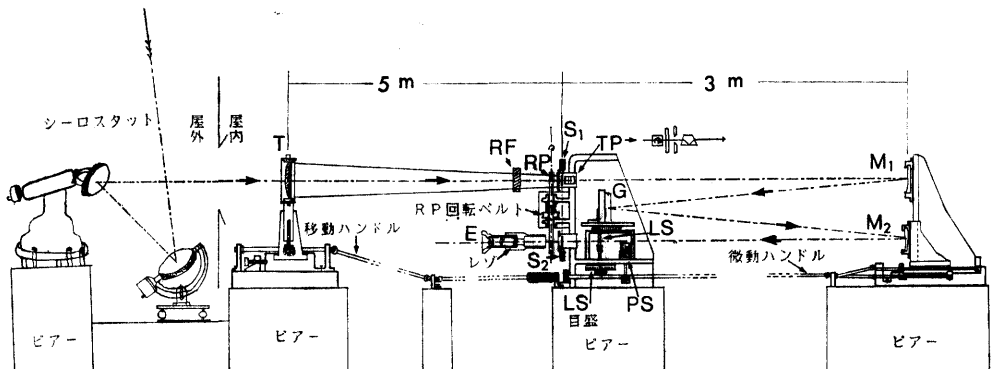


図1 東京天文台のスペクトロ・ヘリオスコープの光路図



図2 東京天文台のスペクトロ・ヘリオスコープ
(日本光学製)

い部分(羊斑)が見られ、急に白色に輝いているかのように見える時がある。これがフレアである。このフレアを発見すると、次のような操作方法によってフレアの各要素を測定する。

i) $H\alpha$ 線の波長中心強度の測定

Newton の方法^{4,5)} により、分光器の内側で第2スリットの直前に比較光源用の平行平面ガラスを入れると、視野半分に $H\alpha$ 線から 15 \AA 外れた波長の連続スペクトルが見える。そこにフレア近傍の静穏な場所を入れ、更に残り半分の視野に測定したいフレアを入れる。そしてフレア側の視野に光学楔(W)を右横からさし込んで現象の明るさを弱めて連続スペクトルの明るさ(これを単位とする)と等しくするようにしたときの、光学楔の目盛(Wr)を読み取る。図4に示したグラフから光学楔の読み取った目盛(Wr)の数値を横軸にとり、それに対応する縦軸の数値が連続スペ

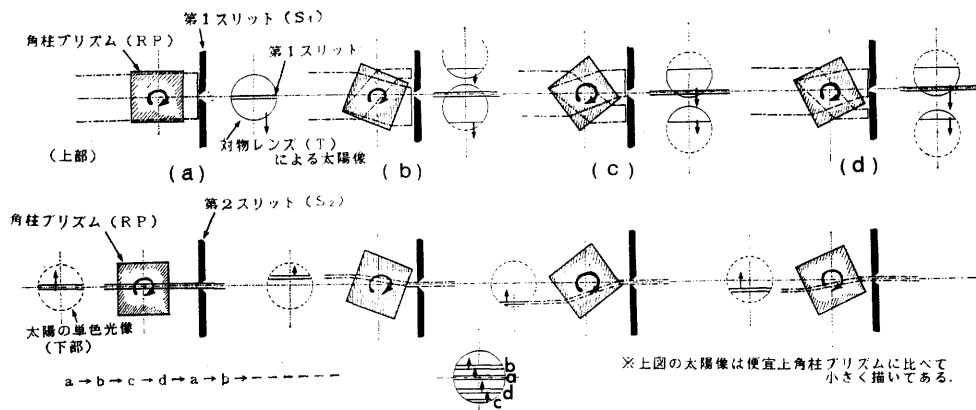


図3 角柱プリズムの回転によってできる太陽像

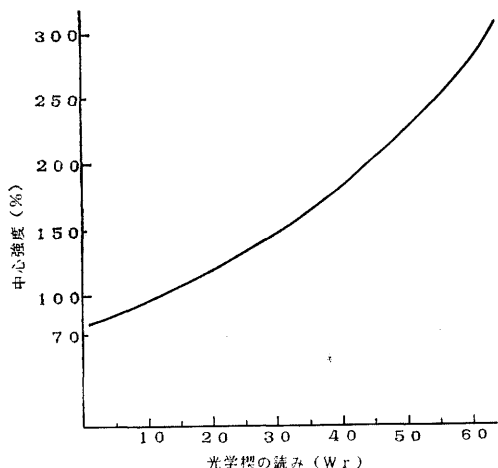


図4 フレアの中心強度を求めるグラフ

クトルを単位とするフレアの中心強度 (%) となる。

ii) ラインシフターによる測定

①フレアの有効線幅の測定

第2スリットと比較光源用の平行平面ガラスとの間に設置されたラインシフターをスリットの方
向に平行な軸のまわりに手で回転させて、 $H\alpha$
線を中心として長波長側、短波長側におけるフ
レア像を見る。そのときフレアの明るさが彩層と
同じ明るさとなって消えるときのラインシフター
の目盛を読み取る。長波長側と短波長側の読み取
った値を加えた角度 (θ) から図5のグラフを使
って波長幅を求める。これを有効線幅 (\AA) とい
う。

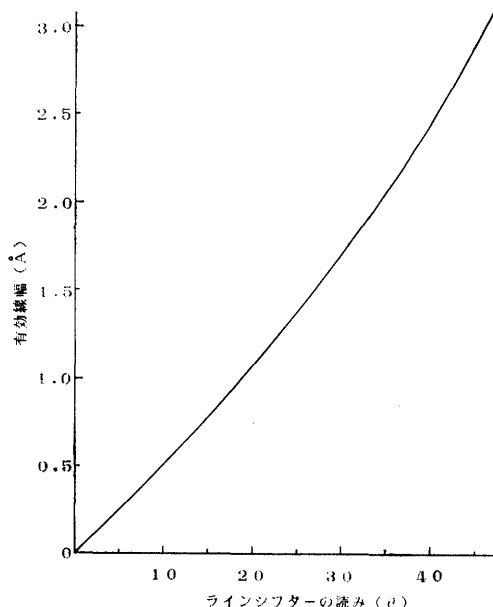


図5 有効線幅を求めるグラフ

②フレアの視線速度の測定

前述の長波長側、短波長側ともそれぞれフレア
の見えなくなるときのラインシフターの目盛から
中心波長を求め、 $H\alpha$ 線中心との差を求める。こ
の差に対応する図6の縦軸の数値が視線速度であ
る。ヘリオスコープの機能として最も特徴のある
のが、この測定である。

iii) フレアの面積測定

アイピースに内蔵された網目の硝子目盛板 (レ

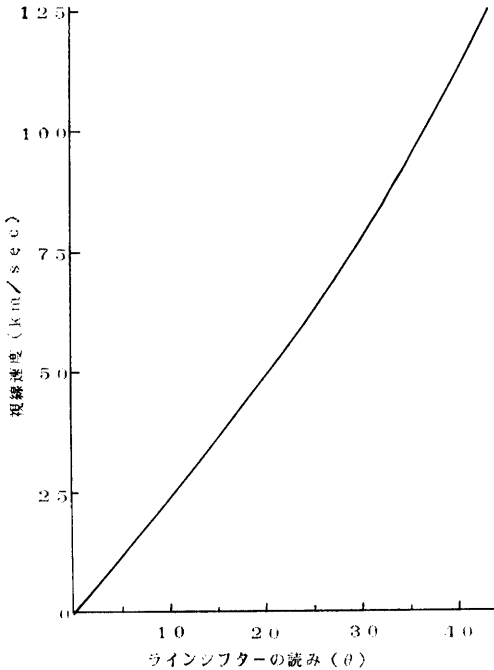


図 6 視線速度を求めるグラフ

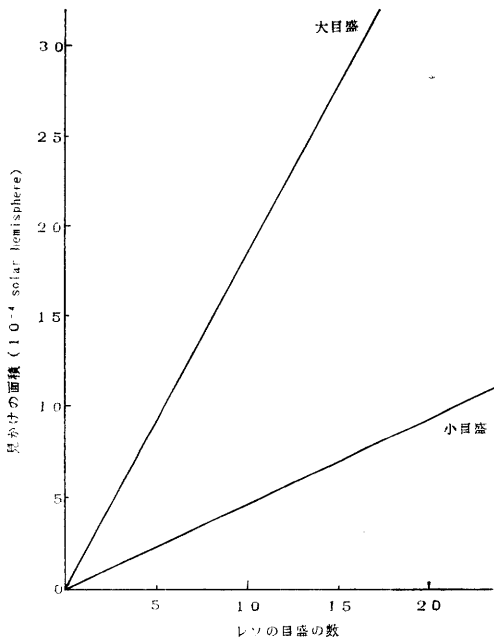


図 7 見かけの面積を求めるグラフ

によってフレアの占める 網目を数え (A_r), 図 7 の横軸にとり, それに対応する縦軸の数値が太陽の半球表面積の 10^{-4} ($3.04 \times 10^8 \text{ km}^2$) を単

位とする見かけの面積となる。

iv) 紅炎や暗条の観測

紅炎や暗条は観測開始直後に見えている太陽全面の現象を描写したスケッチ (絵) と比べて形が変化しているかどうかを知ることができる。またラインシフターを絶えず作動させて視線方向の運動を調べる。暗条と黒点の判別はラインシフターを回転させて消えるものが暗条であり、消えないものが黒点である。

また、積田・水垣 (1953)⁶⁾ が報告しているフレアに附随する暗条や山口 (喜)・日江井 (1970)⁷⁾ が報告した暗条の突然消滅の現象などは、このラインシフターの測定によって上昇速度を求めると、三次元的な速度の構造がわかる。

以上のような一連の操作方法によってフレアや他の現象の各要素の測定を敏速に行う。この各要素の測定値を総合してフレアの重要度が決められる。この重要度については報告の仕方が時代と共に変わっているので後章で述べる。

なお、このようにして得られた資料 (生データ) は太陽全面の $H\alpha$ 線実視観測で得られたフレア、プラージュ、紅炎を赤鉛筆、暗条を青鉛筆、黒点を黒鉛筆で描いてある。またフレア (Er), 紅炎 (Pr), 暗条 (Df) については光学楔の読み値 (W_r), 面積の升目の数 (A_r), ラインシフターの測定値 ($^{\circ} \sim o.p \sim ^{\circ}$) などが記入されており、1948年6月6日~1967年6月1日の期間に得られたスケッチが保存されている。

このヘリオスコープの観測は今まで述べてきたように、次章のリオフィルターによる写真観測に比べて選んだ単色光波長の純度は高いが、各要素の測定が全く同時にできず、一つの測定に少なくとも数10秒かかり、記録まで含めると約1.5分くらいとなる。したがって急激に変化する現象であればあるほど、変化を追っていけないという欠点がある。この欠点を補うのが写真観測である。

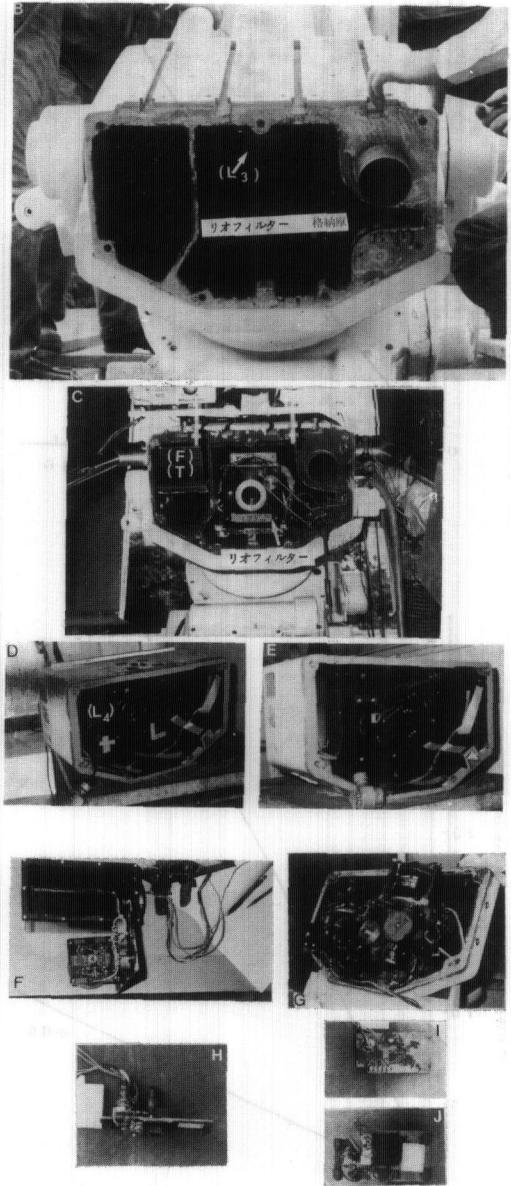
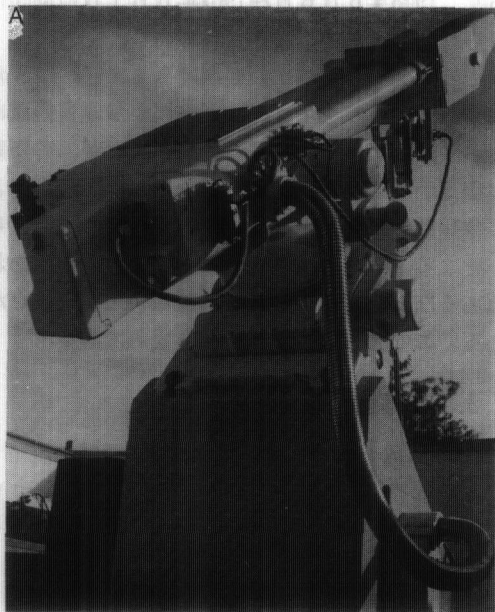
3. 写真観測について

$H\alpha$ 単色太陽写真儀は1957年に設置されてフレアの位置、形状、輝度などを逐次測定している⁸⁾。東京天文台では1964年1月~1965年12月までの期間において、ヘリオスコープの眼視観測と並行して $H\alpha$ 単色太陽写真儀による補助観測を

行い、また1966年1月～1967年5月までの期間においてはH α 単色太陽写真儀による観測を主とし、それと並行してヘリオスコープの補助観測を行い、それ以後はH α 単色太陽写真儀^{8,9)}によるルーチン観測に移行した。このH α 単色太陽写真儀は図8, 9に示したように、口径14cm、焦点距離140cm、SECASI(フランス)製の望遠鏡で、透過幅0.75ÅのOPLリオフィルターを装着しており、現在も活動している。また、このH α 単色太陽写真儀は1957～1958年の国際地球観測年(I.G.Y.)において国際的に共同観測を実施するに当り、SECASI社により製作された同じ望遠鏡の7台のうちの1台である。

主望遠鏡を太陽の方に向けてセットすると、ガイド望遠鏡が作動し、自動的に太陽の中心を向くようになっている。主対物レンズL₁(口径14cm、焦点距離140cm)に入射した太陽光は途中で像を結び、そしてコリメーターレンズ(L₃)によって平行光になり、透過幅0.75Åの複屈折干渉フィルター(OPL製リオフィルター)を通り、L₄で結像される。直径14mmのH α 単色太陽像が100ftの35mmフィルムに連続的、且つ自動的に撮影される。撮影される間隔は15秒、30秒、そして60秒おきのいずれかを選択できるよう

になっている。また露出は光電管を使用して像の濃さが一定になるように制御されている。シャッターは、60秒おきに撮影したとしても1年間には18万回も動かさなければならず、丈夫で信頼性の



A: 本体の外観, B: 解体している時の一場面, C: OPL リオフィルターの出射光側の断面, D: 結像レンズ, E: H α 単色光をビデオカメラに分ける半透過鏡, F: ガイド望遠鏡の光電管, G: H α 単色太陽写真儀のカメラ部分(シャッターはコパル EF 313 を装着している) H~J: コパル EF 313 シャッター。

図8 H α 単色太陽写真儀(SECASI 社製)

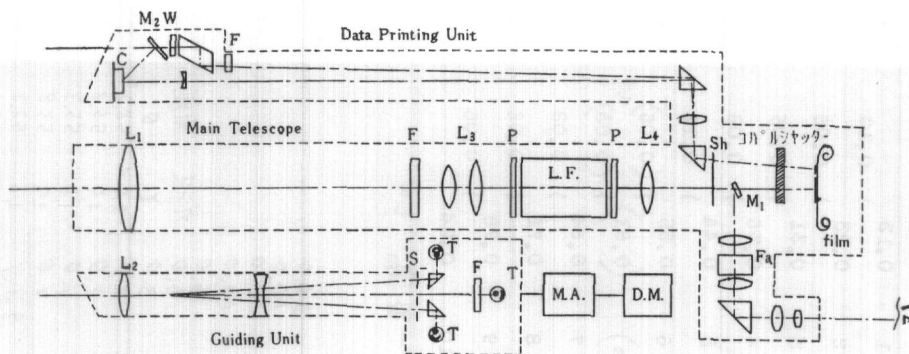


図 9 $H\alpha$ 単色太陽写真儀の光路図⁹⁾

ある機構を用いなければならない。ここではシャッター (Sh) は扇形をした厚み 0.5 mm のアルミ板の中央を四角 (40 mm×50 mm) にくり抜いたものであり、ギロチン式に光軸に垂直に振りおろされる。このシャッター速度は 0.3 秒かかり、ASA 感度の低いフィルム (例えば、富士ミニコビーフィルム=表 2 参照) などを選ばなければならなかった。また日付板、観測時計 (C) そして光学楔 (W) などが組み込まれていて太陽像の同一フィルム上に同一露出で撮り込まれるようになっている。なお、10 駒目毎に 5 倍から 8 倍の長時間露光をして太陽の緑現象 (紅炎) の撮影を行っている。撮影されたフィルムは自動現像機により直ちに現像される。フレア現象の検出は各駒を丹念にルーペで見ることにより行われる。当初のフィルムではフレアの極大輝度が saturate しないようにするために、太陽中心の濃度は 0.5~0.55 に抑えられた。したがってフレアの検出は容易にできるが、その反面活動領域の微細構造の様子が薄く撮っている結果となり、活動領域の観測には物足りなさを感じる。現在では SO 392 フィルム (表 2 参照) を使用し始めた時から太陽中心の濃度を 0.8~0.85 くらいに上げて活動領域の微細構造をもよく見ることができるようになっている。

次にルーチン観測におけるフレアの検出、測定方法について述べる。

i) ライフ・タイムの決定

輝き始めた (フィルム上では黒みが増し始める) 時をフレアの発生時刻とし、そして極大輝度 (フ

ィルム上では黒みが saturate に近い濃度になる) に達してやがて元の明るさ (フィルム上では元の黒み) に戻った時をフレアの終りとする。発生時刻の決定精度は ± 60 秒であるが、フレアの終りは決定しづらく、 ± 5 分の範囲でしか決められない。

ii) 極大輝度の測定

フィルム上で黒みが saturate に近い濃度を呈しているフレームをマイクロ・ホットメーター (NLM-III, ナルミ社製) によってフィルム上の濃度を測定する。

①測定するフレームに焼き込まれている 10 段階の光学楔 (図 10(a)) の濃度を測定して特性曲線 (図 10(b) の γ) を描き、

②フレアの附近の静穏な場所 A (図 10(a)) の濃度 (A) を測定し、

③フレアの最も明るい場所 B (図 10(a)) の濃度 (B) を測定する。

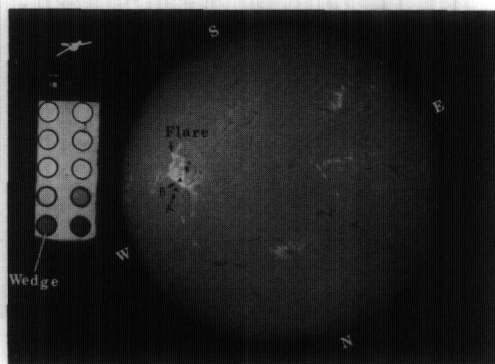


図 10(a) 1968年10月30日 24^h13^m UT の観測¹⁰⁾

35

Flare

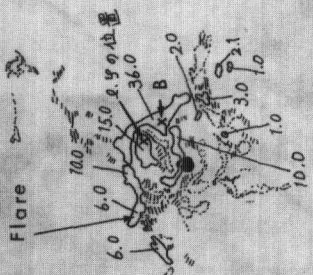
Date Oct. 30, '68 No. 367-2 Film No. 5768

Observed Time (U.T.)		Time of Max. Phase (U.T.)		Position (Heliographic)		Importance	Nature and Completeness
Beginning	Ending	h	m	Latitude	Long. diff. from C.M.		
2340	2535	2413	2413	14S	37W	4b	C

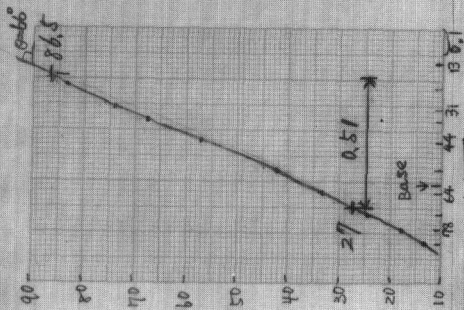
Oct. 31, 0840 1035 0913 (J.S.T) ↑ Wedge 6枚階

Measured Elements of Importance				Nearest Sunspot (Gr. No.)	r/R _⊙
Time of meas. (U.T.)	Max. Area	Corr. Max. Area	Max. Line Width		
2413	2030	27.9	(3.2)	459H	0.66
					0.01312

Remarks
 1. 2. 3. 4. 5.
 ⑥ 7. ⑧ 9. 10.
 11. ②⑥

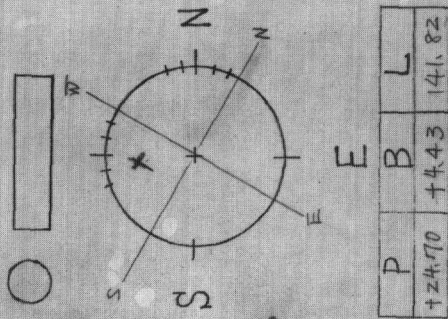


計 92.1



No.	Wedge	角度
No. 1	0.13	0.10
No. 2	0.23	0.08
No. 3	0.31	0.05
No. 4	0.36	0.08
No. 5	0.44	0.11
No. 6	0.55	(0.06) off
(Base)	(0.61)	(0.03) off
No. 7	0.64	0.08
No. 8	0.72	0.06
No. 9	0.78	0.06
No. 10	0.84	0.06

フィルムで一番薄いもの



ガンダ	角度
Y	0
2.0 ←	58.2
1.9	56.8
1.8	55.3
1.7	53.8
1.6	52.2
1.5	50.4
92.1	

図 10(b) 1968年10月30日24^h13^m UT に測定したフレア・カード (東京天文台)

表 1 レゾの升目数に対する換算表

レゾ	10 ⁻⁶ ☉	レゾ	10 ⁻⁶ ☉	レゾ	10 ⁻⁶ ☉
0.2- 0.6	10	4.4- 4.7	100	49.6-50.0	1100
0.7- 1.1	20	8.9- 9.2	200	54.1-54.5	1200
1.2- 1.5	30	13.4-13.8	300	58.7-59.0	1300
1.6- 2.0	40	17.9-18.3	400	63.2-63.5	1400
2.1- 2.4	50	22.5-22.8	500	67.7-68.1	1500
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

④その値から、フレア近傍の静穏領域の輝度を単位としたフレアの極大輝度 [Maximum Intensity] (図 10(b)) を求める。そしてその時を極大輝度の時刻として公表する。

⑤なお、太陽の半径を R 、フレアの位置を太陽面の中心から r として、 $r/R=0.95\sim 1.0$ に起こったフレアについては、上に述べた静穏な場所 (A) を、すべて $r/R=0.95$ の位置の静穏な場所に置き替えて同じように極大輝度を求める。もしフレアの輝度が $r/R=0.95$ の位置の明るさより小さい場合はフレアとして認めない。

iii) 位置測定

望遠鏡の駆動を一時止めて太陽像を二重撮りしてフィルム上で見かけの南北方向を求め、北極方位角 P および日面中央緯度 B_0 の補正をして太陽の南北軸、赤道および中央子午線を決める。太陽の南北軸の決定精度は $\pm 0.5^\circ$ 以下である。フレアの位置としてその重心の位置が中央子午線からの経度、赤道からの緯度として測定される。更に太陽面中心からの位置 r 、半径 R に対する比、 $r/R=\sin \theta$ からフレア位置の太陽中心角 θ を算出する。

iv) 面積測定

極大輝度の時のフレア面積を測定する。フレアは数個所が明るくなるので、これらの面積の和をとる。実際には黒点のルーチン観測で得たスケッチのサイズに一致させるため、太陽像を投影機で直径 240 mm に拡大して測定する。測定精度は ± 0.11 である。

①フレア・カード (図 10(b)) にフレアの形を画く。更にプラージュを赤、暗条を青鉛筆で、黒点を黒鉛筆で画く。

②このカード上で面積を測る (1 mm² のレゾの

升目を数える)。

③太陽全面の面積の 10^{-6} ($6.08 \times 10^6 \text{ km}^2$) を単位とした見かけの面積 (Apparent Area) を算出する (レゾの升目の換算表 (表 1) を用い、太陽面の面積の 10^{-6} を単位とする)。

④面積の補正方法

太陽面の中心以外の位置では、フレアは小さく見えるので次の式によって補正する。(太陽面中心における面積を (角度)² の単位にするため 97 で割る。1 sq. degree at center of disk = 97 millionths of the disk.)

$$\text{Corrected Area (sq. deg.)}$$

$$= \text{Apparent Area} \times \sec \theta / 97$$

なお、1971年~1974年にかけて H α 単色太陽写真儀の修理改造が行われ、その間水平望遠鏡 (乗鞍コロナ観測所で使用していた旧紅炎早取装置) にてルーチン観測を続行した。その詳細を列記する。

- 1971. 10. 13 H α 単色太陽写真儀, 修理改造のため解体 (三鷹光機)。
- 10. 15 水平望遠鏡 (口径 13 cm, 焦点距離 250 cm, Halle 社製リオフィルター透過幅 0.5 Å) にシネカメラ及びニコン F カメラを用いてルーチンの写真観測を続行する。
- 1972. 4. 3 H α 単色太陽写真儀の点検終了, レンズ取付。
- 9. 30 H α 単色太陽写真儀一連のテスト終了。
- 10. 9 H α 単色太陽写真儀 OPL 製リオフィルター透過幅 0.75 Å 修理のため取りはずす。
- 1973. 8. 18 H α 単色太陽写真儀に Halle 製リオ

表 2 今まで撮影されたフィルムの名称

名 称	サイ ズ	会 社 名	使用年月日	備 考
ミニコピー	35 mm, 100 ft	富士フィルム社	1957 Oct. ~	マイクロフェイルフィルム(コダック社)に類似している。
H α フィルム	" "	"	1965 Oct. ~	ミニコピーフィルムに H α 線で最も感度があるように改良したもの。
4E	" "	コダック社	1971 Oct. ~	水平望遠鏡にて使用。
SO 392	" "	"	1973 Jan. ~	水平望遠鏡でも使用。
2568	" "	"	1977 Nov. ~	
SO 115	" "	"	1978 Jul. ~	
2415	" "	"	1980 Dec. ~	SO 115 の名称変更。
	" 150 ft			

フィルター透過幅 0.5 Å を組み込んで観測を行う。

12. 11 H α 単色太陽写真儀の扇形をしたシャッター (Sh) をコパルスクウェア EF 313 シャッターに切り換えて観測を行う⁸⁵⁾。

1974. 2. 10 扇形をしたシャッターの露出は、3/10 秒くらいだったが、コパル EF 313 シャッターの露出は約 1/125 秒になった。したがって使用するフィルム (SO392=表 2 参照) の感度が非常に良いので、H α 単色太陽写真儀の対物レンズの口径 14 cm を 10 cm に絞って観測を行う。

3. 29 Halle 製リオフィルター透過幅 0.5 Å から本来の OPL 製リオフィルター透過幅 0.75 Å に交換してテストを行う。

4. 30 水平望遠鏡による観測を本来の H α 単色太陽写真儀のルーチン観測⁸⁵⁾に移行する。

なお1981年4月3日からフィルムによる撮影と同時にビデオ観測が開始された。リオフィルターを通過した H α 単色光の一部を半透過鏡により望遠鏡の外にセットしたテレビカメラに導き、ビデオ録画と同時にモニターで太陽面を常時観測することができる。このビデオ録画によって1984年4月25日に起こった白色光フレアに伴ったモールド

ン波の伝播を観測することができた^{28, 30, 32)}。

このようにして撮影されたフィルムは表 2 に示した各種フィルムを使用しており、1957年10月から現在までの資料 (生データ) として保存されている。

また表 2 の各フィルムにおける H α 単色太陽像の感度テストの結果は適正露光時間が次のとおりである。

- ①1971年12月 水平望遠鏡 (Halle 製リオフィルター, 透過幅 0.5 Å, ニコン F カメラ) にてミニコピー (フジ) disk 現象 1~2 または 3 秒 (limb 現象 15~20秒)
- | | | | |
|------------|--------|---|-------------|
| H α | (フジ) | " | 1/15, 1/30秒 |
| | (" | " | 1/2, 1/4秒) |
| 4E | (コダック) | " | 1/250秒 |
| | (" | " | 1/8, 1/15秒) |

コピナール現象液 20°C 現象時間10分

- ②1972年9月 水平望遠鏡 (Halle 製リオフィルター, 透過幅 0.5 Å, ニコン F カメラ) にてミニコピー (フジ) disk 現象 2~4秒
- | | | | |
|------------|--------|---|--------------|
| H α | (フジ) | " | 1/15秒 |
| 4E | (コダック) | " | 1/125秒 |
| SO 392 | (コダック) | " | 1/125~1/250秒 |

コピナール現象液 20°C 現象時間 8 分

なお、2568, SO 115, 2415 フィルムは SO 392 フィルムにほぼ類似した感度をもっている。

そして撮影されたフィルムから測定された結果がフレア・カード (1966年1月~現在まで) 及び

表 3 観測装置と観測方法の時間経過

時間経過	望遠鏡の種類	単色装置	受光装置	時間分解能
1948年6月～1967年5月	シーロスタット	ヘリオスコープ (分光器)	眼視	約 1.5 分
1957年10月～1965年12月 研究用	赤道儀	リオフィルター	フィルム撮影	15秒
1966年1月～現在 ルーチン用			フィルム撮影	NEC VC 9507 0.033～0.52秒
1981年4月～			フィルム撮影と同時に ビデオ(映像, 録画)	日立 VT-L24 0.017～0.2 秒
将来	"	"	CCD+パソコン	

プロミネンス・カード(1966年1月～1978年4月)として保存されている。

以上これまで述べてきた実視観測から写真観測までの観測装置と観測方法を時間経過に従って簡単に表3にまとめてみた。

4. フレアの重要度について

フレアのデータが世界的に公表されるようになったのは1934年4月に観測されたフレアからである。このときの重要度の決め方は Bulletin for Character Figures of Solar Phenomena(I.A.U., vol. 26, 1934)¹³⁾に記載されている。1は明るさ(Intensité)の弱いフレア(Eruption), 3は非常に強いフレアとして、1～3の階級によってフレアを分類している。その翌年の1935年7月(Bulletin. I.A.U., vol. 31, 1935)から重要度(Importance)の1～3の階級に変わり、更に1～3の階級に加えて1⁺, 2⁻, 2⁺, 3⁻, 3⁺, そして1→2→1(1936 Oct./Dec.～1956 Jan./Mar.), 1.5および2.5(1937 Jan./Mar.～1939 Oct./Dec.)が報告されている。このように調べてみると、I.G.Y. 以前は国際的に決定された重要度(Importance)ではなく、各観測者の経験に基づき、最も小さなフレア《points brillants》を1, 最も大きくて最も輝度のあるものを3とした基本的な型を決めて、それに明るさや有効線幅などによって1⁺, 2⁻, 2⁺, 3⁻, 3⁺を加えて報告されている。

I.G.Y. Manual¹⁸⁾によると、1955年のI.A.U.の会議(ダブリン)でEllisonのリーダーシップにより新しい決まりが表4のように決定され、これ

に1⁺, 2⁻, 2⁺, 3⁻が加えられてI.G.Y.の共同観測の成果が報告されている。しかしながらImportance 1⁻のフレアは1963年1月から記載されている。なおフレアの面積は極大輝度の時刻における視半球の10⁻⁶かsquare degrees(1 square degree at the center of the disk=48.5 millionths of the disk)で表示するように決められた。

そしてI.Q.S.Y.の共同観測を始めるに当たりハンブルグで行われた1964年のI.A.U. Commission 10(Solar Activity)¹⁴⁾にて、1966年1月1日から報告されるフレア(太陽面中心から $\theta=65^\circ$,

表 4 H α Flare classification¹³⁾

Importance class		Corrected area	
Subflares	1-	100 mill.	2.06 sq. degrees
Flares	1	100-250	2.06- 5.15
Flares	2	250-600	5.15-12.4
Flares	3	600-1200	12.4 -24.7
Flares	3+	1200	24.7

表 5 H α Flare classification¹⁴⁾

Summary of Recommended Dual Importance Classification			
"Corrected" Area in Square Dgrees	Relative Intensity Evaluation		
	Faint(f)	Normal(n)	Brilliant(b)
≤2.0	Sf	Sn	Sb
2.1- 5.1	1f	1n	1b
5.2-12.4	2f	2n	2b
12.5-24.7	3f	3n	3b
>24.7	4f	4n	4b

表 6 Limb Flare Importance のリミット¹⁵⁾

Suggested relationship between measured area and importance for limb flares						
Angle θ	0°	65°	70°	80°	90°
Limit S-1	200	sec θ law	90	75	50	45
Limit 1-2	500	sec θ law	280	240	180	170
Limit 2-3	1200	sec θ law	600	500	350	300°

$r/R=0.90$) 以内に位置する) の Importance が表 5 のように決定されて現在に至っている。

なお、太陽面中心から $\theta=65^\circ\sim 90^\circ$ ($r/R=0.91\sim 1.0$) に位置するフレアについては表 6 に示した見かけの面積のリミットを規定して Importance が決定された¹⁵⁾。

フレアの重要度については Waldmeier (1938)¹⁶⁾, Giovanelli (1940)¹⁷⁾, Ellison (1949)¹⁸⁾, Bruzek (1951)¹⁹⁾, 宮沢・東 (1953)²⁰⁾, Öhman (1957)¹⁸⁾, Smith and Smith (1963)²¹⁾, Tsumita et al. (1962)²²⁾, Warwick (1962)²³⁾, Hamana and Suzuki (1966)⁹⁾, Dodson and Hedeman (1975)³⁹⁾ などの研究発表がなされており、最近ではフレアの観測は可視光だけでなく、X線などの観測からもフレアの種類がされるようになった²⁴⁾。そのX線の観測による分類を表 7 に示す。この Hard X-ray flare classification は Tanaka (1983) によって分類された^{24, 88)}。

また、他に Dodson and Hedman (1971, 1975) が “Comprehensive Flare Index (CFI)” を発表している³⁹⁾。この CFI は次の要素の指数を加算して決定している。

$$(CFI) = A + B + C + D + E$$

表 7-1 Soft X-ray flare classification²⁴⁾ (The SESC X-ray classification)⁸⁷⁾

Classification	Peak Flux Range (1-8 Angstroms)	
	mks system (Wm^{-2})	cgs system ($erg\ cm^{-2}\ s^{-1}$)
A	$\phi < 10^{-7}$	$\phi < 10^{-4}$
B	$10^{-7} \leq \phi < 10^{-6}$	$10^{-4} \leq \phi < 10^{-3}$
C	$10^{-6} \leq \phi < 10^{-5}$	$10^{-3} \leq \phi < 10^{-2}$
M	$10^{-5} \leq \phi < 10^{-4}$	$10^{-2} \leq \phi < 10^{-1}$
X	$10^{-4} \leq \phi$	$10^{-1} \leq \phi$

表 7-2 硬X線フレアの種類²⁴⁾

- A型: 3~5千万度の超高温プラズマが、ゆっくり変動するX線を放射する熱的フレア。X線源はコンパクトで高度も低い。
- B型: バースト状の激しく変動するX線を放射するフレア。X線源は $10^4\ km$ 以上の長い、歪んだ磁気ループの中にある。
- C型: ゆっくり変動する、硬いスペクトルのX線を放射するフレア。X線源は $3 \times 10^4\ km$ くらいの高い高度にあり、スペクトルが時間とともに硬くなって行く。
- B, C型は一般に非熱的X線源であると考えられる。

- A: Importance of ionizing radiation as indicated by time-associated Short Wave Fade or Sudden Ionospheric Disturbance; (Scale 1-3).
- B: Importance of $H\alpha$ flare; (Scale 1-3 : 0 = Sub, 3 = Stands for classes 3 and 4).
- C: Magnitude of $\sim 10\ cm$ flux; (Characteristic of log of flux in units of $10^{-22}\ Wm^{-2}\ Hz^{-1}$).
- D: Dynamic spectrum; (Type II = 1, Continuum = 2, Type IV with duration > 10 minutes = 3).
- E: Magnitude of $\sim 200\ MHz$ flux; (Characteristic of log of flux in units of $10^{-22}\ Wm^{-2}\ Hz^{-1}$).

地球上に最も影響を及ぼし易いフレアについては、むしろ CFI による総合的な見方の方がよいのかもしれない。

以上のようなフレアのルーチン観測の世界的な流れの中で、東京天文台の観測結果が報告されるようになったのは1949年1月からである²⁵⁾。この報告されている内容が時代と共に変わっているので、その形式を表 8 にまとめる。

このように東京天文台でのヘリオスコープの観測におけるフレアの重要度は1957年6月までは Ellison (1947)¹⁸⁾ が分類した面積区分に準じ、それに $H\alpha$ 線中心強度を加味した方法で決められていたが (宮沢・東 (1953)²⁰⁾, Tsumita et al. (1962)²²⁾, 1957年7月からは図 11 に示すように I. G. Y. の規定¹⁸⁾による面積に $H\alpha$ 中心強度を考慮したものを用いた。

表 8 東京天文台における報告形式

	Importance	Area		Intensity	Line width	実視 $\text{\textcircled{V}}$ 写真 $\text{\textcircled{C}}$
		Apparent	Corrected			
1949 Jan. ~	1, 2, 3 1 \rightarrow 2 \rightarrow 1	×	×	×	×	$\text{\textcircled{V}}$
1950 Jan. ~	1, 2, 3 1 $^-, 1^+, 2^-, 2^+, 3^-, 3^+$ 1 \rightarrow 2 \rightarrow 1	×	×	×	×	$\text{\textcircled{V}}$
1952 Apr. ~	"	10 $^{-4}$ $\text{\textcircled{C}}$ (Solar hemi.)	×	(% of Continuous Spectrum)	Å	$\text{\textcircled{V}}$
1952 Oct. ~	"	10 $^{-6}$ $\text{\textcircled{C}}$ (Solar hemi.)	×	"	"	$\text{\textcircled{V}}$
1953 Jan. ~	1, 2, 3 1 $^-, 1^+, 2^-, 2^+, 3^-, 3^+$	10 $^{-4}$ $\text{\textcircled{C}}$ (Solar hemi.)	×	"	"	$\text{\textcircled{V}}$
1957 Jul. ~	1 $^-, 1, 2, 3, 3^+$ 1 $^+, 2^+$	×	10 $^{-4}$ (Solar hemi.) (I. A. U., Q. B で は sq. deg. に 換算されている)	"	"	$\text{\textcircled{V}}$
1960 Jan. ~	"	Max. Area sq. deg. (Solar hemi.)	Max. Area sq. deg.	Max. Intensity (%)	Max. Line width (Å)	$\text{\textcircled{V}}$ C
1964 Jan. ~	"	Meas. Area sq. deg. (Solar hemi.)	Corr. Area sq. deg.	Intensity (%)	Line width (Å)	$\text{\textcircled{V}}$ C
1966 Jan. ~	area S, 1, 2, 3, 4 明るさ f, n, b	10 $^{-6}$ $\text{\textcircled{C}}$ (Solar disk)	"	1.0 を単位にして	×	$\text{\textcircled{C}}$ V
1968 Jan. ~	" ↓	" ↓	" ↓	×	×	$\text{\textcircled{C}}$ ↓

Importance の欄で各行の最上段の数字が基本の階級である。

この図は縦軸に H α 線中心強度，横軸に面積区分 (I.G.Y. の規定)¹³⁾を示した。

更に，I.A.U. におけるフレアの分類形式¹⁴⁾が 1966年1月1日から変わったが，東京天文台においては時を同じくして，ヘリオスコープによる実視観測から H α 単色太陽写真機による写真観測に移行されたのは好都合であった。図 12 は1966年1月1日から実施された東京天文台における写真観測によるフレアの分類である (Hamana and Suzuki (1967))¹⁵⁾。併せて表 9 は1966年1月1日から東京天文台で同じく実施された写真観測によるフレア近傍の静穏領域の明るさを単位としたフ

レアの輝度を表したもので，フレアの分類の第2要素である輝度の区分を示す。この輝度の区分は1966年から1967年12月まで行った輝度の測定の経験に基づいて視覚により決めている。

なお，太陽面中心から $\theta=65^\circ\sim 90^\circ$ ($r/R=0.91\sim 1.0$) に位置しているフレアの分類は Warwick (1962)²³⁾ などの統計的研究による I.A.U. の規定^{14, 15)}に基づいて，東京天文台では図13に示したフレアの重要度を決めている。

この図は横軸に $r/R=0.91\sim 1.0$ をとり，その位置における見かけの面積に対する重要度を決定している。図中点線は1966年1月~1972年2月

まで、実線は1972年3月から現在まで用いられている。

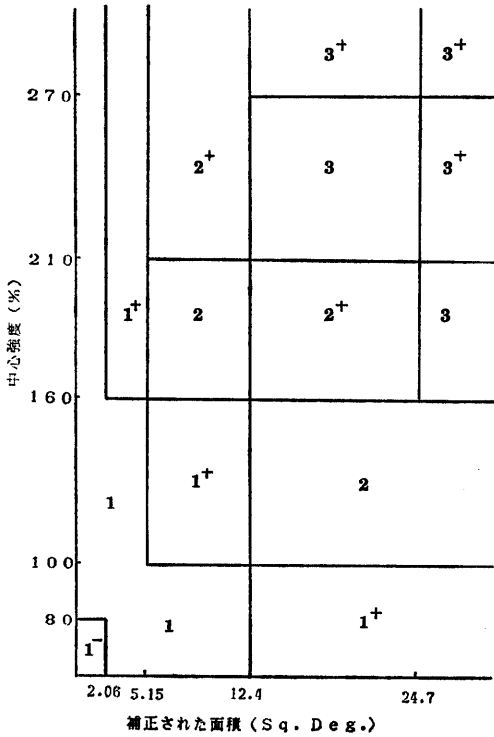


図 11 1957年7月から使用された東京天文台における重要度の判定図

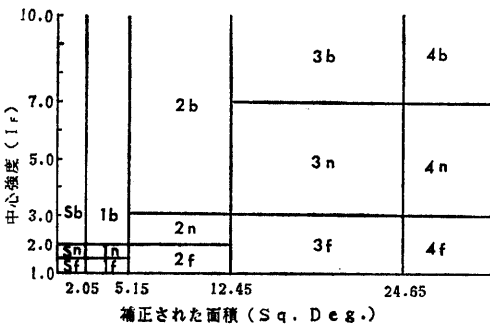


図 12 1966年から実施された重要度の判定図

表 9 輝度による重要度区分

	f	n	b
S	1.0—1.3	1.4—1.9	2.0 ≧
1	1.0—1.3	1.4—1.9	2.0 ≧
2	1.0—1.9	2.0—3.0	3.1 ≧
3	1.0—3.0	3.1—6.9	7.0 ≧
4	1.0—3.0	3.1—6.9	7.0 ≧

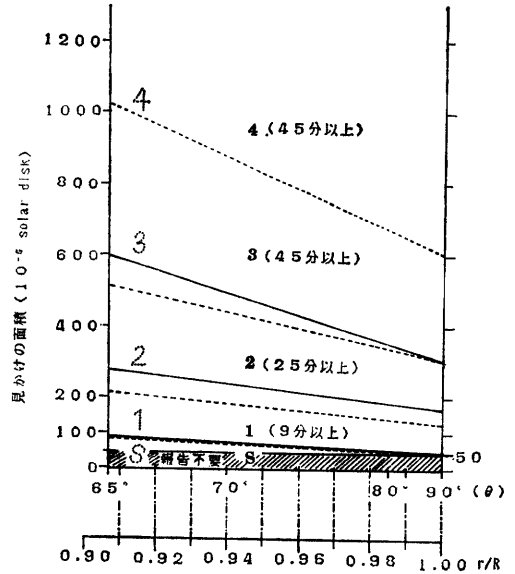


図 13 太陽面中心から $\theta=65^\circ\sim 90^\circ$ ($r/R=0.91\sim 1.0$)に位置するフレアの重要度の判定図
破線：1966年5月から使用
実線：1972年3月から使用

6. 観測の成果

図14は東京天文台で観測されたフレアの数と黒点相対数¹²⁾(12カ月移動平均値)を示したものである。フレアの数には各年毎の合計を7月の位置にプロットした。

フレアの頻度分布は黒点相対数の形とよく似ていることがわかる。しかし黒点相対数は第20太陽周期(110.6)より第21太陽周期(164.5)の方がはるかに大きいのに、観測されたフレアの数には逆に第21太陽周期の方が少い。これは1978年5月から東京天文台において観測されたフレアは、見かけの面積が 99×10^{-8} Solar disk 以下のものは報告を省略したことによる。重要度2以上のフレア数は図14で示すように少いのは、活発な活動領域の巡り合せによるものがあるようである。重要度2以上のフレアは第19～第21太陽周期においては第19太陽周期に最も多く観測された。また、重要度3以上のフレアは1957年：8個、1958年：5個、1959年：4個、1967年：4個、1982年：4個、1989年：4個、他に1956年、1960年、1968年、1969年、1980年の各年に2個ずつ、そして1949年、1951年、1952年、1966年、1970年～1972年、

1978年, 1979年, 1981年, 1983年, 1984年の各年に1個ずつ観測されている. このように重要度3のフレアの頻度を見ても, 第19太陽周期の活発さを見ることができる.

また東京天文台における成果の1つとして第21太陽周期の中で, 類似点と相違点をもった特徴の

ある2つの重要度3のフレア(図15)が観測されたので簡単に付記する.

まず1つのフレアは1984年4月24~25日のモールトン波を伴った白色光フレアであり(名取²⁸⁾, 宮沢・山口(喜)²⁹⁾, Hiei et al.³⁰⁾, 山口(喜)³¹⁾, 日江井³²⁾) もう1つのフレアは1982年9月4日の

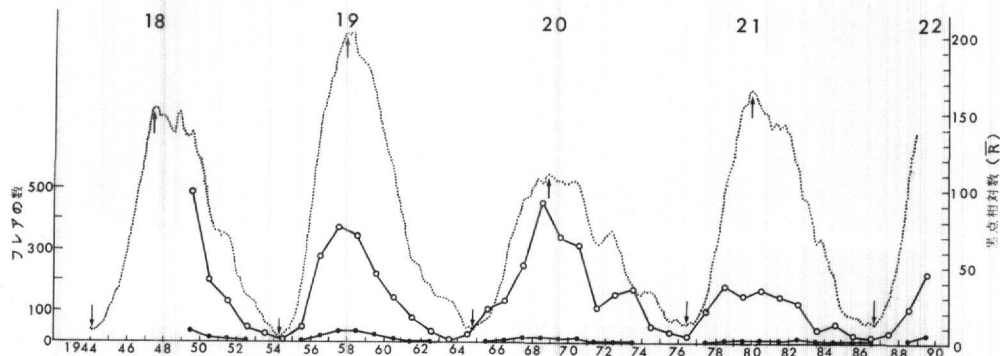


図 14 フレアの頻度分布と黒点相対数
 点線: 黒点相対数 (\bar{R}), ○印: 観測された全フレアの数, ●印: 観測された重要度2以上のフレアの数

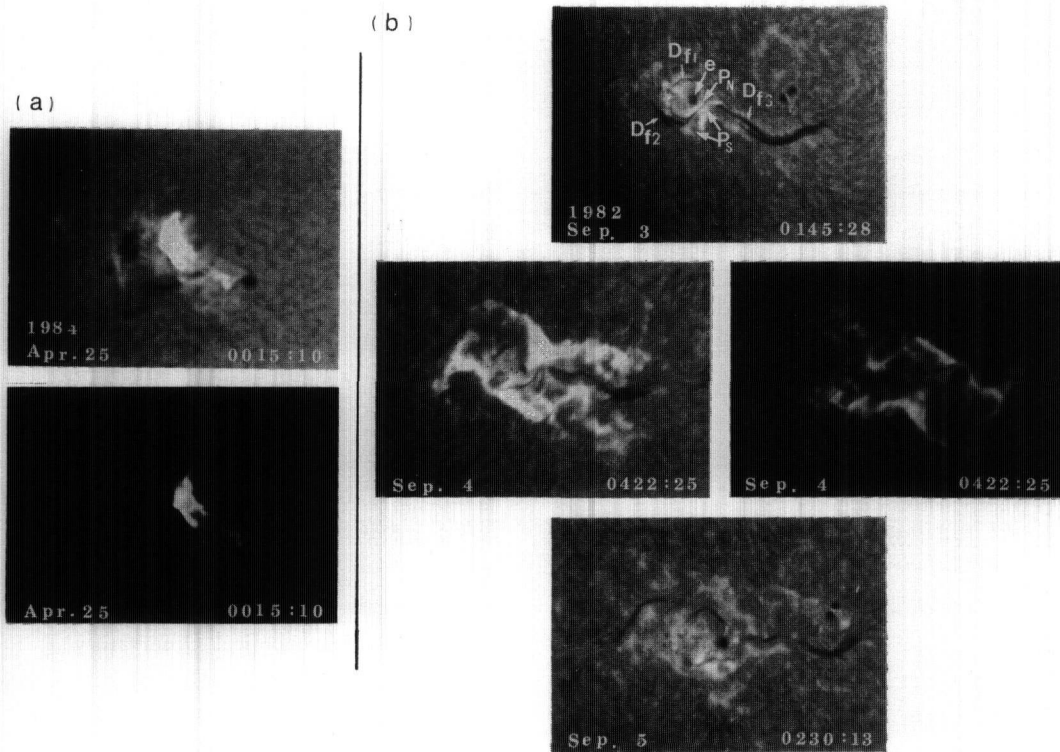


図 15 特徴のあるフレア (a) 白色光フレア (1984年4月25日) (b) ポスト・フレア ループプロミネンスの見られた3N フレア (1982年9月4日) フレアの発生場所(プラージュ P_N, P_S の位置) フィラメント・エラプション (暗条 D_{f1}, D_{f2}, D_{f3})

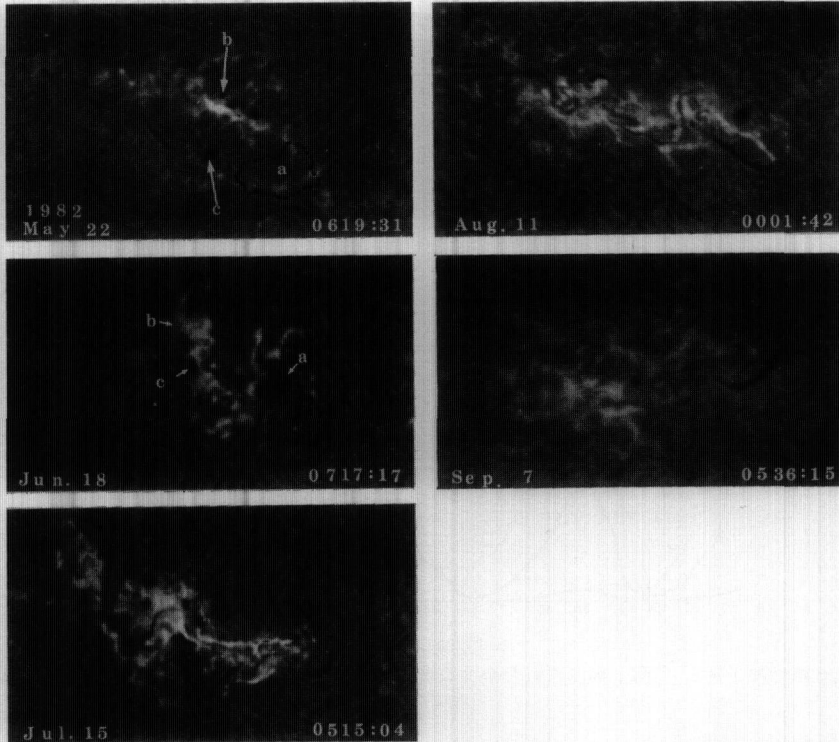


図 16 ポスト・フレア ループ・プロミネンスの見られたフレアを起こした活動領域の変遷 (活動領域が中央子午線附近にあって、各キャリントン周期におけるほぼ同じ経度上に位置するフィルターグラム)

ポスト・フレア ループ・プロミネンス (post-flare loop prominence) が見られた重要度 3N のフレアである (Morishita^{33, 34})。

1984年4月25日の白色光フレアは山口 (喜) (1988)³¹が報告しているように、活動領域の絶頂期 (δ 型, FKI型が連日続く) で磁気中性線が非常に長く水平方向の磁力線がポテンシャル磁場から非常にずれて、ほぼ中性線と平行に近いまでになる磁気シアを更に進める向きに逆転運動があった時に起こった。一方1982年9月4日のフレアは図16に示したように Emerging Flux Region (a) が現れた活動領域のN極とS極がじかに接している磁気中性線が非常に長く、磁気シアの頻度が高い時が2キャリントン周期も続き、 δ 型および、FKC, FKI または EKC, EKI のいずれかの型が連日続いた絶頂期 (第21太陽周期の中で最大、もちろん重要度3のフレアが2周期とも起こっている) を過ぎてからの衰退期に、しかも δ 型でない時に起こっている。このフレア (図15(b) P_N, P_S

の位置) と同時にフィラメント・エラプション (図15(b) D_{F1}, D_{F2}, D_{F3}) が発生した。このように絶頂期に起こった白色光フレア (モールトン波を伴った) とポスト・フレア プロミネンスの見られたフレア (フィラメント・エラプションが同時に発生) も観測することができた。

このように δ 型および FKI, FKC, EKI, EKC のいずれかの型が連日続く時は観測体制をより強化することが必要であるかも知れない。

最後に、これまで述べてきた観測によって得た現象が公表されているので、その出版物を付記しておく。

- (a) Bulletin of Solar Phenomena²⁵⁾ (国内) (Tokyo Astronomical Observatory) 1949 Jan.~Mar., vol. 1, No. 1 ~ 1970 Oct.~Dec., vol. 22, No. 4.
- (b) Monthly Bulletin on Solar Phenomena²⁶⁾ (国内) (Tokyo Astronomical Observatory) (National Astronomical Observatory)

1971 Jan. ~現在まで.

(c) Quarterly Bulletin on Solar Activity¹²⁾

[I.A.U.] (国外, 国内)

1949 Jan. ~Mar., vol. 85 ~ 現在まで.

(d) Solar-Geophysical Data²⁷⁾ (国外)

1956, CRPL-F 139 (1956, 2月から) ~現在まで.

(e) 写真集

① H α Photographs of Major Solar Flares
1958~1968

② IASY Report on Solar Phenomena in
1969

③ IASY Report on Solar Phenomena in
1970

④ IASY Report on Solar Phenomena in
1971

⑤ Report on Solar Phenomena 1972~1974
が刊行されている.

7. ま と め

東京天文台では1948年からスペクトロ・ヘリオスコープによる実視観測が開始され, 1966年からH α 単色太陽写真儀による写真観測に移行されて現在に至っているが, 今まさに, CCDによるビデオ観測の画像処理や太陽全面輝度などによるルーチン観測に変わろうとしている. 絶え間ないルーチン観測を根底に置いて1957—1958年国際地球観測年 (I. G. Y.), 国際協同地球観測年 (I. G. C., 1959), 1964—1965年太陽活動極小期国際観測年 (I. Q. S. Y.), 1969—1971年太陽活動期国際観測年 (I. A. S. Y.), 1976—1979年国際磁気圏観測年 (I. M. S.) などの幾多の共同観測に参加してかねの三脚としての重責を担ってきた.

そこで過去の東京天文台で実際にどのような手順でもってルーチン観測が行われたのかを理解できるように, その観測史と手順そして重要度や結果報告の移り変りを記述した.

更に, 東京天文台のルーチン観測の成果を見ると, 第18~第21太陽周期において, これまで史上最大である第19太陽周期に最も多くのフレアが観測されていることがわかり, 重要度3のフレアでも活動領域の絶頂期に起こるものや衰退期に起こったものがあり, これらのフレアを観測すること

ができた.

最後に, 磁場分類が δ 型, McIntosh分類がFKI, FKC, EKI, EKCのいずれかあるいはこれらの混合した型が連日続く時には観測体制をより強化したいものだと思う.

本稿をまとめるにあたり終始御指導いただいた日江井栄二郎教授と桜井隆・末松芳法両博士に厚く御礼申し上げます. 本稿はスペクトロ・ヘリオスコープおよびH α 単色太陽写真儀において長期間観測を続けてこられた諸先輩や同僚の方々の資料によるものであり深く感謝します. さらに, 観測器機の修理や改造などに絶えず御尽力下さった実験工場の方々に深く感謝します.

参 考 文 献

- 1) Hale, G.E.: 1929, *Astrophys. J.*, **70**, 265.
- 2) 野附誠夫: 1957, “太陽”, 恒星社, p. 160.
- 3) 長沢進午: 1957, 天文月報, **50**, 53.
- 4) Woolley, R. v. d. R., and Newton, H.W.: 1935, *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, **96**, 5.
- 5) Newton, H.W.: 1939, *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, **99**, 463.
- 6) 積田寿久, 水垣和夫: 1953, 爆発現象に附随する暗条の視線速度について, 東京天文台報, **10**, 241.
- 7) 山口喜助, 日江井栄二郎: 1990, 暗条の突然消滅について, 国立天文台報, **1**, 1.
- 8) 野附誠夫: 1955, H α による彩層爆発現象の連続撮影による研究, 文部省科学研究費機関研究報告, p. 23.
- 9) Hamana, S., Suzuki, T.: 1967, *Tokyo Astron. Bull.*, 2nd Ser., No. 174, 2109.
- 10) Yajima, S., Mizugaki, K., and Yamaguchi, K.: 1969, *Tokyo Astron. Bull.*, 2nd Ser., No. 197, 2283.
- 11) *Bulletin for Character Figures of Solar Phenomena* (IAU): 1934, vol. 26~1938, No. 44.
- 12) *Quarterly Bulletin of Solar Activity* (IAU): 1939, No. 45~1990.
- 13) Öhman, Y.: 1957, in “*Instruction Manual Solar Activity (IGY)*”, p. 17, 25.
- 14) I.A.U., Commission 10 (Solar activity): 1965, in “*H α Flare classification*”.
- 15) World Data Center A: 1965, in “*Amendments*”.

- to *IQSY Instruction Manual for Solar Activity (Solar Flares in H α)*”, p. 2.
- 16) Waldmeier, M.: 1938, *Z. Astrophys.* **16**, 276.
 - 17) Giovanelli, R.G.: 1940, *Astrophys. J.*, **91**, 334.
 - 18) Ellison, M. A.: 1949, *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, **109**, 3.
 - 19) Bruzek, A.: 1951, *Z. Astrophys.* **28**, 277.
 - 20) 宮沢正英, 東 康一: 1953, 太陽面爆発現象の重要度について, 東京天文台報, **10**, 238.
 - 21) Smith, H.J., and Smith, E. v. p.: 1963, in “*Solar Flares*”, eds. H.J. Smith and E. v. p. Smith, Macmillan New York, p. 45.
 - 22) Tsumita, T., Mizugaki, K., Suzuki, T.: 1962, *Tokyo Astron. Bull., 2nd Ser.*, No. **151**, 1973.
 - 23) Warwick, C.S.: 1962, in “*National Bureau of Standard List of IGY Flares with Normalized values of Importance and Area*”, *IGY Solar Activity Report Series*, No. **17**, IGY World Data Center A.
 - 24) Tandberg-Hanssen, E., and Emslie, A. G.: 1988, in “*The Physics of Solar Flares*”, Cambridge Univ. Press, p. 4.
 - 25) Tokyo Astronomical Observatory: 1949~1970, *Bulletin of Solar Phenomena*, vol. **1**, No. **1**~vol. **22**, No. **4**.
 - 26) Tokyo Astronomical Observatory: 1971~1990, *Monthly Bulletin on Solar Phenomena*.
 - 27) Solar-Geophysical Data: 1956, CRPL-F **139**~1990.
 - 28) 名取 正: 1985, 1984年4月25日の白色光フレア 東京天文台報, **20**, 471.
 - 29) 宮沢正英, 山口喜助: 1987, 1984年4月25日の白色光フレアとモールトン波, 東京天文台報, **21**, 101.
 - 30) Hiei, E., Natori, T., Miyazawa, M., Yamaguchi, K., and Irie, M.: 1987, *World Data Center A for Solar-Terrestrial Physics Report UAG-96*, eds. H.E. Coffey and J. H. Allen (World Data Center A), p. 4.
 - 31) 山口喜助: 1988, 白色光フレアを起こした活動領域の変遷, 東京天文台報, **21**, 280.
 - 32) 日江井栄二郎: 1990, “1990年代初頭の太陽観測”, 太陽研究会集録, 国立天文台, 桜井 隆, 末松芳法編集, p. 13.
 - 33) Morishita, H.: 1985, *Tokyo Astron. Bull., 2nd Ser.*, No. **272**, 3123.
 - 34) Morishita, H.: 1987, “*Selected Solar H α Photographs*”, *Tokyo Astronomical Observatory*, p. **32**, **44**, 45.
 - 35) 浜名茂男, 矢島昭一: 1974, モノクロマティック・ヘリオグラフの改善について, 東京天文台報, **17**, 292.
 - 36) Solar-Geophysical Data: 1982, No. **459**, Part **1**, p. 48, 50.
 - 37) Space Environment Services Center (Boulder): 1989, *Descriptive Text (Contents of Preliminary Report and Forecast of Solar Geophysical Data*, 11, July, 1989), p. 3.
 - 38) Tanaka, K.: 1983, In *Activity in Red-Dwarf Stars*, Proc. IAU Colloquium 71 eds. Byrne, P. B. and Rodono, M., p. 307, Reidel, Dordrecht.
 - 39) Dodson, H.W., and Hedeman, E.R.: 1975, *World Data Center A for Solar-Terrestrial Physics Report UAG-52*, eds. H.W. Dodson and E.R. Hedeman (World Data Center A).