

飛驒天文台のドームレス太陽望遠鏡

川 口 市 郎*

飛驒天文台のドームレス太陽望遠鏡 (DST) を他機関の太陽の観測的研究者にも開放してから約1年が経過した。この1年間は天文台の研究者もできる限り観測したことは勿論である。実際この1年間、学会とか太陽研究会のあったほんの数日を除いて、太陽のでている限りはDSTは太陽をむき、常に誰かが観測していた。そして今迄日本では到底達しえなかった高分解映像が次々と現実のものとなった。それらの映像を御披露しながら1年間にまとめてみたい。

太陽観測の研究的性格を大きくわけると2種類存在するように思える。1つはスタンフォード大学の行っている恒星としての太陽観測である。これは幾何学的分解能はせいぜい1'のオーダーにおさえて、太陽の磁場強度とか視線速度について、太陽面上の広い面積にわたる平均値を非常に高い精度で求めるにある。スタンフォード大学の場合、磁場であれば0.01G、速度であれば0.01 km/secあるいはそれ以下の精度で求めうる。観測結果を簡約して太陽面磁場と地球軌道付近の惑星間空間の磁場の対応を明らかにするなどに偉力を発揮しているし、また太陽自体についても、太陽面をとりまくグローバルな電流系を求めたり、視線速度の測定から、太陽面では南北両半球とも赤道から極方向に0.02 km/secの一般環流を発見したという。まことにめざましい活躍である。

サクラメントピーク天文台やピック・デュ・ミディ天文台では昔からシーイングが良いことで有名である。前者においては太陽フィリグリーの発見や、また後者においては粒状斑の微細構造やその時間的変化など、いづれも幾何学的分解能が0.3またはそれ以下でないと到達しえない研究である。このように高い幾何学的分解能を用いることにより、太陽磁場構造の基礎的特性とか、太陽活動現象のメカニズムの解明などに大きな貢献をしてきたのである。

飛驒天文台 DST の建設目的は明らかに後者の範疇に属し所謂シーイングが決定的な要因となる。筆者の経験によれば飛驒天文台のベストシーイングは5月-10月の早朝に生じる。しかし幾何学的分解能が0.5を切るようなことは年間に20日もないであろう。写真観測の場合、露出時間によってこの数字は非常に変わるが、上の数字は1/30秒の露出時間を目安と考えていただきたい。しかしながら幾何学的分解能が1"程度であれば、1週間に1

度程度はある。また冬季においてさえときどきみられる。現在の太陽物理学においては、まだまだ1"程度のシーイングでも研究できることが充分あるので、年間に1度か2度しかDSTを使用されない方でも成果をあげることは充分できると思っている。

さて昭和56年については4月から12月初めまで17単位を飛驒天文台以外の機関の研究者が使用した。この中には東京天文台の先生方や京大理学部宇宙物理学教室の院生、滋賀大、三重大などの研究者がふくまれる。ここで1単位とは日曜日を除く1週間を意味している。そのテーマは太陽面微細構造の観測が大部分を占めている。これらの方々のうち、せっかくおいでになっても悪天候のため、殆んど観測らしい観測もできなかった方々もおられるし、また晴れたにしてもシーイングが悪くて所期の目的を達成できなかった方々もおられることは事実である。しかし上にのべたように5-10月の期間の5日間もあれば、1"のシーイングのえられる確率は決して小さいものではないので再度挑戦されることを期待したい。

DST保守のための休止期間、それに他機関の使用した17単位以外は筆者も含めて飛驒天文台の研究者が太陽観測を行なった。その成果のうちいくつかはSolar Phys.に公表されたし、また学会・研究会において述べられた。だが未公表資料も多数あるので、幾何学的解像の非常に良い映像と、活動現象のうちで物理的に興味のある写真など約十数枚について簡単な解説をする。

図1 (=表紙) は透過幅0.25 ÅのH α -ツァイス・リオフィルターで撮影された太陽黒点及びその周縁部の単色像である。図にはスケールが記入されているが、中央の黒い長細い矩形は分光器スリットの像である。実際にはこの幅は0.7であるが、この写真では1"とみてもらえば良い。この幅と写真上の微細構造のサイズとの比較にもとづいて、その幾何学的分解能は0.3以下であるといえる。この単色像は飛驒天文台の今迄の写真の中でベストであり、筆者の知る限りピック・デュ・ミディ天文台で撮影されている写真とくらべても劣らない。

太陽観測では露出時間が短いので、視野全面に亘って一様な幾何学的分解能をうることは極めてむづかしい。この写真はこの稀なケースにあたるので、その解像はDSTの能力の限界に近く、これよりも格段に良い写真は宇宙空間に口径1mの望遠鏡を打上げる以外に方法がないのではないかとと思っている。しかしながら一般的に

* 京大・理 Ichiro Kawaguchi: On the Domeless Solar Telescope in Hida Observatory

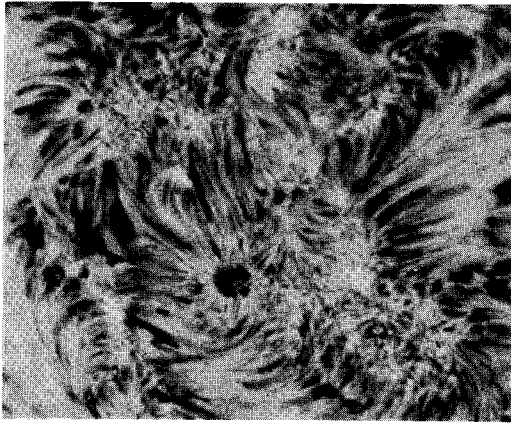
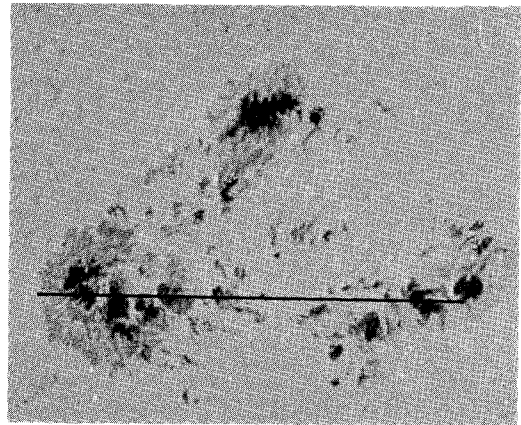


図2 1981年6月7日, 午前 7^h04^m25^s, $H_{\alpha}+0.4 \text{ \AA}$, 透過幅 0.25 \AA で撮影. 中央の小黑点のまわりの活動領域の微細構造に注意. 空間的解像は0%5またはそれ以下.

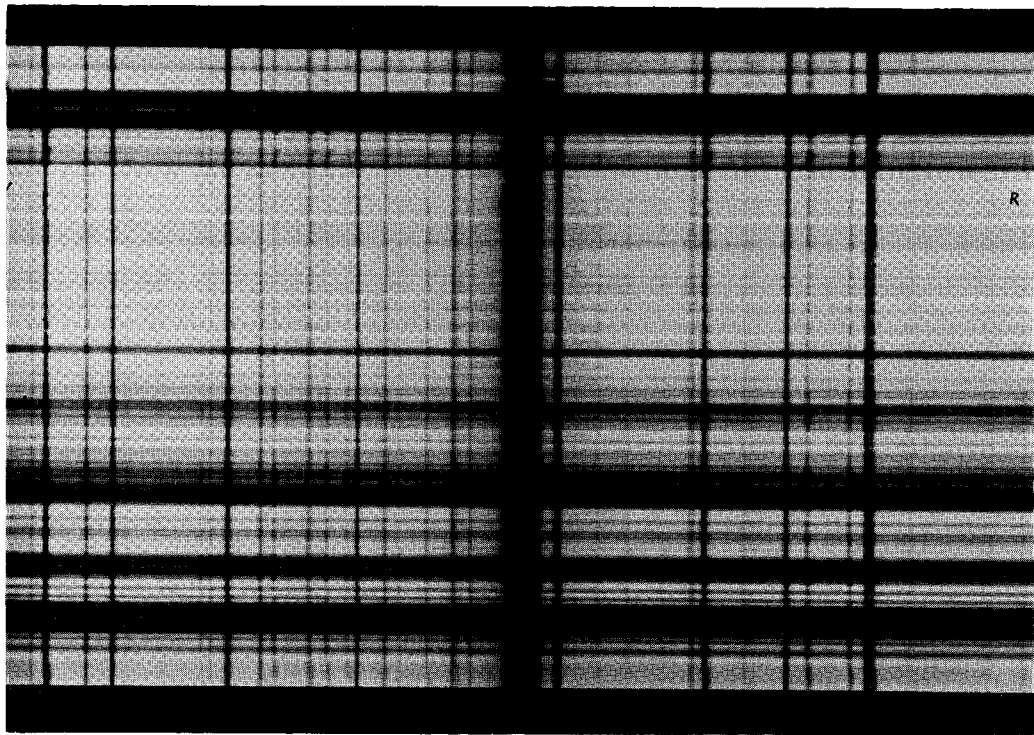
$H_{\alpha} \pm 0$ (H_{α} -線中心波長を意味する) の単色像ではその微細構造は白色光の直接像の微細構造よりもそのサイズも大きく, 撮影も容易である. 飛驒天文台では白色光の直接像の映画的撮像器が完成し, 観測も行なっているが, まだ公表できるような良い像は存在しない.

図2は H_{α} -線の中心波長から赤い方に 0.4 \AA ずら

せた波長を中心波長として 0.25 \AA の透過幅で撮影した単色像である. ($H_{\alpha}+0.4 \text{ \AA}$). ほぼ中央に静かな小黑点がみられる. この写真の解像は0%5以下であり, 黒点付近の活動領域の複雑な微細構造がみごとに分解されている. H_{α} -単色像は彩層の複雑なガスの流れを示していると考えられるが, H_{α} -中心波長に近い程高い彩層の状況を示している. 従って図1も図2共に彩層の断層写真と考えられ, これらを合成することにより, 彩層の立体



(a)



(b)

図3a, 3b 1981年7月15日, 午前 8^h14^m25^s, $H_{\alpha}-1.2 \text{ \AA}$, 透過幅 0.25 \AA で撮影. 直接像写真において黒点暗部内部の微細構造がみえている. 図3bはそのスペクトル写真 ($\lambda 6545 \text{ \AA}$ - $\lambda 6581 \text{ \AA}$). 空間的解像は共に0%5以下である. 中央の最も強い吸収線は H_{α} .

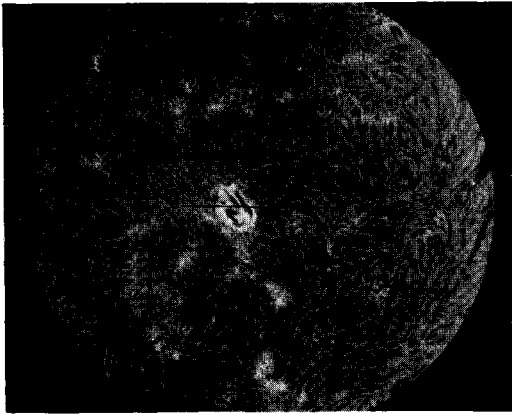


図4 1981年9月17日、午前 $8^{\text{h}}19^{\text{m}}58^{\text{s}}$ 、 $H_{\alpha}\pm 0$ 、透過幅 0.25 \AA で撮影。中央の活動領域は生れたての黒点群で、急速に成長している。空間的解像は図1、図3aにくらべると劣り、 0.7 程度である。

像が理解される。しかしながら模様の複雑なことから、われわれは彩層の立体像を完成させるにはまだ程遠い段階にいる。

図3aは太陽像中心と西の縁の間のほぼ中間にあった黒点群の単色像である ($H_{\alpha}-1.2 \text{ \AA}$)。この写真は一見すると白色光の太陽像のようであるが、よくみると次の点で異なっている。1. 黒点周辺に白い点が多数みえる。これはムスターシュとよばれる小爆発現象である。2. 粒状斑も多数みられるが、そのコントラストは弱い。この特徴は白色光直接像よりもすこし高い光球面の写真ではよく知られていることである。しかしながら図3aで注目してもらいたいのは黒点内部にある粒状斑のようなブツブツ模様である。この斑点のサイズは 0.5 以下であるので、写真の解像を知る1つの目安となる。

図3bは図3aのスペクトル写真である。一般にスペクトル写真は直接像写真にくらべると、露出時間が長いためにその空間的分解は格段に悪い。ところが図3bと図3aをくわしく調べると、その空間的分解はほぼ同じ

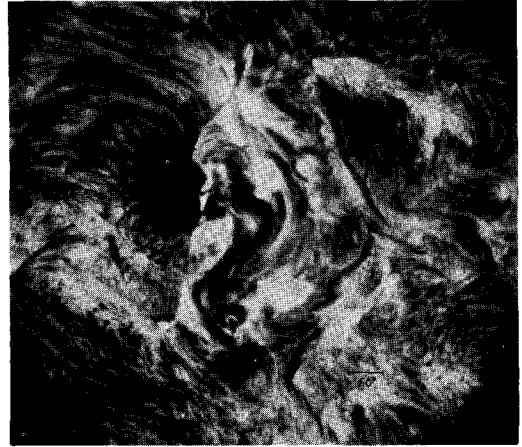


図5 1980年6月2日、午前 $7^{\text{h}}35^{\text{m}}30^{\text{s}}$ 、 $H_{\alpha}\pm 0$ 、透過幅 0.5 \AA で撮影、活動に富んだ黒点群、空間的解像は 0.5 程度。

であり、その空間的分解という点に関しては(くわしくいうと、スペクトルの場合には縦方向の空間的分解しか判らない。)今まで学術雑誌に公表されているどのスペクトル写真とくらべても、勝るとも劣らない。その証拠として次の2点をあげることができる。まず黒点スペクトルで前にのべた黒点内部の粒状斑のようなブツブツのスペクトルがみられる。このスペクトルをくわしく測定すると、このブツブツの正体を知る手掛りとなるであろう。第二に1本のフラウンホーフ線の濃淡である。この濃淡の最もよくわかるのは H_{α} -線の赤い方(右側)にあるやや強い吸収線の間で淡い2本の吸収線が白い横方向の帯において殆んど消えかかっているところである。この現象を吸収線弱化和よんでいるが、このスペクトルの測定結果は今迄公表されている吸収線弱化和よる20%程度大きく、その質のすぐれていることを示している。

図4は $H_{\alpha}\pm 0$ で撮影された単色像である。中央の小さい活動領域はまだ生れたばかりの黒点群に特有な黒い短い繊維状構造がみられる。これは AFS (アーチ・フィラメント・システム) とよばれており、黒点の磁気

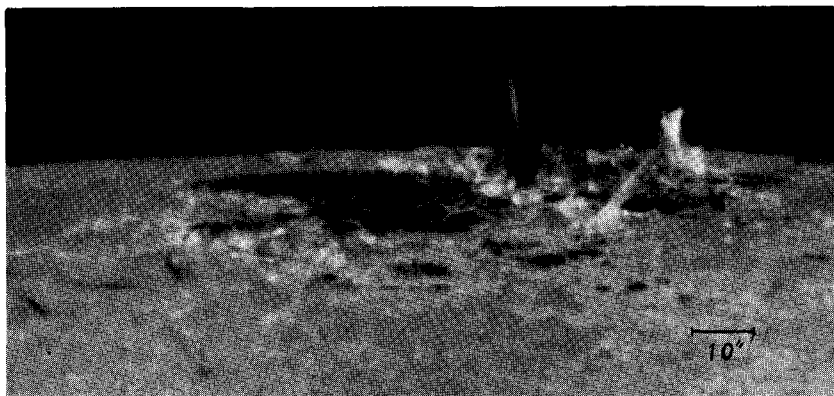


図6 1980年6月5日、午前 $7^{\text{h}}55^{\text{m}}52^{\text{s}}$ 、 $H_{\alpha}-1.2 \text{ \AA}$ で撮影、西の縁にある非常に活発な黒点群。明るい点はムスターシュと称せられる小爆発現象、ムスターシュは動径方向にすこし延びていることがわかる。



図 7 1981年9月7日. 午前 9^h54^m29^s, $H_{\alpha} \pm 0 \text{ \AA}$ で撮影, 黒点の下, やや右よりの大目玉はフレア, “ひのとり”によると, このフレアから硬 X-線が放射された.

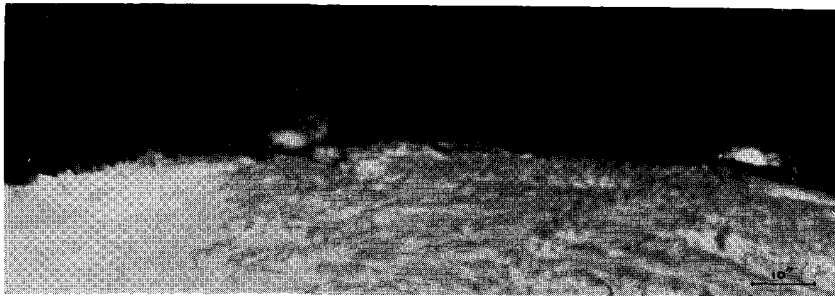
管が内部から光球-彩層に浮かび上っている姿である. この写真は決して悪くはないが図 1 にくらべるとかなり劣る. その理由は空気の乱れによって部分的に焦点が甘いということによる.

図 5 は 1980 年 6 月 2 日午前 7^h35^m30^s, $H_{\alpha} \pm 0 \text{ \AA}$, 透過幅 0.5 \AA で撮影されたものである. この写真は図 4 よりもすぐれているが図 1 にくらべると劣る. この黒点群の右半分は H_{α} -ループ構造がよく発達しており, 左半

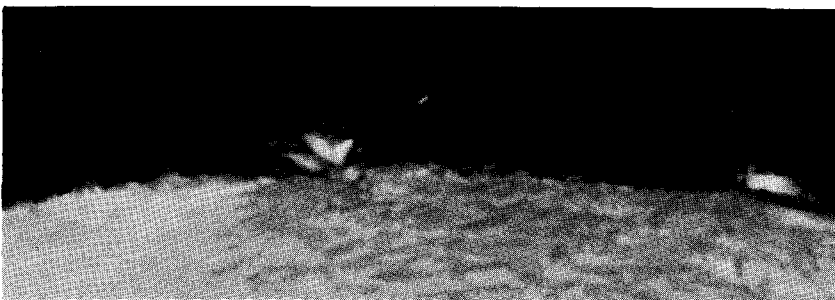
分は全く静穏である. 大変興味深いことには, この両者の間の境界が大黒点の中を走る明るい白い帯によってはっきりとみられることである. 恐らく磁場構造が境界線の左右によって全く異なっているのであろう.

以上 5 枚の写真で空間的解像の良い写真の説明を終わりたい. 読者はこの 5 枚の写真の撮影時間がすべて午前 7 時から 8 時 30 分の間にあり, 且つ季節は 6 月-9 月であることにお気付であろう. 筆者はこの時間帯を飛騨天文台のゴールデン・アワーと称している. 午前 7^h に調子よく観測をしているためには, 日の出後 20 分-30 分から観測を始めねばならない. また観測室にゆく前に朝食をとり, ゆったりした気分で DST の操作をするには, 夏至の頃であれば午前 4^h すぎには起きなければならない. 生活が夜間の勉強に重点をおいている若い人には, 早朝起床が大変つらいことらしいが, 早朝起床をしないことには, 0.3 程度の分解の写真は撮影できないことを図 1-図 5 の写真は示している.

次に DST による面白い活動現象の写真をおめにかきたい. 図 6 は西の縁にある非常に活発な活動域である. 縁の近くに噴出型紅炎がとびでて, その明るさは彩層の明るさよりも大である. また無数の白い点々はマスターシュであるが, いずれも動径方向に伸びている. この一連のフィルムはムービーに編集され, 太陽活動の不思議さ, 面白さを満喫することができる. 勿論図 6 はこの一連のフィルムの中で最良のものであるが, ムービーにおいても 2 時間以上にわたって 1" 位の解像でこまかい模様を追跡することができる. だが 1" 程度のシーイングが 2



(a)



(b)

図 8a, 8b 1981 年 9 月 15 日, 午前 7^h12^m39^s と午前 7^h19^m40^s, $H_{\alpha} \pm 0 \text{ \AA}$ で撮影, この紅炎は活動領域の周縁にある活動域紅炎に属し, たえず変形している. 図 8b は図 8a の 7 分後に撮影され, 紅炎の一部分がフレアの明るさに達した. またこの紅炎は 2 時後完全に崩壊した.

時間以上も持続することは飛驒天文台でも稀である。

図7は大変珍しいフレアの例である。中央の黒点の下、やや右よりの大目玉がフレアである。飛驒天文台の黒河氏によると、目玉と目玉のまわりでは磁性が異なり目玉の中に数個の輝点があるという。この大目玉は、フレアとしての重要度は小さいが大変明るく、“ひのとり”で硬X-線も観測されており、重要度が小さいにも拘らず高いエネルギー現象であるといえることができる。

図8a, 8bは活動域周縁にみられる活動性紅炎と称せられる。この紅炎は活動域との間にたえず物質の交換をしているため、その形状はゆれ動いている。図8aの7分後に撮影された図8bでは、この紅炎の一部がフレア化していることを示している。この一連のフィルムもムービーに編集されたが、この紅炎はいろいろの規模でたえずフレア化していることが判った。そして約2時間後全体がフレア化して浮上り彩層に吸いこまれてしまった。この現象に興味をもった筆者はその後3例ほどを観測し、目下研究中である。

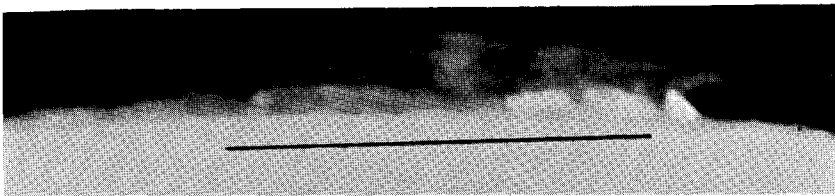
図9a, 9bも紅炎の崩壊現象である。今年のお正月1月3日の早朝、筆者はこの静止型紅炎の下部でリム・フレアのような輝点が走っているのをみつけた。今、憶いだしても残念なのであるが、あまり変化がなかったので、別の場所で大規模な噴出形紅炎をみつけ、浮気心をおこしてしまった。この日DSTの御気嫌の悪かったこともあって約1時間半後この紅炎にたち返ったところ、図

9bのような崩壊のさなかにあった。

紅炎崩壊というのはフレア以上に花々しい現象である。太陽物理学の現状では、単に大規模な磁場構造の変化にともなって紅炎が崩壊するといわれているが、どのような過程なのか、くわしいことは何一つ判っていない。図9aと図9bは露出時間も同じであり、焼き方も同じである。その証拠に彩層の明るさは同じである。にもかかわらず紅炎そのものは非常に明るくなっている。この明るさの変化はドップラー運動によって見掛けの明るさが変わっただけであるとはとても思えない。またその質量は図9aと図9bで果して同じであるうか。これらの素朴な疑問に答えてくれる筈の1時間半の空白が悔やまれてならないのである。この写真において図9bの方の解像は約1"である。厳冬期、しかも早朝でなくともこの程度の解像をうることはDSTであれば比較的容易であることも付加しておきたい。

図10a, 10bは今迄DSTで撮影された最大級の噴出性紅炎である。写真にみられる2つの紅炎が物理的に関係して同時に生じたものかどうか判らない。図10aで向き合っている側が、あたかもナイフで切ったように一直線であるのは、とても偶然とは思えない。また下部の明るい部分をリム・フレアとよんでよいのかも判らない。

図9aと図9bの解像は良いということはない。活動現象はいつ生じるか全く判らないし、たとえ

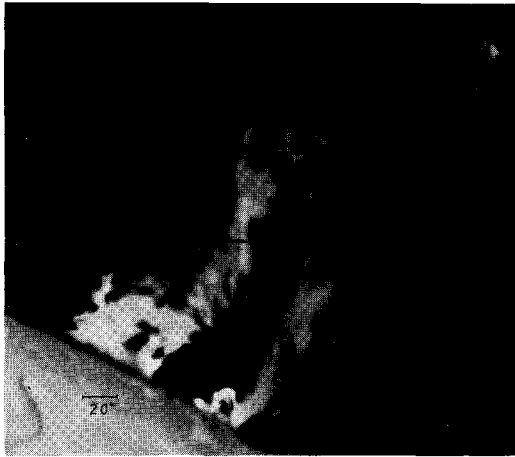


(a)

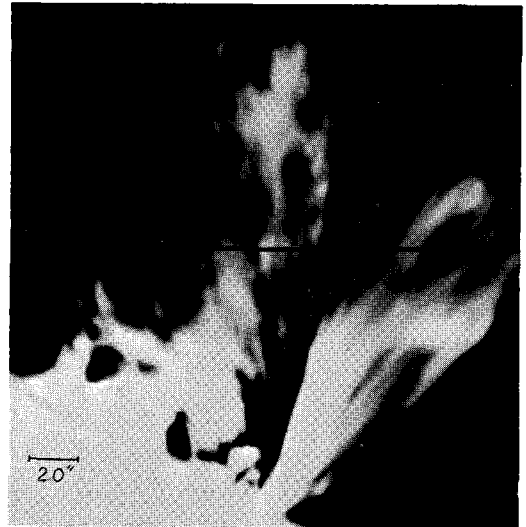


(b)

図9a, 9b 1982年1月3日、午前8^h24^m48^sと午前10^h02^m09^s、 $H_{\alpha} \pm 0 \text{ \AA}$ 、透過幅0.5 \AA で撮影。図9aは西の縁にある静止型紅炎。紅炎の下に明るいリム・フレアがみられる。図9bは図9aの静止型紅炎の崩壊過程。この2枚は同じ露出時間で撮影され、また同程度の焼きこみである。(彩層の明るさがほぼ同じであることに注意)

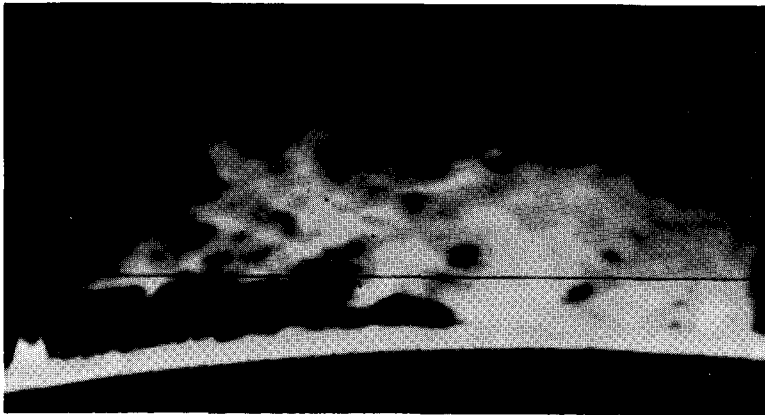


(a)

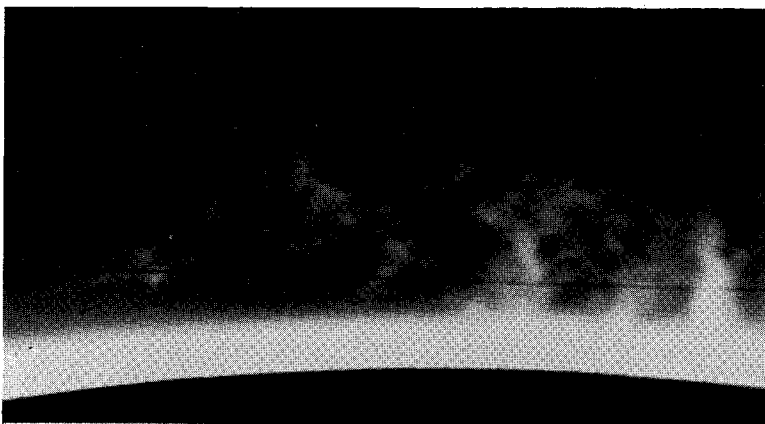


(b)

図 10a, 10b 1982年2月9日, 午後 1^h50^m52^s と午後 1^h55^m52^s, $H_{\alpha} \pm 0 \text{ \AA}$, 透過幅 0.25 \AA で撮影, 飛驒天文台で撮影された最大級の噴出性紅炎. 図 10a においては太陽表面から約 19 万 km まで紅炎の一部が上昇しているのがみられる.



(a)



(b)

図 11a, 11b 1982年2月23日, 午前 10^h43^m58^s 撮影.

a $H_{\alpha} \pm 0 \text{ \AA}$, 透過幅 0.25 \AA , 露出時間 1/8 秒

b $D2 \pm 0 \text{ \AA}$, 透過幅 0.7 \AA , 露出時間 4 秒

静止型紅炎の D2 単色像は極めて珍しい.

起こったとしても良いシーイングの下で生じる確率は極めて小さい。しかしながら、若し良いシーイングの下で観測できれば、その解釈において今迄にない重要な手掛りを与えることは充分ありうることである。ある日 DST の完全な分解能力のもとに大規模活動現象の観測に成功したいというのが筆者の夢である。

最後に最近完成した新しい観測装置で行なった結果をおめにかけて、この記事の終りとしていたい。それは H_{α} と NaI-D2 の単色像の同時撮影である。一般に静止型紅炎における D2 輝線強度はきわめて弱く、その露出時間は H_{α} の 1 桁以上も長い。だから決して同時に撮影できないのだが、ともかく 1 回ボタンをおすだけで 2 つの単色像がとれるのだから同時撮影といっておく。装置は飛驒天文台の船越氏のアイディアによる。ミソはどちらもほぼ 100% に近い効率で撮影できるところにある。

NaI D2 は紅炎輝線のうち電離ポテンシャルが最も低く、ライマン連続光が紅炎内に透過しようがしまいが、D2 の強度には関係がないことに特徴がある。また大変奇妙なことだが、リム・フレアやフレアの後に出現するループ状紅炎など最も励起が高いと思われるのに D2 輝

線は強い。それで研究を始めたのであるが、何しろ強度が小さいので空の散乱光をできるだけおさえる必要があり、光球面をかくすようコーンを入れて撮影したのが図 11a、図 11b である。DST の垂直分光器では、コーンをいれるとその散乱光は、太陽像のすぐそばでも太陽像中心強度の 0.2% ぐらいと、コロナグラフを除いた通常の太陽望遠鏡では抜群に低い。図 11a は静止型紅炎の通常の H_{α} -像であり、図 11b は D2 単色像である。

この 2 つの像をくらべると非常に良い対応があるので、筆者の予想と大いに異り、頭を悩ませている。しかしこの写真はまだ初めての成果であるし、あまり書きすぎると学会で喋るネタがなくなるので、これ以上はのべない。ただ D2 単色像は空がよほど透明でないと飛驒天文台でも撮影できず、さらに筆者の考えていることが実証されるためには、1" 以下のシーイングが必要で今後本当に息の長い観測を要するとだけのべておこう。

ここで発表した諸々の写真が飛驒天文台での観測計画をたてるに少しでもお役にたてば、筆者にとってこんな嬉しいことはないことを強調しておきたい。

わが国唯一の天体観測雑誌

天文ガイド

定価380円(〒70円) '82-8月号・7月5日発売!

8月号のおもな内容

- ★夏休み天文ガイドII にぎやかな夏後半の天体観測ガイドはおなじみの藤井旭さん。8月に入ると夏の銀河や星雲・星団が観望のシーズンです。
- ★8月といえばペルセ群、今年は下弦の月があるとはいうものの見のがせない流星群です。富岡啓行さんから。
- ★星雲星団ファインディング・チャート、夏の星空の解説は大野裕明さん。夏の夜空には数えきれないほど、美しい星雲・星団があります。
- ★'83皆既日食をさぐる、最終回はジョクジャカルタ市。
- ★200年前の望遠鏡技術、今回は有名なハーシェルが作った望遠鏡についての解説。吉田正太郎さんから。

★天文工作室★

<p>■ 作 例 集</p> <p>手づくり天体観測所</p> <p>定価1200円</p>	<p>■ 研 磨 か ら 赤 道 儀 ま で</p> <p>本格派のための 反射望遠鏡の製作</p> <p>定価1400円</p>	<p>ポータブル赤道儀の 作り方</p> <p>定価1200円</p>	<p>15cm反射望遠鏡の作り方</p> <p>定価1100円</p>
--	---	---	-------------------------------------

誠文堂新光社 東京都千代田区神田錦町1-5

振替東京6294 電話03(292)1221