

## 太陽彩層面の観測 — 高精細H $\alpha$ 望遠鏡の開発と観測 —

秋岡 眞樹\* 岡野 朱美\*

(1997年1月17日受理)

### OBSERVATION OF SOLAR CHROMOSPHERE — DEVELOPMENT OF HIGH DEFINITION H $\alpha$ SOLAR TELESCOPE AND ITS OBSERVATION —

By

Maki AKIOKA and Akemi OKANO

The high-definition H $\alpha$  telescope has been developed for the Space Weather Forecast Project and is in operation at Hiraiso Solar Terrestrial Research Center, CRL. Its advantageous features are (1) high-resolution digital H $\alpha$  images with 2K by 2K CCD, (2) real-time data frame selection with software, (3) spectroscopic observation with wavelength scanning method with Lyot filter, and (4) automatic control systems for daily monitoring observation.

In daily solar terrestrial forecasts at Hiraiso, the data is used for finding active regions, flares, and filament eruptions and foreseeing the activity level of each active region by evaluating the chromospheric feature and its change. Several fundamental research topics are also ongoing with the H $\alpha$  data. We have constructed a WWW image database consisting of images of daily active regions, some flares and movies showing solar active phenomena. The telescope will be one of the main facilities for the operational space weather forecast of the next solar maximum at the beginning of the 21st century.

[キーワード] 太陽, 彩層, フレア, フィラメント噴出, 宇宙天気予報.

The sun, Solar chromosphere, Solar flares, Filament eruptions, Space weather forecast.

#### 1. はじめに

太陽に起因する様々な突発的現象が地球近傍の宇宙空間や深宇宙における人類の宇宙活動に大小さまざまな影響を与える。たとえば、大型の太陽フレアが発生すると、X線や高エネルギー放射線を発生し、宇宙で活動する宇宙飛行士や搭載機器に障害を発生させる。また、フレアやフィラメント噴出にともなうプラズマ雲は、地球磁気圏に衝突する事により大規模な地磁気嵐を発生させ、一時的に磁気圏内の高エネルギー粒子を増大させる事がある。また、太陽面のコロナホールは高速太陽風流を

生させ、その影響で地磁気じょう乱を発生させる。1997年1月7日に起こった太陽面じょう乱の影響で、米国の通信衛星 Telstar 401 が永久的な機能停止に陥った事は記憶に新しい。

そこで、21世紀に向けて本格化する宇宙利用の安全確保に資するため、通信総合研究所平磯宇宙環境センターを中心に「宇宙天気予報システムの研究開発」プロジェクト（以下、宇宙天気予報プロジェクト）が進んでいる<sup>(1)</sup>。この中で、高エネルギー放射線や惑星間空間及び磁気圏じょう乱の源となる太陽面の観測の高度化、必要な技術開発及び太陽面現象の観測的研究や予報手法の確立等の研究開発に取り組んでいる。

H $\alpha$ 線は水素の吸収線である。このため、太陽大気

\* 関東支所平磯宇宙環境センター 太陽研究室

は  $H\alpha$  線に対し非常に不透明であり、太陽表面から 1500 km 程度上層の大気が見える<sup>(2)</sup>。このため、彩層面の形態や速度場、磁場構造等を観測する事ができ、可視光域で様々な太陽活動現象を観測できる非常に有益な吸収線である。たとえば、太陽フレアは  $H\alpha$  線での急激な増光として観測され、フレアの前兆現象として知られるフィラメント上昇も  $H\alpha$  線で観測される現象である。また、活動領域は光球下の磁束が表面に浮上してきたものであるが、比較的低温のプラズマに満たされた磁気ループが  $H\alpha$  線で観測される。このように、 $H\alpha$  線で太陽を観測する事によりじょう乱や活動現象、活動領域の監視と研究に必要な不可欠の情報が得られる。

太陽活動の予報や活動現象の研究のためには、2-3秒角以下の良好な空間分解能が必要である。たとえば、活動領域の誕生を示すアーチフィラメントシステムは、幅が 1000-3000 km 程度の筋状の吸収構造であり、1.5-4秒角程度に相当する<sup>(3)</sup>。また、フィラメントの微細構造とその変化を観測するためにも同程度の空間分解能が必要である。このため、1秒角程度の空間サンプリングが必要であり、0.5秒角程度が望ましい。当然分解能が細かければ細かいほど良いわけだが、大気ゆらぎによる像の劣化とのかねあいで1秒角程度の分解能は目標として適当な値である。

彩層面の活動現象には、表面大気の運動を伴うものが多い。惑星間空間へプラズマ雲を放出する事のあるフィラメント噴出はもとより、サージやフィラメント上昇、磁束管浮上等、多くの活動的な現象には速度場を伴う事が多い。そのため、表面の速度場を計測することのできる3次元分光観測機能(空間2次元、波長1次元)が必要である。また、得られる画像データのクオリティは大気ゆらぎにより刻々と変化する。そのため、画像を選択して良好なクオリティの画像を取得できればデータの質が飛躍的に向上する。

予報を運用的なシステムとして確立していくためには、連続的な観測と準リアルタイム的な解析とともに、太陽全面を十分なクオリティで観測する事が求められる。 $H\alpha$  観測は国内外の観測所でも行われているが、システムとしてこのような要求を満たすものはない。たとえば、京都大学飛騨天文台では、その高性能の真空望遠鏡で解像度の高い  $H\alpha$  画像が得られているが、目的は研究観測であるため、常に太陽を監視しているわけではなく、視野は太陽直径の5分の1程度である<sup>(4)</sup>。このため、長期間にわたり毎日安定に運用することのできる予報用の太陽観測装置がなければ的確な現況把握と予報は実現できない。

本望遠鏡及び関連する太陽観測装置についてはこれま

でいくつかの報告がある<sup>(5)-(8)</sup>。本報告では、「太陽監視望遠鏡群」の主力装置の一つである  $H\alpha$  望遠鏡について、システムの概要(第2節)、運用とデータ利用(第3節)及び最近整備しつつある太陽画像データベース(第4節)について述べ、さらに今後の問題点とまとめを最後に示す。

## 2. 装置の概要

本望遠鏡は、太陽活動が活発な時期に少しでも多くのデータを取得するため、かなり無理をして初期たち上げを行った。そのため撮像、制御装置の変更、更新が頻繁に行われた。本稿では、システムとして完成を見た高精細撮像システムを装備した94年7月以降の状態について述べる。それ以前のシステムについては、解析やデータ利用の便宜を考え、撮像系の概要のみを付録の形で末尾に述べてある。

### 2.1 望遠鏡システム

高精細  $H\alpha$  望遠鏡システムは、カールツァイス製 15 cm 屈折望遠鏡をプラットフォームとして用いている。望遠鏡の主要諸元を第1表に示す。架台はクーデ式赤道儀で、2枚の平面鏡を用いてビームを極軸に導く。クーデミラーを切り替えることによって、上側ポートと下側ポートにビームを切り替えることができる。対物レンズが 15 cm ダブレットであり、焦点距離は 2250 mm である。前述の下側ポートに接眼レンズをとりつけると眼視観測や調整等に利用できる。駆動はサーボモーターであり、太陽時及び恒星時による運転が可能である。また、ハンドパドルによるマニュアル駆動、ハンドル回転による手動操作が可能である。また、サンガイダーによる自動追尾が可能になっている。

この望遠鏡に、自動運用や性能向上のために様々な改良と改造を実施した。太陽熱によるレンズセル及びレンズの温度不均一及び温度変化による像の悪化を軽減するため、対物レンズ直前に有効径 150 mm の熱線反射フィルターを製作し、フィルター金枠及びレンズセル及びフランジに白色塗装を施した。サンガイダーをシフトさせる事により視野を変更する機能を設けた。ステンレス製のサンガイダー支持機構を製作し、アクチュエータとしてエンコーダー付きマイクロメーター(シグマ光器製 SOM-15)を設置する事により、太陽面における観測領域の変更を計算機からの遠隔操作によって行えるように改造した。また、ダーク画像の取得や校正用画像取得のためのシャッターやレンズを挿入するための回転ステージを極軸体の光路上に設置した。また、海岸地帯での運用を考慮し、小型除湿器(トーリ・ハン製)を極軸体の下側ポートに設置した。マイクロメータ、回転ステージ

第1表 望遠鏡の主なスペック

形式	クーデ型屈折赤道儀
対物レンズ	D=150 mm f=2250 mm
駆動	太陽時運転, 恒星時運転, マニュアル
赤経モーター	サーボジェネレータ付きシンクロナスモーター
赤緯モーター	シンクロナスモーター
全面像縮小レンズ	マイクロニッコール 55 mm F2.8
フィールドレンズ	2群 2枚 f=135.6 mm
焦点調節ステージ	パルスモーター駆動直線ステージ 駆動範囲±10 mm 位置決め精度 2 μm
追尾方式	光電追尾
ガイドコントロール	エンコーダ付きマイクロメータとばね 駆動範囲 約1度 精度 2.8秒角

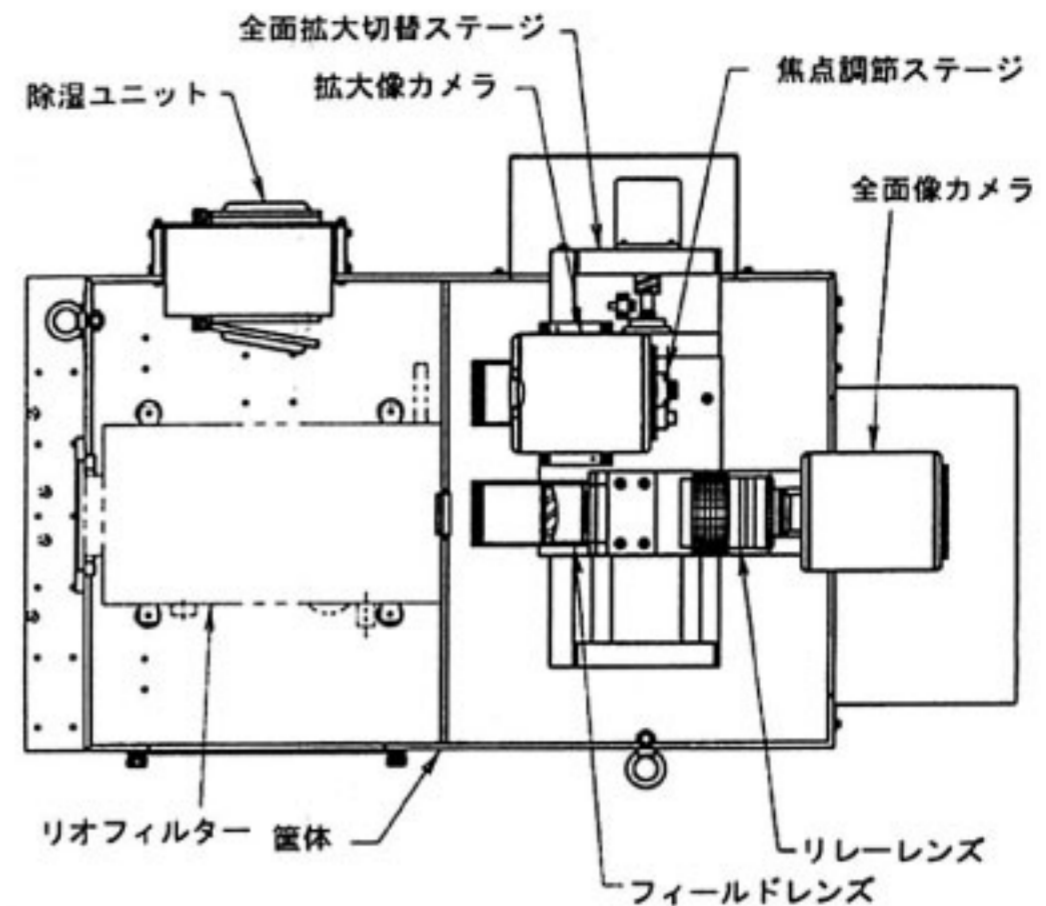


第1図 望遠鏡の全景を示す。スライディングルーフ式観測室が後退し、露天観測場となる。

は GPIB インターフェースにより PC からの遠隔制御が可能である。

### 2.2 焦点面パッケージと撮像システム

第2図に、高精細撮像システムの焦点面パッケージを示す。対物レンズによる第一次像はフィルター後方約 80 mmの所に形成される。この位置における太陽全面像の大きさは 20.9 mmである。リオフィルター、フィールドレンズ、全面像用縮小レンズ、全面拡大切替ステージ及び CCD カメラ等からなる焦点面パッケージは、極



第2図 焦点面パッケージ内の機器配置。全面像光学系と拡大像カメラが直線ステージに載せられ、制御システムからのコマンド操作で切り替える。

軸に固定されたベースの上に構成されている。極軸の耐加重 (30 Kg: メーカー保証値) の問題から可能な限りの軽量化を図る必要があり、溶接及び強度確保が可能なぎりぎりの厚さのアルミ合金製である (最小 5 mm)。内部は黒色艶消し塗装を行うとともに、しきり板を用いて迷光除去並びに構造補強をしている。海岸に近い平磯での運用を考え、小型の除湿器を備えている。

リオフィルターは、方解石等の複屈折を利用した狭帯域フィルターであり、ここでは 0.25 Å のものを用いている。最終段のポラロイドの出し入れにより透過幅の変更 (0.25 Å/0.5 Å) が可能である。リオフィルター部の重量は 11Kgあり、筐体と極軸体の両方で支持する設計となっている。波長シフトは複数の回転波長板を一定の比率で回転させることによって行う。波長板回転は回転波長板にとりつけられたモーターによって行われる。回転角の読みとりは、波長板ギアと連動するようにとりつけられたポテンシオメータによって行っている。ADVANTEST 製電圧発生器 R6551 により基準電圧を供給し、ポテンシオメータによる電圧降下を BCD 出力付きパネルメータにより A/D 変換し PC へ供給している。制御システムは旧式の PC-98 をベースにして開発したものを利用していたが、96年2月の非常に激しい砂嵐により故障し使用不能となったのを機に、FA 用防塵シャシに 486-DX 100 MHz を CPU としたシステムを組立て、そのうえでシステムを開発しなおした。

予報を目的とした太陽監視には太陽全面を十分な分解能で観測する必要がある。たとえば、太陽フレアの発生源である活動領域は、赤道を中心に南北 30 度範囲に出現するのに対し、フィラメント噴出は太陽面のあらゆる

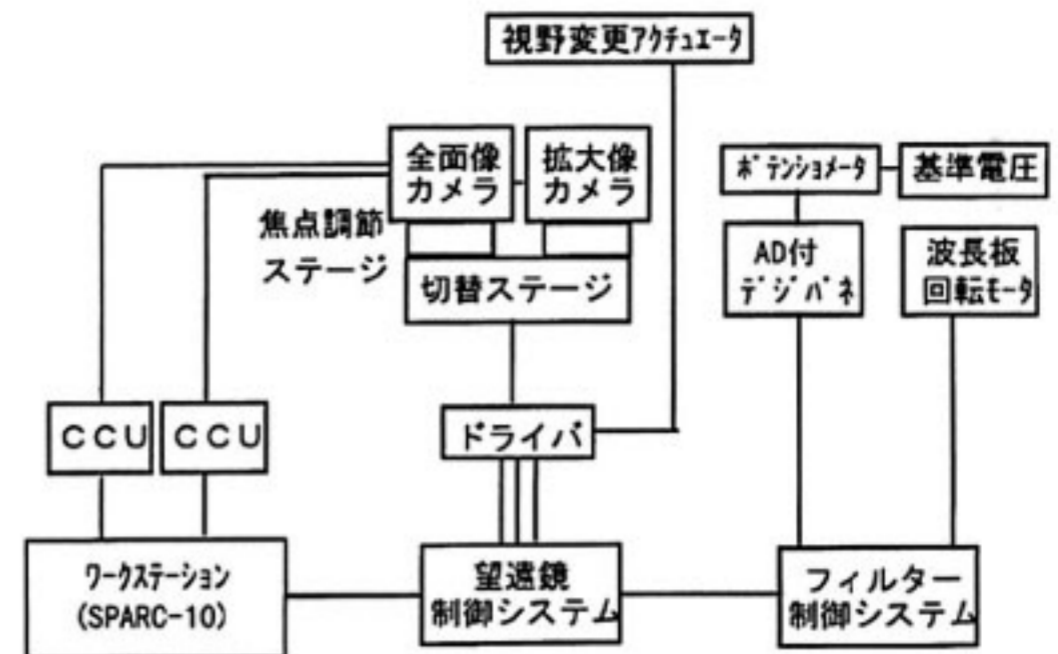
第2表 各撮像モードの仕様と撮像性能

	全画像カメラ	拡大像カメラ
検出器形式	フルフレーム転送 CCD	フルフレーム転送 CCD
ピクセル数	2029×2048	1340×1037
ピクセルサイズ	9×9 μm	6.8×6.8 μm
フルウェル	85,000	45,000
シャッター	メカニカル	メカニカル
シャッター速度	10ms 以上連続可変	10ms 以上連続可変
空間サンプリング	1.15 秒角	0.64 秒角
有効視野	38.9×39.4 分角	14.3×11.1分角

所で起こりうる。また、通常のビデオ CCD カメラで十分な空間分解能を確保しようとする数分角程度のきわめて限られた領域しか観測できず、太陽活動極大期のように活動的な黒点群がいくつも太陽面で活動している場合に対応できない。また、他の観測装置との総合的解析の場合には、異なった装置で得られたデータの相互の位置合わせが非常に重要になるが、その際の重要な目安が太陽の縁である。全面像が十分な空間分解能をもっていれば、それだけで十分な精度をもった位置合わせが容易に実現することになる。太陽面現象の物理を観測的に解明するためには、診断温度や得られる物理パラメータの異なる複数の観測装置を用いる事が必要不可欠であり、位置合わせの精度と効率は得られる結果を本質的に左右する。

撮像系は、全面像モード（1.1 秒角/画素）と拡大像モード（0.64 秒角/画素）の切替式になっている。全面像系は1眼レフ用カメラ用レンズ（マイクロニッコール 55 mm）を用いて1.4 倍に縮小し、その後方に400 万画素の CCD カメラ（コダック製メガプラス 4.2）を配置している。今回利用したリオフィルタの場合、F15 以上の遅いビームである必要がある。このため、直接焦点位置にフィールドレンズを配し、マイクロニッコールの羽絞りの位置に瞳を作り、羽根絞りで有効開口を絞ることによりビームの早さを F15 にしている。この設計により、焦点面パッケージを小型化できた。

拡大像モードの撮像は、第一次像の所におかれた拡大像用 CCD カメラ（コダック製メガプラス 1.4）で直接取得される。400 万画素で全面像を撮像すると、達成される空間分解能は1ピクセルあたり1秒角強となる。これは、活動領域の微細構造に注目して監視するためにはやや性能が不足する。これを補うために、プレートスケールの異なった拡大像も取得できることが必要である。また、後述する画像選択や波長スキャンによる分光観測を効率よく行うためには、フォーマットの小さなカメラで高速に読み出すことが必要である。そのために、全面像系とは別に拡大像撮像系を別途備えることとした。



第3図 制御、撮像システムのブロック図。ワークステーションから送信された制御コマンドは、望遠鏡制御システム（PC）によりデコードされ、各アクチュエータ及びフィルター制御システムをコントロールする。

屋上観測室の望遠鏡からカメラコントロールユニット（CCU）は37ピンパラレルケーブルで接続され、CCUとワークステーション（サンマイクロシステムズ製 Sparc-10）は高速デジタルビデオインターフェース（Engineering Design Team 社製 SDV-1）によりインターフェースされる。デジタルビデオ信号は RS-422 シリアルで、Sバス経由の DMA 転送方式によって直接ワークステーションの主記憶装置に転送される。ソフトウェアから発行されるカメラ制御コマンドは、CCU 経由でカメラへ送られる。

これら全面撮像と拡大撮像のための撮像系は独立に焦点調節ができるよう、それぞれストローク 20 mm で光軸方向に駆動できる小型リニアステージに載せられている。各撮像系は、小型ステージごと光軸と垂直に駆動されるストローク 100 mm のリニアステージに搭載されている。この 100 mm リニアステージを駆動する事により、各カメラを光軸上に移動・退避させる事により全面・拡大の切替を可能にしている。

### 2.3 制御システム

望遠鏡システムや焦点面パッケージは、NEC 製 PC-9801 パーソナルコンピュータ上に構成された望遠鏡コントロールシステムによって制御される（第3図）。各アクチュエータとコントロールシステムは GPIB でインターフェースされ、ワークステーションとは RS-232C 光リンクで接続されている。ソフトウェアはマイクロソフト製 Quick-Basic で記述されている。

望遠鏡コントロールシステムは、動作の種類とパラメータ（たとえば移動量）からなる定められたフォーマットの文字列コマンド以外受け付けない。これにより、オペレータの誤操作によるシステムの誤動作やハングアップを防止している。また、定常運用状態においては、コマ

ンドは RS-232C ポートによってのみ受信可能である。

波長制御はフィルター制御システムによって行われる。フィルター回転角は、フィルターにとりつけられた回転角読みとり用のポテンショメータ出力を BCD 出力付きデジタルパネルメータにより A/D 変換し、BCD 信号として ISA バスに接続されたパラレル I/O インターフェースに供給することによりコントローラに入力される。制御コマンドは RS-232 シリアル回線からターゲット波長を含んだ文字列として入力される。コマンドを受け取ったコントローラは、コマンドをデコードし現在の設定波長と比較する。これによりターゲットまでの移動量と移動方向を計算し、リレーを動作させる事により 4 分の 1 波長板の回転がスタートする。回転角を表す電圧値は 100 Hz で出力され、コントロールソフトウェアによって現在の波長が連続的にモニターされる。ターゲットから 0.55 オングストローム以内に近づくと低速モードに移行し、ターゲットに到着する。一定の許容誤差内にフィルター波長が到達し、停止が確認されるまで上記の動作が繰り返される閉ループ制御となっている。

### 3. 運用とデータ利用

運用は、晴天時は毎日日没まで行われる。まず、ルーフの開閉、太陽方向への望遠鏡の指向を手動で行い、光電追尾装置を起動する事により、アクチュエーターにより設定された領域を視野中心として精捕捉される。その後、連続撮像モードでウインドウ上に連続表示することにより、ワークステーションから拡大像観測領域の設定及び合焦を行う。また、必要に応じて全面像撮像の視野中心の設定や、全面像と拡大像相互の焦点位置のずれの補正を行う。これらの制御操作はすべてワークステーション上の簡単なコマンド発行ソフトウェアによって行う。最後に領域セットコマンドを送信することにより、望遠鏡コントローラはそのときのアクチュエーターのポジションを記憶する。熟練したオペレータの場合、これらのたち上げ操作は 5 分から 10 分程度要する。望遠鏡のたち上げと設定が終了すれば、タイマープログラムを起動し、定められた時間間隔毎に撮像ソフトウェアを起動する自動観測に移行する。

タイマーは、撮像ソフトウェアの起動に先立って、望遠鏡コントロールシステムに対し必要に応じて視野変更及び拡大全面の切替を行う。撮像ソフトウェアが起動すると、カメラ及びカメラインターフェースが初期化される。そして、リオフィルターの波長設定コマンドを発行し、動作完了の受信を待つ。撮像を開始すると、まず露出時間の自動設定機能により最適の露出を決定すると共に、光量不足時には撮像を中止する。画像の質は、大気

ゆらぎにより刻々と変化する。そのため後述する画像選択機能により、最も画像のコントラストが高いと判断される画像を選択する。そして、最良の画像について、視野の一部を切り出し、日付と時刻に基づくファイル名を付与し、ファイル圧縮してハードディスクに格納される。その後、必要に応じて望遠鏡コントロールシステムに対し視野変更及び拡大全面の切替のためのコマンドを発行し待機状態に復帰する。

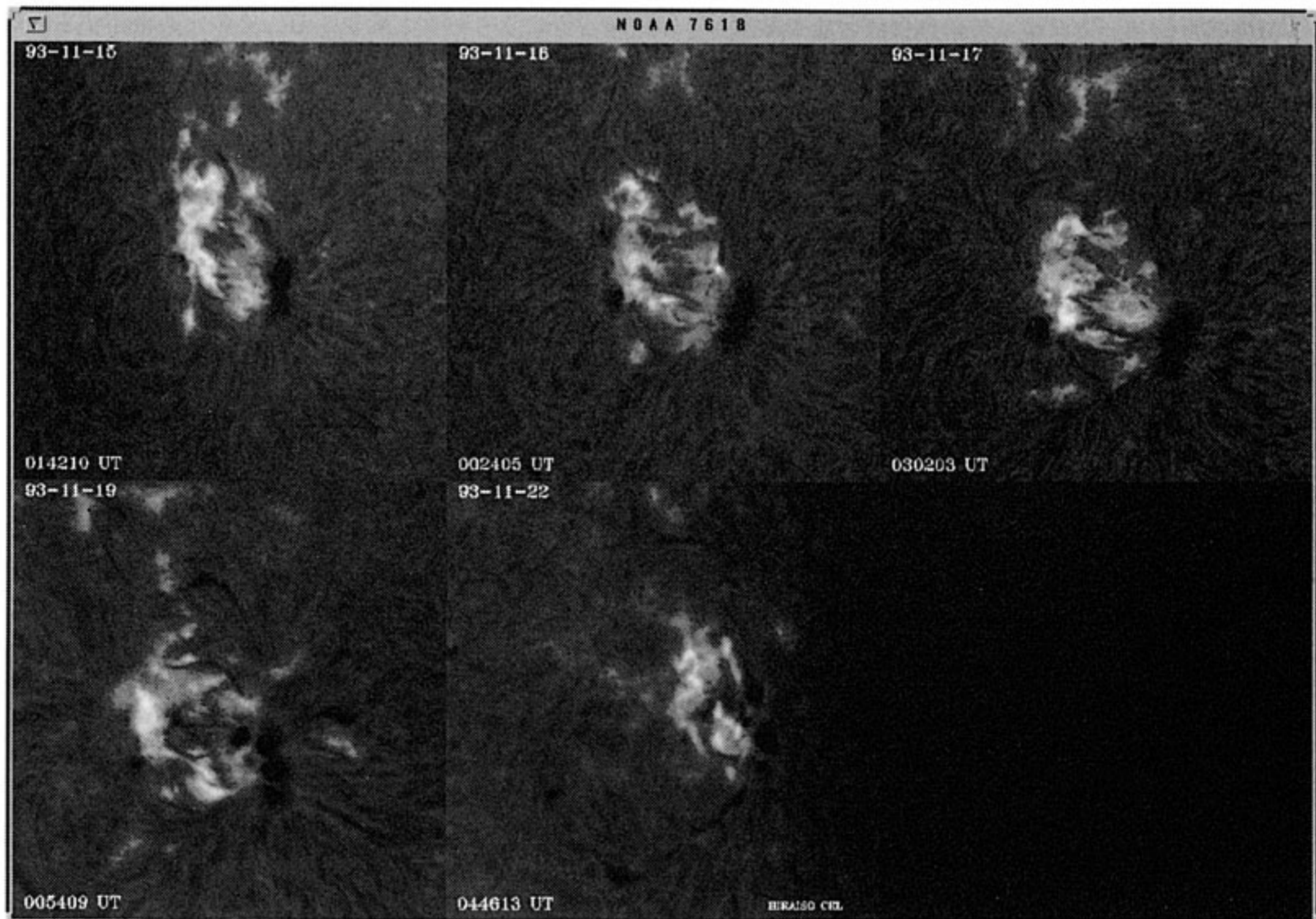
得られたデータはオペレータによってフレア及びフィラメント消失等の活動的なイベントの有無がチェックされ、予報センターに報告されるとともに予報センターの端末を用いて拡大像、全面像データが予報担当者によってチェックされる。これらは、活動領域の活動度や磁場構造の推移等を明瞭に示し、太陽フレア予報の最も重要な判断材料の一つとなっている。また、高分解能の全面像は、活動領域の新たな誕生や突然の成長開始、フィラメント消失等の突発的現象の監視に威力を発揮している。通常、予報を出す時刻は 15:00JST であり、前日の活動や予報発令前の数時間の状況が予報に反映される。

得られたデータは当面の間ワークステーションの固定ディスクに保存され、順次アーカイブされる。現在、拡大像データは CD-R、全面像データをエクサバイトに保存しているが、全面的に CD-R への移行を行いつつある。これらのアーカイブデータは、CRL 職員や客員研究者のみならず、国内外の研究者に利用されている。また、後述する太陽画像データベースによりデータの一部を対話的に検索、参照できるように整備しつつあり、データの有無や現象の概観の把握、教育目的等に広く利用されている。

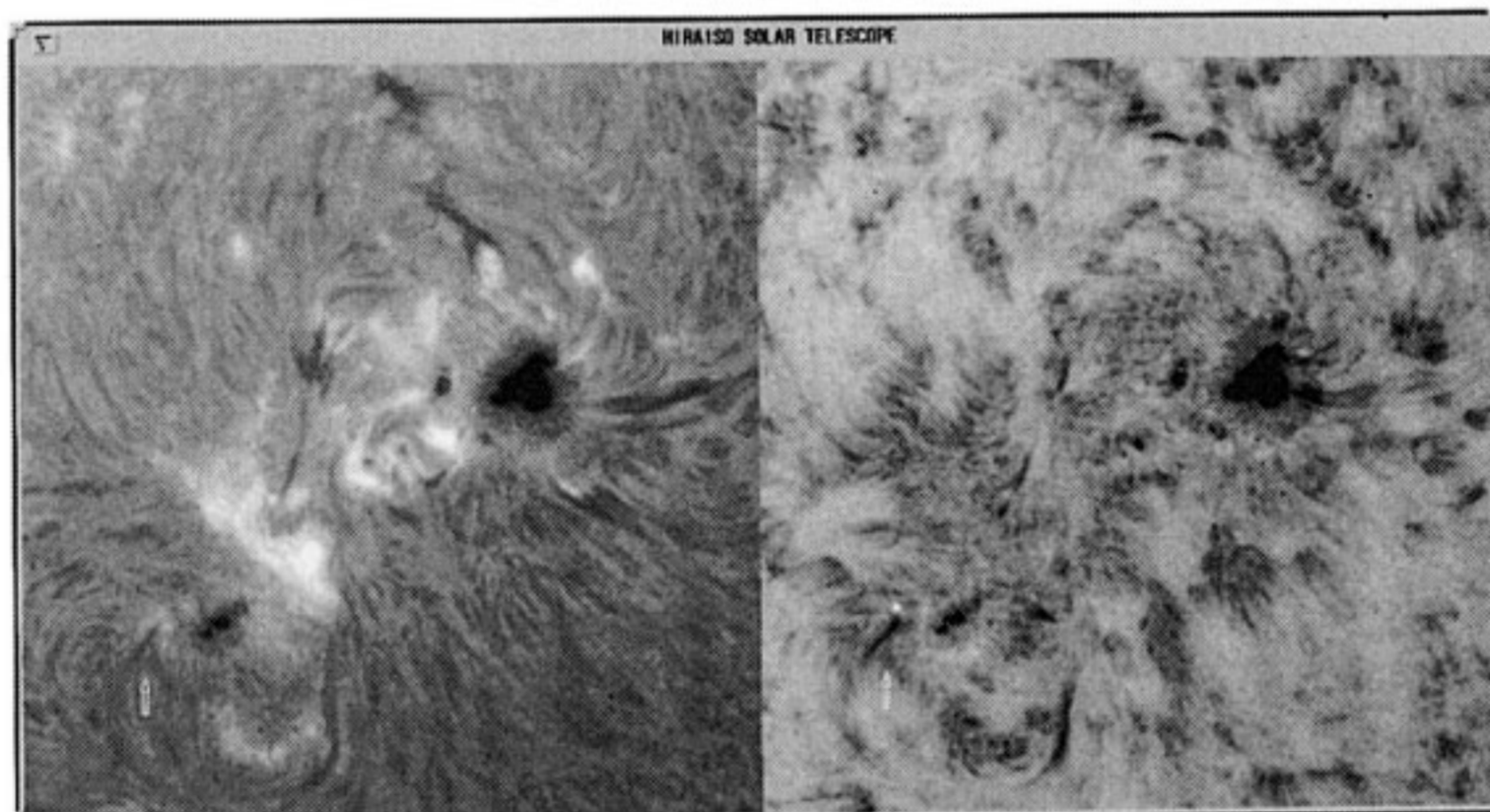
### 4. 太陽画像データベース

本望遠鏡システムで取得される画像データは膨大である。たとえば、1 日 10 時間とすると、現在の観測プログラムでも 250 MB 以上のデータが生成される。太陽活動現象の研究には、長・短期の時間変化の追跡が必要不可欠であるテーマが多く、必然的に長期間のデータを一通り閲覧する事が必要になる。しかし、1 日あたりの取得データがこれだけの量になると、所内のイーサネット環境を用いてデータを閲覧できる所内の研究者といえども、その検索、閲覧は容易ではない。さらに、広域ネットワークを経由して生データを検索、閲覧することは事実上不可能と言って良い。

そこで、我々は 1992 年からインターネットの anonymous ftp を用いた太陽画像データベースを整備してきた。搭載されているデータは生データではなく、検索、参照や概観の把握に便利のように特に作成された



第4図 活動領域の進化が把握できるよう、活動領域毎に毎日の観測画像を並べて作成したファイル。94年7月以前のビデオ CCD を検出器として用いたシステムで取得されたデータは、この形式で観測されたすべての活動領域についてデータベース化され、WWWで公開されている。



第5図 高精細H $\alpha$ 望遠鏡拡大像モードでの観測例。(左) H $\alpha$ 線中心波長で観測された彩層像。サージにともなう吸収構造が見えている(矢印)。(右) ほぼ同じ時刻にH $\alpha$ 線中心波長-0.7オングストロームで観測されたウィング像。サージに速度場伴う事がわかる。中心波長+0.7オングストローム像と合わせて解析する事により、彩層の速度場が求められる。H $\alpha$ 線中心における毎日の画像は、WWW上にデータベース化され公開されている。

ファイルである。内容は、拡大像モードによるデータを1日1枚ずつ収録したものであり、1994年7月までのデータは、活動領域毎に数日間の画像を一つのファイル

として、活動領域の進化が明確に把握できるようなフォーマットになっている。また、94年7月以降は、拡大像の画像サイズが512×512ピクセルと大きくなったため、

1日毎に1つのファイルとしてある。第4図、第5図に例を示す。この anonymous ftp サーバーは、平磯で得られた太陽画像データのみならず、文部省宇宙科学研究所により打ち上げられた科学衛星「ようこう」の軟X線望遠鏡データを研究者以外の教育関係者、一般市民等に公開する役割も果たしている。これは、ようこう科学委員会の決定と委嘱を受けて運用されている。

anonymous ftp の場合、会話性にやや難がある。そこでWWWをベースにした太陽画像データベースを開発してゆくこととした。そのため、apatchと呼ばれるサーバーソフトウェアを導入し、WWWサーバーを立ちあげた<sup>(8)</sup>。このサーバーにアクセスする事により、これまで anonymous ftp で公開してきたデータに、ブラウザソフトウェアを利用する事により対話的にアクセスできるようにした。これにより、データの有無を容易に知ることができる事になった。

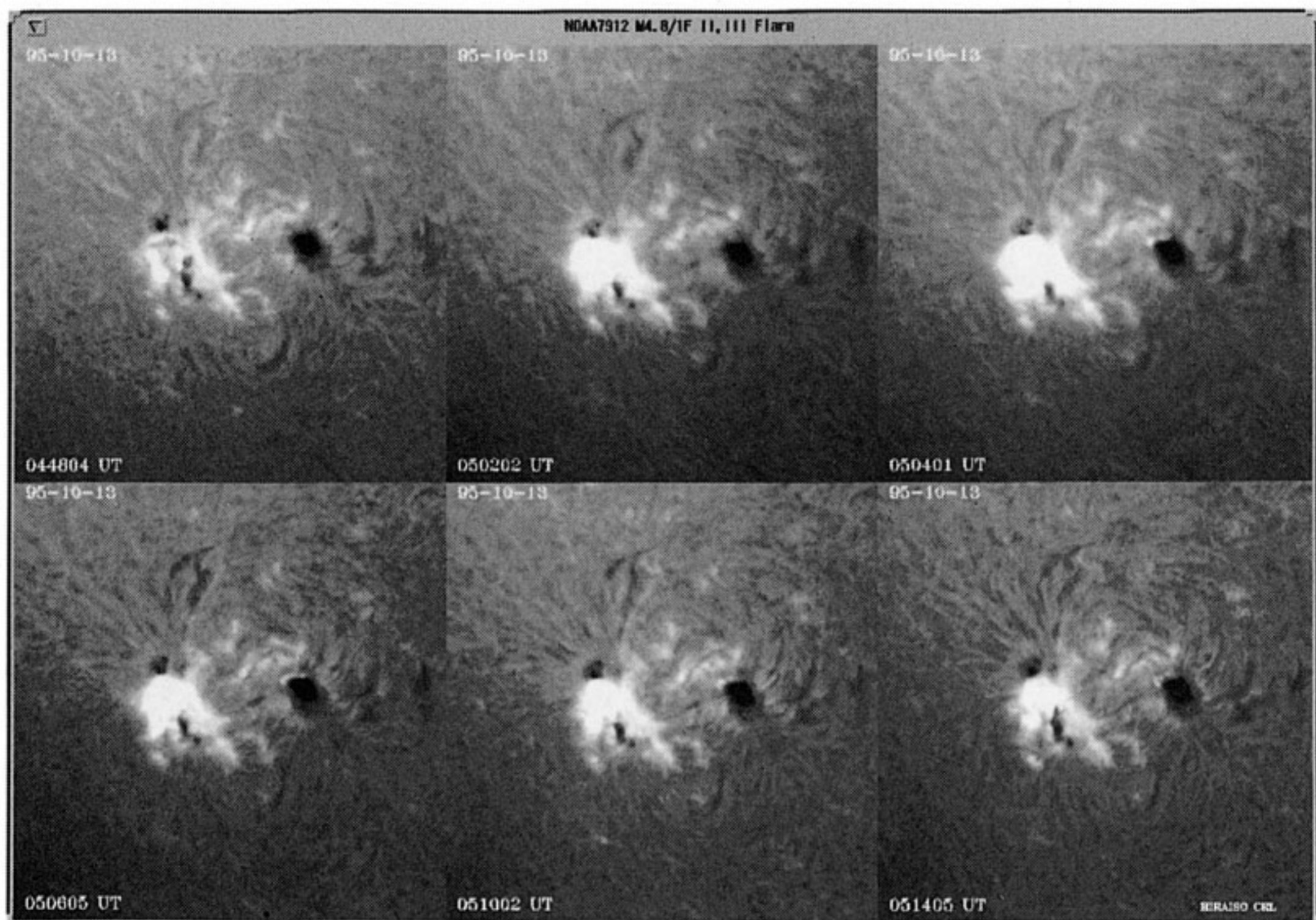
これを機に太陽フレアのデータベースの開発と整備を開始した。まずこれまで平磯センターで観測された太陽フレアの一覧表を作成するとともに(第6図)、主なフレアについてはその時間発展の概要を含む形で複数枚の画像データからなる画像ファイルを作成し(第7図)、

July -- Dec '95, FLARE LIST  
[Japanese | English]

List of flares observed at Hiraiso and sequential images of event progress.

date	start	end	region	X	OPT.	burst	F/P	EVENT_FILE
95/07/18	0629	0638	7890	B1.1			P	
95/08/24	0305	0329	7901	B2.6			P	
95/08/25	0329	0357	7901	B1.8			P	
95/08/25	0634	0643	7901	B7.4	SF	II	P	
95/08/30	0542	0554	7903	B6.4			P	
95/09/05	0041	0114	7904	C1.0			P	
95/09/05	0531	0538	7904	B1.6			P	
95/09/05	0608	0615	7904	B4.7			P	
95/09/05	0712	0720	7904	B2.5			P	
95/09/05	0730	0825	7904	B2.4			P	
95/09/25	0351	0406	7907	B9.3		III	P	
95/10/10	0541	0606	7910	C1.3			P	
95/10/13	0054	0119	7912	C7.7			P.F	951013_2 458kb

第6図 フレアリスト。H $\alpha$ 望遠鏡で観測されたすべてのフレアがリストされ、WWWで公開されている。EVENT-FILE欄のファイル名をクリックする事により、対応するフレアの時間変化を表すファイル(第7図)を参照する事ができる。このデータベースにより、フレアに関して観測の有無を即座に把握できる。



第7図 フレアの時間変化を表す画像ファイル。第6図に示したリストに示されたフレアのうち主なものについては、即座にユーザーが画像ファイルを参照できる。

一覧表にリンクした。これにより研究者は、まず目的とするフレアが平磯で観測されているか否かを一覧表を参照する事により直ちに知ることができ、リンクされた画像ファイルにアクセスすることによりフレア現象の時間発展をデータから知ることができる。さらに、いくつかのフレアについてはMPEG形式によるムービーデータを作成し、動画ライブラリとしてWWWにより公開している。

さらに、全面像撮像系により得られた全面像のJPEG ファイルを観測開始にさかのぼって作成し、公開を開始した(第8図)。JPEG方式により画像圧縮をかけてあるが、一枚あたり150 KB程度の量になるためかなり大変な量である。しかし、世界でもトップレベルのデジタル全面画像であり、その公開の意義は大きい。

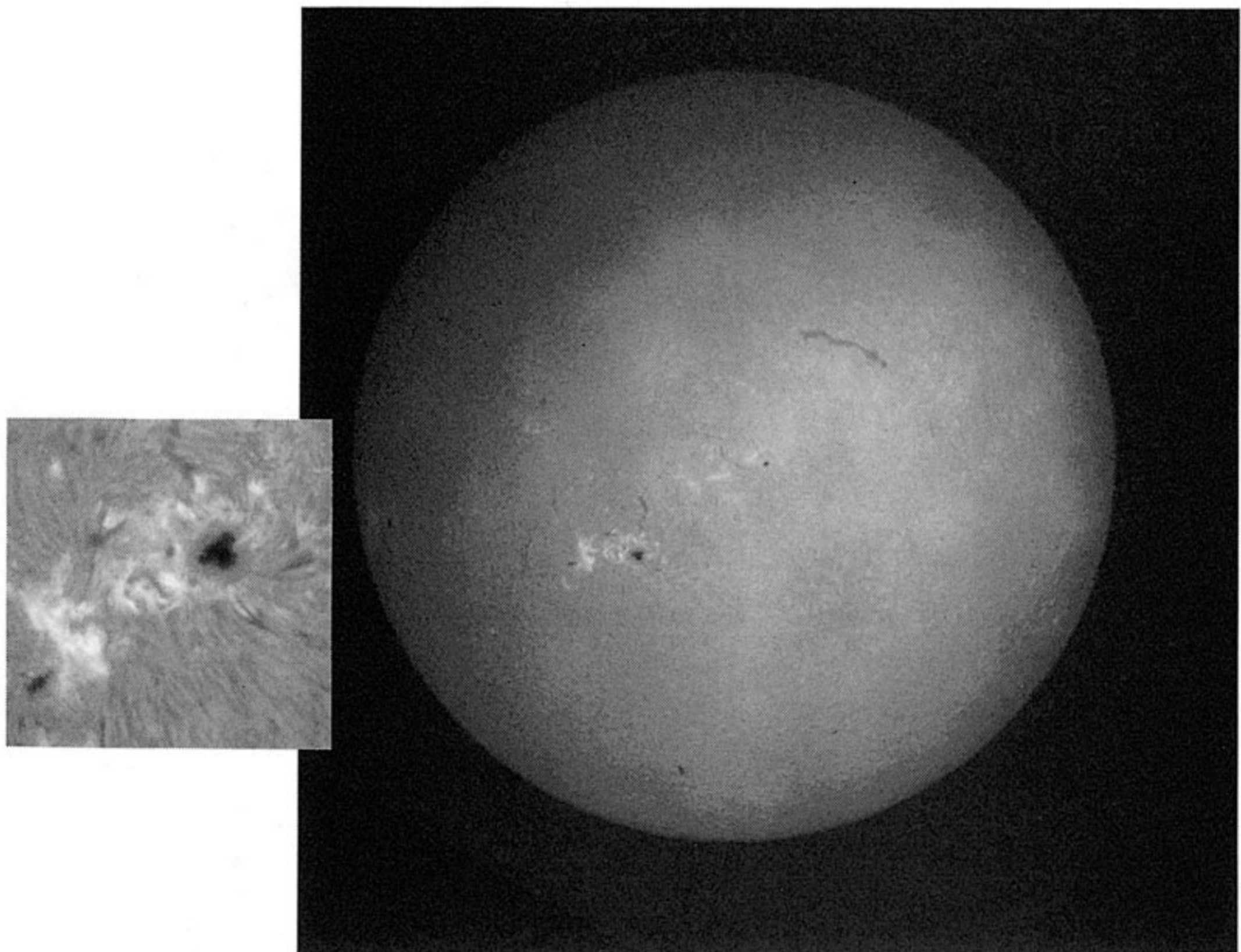
### 5. 今後の展望とまとめ

現在の定常的な観測プログラムでは、拡大像を2分に1セット、全面H $\alpha$ 像を10分に1枚、全面連続光像を

20分に1枚取得している。また、波長スキャンによる分光観測は、吸収線中心及び+0.8 Å、-0.8 Å及び連続光のシーケンスを拡大像モードについてのみ実施している。観測インターバルや波長点数は場合によっては不十分であるが、これはデータ量による制限である。しかしながら、今後太陽活動が極大を迎えH $\alpha$ 望遠鏡の重要性が急速に増すため、これらの問題を解決して、必要かつ十分な時間及び波長分解能で観測を実施する必要がある。

本システムの立ち上げを始めた1992年において、このような大容量の画像取得に利用できる計算機としての現実的な選択は、いわゆるワークステーションであった。しかしながら、昨今のパーソナルコンピュータの飛躍的進歩により、将来的にはDOS/V機等のパーソナルコンピュータとデジタルビデオインターフェースによる撮像系を開発することも検討する必要がある。

本システムのデータを用いたデータ解析も活発になりつつある。ループの相互作用によるフレア発生<sup>(9)</sup>、



第8図 全面像の観測データ。2029×2048画素の分解能は世界でもトップレベルであるが、データ量が大きいためJPEG圧縮した画像をWWWで公開している。左は、全面像の一部を拡大したもの。全面像にも関わらず、細かいファイブレルやフィラメント等の構造が見えている。



3次元磁場構造の研究<sup>(10)</sup>やサージの研究<sup>(11)</sup>等である。これらの研究は、温度や高さの異なる他波長域の観測データと比較する必要があり、非常に空間分解能の高い全面像が拡大像と同時に取得されている意義は大きい。

本システムは、宇宙天気予報プロジェクトにおける太陽観測装置の整備の一環として開発・整備を行ってきたものであり、宇宙天気予報における「太陽監視望遠鏡群」の中核的存在として長期間にわたって運用していく予定である。また、太陽フレアやフィラメント噴出、活動領域の研究に必要な不可欠な装置である。立ち上げ開始が92年であり、高精細系の完成が94年であったため、第22太陽活動極大期の最盛期は逃してしまった。そろそろ新しい太陽活動周期が始まるため、いよいよその本来の役割を果たす時期が近づいてきたと言える。太陽活動周期は11年であり、息の長い観測が必要である。少なくとも2010年頃の太陽活動極大期までは平磯における宇宙天気予報の基幹的な監視装置の一つとしての活躍が見込まれる。今後も、運用の効率化とコスト低減に努力し、長期間にわたる安定な運用を可能にしていきたい。

## 謝 辞

本システムの開発にあたり、中井善寛（京都大学理学部、西村製作所）、船越康宏（京都大学理学部天文台）、鎌田雅樹、前川譲児（カールツァイス）の各氏に大変お世話になりました。

## 付 録

### <開発の経緯>

H $\alpha$ 望遠鏡の観測データは、以下のような理由により得られるデータの種類やクオリティ、データフォーマット等が頻繁に変更されており、解析を複雑にしている面がある。データ利用の便を考え、その背景である開発経過を簡単に説明する。

1990年頃から、ハイレベルの太陽面観測を平磯で実現していこうとの機運が宇宙天気関係者の間で起こり、それに必要な望遠鏡が少しずつ整備されつつあった。しかしながら、マンパワーや予算、技術力等が十分でなく、観測装置の検討や開発、システムの検討になかなか着手するに至らなかった。我々の太陽観測の目的は、フレア予報をめざした太陽面活動現象の観測的研究と太陽活動の連続監視であり、太陽活動が活発な時期に観測を行う事が必須であった。そこで、太陽活動が落ちてしまわないうちにとりあえず基本的なツールで観測を開始し、システム設計や開発等は平行して行うやり方を選択した。そして、92年初めから装置の立ち上げを開始し、92年4月に運用を開始した。装置開発という点から見ると、

初期にこのようなやり方をしたために後の作業が非常に複雑になってしまった面はあるが、重要なイベントを多く観測でき、平磯と通総研における太陽観測のスタートを関連研究者や学校教育・社会教育関係者及び一般納税者に大きくアピールする事ができた。

制御システムと撮像システムの検討及び開発は定常観測と平行しながらすすめられた。望遠鏡の設計が非常に古いものであったため、観測をできる限り自動化するための改造を手作業で実施していった。画像取り込みやシステム制御部分も順次開発、更新を行い、データの質を向上させていった。たとえば、観測制御では、遠隔操作、自動観測を可能にし、少ないマンパワーで毎日観測することに最重点をおいた。データ取得においては、大気のゆらぎで刻々と鮮明度が変化する画像の中から最良の画像を選択する機能を開発し、自動焦点調節などの試みも実施した。また、良好な観測環境を維持するため、望遠鏡の周辺の日炎対策等も実施した。さらに、2K $\times$ 2K画素の大フォーマット CCDカメラを導入するとともに必要な補助光学系を開発、製作し、高精細H $\alpha$ 望遠鏡として94年7月に一応の完成を見た。その後、科学技術振興調整費重点基礎研究の一環として2次元分光観測機能を開発して現在に至っている。

<NTSCビデオカメラによる撮像システム（92年4月-94年7月）>

92年4月21日に本望遠鏡は観測を開始した。そのときの撮像システムは、NTST-CCDビデオカメラ（日立電子製KP-M1）、S-Bus用画像取り込みボード（サンマイクロシステムズ製VideoPix）及びワークステーション（サンマイクロシステムズ製Sparc Station 1）から成っていた。KP-M1は当時の計測用のビデオカメラとしては比較的安価で良質のものであった。しかしながら、VideoPixは1画素の深さが7ビットしかなく、かつ取り込みに1秒近くかかってしまうため、解析の際には注意が必要である。これは大きな禍根であるが、立ち上げのための予算がほとんどなく、やむを得なかった。このため、タイムラプスVTRによる間欠録画を平行して行い、両者を併せて解析する事とした。現在、タイムベースコレクタを装備したM2VTRを整備する事ができたため、同期信号の不完全なタイムラプス録画でもある程度の解析が可能である。

画像取り込みが7ビットであり、表面の磁場を反映する淡い吸収構造が観察できないため、間に画質改善器を入れることによりコントラストとゲインを調節した。これは、計測用のものではなく、通常の監視用の製品であったため再現性があまりなく、輝度のゼロ点を見失っている。装置の目的から輝度の情報より形態的な情

