

宇宙天気予報のための太陽監視システムの概要

富田 二三彦*

THE SOLAR IMAGING SYSTEM FOR THE SPACE WEATHER FORECAST CENTER: INITIAL DESIGN

By

Fumihiko TOMITA

An initial design of the solar imaging system for the space weather forecast center is presented. The objective of the system is to make high precision measurements both of the magnetic field in the photosphere and of the velocity field in the chromosphere. These measurements will be applied to the short-time flare predictions. The system is mounted on the Zeiss 15 cm Coude Refractor, and its characteristics is: 1. field of view of the sun is about 5×5 arc minutes, 2. the essential part of the system consists of the birefringent filters and the KD*P (KD_2PO_4) crystals, 3. the time resolution of the system is expected to be around a few seconds, 4. the spatial resolution is expected to be about 1 arc second, 5. the digital data are stored in optical disks and/or transferred to the network computer system for the data exchange through the international space weather forecasting network.

1. はじめに

今から4億年から6億年の昔、海中で進化した魚類はやがて陸上にはい上がり、それまでとは比較にならないほど大きな進化を遂げた。その歴史的な飛躍とまったく同じように、人類は地球の大気圏を越えて広大な宇宙空間へ乗り出し、新たな生活の場を広げると同時に想像もつかない進化を遂げようとしている。しかしながら、これまで厚い地球大気の下で進化してきたわれわれは、大気圏の外の過酷な宇宙環境についてまだ多くのことを経験していない。

地球を含む太陽圏（ヘリオスフェア）の中心にある太陽に対しても、われわれが日常生活であまり注意を払うことはない。ところが、人が宇宙で生活するようになったとき、太陽はわれわれの生活に直接影響を与え、もっと身近で注目せざるをえない対象となってくるのである。太陽面ではフレアや暗条消失などさまざまな現象が突発的に発生し、そのうちいくつかは地球の周りの宇宙環境に大きな嵐を引き起こしたり、宇宙における人体や宇宙機器に悪い影響を及ぼす。このような宇宙環境の危

険な要因を予測し、これを未然に避けるために宇宙環境の予報『宇宙天気予報』が必要となる⁽¹⁾。この宇宙天気予報の中で最も重要な課題であるフレア予知を行うために、通信総合研究所では独自の太陽観測システムを構築することを計画している。

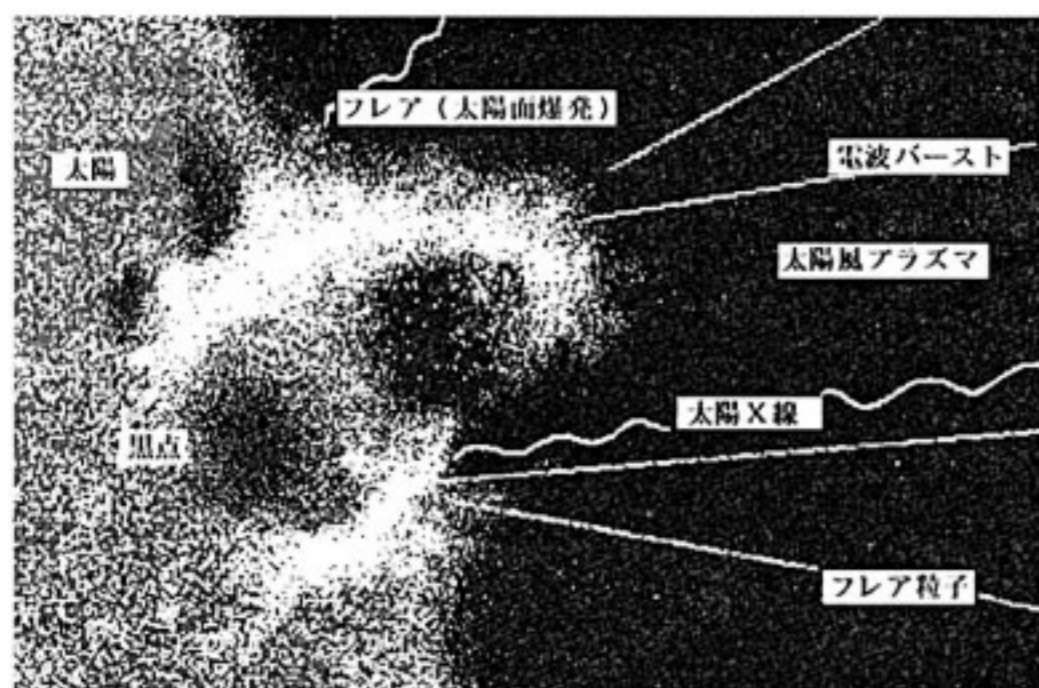
本論文では、まず現在のフレア研究の概要、つぎに平磯宇宙環境センターにおける太陽観測の現状について紹介し、これらを背景に現在宇宙天気予報計画の中で製作中のシステムについて解説する。最後には将来の計画についても紹介する。

2. フレア研究の概要

2.1 太陽活動域の概要

第1図に太陽活動域の概念図を示す。一般にフレアは発達した黒点群の近傍で発生し、エネルギーは磁場の変形によって蓄えられると考えられている。蓄えられたエネルギーが急速に放出されるという点に関しては異論がないものの、そのシナリオに関してはいくつかのモデルがある⁽²⁾⁽³⁾。(具体例は2.3節に記述する。)実際のフレア現象に対してモデルの検証を行い、フレア発生のメカニズムを解明するために、世界中の太陽物理学者は空間

* 関東支所 平磯宇宙環境センター 太陽電波研究室



第1図 太陽活動域の概念図

分解能と時間分解能を極限にまで高めた様々な電磁波や粒子線の同時観測を試みているのが現状である。

○光球

第2図に太陽活動域の立体図を模式的に示す。白色光による太陽像は光球と呼ばれる約400kmの厚さをもつガスの層を眺めていることになる。太陽は約90%の水素と10%弱のヘリウムなどからなっている巨大なガス球であるが、その中でこの光球層の観測は直接観測が可能な最も内側の層であり、フレア研究においても重要な意味を持つ。すなわち、光球上の黒点が太陽内部の磁束管の湧き出し口であるため、その数や面積の他、形状の変化を詳細に観測することにより、磁場構造の変化に関する貴重なデータを得ることができる。

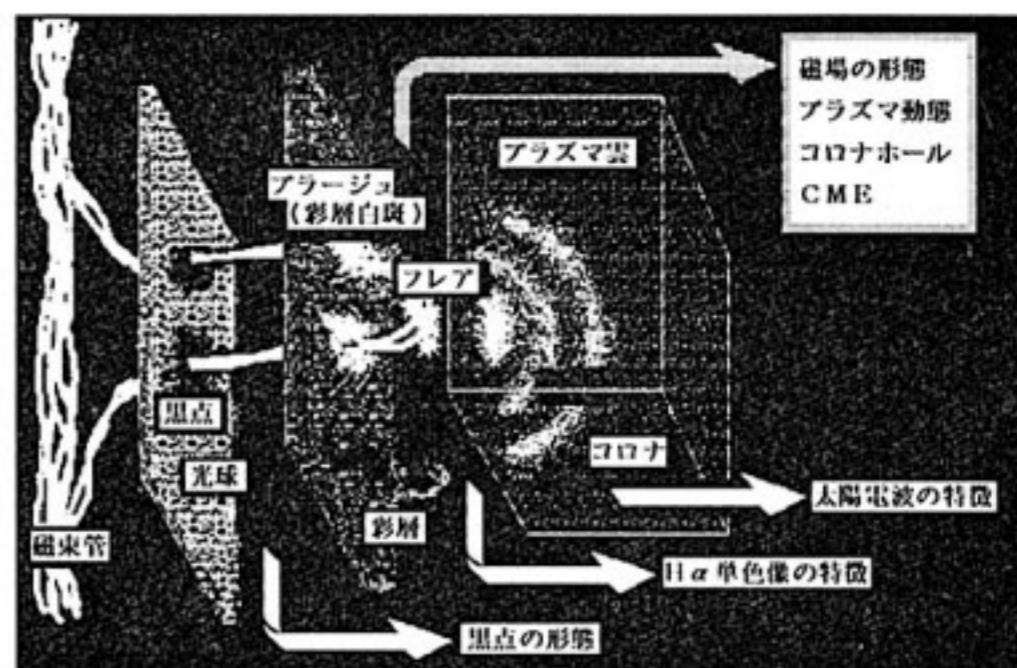
さらに、フレアとは直接には関係しないが、太陽対流層最上部の光学観測などからその振動成分を抽出することにより太陽内部構造を診断する日震学(陽震学)という新しい学問分野がめばえている。この日震学は太陽活動域の長期的変化、ひいては太陽活動11年周期の解期にも役立つ。

○彩層

光球の上空約2000kmは彩層と呼ばれる様々な物理現象がみられる場所であるが、ここはH α 線単色像によって観測することができる。この単色像は濃淡さまざまなコントラストの強い模様が特徴で、白色光太陽像とは比較にならないほどバラエティーに富んでいる。ここで特に重要な点は、

- (1) 大小問わず多くのフレアを観測することができる。
- (2) 太陽磁場にそってたなびく太陽ガスの模様が観測でき、磁場の構造などを類推することができる。
- (3) 磁場に支えられたプラズマの塊(暗条または紅炎など)が観測される。特に活動域の暗条の活発化がフレアの前駆的現象となる例もある。

この彩層はH α 線その他ミリ波の電波によっても観測できる。ミリ波電波太陽像はH α 線太陽像と共にフレア予



第2図 太陽活動域の立体図

知に役立つことがわかっているだけでなく⁽⁴⁾、暗条付近の輝度温度の低下、コロナホールでの輝度上昇など太陽物理の研究に役立つ数多くの情報を持っている。

○コロナ

彩層の上空にはコロナと呼ばれる高温(約100万度K)の太陽プラズマが太陽半径の数倍まで広がっている(広い意味でのコロナ=外部コロナは惑星間空間から地球軌道以遠まで広がりこのコロナガスの流出を太陽風と呼ぶ)。コロナは光球の光を反射して輝くほか、独自の輝線も発しているが、ここでなによりも重要なのはデシメートル波帯より長い波長の電波を放射していることである⁽⁵⁾。特に、

- (1) 発達した活動域の上層から発せられるS成分の電波を波長3cmと8cmのような2つの波長で連続的に観測することにより、特に大きなフレア(プロトンフレア)の発生を予知できる可能性がある⁽⁵⁾⁽⁶⁾。
- (2) フレアに伴う電波バーストをさまざまな波長域で観測することにより、プラズマ雲や衝撃波などのコロナ中の伝搬状況を知ることができ、粒子加速のメカニズムなどを解明する上で重要である。

以上述べてきたように、白色光、H α 線、電波で太陽を同時に観測することにより太陽表面の光球からコロナにいたる立体構造を探ることができる。このような光と電波による太陽観測を定常的に行っていることが平磯宇宙環境センターの大きな特色となっている。

2.2 国内・外の研究の現状と将来計画

地上からの広帯域にわたる電波観測、各種光学観測、中性子の観測、さらに人工衛星を用いたフレア粒子、 γ 線、X線、紫外線、低周波電波などの電磁放射の観測など各種観測データをもとに、太陽面上で発生するさまざまな現象に関する観測と研究は、これまで国内、国外の研究機関において精力的に行われてきている⁽²⁾。特に、国内では京都大学飛騨天文台のドームレス太陽望遠鏡、国立天文台岡山天体物理観測所の太陽マグネトグラフ、

野辺山電波天文台の太陽電波観測，乗鞍コロナ観測所や三鷹における各種光学観測，名古屋大学空電研究所の太陽風観測，宇宙科学研究所の太陽観測衛星「ひのとり」など，それぞれが特徴を活かした観測によって成果を挙げている．今後はそれぞれ単独の観測だけで良い成果があがる時代から，共同でひとつの現象を多角的に研究する時代へと進んでいくと考えられる．近い将来にはSOLAR-A衛星や電波ヘリオグラフ計画が予定されており，これらと従来からの観測を合わせることで，これまで以上にフレア発生メカニズムなどが解明されていくものと考えられる．

このような時期に独自の太陽観測システムを構築し，太陽フレア予知に目標を絞った観測・研究を行うことは，宇宙天気予報だけでなく太陽面物理学の発展に対しても大きな意義がある．具体的には，フレアが発生しそうな活動域に対して磁場，プラズマ動態， $H\alpha$ ，白色光，電波などの観測を集中して連続的に行うことにより，フレア発生前，発生時，発生後のシナリオを明らかにしていくことが可能になるのである．

2.3 フレア予知と太陽磁場・プラズマ動態観測の意義

すでに述べたように，太陽フレアは，太陽大気中に蓄えられた磁場のエネルギーが急激に開放されることによって起こる爆発現象である．その発生に関するモデルは次のようなものが知られている⁽²⁾⁽³⁾．

- (1) 浮上する磁気ループと周囲の磁場との境界にフレアが起こるモデル．
- (2) 暗条放出が引金となってフレアが起こるモデル．
- (3) 磁気ループ内の不安定によりフレアが起こるモデル．
- (4) 隣合った磁気ループの境界でフレアが発生するモデル．

これらのモデルのうちどれかが正しいとするのは，多分誤りで，いずれのモデルに類似したフレアも存在すると考えるのが妥当であろう．このような状況において，宇宙環境に大きな影響を及ぼすフレア（巨大フレア）の発生機構がいずれかのモデルに特定できるのか，またそのようなフレアの発生を予知するためにはどのようなプラズマ物理量を計測し，いかなるアルゴリズムによってフレア規模，発生時刻と場所を予測するかということが今後の宇宙天気予報の課題となる．

これまでの研究^{(6)~(9)}からフレアを予知するために注目すべき現象として，

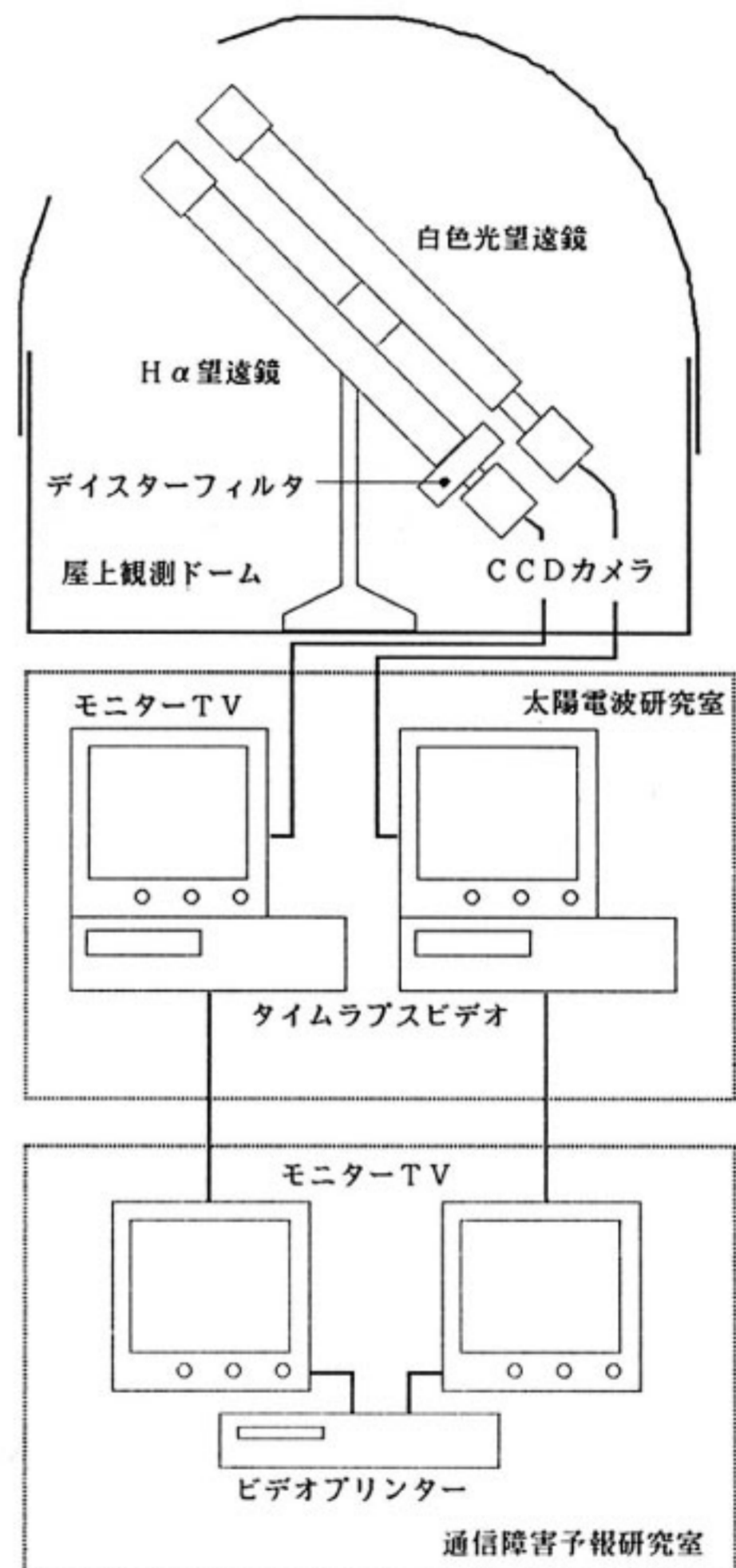
- (1) 活動域の磁場分布の複雑化．
- (2) 磁場のねじれ（シアー）の発達．
- (3) 磁気ループの噴出と消滅．
- (4) 速度場の前駆的变化．

- (5) 暗条の活発化．
- (6) プラージュなどの $H\alpha$ 線増光．
- (7) 紫外光，X線，電波などの前駆的な強度変化．
- (8) マイクロ波電波の特性変化．

などが挙げられている．これらの現象はすべて直接にあるいは間接に，磁場と速度場という2つのプラズマパラメータと関連している．すなわち，フレア予知にとって磁場および速度場（プラズマ動態）の観測がきわめて重要であるということを示している．

3. 平磯センターにおける太陽観測の現状

従来より平磯宇宙環境センターにおいて行われてきた太陽観測のうち光学観測装置のブロック図を第3図に示す． $H\alpha$ 太陽像観測装置および白色光太陽像観測装置は，支所屋上の3mドーム内赤道儀式マウントに同架されており各光学系の構成要素の仕様は以下の通りであ



第3図 既設太陽光学観測施設のブロック図

る。

H α 太陽像観測装置

対物レンズ：口径 80 mm，焦点距離 1200 mm，ア
クロマート（五藤光学）

干渉フィルター：有効径 32 mm ϕ (Day Star Filter)
透過波長中心 656.28 nm (43°C)
透過波長幅 0.07 nm

対物レンズ前面に R-64 フィルターを
設置し，F20以上で使用。

CCD カメラ：東芝 IK-530 S

解像度 420 H \times 400 V

撮像面 6.54 mmH \times 4.89 mmV
(1/2インチ)

白色光太陽像観測装置

対物レンズ：口径100 mm，焦点距離1200 mm，ア
ポクロマート（日本光学）

干渉フィルター：対物レンズ前面に ND 400，接眼部に
ND 400，ND 8 \times 2

CCD カメラ：東芝 IK-530 S

解像度 420 H \times 400 V

撮像面 6.54 mmH \times 4.89 mmV
(1/2インチ)

いずれも焦点距離 1200 mm で，直焦点撮像面での太陽像直径は 5.6 mm. CCD 撮像面が1/2インチなので，太陽ディスクの約1/5の同一領域を監視することになる。各々の出力信号は庁舎 2 階太陽電波研究室へ送られ，タイムラプスビデオにてデータを記録する。ビデオによって年，月，日，時，分，秒情報が付加された映像は，1 階宇宙天気予報指令室に送られる。ここでは切り換えによって H α ，白色光いずれの画像もハードコピーが得られるようになっており，通常は白色光画像のハードコピーが従来の太陽黒点スケッチの代わりに活用される。ハードコピー装置も高い解像度（100 mm \times 75 mmの画面に対し 640 H \times 641 V）を有しているので，取得された画像は従来の黒点スケッチに劣らない。

光学観測の他独自の太陽電波観測も長年にわたって行っている。ミリ波（32 GHz）太陽電波観測システム⁽¹⁰⁾のパラボラアンテナは平磯センターの南方約 50 km の鹿島センター内にあり，アンテナの制御命令や観測結果の伝送はマイクロ波による内線電話回線を利用したパソコン通信によって行われる。固定周波太陽電波の観測は 100, 200, 500 MHz, 9.5 GHz の 4 つの周波数で常時行っている。1988年には太陽電波スペクトル計が完成し 70~500 MHz で毎日データを取得している⁽¹¹⁾。この装置により宇宙天気予報に必要な電波バーストのスペクトルがリアルタイムで観測できるようになっている。

4. 宇宙天気予報における太陽監視システムの概要

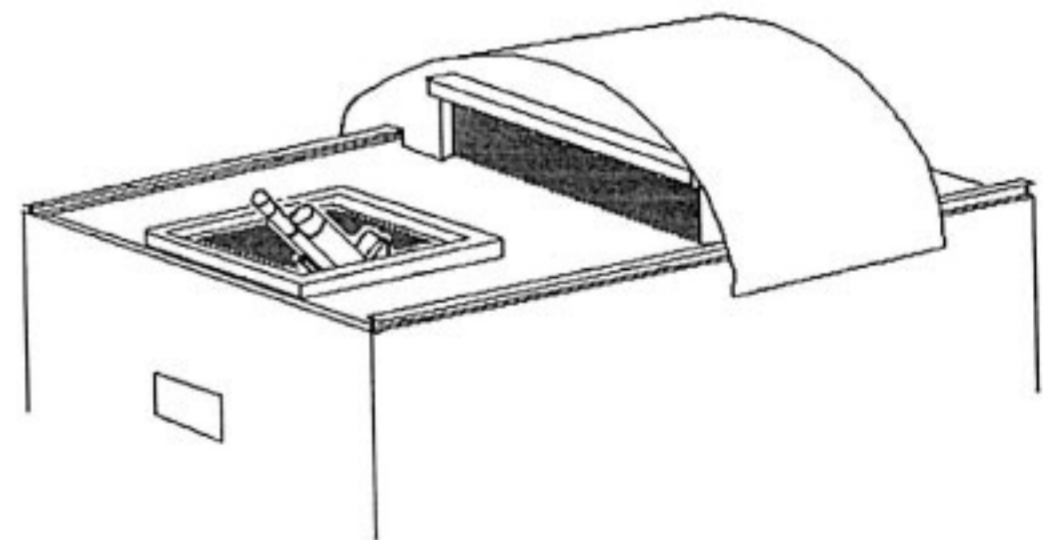
平磯宇宙環境センターで従来から行われている黒点監視と H α 監視に加え，フレア予知を目的とした太陽監視システムとして太陽磁場観測装置及び太陽プラズマ動態（速度場）観測装置を宇宙天気予報第 1 期 6 か年計画（1988年~1993年）中（1992年頃まで）に整備する。

4.1 システム全体の概要

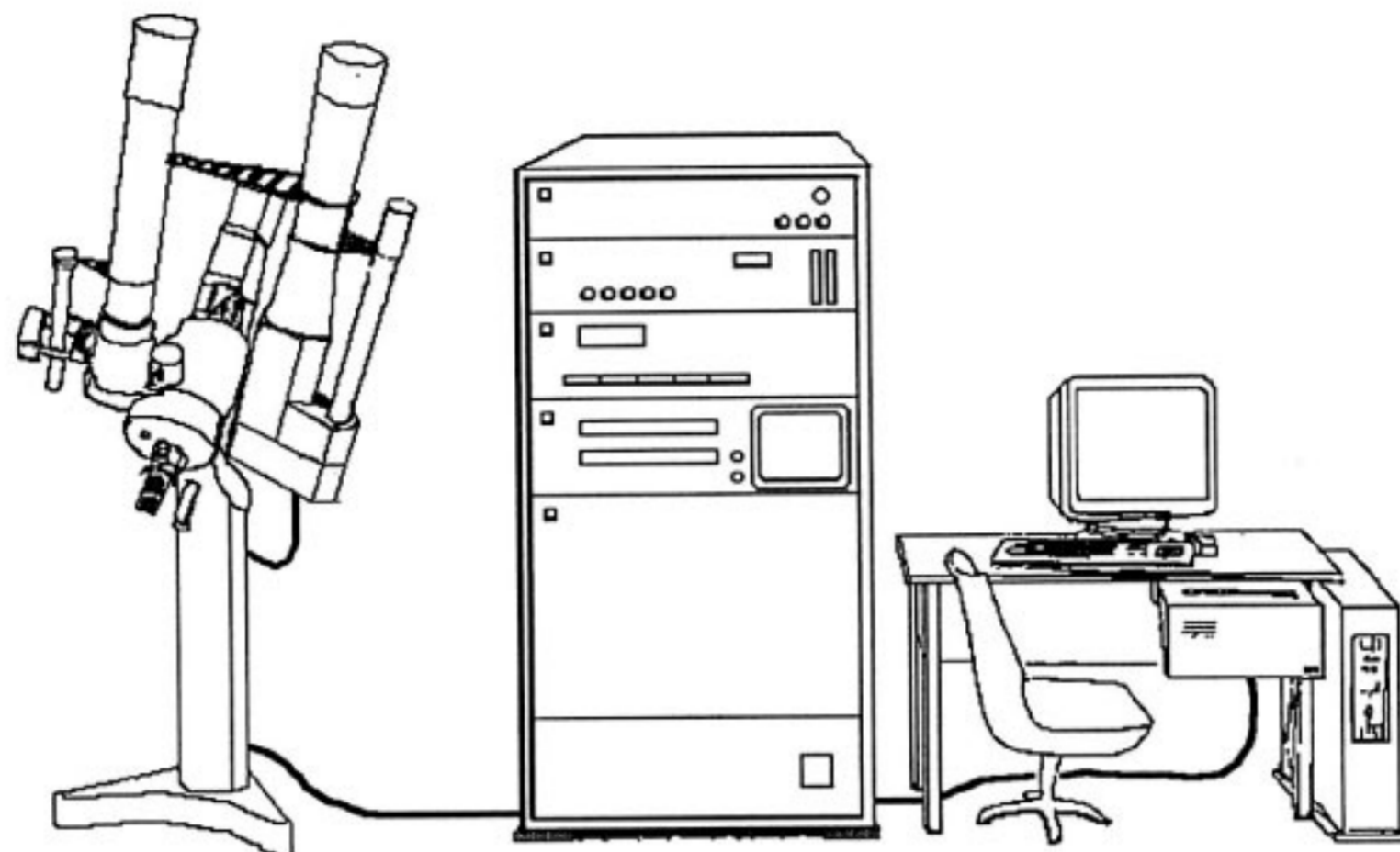
現在製作中の太陽監視システムが平磯センター庁舎屋上のスライディングルーフ内に設置された様子を第 4 図に示す。晴天日には日の出と共に自動的に太陽監視が開始され，天候が崩れないかぎり日没まで連続して太陽を監視するシステムを考えている。

システム全体の概念図を第 5 図に示す。太陽磁場観測システム及び太陽プラズマ動態観測装置は西独カールツァイス社製 15 cm クーデ式望遠鏡に同架される。赤道儀式架台は光電自動太陽追尾装置によって太陽を追尾し，両観測装置は太陽面上の同一領域を監視する。

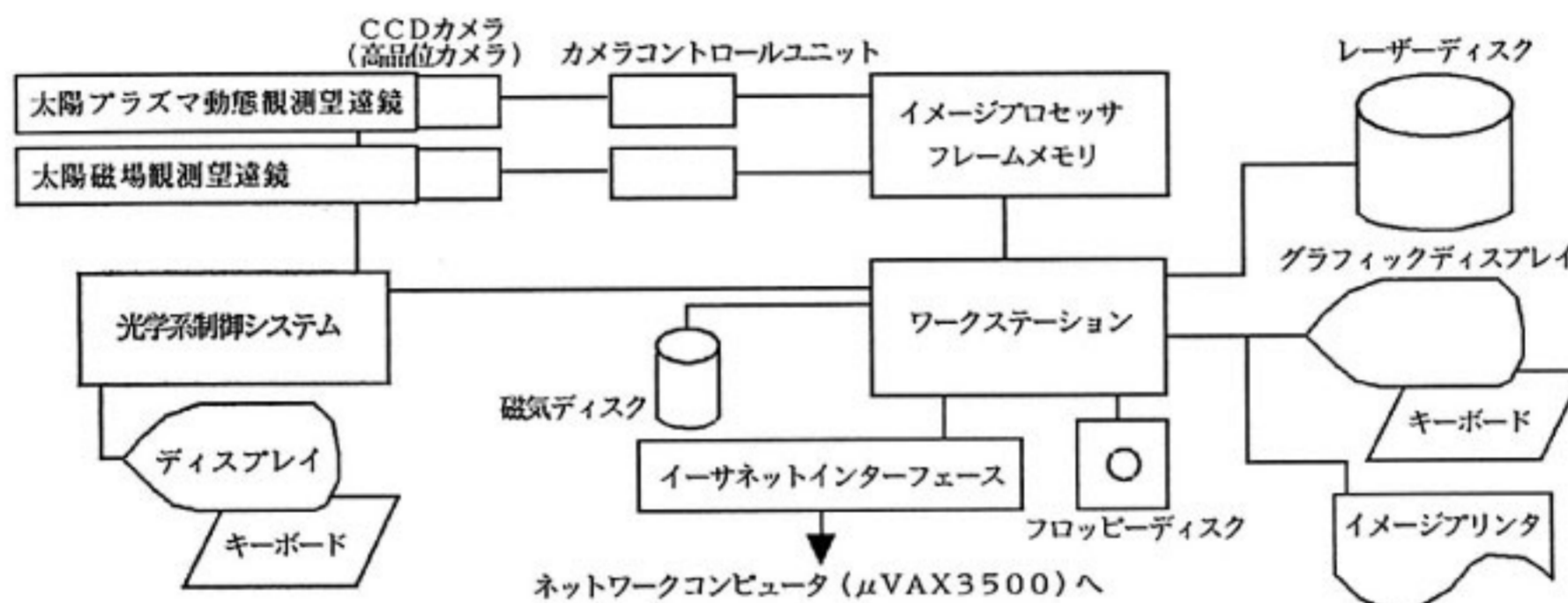
システム全体のブロック図を第 6 図に示す。磁場，プラズマ動態各々の画像は高品位 CCD カメラ（1000 \times 1000素子程度）によって取り込まれ，フレームメモリ内蔵のイメージプロセッサによりデジタルデータとして一旦保管される。部分的な球面画像の平面画像への変換，自転によるドップラーシフトの補正，ドップラーシフトから速度場への変換，周辺減光の補正，フィルタ等光学系のムラ補正，画質向上のための積分処理や画像変化成分抽出のための差分処理など取得データに対して予め設定された前処理はすべてこのイメージプロセッサ内で高速に行われる。その結果，イメージプロセッサからワークステーションに転送されるデータは，太陽シノプティックチャート（展開図）上のある領域における磁場及び速度場分布となっている。データ処理及び観測制御の中心となるワークステーションは，観測データのレーザディスクへの保管，光学系制御システムへの観測手順の命令，詳細なデータ解析及びネットワークコンピュータへ



第 4 図 太陽監視システムの外観



第5図 太陽監視システム概念図



第6図 太陽監視システムブロック図

のデータ転送などの作業を行う。観測データの時間分解能は光学系の性能にもよるが、磁場観測で1秒程度以下、プラズマ動態観測で10秒程度以下を考えている。

4.2 光学系の概要

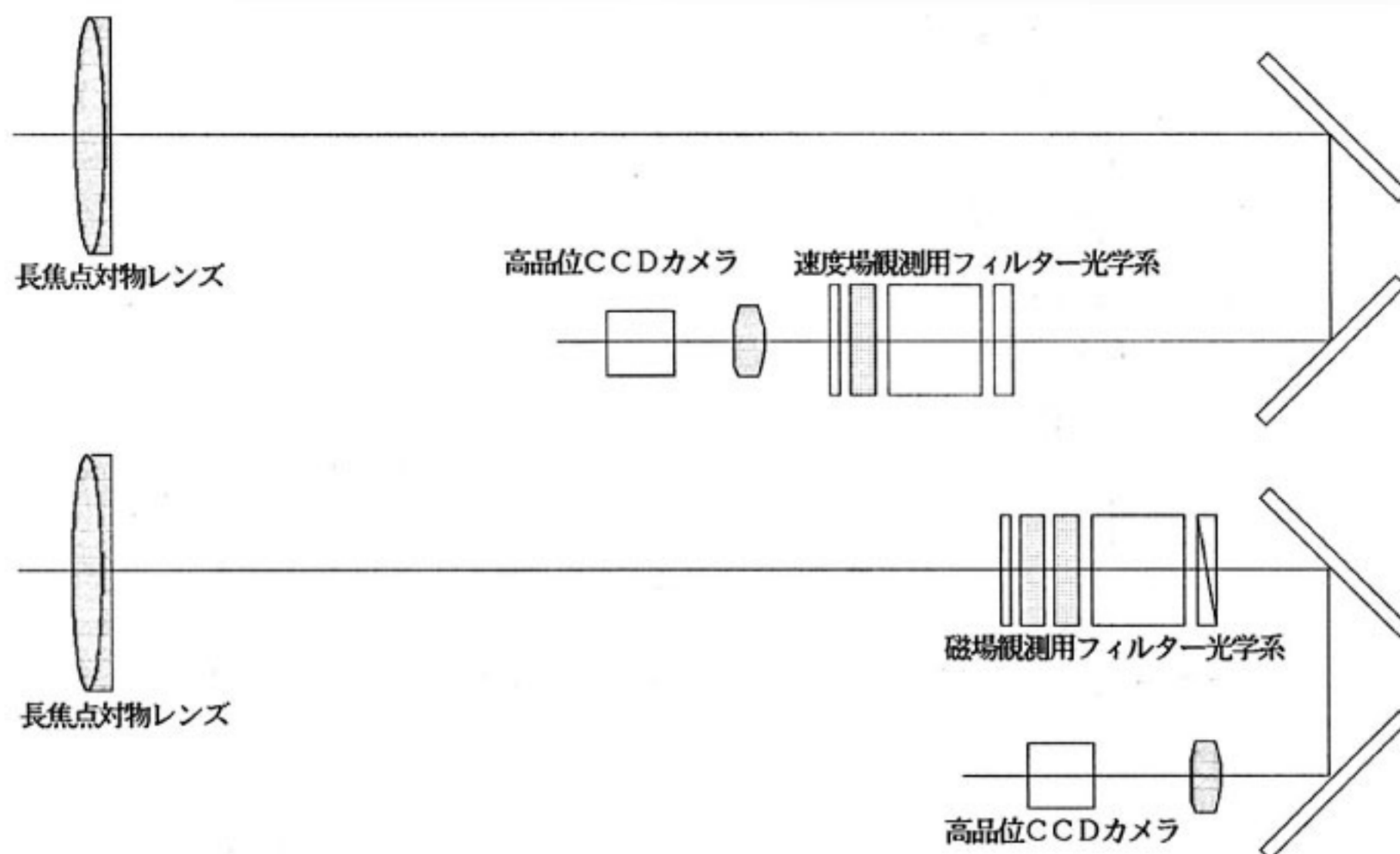
光学系の概要を第7図に示す。この太陽監視装置はフレア予知を目的としているため、磁場、プラズマ動態ともに光学系の理論分解能に近い分解能（角度1秒程度）で太陽面上の同一領域を角度5分角程度に拡大して観測することを計画している。なお将来は、太陽全面の磁場観測も可能にすることを考えている。当面は15cmクーデ望遠鏡はプラズマ動態観測に用い、バランスウェイト側に増設された光学システムで磁場観測を行う予定である。

4.2.1 磁場観測光学系⁽¹²⁾

太陽の一部分を拡大し、光球の磁場を高分解能で観測する。現在稼働している国内の磁場観測装置は国立天文台岡山天体物理観測所の太陽マグネトグラフで、口径65cmクーデ式望遠鏡と10m分光器を組み合わせ高

精度のベクトル磁場を観測している。岡山のシステムの通常空間分解能は10秒角、時間分解能は70分である。フレア予知のためには磁場分布の時間変動を観測することが必要であり、時間分解能は数分以下が望ましい。さらに、長期にわたる定常運用を円滑に行うためには装置全体の保守管理が容易でなければならない。このような観点から通信総合研究所のシステムはフィルタ観測方式を採用した。狭帯域リオフィルタの透過波長域を固定し、フィルタ前面においたKD*P (KD₂PO₄) 結晶に正負の高電圧を交互にかけることによって入射光の円偏光成分を検出する。当初は視線方向の磁場測定を行うが、最終的には透過半値幅が12.5nm以下のリオフィルタによる直線偏光成分の検出により、ベクトル磁場の観測をめざしている。計画中の観測パラメータは以下の通りである。

- 観測波長：Fe I 525.0 nm (ランダ係数；g=3)
- またはFe I 630.3 nm (g=2.5)
- またはFe I 633.7 nm (g=2.0)



第7図 太陽監視システム光学系念図

磁場強度の測定精度：10 gauss=1 mT (目標値)

4.2.2 プラズマ動態観測光学系

磁場観測と同じく太陽の一部を拡大し、彩層の速度場を高分解能で観測する。太陽面速度場の観測において国内で最も活躍しているのは京都大学飛騨天文台のドームレス太陽望遠鏡である⁽¹³⁾。透過半値幅 25 pm の H α リオフィルタを用いて H α ±0.00 nm, ±0.03 nm, ±0.05 nm, ±0.08 nm, の7波長で写真撮影を行い、それらを組み合わせることによりドップラーグラムが作成されている。このほか高分解能分光器を用いた速度場観測も試みられているが⁽¹⁴⁾、前節と同じく、高い時間分解能と保守管理の容易さから通信総合研究所のシステムはフィルタ観測方式を採用することにした。具体的には、H α リオフィルタ (透過半値幅 25 pm) を利用する。リオフィルタ本体の波長シフトによるドップラーグラム (時間分解能約10秒) だけでなく、KD*P結晶を利用したドップラー偏移測定 (時間分解能約 100 msec) による太陽活動域の高時間分解能観測も行ってみたいと考えている。観測パラメータは以下の通りである。

対物レンズ：口径 150 mm, 焦点距離 2250 mm, (カールツアイス)

クーデ鏡：ZERODUR

フィルター：カールツアイス H α リオフィルタ

透過波長中心 656.3 nm

波長シフト 通常は ±100 pm を 10 pm 毎にシフト, 高速現象を観測する時はシフト範囲を拡大。

透過波長幅 25 pm

速度場の測定精度：1 km/s (目標値)

5. 将来の計画

地上における太陽監視は高い精度の観測が数十年にわたって継続して行えるという利点を持っている。しかしながら、地上観測には常に天候に左右されるという大きな欠点がある。特に山岳の多い島国日本では、良質の観測データの取得率は低い。このような観点から将来は地上の太陽監視施設に加え、高高度あるいは宇宙空間における太陽監視施設の整備を考えていかなければならない。

5.1 成層圏プラットフォーム⁽¹⁵⁾を利用した太陽観測
高度 30 km にまで上昇した場合の大気の大気厚さは、地上の約 1/100 である。しかも電力やデータ転送レートなど比較的余裕のある安定した観測条件を備え、何よりも観測装置を打ち上げるためのコストが人工衛星とは比較にならないほど安上がりということになれば、現在通信総合研究所において計画中の成層圏プラットフォーム (SP: Stratospheric Platform, 以後 SP と略記する。) は理想的な天文台となりうる。SP は対流圏の上を飛行するため、太陽観測にとって有利な条件を数多く備えている。以下にその条件と、それがどのような太陽観測を可能にするかを列挙する。

(1) 雨、雲などの気象条件に左右されることなく、日中 100% の連続観測が可能である。すなわち、

- 世界一の観測率を誇るフレアパトロールと欠測ゼロの黒点観測。

・日震学（陽震学）に役立つ安定した連続観測データの蓄積。

が可能となる。

(2) 風や熱対流による大気シンチレーションが小さい。よって、

- ・世界一良質の太陽画像の取得。
- ・太陽や惑星表面の微細構造の観測。

が可能となる。

(3) 水蒸気による赤外域の光の吸収が小さいことから、赤外域での太陽観測，例えば 1.083 μm (He I) によるコロナホールの観測に有利である。

現在，地上の太陽天文台は，雨の少ない（晴天日数の多い）砂漠などに建設されたり，大きな湖のほとりや熱対流を抑えた塔の上などに建設されたり，高い山の上に建設されたりしている。ところが，上記(1)(2)(3)すべての条件を満たすような場所は，世界でも数えるほどしかなく，特に雨の多い日本では夢物語にしか過ぎない。これに対し，(1)(2)(3)すべてを同時に満足する SP は太陽観測やその他の天体観測にとってきわめて利用価値が高い。SP が南北両極地方をはじめ世界中の数カ所で太陽（天体）観測をすることになれば，様々な自然科学の分野の研究にとってきわめて大きな貢献をすることになるであろう。



第8図 成層圏プラットフォーム用太陽監視装置概念図

具体的な太陽観測装置は上で述べたようなSPの長所をフルに利用し，それでも初期モデルはできるだけ汎用的に利用されることも考慮する。白色光，H α 線，1.083 μm ，+予備1チャンネル程度で第8図のような外観となる。なお，図に示される太陽観測装置に関する諸元はおおよそ次のようになるが，いずれも今後改良の余地がある。

総重量：20 kg

電力：20 W

データ転送量：64 kbps（各波長30秒毎の画像）

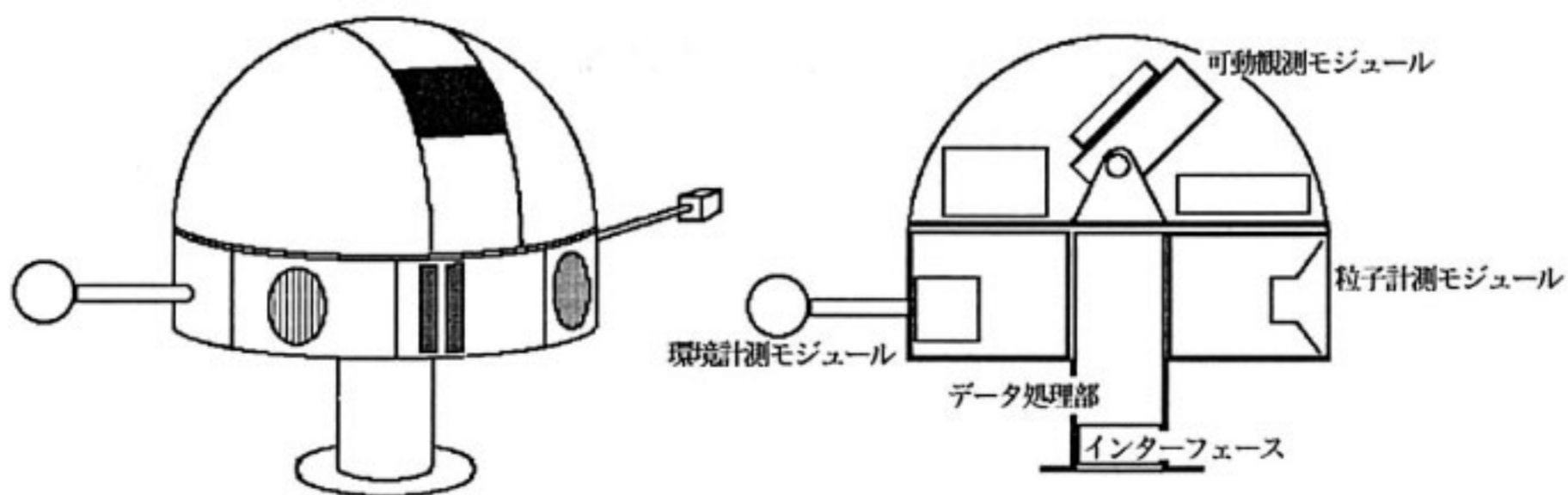
太陽追尾精度：0.5 arcsec

5.2 宇宙環境モニター（宇宙観測標準モジュール）⁽¹⁶⁾

将来の有人宇宙活動の時代には，宇宙環境予報の検証，現在のアメダスシステムのような広域宇宙環境監視網の整備，さらに進んだ宇宙環境アセスメントを行うために宇宙環境直接測定装置の開発は欠かすことができない。宇宙環境モニターの概念図を第9図に示す。これは小型軽量の標準モジュール構造になっており，宇宙環境と太陽監視の各種標準観測を自動的に行うものである。各モジュールは規格品からなり，これが各種衛星などに標準搭載されることにより，宇宙環境の状態を広く正確に，しかも簡単に把握することが可能となる。装置は上部可動観測部と下部固定観測部からなり，上部は太陽などの天体方向に視野を固定した観測，下部は4～6個程度の標準モジュールを組み合わせて宇宙環境計測を行う。各オーナーの好みにより観測項目を自由に選ぶことができるが，各モジュールは標準規格品なので各観測データの比較，交換，統計処理等は非常に容易である。これまでの人工衛星に搭載されたわが国の観測装置は，小型・軽量であるにもかかわらず高精度の観測データを得るという特色を持っている。この実績を活かし，今後は世界の標準観測システム構築をめざしたい。

6. おわりに

宇宙天気予報は有人宇宙活動における人命の安全確保



第9図 宇宙基地用太陽及び宇宙環境監視装置（宇宙環境モニター）概念図

と宇宙機器やシステムの安全運用を目的としている。そのため人体や宇宙機器に危害を加えるような太陽フレアの予知は宇宙天気予報の中で重要な位置を占め、したがって太陽の観測と研究も継続して行うことが必要である。実用的なフレア予知は、地上の天気予報と同じく研究の積み重ねと正確な観測データをもとにして行うことが可能であり、そのための太陽監視システムも通信総合研究所関東支所平磯宇宙環境センターにおいて着々と整備されつつある。地上の設備だけでなく、今後は地球大気圏外における観測データも取り込めるような体制を構築していくことが課題である。

なお、おわりに宇宙天気予報プロジェクト及びその中で計画されている太陽監視システムの構築に対し、多くの研究者の英知が結集されることに期待する。

謝 辞

通信総合研究所においてこれまで長年にわたって培われてきた地球惑星系環境科学が、21世紀に役立つ実用科学として宇宙天気予報という花を咲かせることになる。これまでの多くの研究者のご努力と太陽定常観測に御尽力いただいた所内外の関係者、特に貴重な太陽データを定常的に取りつづけてこられた平磯宇宙環境センター太陽電波研究室現役及びOBの皆様に感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) 菊池 崇, “宇宙天気予報計画”, 通信総合研究所季報, 本特集号, 1989.
- (2) 桜井邦朋他, “高エネルギー太陽物理学—太陽フレアを中心に—”, 月刊フィジクス, 海洋出版, 72号, 1987.
- (3) 平山 淳編, “太陽”, 恒星社, 1981.
- (4) H. Kumagai, and C. Ouchi, “32 GHz SOLAR RADIO OBSERVATION AT HIRAIISO, JAPAN AND ITS APPLICATION TO SHORT TERM SOLAR ACTIVITY PREDICTION”, Solar Terrestrial Predictions Proc. Workshop at Meudon, France, June 18-22, pp. 170-173, 1984.
- (5) 森本雅樹, 甲斐敬造著, “電波でみた太陽”, 出光科学叢書12, 1976.
- (6) R. F. Donnelly, Editor, “Solar-Terrestrial Predictions proceedings”, Vol. 1, 1979.
- (7) C. Sawyer, J. W. Warwick, and J. T. Dennett, “SOLAR FLARE PREDICTION”, Colorado Associated University Press, 1986.
- (8) R. F. Donnelly, Editor, “Solar-Terrestrial Predictions proceedings”, pp. C1-C235, Vol. 3, 1980.
- (9) H. Zirin and M. A. Liggett, “DELTA SPOTS AND GREAT FLARES”, Solar Phys., 113, pp. 267-283, 1987.
- (10) H. Kumagai, S. Isozaki, C. Ouchi, K. Ohbu, T. Isobe, E. Ouchi, T. Nishino, T. Hori, and F. Takahashi, “Solar Radio Observations at 32 GHz by a Large Single Dish”, Publ. Astron. Soc. Japan 33, 485, 1981.
- (11) 亘 慎一, 磯崎 進, 大部弘次, 富田二三彦, 磯辺武, 丸橋克英, 石嶺 剛, “70-500 MHz 帯太陽電波ダイナミックスペクトル計”, 通信総合研究所季報, Vol. 35, No. 175, pp. 201-209, 1989.
- (12) “Measurements of Solar Vector Magnetic Fields”, NASA Conference Publication 2374, 1985.
- (13) 黒河宏企, “フレアを頻発する太陽活動領域のH α 観測”, 通信総合研究所季報, 本特集号, 1989.
- (14) 花岡庸一郎, “太陽表面の速度場の振舞い”, 天文月報, 82, 7, pp.172-176, 1989.
- (15) 森 弘隆, “成層圏無線中継システムの研究計画の概要”, 第405回通信総合研究所研究談話会資料, 1989.
- (16) 富田二三彦, 宇宙天気予報グループ, “宇宙天気予報”, 科学衛星シンポジウム集録, pp. 197-199, 1988.

