

## 2 太陽宇宙環境の計測・予測に関する研究開発

### 2 *Measurement and Prediction of Solar-Terrestrial Environment*

#### 2-1 太陽活動・太陽放射線の監視と警報

##### 2-1 *Monitoring and Warning of Solar Activity and Solar Energetic Particles*

##### 2-1-1 太陽活動・太陽放射線の監視

##### 2-1-1 *Monitoring of the Solar Activity and Solar Energetic Particles*

秋岡眞樹 久保勇樹 長妻 努 大高一弘

AKIOKA Maki, KUBO Yūki, NAGATSUMA Tsutomu, and OHTAKA Kazuhiro

#### 要旨

太陽活動は、電離圏を含む地球周辺の宇宙空間(ジオスペース)や深宇宙における宇宙天気諸現象の源であると言っても過言ではない。太陽活動の影響は、X線や太陽放射線、コロナ質量放出、高速の太陽風など、様々な形態で地球へと到来する。このため、宇宙天気予報を実現するためには、太陽やその伝播過程となる太陽地球間空間(内部太陽圏)を監視することが本質的に重要である。また、太陽フレアやコロナガスの塊の前面に形成される衝撃波に起因する太陽放射線粒子は人工衛星や有人宇宙活動に大きな影響を与える。我々は、宇宙天気予報研究の重要な一翼として太陽・太陽放射線の監視とその研究に取り組んできた。本稿では、情報通信研究機構がこれまでに取り組んできた STEREO 探査機データのリアルタイム受信及び平磯太陽観測施設における太陽の光学・電波を用いた観測について述べる。

Solar activity is the source of various space weather phenomena in geospace and deep space. Solar X-ray radiation in flare, energetic particles, coronal mass ejection (CME) can cause various kind of disturbance near earth space. Therefore, detailed monitoring of the solar activity and its propagation in the interplanetary space is essential task for space weather. For example, solar energetic particle which sometimes affect spacecraft operation and manned space flight, is considered to be produced by solar flares and travelling shockwave caused by flares and CME. The research and development of monitoring technique and system for various solar activity has been an important topic of space weather forecast program in NICT. In this article, we will introduce the real time data acquisitions of STEREO and optical and radio observations of the Sun at Hiraiso Solar Observatory.

#### [キーワード]

太陽活動, STEREO 探査機, リアルタイム受信, 光学観測, 電波観測

Solar activity, STEREO, Real-time data acquisition, Optical observation, Radio observation

## 1 はじめに

宇宙天気の舞台となる太陽-地球システムは太陽、太陽地球間空間(内部太陽圏)、磁気圏、電離圏と特徴の異なる様々な領域から構成されている。太陽は巨大な物質とエネルギーの供給源であるため、宇宙天気の諸現象は基本的に太陽-内部太陽圏-磁気圏-電離圏への物質とエネルギーの流れ、そして各領域間の物理過程の連鎖によって引き起こされる。宇宙天気予報の目的の一つとして、「宇宙天気現象の発生を事前に推定・予測する」が挙げられるが、この目的の実現のためには、現象の上流となる太陽や内部太陽圏の監視が重要となる。

情報通信研究機構では、太陽や内部太陽圏の監視として、平磯太陽観測施設における太陽の光学・電波観測及び STEREO 探査機データのリアルタイム受信を行っている。本稿では、**2**で STEREO 探査機データのリアルタイム受信について、**3**で平磯太陽観測施設における太陽の光学・電波観測について述べる。

## 2 STEREO 探査機データのリアルタイム受信

### 2.1 太陽地球系物理と STEREO ミッション

STEREO (Solar TErrestrial RElations Observatory) は、そのフルネームを直訳すると「太陽地球関係天文台」となることからわかるように、太陽表面の活動現象とそれに対応する地球での宇宙天気現象との関係について観測的に焦点を当て、総合的な理解を得ることを目的とする観測ミッションであり、NASA により 2006 年 12 月に打ち上げられた。その観測装置の開発には欧州の研究者も協力しており、共同観測等で日本の研究機関も参画している。

太陽表面でフレアと呼ばれる爆発現象が発生すると、それによりコロナガスが宇宙空間に放出され、内部太陽圏をプラズマ(原子が電子とイオンに分かれて存在している状態)の塊が背景の密度の薄いプラズマである太陽風を押しつけながら内部太陽圏を伝播する。これは、CME (Coronal Mass Ejection) と呼ばれている。フレアによる CME も太陽風も、プラズマであることによる電氣的性質を持つとともに磁場を帯びている。した

がってその途中で、さまざまな電磁的相互作用を発生させ、場合によっては極めて高いエネルギー(速度)をもつ状態まで粒子を加速することが知られている。このように高いエネルギーに加速された粒子を太陽放射線などと呼ぶが、これは原発事故などで言及される放射線と同様、生体への影響はもとより電子部品や光学素子などの機能素材にもさまざまな影響を及ぼす事が知られている。具体的な影響については、本特集号の別論文を参照されたい[1]。

太陽フレアによる CME の放出方向がたまたま地球方向であった場合、1-3 日後に CME が地球に到達する。地球は磁場を持っており、太陽風的作用によって、地球全体がプラズマに包まれているとともに磁気を帯びた地球磁気圏を形成している。したがって、太陽フレアによる CME が地球磁気圏に衝突すると、その両者のプラズマと磁場が様々な電磁的相互作用を起こし、プラズマの実験室として極めて面白い環境を作り出している。

太陽コロナの密度は、さまざまな不規則性があるが、おおよそ  $10^{10}$  個/cc 程度である。地球表面の大気の密度が  $2.7 \times 10^{19}$  個/cc であることを考えれば、太陽の大気である太陽コロナの密度は地球表面の大気の密度の 10 億分の 1 であり、極めて希薄であると言える。ところが、太陽コロナは、内部太陽圏のプラズマ(太陽内部を除く)の中でも一番濃い部分なのである。地球近傍の太陽風の密度は数個/cc から数十個/cc 程度しかない。つまり、太陽コロナ及びそれが流れ出す内部太陽圏は、極めて希薄なプラズマが主役の世界であり、これをつぶさに観測する事は、プラズマ理論の極限ケースの実証という意味で極めて興味深いものなのである。

STEREO ミッションは、同じ観測機器を搭載した 2 つの探査機を地球公転軌道とほぼ同じ軌道を飛行させ、それぞれ地球の前方と後方を飛行するように軌道設計されている。別の見方をすると、地球の両側に一定の離隔で 2 つの探査機が存在する軌道となっている。この軌道上の 2 点から立体的な太陽のリモートセンシング観測を行うとともに、各種センサーによるその場のプラズマ環境の多点計測を行っている。つまり、複数の視点・観測点からの同一セットのデータが同時に得られるミッションであり、STEREO というニックネームが与えられているゆえんでもある(図 1)。

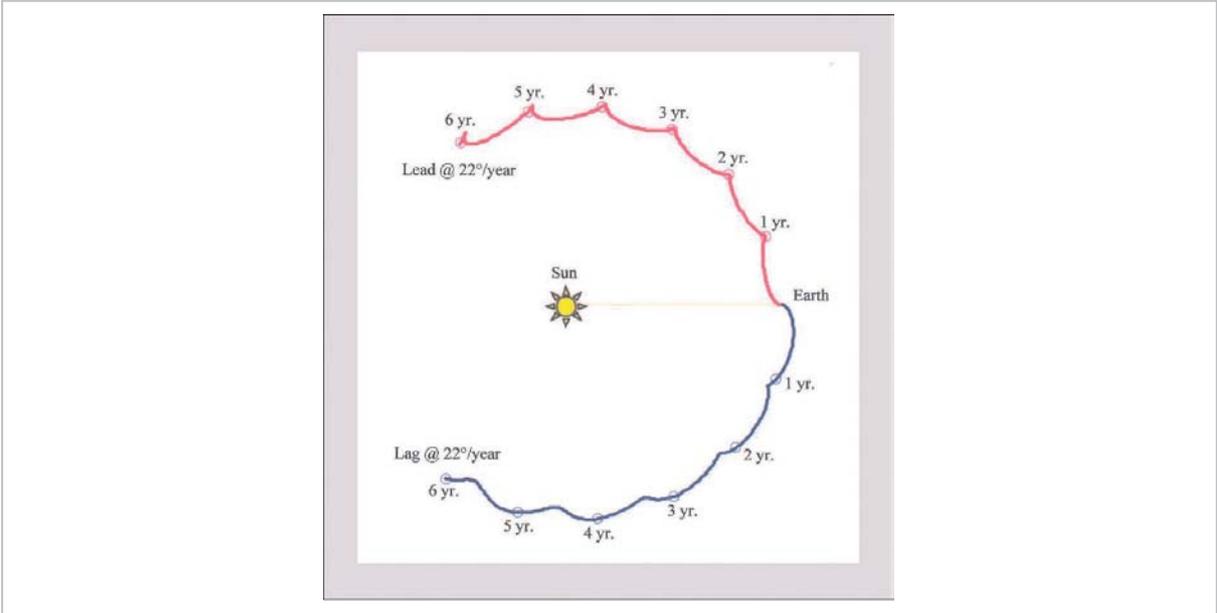


図1 STEREO-A と STEREO-B の軌道上における地球との相対的な位置関係の時間変化

A と B は地球から見てほぼ対称な位置関係にあり、その離隔が1年あたり20度強増加していく。

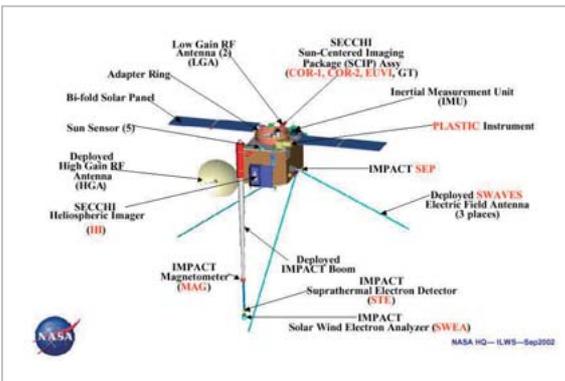


図2 STEREO 探査機の外観図

表1 搭載観測装置の一覧

Sun Earth Connection Coronal and Heliospheric Investigation (SECCHI)	太陽上層大気（彩層）とコロナを観測する極端紫外望遠鏡及び太陽コロナ外層部とコロナガスの内部太陽圏への噴出を観測するコロナグラフで構成
STEREO/WAVES (SWAVES)	太陽コロナ及び内部太陽圏を伝播する CME プラズマから放出される電波放射を観測
In-situ Measurements of Particles and CME Transients (IMPACT) 及び PLASMA and Suprathermal Ion Composition (PLASTIC)	太陽風プラズマ及び高エネルギー粒子の密度、磁場等、電離状態等をその場計測するセンサー

STEREO ミッションは、内部太陽圏のプラズマを総合的に観測するための総合的な観測装置を搭載している。探査機の外観を図2に、観測装置の一覧を表1に示す。それぞれのセンサーは、すでに様々な科学ミッションに搭載、運用された実績を持つ観測装置の改良版である。まったく新しいコンセプトの観測装置を投入するところにメ

リットがあるというよりは、まったく新しい軌道から立体視もしくは多点計測を行う事により新境地を目指そうとするミッションであるといえる。

## 2.2 STEREO リアルタイムオプション

STEREO ミッションは、内部太陽圏のプラズマ現象を科学的に解明する事を主目的としているが、宇宙天気等の応用研究や衛星運用等への警報にもその観測データが極めて有効であると期待されていた。そのため、Space Weather Beacon (SWB) と呼ばれる主たる科学ミッションデータ伝送とは別のリアルタイムのデータ送信回線が運用できるよう設計されている[2]。科学ミッションデータは、NASA の深宇宙ネットワークの大型地上局設備を用いて、毎日数時間程度の限られた時間で高速再生され地球に伝送される。それ以外に、低速の通信回線ではあるが常時データを送信することのできる回線を設け、それほど大きなアンテナでなくても受信できるようにして、24時間リアルタイムデータの受信ができるようにもくろんだ。小さなアンテナでよければ、複数の協力機関を見つけ、バトンタッチしながら運用するネットワークも構築しやすくなる。SWB はデータレートが 632 bps であり、受信機の出力をそのまま PC の音声入力デバイスから入力して処理することが可能である。

現在のところ、STEREO-A 及び STEREO-B の二つの探査機から X 帯の周波数で常時低速のリアルタイムデータが送信されている。これを、

- NASA Deep Space Network
- NICT, 小金井, 日本
- 国立宇宙研究センター(CNES), Toulouse, フランス
- アマチュア局 DL0SHF, Kiel-Ronne, ドイツ
- AMSAT-DL/Bochum Observatory, ドイツ

の 5 局で受信しており、16 秒につき 1 ファイルの形に編集された後、NASA のゴダード宇宙飛行センター(GSFC)の STEREO Science Center で運用されているサーバーに送信される。GSFC のサーバーでは、受信したファイルを順次処理し、統一的に編集して WWW で公開している。この間のタイムラグはわずかなものであり、地上局運用のステータス確認にも利用できる程度のレスポンスである(例えば、運用再開をして、WWW でプロットが再開されるのを待って作業を完了する、という手順に大きなストレスを感じない)。5 局間の連携には、追跡スケジュールの調整等は一切行わず、各局が都合のつく範囲でデータを受信して GSFC に送信するフレームワークであるため、受信データの重複等は GSFC 側のサーバーで整理される。なお、ミッションデータは、リアルタイムではないが NASA の Deep Space Network ですべて受信され、順次アーカイブデータベースに登録されていくため、リアルタイム受信に欠落があっても、主目的である科学観測と解析にはインパクトは生じない。ただし、我々のリアルタイ

ムデータは観測運用の支援データとして活用されているため、あまり大きなギャップを生じさせるのは好ましい事ではない。

### 2.3 情報通信研究機構における受信システム

情報通信研究機構においては、1996 年頃に VLBI 実験用の 11 m アンテナシステムが開発、整備され、現在も VLBI 実験用に運用されている[3]。この 11 m アンテナシステムを利用し、その一部を活用することにより STEREO 探査機 SWB 受信システムを構築することにした。VLBI 観測は先端的な実験研究であるため、アンテナ運用は実験に必要な期間のみであり、それ以外の時間帯は他の用途に利用する事が可能であった。このため、VLBI 実験を最優先として、空いている時間はすべて STEREO 受信に使用するというポリシーで 11 m アンテナシステムを利用させてもらうこととした。幸いなことに、現在実施されている VLBI 観測は装置を常時占有するような性質のものではないため、かなりの時間を STEREO 受信に割り当てることが可能になっている。

受信システムの概略を図 3 に示す。11m アンテナシステムのバックエンド部の IF 信号分配器(図中「IFD」)の X バンド端子から出ている X 帯に対応する IF 信号(844 MHz 及び 846 MHz)を分岐してもらうこととした。これを、STEREO 受信システムのバックエンド部のダウンコンバータに入力し、70 MHz の IF にダウンコンバートする。それを、RDM-201 デジタル受信機に入力し、PM 復調機能を用いて出力される復調信号を音声入力ポートから PC に入力して処理している。PC 内でビット同期とフレーム同期を行い、ファイルに

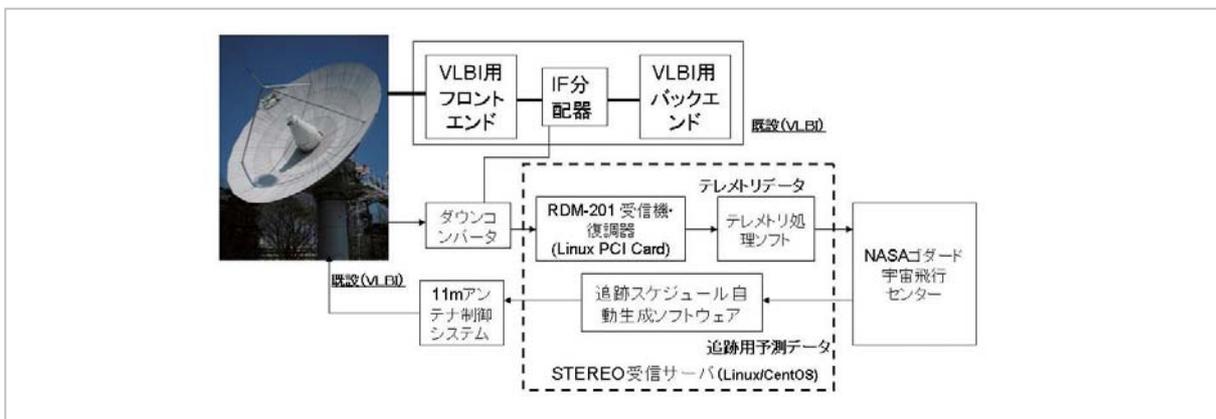


図3 VLBI 観測装置のバックエンドと追加整備した STEREO 受信系の概念図

出力する処理ソフトウェアは、参加機関で共通のソフトウェアを用いることにより、出力インターフェース(ファイル)の統一を図っている。受信に用いている VLBI 用 11 m アンテナの外観を図 4 に、バックエンド部の写真を図 5 に示す。

## 2.4 データの公開と利用

観測データは GSFC に設置された STEREO Science Center で運用されるデータサーバーで処

理され、リアルタイムの画像とプロットという形で WWW に公開されている。単にリアルタイムデータの表示だけではなく、過去のリアルタイムデータも蓄積されており、検索と閲覧が可能になっている。このため、宇宙環境の監視だけでなく、研究のための詳細解析に先立つ予備的な解析(イベントのサーチやデータの有無の確認、現象の進展の様子の追跡など)には非常に便利なツールとなっている。図 6 及び図 7 にリアルタイム公開のための WWW 画面を示す。図 6 は画像観測データの Web ページであり、太陽極端紫外光撮像及び電子散乱光による太陽外延大気(コロナ)の観測で、CME が発生するとその様子を異なる視座から観測した像を見ることができる。図 7 は探査機に搭載されたプラズマや高エネルギー粒子のセンサーのデータをプロットした Web ページであり、探査機近傍の環境を計測していることから「その場(In-situ)」計測と呼ばれる。太陽風プラズマそのものの物理量(密度、磁場、温度等)や高エ



図4 VLBI 用 11 m アンテナの外観



図5 バックエンド部

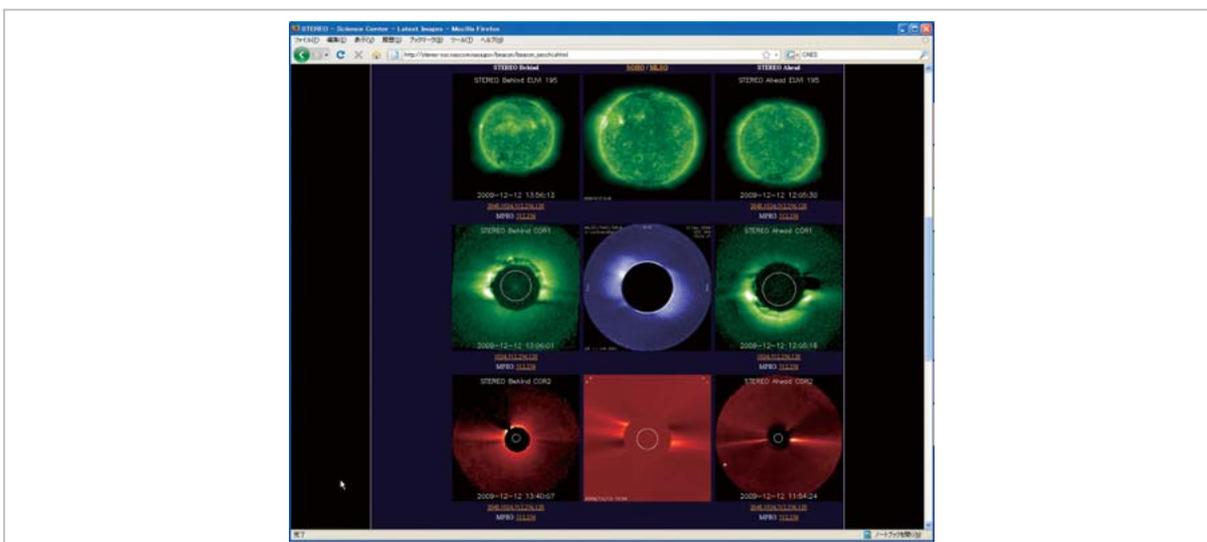


図6 STEREO リアルタイムデータの WWW サイト(画像データ)

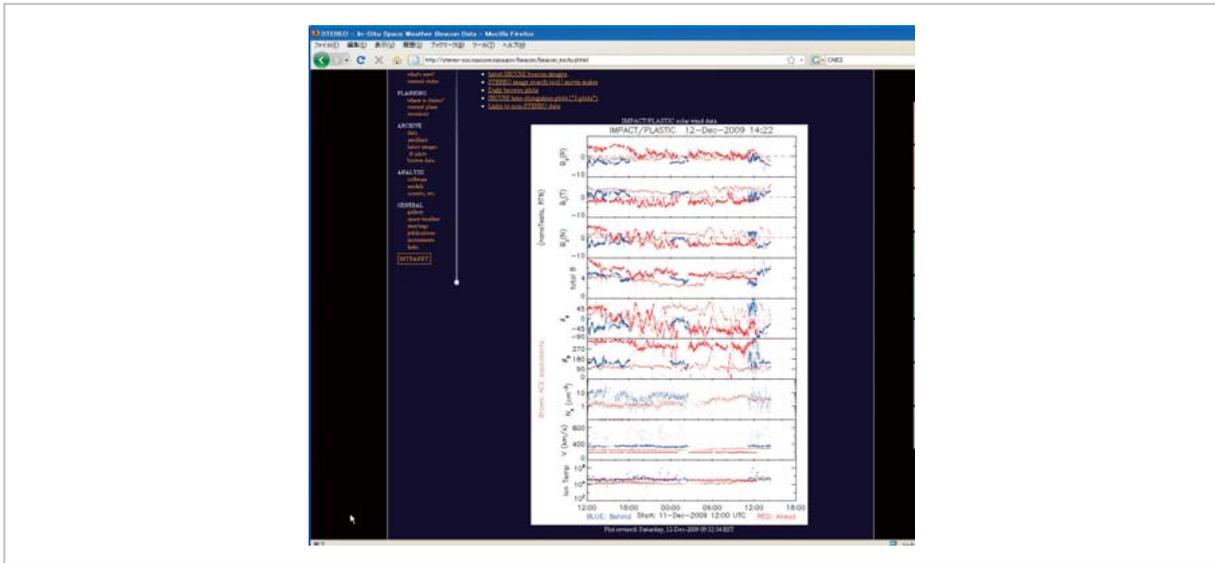


図7 STEREO リアルタイムデータの WWW サイト(その場計測)

エネルギー粒子の到来などが観測できる。太陽及び太陽風のパターンは太陽の自転と同期して回転しているため、STEREO-B を取り巻くプラズマ環境は数日後の地球近傍の環境の良い近似になると考えられている。現在、この考え方の有効性を検討するデータ解析を行っているが、これについては本特集号の別論文を参照されたい[4]。

### 3 地上からの太陽活動の監視

情報通信研究機構では、太陽活動を監視するため平磯太陽観測施設において光学及び電波を用いた太陽の観測を行っている。本節では光学及び電波それぞれの観測システムの概要とそれらを用いた太陽活動の監視の重要性について述べる。

#### 3.1 高精細 H $\alpha$ 太陽望遠鏡

平磯太陽観測施設の高精細 H $\alpha$  太陽望遠鏡は水素のバルマー系列  $\alpha$  線 (H $\alpha$  線) の吸収線を観測するための望遠鏡である (図 8)。観測システムはプラットフォームとしてカールツアイス製 15 cm 屈折望遠鏡を用い、波長シフトが可能な複屈折干渉フィルター(リオフィルター)を使用した分光撮像装置である。このシステムは 1994 年度から定常運用されており、約 11 年といわれる 1 太陽活動周期を超える長期に渡り可視光を用いた太陽活動の監視を行っている。2009 年度からは平磯施設の無人化に伴い小金井からの遠隔制御によってほ



図8 高精細 H $\alpha$  太陽望遠鏡

ぼ無人で運用されている。以下では、高精細 H $\alpha$  太陽望遠鏡の現状について述べる。なお、システムの技術的な詳細は参考文献を参照されたい[5][6]。

##### 3.1.1 観測システム

高精細 H $\alpha$  太陽望遠鏡は、上述の望遠鏡をプラットフォームとして自動運用や性能向上のための様々な改良を施したシステムである。例えば太陽熱によるレンズセル及びレンズの温度不均一並びに温度変化による像の悪化を軽減するために、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、フランジに白色塗装を施した。また、サンゲイダーをシフトさせることで視野を変更させる機能

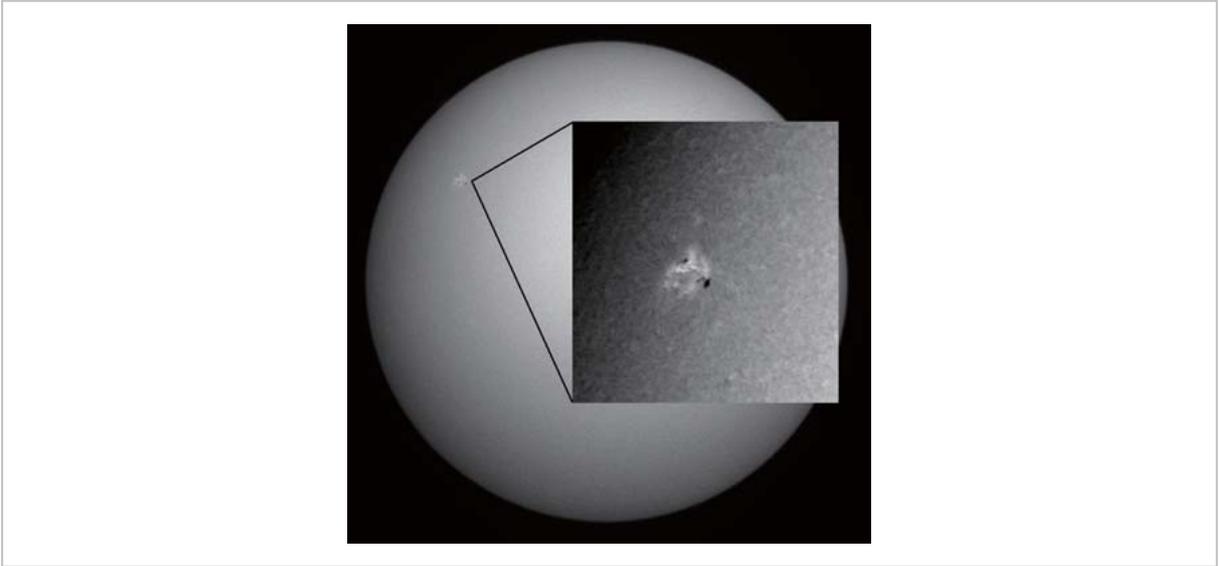


図9 高い空間分解能で撮像された2009年6月1日の小黑点群

が設けられている。

焦点面パッケージはリオフィルターや CCD カメラ等様々な機器からなり、極軸に固定されたベース上に構成されている。パッケージ内の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、 $0.25 \text{ \AA}$  のものを用いている。透過波長の変更は複数の回転波長板をモーターで回転させることで行い、回転角の読み取りは波長板ギアと連動するように取り付けられたポテンシオメーターで行われている。

撮像系は、全画面モードと拡大像モードの切り替え式となっている。全面像系は一眼レフカメラ用レンズを用いて 1.4 倍に縮小しその後方に約 1300 万画素の CCD カメラを配置している。拡大像は第一次像のところに置かれた拡大像用 CCD カメラで直接撮像される。これら全面用と拡大用の撮像系は独立に焦点調節が出来るように、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おり、さらに小型ステージごと光軸と垂直方向に駆動されるストローク 100 mm のリニアステージに載せられている。この 100 mm のリニアステージを駆動することで全面、拡大の切り替えが行われる。

撮像ソフトウェアには自動露光制御機能が実装されており、最適な露光時間の決定や光量不足時の撮像中止なども自動で行われる。また、大気揺らぎによる画質の変動に対しては、画像選択機能により最も画質の良い(画像のコントラストが高

い) 画像を選択するようになっている。撮像データは天文学研究者の間で最も一般的なデータ形式である FITS フォーマットで出力され撮像用パーソナルコンピュータ(PC)のハードディスクにアーカイブされる。撮像データは全面撮像時で  $4096 \times 3248$  のサイズであり、 $0.68 \text{ 秒角/ピクセル}$  の高い空間分解能を達成している(図 9)。

### 3.1.2 可視光による太陽監視の遠隔化・運用

2009 年度から平磯太陽観測施設の高精細  $H\alpha$  太陽望遠鏡は小金井本部からの遠隔運用を行っている。観測開始・終了時の望遠鏡の開閉作業のみ現地の人手を介する必要があるが、それ以外の操作、例えば焦点の調節や撮像などは全て遠隔操作で行うことが可能である。これらの操作は Linux OS の撮像用 PC によって行われている。リモートログインによるコマンドラインからの操作のみならず、PC 自体の電源の ON/OFF 操作を含め遠隔地からの操作が可能である。

$H\alpha$  太陽望遠鏡は、決められた時間間隔ごとに 3 種類の波長 ( $H\alpha$  吸収線の中心波長及び中心から  $\pm 0.8 \text{ \AA}$  離れた吸収線両翼部) で自動的に太陽を撮像している。 $H\alpha$  中心線での撮像は太陽表面から上空約 3000 km 程度上空の下部彩層領域を観測していることになる。また吸収線両翼部の撮像によって得られたデータの差を取ることで吸収線のドップラーシフトを計測することが可能であり、これから太陽彩層部の視線方向の運動を推定することが出来る。これにより彩層面での磁束管の浮

上やフィラメントの運動などを推定することが可能になり太陽フレアやフィラメント噴出の兆候の監視に役立っている。

### 3.2 太陽電波観測システム

平磯太陽観測施設の太陽電波観測システムは、25 MHz から 2500 MHz の帯域の電波を観測している広帯域太陽電波観測装置 (HIRAS : Hiraiso Radio Spectrograph) と 2.8 GHz の固定周波数の電波を観測している偏波計から構成されている (図 10)。このシステムは 1993 年度から定常観測を続けており、1 太陽活動周期を超える長期に渡り太陽電波の監視を行っている。その間バックエンド部、データ収集系、データ解析系などに様々な改良が行われ、2006 年度からは小金井本部からの遠隔制御による無人運用を行っている。以下では、太陽電波観測システムの現状について述べる。なお、立上げ当初から約 10 年間の太陽電波観測システムの詳細については参考文献を参照されたい [6][7]。

#### 3.2.1 広帯域太陽電波観測装置 (HIRAS)

広帯域太陽電波観測装置 (HIRAS) は 25 MHz から 2500 MHz までの世界でも最高レベルの広帯域をカバーする太陽電波観測システムである。システムは 3 基のアンテナから構成され、受信周波数の低いほうから HIRAS-1、HIRAS-2、HIRAS-3 と呼ばれている。全てのアンテナは計算機制御により太陽追尾を行っており、太陽位置は実時間太陽軌道計算により求められている。制御インターフェースには GP-IB を用いている。

HIRAS-1 アンテナは“ハ”の字型に直交したログペリアンテナで、25 MHz から 50 MHz の帯域の直交直線偏波成分を受信している。円偏波合成

部のハイブリッドには 3.5 MHz から 80 MHz の帯域の広帯域ハイブリッドを用いている。架台部は地上約 15 m のタワー上に設置されており AZ-EL 駆動方式で太陽を追尾している。アンテナの主ビーム幅は約 60° と広く精密な太陽追尾は必要無いため、太陽追尾精度は約 10° である。

HIRAS-2 アンテナは HIRAS システムが整備される前の 1988 年度に整備された直径 10 m のパラボラアンテナであり老朽化が懸念されていたが、2002 年度に大規模な改修工事が行なわれ現在に至っている。1 次放射器には直交 20 素子ログペリアンテナが用いられている。アンテナの主ビーム幅は 70 MHz で 29°、500 MHz で 4° である。架台部は赤道儀方式で駆動され太陽追尾精度は約 0.1° である。

HIRAS-3 アンテナは直径 6 m のパラボラアンテナで、1 次放射器には直交 23 素子ログペリアンテナが用いられている。アンテナの主ビーム幅は 500 MHz で約 6.5°、2500 MHz で約 1.4° である。架台部は AZ-EL 駆動方式で太陽追尾精度は約 0.1° である。

これらのアンテナで受信された信号は右旋偏波成分、左旋偏波成分それぞれ独立に計 6 台のスペクトラムアナライザによって周波数解析され、それらのデータは GP-IB 経由でデータ収集 PC に取り込まれデータファイルとして保存される。スペクトラムアナライザから取り込まれるデータは、HIRAS-1、2、3 のそれぞれ周波数方向に 1001 点のデータを含んでおり、従来のシステムの周波数分解能 (25 MHz から 2500 MHz の周波数を対数間隔で 501 点) に比べて格段に向上している。また、時間分解能も従来の平均 1.8 秒程度と比べて現システムでは 1 秒以下となり 2 倍近い時間分解能の向上を達成している。

#### 3.2.2 2.8 GHz 固定周波観測装置

2.8 GHz 固定周波観測アンテナは直径 2 m のパラボラアンテナで、アンテナの主ビーム幅は約 3.5° (実測値) である。1 次放射器としてセプタム型の偏波分離機を使用して直接左旋及び右旋円偏波成分に分離している。架台部は AZ-EL 駆動方式で、太陽追尾は HIRAS アンテナ群と同様に計算機制御により行われており追尾精度は約 0.1°、制御インターフェースは GP-IB である。

アンテナで受信された信号は、2 台のスペクト



図 10 HIRAS システムの 10 m アンテナ (左奥)、6 m アンテナ (右奥) と 2.8 GHz 固定周波観測アンテナ (右手前)

ラムアナライザをゼロスパンモードで使用するこ  
とにより時系列データとして GP-IB 経由でデータ  
収集 PC に取り込まれ保存される。データは間欠  
的にはあるが 0.5~1 ミリ秒の高時間分解能を  
達成している (図 11)。

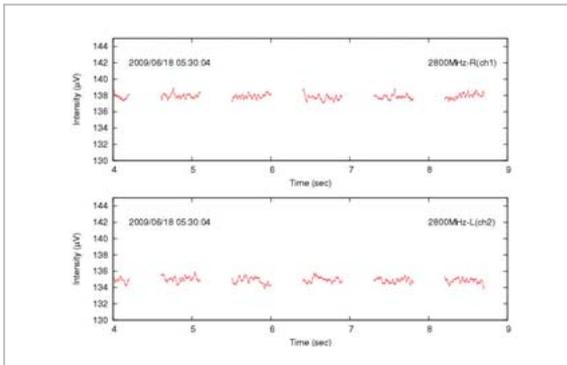


図 11 0.5~1 ミリ秒の高時間分解能で観測さ  
れた 2.8 GHz 太陽電波

### 3.2.3 太陽電波監視の遠隔化・運用

HIRAS や 2.8 GHz 固定周波観測装置のアンテ  
ナ制御やデータ収集を行う PC の OS にはほとん  
ど全てに Linux を採用しており、遠隔地からリ  
モートログインをしてコマンドラインから運用す  
ることが可能となっている。また、PC 操作だけ  
でなく太陽電波観測システムのバックエンド部の  
操作やさらに PC やバックエンド部の電源の  
ON/OFF 操作まで全てリモートで操作できるよ  
うになっている。さらに、これらの遠隔地からの  
リモート運用を容易にするためのツールとして、  
上記のリモート操作全てを Web ページからマウ  
ス操作だけで行うことが出来るようなシステムを  
実装している (図 12)。また、Web カメラを設置  
することによって現地でのアンテナ等の状況をモ  
ニターすることも可能になっており、現在はほと  
んど無人で定常運用が行われている。

西暦	2009年12月03日
世界標準時	4時55分13秒
日の出時刻	21時27分53秒
日の入り時刻	7時20分47秒

	極軸	赤緯軸
太陽中心位置	14時27分58秒	-22度07分00秒
補正太陽中心位置	14時27分58秒	-22度07分00秒
アンテナ指向位置	14時27分55秒	-22度06分16秒
アンテナリミット	No. 1 (-25° ~ -60°, ±70°)	

開始	19時00分	終了	10時00分
開始		停止	

回転速度	早回し	修正
東	回転	停止 LIMIT
西	回転	停止 LIMIT
南	回転	停止 LIMIT
北	回転	停止 LIMIT

リミット選択	極軸	赤緯軸
1	±70°	-25° ~ -60°
2	±80°	-20° ~ -60°
3	±95°	-10° ~ -60°
4	±120°	0° ~ -60°

図 12 10 m アンテナ制御用 Web ページ

平磯で取得されたデータは5分毎にLAN経由で小金井のデータ解析サーバーに転送され、リアルタイムでダイナミックスペクトル画像が作成されWebページで公開される (<http://sunbase.nict.go.jp/solar/denpa/index-J.html>)。また、過去の観測の画像データやHIRAS及び2.8GHz固定周波観測の月間サマリーレポートなど様々なデータが公開されている。さらに、当機構が発行している「IONOSPHERIC DATA IN JAPAN(電離層月報)」に2.8GHzで観測された電波バースト及び2.8GHz観測月間サマリープロット、F10.7値(後述)を報告している。加えてNOAA(米国海洋大気局)にあるNational Geophysical Data Centerが取りまとめる「Solar-Geophysical Data」にHIRAS観測月間サマリーレポート及び2.8GHz固定周波観測月間サマリーレポートを報告している。現在、「Solar-Geophysical Data」はインターネット上で公開されている (<http://sgd.ngdc.noaa.gov/sgd/jsp/solarindex.jsp>)。

観測データはデータ解析サーバーに保存される以外に、定期的にDVD-Rへアーカイブされている。さらにデータ容量の増加に伴い当グループで準備中のグリッドファイルシステム(Gfarm)への

データのアーカイブも検討されている。

宇宙天気予報を行う上で重要な太陽電波バースト現象に、II型、IV型電波バーストなどがある。図13にHIRASで観測されたII、III、IV型電波バーストの例を示す。II、IV型電波バーストは太陽フレアの発生に伴ってCMEが放出されたことを示しており、太陽放射線の増大(数時間~数日)や地磁気擾乱の発生(数日後)の可能性が高いことを意味している。このようなII、IV型電波バーストなどの重要現象が発生した場合は観測データから現象の画像等を作成しWebページで公開している。

2.8GHz太陽電波(波長10.7cm)の強度はF10.7と呼ばれ太陽の黒点相対数と良い相関があることが知られている。そのためF10.7は太陽活動度を表す指標の一つとして用いられている。また、人工衛星の軌道予測において大気抵抗の補正を行うための重要なパラメータとしても活用されている。

また、近年では太陽電波バーストがGlobal Positioning System(GPS)の搬送波対雑音比を減少させることによって測位精度に影響が出たという報告があり、GPS測位の運用に太陽電波バーストの影響を考慮に入れる必要があるとの見解も出されている[8][9]。

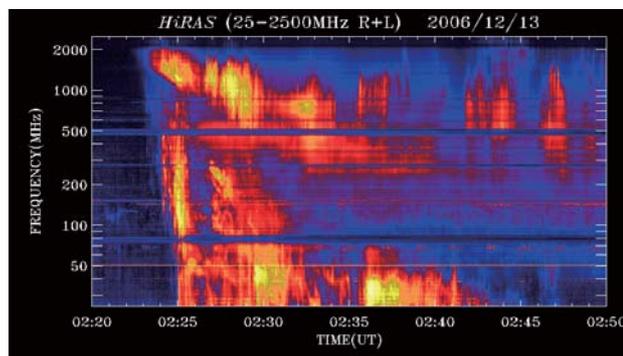


図13 2006年12月13日のフレアに伴ってHIRASで観測された電波バースト

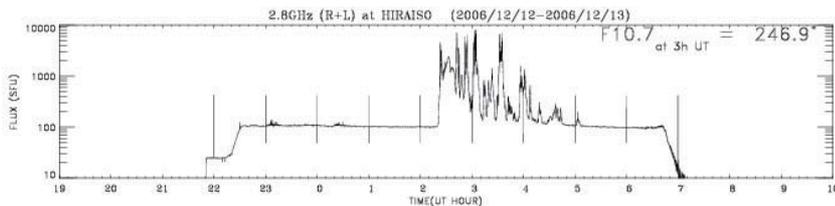


図14 GPS測位精度に影響を与えた2006年12月の一連の電波バーストのうちの一例

## 4 おわりに

本稿では、太陽活動及び太陽放射線の監視について述べた。これらの取り組みが宇宙天気予報にとって重要なのは言うまでも無い。しかしながら、太陽-地球システムが領域間の連携によって成り立っていることを考えると、監視によって得られた情報を更に活用していくためには、領域を結合

した監視・予報システムの構築も重要な課題である。研究レベルとしては、将来の数値予報の実現に向けた領域間結合型のシミュレーションの取り組み等がなされているが、実用レベルに成熟するまでにはまだなお時間が必要である。太陽-地球システム内の各種観測データや経験モデルなどを駆使した統合的な予報スキームやモデルの構築が、今後必要となっていくであろう。

### 参考文献

- 1 秋岡眞樹, "宇宙システムに対する宇宙放射線の影響", 情報通信研究機構季報, 本特集号, 2-1-5, 2009.
- 2 D. A. Biesecker, D. F. Webb, O. C. St. Cyr, "STEREO Space Weather and the Space Weather Beacon", Space Sci. Rev., Vol.136, pp.45-65, DOI 10.1007/s11214-007-9165-7, 2008.
- 3 栗原則幸, 高羽浩, 中島潤一, 今江理人, 吉野泰造, "3.2 VLBI観測システム 3.2.1 アンテナ・受信系", 通信総研季, Vol.42, No.1, pp.21-28, 1996.
- 4 長妻努, 秋岡眞樹, 三宅互, 大高一弘, "STEREO探査機を用いた太陽風の先行監視", 情報通信研究機構季報, 本特集号, 2-1-4, 2009.
- 5 秋岡眞樹, 岡野朱美, "太陽彩層面の観測-高精細H $\alpha$ 望遠鏡の開発と観測-", 通信総研季, Vol.43, pp.215-224, 1997.
- 6 秋岡眞樹, 近藤哲朗, 佐川永一, 久保勇樹, 岩井宏徳, "宇宙天気予報のための可視光と電波による太陽観測", 通信総研季, Vol.48, pp.3-10, 2002.
- 7 近藤哲朗, 磯部武, 猪木誠二, 巨慎一, 徳丸宗利, "平磯の新太陽電波観測システム", 通信総研季, Vol.43, pp.231-248, 1997.
- 8 C. S. Carrano, C. T. Bridgwood, and K. M. Groves, "Impacts of the December 2006 solar radio bursts on the performance of GPS", Vol.43, RS0A25, 2009.
- 9 A. P. Cerruti, P. M. Kintner, D. E. Gary, A. J. Mannucci, R. F. Meyer, P. Doherty, and A. J. Coster, "Effect of intense December 2006 solar radio bursts on GPS receivers", Space Weather, Vol.6, S10D07, 2008.

あき おか ま 眞  
秋岡眞樹

新世代ワイヤレス研究センター推進室  
主任研究員 博士(理学)  
太陽物理、光学システム、宇宙天気



くぼ ゆう き  
久保勇樹

電磁波計測研究センター宇宙環境計測  
グループ主任研究員  
太陽宇宙線物理学



ながい ま さ 眞  
長萁 眞

電磁波計測研究センター宇宙環境計測  
グループ研究マネージャー 博士(理  
学) 太陽地球系物理学



おお たか ひろ 一  
大高一弘

情報通信セキュリティ研究センターイ  
ンシデント対策グループ研究マネー  
ジャー  
宇宙天気