4-5 太陽電波監視システム 4-5 Solar Radio Monitoring System

直井隆浩 久保勇樹 石橋弘光

NAOI Takahiro, KUBO Yûki, and ISHIBASHI Hiromitsu

太陽の外層大気であるコロナでは、フレアに代表される爆発現象や、コロナ質量放出と呼ばれ るプラズマ雲の放出現象が発生する。その過程では、強い電波放射(太陽電波バースト)が発生す る。粒子の伝搬速度よりも電波の伝搬速度は速いため、電波バーストの検出は宇宙天気災害の有 効な予報手段となる。我々は、宇宙天気情報の一つとして太陽活動の監視とその検出に取り組ん できた。本稿では、太陽の電波観測とデータの取扱いについて述べる。

In the solar corona, an explosive phenomena such as a flare and a plasma cloud ejection called a coronal mass ejection occur. In the process, strong radio radiation, that is solar radio bursts, is generated. Since a propagation speed of radio wave is faster than that of particle, detection of solar radio bursts is an effective forecasting measure for space weather disasters. We have been monitoring and detecting solar activity as one of the space weather information. This paper describes the observation of radio waves from the sun and the handling of its data.

1 まえがき

太陽電波監視システムは、鹿児島県指宿市の山川電 波観測施設内に建設された。本システムは、老朽化し た平磯太陽観測施設の太陽電波観測システム HiRAS の後継にあたり、平成28年10月より定常観測を実施 している。風雨を防ぐレドーム内に8メートルのパラ ボラ反射鏡を有する電波望遠鏡が建てられており、別 棟の伝搬実験室に設置の制御サーバ類によりコント ロールされている。観測周波数帯域は70 MHz から



図 1 準リアルタイムで公開されているダイナミックスペクトルプロット例 https://solarobs.nict.go.jp/

9 GHz であり、フレアに起因する太陽電波バーストが 観測される周波数帯域をほぼ全てカバーでき、周波数 分解能は、MHz 帯で 0.03125 MHz、GHz 帯で 1 MHz、 時間分解能は観測する全帯域において 8 ミリ秒で連続 観測を行っている。観測結果は、ほぼリアルタイムで 図1に示すダイナミックスペクトルプロットとして公 開され、宇宙天気予報業務などに利用されている。

2 望遠鏡の諸元

2.1 概要

8m電波望遠鏡は経緯台式反射望遠鏡(図2)で、雨 風を防ぐよう山川電波観測施設敷地内のレドーム内に 設置されている。また望遠鏡は、パラボラリフレクタ による主鏡・主焦点部にフィード及びフロントエンド・ ヨーク部のポジショナ・望遠鏡を支えるライザーベー スとその内部にバックエンド及び基準信号源、などで 構成されている。

主なシステム構成を図3に示す。望遠鏡で受けた信 号は、フロントエンドにおいてフィルタ処理、バック エンドにおいて分光処理が行われ、データ収集サーバ へ送られて所定のフォームに処理され、データ蓄積 サーバへと送られた後、NASに保存される。望遠鏡や フロントエンド・バックエンドの信号処理は、アンテ ナ制御サーバによって制御される。監視カメラだけで



図 2 レドーム内の 8 m 電波望遠鏡全体



図3 主なシステムの構成 太線は信号の流れを示しており、細線はネット ワークによるつながりを示す。

なく時刻同期も含めた全体の統合をデータ蓄積サーバ が行い、NICT ネットワークへの窓口ともなり、電源 制御等の遠隔操作も可能にしている。

2.2 望遠鏡主鏡と給電系

反射鏡を構成するパネルは、炭素繊維強化プラス チック製で、鏡面精度は、0.7 mm (二乗平均平方根) 以 下である。利得は 70 MHz で 13.9 dBi、2.8 GHz で 39.1 dBi、9.0 GHz で 48.1 dBi となっている。パラボラリフ レクタの主焦点部設置の給電系 (図 4) は対数周期アン テナ (ログペリアンテナ)であり、70 MHz から 9 GHz において並行する二偏波成分を独立に給電できる。本 望遠鏡では、アンテナ設置位置を主焦点から少しずら し、ぼやかすことで、全周波数帯で太陽の視直径 0.5 度よりも広いビーム幅を実現しており、70 MHz で 33.9 度、2.8 GHz で 2.2 度、9.0 GHz で 0.8 度となって



図4 主焦点に取り付けられた給電系



図5 山川電波観測施設内に建設されたレドーム

いる。これにより、太陽全面でのフレアの発生を監視 することができるようになっている。

2.3 望遠鏡駆動系

アンテナは経緯台式のため、方位角(AZ)及び仰角 (EL)制御となっている。方位角は、-270度から+270 度の範囲での連続駆動が可能であり、一方、仰角は5度 から90度の範囲での連続駆動及び天頂方向の格納位置 への格納が可能である。ポジショニングの読取精度は 0.005度以内、最大駆動速度は、方位角方向で3度/秒、 仰角方向で1度/秒以上である。全自動で駆動しており、 年間を通して、日の出直後から日没直前(仰角5度以上 の時間帯)まで、停止することなく太陽を追尾する。

2.4 レドーム

レドームは、耐風速性能が 90 m/ 秒(瞬間最大風速) 以上を満たす半卵形状をしたリジット型となっている (図 5)。ドーム内は、三台の空調設備により空気循環 がなされ、年間を通じて温度を一定に維持できるよう になっている。レドームパネルは観測帯域の電波を透 過するガラス繊維強化プラスチック製で、10 種類の形 状のパネル 221 枚で構成されている。透過損失は、 1 GHz で -0.0129 dB、3 GHz で -0.1319 dB、9 GHz で -0.5814 dB である。全体は、太陽光を反射するように 白色に塗装されている。

2.5 監視カメラ

レドーム内及びレドームから離れた位置にある伝搬 実験室内には、機器の状況を監視するカメラが、それ ぞれ2基及び1基、設置されている。カメラによる映 像はイーサネットにより取得できるようになっており、 ネットワークを通じて、ズーム・チルト・パン等の制 御が可能である。

2.6 望遠鏡と伝搬実験室間の通信

望遠鏡ベース部と伝搬実験室の間には、光ファイ バーケーブルが敷設されており、受信信号を伝送して いる。伝搬実験室内にLANが設置され、インターネッ トと通じている。

3 フロントエンド

3.1 フロントエンド概要

フロントエンド(図6)は、主鏡焦点に位置する給電

系の外側に設置されており、給電系で集光した広帯域 信号(バンド1:70 MHz~1024 MHz、バンド2:1024 MHz~3072 MHz、バンド3:3072 MHz~9216 MHz) のそれぞれに対し、フィルタを介し、増幅後、可変 アッテネータで出力レベルを最適にし、出力する装置 である。図7に信号の主な流れを示す。各バンドの入 力部分に同軸スイッチとノイズソースを備え、ノイズ ソース信号によりフロントエンド部の特性を確認する ことができる。また、各バンドに較正信号を入力する ためのコネクタも備えている。出力した信号は、バッ クエンド(次節)のサンプラインターフェイスへ導かれ ている。

3.2 ノイズ除去フィルタの増設

外来ノイズが多くなり、観測に支障を来すように なったため、外来ノイズを除去するためのフィルタを デザインし、令和元年度(2019年度)末に、フロントエ ンド部へ設置している。従来のバンドエリミネーショ ンフィルタを増強したような形となり、773~803 MHz、860~890 MHz、945~960 MHz、2105~2165 MHz、2600~2645 MHz のそれぞれの信号を、信号強 度にして 30 dB 以上減衰させている。減衰前後の信号 の変化を図 8 に示す。



図6 フロントエンド部。カバーを取り外した内部の模様







図7 信号の主な流れ 各バンドは直行2成分の両円偏波からなるため、実際はこの信号の流れが6本存在する。

4 バックエンド

4.1 分光器諸元

フロントエンドから送られてきたバンド1から3ま での信号は、一旦サンプラインターフェイスに入り、 分光器の入力形式にした後、分光器に送られる。分光 器には、70 MHz から9 GHz 帯をカバーするディジタ ル FFT 分光器として、OCTAD-S を新規に開発した。 OCTAD-S分光器は、エレックス工業株式会社が開 発・製造した OCTAD を基に、FPGA ヘ FFT のプロ セスを組み込んで開発した分光器である。ADC は、 10-bit、5 GHz。信号処理には FPGA が採用され、ソ フト面の変更にも柔軟に対応できる。ACDモジュール を含め、交換や増設などのメンテナンスも容易に行え る設計となっている。帯域を分割した2種類の分光器 からなり、サンプリングレートは 2.048 GHz と 4.096 GHz、チャンネル数は32.768と2.048、時間分解能は8 ミリ秒である。信号の総帯域幅がサンプリング周波数 の半分以下であることから、アンダーサンプル技術を 用いることで、ヘテロダイン方式を用いることなく比 較的簡易なシステムによって、マイクロ波帯まで直接 分光している。

4.2 OCTAD-S

OCTAD-Sは、エレックス工業株式会社が開発・製造したOCTAD (Optically Connected Transmission system for Analog to Digital Conversion)を基に、 FPGAへFFTのプロセスを組み込んで開発した分光器(-S: Spectrometer)である。図9にはOCTAD-Sの 筐体と、内部に組み込んだADC及びFPGAの写真を示す。分光器は、2台のOCTAD-Sから構成されており、1.25 GHzのADCを2枚と4枚、Xilinx Virtex-7



図 9 OCTAD-S (上) と ADC (下左) 及び FPGA (下右)

(XC7VX485 T)の FPGA チップを2枚と1枚、それぞ れ搭載しており、2G64 K 及び4G4K と名称し、区別 している。また、表1に OCTAD-S の仕様についてま とめる。

4.3 信号処理

信号処理の概要を図10に示す。フロントエンドを経 た信号は AD 変換後、窓関数を掛けてから FFT 処理 される。この際の時間窓長は8ミリ秒で、track-andhold サーキットを用いることで、デッドタイムのない 処理を行っている。OCTAD-Sの分光処理の特徴とし て、アンダーサンプルがあり、詳細は次節に述べる。 アンダーサンプルによって折り返された FFT の結果 は、その後のゲイン処理とフォーマットと整合により 一連の周波数イメージとして整えられ、結果として 10 GHz までの分光を可能とした。

4.4 アンダーサンプリング手法

アンダーサンプリングの場合は入力信号周波数が高 いため、通常のサンプリングよりも、サンプリングク ロックの揺らぎ(ジッタ)により AD 変換後の値に揺ら

表1 OCTAD-S 仕様

2G64K 4G4K ADC 動作周波数 2.048 GHz 4.096 GHz 量子化ビット数 10 bit SFDR $\sim 42 \text{ dB}$ $\sim 40 \text{ dB}$ GFDR $\sim 37~\mathrm{dB}$ $\sim 38 \text{ dB}$ 最大入力電力 0 dBm FPGA 搭載数 2 1 周波数チャンネル 32768 2048 31.25 kHz 1 MHz チェンネル幅 スペクトルの分解能 (-3 dB) 64 kHz 2.0 MHz スペクトルの分解能 (-9 dB) 2.9 MHz 90 kHz アクイジション時間 32 μ秒 1 µ秒 時間窓長 8 m 秒 積算回数 250 8000



図10 信号処理の概要

ぎとして影響が出る。図には、OCTAD-S4G4Kの420 MHz 試験信号の折り返し特性の出力を示す。高い周 波数になるほどジッタの影響を受けやすいが、本試験 によりマイクロ波までの線形な動作を確認できた (図11)。

双方の分光器によるダイナミックレンジを図12に 示す。アンダーサンプリングでは、入力周波数以下の 全てのエイリアシング信号が帯域内に落ち込んで加算 されるため、周波数以外に信号があるとスプリアスと なって妨害を受けることになる。したがって入力前に バンドパスフィルタを通し、不要な周波数帯の信号を 取り除いている。また、使用周波数帯以外のノイズレ ベルが高いと信号対雑音比(SNR: Signal-to-Noise Ratio)が大きく低下する。OCTAD-Sではおよそ80 dB のダイナミックレンジを測定しており、SFDR (Spurious-Free Dynamic Range:最も大きなスプリア



図 11 OCTAS-S の折り返し特性 420 MHz の信号に対して 420 MHz (*黒 線)、3,676 MHz (◇緑線)、4,516 MHz (△赤線)、7,772 MHz (□青線) の折り返し出力信号結果

スと搬送周波数の入力信号強度) 及び GFDR (Glitch Free Dynamic Range:同様に、信号遅延によって生 じるパルス信号との強度比) においてもおよそ 40 dB に達している。

4.5 アラン分散

分光器の安定性を評価するため、温度の安定した室 内において、ノイズソースによる 4,500 MHz の信号に 対するアラン分散安定時間を測定した。結果を図13に 示す。およそ 1,500 秒に達し、高い安定性を得ること ができた。



図 13 4 G4K 分光器の 4,500 MHz におけるアラン分散安定時間の測定結果



図 12 OCTAS-S のダイナミックレンジ 420 MHz の測定結果を黒プロット、840 MHz での最大スプリアスを青プロット、1,444 MHz でのゴーストを青プロットで示す

5 制御システム

5.1 制御サーバ

本システムは、山川電波観測施設の伝搬計測室に設 置された合計4台のサーバ、アンテナを制御するアン テナ制御サーバ1台、分光器からの出力を受け取り データファイルとして格納するデータ収集サーバ2台、 データファイルを蓄積しポスト処理を行うデータ蓄積 サーバ1台及びNICT本部(小金井)に設置されている データ処理・解析サーバ1台の、計5台で制御されて いる。

アンテナ制御サーバは、刻一刻と変化していく太陽 位置の方位角 (AZ)、仰角 (EL) を一秒ごとに計算し、 ローカルネットワークを介してアンテナコントロール ユニット (ACU) に送信することで、常に太陽を追尾 するようにアンテナを制御している。

データ収集サーバは、MHz帯(2 G64 K)とGHz帯 (4 G4K)のそれぞれのデータを収集するために1台ず つ稼働している。分光器が出力するデータは、非常に 広帯域で高時間分解能であるため、データサイズが 1分間で約1.25 GByteと非常に大きく、十分な通信速度 を確保する必要がある。そのため、他の通信、例えば アンテナ制御信号などの通信と干渉することがないよ うに、分光器からの出力データ専用のネットワークを 構成し、他の通信に干渉されないデータ転送を実現し ている。

データ収集サーバで収集したデータはデータ蓄積 サーバに転送され、この中でポスト処理等が行われて いる。ポスト処理としてはリアルタイムダイナミック スペクトルプロットの作成、後述のイベント自動検出 ソフトウェアとそのためのリアルタイムデータフォー マット変換、そして観測終了後の高分解能データから 低分解能データの作成を行っている。データ蓄積サー バからは、約1PByteの容量を持つデータストレージ をマウントしており、全高分解能データは、このデー タストレージにおいて保存される。ただし、このスト レージでも3年程度のデータしか保存できないので、 最終的には、高分解能データについては、電波バース トが起こった時のデータのみ保存するようにしている。

データ蓄積サーバで作られた低分解能データは、 NICT本部に設置しているデータ処理・解析サーバに 転送される。ここでデータは、低分解能データから最 終的な公開用データに変換され、所定の場所に格納さ れた後、後述の太陽観測データベースにおいて公開さ れる。

5.2 遠隔制御

本システムは無人の観測施設に設置された観測シス

テムであるため、可能な限りすべての操作を遠隔地か らリモートで行うことができるように設計されている。 山川電波観測施設内に設置の4台のサーバ及びバック エンド部、フロントエンド部については、電源制御も 含めたほとんどすべての操作をリモートでできるよう になっている。特に、電源については、それぞれの機 器の電源にインターネット経由で電源の ON/OFF が できるようにリブータを設置し、機器がハングアップ した際にも安全に電源の再起動作業ができるように なっている。また、システムソフトウェアの起動、停 止などについては、現地のサーバに遠隔からログイン してコマンドを入力するといった手間をかけずに、 ウェブブラウザ上でクリックするだけでソフトウェア の起動、停止などの作業ができるようなウェブイン ターフェースを準備し、ソフトウェア起動方法などの 知識がなくてもシステムの起動、停止などができるよ うに作られている (図14)。

6 イベント自動検出

6.1 概要

太陽活動の継続監視手段のひとつとして、II 型太陽 電波バーストの自動検出システムの開発に成功してい る。

II 型電波バーストは、太陽から放出されたプラズマ 雲 (CME: Coronal Mass Ejection。コロナ質量放出と もいう。以下、CME)に先行する磁気流体衝撃波から 放射されたものと考えられており、電子密度の比較的 低いコロナで周辺プラズマ周波数(fp)のラングミュア 波を励起し、電波へ変換されたものと解釈されている。 II 型電波バースト発生源の移動速度はおおよそ 500 か ら 1,500 km/sと見積もられ、数日以内に地球へ影響を 及ぼす太陽風じょう乱の前兆現象として観測される。 バーストを自動検出することで、人工衛星による観測 データが利用できるようになるよりも先にイベントの 初期段階で CME 前面衝撃波の伝搬速度を推定するこ とができる。そして、衝撃波の地球への到来時刻の第 0次推定も可能になる。

II 型電波バーストは一般に VHF 帯で強く検出され、 何分間か継続して観測される。また時間とともに周波 数が低くなる動的スペクトルを有しており、プラズマ 周波数 (fp) ∞時間の逆数 (1/t)の関係のあることが指 摘されている (Kellogg1980)。そこで、本研究では、分 光画像からノイズを取り除きバーストの信号を強調し たりするなどの複数の画像処理を行った後、この関係 を利用することで II 型バーストを検出している。

ファイル(E) 編集(E) 表示(V)	履歴(S) ブックマーク(B) ツール(I) ヘルブ(H)		-		×
山川太陽観測センタ遠隔制御	監視 × +				
$\leftarrow \rightarrow$ C @	🔿 🗞 ygrdat01. nict.go.jp /remotecnt/menu/	\bigtriangledown	\mathbf{F}	lii\ 💿	=
山川太陽観淵	則システム遠隔制御				
YgRASアンテナ制 御	アンテナ制御サー八 アンテナ制御ソフトウェア: 起動 停止 プロセスの確認				
▼制御サーバ ・アンテナ制御サーバ ・データ収集サーバ1	表示の更新				
・データ収集サーバ2	アンテナ制御ソフトウェア				^
電源制御	利御				
▶ YgRAS	太陽追尾開始				
Webカメラ	アンテナ停止 Azimuth 180 Deg.				
▶一覧					
	Present time [IIT]: 2021_06_09_06-32-13				~
	position Paradic [reg] Paradic [reg]				
	Elevation [Deg.] 46.084 Actual 272.127 46.048				
	Error 0.002 0.004				
	Polling status Azimuth Move Move				
	Elevation Move Move				
	Mode: Tracking				
	House Hucking				

図 14 遠隔制御用ウェブインターフェース

6.2 || 型電波バーストの自動検出手法

II 型電波バーストは VHF 帯で何分間か継続して観 測される。時間と共に周波数が低くなる動的スペクト ルを有し、周波数の逆数 $1/f \propto$ 時間 t の関係がある (Kellogg1980:ここで f はプラズマ周波数 fp に等しい と仮定)。この関係式に着目し、(i)分光観測の画像を 処理して縦軸 1/fに変換、(ii) Hough変換により直線検 出、という 2 段階の処理でバーストの検出を試みた (Lobzin et al. 2010)。画像処理のプログラム言語には Python と OpenCV を用いた。本稿ではひとつの例と して、山川太陽電波観測システムで取得された 2015年 11 月 4 日 3 ~ 4 時 (UTC)の観測データへ適用した結 果を示す (図 15)。手順は以下の①から⑨となる。 ①グレースケール化:

OpenCV を利用して処理するため、データをグレー スケール (単色 8 bit) 化する。

②ヒストグラム平坦化:

光源を統一して、暗いイメージや明るいイメージを 均一な明るさの環境でのイメージに作り直す処理。 暗く隠れた模様や、明るすぎて飽和した画像を、 シャープに見せる処理。

③縦軸 f → 1/f 変換:

II 型バーストは、周波数の逆数 1/f ∞時間 t の関係 があるため、縦軸を 1/f と変換することで、直線に なる。

④ぼかし (平滑化・スムージング):

時間軸方向に移動平均をとることにより、スムージ ングする。

⑤しきい値処理(ノイズ除去): ピクセルのスケールがある値(しきい値)以下をノイ ズとみなして取り除く。

⑥強い信号(水平線)の除去:

フィルタでは十分に取り除けない特定周波数の強い 信号を除去する。

- ⑦ローカルピークと2値化: 電波バーストは数分で信号が強まり弱まる。時間軸 に沿ってピクセル値が単調増加から単調減少に代わ るところをローカルなピークとして255を代入し、 それ以外を0として2値化する。
- ⑧モルフォロジー処理:



図 15 II 型電波バーストの自動検出の概要 2015 年 11 月 4 日 3-4 時 (UTC)の山川太陽電波観測システムで取得されたデータを使用

更にノイズを取り除くため、収縮(Erosion)と膨張 (Dilation)を行う。収縮では境界線が侵食されてい く処理、膨張では白色の領域を増やす処理を行う。 これらを組み合わせて、小さなノイズを消し大きな 領域だけを残せる。

⑨直線検出:Hough 変換を用いて検出を行う。

7 太陽観測データベース

NICT で行われている太陽観測のデータは、NICT 太陽観測データベースとしてウェブサイト(https:// solarobs.nict.go.jp/)から広く一般に公開されている。 以下に詳細を説明する。

7.1 太陽電波観測データベース

山川太陽電波観測システムによる観測データは、周 波数帯域70 MHz-9 GHz、周波数分解能31.25 kHz (MHz帯)、1 MHz(GHz帯)、時間分解能8ミリ秒、右 左旋両偏波の観測データである(詳細は2参照)。合計 すると、1分間で約1.25 GByteのデータ量となり、夏 至近くの一年で一番観測時間が長い時期には、1日で 1 TByteのデータ量になる。そのため、この高分解能 データすべてを広く一般に公開するのは現実的でなく、 時間分解能1秒、周波数分解能1 MHzに間引いた低分 解能データをウェブサイト上で公開している(図16)。 データフォーマットは、天文学コミュニティーで広く 使われている FITS とし、1つのデータファイルには、 70 MHz-9 GHz の1時間分のダイナミックスペクトル データが格納されている。右旋偏波及び左旋偏波の生 データと、両偏波を合計した全電波強度から静穏太陽 レベルを差し引いた、静穏太陽差し引き済みデータの 3種類を公開している。

データをダウンロードするためのウェブインター フェース(図16)では、必要なデータの日時を指定する ことで、当該時刻の静穏太陽差し引き済みデータのサ ムネイル画像が表示され、バースト等のイベントの発 生を容易に確認することができる。そして表示された サムネイルに該当する3種類のFITSファイルをダウ ンロードすることができ、詳細なイベント解析などを 可能にしている。

NICT では、山川電波観測施設での太陽電波観測が 開始された 2016 年以前は、平磯太陽観測施設(2016 年 閉鎖)において太陽電波観測が行われていた。この平 磯における太陽電波観測システム HiRAS の 1996 から 2016 年のデータも、同じ NICT 太陽観測データベース から FITS フォーマットで公開されている。さらに、 国内で太陽電波のダイナミックスペクトル観測を行っ ている東北大学と協力し、NICT 太陽観測データベー スに東北大学のデータも取り込み、日本の太陽電波ダ イナミックスペクトルデータの公開ハブとして機能で きるようになっている。現在、東北大学のデータを取 り込む作業を進めているところである。



図 16 太陽電波データ公開ウェブインターフェース https://solarobs.nict.go.jp/radio/cgi-bin/MainDisplay.pl

7.2 太陽光学観測データベース

前述の平磯太陽観測施設では、2008 年頃まで、太陽 活動を監視することを目的として、高精細 H a 太陽望 遠鏡を用いて、太陽の光学観測も行われていた。NICT 太陽観測データベースでは、1994 から 2008 年の光学 観測データも公開されている。水素原子が発する波長 6562.8 Åの H a 線中心及び 6562.8 ± 0.8 Åの合計 3 つ の波長での観測データが、FITS フォーマットで公開 されている。光学観測にもデータダウンロード用ウェ ブインターフェース(図 17)が用意されており、日付を 選択すると、サムネイル画像とともにダウンロードで きる FITS ファイルのリストが表示され、必要なファ イルのみを選択しダウンロードすることができる。ま た、サムネイル画像をクリックすることで、該当する FITS ファイルのヘッダー情報を確認することができる。

8 まとめ

太陽電波観測は、太陽フレアや CME の発生をいち 早く察知し、それらの地球への到来時刻を、他の観測 や数値シミュレーションに先駆けて最も早く推定する ことができる観測手段である。そのため、宇宙天気予 報を行う上で必要不可欠な観測であり、NICT では 1950 年代に観測を開始し、非常に長い歴史を持ってい る。太陽電波バーストは、衛星測位信号に混信し測位 誤差増大の原因になったり、航空機の管制レーダーに 混信してレーダーの機能に影響を及ぼしたりといった



図 17 太陽光学データ公開ウェブインターフェース https://solarobs.nict.go.jp/optical/cgi-bin/MainDisplay.pl

ことも報告されている。国際民間航空機関でも民間航 空機の運航に際して、太陽電波バーストに関する情報 が必要なのではないかという議論が始まっている。こ のように、太陽電波の観測は、科学目的のみならず、 実用的な天文学データとして認識されつつある。

国内では、太陽電波の観測を実施する機関が減って きており、現在では、NICT、国立天文台野辺山、東 北大学の3機関のみである。このような状況から、 NICT は太陽電波観測の中心機関として、今後も太陽 電波の観測を続けていくことが重要である。

謝辞

本業務の一部は、総務省委託業務「0155-0099 電波伝 搬の観測・分析等の推進」によって行われたものであ る。

【参考文献】

- 1 Kazumasa Iwai, Yûki Kubo, Hiromitsu Ishibashi, Takahiro Naoi, Kenichi Harada, Kenji Ema, Yoshinori Hayashi and Yuichi Chikahiro, "OCTAD-S: digital fast Fourier transform spectrometers by FPGA," Earth, Planets and Space, vol.69, Article no.95, 2017.
- 2 Kellogg, P. J., "Fundamental emission in three type III radio bursts," Astrophysical J., vol.236, pp.696–700, 1980.
- 3 Vasili V. Lobzin, Iver H. Cairns, Peter A. Robinson, Graham Steward, and Garth Patterson, "Automatic recognition of coronal type II radio burst: the automatic radio burst identification system method and first observations," The Astrophysical Journal Letters, vol.710, L58–L62, 2010.



直井隆浩 (なおい たかひろ) 電磁波研究所 電磁波伝搬研究センター 宇宙環境研究室 有期研究技術員 博士 (理学) 天文学



久保勇樹 (くぼ ゆうき)
電磁波研究所
電磁波伝搬研究センター
宇宙環境研究室
研究マネージャー/
宇宙天気予報グループ
グループリーダー
博士(学術)
太陽物理学、予報評価技術

石橋弘光 (いしばし ひろみつ) 電磁波研究所 電磁波伝搬研究センター 宇宙環境研究室 惑星間空間物理学、電離層物理学