

マイクロ波帯太陽電波スペクトル計の開発

青山 隆 司*・大 家 寛*

Development of New Radiospectrograph for Solar Radio Bursts in Microwave Range

Takashi Aoyama and Hiroshi Oya

A new observation system for solar decimetric radio bursts has been developed at Awara Space Radio Observatory (ASRO), Fukui University of Technology. Using the swept frequency radiospectrograph covering a frequency range from 1.3 GHz to 2.5 GHz within 226 msec, with band width of 5 MHz, decimetric radio bursts from the sun are monitored; the data are displayed with colored dynamic spectrum together with storage operation using a large volume HD. The space communication system with 10m parabolic antenna at ASRO is utilized for the front end of this observation system. From middle of July 2004, the observation of solar decimetric bursts has been continuously carried out providing various types of solar radio bursts.

1. 序論

太陽表面およびその周辺には高温のプラズマと黒点に集中する強い磁場が存在するため、電磁環境としては非常に不安定な状態にある。このため、太陽表面では大規模な磁気エネルギー解放現象（例えばフレア、質量放出現象（CME）等）が頻繁に発生している。このような現象に伴い、太陽表面およびその周辺のコロナから、いろいろな種類の電磁波が放射され、これらの電磁波を観測、解析することにより複雑な太陽面現象を理解するための重要な情報を得ることができる^{(1),(2),(3),(4),(5),(6),(7)}。

福井工業大学あわら宇宙電波観測施設（ASRO）では、2000年よりデカメータ帯木星電波観測システムが稼動を始め、現在は3機の9素子クロスログペリオディックアンテナを用いた干渉計システムとして観測が続けられている⁽⁸⁾。このクロスログペリオディックアンテナ（20～40 MHz）を含むフロントエンド部を共用するデカメータ波帯太陽電波観測システムが2003年に開発され⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾、現在に至るまで毎日8時間の定常観測を行っている。

これらデカメータ波帯の観測に加え、マイクロ波帯（1.3～2.5GHz）の太陽電波を観測するための電波スペクトル計が新たに開発され、本年7月より観測を開始した。今回開発したデシメータ波（マイクロ波）帯太陽電波スペクトル計は、人工衛星との通信用として設置されているパラボラ

* 宇宙通信工学科

アンテナシステムのL、Sバンド系フロントエンド部を共用し、バックエンド部を新たに追加する事で実現している⁽¹¹⁾。

今回のマイクロ波帯太陽電波観測システムの開発により、デカメータ波帯(20~40MHz)とデシメータ波帯(1.3~2.5GHz)の観測が同時に行われることが可能となった。このことは、コロナ域で発生する太陽フレア現象を、その上部(フレア発生域の外側)と下部(太陽面付近)で同時に観測することに対応しており、太陽フレア現象を電波観測を通してより詳細に理解することが可能となる。

2. マイクロ波帯太陽電波観測システム

2.1 マイクロ波帯太陽電波観測システムのフロントエンド構成

マイクロ波帯太陽電波観測システムのフロントエンド部として共用しているパラボラアンテナシステムのブロック図を図1に示す。このパラボラアンテナシステムはLバンド、SバンドおよびXバンドの3つの周波数帯の電波を受信可能なシステムである。このうちL、Sバンドのフロントエンドシステム(図1の上段黄色の部分)を利用し受信された太陽電波信号は、室内に引き込まれた後、4分配回路からマイクロ波帯太陽電波観測システムに導入される。共用部分の詳細なブロック図を図2に示す。パラボラ面で反射されたL、Sバンドの太陽電波信号は、パラボラのPrime Focusに置かれた5機のクロスダイポールアンテナで受信され、アンテナ直下に置かれた低雑音増幅器(LNA)で50dBの増幅を受けた後、さらにベースエクステンション内のプリアンプで20dB増幅され、地下ケーブルを通して観測室内のバックエンド部へ送られる。なお、太陽の追尾は図1右下部分の地上局制御システムにより軌道計算され、図1下部(青色部分)のアンテナ制御システムにより実行される。

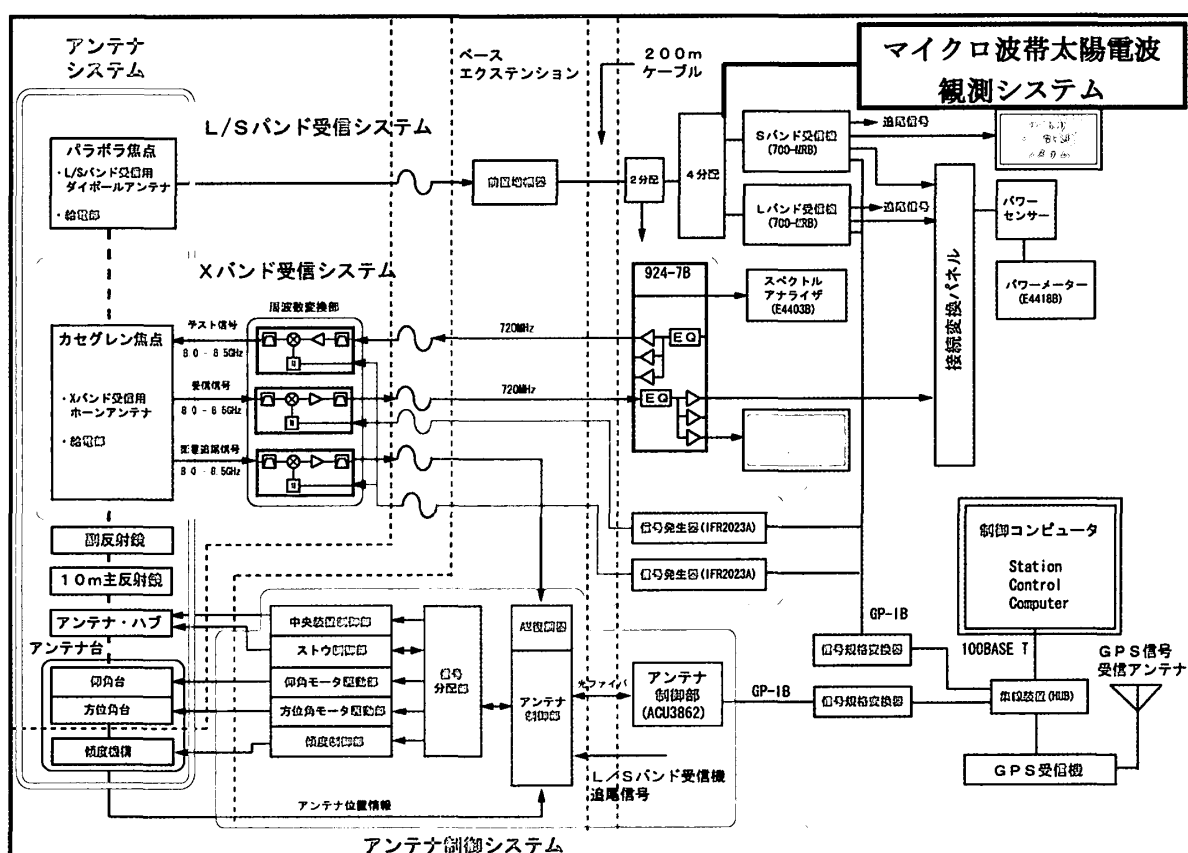


図1 パラボラアンテナシステムのブロック図

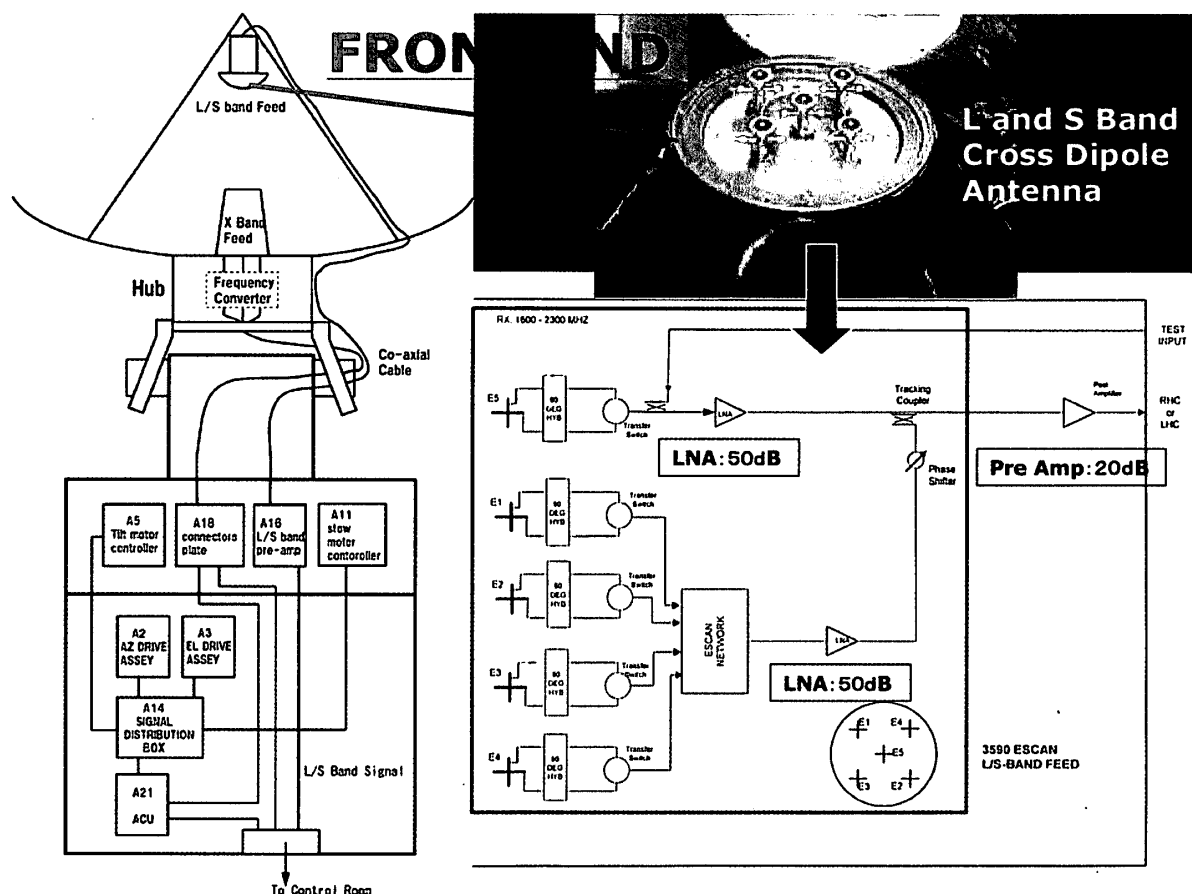


図2 マイクロ波帯太陽電波観測システムのフロントエンド構成

2.2 マイクロ波帯太陽電波観測システムのバックエンド構成

2.2.1 バックエンド部の構成

観測室内のラック内に設置された4分配回路により分離された太陽電波信号は、スペクトラムアナライザにより1.3GHz~2.5GHzの周波数帯域をバンド幅5MHz、225.7ms/sweepで掃引受信される(図3参照)。スペクトラムアナライザの出力信号(スペクトル信号)をゲート信号をトリガーとしてA/D変換しコンピュータに取り込み、観測モードプログラムによりリ

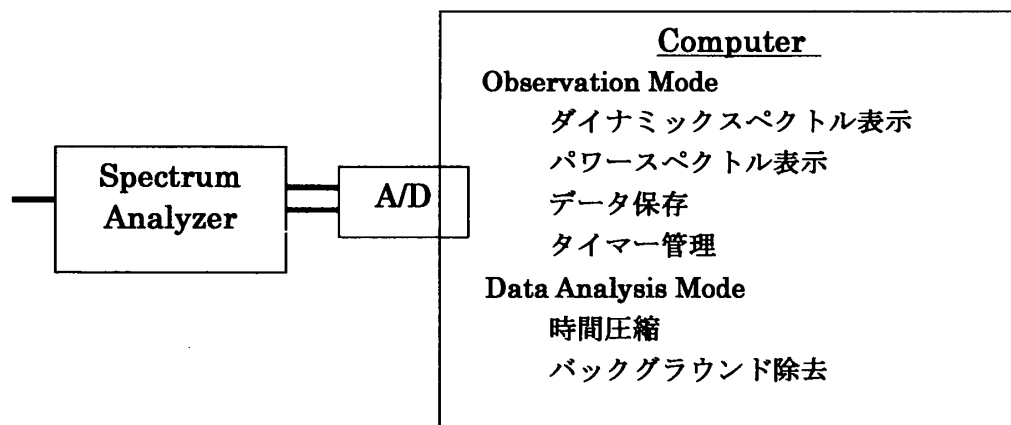


図3 マイクロ波帯太陽電波観測システムのバックエンド構成

アルタイムで画面へのダイナミックスペクトル表示、パワースペクトル表示を行う。また、観測終了時に全観測データをHDに保存する。なお、観測モードプログラムはタイマー管理され、無人観測が可能である（現在は1日8時間の観測を行っている）。詳細なデータ解析はデータ解析モードプログラムにより行われ、時間圧縮、バックグラウンド除去等の解析が可能である。以下に観測モードプログラムおよびデータ解析モードプログラムについて詳しく述べる。

2.2.2 観測モードプログラム

観測モードプログラムでは、タイマー機能による観測の無人化が可能になっている。つまり、設定された時間になると観測（データの取り込み及び表示）を開始する。観測が開始されると、スペクトラムアナライザーで掃引受信した太陽電波のスペクトル信号を、A/D変換してコンピュータに取り込む。この際、ゲート信号でトリガーをかけ、指定された数（通常240点）だけ、指定されたサンプリング周波数でスペクトルデータを取り込み、パワースペクトルとダイナミック

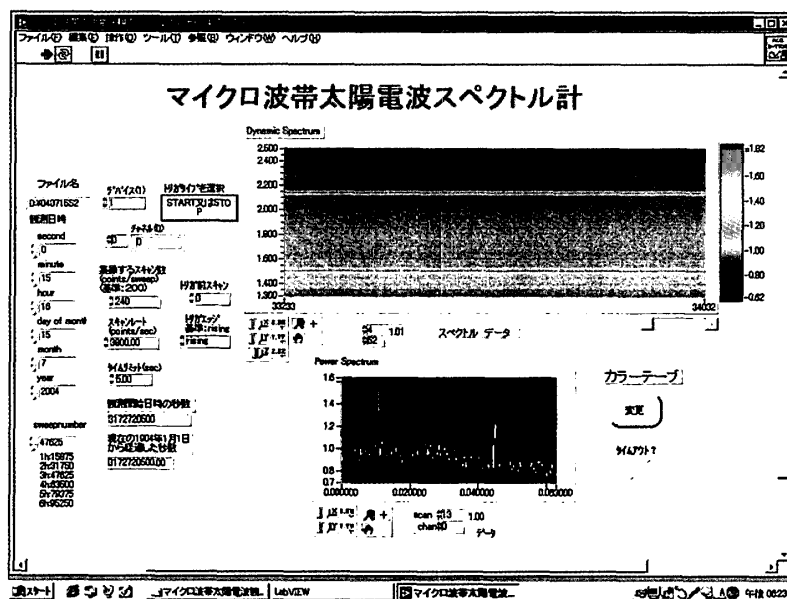


図4 観測モードプログラムのフロントパネル

2.2.3 データ解析モードプログラム

データ解析モードプログラムのフロントパネルを図5に示す。データ解析プログラムは、観測プログラムによりハードディスクに蓄積されたデータの任意の部分を読み出し、画面に表示することが基本機能である。その際にダイナミックスペクトルの時間軸方向にデータの圧縮（データの間引き）を行うことで、任意の時間分解能でダイナミックスペクトルを表示できる。さらに、通信（この帯域では携帯電話の周波数帯が最も強い）や銀河ノイズのように時間的にほとんど変化せず、観測対象である太陽電波に対してはむしろ邪魔になる成分を取り除く機能（バックグラウンド除去機能）を持つ。図5右側のパネルに平均化されたバックグラウンド信号のパワースペクトルを表示し、左側のパネルに解析結果（時間軸圧縮およびバックグラウンド除去を行った結果）のダイナミックスペクトルを表示する。

観測モードプログラム、データ解析モードプログラムとも、今まで述べてきたフロントパネルの機能を実現するためには、ダイアグラムと呼ばれる1種の配線図が必要となる。このダイアグラムについては、デカメータ帯のバックエンドとして開発したものと一部を除いて同一であるので、その詳細はここでは省略する（福井工業大学研究紀要、第34号⁽¹⁰⁾参照）。

なお、以上述べた観測モードプログラム、データ解析モードプログラムは National Instruments 社 LabVIEW6.0 を用いて作成した。

3. マイクロ波帯（デシメータ帯）太陽電波の分類

デシメータ帯（波長10cm～1 m）の太陽電波バーストのおよそ90%は次の5つの種類に分類される。

- (1) Decimetric Type III Bursts
- (2) Decimetric Type IV Bursts
- (3) Diffuse Continua
- (4) Pulsations
- (5) Spikes

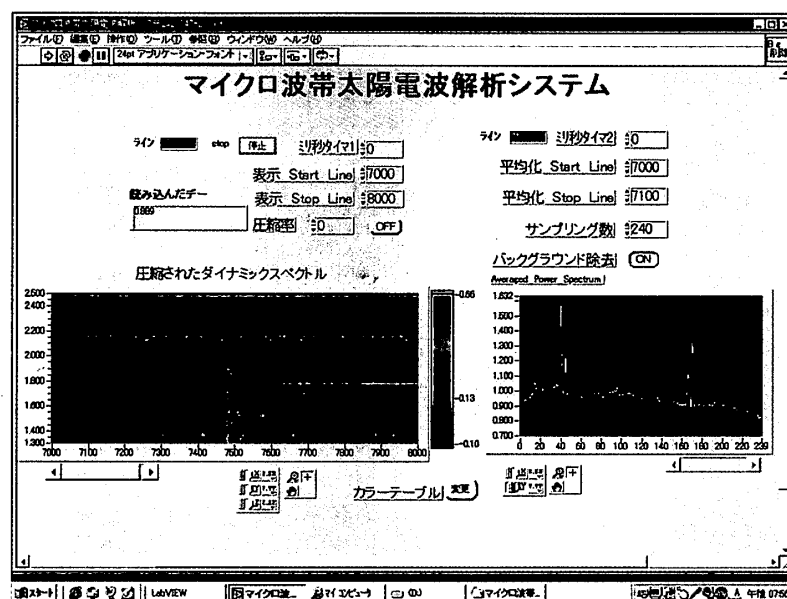


図5 データ解析モードプログラムのフロントパネル

この中で、現在までにあわらキャンパスの受信システムにより観測されている (1) Decimetric Type III Bursts、(3) Diffuse Continua、(4) Pulsations については後にデータを示しつつ詳しく述べる。ここでは現時点までに観測出来ていない (2) の Decimetric Type IV Bursts と (5) の Spikes について説明する。

(2) Decimetric Type IV Bursts はメータ帯で定義された Type IV バーストと形態的に似かよっており、広帯域 (0.3~5GHz) かつ長時間継続 (数十分間) するバーストである。発生源はループ状磁場に捕らえられた電子であると考えられている。(5) の Spikes は、1つ1つのバーストは非常に持続時間 (数十 μ s) が短く、かつ狭帯域 (数MHz) のバーストであるが群発性があり、数十秒から数分間持続する場合が多い。ハーモニック構造を持つ場合もあるが、発生源は明らかではない。帯域および持続時間を考えると、我々の観測システムの周波数分解能 (5MHz) および時間分解能 (225.7ms) では分解できない可能性がある。

4. データ解析例

4.1 Decimetric Type III バースト

デシメータ波帯 Type III バーストの観測例を図 6 (a) に示す (データ解析モードプログラムのフロントパネル)。また、同図 (b) の左側のパネルは、(a) の観測データに対しバックグラウンド除去を行った後のダイナミックスペクトルであり、右側のパネルには計算された平均的なバックグラウンドのパワースペクトルを示している。(a) に較べて (b) のダイナミックスペクトルでは、横に走る携帯電話の電波帯がきれいに消えていることがわかる。ダイナミックスペクトルの中央部に見られるのがデシメータ波帯 Type III バーストであり、速い正の周波数ドリフト (時間の経過とともに周波数が上昇、ドリフト率 >100 MHz/s) を示している。同図 (c) に同じ時刻にデカメータ波帯太陽電波観測システムによって受信された Type III バーストと NiCT (情報通信研究機構) の HiRA S の広帯域スペクトルデータとをバースト発生時間を一致させて示している。(c) の下図のデカメータ波帯 Type III バーストは負の周波数ドリフトを示しており、上図のデシメータ波帯 Type III

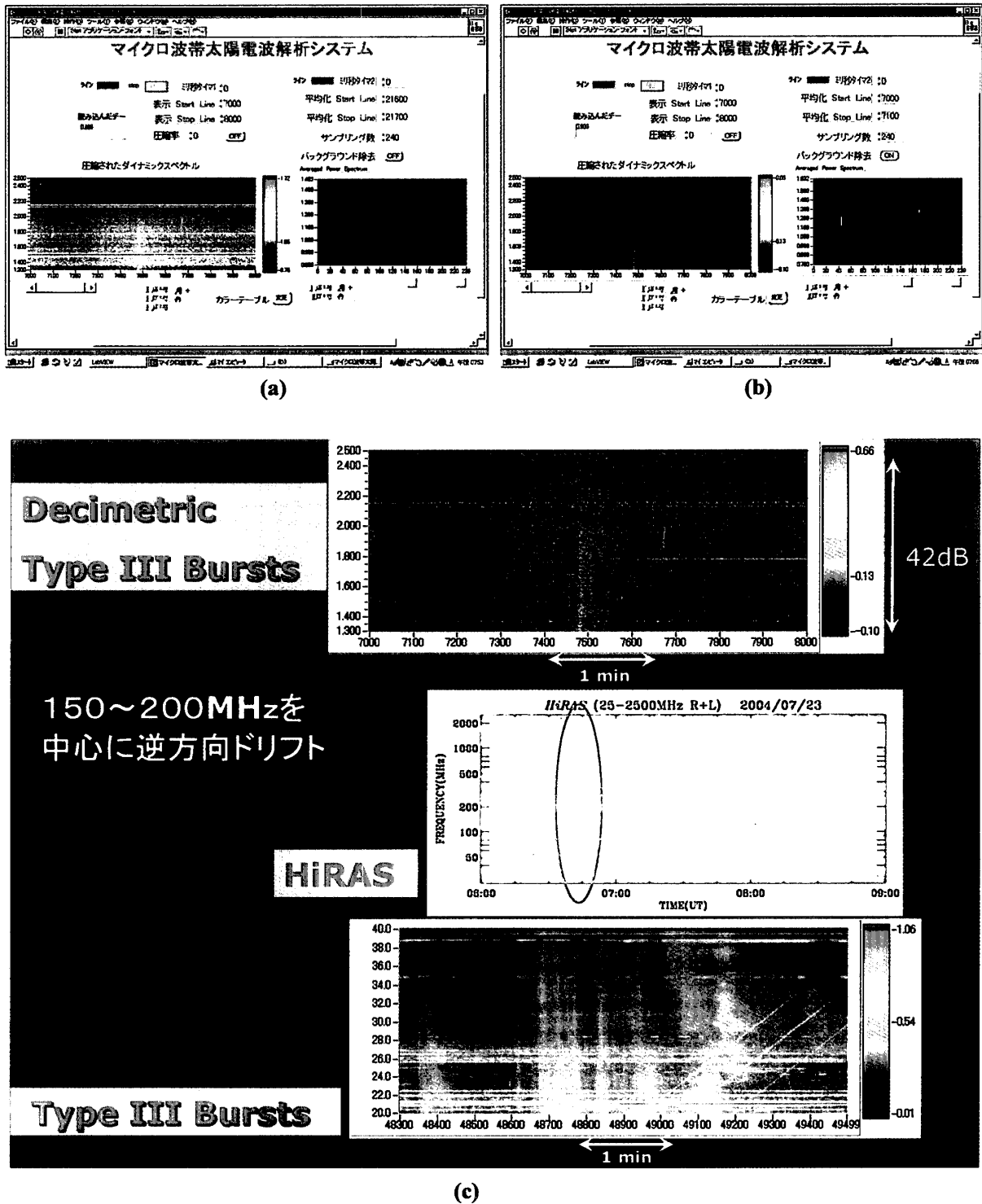


図6 デシメータ波帯 Type III パーストの観測例

パーストとは逆のドリフトを示す。中央のHiRASのスペクトルから、周波数が150~200MHzあたりでドリフトの方向が変わっていることがわかる。このことは、フレアを中心から太陽に向かう方向（デシメータ波帯Type III パーストに対応）と外側に向かう方向（デカメータ波帯Type III パーストに対応）の双方向に電子ビームが加速、放出されたことを意味している。このType IIIパーストが最も発生頻度が高いことを考えれば、フレアによる典型的な電子加速は双方向に起こると

考えられる。

4.2 Diffuse Continua

Diffuse Continuum と呼ばれるこのバーストは、1~3GHzのデシメータ波帯域のみで観測されることが多い。持続時間はType III バーストより長く

Type IV バーストより短い数秒から数分である。図7上のパネルにDiffuse Continuum の観測例を示す。また、下のパネルにはHiRASのスペクトル(赤丸で示したのが対応するバースト)を示している。

HiRASではデシメータ波

帯のバーストは全く見えていないが、

我々のスペクトル計では明確な連続バーストが観測されている。この現象はフレアにより連続的な粒子加速が起き、太陽側に降り注いでいることを示している。

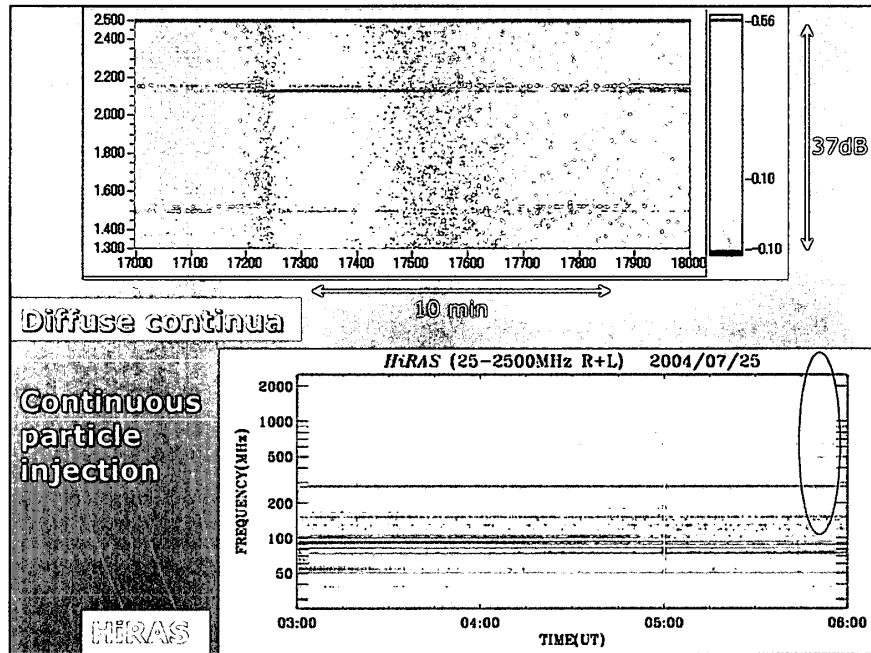


図7 Diffuse Continuum の観測例

4.3 Pulsations

図8にPulsations の観測例を示す。上のパネルにデシメータ波帯の観測例を、下のパネルにはHiRASの観測結果をバースト発生時間を合わせて示している。Pulsationと呼ばれるバーストは、この例に見るように250MHz~2GHzと広帯域の現象であるが、デカメータ帯では全く見えていない。また、Type III バーストよりさらに周波数ドリフト率が高く、ほとん

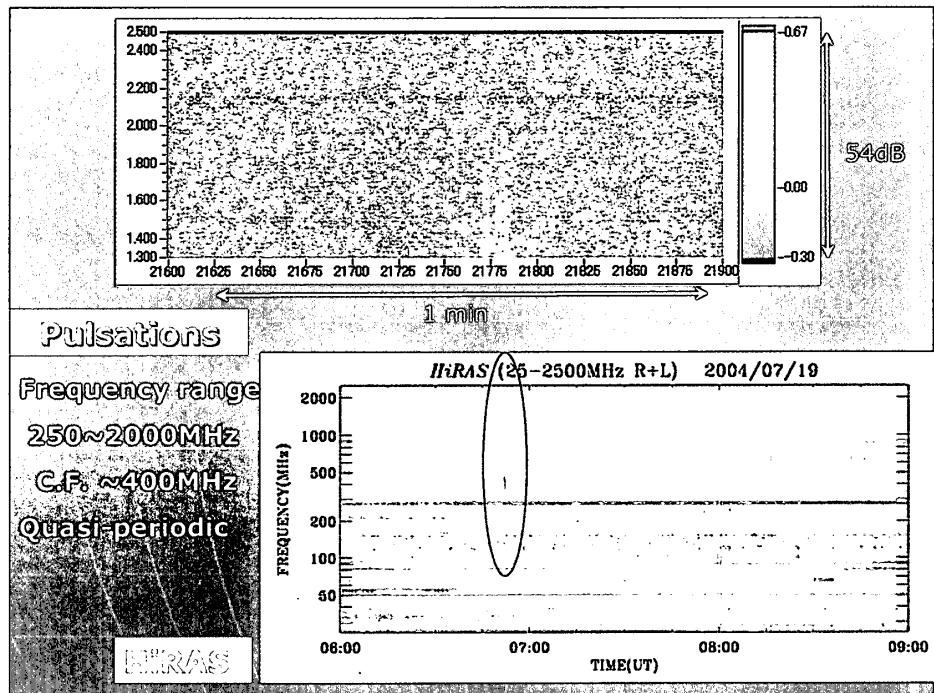


図8 Pulsations の観測例

ど垂直に立ったような形態を示す(図8上のパネル)。また群発性を示し、その繰り返し間隔は、0.1~1.0秒で、パルス状に断続的(準周期的)に発生するのが特徴である。このことは、フレア近傍で準周期的な粒子加速が起こっていることを示している。

5. 結論

2004年7月までにデシメータ帯太陽電波観測システムの開発を終え、観測を開始している。観測開始時より今日まで何種類かの太陽電波バーストが観測されており、現在もデータを蓄積しつつデータ解析を進めている。このデシメータ波帯太陽電波観測システムの観測開始により、デカメータ帯の観測から得られるコロナ域での電波発生メカニズムに加え太陽表面近傍における情報が得られ、太陽面爆発現象(太陽フレア)の全貌を見ることが可能となった。

現在までに観測されたデータを解析した結果、フレア(太陽面爆発)により電子が加速・放出されるが、その形態は一種類ではなく、双方向への電子ビームとしての放出(Decimetric and Decametric Type III バースト)、連続的かつ長時間の電子加速(Diffuse Continuum)あるいは準周期的な電子加速(Pulsations)等、フレアによる粒子加速の多様性が確認された。

謝辞

本研究は平成16年度福井工業大学・学内特別研究費により実施されました。ご支援に深く感謝いたします。

[参考文献]

- (1) Aoyama and Oya : Observation of Solar Radio Bursts Using Swept-Frequency Radiospectrograph, J. Geomag. Geoelectr., 39, 571-589, (1987)
- (2) Aoyama and Oya : Decametric radiations from a large scale magnetic loop in the solar corona, J. Geomag. Geoelectr., 46, 97-105, (1994)
- (3) 青山、大家 : 「Split Band Type II 太陽電波バーストの発生機構」、地球電磁気・地球惑星圏学会 第104回講演会、茨城県青少年会館、(1998)
- (4) McLean, D. J. and N. R. Labrum, Solar Radiophysics, 516 pp., Cambridge University Press, Cambridge, (1985)
- (5) 青山、大家 : 「Split-Band 構造を持つ Type II 太陽電波バースト」、地球電磁気・地球惑星圏学会 第 91 回講演会、京都大学、(1992)
- (6) 青山、大家 : 「Split-Band Type II 太陽電波バーストの発生機構について」、地球電磁気・地球惑星圏学会 第98回講演会、京都市北文化会館、(1995)
- (7) 青山、大家 : 「スプリット型太陽電波の発生機構」、福井工業大学研究紀要、第33号、335-342、(2003)
- (8) 大家 : 「宇宙デカメータ電波干渉計システムの開発とその初期成果」、福井工業大学研究紀要、第32号、373-380、(2002)
- (9) 青山、大家 : 「福井工大芦原宇宙電波観測施設における太陽電波観測システムの開発」、地球電磁気・地球惑星圏学会 第114回講演会、富山大学、(2003)
- (10) 青山、大家 : 「芦原宇宙電波観測施設におけるデカメータ帯太陽電波観測システムの開発」、福井工業大学研究紀要、第34号、323-330、(2004)
- (11) 青山、大家 : 「デシメータ波帯太陽電波観測システムの開発」、地球電磁気・地球惑星圏学会 第116回講演会、愛媛大学、(2004)

(平成16年12月7日受理)