

新たに完成した 17 GHz 多相関器型太陽電波干渉計

中 島 弘*

1. はじめに

電波で太陽を観測する場合、観測周波数を変えると観測できる太陽大気の深さが変わる。17 GHz (波長 1.8 cm) の周波数では、静かな領域では彩層上部、磁場が強く密度の濃い活動領域では彩層からコロナに至る部分を観測することになる。そこでは黒点上層の強い磁場のからんだ現象や、爆発現象 (フレア) によっておこる粒子の加速・加熱現象が主な研究対象である。

日本のマイクロ波太陽電波の観測は、名大空電研究所の 8 cm, 3 cm, 東京天文台の 1.8 cm, 名大理学部 の 8 mm の各干渉計の活躍によって、世界で最も充実している。1971 年に完成した野辺山太陽電波観測所の旧 17 GHz 干渉計は、160 MHz 干渉計とともに太陽面現象の観測に役立ってきたが、空間分解能 3 分角、時間分解能 2.5 分の性能は、活動領域や電波バーストの微細構造を観測するためには不十分であることが痛感されてきた。とりわけスカイラブ等の人工衛星による X 線、紫外線による高分解能の太陽観測が可能になってくると、電波で見たら活動領域の中はどうなっているのか、電波バーストはどんな構造を持っているのか等を明らかにできるような、空間的・時間的に高分解能の電波観測が求められている。最近では高い空間分解能での太陽観測をするために、宇宙電波干渉計が使われているが、これらの干渉計は観測対象が空間的にも時間的にも変化しないことを前提にして設計されているので、太陽のように時々刻々激しく変化しているものを観測するにはもともと無理が多い。

東京天文台の太陽電波グループでは、特に電波バーストの時間的・空間的構造の観測を目標に、1975 年より総力をあげて改造作業を続けた結果昨年 6 月より一日約 4 時間半の連続観測に入ることができ、次々と興味深い現象が観測されている。新しい干渉計の主な特長は、

- (1) 空間分解能: 東西一次元, 48 秒角 (但し、像合成のやり方では 33 秒角)。
- (2) 時間分解能: 最高速で 0.8 秒。
- (3) 左右円偏波成分の観測: 左右円偏波成分の和と差に対応する像を同時に出力する。
- (4) 実時間較正: 世界ではじめて等間隔に並んだアンテナ配列を利用することによって観測中に干渉計

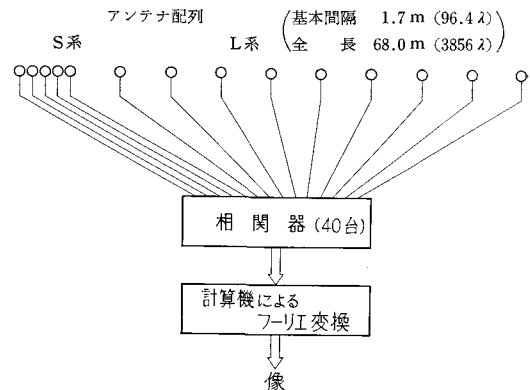


図 1 多相関器型干渉計の原理

の位相と増幅度の誤差を検出し補正する方法 (実時間較正) を導入して、かなり質のよい太陽像を得ている。

等である。とりわけ 0.8 秒の時間分解能は、現存するどのマイクロ波干渉計よりは一桁以上優れており、これまで不可能であった変化の激しい電波バーストの本格的な研究に道を開いたものである。

2. 干渉計の概要

17 GHz 多相関器型干渉計は、空の輝度分布をフーリエ解析したときのフーリエ成分を一つ一つ観測して再合成すればもとの像が復元されるという原理にもとづいている。一つ一つのフーリエ成分は一对のアンテナ間隔の出力に対応する。われわれの干渉計の場合には、14 対のアンテナのそれぞれに受信機をつけて観測室に導き、40 対のアンテナ対を選び出し各々に相関器をつけて空のフーリエ成分の測定を行い、その出力を計算機に入れてフーリエ逆変換によって太陽像を合成するという方法になっている (図 1)。従来のマイクロ波太陽電波干渉計のように、各アンテナ出力を直接伝送線を通して 1ヶ所に集め同位相で合成して鋭い干渉ビームをつくりこの単一ビームを掃引して太陽像を得る方式では、信号が長い伝送線を通るうちに減衰するばかりでなく干渉ビームの方向以外から入ってくる信号は捨てられてしまう結果となっているので、感度上大幅に損をしている。新しい干渉計は、上記の伝送線路の損失を克服しているばかりか、アンテナの視野内のどの場所で起った現象でも同時に受信してしまうので、同じ分解能を持つ旧来の干渉計に比べるとアンテナ数が少ないにもかかわらず感度がずっと良いという特色がある。しかもビーム掃引方式で得られた像は雲や大気中の水蒸気のゆらぎの影響を受けや

* 東京天文台 H. Nakajima: The Nobeyama 17 GHz Solar Radio Interferometer of a Multi-Correlator Type

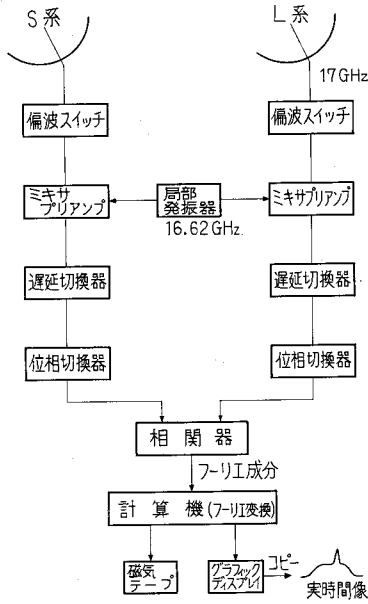


図 2 受信装置の概略

すいが、今回の方式はこの点でも天気の変化によらず素直な像が得られる。

次に新しい干渉計の受信装置について少し詳しく述べてみたい(図 2)。

アンテナ配列は図 1 にみるように 1.7 m 間隔で並べた 4 台のアンテナ (S系) と、その 4 倍の間隔 (6.8 m) で並べた 10 台のアンテナ (L系) より構成され、S系と L系のアンテナを組み合わせると最小 1.7 m から最大 68 m まで 1.7 m おきのアンテナ間隔に対応する計 40 個のフーリエ成分がとれるようになっている。

アンテナによって集められた電波は、円偏波切換器によって左右の円偏波成分に時分割された後、特別に開発された低雑音ミキサ・プリアンプで局部信号と混合されて低い周波数に変換され増幅される。局部信号は高い周波数 (16.62 GHz) のままで直接導波管を通して各アンテナに配られているので、温度の変化に敏感に反応し干渉計の位相誤差の主要な原因となる部分である。

地下ケーブルを通して観測室に導かれた信号は、まず遅延切換器によって電波源から各アンテナまでの時間差を補正させた後、つぎの位相切換器によって太陽の日周運動による効果を補正されフーリエ成分の検出を容易にしている。その後各アンテナからの信号は分岐され、像合成用と位相・増幅度較正用の計 54 台の相関器につながっている。

相関器からの出力はすべて計算機 (ミニ・コン) にとりこまれ磁気テープに収納される。磁気テープへは、0.8 秒か 4 秒か又は 8 秒の積分を施した結果を記録するようになっており、どのモードを選ぶかは観測者にまか

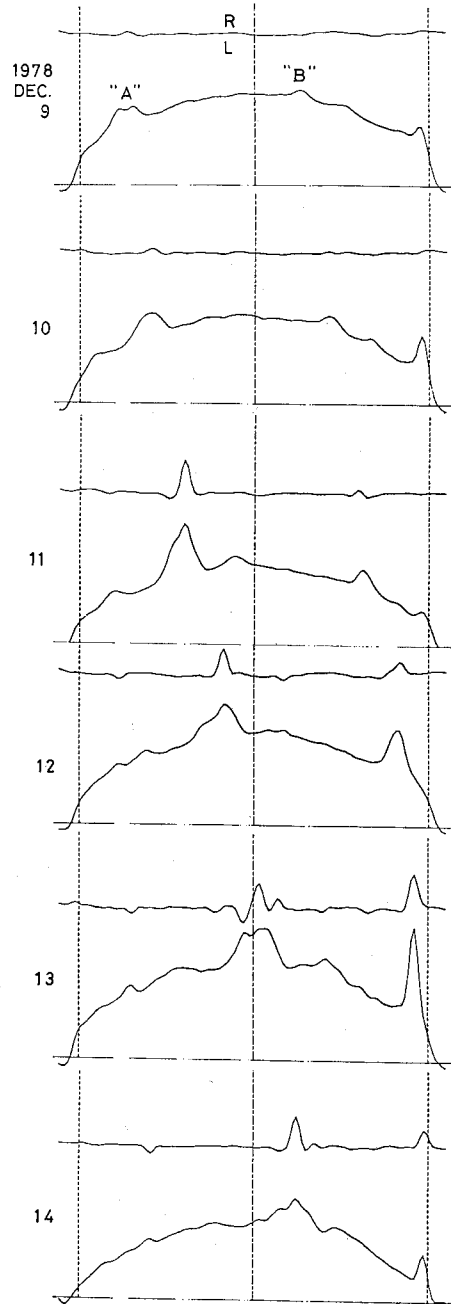


図 3 S成分の日変化

せられる。0.8 秒の最高速モードで記録すると 1 日約 10 巻の磁気テープが必要となり、磁気テープの消費量といいデータの膨大さといい頭が痛くなる。なおデータを磁気テープに収録するだけでは、観測中にどんな面白い現象がおこっているのかわからないし、また干渉計が正常に動作しているのかもわからないので、計算機にとりこまれたデータの一部を選択してもう 1 台の計算機

SEP. 6, 1978

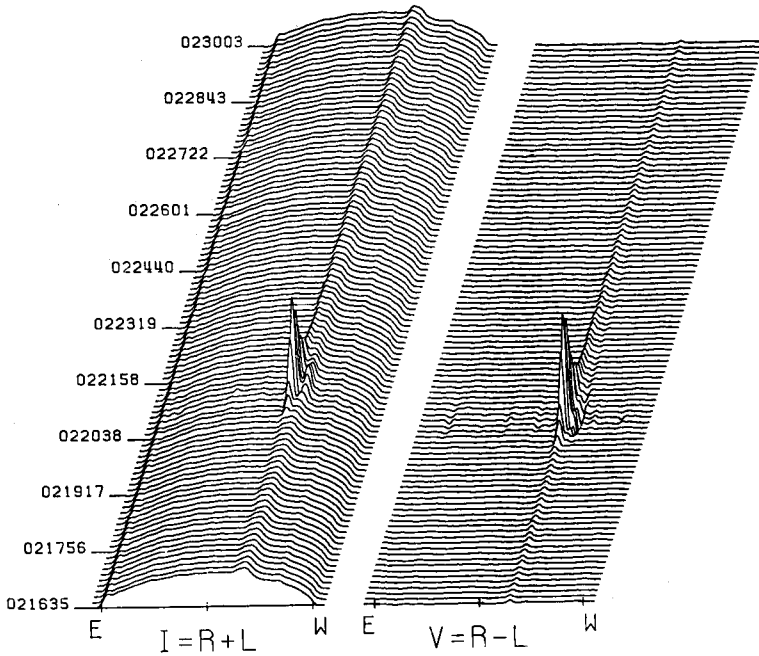


図4 電波パースト

わが国唯一の天体観測雑誌

天文ガイド

定価280円(〒45円) 79-11月号・10月5日発売!

●11月号のおもな内容

- ★11月には、有名な『しし座流星群』が見られます。月もなく条件は良好。——白河天体観測所のガイド。
- ★ツングース隕石孔は、小惑星の衝突だとすると、いろいろの現象をうまく説明できるという説があります。本当でしょうか。斎藤馨児さんの解説です。
- ★この秋、土星の輪が見えなくなります——中村士さん
- ★天体写真のベテラン、平林茂人さんのフィルムの話の連載が始まります。ご期待ください。
- ★ほかに、秋の星雲・星団のスケッチ、11月の星空、この夏の各地の星の会の報告、変光星ガイド、惑星ガイド、同好会だより などです。

新刊案内

星のポケットブック

星を見る手引き
●平林茂人編／B7判・128ページ・定価400円

手づくり天体観測所作例集

●天文ガイド別冊／定価950円

★☆☆☆☆ 星空散歩

●大野裕明著／B6判・118ページ・定価700円

35mmカメラによる写真星図

撮影者—大友 哲、平林茂人、
広瀬洋治、清 貞雄、
若林 肇、七尾一弘、
武藤一雄、柳原幸雄

●A4変型判・96ページ・定価2,300円

見ておもしろい 星雲・星団案内

●大野裕明著／B6判・118ページ・定価700円

ポータブル赤道儀

★天文工作室
●B5変型判・定価1,000円

—天文ガイド編
の作り方

誠文堂新光社

東京都千代田区神田錦町1-5
振替東京6294 電話03(292)1211

に送り各種の補正を加えた上で像合成し2分間隔で次々とグラフィックディスプレイに描きこびすることができるようになっている。磁気テープに収録されたデータは必要に応じて三鷹の大型計算機を使って解析される。

3. 干渉計の位相・利得の較正

電波干渉計から得られる像の良し悪しは、干渉計の感度の良否に依存するばかりでなく各アンテナ系列相互の位相と増幅度がいかに等しく揃えられているか——即ち位相と増幅度の較正の正確さに依存する。位相・増幅度を狂わす要因としては、パラボラアンテナの据えつけの誤差、局部発信を各アンテナに配っている導波管や信号系の増幅器・ケーブルの温度変化等が主なものである。従来干渉計の較正には静かな太陽やサイズの小さい電波星が広く用いられている。夜間電波星を用いて較正を行っても（もっともわれわれの太陽用の小さなアンテナでは十分な感度では受信できないが）温度変化の激しい太陽観測時に同じ位相・増幅度が保たれている保証はない。また従来太陽電波干渉計で行われているように、年に何回か静かな太陽を使って較正する方式では、長期間の安定性に疑問が残る。そこでわれわれは、16台の較正用相関器を受信装置の中に組み込むことによって、太陽観測中に太陽を較正源として各アンテナ系の位相と増幅度を検出し補正する方法（実時間較正）を採用した。間隔の等しいアンテナ対から得られるフーリエ成分の位相と振幅とは電波源の輝度分布が如何ようであろうと同じ値でなくてはならない。もし同じ値でない場合には、アンテナ系の位相と増幅度の誤差によると考えれば、較正が可能であることがわかってもらえると思う。この方法では干渉計は観測中に時々刻々較正されているので、多少干渉計の位相や増幅度に不安定な部分があっても構わないし、また較正の時太陽が静かである必要はなく大きな電波バーストの最中であれば較正の感度もよいので較正精度は一層良くなる。このような較正方法を採用したのはわれわれの干渉計がはじめてであるが、較正精度をあげる上でかなり有効であることが実証されたと思っている。

4. 初期の観測例から

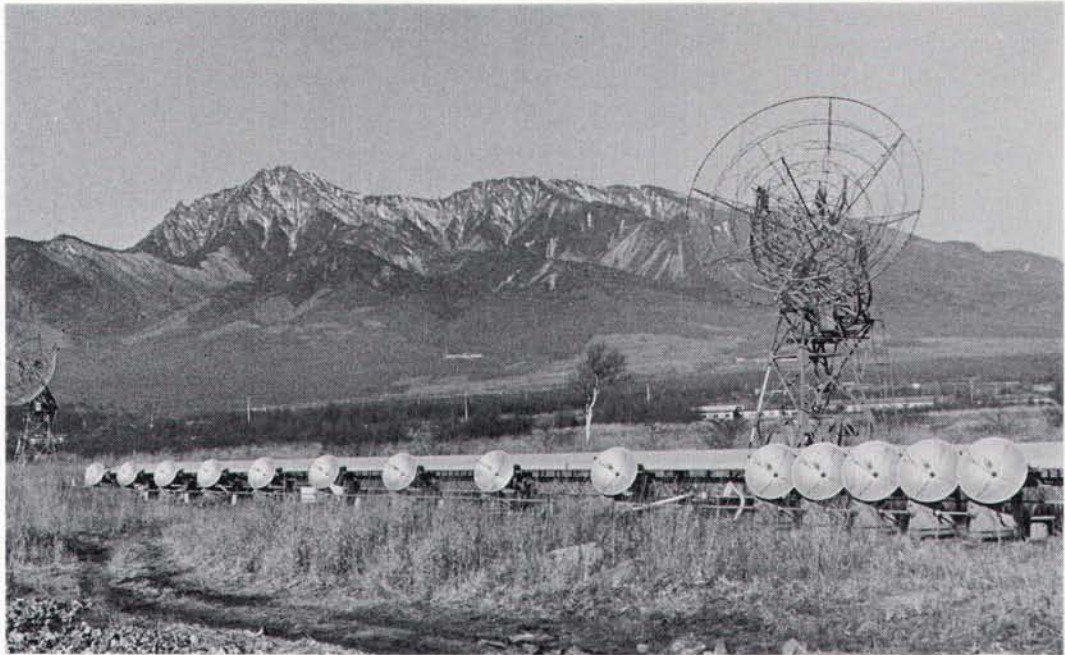
電波望遠鏡で太陽を観察すると、ほとんど変化しない静かな太陽、黒点上の活動領域に対応して明るく輝きゆっくり変化するS成分、爆発現象である電波バーストの3つの成分に大別することができる。昨年からは今年太陽活動の極大期にあるので、マイクロ波帯の太陽活動も極めて活発である。

最初にS成分の観測例として、昨年12月中連続して6日間1日1枚の南中時のデータを並べたものを図3に示す。1日分の太陽像は、電波の強度成分を示す像と、その上方に倍のスケールで描いた左右円偏波の差の成分

を示す像とから構成されている。縦の破線は光球の大きさを示し、左方の破線が太陽の東端である。極大期の太陽はこの様な“にきび面”をしており、にきびに相当するのがS成分である。これらのS成分は太陽の自転とともに東から西に移動し、それにつれてS成分の形も変化している。“A”で示したS成分に注目すると、11日の朝電波バーストを起した後左まわりの円偏波率が強くかつコンパクトな電波源が急速に成長し、13日には見事な双極構造に発展している。17GHz帯にもいわゆるコアとハロー構造を示すS成分が存在し、コアは極めて強い黒点磁場の影響を受けておりサイズも小さく偏波率も高いことがわかる。“B”の成分は13日に西端で電波バーストをおこしている。S成分の時間変化とバーストの発生との関係についての研究が、空電研究所との共同で一層進むことも期待されよう。

図4は昨年9月6日に発生した電波バーストの部分8秒の時間間隔で次々と重ね書きしたものである（左端の数字は世界時）。左側のカメラボコは電波強度の像で、右側は右まわりと左まわりの偏成分の差の像である。電波バーストは約1.8分角（太陽面距離で約8万km）離れた2つの部分よりなっており、互いに逆の偏波をもつ2つのバースト源は時間的に異なった変化を示している。これらの動きと光学望遠鏡による写真とを対照してみると、最初約8万km離れた2つの黒点のうち東側の黒点近くでバーストがおこり、ついで10数秒後今度は両方の黒点のところで同時に輝くという結果になる。東側のバースト源の1回目と2回目の位置が同じ場所かどうかということは、バーストの発生機構を考える上で興味深いことであるが、詳しく解析した結果では若干ずれている。このことは最初のバーストは東側の黒点とのみ結びついた磁力管の中でおこっており、2回目のバーストは西方の黒点をつなぐ磁力管の中で発生していることが理解される。このような現象は時間分解能の良い観測で初めて明らかにされたわけである。

この一年間程の観測で、すでに数百発の電波バーストが観測されており、一連のバースト中には激しく空間構造を変えるもの、偏波構造を変えるもの、次第に膨張しつつ上昇していくもの等、興味深い観測例も多い。これらの解析が進むと、フレアーの発生機構の問題にも観測の立場からせまれるものと期待している。野辺山太陽電波観測所には17GHz干渉計以外にも、高感度のメートル波帯スペクトル計、160MHz干渉計があるので、他の観測所にはないマイクロ波からメートル波にまたがる観測が期待できる。太陽のように時間変化を特徴とする対象に対しては、やはり連続観測が不可欠である。これからも新しい現象の観測と解析を楽しみに良い観測データを集めていきたい。



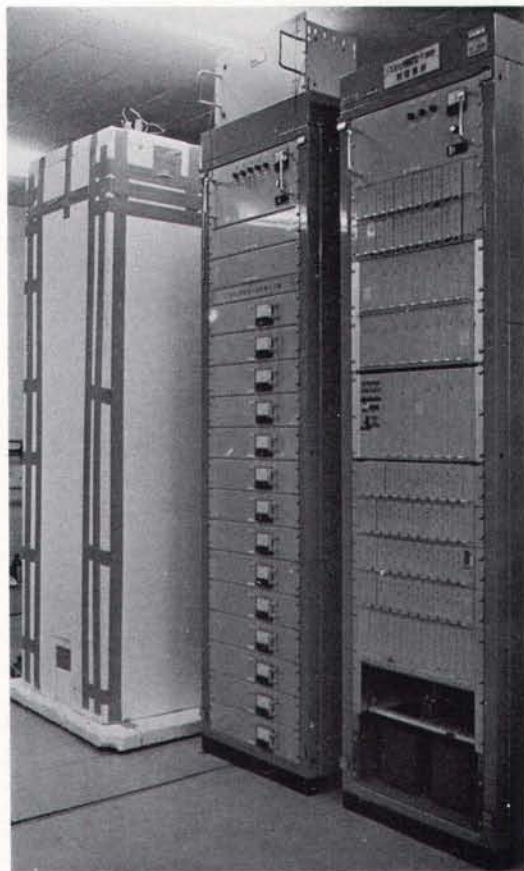
野辺山 17 GHz 多相関器型太陽電波干渉計のアンテナ部分全景



局部発振系の導波管部分と屋根



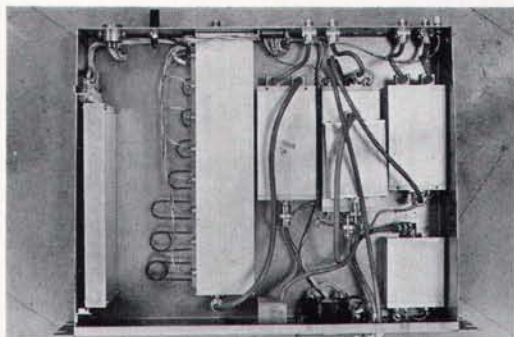
計 算 機 室



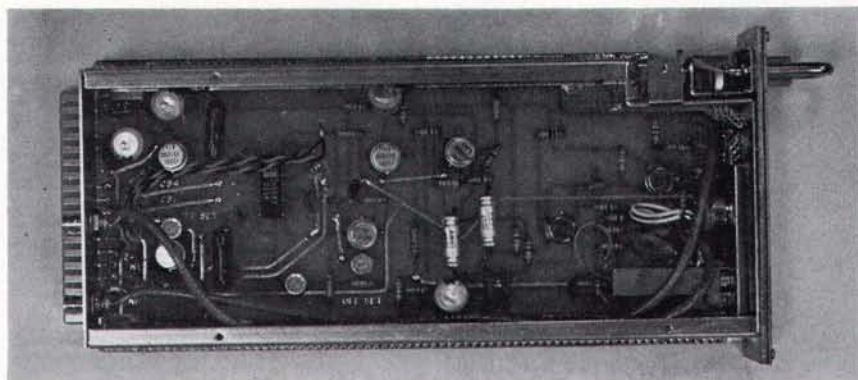
主受信器部分



グラフィック・ディスプレイにより実時間で像を出しているところ



中間周波増幅器と位相切換器



相 関 器