

太陽観測用 17GHz 偏波計

渋谷 暢孝・中島 弘

Solar Radiopolarimeter at 17 GHz

by

N. Shibuya and H. Nakajima

(昭和 55 年 1 月 11 日受理)

1. はじめに

この装置は短センチメートル波帯の太陽活動を常時監視することを目的としている。1964 年より東京天文台の三鷹の敷地内で連続観測に従事してきた旧 17 GHz 太陽電波偏波計は老朽化がはなはだしく観測に支障をきたしていたので、IMS (国際磁気圏観測計画) 事業の一環として、観測の自動化を目標に全面的に改造を行ったものである。新しい偏波計は野辺山太陽電波観測所の敷地内に置かれ、17 GHz 多相関器型干渉計の補助的役割も果たしている。試験観測を終えた後、偏波計のデータは 1978 年 1 月より毎月関係各機関に報告している。

新しい偏波計の改造に当っては、

- (i) 観測の自動化
- (ii) 受信機の感度の向上

の 2 点を特に重視した。主な性能を表 1 に掲げておく。

表 1 17 GHz 偏波計の性能

観測周波数	17 GHz
バンド幅	20 MHz
パラボラ直径	85 cm
ビーム幅	102 分角
偏波	R + L, R - L の同時出力
積分定数	通常 0.33 秒
最小検出フラックス	20 sfu

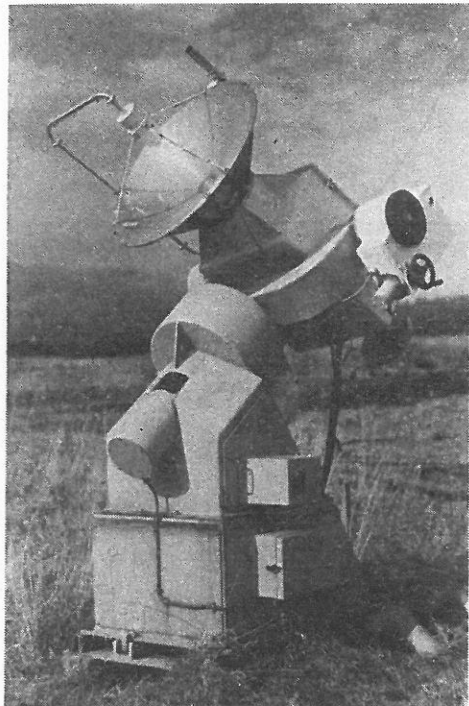


図 1 17 GHz 偏波計アンテナ部

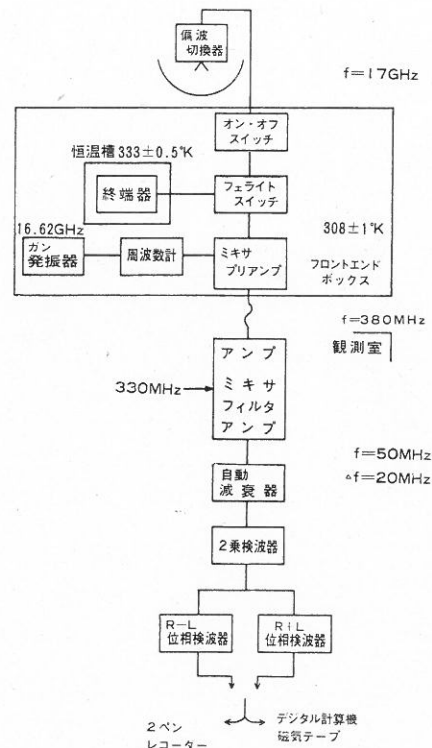


図 2 受信装置のブロックダイアグラム

2. 装置の概要

この装置は、17 GHz 帯（波長 1.8 cm）の太陽からの雑音電力を精度よく測定することが必要なので、受信方式は気温による増幅度の変化の測定誤差への影響を少なくするために、アンテナからの出力と標準雑音源との差を増幅するというディック方式を採用している。全体のブロックを図 2 に示す。

(1) アンテナ部

直径 85 cm のパラボラアンテナを赤道儀式の架台に乗せて太陽を追尾している。太陽の赤経・赤緯の変化による追尾の補正は、外部から 1 日 1 回指示を受けて自動的に補正されるようになっており、追尾精度は赤経・赤緯方向各々 2.5・3 分角以内である。アンテナの総合的な赤経方向のビームパターンを測定するために、アンテナを停めて太陽をドリフトスキャンした結果が図 3 に示してある。これから推定されるビーム半値幅は 102 分角程である。一方、赤緯方向のビームパターンも同等である。アンテナを太陽の中心に向けた時、太陽の縁は太陽の中心に比べて 6% 程利得が落ちている。

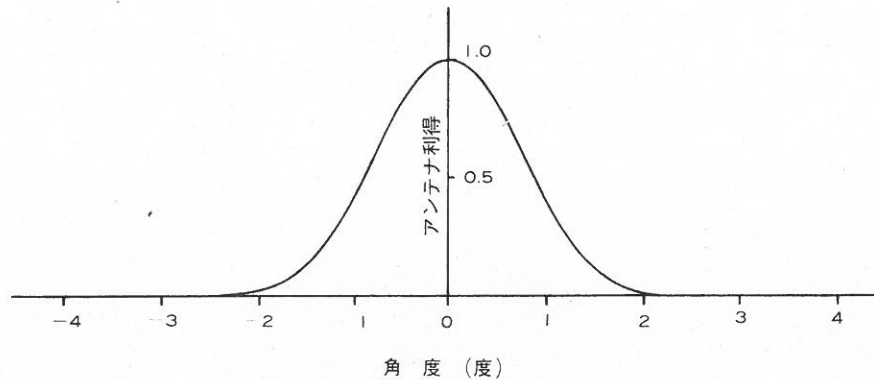


図3 アンテナパターン (赤経方向)

(2) プリアンプ部

偏波切換器は左右の円偏波成分を交互に、400 Hz の切換スピードで時間分割するように動作する。偏波切換はパラボラアンテナの焦点近傍の外気にさらされているので、野辺山の寒さに耐えられるよう温度特性のよいフェライトスイッチを使用した結果、 $-15^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ の温度範囲にわたって交差偏波識別度が 24 dB 以上に維持することができ、これによる偏波率の誤差は 0.5% 以下である。オン・オフ・スイッチは毎正時に同期した外部信号によって、アンテナと受信機間の信号線路に大きな減衰 (24 dB 以上) を与えるようになっており、3時間おきのスカイレベル (アンテナを太陽から 150 分角程度ずらした時受信された出力レベル) と共にデータ整理の際の重要な基準レベルを与えることができる。ディックスイッチの部分は、 $333\pm 0.5^{\circ}\text{K}$ に制御された標準雑音源とアンテナ側とを 800 Hz のスピードで切りかえるようになっている。低雑音ミキサは 17 GHz 多相関器型干渉計用に開発したものを使用した。このミキサ・プリアンプの雑音指数は 7.8 dB であるから、ミキサ以前の高周波回路の損失 3.9 dB と合せると受信器の全雑音指数は約 12 dB である。プリアンプ箱の中は常時 $308\pm 1^{\circ}\text{K}$ 程度の温度に制御されている。

(3) 中間周波部及びバックエンド部

同軸ケーブルにより観測室内に持ちこまれた信号は、バランスミキサにて $50\pm 10\text{ MHz}$ の信号におとされる。信号レベルを絶えず適当なレベルに保つための自動減衰器は、7 dB ステップで自動的に信号レベルを調整することができるので最大級の電波バーストが起った場合でも受信器がサチルことはない。2乗検波回路はダイナミックレンジの広い FET を利用した回路 (2) を使用した。2乗検波された出力は、2種類の位相同期検波回路によって左右円偏波の和成分 (R+L) と差成分 (R-L) に分離され、ペンレコーダで記録される一方デジタル変換されて磁気テープに記録される。磁気テープへの記録は通常 2 秒間

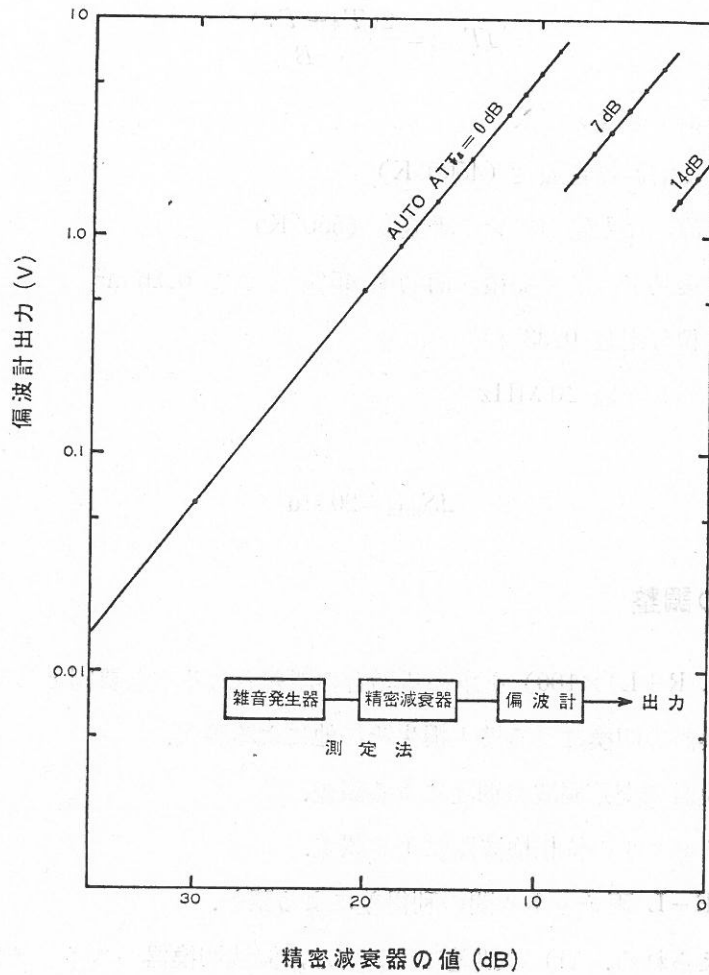


図 4 受信機の入出力特性

積分された値が書きこまれるが、バースト時には観測者の指示により 1 秒または 0.2 秒のモードで書きこむことができる。磁気テープに書きこまれている観測時間は、南中時刻を狭んで約 6 時間である。位相検波回路後の積分時定数は 通常 0.33 秒にセットされている。オン・オフ・スイッチの直前に雑音発生器を接続し、受信機全体の入出力特性を測定した結果を図 4 に示してあるが、直線性は良好である。

3. 感 度

受信機の感度を示す目安として、信号対雑音比が 5 倍で測定されるフラックスを最小検出フラックス (ΔS_{\min}) とすると、

$$\Delta S_{\min} = 5 \times \frac{2k \cdot \Delta T_{rms}}{A_e}$$

$$\Delta T_{rms} = \frac{2(T_R + T_{\odot})}{\sqrt{\tau B}}$$

ここで k : ボルツマン定数

T_R : 受信器雑音温度 (4500°K)

T_{\odot} : 静かな太陽のアンテナ温度 (550°K)

A_e : 実効アンテナ面積, 面効率 45% として 0.26 m²

τ : 積分定数 0.33 秒

B : バンド幅 20 MHz

とすると

$$\Delta S_{min} \doteq 20 \text{ sfu}$$

4. 偏波率の調整

偏波率 $((R-L)/(R+L)) \times 100$ を求める場合の誤差となる主な要因としては,

- (i) 偏波切換器の切換による挿入損失その他による誤差.
- (ii) 偏波切換器の交差偏波識別度による誤差.
- (iii) R-L チャネルの位相検波器による誤差.
- (iv) R+L, R-L 両チャネル間の利得差による誤差.

が主なものと考えられる。(i)の誤差については、偏波切換器のスイッチ位置による通過損失の違いによるものの外に、切換スイッチの位置によって偏波切換器のインピーダンスが変化し前後の回路とのマッチングが変わることによる効果もあるので、17 GHz 干渉計により S-成分がほとんどない時期を選び、太陽を受信して測定した結果 0.5% 以下の誤差であることが確かめられた。(ii)の誤差は 0.4% 以下である。(iii)の誤差は、最初 2.5% 程度の誤差があったが、その後改良した結果誤差は 0.2% 以下に抑えることができた。最後に、R+L, R-L チャネル相互の利得の調整は次のように行った。ターンスタイル型の偏分波器を製作し (交差偏波識別度 30 dB 以上)、右又は左の円偏波をつくり偏波計の一次輻射器に入射させて R+L と R-L チャネルの出力が等しくなるように利得を調整する。この方法で両チャネルの利得は 1% 程度に合わせることができる。ターンスタイル型偏分波器から出力される円偏波の極性は容易に知ることができるので、偏波計の偏波のセンスも同時に較正することができる。

以上を総合すると円偏波率を測定する際の誤差は、約 1% 程度となる。

5. 太陽フラックスの較正

17 GHz の太陽からの電波は、大気中の水蒸気と酸素による吸収を受ける。この吸収の程度は、太陽の天頂角及び気温によって変化する。しかしながら、太陽フラックスはスカイレベル（アンテナを太陽近傍の空に向けた時の受信機出力レベル）と地表温度との差を基準にして測定するかぎり、大気による吸収の影響を無視しうることが知られている²⁾。即ち大気吸収のない場合の太陽のアンテナ温度； T_{SUN} は次の式で近似される。

$$T_{SUN} \doteq T_0 \times \frac{T_{\odot} - T_{sky}}{T_0 - T_{sky}}$$

ここで T_{\odot} : アンテナを太陽に向けた時のアンテナ温度

T_{sky} : アンテナを太陽近傍の空に向けた時のアンテナ温度

T_0 : 地表の温度

この時、アンテナのゲインを G とすると、太陽フラックス； F_{SUN} は、

$$F_{SUN} = \frac{8\pi k T_{SUN}}{\lambda^2 \cdot G}$$

ここで k : ボルツマン定数

λ : 観測波長 (1.764 cm)

によって求めることができる。それ故太陽フラックスを求めるためにはアンテナのゲイン

MAR. 27 1979

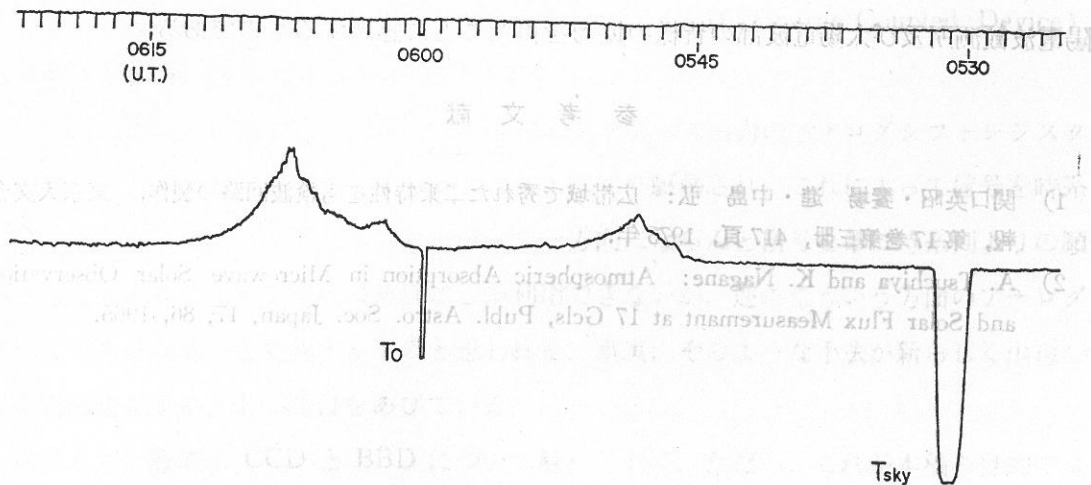


図 5 電波バーストの観測例

を求めておかななくてはならない。我々はアンテナのゲインを、ゲインが比較的正確に求めることができるコニカルホーンを基準にして求めた。その結果アンテナのゲインは 40.2 dB、アンテナの面効率 は 45.4% である。

実際の観測データでは、 T_0 は地表の温度のかわりにプリアンプ箱の温度レベル（オン・オフスイッチを使って測定する）を使って太陽フラックスを求めている。

ペンレコーダに記録された電波バースト観測例を図5に示す。これは1979年の9月16日に観測されたものである。図の上方と下方に各々 R+L と R-L が表示されており、R-L には時・分の時間マークが挿入されている。

6. ま と め

新しい偏波計が観測をはじめてから1年半以上経過しているが、ほとんど欠測がなく順調に動作している。この間にわかったことは、特に夏の暑い日には大気のみらつきが偏波計の感度をかなり悪くしていることである。偏波計の感度を実質的に上げようとする場合には、今後この問題を克服する必要がある。また電波バーストの早い時間変化を調べたり、他のデータと比較しようとする時に、磁気テープに収納されたデータが非常に有用であることもわかった。野辺山太陽電波観測所の場合には、いくつもの電波受信機からのデータを一緒にして磁気テープに書くシステムであるために、絶えず最大の時間分解能でデータを収録する訳にはいかない。使える磁気テープには限度があるからである。最も能率的な収録・解析方式を絶えず追求することが必要である。

おわりに新しい 17 GHz 偏波計の製作をするにあたって、甲斐助教授をはじめ野辺山太陽電波観測所及び太陽電波部の皆様の協力を得たことに感謝するものである。

参 考 文 献

- 1) 関口英昭・饗場 進・中島 弘：広帯域で秀れた二乗特性をも検波回路の製作，東京天文台報，第17巻第三冊，417頁，1975年。
- 2) A. Tsuchiya and K. Nagane: Atmospheric Absorption in Microwave Solar Observation and Solar Flux Measurement at 17 Gcls, Publ. Astro. Soc. Japan, 17, 86, 1965.