

センチメートル波領域での太陽電波の高分解能観測

鰐 目 信 三*

1. 初めに

第二次大戦直後から太陽電波の連続観測が行なわれ始めたが、恐らくその当時から電波が太陽の何処から、どのようにして放射されるかということが興味の中心であったであろう。

そのために人々は観測周波数の範囲を拡張したり、動スペクトル計といって広い波長域の電波強度分布の時間変化を測る装置を考案したりしてきた。

電波は光に較べて波長が非常に長いために、高い分解能を得ることが難しく、そのために色々な器械が工夫され、電波天文学特有の電波干渉計というものを作られた。この装置により太陽電波が何処からあるいはどの位の高さから出ているかということがわかるようになった。

ここでは、主として豊川の空電研究所で行なっているセンチメートル波帯での干渉計による太陽電波観測について、これまでどのようなことがわかってきたか、また現在観測されつつある新しいことがらについて述べてみ

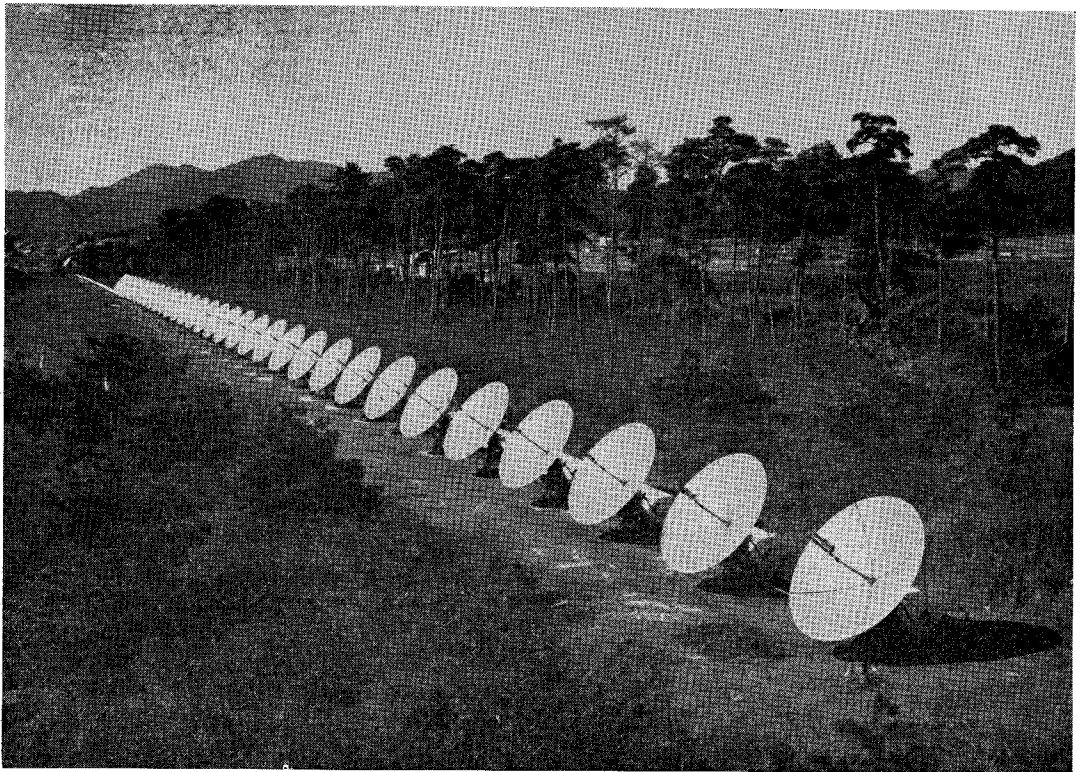
よう。

なお、メートル波帯の太陽電波はセンチメートル波帯のそれとは性質を異にするのでここでは触れないことにする。メートル波帯の電波干渉計については天文月報 1967 年 10 月号および 1968 年 7 月号にそれぞれ高倉氏による野辺山の 160 MHz 電波干渉計の計画および甲斐氏によるオーストラリアの 80 MHz ラジオヘリオグラフによる観測等の記事があるので参照されたい。

2. 豊川の電波干渉計

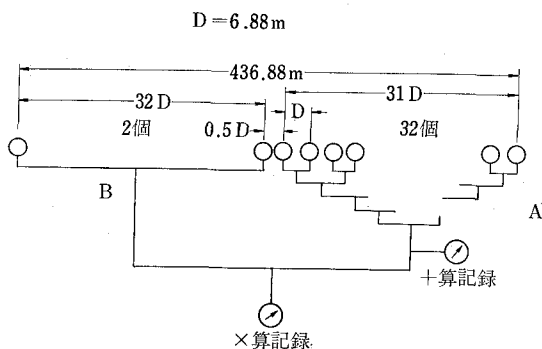
現在豊川の名古屋大学空電研究所には波長 3.2 cm と 8 cm の電波干渉計がある。この 2 台の干渉計はほとんど同じ構成であるので 8 cm の方について説明しよう。(第 1 図参照)

32 個のパラボラアンテナ(3 mφ) を第 2 図の A のように等間隔 D (6.88 m) で東西方向に並べて、各アンテナからの出力をトーナメント式にまとめて加算型干渉計が構成される。この場合には



第 1 図 豊川の電波太陽活動指数計 (3.75GHz 電波干渉計). 遠くに 1 つ離れているのが掛算型のためのパラボラの中の 1 つである。

* 名古屋大学空電研究所
S. Enomé: High-resolution Observations of Solar Radio Emission at cm Wavelength Range



第2図 3.75 GHz (8 cm) 干渉計の配置図

$$P_1 = (\sin 32 x / 32 \sin x)^2 \quad (1)$$

で表わされるような東西方向の干渉縞ができる。この式は x が 0 を中心として $\pm 2\pi$ 毎にピーク (主ビーム) をもち、その間に 31 個の小さいピーク (『子供』のビーム) をもっていることを表わしている。ここで x は子午面となす角度 θ に対応する量で、その関係は

$$x = 2\pi(D/\lambda) \sin \theta \quad (2)$$

で、 D はパラボラアンテナの間隔、 λ は観測する波長である。したがってこれら (1), (2) の関係から主ビームの位置は、

$$(D/\lambda) \sin \theta = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

なる関係で決まる。すなわち、 D/λ の値によって主ビームの間隔を任意に定め得ることがわかる。センチメートル波帯ではコロナからの電波の寄与が少ないので、この間隔を太陽直径 ($\sim 32'$) より少し大きく角度で $40' \sim 1^\circ$ 程度にとり、主ビームが同時に 2 本太陽に掛かることのないようにするのが普通である。

この干渉計は上に述べた加算型として働くほか、掛算型としての機能も持っている。これは 32D だけ離れた 2 個のアンテナ (第2図の B) の出力と 32 個のアンテナ (第2図の A) の出力とを掛け合わせることによって構成される。この場合の干渉縞は (1) 式に対応して、

$$P_2 = \sin 128 x / 128 \sin x$$

で表わされる。掛算型では加算型に較べて鋭い指向性が得られるが、負のビームが出てくること、また主ビームに較べて『子供』のビームが割合大きいことが特徴である。つまり『子供』のビームの影響が観測において無視できないので、結果を整理する際に取扱いが加算型にくらべてややめんどうになる。

干渉計の分解能は主ビームの半値幅 (大きさが半分になるところの幅) で表わすのが普通であるがその値はこの干渉計および 3 cm の干渉計では加算型で 1' : 1, 掛算型で 0' : 4 である。

こうした電波干渉計で太陽を観測すると太陽が天球上に固定された主ビームを日周運動にしたがって、次々に

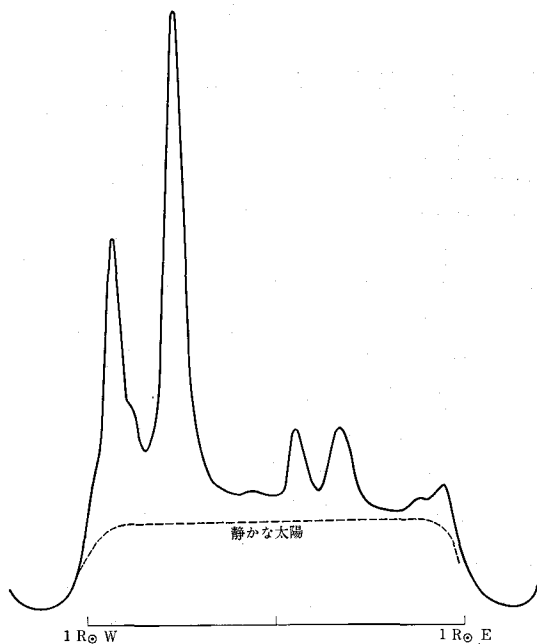
横切って行き、第3図のような東西一次元の強度分布が約 3 分に 1 回得られる。ここで点線で画いたのが静かな太陽と呼ばれるもので、普通われわれが見ている光球の上層にある彩層およびさらにその上にあるコロナから定常的に放射されている電波である。さらに図にあるいくつかの山は黒点に対応する電波の明るい部分で、その強度が日の単位程度で変わるので“ゆるやかに変わる成分” (S-成分) と呼ばれている。他にバーストと呼ばれる短時間に異常に強い電波を放射する現象があるが、この場合には第3図にみられる山の高さが電波の強度に対応して高くなる。

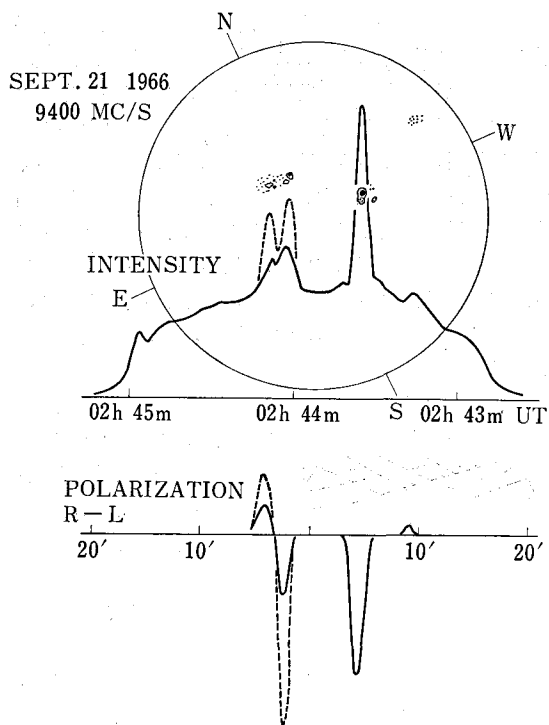
3. 前の太陽サイクルまでの主な結果

i) 静かな太陽の強度分布はすなわち周縁効果を表わしているから、これにより太陽大気のモデルを検証することができる。ただし干渉計の分解能が悪ければそれだけ精度は落ちる。また、一次元の強度分布では球対称を仮定しなければならないという弱味がある。

ii) S-成分のスペクトルと偏波の観測およびこれらから推定される黒点上層の物理状態。

前に述べたように黒点上層からは S-成分と呼ばれる異常放射が観測されるが、この成分のスペクトル (電波強度の周波数依存の様子) および偏波の記録からその電波を放射している領域の物理状態を推定することができる。柿沼とスワラップ (G. Swarup) は S-成分のスペクトルが 8~10 cm 近傍で最大になること、偏波の周縁効果を説明するために電子のジャイロ周波数の高調波での

第3図 太陽の東西方向一次元の電波強度分布。
波長 8 cm. 1968 年 8 月 22 日



第4図 (上) 1:1 のビームで得られた太陽面の東西一次元の電波強度分布と太陽面上の黒点の配置。
(下) 円偏波成分の強度分布(上が右廻り, 下が左廻り)
—— パーストのないとき
----- パーストのとき

熱電子による吸収(ジャイロ共鳴吸収)を導入した。この効果を考慮すると光で観測された電子密度分布と合わせることで、黒点上層の磁場の強さおよび温度の分布を推定することができる。彼らの理論によるモデルを第5図に掲げておく。

また、田中と柿沼は前の太陽サイクルで起きたプロトンフレア(惑星間空間に多量のプロトンを放射する大きなフレアと思ってよい)とそれを起した活動領域のS-成分のスペクトルとの間に非常に相関のあることを見出した。すなわち、S-成分の3cmでのフラックスと8cmでのフラックスとの比 R ($R = \text{フラックス}(3\text{cm}) / \text{フラックス}(8\text{cm})$)が1ないし1より大きいとプロトンフレアが起ることを明らかにした。このことは上に述べた柿沼とスワップの理論によればそうした活動領域では磁場が強く温度の高いことを表わしている。この観測事実によりプロトンフレアの予報という点に関して1つの大きな手掛りが得られた。

4. 最近の結果

3cmの干渉計は1966年7月から、8cmの干渉計は

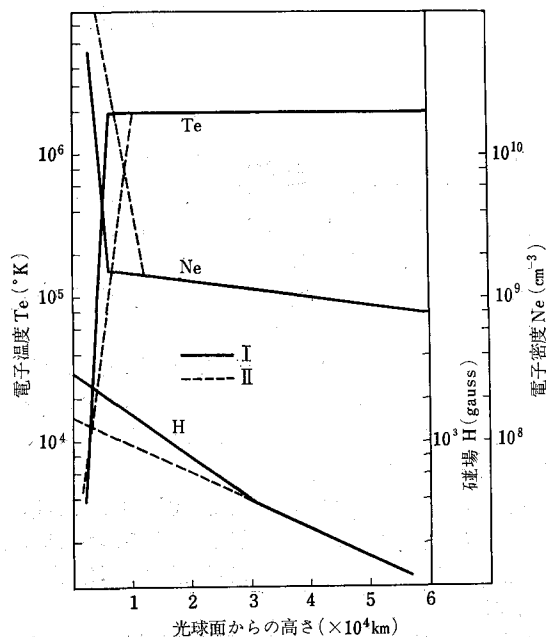
1967年10月から観測を行なっているが、これまでにパーストの観測においていくつかの興味ある結果が得られている。やや現象の羅列になるが、以下に2, 3述べてみよう。

i) マイクロ波パーストの双極的構造

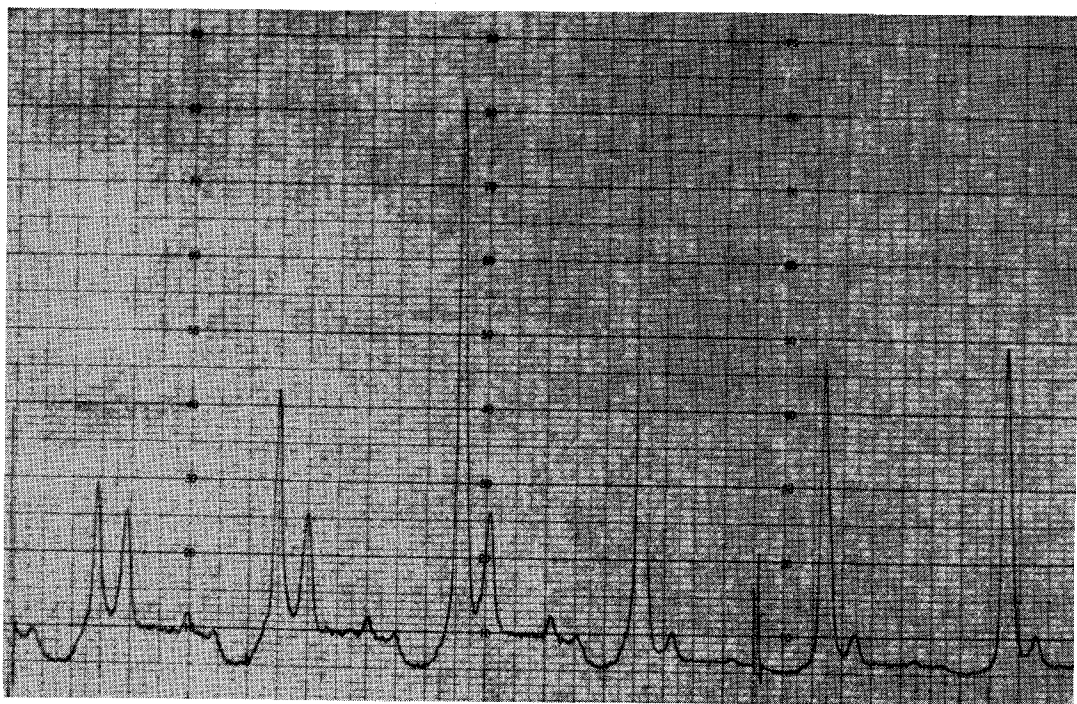
典型的な双極型の黒点ではS-成分も黒点に対応して2つの山をもっていて各々の山は逆の偏波特性をもっている。そこでパーストが起ると第4図の点線のように各々の山がほとんど同時に大きくなりこれらの山の間にも電波の放射が認められた。また各々の山の偏波率が非常に高いこともたしかめられた。パーストのこのような構造は以前に高倉、甲斐により理論的に予想されていたが、それを実際にたしかめたものといえる。しかし、このように見事な例はその後観測されていない。

また、2つの山をもったS-成分でも一方の山でしかパーストを起こさない例もある。このような場合には前の例と較べて、2つの磁極の間で磁力線が電子のドリフトを許さないようなかたちで結び付いていると考えられる。

ii) 最も興味ある現象は1967年12月16日のパースト時に観測された。すなわち、パーストが進行する間に偏波の分布がパースト源において変化することが波長3cmで認められた。このパーストは継続時間が長く強度変化の比較的小さいもので、その放射機構は熱的なものと思われるが、そうだとすると先に述べたジャイロ共鳴吸収の理論によって、この現象は磁場がパースト中に変化したと説明される。ただし、放射機構を非熱的なものと仮定すると別の解釈も可能で、例えば、高速の電子が



第5図 黒点上層の太陽大気モデル



第6図 1968年8月21日のバーストを高速走査でとった記録。左から4番目の走査の途中で感度を下げているので、実際の最大値は右端の走査である。その前(右から2番目)の走査あたりからバースト源の右側(東側)にわずかな「ふくらみ」が現われているのに注意されたい。つまりバースト源が大きくなっているのである。

一団となって、双極磁場の中を往復運動していたと考えてもこの現象の説明はつく。電波だけの資料からはどちらとも決し難いが、光学的観測から得られる光球面の磁場の分布図とつき合せればある程度ははっきりした結論は出せるだろう。

iii) マイクロ波帯特有のバーストに GRF 型バーストと呼ばれるものがある。これは電波強度の変化がゆるやかでしかも長い継続時間をもったものである。この型のバーストは熱的な発生機構をもっていることが河鱈により示されている。これまでにいくつかの GRF 型バーストが観測されたがそれらを調べてみるとバーストの源のサイズが大きいものと小さいものと2種類にはっきりわけられるように見える。このことはそれらの間に物理的性質のちがいが示しているのかもしれない。

iv) 始めに述べたように干渉計のアンテナの間隔と観測する周波数を決めてしまえば、天球上のビームの位置は決まってしまう。そして日周運動によりつきつぎに太陽面の電波強度および偏波の分布が描かれるが、これまで述べたようなバーストを観測するためにはもっと短い時間に太陽面を走査することが望ましい。そうした目的で最近 8 cm の干渉計に『高速走査装置』とでも呼ぶべきものが付けられ、これにより約 10 秒に1回太陽面

を走査することが可能になった。この装置は 32 個の各アンテナの後に回転移相器という電波の位相を変える器械をつけることにより、ビームを太陽の日周運動と逆の方向に『ふる』ことで高速走査を可能にするものである。この装置を働かせてとらえたバーストの例を第6図に示す。通常の観測に較べて約 16 倍の速さで走査するので横方向が見掛け上非常につまって見えることに注意されたい。

5. 近い将来の話

S-成分の観測の数が増えてきたので、そろそろ統計的研究が可能になった。S-成分の周縁効果、偏波あるいは消長等を調べて活動領域の磁場等の物理的性質について高分解能観測による新しい結果が期待される。

また、3 cm および 8 cm の干渉計を用いて木星と金星の観測を目下計画中である。これらの天体をディスクに分解することは可能であるが、何分にも電波強度が弱いので、相当難しい仕事である。もし、首尾よく成功すれば金星大気の周縁効果、木星のバンアレン帯等が観測されるはずである。

また、現在 3 cm の干渉計をT字型にしてペンシルビームをつくる作業を行っており、近いうちに太陽面の二次元走査を行なう予定である。