

## オーストラリアの太陽電波天文学

甲 斐 敬 造\*

一昨年(1972年)10月からIAU総会およびシンポジウムが終るまでの1年間オーストラリアで研究生活を送る機会に恵まれた。オーストラリアはアメリカやヨーロッパ各国から地理的に孤立しているため、平常海外の研究者との交流が少ないのであるが、IAU総会を挟んで多くの研究者達、とくに太陽電波に従事する研究者達と接触する機会を持つことができ、学問の動き、新しい装置の計画等について情報が得られた。これらの海外での状況を考え合わせてみると、こと太陽電波に関しては、(とくに長い波長で観測的仕事)オーストラリアがやはり一歩も二歩も先んじているとの印象を改めて持つに至った。数少ない研究者を電波天文学に集中したこと、戦時中のレーダー研究から引き継いだ伝統的な技術、それにボーギー、ワイルドと2代にわたって秀れた指導者を擁した研究体制など好条件が合わさって今日の地位を築き上げたのではないと思われる。私がオーストラリア滞在中に体験した太陽電波天文学の近況を以下簡単に述べてみようと思う。

太陽電波天文学のメッカ、CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization) の電波物理部門を訪れたのは1972年の10月であった。数年ぶりにみる研究所の佇まいは以前と全く同じで出張からしばらくと帰ってきたかのような錯覚に陥った。久しぶりに会ったワイルド氏をはじめ研究所の人達もほとんど変わりなく、前所長ボーエン氏引退のあとワイルド氏が所長に選ばれ、研究所の雰囲気は何となくワイルド流になっているのが唯一の変化と感じられた。所長の交代に伴って太陽電波グループのリーダーはスマード氏に引き継がれ、また宇宙電波グループは実質的ボスのボルトン氏がパークス観測所にひきこもって観測に専念したいとの希望で、OH線などで有名なロビンソン氏がグループのリーダーシップをとっている。太陽電波に限定してスタッフの紹介すると、スマード氏の下に装置の開発等をおもに相当するシェリダソン、レブラム、鈴木の三氏(その下にさらに約10人の技術者がいる)、太陽物理はもとより、データ処理、装置とあらゆる事柄に顔をつっ込んでいるマックレーン氏、データ解析をおもに行なっているスチュアート、リドルの中堅2人、以上7人がパー

マネントのリサーチスタッフ、データ処理関係、ハードおよびソフトウェアを担当するヤング、ハイブラーの両氏、データ整理などの雑用を受け持つ女子3人、合計約20人がシドニー本部における太陽電波グループの構成員である。直属のカルグラ太陽観測所には技術者で責任者であるペイトン氏をはじめ数人の技術者、さらに彼らを補佐する人々、事務員、観測者ロッヂで働く人達を加え、十数人がいる。仕事の分担は、シドニー本部が研究・開発を、カルグラ太陽観測所が装置の保守、観測の補佐をおもに行なっている。太陽グループだけで約35人、それにシドニー本部には、アンテナ、受信機の開発グループ、データ処理関係のグループが独立しており、電波天文グループに対して一種のコンサルタント的存在となっている。ワークショップと呼ばれ町工場程度の規模の設備、人員をもつグループが別にある。受信機・アンテナの製作から、細々した部品一切を作りあげている。オーストラリアの装置が諸外国の装置に比べて可成り安く作られている(物価・賃金は決して安くはない)のはこのワークショップのお陰である。一説にはオーストラリアには信頼できる電気メーカーがないためだと云われているが(それは事実である)、うらを返せば新しいものを自家で開発できるだけの技術と充分のスタッフがあるから可能なのである。大きなプロジェクトの財源が得難いのは、ここでも日本と同じあるいはそれ以上に厳しいが、優秀な技術とそれを即座に製品化できる体制で相当補うことができるのは強味である(因みにラジオヘリオグラフのおもな財源はアメリカのフォード財団からでたものであるが、メーカーにすべて発注していたのでは到底実現不可能であった)。経済面の苦しさは人力によってかなり補うことが可能であるが、逆に人力の不足を金で補うのは並大抵のことではない。具体的にいうと、人が不足して新しい技術の開発を自家でできない場合、それを電気メーカーに依頼したらどの位のツケが回されてくるか想像に難くない。日本の電波天文学が当面する最大の悩みは、予算不足以上に“人不足”であろう。ラジオヘリオグラフに約35人の人達が動いているのである! オーストラリアに滞在中恵まれた環境を横目でみながら、無念の想いで歯ぎしりしたものである。

私が研究所を訪れている間、スチュアート氏は光と電波との共同観測を進めるためハワイ大学に出張し、またリドル氏はコロラド大学へ交換教授として出張してい

\* 東京天文台  
Solar Radio Astronomy in Australia.

た。交換の相手はダルク氏で、彼は2度目のラジオヘリオグラフ訪問のため1972年6月から1年半の予定で研究所に滞在していた。彼の指導学生も博士論文をかかためはるばる出張してきていた。ワイルド氏は所長稼業に忙殺され、以前のように太陽グループの議論にも充分かわる暇が無く、また直接議論し合う機会もなかったのは非常に残念であった。しかし所長の役割の重大さを考えると、天才的な鋭い洞察力をもちてかつ所員から絶大の信頼を得ているワイルド氏をおいて他に最適の人を探すのは困難であろう。

さて、“目玉商品”カルグラの80 MHz (メガヘルツ)ラジオヘリオグラフはスタート以来6年順調に働き、着実に多くの成果をあげてきたことは御存知の通りである。かねてから第2 (160 MHz)、第3 (40 MHz)の周波数の追加が計画されていたが、私が研究所に招かれたときには第2の周波数が働き始めた頃であった。80 MHzラジオヘリオグラフについては月報を通じて2回にわたって紹介したので(天文月報第63巻1号および第63巻XII号)今回は3周波ラジオヘリオグラフを紹介したい。

そもそも太陽の電波を多くの周波数(波長)で観測するのはどのような意味をもっているのであろう。波長の長いメーター波帯の電波は大部分がプラズマ(コロナの電離したイオンと電子)の集団振動から発生すると考えられている。プラズマに高速の電子流がぶち込まれるとプラズマの密度に関係した固有振動数で集団的振動が励起され、媒質の非均一や非線型の相互作用によって振動のエネルギーが電波に変えられる。電波の周波数はプラズマ振動の周波数とほぼ同じであり、したがってプラズマの密度によって定まってくる。詳しくいうと周波数は密度の平方根に比例する。コロナの密度(電子密度)は上層にいくほど急激に減少するので、かような機構で発生する電波は周波数が低いほど大気の外層から出てくることがわかる。つまり観測する周波数(波長)を変えることによって太陽大気を立体的に診断することが可能なのである。たとえば80 MHzでは光球面から高さ $0.6R_{\odot}$ の層を、160 MHzでは $0.3R_{\odot}$ の層を、40 MHzでは $1R_{\odot}$ の層を“みている”ことになる。いわゆる動スペクトル計はコロナの各層で何が起っているか一目で大雑把な診断を下すために作られた装置であった。しかし動スペクトルに使用されるアンテナは、口径がせいぜい10 m程度のアンテナであって、角分解能は勿論充分得られず、太陽がアンテナのビーム内にすっぽり入ってしまうので太陽のどの部分で電波が発生したかを測定することはもとより不可能である。一方ラジオヘリオグラフは13 mφのアンテナを直径3 kmの円周上に96個配列した干渉計であってどこで電波が発生するかを識別することができ

る。ただし80 MHz一周波で働かず限り、“深さ”に関する情報を得ることはできない。ここに第2、第3の周波数を付け加えて水平方向の2次元情報プラス、垂直方向の情報を得る必要が生じてくるわけである。3周波ラジオヘリオグラフは、干渉計に動スペクトルの機能を付け加えた、いわば準スペクトル・ヘリオグラフとよぶことができよう。

第2の周波数160 MHzの追加は現有の80 MHzヘリオグラフをそっくり流用して行なわれた。一次放射器は広帯域のログペリオディックアンテナ(偏波を測るため実際にはクロスログペリ)に変更された。アンテナメーカーに頼めば一個40~50万円かかるが、すべて研究所の工場で作ったので材料費程度で上がっている(96個必要なのでこの費用は馬鹿にならない)。信号の伝送は160 MHzで行ない、混合器で80 MHzに落として現有の装置を共用している。ただし伝送系は局部的熱膨張(3 kmの長さになると一部は陽が当り一部は雲に覆われて陰になり電線の熱膨張に不均一が生じる)が生じるため160 MHzではかなり苦しくなっている。位相較正も陽の照らない夜間に行なっている。観測中も較正できるようなシステムが必要であろう。第3の周波数(43 MHz)は、技術的な理由でアンテナを共用することができず、80 MHzヘリオグラフのアンテナの若干内側に新たに48個のアンテナを配列した。費用の点で簡単なコーナーレフレクターを採用し、駆動も半固定(太陽の赤緯の変化に応じて年間数回アンテナの向きを変える)としている。一基5万円程度でやっつけたと聞いてびっくりしてしまった。信号の伝送は80、160 MHzと共用し、混合器で今度は逆に80 MHzに上げて現有装置に接続している。干渉計の像修正(サイドローレベルを消すための $J^2$ -合成)のための回路、遅延回路、移相器以下データー処理に至るまで80 MHzヘリオグラフをそのまま共用している、したがって3周波の観測はタイム・シェアリング方式で行なわれている。タイム・シェアリングは観測者の選定によってコンピューターで制御される、つまり3秒サイクルを43、80、160 MHzで均等に分割することもできるし、最初の1秒を80 MHz 次の2秒を160 MHzで行なうこともできるし、また80 MHzで10秒、160 MHzで20秒、43 MHzで10秒といったサイクルで行なうこともできる。一つの同波数で太陽の“電波写真”をとるのに1秒かかるが、80 MHzのプラズマレベルと40 MHzのプラズマレベルの間をたとえ光速で擾乱が通過しても約1秒かかるので、Ⅲ型バーストのように早い現象でも3周波でとらえることができる。

第2の周波数(160 MHz)は80 MHzとの手動の周波数切換えで1972年後半から始まり、翌年2月から自動切換えとなり定常的観測が行なわれている。第3の周波

数 (40 MHz) は, IAU 総会を旨として準備が進められていたが, 残念ながら 9 月終わりに動き始めた。結線のミスに気が付かず遅れたのであった。40 MHz の観測についてはまだ情報が入っていないので, 80 MHz と 160 MHz との観測について若干ふれておこう。コロナ上層での擾乱のありさまは 80 MHz ラジオヘリオグラフによってまなまと映し出されたことは以前月報で紹介した通りである。ところで 160 MHz (コロナ中層をみている) では電波の発生位置, 構造, 偏波などが 80 MHz で観測されたものとのようにちがっているか調べることはきわめて興味深い。詳しくは個々の論文を参照していただく方が今の段階ではさし障りがないと思うが, 2~3 の例を拾ってみよう。

比較的静かなときの太陽の輝度分布——コロナの一部でまわりに比べて輝度の低いのが 80, 160 MHz で同時に観測されることがある。この部分が極端紫外線で観測された“穴”と良く一致し, しかも太陽の自転にしがたって西へ移動することから“コロナホール”と考えられる。とくに 160 MHz で輝度の落ち込みが顕著なのはこの部分の電子密度がまわりに比べて小さくコロナは透き通されて温度の低い彩層までみえているのではないかと想像される。Moving IV パースト——1973 年 3 月にはじめて 2 周波でパーストの観測を行なった。両周波でパーストの発生位置は同じという結果がでて, 従来唱えられていた“シンクロトロン説”を裏付けた。II 型パースト——基本波と第 2 高調波との位置関係が長い間問題となっており, 2 つの周波数で“同時”に観測することにより決着がつくと考えていたが, 2~3 の観測結果では確実な答えは得られなかった。伝播途上での散乱の効果もあって想像以上に複雑である。I 型パースト——興味深い観測例として 2 つの周波数で双極型構造が得られ, しかも 80 MHz と 160 MHz をで右廻りと左廻り円偏波成分の強さの比が逆になっている場合がある。コロナ上層にのびる黒点磁場の振舞を調べるうえで重要な手掛りを与える観測と思われる。コロナ上層に比べて中層の方が I 型パーストが起り易いのも, 電波の発生機構を調べるうえで面白い。

太陽電波天文の分野において CSIRO が歩んできた足取りには一本の筋が通っている。1949 年に作られたワイルド氏の出世作, 動スペクトル計は(彼は当時若冠 26 才であった) コロナの中の擾乱をダイナミカルに捉えられる装置で当時のリーダー, 故ポージー氏は 2~3 の周波数で太陽を観測し, データーを丹念に分析した結果, 一度に多周波で情報が得られる装置の必要性を痛感していた。この動機が動スペクトル計という形で誕生した。一方同じくポージー氏のもとで電波の発生位置を探る干渉計の研究が一步一步進められていた, 一つのアンテナ

で海面での電波の反射を利用した海面干渉計を使って, ノイズストームが大きな黒点の存在と関連あることを観測的につきとめたり, ビームを高速で振る掃引型干渉計が考案され, ノイズストームや“動く電波源”の発生場所をつきとめたのも, 1950 年前後のことである。動スペクトル計が作られてから約 10 年, この新兵器で得られた情報をつかみ終ると, 今度は周波数掃引型干渉計が現われた。2 つのアンテナを組み合わせた簡単な干渉計ではあったが, 干渉計と動スペクトル計との両方の機能を兼ねそなえた奇抜な装置であった。1958 年, 世界で動スペクトル計がつぎつぎに作られつつある頃, わが国では 200 MHz で偏波計と 2 アンテナ干渉計が動き始めた頃であった。この花形装置で前回の太陽活動最盛期を迎え, 多くの観測結果を発表していた頃, つぎに来るべき“本格派”干渉計の計画がワイルド氏によって着々と進められていた。2 アンテナ干渉計のような簡単な干渉計では電波源の構造が分からない。電波源の位置および構造をきちんと測定するには, たとえば, クリスマンゼン型の干渉計とか, あるいはミルス・クロスのような多素子干渉計を必要とする。ワイルド氏の採用した多素子干渉計は“円形”干渉計であった。 $J^2$ -合成等円形干渉計の理論を發展させる一方, データーの処理についても根本的な検討を重ねて, 現在ある太陽電波を“眼でみる”ラジオヘリオグラフを完成したのである。周波数掃引型干渉計からおおよそ 10 年経った 1967 年の終りであった。それから約 2 年ラジオヘリオグラフの観測から多くの華々しい結果が生み出されていた頃, すでに第 2, 第 3 の周波数を付け加えることが検討されていた。ここにも動スペクトル計にはじまり, 周波数掃引型干渉計にみられた一環した思想, つまり“三次元に広がるコロナの擾乱を三次元の情報得られる装置でダイナミカルに捉える”という考えが流れている, と私はみる。私は現在の“準スペクトロ・ヘリオグラフ”をワイルド氏の作品集大成とみている。

以上 CSIRO における太陽電波天文学の状況に従って述べてきた。オーストラリアでもう一つ見逃してならないのはシドニー大学電気教室である。御存知クリスマスゼン氏考案によるクリスマスゼン型干渉計である。シドニーから西へ約 80 km 離れたフルースには同教室のフィールド・ステーション, フルース観測所がある。東西 32 個×南北 32 個の別名クリス・クロスがある。正確にいうと, 東西, 南北両方とも 32 個のアンテナのほか各々 2 つづつのアンテナを付け加えて, 複合干渉計として働かすこともできる。観測周波数は 1,420 MHz (波長 21 cm) で, 分解能最大 40" が得られる。

クリスマスゼン氏は CSIRO に所属していた 1953

年にポッツヒルにあった初代クリスチャンゼン干渉計(東西方向に3'の分解能をもつ)を使い太陽のS成分の“2次元”マップを描き世界をアッと驚ろかせた。地球の自転によって干渉計基線が回転することを利用し、時間変化の少ないS成分を数時間かかって観測し、分解能3'×4'の2次元の絵を得たのであった。いわゆる rotational synthesis の元祖である。

現在次の三つの方式で太陽および宇宙電波の観測を行っている。① 32×32の2次元観測、② 32×2の東西方向のみの複合干渉計、③ 東西方向の複合干渉計を使った rotational synthesis、③では各アンテナの組み合わせに対して64組の相関型受信機を用意し、64個のフーリエ成分を同時に得ている。したがって広い天空領域が同時に観測されるのできわめて能率がよい。太陽電波の観測は①および②の方式で行なわれ、S成分の一次元および二次元のマップは Solar-Geophysical Data に公表されている。

これだけ立派な観測装置を持っているにも拘らず、太陽物理に興味をもつスタッフが少なく余り結果が発表されていないのは残念である。

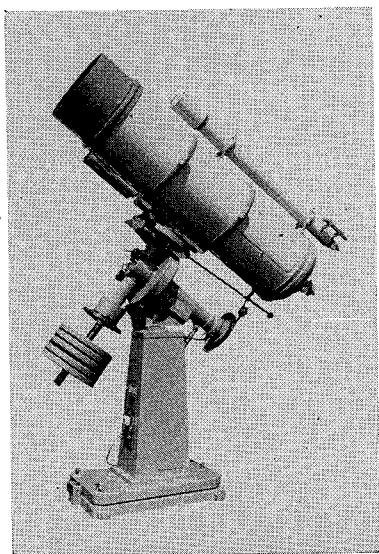
オーストラリアでは大学における研究は伝統的なCSIROに比べると一般的にやや低調である。この数年大学での研究を充実させようとする動きがあると聞くが、予算と人の面で、CSIROと比較すると、恵まれないようである。

## R CrB の減光

変光星 R CrB は不規則に急激な減光を示す変光星の代表としてよく知られている。前回の極小は1972年3月に、アメリカの Hodgson によって減光に気づかれたもので、1972年3月25.9日(U.T.)には11.6等(眼視)まで減光したのが観測されている。今までの観測によると周期、継続時間、変光の幅なども不規則であった。

神奈川県湯河原の神田茂氏の連絡によると、1973年12月18.8日(U.T.)に仙台の細川氏は減光に気づき眼視等級で6.6等と観測している。その他、12月22.8日7.1等・細川、23.8日7.1等・重久、24.8日7.2等・浦田、25.8日7.6等・五味、26.8日8.0等・五味などの国内での観測が寄せられている。スミソニアン天文台からの電報によると、Hodgsonが前回に引き続き今回も12月22.5日(U.T.)に6.6等と観測している。

(香西洋樹)



天体望遠鏡  
ドーム、製作

## 西村製の天体望遠鏡

### 40 cm 反射望遠鏡の納入先

- |        |                     |
|--------|---------------------|
| No. 1  | 富山市立天文台             |
| No. 2  | 仙台市立天文台             |
| No. 3  | 東京大学                |
| No. 4  | ハーバート大学 (USA)       |
| No. 5  | ハーバート大学 (USA)       |
| No. 6  | 台北天文台 (TAIWAN)      |
| No. 7  | 北イリノイズ大学 (USA)      |
| No. 8  | サン・チェゴ大学 (USA)      |
| No. 9  | 聖アンドリウス大学 (ENGLAND) |
| No. 10 | 新潟大学高田分校            |
| No. 11 | ソウル大学 (KOREA)       |
| No. 12 | 愛知教育大学(刈谷)          |

606 京都市左京区吉田二本松町 27

株式会社 **西村製作所**

TEL. (075) 771-1570  
691-9580