

IV. 2 34 m アンテナ試験観測結果

高羽 浩* 小山 泰弘* 今江 理人*

(平成元年10月6日受理)

IV. 2 EARLY OBSERVATIONAL RESULTS USING THE 34 m RADIO TELESCOPE OF THE KASHIMA SPACE RESEARCH CENTER

By

Hiroshi TAKABA, Yasuhiro KOYAMA, and Michito IMAE

The new 34 m radio telescope of the Kashima Space Research Center (KSRC) was built in 1988. In addition to 2 GHz and 8 GHz band receivers for geodetic VLBI experiments, the telescope has 9 astronomical frequency band receivers ranging from 300 MHz to 49 GHz. Here we present results of the earliest observations to check the telescope performance. The pointing accuracy of 0.003° (rms) has been obtained by radio continuum observations of quasars at 8 GHz and spectral line observations of H_2O maser sources at the 22 GHz band. During the short baseline interferometer experiment with the 26 m antenna of KSRC, fringes were detected in both 2 GHz and 8 GHz bands and no problem has been found in 34 m telescope system. Detection of the signals from Voyager-2 in Neptune orbit, observations of a pulsar, and maps of solar radio intensity distribution in several frequency bands are shown.

1. はじめに

鹿島宇宙通信センターに建設された 34 m アンテナ⁽¹⁾は、測地目的 VLBI に使用される 2 GHz, 8 GHz 帯に加え 300 MHz 帯から 49 GHz 帯までの 11 周波の電波天文専用帯の受信器を持ち、ミリ波領域でも使用可能なアンテナとしては世界でも有数の大口径アンテナである。低い周波数帯ではパルサー、ミリ波帯では太陽電波、星間分子、ミリ波 VLBI など多くの実験が提案されている。

本論文ではこの 34 m アンテナの性能を確認するために行なった、初期試験観測結果について報告する。

2. 試験観測ソフトウェア

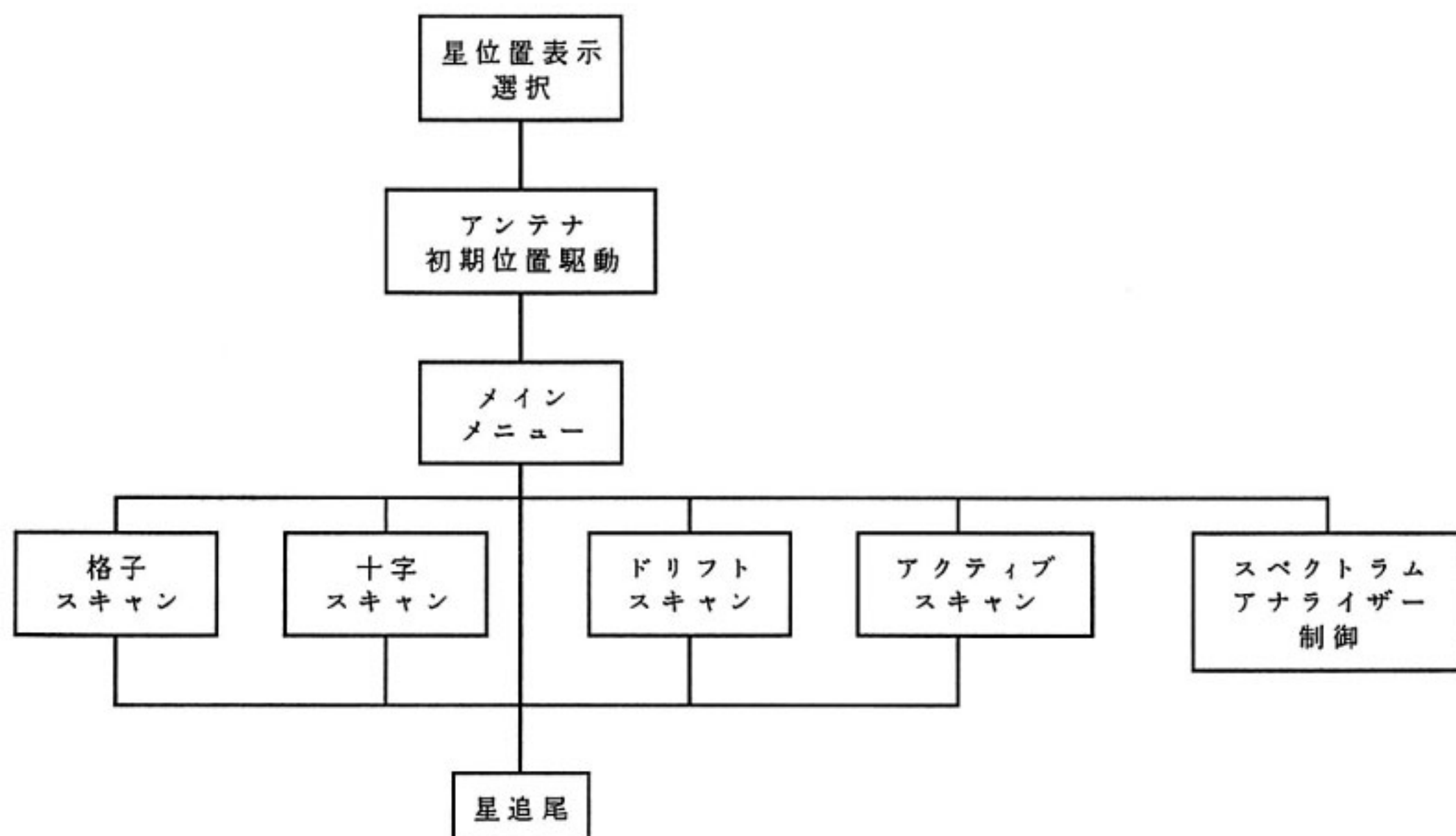
試験観測は HP1000/A400 計算機を使って行なった。観測プログラムは FORTRAN 言語で作成した。アンテナ制御、データ取得は GP-IB インターフェイスを使って、この計算機一台で自動で行った。また、データ処理ソフトも同計算機上で開発し、取得したデータを直ちに

解析することで効率の良い試験観測を行なうことができた。

観測プログラムは使い勝手をまず第一に考え、各種の観測パラメータはデフォルト値を更新する方式を取り、試験観測のように同じ種類の観測を繰り返し行なうような場合でも、観測者は最小限の労力でデータを得ることができるよう配慮した。またプログラムは独立にできる部分は出来る限り分離したので、最初に作成した幾つかのプログラムを組み合わせ、簡単にポインティング観測や VLBI 観測などの新しい自動観測プログラムを作成することができた。本論文で記述する試験観測には主に天体追尾プログラムを使用した。第 1 図に天体追尾プログラムの構成を示した。

追尾プログラムは追尾パラメータ（天体の方位角、仰角及びそれらの増分値）を計算し、インターフェイスコンピュータに 10 秒毎にコマンドを送る。マルチ・タスクで同時に計算機上で走っているメイン・プログラムまたは数種類のスキャンニング・プログラムは、追尾プログラムとシステム・コモン領域に天体の赤経、赤緯、方位角、仰角、オフセット角などのパラメータ及びフラグ

* 関東支所 鹿島宇宙通信センター 第三宇宙通信研究室

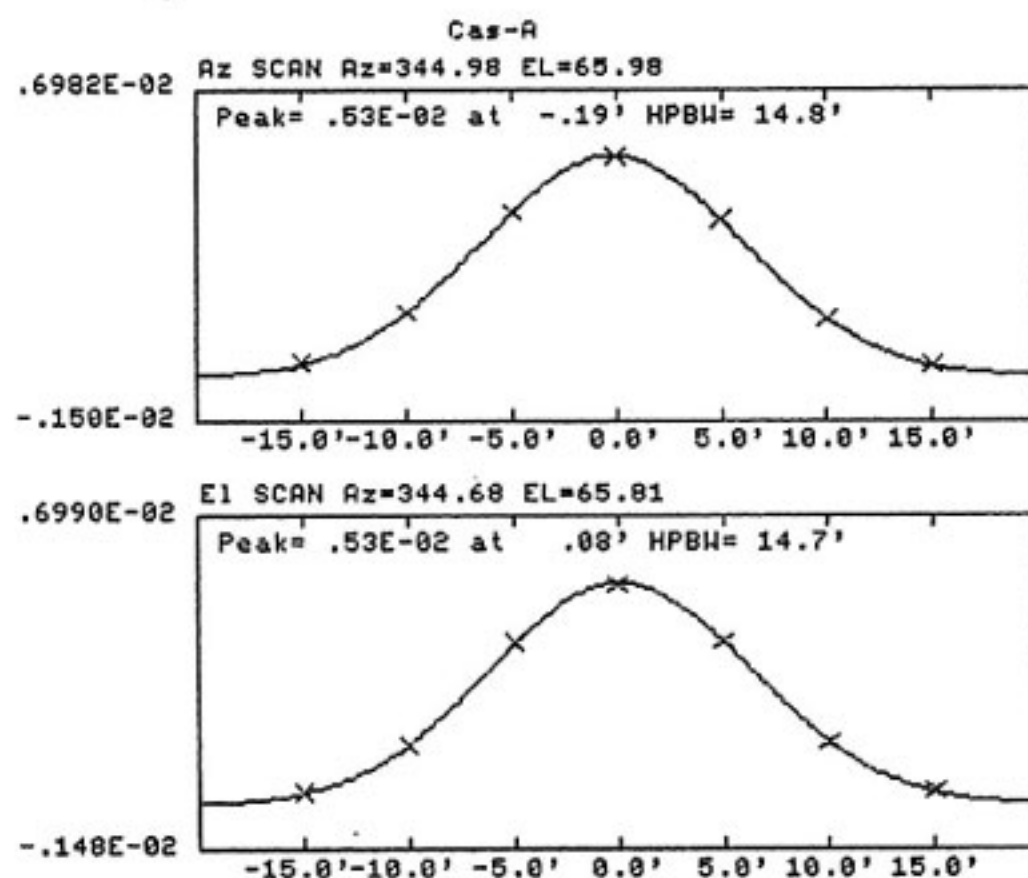


第1図 天体追尾プログラムの構成。すべて FORTRAN 言語で作成されている。

NO	Objectname	R.A.	Decl.	Az	El	Vobs
1:	M17	18h17.8m	- 16d 17'	225.1	24.2	14.1km/s
2:	3C273B	12h28.6m	+ 2d 7'	297.7	-29.6	-13.4km/s
3:	3C84	3h19.2m	+ 41d 29'	53.2	21.0	-11.6km/s
4:	4C39.25	9h26.4m	+ 39d 5'	356.1	-14.8	-25.2km/s
5:	3C345	16h42.6m	+ 39d 50'	295.6	38.9	-11.5km/s
6:	Virgo-A	12h30.3m	+ 12d 27'	305.4	-21.9	-16.8km/s
7:	Cyg-A	19h59.1m	+ 40d 43'	294.8	75.9	-3.6km/s
8:	Cas-A	23h23.0m	+ 58d 46'	33.4	58.2	-10.4km/s
9:	Orl-KL	5h34.8m	- 5d 23'	70.9	-32.6	-4.0km/s
10:	Tau-A	5h33.9m	+ 22d 1'	49.8	-13.2	-13.4km/s
11:	Cep A	22h55.9m	+ 61d 59'	24.6	58.9	-11.4km/s
12:	WS1	19h23.3m	+ 14d 30'	234.0	58.4	6.2km/s
13:	W49A N	19h 9.7m	+ 9d 5'	232.1	52.1	7.8km/s
14:	W3 OH	2h26.3m	+ 61d 50'	35.0	35.9	-15.5km/s
15:	VX Sgr	18h 7.5m	- 22d 14'	223.4	18.0	15.3km/s
16:	R Cas	23h58.9m	+ 51d 20'	49.5	56.0	-7.8km/s
17:	W Hya	13h48.4m	- 28d 19'	255.8	-31.2	2.3km/s
18:	R Leo	9h47.0m	+ 11d 29'	346.9	-41.6	-19.4km/s
19:	VY CMa	7h22.6m	- 25d 45'	72.8	-65.4	-1.5km/s
20:	Sgr B2-S	17h46.7m	- 28d 24'	223.3	10.3	15.9km/s
21:	3C237	10h 7.5m	+ 7d 33'	338.9	-44.2	-18.3km/s
22:	VENUS 9 06	13h22.4m	- 8d 56'	278.4	-26.4	-6.8km/s
0:	SUN, PLANETS(Mercury, Venus etc. : except for Earth)					
-1:	Change Read file					
INPUT NO. STOP=100						

第2図 天体追尾プログラムの初期画面。赤経、赤緯は観測時のもの。速度は地球の天体方向の運動速度。

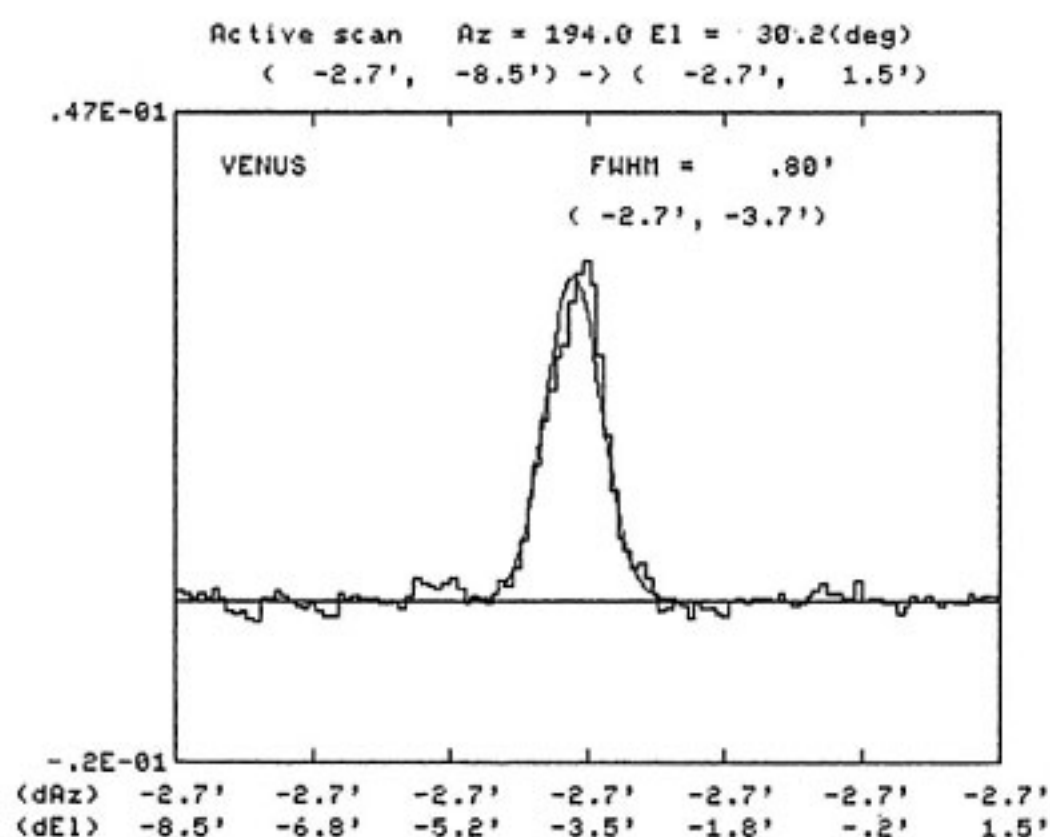
を共有し、オフセット角などのパラメータを変えると同時にフラグを立てる。追尾プログラムはフラグを0.1秒毎にモニターしており、フラグが立つと直ちに新しい追尾パラメータをインターフェイスコンピュータに送る。例えば十字スキャン・プログラムでは方位角、仰角オフセットを変えてフラグを立て、数秒待ってビームがロックになるとパワーメータまたはデジタルボルトメータからデータを読む。また格子スキャン・プログラムでは赤経、赤緯オフセットを変え、パワーメータなどからデータを読む。このような方法で1台のホストコンピュータでロスタイムの無いアンテナ制御、データ取得を



第3図 十字スキャンの例。2 GHz 帯で Cas-A を観測したもの。x が観測点。ガウス関数による最小自乗フィットを行い、エラー角、HPBW(Half Power Beam Width) を自動的に計算する。

行なうことができた。

天体追尾プログラムを使用するには、予め天体名、赤経、赤緯、分点、天体の視線方向の固有運動速度 V_{LSR} (スペクトル線観測の時) を書き込んだデータ・ファイルを作成しておく。分点は1950, 2000, 現在のどれでも使用できる。また銀経、銀緯も使用できる。太陽、惑星などのように位置が変化する天体は、当日と翌日の視赤経、視赤緯をファイルに書いておくと、1分ごとに線形近似で位置を計算する。プログラムを実行すると天体名、位置を読み込み、方位角、仰角と共に CRT に表示



第4図 トラッキングを行ないながら仰角を±5'角移動させた例。43 GHz帯で金星を受信したもの。十字スキャンと同じようなガウスフィットを行なった。

する(第2図)。仰角が7°以上、88°以下の天体を選択すると、その方位角、仰角までアンテナを最大速度で移動させる。方位角の駆動範囲は北から±359°なので、北天を通過する天体では追尾中にリミットにかからないような方位角軸の初期位置にアンテナを移動させる。アンテナが天体に向くと追尾を開始し、プログラム・メニューが表示される。

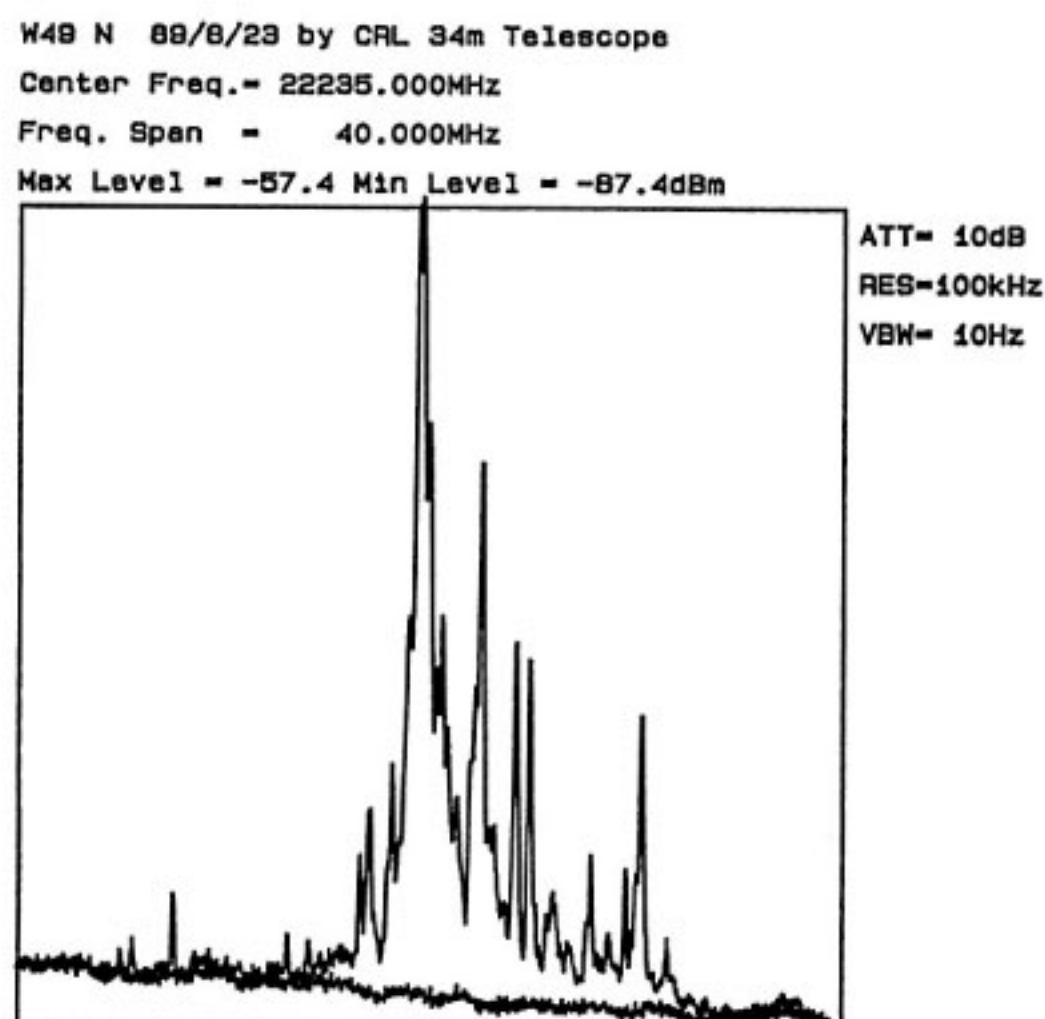
プログラム・メニューでは、追尾を行ないながら方位角、仰角方向のオフセット角を加えること、受信強度校正のための常温、冷却ロード、ノイズ・ダイオードを入れること、天体を中心とする十字、ドリフトスキャンなどを行なうことができる。

副鏡の位置を変化させた後、十字スキャンでビームのずれを求め(第3図)、その角度のオフセットを加えて中心に戻し、その点を中心とする方位角、仰角方向の連続的なスキャンを行うことでビームパターンを調べることによって(第4図)副鏡の最適位置を決定することや、ピーク受信強度から開口効率を測定することなどがこれらのメニューを組み合わせることによって簡単に行なうことができる。この方法で焦点位置の異なる多くの受信器の測定を効率良く行なうことができた。

また、衛星電波や星間分子線の観測では、追尾を行ないながらスペクトラム・アナライザーを計算機から制御したり、その表示データを読み込むこともできる。その他、7章に示したように格子スキャンで、アンテナの2次元的なビーム・パターンや天体の強度分布を得ることもできる。

3. ポインティング観測

測地 VLBI 実験では観測数を多くするほど、高い精度



第5図 22 GHz帯のH₂O maser源の例。横軸は周波数、縦軸は強度(ログスケール)天体は、W49N。スペクトラムアナライザーからデータを取り込んだ。

で2局間のベースラインを決定することができる。そのためには自動観測が不可欠になり、アンテナのポインティングは観測中に校正する必要がないほど全天で高い精度で決定されていなければならない。またミリ波帯まで使用可能にするためには、アンテナのポインティングの精度を上げることが極めて重要になる。ポインティング校正は通常、幾つかの天体電波源を全天をくまなく覆うように観測し、計算された位置と実際の位置との角度差を調べることによって行なわれる⁽²⁾⁽³⁾。

ポインティング観測の前に22 GHzのH₂O maser源を使って最適な副鏡位置を求め、その位置に副鏡を固定した。8 GHzの給電部は、給電部交換機構により22 GHz給電部と同じ位置にくるので同じ副鏡位置で観測を行なった。H₂O maser源は、質量放出をおこなっている原始星(核融合を起こしていない、まだ重力エネルギーで光っている星。濃い分子ガス雲の中心部に強い赤外線源として観測される。)または赤色巨星(大質量星の進化の最終段階で、水素ガスが少なくなって中心に重い元素の核ができ、重力的に不安定になって周りにガスを吹き出している星)周辺の高密度ガスが中心星からの強い赤外線などにより励起され、メーザー増幅機構により強い電波輝線として観測されるものである。我々の銀河系内の天体であるが、広がりが10''角以下とほぼ点源と見なせるほど小さく、また強度が1000 Jy以上と非常に強い天体が10個程度存在するので大口径アンテナのビームパターンやポインティングを調べるのに非常に適した天体である。第5図にスペクトラム・アナライザーで観測したW49NのH₂O maser源のスペクトラムを示

した。

ポインティング校正の観測は次のような三段階で行った。

1) 8 GHz 連続波によって強度の強い天体電波源を観測した。データは IF 帯域 (100-600 MHz) すべてをパワー・メーターに入力し、GP-IB で計算機に取り込んだ。Cas-A, Tau-A などビームサイズ (約 0.08°) に較べて無視できない広がりを持っているものも含めた。十字スキャンを3回行ない、天体を切り換える観測を半日行なった。

2) 8 GHz 連続波によって、点電波源と見なせる天体電波源を観測した。天体は主に測地 VLBI で観測されているような QUASAR である。データ取得方法は1)と同じである。この観測は3日間行なった。

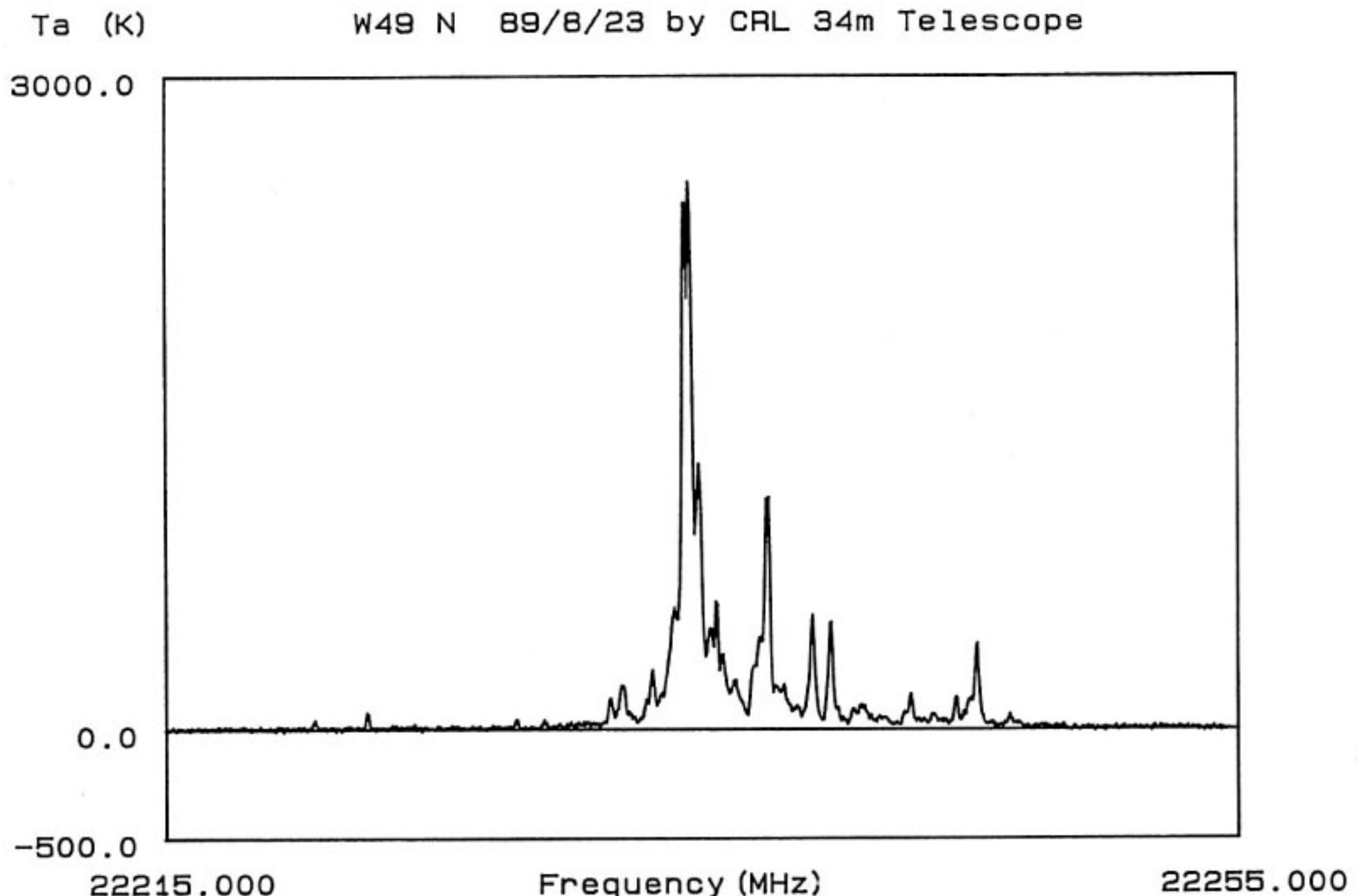
3) 22 GHz の H_2O maser 源の観測を行なった。22 GHz のビーム・サイズは約 0.03° である。GP-IB を使いスペクトラム・アナライザーの周波数、帯域、周波数分解能などを天体毎に自動制御し、周波数毎の受信強度を取り込んだ。十字スキャンではスペクトル線の積分強度 (周波数 $\times$ 強度) からポインティング誤差を調べた。

観測は HP1000/A400 計算機によってアンテナ制御、スペクトラム・アナライザー制御 (メーザー電波源の

時)、データ取り込み (8 GHz ではパワー・メーター、22 GHz ではスペクトラム・アナライザー)、データ一次処理を行うプログラムを開発し、自動で行った。天体追尾プログラムで主要なプログラムは作成されていたので、天体を順次切り替える部分を加え、いくつかのプログラムを小改造することによって簡単に自動観測プログラムが作成できた。

観測は効率を上げる為に、従来ポインティング観測で行われているような予め作成したスケジュールに従って行なう方法ではなく、観測テーブルの天体を順次観測可能な仰角であるか調べ、可能であればアンテナを向け、ビームにとらえると直ちに十字スキャンを行い、3回の十字スキャンが終わると直ちに次の天体を追尾するという方法で行なった。観測テーブルには数個の天体を記載しておき、指定した回数繰り返し自動観測を行なう。

十字スキャンは初めに方位角、続いて仰角方向にビームの $1/4$ 程度のオフセット角を順次与え、ビーム・オンになるとデータを取り込む。パワー・メーターからは0.1秒毎に4秒間データを取り込み、直ちに平均値を計算し、 3σ 以上のデータは切捨て再び平均値を計算してその点のデータとした。アンテナビームはガウス関数で近似されるので、取得したデータをリニアスケールに変換した後、ガウス関数で最小自乗フィットを行ないエラ



第6図 W49N 中心方向の H_2O maser 源のスペクトル。オフ点との差を取り、リニアスケールに変換した後、スペクトル線の見られない周波数のデータからベースラインを差し引いた。

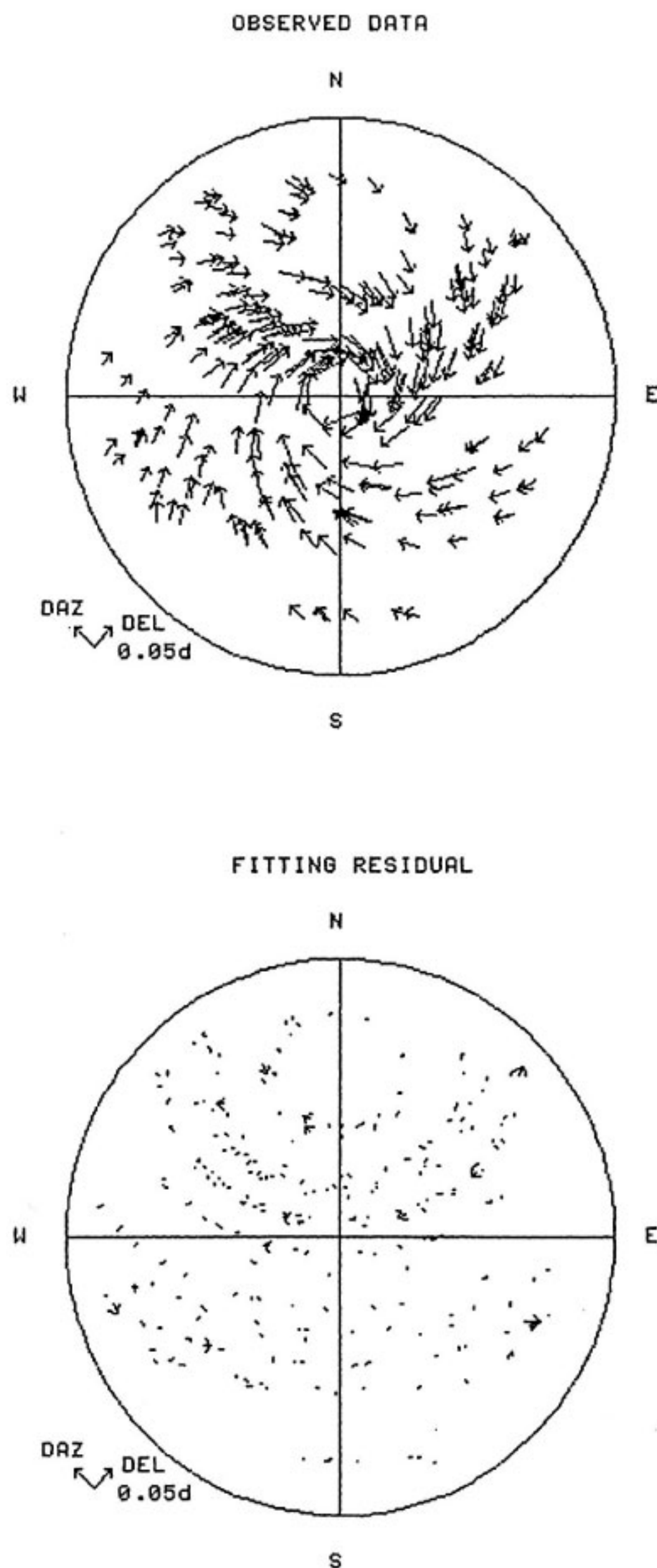
一角を調べた。

22 GHz の H_2O maser 源ではスペクトラム・アナライザーから10秒程度で1スイープを行なったデータを取り込んだ。まず方位角方向に $10'$ 離れたオフ点のデータを取り、その後十字スキャンを行なう。各観測点はオフ点との差を周波数毎に計算した後、ログスケールからリニアスケールに変換し、さらに両端のスペクトル線の見られない部分を基準としてベースラインを差し引き（第6図）、スペクトルの積分強度をデータとした。この方法により観測時のゲイン変動、大気雑音の影響などを取り除くことができ、測定精度を上げることができた。

十字スキャン方式では、エラー角が大きい場合はデータの質が悪くなる。この為、最初の方角スキャンで求めたエラー角を計算機のメモリに加え、仰角スキャンを行なう。その仰角スキャンで求めた仰角エラー角もメモリに加え、つぎの十字スキャンはそれらのオフセット角を使って行なうという方法を考案した。ただし、エラー角が大きい時や最小自乗フィットの残差が大きい時は、これを行なわないようにした。エラー角は各スキャンで決定されたエラー角にメモリのエラー角を加えればよい。この結果2, 3回目のスキャンでは中心付近で受信強度が最大になり、弱い電波源でもエラー角は非常に精度良く決定することができた。

観測したデータは天体名、方位角、仰角、十字スキャンの1点ごとのデータ、最小自乗近似によるエラー角、半値幅を計算機のディスクに書き込んだ。観測時ですでに一次処理が終了しているのでディスクの占有量も小さく、その後の処理も高速化される。データ解析プログラムも同計算機上で作成したので、データ量が増えれば適宜解析を行ない、補正パラメータを更新して観測を続けるという方法で観測を行った。この結果、最初は方位角のエラーが大きかったのでスキャンの範囲をビーム半値幅の4倍程度必要としていたのが、3日目にはビーム半値幅の2倍程度で十分になり、観測効率、データの質共に高めることができた。

1) の観測で重力変形、コリメーション・エラー、方位角、仰角オフセット角をおおまかに求めることができた。2) の観測では、7軸パラメータはほぼ決定できたが、主にエンコーダーまたはその取り付け誤差に起因すると思われる系統的なエラーが検出された。その系統的なエラーは方位角で最大 0.015° 、仰角で最大 0.006° 程度であるが、方位角方向のエラーは方位角の、また仰角方向のエラーは仰角の関数として再現性があるので方位角、仰角ともに 1° 毎に補正角を求め、ポインティング補正パラメータとして観測プログラムに新たに加えた。第7図に8 GHz 帯による観測を示した。アンテナ駆動



第7図 8 GHz 帯 受信器を用いて行ったポインティング観測例。上が観測データ、下が最小自乗フィットにより求めたパラメータで校正した残差。円周が地平線、中心が天頂を示す。矢印はポインティングエラーの方向。 0.05° の大きさを左下に示した。

速度が速く、また低雑音受信器により弱い電波源も受信できるので3日間でこれだけのデータが得られた。3) の観測の結果は主に 1° 毎の補正パラメータを更に詳しく決定するのに用いた。これらの観測の結果、方位角、仰角軸ともに 0.002° RMS 程度までポインティング・エラーを小さくすることができた。22 GHz のビーム・

第1表 8 GHz帯でポインティング観測を行なった電波源

天体名	赤経(1950.0) [h m s]	赤緯(1950.0) [° ' "]	電波強度 Jy
3C 27	00 52 45.6	68 06 06.2	1.9
3C 84	03 16 29.6	41 19 52.1	43
2C120	04 30 31.6	05 14 59.4	4.9
0521-36	05 21 13.2	-36 30 19.0	7.0
DA251	08 31 04.4	55 44 42.0	3.7
3C218	09 15 41.3	-11 53 05.0	9.1
4C39.25	09 23 55.3	39 15 23.7	8.8
1127-14	11 27 35.7	-14 32 54.8	4.3
3C273	12 26 33.3	02 19 43.3	42
3C274	12 28 17.3	12 39 48.0	51
3C286	13 28 49.7	30 45 58.3	6.0
3C295	14 09 33.5	52 26 13.0	4.1
3C309.1	14 58 56.6	71 52 10.8	2.6
3C345	16 41 17.6	39 54 11.0	8.3
NRAO 530	17 30 13.5	-13 02 45.6	8.0
3C409	20 12 18.0	23 25 41.7	2.2
3C446	22 23 11.0	-05 12 17.5	8.1

赤経, 赤緯は Gentzel et al.⁽⁴⁾より, 電波強度はポインティング観測データから計算した. $1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1}$

第2表 22 GHzでポインティング観測を行なったH₂Oメーザー源

天体名	赤経(1950.0) [h m s]	赤緯(1950.0) [° ' "]	視線速度 km/s	電波強度 Jy
W3 OH	02 23 17.3	61 38 58.0	-48.0	4000
Ori KL	05 32 47.0	-05 24 23.0	5.5	3000
VY CMa	07 20 55.0	-25 40 12.0	19.0	900
Sgr B2	17 44 10.4	-28 22 44.0	63.0	1000
S76 W	18 53 34.0	07 49 45.0	3.0	980
W49 N	19 07 49.8	09 01 17.0	10.0	100000
W51	19 21 26.2	14 24 44.0	55.0	3000
Cep A	22 54 19.2	61 45 44.0	-5.3	4700

34 m アンテナでポインティング観測を行ったもの. 赤経, 赤緯, 視線速度, 電波強度は Cesaroni et al.⁽⁵⁾によった. 視線速度, 電波強度は時間変動があるので参考程度. メーザーの中心周波数は 22.235120 GHz ($\nu_{16-523} \text{ F}=5-4$).

サイズでも約 0.03° なので, これ以下の周波数帯では問題なく観測を行うことができる. ポインティング精度が上がり, 弱い H₂O maser 源も受信できるようになったので, 更に精度を上げるための観測も適宜続けている.

第1表に 8 GHz 帯で観測を行なった天体を, また第2表に 22 GHz 帯の水メーザー源のリストを示した.

4. VLBI 実験

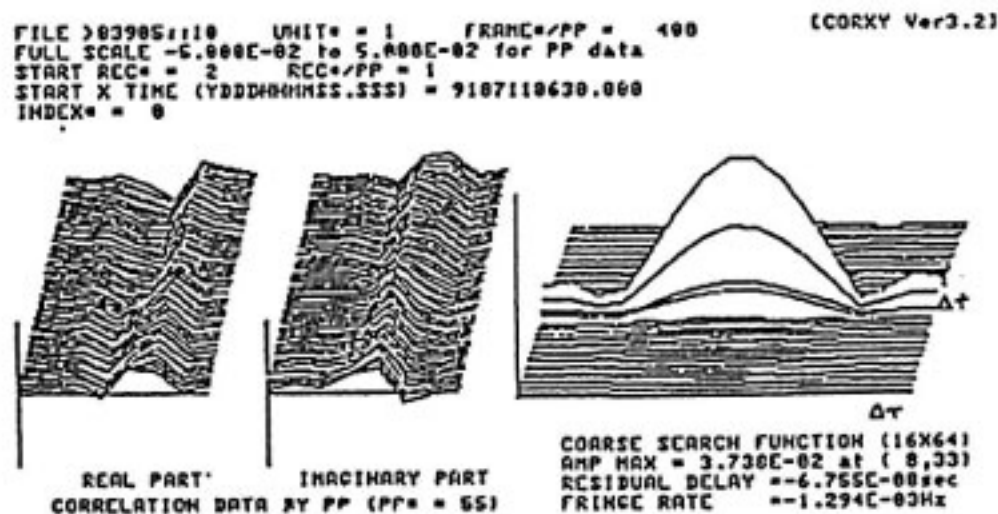
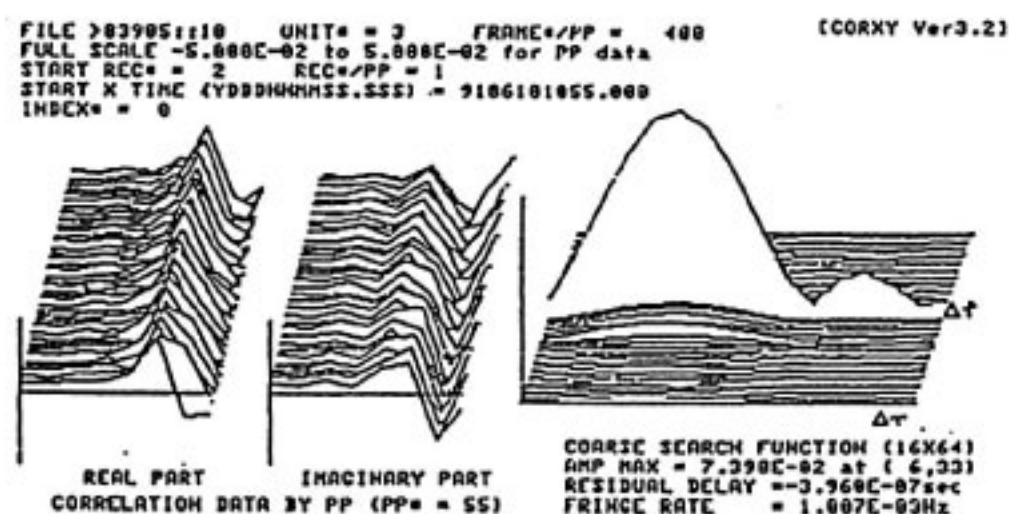
第8図に鹿島の 26 m アンテナとのショート・ベースラインによるフリンジテスト例を示した. S (2 GHz), X (8 GHz) バンド共に強いフリンジが検出され, システムとして特に問題のないことが示された.

VLBI 実験には HP1000/A400 計算機を使ってアンテナ, VLBI ターミナルなどを自動制御するソフト (新 KAOS: KASHIMA AUTOMATIC OBSERVATION SOFTWARE) を新たに開発した. 24 時間の観測を行なう測地 VLBI 実験では, オペレーターは記録テープの交換を行うだけでよい. このソフトの VLBI ターミナル制御を行なう部分は, 文部省臼田宇宙空間観測所の 64 m アンテナに新たに設置された K-3 型 VLBI ターミナルを制御するために移植し, Voyager-2 号の海王星による掩蔽観測に先だって臼田局の位置を決定する 24 時間測地 VLBI 実験にも使用されている. 平成元年 9 月には国土地理院の 5 m アンテナと定期的に行なっている実験に, 26 m アンテナと共に参加し 34 m アンテナの位置を決定した.

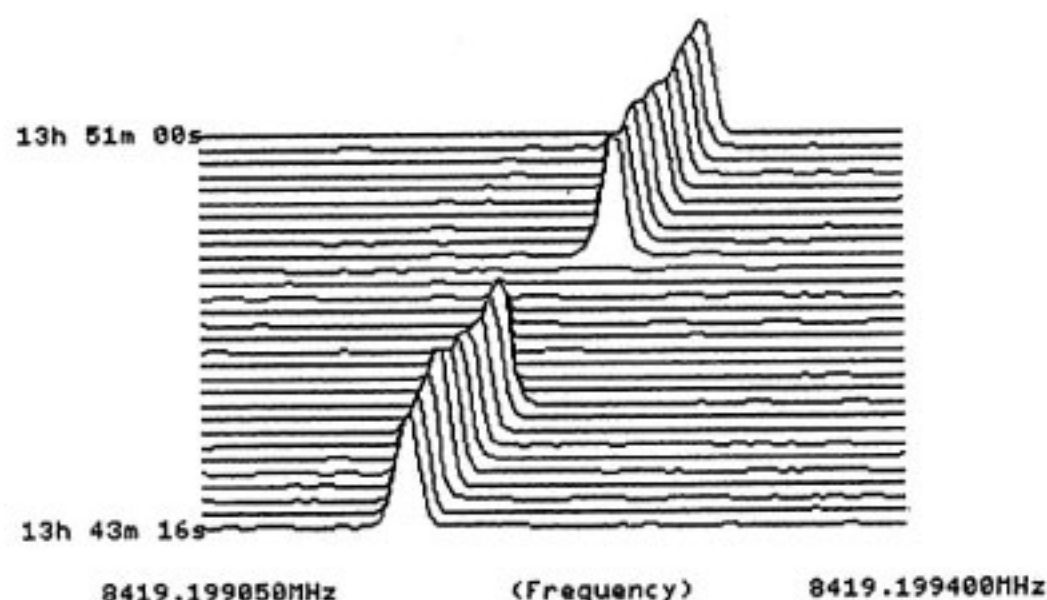
またミリ波 VLBI 実験が平成元年度より国立天文台と共同で開始され, 6 月より鹿島の 34 m アンテナと野辺山宇宙電波観測所の 45 m アンテナで 43 GHz 帯の SiO (酸化珪素) メーザー源などの試験観測を行っている. 45 m アンテナは 7 月から計算機などの更新を行っており, 改修の終わる 12 月から本実験を始める 予定である.

5. Voyager-2 号のトリトン掩蔽観測

1989 年 8 月 25 日にアメリカの深宇宙探査衛星 Voyager-2 号が海王星に, 続いて海王星の衛星トリトンの裏側を通過し (これを掩蔽という), Voyager-2 号からの電波が途切れる現象が観測された. 日本では文部省宇宙科学研究所が臼田宇宙空間観測所の 64 m アンテナを使



第8図 34 m アンテナと 26 m アンテナの間のショートベースライン・フリンジテスト結果. 左が, 2 GHz, 右が 8 GHz 帯.



第9図 8 GHz 帯で受信した Voyager-2 号からの信号。横軸は周波数，奥行きは時間方向。中央の信号が途絶えているのが海王星の衛星トリトンの陰にはいったところを示す。

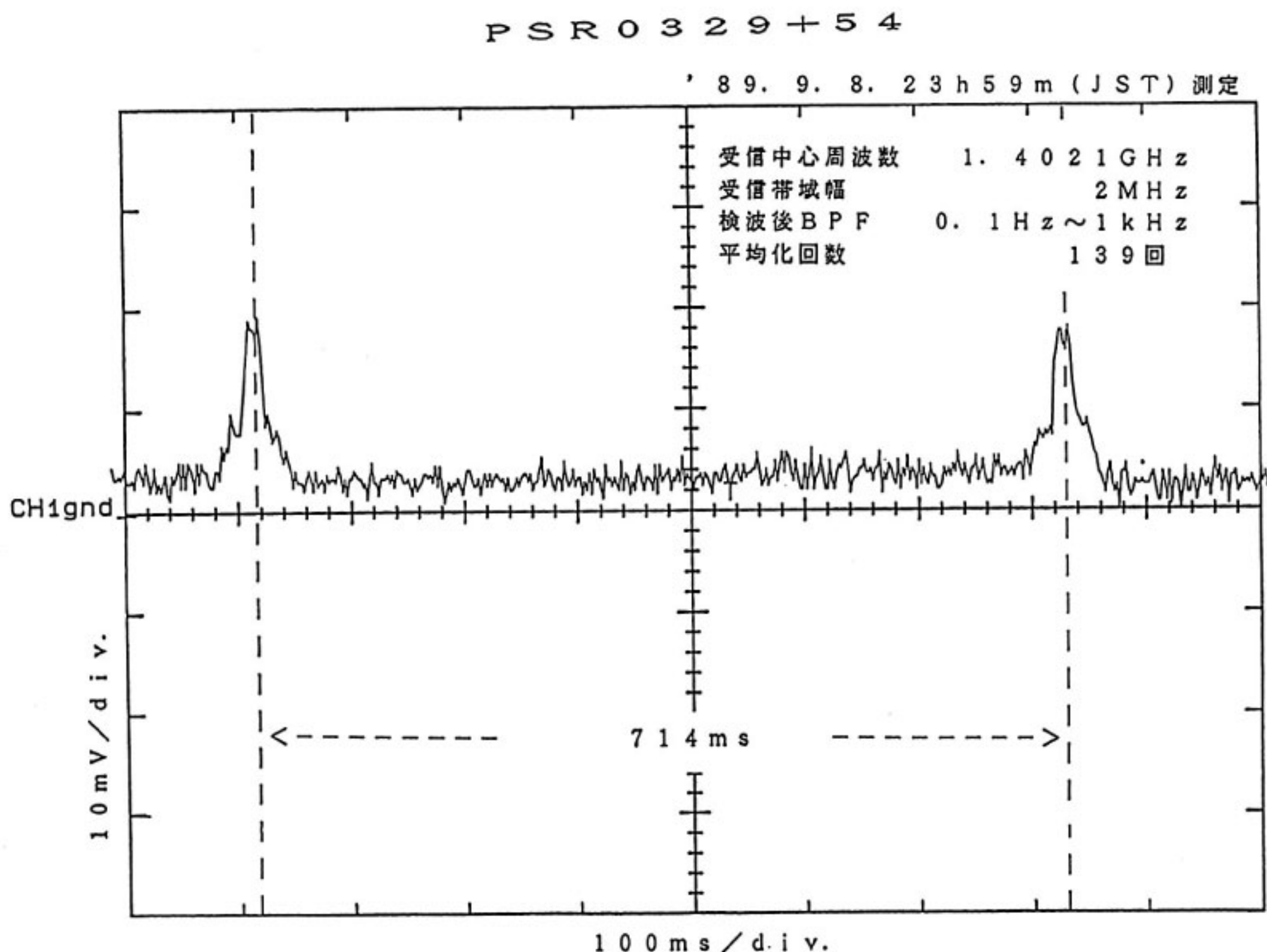
って 2 GHz 帯で観測を行なったことは良く知られているが，34 m アンテナでは 8 GHz 帯で Voyager-2 号からの電波を受信することに成功した。第9図は Voyager-2 号からの電波が，トリトンによって遮られた瞬間を示したものである。Voyager-2 号はこの時地球から約 45 億キロメートル離れていたが，34 m アンテナの高

い開口効率と低雑音受信器のおかげでこのような微弱な信号をも容易に検出することができた。

6. パルサーの観測

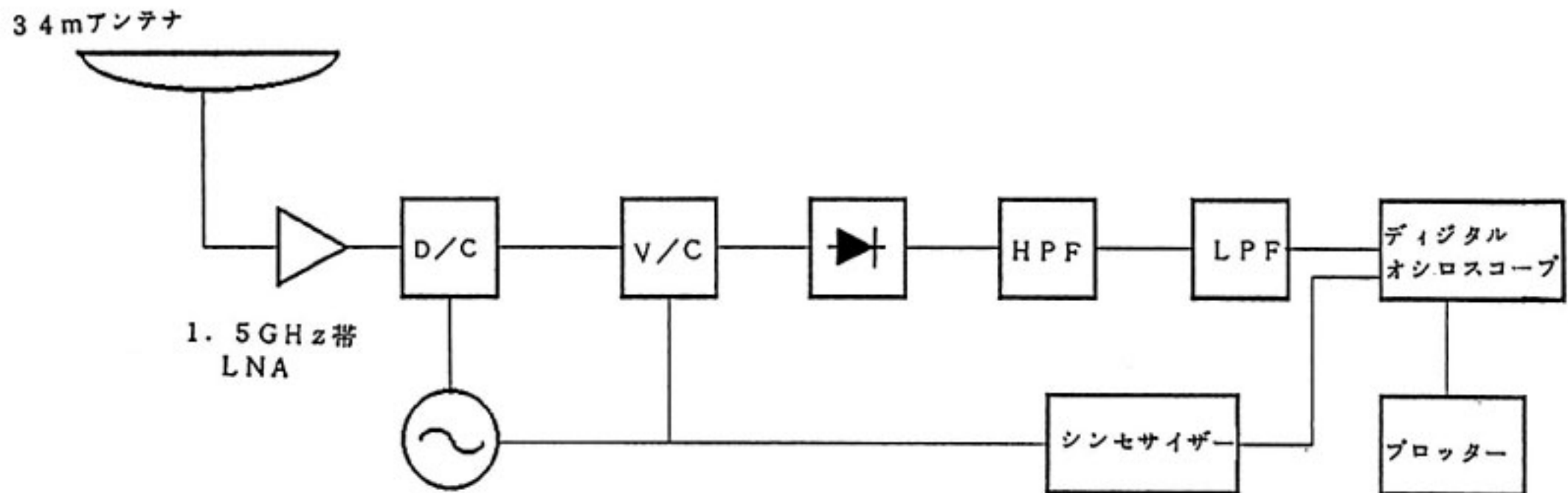
最近相次いで発見されている周期が数ミリ秒と極めて短いパルサーの中には，周期の安定度が原子時計に匹敵するほど高いものがあることが明らかになってきた。これらのパルサーは人工の原子時計のように途中で止まってしまうことなく安定に回転し，電波を出し続けるので，超長期間に渡って時系を維持して行くのに有効な時計として使用できる。

第10図は周期 0.714 秒のパルサー PSR0329+54 を 1.5 GHz 帯で観測した例である。その時の観測システムを第11図に示した。34 m アンテナは多周波受信が可能なので，周波数によるパルスの違いなどを比較することによって伝搬路の星間空間の状態や，パルサーの中心星である中性子星の物理を探ることもできると期待されている。また将来的にはいくつかのパルサーの周期を比較し，時系のゆらぎなどを検出することによって重力波



第10図 1.5 GHz 帯で受信したパルサーの例。天体は PSR 0329+54。2 MHz 帯域で検波した信号をデジタルオシロスコープを用い，139 回のパルスを平均した。

パルサータイミング試験観測装置



第11図 パルサーの試験観測を行ったシステム

の検出を行うことも検討している。

7. 太陽の観測

11年周期で変化する太陽活動は、観測史上最大といわれる極大期を1989年暮れから迎えようとしている。宇宙天気予報を計画している平磯宇宙環境センターから34mアンテナを使って太陽の電波観測を行いたい、との申込があったので、2/8/22 GHz で太陽面の電波強度分布を

観測してみた（第12図）。観測は赤経・赤緯格子スキャン・モードで行ない、観測点はほぼビーム・サイズの間隔で取得しているが、最も観測点の多い22 GHzでも30分程度の観測でこのような図1枚を得ることができる。周波数や偏波の違いによる電波強度を比較することで活動域の温度や磁場の様子などを調べることができるので、フレアの活動などを調べるのに非常に有効であると期待されている。

8. むすび

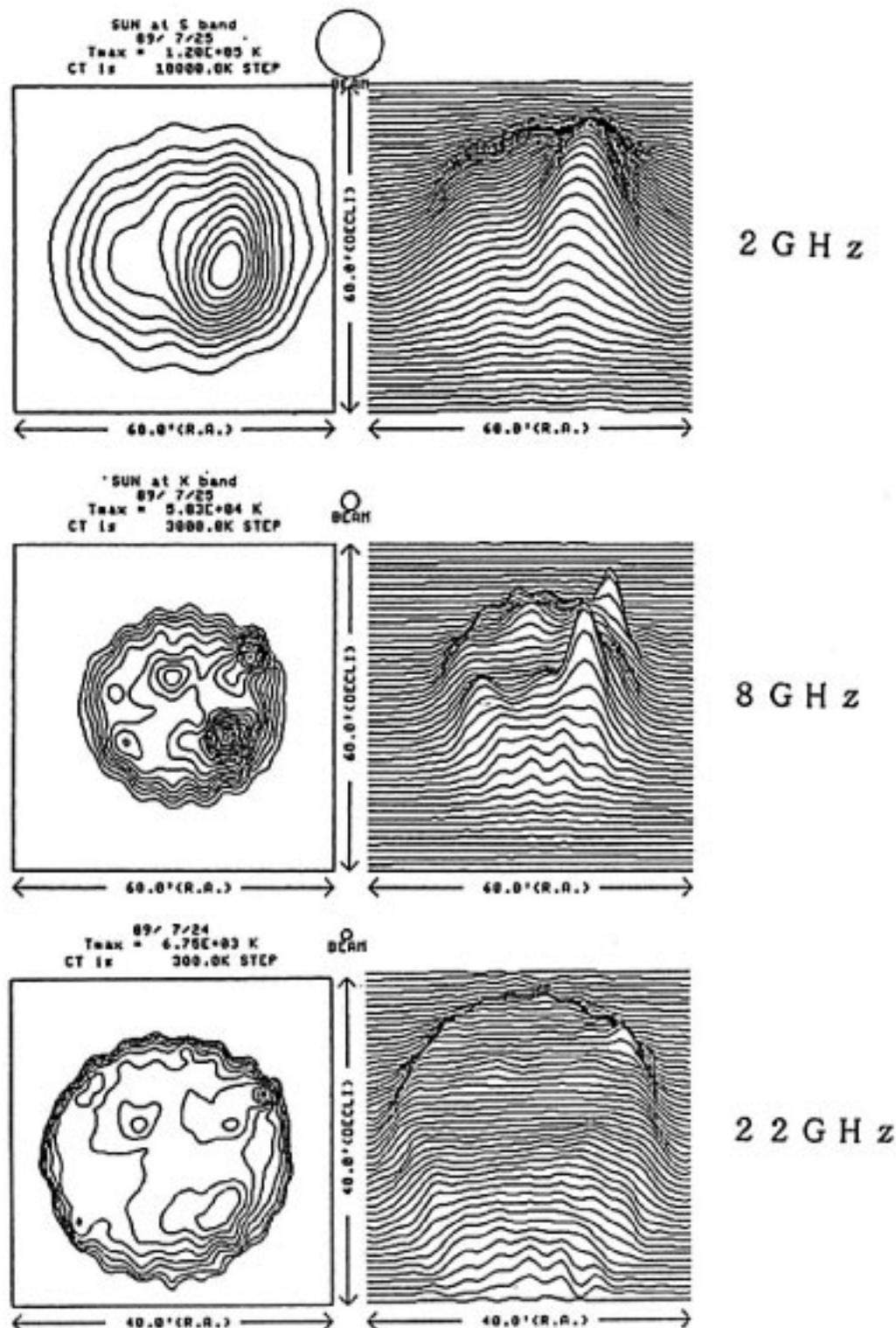
鹿島宇宙通信センターの新34mアンテナは、VLBI専用のアンテナとしては世界で最も大きなものである。西太平洋電波干渉計の主局として用いられるのはもちろん、当所が開発・運用している世界でも最小の3m VLBIアンテナと組み合わせて、これまでよりも更に高い測定精度で国内の距離を調べることができる。また高い鏡面精度を活かしたミリ波のVLBI実験や星間分子線の観測、多周波受信を活かしたパルサーなどの天体電波源の観測にも大きな成果を上げられると思われる。

謝 辞

34mアンテナの試験観測にはシステムのセットアップなど、第三宇宙通信研究室員の大きな援助があった。また Voyager-2 号の観測では文部省宇宙科学研究所の西村敏充教授に周波数などの情報を提供していただいた。ここに感謝します。

参 考 文 献

- (1) 小山泰弘, 高羽浩, 栗原則幸, 川口則幸, “34mアンテナシステムの概要” 本特集号.
- (2) Meeks, M. L. et al., “The pointing calibration of the Haystack antenna”, IEEE Transaction, AP-16, No. 6, 1968.



第12図 太陽面の電波強度観測例

- (3) 高橋富士信, 河野宣之, 小池国正, “経緯儀式大口
径アンテナの軸校正” 電波研究所季報1980, 26, 137.
(4) Gentzel et al. (MPIfR プレプリント Nr. 30)

- (5) R. Cesaroni, et al., “A Catalog OF H₂O maser
sources north of $\delta = -30^\circ$ ”, Astron. Astrophys.
Suppl. 1989, 76, 445.

