

## 3.2 22 GHz 帯ディッケスイッチ型 ラジオメータの開発

大久保 寛<sup>\*1</sup> 小山 泰弘<sup>\*2</sup> 関戸 衛<sup>\*3</sup> 川合 栄治<sup>\*3</sup>

### 3.2 Development of Dicke-type Radiometer for 22 GHz Band

By

Hiroshi OKUBO, Yasuhiro KOYAMA, Mamoru SEKIDO, and Eiji KAWAI

For radio astronomy observations, 22GHz is an important observation frequency band because of the H<sub>2</sub>O maser-line-spectrum emissions from the active regions in galaxies. But, for continuous-wave observations, use of the 22GHz band has distinct disadvantages. Non-thermal emissions generally become weaker in the higher range of microwave frequencies and the larger water vapor atmospheric absorption and emission causes a decrease of signals from radio sources and increases of antenna noise. That results in the erasure of the weak signal from the radio source. Consequently, 22GHz continuous-wave observation is more difficult than lower frequency observation. For single-dish observations of continuous-wave radio sources, we have been developing a Dicke-type switching radiometer. In this paper, we report the system configuration and results of experiment observations using a reference radio source.

[キーワード] 電波強度観測, ディッケ方式

Total power observation, Dicke switching

#### 1. はじめに

電波天文観測において 22GHz 帯は水メーザー電波源の周波数帯として大変重要である。しかし連続波源の観測においては、一般的に非熱的放射による連続波電波源は観測周波数が高くなるに従って強度が低くなること、大気からの放射、吸収に依る強度ゆらぎが激しいこと、受信機雑音を低く押さえることがより周波数の低い受信システムに比べて難しい事などから、単一鏡での連続波源強度観測によるビームパターン測定、開口効率測定などをする際にはデータの取り扱いに十分な注意が必要である。

我々は電波天文観測の古典的手法であるディッケスイッチングによる、より信号対ノイズ比の高い連続波電波源観測を目的としてビームスイッチの開発を行ってきた。

ビームスイッチングは電波源を観測する際に、電波源に向いたアンテナの主ビームとそこから外れた天空を見ている参照ビームとを交互に切り替えて観測し、主ビームのアンテナ出力から参照ビームの出力を引き去ることによって、電波源を起源とする微少な付加雑音を検出する観測手法である<sup>(1)(2)</sup>。このスイッチングの速度をアンテナ出力の変動要因である大気ゆらぎ及びシステムのゲイン変動の速度よりも早くすることによってそれらの影響を取り除き、電波源から到来する電波強度を正確に測定することを可能にする。

本稿では観測装置の概要を説明すると共に、ブラックスが既知の電波源を用いて行った試験観測の概要とその結果からシステムの評価、アンテナの校正について述べる。

\*1 鹿島宇宙通信センター 宇宙電波応用研究室  
(科学技術振興事業団 重点研究支援協力員)

\*2 鹿島宇宙通信センター 宇宙電波応用研究室  
(2001年1月より内閣府技官に併任)

\*3 鹿島宇宙通信センター 宇宙電波応用研究室

## 2. 基本概念

### 2.1 アンテナ出力とアンテナ温度

理想的なビームスイッチの1回の動作における観測量は、仮に主ビームが電波源の方向を向いていた場合、主ビーム出力  $P_{On}$  と参照ビーム出力  $P_{Off}^{Sw}$  でそれぞれ以下のように表せる。

$$\begin{aligned} P_{On} &= k[T_{LNA} + T_{Atm}(t)(1 - \exp(-\tau \sec Z)) \\ &\quad + T_A \exp(-\tau \sec Z)] G(t) B \\ P_{Off}^{Sw} &= k[T_{LNA} + T_{Atm}(t)(1 - \exp(-\tau \sec Z))] G(t) B \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで

$k$  = ポルツマン定数

$T_{LNA}$  = 受信機雑音温度

$T_{Atm}$  = 大気の物理温度

$T_A$  = アンテナ温度：アンテナに入射する電波源から  
のエネルギー（大気の外での値）

$\tau$  = 天頂方向の大気の光学的厚さ

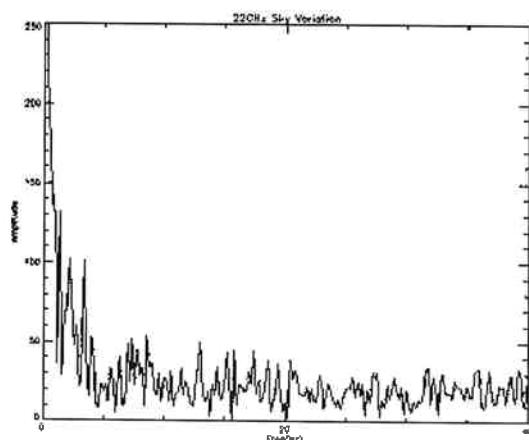
$G$  = 受信機ゲイン

$B$  = 受信帯域幅

$Z$  = 天頂角

第1図はアンテナが天頂方向の天空を見ている時のアンテナ出力を5秒間観測し高速フーリエ変換により変動成分の周波数スペクトルを求めたものである。5Hz以下の大きな変動があるがこれらの影響はビームスイッチによって引き去ることが可能と考えられる。

アンテナに入射する大気放射と受信機のゲインについては時間の関数と考える。ビームスイッチは大気の変動より早い周期で主ビームと参照ビームを観測し、これらの2つの値を差し引くことにより大気放射  $T_{Atm}(1 - \exp(-\tau \sec Z))$  の変動成分を引き去り、電波源によって付加された電力を抽出する。変動する成分を完全に除去出来た場合、主ビーム出力から参照ビーム出力



第1図 天空を見た時のアンテナ出力のパワースペクトラム

を引き去った結果は以下のように表せる。

$$P_{On} - P_{Off}^{Sw} = kT_A \exp(-\tau \sec Z) GB \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここでアンテナ温度  $T_A$  にかかる項  $\exp(-\tau \sec Z)$  は、大気の外から到来した電波源からのエネルギーが大気によって吸収される量を表している。 $\tau$  は天頂方向での大気の光学的厚さ、 $Z$  は天頂角である。一般に大気の光学的厚さ  $\tau$  は観測の前後にチッピング観測を行う事である程度正確に求める事が出来る<sup>(3)(4)(5)</sup>。

ここで  $GB$  の絶対的な値を求めるため、ゲイン  $G$  の変化しない短時間のうちに室温の電波吸収体を測定したときのアンテナ出力  $P_{Hot}$  は以下のように表せる。

$$P_{Hot} = k[T_{LNA} + T_{Hot}] GB$$

これを  $GB$  について解くと

$$GB = \frac{P_{Hot}}{k[T_{LNA} + T_{Hot}]} \quad \dots \dots \dots (3)$$

$T_{LNA}$  を既知の値とすれば右辺はすべて求められていることから、単一鏡で電波源を観測する際の基本的な観測量である  $T_A$  を以下のように求める事が出来る。

$$T_A \exp(-\tau \sec Z) = \frac{(P_{On} - P_{Ref})(T_{LNA} + T_{Hot})}{P_{Hot}}$$

$$T_A = \left( \frac{(P_{On} - P_{Ref})(T_{LNA} + T_{Hot})}{P_{Hot}} \right) \exp(\tau \sec Z) \dots \dots \dots (4)$$

### 2.2 アンテナ温度 $T_A$ の表す量

(4)式によって求められた観測量  $T_A$  は、電波源がアンテナのビームサイズに対して十分小さいと考えられるならば以下のような関係がある<sup>(1)(2)</sup>。

$$kT_A = \frac{1}{2} A_e S_\nu \quad \dots \dots \dots (5)$$

$A_e$  : 有効開口面積

$S_\nu$  : フラックス密度

ここで電波源強度の単位であるフラックス密度  $S_\nu$  は電波源からのエネルギーを大気の外で観測した時の単位時間、単位面積、単位周波数あたりの値である。1/2は受信偏波のうち片方の成分しか取らない事を考慮したものである。

これらの関係から、ある周波数におけるアンテナの有効開口面積  $A_e$  と開口効率  $\eta_A$  は以下のように求めることが出来る。

$$A_e = \frac{2kT_A}{S_\nu} \quad \dots \dots \dots (6)$$

$$\eta_A = \frac{A_e}{\frac{\pi}{4} D^2} \quad \dots \dots \dots (7)$$

D : アンテナ口径

またアンテナの有効開口面積を既知とした場合、アンテナに入射した未知の有効フラックス密度  $S_\nu$  は以下の式で求める事が出来る。

$$S_\nu = \frac{2kT_A}{A_e} \quad \dots\dots\dots(8)$$

### 3. 観測装置

#### 3.1 フロントエンド装置

この装置のフロントエンドを開発するに当たって、22GHz フィードトロリー上のスペースを考慮する必要があった。

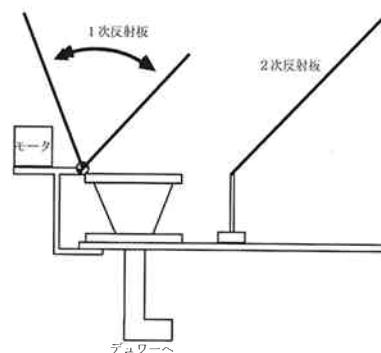
鹿島 34m アンテナは独自のバンドインターチェンジ方式により多周波観測を可能にしているが、その反面受信機設置スペースに余裕が少なく、大きな部品、観測装置などを取り付けるスペースには制限がある。従来のチョッパー型ビームスイッチ<sup>(2)</sup>のような大型のものでは設置することが困難であるため、小型化したものを作成した。

参照ビームはカセグレン焦点に位置しているフィードホーンの前で 1 次反射板によって 45° ビームを遮り、さらに 45° 傾いた 2 次反射板で再度ビームを反射することによって実現される。従来のチョッパー型ビームスイッチのようにフィードホーン上で 1 次反射板が水平方向に回転する方式（回転軸がフィードの指向方向と平行）は 1 次、2 次反射板ともに大型となり鹿島 34m アンテナにはなじまないと考えられた。そのため長方形の 1 次反射板が下辺を軸にして団扇のようにフィードホーン上で動く方式を考案し製作した（第 2, 3 図）。参照ビー

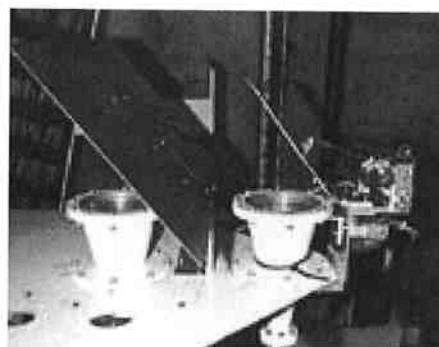
ムはアジマス方向にオフセットをかけるようにして仰角による大気の影響を考慮した、参照ビームは月を使用した観測で、主ビームに対して方位角方向に -0.35° オフセットのかかった方向の天空を見ていることが確認されている。

装置の簡略化のため、駆動モーターの閉ループ制御はせず、観測結果をソフトウェアの段階で処理するものとした。運用回転数はおよそ 180rpm で、スムーズな回転を実現するため、回転軸にバランスウェイトを取り付けている。

観測データとして常温の電波吸収体のレベルを測ることは必須であるが、限られたスペースの中でこの装置をそのまま用いて常温電波吸収体を測ることは困難であり、これに関しては導波管スイッチで代用することにした。ただし導波管スイッチの切り替えには時間がかかるため、使用できる観測データの数はこれにより制限されることになる。鹿島 34m アンテナの 22GHz 受信機の特性は第 1 表のようになっている。



第 2 図 22GHz ビームスイッチの概略図



第 3 図 22GHz フィードトロリーに取り付けたビームスイッチ

第 1 表 鹿島 34m アンテナの 22GHz 受信機の主な特性

LNA タイプ	受信偏波	受信周波数	受信機雑音温度 (TRX)	システム雑音温度 (Tsys)	SEFD (DR21)
冷却 HEMT	L/RHCP	21800MHz – 23800MHz	280K	320K	2600Jy

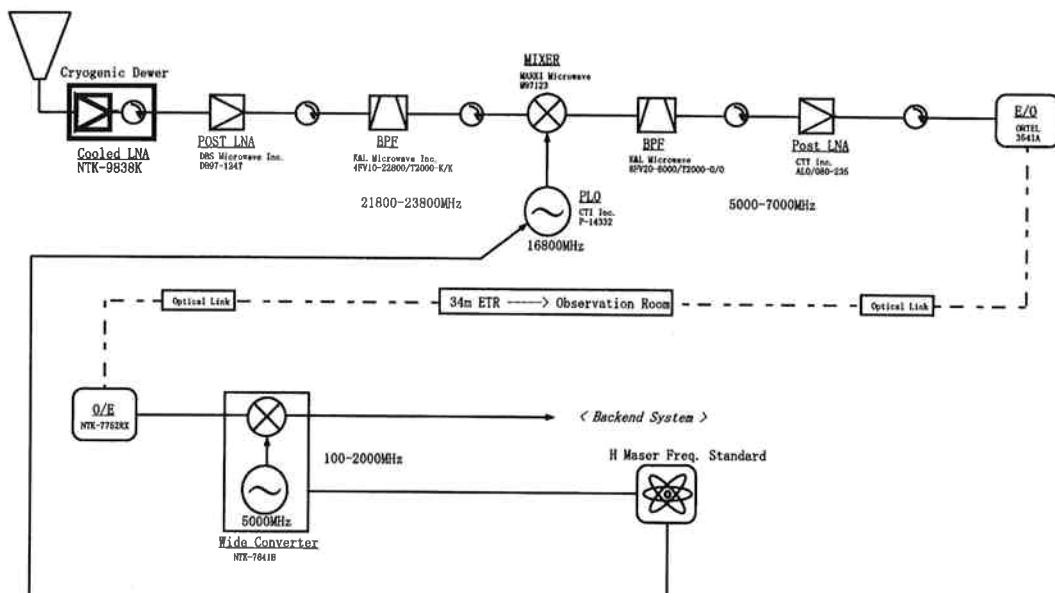
### 3.2 信号伝送系

信号伝送系は通常の 22GHz 観測時と同様である。第4図に 22GHz 受信系の構成を示す。鹿島 34m アンテナに入射した電波源からの信号（観測周波数 21.8-23.8GHz）は主反射鏡、副反射鏡を経てレドームを通してフィード室内にあるカセグレン焦点に集光される。さらにコルゲートホーン、導波管によってデュワー内で10K 前後に冷却された LNA に入力され増幅される。LNA によって増幅された受信信号は同じトロリー上にあるダウンコンバータによって 5-7GHz の中間周波数に周波数変換され、光送信機によって観測室まで伝送される。観測室では光ファイバーを通ってきた 5-7GHz の中間周波数信号を 0-2GHz に再度ダウンコンバートしている。

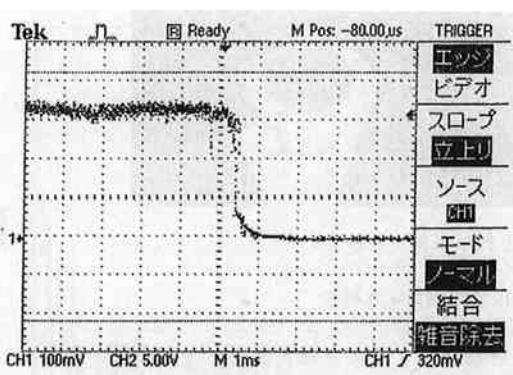
### 3.3 データ記録系

ビームスイッチングの観測では高い時間分解能でデータを記録することが必要とされる。またビームを切り替える時にビームが天空以外の部分を見てしまう事から受信機出力が短時間で大きく変動するためパワーメータのように時定数が大きいものでは対応できない。そのためこの 0-2GHz 帯域の IF 信号を時定数の小さい検波器を用いて二乗検波することとした。第5図で示されるように今回使用した検波器の時定数は 1msec 以下である。検波器の時定数を考慮して 48kHz で記録された信号は、データ処理の最初の段階で 1kHz サンプルのデータに平均化される。

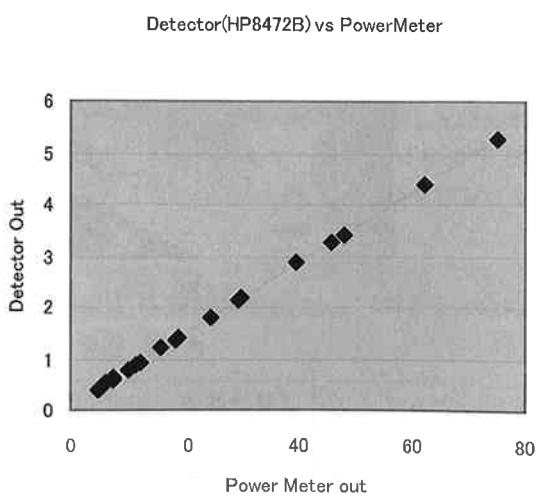
検波器から出力される負電圧をオペアンプにて反転増幅し DAT レコーダの±1V レンジで記録する（サンプリング周波数：48kHz 16Bit サンプリング）。その際に



第4図 鹿島 34m の 22GHz 受信機系統図

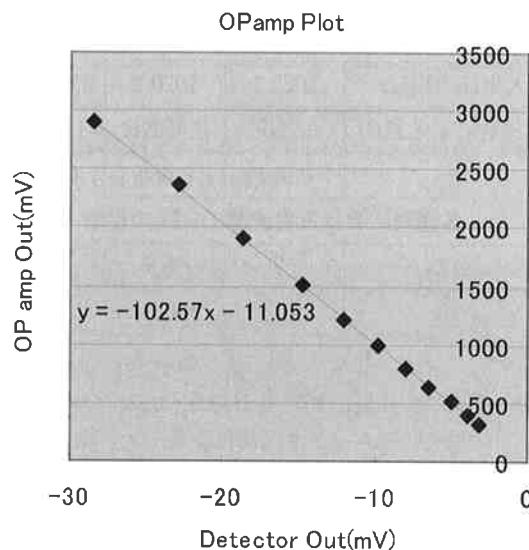


第5図 検波器のステップ応答。ステップアッテネータで入力レベルを変化させたときの検波器出力の変化  
X 軸 : 1msec/Div. Y 軸 : 100mV/Div.

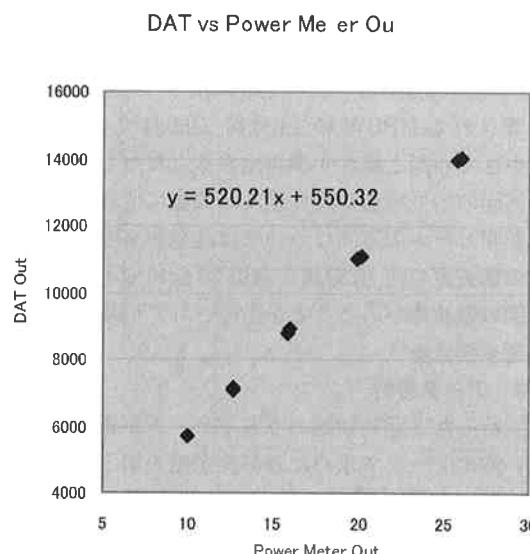


第6図 検波器の特性 X 軸 : 入力レベル, Y 軸 : 検波器出力

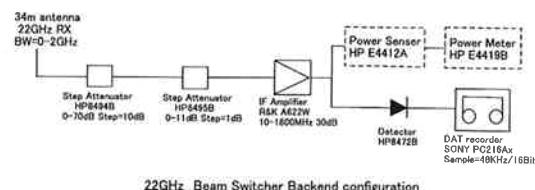
量子化ノイズを減らすため±1V レンジで最大の感度が上がるようアテネータとオペアンプ回路でレベルを調整する。また不要な誤差要因を避けるため DC オフセットを取り除いていない。第 6 図に検波器の入出力特性を示す。入力レベルを制限することにより検波器の線形の



第 7 図 反転増幅器の特性  
X 軸：入力レベル， Y 軸：アンプ出力



第 8 図 DAT レコーダ出力（システム特性）  
X 軸：入力レベル， Y 軸：DAT レコーダ出力



第 9 図 22GHz ビームスイッチャバックエンド系統図。パワーメータは観測前の DAT レコーダの校正に使用する。

部分を使うよう注意した、また第 7 図には反転増幅器の特性を示す。第 8 図にシステム全体の入出力特性を示す。検波器、DAT レコーダを通したシステムで線形特性を確保できている。

DAT レコーダは記録開始前に自動でレベル調整を行ってしまうため、観測前に入力レベルを変えた信号をパワーメータと DAT レコーダで記録し DAT レコーダに起因するオフセットを求めた、取得されたデータからこのオフセットを取り除いたものが観測データとして取り扱われる。

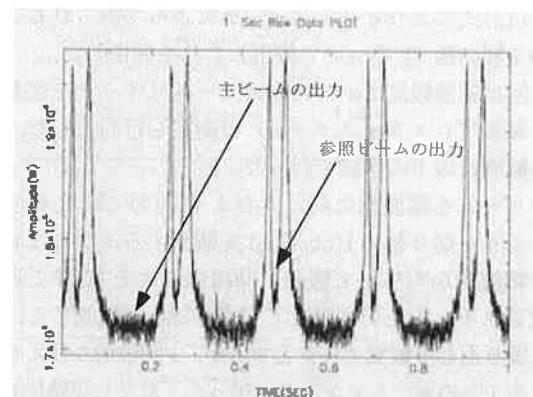
#### 4. 観測

##### 4.1 ビームスイッチ出力の特性

実際にビームスイッチを稼働させて電波源のない天空を観測した時に得られた時系列のデータを第 10 図に示す。

この図は天空を観測しているときの 1 秒間のデータを示す。ビーム切り替えの周期はおよそ 0.22 秒である。1 つの周期の中で出力が低い部分が主ビームの出力である、また 2 つのピークはスイッチが切り替えを行っている最中にフィードコーン内壁などを見ているため出力が高くなっているもので、データとしては意味をなさない。この 2 つのピークに挟まれた狭い領域が参照ビームを電波源のない天空に向いている部分で、観測時間は 1 つの周期のなかで 10% 程度である。データ処理の段階でこれらの時系列データを 0.3 秒を 1 単位として処理していく。

この第 10 図に示されるように電波源のない天空を見た時の主ビーム出力  $P_{off}$  と参照ビーム出力  $P_{off}^{sw}$  に差があるのは参照ビームが主ビームと同じように天空に向いているわけではなく、2 枚の反射板を通過することによるロスとビームの一部がフィードコーン内壁などを見ているためと考えられる。この効果を考慮するためビームスイッチによるロスファクター  $\alpha$  を使うと観測される信号は(1)式を書き直して以下のようになる<sup>(6)</sup>。さらに主ビームを



第 10 図 ビームスイッチ出力の時系列データ。1 秒間のデータを時系列で示した。

電波源に向けた時のアンテナ出力  $P_{On}$ , 何もない天空を見た時のアンテナ出力  $P_{Off}$  をそれぞれ書き表すと以下のようになる。

$$\begin{aligned} P_{Off}^{Sw} &= k[T_{LNA} + T_{Atm}(1 - \exp(-\tau \sec Z))(1 - \alpha) + \alpha T_{Room}] GB \\ P_{On} &= k[T_{LNA} + T_{Atm}(1 - \exp(-\tau \sec Z)) + T_A \exp(-\tau \sec Z)] GB \\ P_{Off} &= k[T_{LNA} + T_{Atm}(1 - \exp(-\tau \sec Z))] GB \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (9)$$

$T_{Room}$  : 室温

ビームスイッチによって参照ビームに付加されたノイズの量  $\Delta P^{Sw}$  は  $T_{Room} = T_{Atm}$  を仮定すると, 主ビーム, 参照ビーム共に電波源のない天空を観測しているときに, 以下のように表す事が出来る。

$$\Delta P^{Sw} = P_{Off}^{Sw} - P_{Off} = k[\alpha T_{Atm} \exp(-\tau \sec Z)] GB \quad \dots \dots \dots (10)$$

これよりロスファクター  $\alpha$  は以下のように求められる。

$$\alpha = \frac{P_{Off} - P_{Off}^{Sw}}{k T_{Atm} \exp(-\tau \sec Z) GB} \quad \dots \dots \dots (11)$$

ここで参照ビームのロスファクター  $\alpha$  をあらかじめ求めておき, ゲイン変動を無視しうる程度の短い時間に常温の電波吸収体を測る事で, 式(3)(4)から, 主ビームで観測している電波源の強度  $T_A$  を実際のビームスイッチの特性を補正して以下のように求める事が出来る。

$$\begin{aligned} T_A \exp(-\tau \sec Z) &= \frac{(P_{On} - O_{Off}^{Sw})(T_{LNA} + T_{Hot})}{P_{Hot}} \\ &\quad + \alpha T_{Atm} \exp(-\tau \sec Z) \\ T_A &= \left( \frac{(P_{On} - O_{Off}^{Sw})(T_{LNA} + T_{Hot})}{P_{Hot}} \right) \exp(\tau \sec Z) + \alpha T_{Atm} \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (12)$$

## 4.2 観測

このビームスイッチを使って 2000 年 11 月 29 日に試験観測を行った。観測当日の気象データを第 2 表に示す。

この観測ではフラックス密度が既知の電波源を使用して, (12)式によりビームスイッチによって得られるデータから観測量  $T_A$  について算出しこれを評価した。

今回は試験観測であったためビームスイッチを起源とする減衰 (ロスファクター  $\alpha$ ) の測定も目的とした, 実際の観測は以下の手順で行った。

主ビームを電波源に向け, およそ 30 秒ごとに導波管スイッチを切り替え Hot/Cold を観測する。次に主ビームを電波源から外して観測し同様におよそ 30 秒ごとに導波管スイッチを切り替えて Hot/Cold を観測する。これを繰り返して観測データとするが, 1 回の切り替えルーチンを 1 つのセッションとして扱った。ただし実際にビームスイッチを動かす前にあらかじめチッピング観測を行い大気の光学的厚さを測定した。また DAT レコーダ記

第 2 表 観測日の気象データ等

	Obs#1	Obs#2	Obs#3
時刻 (JST)	10:05	13:20	16:20
天候	曇り	曇り・晴	曇り・晴
気温 (°C)	8.9	9.1	7.9
湿度 (%)	47	47	52
大気圧 (hPa)	1022.1	1020.3	1019.9
風速(m/s)・風向	3.7NE	3.9ENE	1.7ENE
$\tau$	0.069	0.688	0.0699
各観測における電波源 DR21 の位置			
AZ	57	65.7	314
EL	30.8	62	80.2

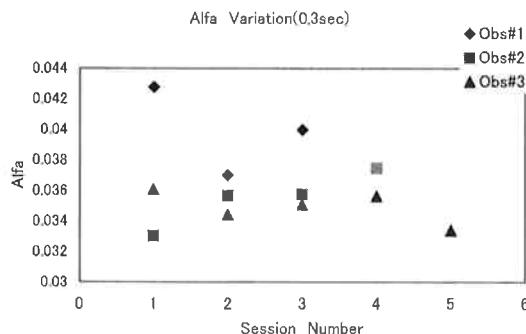
録開始直後にステップアテネータで入力レベルを様々に変化させてパワーメータで同時に記録した。これは後に DAT レコーダのオフセットを算出する際のデータとなる。

電波源は DR21(2037+421) を使用した。この電波源は強度の変動がほとんどなく、さらに 22GHz でのフラックス密度が 20Jy と良い S/N が得られるため、10GHz 以上のマイクロ波帯におけるアンテナ校正のための標準電波源として推奨されている<sup>(7)(8)</sup>。また電波源の大きさは 20 秒角 (0.005°) で、鹿島 34m アンテナの 22GHz で計算される HPBW の 1.3 分角 (0.021°) に対して十分に小さく点源と見なす事が出来る。ただしこの電波源は銀河面の中で構造が入り組んだ領域に位置しているため、参照ビームの方向については注意が必要である。またこの電波源の西 40 分角と南東 30 分角のところにそれぞれ別の電波源があることが指摘されているため解析には注意を要する<sup>(9)</sup>。

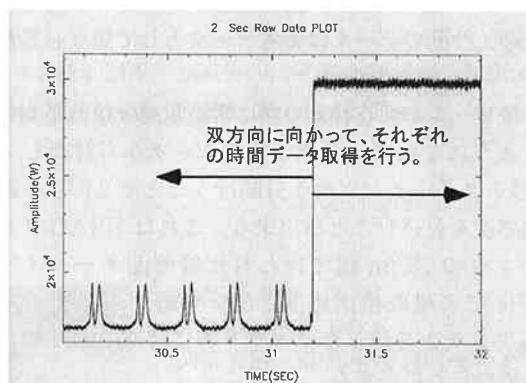
## 4.3 データ解析

今回行った 3 回の観測のうち主ビームが電波源を見ていなかった時のデータで求めた  $\alpha$  の測定値を第 11 図に示す。データに  $OBS\#1 \geq OBS\#2 \geq OBS\#3$  の傾向が見受けられるのは低仰角であるほどアンテナに入射する大気からの熱雑音の総量が大きく、またサイドロープから入り込む地面からの熱雑音が実際の  $T_{Atm}(1 - \exp(-\tau \sec Z))$  を計算値よりも大きくしていることが原因と考えられる。

実際の観測データの処理では観測ごとに主ビームが電波源を見ていなかった時のデータで  $\alpha$  の平均値を求め、それを各観測の固定値として  $T_A$  を算出した。また  $T_A$  の値を算出するにあたり、導波管を切り替えた瞬間の直前の天空を見ている出力、直後の常温電波吸収体を見ている出力のデータを、0.3 秒, 1 秒, 3 秒, 20 秒間それぞれ取得して(第 12 図)比較を行った。このようにして得



第11図 3回の観測の各セッションにおける $\alpha$ の値. 各観測で得られた $\alpha$ の値の変化



第12図 データ取得方法. 0.3, 1, 3, 20秒それぞれの時間データの取り込みを行う

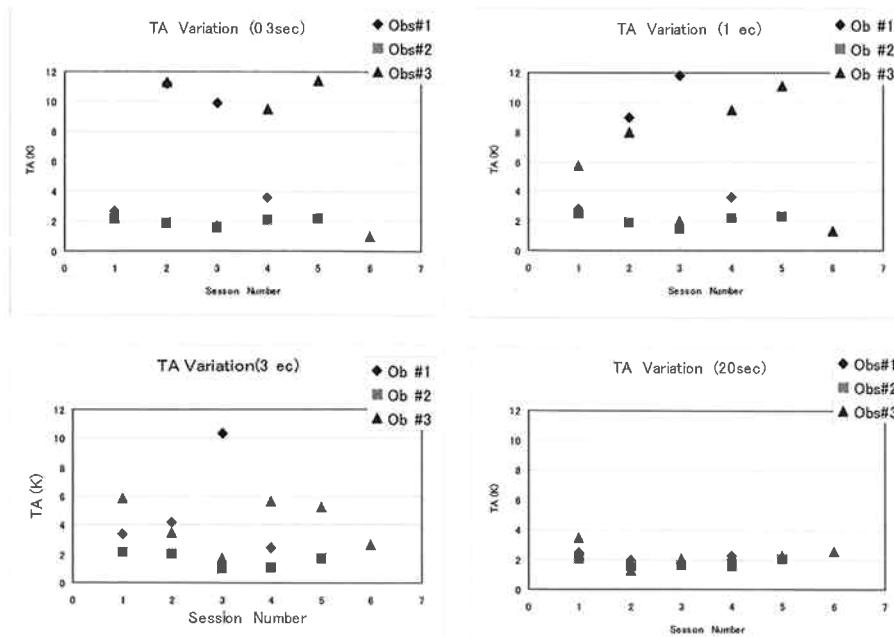
られた $T_A$ をそれぞれのデータ取得時間ごとに第13図に示す。

電波源のフラックス密度  $S_\nu$  を 20Jy として, アンテナの開口効率を 40%と仮定すると, 式(5)より理論的に算出されるアンテナ温度  $T_A$  は 2.63K 程度と考えられる。第13図から明らかなように, データの取得時間が短いとデータの分散が大きくなり, このままのデータでは理論上想定されるアンテナ温度との整合性は望めない。しかしデータ取り込み時間を 20 秒間に延ばして  $T_A$  を求めると, データの分散をかなり小さくする事ができ, すべての観測を平均した値として 2.11K ( $\pm 0.43$ K) が得られた。これは開口効率 40%を仮定して DR21 を観測した場合に得られるのアンテナ温度と調和的な結果である。

有効フラックス密度  $S_\nu$  を 20Jy と仮定すると鹿島 34m アンテナの 22GHz での開口効率は式(6)(7)より 32.1%と求めることが出来る。これはデータを取得する 20 秒間のゲインの変動 (1%前後) を考慮する必要があるが, 過去に得られた観測データから見ても妥当な値である。

#### 4.4 測定精度の評価

今回の観測で得られたアンテナ温度 の値 2.11K ( $\pm 0.43$ K) の測定精度を評価するために, 式(12)からアンテナ温度  $T_A$  を算出する際に用いられるパラメータのなかで, 変動が予想されるものについて, 20 秒間のその分散をそれぞれ求め, 各パラメータのアンテナ温度  $T_A$  に及ぼす影響について評価した。



第13図 それぞれのデータ取得時間によって得られた $T_A$ . 各観測ごとのセッション(主ビームを電波源の方に向いている時)についてデータ取得時間を 0.3, 1, 3, 20 秒間と変化させた時の $T_A$

第3表 パラメータ誤差に伴うアンテナ温度  $T_A$  への影響。アンテナ温度  $T_A$  に関するパラメータの分散とそれらの変化に伴うアンテナ温度の分散  $(\sigma T_A)^2$

	$P_{On} - P_{Off}^{Sw}$	$P_{Hol}$	$\tau$	$\alpha$
パラメータの分散	115.02	177	0.000147	0.00181
$(\sigma T_A)^2(K)$	6.67	$2.95^{-3}$	$4.53^{-6}$	0.294

$P_{On}$  と  $P_{Off}^{Sw}$  の誤差はそれぞれ独立に求めるべきであるとも考えられるが、この2つの値は実際にはゲインの変動に伴ってそれぞれ同じようなうねりを描きながら変動しているため  $P_{On} - P_{Off}^{Sw}$  の分散を評価するのが現実的である。第3表に各パラメータの分散とそれに伴うアンテナ温度の分散  $(\sigma T_A)^2$  を示す。

これらの結果からアンテナ温度の分散  $(\sigma T_A)^2$  のなかで  $P_{On} - P_{Off}^{Sw}$  の影響が支配的である事がわかる。これはデータを取り込む際の誤差とデータを取り込んでいる20秒間のゲイン変動が分散に寄与しているためと考えられる。

以上の結果から得られた1セッションのアンテナ温度の分散  $(\sigma T_A)^2$  は  $(2.64K)^2$  となる。この値からセッション数を考慮して標準偏差  $\sigma T_A$  で表すと  $0.68K$  となり、観測で得られた  $0.43K$  と良い一致を示す。

しかし今回の観測で得られた有効開口面積とアンテナ温度の標準偏差  $\sigma T_A$  から式(8)により計算される最低検出感度は  $4.1Jy$  と計算され、これは理論上得られる理想的な最低検出感度<sup>(1)</sup>  $0.23Jy$  から大きく劣る結果となった。この原因としてデータ取得時のランダム誤差の影響が考えられる。観測数を増やすことが最も効果的な改善策だと思われるが、現在の観測手法では観測時間を延ばしても効率の良い感度の向上は望めないため新たな手法を検討する必要がある。またこれらのデータの中にはゲインの変動が含まれていることも考慮に入れなくてはならない。

参考までにビームの切り替え時に常温電波吸収体を測定出来るとすれば、今回の観測データから計算して、0.3秒のスイッチングを1分間行うことで  $0.9Jy$  の最低検出感度を見込むことが出来る、これにはゲイン変動はほとんど含まれていないと考えられるため、より真の値に近いと考えられる。

今回の観測の結果、アンテナ温度  $T_A$  として  $2.11K$  ( $\pm 0.43K$ ) が得られた。この値はほぼ妥当な値と考えられるが、この中にゲインの変動分が含まれていること、測定誤差が大きい事を考慮する必要がある。

## 5. まとめ

ディッケスイッチング型ラジオメータ製作し鹿島34mアンテナの22GHz受信機に取り付けて試験観測を行った。

観測で得られたアンテナ温度  $T_A$  の値は  $2.11K$  ( $\pm 0.43K$ ) で、この値から鹿島34mアンテナの開口効率は  $32.1\%$  と求められた。これは予想される計算値及び過去のデータを考慮しても妥当な値であると言える。しかしデータを取り込む際の誤差要因が大きいこと、またデータの中にゲインの変動も含まれていると考えられるため、今回のデータは参考データとして扱う必要がある。

今後ビームの切り替え際に常温電波吸収体を測定出来るようになれば、今回の観測データから計算して、0.3秒のスイッチングを1分間行うことで  $0.9Jy$  の最低検出感度を見込むことが出来る。これは NRAO グリーンバンクの 13.7m 鏡で行われた銀河面サーベイ<sup>(10)</sup> の 15GHz での最低検出感度  $2.5Jy$  を超える感度であり 34m アンテナを使ったサーベイ等に意味のある観測結果を望むことが出来る。

今後感度を向上させるため、まずスイッチング時に常温の電波吸収体を測定できるようにフロントエンドの改修を検討しなければならない、ただしこれを実現するには物理的な制約が大きく、またデータ取得時のロスを改善するためのソフト改修の検討も必要である。観測量が増えると、主ビームと参照ビームで観測時間に差があるため、それぞれのデータの分散にこの差が出てくることが予想され、これは積分時間を増やしていくに連れて精度確定の大きな誤差要因になるものと思われるため、今後の検討を要する。

## 謝 辞

アンテナの基礎を一から辛抱強く教えてくれた鈴山智也氏は、22GHz 受信機周波数変換部の改修も完遂されました、ここに感謝いたします。また近藤哲朗室長、中島潤一主任研究官はじめ宇宙電波応用研究室の皆さんには何度も有意義な討論をしていただきました、ここに感謝します。さらにデータ解析にあたり貴重なアドバイスを頂いた花土弘氏、花土ゆう子氏に感謝します。最後に毎年真夏の暑い中で 34m アンテナのメンテナンスをして頂いている地元関係者の皆様に心より感謝いたします。

## 参 考 文 献

- (1) Kraus J.D., Radio Astronomy 2nd., Cygnus

- Quasar Books.
- (2) 赤羽賢司, 海部宣男, 田原博人, 宇宙電波天文学, 共立出版.
- (3) Ulich B.L., Davis J.H., Rhodes P.J., Hollis J.M., "Absolute Brightness Temperature Measurement at 3.5-mm Wavelength", IEEE Trans. Antennas Propag., vol. AP-28, No.3. May 1980.
- (4) Mason B.S., Leitch E.M., Myers S.T., Cartwright J.K., Readhead A.C.S, "An Absolute Flux Density Measurement of the Supernova Remnant Cassiopeia A at 32GHz", Astron. J., 118:2908-2918, 1999 December.
- (5) 関戸衛「システム雑音温度」論争ゼミ資料 1999/6/28.
- (6) Meeks M.L., Methods of Experimental Physics Vol.12-Part B, P-203, Academic Press.
- (7) Baars J.W., Genzel R., Pauliny-Toth I.I.K., Witzel A., "The Absolute Spectrum of CasA; An Accurate Flux Density Scale and a Set of Secondary Calibrators", Astron. Astrophys., 61,99-106 (1977).
- (8) Ott M., Witzel A., Quirrenbach A., Krichbaum T.P., Standke K.J., Schalinski C.J., Hummel C.A., 1994, "An updated list of radio flux density calibrations", Astron. Astrophys., 284, 331-339.
- (9) Dent W., "A Flux-Density Scale for Microwave Frequencies", Astrophys. J., 177:93-99, 1972 October 1.
- (10) Langston G., Minter A., D'Addario L., Eberhardt K., Koski K., Zuber J., "The First Galactic Plane Survey at 8.35 and 14.35GHz", Astron. J., Volume 119, Issue 6, pp.2801-2827.