

## 山口32mの22GHzにおける開口能率

藤沢健太

### (1) はじめに

22GHz帯において山口32m電波望遠鏡の開口能率を測定したので、以下に報告する。試験受信の結果は「22GHz試験受信 061005.doc」において報告した。システム雑音温度の測定、損失量の推定、大気の吸収量などを測定できるようになり、W49Nの水メーザ受信の結果から、開口能率の推定値として11%という値が得られている。

水メーザの電波強度は激しく時間変動するため、電波強度がよりよくわかった天体を利用して測定を行うことが望ましい。22GHzでは観測システムの感度が低くなる一方、ビームサイズ小さくなる。したがって参照電波源は、(A) フラックス密度が大きい、(B) サイズがビームより十分小さい、という条件を満たすことが必要である。山口32mのビームサイズは2分角以下(22GHzbeam061019.docを参照)と予想されるので、天体のサイズは0.5分角以下であることが望ましい。これらの条件を満たす天体として、木星を利用することとした。Ulich(1981)によれば木星の輝度温度は150K(誤差10%以下)である。木星の視半径は約16秒角(視直径は32秒)であり、これから計算されるフラックス密度は44Jyである。フラックス密度は十分とはいえないが、測定に使える大きさである。サイズはやや大きい、ビームに比べると十分小さい。

### (2) 観測

#### 2-1. 観測の概要

観測は2006年10月8日、12日、14日の3回、行われた。観測時間は日本時間の14時~17時であり、木星が南中から西へ沈む時間帯である。木星の赤緯は-15度付近であり、南中時の高度は40度未満である。開口能率の測定は仰角が38度から21度の範囲で行われた。

測定は大気の吸収量の測定とともに行った。まず仰角を85度から10度まで変化させてシステム雑音温度の測定を行い、この結果から大気の吸収量を測定する。次に木星のON/OFFを繰り返して受信パワーの差を測定する。得られた木星のアンテナ温度に吸収量の補正を施し、その結果を用いて開口能率を計算する。

#### 2-2. 大気の吸収量

大気の吸収量の測定は1日の観測時間中に複数回行っている。測定を行った3日では、測定時間(3時間以下)内では有意な変動は見られなかったため、平均した値を表1に示す。山口地方気象台が測定した気温と湿度を気象庁のWebサイトから取得して、あわせて示している。

表 1. 天頂における光学的厚み

測定日時	天頂大気厚	気温 (°C)	湿度 (%)	水蒸気量 [kg m <sup>-3</sup> ]	コメント
1 0 月 5 日 5 時	0.263	23.7	65	0.0139	試験受信
1 0 月 8 日 8 時	0.089	21.3	53	0.0099	
1 0 月 1 2 日 7 時	0.137	27.5	46	0.0122	
1 0 月 1 4 日 6 時	0.120	25.8	37	0.0089	

### 2-3. 木星受信

木星電波のフラックス密度は次の式で得られる。

$$S_\nu = \frac{2\nu^2}{c^2} kT_B \Delta\Omega$$

輝度温度は  $T_b = 150 \text{ K}$  を採用する。立体角  $\Delta\Omega = 1.89 \times 10^{-8} \text{ str}$  は視直径 16 秒角から計算できる。これから木星のフラックス密度を  $4.4 \text{ Jy}$  が得られる。以下では木星はビームに対して十分小さいと仮定して測定及び計算を行った。

木星電波の測定では、望遠鏡を木星に向けた状態 (ON) と外した状態 (OFF) を交互に行い、受信パワーの変化を測定した。オフ点は方位角方向に +10 分角とした。また測定前に微小角オフセットを加えて受信強度が最大となる点を探した。受信パワーの差は 0.04 dB 程度であり、大気とシステムゲインの時間変動に隠れてしまうほど小さい値であるが、数回ずつ測定を繰り返して結果を平均した。

### 2-4. 測定結果

スカイの受信パワー  $P_{sky}$ 、木星に向けた場合の受信パワー  $P_{sky+J}$ 、システム雑音温度  $T_{sys}$ 、アンテナ温度  $T_a$  の関係は次の式で表される。

$$\begin{aligned} P_{sky} &= G \{ T_{RX} + T_{amb} (1 - e^{-\tau} L_b L_f) \} \\ &= G T_{sys} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{sky+J} &= G \{ T_{RX} + T_{amb} (1 - e^{-\tau} L_b L_f) + T_a^* e^{-\tau} L_b L_f \} \\ &= G \{ T_{sys} + T_a \} \end{aligned}$$

これから

$$Y_4 \equiv \frac{P_{sky+J}}{P_{sky}} = \frac{G(T_{sys} + T_a)}{GT_{sys}}$$

を用いて、アンテナ温度は

$$\begin{aligned} T_a &= T_{sys}(Y_4 - 1) \\ T_a^* &= T_a(e^{-\tau} L_b L_f)^{-1} = T_a L^{-1} \\ &= T_{sys} L^{-1}(Y_4 - 1) = T_{sys}^*(Y_4 - 1) \end{aligned}$$

と表せる。吸収係数  $L$  のうち、観測システムによる部分  $L_b L_f = 0.765$  は既知であり、天頂における大気の光学的厚み  $\tau_0$  は毎日測定されているので、大気の吸収量を補正したアンテナ温度  $T_a^*$  が得られる。 $T_a^*$  と開口能率の関係は次の式で表される。

$$2kT_a^* = \eta AS_\nu$$

これから開口能率  $\eta$  が得られる。測定と計算の結果を表 2 に、仰角に対してプロットした図を図 1 に示す。

表 2. 開口能率の測定結果

Date	Time	Az	El	Tsys [K]	Tsys* [K]	開口能率
2006/10/8	8:05	225	25	288	465	0.25
			21	289	486	0.23
2006/10/12	5:41	192	38	452	466	0.36
	6:16	199	36	452	473	0.38
	6:33	206	35	452	478	0.34
	7:11	213	32	451	493	0.38
	7:39	220	28	449	519	0.38
	8:01	225	24	446	555	0.31
2006/10/14	5:15	186	38	282	447	0.32
	5:37	191	37	283	449	0.32
	6:00	197	37	286	458	0.32

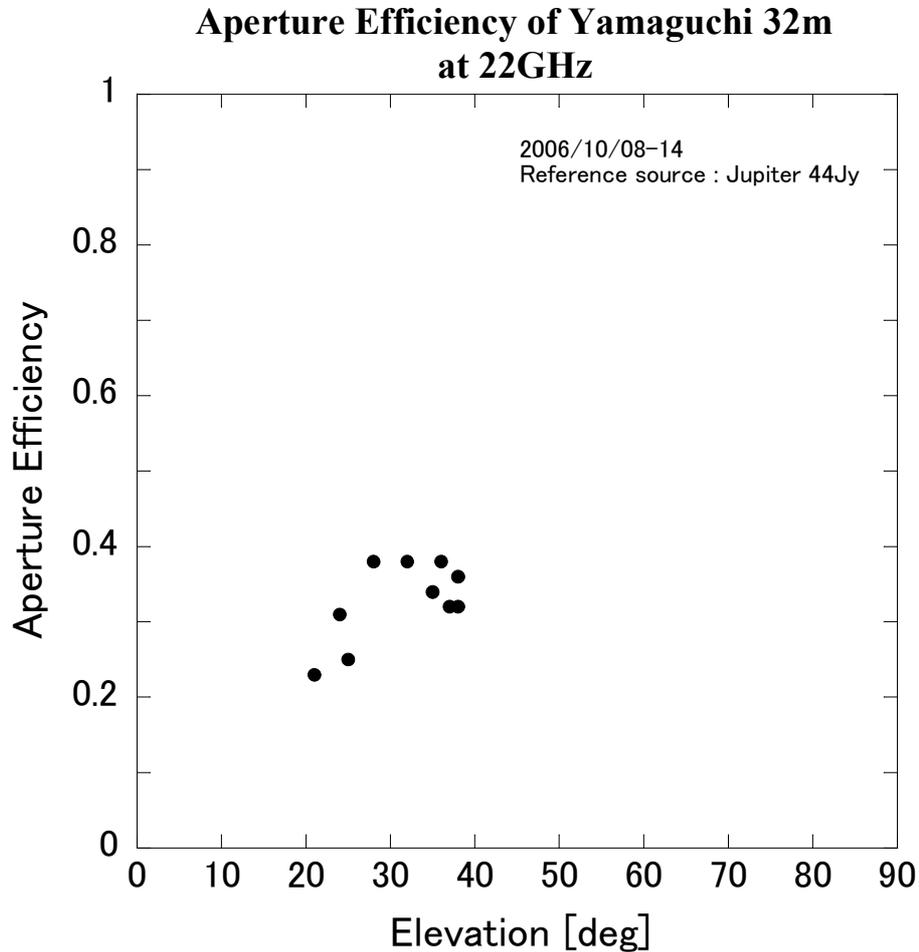


図 1. 開口能率の仰角依存性

### (3) 考察

開口能率は約 30% という結果を得た。8.4 GHz における開口能率は約 70% であり、この周波数帯では鏡面の凸凹による能率低下はほぼ無視できる。22 GHz の開口能率が低下している原因を鏡面の凸凹によるものと仮定し、凸凹の分布はガウス関数でありその rms を  $\varepsilon$  とすると、次の関係が成り立つ。

$$\eta = \eta_0 e^{-\left(\frac{4\pi\varepsilon}{\lambda}\right)^2}$$

ここで  $\eta_0 = 0.7$  は凸凹より十分長い波長での開口能率である。これから  $\varepsilon = 0.98 \text{ mm}$  が得られる。これは山口 32m の建設当時の値 0.67 mm (仰角 30 度、) よりもやや悪いが、ほ

ぼつじつまの合う値である。やや値が悪くなっているのは、鏡面照射の悪さと経年劣化が主な要因であると考えられる。

$\epsilon = 0.98 \text{ mm}$  から逆に他の周波数での開口能率を計算した結果を表3に示す。15 GHz以下ではほとんど鏡面の影響はないと考えてよい。逆に43 GHzでは全く観測できないと考えるべきである。

表3.  $\epsilon = 0.98 \text{ mm}$  から推定した開口能率

周波数 [GHz]	波長 [mm]	開口能率 [%]
12	25	55
15	20	48
22.5	13.3	30
43	7.0	3

開口能率30%という結果を得る過程で給電部損失  $L=0.765$  という値を用いたこと、システム雑音温度が高く、相対的に測定精度が低いことなど、まだ系統的な誤差を取り除ききれっていない要因・可能性がある。今後、より正確な測定を行うことが必要であるが、それでも、水メーザ天体及び連続波天体の受信に成功し、測定全体はつじつまがまっていることを考慮すると、開口能率が30%という結果はかなり信頼できる。

開口能率が30%ということは、VERA 20mの集光力を上回ることを意味する。したがって山口 32mは日本の22 GHz VLBI観測において強力な観測局となる可能性を持っている。

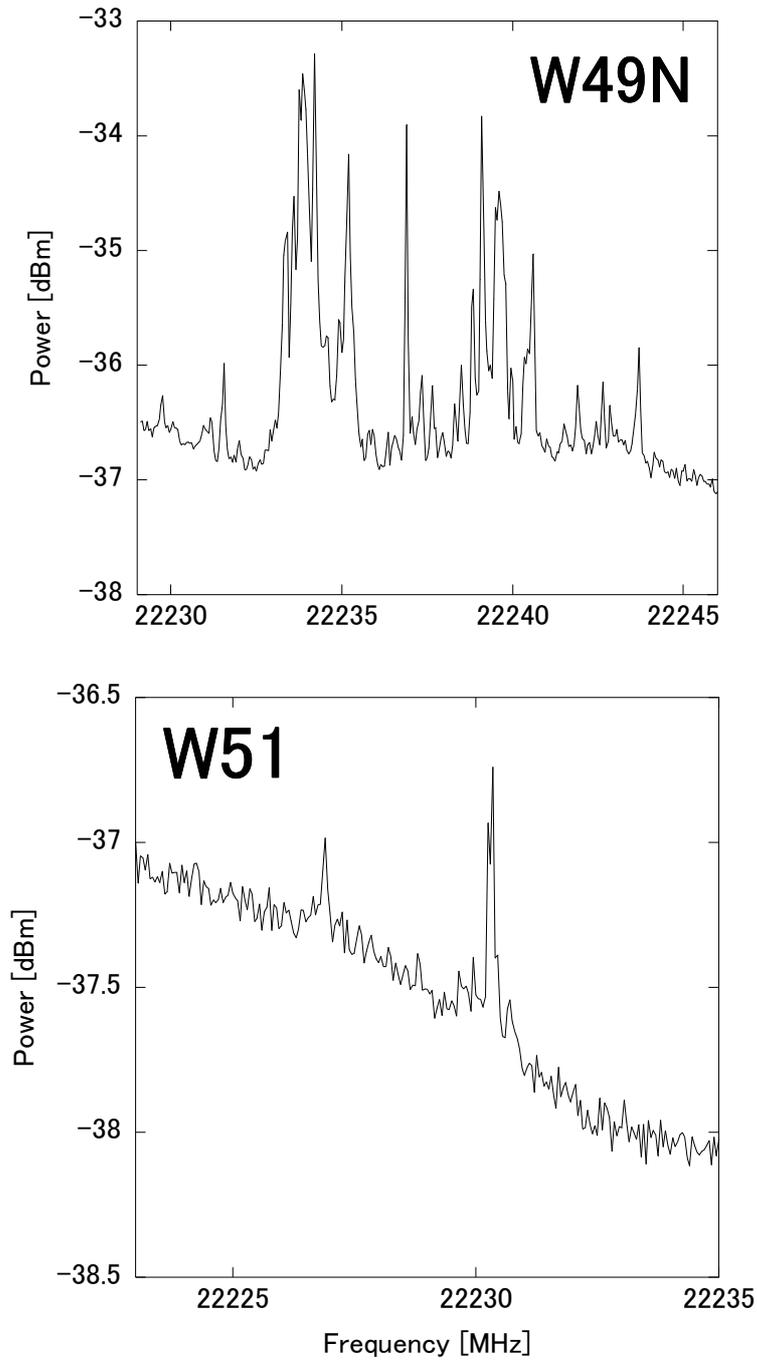
(以上)

#### 参考文献

- [1] Ulich, B. L., AJ., 86, 1619 (1981)
- [2] 22 GHz 試験受信 061005.doc
- [3] 22GHzbeam061019.doc
- [4] 22 GHz 単体試験 060730.doc
- [5] 国際通信の研究 No.104, pp.30, 1980

### 補遺A. 22GHz水メーザの試験受信

10月23日に行った22GHzVLBI試験観測の前に、強力な水メーザを2天体観測し、そのスペクトルをスペアナで取得した。天体はW49NとW51である。そのスペクトルを以下に示す。このときのシステム雑音温度（大気の吸収量を含まない）は290K、仰角は67度である。



図A. 試験受信した水メーザのスペクトル