

# 山口第4アンテナ（32m）の4GHz帯試験観測結果報告

2000年6月27日

2000年7月4日（追記）

国立天文台

川口則幸、藤沢健太

## まえがき

山口第4アンテナは建設後21年を経過しており、アンテナの効率に経年変化がある可能性が考えられる。このアンテナを新たに電波天文観測目的で8GHz帯や22GHz帯など現在の運用周波数帯より高い周波数帯で使用した場合、その効率低下が心配される。

そこで、現用周波数帯で建設時からどのくらいの効率低下が発生しているかを調べるために、建設時に観測した Taurus A を再び観測した。本資料は、その観測結果と効率低下に関する考察を行ったものである。

## 観測

2000年6月20日に観測を行った。観測の概要を表1に示す。

表1 効率観測の概要

| 項目    | 内容                            | 備考                |
|-------|-------------------------------|-------------------|
| 観測日時  | 2000年6月20日<br>07h00m00s/UT から | 天候は晴れ             |
| 観測天体  | Taurus A                      | 強度は建設時から変化しないとした。 |
| 観測周波数 | 4.0GHz                        | 中心周波数。            |
| 観測方法  | 赤緯オフセット待ち受け法                  | 0、±5′、±7′         |
| 観測装置  | 現用受信系とパワーメータ                  | 電力検出は全受信帯域        |
| 較正方法  | 標準ノイズダイオード                    | HP(ENR=14.85dB)   |

## 観測結果

図1に赤緯オフセット0におけるドリフトカーブを示す。ピーク受信点は時角方向に2.15′遅れている。これは、ビームポインティングのずれのためである。ドリフトカーブの半値幅は9.5′であるが、天体の広がり3′を加味するとビーム幅は9.0′になる。これは $70^\circ D/\lambda$ で略算されるアンテナビーム幅9.8′と良く一致している。略算結果は通常ビーム幅を広めに算出することを考慮すると、ビーム幅については大きな変化は認められない。

**BEAM PATTERN**  
source=TAU A 2000/06/20

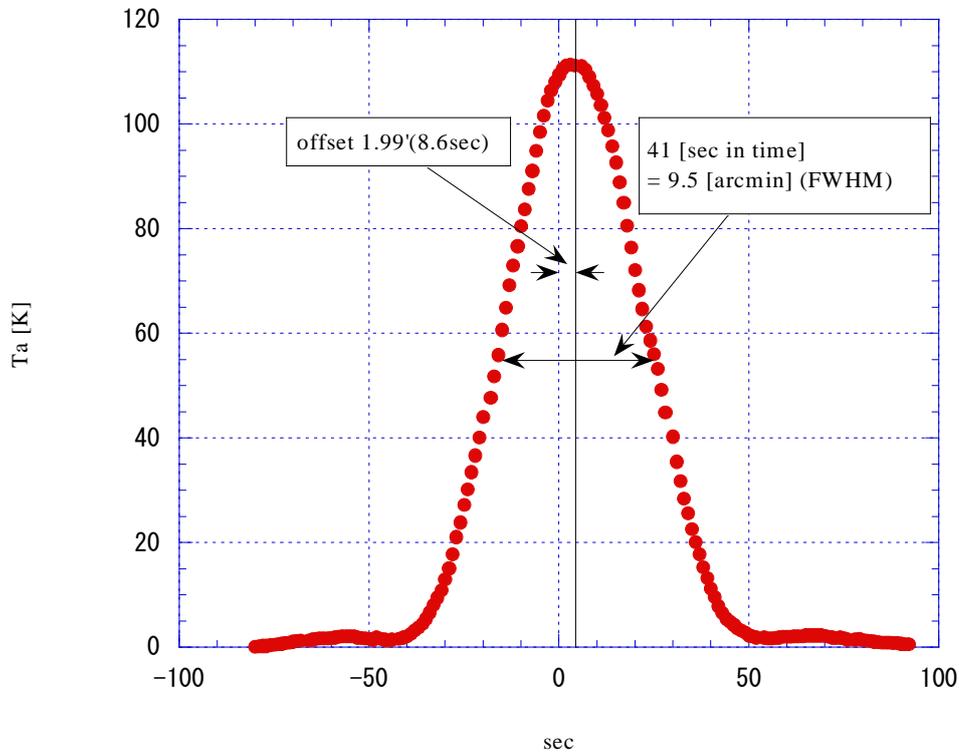


図1 Taurus A 観測時のドリフトカーブ (4.0 GHz)

図2に赤緯オフセットを変えたときのピーク受信レベルの変化を示す。各赤緯オフセットにおける計測値は、きれいにガウスカーブでフィッティングされる。これは、観測が正しく行われたことを物語っている。ピーク受信レベルの推定値は116.08 Kで赤緯オフセットは+1.21'であった。赤緯オフセットはビームポインティングのずれである。

表2に今回の観測結果をまとめる。

表2 観測結果のまとめ

| 測定項目    | 測定結果                          | 備考                                   |
|---------|-------------------------------|--------------------------------------|
| ピーク受信温度 | 116.08 K                      | AZ=276.7°、EL=32.0°<br>雑音注入レベルを基準とした。 |
| ビーム半値幅  | 10.6'                         | Tau A の広がりをもとにした。                    |
| ビームずれ   | $\Delta H = -8.6 \text{ sec}$ | $\Delta Az = +2.0'$ (+0.033°)        |
|         | $\Delta \delta = +1.21'$      | $\Delta El = -1.2'$ (-0.020°)        |

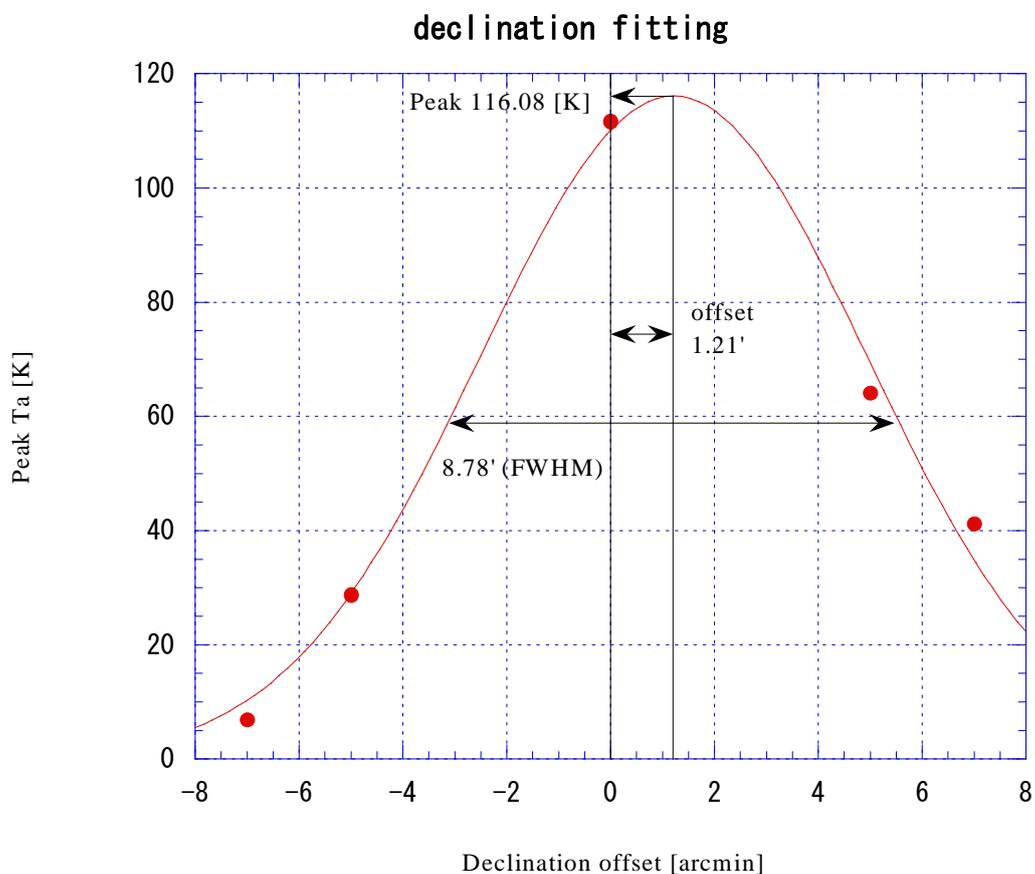


図2 赤緯オフセットを与えたときの観測結果

### 建設時の観測結果

表3に、建設時に実施された Taurus A の観測結果(三菱電機報告書からの抜粋)を示す。また、表4にこの観測及び他の天体の観測結果から導き出されたアンテナの開口効率を示す。

表3 三菱電機による Tau A の観測結果 (79年5月15日、4.0GHz)

| 偏波 | 観測時間      | Az     | El    | $\Delta Az$ | $\Delta El$ | Ts (K) |
|----|-----------|--------|-------|-------------|-------------|--------|
| R  | 18h39m45s | 276.38 | 31.66 | -0.034      | -0.218      | 135.5  |

表4 三菱電機による効率計測結果 (79年5月15日)

| 周波数<br>(MHz) | 電波星名  |       |       | 平均値   |
|--------------|-------|-------|-------|-------|
|              | Cas A | Tau A | Cyg A |       |
| 4000         | 81.6% | 81.1% | 77.3% | 80.0% |

## 経年変化に対する考察

今回の観測結果と、建設時の観測結果を表5に比較する。

表5 計測結果の比較と評価

| 計測項目   | 1979年5月15日       | 2000年6月20日             | 評価                 |
|--------|------------------|------------------------|--------------------|
| 観測方位   | Az=275.7         | AZ= 276.7°             | ほぼ同じ方位角で観測が行えた。    |
|        | El=33.09         | EL=32.0°               |                    |
| 天体受信強度 | 135.56 K         | 116.08 K               | 低下している。            |
| ビーム幅   | 9.8' (70° D/λ)   | 9.0' (時角)<br>8.3' (赤緯) | ほぼ同じ(建設時のビーム幅は不明)  |
| ビームずれ  | ΔAz=-0.034° (注1) | ΔAz=+0.033°            | 20年経過するとこのくらいはずれる? |
|        | ΔEl=-0.218° (注2) | ΔEl=-0.020°            |                    |

表5から明らかなように、ビームの形状には大きな変化は認められないが受信強度が大きく低下している(0.8563、-0.67dB)。この原因として考えられるのは、

- 1) 鏡面精度の劣化
- 2) オーミック損失の増加

などが考えられる。受信強度の低下を全て鏡面精度の劣化と考えると、当初の効率ダイアグラム(表8)にある主鏡の面精度(0.64mm(rms))が2.26mm(rms)に劣化したことになる。-0.67dBの低下のうち-0.2dBがオーミック損失の増加と考える(鏡面精度による利得低下は-0.47dB)と、鏡面精度の劣化は2.06mm(rms)となる。オーミック損失と鏡面劣化の関係及び、8/22GHz帯で予想される開口効率を表6に示す。

表6 4GHz帯における特性変化と8/22GHz帯における性能予想

| 4GHz帯における特性変化 |          |          | 8GHz帯の効率予想 (%) | 22GHz帯の効率予想 (%) |
|---------------|----------|----------|----------------|-----------------|
| オーミック損失増加(dB) | 鏡面損失(dB) | 鏡面精度(mm) |                |                 |
| 0             | -0.67    | 2.43     | 36             | 0               |
| -0.1          | -0.57    | 2.25     | 40             | 1               |
| -0.2          | -0.47    | 2.06     | 44             | 1               |
| -0.3          | -0.37    | 1.85     | 49             | 3               |
| -0.4          | -0.27    | 1.62     | 54             | 6               |
| -0.5          | -0.17    | 1.34     | 60             | 13              |
| -0.6          | -0.07    | 0.98     | 66             | 28              |
| -0.67         | 0        | 0.63     | 71             | 48              |
| 理想鏡面          |          |          | 74             | 70              |

今回得られた結果、全てが鏡面の劣化であるとする<sup>2</sup> 2 GHz 帯での観測は不可能である。しかし、この最悪の場合でも 8 GHz 帯では十分な開口効率が得られることが分かる。オーミック損失の増加が 0.5 dB 以上であるとし<sup>3</sup>ない限り、2 GHz 帯の給電装置は、製作しても有効に利用できない可能性が高い。有効に利用するためには、鏡面調整を再度行う必要があると思われる。

### オーミック損失の推定

表 6 に明らかなように、オーミック損失がどのくらい増加したかによつての鏡面劣化の評価が大きく異なる。そこで、今回計測したシステム雑音温度の計測結果からオーミック損失の増加を推定することにした。表 7 に、今回の測定結果と過去の計測結果から推定されるシステム雑音温度を示す。今回の測定では、明らかにシステム雑音温度が上昇しており、オーミック損失が増加していることがうかがえる。

表 7 システム雑音温度の計測結果と過去との比較

|          | 今回の計測 | 過去の計測 | 備考                     |
|----------|-------|-------|------------------------|
| アンテナ雑音温度 | ----- | 21 K  | 1979.5.19, EI=66.5°    |
| 受信機雑音温度  | ----- | 47 K  | 1993.3, カプラ損失 0.1dB 想定 |
| システム雑音温度 | 105 K | 68 K  | EI=66.5° @4000MHz      |
| 雑音の上昇    | 37 K  |       | 0.6 dB @ 290 K         |

システム雑音温度の上昇をオーミック損失の増加と考えると、損失の増加は 0.6 dB となる。従つて、表 6 から、鏡面精度の劣化は 0.63 mm(rms) から 0.98 mm(rms) と考えられ、8 / 2 GHz 帯の開口効<sup>4</sup>率の期待値はそれぞれ 66%、28% となる。2 GHz 帯における 28% の開口効率はマイクロ波帯で設計された大型アンテナとしては大変良い性能であるといえる。但し、ここで問題なのは、受信機雑音温度が 1993 年の計測以来変化していないとしているところにある。もし、受信機雑音温度が劣化により上昇していれば、その分オーミック損失は減ることになる。別紙に、受信機雑音温度が変化しない場合と、10 K 劣化した場合についてのオーミック損失の予測検討結果を示す。受信機の雑音温度が 10 K 上昇したとすると、オーミック損失の増加は 0.43 dB (鏡面損失の増加 0.24 dB) となり、この時の 8 / 2 GHz 帯で期待される開口効率はそれぞれ 56%、8% となる。

現状入手可能なデータに基づく効<sup>5</sup>率の期待性能をここで述べたが、より正確な評価を下すためには、

- (1) 受信機雑音温度の再計測
- (2) ビーム伝送系、1 次給電装置ホーンカバーの清掃を行つて天体の再観測などを行うことが望ましい。特に (1) だけでも行うことは重要である。

(受信機雑音温度が変化しない場合)

$$\begin{aligned}
 Ladd &:= 0.6 \quad (\text{損失増加}) & T0 &:= 290 \\
 L0 &:= 0.10 \quad (\text{ISO, BRF, DC 2 個等、アンテナ受信機間の損失}) \\
 Tr &:= 40 \quad (\text{1993.3計測}) & Tant &:= 21 \quad (\text{1979.5.19計測}) \\
 \alpha &:= 10^{\frac{-Ladd}{10}} & \beta &:= 10^{\frac{-L0}{10}} \\
 Tantrx &:= T0 \cdot (1 - \beta) & Tantrx &= 6.601 \\
 Tsys &:= T0 \cdot (1 - \alpha) + Tr + Tantrx + Tant & Tsys &= 105.022
 \end{aligned}$$

(受信機雑音温度が10K上昇した場合)

$$\begin{aligned}
 Ladd &:= 0.43 \quad (\text{損失増加}) \\
 L0 &:= 0.10 \quad (\text{ISO, BRF, DC 2 個等、アンテナ受信機間の損失}) \\
 Tr &:= 50 \quad (\text{1993.3計測より10K上昇}) & Tant &:= 21 \quad (\text{1979.5.19計測}) \\
 \alpha &:= 10^{\frac{-Ladd}{10}} & \beta &:= 10^{\frac{-L0}{10}} \\
 Tantrx &:= T0 \cdot (1 - \beta) \\
 Tsys &:= T0 \cdot (1 - \alpha) + Tr + Tantrx + Tant & Tsys &= 104.939
 \end{aligned}$$

### 参考

表8に、参考として建設時における効率ダイヤグラムを示す。

表8 三菱電機の効率計算値

| 損失要因        |       | 損失 (dB)      |
|-------------|-------|--------------|
| コルゲートホーンの損失 |       | -0.03        |
| スピルオーバー     | 主鏡    | -0.02        |
|             | 副鏡    | -0.02        |
|             | ビーム伝送 | -0.12        |
| 鏡面精度        | 主鏡    | -0.05        |
|             | 副鏡    | -0.01        |
|             | ビーム伝送 | -0.02        |
| ブロッキング      |       | -0.13        |
| 開口分布        |       | -0.42        |
| 給電装置        |       | -0.25        |
| 総合損失        |       | -1.07(78.2%) |