

KDD 山口第4アンテナの受信機雑音温度の計測

2000年7月26日

国立天文台 川口則幸、藤沢健太、井口 聖

はじめに

「山口第4アンテナ（32m）の4GHz帯試験観測結果報告（2000年7月4日）」で、電波源 Taurus-A の受信強度が0.67dB低下していることが分かった。この低下は主鏡面の精度による開口効率の低下か、給電損失の上昇のどちらかが原因であると思われる。もし後者が原因で受信強度が低下したのならば、その主たる原因であるビーム伝送系を清掃するだけで利得の改善が図れる。給電部損失の増加だけなので、短波長帯（22GHz帯）の大開口径電波望遠鏡として最も重要な部分を占める直径32mの主反射鏡自体は、建設当時の性能（鏡面精度0.63mm(rms)）を現在でも保持していると結論できる。建設当時の精度が維持されていれば、波長1.3cm（22GHz帯）という短波長帯でも高いアンテナ利得（効率48%）が期待でき、国立天文台が現在推進している VERA 観測計画において山口第4アンテナが重要な役割を果たすことが期待できる。しかし、給電部損失の上昇がほとんどなく、電波源 Taurus-A の受信強度低下が主鏡面の精度劣化によるものであれば22GHz帯での観測は困難である。但し、受信強度低下の原因が全て鏡面精度の劣化と考えても8GHz帯では36%の効率が期待できるので、本アンテナは運用上現周波数が8GHzとはなるものの、電波望遠鏡としての利用は十分期待できる。

試験観測結果報告では、システム雑音温度の計測結果が予想よりも高く、損失に換算すると0.6dBの上昇であることが指摘された。すなわち、電波源 Taurus-A の受信強度低下の原因が給電損失の上昇であることが強く示唆されている。しかし、比較の対象としている過去におけるシステム雑音温度の計測データが入手できず、アンテナ雑音温度データのみだったので、現在のシステム雑音温度の計測結果だけでは「天体の受信強度低下が給電損失の上昇のためである」と断定はできない。高いシステム雑音温度の計測結果は、単に高い受信機雑音温度を仮定すれば説明できてしまうからである。そこで、今回再度7月26日に Taurus-A の観測を実施すると共に、受信機の雑音温度も計測することにした。

雑音温度の計測原理

図1に雑音温度の計測系統図を示す。ノイズダイオードで発生される雑音の注入点（カプラ結合ポート）から受信機側を見たときの雑音温度を T_{RX} 、アンテナ側を見たときの雑音温度を T_{ANT} とする。また、カプラから注入されるノイズダイオード雑音の雑音温度を、 T_{ND} とする。

T_{ANT} は、ホーンの前面を無反射吸収体で覆った時には

$$T_{ANT} = \frac{T_0}{L} + T_0 \left(1 - \frac{1}{L}\right) = T_0 \quad (1)$$

となって、給電部損失の如何に関わらず、環境温度 T_0 となる。

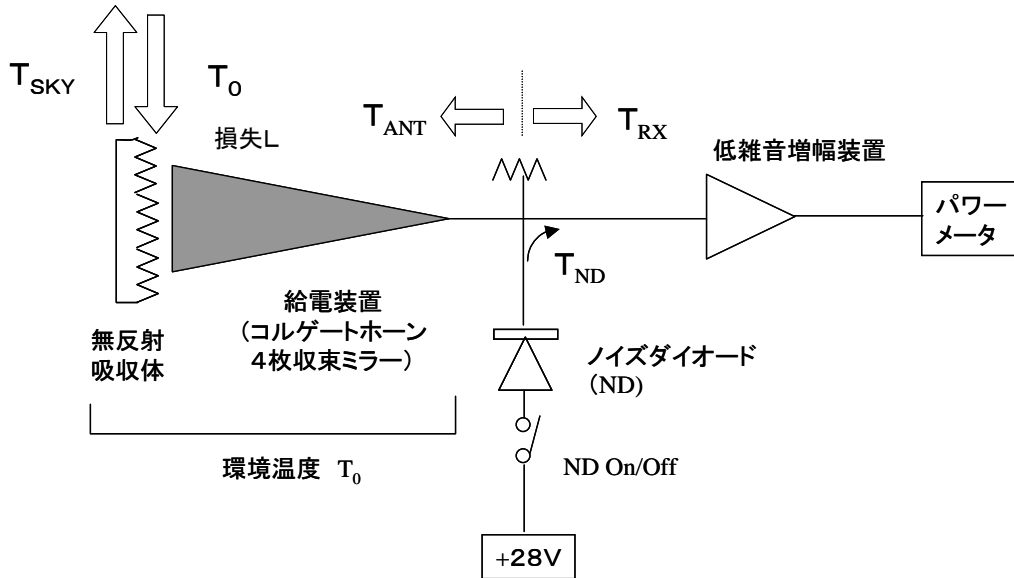


図1 雑音計測ブロック構成図

また、無反射吸収体を取り去ったときには、

$$T_{ANT} = \frac{T_{SKY}}{L} + T_0 \left(1 - \frac{1}{L}\right) \quad (2)$$

となる。ここで、 T_{SKY} はホーンの前面から宇宙空間を見たときの雑音温度である。システム雑音温度は、アンテナ雑音温度 T_{ANT} と T_{RX} の和で受信系全体の雑音温度になる。

$$T_{SYS} = T_{ANT} + T_{RX} \quad (3)$$

雑音温度の計測はパワーメータで受信系システムから出力される雑音の全電力を測定することで行われる。パワーメータの読みは受信機の増幅率を G 、帯域幅を B 、ボルツマン定数を k とすると、

$$P_{OFF} = G k T_{SYS} B = G k (T_{ANT} + T_{RX}) B \quad (4)$$

となる。ここで、 P_{OFF} はノイズダイオードが OFF の時の電力を示す。次にノイズダイオードを ON にして同様の雑音電力計測を行うと、その時の電力値は、

$$P_{ON} = G k (T_{SYS} + T_{ND}) B = G k (T_{ANT} + T_{ND} + T_{RX}) B \quad (5)$$

となる。(4) と (5) の比 (Y) から T_{ND} が既知であるとする T_{SYS} が以下のように求まる。

$$Y = \frac{P_{ON}}{P_{OFF}} = \frac{T_{SYS} + T_{ND}}{T_{SYS}} = 1 + \frac{T_{ND}}{T_{SYS}} \quad (6)$$

$$T_{SYS} = \frac{T_{ND}}{Y - 1} \quad (7)$$

(7) 式で表されるシステム雑音温度の計測を、ホーンの前面に無反射吸収体をおいて行えば、(1) (3) 式から

$$T_{SYS} = T_{ANT} + T_{RX} = T_0 + T_{RX} \quad (8)$$

となつて、環境温度 T_0 が既知 (気温) として受信機雑音温度 T_{RX} を求めることができる。

計測結果の評価

求められた受信機がその設置時点 (1993年3月) の計測結果 (46 K) と一致していれば、試験観測時のシステム雑音温度の上昇は、すべて給電系の損失増加のためであると断言できる。また、受信機雑音が46 Kよりも上昇していれば、その計測値によって、前回の報告書の効率予測表は本資料の表2に書き換えねばならない。ただし、表2の計算に当たってシステム雑音温度の計測値は前回の値 (2000年6月20日、105 K @ EL=66.5°) に基づいて行った。正確には、今回予定されている観測時の値から表1に示す過去の計測結果を参照にしつつ、給電部損失の正しい見積もりを与えなければならない。

表1 2000年6月20日の試験観測時のデータ解析で仮定した過去の雑音温度

	2000.6月の計測	過去の計測	備考
アンテナ雑音温度	-----	21 K	1979.5.19, El=66.5°
受信機雑音温度	-----	46 K	1993.3, カプラ損失 0.1dB 想定
システム雑音温度	105 K	67 K	El=66.5° @4000MHz
雑音の上昇	38 K		0.6 dB @ 293 K

表2 受信機雑音温度の計測結果から予想される望遠鏡性能

4 GHz帯における受信機の特性変化				8 GHz帯の効率予想 (%)	22 GHz帯の効率予想 (%)
受信機雑音温度 (K)	給電部損失増加 (dB)	鏡面損失(dB)	鏡面精度(mm)		
84	0	-0.67	2.43	36	0
77	-0.1	-0.57	2.25	40	1
71	-0.2	-0.47	2.06	44	1
64	-0.3	-0.37	1.85	49	3
58	-0.4	-0.27	1.62	54	6
52	-0.5	-0.17	1.34	60	13
46	-0.6	-0.07	0.98	66	28
42	-0.67	0	0.63	71	48
理想鏡面			0	74	70

表2で与えられている受信機雑音温度が84 Kよりも高くなった場合でかつ表1に示す6月のシステム雑音温度が再現された場合、過去の計測においてアンテナ雑音温度がオーバーエスティメートされた可能性が高いが、それにしてもシステム雑音温度の上昇はほとんど受信機雑音温度の上昇のためと見なすことができ、給電部損失の劣化は少ない、すなわち電波天体の観測強度の低下は鏡面精度の大きな劣化のためであると結論せざるを得ない。

一方、受信機雑音温度が42 Kよりも低く計測された場合には、電波天体の観測強度低下を上回る給電部損失が発生したことになり、理論的に矛盾する。今回の計測系の全面的な見直しとチェックが必要とされる。もしシステム雑音温度の計測が正しい場合、異常に低い受信機雑音温度は、アンテナ雑音温度が過去の計測結果（79年5月、21 K）に比べ異常に高い値を示していることを意味するので、天空雑音温度の上昇を考えたとしても（2）式に示されている給電部損失（L）が大きくなっている事実は間違いないであろう。

いずれにしろ「低い受信機雑音温度の計測結果」が得られることを期待する。