

# 山口第4アンテナ（32m）の4GHz帯試験観測結果報告

## 続報

2000年7月28日

国立天文台

川口則幸、藤沢健太

### 0. まえがき

本年6月20日に行われた山口第4アンテナ測定（山口第4アンテナ（32m）の4GHz帯試験観測結果報告、川口）の結果、アンテナの能率が $0.8563 = -0.67\text{dB}$ 低下していることが報告された。この低下の原因として鏡面精度の低下と鏡面・伝送系のオーミックロスの増加の2点が考えられる。6月20日に測定されたシステム雑音温度は、アンテナ建設当時および受信機新設時のデータから推定されるシステム雑音温度より307K、上昇している。これがオーミックロスの増加によるとすると、鏡面精度の低下の度合いは $-0.67\text{dB}$ より小さい可能性がある。しかし6月20日の測定では受信機雑音温度を分離して測定することができなかつたため、受信機雑音温度の増加がシステム雑音温度の増加に寄与している可能性があった。また、システム雑音温度には周波数特性があるが、6月20日の測定では観測周波数帯全域をパワーメータで測定していた。そのため周波数方向の特性が平均化され、正確なシステム雑音温度の測定ができなかつた。

これらの曖昧性を排除するため、7月26日に受信機雑音温度測定および周波数特性を持つシステム雑音温度の測定を行った。さらに前回のアンテナ温度の測定の再現性を測定するために、再びTaurus-Aのドリフトスキャン観測を行った。さらに大気放射の影響を分離するために仰角を変化させてシステム雑音温度の測定を行った。本資料は、その観測結果と効率低下に関する再考察を行ったものである。

### 1. 観測

2000年7月26日に観測を行った。観測の概要を表1に示す。

表1 能率観測の概要

項目	内容	備考
観測日時	2000年7月26日 05h00m00s/UTから	天候は晴れ、気温約30°C
観測天体	Taurus A	強度は建設時から変化しないとした
観測周波数と偏波	4.0GHz±0.5GHz RHCP	4.0GHzのデータについて解析をおこなった
観測内容 (1) アンテナ温度測定 (2) 受信機雑音温度測定 (3) 大気放射雑音測定	(1) 赤緯オフセット待受 (2) ホーン前面に無反射吸収体 (3) 仰角変化によるシステム雑音測定	オフセット量 0、±3'、±6'
観測装置	現用受信系とパワーメータ、 スペクトラムアナライザ	パワーメータの電力検出は 全受信帯域
較正方法	標準ノイズダイオード	HP(ENR=14.85dB)

## 2. 観測結果

### (2-1-1) ドリフトスキャンによる Tau-A のアンテナ温度測定

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。この結果は6月20日の測定をよく再現し、きれいなビームパターンが得られている。

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。やはり6月20日の測定を再現し、きれいにガウスカーブでフィッティングされている。ピーク受信レベルの推定値は112.63K、赤緯オフセットは+0.17'であった。アンテナ建設当時のデータと比較するため、このピーク値(6月20日の測定=116.08Kも)は大気による吸収を受けた値のまま示してある。

表2に前回(6月20日)と今回の観測結果をまとめる。

表2 ドリフトスキャン結果のまとめ

測定日時	測定項目	測定結果	測定角度
2000/07/26 今回の測定	ピーク受信温度	112.63K	AZ=281.0°、EL=24.0°
2000/06/20 前回の測定	ピーク受信温度	116.08K	AZ=276.7°、EL=32.0°

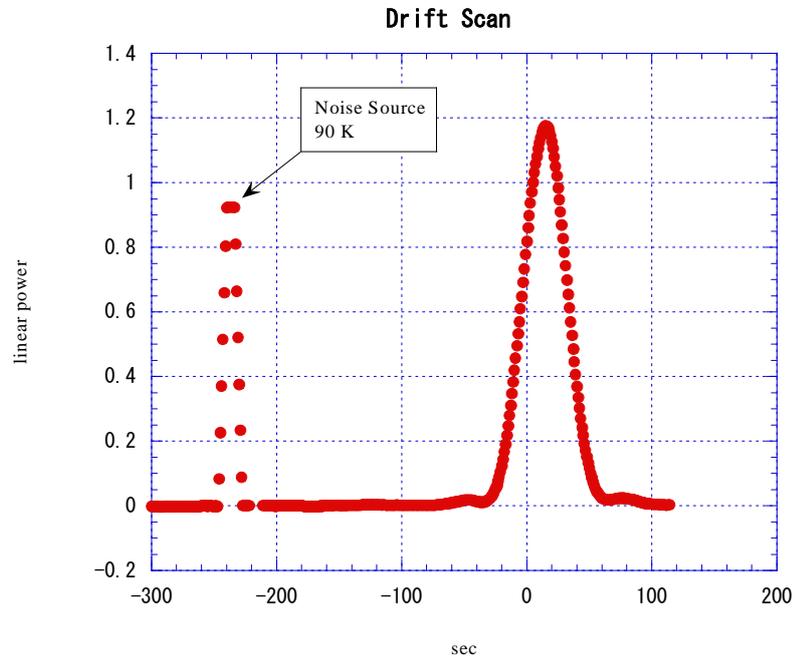


図1 Taurus A 観測時のドリフトカーブ (4.0 GHz)

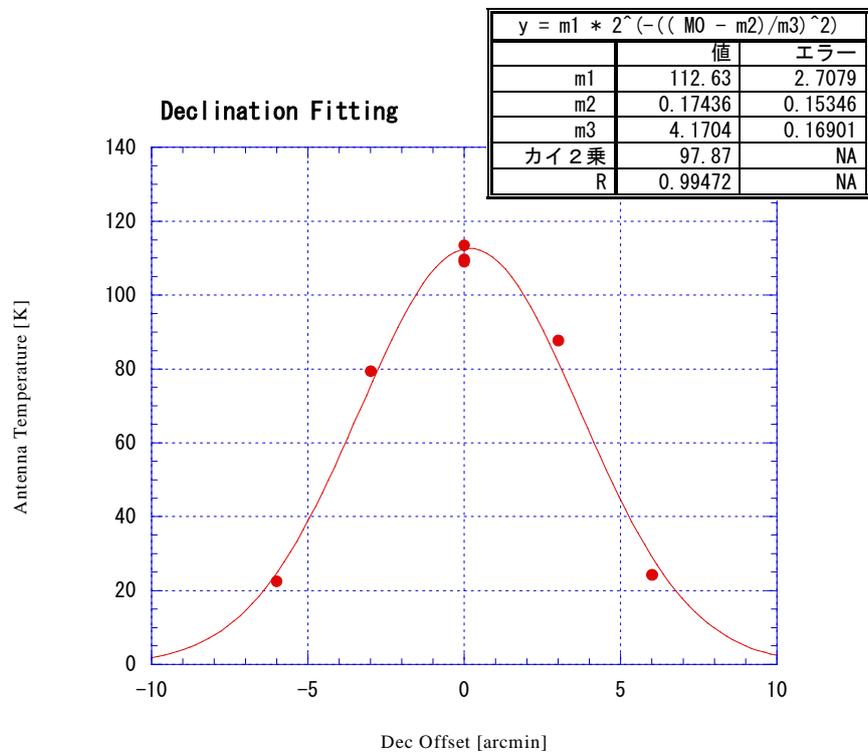


図2 赤緯オフセットを与えたときの観測結果

(2-1-2) 建設時のアンテナ温度測定結果

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。ここで示す  $T_s$  は大気吸収の影響を受けたアンテナ温度である。

表3 三菱電機による Tau A の観測結果 (1979年、4.0GHz)

偏波	観測日	Az	El	$T_s$ (K)	比較データ
RHCP	5月15日	272.9	37.19	135.351	
RHCP	5月15日	275.68	33.09	135.556	2000/06/20
RHCP	5月15日	276.38	31.66	135.492	
RHCP	5月15日	278.08	28.87	134.546	
RHCP	5月13日	279.56	26.42	132.621	
RHCP	5月13日	281.05	23.95	131.645	2000/07/26
RHCP	5月13日	281.86	22.62	130.174	
RHCP	5月13日	283.76	19.50	129.252	

今回の測定結果と建設当時のアンテナ温度  $T_s$  を比較するために、横軸に仰角、縦軸にアンテナ温度をプロットしたものが図3である。異なった仰角でもアンテナ温度の低下は約19K一定であり、ゲインの低下 (-0.67dB) が仰角にほとんど依存しないことを示している。

表4に測定結果の比較と評価を示す。

表4 測定結果の比較と評価

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	同じ方位角で測定
	El=33.09	EL=32.0	
天体受信強度	135.56 K	116.08 K	19.5K低下
計測項目	1979年5月13日	2000年7月26日	評価
観測方位	Az=281.05	AZ= 281.0	同じ方位角測定
	El=23.95	EL=24.0	
天体受信強度	131.645 K	112.63 K	19.0K低下

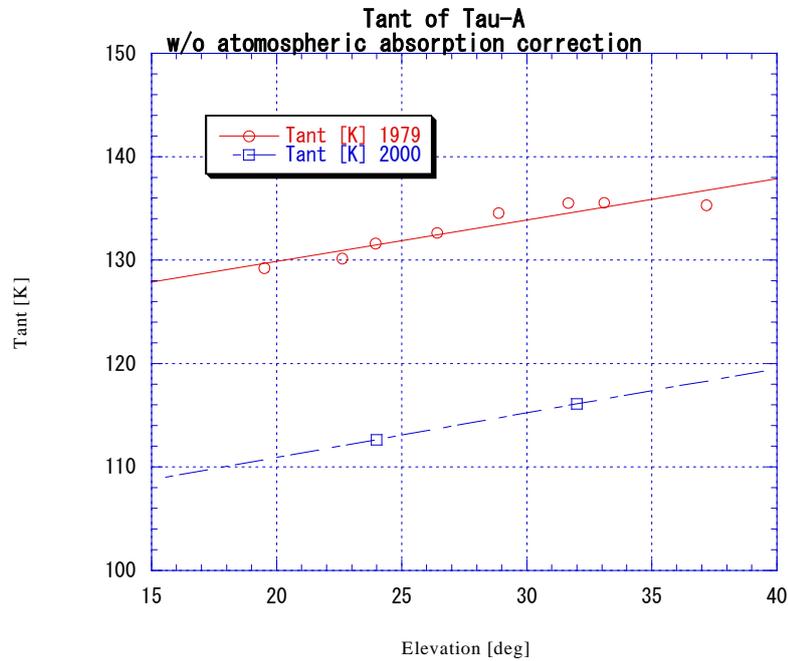


図3 アンテナ温度の比較

#### (2-2-1) 受信機雑音温度測定

ホーンの前面に無反射吸収体を置いた状態でノイズソースのオン/オフを行い、システム雑音温度を計測する。この値から無反射吸収体の物理温度を引くと受信機雑音温度を得る。

図4に受信機雑音温度の測定結果を示す。周波数測定点は20MHz毎に平均されている。全体としての周波数特性が強く、特に測定周波数の両端で上昇しているのは、受信機内部に混信カット用のバンドパスフィルタが入っているためである。今回の測定の対象とした4.0GHzでは、受信機雑音温度は約47Kであることが示された。

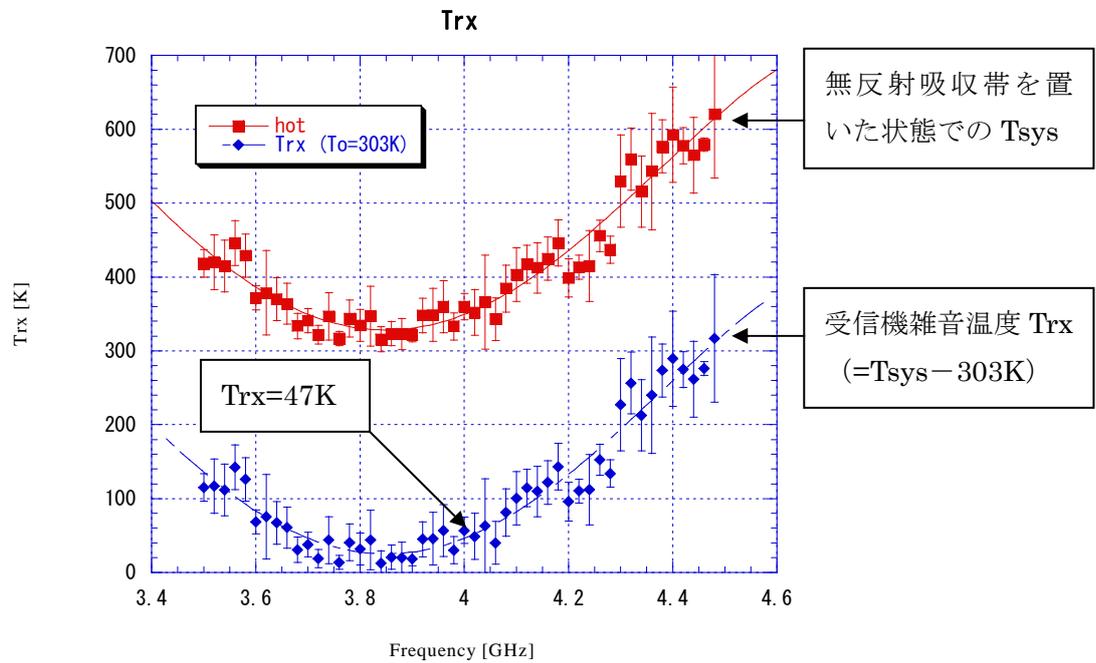


図4 受信機雑音温度

1993年受信機新設時のNECによる受信機雑音温度測定では、3.95GHzでの受信機雑音温度は39.8Kであった。今回の測定において、周波数特性とデータのばらつきを考慮して3.9-4.0GHz間の6点データの平均をとって得られた受信機雑音温度は42.0K、標準誤差は6.3Kとなる。したがって、受信機雑音温度は1993年のNECによる測定と我々の測定の間で、誤差の範囲で一致しており、経年変化はないといえる。

測定の誤差が6Kであるとすると、常温での損失に換算して約0.1dBの誤差となる。今回の測定ではこれが測定限界となる。

### (2-3-1) 大気放射雑音温度測定

仰角を変化させてシステム雑音温度を測定した結果を表5に示す。横軸に  $\sec(z)=1/\sin(e)$  をとってシステム雑音温度をプロットしたものが図5である。このプロットは大気厚みが小さい範囲では直線と見なせる。直線でフィットした結果、大気の影響がない場合のシステム雑音温度94.9 Kを得た。これはビーム伝送部・給電部損失、受信機雑音温度を含んだ値である。受信機雑音温度47 Kを引くと、アンテナ温度48 Kを得る。

### (2-3-2) 三菱による過去の測定結果

今回の結果と比較するために、1979年の建設当時の大気放射雑音温度測定（スカイ状態のアンテナ温度測定結果、1979年5月18日、AZ=206°、仰角6度以下は省略、偏波=RHCP、4.0GHz）結果を表5にあわせて示す。同、プロットを図6に示す。大気の影響がない場合のアンテナ温度は18.2 Kであった。

大気の影響がない場合を考えると、現在のアンテナ温度48 Kであり、アンテナ建設当時の18 Kから、30 Kの上昇があったことになる。この値は仮定を置くことなく、直接オーミックロスの増加に変換できる値である。300 Kでの損失に換算すると0.46 dBのゲイン低下相当分となる。

表5 大気放射雑音測定

仰角 (°)	大気放射雑音測定	
	今回の測定 システム雑音温度 (K)	1979年の測定 アンテナ温度 (K)
7	122.4	36.5
10	113.5	31.6
15	107.5	27.0
20	105.2	24.8
30	100.9	22.7
40		22.0
50		21.0
70		20.7
84	98.4	
90		20.3

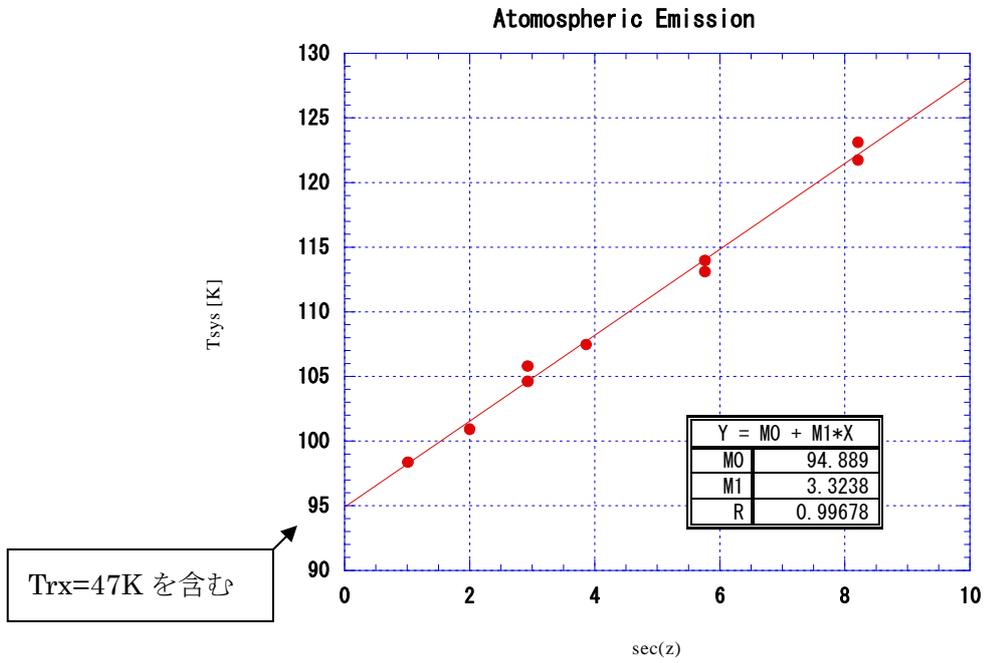


図5 システム雑音温度の大気放射雑音による影響

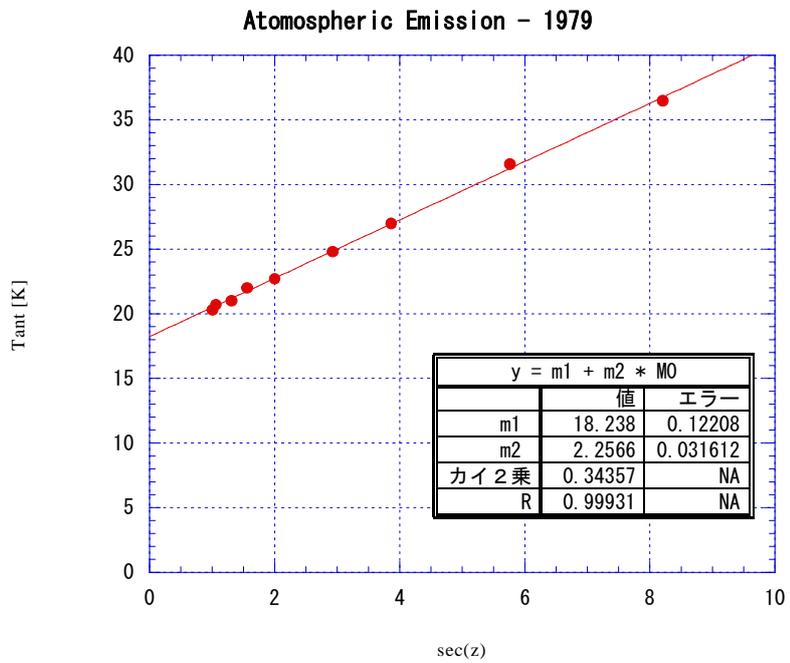


図6 三菱電機によるスカイ状態のアンテナ温度計測結果

### (3) 観測結果のまとめ

今回の観測結果をまとめる。

#### ・ドリフトスキャンによる Tau-A のアンテナ温度測定

仰角 24° での測定の結果、アンテナ温度が 19 K 低下している結果を得た。これは 6 月 20 日に行われた測定と非常によく一致する結果であり、アンテナの受信ゲインが 0.67 dB 低下していることが再確認された。

#### ・受信機雑音温度測定

4.0 GHz における受信機雑音温度は 47 K、誤差は 6 K 程度である。周波数特性を考慮すると、1993 年の NEC による測定と今回の結果は誤差の範囲内で一致しており、経年変化はほとんど無いと考えられる。

#### ・大気放射雑音温度測定

大気放射の影響がない状態でシステム雑音温度を推定し、4.0 GHz で 94.9 K を得た。受信機雑音温度 47 K を差し引くと、現在のアンテナ温度 48 K を得る。1979 年の三菱による測定（アンテナ温度のみの測定）では 18.2 K であった。したがってアンテナ温度の上昇は 30 K であり、300 K での損失に換算すると 0.46 dB である。

### (4) システム雑音温度として、雑音増加の考察

表 6 に過去（アンテナ：1979、受信機：1993）と今回の測定結果を比較して示す。

表 6 システム雑音温度の計測結果と過去との比較（4.0 GHz）

		今回の測定	過去の測定	備考
(1)	アンテナ雑音温度 (大気を含まない)	48 K (EL=84°)	18.2 K (El=90°)	今回の測定には挿入損失を含む
(2)	大気放射雑音温度	3 K	2.2 K	天頂の値
(3)	受信機雑音温度	47 K	39.8 K	1993.3 NEC
(4)	挿入損失	-----	7 K	カプラ損失 0.1dB 想定
1-4 の 合計	システム雑音温度	98 K	67 K	天頂の値
	雑音の上昇	31 K		0.46 dB @ 300K

すでに示されている結果とほぼ同じく、システム雑音温度の上昇は 31 K である。これがオーミックロスに起因すると考えられ、300 K におけるゲイン低下に換算すると 0.46 dB の低下となる。

オーミックロスと鏡面劣化の関係及び、8 / 22 GHz 帯で予想される開口効率を表6に示す。

表7 4 GHz 帯における特性変化と8 / 22 GHz 帯における性能予想

4 GHz 帯における特性変化			8 GHz 帯の効率予想 (%)	22 GHz 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

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、誤差も含めて損失の増加は $-0.46 \pm 0.1$  dB となる。従って、表7から、8 / 22 GHz 帯の開口効率の期待値はそれぞれ52-64%、5-22%となる。22 GHz 帯における能率の推定は非常に困難であるが、少なくとも10m級のアンテナのフル性能よりも感度がよく、22%の能率があった場合には開口能率50%の20mアンテナよりも感度がよいことになる。

#### (4) 補正もたらしうるその他の項目

- ・アンテナ温度の測定の正しさについて

ノイズソース注入部の前段にバンドパスフィルタが入っている。これは天体からのパワーはフィルタされて受信機に到達するのに対し、ノイズソースのパワーはフィルタされないことを意味する。したがってアンテナ温度を真の値より低く見積もってしまう可能性がある。このようになっている場合、ゲインの低下 $-0.67$  dBとい値を訂正する必要があり、ゲイン低下は少ない方向へ変化するセンスである。ただし受信機の初段にもフィルタがあると考えられ、これがノイズソース前のフィルタと特性が一致またはさらに狭帯域の場合、測定は正しいことになる。

- ・受信機雑音温度の測定について

1993年のNECによる測定では、受信機雑音温度は平坦な周波数特性を示し、3.7-4.2 GHz でほぼ40 Kであった。今回の測定でも3.95 GHz の結果は $42 \pm 6$  Kであり誤差範囲で一致している。ただし測定におけるノイズが大きく、その影響が考察に影響を及ぼしている。1993年の測定から現在まで受信機雑音温度に全く変化がなく、現在でも  $T_{rx}=40K$  であると仮定すると、アンテナ温度の上昇は37 Kとなり、ロスに

換算すると $-0.57$  dBとなる。これは $22$  GHzでの開口能率が $20\%$ を超えることを意味する。なお、 $1993$ 年の測定から現在まで受信機雑音温度に全く変化がないという仮定にさほど無理はなく、様々な電波天文受信機で実証されている。

以上の、計測方法および測定誤差から発生する要検討補正項目はどちらも開口能率を上げる方向に作用するものであり、現状の結果とあわせて考察すると、 $22$  GHzでの開口能率は $20\%$ 以上あることが期待される。

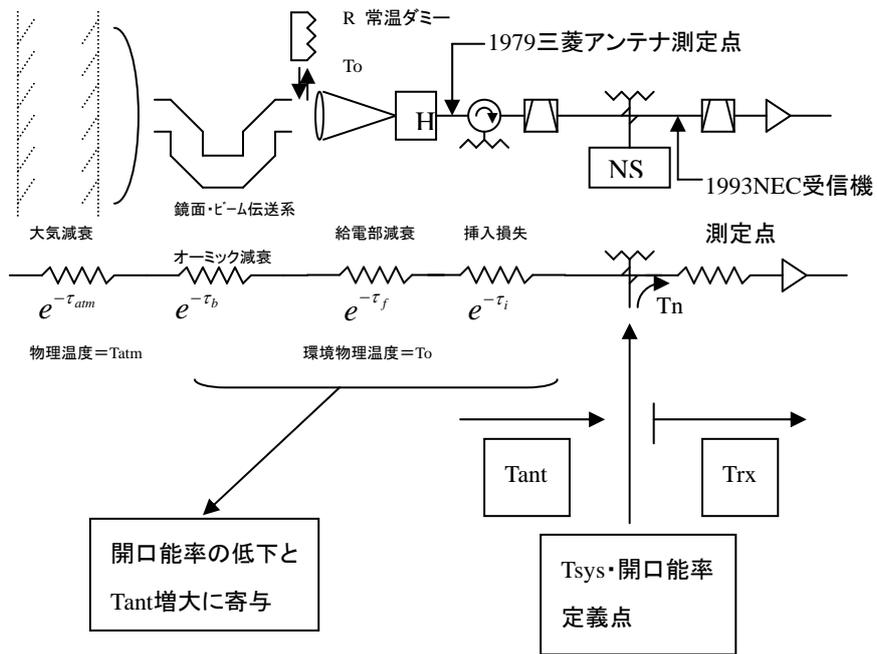


図7 ゲイン・雑音温度測定に関するモデル