

## 山口32mの校正用ノイズソースの交換について

藤沢健太

### 1. はじめに

山口32mのノイズソースは宇宙航空研究開発機構（JAXA）からの借用品である。このノイズソースはアジレント社の346Cであり、0.01–26GHzの範囲にわたって校正用ノイズ信号を発生することができる。しかし現状では8GHz帯だけで使用している。

現在、JAXAの内之浦宇宙空間観測所34mアンテナを電波望遠鏡として整備する計画が進行中であり、特に22GHz帯での観測を目指している。22GHz受信機の校正用にノイズソースが必要となり、そのため山口32mに貸し出しているノイズソースを利用することとなり、山口から引き上げることになった。その代替品として18GHzまでノイズ信号を発生できるアジレント346Bを借用したので、11月29日に山口32mの8GHz受信機（CH2）に設置されていた346Cと交換した。これまでの観測結果との整合性を取り、また左右両円偏波で正しい測定を行うために、ノイズソースによって付加される雑音温度を測定することが必要となった。

以下では3C273を用いて行った測定結果について報告する。

### 2. 測定

測定の方法は以下のとおりである。CH1（LHCP）とCH2（RHCP）で同時に測定を行い、3C273のアンテナ温度を測定する。実績があるCH1によって測定されたアンテナ温度を参照し、CH2で測定したアンテナ温度が一致するように付加雑音温度を決定する方法をとった。なお、3C273は円偏波の放射をしていないと仮定した。

まず、測定されるパワーとシステム雑音温度、アンテナ温度の関係を、天体に向けた状態（ON）、ノイズを付加した状態（NS）、スカイの状態（S）の3通りについて書き下すと、以下のとおりである：

$$\begin{cases} P_{ON} = G(T_{sys} + T_a) \\ P_{NS} = G(T_{sys} + T_{NS}) \\ P_S = GT_{sys} \end{cases}$$

この連立方程式からGを消去し、 $T_{NS}$ と $T_a$ の関係を作ると、次の式となる：

$$T_a = \frac{P_{ON} - P_S}{P_{NS} - P_S} T_{NS}$$

したがって、測定されるアンテナ温度は、付加するノイズソースの温度に比例する。この測定をCH1とCH2について同時に行い、両方で測定されたアンテナ温度が一致するよ

うにCH2のノイズソースの付加温度を修正するパラメータを求める。すなわち

$$T_a = \left( \frac{P_{ON} - P_S}{P_{NS} - P_S} T_{NS} \right)_{CH1} = \left( \frac{P_{ON} - P_S}{P_{NS} - P_S} T_{NS} \eta \right)_{CH2}$$

$$\therefore \eta = \frac{\left( \frac{P_{ON} - P_S}{P_{NS} - P_S} T_{NS} \right)_{CH1}}{\left( \frac{P_{ON} - P_S}{P_{NS} - P_S} T_{NS} \right)_{CH2}}$$

として $\eta$ を求めればよい。なお、最初の時点ではCH2のノイズソースの付加雑音温度は不明なので、ここではCH1と同じ値(72.51 K)を使った。

実際の測定はポインティング・フラックス密度測定と同じ5点法を用いて行った。観測時間は2005年11月30日18時~23時(UT)である。この時間に3C273は東から上り、終了時にほぼ南中した。3C273の方位角-仰角プロットを図1に、その間のシステム雑音温度の変化を仰角に対してプロットしたものを図2に、それぞれ示す。

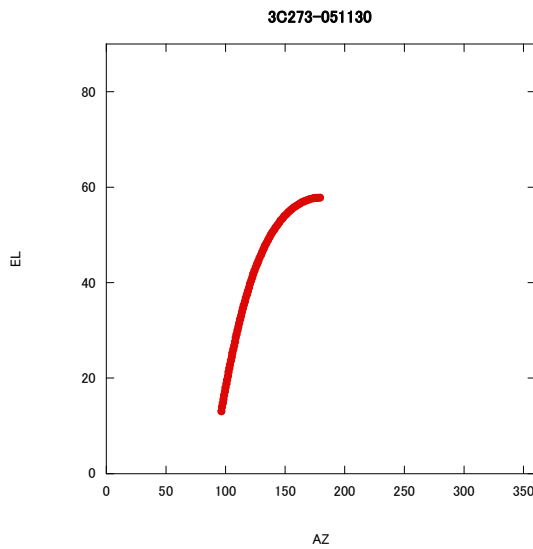


図1. 3C273の軌跡

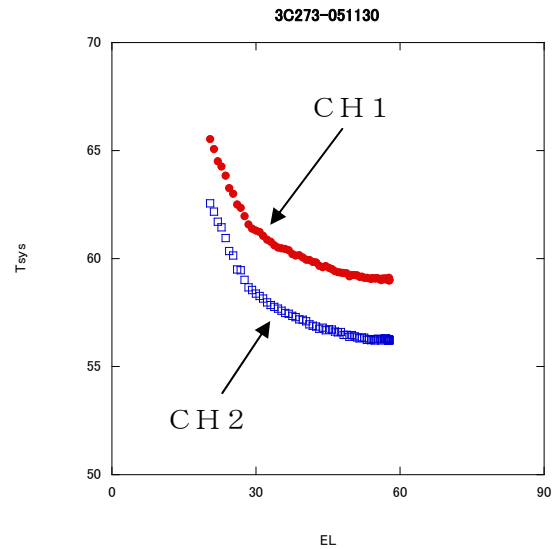


図2. システム雑音温度の変化

測定は76回行われた。しかし低い仰角では大気の揺らぎや地面の放射など測定をひずませる要因が多いと考えられるので、仰角が20度以上の67点について、解析を行った。

### 3. 結果

#### 3-1. アンテナ温度を基準にした測定

CH1およびCH2で測定されたアンテナ温度を仰角に対して示したものが図3、両者の比（CH1/CH2）を示したものが図4である。

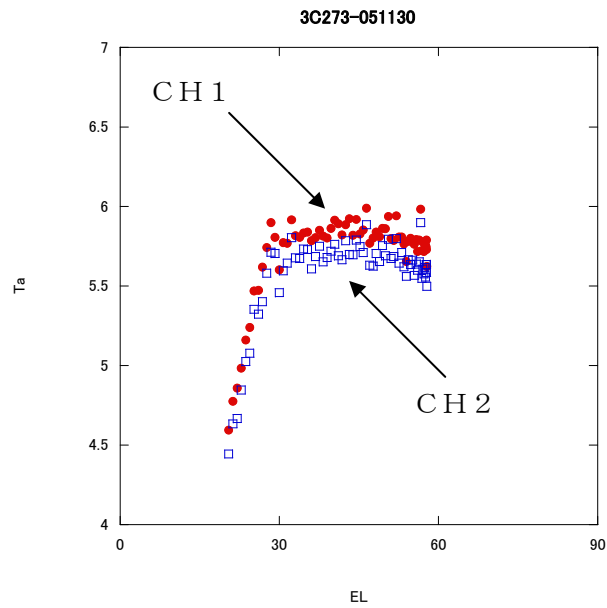


図3. アンテナ温度

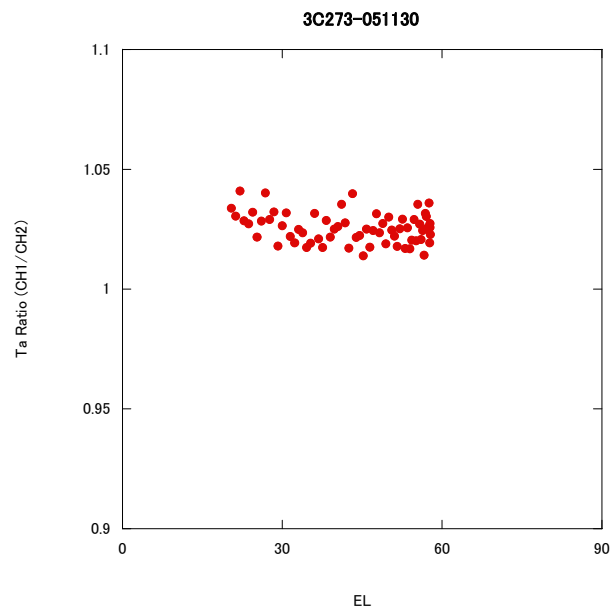


図4. アンテナ温度の比 ( $\eta$ )

測定によって得られた  $\eta$  および CH 2 の付加雑音温度  $T_{NS2}$  は

$$\eta = 1.025 \pm 0.006$$

$$T_{NS2} = 74.32 \pm 0.44 \text{ [K]}$$

である。この値を用いることで、CH 1 と CH 2 の相対的なフラックス密度感度の誤差は 1 % 以下となる。

### 3-2. ノイズソースの ENR を基準にした計算値

ノイズソースの付加雑音温度は、ノイズソース自体の ENR とカップラの結合度を基準にして、以下の式で計算できる。

$$T_{NS} = 290 \left( 10^{\frac{ENR}{10}} - 1 \right) \cdot 10^{-\frac{C}{10}}$$

ここで  $C = 20 \text{ [dB]}$  はカップラの結合度である。ただしこの値は 1 dB 程度の誤差を含んでいると考えられる。この式により 8.38 GHz で付加される雑音温度は

$$T_{NS2} = 96.73 \text{ [K]}$$

となる。

### 3-3. 旧ノイズソースとの ENR の違いを基にした計算値

旧ノイズソースと新ノイズソースの ENR の差を使い、旧ノイズソースによる付加雑音温度 50.5 K を基準にすることで、新ノイズソースの付加雑音値を計算することが可能である。カップラの結合度が不正確であるが、同じカップラを使っているため、この計算には誤差が入り込まない。

新旧ノイズソースの ENR を周波数に対してプロットしたものが図 5 である。観測に使用する周波数帯は 8.4 GHz であり、この周波数での ENR の差は 1.30 dB である。これから付加雑音温度の差は

$$T_{NS} = 50.5 \cdot 10^{\frac{1.30}{10}} = 68.1 \text{ [K]}$$

を得る。

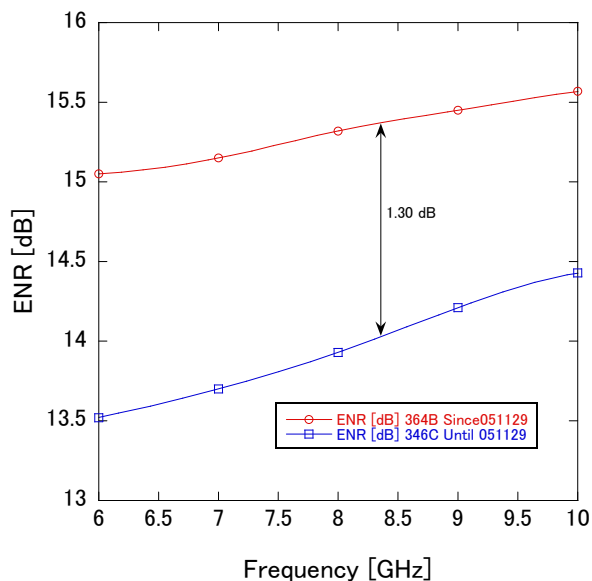


図 5. ENR の差

#### 4. 考察

アンテナ温度を基準にして測定されたCH2用ノイズソースの付加雑音温度は 74.32K となった。一方、ENRと結合度から計算される付加雑音温度は 96.73Kであり、約30%の差がある。これは結合度の不正確さや測定を行った環境の温度、ノイズソースの経年劣化、さらに信号線上の反射などに強く影響されているうえ、アンテナ温度の基準となっているCH1の付加雑音温度にも誤差があることが理由と考えられる。これらの要因を全て取り除くことは困難である。一方、旧ノイズソースを基準にして計算した付加雑音温度は 68.1Kとなり、測定値から求めた値との誤差は10%程度と小さくなった。したがってENRから直接計算した値の誤差は主にカップラの結合度に不正確さがあるためであろう。

これまでの測定はCH1の付加雑音温度を基準にして行われているので、この値を基準にした $T_{NS2} = 74.32 \pm 0.44$  [K]を今回の測定結果の値として採用する。この値には系統誤差が含まれている可能性があるが、校正用天体(3C286、3C48)のフラックス密度を基準とした開口能率と結合した値として観測に用いられるため、システム全体のG/Tとしては正しい値であると期待される。

---

2007年7月16日 追記

3-2で記述したENRから計算するノイズの値は間違えている。正しい式は

$$T_{NS} = 290 \left( 10^{\frac{ENR}{10}} + 1 \right) \cdot 10^{-\frac{C}{10}}$$

であり、ノイズソースがOFFの場合にも付加される雑音を引くと

$$T_{NS} = 290 \cdot 10^{\frac{ENR}{10}} \cdot 10^{-\frac{C}{10}} = 290 \cdot 10^{\frac{ENR-C}{10}}$$

を使うべきである。

また、 $C = 21.2$  [dB]が正しい値である。これらの正しい値を使って計算される8.38GHzでの雑音温度は

$$T_{NS2} = 73.01 \text{ [K]}$$

となる。これは3-1で得た値と1.31Kの差(誤差1.8%)であり、ノイズソースを基準にした推定値も良い一致を示している。

参考資料：8GHz導波管設置設置後 020912.doc (これは良くできたレポート)