

山口第一電波望遠鏡におけるノイズソースを用いたシステム雑音温度測定法の構築

榊原将吾 (山口大学4年) 新沼浩太郎 藤澤健太 (山口大学)

VLBI懇談会
@大妻女子大学

2019年11月23日
~11月24日

背景、研究目的

現在、山口第一電波望遠鏡では、観測前と観測後に電波望遠鏡を山：仰角5°とsky：仰角40°に向けて、それぞれの出力電力である $P_R(\text{山})$ 、 P_{sky} を測定することでシステム雑音温度： T_{sys} を算出している。

(※現在、山を黒体とみなして $P_R(\text{山})$ を測定している。)

現状の問題点として、以下の3つが挙げられる。

- ①電波望遠鏡の向きを変える必要があり、手間がかかる。
 - ②観測中の T_{sys} の変化が分からない。
 - ③実際には、大気による吸収を考慮した量である T_{sys}^* を測定しているため注意が必要である。
- これら問題を解決するために、ノイズソースを用いて既知量の雑音電力をフィードホーンに注入し、(図1参照) 随時 T_{sys} を測定するシステムを構築することが目標である。

現在の T_{sys} の算出式は、

$$T_{\text{sys}}^* = \frac{T_{300\text{K}} - Y_1 T_{3\text{K}}}{Y_1 - 1} \quad *$$

である。これを、

$$T_{\text{sys}} = \frac{T_{\text{NS}}}{Y_2 - 1} - T_{3\text{K}}$$

に変更する。(ただし、 $Y_1 = \frac{P_R(\text{山})}{P_{\text{sky}}}$ 、 $Y_2 = \frac{P_{\text{NS}}}{P_{\text{sky}}}$)

(各電力測定時の電波信号の流れは図2、図3の通り。)

この目的のため、本研究では

A: 実際にノイズソースからどの程度の雑音電力が

受信され、雑音温度はどの程度なのか。

B: ノイズソースをフィードホーンに固定した際、

T_{sys} はどの程度変化するのか。

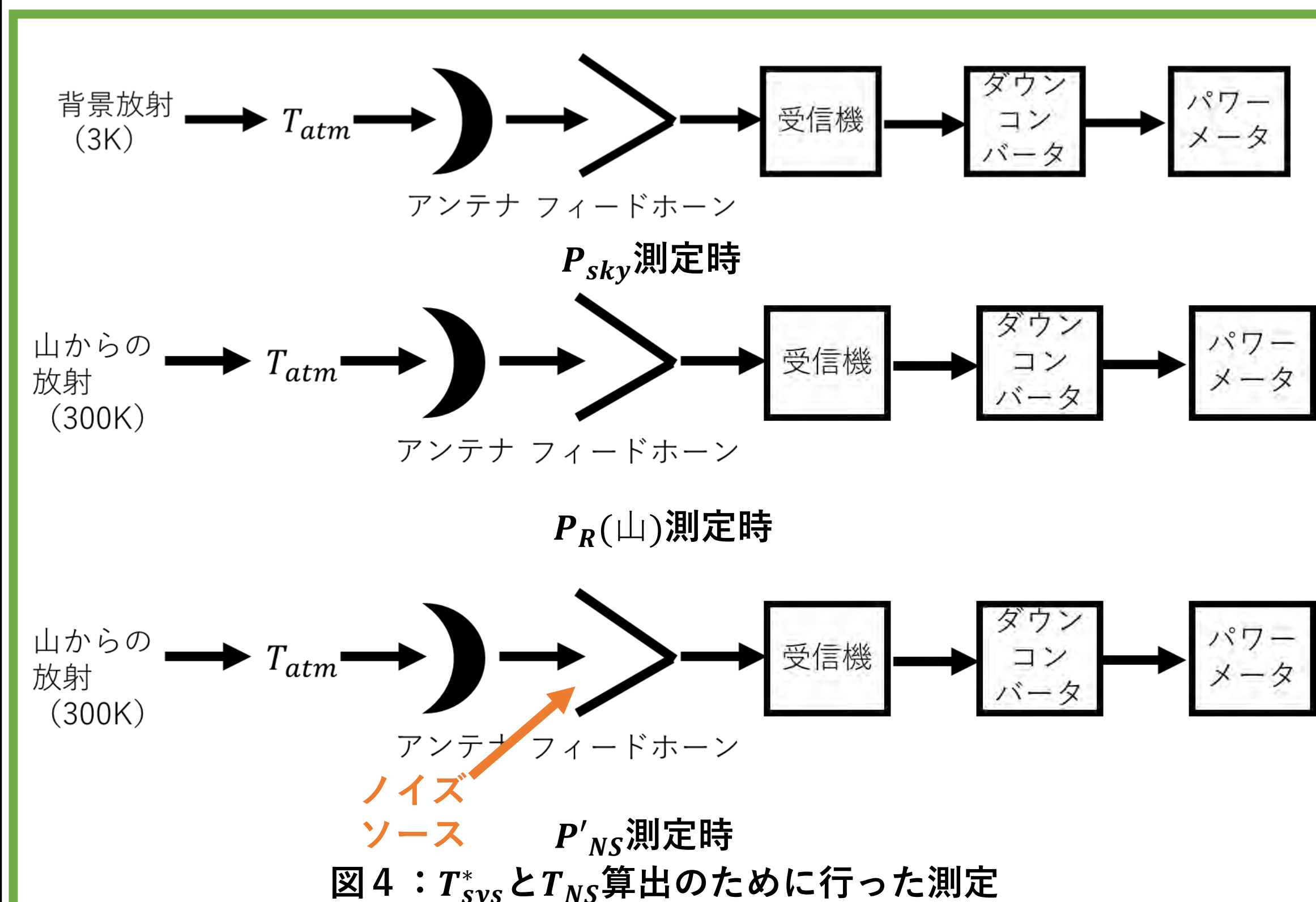
を調査したので、本発表ではその結果について報告する。

システム雑音温度とは

電波望遠鏡を用いて天体観測をする時に、大気や受信機などで発生する雑音を温度で表した値^[1]

実験内容

A: まず、以下の3つの出力電力を測定した。(図4参照)

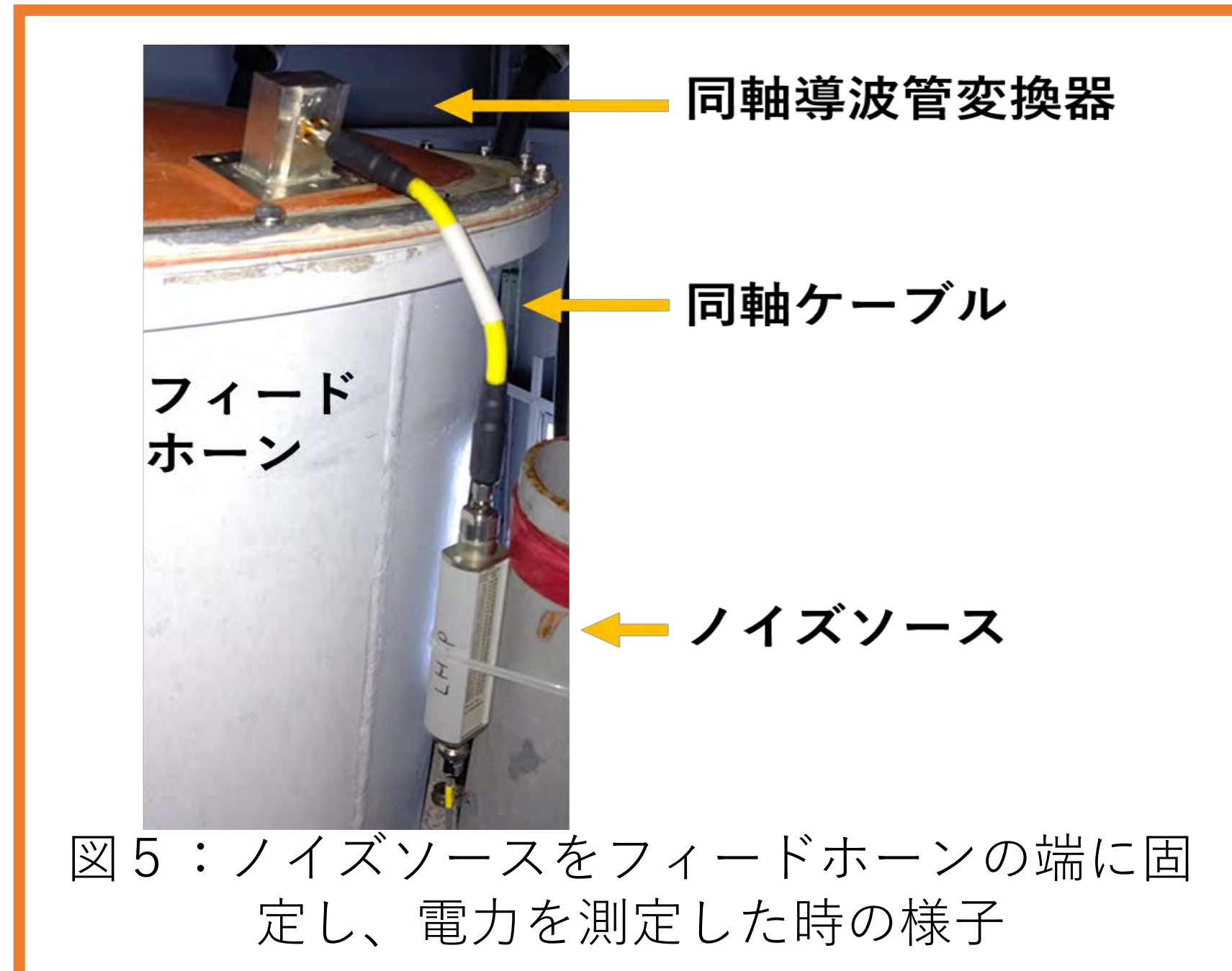


$$P_{\text{sky}} = G(T_{3\text{K}} + T_{\text{sys}}^*)$$

$$P_{R(\text{山})} = G(T_{300\text{K}} + T_{\text{sys}}^*)$$

$$P'_{\text{NS}} = G(T_{300\text{K}} + T_{\text{sys}}^* + T_{\text{NS}})$$

P'_{NS} を測定する際、下の図5のようにノイズソースをフィードホーンの端に固定して測定を行った。



上の3つの式から導出した以下の2つの式に各電力値を代入して

$$T_{\text{sys}}^* = \frac{T_{300\text{K}} - \frac{P_{R(\text{山})}}{P_{\text{sky}}} T_{3\text{K}}}{\frac{P_{R(\text{山})}}{P_{\text{sky}}} - 1}$$

$$T_{\text{NS}} = \frac{P'_{\text{NS}}(T_{300\text{K}} + T_{\text{sys}}^*)}{P_{R(\text{山})}}$$

未知数である T_{sys}^* と T_{NS} を算出した。

B: フィードホーンの端にノイズソースを固定したときと固定していないときの T_{sys}^* をそれぞれ測定し、観測に与える影響を調べた。
(T_{sys}^* は*の式を用いて算出した。)

使用したノイズソース

山口第一電波望遠鏡での観測周数帯である6600~7112MHzと8192~8704MHzに対応する

- 28Vの直流電源
- 10MHz~26.5GHz

で作動するAgilent 346Cを使用した。

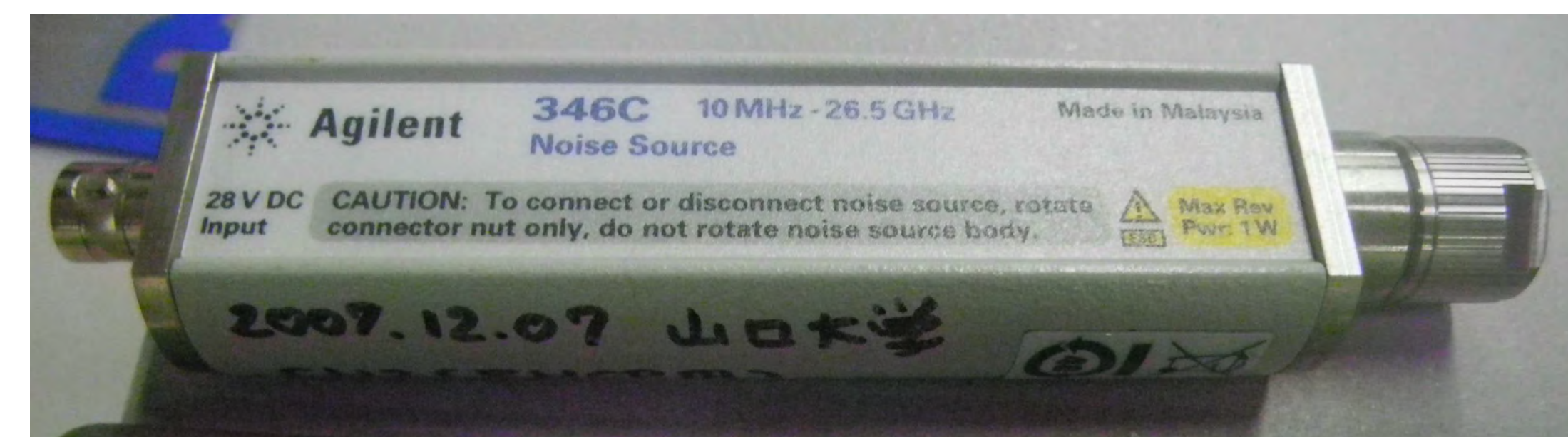
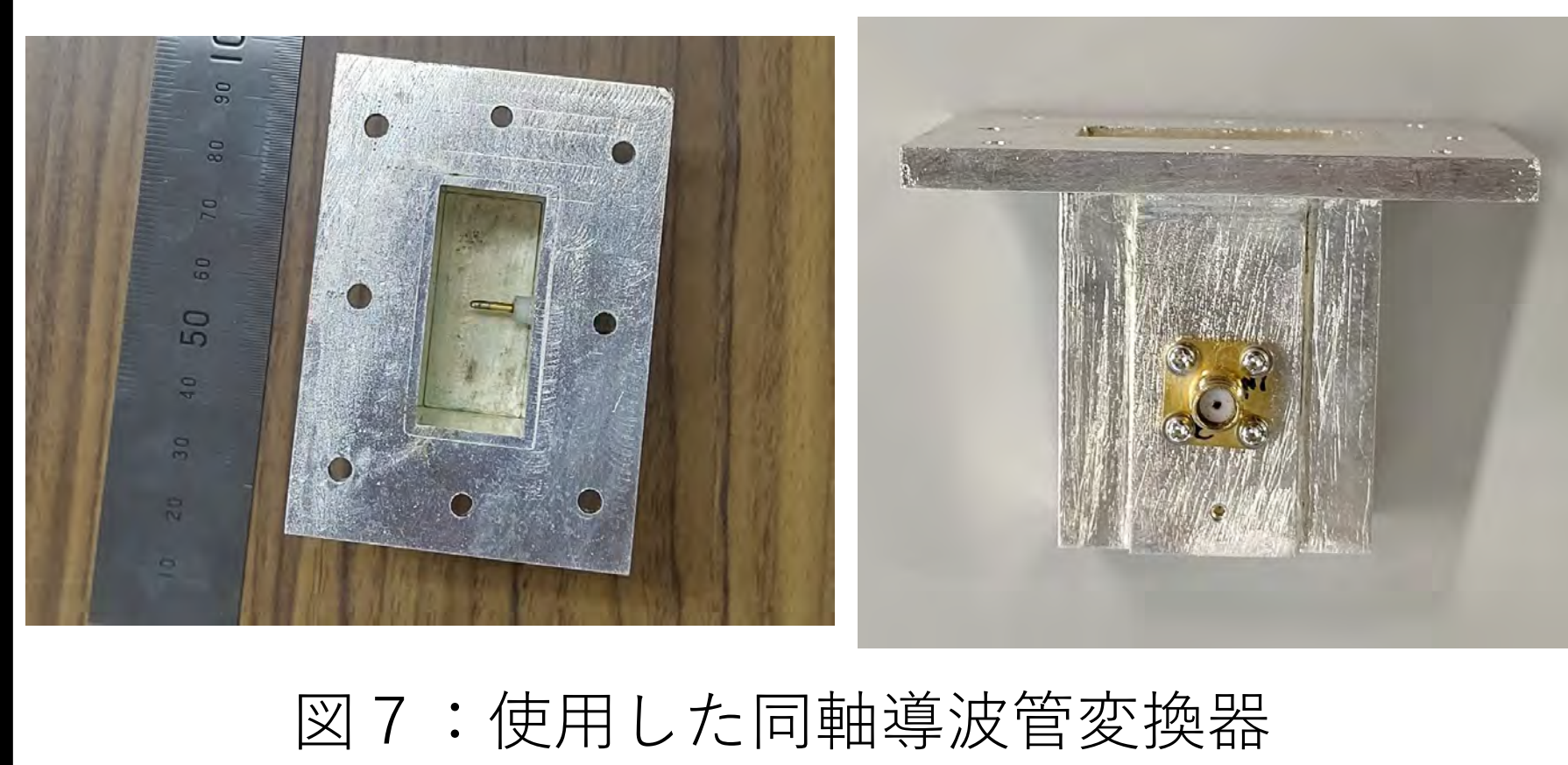


図6: 使用したノイズソース(Agilent 346C)



実験結果

A: T_{sys}^* と、受信される T_{NS} を求めるために行った P_{sky} 、 $P_{R(\text{山})}$ 、 P'_{NS} の測定結果

測定電力	出力電力 [dBm]	出力電力 [$\times 10^{-3}$ mW]
P_{sky}	-29.160	1.213
$P_{R(\text{山})}$	-20.781	8.354
P'_{NS}	-20.730	8.453

$$T_{\text{sys}}^* = \frac{T_{300\text{K}} - \frac{P_{R(\text{山})}}{P_{\text{sky}}} T_{3\text{K}}}{\frac{P_{R(\text{山})}}{P_{\text{sky}}} - 1}$$

の式に

$$P_{\text{sky}} = 1.213 \times 10^{-3} \text{ mW}$$

$$P_{R(\text{山})} = 8.354 \times 10^{-3} \text{ mW}$$

を代入した結果、

$$T_{\text{sys}}^* = 47 \text{ K}$$

となった。

$$T_{\text{NS}} = \frac{P'_{\text{NS}}(T_{300\text{K}} + T_{\text{sys}}^*)}{P_{R(\text{山})}}$$

の式に

$$P_{\text{sky}} = 1.213 \times 10^{-3} \text{ mW}$$

$$P'_{\text{NS}} = 8.453 \times 10^{-3} \text{ mW}$$

$$T_{\text{sys}}^* = 47 \text{ K}$$

を代入した結果、

$$T_{\text{NS}} = 4.1 \text{ K}$$

となった。

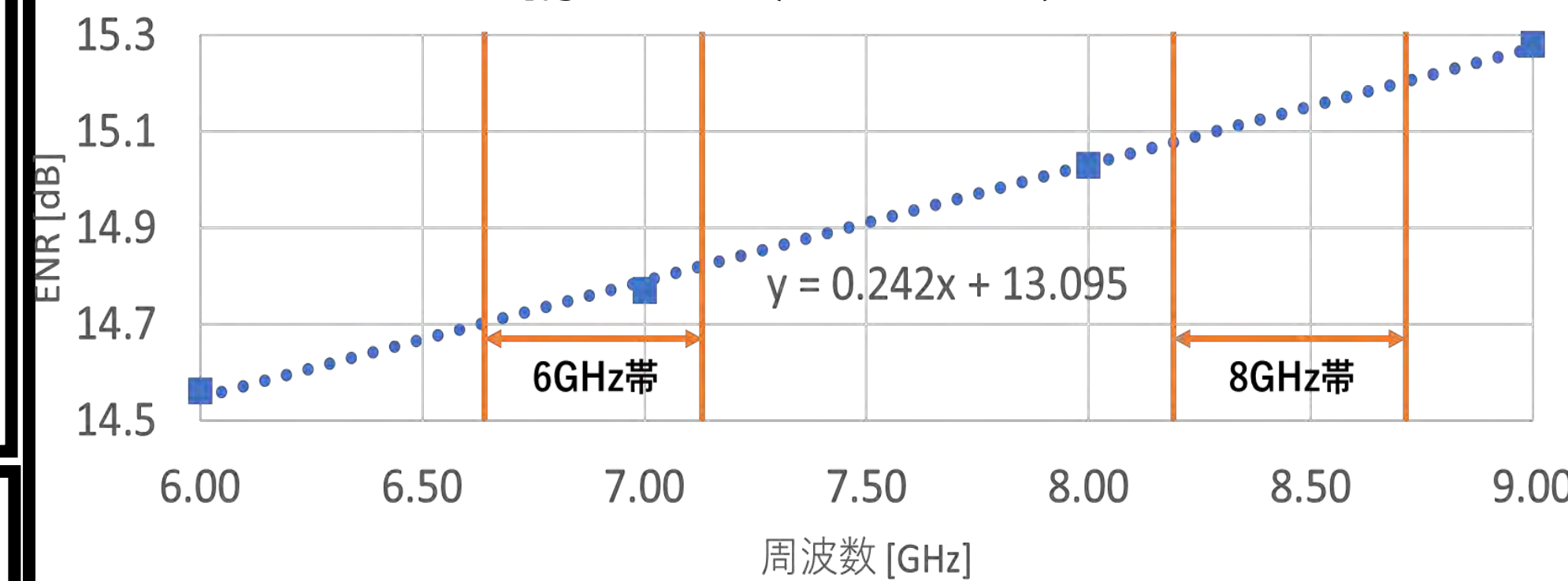
B: フィードホーンの端にノイズソースを固定した時と固定していないときの T_{sys}^* の測定結果

フィードホーンにノイズソース固定	T_{sys}^* [K]	T_{sys}^* の増加率[%]
なし	43	9
あり	47	

ノイズソースの雑音温度と雑音電力の予測値の算出

ノイズソースの雑音温度の算出式は次の通り。

$$T_{\text{NS}} \approx 290(10^{\frac{\text{ENR}}{10}} + 1) \text{ K}$$



上の図7より、6GHz帯 (中間周波数: 6856MHz→ENR=14.75 dB)

$$T_{\text{NS}} = 290 \left(10^{\frac{14.75}{10}} + 1 \right) = 8947.61 \text{ K}$$

8GHz帯 (中間周波数: 8448MHz→ENR=15.13 dB)

$$T_{\text{NS}} = 290 \left(10^{\frac{15.13}{10}} + 1 \right) = 9739.26 \text{ K}$$

である。これより、ノイズソースの雑音温度を 10^4 K に近似して考えると、ノイズソースの出力電力の予測値 P は

$$P = kTB = 1.38 \times 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} \times 10^4 \text{ K} \times 5.12 \times 10^8 \text{ Hz}$$

$$\approx 7.06 \times 10^{-8} \text{ mW} = -71 \text{ dBm}$$

k : ボルツマン定数 $1.38 \times 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$
 T : DC電源ON時のノイズソースの雑音温度 10^4 K
 B : 受信帯域幅 $5.12 \times 10^8 \text{ Hz}$

今後

- ①ノイズソースから受信される雑音温度： $T_{\text{NS}}=4.1\text{K}$ と求められたが、より正確な T_{NS} の値を求めるためにフィードホーン開口部に吸収体をかぶせて再度実験を行う。
- ②観測中にシステム雑音温度を測定するために、ノイズソースを動作させるプログラムを作成する。
- ③目標としている方法では大気による吸収を考えないシステム雑音温度の測定方法になるため、仰角と大気補正値の関係について調査する。

参考文献

- [1] 干渉計サマースクール2005
- [2] シリーズ現代の天文学16 宇宙の観測II 電波観測