

衛星放送用アンテナを用いた電波望遠鏡の製作と太陽電波の
観測

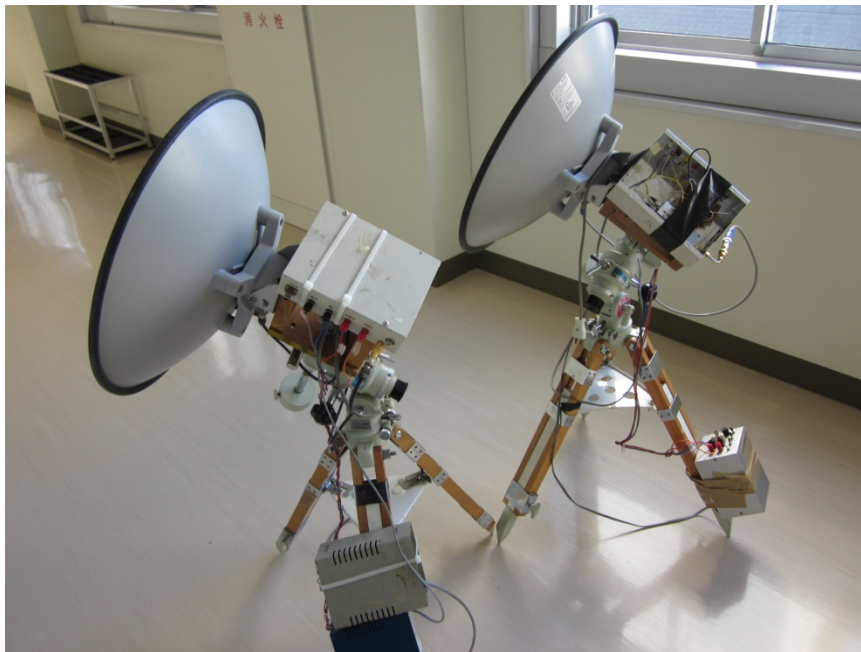
茨城大学理学部理学科学際理学コース 4 年次

09s6017a

佐藤雄貴

1. 緒言

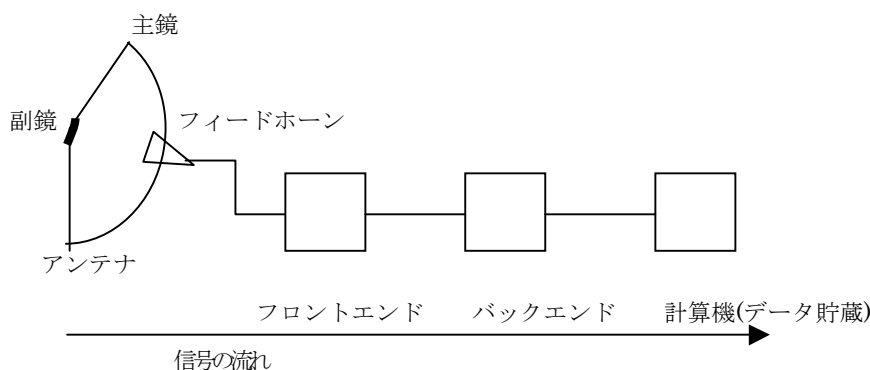
3年後期で行う宇宙物理基礎実験には太陽電波の観測という実験種目がある。これは、放送衛星用アンテナを用いた超小型電波望遠鏡を使って太陽電波を観測し、太陽のアンテナ輝度温度や望遠鏡の雑音温度を求めるものである。目的としては、受信機の雑音測定を通じて電波望遠鏡について学ぶことと、大気の電波透明度を測定した上で太陽からの電波を観測し、さらにアンテナの性質を測定することである。この実験で使用しているのは家庭用のBSアンテナであり、規模は小さいが、世界で稼働している主要な電波望遠鏡とほぼ同じ構成である。したがって、この望遠鏡で電波望遠鏡の仕組みやアンテナの性質、電波の性質を十分に学ぶことが出来る。このように観測天文学で用いられる電磁波の1つである電波を観測する電波望遠鏡の仕組みやアンテナの性質を学ぶことで、観測天文学の基本を学ぶことが出来る。私たちは今後学生が円滑で有意義な観測が出来るようにするために既存の電波望遠鏡の性能測定を行うとともに、新たに部品レベルから受信機を組み立てることによって完成させ、既存の1台と合わせ2台体制で観測を行えるようにした。また2台体制で行う理由としては、2台の電波望遠鏡から得られたデータを比較し、評価することでより精度の高い詳細な測定を可能にするためである。



2. 受信機の製作

・電波望遠鏡の構造

電波望遠鏡は大きく分けてアンテナ、受信機、検波器または分光器、そしてそれらを制御しデータを取り込む計算機によって構成される。アンテナによって集められた電波は、フィードと呼ばれる部分（電波を発信する場合の一次放射器に相当）を通して入力され、フロントエンドで電波は増幅や周波数変換などをされる。その後バックエンドへ送られ、電波が運ぶエネルギー流束に比例する電力として検出され、適宜時間積分される。検波器は入力された電波強度に比例した電力を出力し、分光器は周波数ごとの電波強度（スペクトル）を出力する。



上の図が電波望遠鏡の構成をごく簡単に示した図である。

・電波望遠鏡の基本的知識

(1) アンテナ

アンテナとは天体からの電波を集める装置であり、光学望遠鏡の対物レンズに相当するものである。可視光は大気の影響を大きく受けるので波面補償などの特殊技術を用いないと回折限界の角度分解能を得ることは難しい。電波は可視光等と比べ波長が長いのでアンテナはそのまま回折限界の角度分解能を持っている。アンテナの角度分解能は通常、アンテナのビーム HPBW（半値全幅）で表せる。

$$\text{HPBW} = K \times \lambda / D$$

ここで、 K はアンテナの 1 次放射器の照射パターンによる係数であり 1.2 程度となる。また D はアンテナの開口部の直径であり、 λ は観測波長である。

(2) アンテナ温度

輝度分布 $B_v(\theta, \varphi)$ をもつ天体の方向 (θ_0, φ_0) に電力アンテナパターン $P_n(\theta, \varphi)$ のアンテナが向いたときに受信される電力 $W_v(\theta_0, \varphi_0)$ は次の式で表される。

$$\begin{aligned} W_v(\theta_0, \varphi_0) &= \frac{1}{2} A_e \iint_{4\pi} P_n(\theta - \theta_0, \varphi - \varphi_0) B_v(\theta, \varphi) d\Omega \\ &= \frac{1}{2} A_e \iint_{4\pi} P_n(\theta - \theta_0, \varphi - \varphi_0) B_v(\theta, \varphi) \sin \theta d\theta d\varphi \end{aligned} \quad (1.1)$$

ただし、 A_e は天体からの電波を集めるのに有効に働く部分の面積に相当し、有効アンテナ開口面積

[m²]と呼ばれる。これはアンテナの主ビームを電波の来る方向に向けたときに電波をさえぎる面積にあたる物理的アンテナ開口面積 A_p [m²]とは異なる。実際のアンテナはアンテナの面精度や反射率などのため、この A_p に到達する電波の全てを受信できるわけではない。この2つの面積の比をアンテナ開口能率 η_A といい

$$\eta_A \equiv \frac{A_e}{A_p} \quad (1.2)$$

で表される。

式(1.1)から求められた電力の雑音電力はナイキストの法則から、

$$W_v(\theta_0, \varphi_0) = kT_A(\theta_0, \varphi_0)$$

である。この温度 T_A はアンテナ温度と呼ばれる。ナイキストの法則とは、温度 T の抵抗の両端で発生する内部電圧揺らぎから取り出せる単位周波数当たりのパワーの取り出せる最大値が kT であることを指す。すなわち、アンテナ温度はアンテナから出力されるのと同じ周波数当たりの電力を出力する抵抗の温度と等価だとして定義されている。また、輝度分布 $B_v(\theta, \varphi)$ を輝度温度の角度分布 $T_B(\theta, \varphi)$ で表すと

$$B_v(\theta, \varphi) = \frac{2kT_B(\theta, \varphi)}{\lambda^2} \quad (1.3)$$

となる。これらを式(1.1)に代入すると

$$T_A(\theta_0, \varphi_0) = \frac{A_e}{\lambda^2} \iint_{4\pi} P_n(\theta - \theta_0, \varphi - \varphi_0) T_B(\theta, \varphi) d\Omega$$

となる。これにビーム立体角と有効アンテナ開口面積の関係を使って整理すると

$$T_A(\theta_0, \varphi_0) = \frac{\iint_{4\pi} P_n(\theta - \theta_0, \varphi - \varphi_0) T_B(\theta, \varphi) d\Omega}{\iint_{4\pi} P_n(\theta, \varphi) d\Omega} \quad (1.4)$$

となり、アンテナ温度とは輝度温度分布のビームパターンの重み付き平均をしたものであることがわかる。

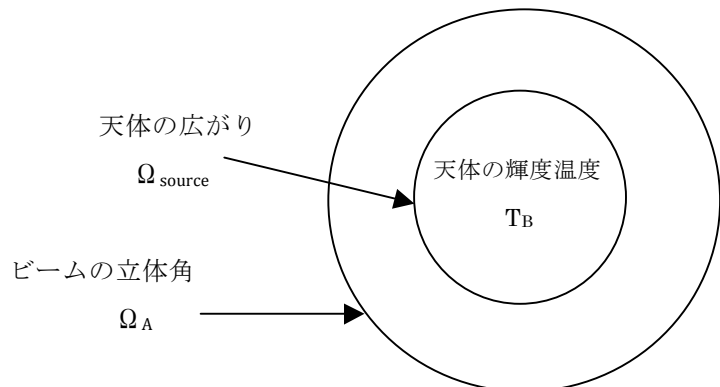
天体の広がり Ω_{source} とビーム立体角 Ω_A の関係からアンテナ温度と輝度温度の関係は以下のようになる。

$\Omega_{\text{source}} \ll \Omega_A$ の場合

ビーム立体角 Ω_A よりも天体の広がり Ω_{source} が小さい場合は

$$T_A^*(\theta_0, \varphi_0) \simeq \frac{\overline{T_B} \Omega_{\text{source}}}{\Omega_A} < \overline{T_B} \quad (1.5)$$

となる。このように天体の広がり Ω_{source} とビーム立体角 Ω_A との比だけアンテナ温度が真の天体の輝度温度よりも小さく観測される。



$\Omega_{\text{source}} = \Omega_A$ の場合

天体の広がり为主ビームとほぼ同じ時は

$$T_A^*(\theta_0, \varphi_0) \simeq \frac{\overline{T_B} \Omega_{\text{source}}}{\Omega_A} = \eta_M \overline{T_B}$$

(1.6)

となる。ただし、 η_M は主ビーム能率である。したがって、このような広がり天体ではアンテナ温度を観測することにより天体の輝度温度を推定することができる。しかし、この場合に求まる輝度温度はビーム内で平均化された輝度温度である。

$\Omega_A < \Omega_{\text{source}}$ の場合

大きく広がった天体の場合は厳密には以下の定義式

$$T_A^*(\theta_0, \varphi_0) \simeq \frac{\iint_{4\pi} P_n(\theta - \theta_0, \varphi - \varphi_0) T_B(\theta, \varphi) d\Omega}{\iint_{4\pi} P_n(\theta, \varphi) d\Omega}$$

を使うが、近似的には前方散乱能率と呼ばれる η_f を導入して

$$T_A(\theta_0, \varphi_0) \simeq \eta_f \overline{T_B} \quad (1.7)$$

と表す。

(3) 受信機

天体からの電波はアンテナで集められて受信機に導入される。フィードで導波管または同軸ケーブル中の電気信号に変換された信号は低雑音増幅器(LNA)で増幅され、ミキサによって周波数変換される。この信号は第一中間周波増幅器によりさらに増幅される。その後、第2ミキサでさらに周波数変換されてバックエンドに送られる。このように電波天文学に用いられる受信機の機能は信号の増幅と周波数変換である。また、天体からの電波は非常に弱く、アンテナで集光した後でも 10^{-23}WHz^{-1} 程度以下である。そのためこれらの増幅と周波数変換とを、受信機雑音温度等の性能が最適になるようにすることが要求される。増幅器で増幅される前の通過損失は感度に大きく影響するので出来る限り小さいことが望まれる。このため受信機は低雑音である必要がある。

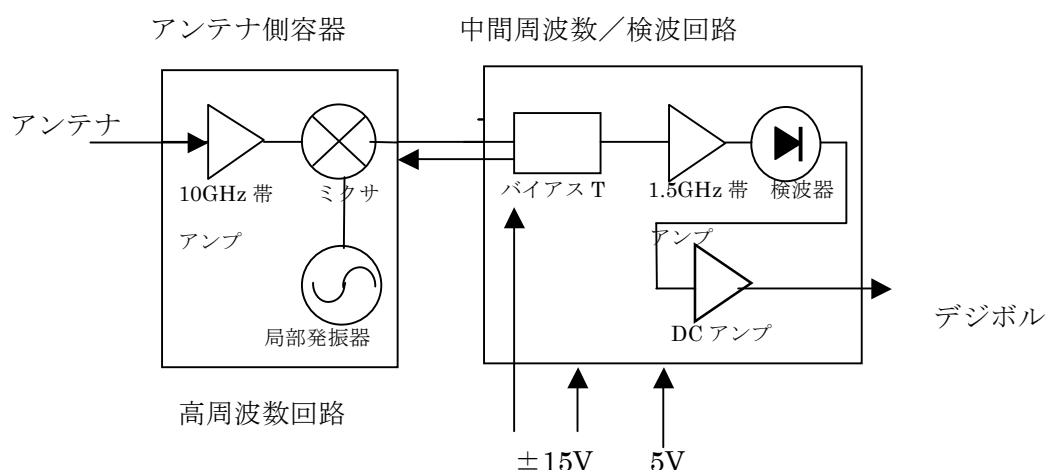
電波天文学で用いられる受信機には主に2種類あり、天体からの電波の振幅（強度）と位相情報の両者を取り出すコヒーレント受信機と、ボロメーターに代表されるエネルギー量子として電磁波を検出するインコヒーレント受信機がある。今、私たちが使っている受信機はコヒーレント受信機の方であり、その代表的なものでヘテロダイン受信機を使っている。

(4) ヘテロダイン受信機の基本構成

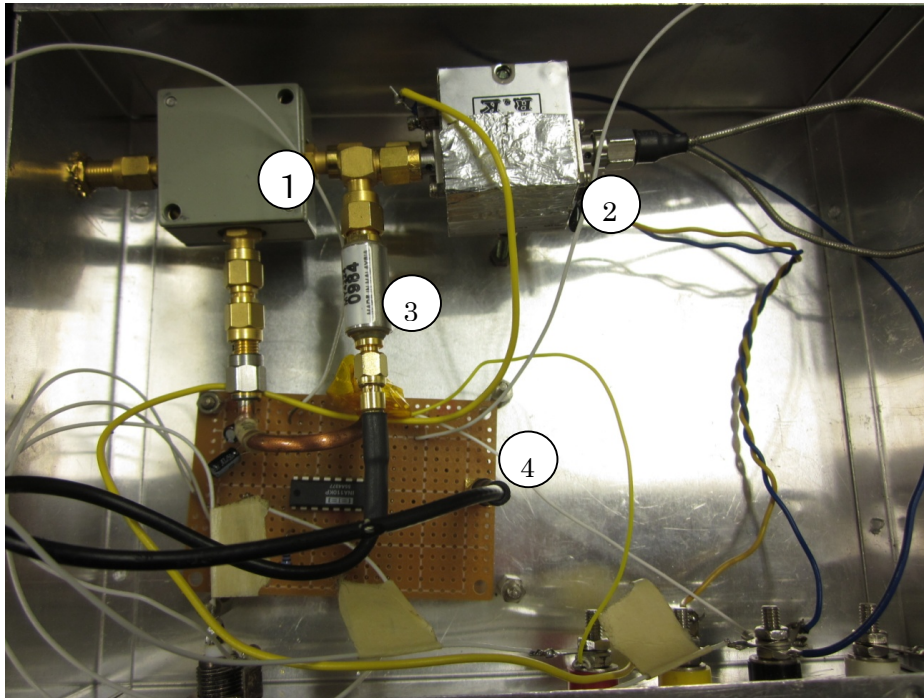
ヘテロダイン受信機は観測する電波の周波数によって2種類に分けられている。観測する周波数が100GHz 以下の場合、受信機内部の下流に位置する回路構成が技術的に容易になるように、その周波数で低雑音増幅器が利用可能であるときは初段で電波の増幅を行う。しかし、100GHz 以上と周波数が高

くなると低雑音増幅器の制作が困難になるため最初に周波数変換を行う。周波数変換器は、天体の電波周波数とごく近い周波数を安定に出す発信源（局部発信機）の信号を天体からの電波に混ぜて、その差周波数を取りだすことで低い周波数に変換する。その後差周波数に適合させた低雑音増幅器で増幅される。この方式をヘテロダインと呼ぶ。私たちが使っているアンテナの捉える周波数は約 12.2GHz であるが、ミクサ（コンバータ）を通して低い周波数に変換されている。

つまり、学生実験で使っている電波望遠鏡の構成は次のようになっている。



まず、電波望遠鏡のアンテナ側容器にある低雑音増幅器で増幅されたのち、ミクサに送られて 10GHz から 1.5GHz に周波数変換される。その後、受信機内のバイアス T に送られ、直流電圧を加えられる。電波は 1.5GHz 帯のアンプで増幅されたあと、検波器に送られ信号が 2 乗検波された結果、入射電圧に比例した電圧を出力する。しかし、それでも約数mV の出力しかないので DC アンプで 100 倍に増幅後、デジボルに送られ計測される。この中で、2 台の電波望遠鏡を稼働させるために受信機内の整備をした。下の写真が実際使っている受信機の中身である。



- ① バイアス T:アンテナからくる高周波信号に影響を与えずにアンテナ側の発振器・RF アンプに 15V のバイアス電圧を加える部品。
- ② 1.5GHz 帯のアンプ : 1.5GHz に周波数変換された電波を増幅させる部品。
- ③ 検波器 : 電波が 2 乗検波された結果、入力された電圧に比例した電圧を出力する部品。
- ④ DC アンプ : 検波器から出力された数mV の電圧を 100 倍に増幅する部品。

まず、使用されていなかった受信機にはバイアス T だけが取り付けられていなかったもので、もともと使用していた受信機からバイアス T をその受信機に移植した。(以後この受信機を A と呼ぶ。) 次にバイアス T を他の受信機に移植した受信機に新しく取り寄せたバイアス T を取り付けた。(以後この受信機 B と呼ぶ。) バイアス T は受信機内にある 1.5GHz 帯アンプ、検波器、DC アンプを適切に作動させるために、直流電圧を加えるものである。この作業を行うことにより A と B には正しい電圧が届き正常に動作できるようになった。また、電波望遠鏡はとても繊細な観測装置であり少しでも接続が甘かったり、線が曲がっているだけで余計な抵抗がかかり、正しい値を出力しなくなってしまう。そのため、再度接続を確認し、不安定な部分はしっかり接続することで調整した。

3.太陽電波の観測

次に、2 台の受信機が正しく動作しているかどうか確かめるため、太陽電波を実際に観測し、その値から太陽の温度を求めた。その際、チョッパホイール法を用いて観測した。

・チョッパホイール法

チョッパホイール法とは吸収体出力と Blank Sky 出力の比較から空の吸収量を見積もることで地上から大気圏外にアンテナを出したときに受信できる真のアンテナ温度 T_A^* を求める方法である。

基本的な考えとしてはまず大気天頂での光学的厚みを τ 、天頂からの角度（天頂距離）を Z とすれば

天体の電波が大気から受ける減衰 L は $L = \exp(\tau \sec Z)$ となる。すなわち受信機で観測されるアンテナ温度 T_A と T_A^* の関係は

$$T_A^* = \frac{T_A L}{\eta} = \frac{T_A \exp(\tau \sec Z)}{\eta} \quad (1.8)$$

となる。ただし η は望遠鏡のフィード効率、すなわちアンテナの開口面を通過した電波が受信機まで到達する割合とする。望遠鏡で天体のない空を見たときの受信機出力は宇宙背景放射を無視すれば

$$P_v(\text{sky}) = Gk[T_{RX} + (1 - \eta)T_{\text{amb}} + \eta\{1 - \exp(-\tau \sec Z)\}T_{\text{atm}}] \quad (1.9)$$

である。ただし、 G は受信機の増幅率、 T_{RX} は受信機雑音温度、 T_{amb} は望遠鏡や周囲の大地の温度（常温）、そして T_{atm} は電波の通過する大気温度である。天体に向けたときおよび常温 T_{amb} の吸収体でアンテナを覆ったときの受信機出力はそれぞれ、

$$P_v(\text{source}) = Gk[T_A + T_{RX} + (1 - \eta)T_{\text{amb}} + \eta\{1 - \exp(-\tau \sec Z)\}T_{\text{atm}}] \quad (1.10)$$

$$P_v(\text{amb}) = Gk(T_{RX} + T_{\text{amb}}) \quad (1.11)$$

これら測定量を組み合わせて補正温度 T_c を以下のように定義できる。

$$T_c \equiv T_{\text{amb}} \frac{P_v(\text{source}) - P_v(\text{sky})}{P_v(\text{amb}) - P_v(\text{sky})} = \frac{T_{\text{amb}} T_A}{\eta[T_{\text{amb}} - \{1 - \exp(-\tau \sec Z)\}T_{\text{atm}}]} \quad (1.12)$$

今回、 T_{amb} と T_{atm} は絶対温度にすると違いは 10% 程度 (<30K) であることが期待されるため、大気温度 T_{atm} と常温 T_{amb} が等しいと近似する。すると、上の式は

$$T_c = \frac{T_A \exp(\tau \sec Z)}{\eta} = T_A^* \quad (1.13)$$

となり、 T_c は T_A^* と一致するため、式(1.12)の 1 つ目の式を利用して太陽のアンテナ温度を求めた。しかし、そのままと太陽の広がり Ω_{sun} はアンテナのビームサイズ Ω_{beam} に比べて小さいため、本来の太陽の輝度温度よりも低い値が出てしまう。そのため、真の太陽の輝度温度を求めるためにはその差を補正しなくてはならない。そのため次の式で立体角補正をして真の太陽の温度を求めた。

$$T_{\text{sun}} = T_c \frac{\Omega_{\text{beam}}}{\Omega_{\text{sun}}} \quad (1.14)$$

3.結果

まず、アンテナを太陽に向けた時の電圧を P_{sun} 、太陽と同じ高度の何も無い空に向けた電圧を P_{sky} 、アンテナに黒体をかざした時の電圧を P_R として結果を下の表に示す。

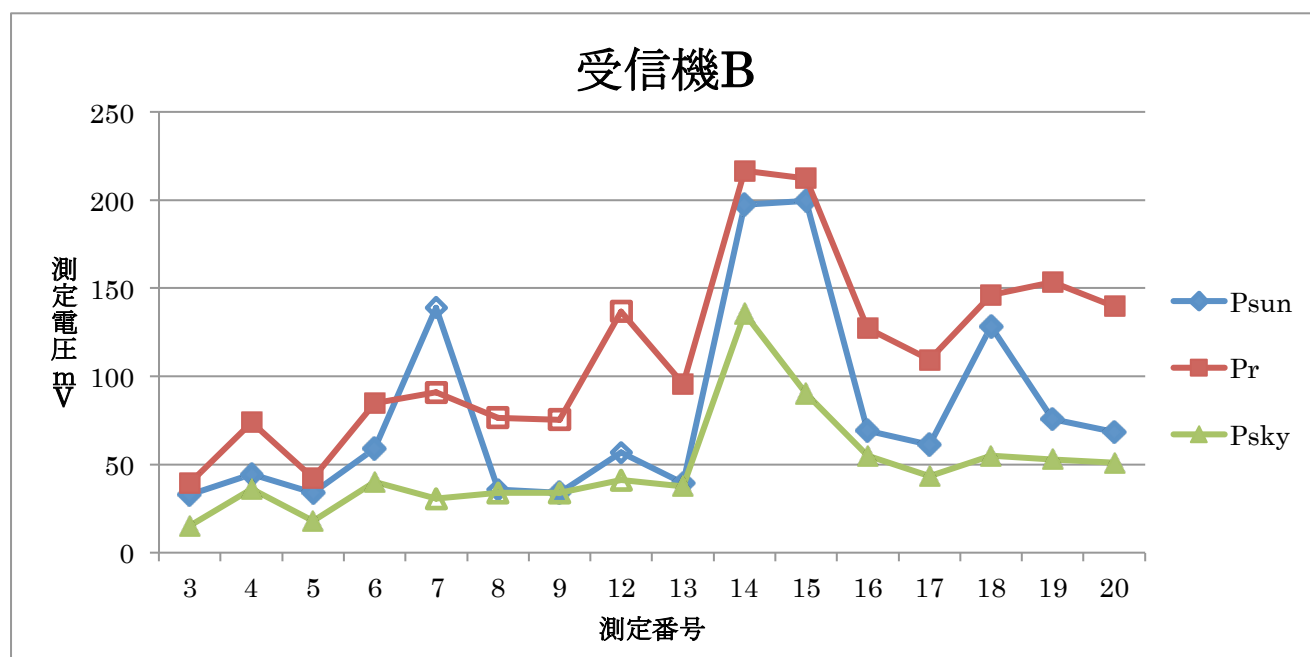
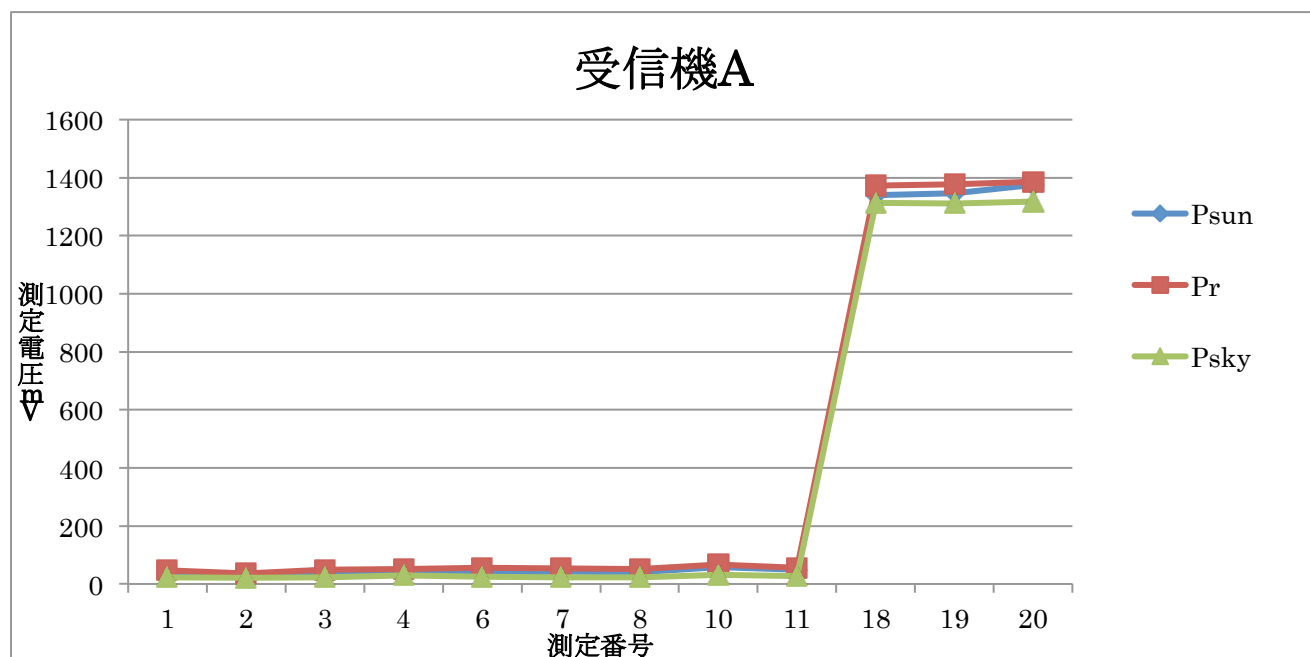
受信機 A

番号	日にち	気温(K)	P_{SUN} (mV)	P_R (mV)	P_{SKY} (mV)
1	8 月 29 日	311	30.5	46.3	22.0
2	8 月 31 日	305	32.5	36.2	21.3
3	9 月 12 日	305	37.7	49.4	23.4
4	10 月 5 日	303	49.1	51.2	30.0
6	10 月 10 日	299	39.0	55.8	24.8
7	10 月 13 日(1)	300	42.1	52.9	23.8
8	10 月 13 日(2)	300	40.3	50.5	23.5
10	10 月 15 日(1)	301	57.4	67.3	31.5
11	10 月 15 日(2)	301	48.9	56.6	27.3
18	1 月 29 日	292	1340.0	1373.0	1312.0
19	1 月 30 日	292	1346.0	1377.0	1311.0
20	1 月 31 日	291	1374.0	1386.0	1317.0

受信機 B

番号	実験日	気温(K)	P_{SUN} (mV)	P_R (mV)	P_{SKY} (mV)
3	9 月 12 日	305	32.8	39.3	15.2
4	10 月 5 日(1)	303	44.4	74.0	36.1
5	10 月 5 日(2)	303	34.0	42.2	17.8
6	10 月 10 日	299	58.9	84.9	40.3
7	10 月 13 日(1)	300	139.0	90.9	30.6
8	10 月 13 日(2)	300	35.6	76.6	33.9
9	10 月 13 日(3)	300	34.0	75.5	33.9
12	10 月 25 日	297	56.7	136.8	41.1
13	10 月 26 日	301	39.4	95.6	37.5
14	1 月 7 日(1)	283	197.2	216.7	135.5
15	1 月 7 日(2)	283	199.5	212.2	90.3
16	1 月 16 日	284	69.2	127.2	55.1
17	1 月 18 日	284	61.3	109.5	43.5
18	1 月 29 日	292	128.5	146.2	55.0
19	1 月 30 日	292	75.9	153.6	52.8
20	1 月 31 日	291	68.5	139.8	51.1

この表をもとに、日によってそれぞれの値がどのように変化するかを表したのが次のグラフである。



太陽の状態や空の状態は毎日異なっているため、ここではいつも同じような電圧を出力しているかどうかを見るのではなく、それぞれの電圧が同じ比を取るような程度同じ変化をしているかどうかをみた。このグラフから受信機 A はどの日もある程度同じ値を示しており、 P_{sun} 、 P_{sky} 、 P_{R} も同じように推移している。1 月 29 日（測定番号 18）以降、測定電圧が極端に高くなってしまったが、 P_{sun} 、 P_{sky} 、 P_{R} のどの電圧もその後同じように推移していることから、受信機 A ではある程度安定した太陽温度が導くことが出来ると考えた。受信機 B は 9 月 12 日～10 月 10 日（測定番号 3～6）までの測定ではある程度同じようにそれぞれの電圧が推移しており、安定して出力できていると見なすことができた。ただし、10 月 13

日の測定ではそれぞれの電圧がばらばらに推移しており、このことから何かしらの異常があったのではないと判断した。この異常を解決した後、10月16日以降（測定番号13～）再度測定した結果、それぞれの電圧がある程度同じ変化で推移している事が分かった。しかし、受信機Bは受信機Aに比べると、値の変動が大きいため受信機Aよりは安定していないのではないかと見なした。

つぎに、それぞれの測定電圧をもとに式(1.12)、(1.13)からアンテナ温度と真の太陽温度を見積もった。その結果を次の表に示した。

受信機 A

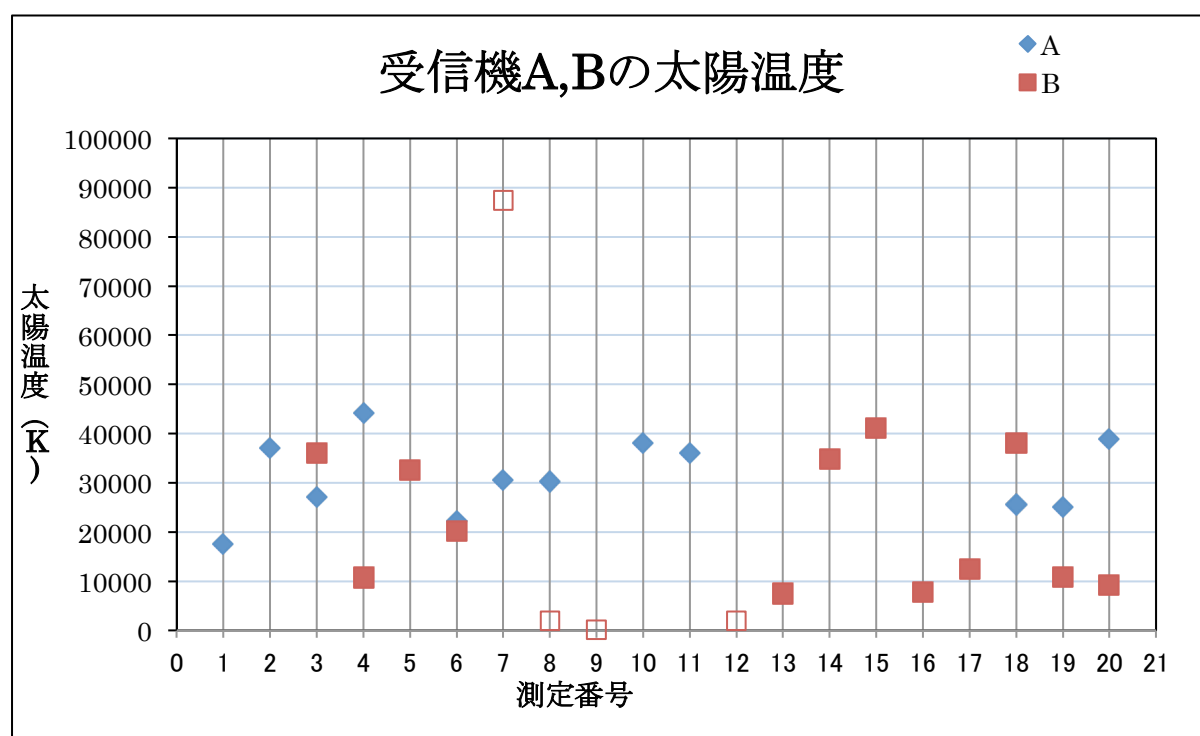
測定番号	日にち	気温(K)	アンテナ温度(K)	太陽温度(K)
1	8月29日	311	108	17624
2	8月31日	305	229	37140
3	9月12日	305	168	27175
4	10月5日(1)	303	272	44177
6	10月10日	299	137	22178
7	10月13日(1)	300	189	30569
8	10月13日(2)		187	30229
10	10月15日(1)	301	235	38002
11	10月15日(2)		222	35947
18	1月29日	292	158	25544
19	1月30日	292	155	25085
20	1月31日	291	240	38943

受信機 B

測定番号	実験日	気温(K)	アンテナ温度(K)	太陽温度(K)
3	9月12日	305	223	36126
4	10月5日(1)	303	67	10798
5	10月5日(2)		201	32544
6	10月10日	299	125	20199
7	10月13日(1)	300	539	87383
8	10月13日(2)		12	1934
9	10月13日(3)		0.7	117
12	10月25日	296	12	1967.28
13	10月26日	301	47	7537
14	1月7日(1)	283	215	34836
15	1月7日(2)		254	41070
16	1月16日	284	49	7872
17	1月18日	284	77	12408.2
18	1月29日	292	235	38123

19	1 月 30 日	292	67	10841
20	1 月 31 日	291	57	9248

この表をもとにそれぞれの受信機から求めた太陽温度がどのような範囲に収まっているのかどうかを示したのが次のグラフである。



このグラフから、求められた太陽温度は2台ともおよそ $1.0 \times 10^4 \sim 5.0 \times 10^4$ (K)の範囲に収まっていた。しかし、受信機 B の 7,8,9 番目の測定結果が同じ日に観測しているにもかかわらず、大きく異なっていることが分かった。受信機 B の 7 番の測定で、大きい値が出たため太陽フレアの影響での温度上昇の可能性も考えられるが、受信機 A の測定結果からはそのような兆候は見られなかったため、この急激な温度上昇の原因がフレアである可能性は低いと考えられる。またその後、再度観測しようとした時受信機 B から全く出力しなくなった。そのため、受信機内の問題であると推定して、受信機に正しく入力電圧が来ているかどうかをパワーメーターで確かめた。受信機内のどこまで正しく入力が入っているかを調べたところ、ちょうど 1.5GHz 帯アンプ以降正しく電圧が来ていないことが判明した。アンプは振動に弱いため、7 階から下の駐車場に望遠鏡を移動させる際の振動で不具合を起こしたのだと推測される。その後、1.5GHz 帯のアンプを新しく取り替えたところ正しく出力するようになった。しかし、受信機 B で再度測定したところ 12 番目の測定結果が著しく低いという結果が出た。この結果は P_{sun} と P_{sky} の値が近すぎるという事に起因している。 P_{sun} は太陽にアンテナを向けたときの電波強度であり、 P_{sky} は太陽と同高度の反対方向の空にアンテナをむけた時の電波強度であるため、本来なら P_{sky} は P_{sun} よりも十分低い値がでるはずである。原因として、 P_{sky} を測定する際に周りの建物や電柱からの放射が入ってしまった

事や P_{sun} を測定する際に太陽に雲がかかってしまった事、配線の接続が甘く、接触不良をおこしていたため正しい値が出なかった事があげられる。実際その日は太陽に若干雲がかかっていたため、 P_{sun} の値が小さくなってしまい、また太陽高度が低いことから周りの建物等からの放射を受けて P_{sky} の値が大きくなってしまったのだと考えた。13 番目以降の観測結果から前に述べた温度の範囲に入っているため受信機内部には問題がないと見られる。そのため、太陽の高度が低くなっていた事により周りの建物が影響したものと考えた。これを踏まえ、その後の測定では時間をなるべく太陽高度が高い時間にし、 P_{sky} を測定する際に周りの建物の影響を受けないように場所もある程度考慮した上で観測した。そうすることで、この問題は解決することが出来た。

4. 考察

BS アンテナを用いたこの電波望遠鏡でとらえているのは約 12.2GHz 帯の電波で、太陽では彩層の部分を見ていることになる。彩層とは太陽の表層部分で、光球の外側、コロナの内側に位置する薄いガスによって形成される層である。厚さは数千から 1 万 km で、最下層である温度最低層では光球よりやや低温で 4700~5800K である。その後高度ともに増加してコロナとの境界線(遷移層)付近では 1 万 K に達する。そのため、太陽電波から求められる理想的な値としては 10000K~20000K であると仮定される。今回求められた太陽温度は前述の通り 2 台ともおおよそ $1.0 \times 10^4 \sim 5.0 \times 10^4$ (K) の範囲に収まっていたため 2 台とも正しい出力をしていると判断した。

次に、受信機 A,B がどのくらいの誤差を持っているのかみるために、不偏分散、標準偏差を求めてそれぞれどのくらいの揺らぎを持っているかどうかを調べた。ここでは輝度温度ではなく立体角補正する前のアンテナ温度を使って求めた。それは測定によるランダムな誤差のみを見るためである。

不偏分散は次の式で求められる。

$$\Sigma[(\text{各測定データ}) - (\text{平均値})]^2 / (N - 1)$$

ここで、N はデータの個数である。また、この平方根をとって標準偏差 σ を求めた。

これらの結果をまとめたのが次の表である。(B の測定番号 7,8,9,12 は除いて計算)

	受信機 A	受信機 B
平均(K)	192	135
不偏分散	2366.9697	6960.083
標準偏差 σ (K)	48.651513	83.42711

この表から受信機 A、B の平均値 $\pm \sigma$ は次のように求まった。

受信機 A $192 \pm 49\text{K}$

受信機 B $135 \pm 83\text{K}$

この値から、受信機 B のゆらぎが相対的に大きいものの、お互い重なっている範囲があるため、測定誤差による値のばらつきの範囲内で両者は一致する結果を出していることがわかった。したがって、両者はランダムな測定誤差はあるが、その範囲内でお互い矛盾のない値を出していると評価した。

5.まとめと今後

今回、2 台とも受信機を整備することでどちらも電波望遠鏡として稼働させることに成功し、太陽温度を求めることに成功した。しかし、受信機 B は誤差が大きく、出力が安定しない時があるので配線や部品の異常の有無も含めて引き続き整備を継続し、誤差を小さくする必要があることも分かった。今後は、受信機の中の整備をしやすくするためや、接触不良をなくすために、受信機の中の配線を整理するなどの改善が必要である。