

BS アンテナを用いた太陽の表面温度測定



実施担当者 鹿児島県立
錦江湾高等学校
化学研究部
教諭 河野 裕一郎

1 はじめに

鹿児島は、小惑星探索機「はやぶさ」を打ち上げた内之浦宇宙空間観測所や、日本最大のロケット発射場である種子島宇宙センター、国立天文台入来・鹿児島観測所などの天文観測施設を擁する宇宙に最も近い県であり、宇宙への関心が高い。

私達は宇宙に存在する天体の中でも、特に身近な太陽の観測に関心を持った。地上に届く太陽からの電波の周波数域は 10 MHz～300 GHz である。そこで私達は、12 GHz の波長（電波）を受信することが可能であり、家庭でも使用される BS アンテナに着目した。私達は BS アンテナを用いた太陽観測について 3 つの実験を考えた。1 つ目は太陽フレアの観測である。太陽フレアとは太陽の表面上で起こる爆発現象である。電磁波が関係し、黒点付近での発生が多い。黒点とは周りよりも低い温度の部分が高く見える現象であり、太陽の活動が活発なときに発生しやすい。しかし今年度は極小期という太陽の活動が低下する時期であり、黒点の発生数が減少するため、太陽フレアの観測は難しいと判断し、断念した。2 つ目は太陽の表面温度の測定である。太陽の表面温度は一般的には約 6000 K と知られているが、それは可視光で測定した場合の温度である¹⁾。今回私達を用いた BS アンテナは 12 GHz の電波を受信する。この 12 GHz の電波は太陽の彩層から放出されており、温度は 10000 K となる。3 つ目は部分日食の観測である。2019 年 12 月 26 日に部分日食があるため、部分日食中の測定値の変動を観測したいと考えた。以上のことから、今回私達は太陽の表面温度の測定と部分日食の観測を行うことにした。部分日食の観測を正確に行うために、まず太陽の表面温度測定の測定において BS アンテナの形状や大きさによって測定値の精度に違いはあるのかを調べた。

2 実験内容

2-0 実験方法

今回、太陽の表面温度の測定に使用した BS アンテナを図 1 に示す。直径 370 mm の円形のセンターポール型 1 種類と、短径 467 mm、長径 532 mm および短径 527 mm、長径 608 mm の 2 種類の縦長楕円形のオフセット型（以下、オフ小、オフ大と呼ぶ）の計 3 種類を用いた。センターポール型は受信する電波に向きを合わせるの



図 1 実験で使用した BS アンテナ

は難しいが、精度が高く、オフセット型の精度はセンターポール型よりやや劣るが、受信する電波に向きを合わせやすいという特徴がある。

電波の受信感度が最大となる方向から、受信感度が半減する方向までの角度を「ビームサイズ」と呼び、センターポール型は 2.38° オフ小は 3° オフ大は 3.25° である。実験装置は参考文献²⁾を元に、BS アンテナ、ブースター、検波器、デジタルテスターの順にケーブルでつないで作製した(図2)。ブースターで増幅された信号を検波器で直流電圧に変換し、デジタルテスターで測定する仕組みである。電波を熱に変換して電波の反射や透過を抑える機能を持つ物体を「電波吸収体」と呼び、電波を正確に測りたいときや電波の反射を抑えたいときに使用され、太陽の表面温度を求める際にも必要である。

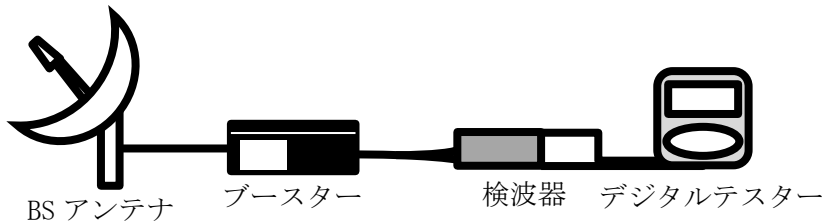


図2 実験装置の概要

BS アンテナを空、太陽、電

波吸収体に向け、それぞれの電圧 (mV) V_{sky} 、 V_{sun} 、 V_{abs} を測定し、実験時の温度 T_{abs} (°C) も測定して式1、式2で計算した。太陽の表面温度を T_{sun} (K)、太陽の輝度温度を T_{ant} (K)、BS アンテナのビームサイズを a とし、太陽の視直径 r の値は 0.5° を用いた。

$$T_{ant} = \frac{V_{sun} - V_{sky}}{V_{abs} - V_{sky}} (T_{abs} + 273)$$

式1

$$T_{sun} = T_{ant} \frac{a^2}{r^2}$$

式2

本研究では、各実験における T_{sun} の平均値及び標準偏差を求めて考察した。標準偏差はデータの散らばりの度合いを示す値で、標準偏差が小さいほど精度が高い。

2-1 3種のアンテナの比較

7月23日、7月24日、10月9日、10月12日に3種のアンテナによる測定値の比較の実験を行った。

結果は図3及び表1のとおりである。センターポール型は平均値が10000 Kよりかなり低い値になった。これは、センターポール型は電波を受信できる範囲が小さく、実験中BSアンテナを太陽に正確に合わせることができず、太陽の電波をうまく受信できなかったためと考えた。また、測定日などの条件を揃えなかったため、測定値のばらつきが大きくなったとも考えた。そのため、次の実験ではオフセット型だけを用い、同一日に実験を行った。

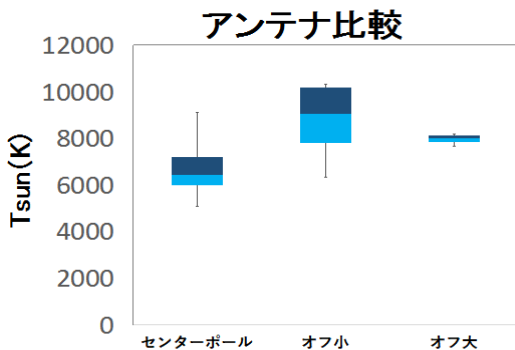


表1 各アンテナで測定した太陽表面温度の平均値

	実験数	T_{sun} の平均値 (K)	標準偏差
センターポール	4	6774	1698
オフ小	8	8833	1526
オフ大	7	7979	207

図3 各アンテナで測定した太陽表面温度の比較

2-2 オフセット型のサイズによる比較

11月16日にオフ小とオフ大で実験を行い、アンテナ面のサイズの測定値への影響を調べた。結果は図4と表2のとおりである。

標準偏差の小さいオフ大の方が、精度は高い。しかし、太陽表面温度の平均値は、オフ小の方が10000 Kに近かった。これは、BSアンテナの受信機の種類の違いが影響しているのではないかと考えた。

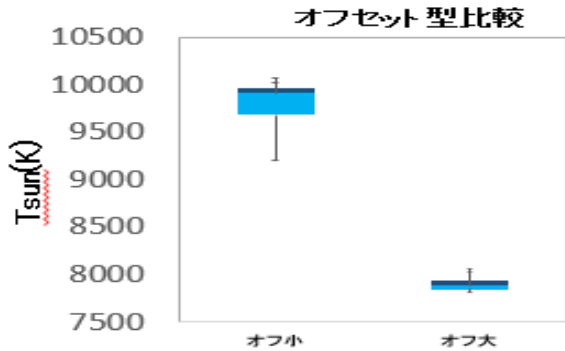


表2 オフセット型大小による実験結果

	実験数	T_{sun} の平均値(K)	標準偏差
オフ小	8	9801	282
オフ大	8	7907	84

図4 オフセット型大小による測定値の比較

2-3 受信機による比較

受信機による測定値の違いを検証するため、受信機とアンテナの面の部分を取り外して付け替え、2月1日に実験を行った。購入時の組み合わせに加えて、オフ小のアンテナ面にオフ大の受信機を付けたもの、オフ大のアンテナ面にオフ小の受信機を付けたものと、4つのパターンでそれぞれ太陽の表面温度を測定した(図5)。結果は図6と表3のとおりである。

太陽表面温度の平均値はアンテナ面の小さい③と④が10000 Kに近く、標準偏差はオフ大の受信機を用いた②と④が小さかったため、精度が高かった。受信機について調べたところ、オフ小の受信機は右旋円偏波しか受信できないのに対して、オフ大の受信機は右旋円偏波と左旋円偏波の両方を受信できることが分かった。太陽光には右旋円偏波と左旋円偏波の両方が含まれるが、太陽大気の状態によりその含まれる割合は変動する。オフ大の受信機は偏波を両方とも受信できるため、磁場による変動を受けにくく、標準偏差が小さくなったと考えた。

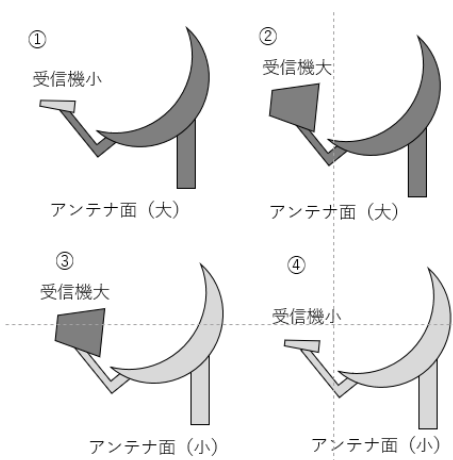


図5 受信機とアンテナ面の4通りの組み合わせ

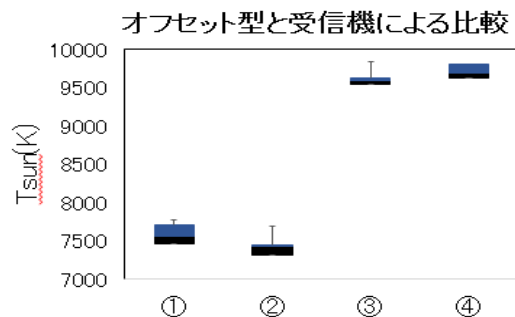


図6 受信機とアンテナ面の組み合わせによる比較

表3 受信機とアンテナ面の組み合わせによる結果の比較

実験	アンテナ面	受信機	実験数	T_{sun} の 平均値(K)	標準 偏差
①	大	小	8	7613	204
②	大	大	8	7401	86
③	小	大	8	9607	120
④	小	小	8	9718	167

2-4 部分日食観測

12月26日の部分日食当日は、前線や低気圧が通過し、鹿児島市は雨であった。雨の中で晴れ間を探して測定を試みたが、部分日食を測定することはできず、結果が得られなかった。

3 まとめ

今回の実験の目的の一つである部分日食の観測はできなかった。しかし、太陽の表面温度の測定によるBSアンテナの形状と受信機の比較については、アンテナ面が小さい方が彩層の温度である10000Kに測定値が近く、右旋円偏波と左旋円偏波の両方を受信できる受信機の方が測定の精度が高くなることが分かった。子どもたちに科学への関心を持ってもらうために、近くのショッピングモールでの「わくわく実験教室」というイベントや平川児童クラブなどで今回の実験成果を紹介した。



図7 太陽の表面温度測定の説明（左：イオンモール鹿児島、右：平川児童クラブ）

謝 辞

本研究を行うにあたり、鹿児島大学の中西裕之 准教授、神長暁子 助教にご協力いただきました。また多大なご支援をいただきました公益財団法人中谷医工計測技術振興財団に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 文部科学省 検定済み教科書『地学 I』高等学校理科用 啓林館、2009.
- 2) 高校生天体観測ネットワーク Astro-HS 観測ガイドブック編集委員編集、高校生天体観測ネットワーク 2008「太陽観測」、P22 - 27、高校生天体観測ネットワーク Astro-HS 運営委員会、2008.