

太陽と流星の電波観測

～電波天文学入門～

熊本県立第二高等学校 1年 岡本夢歩 瀬口瑞彩 豊田奈央 水上陽花

熊本県立大津高等学校 2年 甲斐義規 西村出海

指導者 東海大学基盤工学部電気電子情報工学科

准教授 松本欣也先生

1 研究の目的

私たちは、電波を利用して遠くのものを観察できることに興味を持った。今回のセミナーでは電波と地球科学に関する視野を広げることを目的とし、電波を用いて太陽や流星を観測することで得られたデータについて考察した。

2 太陽電波

i) 研究方法

太陽電波を市販の BS アンテナと受信機で受信し、太陽電波の電力に比例した電圧を電圧計で読み取る。その際、写真 1 のように太陽方向へのアンテナの指向具合は「一次放射器の影が最小になることと、電圧が最大になること」で確認する。



写真1 アンテナを太陽に向ける

太陽電波の電圧から太陽の温度に変換するために、空と体から放射される電波も電圧としてそれぞれ測定する。体—空—太陽—空—体を 1 セットとして、2 チームで測定を行った。図 1 に示すように、測定した電圧と温度の比例関係を利用して、太陽の温度を求める。ただし、電波観測では受信機自体が温度を持ち、それによる熱雑音が発生するため、受信機の雑音 T_{rx} も考慮しなければならない。

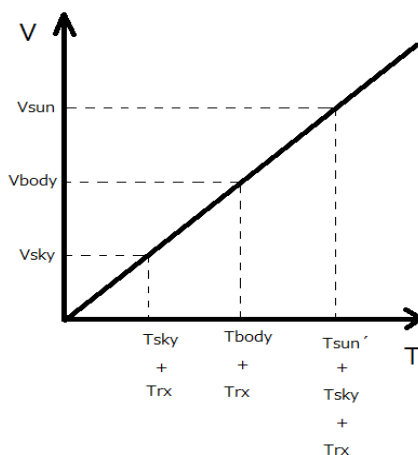


図1 電圧と温度の比例関係

電圧	温度
体 . . . V_{body}	体 . . . T_{body}
空 . . . V_{sky}	空 . . . T_{sky}
太陽 . . . V_{sun}	太陽 . . . T_{sun}'
	雑音 . . . T_{rx}

測定後、 T_{sun}' を計算によって理論的に求める。図1に示した3種の電圧温度と4種の温度には次のような関係がある。

$$V_{\text{body}} \propto T_{\text{rx}} + T_{\text{body}} \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$V_{\text{sun}} \propto T_{\text{rx}} + T_{\text{sun}}' + T_{\text{sky}} \quad \cdots \textcircled{2}$$

$$V_{\text{sky}} \propto T_{\text{rx}} + T_{\text{sky}} \quad \cdots \textcircled{3}$$

ここで、 T_{body} を310 [K] (37℃)、 T_{sky} を3 [K] (-270℃)と仮定し、②式から③式を引き、①式から③式を引くと T_{rx} が消去され、次式をそれぞれ得ることができる。

$$\Delta V_{\text{ss}} \propto T_{\text{sun}}'$$

$$\Delta V_{\text{bs}} \propto T_{\text{body}} - T_{\text{sky}} = 307$$

$$(\Delta V_{\text{ss}} = V_{\text{sun}} - V_{\text{sky}})$$

$$(\Delta V_{\text{bs}} = V_{\text{body}} - V_{\text{sky}})$$

これらを比例の関係式で表現すると、次のようになる。

$$\Delta V_{\text{ss}} : T_{\text{sun}}' = \Delta V_{\text{bs}} : 307$$

この式を変形し、 T_{sun}' について解くと、最終的に次のようになる。

$$T_{\text{sun}}' = 307 \times \Delta V_{\text{ss}} / \Delta V_{\text{bs}} \quad \cdots \textcircled{4}$$

しかし、太陽の大きさはアンテナの指向性の大きさに対して小さいので、④式で求めた T_{sun}' にはさらに補正を行う必要がある。アンテナビームが平面ならば、図2のように、アンテナの指向性の大きさは4°、太陽の視直径は0.5°となるので、太陽の

視直径を8倍してアンテナの指向性の大きさと同じにすることができるが、ビームは立体であるため、平面角を立体角に変換する必要がある。

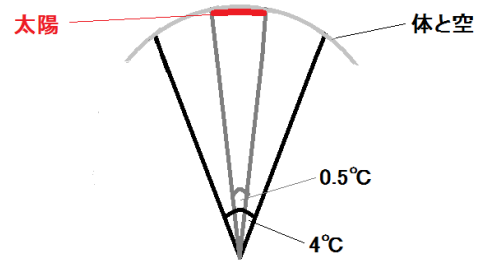


図2 アンテナの指向性

太陽の平面角は0.004596 [rad]であるが、立体角に変換すると、0.0000663 [sr]となる。一方、アンテナビームは、平面角は0.0714 [rad]であるが、立体角に変換すると0.008896 [sr]となる。これらの立体角の比を T_{sun}' に掛けることで、次式のように実際の太陽の温度 (T_{sun}) を求めることができる。

$$T_{\text{sun}} = (\Omega_{\text{beam}} / \Omega_{\text{sun}}) \times T_{\text{sun}}'$$

(Ω_{beam} : ビームの立体角)

(Ω_{sun} : 太陽の立体角)

ii)測定結果とその考察

〈測定値①～④〉

	Vbody1	Vsky1	Vsun	Vsky2	Vbody2	Tsun
第二①	0.776	0.447	0.579	0.440	0.827	15591
第二②	0.841	0.450	0.544	0.452	0.821	10081
第二③	0.822	0.433	0.606	0.437	0.848	17610
第二④	0.835	0.431	0.559	0.394	0.734	16222
大津①	0.860	0.453	0.698	0.444	0.564	39004
大津②	0.872	0.448	0.682	0.451	0.815	24308
大津③	0.792	0.452	0.651	0.453	0.831	22776
大津④	0.866	0.447	0.690	0.445	0.806	25772

～測定①から測定④の結果について～

Tsun の測定値にばらつきあり、第二高校と大津高校で Vsun の値に差がある。なぜ、Tsun のばらつきが出たのか、第二高校の1回目と2回目のデータを用いて考察した。

第二高校①の機材の Vbody1 = 0.776 は、他のデータの3回より顕著に低くなった。体の電圧を測る際、アンテナとの距離が他の時より離れていたと仮定し、もし、この値が第二高校①の Vbody2 = 0.827 と等しかったとして再計算を行うと、Tsun = 14554 [K]となった。

第二高校②の機材の Vsun = 0.544 も他の値と比べ低かったため、アンテナの向け方が最適ではなかったと仮定し、もし、この値が第二高校①と同じ 0.579 だったとして再計算すると、Tsun = 13749 [K]となり、先ほどの再計算値 14554 [K]と1000 [K]の差となった。このことから観測方法の精度によって観測値に大きな差が生まれることがわかる。

また、今回の実験では第二高校と大津高

校の Tsun の値に大きく差が出ていたことが特徴的だった。Vbody と Vsky の値は第二高校と大津高校でほぼ同じだったので、考えられる原因としては、「アンテナが体の一部を覆っていなかったこと」や「壁や土手からの太陽電波の反射など、観測場所の影響があったこと」が上げられる。そこで観測場所の影響が原因であるかを確かめるために、第5回目では場所を入れ替えて観測を行い、その後場所を戻して第6回目の観測を行った。

〈測定値⑤ 場所を入れ替えて〉

	Vbody1	Vsky1	Vsun	Vsky2	Vbody2	Tsun
第二⑤	0.862	0.423	0.590	0.412	0.808	17020
大津⑤	0.821	0.438	0.645	0.443	0.935	19255

〈測定値⑥ 元の場所で〉

	Vbody1	Vsky1	Vsun	Vsky2	Vbody2	Tsun
第二⑥	0.777	0.426	0.608	0.437	0.792	22219
大津⑥	0.831	0.431	0.671	0.425	0.926	20596

～測定⑤と測定⑥の結果について～

測定⑤では Tsun の値の差が縮まった。もう一度元の場所に戻して測定すると、結果は、Tsun の値の差はそれほど変化していなかった。よって、第 1 回から第 4 回は、場所に関係なく、アンテナが体の一部を覆

っていなかったため、Tsun の値に差が出たと思われる。

次に、アンテナの状態の差が測定に影響を与えているかを確認するため、第 7 回の観測では第二高校と大津高校で使用していたアンテナを入れ替えて測定した。

〈測定値⑦ アンテナ入れ替え〉

	Vbody1	Vsky1	Vsun	Vsky2	Vbody2	Tsun
第二⑦	0.559	0.288	0.421	0.292	0.548	20479
大津⑦	1.281	0.654	0.882	0.653	1.334	14392

～測定⑦の結果について～

これまで Vbody、Vsky の値が第二高校と大津高校である程度同じ値を示すものの、Tsun の値が一貫して大津高校が高く、第二高校が低い傾向であったので、アンテナ自身の状態にも影響があるのではないかと考えた。測定の結果、第二高校の Tsun の値が大きく、大津高校の Tsun の値が小さくなった。このことからアンテナにも原因があることが示唆された。

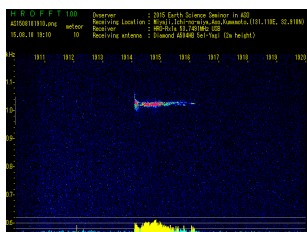
iii)改善点

雲などの気象条件の影響が考えられ、正確なデータを得るためには、1 日の快晴時の 1 時間おきの測定が必要である。測定⑦から大津高校が使用していたアンテナが関与した測定において 20000～25000 [K] になったため、3 台目のアンテナを用いた観測実験かアンテナの実験室での調査が必要になると考えられる。

3 流星電波

i) 研究方法

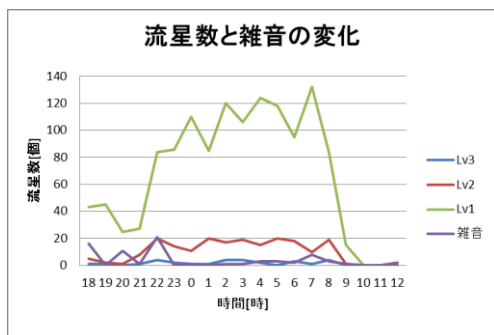
VHF アンテナを組み立て、ケーブルを受信機に接続して、音によって流星観測を行う。流星観測には観測ソフトウェアを用いて自動観測を行った。流星電波とは、地上からの電波が流星飛跡によって反射・散乱したもの（流星エコー）であり、流星エコーを音にして耳で聞き分けることで「時間当たりの流星数」を計測する。聞き分けに訓練を要することと、1人で長時間聞き分けられない点が問題となるため、今回では体験するのみとなった。



～流星の数え方～

流星の基準を小さい順にレベル 1, レベル 2, レベル 3 とし、それぞれの基準を超えた流星の数を測定する。

ii) 結果



22 時から 8 時の夜間でレベル 1, 2, 3 を超えた流星が多くみられた。

iii) 考察

流星エコーが夜間に多く観測されたことについて、私たちは、流星が昼側には少なく夜側には多いと考えている。しかし、今回は 1 回のみの観測だったので、データ量に乏しく、そのように断定することはできない。

4 感想

今回のアースサイエンスセミナーにおいて電波を活用し、太陽の温度計算と流星の検出を自らの手で行うことができた。このことを通して、観測によって得られたデータを科学的に探究する方法を学ぶことができたことは有意義であった。

5 謝辞

このセミナーを行うにあたり、ご指導いただいた松本欣也先生、浜田順子先生、田上剛範先生に感謝申し上げます。