

BSアンテナを用いた電波望遠鏡の教育利用

時政 典孝

兵庫県立西はりま天文台

The educational uses of radio telescopes with BS antennas

Noritaka TOKIMASA

Nishi-Harima Astronomical Observatory, Sayo, Hyogo, 679-5313, Japan

E-mail: tokimasa@nhao.jp

(Received December 1, 2011)

概要

筆者は、一般的に使われている BS 衛星放送受信用のパラボラアンテナを用いて、簡単な電波望遠鏡を製作した。この望遠鏡により 12GHz の太陽の熱的成分の電波と非熱的成分である太陽バーストを観測することができる。また、身近な周囲の熱成分による電波を受信できるので、物理教育にも使うこともできる。筆者は 1998 年より、この望遠鏡を貸し出しする活動を行ってきた。また、2004 年の 8 月からは定常的な太陽観測も行ってきた。観測機器と我々の行ってきた教育活動やその成果について紹介する。

Abstract

We have made a very simple radio telescope using a parabolic reflector antenna which is commonly used for satellite TV. We can detect the thermal radiation of the sun and solar bursts at 12 GHz with this telescope. Since thermal radiation in our environment is also detectable, this radio telescope is useful for physics education. We have been tentatively lending this radio telescope to those who would like to use since 1998. And we have been observing the solar radiation every clear day at Nishi-Harima Astronomical Observatory since August 2004. In this paper, we introduce to our educational activities and the result.

Key words: astronomical education — physics education — radio observation — solar burst

1. はじめに

最近の天文学において切り開かれた宇宙の姿に、電波天文学の貢献は大きい。しかしその功績や学問また電波望遠鏡の仕組みが一般に普及している割合は非常に低く、電波天文学がいかなるものを普及する意義は大いにある。

ところが、視覚としてとらえられる光の天文学と違って、電波は人間の直接の感覚として捕えられないので、電波天文学を普及するには一つの壁が存在している。いくら電波による天体画像を見ても、天体が電波を放射しているという実感は湧かないし、電波という電磁波の本質を理解することは難しい。この場合、手にとって実験し、電波観測を理解してもらうのが最も有効な方法であろう。

また、恒星など遠方にある天体からの電波をとらえるには、国立天文台野辺山宇宙電波観測所にある電波望遠鏡に代表されるような、かなり精密な機器を必要とするため、簡単には観測することができない。しかし、恒星の中で最も近くにある太陽からの電波は極めて強く、簡単な観測装置でとらえることができる。

日本では1991年から人工衛星を使った放送(BS放送)が始まった。これ以降、受信用のパラボラアンテナが安価で手に入るようになるとともに、このアンテナを使った太陽からの電波放射を観測する装置が紹介されている(工藤 1994、西尾 1996、斎藤 1998)。また、BSアンテナを用いた加算型干渉計の実験(大坪他 1992)や、BSアンテナによる太陽観測を高校の地学教育へ導入する試み(池田 1994)なども行われている。

我々は、紹介された機器を更に簡略化し、一部の自作品を除いて全て市販品で簡単に構成できる電波望遠鏡を開発した。この装置により、太陽からの電波放射だけでなく、身の周りにあふれている様々な電波を検出できる。したがって、電波とはどのようなものかを体験できるとともに、電磁波についての環境教育を行うこともできる。また、この装置を太陽を追尾できる架台に載せると、12 GHz(波長 2.5cm)における太陽電波のモニター観測を行うこともできる。

我々はこの装置を使って、さまざまな教育現場において電波天文学の普及を実践するとともに、装置の貸し出しを試みている。

2. 観測装置

以下にBSアンテナを用いた観測装置の仕様を示す (Fig.1、Fig.2 参照)。

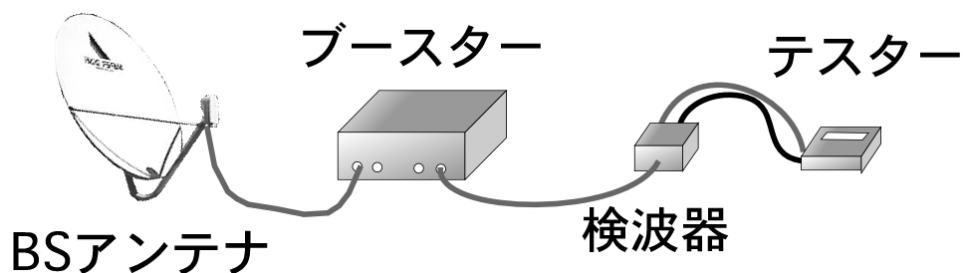


Fig. 1. BS アンテナを用いた観測装置の概念図

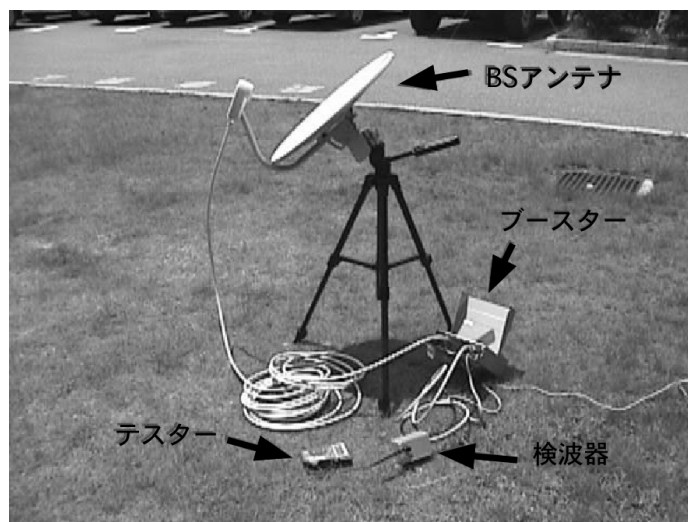


Fig. 2. 実際に装置を組み立てたもの

- B S アンテナ（45 形、DX アンテナ）の特性（[] は 35 形アンテナ）
受信周波数 1.7 – 12.0 GHz（チャンネル：BS1 – BS15）
偏波 右回り円偏波
ビーム幅（半値幅） 約 4 °
コンバータ出力周波数 1035 – 1335 MHz
アンテナの利得 33.8d B [31.7dB]
コンバーターの利得 52dB
重量 1.6 kg [1.1kg]
- 共同受信用ブースター（SS-301A、DX アンテナ）
コンバーターから出力された 1GHz の中間周波数の信号をさらに 27～33dB 増幅する。
- 検波器（自作）
ブースターで増幅された 1GHz の信号を検波して直流電圧を得る。検波器は、西尾（1996）が紹介したものを参考に、生産中止となっていたダイオードの代替品を探して製作した。
- 記録装置
検波後の直流電圧の大きさは数 10mV の程度であり、電圧計で測定できる。ペンレコーダーを利用すれば、時間的な記録として残せる。また、出力電圧を AD 変換してパソコンに取り込めば、ソフトによって画面に表示したり記録したりすることができる。

このうち B S アンテナ、ブースタ、記録計のテスター、三脚は市販品を購入したものである。自作したのは、検波器と三脚への取付金具のみである。以上で、アンテナを向けた方向の電波強度を、電圧値で読み取ることができる電波望遠鏡を構成する事ができる。我々の電波望遠鏡は、電波望遠鏡の基本となる構成機器を並べており、電波望遠鏡の仕組みを理解することができると思う。

3. 実験例

- 身の周りの電波
 - － 空
空は 12GHz の電波において透明であり、理想的には宇宙からの背景放射 3 K の電波放射を受信する事になる。実際には空の放射が 2 K ほど入った 5 K の電波放射と機器の内部雑音による強度が得られる。
 - － 人
アンテナを空に向けておいて 5 K の放射レベルに下げたところで、アンテナの前に人を横切らせてみる。人は約 310K であるので、空と比較すると、人が前を通る事で電波強度が高くなる事を確認できる。人からも電波が放射されていることに気づくことができる。

他にもストーブや白熱球などに向けても電波放射が確かめられる。電波吸収体というものを使うと、電波吸収体の持つ温度に比例した電波強度を測る事ができる。電波吸収体とはその名の通り周囲の電波を吸収するもので、吸収体の持つ温度に伴う黒体放射による電波のみを放射しているものである。これを液体窒素やドライアイスで冷却すると吸収体の温度が下がるとともに電波強度のレベルが下がる事を確かめられる。

- ニュートンの冷却の法則

1999年に香川大学教育学部が貸し出し望遠鏡を利用して実習を行なった。彼らはアンテナを石油ストーブに向け、その電波強度を測り、ストーブを消した後の電波強度変化を追った。Fig. 3がその時の結果である。電波強度は時間とともに指数関数的に減少している。この関係はニュートンの冷却の法則と呼ばれている。

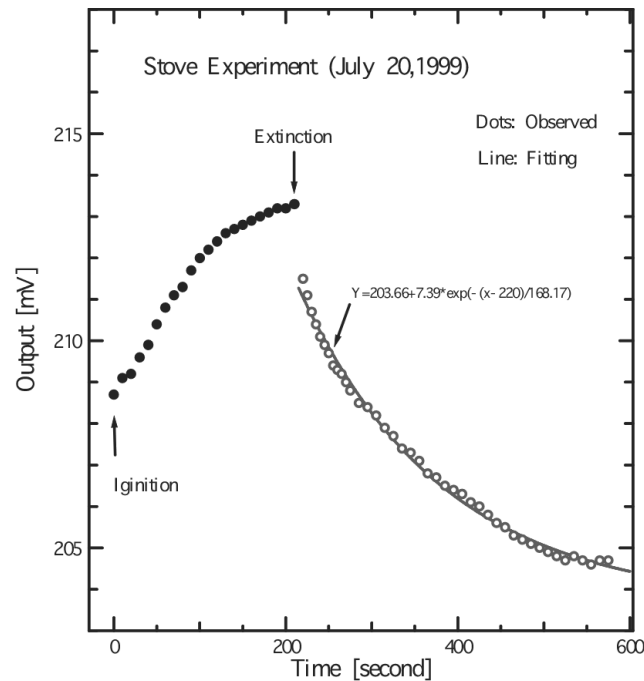


Fig. 3. ストーブからの放射される電波の強度変化。詳細は本文参照

- 蛍光灯からの放射

1999年には長崎工科大学の物理演習で本貸し出し望遠鏡の利用があり、蛍光灯からの電波放射をオシロスコープにかけて電波の速い強度変化を観ている (Fig.4)。西日本においては、家庭用電源は 60Hz の交流で供給されているので、60Hz で強度が振動していることが確かめられる。

- 電波の干渉による波長測定

前田は 2002 年に兵庫医科大学の物理実験で、アルミ板を使って蛍光灯からの電波を反射させ、直接放射の波と反射波とをオシロスコープで見ながら反射板を移動させることで両者が干渉により位相を強め合う反射板の位置を決め、その位置から受信している電波の周波数を求める実験を行なった。

- 電波の性質

BS アンテナの前をさまざまな素材の板によって電波を遮蔽すると、電波が物質によって透過したりしなかったりする事により、可視光とは違った性質の電磁波であることを体感できる。また、金属板によるアンテナの遮蔽では、電波が反射する事を実験する事もできる。金網でアンテナを遮蔽すると、網目の大きさによって電波の遮蔽具合が変わる事から、電波の波の性質を知る事もできる。電波の遮蔽の実験には、電波源として BS 衛星からの電波を使うとよい。12GHz における身の周りにある電波では最も強いものだからである。

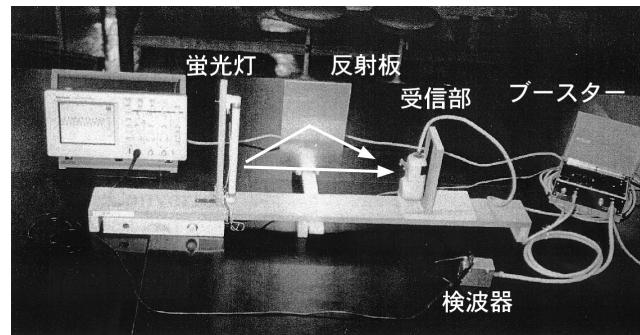


Fig. 4. 蛍光灯から放射される電波の測定実験

- 太陽の電波

太陽は表面温度 5780K で黒体放射する天体である。アンテナを空から太陽に向けると、電波強度レベルが上がる。太陽と地球は遠く離れているために、太陽からの電波強度は距離の 2 乗に比例して弱まっている。空のレベルと電波吸収体のレベルを測ることにより、太陽電波強度の較正が行なえる。この結果を用いると、太陽の温度を求めることができる。求めた太陽の温度は一万数千 K となるが、これは 12GHz の太陽電波が 5800K の光球からではなく、1 万 K 以上あるコロナ底部から放射されていることを指している。

また、12GHz という電波の周波数では、太陽からの電波放射は黒体放射だけでなく、非熱的な放射も観測する事ができる。太陽フレアなどに伴って発生する電波バーストもそのうちの 1 つである。

Fig. 5 は 2004 年 11 月 10 日に発生した電波バーストである。太陽電波バーストは太陽フレアに伴って発生する 경우가ほとんどであるが、コロナ中を進む電子に流れの向きによって放射される電波の方向に偏りが出ることと、BS アンテナが右回り偏波用であり左回りの電波放射が卓越した場合もあるので、全てのフレアにおいて電波バーストが観測されるわけではない。電波バーストは太陽面の西側よりも東側半分でフレアが発生した場合に受信されやすいことが知られている。

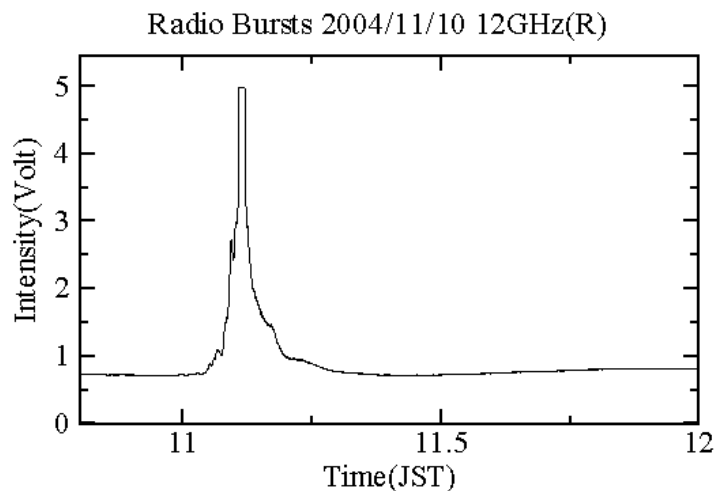


Fig. 5. 2004 年 11 月 10 日に発生した太陽電波バーストの強度変化

- 携帯電話の電波で考察

携帯電話からは電波が出ているが、この電波をBSアンテナを使った電波望遠鏡で測れるかどうか、多くの実習の場で質問が出たり実際にアンテナの前で発信して実験する場合がある。当然ながら携帯電話とテレビ放送の電波は周波数が異なるので、携帯電話からの電波はこの望遠鏡では全く観測されない。電波が周波数で異なること、周波数によって使い道を分けていることなどを知るきっかけとなるであろう。

4. 利用者間ネットワーク

市販の機器で電波望遠鏡が作れるとはいっても、実際に作るとなると、それなりの費用と労力を要する。学校教育現場では、面白いと思ってもなかなか手を出せないということが起こり得る。また、仮に作ったとしても、太陽フレアをモニター観測する場合を除けば、授業で年に1~2回使うということになる可能性があり、教育資源の有効利用という観点からして効率的ではない。すべてのものを所有して充実させるという発想を転換して、教育資源を共同利用化して教育の充実を図るというのもひとつの方向ではないかと考える。

そこで、兵庫県立西はりま天文台がキーステーションとなり、希望者にBS電波望遠鏡（35形アンテナ、三脚、ブースター、検波器、電圧計 またはペンレコーダー、必要なケーブル等一式）を貸し出すことを1998年より実施している。組み立て方法、使用方法についてマニュアルを附属させ、なるべく簡単に使用できるよう配慮した。貸し出しは無料で行っているが、送料のみは負担していただき、今後の参考のために、使用方法と結果を簡単に報告していただいている。

Fig.6 に利用者間ネットワークの概念図を示す。観測装置は利用者を巡り、いただいた報告をもとに、後の利用者へのアドバイスを行っていくというものである。

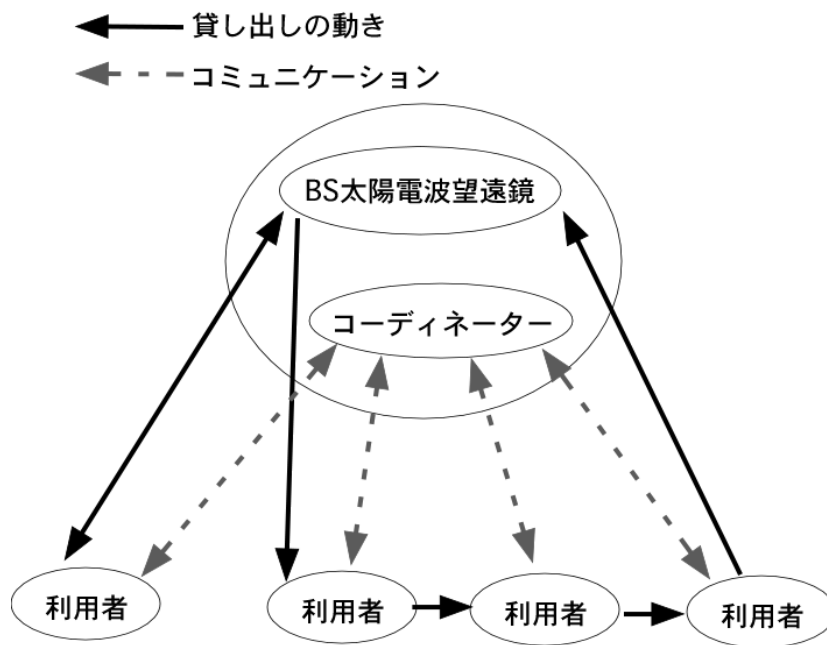


Fig. 6. 利用者間ネットワークの概念図

5. 利用実績

1998年より貸し出しを始めたこのプロジェクトでは、2007月までに19件の貸し出しを実施した（Fig.7-9参照）。高校物理での実験としてやクラブ活動としての利用が多いが、大学でのゼミナールの実習として使われ

たケースもある。それぞれどのような利用があったかについては3章の実験例で述べている。

東京大学の大学祭で用いられた事例では、2つのアンテナを太陽に向け、その電波を干渉させる試みも行なわれ、成功を収めている。また高校生の自由課題研究にもいくつか取り上げられ、電波の性質や放射の様子について学ぶ機会を提供できたと考える。

貸し出し後の報告書では、使用者の利用状況が把握できるだけでなく、我々の気づかなかった実習のアイデアがもたらされ大変有意義であった。また、工具をつけた方が良いとか、指向させるためのファインダーがあると良いとか、演示用にテスター以外の何かを、など、改良点についてもアイデアをいただいた。いずれも今後活かせる良い情報を得る事ができている。

しかしこれまでで1件、貸し出しをしたがうまく受信できなかった場合があり、電子メール等で改善方法についてやり取りしたがうまくいかなかった例があった。返却後に私が確かめた時には正常に動作していたため原因を究明できなかったのは残念であった。

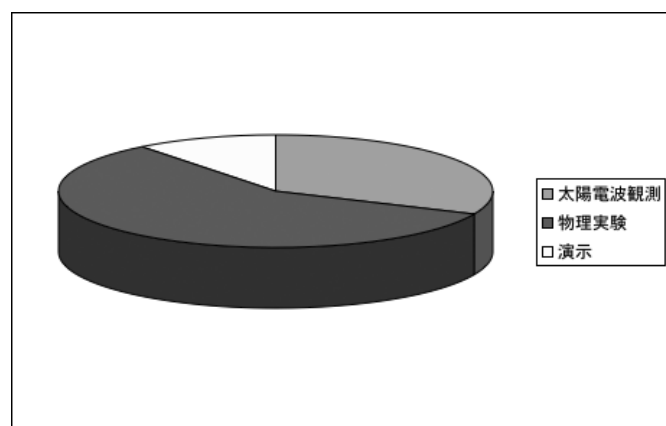


Fig. 7. 利用目的の割合

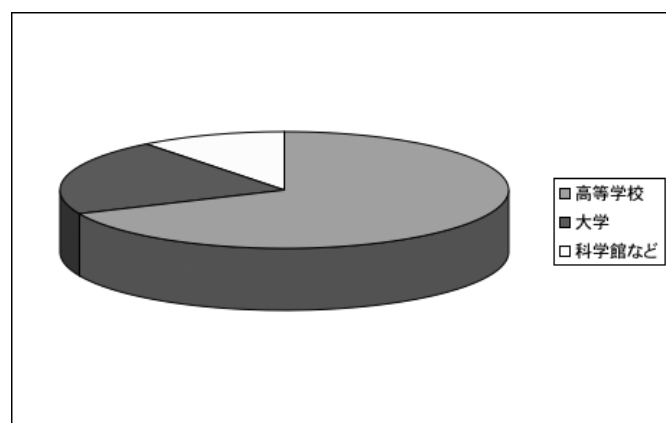


Fig. 8. 利用層の割合

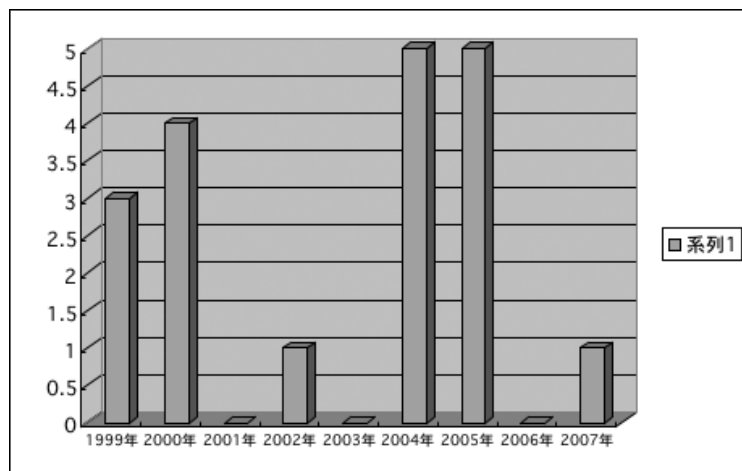


Fig. 9. 1999 年から 2007 年までの利用数

6. 太陽観測

電波望遠鏡の貸し出しとは別に、この電波望遠鏡を用いて、西はりま天文台では 2004 年 8 月より、太陽電波バーストのモニターとデータ公開を目的として、太陽電波の定常観測を実施している。ただし、ブースターと検波器は我々の機器とは異なり、中島（2004）を利用している。この検波器を利用している理由は、この機器が電波観測用に開発されたものであり、出力の積分によりゲインが高い上にノイズが低いためである。

太陽電波観測用のアンテナには感度の高い 60 型の BS アンテナを用い、普段西はりま天文台で太陽の映像を展示用に使っている光学望遠鏡の架台にアンテナを同架している。望遠鏡には太陽の追尾装置がついているので、およそ数分角の精度で追尾する事が可能である。ただし、光学望遠鏡で位置のずれを検出するため、曇った場合には望遠鏡の恒星時運転による追尾となる。

2002 年 6 月 11 日には同システムを用いて部分日食の観測に成功した（Fig.10）。早朝の現象で太陽高度が低かったこととあいにくの天候で日食途中からのデータ取得となっている。曇った場合には望遠鏡の自動追尾が効かないので追尾精度の保証は無いが、日食の予報から得られる太陽の欠け具合と比較するとほぼ同様の傾向を示すことから観測中は望遠鏡の指向精度内で太陽を追尾できていたものと考えられる。

7. 太陽電波観測データの公開

我々は、電波望遠鏡によって得られた 12GHz の太陽電波データを

<http://www.nhao.jp/~tokimasa/12GHzRadio/12g.html>

にて公開している。リアルタイムでの公開は、観測ソフトによる強度変化のグラフ画面をそのまま Web サーバーにおく形で実施している。毎日の観測データは観測を行った 2 日後の午前 0 時に、観測した 1 日分のデータとグラフが自動作成され、Web サーバーへ自動アップロードされるようになっている。この公開されたデータを、共同研究者や学校での活動などで使っていただき、さまざまなテーマによる成果が上がる事を期待している。2005 年には當村らが大阪府立高等専門学校で制作し観測した太陽電波放射との比較研究が行われた。2005 年から 2007 年には、アマチュア天文家である平本によって、太陽電波バーストの有無の確認と、毎日の太陽電波放射レベルの測定が行われた。

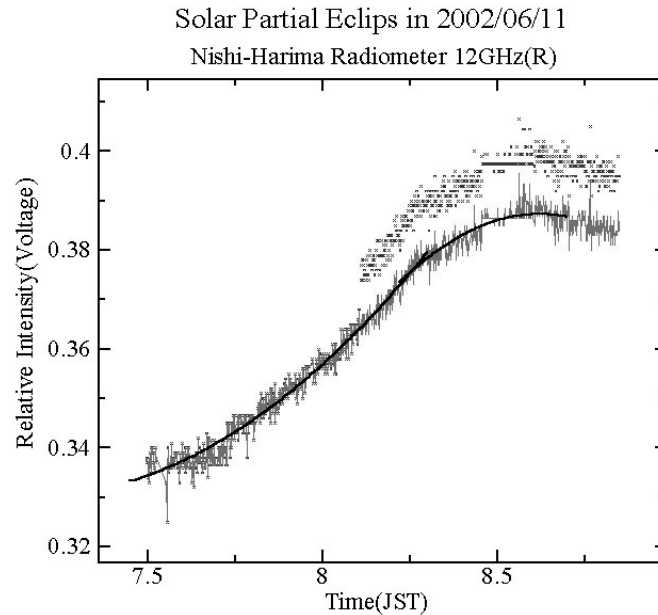


Fig. 10. 2002 年 6 月 11 日の部分日食における太陽電波の強度変化

8. 総括

我々は、B S 放送受信用のアンテナを用いて、太陽電波を観測できる電波望遠鏡を簡単な機器を用いて開発した。さらに、開発した電波望遠鏡を用いて、電波の性質や電波放射の仕組みを知る事のできる教材として貸し出しを実施し、物理学の実験や、電波観測の試みが行える事を示唆し、普及を行っていただいた。

このようなオリジナルな教材の貸し出しは例を見ない事例であると考え。貸し出し側にはメンテナンスや質問回答などの負担が生じるが、資源の共有化は教育界全体の労力削減となるので、対負担効果は大きいと考える。これまでは研究会や報告誌、ひとつづつの情報により貸し出しを希望いただいていたが、今後はインターネットホームページでも紹介し、これまでの反省をふまえ広く利用していただこうと考えている。

B S 電波望遠鏡に限らず、他分野においても良い教材が多数あると考える。これらを貸し出すことをすれば、より効率的な教育普及が計れ、提供する側にも必ず効果が得られると考える。

最後に、望遠鏡制作をご指導いただいた前田耕一郎氏、データ公開にあたってご協力いただいた山本道也氏、バーストのモニターを行った平本和人氏、太陽バーストのモニター観測を行った兵庫県立西はりま天文台公園のスタッフに謝辞申し上げる。

《参考文献》

- 池田秀昭、飯利雄一、西尾正則 1994 日本天文学会秋季年会 Y03x
- 工藤 順次 1994 天文月報 第 87 巻 p.155
- 中島 潤一 2004 日本天文学会春季年会 Y07b
- 西尾 正則 1996 月刊天文ガイド別冊 INTERACTIVE ASTRONOMY No.5 p.109
- 大坪 貴文、高見 道弘、高山 隆児、東矢 高尚、西田 伸二、林 正彦、長谷川 哲夫、小杉 健郎 1992 日本天文学会春季年会 P025
- 斎藤 泉 1998 第 7 回全国の天体観測施設の会集録 p.110