

アルマーの冒険



千里奈央
(せんり・なお)



蒼天高校の2年生。星空や宇宙が大好き。将来の夢は天文学者になること。天文部の春宿中に、ひょんなことから「アルマー」や「いざよい」と出会い、ともに電波宇宙の危機を救うとされる「グランドアルマーの宝剣」を探す冒険の旅に出る。

第04回 「宇宙からの電波をキャッチ！ その2・太陽電波編」

04回では、いよいよ実際に天体からの電波を受信して、電波天文学の世界に踏み出します。最初に観測する天体は「太陽」。BSアンテナを流用した電波望遠鏡を作って、太陽からやってくる電波を受信してみましょう。

アルマー
(ALMAR)



電波宇宙から可視光宇宙へやってきたこどもの竜。電波宇宙に危機をもたらす謎の妨害電波「ジャミング」を浴びて意識が遠のくが、そこに9つの頭をもつ巨大な竜が現れて「電波宇宙を守るために、グランドアルマーの宝剣を探せ」と告げられ、気がつくやうに野辺山高原の草むらに倒れていた。

いざよい
(十六夜)



奈央とアルマーの前に現れた謎のメスネコ。可視光と電波の世界を見わける特殊能力の持ち主。電波宇宙や可視光宇宙について豊富な知識を持ち合わせている。どうやら、アルマーの過去を知り、電波宇宙の危機の原因やグランドアルマーの宝剣のありかを知っているようなのだが……。

●「アルマーの冒険」制作ユニット

絵/藤井龍二 (FUJII Ryuji)
文・構成/川村 晶 (KAWAMURA Akira: 星の手帖社)
監修/平松正顕 (HIRAMATSU Masaaki: 国立天文台チリ観測所)
編集/高田裕行 (TAKATA Hiroyuki)
デザイン/久保麻紀 (KUBO Maki)
特別ゲスト (BSハカセ)/石黒正人 (ISHIGRO Masato: 国立天文台名誉教授)

★前号・第03回

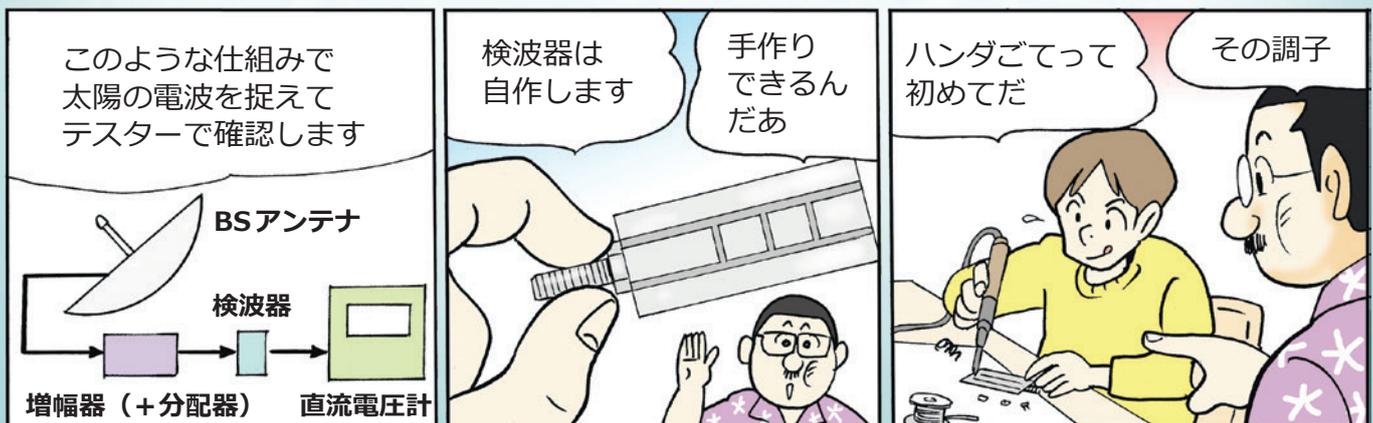
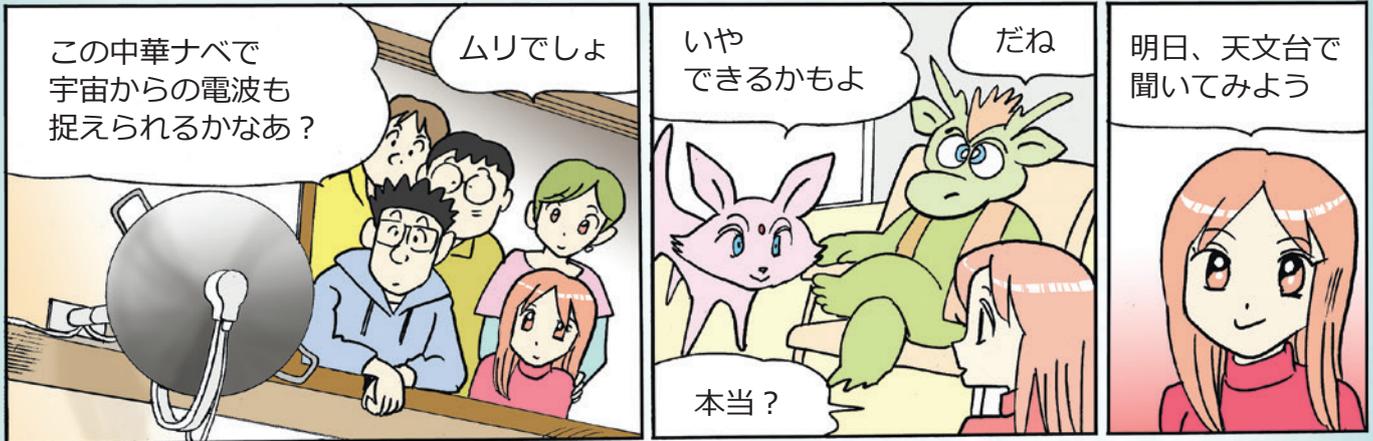
「宇宙からの電波をキャッチ！ その1・BS放送編」までのあらすじ

奈央とこどもの竜のアルマー、ネコのいざよいたちは、蒼天高校天文部メンバーと合流してロッジに戻るが、なぜかBSアンテナが壊され、BS放送が見られなくなっていた。いざよいは「ブラックストーン (BS) 博士」の仕業ではないかと疑う。野辺山宇宙電波観測所で電波を受信する方法を学んだ奈央たちは、中華ナベをアンテナにしてBS放送の受信に成功。しかし、ブラックストーン博士は、さらによからぬことを企んでいるようだった。



第4-1章 BSアンテナで太陽の電波を捉えよう

中華ナベでBS放送をキャッチした奈央たち。ひょっとして、これで宇宙からの電波も受信できる???



天体の電波の特徴～太陽から送られてくる電波を受信してみよう～

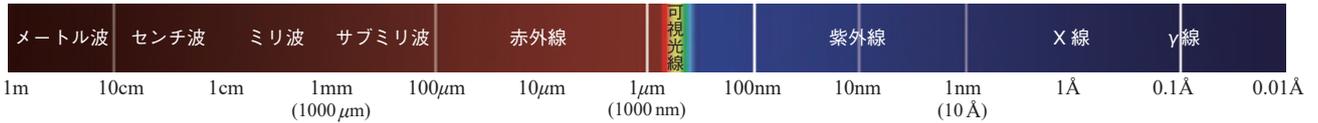


図01 天体観測で利用される電磁波の波長図 (μm はマイクロメートル、nmはナノメートル、Åはオングストローム)。

●天体からの電波と人工の電波の違い

地球の外からやってくるBS放送を受信(アルマーの冒険03回参照) できたら、次はホンモノの天体からの電波を捉えてみましょう。宇宙にはたくさんの天体がありますが、最初はもっとも身近な天体「太陽」の電波を受信してみましょう。

太陽は核融合反応によってたいへん明るく輝いています。その光(可視光)は、地上では直接目を向けられないほどまぶしい光ですが、それ以外にもたくさんの波長の電波を放っていて、天文学の太陽の研究でも可視光だけでなく、さまざまな波長の電波を観測しています(図02)。

太陽なら昼間に観測できますし、晴れていれば空のどこに太陽があるかは、誰にでもすぐわかります。また、地球との距離も近いので、遠い天体よりもはるかに強い電波が地上に届きます。だから、他のどの天体よりも観測しやすいといえます。

ところで、天体(たとえば太陽)からやってくる電波と人工の電波とは、何が違うのでしょうか。大きな違いのひとつは、放送や通信に使われている人工の電波は、特定の周波数(波長・周波数と波長の関係は03回参照)で送信されるのに対して、天体からは幅広い波長の電波(だけでなくとても幅広いさまざまな電磁波・図01)が送られてくることです。

たとえば、03回でキャッチした衛星放送では、各放送局が周波数12 GHz(波長25 mm)前後の電波を使っています(NHKのBS1の周波数は11.99600 GHzです)。また、自分のいる緯度や経度、標高などの位置情報を得られるGPSでは、1575.42 MHzや1227.6 MHzなど、いくつかの決められた周波数の電波を使用しています。このように、人工の電波では、あらかじめ用途ごとに送信する電波の周波数や強さをしっかり決めておかないと、目的の電波を受信するのに不便だったり、たくさんの電波が混信して利用できなくなってしまいます。

これに対して、天体からの電波は、とても幅広い波長(周波数)でやってきます。そして、それぞれの波長の電波は、天体のさまざまな状態や現象によって生じたものです(アルマーの冒険02回参照)。そこで、電波天文学では、目的の天体や現象の特徴に応じた波長に狙いを絞って精密な観測を行い、その大もとにある物理的なしくみを理解することで、宇宙の謎の解明に挑んでいるのです。

●太陽の電波を受けるには

それでは、いよいよ太陽電波の受信にチャレンジしてみましょう。受信する周波数(波長)に応じて適したアンテナの種類があることは03回で紹介しました。では、太陽の電波を受けるには、どんなアンテナを用意すればよいのでしょうか? 先に述べたように太陽は幅広い波長の電波を放射しています。そこで今回は、第03回でBS放送を受信した中華ナベ...ではなく、正式なBSアンテナをそのまま利用して太陽の電波を捉えることにしましょう。身近な小さな“電波望遠鏡・BSアンテナ”を使って、12 GHz(波長25 mm)の太陽電波を受信するのです。

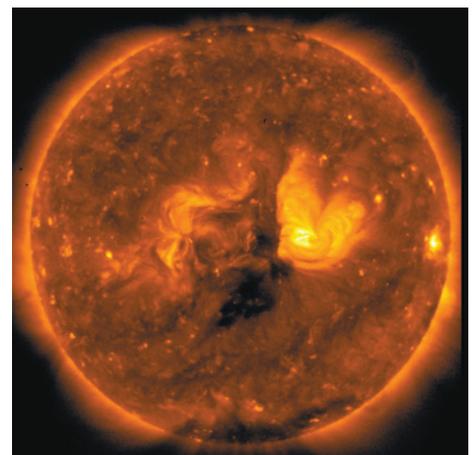
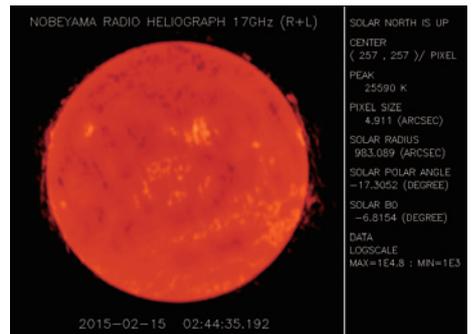
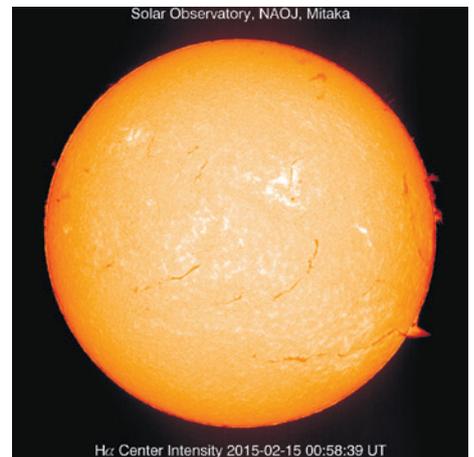
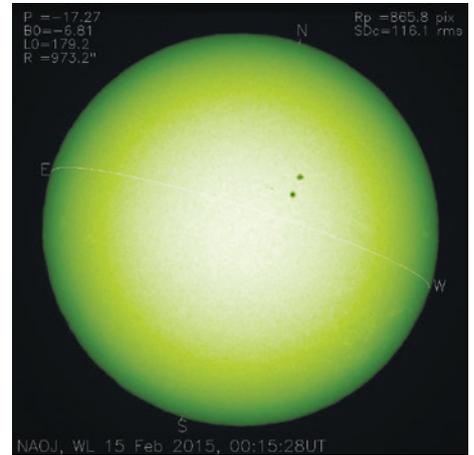


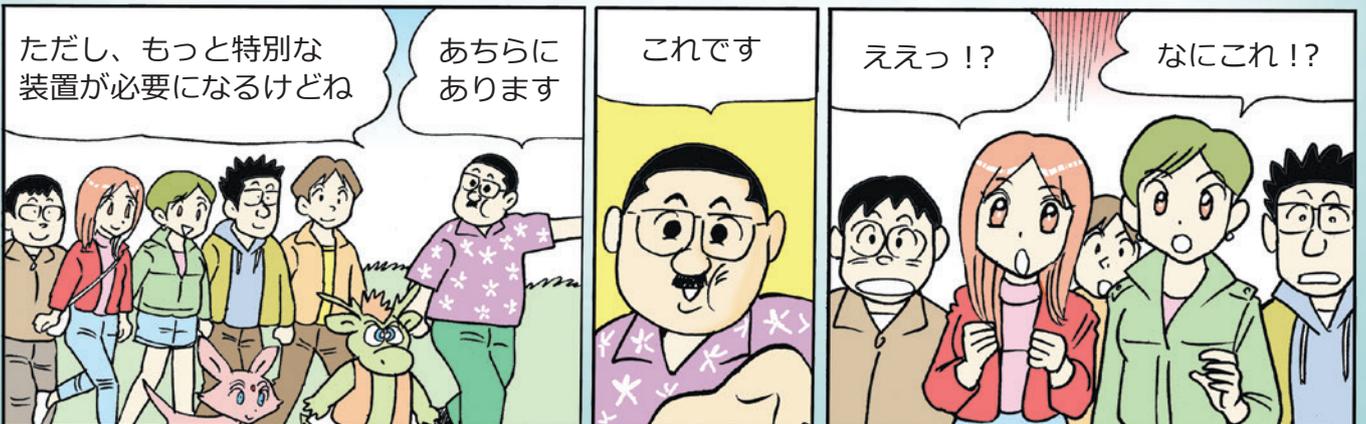
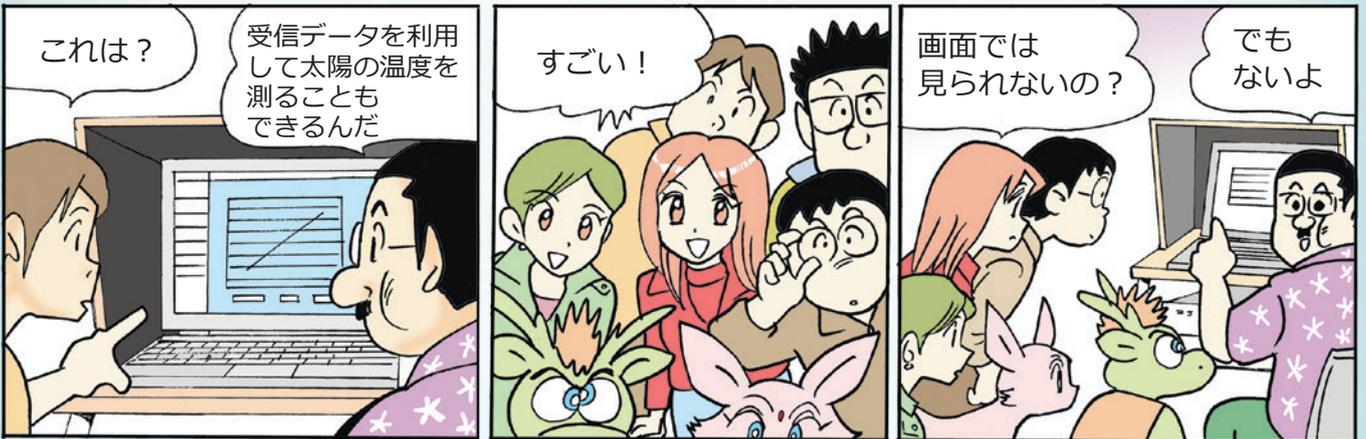
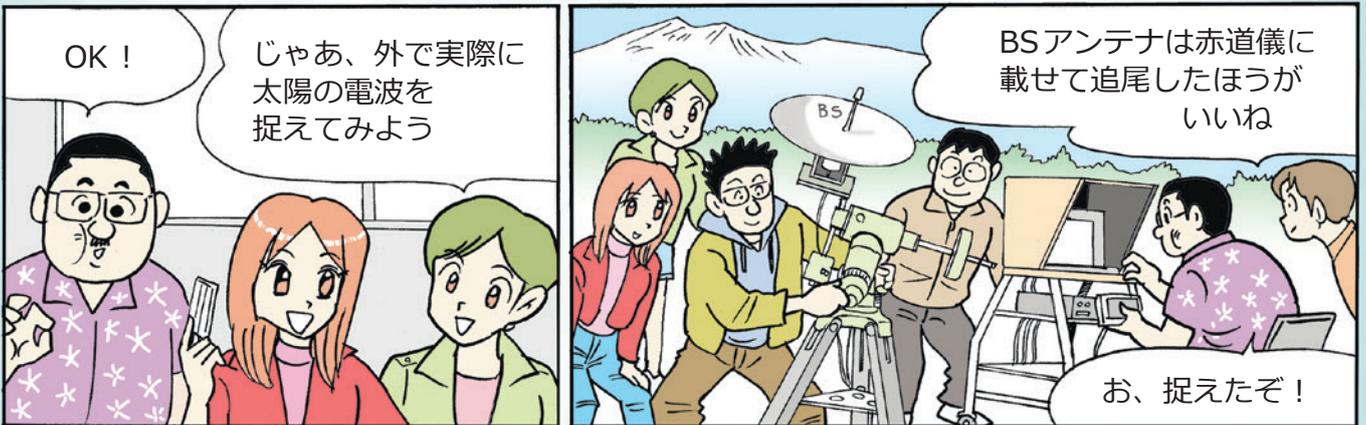
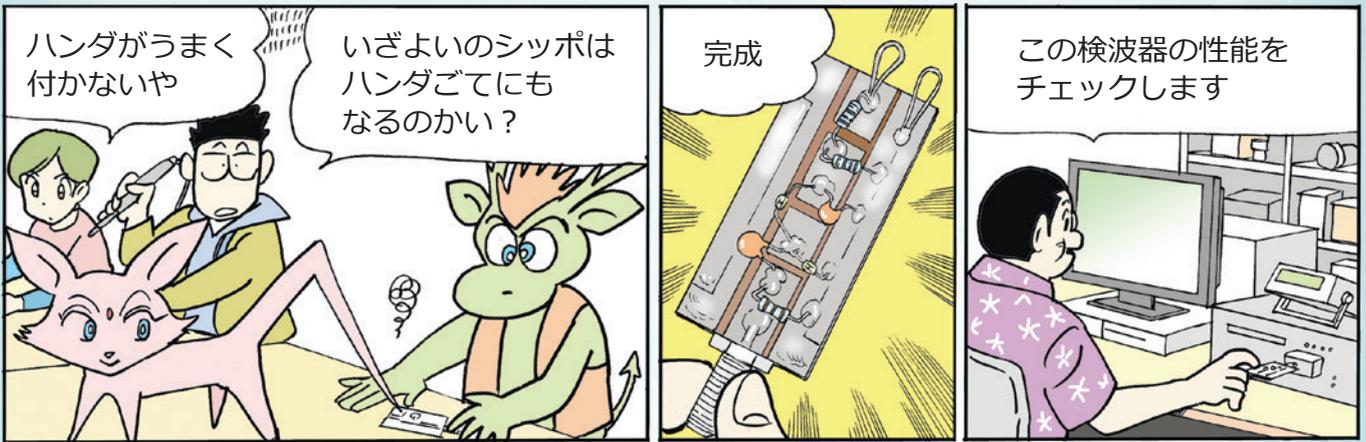
図02 太陽からはいろいろな波長の電磁波が放出されています。可視光はもちろん、波長の短い側は紫外線やX線、波長の長い側は赤外線や電波まで観測することができます。国立天文台が観測しているさまざまな波長の太陽のイメージ(色はそれぞれ擬似カラー)を紹介します。

- a・太陽観測所の黒点望遠鏡などで観測した可視光像(白色光)。
- b・太陽観測所の太陽フレア望遠鏡で観測したH α 線像(可視光で赤よりの波長・656.3 nm)。
- c・野辺山太陽電波観測所の電波ヘリオグラフで観測した電波像(17 GHz・波長約17.6 mm)。
- d・太陽観測衛星「ひので」のX線望遠鏡で観測したX線像。

◀観測中の太陽フレア望遠鏡。

第4-2章 太陽電波の受信は電子工作からスタート!

BSアンテナを使った電波望遠鏡には「検波器」が必要だ。ハンダづけで自作しよう!



実験その03

太陽電波を捉えよう

電子部品が
わんさか!



まいど〜!

「アルマーの冒険03の実験その02」では、BSアンテナの代わりに中華ナベなどを使って、放送衛星からの電波を集め、BS放送を見る実験を行いました。今回はそのBSアンテナをそのまま利用して、太陽からの電波を捉える実験をしてみましょう。太陽からはさまざまな波長の電波が届いていますが、その中から周波数12GHzの電波をBSアンテナで受信します。とはいえ、テレビで太陽の姿を見ることができないわけではありません。太陽からの電波を電圧に変換し、その結果をテスターの数値として測定するのです。中華ナベでBS放送をキャッチする実験とくらべると、少し電子工作の知識と技術が必要になるので、自分で調べたり、学校や科学館の理科の先生に聞くなどして、実験を進めてみましょう。

● 今回の実験アドバイザー ●

実験03のアドバイザーは野辺山太陽電波観測所
(4月より野辺山宇宙電波観測所)の
篠原徳之さんです。

● STEP 1 用意するもの

BSアンテナで太陽電波の観測を行うには「BSアンテナ (コンバーター一体型)」「増幅器」「分配器」「検波器」「テスター (直流電圧計)」が必要です。

BS太陽電波望遠鏡の概念図。アンテナで集められた電波は、周波数が高いので、扱いやすくするために「周波数変換器 (コンバーター)」で低い周波数の信号に変換します。周波数変換器は市販のBSアンテナと一体になっています。変換された信号はそのままでは弱いため、さらに「増幅器 (ブースター)」で増幅します。次に信号を「分配器」と「検波器」に通します。最後に検波器から出力される電圧を「テスター (直流電圧計)」で測ります。電波の強さは、テスターで計測する電圧に比例します。

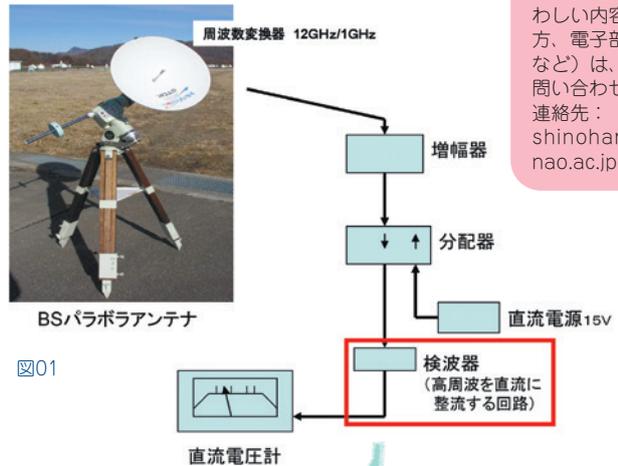


図01

●「実験その03」のくわしい内容 (回路の作り方、電子部品の入手方法など) は、篠原さんにお問い合わせください。
連絡先:
shinohara.noriyuki@nao.ac.jp

● STEP 2 検波器を作る

BSアンテナや増幅器、分配器、テスターは市販品を利用できますが、検波器は市販されていません。検波器は波の信号の大きさを測定しやすい直流電圧に変換するための特別な機器ですが、構造は単純なので、簡単な電子工作ツールと検波器を作るための電子部品があれば自作は難しくありません (★01)。

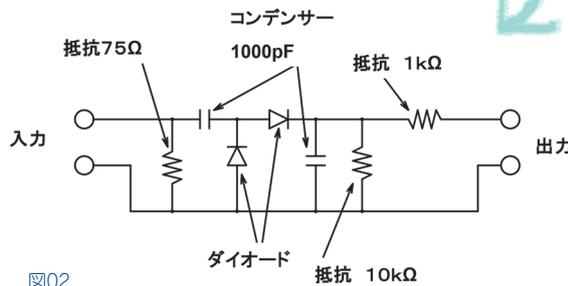


図02



図03

図02は検波器の回路図です。最初に基板 (図03) を作ってそれぞれの電子部をハンダづけしていきます。



図06
BSアンテナを赤道儀式架台に。

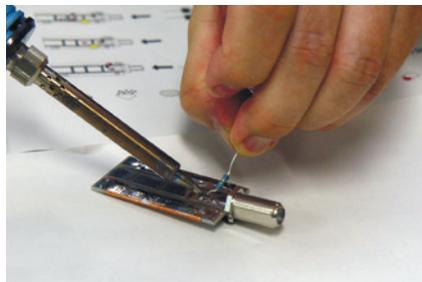


図04 ハンダ付けは慎重に。



図05 基板が完成 (★01)。

● STEP 3 機器を設置する

検波器を作って、それぞれの機器をつなぐと「太陽電波望遠鏡」の完成です。BSアンテナが太陽を追従できるようにしておくこと受信が楽なので、赤道儀式の架台に載せるとよいでしょう。さあ、いよいよ太陽電波の観測です。

★01 自作の検波器が太陽電波を受信できる性能に仕上がっているか、実験観測の前に検査をしておけば確実です (「リニアリティ」の検査といいます)。学校や科学館の理科の先生に相談してみるとよいでしょう。

第4-3章 パラボラがいっぱい！ヘリオグラフは干渉計

電波で毎日の太陽活動を観測するヘリオグラフ。突然、画像が見えなくなった。ま、またしても…？



● STEP 4 太陽電波を測定する

まず、太陽から離れたいくつかの空の方向にBSアンテナを向けて、テスターの値を測りましょう。12 GHzの電波源のない通常の空（宇宙！）の状態を観測するのです。その数値を読み取ったら、次に太陽にBSアンテナを向けて、テスターの値を測りましょう。通常の空くらべて高い値が測定されたら、それが太陽電波です。BSアンテナの向きを微調整しながら、もっとも高い値が測定されたとき、BSアンテナが太陽の方向とぴったり合っているはずですよ。



図07

最初は太陽をはずして測ります。このときテスターの値は「0.598ボルト」。



図08・図09

そして太陽に向けていくと値が上がって、最大で「0.869ボルト」になりました。太陽からの電波を捉えたのです。

● STEP 5（発展編）

太陽の電波をキャッチできましたか？ じつは、その観測データをもとにして、もう少し工夫をすると、なんと太陽の温度を計ることができるのです。その観測のようすは、また回を改めてご紹介することにしましょう。

● 野辺山太陽電波観測所

長野県の野辺山高原には、国立天文台の宇宙電波観測所と太陽電波観測所が設置されています。45 m電波望遠鏡や10 m電波望遠鏡6台の電波干渉計は宇宙電波観測所の所属です。太陽電波観測所には、パラボラアンテナ8台の「太陽電波強度偏波計」と80 cmのパラボラアンテナ84台を備えた「電波ヘリオグラフ」があります。

太陽電波強度偏波計は、太陽活動のようすを調べるために、7つの周波数で太陽全体からやってくる電波の強度とその特性（偏波といいます）を観測しています。周波数3.75 GHzでの観測は、すでに60年以上も継続されていて、太陽活動の長期間に渡る変化を調べる上でたいへん貴重なデータが蓄積されています。

電波ヘリオグラフも太陽観測専用の電波望遠鏡です。84台ものパラボラアンテナが、東西490 m、南北220 mのT字型の線上に配置されていて、これらのアンテナで得られた受信データを組み合わせることで、仮想的にひとつの巨大なアンテナの電波望遠鏡として使っています。こうした複数のアンテナを組み合わせた仕組みを「電波干渉計」と呼びます。実際に電波ヘリオグラフでは、アンテナの直径が500 mに匹敵する解像度の太陽画像が得られています。しかも、データをデジタル的に高速で計算することで、1秒間に最大で20枚の太陽の画像を生成できるのです（03ページ図02cを参照）。したがって、変化の早い現象も高い時間分解能で詳細に記録することも可能です。

● 電波干渉計の仕組み

電波干渉計の「干渉」とは、ふたつ（もしくはそれ以上）の波が出会うことで、お互いに波を強め合ったり、弱め合ったりする現象を示す物理学の用語です。電波は波の一種ですから、ふたつの波が出会うと干渉を起こします。

この波の干渉を利用して、電波望遠鏡の性能を跳躍的に向上



図10 野辺山太陽電波観測所の電波ヘリオグラフ。奥の大きなパラボラは宇宙電波観測所の45 m電波望遠鏡。



図11 太陽電波強度偏波計と太陽電波観測所の柴崎清登教授。

させる仕組みが電波干渉計です。干渉計の実際の原理については、かなりむずかしい内容になってしまうので、08ページではその概略をできるだけわかりやすく解説していきます。

★電波干渉計でできること・その1

～天体の正確な位置決定と解像度アップ～

電波干渉計を実現するには、少なくとも2台のアンテナが必要です。まず、アンテナAとアンテナBの2台のアンテナの距離を離して置いて、同じ天体に向け、天体からの電波を受けるとします。このとき、天体からアンテナまでの距離はわずかに異なっています。よって、天体から放たれた電波は距離が遠い方のアンテナに少し遅れて届くことになります。

ふたつのアンテナで受けた天体からの電波の波形をデータとして記録して、たとえば天体に近い方のアンテナのデータの時間を少し遅らせて波形を重ね合わせてみます。つまり「干渉」させるわけです。そして、重ね合わせて波形データが最も強まる位置を探します。これで、ふたつのアンテナに電波が届いた時間差が分かることになります(図12)。すると、辺Cの長さが分かり、アンテナ間の距離Dを正確に計って置けば、角度Eがきわめて正確に計算できます。こうした仕組みを利用すれば、接近したふたつの天体からの電波を区別することが可能になります。すなわち、高い解像度を得ることができるのです。

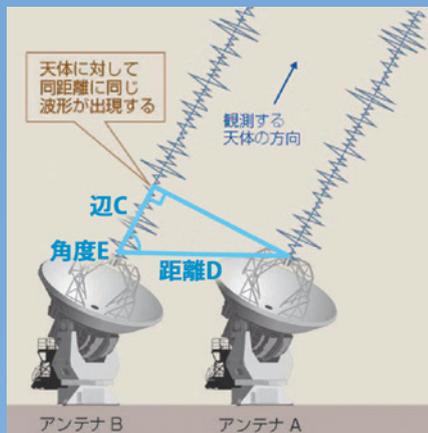


図12 電波干渉計の原理。

★電波干渉計でできること・その2

～天体の2次元画像を得る～

電波干渉計のもうひとつの大きな特徴は、天体の画像を得られるということです。距離を置いて設置したふたつのパラボラアンテナで、同時に受信された天体からの電波を干渉させることで、干渉縞と呼ばれるパターン(「フリンジ」ともいいます)が現れます。このパターンは、「天体からの電波の強弱をフーリエ変換したもの」であることがわかっています。

「フーリエ変換」とは、数学的な解析法のひとつです。詳しい解説ははぶきますが、干渉縞のパターンから、逆に元の天体の姿を推測することが可能になります。つまり、天体の像を描くことができるのです。しかもパラボラアンテナの数がたくさんあって、広い範囲に設置されるほど、高解像度でノイズの少ない鮮明な天体の画像が得られるようになります。

ただし、干渉縞のパターンが得られるのは、ふたつで一組のペアにしたパラボラアンテナどうしのみです。そのため、たくさんのパラボラアンテナを用いる場合には、いわゆる総当たりでペアを作って干渉縞のパターンを観測し、そのすべてのパターンを基にした計算を行って天体の像を描いていきます。その役割を担うのが相関器という装置です。相関器の性能を上げるためには、計算速度がきわめて速いコンピューターが必要になります。電波干渉計は、いくつものアンテナや受信機といった受信装置の性能だけでなく、それを背後で支えるコンピューターやソフトウェアなどのデータ処理装置にも高い能力が必要とされる巨大な電子システムといえ、1つのアンテナだけで観測する電波望遠鏡や光学式の望遠鏡と大きく異なる点といえるでしょう。

ひと組のアンテナだけでは、一方からの角度が分かるだけですが、アンテナの並ぶ方位が異なるいくつものアンテナを組み合わせて測定すれば、天体の位置を高精度に決定することが可能になります。



柴崎さん、篠原さんありがとうございました(左:平松さん、手前:藤井さん)。

「アルマーの冒険」04回

発行日 / 2015年3月1日

発行 / 国立天文台天文情報センター出版室

制作協力 / 野辺山太陽電波観測所

★「アルマーの冒険」バックナンバーは
<http://www.nao.ac.jp/naoj-news/almar/> をご覧ください。