

アルマーの冒険

第12回 銀河電波受信編・前編

～天の川銀河からやってくる電波をキャッチ！



千里奈央
(せんり・なお)



アルマー
(ALMar)



いざよい
(十六夜)

おもな登場人物

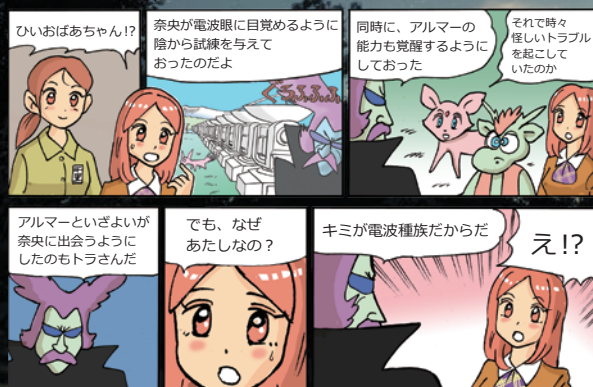
★おもな登場キャラクターのプロフィールはバックナンバーをご覧ください

★前号・第11回後編

「ソフトウェアラジオを使って 木星の電波観測」までのあらすじ

木星の衛星イオの電波技術長であるカラフィンと共に地球に戻った奈央たち。早速、ジャミナーが行った電波破壊の跡を探すため、木星電波観測用のアンテナや受信機を用意した。これでジャミナーに迫れると思った矢先、ブラックストーン博士が奈央たちの前に現れた。彼は、奈央が電波眼に目覚めるよう、奈央に試練を与えていたことを明かす。そして、奈央が電波種族であることを告げたのだった。

(※下のまんがは第11回後編の最後のシーンです)



電波天文学は、天の川銀河からの電波が偶然に捉えられたことで始まりました。天の川銀河電波の存在は天文学者ではなく、電波技師により証明されました。また、最初に発見されたのは、天の川銀河内部に存在する電子に起因する電波でした。

かつて、天の川銀河電波の観測では、高価な受信機をはじめ、複雑な観測装置が必要でした。しかし、現代ではこれまでの「アルマーの冒険」で取り上げた「流星の電波観測」や「木星電波の観測」で行ってきたSDRと簡単なアンテナでも、観測ができるようになってきました。今回は、天の川銀河電波を捉えることに挑戦します。

観測するのは、天の川銀河に大量に存在する中性水素原子が発する周波数1420.40575 MHz、波長21.106 cmの輝線スペクトルである通称「21 cm線」です。この21 cm線で天の川銀河を観測すると、銀河円盤の回転に伴うドップラーシフトがあるため、銀河座標の銀経方向によって周波数が変わります。その変化量で天の川銀河内の中性水素が観測者に対してどのような速度で動いているかを知ることができます。そして、銀緯0度の銀河赤道に沿って、さまざまな方向にアンテナを向けることで、天の川銀河の回転のようすを調べることもできます（こちらは後編で紹介します）。

「アルマーの冒険」制作ユニット

絵／藤井龍二
写真・文・構成／川村 晶
監修・制作協力／石黒正人・大石雅寿（国立天文台）、
唐崎健嗣（合同会社プラネタリウムワークス）
協力／おんたけ銀河村キャンプ場、東京大学木曾
観測所、野辺山宇宙電波観測所
編集／高田裕行

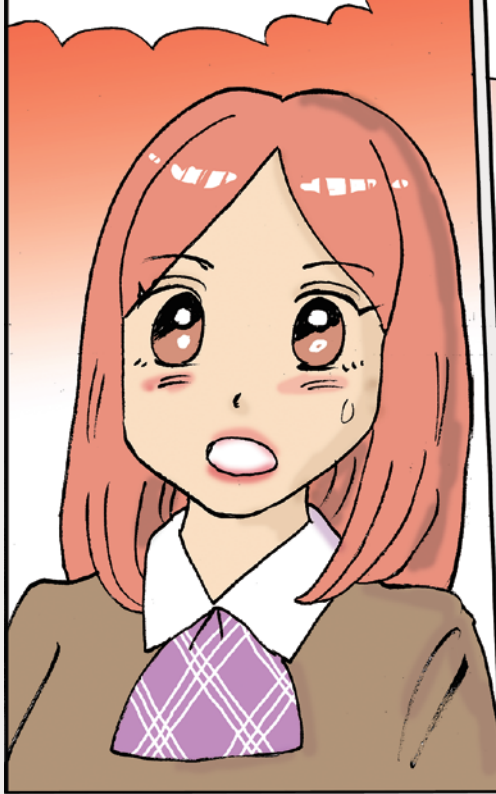


電波天文まんが「アルマーの冒険」バックナンバー

<https://www.nao.ac.jp/about-naoj/reports/naoj-news/almar/>

第12-1章 奈央の曾祖母トラは電波を浴びて覚醒 その血を引く奈央もまた電波種族だった

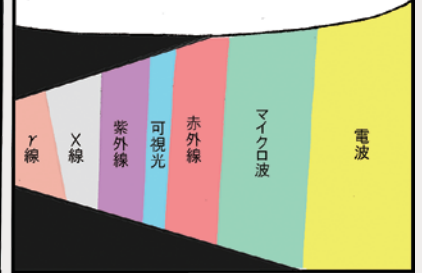
電波種族!?



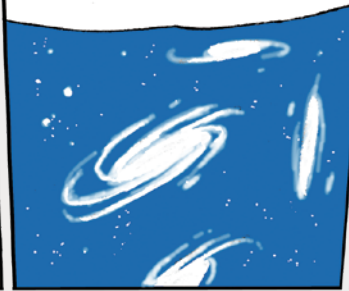
電波種族はもともと電磁波族のひとつで宇宙創成のころから存在している



知ってのとおり、電磁波は波長によって分類されている



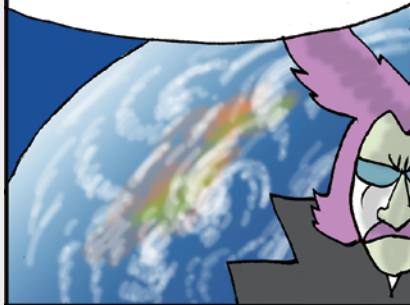
感知できる電磁波ごとにいくつかの種族が分類され宇宙のあちこちに



電波は波長100 μ m以上の電磁波を指して、それを感知できるのが我々電波種族なのだ



地球の生物は主に可視光族になっておる



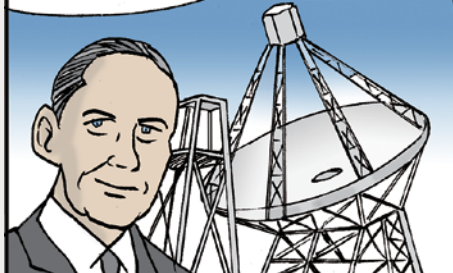
その中に電波種族もいるのだがその能力は発揮されことなく可視光族に埋もれてしまった



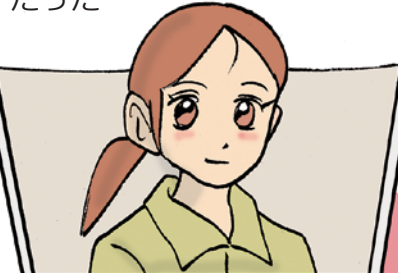
しかし、19世紀になり電波種族のH・ヘルツが電波を発見しC・ジャンスキーが天の川中心方向からの電波を見つけ出す



そしてG・リーバーはパラボラアンテナを使って天球の電波強度図を作成した



日本でも20世紀、奈央の曾祖母にあたる千里トラさんが電波を感じる電波種族だった



トラさんは戦時中に陸軍の秘密基地に勤めており、あるとき大量の電波を浴びたことでその能力が一気に開花した



復習 銀河電波の発見と電波の成因

偶然発見された銀河からやって来る電波とその発生の仕組み

●銀河電波の発見

銀河電波の観測を行う前に、まずは電波天文学の始まりとなった物語をおさらいしておきましょう。

1930年代初頭、電波による無線電話が実用となり、大西洋をはさんでアメリカとヨーロッパの間で通信が可能となりました。しかし、当時の技術では、ノイズ（雑音）の多い通話しかできませんでした。そこで、アメリカのベル研究所の技術者だったカール・ジャンスキー（図1-01）は、ノイズの状況を調べるため観測を始めました。

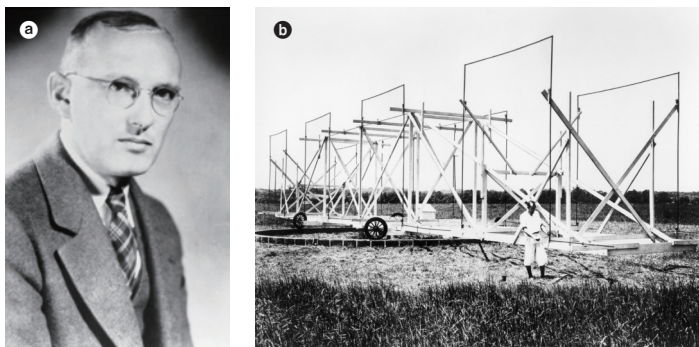


図1-01a カール・ジャンスキー（Karl Jansky 1905年～1950年）は、アメリカの物理学者であり、民間企業の無線技術者。1931年に空の一角から電波がやってきていることに気がつき、それが天の川の中心方向からの電波であることを発見しました。現代の電波天文学で用いられる電波強度の単位であるジャンスキー（Jy）は、彼の名まえにちなんだものです。（図：NRAO/AUI/NSF）

図1-01b 宇宙からの電波を発見したジャンスキーのアンテナ。（図：NRAO/AUI/NSF）

ノイズは主に空電と呼ばれる「ガリッ」というような音でしたが、それ以外に「シュー」という音のヒスノイズもありました。気になったジャンスキーは、1932年1月から20.5 MHzの周波数でこのヒスノイズの観測を始めます。

ヒスノイズは最初、太陽の方向で大きくなっていましたが、観測を続けていくと太陽の方向とノイズが大きくなる方向が西寄りにならなくなっていったのです。さらにジャンスキーは観測を続け、ヒスノイズが地球の外、天の川銀河の中心方向からやってきていることを見いだしました。

その事実に関心を持ったのは、天文学者ではなく、電波技師のグロート・リーバー（図1-02）でした。

リーバーは、イリノイ州の自宅に直径約9.4mのパラボラアンテナを自作して、観測を開始しました。リーバーは、宇宙での電波は熱的な強度分布をしていて、周波数が高いほど強い電波を発していると想定し、3300 MHzで観測を開始しました。しかし、電波はまったく受信できませ

ん。さらに、周波数を落としながら観測を行い、160 MHzでようやく電波を捉えることに成功しました。低い周波数ほど、電波が強かったのです。この電波は、天の川銀河内に存在する電子が銀河の磁場に引かれ、螺旋運動する際に発生するシンクロトロン放射によるものと考えられています。

★より詳しい解説は連載05回の記事をご覧ください。

●21 cm線で観測

今回、銀河電波として観測を行うのは、中性水素の発する輝線スペクトルの21 cm線です。連載09回では、太陽電波の観測を行いました。そのときも波長21 cm近辺の電波を用いました。ただし、そのときは太陽から放射される連続スペクトルの一部を利用したに過ぎません。今回の観測に用いるのは、宇宙に存在する「中性水素」が発する電波（輝線スペクトル）です。この中性水素の電波は天文学的に重要とされ、この波長付近の1400～1427 MHzの電波は、放射することが法律で禁じられています。したがって、人工の電波源によるノイズが少ない周波数帯でもあります。

中性水素はひとつの陽子とひとつの電子で構成されている安定した物質として存在しています。中性水素の陽子と電子は、それぞれスピンと呼ばれる量子力学的な角運動量を持っていますが、陽子も電子もそれぞれスピンの向きが上向きか下向きかの2通りしかなく、スピンの向きが陽子と電子で平行か反平行かによって、ごくわずかなエネルギー準位の差が発生します。そのため、スピンの向きの状態変化が起こると輝線スペクトルとしての電磁波が放射、もしくは吸収されるのです。この電磁波が波長21.106 cm

の電波なので、21 cm線と呼ばれているのです。

ただし、ひとつの中性水素のスピンの状態が変化する確率は、およそ1000万年に1回とされています。きわめて確率の低い現象ですが、宇宙には膨大な数の中性水素が存在するので、宇宙は常に中性水素が放射する21 cm線があふれていることになります。21 cm線とスピンについては11ページのかこみ記事で詳しく解説しています。

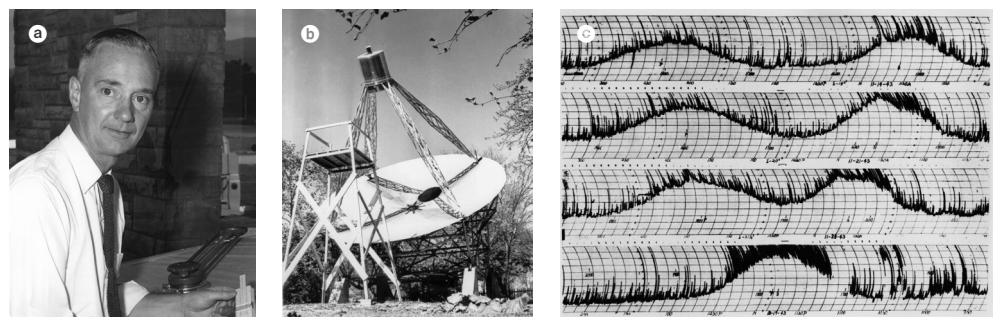
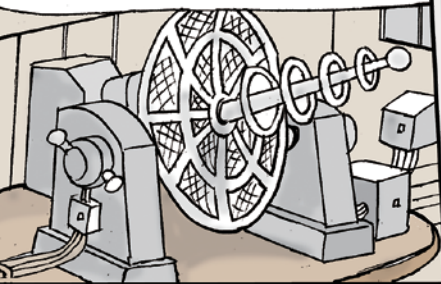
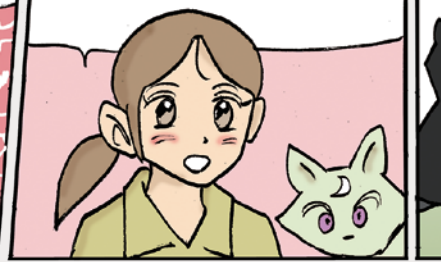
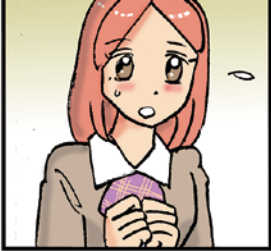
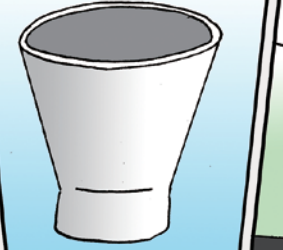


図1-02a,b グロート・リーバー（Grote Reber 1911年～2002年）は、アメリカの電波技師。電波望遠鏡bを自作して継続的な天体観測を行いました。多くの電波源を発見し、天球の電波強度図を作成するなど、電波天文学の先駆者となりました。ちなみに、宇宙膨張を発見したエドウィン・ハッブルとリーバーは高校の同窓生で、ハッブルに理科を教えたのはリーバーの母親でした。（図：NRAO/AUI/NSF）

図1-02c リーバーが記録した宇宙電波のチャート（注★）。リーバーはアンテナを地面に固定して観測していたので、時間（すなわち地球の自転＝横軸）が進むと、宇宙からの電波の強度変化がとらえられます。チャートのなだらかなピーク（山型）を作っているのが、天の川と太陽からの電波です。細かいスジ状の線は、自動車のエンジンによるノイズです。

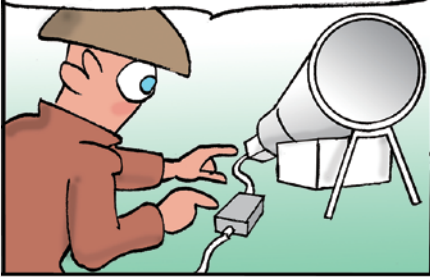
注★：Grote Reber "Cosmic Static", The Astrophysical Journal, 100, 279 (11/1944)より引用

第12-2章 電波源を狙う電波種族魔王ジャミンガー 奈央の電波感知能力を使って探し出せ

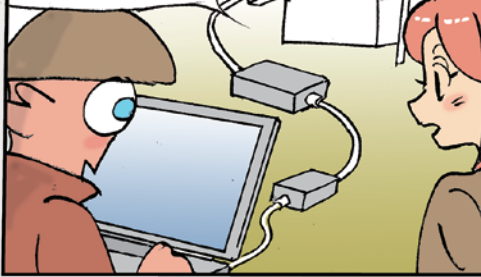
そのとき飼いネコのミカツキも電波を浴びて電波種族になったの、それが私の先祖よ 	軍はとびぬけた電波知識を持つトラさんを電波砲の開発に協力させた 	ところが、電波種族の魔王ジャミンガーが自分を攻撃するものだと思い、秘密基地そのものを破壊したため、トラさんも犠牲になった 	
その直前に、私（石黒博士）がタイムスリップしてきて、現代に戻るとき強力な電波を浴びたためBS博士に覚醒したのだ 	私には幼い子供がいます、その子の孫にあたる女の子には私と同じ能力が備わるので、力になってください 	その子がキミだ ひいおばあちゃん… 	
でも私になにができるの？ 	ジャミンガーの電波破壊の跡は木星電波の乱れでわかったので次は銀河電波を使うカラ 	奈央の電波感知能力を使ってジャミンガーの姿を捉えるのだ おいらたちがついてるぜ カラ 	
そんなムリムリ 	これがある ぐろろろろ 	なに、バケツ？ 	バケツではない、これはホーンアンテナこれで銀河電波の乱れを捉えるのだ 

第12-3章 ホーンアンテナで銀河電波が捉えられる 全国の天文部の観測データからその姿が？

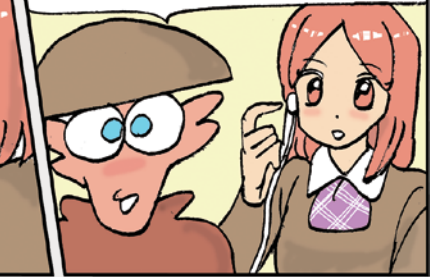
このホーンアンテナに市販のSDRやフィルタをつないでPCで見られるカラ



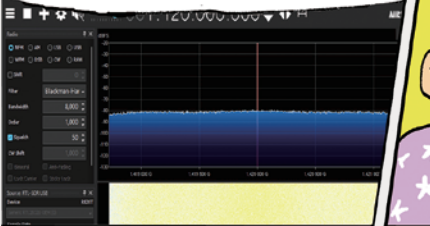
こんな簡単なもので銀河電波を観測するの？



奈央はこの電波の乱れを見つけてその領域を示してほしいのだから



銀河全体から届いている銀河電波の21 cm線は中性水素のスペクトルでその乱れを調べるのだから



じつは、シノラー博士に変身したワシが全国の学校の天文部に頼んで、電波の観測データをcollectしているんだ

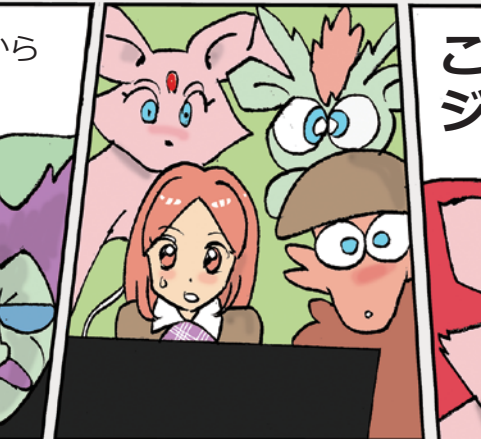


皆で簡素なアンテナを使って銀河電波を捉えようと協力してくれておるみんなが！



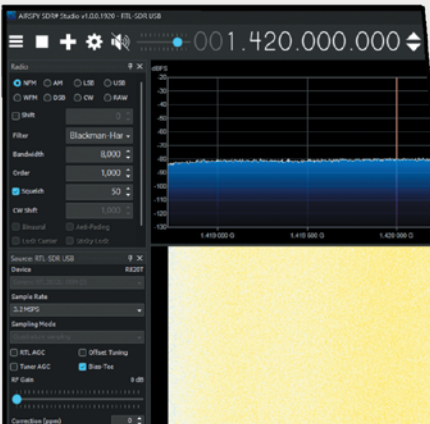
集めたデータの電波の乱れから計算すればヤツが見えるぞ





これがジャミンガー!?





なにか見える!?



はたして、ジャミングーの正体は？!

アルマーの冒険 はかせチーム

ブラックストーン博士が奈央に授けたバケツ…ではないホーンアンテナの実物がこれ! 国立天文台で長年、電波天文学を研究してきた石黒正人先生(左)と大石雅寿先生(右)がキャンプ用のマットと塗料用の缶を素材にして組み立てた手作りホーンアンテナです。これを使えば、銀河電波を捉えることができ、つまり立派な自作電波望遠鏡というわけです。この手作りホーンアンテナによる銀河電波観測は、比較的手軽に行えることから、いま全国各地の学校の天文部の活動のひとつとして広まり、さらに天文ファンや無線ファンの間でも注目されつつあります。そして、石黒・大石両先生の「アルマーの冒険・はかせチーム」では、このベーシックモデルの自作・観測に飽き足らず、密かに魔改造が進行中…その成果も含めて、この自作ホーンアンテナの工作・観測編は、第Ⅱ部でたっぷりご紹介します。

キャンプ用のマットと塗料用の缶を素材にして組み立てた手作りホーンアンテナ(左が石黒先生、右が大石先生)。



キャンプ用マット利用のベーシック型に加えて、大きな角型の本格的なホーンアンテナが出現、果たしてこの正体は?!

ぐろふふふ



工務店チームは
今回も元気に活動中!



工務店チームはWi-Fi通信用の既製品アンテナを活用。



アンテナを赤道儀に乗せ、天の川の銀河面(銀河赤道)に沿った定量的な観測にチャレンジするのだ。

そこで、まず第Ⅰ部では、アンテナにWi-Fi通信用の既製品を用いた、おなじみの「アルマーの冒険・工務店チーム」による観測システムの組み立てと観測手順を紹介します。さらに、アンテナを赤道儀に載せて、天の川の銀河面(銀河赤道)に沿って銀河電波を観測します(その観測結果から、わたしたちの天の川の構造を考察できます。その試みは、後編で紹介します)。それでは、さっそく受信装置をセットアップし、アンテナを銀河に向けて観測を開始してみましょう。

アルマーの冒険
工務店チーム

第I部

1 装置の概要と組立

SDRとパラボラアンテナ、微弱な電波を捉える観測システムの構築

●ほとんどすべてをネット通販で購入

実際に銀河電波を観測するにあたって、すでに観測をされている方々がインターネット上でその手法について公開されているので、それらを参考に観測装置を構築してみました。

まずは、アンテナです。以前、太陽から放射される連続スペクトルを波長21 cmで観測したときには、石黒先生が製作した直径約3mのパラボラで電波を集め（連載09回参照）、さらにパラボラの焦点に置いた八木・宇田アンテナで電波を受信しました。また、リーバーが160 MHzの周波数で銀河電波を受信したときも直径約9.4mのパラボラを使っていた（p.03参照）ので、さぞや大きなパラボラアンテナが必要かと考えていました。しかし、海外での銀河電波観測のスタイルを見ると、小さな自作のホーンアンテナや市販の「無線LANグリッドパラボラアンテナ」を流用、もしくはそれに独自の改造を施したものを使っているケースが散見されます。そこで、市販の無線LANグリッドパラボラアンテナでの観測を試みることにしました。ちなみに今回使用した機器に関しては、すべて国内のインターネット通販サイトにて購入可能なものばかりです。

無線LANグリッドパラボラアンテナは、電波を集めるディッシュの大きさが100 cm × 60 cmほどで、円形のパラボラの上下を一部切り取ったような形状です。さらにアルミの角パイプで受信部が保持されています。本来はWi-Fiの2.4 GHz用ですが、21 cm線の1420 MHz（1.4 GHz）付近でもそれなりに感度があるようです（図1-03）。

無線LANグリッドパラボラアンテナにSDR（図1-04）とPCをつなげて観測を行いますが、今回は特に弱い電波を受信することになるので、アンテナとSDRの間にLNA（Low Noise Amplifier）を挿入します。LNAはその名の通り、ノイズの少ないアンプ（増幅器）のこと。なんと「SAWbird+H1」という製品名で、21 cm線の電波観測専用のLNAが購入可能です（図1-05）。



図1-04 SDRとしてバイアスTが供給可能なNooelec社製「NESDRSMarTee v2」をインターネット通販で購入した。



図1-05 21 cm線にチューニングされたLNAもNooelec社から発売されている。今回購入したのは、「SAWbird+H1」だ。

ただし、SAWbird+H1を動かすには、「バイアスT」と呼ばれる電源が必要になります。外部から電源を接続することも可能ですが、SDRにはバイアスTを供給できる機種もあります。そこで、バイアスT供給可能なSDRである「NESDR SMarTee v2」を購入しました（図1-04）。

その他、無線LANグリッドパラボラアンテナからの同軸ケーブル端がN型コネクタ（メス）なので、SAWbird+H1のSMAコネクタ（オス）に接続するためには、変換コネクタが必要です。また、SAWbird+H1とNESDR SMarTee v2の接続は、SAWbird+H1に適合するコネクタが同梱されていたので、それを使用しました。さらに、NESDR SMarTee v2は、USBのリピータケーブルを用意してPCと接続しています（図1-06）。

ところで、無線LANグリッドパラボラアンテナは、屋外でのWi-Fi通信が本来の使用目的であるため、アンテナを壁面やパイプに固定するための金具が付属しています。しかし、銀河電波の観測では、空の任意の方向へ向けられなければいけません。

そこで、試験的な運用ではプラスチック製の箱にアンテナを載せ、夜空で銀河の見える方向にアンテナを向けて銀河電波の受信を行ってみました。しかし、特定の空の座標（赤経赤緯や銀経銀緯）に合わせるには不便なため、手持ちのアルミ板材を利用して小型天体望遠鏡用の自動導入赤道儀に載せて観測を行いました（図1-07）。



図1-06 銀河電波は微弱なので、アンテナ線にノイズが乗らないように、最短でLNAとSDRを接続し、アンテナの裏側に結束バンドで固定。PCまではUSB延長ケーブルを使用した。



図1-07 天体の自動導入が可能な小型赤道儀にアンテナを載せ、銀河赤道に沿って受信していく。

第1部 2 必要なソフトウェア

微弱な電波をPCで積算し、ノイズを低減

●データ積算とキャリブレーション可能な観測用ソフトウェア

実際の観測には、PCとSDRを動かすためのソフトウェアが必要です。

今回の銀河電波観測では、SDR用ソフトウェアとして、以前の流星電波観測で用いたWindows用フリーウェアのSDR Sharpを再び活用することにしました。周波数ごとの電波の強度をスペクトルとして視覚的に表示することができます。

ただし、銀河電波は流星に比べて微弱なためノイズが目立つので、リアルタイムでの観測ではなく、ある程度の時間をかけてデータを積算して平均化し、ノイズを低減する必要があります。さまざまな要因で発生するノイズの一部はランダムに発生するので、時間をかけて受信データを平均化すれば、ノイズの影響は小さくなるからです。

さらに、観測機器類そのものが持つノイズを低減するために、あらかじめ「バックグラウンド」と呼ばれる、銀河電波を受信していない状態でのデータを取得する必要があります。何も受信していなくても周波数ごとの感度が異なるので、実際に観測したデータをバックグラウンドで割り算することで、周波数ごとの相対的な強度変化をスペクトルとして見るができるのです。

残念ながら、SDR Sharpだけでは積算によるノイズの平均化はできませんが、プラグインと呼ばれる機能拡張ソフトの「IF Average」を追加すると双方とも実現が可能になります。

今回は、SDR SharpにIF Averageを組み込んで、21 cm線のスペクトルを取得していきます。

SDR SharpとIF Averageを利用して、銀河電波を受信するための準備

かつては個別にインストールしていたが、IF Average開発者が、IF Averageをあらかじめ組み込んだSDR Sharpを公開しているので、それをダウンロードするのがもっとも簡単である。

→観測時点で利用した積分機能が統合されているソフトウェアは、残念ながら2026年3月現在公開を中止されています。以下のwebサイトからそれぞれを個別にダウンロードして、システムを構築する必要があります。また、現在は多様な観測、解析ソフトウェアがプロの天文学者によって提供されていますので、それらを活用してみるのもおすすめです。

SDR Sharpの入手先
IF Average 開発者のサイト

<https://airspy.com/download/>

https://github.com/DanielKami/SDR_AVE_new

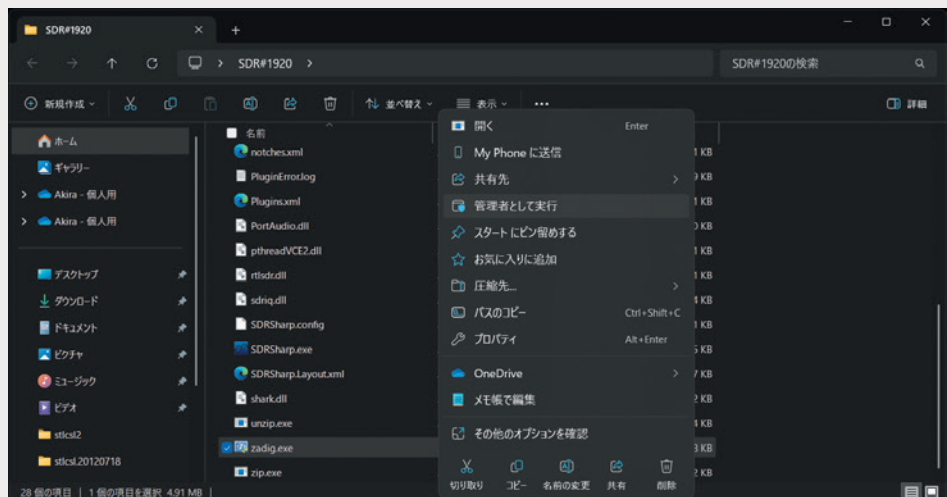
1

SDR Sharpをダウンロード。
ZIPファイルなので、任意のフォルダーに解凍し、SDR#1920
フォルダーを開く。



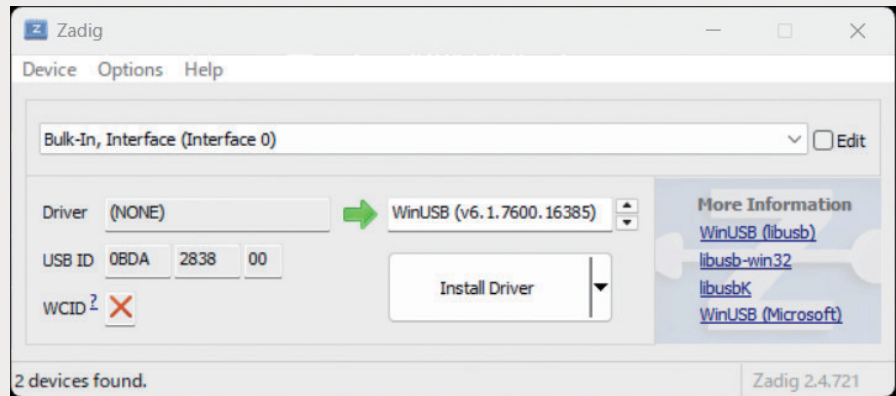
2

まずは、SDRのドライバをインストールする。SDRをUSBポートに接続してから、SDR#1920フォルダーのzadig.exeを「管理者として実行」する。



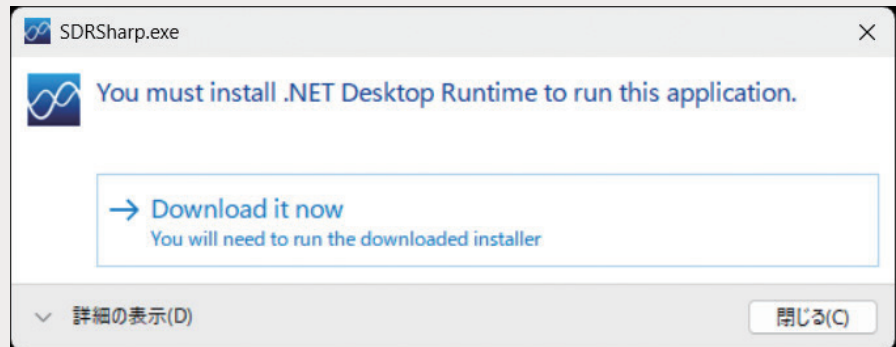
3

メニューバーのOptionsからList All Devicesの欄にチェックを入れて、一覧からBulk-in, interface (Interface 0) を指定して、Install Driver ボタンをクリックすると、ドライバーがインストールされる。注意: Bulk-in, interface (Interface 0) 以外を選択してはいけない。PCが動作しなくなる可能性がある。



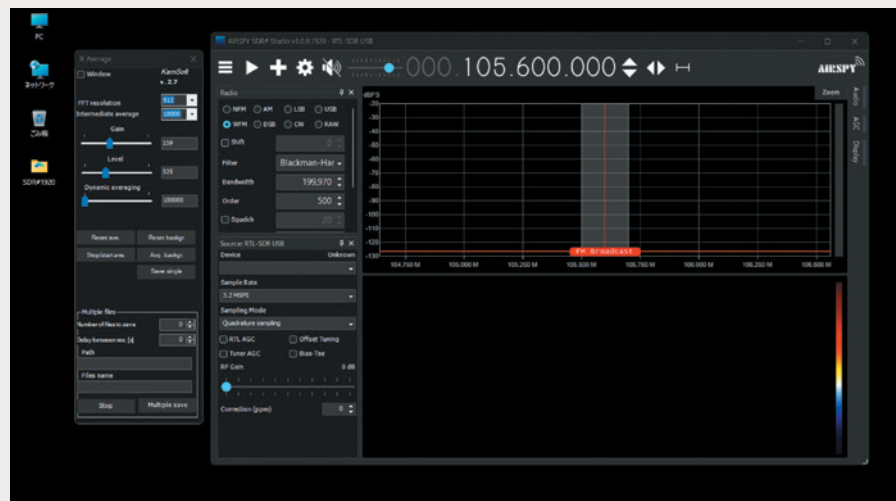
4

SDRSharp.exeをクリックして、SDR Sharp を起動する。場合によっては、.NET Desktop Runtimeのインストールを促されるので、それにしたがう。



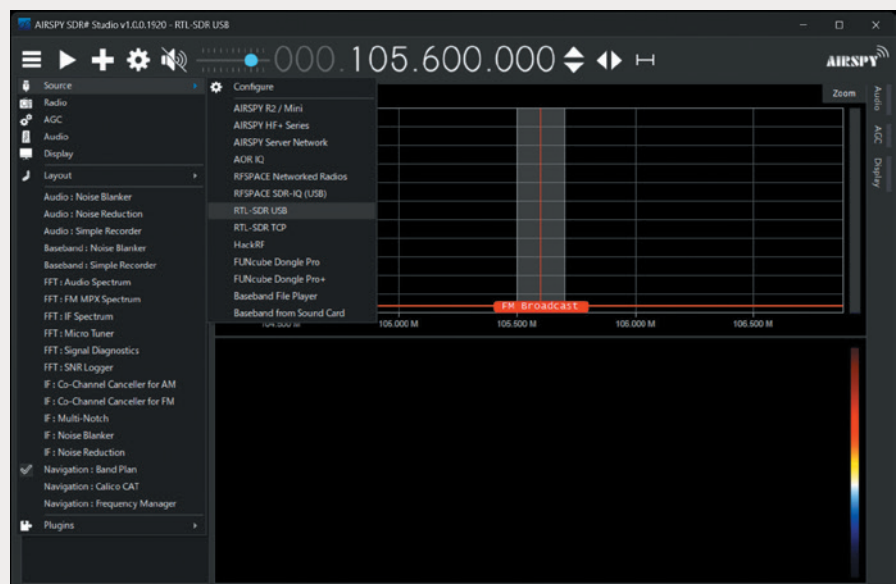
5

起動直後のSDR Sharp。IF Averageのウィンドウがすでに開いている。



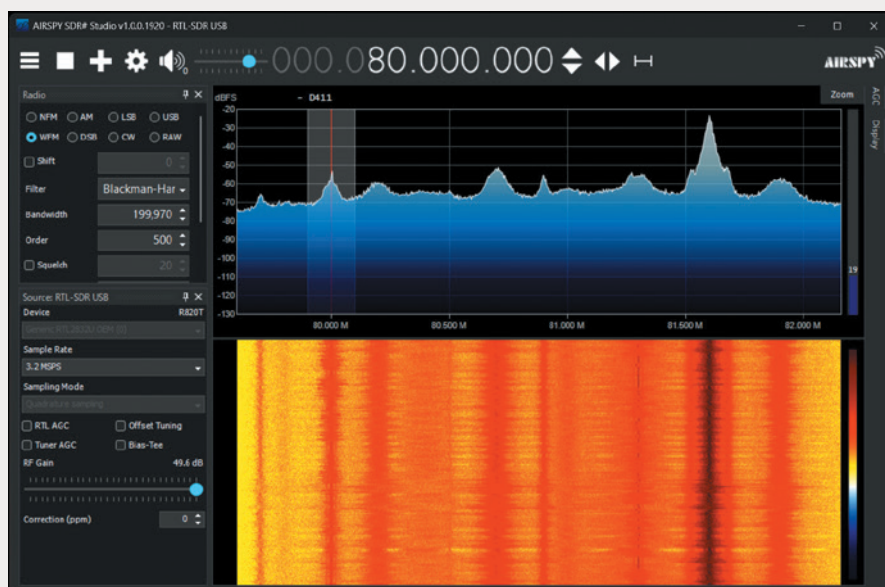
6

まずは、SDRをSDR Sharpに認識させる。ハンバーガーメニュー（左上の3本線アイコン）から、Source>RTL-SDR USBを選択しておく。



7

SDR Sharpの動作確認は、テレビアンテナをつないで、近隣のラジオ局の放送を受信してみるとよい。SDRとアンテナとの接続にはSMAとFコネクタをつなぐアダプターが必要。Radioウィンドウ内のWFMをチェック、Source:RTL-SDR USBウィンドウ内のRF Gainを最大にしておく。周波数は国内のFMラジオの周波数帯である80 MHz前後に設定し、上側の三角形の再生マークをクリックすれば、音声は聞こえるはず。スペクトルの高い山の部分がFM放送の電波なので、その周波数に合わせてみよう。スピーカマーク左側のバーで音量調整できる。

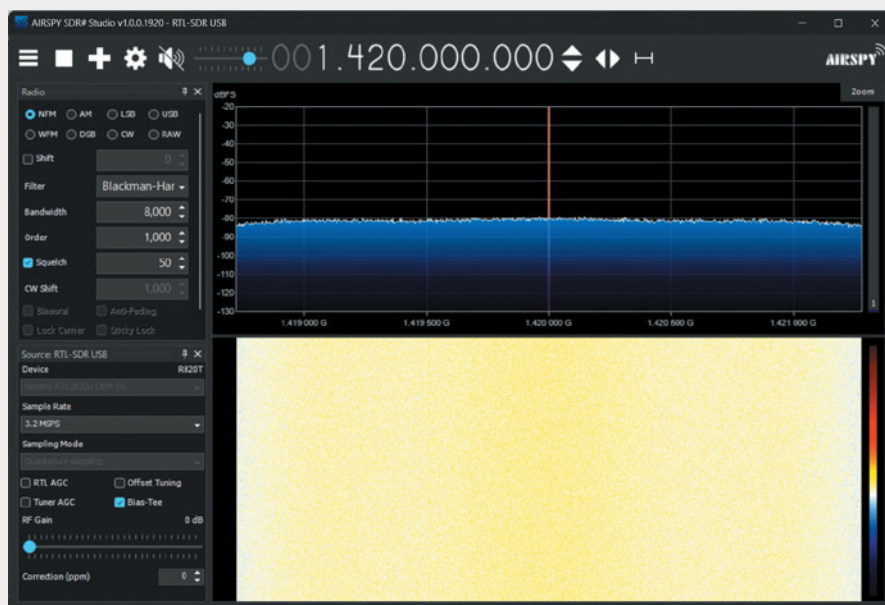
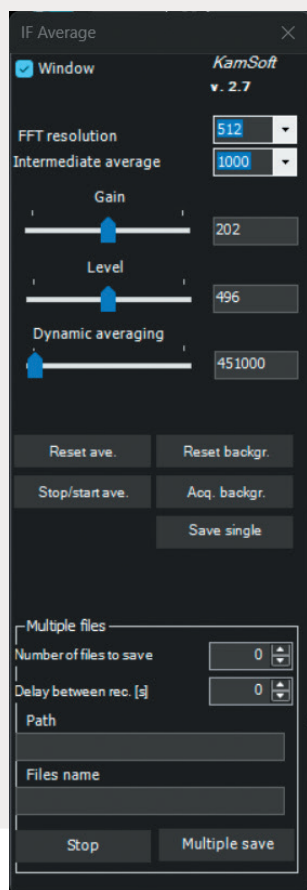


音声は聞こえれば、システムは正常に動作しているので、いよいよ銀河電波を受信する設定を進めていこう。

- ・SDRの先にLNAを接続し、アンテナをつながない状態、もしくは50Ωのターミネーターを取り付けておく。
- ・Source:RTL-SDR USBウィンドウ内のBias Teeにチェックを入れておく。

8

周波数を1420 MHzに設定し、受信してみる。電波はないが、機器そのものが持つノイズがスペクトルとして見える。何らかの信号が得られたなら、IF Averageを使ってバックグラウンドを取ってみる。



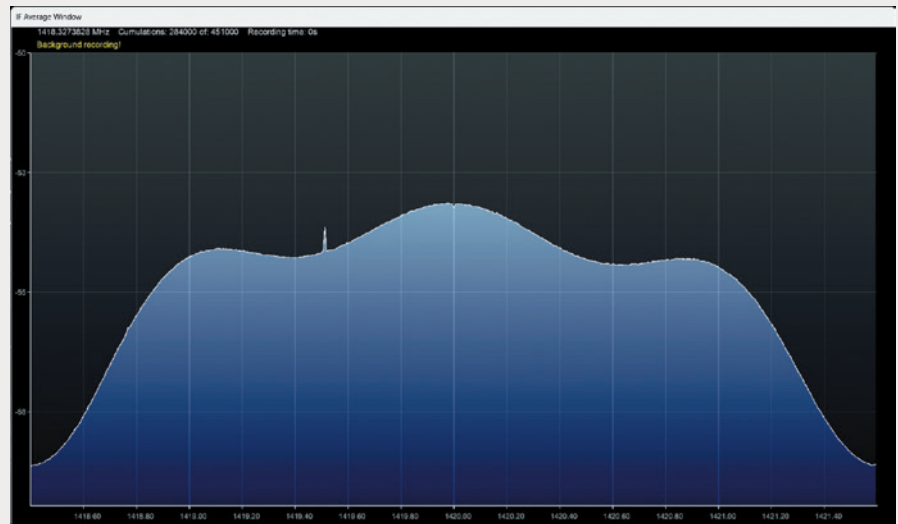
9

設定は、テストではおおむね以下のようにしてみた。
 FFT resolution (高速フーリエ変換解像度) : 512
 Intermediate Average (中級平均値) : 1000
 Gain (ゲイン) : 200前後
 Level (レベル) : 500前後
 Dynamic Averaging (動的平均化) : 500000前後

FFT resolutionは、大きくするとPCの計算処理負担が大きくなる。Intermediate Averageは、とりあえずデフォルトの1000にしてみた。スペクトルが見えないときは、GainとLevelを調整すると、ほどよく見えるようになる。Dynamic Averagingは、小さいとノイズが目立ち、大きすぎると積算時間が長くなりすぎるので、実際のスペクトルを見ながら調整するとよいだろう。ただし、数値を変えたら、データの取り直し。

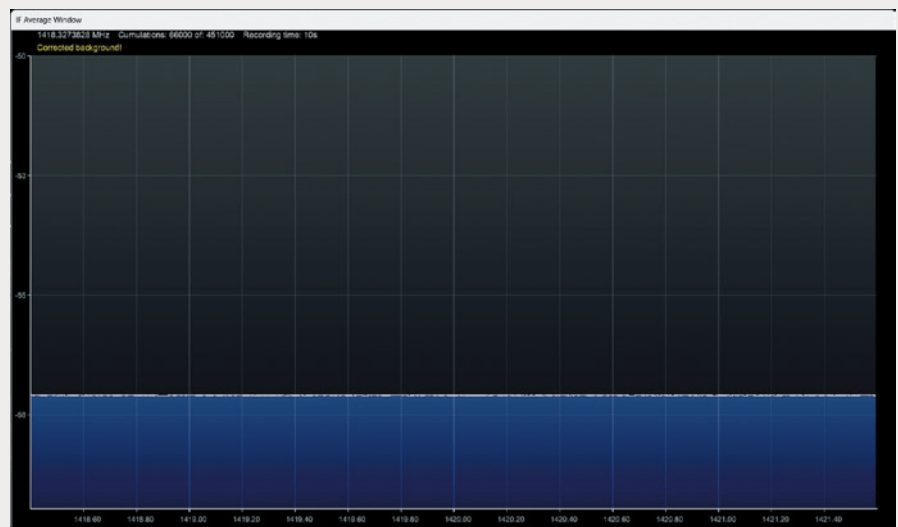
10

IF AverageのウィンドウのWindowボタンを押すと、スペクトルのウィンドウが開く。さらに、Acq.Backgrボタンをすかさずクリックするとバックグラウンドを記録しはじめる。1420 MHzを中心に山の形が見えるのは、LNAとSDRの特性で、1420 MHzから離れるほど感度が弱くなっているため。トゲのようなピークはノイズ（アーティファクトと呼ぶ）。数分で記録が終わり、続けて実際のデータ取得が始まるが、バックグラウンドと同じく、何も受信していない状態をバックグラウンドで割り算しているので、結果的に平らなスペクトルが見えてくる。



11

実際に銀河電波が捉えられれば、このスペクトルに山が見えてくるはず。ここまで、動作確認ができれば、銀河電波の受信のための設定は完了だ。



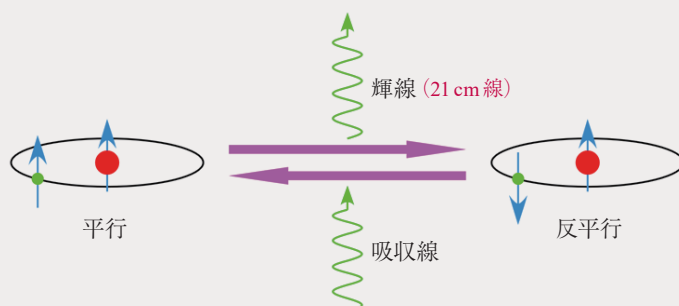
21 cm線と水素のスピン

水素は宇宙でいちばんシンプルな原子です。その構造は中心に陽子というプラス電荷の粒子があって、その周りを電子というマイナス電荷の粒子が回っています。陽子と電子は、まるで磁石のように引き合っていますが、ここで大事なのは、それぞれスピン角運動量（以下、スピンと記す）と呼ばれる性質を持っていることです。

スピン (spin) という言葉には、「車がスピンする」というような「急速な回転」のイメージがありますが、実際にはコマのような回転運動ではなく、量子力学的な性質です。あくまでも、「回転するような性質」という「概念」であると理解しておきましょう。

また、スピンには向きがあります。水素原子を構成する陽子と電子のスピンは、常に「上向き」か「下向き」の2つの状態のどちらかしか取りません。そして、陽子と電子のスピンの向きの組み合わせはそれぞれが同じ向きか逆向きかの2通りだけです。

スピンの向きが同じ場合と逆の場合では、向きが逆よりも向きが同じ方が、わずかですが水素原子が持つエネルギーが高くなります。エネルギーが高い状態は不安定で、高いところから低いところにボールが転がるように、低い状態へとたがります。エネルギーが高い状態から低い状態へ遷移するとき、差のエネルギーが水素原子から放出されます。これが、波長21 cmの水素21 cm線なのです。



わかりやすい概念図として、陽子と電子を表す球にスピンの向きを矢印で示しました。スピンの向きが同じでエネルギーが高い状態からスピンの向きが逆の低い状態となると、電磁波として21 cm線を放射します。逆に外部からエネルギーを受け取ると、スピンの向きが同じになって、エネルギーの高い状態になります。波長21 cmの電波を含む幅広い波長を持つ電波に満たされた環境では、周囲から電波を吸収することで、スピンの向きがそろったエネルギーの高い状態になります。（日本天文学会「天文学辞典」の「21 cm線」解説図より）

第1部 3 観測実行結果

銀河赤道をスキャンして、各所のドップラーシフトのようすを観測

●アンテナ固定で予備観測

実際の21 cm線の観測は、まず無線LANグリッドパラボラアンテナをプラスチック製の箱に載せ、天頂付近に天の川銀河が上るころを狙ってみました。

バックグラウンドは、LNAからアンテナを外し、代わりに50Ωのターミネータを装着して取得しました(図1-08・09)。さらにバックグラウンドの取得が終わるとすぐにアンテナに付け替え、観測を行いました。十分な時間の積算を行うと、明らかにスペクトルの1420 MHz付近に山のようなピークが認められました(図1-10)。

また、天の川銀河から離れたエリアにアンテナを向けると、ピークが下がり、平坦なスペクトルになりました。これで、天の川銀河からの21 cm線を捉えることができたといえるでしょう。



図1-08 SMAコネクタ
体型の50Ωターミネータを
LNAに取り付けバックグラ
ウンドを取得する。

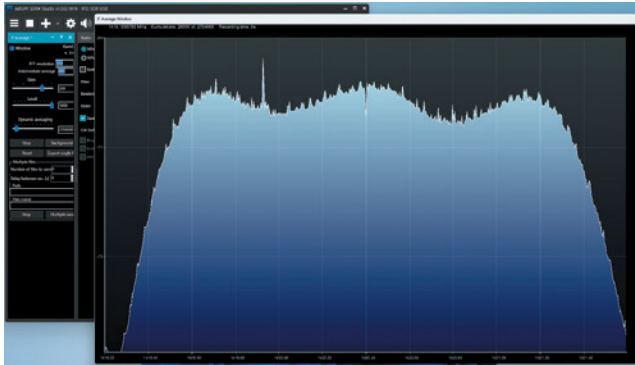


図1-09 ターミネータを取り付けて取得したバックグラウンド。LNAやSDRの感度や内部のノイズのデータといえる。

●アンテナを赤道儀に載せて本観測

予備観測に続き、天の川銀河の銀河赤道に沿ってアンテナを動かし、そのスペクトルの変化を観測してみることになりました。

効率よく観測するために、アンテナは天体の自動導入が可能な小型天体望遠鏡用の赤道儀に取り付けました(p.05・図1-03)。たまたま手元にあったアルミ板材を組み合わせ、アンテナを任意の方向に向けられるようにしたわけです。

無線LANグリッドパラボラアンテナのディッシュの大きさを考慮すると、分解能としては、直径でおよそ15度になります。そこで、天の川銀河の銀河赤道を銀河中心の銀経0度から15度ずつ移動させて、順次スペクトルを取得して行くことにしました。

赤道儀の制御は、天文シミュレーションソフトウェアの「ステラナビゲータ12」を活用しました。PCと赤道儀を接続し、星図のシミュレーション画面上で銀緯0度、さらに銀経を15度刻みで指定して、アンテナを所定の向きに移動させました。

また、電波の放射が禁止されている周波数帯とはいえ、人工的な電波と思われるノイズが多いため、本観測ではバックグラウンド

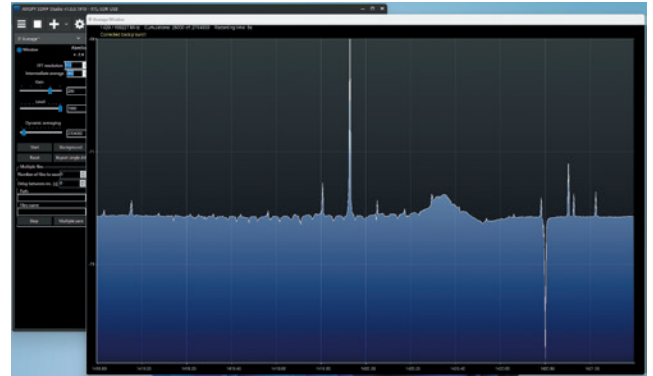


図1-10 バックグラウンド取得後にアンテナを天頂に向け、天の川銀河が天頂を通過する時間帯に合わせて受信したときのような。小さなピークが銀河電波と思われる。

を天の川銀河の銀河赤道から離れた空にアンテナを向けることにしました。具体的には、毎回、天の北極付近にアンテナを向けてバックグラウンドを取得後、目的の座標にアンテナを向けてスペクトルを取得しました。

その結果、銀経ごとに異なる周波数のピークを持つスペクトルを得ることができました(図1-11)。

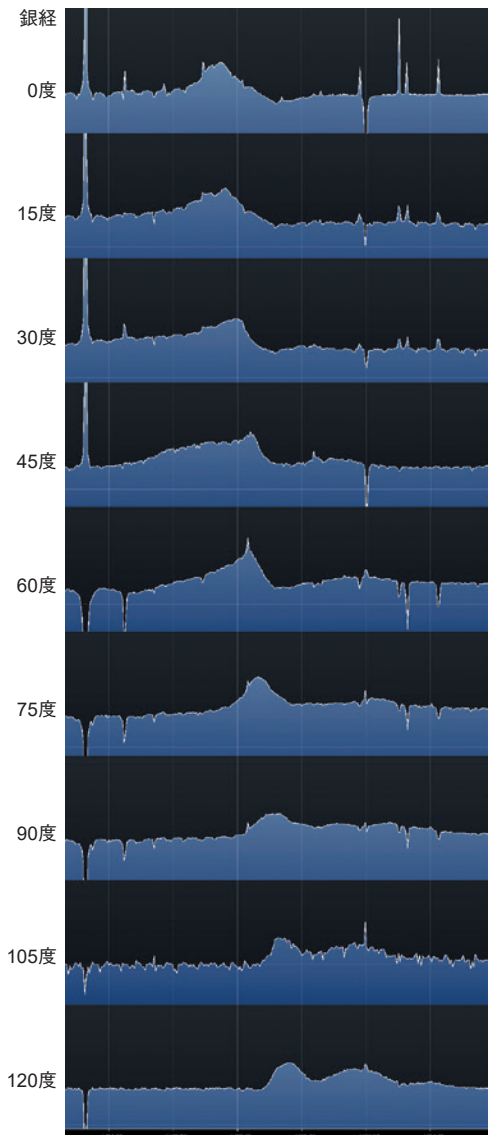


図1-11 銀経0度から120度まで、15度刻みで実際に天の川銀河からの電波を受信したデータ。各銀経ごとに明らかにピークの位置がズれているのがわかる。



SDRを用いた 宇宙探査・開発分野の 電波受信も面白いカラ！

唐崎健嗣

(合同会社プラネタリウムワークス)

★マンガでは
カラフィン技師長

天文現象の観測だけでなく、宇宙機などからの電波をSDRでキャッチする無線趣味も広がっています。ここではYouTubeなどで気軽に見られるコンテンツのいくつかをご紹介します。

①人工衛星の電波をキャッチしよう！

九州工業大学 工学部 宇宙システム工学科

★もっとも一般的なSDRと、製作が容易な自作アンテナに、フリーソフトを用いて人工衛星からの電波を受信する方法をコンパクトにまとめています。画像も多く、見やすいコンテンツです。



<https://www.mirai-kougaku.jp/laboratory/pages/200221.php>

②人工衛星の電波をキャッチしようII ー地球観測衛星の電波受信ー

日本宇宙少年団 厚木分団 林 正之氏

★2007年に発行されているので、SDRは用いておらず、ハードやソフトは古いですが、原理や注意点などが丁寧に書かれていて、受信技術を基本から押さえるのに最適なコンテンツです。



<https://www.yac-j.com/wp-content/uploads/2024/12/2-5.pdf>

③Geminiと攻略する、初めてのCubesat 電波受信 リーマンサット・プロジェクト

★キューブサットも多く飛ぶようになり、そのビーコンやテレメトリ受信も静かなブームとなっています。記事の構成は、かなり途中が端折られていますが、全体の流れは把握しやすく、実際に試すときに参考となるコンテンツです。



<https://note.com/rymansat/n/n9589c8339ceb>

④日本大学のCubeSatとアマチュア衛星通信

NEXUS Project Team 日本大学/JAMSAT

★パワーポイントのスライド集ですが、文字情報だけ追っても十分に理解できます。キューブサットのオーバービューから受信システムの組み立て、ソフトウェアの使い方まで丁寧な説明があります。衛星側の運用情報が細かく説明されていて、実際に受信する場合の手順も確認できます。ただし、ここで紹介されているCubeSatNEXUSは2023年11月に大気圏に再突入して運用停止しています。

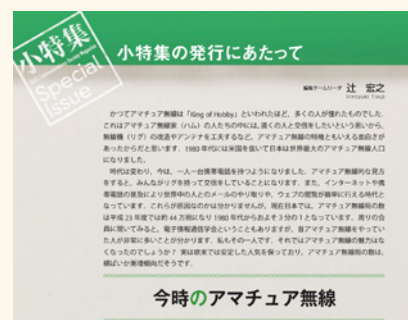


https://stage.tksc.jaxa.jp/taurus/students/nexus/download/paper/2020_02_16_ChibaHAM.pdf

⑤「今時のアマチュア無線」

電子情報通信学会

★SDRの直接的な資料ではありませんが、アマチュア無線の歴史と現在の無線機技術などがわかりやすく記載されており、趣味としてのアマチュア無線の全体像を把握できます。

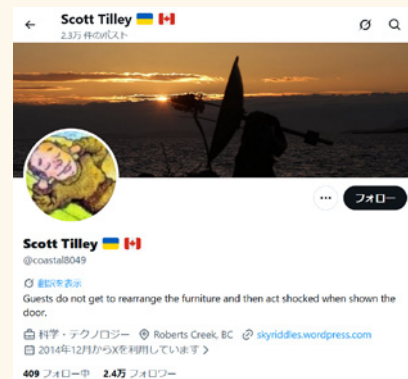


https://www.ieice.org/~cs-edit/magazine/ieice/spsec/Bplus23_sp.pdf

⑥Scott Tilley 氏

X/旧Twitter

★自宅に追尾機構を備えた4mのパラボラアンテナを所有するScott氏のXアカウント。小型月着陸実証機SLIMの月面到達時にも探査機からの直接波を受信しており、JAXAの発表前に衛星の状態を把握していた強者です。



<https://x.com/coastal8049>

キャンプマット型アンテナ（缶テナ）の自作と受信実験

●アンテナの製作

今回は、木星電波を受信したときと同様に、Software Defined Radio (SDR) を用いて、水素原子が発する波長21cm（周波数1420.405 MHz）の電波（以下、水素21cm線といいます）を受信する電波望遠鏡の製作に取り組みました。製作にあたっては2024年5月の天文月報に掲載された谷敷怜空さんの記事 [1] を参照し、谷敷さんとやり取りしながら製作しました。ほぼ完全コピーです。製作に必要なパーツの多くはAmazonで調達し、塗料用の缶、キャンプマットやネジ類は近所のホームセンターで購入しました。掛かった費用は合計でわずか2万円ほどで、こんなに少ない金額で電波望遠鏡を手作りできることに感激しました。なお、制御とデータ取得用のMacは手持ちのものを使用しました。図2-01に、組み立て前のパーツを示します（詳細は本記事の受信機部の組み立てを参照してください）。キャンプマットを切り出してホーン上に組み立て、いくつかのパーツをハンダ付けして、コネクタ類をつなげばアンテナの完成です。

●いよいよ受信実験

できあがった電波望遠鏡を持って屋上に向かい、いよいよ試験観測です。昼間でしたが、ちょうど南西側にオリオン座が見えてい

る時間帯でした。オリオン座の近くには冬の天の川があるので、水素21cm線が見えるはずですが、電波望遠鏡の空間分解能（ビームサイズ）は約40°とたいへん大きいので、だいたいの方向を向けられれば良いはずですが、星空の方向を調べるアプリでオリオン座のだいたいの方向を調べ、その方向に向けてアンテナを向けました。そして制御用Macから観測開始命令を出して25秒後、見事に水素21cm線が受信できました（図2-02）。これまで、野辺山宇宙電波観測所にある電波望遠鏡での初受信イベントに何度か参加しましたが、そのとき、あるいはそれ以上の感激で、思わず「おお〜」と声を上げてしまいました。

この手作り電波望遠鏡製作でいちばんたいへんだったのは、老眼の2人が細かなパーツをハンダ付けすることでした。ホーンアンテナ内部に作ったプローブの直径は3mm、SMAコネクタとの接続部は2mmです。また、プリアンプに電源を接続する部分でも約5mmの間隔で2本（×2）のケーブルを間違えずに確実にハンダ付けしないとイケません。これらの作業は、老眼が出る前の若い人をお願いしたほうが良かったかもしれません。

●水素21cm線の天文学的意義

よく知られているように、宇宙で最も豊富にある元素が水素です。その水素のすべてがビッグバンのときに生成されたものです。

このため、水素が放出する光や電波を用いると、宇宙のほぼすべての領域を観測することができます。

水素21cm線は、水素原子の基底状態（最もエネルギーの低い状態）にあるとき、原子核（陽子）の周囲を運動する電子の持つスピン角運動量が陽子と平行（↑↑）な状態から反平行な状態（↑↓）に遷移するときに放出される電波です（p.11・下かこみ記事参照）。1945年、オールト（Oort）の雲で有名なオールトに師事した（当時の）大学院生であるファン・デ・フルスト（van de Hulst）が、もし平行な状態の寿命が4億年（ 4×10^8 年）より長くなければ観測可能だろうと理論的に予測しました[2]。宇宙から電波がやってきていることが分かったのが1931年ですので、当時は電波天文学の黎明期です（p.03参照）。しかも、最初の宇宙電波は短波帯（20.5 MHz）での発見であったため、周波数が高くて高いギガヘルツ帯を観測する技術が米国、オランダとオーストラリアで開発されるには多少の時間が掛かりました。そして1951年に、米国のユーインとパーセル[3]、オランダのミュラー



図2-01 （左）Amazonやホームセンターで調達したパーツ類。（右）ホーンアンテナ（缶テナ）完成の図。

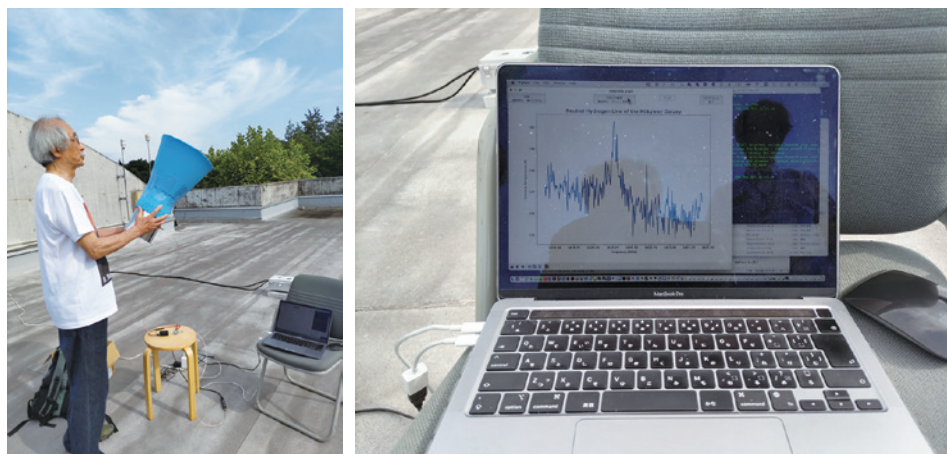


図2-02 （左）オリオン座にアンテナを向けて試験観測。（右）First light !

とオールト[4]、オーストラリアのクリスチャンセンとハインドマン[5]によって天の川からの水素21 cm線が検出されました。

北半球と南半球で天の川に沿って水素21 cm線を観測すると、天の川の全体像を観測することになります。可視光は星間塵によって減光を受けるので、可視光で観測可能なのは地球から約3,000光年の範囲だけだと言われています。それに対して電波は星間塵によって弱まることのないので、天の川銀河全体の形を得ることができます。このようにして得られた天の川銀河の姿は、渦巻銀河でした(図2-03参照) [6]。

●周波数保護の観点

水素21 cm線を実際に観測してみると、その周波数の近くには人工電波がないことが分かります。これは、水素21 cm線が天文学的に重要であることが国際的に認識され、1400-1427 MHzではすべての人工電波の放射が禁止されているからなのです(放射禁止帯といいます)。

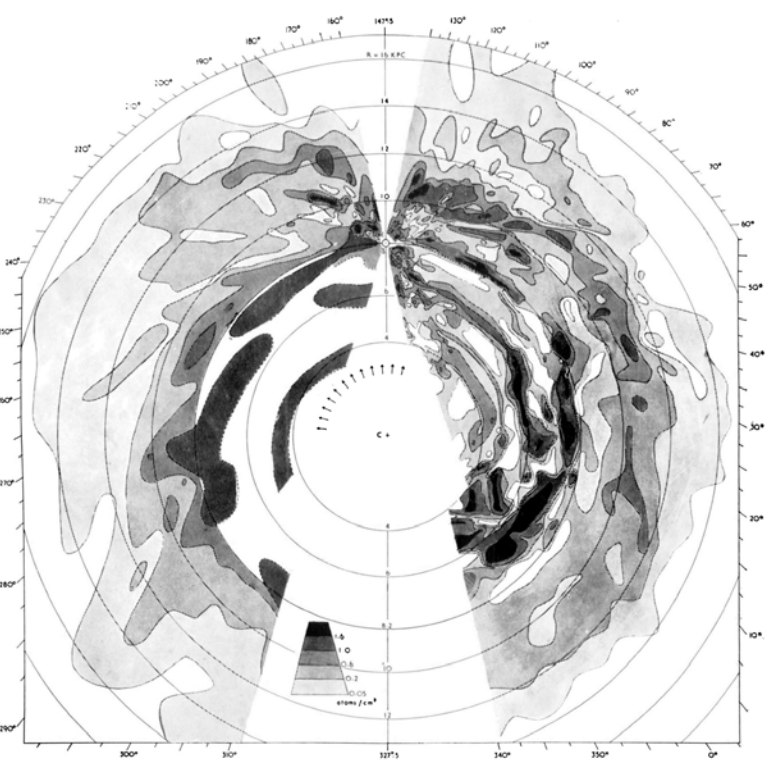
携帯電話や衛星放送などは電波を用いて情報を伝達します。そのためにはどの目的のためにはどの周波数を用いるのかを取り決めておかねばなりません。電波利用についての国際ルールを定めているのが、国連関連機関の一つである国際電気通信連合 (ITU) です。ITUの設立当初は、放射する電波の周波数を決めていました。これに対して電波天文学では、宇宙からの微弱な電波を受信することで研究を進めます。人工電波が宇宙からの電波を覆い隠してしまうと研究ができなくなります。そこで、水素21 cm線の初検出の直後から、通信電波からの影響を避けるために国際天文学連合や国際電波科学連合に所属する世界の電波天文学者が協力して運動しました。ここで忘れてはならないのは、日本の電波天文学の開拓者である畑中武夫先生も、この活動に加わっていたことです。そして、1959年に開催されたITUの世界主管庁会議 (WARC) において初めて電波天文専用の周波数帯が設定されました。それが1400-1427 MHzの電波天文バンドです(図2-04)。当時の経緯は、オーストラリアのロビンソン氏のレビュー論文に詳しく記述されています[7]。(アルマーの冒険・第11回後編「7. 電波天文観測と周波数資源保護」記事も参照してください)

Allocation to Services		
Region 1	Region 2	Region 3
1 350—1 400	1 350—1 400	
Fixed		
MOBILE		
RADIOLOCATION	RADIOLOCATION	
349	349	
1 400—1 427		
	RADIO ASTRONOMY	
	350	

図2-04 1959年に水素21cm線が記載された国際周波数分配表。

参考文献

- [1] 谷敷 怜空, 天文月報, 117, 315-319 (2024).
- [2] van de Hulst, H. C., Nederl. Tij. Natuurkunde, 's-Gravenhage-Martinus Nyhoff, 11, 201 (1945).
- [3] Ewen, H. I. and Purcell, E. M., Nature, 168(4270), 356 (1951).
- [4] Muller, C. A., and Oort, J. H., Nature, 168(4270), 357-358 (1951).
- [5] Christiansen, W. N., and Hindman, J. V., Australian Journal of Scientific Research A, 5, 437 (1952).
- [6] Oort, J. H., Kerr, F. J., Westerhout, G., MNRAS, 118, 379 (1958).
- [7] Robinson, B., Annual Review of Astronomy and Astrophysics, 37, 65-96 (1999).



角錐ホーンアンテナの試作と天の川21cm線の観測 — 工作編 —

●はじめに

手作り電波望遠鏡の感度は、アンテナ開口面積を大きくすることによって向上させることができます。受信機感度を向上させるのは市販の安価なものでは困難なので、アンテナ開口面積をできる限り大きくするほうが得策です。キャンプマットによる円錐ホーンは簡単に製作できますが、大きなサイズのホーンを作るのは困難ですので、今回は少し大きめの角錐ホーンアンテナを試作してみました。角錐ホーンはパラボラアンテナのような曲面がないので、製作しやすいアンテナです。以下では、角錐ホーンアンテナの設計方針、部品の選択、工作手順などについて説明します。

●角錐ホーンアンテナの寸法

ホーンアンテナの寸法は、以下のPhysicsOpenLabのwebサイトを参考にしました。

<https://physicsopenlab.org/2020/07/20/horn-antenna-for-the-21cm-neutral-hydrogen-line/>

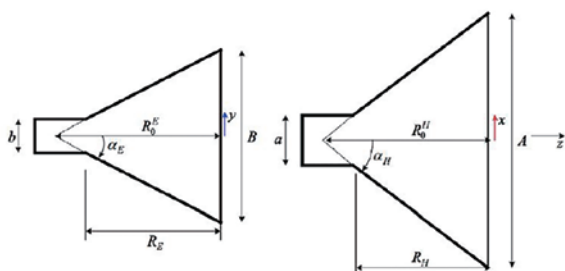


図3-01 ホーンの大きさ (PhysicsOpenLabより)。
 $A = 750 \text{ mm}$, $B = 600 \text{ mm}$
 $R_E = 700 \text{ mm}$, $R_H = 700 \text{ mm}$
 $a = 146 \text{ mm}$, $b = 117 \text{ mm}$

ユーインとパーセルが中性水素線を発見した角錐ホーンアンテナは、横142 cm、縦109 cm、長さ310 cmでした。このアンテナに比べ、今回の試作角錐ホーンアンテナは開口面積比で約29%、計算値でビーム半値幅（指向性）は約 $19^\circ \times 24^\circ$ 、ゲインは約18 dBです。特に都会での観測実験では、人工雑音の影響を軽減するために、ホーン開口をできるだけ大きくして指向性を鋭くすることが得策です。

導波管の寸法も上記webサイトにある寸法を参考にしています。

中性水素線の周波数 $f = 1420.4 \text{ MHz}$ 、波長 $\lambda = 211 \text{ mm}$ なので、プローブ長は $l = \lambda/4 = 52.8 \text{ mm}$ となりますが、コネクタ部分のかさ上げがあるので、プローブに使用する真鍮パイプを少し短くする必要があり、今回の試作ホーンアンテナでは真鍮パイプ長は47 mmとしました。プローブの位置は正面から見ると導波管断面の中央部（電界が最大となる部分）、横から見ると導波管の端から管内波長（305 mm）の1/4の76 mmの位置

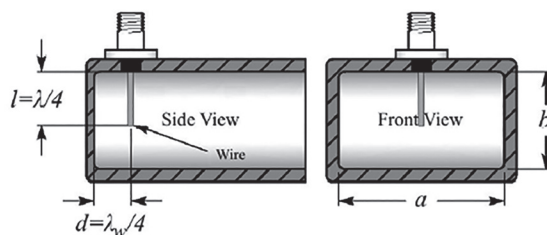


図3-02 導波管の形状 (PhysicsOpenLabより)。
 $a = 146 \text{ mm}$, $b = 117 \text{ mm}$, 長さは250 mm



図3-03 真鍮パイプによるプローブとN型コネクタおよびN-SMA変換コネクタ。

に設置しています。使用した真鍮パイプは内径3 mmなので、ちょっとスリットを切つてやるとハンダ付けをしないでN型コネクタの中心導体にはめることができます。

●角錐ホーンの方法と組み立て

今回の試作で重要視したのは、運搬のしやすさ、材料の調達のしやすさ、工作のしやすさです。材料はホームセンターやネット通販で購入できるものを探しました。ホーンは導波管部、ホーン喉元部、ホーン本体部よりなります。

1) 導波管部およびホーン喉元部

導波管部およびホーン喉元部は薄いアルミ平板を組み合わせてねじ止めする方式を採用しました。アルミ平板は、機械的強度と金鋸での加工のしやすさを考え、板厚0.6 mmで大きさ910 mm × 455 mmのもの（品名：HA649）を採用しました。これより厚いア

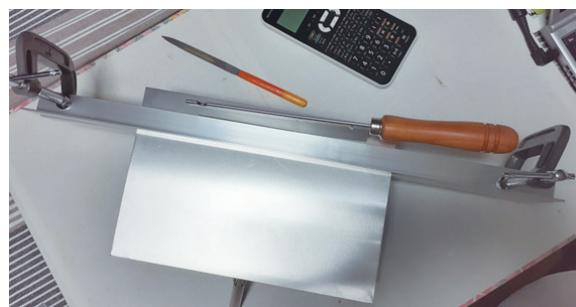


図3-04 アルミ板を曲げたり切ったりするときのための自作治具。

アルミ板は金鋸で切るのがたいへんです。アルミ板を金鋸で切るときはガイド用に、またアルミ板を直角に曲げるときの固定用に大きめのアルミアングルを2個用意し、その両端をシャコ万力で固定した専用の道具を製作しました（図3-04）。

導波管部は、ねじ止めの部分を減らすため、大きめのアルミ板を曲げて、横方向ではコの字形、縦方向ではL字形の2つのユニットを作成し、それらをねじ止めで固定すると導波管部分が完成します。ねじ止めのため、アルミ板の端に11mmくらいのいわゆる「のりしろ」を作っておきます。アルミ厚が0.6mmと薄いため、各接続部分にはアルミの細いアングル材（幅11mm）を取り付けて強化しています。導波管出口のフランジ部分は、ホーン本体部分の重量を支えるため、すべてアルミアングルで作りました。ねじ止め間隔は場所により異なりますが、狭い部分で50mm、広い部分で70mmです（図3-05参照）。

ホーン喉元部は、4枚の台形の形をしたアルミ板を切り出し、導波管部に使用したものと同じアルミアングル材で固定して作ります。ホーン喉元部の入り口および出口部分は、接続および強度強化のために、「のりしろ」部分をアルミ板を曲げることによって作っておきます。こののりしろ部分もアルミアングルと同じ幅11mmです。台形アルミ板をアルミアングルで固定するとき、ネジ頭がぶつからないように、隣り合うアルミ板のねじ穴を少しずらしておきます。

ねじ穴は寸法どおりに前もって開けておくと、各部の製作誤差や取り付け誤差などにより、実際にはネジがはまらなくなることがあります。そこで、「現場合わせ」という手法を使います。まず、基準となるネジ穴をあけ、部材をネジで仮止めした状態で、他のネジ穴予定部分の裏側にカマボコ板などの厚めの木材を手で固定しながら電気ドリルで穴を開けることにより、組み上げ途中で現物合わせをしながら、全体を組み上げていきます。ドリルの刃の長さとかマボコ板の厚さは、ドリルの刃が突き抜けないような長さにします。

2) ホーン本体部

ホーン本体の構造体として以下の可能性として、以下の4案を検討した結果、(4)のポリカーボネート板を採用しました。商品名は、ハモニカーボ クリアフロスというものです。

- (1) アルミ板 強固で電波の反射面としても好都合であるが、高価で加工がしにくい
- (2) 段ボール 廉価で加工しやすいが、雨に弱い
- (3) ベニヤ板 加工しやすいが、重い
- (4) ポリカーボネート板 軽量で強く、雨にも強い

ポリカーボネート板は量1枚程度の大きさがあります。そこから、台形板2枚と頭切り直角三角形板4枚を図3-06のように無駄のないように切り出します。それぞれの大きさは以下のとおりです。

- (1) 台形板 底辺750mm、上辺146mm、斜辺799mm、高さ740mm
- (2) 頭切り直角三角形板 底辺300mm、上辺58.5mm、斜辺799mm、高さ762mm

ポリカーボネート板は、金属製のスケールを重しで固定し、スケールに沿ってカッターで切断します。ポリカーボネート板は、電波を反射しないので、表面に導電性のものを貼り付ける必要があります。そこで、以下の3案を検討した結果、(3)のアルミテープ方式を採用しました。

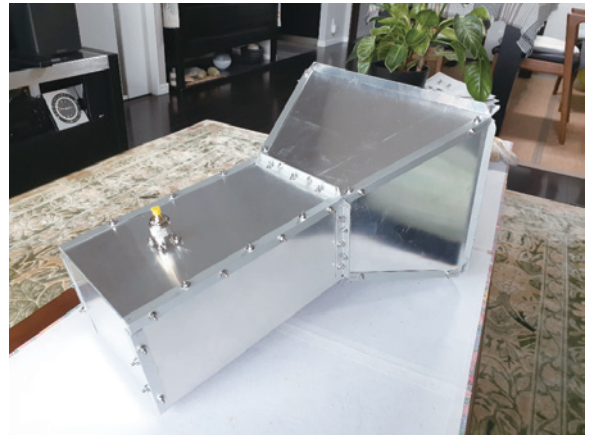


図3-05 完成した導波管部およびホーン喉元部（開口部内側の大きさは285mm × 228mm）。



図3-06 量1枚くらいのポリカーボネート板から切り出したホーン本体用の台形板（2枚）および頭切り直角三角形板（4枚）。

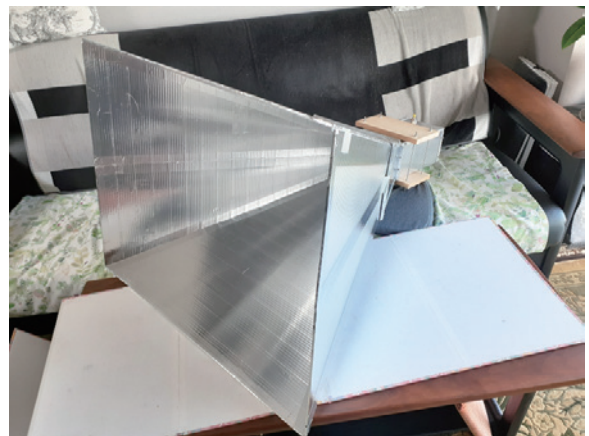


図3-07 アルミ箔テープを貼り終わったホーン内面。

- (1) アルミホイル 皺がよりやすく接着が不便
- (2) 金属塗料 高価
- (3) アルミ箔テープ 廉価で工作がしやすい

ネット通販で購入したアルミ箔テープは、厚さ0.1mm、幅50mm、長さ30mの両面導電性のテープで、このテープ2個で十分ホーン内部を貼ることができます。ポリカーボネート板は5mmくらいの間隔の平行線模様があるので、この模様をガイドとして、テープを5mmくらいずつオーバーラップしながらきれいに貼ることができます。板内側の面だけでなく、板の端



図3-08 折り畳み式ホーンアンテナ、上：折り畳み途中、下：折り畳み後。

もアルミテープで包んで保護します。

まず、頭切り直角三角形板2枚ずつをアルミテープでつないで台形の形にしますが、内側に「くの字」に折りたためるよう、アルミテープの貼り方には余裕を持たせます。

このようにして、ホーン本体を構成する4枚の台形板ができたら、それぞれの斜辺をアルミテープでつなぐと図3-07のようなホーンの形が完成します。

3) 「折り畳み式」のホーンアンテナ

今回製作したホーンアンテナは左右のサイド部分が折れてコンパクトになる構造となっており、運搬および収納に極めて便利です。

4) ホーンアンテナの固定方法

ホーン本体部とホーン喉元部との固定は、最初は結束バンドで固定していましたが、脱着の回数が多くなると取り付け部分の穴が拡大してしまうので、図3-09のような取り付け金具を製作し、蝶ねじ（ナット）で固定するようにしました。厚さ2mm、65mm × 20mmのアルミ板の端を曲げて高さ5mmのL形構造を作ります。アルミ板を曲げたり、切ったりするには卓上万力があると便利です。蝶ねじ（ナット）用のボルト長は30mmで2つの穴間隔は約20mmです。

ホーン本体部の左右は折り曲げ可能となっていますので、ホーン形状を安定に保持するため、図3-10のようなアルミ板（80mm × 40mm × 5mm、厚さ0.6mm）で作った固定金具で固定しています。

ホーンアンテナをカメラ用三脚に固定するため、導波管部を図3-11のように、上下を2枚の木製の板（230mm × 125mm × 15mm）ではさみ、長さ190mmのボルトで固定しています。片方の木製の板には角度目盛り付きの雲台を取り付けて、ホーンアンテナの仰角、方位角を読めるようにしてあります。木の板には、雲台とのインターフェイス用アルミ板（90mm × 39mm × 2mm）をスペーサーで木板から5mm浮かせるように取り付けています（図3-12）。このインターフェイス部分は使用する雲台によって異なりますので、雲台によってサイズを



図3-09 ホーン本体部とホーン喉元部を固定する金具。



図3-10 ホーン本体部の左右の折り曲げ部分を補強する金具（奥に図3-09の固定金具の蝶ねじ（ナット）部分が見える）。

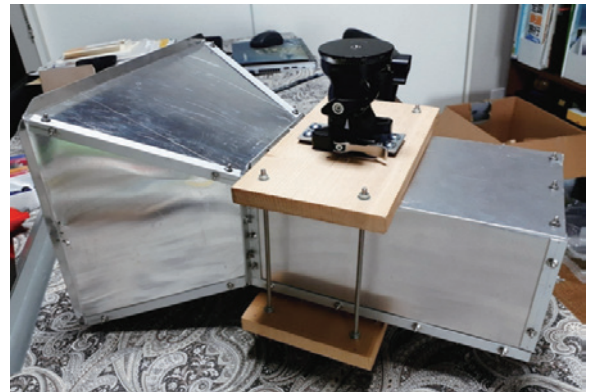


図3-11 導波管部を固定する木の板および雲台。



図3-12 雲台とのインターフェイス金具。



図3-13 水を入れたペットボトルによるバランスウェイト。

設計し直す必要があります。購入した雲台は、方位角目盛が反時計方向に $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ の目盛が刻まれており、天文観測の常識と逆方向なので読み取りに苦労しました。方位角目盛は時計方向に $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ のものが望ましいです。

ホーン本体部分の重量は約1.4 kgなので、仰角回転軸の後ろ側にはこれとバランスする重量が必要です。このため、導波管部の後ろに500 mmくらいの長さの木枠を作り、その先端に1.5 リットルのペットボトルに水をいれたものを使用しています(図3-13)。ペットボトルに入れる水の量でバランスを調整できると、運搬時は水を抜いて軽くできることなど便利です。

●受信機部分の組み立て

受信機の構成は、以下の文献を参考にしました。

- (1) 谷敷怜空、2024、天文月報、117、315
- (2) 谷敷怜空他、2025、天文月報、118、53

受信機のアンプ部分は、導波管部固定用の木の板の上にセットしています。受信機の初段は、水素21 cm線用に製造された低雑音アンプ(SAWbird + H1m)で、中に中心周波数1420 MHz、3 dBバンド幅65 MHzのSAW(表面弾性波)フィルターが内蔵され、ゲインが40 dB、NF(雑音指数)が0.8 dBというすぐれものです。後段は、極めて低価格の広帯域のアンプモジュール(SPF5189)で、この出力がSDR(NESDR SMARt v5)に接続されています。2つのアンプはカマボコ板の上に結束バンドで固定し、そのカマボコ板を木ネジで木の板に固定しています(図3-14)。低雑音アンプ部分は、近くのPCなどの雑音の影響を少なくするため、ホーンアンテナ用アルミ板の残ったものでシールドケース(165 mm × 70 mm × 40 mm)を製作し、30か所に放熱のための穴を開けてあります。

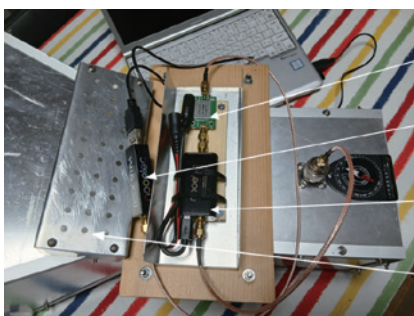


図3-14 導波管部の背中に取り付けた受信機部分。

後段の低雑音アンプ

SDR

最前段のBPF内蔵低雑音アンプ

不要雑音低減のためのシールドケース(自作)のふた(穴は放熱のため)

はかせチームの2つのアンテナで、
デモ観測をしてみました！

※石黒先生の角錐ホーンアンテナは本編で紹介した最新タイプの試作段階のもので。

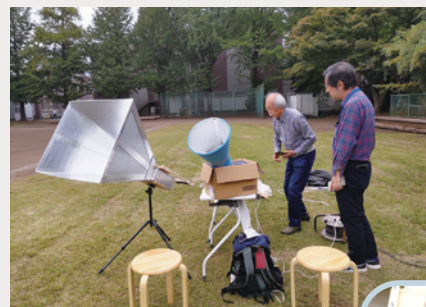


角錐ホーンアンテナ本体は、運搬と収納性が抜群。折り畳むとこのコンパクトさ。

導波管部とアンテナ喉元部からなる基部分を写真用三脚に搭載したところ。

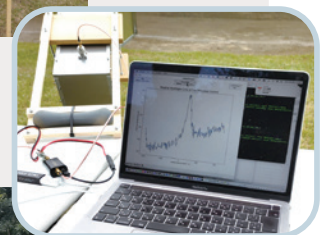


軽量のアンテナ本体を展開して、アンテナ喉元部と接続すると完成。



缶テナとともに、銀河電波の受信実験にトライ！

見事に銀河電波を捉えて、角錐ホーンアンテナ、「ファーストライト！」



I部で紹介したWi-Fiアンテナも並べて、アンテナ3機が揃い踏みです。

次回—観測編—も、乞うご期待！