

アルマーの冒険

第11回
ソフトウェアラジオを使って
木星の電波観測 **後編**

おもな登場人物



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

「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／熊本篤志、土屋史紀、笠羽康正、加藤雄人（東北大学）、
石黒正人（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

★前号・第11回前編

「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

蒼天高校天文部の流星観測中、奈央もアルマーも怪しい電波を感じ取っていた。ふたりとも電波眼が覚醒したのだ。そしてその発信源としてふたりが指さしたのは木星だった。いざよいは奈央とアルマーを連れて、隠し持っていたドーム型宇宙船で木星へとひとつ飛び、衛星イオで、いざよいとは旧知のイオウからジャミングによって木星電波が乱され、木星同様に磁場を持つ地球も危険だと知らされる。（※下のまんがは第11回前編の最後のシーンです）



いよいよ、木星のデカメートル波の観測を実際に行いました。観測には、電波を受けるアンテナ、受信機としてのSDR、それにデータを取得するPCが必要になります。アンテナは市販品の流用も考えられますが、高額であることと、仕組み自体はとて簡単なので自作することにしました。アメリカのRadio JOVEが公開している情報をもとに、国内で調達可能な部品だけで構成できました。SDRはもちろん市販品です。PCは、解析用のソフトウェアがWindows用であることから、Windows10をインストールしたデスクトップPCを用意しました。はたして、木星からの電波を受信することはできたのでしょうか？

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/>



アルマALMAの冒険

第11-4章 電波技術長カラフィン登場 自作のアンテナでジャミングーを探し出せ



1 DIYでアンテナを作る

まずは木星の電波をキャッチするダイポールアンテナを製作。

木星のデカメートル波の観測には、アンテナとSDR、そしてPCが必要です（左ページ右下コマ参照）。SDRとPCは市販品を用いますが、アンテナは自作する必要があります。アンテナは、Radio JOVEが推奨するスタイルを踏襲して製作しました。受信する中心周波数が20.1 MHzのアンテナです。

アンテナそのものの構造は、流星の電波観測で用いたダイポールアンテナと同様ですが、2つで1組のダイポールアンテナを用いるデュアルダイポールアンテナの構成にします。これは、より感度を高めることができ、さらにアンテナに指向性を持たせるための工夫です。

中心周波数が20.1 MHzでは、波長は14.92 mほどになります。ダイポールアンテナは、電波を受信機に導く同軸ケーブルの先（給電点）に2本の直線状の元素（導線）を左右対称に張りますが、1本の元素の長さは1/4波長としますので、元素2本の長さは約7.5 mになります。実際には、Radio JOVEのアンテナマニュアルの通り、導線内での電波の速度が遅くなる短縮率を考慮して3.51 mとしています。

ちなみに、ある程度の間隔を置いて、2つのダイポールアンテナを並べるので、設置場所には少なくとも10 m四方ほどの面積が必要です。

また、ダイポールアンテナの元素は、以前に製作した流星用よりも長く、自重も重くなります。そこで、給電点とアンテナマストへの張り綱を固定する両端に力が加わっても、破損することがないように構造にする必要があります。今回は、後述するアンテナマスト製作に使った塩ビパイプの残りを長さ10 cmに切断して加工し、いわゆる碇子（がいし=電気を絶縁して電線を支える器具）として、補強材とすることにしました。

さらに、2つのダイポールアンテナで捉えた電波は、コンバイナーと呼ばれる部品で合成します。ダイポールアンテナを南北に離して設置した場合、木星の南中時に観測を行うと、南側よりも北側のダイポールアンテナの方がわずかに遅く電波が到達します。そこで、コンバイナーで合成する場合には、南側のダイポールアンテナの同軸ケーブルを長くして、北側のダイポールアンテナで受けた電波と位相が合うようにします。観測を行った2022年の夏から秋にかけては、木星の南中高度はおおむね55度ほどでした。Radio JOVEのマニュアルによれば、南側の同軸ケーブルで電波の位相を90度遅らせると、高度60度にアンテナの指向性が与えられるため、より高い感度で南中時の木星からの電波を受信することが可能になります。

同軸ケーブルの長さは、北側が1波長分の11.94 m、南側がさらに90度の位相分を加えた14.92 m、コンバイナーからSDRまでは1波長分の11.94 mとしました。いずれも短縮率（電線カタログより0.8を採用）を考慮して計算で求めています。コンバイナーからSDRまでの長さは任意ですが、ノイズ対策としてPCをアンテナから離れたことと、あまり離すと電波の減衰が問題になるため、1波長分の11.94 mにしました。



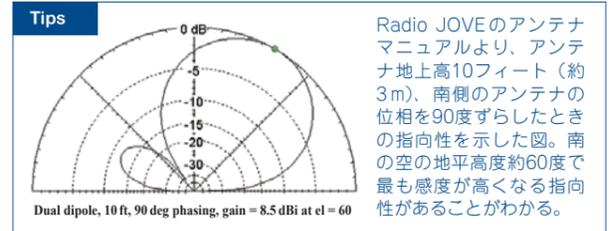
| ◆アンテナ（元素部）材料一覧 | | （総額約1万6千円） |
|------------------------|--|------------|
| IV線（2mm ² ） | | 20m |
| 同軸ケーブル（5C-FB） | | 50m |
| F形接栓（5C-FB用） | | 4個 |
| トロイダルコア（GTR-28-16-20） | | 2個 |
| 塩ビパイプ（VP25・10cm） | | 6個 |
| 結束バンド（長さ10cm以上） | | 22本 |
| コンバイナー（テレビアンテナ用2分配器） | | 1個 |
| F-SMA変換アダプタ（SDR接続用） | | 1個 |
| ハンダ | | 少々 |
| ビニールテープ | | 少々 |



①銅線や同軸ケーブルは、寸法どおりに切断する。とはいえ、受信する電波の波長はじゅうぶんに長く、ある程度の幅を持った周波数帯を観測するので多少の誤差は気にしなくても問題ない。



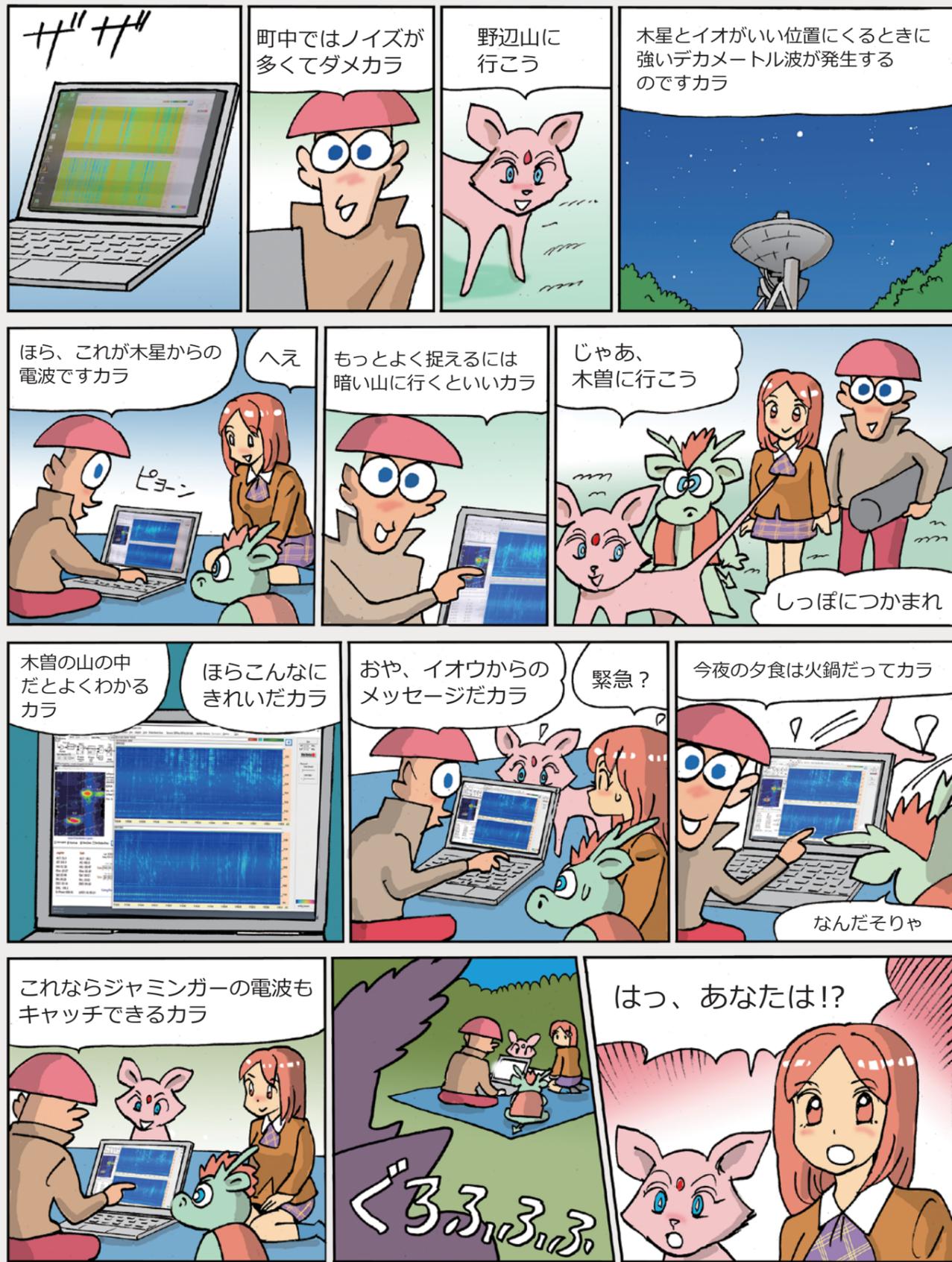
②塩ビパイプは計6本を用意。長さ10 cmに切断し、両端に元素を通す穴をドリルで開ける。さらにコンバイナーで電波を合成し、1本の同軸ケーブルでSDRまで伝搬させる。



Radio JOVEのアンテナマニュアルより、アンテナ地上高10フィート（約3 m）、南側のアンテナの位相を90度ずらしたときの指向性を示した図。南の空の地平高度約60度で最も感度が高くなる指向性があることがわかる。

アルマの冒険

第11-5章 ノイズを避けて山奥へ 電波を捉え続ける奈央たちに迫る謎の人影



2 アンテナを立てる

高さ3mのアンテナマストを自作して、ダイポールアンテナを設置。

エレメントを張る位置は、ある程度の高さが必要になります。手本としたRadio JOVEのアンテナマニュアルでは、10フィート（約3m）、15フィート（約4.5m）、20フィート（約6m）の高さにエレメントを張った時のアンテナ感度の比較が掲載されていましたが、極端な違いはないようで、今回は地上高約3mの高さにエレメントを張ることにしました。

Radio JOVEのアンテナマニュアルには、例としてアンテナマスト（ポール）に塩ビパイプや金属パイプを用いていますが、今回は日本国内での入手性や運用の手軽さを考慮して、水道管用の塩ビパイプを使用することにしました。購入したのは、PV25と呼ばれる外径32mmの塩ビ管です。当初は長さ4mのものを3mに切断してマストとしていましたが、長すぎて持ち運びに不便（常設する場所がない）なため、さらに半分の1.5mに切断し、塩ビ管用の継ぎ手を使って運用時には2本をつなぐようにしています。

アンテナマストは自立させないといけないので、マストの下部はコンクリートブロックに差し込み、キャンプ TENT用の張り自在金具、それにベグを使ってエレメントとマストを設置することにしました。マスト上部には、パイプ固定金具とアイボルトを組み合わせた張り綱用のアンカーも取り付けしています。

もちろん、今回製作したものは受信実験用であり、本格的に常時観測を目指す場合には耐久性が必要になります。長期の定点観測では、アマチュア無線用の金属製ポールやスタンドなどを用いて、アンテナを設置することを検討するべきでしょう。

アンテナ設置には、できるだけ平らで開けた場所が必要です。当然のことながら、建物で木星が見えない場所では観測はできません。また、観測にはPCが必要です。短時間の運用ならノートPCのバッテリー駆動でも対応できると思いますが、商用のAC100V電源が利用できる環境があれば長時間の観測でも電源の心配がありません。



◆アンテナマスト部材料一覧 (総額約1万円)

| | |
|------------------------|-----|
| 塩ビパイプ (VP25・4m) | 4本 |
| TSソケット (VP25用) | 4個 |
| TSキャップ (VP25用) | 4個 |
| VP立バンド (VP25用) | 4個 |
| アイボルト (M6) | 4個 |
| PEカラーロープ (太さ4mm) | 30m |
| アルミ製自在金具 | 12個 |
| 丸スチールベグ 265mm | 8本 |
| 空洞コンクリートブロック (10cm・基本) | 4個 |
| 木片 (ブロックに塩ビパイプ固定用) | 適宜 |
| 塩ビパイプ接着剤 | 適宜 |



①デュアルダイポールアンテナは、2つのアンテナを南北に離れて平行に並べる。それほど厳密に設置する必要はないが、方位を計るのに方位磁石では真北を指さないで、南中時の太陽でできる垂線の影を基準にしてみた。



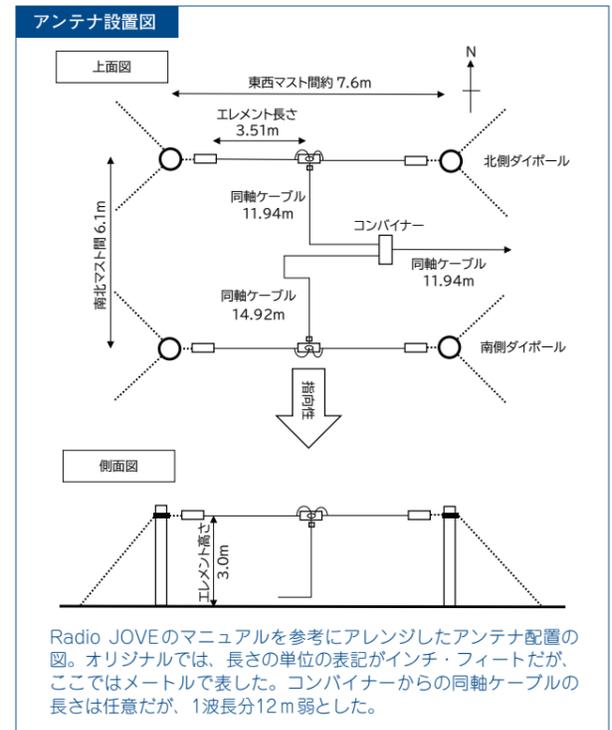
②アンテナマストの基礎は、安価な空洞コンクリートブロックを流用した。アンテナマスト本体となる塩ビパイプを穴に刺して、細い木の棒で隙間を埋めるといった単純な構造だ。



③アンテナエレメント先端は、穴を開けた短い塩ビパイプに結束バンド2本で固定している。さらに、自在金具を入れた張り綱をアンテナマストの上部に付けた金具に通して、エレメントをできるだけ地面と平行になるように張っている。マストの張り綱は、張り綱そのものを結んで輪を作り、マスト先端に引っかけているだけ。



④完成したアンテナ。アンテナマストの間隔は、南北6.1m、東西約8m、張り綱を固定するベグの範囲まで定めると、設置には10m四方ほどの平坦な空き地が必要だ。もちろん、木星が見える環境でないといけない。



アルマALMAの冒険

第11-6章 敵か味方が、ついに姿を現したBS博士 そして明かされる奈央の出生の秘密

3 SDRの設定と観測ソフトウェア

木星の電波観測に特化した無償のソフトウェアをインストール。

Radio JOVEの観測手法では、SDRにはイギリスのメーカーであるSDRplay社の「RSP1A」の使用を推奨しています。このRSP1Aの機能に特化した観測用ソフトウェアも用意されているので、Radio JOVEの提唱するスタイルで観測を行うなら、ほかに選択の余地はありません。

RSP1Aは、流星の電波観測で用いたもの（第10回）よりも高性能で、とりわけアナログ信号をデジタル化するためのADコンバーターの性能が高くなっています。流星の電波観測に用いたSDRのADコンバーターは8ビットの分解能でしたが、RSP1Aでは14ビットになり、64倍も高い分解能を持つため、よりノイズに対しての信号検出能力が高くなっているといえるでしょう。PCとは、USB2.0で接続します。

実際の観測には、OSとしてWindows7以降をインストールしたPCが必要です。近年に販売された機種で、CPUにインテル社の「Core iシリーズ」やAMD社の「Ryzenシリーズ」を搭載していれば、利用可能と思われます。

Radio JOVEのセットアップオペレーションマニュアルに

従えば、まずはRSP1Aをラジオとして動作確認するための「SDRuno」をインストールします。SDRunoは、RSP1AのメーカーであるSDRplay社のソフトウェアで、無償でダウンロードでき、RSP1Aのドライバーも含まれています。

SDRunoをインストールしたら、必ずRSP1Aの動作確認をしておきましょう。屋内なら実験的にテレビアンテナを接続して、近隣のFM放送を聞いてみればよいでしょう。

木星のデカメートル波を受信して、その周波数や強度を観測するには、やはりWindows用のソフトウェアである「Radio-Sky Spectrograph (以降RSSと省略)」を利用します。Radio JOVEのサポート企業であるRadio-Sky Publishingから無償で提供されている観測用ソフトウェアで、周波数と電波強度の時間変化スペクトルをリアルタイムで表示、記録することができます。

RSSだけではRSP1Aからのデータを読み込むことができませんが、RSSにはRSP1Aとの橋渡しを行う中間ソフトウェアの「SDRPlay2RSS」も含まれているので、RSSをインストールすればわずかな設定だけで運用することが可能です。

RSP1A

「RSP1A」は、イギリスのSDRplay社製のSDR受信機だ。コンパクトなサイズながら、受信レンジは1kHz~2GHzまでと広く、14-bitのADコンバーターを採用している。PCとの接続はUSB2.0で、専用の運用ソフトウェアであるSDRunoが用意されている。国内では、有限会社アイキャスエンタープライズが扱っている。2022年の購入時の価格は17,300円(税込)。
icas.to/sdrplay/lineup-1a.htm



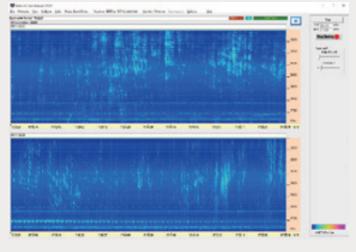
SDRuno

「SDRuno」は、無償のSDRplay社製SDR運用ソフトウェア。木星のデカメートル波観測に使わないが、ラジオ局の放送を受信するなど、RSP1Aの動作テストに使うことができる。また、RSP1AのPC用ドライバーも含まれるので、SDRunoのインストールは必須。ただし、22年の夏現在では、最新バージョンのドライバーでは、後述する観測用のソフトウェアが対応していないため、古いバージョンをダウンロードしてインストールする必要がある。Radio JOVEのマニュアルでは、SDRunoのバージョンは1.41.1が指定されている。以下のURLから、機種とOSを指定して表示されるサイトからダウンロードするが、「Legacy software Click here to show」と表示された文字をクリックしないと古いバージョンは表示されないで注意したい。
www.sdrplay.com/softwarehome/



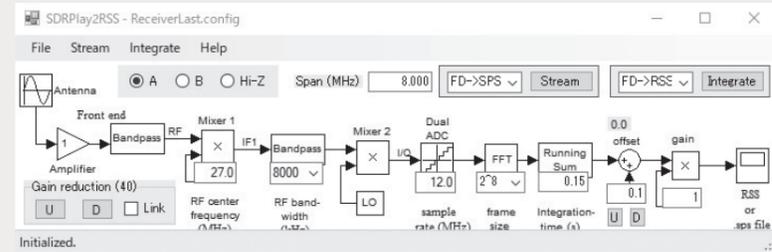
Radio-Sky Spectrograph (RSS)

SDRからのデータを表示する観測ソフトウェアが「Radio-Sky Spectrograph (RSSと略す)」だ。RSP1A用の設定を行うと、18MHzから24MHzまでの幅広い周波数帯のスペクトルを取得し、横軸を時間、縦軸を周波数として電波強度の時間変化を描画してくれる。デフォルトでは、上部がフルスケール2分、下部が10分に設定されている。もちろん、観測データの保存や時刻指定しての再表示なども可能。
www.radiosky.com/specdownload.html



SDRPlay2RSS

「SDRPlay2RSS」は、RSP1AのデータをRSSへ取り込むための橋渡しを行うソフトウェア。RSSインストーラーに含まれていて、RSSでRSP1Aを使うように設定すると、RSSでの観測開始と同時に起動されるようになっている。



PC

今回の観測で使用したのは、UPUにIntel Core i7 3770Kを搭載したPC。OSはWindows10をインストールしている。何台かの異なるPCでの観測を行っているが、電源ラインから混入したと思われるノイズを拾う機種もあり、できる限り高品質な電源を搭載したPCを用意したほうがよいと思われる。観測継続時間に問題なければ、ノートPCのバッテリー運用も可能だろう。また、原因は不明だが、どうしてもRSSが正常に動作しないPCもあった。必ず事前に動作確認しておきたい。



4 木星電波バーストは予測可能

予測ソフトでデカメートル波が特に強く放射される日時を確認。

前号でも説明したように、木星のデカメートル波は木星の中央経度とイオの位相によって、平時よりも強力な電波を受信できるタイミングがあります。それは長くても数時間程度で、「木星電波バースト」や「木星電波ストーム」とも呼ばれます。バーストは爆発や破裂、ストームは嵐の意味があり、その名称からも一時的に極端な変化を見せる現象ということが分かります。観測を行うならば、まずは強い電波の木星電波バーストを狙ってみるとよいでしょう。というのも、残念ながら簡単に自作できるダイポールアンテナやSDRでは、バースト以外の電波を継続的にとらえるほどの感度がないからです。

幸いなことに、太陽系内の惑星や衛星の運行については、正確に予測可能です。したがって、特定の時刻における地球、木星、イオの位置関係や木星の中央経度を計算で求められます。その予測を行う専用のシミュレーションソフトウェアも用意されています。前出のRSSをリリースしているRadio-Sky Publishingが無償で提供している「Radio-Jupiter pro3」は、木星のデカメートル波の観測の支援を行うソフトウェアです。

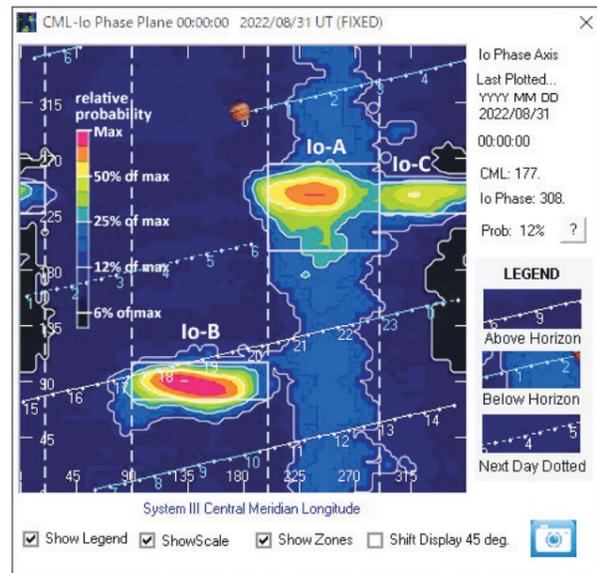
やや古めかしいスタイルのインターフェースですが、観測場所の緯度経度、タイムゾーン（時差）などの情報をあらかじめ登録しておけば、その観測地の星空での木星の位置を示す星座早見盤的な表示や、木星電波バーストの発生確率を色分け表示したグラフなどを表示できます。さらに、アンテナの感度の指向性の表示などが可能で、観測計画を立てるのにもとても役立ちます。もちろん、観測中の状況変化をリアルタイムに表示することも可能です。

木星から地球には、常にデカメートル波が届いていますが、木星の中央経度とイオの位相の組み合わせによって、Io-A、Io-B、Io-Cと命名された3つの特に強い電波の受信ができるバーストがあります。それ以外の木星の中央経度だけによるデカメートル波は、non-Io-A（やや強い）、non-Io-B（弱い・観測は困難）などと呼ばれています。

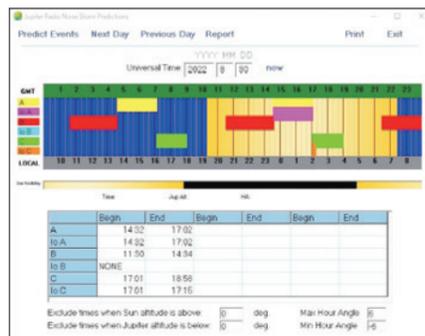
また、木星電波バーストの特徴は、数十分から数時間にわたって比較的長い時間での周波数変動を起こすLバースト（Lはロングの意味）とわずか数秒以内に大きな周波数変動を起こすSバースト（Sはショートの意味）の2種類がありますが、今回の観測では、あまり時間分解能を必要としないLバーストを狙いました。な



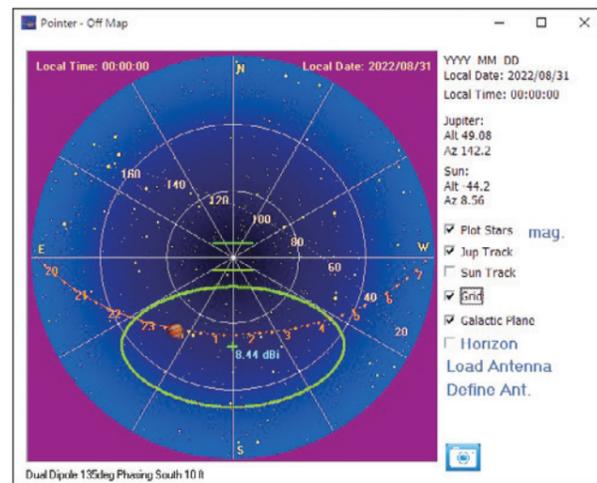
Radio-Jupiter pro3の起動画面。木星と太陽の位置情報と、さまざまな機能を持つウィンドウを開くためのアイコンが表示されている。観測地を設定（緯度経度、なぜか東経で入力しても西経表示される）すれば、時刻系は世界時（UT）とローカル（観測地が日本なら日本標準時）の切り替えが可能だ。また、現象をシミュレーションして時刻を設定することも、PCの内蔵時計でのリアルタイム運転もできる。



過去の観測データから作られた木星電波ストーム発生確率図で、縦軸がイオの位相、横軸が木星の中央経度。可能性として、赤色の部分がきわめて強力な木星のデカメートル波が観測できるエリアだ。アンテナを立ててシステムが構築できたら、まずはできる限りこの赤色の部分を木星が通過するタイミングを狙うとよい。



木星電波ストームの観測計画を立てるのに便利な一覧表もある。ストームの種類とその時刻、さらに色分けされたグラフも表示される。



星座早見盤的な全天が表示されるウィンドウもある。木星の見える位置やアンテナの感度の範囲表示なども可能だ。（この例は南アンテナの位相を135度ずらしたところ）。

5 ついに捉えた木星のデカメートル波

狙い通り、予測された日時に木星電波バーストの観測成功！

20 MHz前後の木星のデカメートル波のような低周波の電波は、地上では人工的なノイズが多く、Radio JOVEでは、観測場所は人里離れた運動場のような広場が好適だとしています。また、「実際に日本国内の都市部では、人工的なノイズが多いため、木星のデカメートル波の観測はかなり困難でしょう。比較的都市部から離れた山間地でも、人の活動が落ち着く深夜にならないとノイズが減らない傾向があります」という助言を東北大学理学研究科准教授で地球物理学専攻の熊本篤志先生からいただきました。さらに、熊本先生からは独自に計算した木星電波バーストの予報もご提供いただき、Radio-Jupiter pro 3のシミュレーションと合わせて、木星電波バーストの観測計画を立てることにしました。



観測準備中のアルマーの冒険制作チーム。

運良く、2022年の夏から秋にかけては、木星は秋の星座であるうお座付近にあって、深夜から未明にかけて南中するという申し分のない条件でした。そこで、人工的なノイズが少なくなると予想される時間帯で、観測できそうなタイミングを探しました。そして、まずは2022年7月21日夜から22日未明にかけて試験的な観測を行いました。深夜に木星が南中し、Io-Aの電波バーストの発生が予測されたからです。

観測場所は、大都市から離れた人里離れた場所ということで、長野県の本管御岳山の中腹に位置するキャンプ場のスタッフ用宿舎をお借りして、宿舎前の広場にアンテナを設置しました。

近くに大都市のない環境とはいえ、夕刻はまだ人工的なノイズが多い状況でしたが、夜が深まるにつれてノイズは劇的に収まっていきました。そして、PCの画面を注視していると、不意にモヤモヤとしたシミのようなスペクトルが現れはじめたのです。まさにIo-Aの木星電波バーストが予測された時間どおりです。こうして、自作のアンテナとSDRを使って木星からの電波を捉えることに成功したのです。

さらにアンテナを一部改良しつつ、さらに広くて見晴らしのよいキャンプ場の駐車場をお借りして再配置しました。ここでは、人工的なノイズもさらに少なく、8月30日から3夜連続で、Io-A、Io-B、Non-Io-Aという木星電波バーストを捉えることもできました。

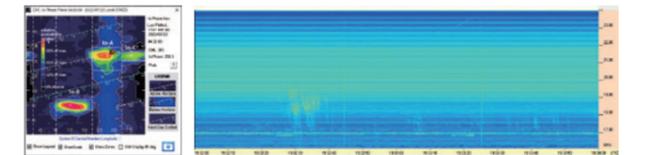
アルマーの冒険制作チームの観測した木星のデカメートル波

これまで解説してきた自作のデュアルダイポールアンテナとSDRのRSP1A、そしてRSSをインストールしたWindows PCを使って、実際に木星のデカメートル波の観測を行った結果を掲載する。いずれもRadio-Jupiter pro3で予測される木星電波バーストを狙っての観測である。掲載しているのは、取得したRSSのデータを再表示し、特に電波が強く現れている2分間分のスペクトルである。同一周波数で継続的に受信される筋状の人工的なノイズとは異なり、モヤモヤとした塊状に見えるのが特徴的だ。バーストの出現が予測される前後数時間にわたり観測を続けたが、予測される時間帯以外には、こうした塊状のスペクトルはほぼ現れないことから、木星からの電波であると思われる。

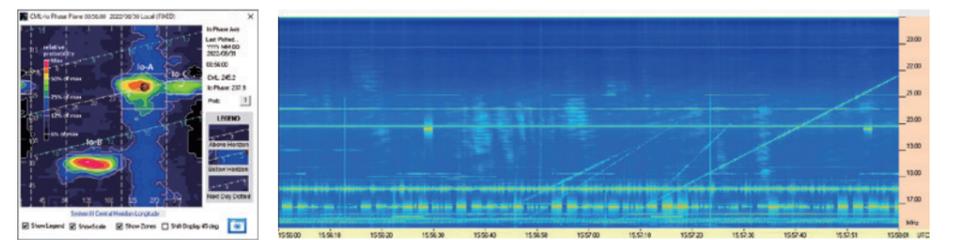


RSSでは、電波強度を色で表示している。観測したデータでは、背景が青で比較的ノイズが少ない環境。木星電波のスペクトルは、それよりもやや強い程度だということがわかる。今回の観測では、定量的な電波強度を知るための「キャリブレーション」を行っていないので、実際の電波強度は不明。

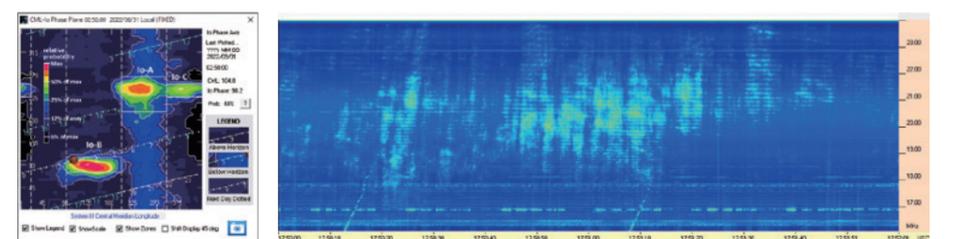
◆ 2022年7月23日 4時32分～34分 Io-A 長野県本管御王滝村（おんたけ銀河村キャンプ場/スタッフ宿舎前）



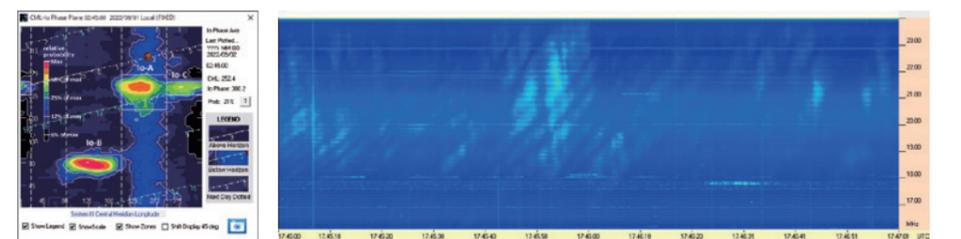
◆ 2022年8月31日 0時56分～58分 Io-A 長野県本管御王滝村（おんたけ銀河村キャンプ場/駐車場）



◆ 2022年9月1日 2時50分～52分 Io-B 長野県本管御王滝村（おんたけ銀河村キャンプ場/駐車場）



◆ 2022年9月2日 2時45分～47分 Non-Io-A 長野県本管御王滝村（おんたけ銀河村キャンプ場/駐車場）



6 観測地ごとの人工的なノイズ比較

木星のデカメートル波観測の最大の障害は人の活動に伴うノイズ。

光での天体観測ではできる限り大都市から離れた土地での観測がのぞましいと考えられます。大都市では、本来は市民生活のための照明が星空を照らし、天体の観測においては「光害」として悪影響を及ぼします。

電波も同様で、市民生活のために利用される電波が、それ以外の場所にもあふれてしまっています。とはいえ、街明かりのように目には見えないため、実際にアンテナを建ててみないことには、その場所が木星のデカメートル波の観測に適しているかどうかはわからないのが光とは異なる点でしょう。そこで、当初から観測地として予定していた長野県王滝村のおんたけ銀河村キャンプ場、東京都三鷹市にある国立天文台三鷹キャンパス、長野県野辺山にある国立天文台野辺山宇宙電波観測所、長野県上松町にある東京大学木曽観測所の計4か所でデカメートル波のノイズレベルを調べてみました。



野辺山でも観測。石黒先生も参加。RSSのスペクトル表示に興味津々。

木星電波を観測する意義

はるかかなたの木星を取り巻く環境のなかでも、磁場の様子を直接観測することはとてもむずかしく、デカメートル波のような電波や木星大気圏のオーロラなど、間接的な観測方法しかありません。デカメートル波の発生の原理は、前編にて簡単に紹介していますが、木星と衛星（特にイオ）の位置関係はもちろんのこと、太陽活動や木星磁場強度そのものの変化によっても電波強度が大きく変動します。したがって、継続的に観測を行い、データを蓄積することで、木星や太陽の物理的な状態を知るための手がかりとなります。

もちろん、直接探査することも大切です。現在、木星へはESA（ヨーロッパ宇宙機構）が2023年4月14日に打ち上げた探査機のJUICE（ジュース・JUperiter ICy moons Explorer/木星氷衛星探査計画）が向かっています（P.12-13参照）。JUICEは、主にガニメデやカリストなど、氷に覆われた木星の衛星の探査を目的とした探査機ですが、イオのプラズマや、ガニメデと木星のそれぞれの磁場の相互作用を観測する装置も搭載されています。



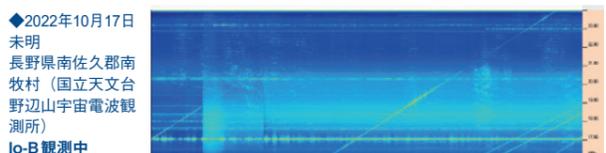
JUICEに搭載される観測装置のRPWI（Radio and Plasma Wave Investigation）のチームロゴに、セガ社のゲームキャラクターである「ソニック・ザ・ヘッジホッグ」が描かれている。RPWIは各国との共同開発で、東北大学理学研究科の笠羽康正教授（惑星大気プラズマ研究センター長）が日本側の代表者を務められている。チームからの提案にセガ社が全面協力、無償でロゴが提供された。

国立天文台三鷹キャンパスでは、建物の屋上にアンテナを設置しましたが、真夜中でもノイズレベルが下がらず、木星のデカメートル波の検出どころではない状況でした。野辺山宇宙電波観測所は現在でも大型の45m電波望遠鏡でミリ波を用いた観測を進めています。しかし、デカメートル波では人工的なノイズが深夜になってもそれなりに残る環境だとわかりました。それでも、木星電波バーストを捉えることはできました。

意外だったのは、東京大学木曽観測所です。夜天光観測室（標高1100m）と呼ばれる平屋の建物の屋上にアンテナを設置しましたが、確実に木星電波バーストを捉えることのできたおんたけ銀河村キャンプ場（標高1410m）とは、直線距離でわずかに10キロメートルほどの位置にもかかわらず、深夜までノイズレベルが下がりませんでした。当初は施設そのもののノイズを疑いましたが、銀河村キャンプ場とは地形の差も大きいことに気がつきました。南を除く三方を山や小高い丘に囲まれたおんたけ銀河村キャンプ場に対して、木曽観測所は山の尾根近くにあり、遠方からやってくるノイズの状況がかなり異なるようです。

後に、簡易的にシングルダイポールアンテナを使ってノイズレベルの確認を行ったところ、台地状に開けている場所よりも、谷間の見晴らしの悪い土地の方が、明らかに人工的なノイズを拾いにくいことがわかってきました。また、アンテナの地上高度を上げすぎると、見晴らしがよくなるためか、ノイズレベルが上がることも確認しました。

木星のデカメートル波の観測を行うには、人工的な電波によるノイズとの戦いとなります。もしもアンテナを設置するとしたら、木星が間違いなく見える谷間の地形の場所を探すとよいかもしれません。



7 電波天文観測と周波数資源保護

便利で安全な社会との共存を目指して。

アルマーの冒険制作チームが遭遇した、人工電波によるノイズ。観測した周波数は20.1 MHzで、「短波」と呼ばれる周波数帯にあたります。短波は非常に遠くまで届くため、船舶無線や航空機無線、放送用途などに盛んに利用されています。夜が深まっていくとノイズが下がっていくことは、人間活動と密接に関連があることの証拠です。

宇宙の天体から届く電波は、たいへん微弱です。例えば皆さんがお持ちの携帯電話を月に持って行って電源を入れ、それを地上から観測すると、全天でトップクラスの強さの電波源として検出されるはず。38万キロメートル彼方の携帯電話1台でこれですから、地上にあふれる携帯電話からの電波は相当な強さになります。身のまわりにはWi-Fiやテレビ、レーダーなどさまざまな電波が飛び交っていますので、その中できわめて微弱な天体からの電波を捉えるのはたいへんです。

さまざまな用途の機械が好き勝手に電波を出しては、うまく通信できなかつたり他の用途を邪魔してしまったりします。このため、電波を交通整理するための仕組みがあります。電波の周波数を区切って、それぞれ使う用途を決めておく「周波数割当」です。日本国内では、総務省が「周波数割当計画」の中で周波数ごとに割り当てられる用途を公表しています。もちろん電波は国境を越えて飛ぶますので、国際的には国連の専門機関である国際電気通信連合が「無線通信規則」を制定し、その中で国際的な周波数の割当を決めています。各国での周波数割当は、基本的にはこの国際的な枠内で行われることになります。

電波天文学も電波を扱う業務の1つですので、特に天文学にとって重要な周波数帯を中心に割当を受けています。例えば、宇宙に豊富に存在する水素原子が出す電波（波長21cm、周波数1.4GHz）やアンモニア分子が出す電波（波長1.3cm、周波数23GHz）、一酸化炭素分子が出す電波（波長2.6mm、周波数115GHz）などです。割当を受けている周波数帯では電波天文学に優先権がありますので、他の用途からの電波の混信（有害干渉）があった場合には、混信をなくすよう要請することができます。

ところが、電波全体の広い周波数帯に比べると電波天文への割当のある周波数帯はごくわずかです。今回木星電波の観測を行った20MHz帯も、電波天文への割当はありません。つまり、「20MHzで木星電波が見えないから、通信に使う電波はもっと弱くして！」と主張する権利はないのです。電波の周波数は有限で、みんなで分け合って使わなくてはいけませんから、優先順位がつけられるのはやむを得ません。割当のない周波数帯で観測したい場合には、制作チームのように市街地から離れたノイズの低い場所で実施するしかありません。

次回予告

アルマーの冒険制作スタッフは、いよいよ太陽系を飛び出します。次なるテーマは銀河電波。天の川銀河から地球へと降り注ぐ電波をキャッチし、さらに渦巻腕ごとに異なるドップラーシフトを検出して、天の川銀河の構造解析に迫ります。次回もお楽しみに！



日本国内の電波天文観測施設。低い周波数から高い周波数のものまで、約30か所の観測施設があります。(Map data ©2022 Google)

周波数割当は、未来永劫変わらないものではありません。「5G」「Wi-Fi 7」など新しいサービスが始まる時には、新しい周波数を割り当てる必要があります。まったく何にも使われていない周波数帯はほとんどありませんから、その周波数帯をすでに使っている業務と新しく割当を受ける業務との間で、お互いに邪魔しないかどうかを確認し、電波の強度や出し方を調整する必要が生じます。電波天文への割当がある周波数帯でこうした調整を最近行っている例としては、無線LANの6GHz帯への拡張、5G携帯電話への40GHz帯の割当、76GHz帯車載レーダーの規制緩和などがあります。電波放射装置の技術仕様をもとに国内の電波観測所への有害干渉の有無を計算し、もし干渉が懸念される場合には電波天文への割当周波数帯を避けてもらう、電波放射可能エリアを制限してもらうなどの交渉が必要になります。こうした業務を行っているのが、2019年に設立された国立天文台天文情報センター周波数資源保護室です。とはいえ、周波数資源保護室も「電波天文がいちばん大事」と考えているわけではありません。電波を使ったいろいろなサービスにより、私たちは現代社会で便利さや楽しさや安全を享受することができます。こうした現代社会と電波天文観測に適した環境を両立させることが、周波数資源保護室の大きなミッションなのです。(周波数資源保護室長：平松正顕)

背景：国際電気通信連合の会議。2023年3月にジュネーブで開催されたもので、オンラインを含め約1900人が参加しました。たくさんの議題が設定されており、議題ごとに細かく分科会を作って議論しますが、各国の利害が衝突する場面もあり、なかなかたいへんな会議です。