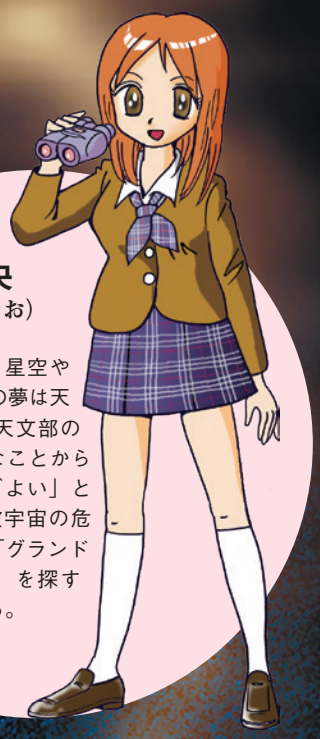
アルマーの冒険 ALMAr

第03回
「宇宙からの電波をキャッチ！その1・BS放送編」

03回は、身の回りにある多くの電波の中で、宇宙からやってくる電波の種類と性質を紹介し、電波天文学の基礎を学びましょう。さらに、人工衛星から送られてくるBS放送の電波を中華ナベでキャッチする実験にトライしてみましょう。



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。天文部の春合宿中に、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。

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「ジャミンガー」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、気がつくと野辺山高原の草むらに倒れていた。

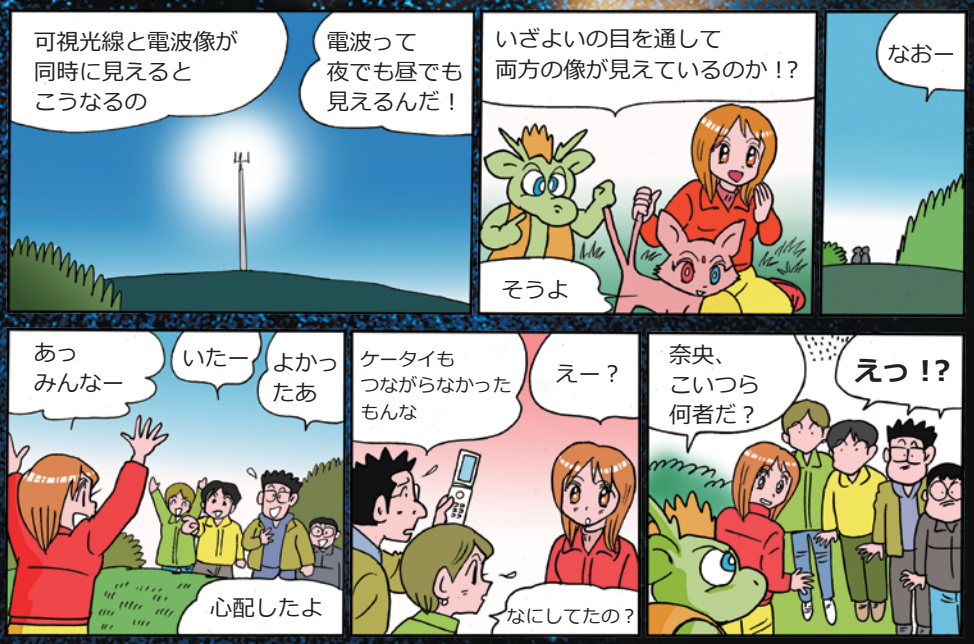
いざよい
（十六夜）

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／石黒正人（ISHIGRO Masato：国立天文台名誉教授）

★前号・第02回「光で見る・電波で見る」までのあらすじ

蒼天高校天文部の千里奈央は、長野県野辺山高原で合宿中のある夜、こどもの竜「アルマー」と物知りでしゃべる猫の「いざよい」と出会う。アルマーたちは、電波宇宙から可視光宇宙に飛ばされて来たといい、電波の世界を見る電波眼パワーを持っていた。奈央もいざよいのしっぽの力で電波 の世界が見られ、光で見る世界と電波で見る世界には違いがあることを知った。朝になって、天文部メンバーと合流した奈央たちだったが……。



背景画像：ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), Visible light image: the NASA/ESA Hubble Space Telescope

第3-1章 ブラックストーン博士登場！

奈央たちが宿に戻るとテレビでBS放送が映らない。こ、これは…ひょっとして？

天体からだけじゃない！ 宇宙から送られてくる身近な電波

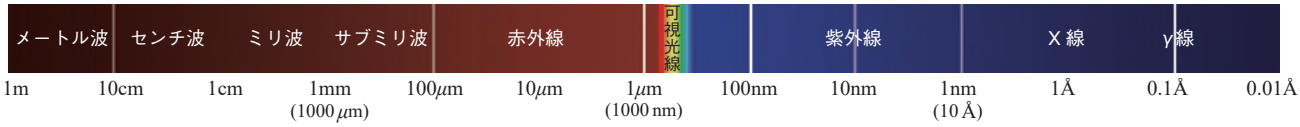


図01　天体観測で利用される電磁波の波長図（μmはマイクロメートル、nmはナノメートル、Åはオングストローム）。

電波は、おおむね波長0.1 mmから10 kmほどの電磁波です（下・表01）。そして電磁波には電波以外にも、波長の違いに応じて赤外線や可視光、X線やガンマ線などの区分があり（上・図01）、宇宙から送られてくるさまざまな種類の電磁波を「波長ごとのたくさんの眼」で総合的に観測すれば、宇宙の謎をより深く解くことができる、ということを前回にお伝えしました。

その中で、宇宙からやってくる電波を観測するのが電波天文学ですが、私たちの身の周りには、自然界で発生する電波以外にも、たくさんの人工の電波が溢れています。それは、ラジオやテレビ、トランシーバーや携帯電話、インターネットの無線通信など、生活に欠かせない多くの機器で使われている電波です。これらの電波のほとんどは、地上から送られていますが、BS放送、CS放送、GPS、衛星携帯電話、気象衛星など、地球の外にある人工衛星から送られてくる電波もあります。宇宙からやってくる電波は天体からのものだけではないのです。

人工衛星から送られてくる電波を使う機器で、最近たいへん身近になってきたものといえば、GPS（グローバル・ポジショニング・システム：全地球測位網）でしょう。地図情報と合わせて、カーナビや携帯電話、スマートフォンでのナビゲーションで活用されています。GPSは、地上約2万kmの軌道上を周回している複数の人工衛星からの電波を受信して、地球上で位置情報や時刻情報が得られる仕組みになっています（図02）。

また、一般の人が直接電波を利用できるわけではありませんが、気象衛星は撮影した地球表面の画像を電波を使って地上に送っています。現在稼働している気象衛星「ひまわり8号」は、日本周辺を常に観測できるように、東経140度の赤道の真上、高度約3万6000 kmに留まるように地球の自転に合わせた軌道を巡っています。地上からは常に同じ位置に見えるので、人工衛星の中でも特に静止衛星と呼ばれます。

人工衛星に関わる電波で、多くの人が利用しているのは、やはりテレビのBS（Broadcasting Satellite）放送でしょう。BS放送の電波を送っているのは、赤道上空3万6000 kmで静止衛星となっている放送衛星です。地上の送信局から放送衛星に電波を送り、

図02　準天頂衛星「みちびき」は日本の測位衛星です（画像：JAXA）。

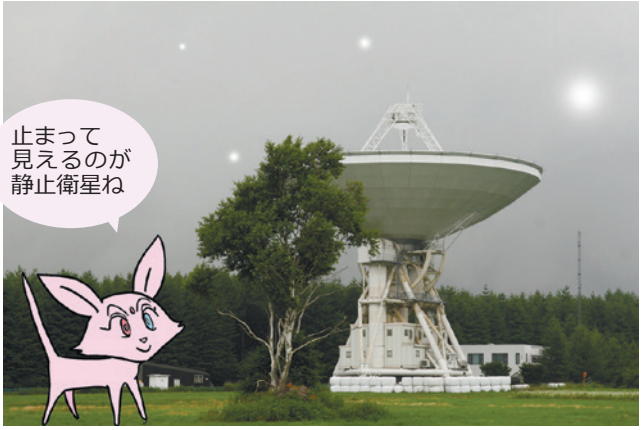


図03　電波の目なら、昼間の雲を通しても衛星からの電波が淡い星のように見えます（アルマーの冒険第02回参照）。

その信号を再び電波にして上空から送っています。最近では、ほとんどの住宅の屋根やベランダに、BSアンテナと呼ばれるお皿のような丸いパラボラアンテナが取り付けられています。

パラボラアンテナを利用する電波望遠鏡も電波を集める機能は同じなので、BSアンテナは小さな電波望遠鏡ともいえるでしょう（05ページ・図04参照）。

● 電波のさまざまな種類とおもな使われ方

電波の種類は「波長」で分けられます。波長は電波の波動の1周期分の長さで表します。波長によって電波の伝わり方が変わるので、その波長に適した用途に利用されます。どのように伝わり方が変わるのか調べてみましょう。また、ラジオ放送の電波のように「周波数」を単位として使う場合もあります。周波数は1秒間の波動の周期数を示しています。

表01　電波の種類と主な用途（総務省電波利用ホームページより）

波長（周波数）	名称	主な用途
～10 km（30 kHz）	超長波（VLF）	主な用途
～1 km（300 kHz）	長波（LF）	船舶・航空機ビーコン
～100 m（3 MHz）	中波（MF）	AMラジオ／船舶無線／アマチュア無線
～10 m（30 MHz）	短波（HF）	FMラジオ／消防無線／警察無線
～1 m（300 MHz）	超短波（VHF）	携帯電話
～10 cm（3 GHz）	極超短波（UHF）	テレビ（地上デジタル放送）／無線LAN
～1 cm（30 GHz）	センチ波（SHF）	電波天文学（野辺山45 m望遠鏡など）／衛星放送／レーダー
～1 mm（300 GHz）	ミリ波（EHF）	電波天文学（野辺山45 m望遠鏡、アルマ望遠鏡など）／衛星通信／レーダー
～0.1 mm（3 THz）	サブミリ波	電波天文学（アルマ望遠鏡）

第3-2章 大きなパラボラ！45m電波望遠鏡

野辺山観測所45m電波望遠鏡の仕組みがBSアンテナと似ていることに気がついて……。

電波を受けるさまざまなアンテナとパラボラ型の電波望遠鏡で宇宙を見るしくみ

●さまざまなアンテナ

電波を受ける仕組みにはいろいろな方式があります。電波を受ける機器がアンテナ（★注01）ですが、FMラジオのような直線的に伸び縮みするもの（ロッドアンテナ）やテレビの地上デジタル放送の魚の骨のようなもの（八木アンテナ）、BS放送を受信するパラボラアンテナなど、さまざまな形があります。それぞれ受信する波長の特性に合わせた形状をしています（図04）。野辺山宇宙電波観測所の45mパラボラアンテナは、波長が数mmのミリ波と呼ばれる電波で観測する電波望遠鏡です。

図04　身近にあるさまざまな受信アンテナ。①はFMラジオの伸縮アンテナ（ロッドアンテナ）、②は地上デジタルテレビ放送用の八木アンテナ、③はBS放送用のパラボラアンテナ。アームの先についているのが受信機＋コンバーター。

電波のパラボラアンテナと可視光のカセグレン式反射望遠鏡は原理的に同じものだということは、02回で簡単に説明しました。天体からやってくる電波や可視光は、そのほとんどがたいへん弱いものなので、レンズや鏡で集めて観測します。大きなお皿のようなパラボラアンテナは、天体からの電波を反射させて集めているのです。

●電波画像の作り方

しかし、電波と可視光の天体の観測では、大きく異なる点があります。それは、可視光では像を直接見たり、フィルムやデジタルカメラなどで写真を撮ることができますが、電波望遠鏡では直接人が像を見ることができません。ひとつのパラボラアンテナで直接得られるのは、アンテナを向けた方向からやってくる電波の周波数とその強さを計った値だけです（01回・05ページ参照）。そのため、電波での天体の姿を像として見るためには、特別な工夫が必要になります。

ひとつは、アンテナを少しずつ動かして、異なる位置の電波の強度を計ります。それを天気図の等圧線のように、電波の強度が同じ点を結んで図にする方法です。また、電波の強度ごとに色分けして、デジタルカメラの画素のように並べることで、画像にする方法もあります（図05）。もうひとつは、いくつものアンテナをつなぎ、その配置や間隔を変えて観測することで画像の合成を効率的に行う「干渉計」という方法があります（08ページ参照）。

●電波望遠鏡の解像度と感度

電波望遠鏡でも光学望遠鏡でも、どこまで目的の天体を細かく見分けられるかという性能を解像度（分解能）で示します。光学望遠鏡ではレンズや鏡、パラボラアンテナを使う電波望遠鏡ではアンテナの直径が大きいほど、高い解像度が得られます。同時に、たくさんの可視光や電波を集めることができるので、より高い感度も得られます。

ただ、解像度は「波長を口径で割った値」で決まるので、可視光に比べて波長がとても長い電波（03ページ・図01参照）では、たとえばミリ波の場合、可視光と同じ解像度を得ようとすると、光学望遠鏡の数100倍もの直径のパラボラアンテナが必要となります。野辺山宇宙電波観測所の電波望遠鏡の直径が45mもあるのはそのためです。さらに、高い解像度を得ようとすると、より大きなパラボラアンテナが必要となって製作が困難となります。そこで、この欠点を補って高い解像度を得るための優れた工夫が、やはり「干渉計」なのです（08ページ参照）。

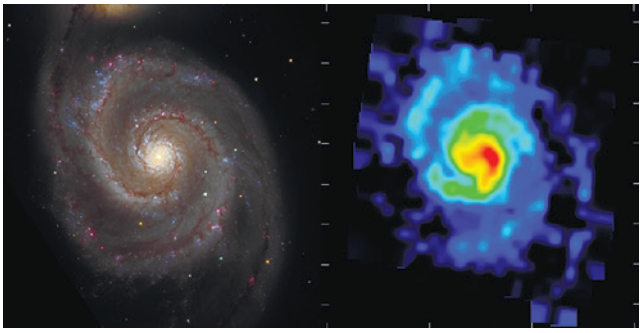


図05　野辺山宇宙電波観測所45m電波望遠鏡で見た「りょうけん座」のM51銀河（右。左は可視光像）。青から赤へ向かうほど、電波の強度が強いことを示しています（可視光像：Jon and Bryan Rolfe/Adam Block/NOAO/AURA/NSF）。

● 解像度（分解能）の求め方

光学望遠鏡の解像度（分解能）は、目で見て観測する場合、経験的に以下のようなドーズの限界と呼ばれる式で求められます。

解像度（秒角）＝116（秒角）／望遠鏡の口径（mm）

口径10cmの望遠鏡での解像度は1.16秒角です。

これに対して、たとえば、野辺山の45m電波望遠鏡の解像度は、観測波長を3.5mmとすると、以下のような式で求められます。

解像度（秒角）＝1.22×波長（m）／口径（m）× 57.3 × 3600

その解像度は19秒角となり、口径10cmの光学望遠鏡に比べてアンテナの直径は450倍も大きいにもかかわらず、解像度では及ばないことがわかります。これは、解像能力に限れば、電波で宇宙を精度よく観測することが、原理的にいかに困難であるかを示しています。

● 電波を数値データにするしくみ

電波望遠鏡はどのようにして、天体からやってくる電波を観測しているのでしょうか。野辺山の45m電波望遠鏡では、アンテナで集められた電波は、受信機によって検知されます。とはいえ、とても弱い電波なので、増幅器を使って大きな信号に変換します。また、天体からやってくる電波には、いろいろな波長が混ざっています。そこで、観測したい特定の波長の電波のみを取り出す装置が必要になります。それが分光器です。45m電波望遠鏡では、音響光学型分光計（電波を超音波に変換する素子を用いて分光する仕組み）と、デジタル分光計（コンピュータ上でフーリエ変換して分光する仕組み）が使われています。

★注01　アンテナには電波を発信するもの（たとえば携帯電話の基地局：アルマーの冒険02回参照）と電波を受信するものがあり、さまざまな種類のものがあります。どんな種類のアンテナがあるのか調べてみましょう。

第3-3章 小さなパラボラ！ 30cm中華ナベ

専用のパラボラアンテナを使わなくてもBS放送を受信できたよ！

実験その02 中華ナベでBS放送を見てみよう

今回は、実際に宇宙から送られてくる電波を捉える実験をしてみましょう。とはいえ、いきなり天体からの電波を受けるのはたいへんですので、03ページで紹介した放送衛星から送られてくるBS放送の電波をキャッチしてみましょう。「私の家には、ちゃんとBS用のアンテナが取り付けてあって、いつもBSチャンネルのテレビ番組を見ているよ」という人の声も聞こえてきそうですね。この実験では、その市販のアンテナを使わずに、中華ナベをアンテナとしてBS放送を受信してみましょう！

★注02　この木製スタンドを用いたBS放送の受信実験は、国立天文台三鷹地区の特別公開「三鷹・星と宇宙の日」などで体験することができます。

● STEP01 用意するもの

BS放送を見るためには「BSアンテナ」「受信機（コンバーター）」「BSチューナー」「テレビ」が必要です（最近のテレビならBSチューナーが内蔵されています）。市販のBSアンテナは、通常、アンテナと受信機がセットになっている（05ページ参照）ので、受信機を取り外して利用します。今回は実験しやすいように、あらかじめ木材で作ったスタンドに受信機を固定していますが（★注02）、大型のカメラ三脚などを使ってもよいでしょう。

受信機を木製スタンドに取り付けます。

● STEP02 アンテナの方向を決める

パラボラアンテナを正確にBS放送衛星に向けないと電波を受信できません。BS放送衛星の位置（見かけの高さや方角）は、各地で異なります（右表参照）。あらかじめ、みなさんが住んでいる地域の位置データを調べて、方位磁石や分度器などで、大まかな目安を付けるとよいでしょう。すでにBS放送を視聴している場合は、アンテナが向いている方向に衛星が位置していることになります。

BS放送衛星の位置を確かめます。

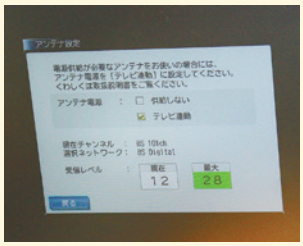
BS放送衛星の位置（BSアンテナを向ける方向）※

	高さ（仰角）	方向（北から時計回りの方位角）
札幌	31.2	221.7
仙台	35.3	224.0
東京	38.1	224.4
新潟	36.6	222.1
金沢	39.1	220.1
名古屋	40.1	221.5
大阪	41.4	220.2
広島	43.4	216.2
高知	43.5	218.2
福岡	45.2	213.9
鹿児島	47.0	215.6
那覇	53.6	215.8

※「BS・110°CSアンテナ（衛星放送）設置のポイント」（電子情報技術音楽協会）から抜粋

● STEP03 BS放送の受信

BSチューナー内蔵のテレビには、BS放送の電波の強さ（受信レベル）を計測できる機能が付いています。数値やメーターを見ながら、中華ナベからコンバーターまでの距離や中華鍋の向きを少しずつ変えて、最も強く電波を受信できる位置を探しましょう。テレビを視聴画面に切り替えれば、BS放送が視聴できます。



受信レベルを確認します。

中華ナベの位置を調整しながら受信レベルが強くなったところで視聴画面に切り替えましょう。画面が映ったら、中華ナベの位置を細かく動かして映りがどう変わるか試してみましょう。

● STEP04 これもアンテナになる？

さあ、中華ナベで宇宙からの電波をキャッチすることができましたか？「できた！」という人は、なぜ中華ナベで電波を捉えることができたのかを考えてみましょう。そして、ほかにもいろいろなものをアンテナ代わりにして、BS放送の電波を捉えることができるかを試してみると、その理由を確かめることができるかもしれません。

金属製のナベのフタで実験をしてみると…

★BSハカセ：石黒正人さん（国立天文台名誉教授：元ALMA推進室長）

ミリ波天文学を拓いた野辺山 45 m 望遠鏡、サブミリ波天文学を拓くアルマ望遠鏡

光学望遠鏡での天文学の歴史は、ガリレオ・ガリレイに始まり、400年あまり。対して電波の天文学の歴史は、まだ100年にも届きません。日本の電波天文学は、旧東京天文台で太陽電波の観測から始まりました。1947年ごろのことです。宇宙電波は1970年に直径6 mのパラボラアンテナを使って、ミリ波による観測が開始されました。ミリ波の観測は、海外でも始まったばかりで、日本はほぼ同じスタートラインに立てたのです。そして、1982年には野辺山宇宙電波観測所に世界最高性能の直径45 m電波望遠鏡が完成。その観測によって、さまざまな分子雲の性質の解明やいろいろな星間分子の発見、渦巻銀河NGC 4258の中心部にある超巨大ブラックホールの発見など、「ミリ波天文学」を扉を開く多くの成果を挙げ、世界の電波天文学を牽引してきました。

野辺山観測所45 m望遠鏡と赤岳（八ヶ岳主峰：標高2899 m）。

さらに直径10 mのパラボラアンテナ5台（後に6台）を用いた ミリ波干渉計と呼ばれる特殊な電波望遠鏡による観測も始まり、同じ構内にある野辺山太陽電波観測所（次回アルマーの冒険04で紹介の予定）とあわせて、野辺山観測所は電波天文学の世界的な拠点へと発展しました。その野辺山での成功をもとに、日本の電波天文学の研究者たちはさらに高性能な電波望遠鏡の建設を検討し始めます。それは、ミリ波よりもっと波長の短いサブミリ波を観測するという野心的なものでした。03ページの図01からもわかるように、サブミリ波は電波の区分の中ではもっとも波長が短い電磁波（それより短い波長はもはや赤外線の領域）で、これを観測する望遠鏡にはたいへん高度な技術が要求されます。その後、海外でもサブミリ波望遠鏡の建設が提案され、日米欧の国際協力でミリ波とサブミリ波の観測ができる世界最大、最高性能の電波望遠鏡の建設が計画されました。それが南米チリのアタカマ高原に建設され、いよいよ本格的な観測が始まった「アルマ望遠鏡」なのです。パラボラアンテナ66台（直径12 mが54台、直径7 mが12台）の電波干渉計で、すでにこれまでにない解像力と感度でさまざまな発見が続いてます。そのようすは2月号の本編をご覧ください。

「アルマーの冒険」03 回
発行日／ 2015 年 2 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／国立天文台チリ観測所・野辺山宇宙電波観測所

★「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。

本格的な科学観測が始まったアルマ望遠鏡とリカンカブール山（中央奥：標高5916 m）
［画像：Clem & Adri Bacri-Normier (wingsforscience.com)／ESO］。