

# アルマー ALMAr 冒険の

## 第06回 「電波天文学の歴史02」

前号では、宇宙からやってくる電波がジャンスキーによって偶然発見されたこと、さらにリーバーが初めて電波での天体観測を行ったことを紹介しました。今回は、日本の電波天文学の歩みをたどってみましょう。

今回の記事は、国立天文台と関係が深い装置を中心に歴史をまとめました。



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、ひよんなことから「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。

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……。



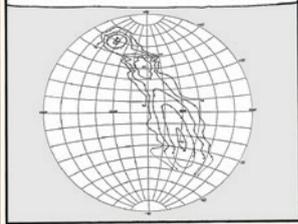
アルマー (ALMAr)

電波宇宙から可視光宇宙へやってきたことの竜。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、気がつくや野辺山高原の草むらに倒れていた。



### ★前号・第05回「電波天文学の歴史」までのあらすじ

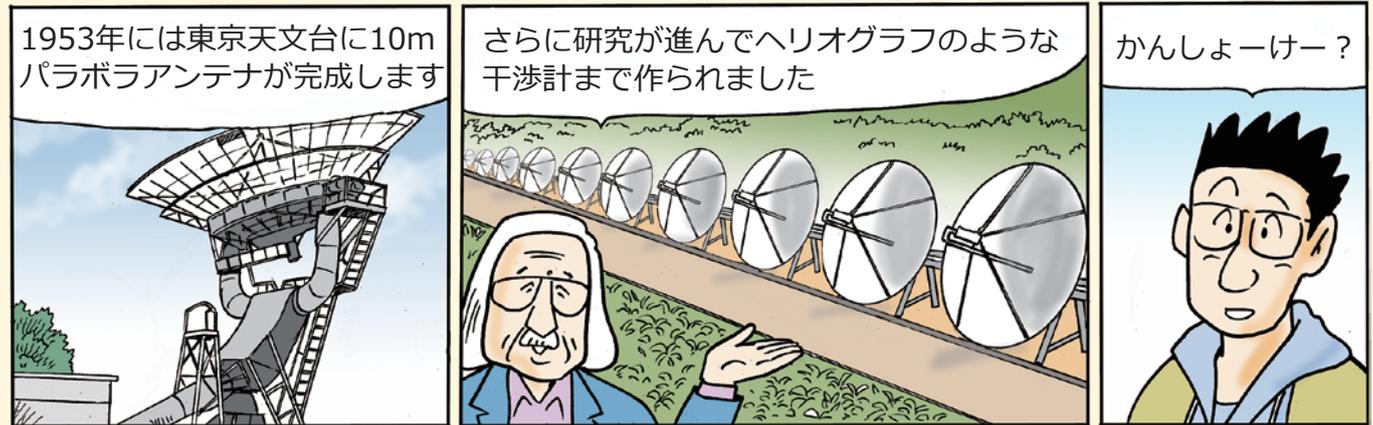
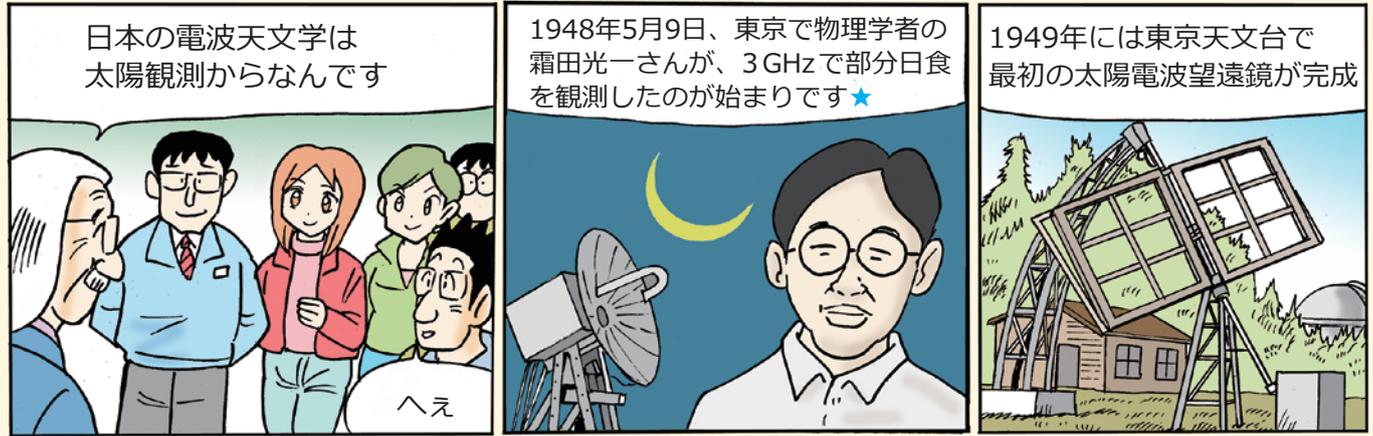
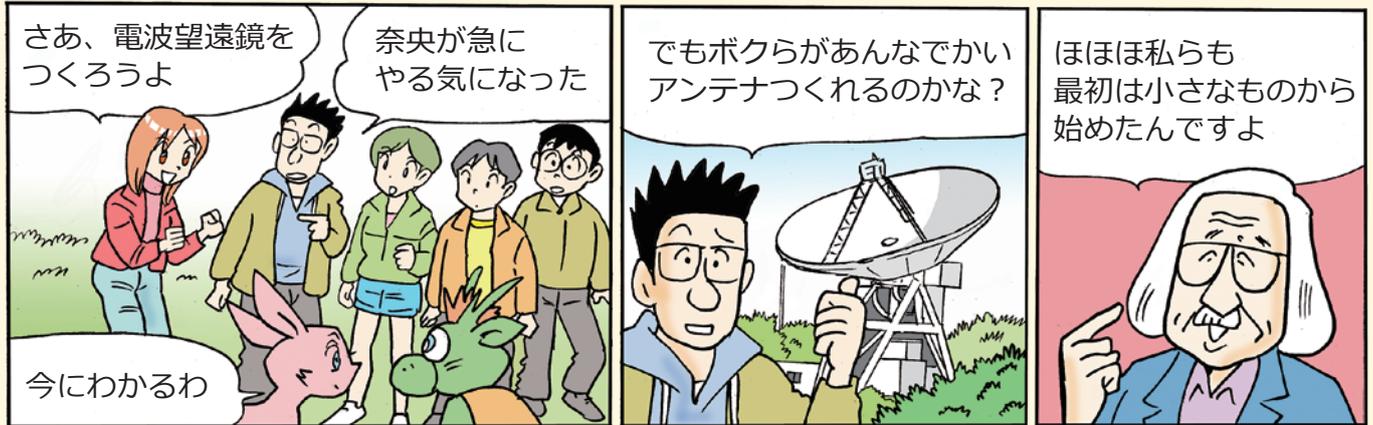
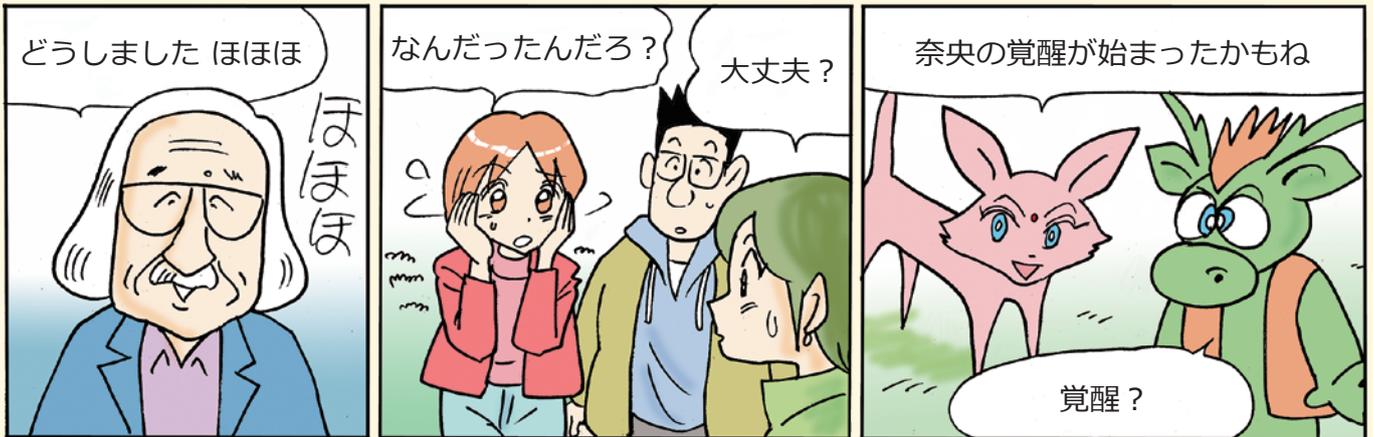
ヘリオグラフの見学を終えた奈央たち蒼天高校天文部メンバーの前に現れたのは、電波天文学者として知られる石黒正人先生。石黒先生は、宇宙からやってくる電波が偶然に発見されたこと、そして電波望遠鏡を使った観測の始まりについて語ってくれた。そんな石黒先生が突然、別人と重なっているように見える奈央。いざよいは、奈央の能力が覚醒しつつあることに気づく。

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
| <p>リーバーはそれを確かめるために空のあらゆる方向の電波を測り、1949年、天の川銀河の電波強度分布図を描いたのです</p>  | <p>こんな電波宇宙地図が得られました</p>  | <p>天の川銀河にさまざまな強さの電波源があることがわかったのです</p>  |   |
| <p>そんな電波望遠鏡ってほくらでも作れますか？</p>                                     | <p>もちろんですよ ほほほ</p>       | <p>ええ？ 石黒先生がなんだかダブって見えるわ</p>           | <p>奈央まさかおまえ なんなの？</p>  |

1960年代、東京天文台内にはさまざまな電波望遠鏡が設置されていた。左の十字型のアンテナは、ロンビックアンテナ動スベクトル計。中央に見える大きなパラボラは10m太陽電波赤道儀望遠鏡、右に並んだ小さなパラボラは1.2mアンテナ8基による17GHzトランシット式干渉計だ。



第6-1章 日本の電波天文学は太陽観測から始まった



★ (出典論文) 1) Masato Ishiguro et al., HIGHLIGHTING THE HISTORY OF JAPANESE RADIO ASTRONOMY. 1: AN INTRODUCTION, Journal of Astronomical History and Heritage, 15(3), 213-231 (2012). 2) Koichi Shimoda, et al., HIGHLIGHTING THE HISTORY OF JAPANESE RADIO ASTRONOMY. 2: KOICHI SHIMODA AND THE 1948 SOLAR ECLIPSE, Journal of Astronomical History and Heritage, 16(2), 98-106 (2013).

# 日本の電波天文学の夜明け

宇宙からの電波として、日本では太陽の観測がスタートしました。第二次世界大戦の終戦直後のことでした。

## ●太陽から始まった日本の電波天文学

第二次世界大戦中の1942年、イギリスの物理学者のジェームス・ヘイは、ドイツから飛来するミサイルをレーダーで探知する技術の開発に携わっていました。ところが、レーダー探知の方向が太陽に近いと誤差が大きいに気づきます。これが太陽電波の発見につながりました。太陽電波が影響を与えていたのです。



図01 1949年、三鷹で200MHz強度観測開始。約5m x 2.5mの木枠にダイポール・アンテナを8組ならべたものであった。赤道儀は可視光望遠鏡に使用されたものを流用したらしい。

日本では、第二次世界大戦の終戦からわずか3年後の1948年5月9日、物理学者の霜田光一さんが3GHzの電波で部分日食を観測したことが記録に残されています。翌1949年には、太陽電波観測用の電波望遠鏡が作られました。東京三鷹の東京大学附属東京天文台（現在の国立天文台の前身）で畑中武夫が電

波研究所（現在の情報通信研究機構の前身のひとつ）と協力し、ダイポール・アンテナで太陽からの200MHzの短波での観測を始めたのです（図01）。ほぼ同時期に大阪大学では、小田稔や高倉達夫が3300MHzで太陽電波の観測を行っています。また、名古屋大学では、愛知県豊川市に空電研究所が設置され、1950年代初頭に田中春夫を中心とするグループがマイクロ波での太陽電波の観測を始めました。これには、2.5mパラボラアンテナが使用されていました（図02）。

東京天文台では1952年に2mパラボラアンテナで、さらに1953年にはフォーク式赤道儀の10mパラボラアンテナが完成して3GHzでの観測が始まりました（図03）。

1953年には、空電研究所で国内では初めての多素子電波干渉計が設置されました。1.5mパラボラアンテナを5基並べたもので、4GHzの電波で観測が始まりました。さらに、空電研究所では9.4GHzおよび3.75GHzで合計100台にもおよびパラボラアンテナを並べた当時としては世界最大規模の干渉計群が建設され、長期にわたった観測が行われました。

## ●観測の多様化と太陽電波の研究機関統合

1950年代から1960年代は、観測波長域も広がり、干渉計や偏波観測など、手法も多様化していきます。それに合わせて、大きさも形状もさまざまなアンテナの建設が進められます。干渉計ではより高分解能な太陽画像の生成、偏波観測では太陽の磁場の解明が期待されました。



図02 1951年、空電研究所（豊川市）の2.5mアンテナと田中春夫氏。



図03 1953年、三鷹で10mパラボラアンテナによる3GHzでの観測開始（表紙も参照）。

1969年に160MHz太陽電波干渉計が完成し



図04 野辺山太陽電波観測所。手前の小さなアンテナ群が17GHz、奥の赤いアンテナ群が160MHz干渉計。

て野辺山太陽電波観測所が発足し、1971年には17GHz干渉計も設置されて観測を開始しました。17GHzでは1.2mパラボラアンテナ12基、160MHzではパラボラアンテナが東西に6mが8基と8mが3基、南北に6mが6基も設置されました（図04）。

さらに、宇宙電波観測の分野を担うべく、野辺山宇宙電波観測所も1982年に開所し、45m電波望遠鏡、10mパラボラアンテナ6基によるミリ波干渉計が順次完成したことで、「野辺山」は電波天文学の一大拠点となっていきます。

1988年には国立天文台が発足し、空電研究所の太陽電波部門を含む関連部署が国立天文台へと移管されました。日本の太陽電波研究を牽引する二大研究機関が統合されたのです。

空電研究所に設置されていた多くのアンテナも豊川から野辺山太陽電波観測所へと移されました。太陽面での爆発現象（バースト）などの観測を行う太陽電波強度偏波計は、も

ともと野辺山にあった3つの周波数の観測アンテナに、空電研究所から移設されたアンテナを加え、7つの周波数を同時に観測できるようになりました。さらに80cmパラボラアンテナ84基をT字型に並べた太陽観測用干渉計の電波ヘリオグラフが1992年に完成します（図05）。電波ヘリオグラフは、太陽面のようなものを電波によってほぼリアルタイムに高解像度の画像として表示できる、世界的にも優れたシステムです（図06）。

こうして、日本の電波による太陽の観測は着実に成果を残してきました。

2015年、野辺山太陽電波観測所はその使命を終えましたが、太陽電波強度偏波計は野辺山宇宙電波観測所へ、電波ヘリオグラフは名古屋大学太陽地球環境研究所（現・宇宙地球環境研究所）を中心とした国際コンソーシアムへ移管されることで、現在でも継続して太陽の観測を行っています。



図05 1992年、野辺山に電波ヘリオグラフが完成。

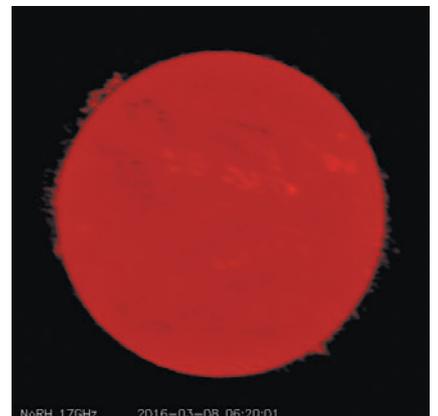


図06 電波ヘリオグラフによる太陽面の画像。

第6-2章 宇宙電波の観測は巨大パラボラアンテナで

干渉計って、複数のアンテナをつないで電波望遠鏡の性能をアップさせるんですよね？

奈央 詳しいね  
変ね 私わかるわ

この野辺山の45mは宇宙電波用ですよね？

三鷹の東京天文台では宇宙電波用に1952年に八木アンテナ、1963年に24m球面鏡ができました

1970年には6m口径の電波望遠鏡が完成

宇宙からの電波は弱いので1950年ごろから各国で巨大アンテナの建設が進められています

日本でも短い波長の電波を観測したいが湿潤な環境だからむずかしい

湿度の少ない高原につくろう

北海道が広くて良さそうだけど  
そうだ そうだ

緯度が高いと天の川銀河の中心方向が見えなくなるので北の地は不向きです

南は台風の心配があるのでダメでした

いろいろな条件を満たしたのがここ野辺山です

それがこれなんだ！

1978年に野辺山宇宙電波観測所が発足して建設を開始、1982年に45m電波望遠鏡が完成したのです

## ミリ波で世界を牽引した宇宙電波観測

「世界一の望遠鏡を作ろう」を合い言葉に45m電波望遠鏡とミリ波干渉計が野辺山に建設され、さまざまな発見が続きました。

### ●他国にできない新たなフロンティア、ミリ波観測を進めた日本の宇宙電波

太陽に比較すると電波が弱く、観測の対象も多種多様だったことから、宇宙電波の研究は太陽電波よりもスタートがやや遅れました。

海外では1950年代前半に、20m級のパラボラアンテナでの観測が開始され、アメリカ、イギリス、オーストラリアでは大型の電波望遠鏡の建設計画が進んでいきました。当時、世界では宇宙空間で水素原子が発する波長21cmの電波や、電波の発生方式のひとつであるシンクロトロン放射の確認など、新発見が続きました。

日本では、固定球面鏡の200mアンテナの計画が発案され、そのテストとして、1963年に赤羽賢司らが東京天文台内に24m球面鏡を設置しました。これにより観測装置の研究や開発は進んだものの、残念ながら巨大なアンテナの実現には至っていません(図07)。



図07 1970年、三鷹に設置された6mミリ波宇宙電波望遠鏡。右奥は24mの固定式球面電波望遠鏡(裏表紙も参照)。

1966年には、「大型電波望遠鏡ワーキンググループ」が設置され、「世界一の望遠鏡を作ろう」を合い言葉に、45m望遠鏡とミリ波干渉計よりなる大型宇宙電波望遠鏡計画がスタートします。パラボラアンテナに高い精度が要求されるものの、これまでよりも短い波長であるミリ波によるキューサー、星間分子スペクトル、星形成領域の観測を可能とするものでした。当時、宇宙電波天文学の観測分野では、大規模な電波干渉計による高分解能な電波写真の取得と、より短い波長を大きなアンテナで観測するというふたつの方向性がありましたが、日本は海外でも例の少ないミリ波の観測へのチャレンジを選択したわけです。

### ●世界最大のミリ波電波望遠鏡の完成

こうして、大型電波望遠鏡の完成を目指したのですが、日本の

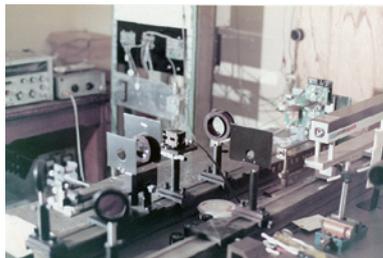


図08 宇宙電波用では世界初の音響光学型電波分光計・128チャンネル試作機(1976年)。6mミリ波望遠鏡の観測に用いられ、野辺山45m鏡の大型電波分光計の原型となった。

天文学者は通信用の大型パラボラアンテナを一時的に借用して天の川の電波観測を行うなど、観測手法の確立や観測機器の開発も進めました。同時に小さいながらも宇宙電波観測専用の電波望遠鏡を作り上げました。それが、1970年に三鷹の東京天文台に設置された6mミリ波望遠鏡です(図07)。世界的にもまだミ



図09 野辺山に建設中の45m電波望遠鏡。1982年に完成(右は現在)。



図10 左は、野辺山45m電波望遠鏡の大型音響光学型電波分光計「AOS」。チャンネル数3万2000、最大帯域巾2GHz。観測開始以来30年間、世界最大の電波分光計としてさまざまな発見をもたらした。右は現在使われている新型分光計SAM45。

リ波の観測可能な電波望遠鏡は数台しかない時代で、6mミリ波望遠鏡では森本雅樹、海部宣男らによる電波スペクトルの観測で、パラホルムアルデヒドやメチルアミンなど、多数の星間分子スペクトルが発見されました。

大型宇宙電波望遠鏡計画では、天文学の研究とはいえ、たくさんの新しい技術の開発が必要でした。そのため、アンテナ本体はもちろんのこと、それを高精度でコントロールする架台の仕組みやノイズの少ない高性能な受信機の開発も平行して進められました。また、建設地は、野辺山太陽電波観測所のある長野県南牧村に定められ、1978年には野辺山宇宙電波観測所が新たに設置されました。

1982年、ついに45m電波望遠鏡が完成します(図09)。巨大なアンテナの面を高精度に保つ新技術や、独自の高感度受信機と電波分光器などが開発され、宇宙空間にある新たな分子や巨大ブラックホールの観測的証拠など、天文学の大発見が続きました(図10、11)。

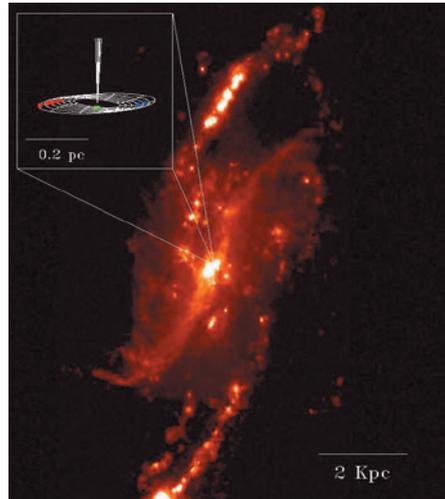


図11 中井正直(現・筑波大学)によって、野辺山45m電波望遠鏡を用いた観測からM106銀河中心から時速360万kmというきわめて高速で運動する水メーザー(22GHz)が発見され、これが後に銀河中心核の巨大ブラックホールの存在の最初の確証となった。このブラックホールは、太陽質量の3900万倍もあることがわかっている。メーザーとは、光のレーザーと同じような性質(可干渉性)を持つ電波のこと。

第6-3章 電波で天体の画像を作る方法は？

でもこの電波望遠鏡で  
どうして画像が  
見えるのです？

ひとつのアンテナの場合は、  
アンテナを少しずつ動かして  
電波の強度を測るのです

もうひとつは間隔の異なる  
ふたつのアンテナで観測した電波を  
干渉させる方法です

この方法は開口合成といって  
小さなアンテナでも  
大きなアンテナと同じ  
分解能を得られます

さらに地球の自転も  
利用したのがイギリスの  
マーティン・ライルです

1946年に電波天文学への功績を  
認められてノーベル物理学賞を  
受賞しています

これは  
フーリエ変換を  
利用しているのだ

フーリエ？

フーリエは18世紀の  
数学者です

複雑な波の形は  
単純な波の重ね合わせで  
表現できる

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) \exp(-i2\pi f t) dt$$

$$h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H(f) \exp(i2\pi f t) df$$

$$\exp(i2\pi(f-f')t) \exp(-i2\pi f t) dt$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \exp(i2\pi(f-f')t) dt$$

$$\exp(i2\pi(f-f)T) - \exp(-i2\pi(f-f)T)$$

$$\frac{2\pi \sin[2\pi(f-f)T]}{\pi(f-f)}$$

$$2 \operatorname{sinc}(\pi(f-f)T)$$

電波干渉計では干渉させた電波を  
数学的なフーリエ変換を使って  
画像化しているのです

よく  
わからん…

フーリエ変換のような画像  
処理はこのデジカメにも応用  
されているのですよね？

だって、わたしフーリエも  
ライルも知っている…

ええ!?  
なんだって!

え、なんで知ってるの？

## 電波望遠鏡の弱点を干渉計で克服

ミリ波でも天体のより細かいところまで観測できる干渉計を次々と建設。さらに、人工衛星との干渉計も実現させました。

### ●宇宙電波でもミリ波の干渉計に挑戦

野辺山では、45m電波望遠鏡と並行し野辺山ミリ波干渉計の建設計画も進められました。10mのパラボラアンテナ5基(後に6基)を数百mのレールに沿って移動させ、観測を行うというもので、空電研究所から太陽電波干渉計のスペシャリストだった石黒正人、森田耕一郎らが合流し、建設に尽力しました(図12)。



図12 1982年に観測を開始した野辺山ミリ波干渉計。

干渉計での観測は、世界でも波長2cmよりも長波長での観測しか実現されていなかったもので、さらに短いミリ波での観測を狙ったミリ波干渉計も日本としてはかなり野心的なもので、45m電波望遠鏡に遅れること数か月で観測を開始しました。こちらも、惑星誕生の現場である原始惑星系円盤の観測など、多くの

成果を残しました。さらには、45m電波望遠鏡も組み合わせて7基のアンテナで構成する「レインボー干渉計」によって、観測の高精度化も実現させています。

こうして、野辺山宇宙電波観測所がスタートして三十余年、さまざまな成果をあげてきました。45m電波望遠鏡は、さらなる改良を加えられつつ、現在でもミリ波観測の世界では第一線で活躍する現役です。ミリ波干渉計は運用を終了しましたが、より大規模な電波干渉計であるアルマ望遠鏡へとその使命をつなぎました(図14)。



図13 アメリカのVLA(カール・ジャンスキー超大型干渉電波望遠鏡群)は、25mアンテナ27基がY字型に設置され、観測を行っている。★



図14 日本も参加するチリのアルマ望遠鏡は、12mと7mアンテナの合計66基でミリ波・サブミリ波を観測する世界最高性能の電波干渉計。

### ●宇宙空間に打ち上げたアンテナまで使うVLBI

電波干渉計は、ふたつのアンテナの距離を離せば離すほど天体の姿の細かい部分までを画像として取得することができます。とはいえ、地球規模的な距離のアンテナ同士を電線で直接つないで観測するには、無理があります。そこで、電波が波の現象であることを最大限利用する方法が考案されました。それは、波を電気的なデータとして記録して持ち寄るという方法です。このように、きわめて遠方にあるアンテナで電波干渉計を構成する方法をVLBI(Very Long Baseline Interferometer: 超長基線干渉計)と

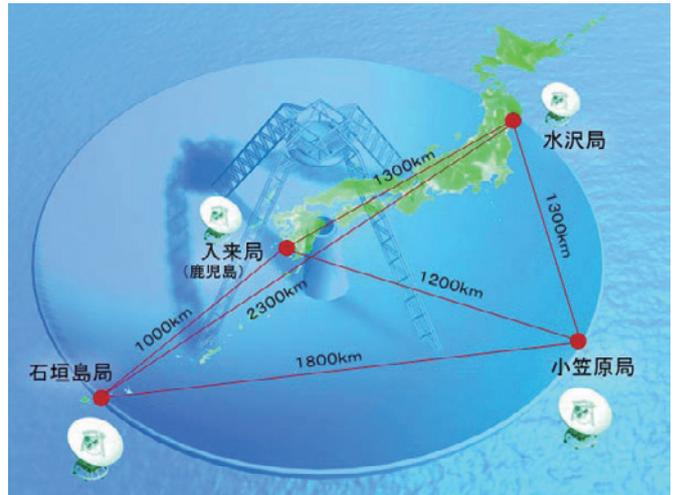


図15 国内4か所のアンテナで直径2300kmに相当する分解能が得られるVERA。電波で銀河系の3次元立体地図を作成するプロジェクトだ。

呼んでいます。

もちろん、天体からやってくる電波を干渉させるには、同じ時刻にデータを取得しなくてはなりません。そこで、きわめて正確に時を刻む原子時計で時刻を合わせ、電気信号として電波の時間変化をデータとして記録しています。

距離による制限がないので、国立天文台では水沢(岩手県)、小笠原、入来(鹿児島県)、石垣島の4か所に20mパラボラアンテナを設置して、銀河系の3次元地図を作成するプロジェクトのVERA(VLBI Exploration of Radio Astrometry)が行われています(図15)。また、大学をはじめとする研究機関が連携して観測を行う大学連携VLBIや、東アジアの電波望遠鏡が協力する東アジアVLBI網では直径6000kmの電波望遠鏡を実現させるべく、国際協力での試験観測が始まっています。

VLBIは地上のアンテナだけに限りません。宇宙にアンテナを打ち上げて、電波干渉計を構築することも可能なのです。日本では世界に先駆けて1997年に電波観測衛星「はるか」を打ち上げました。はるかは、地球周回軌道を回り、世界の多数のアンテナとの組み合わせで直径3万kmという大きさの電波干渉計VSOPとして観測を行いました(図16)。

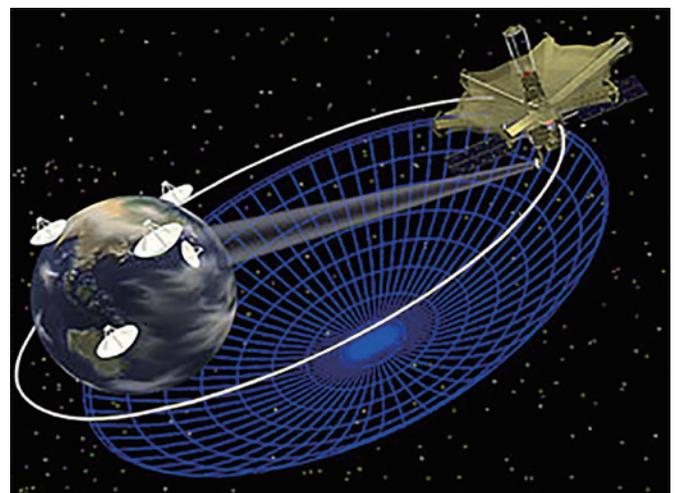


図16 1997年に打ち上げられた電波観測衛星「はるか」は地上のアンテナとともに、直径3万kmのアンテナに匹敵する干渉計を実現した。

## ● これからの電波天文学者を育てる

日本の電波天文学で忘れてはいけないのは、次世代の研究者を育てる大学の存在です。黎明期から電波天文学を学ぶことのできた東京大学の他、現在では大学連携VLBIが実現しているように、茨城大学、岐阜大学、山口大学、鹿児島大学では、大型の電波望遠鏡を持ち、天文学に関連した学科が存在しています。また、名古屋大学では、独自に4mパラボラアンテナのミリ波望遠鏡をチリの高地に設置して、たくさんの研究成果を成果を収めています。早稲田大学も那須に20m球面アンテナを8基、さらに30m球面アンテナ1基を設置して、パルサーの研究が行われています。また独自に観測装置を持たなくても、国立天文台などが運用する電波望遠鏡を使った研究を精力的に進めている大学も数多くあります。



図17 鹿児島大学の6m電波望遠鏡。これは1970年、三鷹に設置された6mミリ波宇宙電波望遠鏡(図07・下図)が移設されたもので、現在でも観測の最前線で活躍しています。

## ● 350基以上の電波望遠鏡を作った法月惣次郎

電波で天体を観測するには、電波望遠鏡を作らなくてはなりません。当初は天文学者や研究者の手作りだったアンテナも、大型になればとても無理。実は、日本の電波天文学の黎明期にたくさんの電波望遠鏡を製作し、天文学者を支えた人がいました。静岡県焼津市で鉄工所を営んでいた法月惣次郎さんです。

法月さんは、1912年に静岡県の和田村(現在の焼津市)に生まれます。当時の高等科(現在の中学校)卒業と同時に鍛冶屋に丁稚奉公します。その後、鉄工所に就職、さらに自身が経営する法月鉄工所(後に法月技研)を25歳の時に開業しました。

法月さんは1949年に名古屋大学空電研究所の依頼で、日本初の赤道儀式電波望遠鏡の製作に着手、2年後の1951年に2.5mパラボラアンテナを納めます。その後、空電研究所をはじめ、国立天文台や国内の研究施設に数多くの電波望遠鏡を供給してきました。日本が本格的に電波天文学に進出しはじめたころ、海外では日本が高精度なアンテナを作れるはずがないと考えられていましたので、空電研究所に次から次へとアンテナが立ち並んでいくのを見て、海外の研究者が「空電

研究所には秘密工場があるに違いない」とウワサしたという逸話も残っています。

法月さんの作る電波望遠鏡は、高精度で高品質、しかも安価ということで、多くの電波天文学者が法月さんに製作を依頼しました。その数、大小合わせて350基を超えるというのですから驚きです。

やがて、大型の光学望遠鏡の製作も手がけるようになりましたが、1995年に惜しまれつつもこの世を去りました。享年83歳。今でも各地で法月さんの製作した電波望遠鏡が活躍しています。

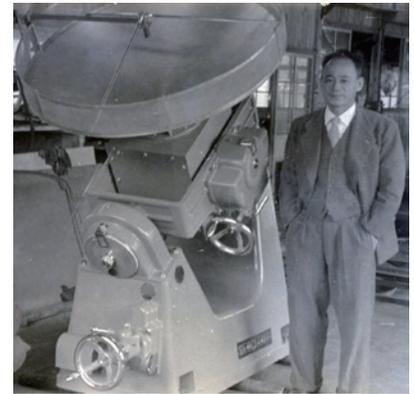


図18 法月惣次郎さん。1957年に東京天文台(現・国立天文台三鷹)に納めた1.2mの電波望遠鏡とともに。画像提供: ディスカバリーパーク焼津天文科学館

## ● 「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)

## 「アルマーの冒険」06回

発行日/2016年4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/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。

前号アルマー05「電波天文学の歴史」p06の3段目最初のコマで1944年とあるのは1949年の誤りでした(宇宙電波チャートは1944年、電波強度分布図は1949年)。お詫びして訂正いたします(係)。

●1970年頃の東京天文台。手前が建設されたばかりの6mミリ波宇宙電波望遠鏡、右奥が地面に球面鏡を固定した24mの電波望遠鏡である。中央遠方に10m太陽電波赤道儀式望遠鏡のアンテナ部分が見える。

★表紙背景画像を含めてくわしくは、アーカイブ室新聞(2008年8月15日 第52号)

[http://prc.nao.ac.jp/prc\\_arc/arc\\_news/arc\\_news052.pdf](http://prc.nao.ac.jp/prc_arc/arc_news/arc_news052.pdf) をご参照ください。

