

アルマ ALMA^{Ar} 冒険の

プロローグ 「電波宇宙からの使者」

はるかに広がる大宇宙…そこに潜むさまざまな謎を解き明かそうと、私たちは、古来より天文学を発達させてきました。それは長い間“目で見える宇宙”の姿、すなわち可視光を観測することで進められてきました。しかし、20世紀半ばになって、電波をはじめとする多様な電磁波の観測が可能になると、今まで可視光では見えなかった新しい宇宙の姿が次々と明らかになり、天文学は大きく前進しました。それは、広大な“多波長宇宙の発見”の成果であったといえます。そしていま、史上最高性能の電波望遠鏡がチリ・アタカマ高原に建設されています。国立天文台も参加する国際プロジェクト「ALMA (アルマ) 望遠鏡」計画です。はたして、アルマ望遠鏡は何を見るのか？そして電波で見えてくる宇宙とはどんな姿をしているのか？その答えを求めて、電波宇宙を駆け巡る「アルマー」とその仲間たちといっしょに冒険の旅をスタートさせましょう！

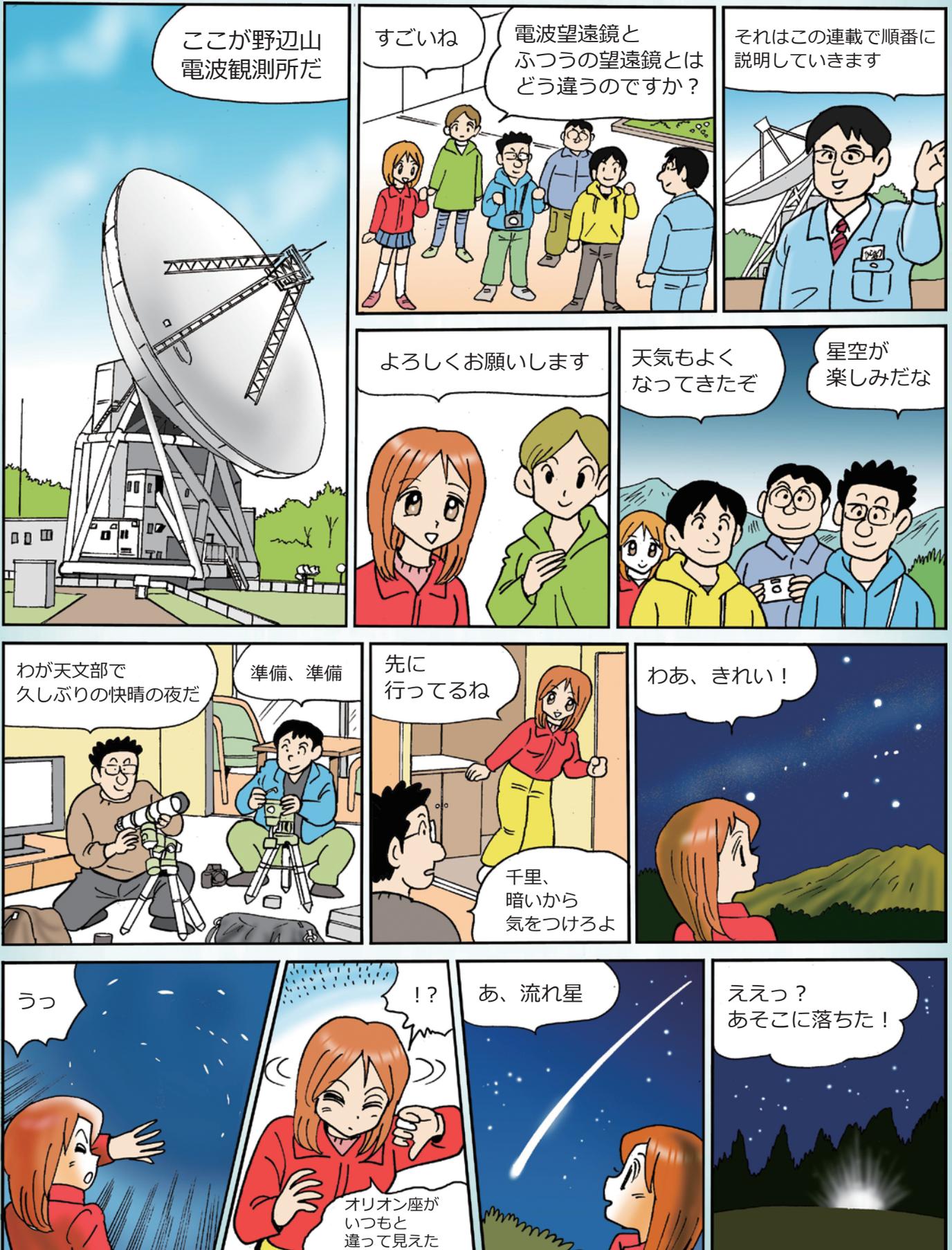
● 「アルマーの冒険」制作ユニット

絵／藤井龍二 (FUJII Ryuji)
文／平松正顕 (HIRAMATSU Masaaki)
構成／高田裕行 (TAKATA Hiroyuki)
デザイン／久保麻紀 (KUBO Maki)



第1章 野辺山高原の夜

星空観望のメッカ、長野県・野辺山高原に合宿にやってきた蒼天高校の天文部メンバー。国立天文台野辺山電波観測所を訪れて電波望遠鏡を見学した、その夜のできごと……。



電波を観測する天文台～国立天文台野辺山宇宙／太陽電波観測所

45m 電波望遠鏡



ミリ波干渉計



電波ヘリオグラフ



観測所全景



国立天文台野辺山宇宙／太陽電波観測所は八ヶ岳のふもとの野辺山高原にあります（右下・画面の奥は八ヶ岳連峰）。45m 電波望遠鏡（左上）やミ

リ波干渉計（右上）、電波ヘリオグラフ（左下）など、さまざまな電波望遠鏡が集められた日本の電波天文学のメッカで、常時見学ができます。

八ヶ岳のふもとに広がるこの観測所では、大小さまざまなパラボラアンテナが新しい宇宙の姿を追い求めて日夜活動しています。波長3mmほどの電波をとらえることのできる望遠鏡として世界最大口径を誇る45m電波望遠鏡。口径10mのアンテナ6台で受信した電波をコンピュータで合成することでひとつの大きな望遠鏡としてはたらく野辺山ミリ波干渉計。活発な太陽活動の電波動画を撮影するために84台のアンテナがひまわりのように首を振る電波ヘリオグラフ。さらに8台のパラボラアンテナで構成される太陽電波強度偏波計は、50年以上の観測データの蓄積から太陽の長期変動のようすを明らかにするために使われています。

電波天文学は、1930年代はじめに無線技術の発展の中で偶然宇宙からの電波がキャッチされたことで始まりました。可視光による天体観測が古来より暦の制定に使われ、望遠鏡の発明で17世紀以降大きく進展したのとは比べると、若い

問分野と言えます。野辺山での電波観測は1969年に太陽電波観測所が開設された時に始まりました。1981年に45m電波望遠鏡が観測開始、翌年にはミリ波干渉計も観測が開始されたことで、野辺山は一気に世界第一線の電波天文台となったのです。それから約30年、野辺山で育った人と培われた技術は、日本各地に電波望遠鏡を設置して銀河系地図の作成を目指すVERA、チリに建設中で間もなく観測が始まるALMA（アルマ）望遠鏡等へ受け継がれ、さらなる宇宙の謎の探索へとその道は続いていきます。

では、電波で明らかにされる宇宙の姿とはどんなものなのでしょうか？ そもそも「電波で宇宙を見る」とはどういうことでしょうか？ そんなにたくさんパラボラアンテナのはなぜ？ 奈央ちゃんという電波宇宙を探る旅に出かけま

宇宙を
そして、
を並べる
しよに、
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。

野辺山観測所の見学に来ました。ここ野辺山は冬はとっても寒いけど、人工の電波が少ない上にとっても乾燥していて電波の観測に向いているんだって。宇宙の観測は夜しかできないと思っていたけど、ここの電波望遠鏡は昼でも夜でも観測しているし、曇ってても雨が降っててもできる観測があると聞いてびっくり。太陽からも、遠くの星雲からも、もっと遠くの銀河の真ん中にあるブラックホールのあたりからも電波が出ていて、目に見える光だけじゃなくて電波でもいろんな宇宙の姿がわかるんだということを教えてもらいました。大きなパラボラアンテナに雨がたまったり雪が積もったりしないのか心配だったけど、アンテナにはすきまがあって雨はたまらないし、雪が積もったら太陽の方向にアンテナを向けて解かすんだって。意外とアナログだけど、ちゃんと考えられてるんだね。

第2章 電波宇宙からの使者

「流れ星が落ちた！」と、落下地点に駆けつけた奈央が出合ったのは、なんと竜のこども。
「アルマー」と名乗るその生き物は、いったいどこからやってきたのかな???



光で見た天の川と電波で見た天の川を比較してみると…

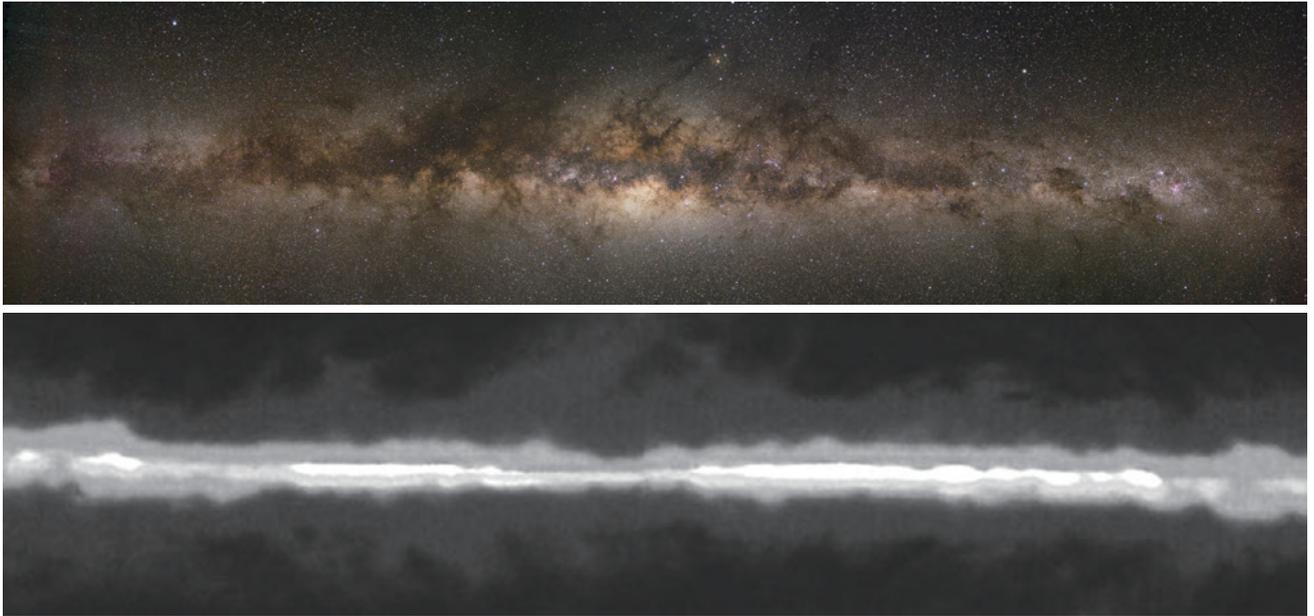


図1 光で見た天の川(上)と電波で見た天の川(下)。光で見た天の川では、黒い筋状の部分(暗黒帯)が天の川の光を遮っているようすがわかります。ところが、電波で見ると、暗黒帯が、逆に明るく見えています。(上画像:長谷川哲夫/下画像:NRAO)

電波で見る宇宙と、私たちが目で感じ取ることのできる光で見る宇宙とは、何が違うのでしょうか。上の図1は、光で見た天の川(上)と電波で見た天の川(下)の姿です。両方とも横方向に伸びるスジが見えていますが、そのようすは違います。光で見た天の川はたくさんの星々の間に黒く見える部分がありますが、電波で見た天の川はむしろこの黒い筋の部分が見えています。

そもそも、「見る」とはどういうことでしょうか。「明るい」とはどういうことでしょうか。太陽や電球の灯りを私たちは「明るい」と感じますが、これは私たちの目に太陽や電球からたくさんの光が入り、それを目の奥にある網膜が感じ取っているからです。網膜は電波には反応しないので、たとえば電波を強く出しているはずのテレビ塔や携帯電話を見ても明るくは見えません。しかし機械を使えば、電波がどこから強く出ているかを調べることができます。すると、たくさんの人が持っている携帯電話やノートパソコン、街中の携帯電話基地局やテレビ塔が電波を強く出していることがわかるでしょう。「電波を強く出しているものがきらきらと輝いている」という情景が思い浮かぶでしょうか？

視線を宇宙に向ければ、目に見える光ではたくさんの星が「明るく」光っています。電波で宇宙を見る機械、つまり電波望遠鏡を空に向ければ、強い電波を出している天体について調べることができるでしょう。これが電波天文学です。

上の2枚の天の川の写真に戻れば、光と電波で明るく見える部分が違うことがわかります。つまり、光と電波では宇宙の違う姿を見ることができるのです。実は、光と電波は「電磁波」と呼ばれる同じ仲間、その性質の違いは「波長」の違いから来ています。



図2 モノクロ写真を拡大すると画素の集まりであることがわかります。カラー画像も、画素の光の強さの集まりを見る原理は同じです。ただ、モノクロとは異なり、3つの原色の画素を1セットにして、それぞれの光の強さを変え、多彩な色が見られるようにしています。



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、気がつくとき野辺山高原の草むらに倒れていた。

「電波」と聞けば、ラジオや携帯電話を思い浮かべて「耳で聞くもの」と思う人も多いはず。でも電波も光の仲間だから、電波を捉える装置を使えばその強さを記録して「見る」ことができるんだ。たとえば、デジタルカメラで撮った画像をどんどん拡大していくと、写真は小さな光点(画素)が集まってできていることがわかる。モノクロ写真では、それぞれの画素は、そこに光がどれくらい強く入ってきたのかを、明暗で示している(図2)。つまり、ある範囲(視野)の中のたくさんの点について光の強さを測って並べたものが、モノクロ写真として「見える」というわけ。同じように、視野内のたくさんの点について電波の強度を測ってやれば、「電波写真」や「電波動画」を撮ることができる。この原理で、いろいろな天体について、どんな場所から、どんな電波が、どんな強さで出ているかを調べて、その天体の性質を解き明かしていくのが電波天文学なんだ。

第3章 ふたつの宇宙

竜のこども「アルマー」に続いて、今度は、しゃべるネコ「いざよい」も現れた。
びっくりし通しの奈央だが、いざよいが語るアルマーの正体は、さらに衝撃的なものだった。



光と電波、それぞれで見た像を重ねると、もっと宇宙が見えてくる

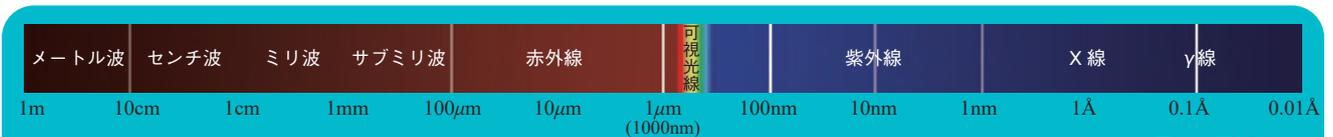


図3 可視光で見たオリオン座（左画像）に、電波を強く出す暗黒星雲の分布を重ねたもの（右画像）。青から赤に色が変わるほど、強い電波を出しています。（電波画像：東京大学60cm電波望遠鏡）

光で見る宇宙と電波で見る宇宙は、具体的には何が違うのでしょうか。まず、**光も電波も同じ「電磁波」の仲間**です。「波」ですので、その波長（波の山と山の間隔）によってその性質を分類することができます。光（眼で見える光のことなので、ここから「可視光」とよびます）の波長はおよそ400～800ナノメートル（1ナノメートルは1ミリメートルの100万分の1）ですが、電波の波長はこれよりずっと長く、数百マイクロメートル以上（1マイクロメートルは1ミリメートルの1000の1）です（図4）。

可視光と電波では、**出てくる場所も違います**。可視光は太陽のような星（数千度以上）や、宇宙に漂うガスのうち近くの星に照らされて高温になった部分から出てきます。夜空に輝く星や、すばる望遠鏡やハッブル宇宙望遠鏡の写真でおなじみの星雲などは、このような主に高温の天体です。一方、電波はそれほ

ど高温でない天体からも出てきます。5ページの天の川の暗黒帯（暗黒星雲）は、絶対温度10ケルビン（セ氏-263度）程度と非常に低温の塵（小さな砂粒のようなもの）やガスでできているために**可視光を出すことはできませんが、電波を出すことはできます**。上の画像（図3）は、可視光で見たオリオン座（左画像）と、そこに電波を強く出す暗黒星雲の分布を重ねたものです（右画像）。**電波で見ると、可視光では何も見えないところに大量の物質が分布していることがわかります**。可視光で若い星の分布を調べ、それを電波で観測される暗黒星雲の分布と比べると、実は星は暗黒星雲の中で生まれ、成長するにつれて暗黒星雲からの距離が大きくなっていることなどがわかります。可視光と電波、違う波長の電磁波を見ることで天体の性質をよりよく理解し、それを組み合わせて、より大きな天文学のストーリーを築き上げることができるのです。



電波にも、波長が数ミリのミリ波、それより波長の短いサブミリ波、逆に波長の長いメートル波など、波長によっていろいろな種類があるわ。波長の短いミリ波やサブミリ波は低温の塵や星間ガスから強く放出されるけれど、波長の長い電波はブラックホールから光速に近い速度で勢いよく噴き出すプラズマガスなどからも放出されていて、同じ電波と言ってもその波長によって見えるものが異なるの。

さらに、電磁波には可視光と電波以外にも、紫外線や赤外線、エックス線などが含まれていて、それぞれの波長で宇宙を見ると、各波長で特徴的な天体を観測することができるわ（図4）。可視光だけでは見えなかった宇宙の姿が電波を使うと見えてくるように、電磁波のさまざまな波長域を観測する多波長天文学によって、より豊かで多彩な宇宙の姿を明らかにすることができるようになってきたのよ。

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……。

図4 電磁波の波長図。μmはマイクロメートル。nmはナノメートルです。可視光線の波長域はたいへん狭いことがわかります。

「とにかく、何か、おもしろいことが始まったのは確かだわ…」

電波宇宙からやってきた「アルマー」と「いざよい」。野辺山高原で偶然出会った奈央ちゃんを巻き込んで、次回から「グランドアルマーの宝剣」を探す電波天文学の冒険が本格的に始まります。お楽しみに！

「アルマーの冒険」メモ

「アルマーの冒険」の名前の由来は、もちろんアルマ（ALMA）計画に因ったものです（そして児童文学の名作「エルマーの冒険」をもじっています）。また「いざよい」は、国際プロジェクトであるアルマ計画の中で、日本の国立天文台が製作を担当している電波望遠鏡（電波干渉計）の名前です。これからはじまる「アルマーの冒険」をよりよく理解するためにも、その名の由来となった「アルマ」と「いざよい」について、少しくわしく紹介をしましょう。

アルマについて

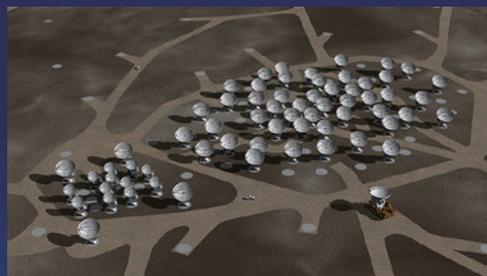
アルマ望遠鏡計画は、東アジア（日本が主導）・北米・ヨーロッパ・チリの諸国が協力して進めている国際プロジェクトです。直径12mの高精度アンテナ50台と「アタカマコンパクトアレイ（愛称「いざよい」）」と呼ばれる高精度アンテナ16台を、チリ・アンデス山中の標高5000mの高原に設置し、ひとつの超高性能な電波望遠鏡として運用します。正式名称はAtacama Large Millimeter/submillimeter Array（アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計）といい、その頭文字をとってALMAと呼ばれます。ALMAは、チリの公用語であるスペイン語で「たましい」を意味する言葉でもあります。「より遠くのより暗い天体を、より詳しく観測したい」という世界の天文学者による20年近い構想期間を経て2003年から建設が始まり、いよいよ2011年から科学観測が始まります。現行の電波望遠鏡を圧倒的に上回る感度と視力で、アルマ望遠鏡は私たちの宇宙観を大きく変えてくれることでしょう。



アルマは各アンテナを移動・配置して観測する干渉計です。

いざよいについて

アルマ望遠鏡の66台のアンテナのうち、日本は直径12mのアンテナ4台と7mのアンテナ12台の建設を分担します。これらをアタカマコンパクトアレイ（ACA）と呼び、一般公募の結果「いざよい（十六夜）」という愛称がつけられました（国立天文台ニュース2010年4月号参照）。アルマ望遠鏡のように複数のアンテナを結合してひとつの望遠鏡として使う電波干渉計は、天体の細かな構造を詳細に描き出すことは得意な一方、淡く広がった天体を観測するのが苦手です。この弱点を補い、電波の強度を正確に測定するために作られるのが「いざよい」です。米欧が分担する直径12mアンテナ50台と「いざよい」で観測されたデータを合わせることで、高画質な電波画像を作ることができます。「いざよい」はアンテナ台数にちなんだ美しい大和言葉ですが、その「和」のころは多数のアンテナを統合して素晴らしい観測成果をもたらす電波干渉計に通じるものがあるかもしれません。



左下の16台のアンテナグループが「いざよい」です。

アルマ望遠鏡

検索



●お問い合わせ

平松正顕（ALMA推進室） hiramatsu.masaaki@nao.ac.jp

高田裕行（天文情報センター出版室） hiroyuki.takata@nao.ac.jp

「アルマーの冒険」プロローグ

発行日／2011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／国立天文台ALMA推進室

© 2011NAOJ（本冊子記事の無断転載・放送を禁じます）