

ALMA



アルマ望遠鏡：アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計

🌀 アルマ望遠鏡とは

アルマ望遠鏡は、南米のチリ共和国北部・アタカマ砂漠の標高5000mの高地に建設された、パラボラアンテナ66台を組み合わせた干渉計方式の巨大電波望遠鏡です。日本が主導する東アジア、北アメリカ、ヨーロッパに設置国のチリを加えた22の国と地域による国際共同プロジェクトで、30年にわたる構想・建設を経て2013年に本格観測が始まりました。すばる望遠鏡やハッブル宇宙望遠鏡の約10倍の視力を持ち、今まで明らかにされていない銀河や星・惑星の誕生や進化についての謎が、次々に解明されていくと期待されています。

🌐 世界の技術が結集！日本の技術も大活躍

アルマ望遠鏡で新しい宇宙の姿を探るために、参加各国の最先端技術が投入されています。この中で日本は、高精度パラボラアンテナ16台、超伝導受信機3種類（米欧製含む全アンテナに搭載）、日本製アンテナで集めた信号を処理するための高速相関器を開発し、「新しい人類の目」の一端を担います。



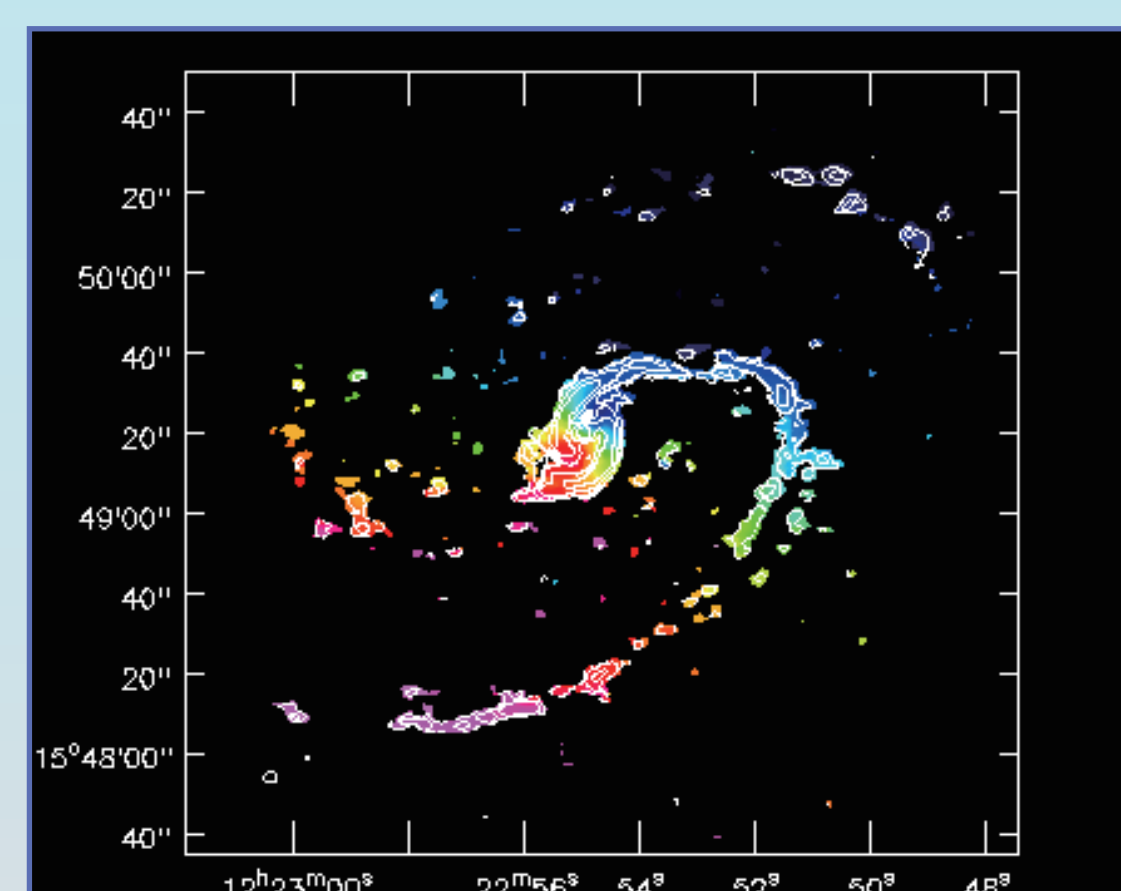
上の写真は最後のアンテナが到着した時の写真だよ。
2014年6月13日に、ついに66台全員集合したんだ。
今話題になってる「はやぶさ2」君のお兄さんの「はやぶさ」君が地球に帰還した日も6月13日だよね！

🌐 モリタアレイ (ACA:アタカマコンパクトアレイ)

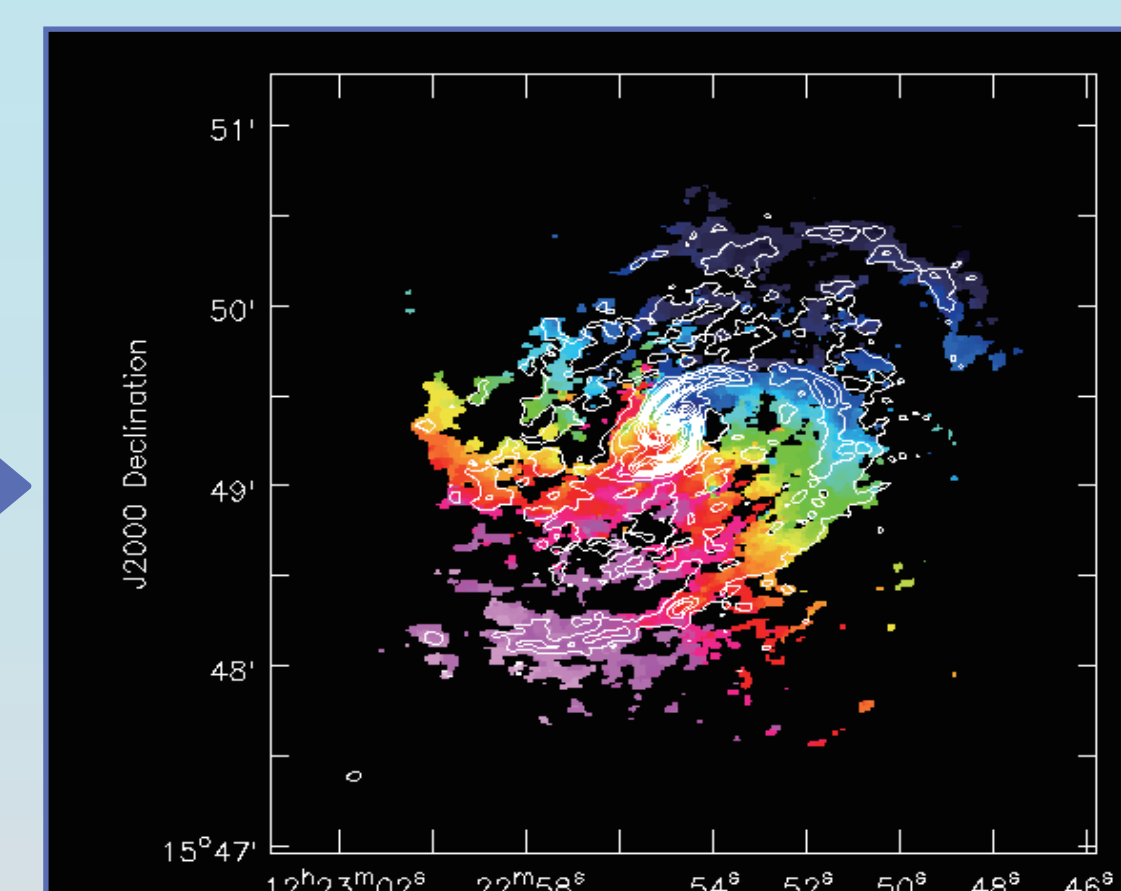
日本製アンテナ16台と受信機・相関器からなるシステムを「モリタアレイ」と呼びます。米欧アンテナで観測しにくい広がった天体からの電波をとらえ、電波写真の画質を向上させます。



モリタアレイ(アタカマコンパクトアレイ)の16台のアンテナ



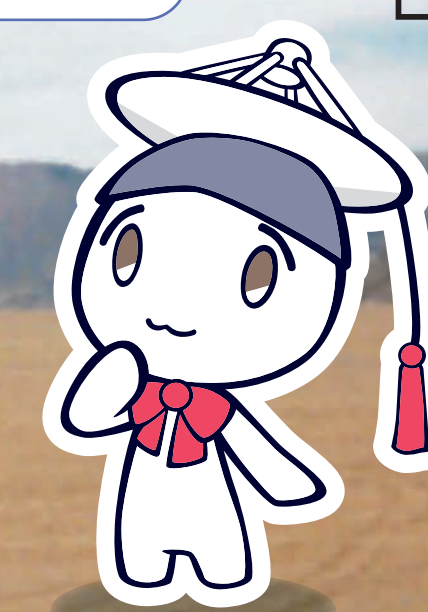
モリタアレイなし



モリタアレイあり

1996年

チャナントール高原だよ。
標高5000mなんだから。
空気うすーい！



ここは山頂観測装置棟だよ。
「相関器」といわれるスーパーコ
ンピューターがあるよ。
PC300万台分の計算力だよ。



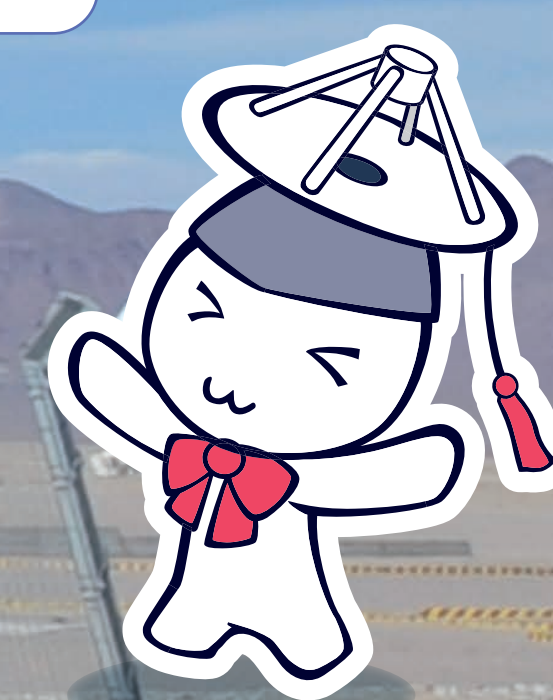
僕はビクーニャ
南米の高地にいるよ。
アルパカの近種だよ。

ここが山麓施設だよ。
山頂のアンテナはここ
で操作するよ。



2012年

わーい、いっぱい増えたね！

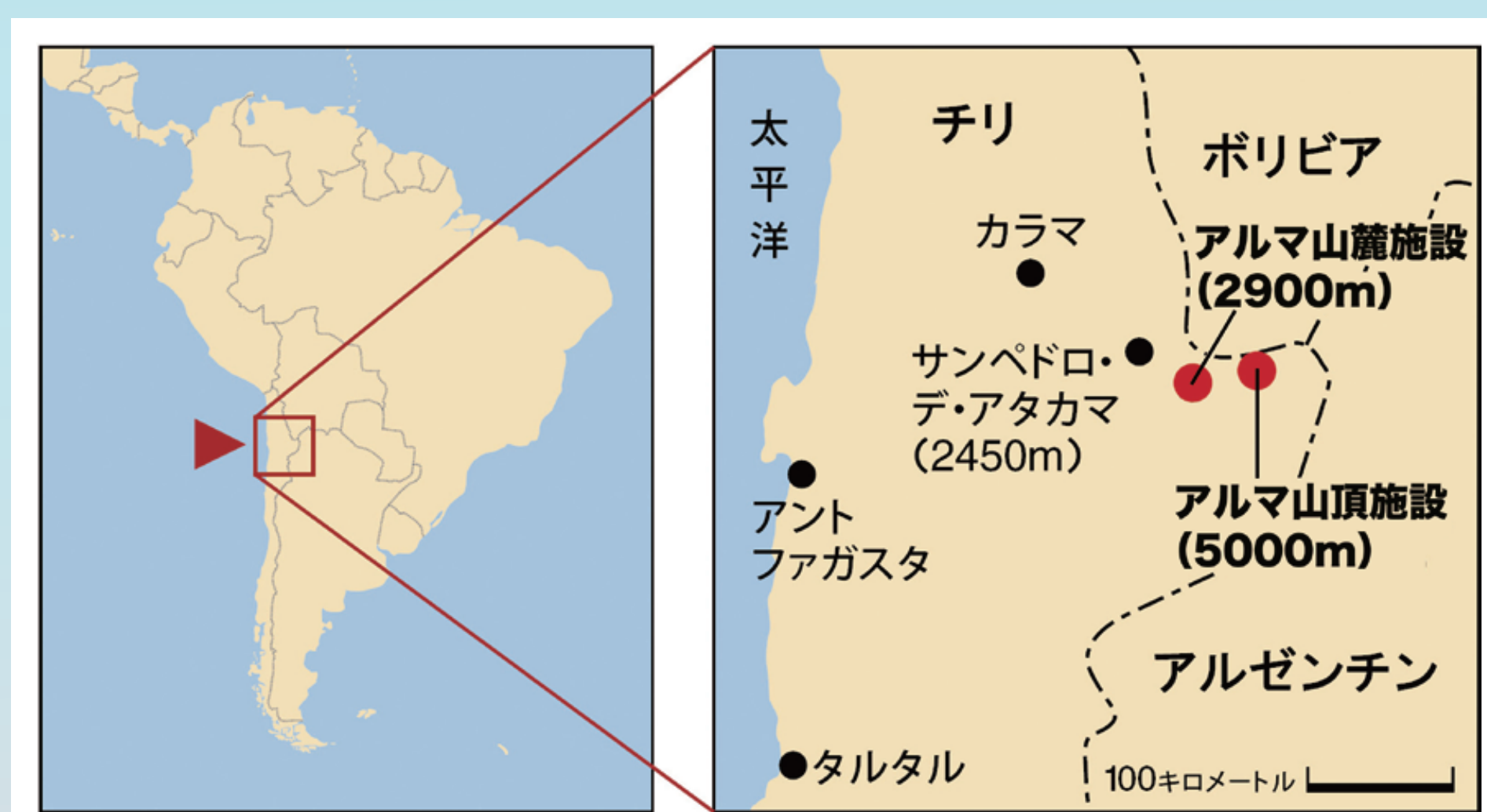


アルマ望遠鏡の建設地 ・ 南米チリ・アタカマ砂漠

🔴 アタカマ砂漠について

アタカマ砂漠は年間降水量が100ミリ以下で、ほぼ年中晴天なこと、さらに標高が高いため水蒸気による電波吸収の影響を受けにくいことなどから、比較的短い波長の電波でも観測可能で、アルマ・アステ望遠鏡の観測波長域であるサブミリ波もとらえることができます。また、土地が広く平坦なため、66台というたくさんのアンテナを置くには世界中を探しても貴重な、まさにアルマ望遠鏡に最適な場所です。この地域にはアルマ望遠鏡のほかにもいくつも望遠鏡があり、世界の次世代望遠鏡の聖地となりつつあります。

日本からアタカマ砂漠までは、飛行機の乗り継ぎを含めるとおよそ40時間、約1日半かかります。



アルマ望遠鏡の周辺地図

🔴 山頂施設(AOS)と山麓施設(OSF)

標高5000mの砂漠には、山頂施設(Array Operations Site: AOS)があります。約20kmにわたって広がる広大な敷地に66台のパラボラアンテナが設置され、アンテナからの信号を結合する相関器などを収納する建物もあります。ここは標高0m地点と比べると酸素が約半分しかなく、乾燥していて日差しや風も強いので、人間にも観測装置にも過酷な環境です。

このため、AOSに観測者や技術スタッフが常駐することはありません。標高約2900mのところに山麓施設(Operations Support Facility: OSF)があり、アンテナや各種観測装置の組み立て・調整や試験などが行われます。AOSのアンテナ群も、OSFのコントロールルームから遠隔操作されます。OSFでは常時150～200人ほどが働いていて、職員のための宿舍や食堂も完備されています。働いている人は現地チリの人も多く、非常に国際色豊かです。



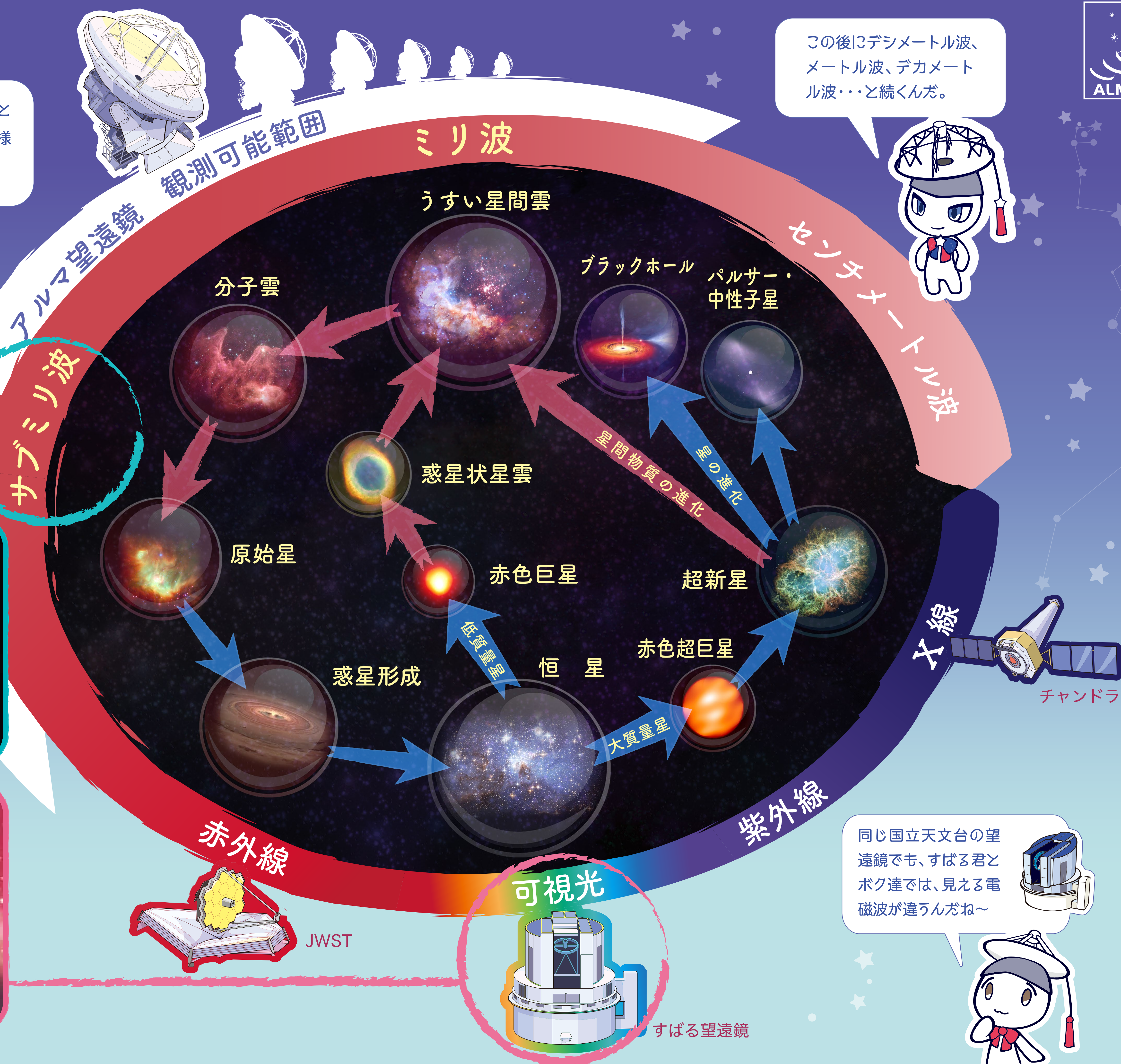
コントロールルームで観測を見守るスタッフ



山麓施設の受信機性能評価システム

この後にデシメートル波、メートル波、デカメートル波・・・と続くんだ。

同じ天体でもサブミリ波（上）と可視光（下）で見ると全然違う様に見えるんだよ。



アルマ望遠鏡が見る宇宙 ミリ波とサブミリ波

ミリ波・サブミリ波とは？

波長が数mmの電波を「ミリ波」、波長1mm以下の電波を「サブミリ波」と呼びます。



ミリ波・サブミリ波は、星々の間にたどようガスや塵から出てきます。こうしたガスや塵は非常に温度が低いため、光を放つことができませんが、ミリ波・サブミリ波なら出すことができます。ガスや塵は星や惑星の材料であるため、ミリ波・サブミリ波を観測することで星や惑星の誕生の謎、さらには星の集合体である銀河の誕生の謎に迫ることができます。

また、ガスにはさまざまな分子が含まれていて、分子ごとに少しずつ異なる波長の電波を出しています。電波の波長をくわしく分析することで、分子の種類や量、温度や運動のようすまで明らかにすることができます。

ミリ波・サブミリ波を観測する

宇宙にたどようガスや塵が放つミリ波・サブミリ波を観測することで、アルマ望遠鏡はさまざまな宇宙の謎に挑んでいます。

銀河誕生の謎

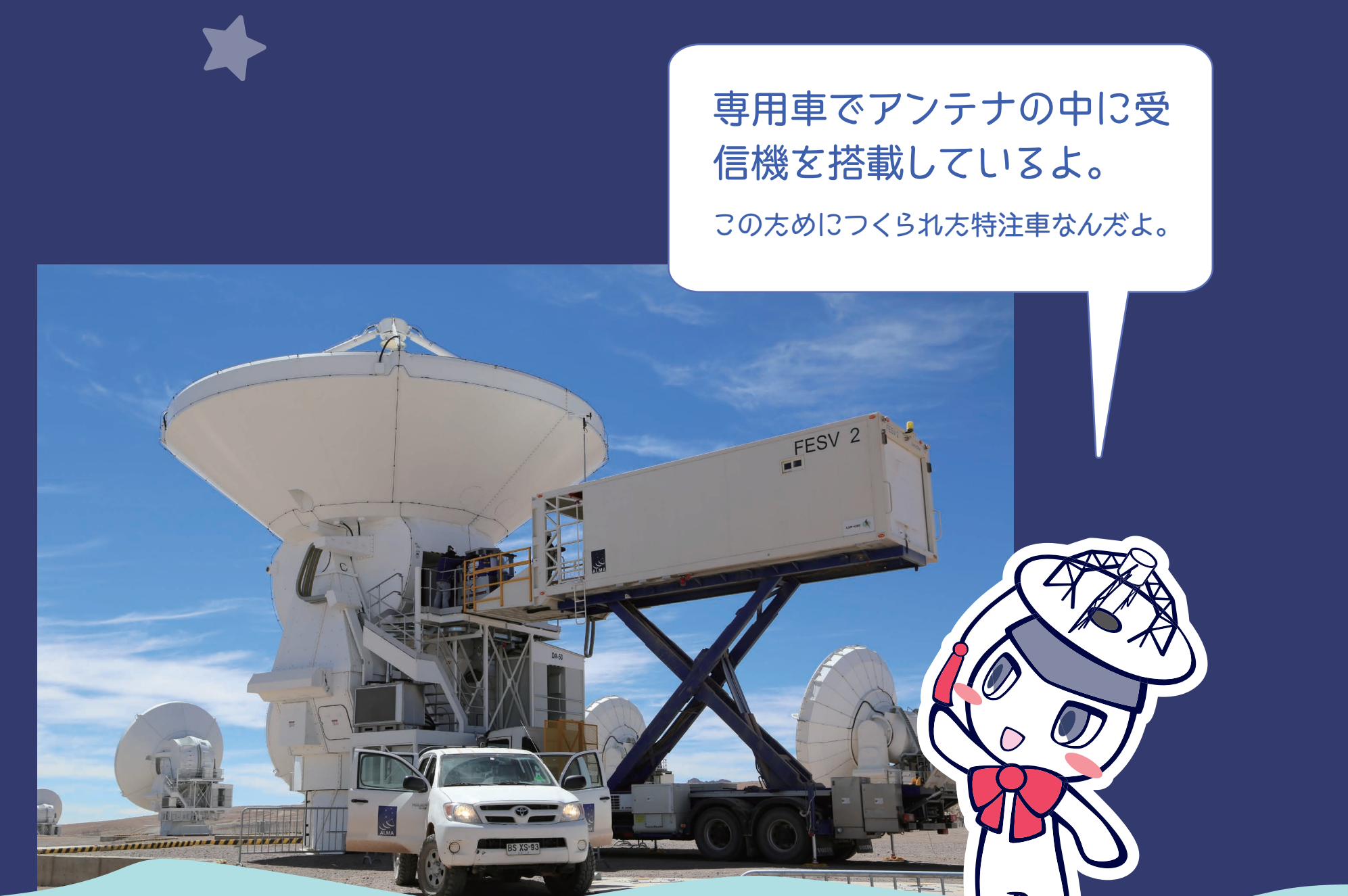
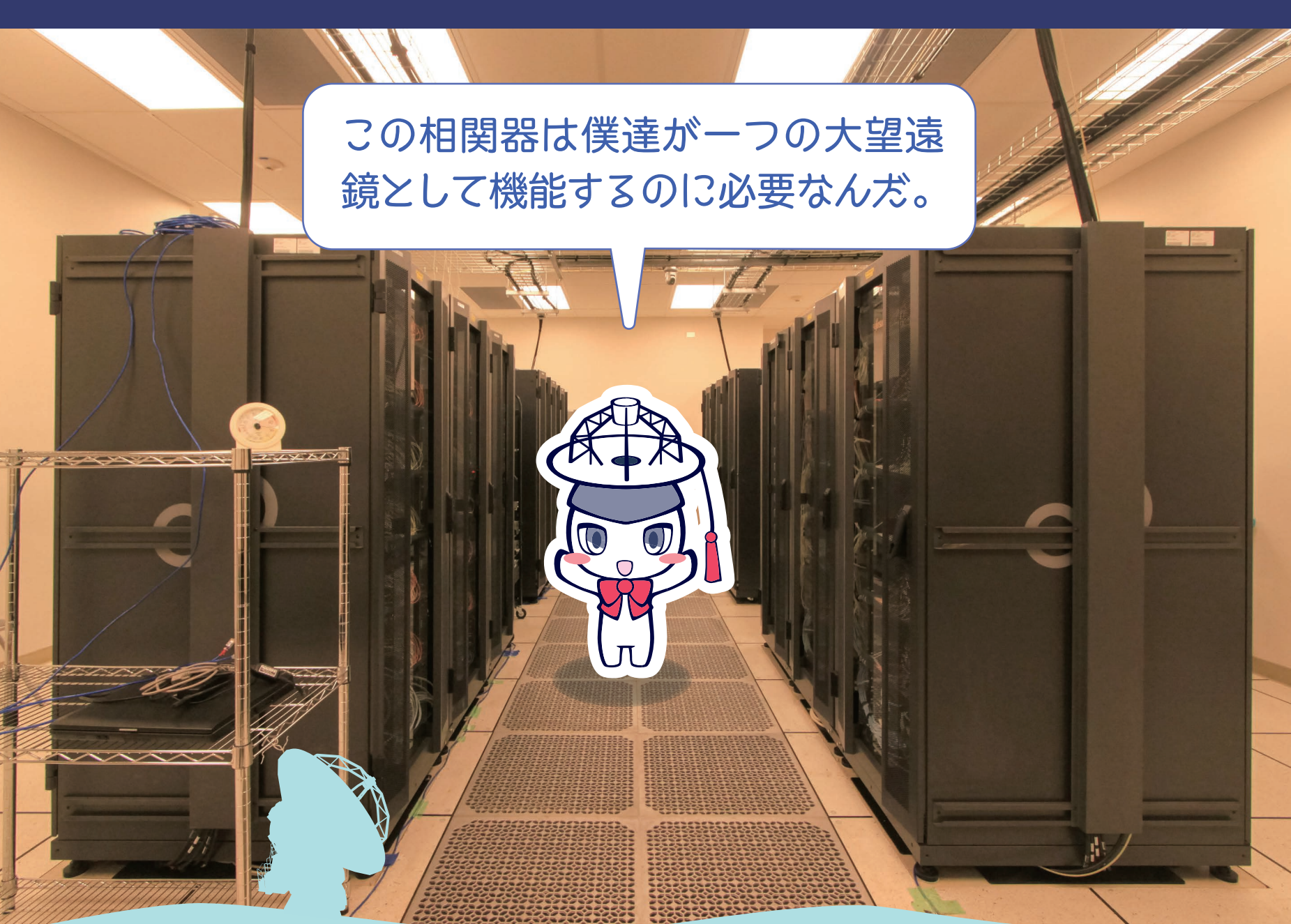
私たちが住む天の川銀河は、1千億の星の集まりです。宇宙にはこのような銀河が何千億個もあるといわれます。では、最初の銀河はいつどのように生まれ、どのように進化してきたのでしょうか？アルマ望遠鏡は、遠くの宇宙＝太古の宇宙を観測し、銀河の誕生と進化の謎に迫ります。

惑星系誕生の謎

太陽系はどのように生まれたのでしょうか？ 数多く見つかった太陽系外惑星は、どのように作られたのでしょうか？アルマ望遠鏡は高い解像度で若い星のまわりを観測し、惑星系誕生の現場を電波写真に撮ることによって、太陽系のルーツをも明らかにしようとしています。

物質進化の謎

地球生命の材料であるアミノ酸は、宇宙に存在するのでしょうか？ 存在するとしたら、どの星のまわりにもあるのでしょうか？ それとも珍しい存在なのでしょうか？アルマ望遠鏡は、アミノ酸やさまざまな有機分子が放つ電波を宇宙に探し、生命の起源と宇宙のかかわりに迫ります。



アルマ望遠鏡のテクノロジー：アンテナ・受信機・相関器

4種類のアンテナ

アルマ望遠鏡は、参加各国が分担してアンテナの開発・製造にあたったため、形が違う4種類のアンテナ（口径12メートル3種類、口径7メートル1種類）があります。

アンテナに求められる性能

アンテナは、目標の天体に狙いを定め、そこからやってくる電波を集める役割を持ちます。このため、精密な制御と滑らかな鏡面が必要になります。

日本製アンテナは、アンテナを動かす部分に磁石の力を利用したリニアモーターを採用しています。高速でアンテナを動かすことができるため、目標天体の切り替えをすばやく行うことができます。また歯車などのかみ合わせがないため、非常に滑らかに騒音も少なく天体を追いかけることができます。

電波を正確に焦点に集めるため、アンテナの表面はなめらかでなくてはなりません。アルマ望遠鏡のアンテナは、表面の凹凸が25ミクロン（髪の毛の太さの約1/3）以下という高い精度を実現しています。これは、12メートルのアンテナを東京ドームの大きさに広げたとしても、0.5ミリメートルの凹凸しかないことに相当します。

超高感度受信機

アンテナで集められた電波を電気信号に変換するのが「受信機」の役目です。アルマ望遠鏡は周波数31GHzから950GHzまでの観測周波数帯を10に区分し、それぞれ専用の受信機で受信します。日本は、国立天文台先端技術センターがバンド4・8・10の3種類の受信機の開発と製造を担当しました。これらの受信機は飛行機でチリに送られ、アルマ望遠鏡山麓施設での性能試験を経てアンテナに搭載されています。

相関器（信号処理専用計算機）

たくさんのアンテナで受信された信号を合成し、アルマ望遠鏡を一つの巨大な望遠鏡として機能させる役目を持つのが「相関器」です。各アンテナから光ファイバーで送られてきた信号を処理して、天体の明るさや位置、動く速度などの情報を引き出します。日本が開発したモリタアレイ用相関器は、処理速度が1秒間に120兆回という世界第一線の計算速度を持つ専用コンピュータで、モリタアレイの16台のアンテナから送られてくる毎秒1.5テラビットのデータを処理します。米欧製の50台の12メートルアンテナからくる信号は、北米が開発した別の相関器で処理されます。



アルマ望遠鏡を使う：観測の流れと研究支援体制

🔴 アルマ望遠鏡を用いた観測の流れ

アルマ望遠鏡の観測は、1年を基本単位（サイクル）として、下の1～7のような流れで進んでいきます。

🔵 1 観測提案募集のアナウンス

合同アルマ観測所（JAO）が、次のサイクルに実行する観測を募集します。望遠鏡の性能や実行可能な観測についての情報が公開されます。

🔵 2 観測提案の提出

世界各地の研究者が、募集要項に沿って提案書を作成します。いかに面白い研究テーマを考え簡潔にまとめるか、研究者間の厳しい競争です。

🔵 3 観測提案の審査

世界中から選ばれた約150名の研究者が審査員となり、提出された提案書を審査します。審査結果をもとに順位表が作られ、次のサイクルで実行される観測が決まります。

🔵 4 観測指示書の準備

実行が決まった観測に対して、望遠鏡をどのようにセッティングしどう観測するかを記した「観測指示書」を各研究者が作成し、アルマ地域センター（ARC）を通してJAOに提出します。

🔵 5 観測

JAOは観測スケジュールを作成し、観測指示書に従ってオペレータが観測を行います。観測提案者は観測には参加しません。ARCから「当番天文学者」が出張することもあります。

🔵 6 データ解析

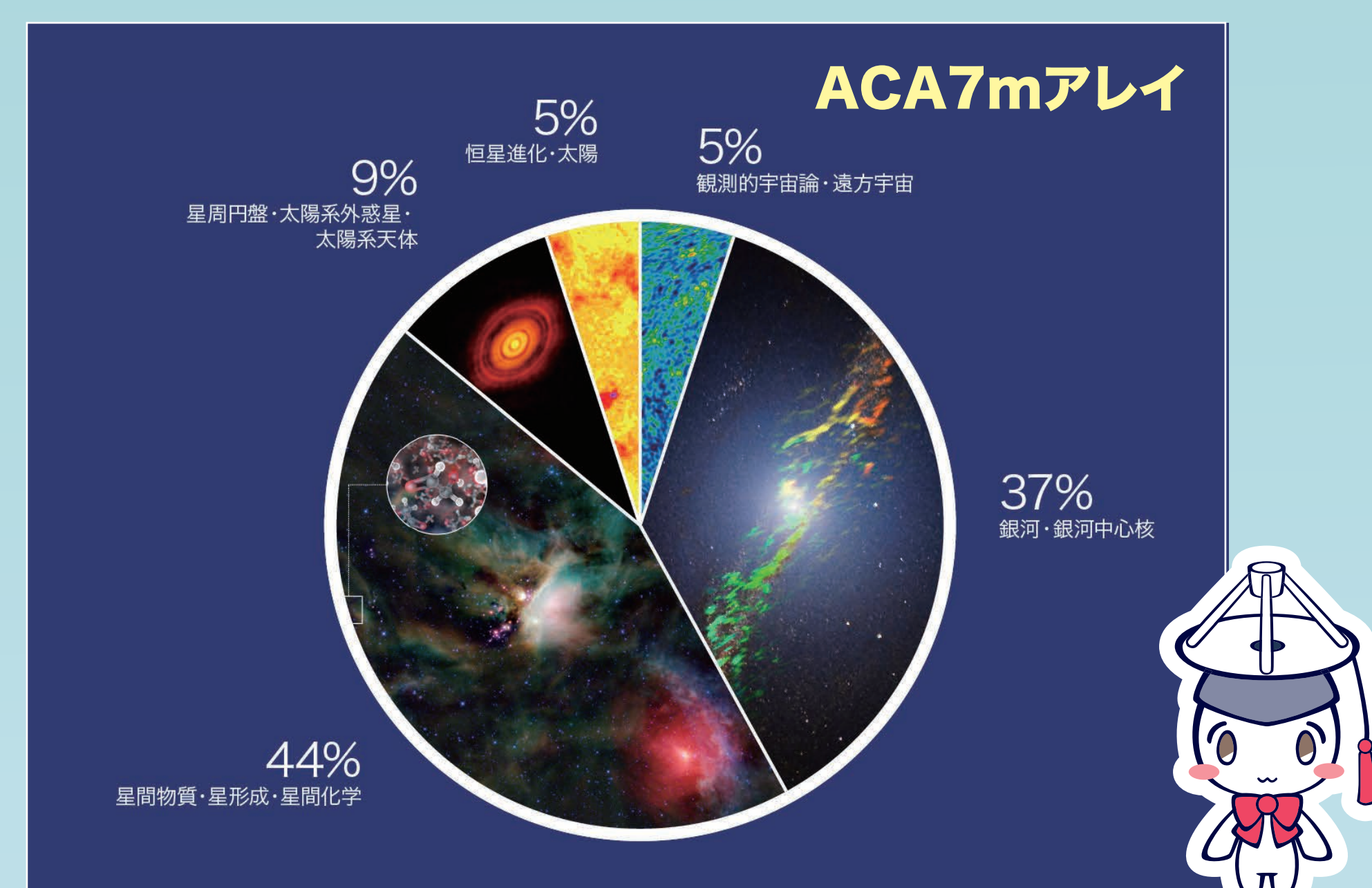
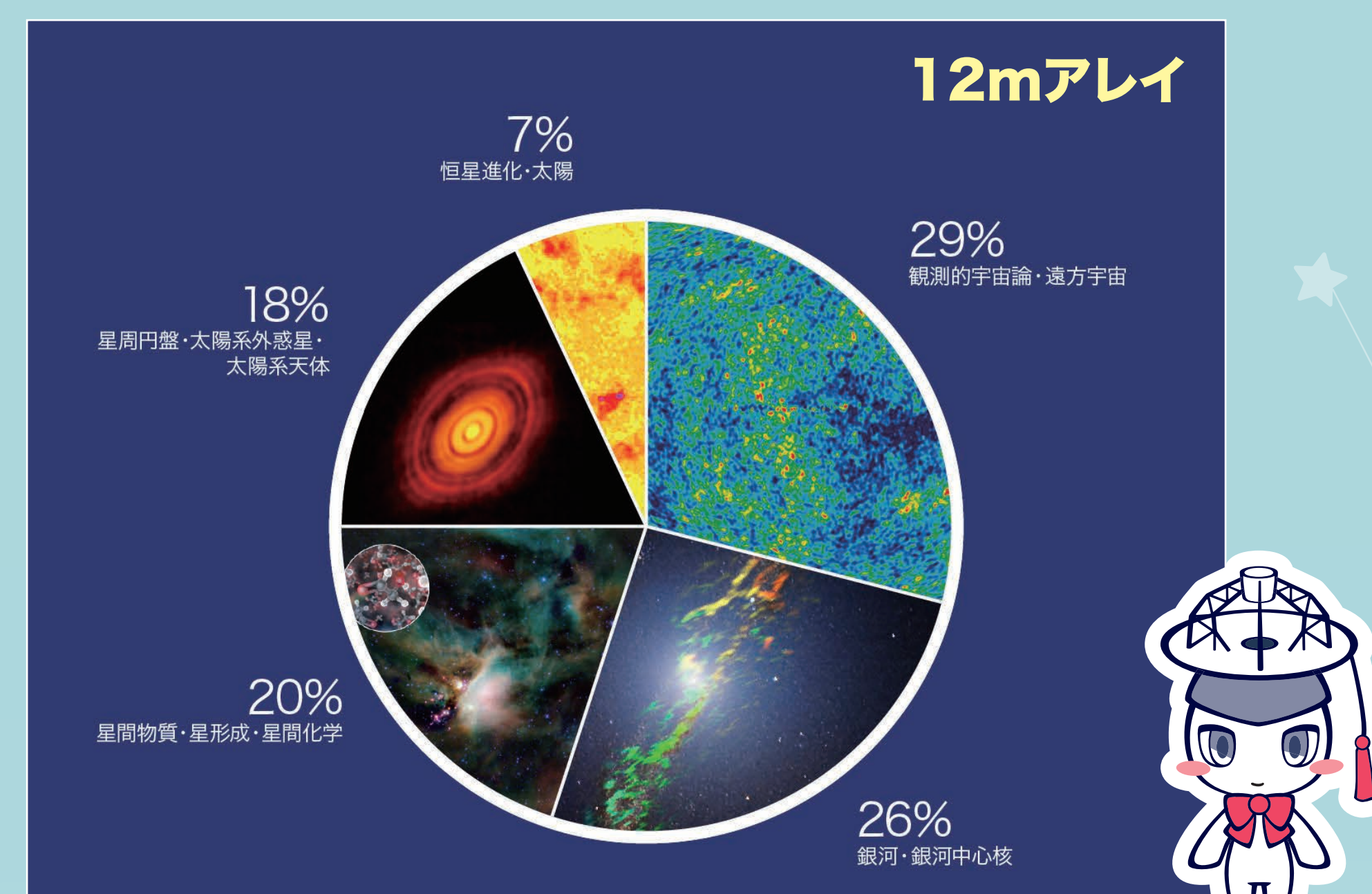
取得されたデータは、JAOとARCの研究者によって解析され、提案者が希望する感度や解像度が達成できているかどうかチェック（品質保証）します。

🔵 7 研究者による解析・論文化

品質保証が終わったデータが提案者に配布されます。提案者はこのデータをもとにさらに解析を行ったり議論を行ったりして、研究論文を仕上げます。

🔴 アルマ地域センターによる研究支援

アルマ望遠鏡を運用し研究を支援するのは、チリにある合同アルマ観測所（JAO）と、東アジア・欧州・北米にひとつずつ設置されたアルマ地域センター（ARC）です。東アジアARCは、国立天文台に設置されています。ARCに所属する研究者の重要な役割は、取得されたデータを解析し品質保証することです。そのほか各地域の研究者がアルマ望遠鏡を使ってよい研究ができるよう、研究会やデータ解析講習会などを企画するほか、研究に関する問い合わせ窓口（ヘルプデスク）として機能したり、コンピューティングチームと協力して必要なソフトウェアを開発したりします。



観測サイクル5（2017～18年）で採択された観測提案のカテゴリー別時間割り当て。

12mアンテナ43台以上からなる「12メートルアレイ（上）」と、日本が開発した直径7mアンテナからなる「ACA 7メートルアレイ（下）」のそれぞれにおける割り当て時間を示しています。

Credits: Composition: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO) | Background images: The Sun – ALMA (ESO/NAOJ/NRAO); CMB – NASA / WMAP Science Team; Astrochemistry – ESO/L. Calçada & NASA/JPL-Caltech/WISE Team; Centaurus A – ALMA (ESO/NAOJ/NRAO); Y. Beletsky (LCO/ESO); HL Tau – ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)





野辺山45m電波望遠鏡だよ。
45m先輩おさいな一。



アステ望遠鏡だ。
俺方ちと同じアタカマ砂漠に
いるんだぜ。
2004年からサブミリ波で観
測を始めち、大先輩なんだ。



小さいのが野辺山電波ヘリオグ
ラフだよ～。
ヘリオグ君、84人いるんだって！
ボクたちよりいっぱい！



野辺山ミリ波干渉計だよ。
ステーの形がミー（ヨー
ロッパ）のと似ているネ。



アルマ望遠鏡のテクノロジー：単一鏡と干渉計

望遠鏡の視力

望遠鏡は、大きければ大きいほど視力（分解能）が上がり、感度も高くなります。つまり大きな望遠鏡ほど細かくて暗い天体まで見えるということです。しかし、直径の大きなパラボラアンテナを作るには限界があります。そこで、ひとつの巨大なパラボラアンテナの代わりにたくさんのパラボラアンテナを並べ、受信した電波をコンピュータで合成することで全体をひとつの電波望遠鏡として使う、という方法が考えられました。これを「干渉計」と呼びます。

アンテナの間隔を広げることで、広がりと同じ直径の望遠鏡と同等の視力を得ることができます。

アルマ望遠鏡の他、長野県の野辺山にあるヘリオグラフやミリ波干渉計も、干渉計方式の望遠鏡です。

単一鏡と干渉計の使い分け

一般的に単一鏡より干渉計のほうが視力（分解能）が高いのですが、干渉計のほうがいつもすぐれているというわけではありません。

単一鏡は、短い時間で広い範囲を観測できるため、大きく広がった構造や天体の全体像を観測するときに力を発揮します。一方で視力が良い干渉計は、天体の細かい構造をズームアップして見ることができるため、特定の場所を詳しく調べるときに活躍します。ちょうどカメラの広角レンズと望遠レンズを使い分けるように、天文学者も研究のテーマや観測したい天体によって、単一鏡と干渉計を使い分けながら宇宙の謎を調べているのです。アステ望遠鏡や野辺山45m望遠鏡で空の広い範囲を観測して興味深い天体を見つけ、それをアルマ望遠鏡で詳しく観測する、という連携プレーが重要です。



つまり、
干渉計は望遠レンズで、
単一鏡は広角レンズ
という感じなのかな。



わら わら

