

# ALMAの紹介

立松 健一<sup>1</sup>

(要旨) 日米欧の国際プロジェクトとして建設中のALMAに関して、計画の概要と現在の進捗を説明する。日本は、全部で80台のアンテナのうち、16台(ACAと呼ばれる)を担当している。日本のアンテナ4台と北米のアンテナ5台が、既にチリ現地に設置されている。また、ACA用の相関器をチリ現地に設置完了した。2008年2月には米欧に先駆け、日本のアンテナを用いて、ALMAに納入されるアンテナとして初めて天体の電波写真の撮影に成功した。

## 1. はじめに

電波望遠鏡ALMAの正式名称は「アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計」である。長い名前なので、英語の正式名称Atacama Large Millimeter/submillimeter Arrayの頭文字をとってALMAという名前をつけた。ALMAは日米欧の国際プロジェクトとして、南米のチリに建設中であるが、チリの公用語であるスペイン語で、ALMAは魂という意味がある。われわれが、「魂」を込めて作る電波望遠鏡という気持ちを込めている。

ALMAが観測する電波の種類「ミリ波」「サブミリ波」というのは波長で分けた分類で、「ミリ波」は波長が1ミリ以上10ミリ未満の電波、「サブミリ波」は波長0.1ミリ以上1ミリ未満の電波である。「ミリ波」はたとえば国立天文台が運用している長野県八ヶ岳山麓の野辺山高原(標高1350m)にある45m電波望遠鏡でも観測することができる。一方、「サブミリ波」は最後の未開拓波長帯の一つと言われ、はじめての定常運用の地上望遠鏡がハワイのマウナケア山頂(望遠鏡の標高は4000m)で運用開始したのは約20年前であり、それも規模の小さなもの(15mの単一鏡と10mの単一鏡)であった。ミリ波サブミリ波の吸収は主に大気中の水蒸気による。サブミリ波では、この吸収を避けて観測するためには、最低でも標高4000m級、最適な観測のためには標高5000m級の高地に望遠鏡を建設する

必要がある。

非常におおざっぱに言えば、異なる電磁波を用いることにより、宇宙にある異なった温度領域を観測することができる。単純に黒体輻射を考えれば、可視光は温度数千Kに最も敏感であり、太陽のような大人の恒星を観測するのに適している。ALMAで観測するミリ波・サブミリ波は、数十K以下の冷たい天体を観測するのに最適である。ミリ波サブミリ波は、原始星、原始惑星、原始銀河の誕生という、我々の宇宙を構成する重要な天体の誕生を探るのに最も適した電磁波といえる。

ALMAの名前の「大型」は、その装置の大きさを表している。全部で80台のパラボラ・アンテナを山手線サイズの直径18kmほどの敷地に展開して観測を行う。望遠鏡の分解能(角度)は観測波長に比例し、実質的口径(望遠鏡の大きさ)に反比例する。ミリ波サブミリ波の電波は、可視光よりも波長が3桁強長い。ALMAはパラボラ・アンテナを展開する敷地を大きく取っているため、「ハッブル宇宙望遠鏡」や補償光学をつけた「すばる望遠鏡」に比べても10倍高い解像度を達成でき、その最高分解能は0.01秒角にも達する。直径18kmのパラボラ・アンテナに匹敵する分解能を持つ。18kmのパラボラ・アンテナは作ることができないが、18kmの敷地に多数のパラボラ・アンテナを展開し、適宜アンテナの配列を移動しながら、アンテナの信号を相関させることにより、18kmのパラボラ・アンテナと実質的に同じ分解能を達成するのである。

1. 国立天文台 ALMA 推進室

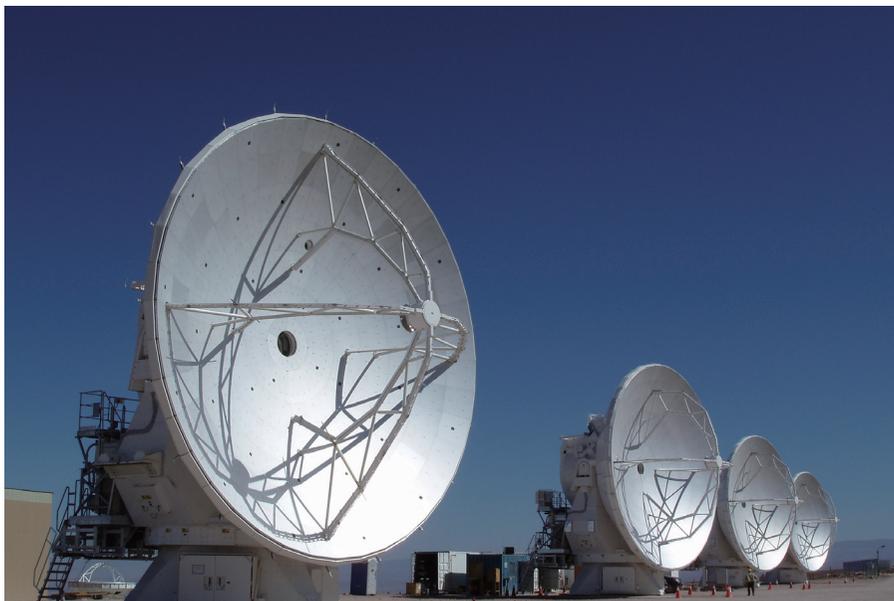


図1：チリ現地山麓施設(標高2,900m)に設置された4台のACA用12mアンテナ(平成20年3月撮影)

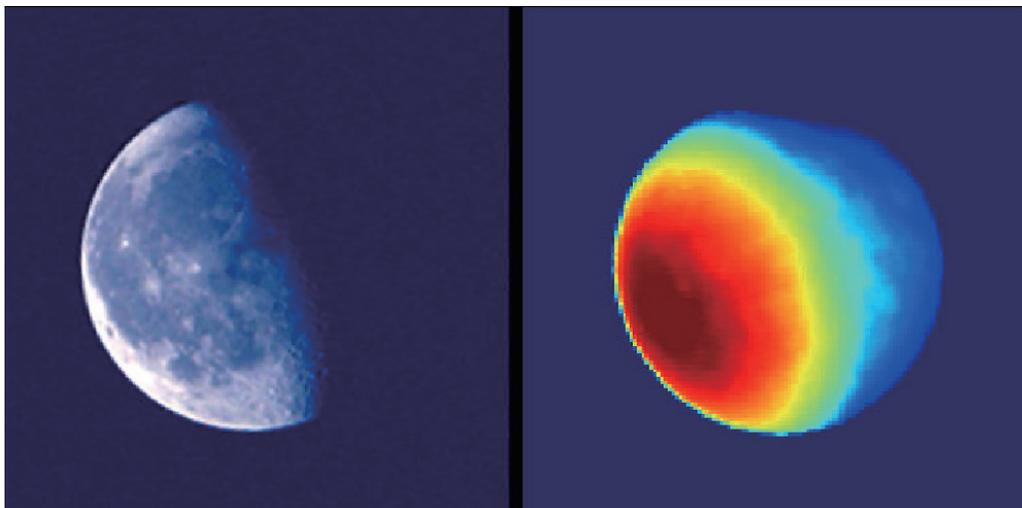


図2：2008年2月に撮影された月の電波写真(右)。左は、デジタルカメラで撮影した可視光での月。

日本のグループは、ALMAの観測場所として、ハワイ、中国、インドも含めて候補地を調べた。そして、南米チリにとってもいい場所があることを世界に先駆け、見つけ出した。

チリには、標高5000mの非常に平らな場所があり、また、アクセス、治安が良いことも好適であった。また、南米の国々の中でもチリは教育レベルが高いことも、ALMAの運用のために2百数十人規模の現地職員を雇うという観点では、好ましい点であった。

日本の国立天文台はALMAのもととなる大型ミリ波干渉計計画を米欧とは独立に早くから構想していた(LMA計画、1983年)。ほぼ同時に米国がミリ波干渉計MMA計画(1983年)を構想した。日本では、サブミリ波観測の重要性をいち早く指摘しLMA計画をLMSA計画と発展させた(1987年)。ヨーロッパでは1995年にミリ波中心のLSA計画が立案された。日本は、サブミリ波が観測でき、大型干渉計が展開できるサイトの最適地を米欧に先駆け発見する(1992年)など

現地調査をリードした。3つの計画には、装置面および科学目標に共通部分もあり、日米欧で合同で1つの電波望遠鏡を建設しようということになった。米欧は2002年から建設計画が開始されたが、日本は残念ながら予算化が2年遅れ、2004年からの参加となった。日本の建設の推進主体は国立天文台であり、北米、ヨーロッパはそれぞれ米国国立電波天文台(NRAO)、ヨーロッパ南天天文台(ESO)が推進主体となっている。予算的には、日本が25%分担であり、米欧それぞれが37.5%分担である。

## 2. 装置の概要

ALMAは、80台のパラボラアンテナで構成され、日本のアンテナが16台、米欧のアンテナがそれぞれ32台ずつである。米欧のアンテナはすべて口径12mであり、干渉計モードで運用される。日本のアンテナは、アタカマ・コンパクト・アレイ(ACA)と呼ばれ、12mアンテナ4台と7mアンテナ12台で構成される。12mアンテナ4台は、主にシングルディッシュ(単一鏡)モードで運用され、7mアンテナ12台は干渉計モードで運用される。同一口径の素子アンテナでの干渉計型電波望遠鏡では、取得できる空間周波数に制限がつく。ACAにより、米欧のアンテナだけでは達成できない、品質の高い(空間ダイナミックレンジの高い)電波画像の取得が初めて可能になる。米欧アンテナには米欧アンテナ用の相関器があり、ACA用にはACA用相関器が主に使われる。ACAのアンテナ16台とその相関器を合わせてACAシステムと呼ぶ。

ALMAでは当初、31.3 GHzから950GHzの大気窓(大気による吸収をあまり受けない部分)をカバーする10の周波数バンドを検討していたが、予算などの都合もあり、まず、7つの周波数バンドを製造することになった。米欧がそれぞれ2バンドずつに対して、日本は3バンドを担当している。日本が特に重視するサブミリ波帯の3バンドに関しては、日本は2バンドを担当し、かつ最高周波数のバンド10(787-950GHz)を担当している。建設における日本の分担は、アンテナ製造、相関器製造、受信機製造、現地インフラ分担、ソフトウェア開発、などである。



図3：山頂施設(標高5000m)に設置されたACA用相関器。

## 3. 進捗状況

2007年度末までに、ACAのうち12mアンテナ4台のすべての製造が終了し、チリ現地の山麓施設(標高2900m)に設置されている(図1)。現在、組み上げ調整試験の最中であり、2008年2月にはその一環として、アンテナ1台を使用して月の電波写真の撮影に成功した(図2)。これば、ALMAに納入されるアンテナの天体からの電波写真としては、日米欧で初めてのものであり、建設開始では2年遅れた日本であるが、ある面では日本がフロントランナーとなっている。

北米のアンテナは現在5台チリ現地に到着している。ACA用相関器に関しては、2007年夏に国立天文台三鷹に仮設置され、機能のチェックが行われた。その後、チリに輸送され、2007年12月には山頂施設(標高5000m)に設置された(図3)。これは米欧用相関器に先んじるものである。

2008年度初めには、ACAの残りの7mアンテナの製造契約を完了し、現在、設計・製造が鋭意行われている。

受信機は、各アンテナに1つずつ受信機デュアラーがのり、そこに10本の各受信機バンド・カートリッジ用の穴が「蓮根」のように開いている。カートリッジを挿入して絶対温度4K程度に冷却され超伝導受信機として機能する。日本は受信機開発においては、バンド4(125-163GHz)、バンド8(385-500GHz)、バンド10



図4：バンド8受信機カートリッジ

(787-950GHz)を担当している。図8にバンド8のカートリッジを示す。バンド4、およびバンド8は、基本設計審査会(Preliminary Design Review)が終了し、受信機カートリッジの量産体制に入っている。ALMAでの最高周波数にあたるバンド10の開発は、受信機の開発の中で最も難度が高い。受信機の素子としては、超伝導素子を用いるが、周波数が700GHz以下であれば材料としてニオブが使用できる。周波数が700GHz以上では、ニオブのエネルギーギャップを超えるため、別の材料を使用しないと性能が出ない。窒化ニオブ・チタンという新しい材料を使って、バンド10において世界最低雑音温度を達成している。2008年2月には基本設計審査会に合格している(図5)。



図5：バンド10基本設計審査会(2008年2月)。説明するのは、バンド10開発チーム・リーダーの鶴澤佳徳氏。

## 4. 今後のスケジュール

現在、サブミリ波で世界最強の干渉計は米国ハーバード・スミソニアン研究所と台湾ASIAAがハワイ・マウナケア山頂で運用しているSMA(Submillimeter Array)であり、6 mアンテナ8台で構成される。ALMAは12mアンテナが6台そろえば、SMAの性能をはるかに凌駕する。全部のアンテナが完成する前でも、一部のアンテナを使って部分運用することがALMA全体で取り決められており、2010年から、アンテナの台数は少ないが共同利用の枠組みで始める「初期科学運用」が開始される予定である。全アンテナを用いた本格運用は2012年より開始される予定である。

## 5. 最後に

計画の概要と建設の進捗について簡単に説明した。ALMAの共同利用観測については稿を改めてご説明したい。