

アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計
Atacama Large Millimeter / submillimeter Array

暗黒の宇宙を電波で拓くアルマ

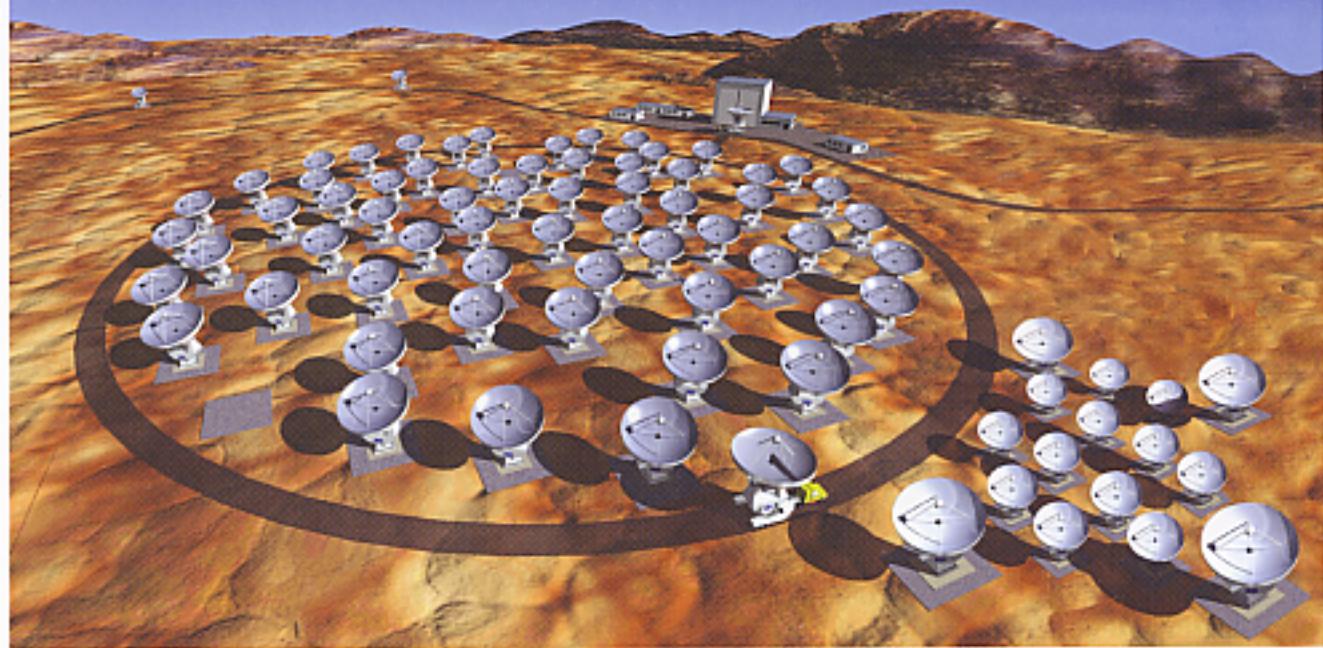
ALMA



完成予想図（合成写真）

文部科学省 国立天文台

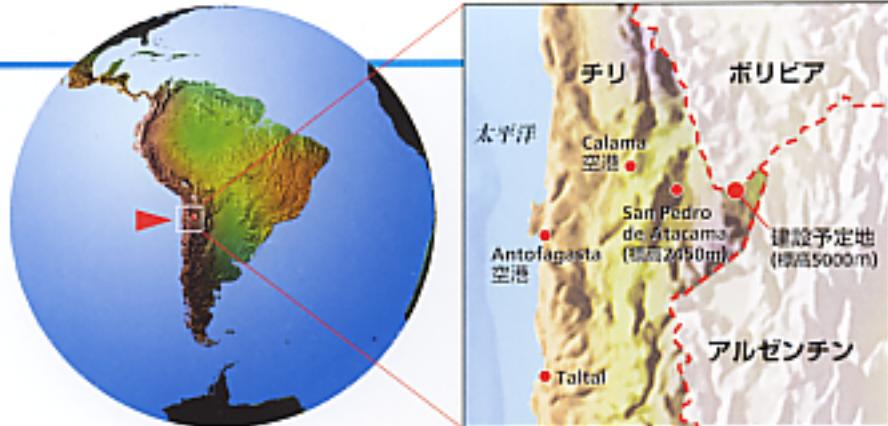




アルマは、日本・北アメリカ・ヨーロッパの諸国が協力して、チリ・アンデス山中の標高5000mの高原に建設することを計画している、アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計(Atacama Large Millimeter/submillimeter Array)の略称です。直径12mの高精度アンテナ64台と「ACAシステム」と呼ばれる超高精度アンテナ16台からなる、全部で80台のアンテナを干渉計方式で組み合わせ、ひとつの巨大な電波望遠鏡を合成します。電波の中で最も波長が短く、最高の周波数帯である「ミリ波・サブミリ波」を使って、ビッグバン後間もない宇宙初期における銀河の誕生、今も続くさまざまな惑星系の誕生、そして生命につながる物質の進化を解き明かします。

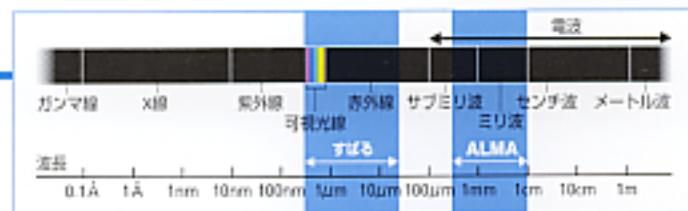
宇宙に一番近い場所

ALMAの設置場所は、チリ共和国北部にあるアタカマ砂漠に近い、アンデス山中の標高約5000mの高原です。世界の候補地を詳しく調査・比較した結果、乾燥した気候、高い標高、平坦な地形、そして安全で容易なアクセスという条件を満たす、この土地が選ばれました。

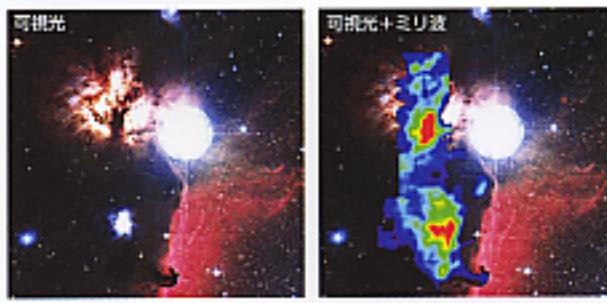


光の宇宙と闇の宇宙

宇宙の天体は、その温度に対応して、さまざまな波長の電磁波を放ちます。すばる望遠鏡をはじめとする光学望遠鏡では、数千度の星や銀河などが放つ可視光や赤外線(波長1/1000mm前後)をとらえています。それに対してALMAでは、波長が3桁も長いミリ波やサブミリ波(波長0.3-10mm)という電波を観測することで、温度が低いために光では見ることのできない、星や銀河の材料物質の姿をえがき出します。

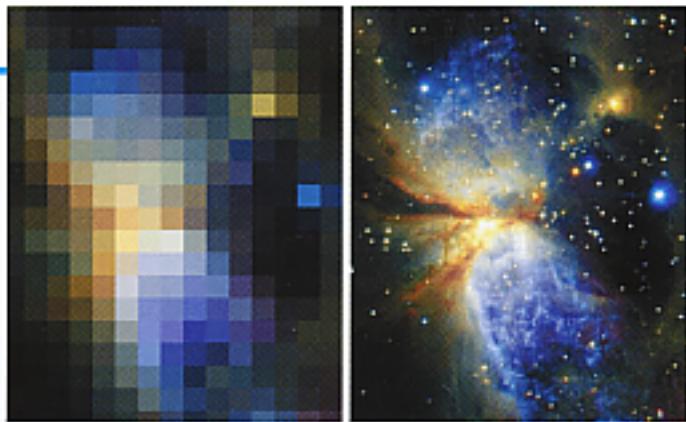


可視光で見た馬頭星雲(左)と、同じ領域をミリ波で見た画像(右)を比べると、可視光では暗く何もないように見える領域で、強い電波(赤)が観測されていることが分かります。光では見えない闇の中に、星や銀河の材料となる低温の星雲物質がひそんでいるのです。
(野辺山宇宙電波観測所の45m電波望遠鏡による観測)



驚異の解像力

ALMAでは、合計80台の超高精度アンテナを干渉計方式で組み合わせ、ひとつの巨大な電波望遠鏡を合成します。これらのアンテナを最大14kmの範囲（東京の山手線程度の広がり）に展開することで、すばる望遠鏡やハッブル宇宙望遠鏡の10倍に相当する解像力（人間の視力に相当する、細かいものを見分ける能力）を実現します。これは、大阪に落ちている1円玉を東京から見分けられるような驚異的な解像力です。また、アンテナを必要に応じて移動させることで、超望遠モードから高感度モードまで、観測対象に合わせて最適なモードで観測することができます。

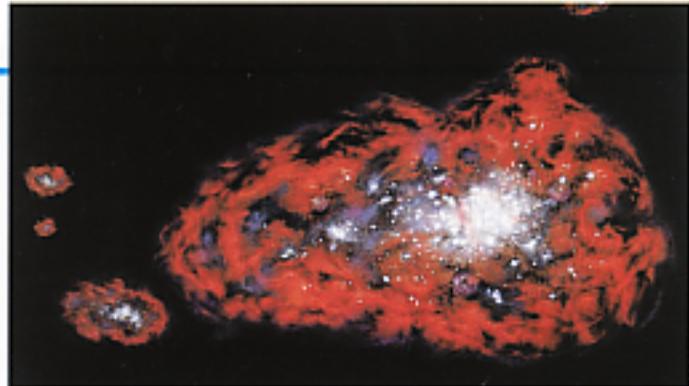


従来のミリ波干渉計では構造がよく分からない天体（左）でも、解像力が大幅に向上するALMAでは天体の構造をはっきりとえがき出すことができます（右）。
（すばる望遠鏡の赤外緑色像によるシミュレーション）

ALMAでえがく暗黒の宇宙

銀河の誕生をさぐる

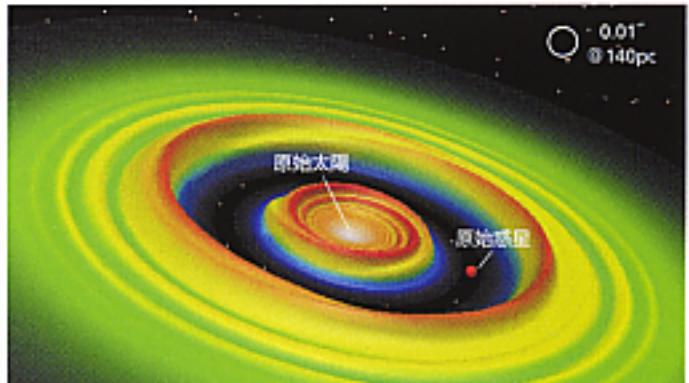
ALMAは、140億光年彼方を観測することで時 の流れをさかのぼり、140億年前の「宇宙の夜明け」の時代にある、生まれたての銀河の姿をえがき出します。銀河系が生まれ、その中で太陽や地球が生まれ、さらにその中で私たち生命が育まれました。生命誕生に至る一連の長い旅の出発点に、ALMAは挑もうとしています。



生まれたての銀河の想像図。© Newton Press／吉原成行

第二の太陽系はあるか

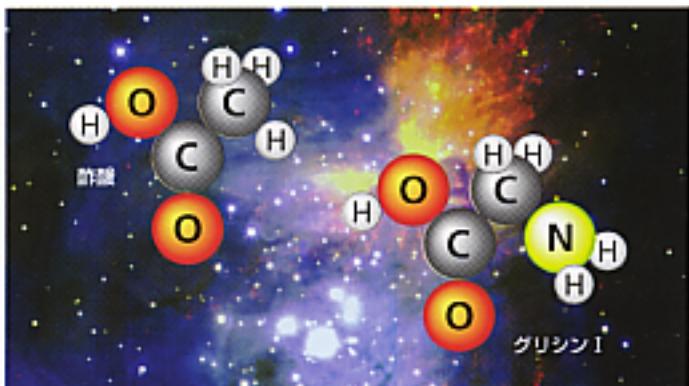
地球などの惑星は、ガスと塵からなる原始惑星系円盤の中で生まれたと考えられています。ALMAは、別の惑星系が生まれるようすをえがき出し、太陽系がどのようにして生まれたのか、また太陽系によく似た「第二の太陽系」はあるのか、といった謎を解き明かします。



原始惑星系円盤の想像図。木星軌道に木星質量の原始惑星があった場合、原始惑星系円盤が潮汐力によってどのような影響を受けるかをシミュレーションしています。
© Bryden 1999

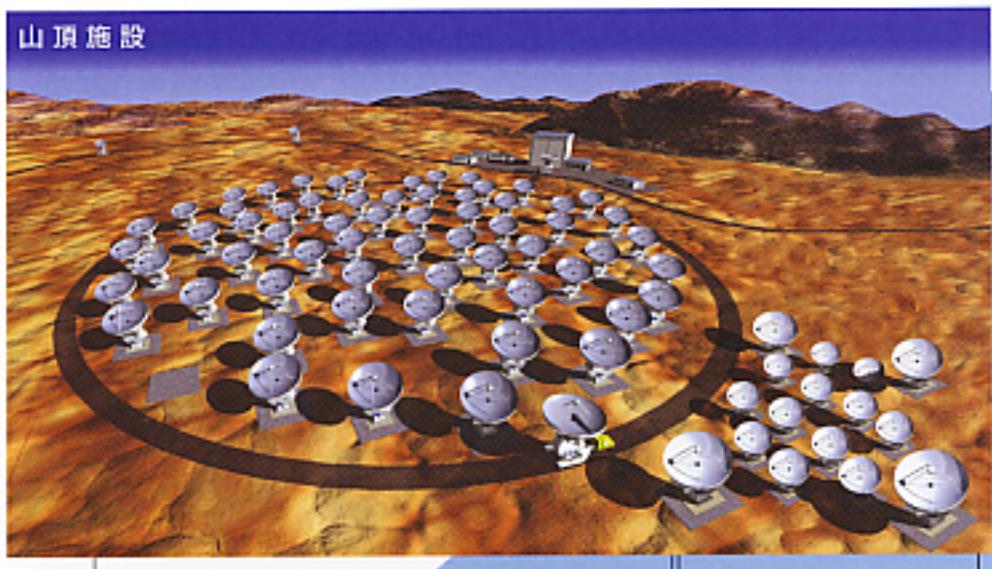
宇宙物質の進化を追う

電波の観測を行うことで、宇宙空間にある物質の成分と量を測ることができます。ALMAでは、アミノ酸などの生命関連分子を含む複雑な分子を探査して、ビッグバンから生命に至る物質の進化を解き明かします。



幅広い学問分野にインパクト

ALMAによる観測対象は非常に幅広く、その学問的インパクトは天文学にとどまらず、惑星科学、物理化学、そして場合によっては生命科学にも及ぶと期待されています。

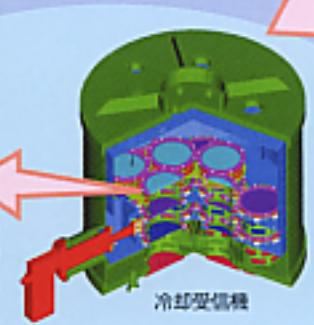


直径12mの高精度アンテナ
64台からなるシステム

ACAシステム
直径7m 12台と直径12m 4台の超
高精度アンテナからなるシス
テム。天体の強度や広がりを正確に
とらえ、ALMAのイメージング能
力を飛躍的に向上させます。



大阪府立大学で開発された
バンド4受信機カートリッジ



2 電波を受信する

超伝導素子を用いて雑音を理論的限界近くまで抑えた超高感度受信機で、1THz
(テラヘルツ)に迫る超高周波の微弱な
電波信号を高感度で受信し、扱いやすい
低周波に変換して増幅します。
(ITは10の12乗)



新しい受信機バンド

ALMAには10の受信機バンドが設定され
ています。日本は、「サブミリ波天文学
のフロンティア」を開拓するために不可
欠な超高周波数の「バンド10」(786-
950GHz)と「バンド8J」(385-500GHz),
そしてミリ波の星間有機分子シグナルの
宝庫「バンド4」(125-163 GHz)の受
信機を製作し、ALMAの全アンテナに搭
載します。

3 受信信号を光で送る

増幅された超広帯域信号をデジタル
信号に変換し、光ファイバを用いて
6Tbps (テラビット毎秒)という高
速度で最長25kmの距離を安定に伝
送します。

(ITは10の12乗。bpsは伝送速度を示す単位で、1
秒間に送ることができるビット数を表す。現在の
ADSLは最大12Mbps (ITは10の6乗)。)

光ファイバ

高分散相関器

ALMAのアンテナがとらえた信号を超高速
で干渉させるデジタル装置。ALMA全体シ
ステムの感度を高めるとともに、銀河の誕
生や生命関連物質をさぐる信号分析能力を
2桁近くも向上させます。



超広帯域相関器用LSI

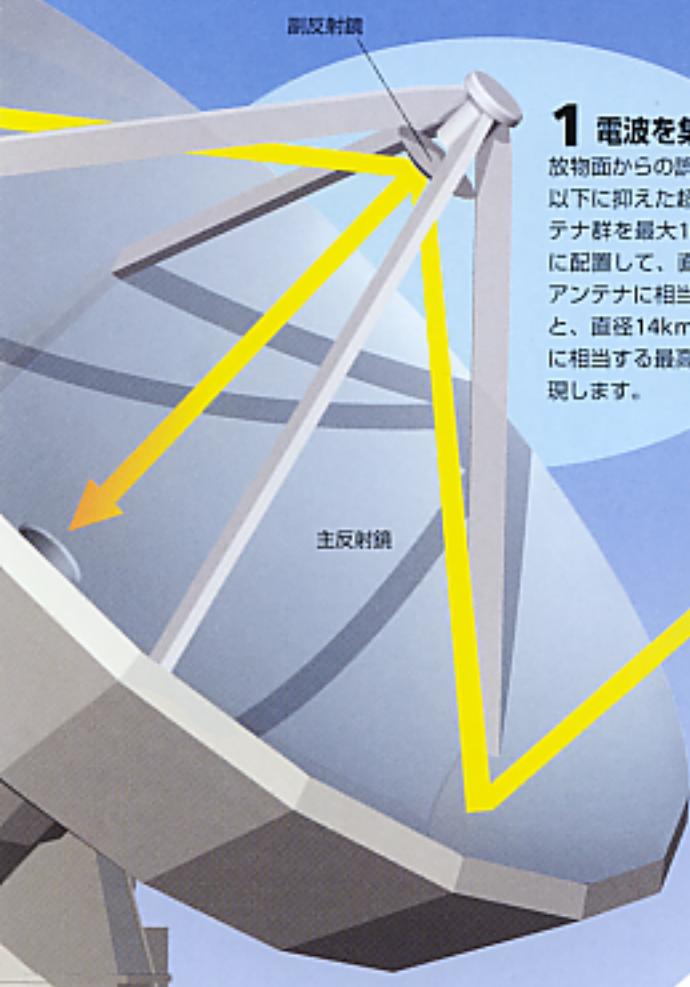
4 信号を干渉させる

各アンテナからの広帯域デジタル信号を
300Tflops (テラフロップス)という超高速
で相関処理し、天体の明るさや位置・速
度に関する情報を引き出します。

(ITは10の12乗。flopsは計算機の処理速度の単位。2002年
時点での世界最高速のスーパーコンピュータの能力は
27Tflops)



アルマ ALMAはどのようにして暗黒の宇宙をえがき出すのか



山頂施設

1 電波を集める

放物面からの誤差を $20\mu\text{m}$ 以下に抑えた超高精度アンテナ群を最大14kmの範囲に配置して、直径100mのアンテナに相当する集光力と、直径14kmのアンテナに相当する最高解像度を実現します。

5 画像を合成する

1年間で数PB（ペタバイト）にも及ぶ膨大な量の観測生データを蓄積するとともに、高速の計算機でデータを準実時間的に一次処理し、研究者が利用しやすい形式に変換してデータベース化を行います。

(Pは 10^12 の15乗。Bはデータ量の単位。)

ALMAに活き、ALMAから生まれる日本の最先端技術

世界最高のハイテク技術が惜しみなく注ぎこまれるALMAでは、日本がもつ高い技術の貢献が世界から期待されています。日本が製作する装置群には、ACA（アタカマコンパクトアレイ）システム、新しい受信機バンド、高分散相関器などがあります。さらに、これらの装置の運用やメンテナンスのための施設、そして日本および近隣諸国の大い分野の研究者がALMAの優れた能力を100%引き出すための観測研究支援施設を建設します。

ALMAの実現は、天文学以外に予想もしなかったブレークスルーをもたらす、新しい技術を生み出す絶好的のチャンスでもあります。特に、医療応用も可能なサブミリ波技術、超高速データ送信を可能にするプロードバンド通信技術には、大きな技術的・経済的波及効果が期待されています。

6 観測データや画像を利用する

日本ALMA観測センター



サンチャゴ連絡室

日本のミリ波サブミリ波天文学の歴史と成果

1982年に開所した野辺山宇宙電波観測所の大型電波望遠鏡群は、原始惑星系円盤やブラックホールを発見するなど、日本の電波天文学の研究レベルを一躍世界トップの座に押し上げました。それと同時に大学でも、工夫を凝らした中・小口径の電波望遠鏡が作られました。一部の望遠鏡はチリへ移設され、ALMAを使った南天での研究のパイロット役を果たし、また富士山頂で活躍する小型望遠鏡は、サブミリ波天文学の最先端を切り拓いています。ALMAは天文学コミュニティからの広範な支持が得られており、計画の立案や推進にも大学等の研究者が深く関わっています。



1982年
野辺山宇宙電波観測所
45m電波望遠鏡、完成



1985年
野辺山宇宙電波観測所
サブミリ波干渉計、完成



1996年
名古屋大学4m電波望遠鏡
NANTEN チリに設置



1994年
東京大学60cm電波望遠鏡
VST2 チリに設置



1998年
富士山頂サブミリ波
望遠鏡、完成
(東京大学ほか)

日本
国立天文台
(1983年～)
大型ミリ波サブミリ波干渉計
(LMSA)計画
サブミリ波・超高分解能

1990

1990

アメリカ
国立電波天文台
(1983年～)
ミリ波干渉計(MMA)計画
広視野・高画質

1991

1991

1992

1992

1993

1993

1994

1994

1995

1995

1996

1996

1997

1997

1998

1998

1999

1999

2000

2000

2001

2001

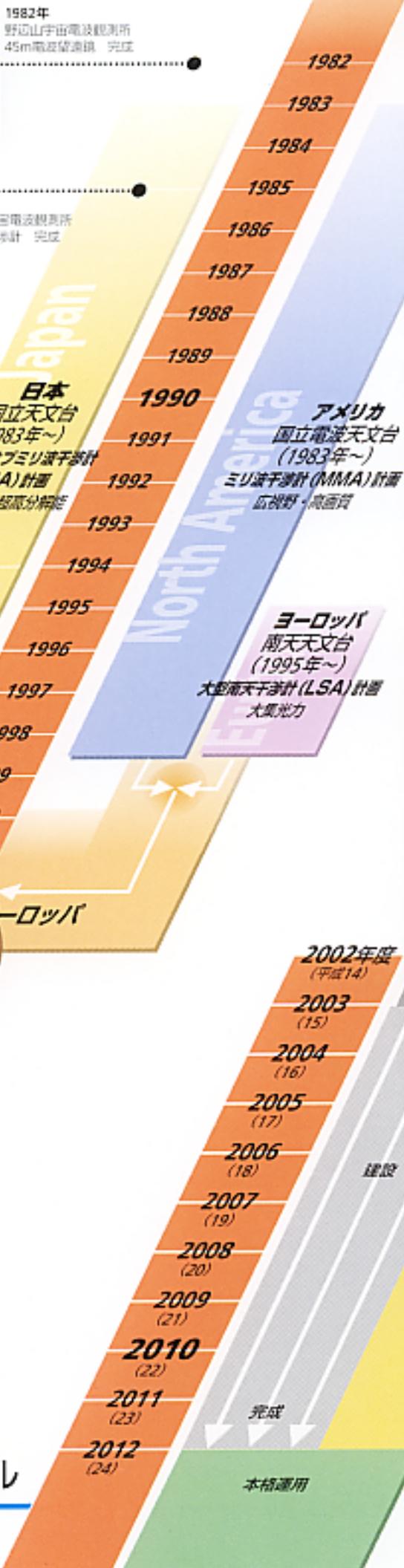
**日本・北アメリカ・ヨーロッパ
ALMA計画
(2001年4月)**

サブミリ波・超高分解能、
大集光力・高画質

競争から協力へ

ALMAは、日本・北アメリカ・ヨーロッパの参加によるグローバルプロジェクトです。世界の最先端技術を結集し、地球上で最高の観測条件をもつ土地に設置することで、人類が達成しうる最高の性能をめざします。ALMAは、それぞれの国や地域が独自に計画を実現して競争するのではなく、ひとつ一つの実験的な計画を国際協力で実現し、その大きな枠組みの中では互いに切磋琢磨するという、これから基礎科学研究プロジェクトのモデルケースとして各方面から注目されています。

ALMAの建設・運用開始スケジュール



ふくらむ国民の夢

2001年7月に国立天文台がインターネット等で呼びかけた、ALMA計画に賛同する署名は全国に広がり、9ヵ月で4万5千筆が集まりました。

<署名に添えられたメッセージから>

- ・僕は星を見るのが大好きな中1です。星を見るとなんとなく不思議な気持ちになり、わくわくしてきます。天文学の進歩のみならず、僕らの夢のため、ぜひALMAを実現させてください。10年後にALMAによって宇宙の不思議を知ることを楽しみにしています。
- ・夢見る天文少女が、子供をもって、おばさんになって、思ったことです。ALMAの実現は、ただ科学技術の向上に役立つだけのプロジェクトではないと思います。国が「未来」に対して前向きに取り組むことは、若者だけではなく多くの人々の視線を、上に、そして前に向かせることにつながると思います。あらゆる先端技術を使って挑む宇宙は、壮大な夢を秘め、人々がふと眺める癒しの星空でもあります。ALMAの実現は、今の時点では計算できないほどの、大きな意味をもっていると思います。
- ・国を越えて、大勢の人々が一緒に見られる壮大な夢！ 今のような時代には、それが必要だと思います。そして、ALMAこそ、人々の希望の源になるものだと思います。

国立天文台や大学の研究者を中心とする日本の電波天文学グループは、このようなミリ波天文学分野での先導性と研究成果の蓄積を背景に、ALMA計画の前身となる大型ミリ波サブミリ波干渉計（LMSA）計画を世界に先駆けて構想してきました。一方、アメリカではミリ波干渉計（MMA）計画が、またヨーロッパでもやや遅れて大型南天干渉計（LSA）計画がそれぞれ構想されました。これらの3計画が、統合されたALMA計画として、いま実現されようとしています。



講演会やイベントでいつも人気の「アルマちゃん」ぬり絵

2

アメリカ
建設開始

ヨーロッパ
建設開始

日本
建設開始

部分運用

科学コミュニティからの支持

- ・計画当初から国立天文台だけでなく大学等の研究者が計画立案に積極的に参画
- ・日本学術会議天文学研究連絡委員会が「21世紀に向けた天文学長期計画」でLMSA計画を勧告（1994年6月）
- ・国立天文台第三者評価委員会がLMSA計画についての調査研究を勧告（1997年11月）
- ・天文研連シンポジウム（2回）や日本天文学会のALMA特別セッション（7回）を通じて天文学コミュニティ全体としての合意を形成
- ・学術審議会総会においてALMA計画推進の報告（2000年12月）
- ・科学技術・学術審議会でALMA日本参加案の妥当性を承認（2003年1月）



星の灰が意識をもった

20世紀の科学は、私たちが「星の子」であることを教えてくれました。
星の中で作られ、星の灰となって宇宙に散った原子たちが、生命を誕生させ、
いま私たちの体となり脳となって、私たちの意識を宿しています。

意識をもった星の灰は、科学を創造し、自らの生い立ちをさぐります。

ALMAが、宇宙の暗黒時代に銀河の誕生をとらえ、
太陽系のとなりに今も誕生する惑星や生命の材料を見いだすとき、
私たち人類は、宇宙の生命としての自らの姿を再発見し、
文化の新しい高みに到達することでしょう。

日本、そして世界の科学は、21世紀ルネサンスをめざします。

ALMAの建設予定地Pampa La Bola高原を
科学保護指定地域の中央に位置する
Chacón山(標高約5800m)の中腹から望む。



●お問い合わせ先
**文部科学省 国立天文台
ALMA計画準備室**

〒181-8588 東京都三鷹市大沢2-21-1
phone: 0422-34-3843 fax: 0422-34-3764
e-mail: alma-info@nro.nao.ac.jp
URL: <http://www.nro.nao.ac.jp/alma/>