



科学技術・学術審議会 学術分科会  
学術研究推進部会

アルマ計画評価作業部会（第2回）

アルマ計画およびその進捗（補足説明）

自然科学研究機構 国立天文台

平成20年6月20日

# 第1回における意見・指摘等

- アルマ建設・運用の国際共同プロジェクトの中で日本の**プレゼンス**を明らかにすること
- 研究および技術における日本の**リーダーシップ**を明らかにすること
- 建設における課題を整理すること
- 他分野との連携を進める方策を示すこと
- **波及効果**を説明すること





# 説明資料の内容

|                  |    |
|------------------|----|
| ・ 日本のプレゼンス       | 4  |
| ・ アルマによる研究の拡がり   | 13 |
| ・ 建設における技術的課題と対応 | 15 |
| ・ 技術的波及効果        | 17 |
| ・ 運用経費           | 24 |
| ・ まとめ            | 26 |

# アルマ計画における日本のプレゼンス

- ・ 計画立案
- ・ 建設・運用体制
- ・ 建設・技術的内容
- ・ 研究目的
- ・ 観測運用

# 計画立案におけるプレゼンス



1. **大型干渉計**を米欧とは独立に早くから構想  
(日本:1983年、米:1983年、欧:1995年)
2. **サブミリ波観測**の重要性をいち早く指摘  
(日本:1987年)
3. **サイトの最適地**を米欧に先駆け発見  
(日本の調査開始:1992年)

# 計画立案におけるプレゼンス サブミリ波観測の提唱

サブミリ波観測の重要性、0.01秒角の天文学的重要性と  
技術的可能性を世界に先駆けて提唱

- サブミリ波の天体電波強度はミリ波に比べて高い
  - より暗い天体の観測が可能となり遠方銀河の探索へ
  - 高密度領域から発せられるサブミリ波により惑星形成の核心部分の観測が可能
- サブミリ波への展開により0.01秒角（大阪に落ちている1円玉が東京から見える解像度）が可能に

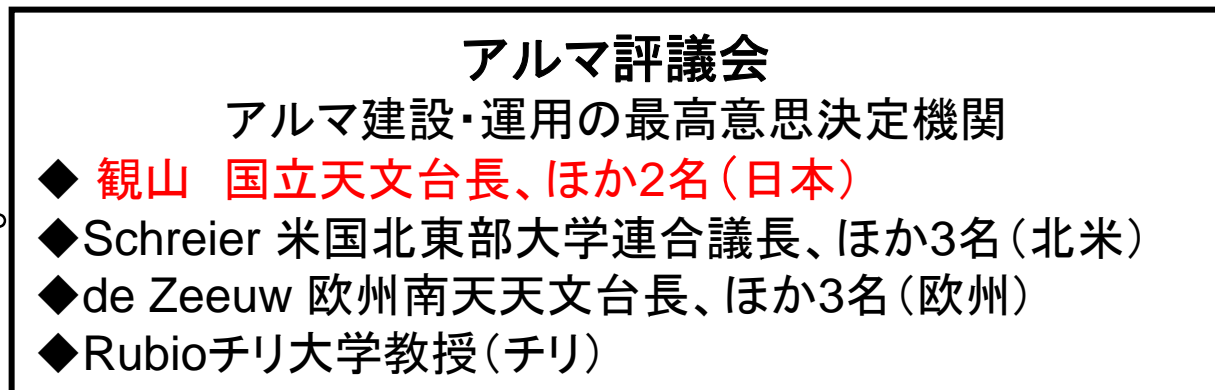
波長  $\lambda$

$$\text{解像度(角度)} \theta = \frac{\text{波長 } \lambda}{\text{望遠鏡の実質的口径 } D}$$



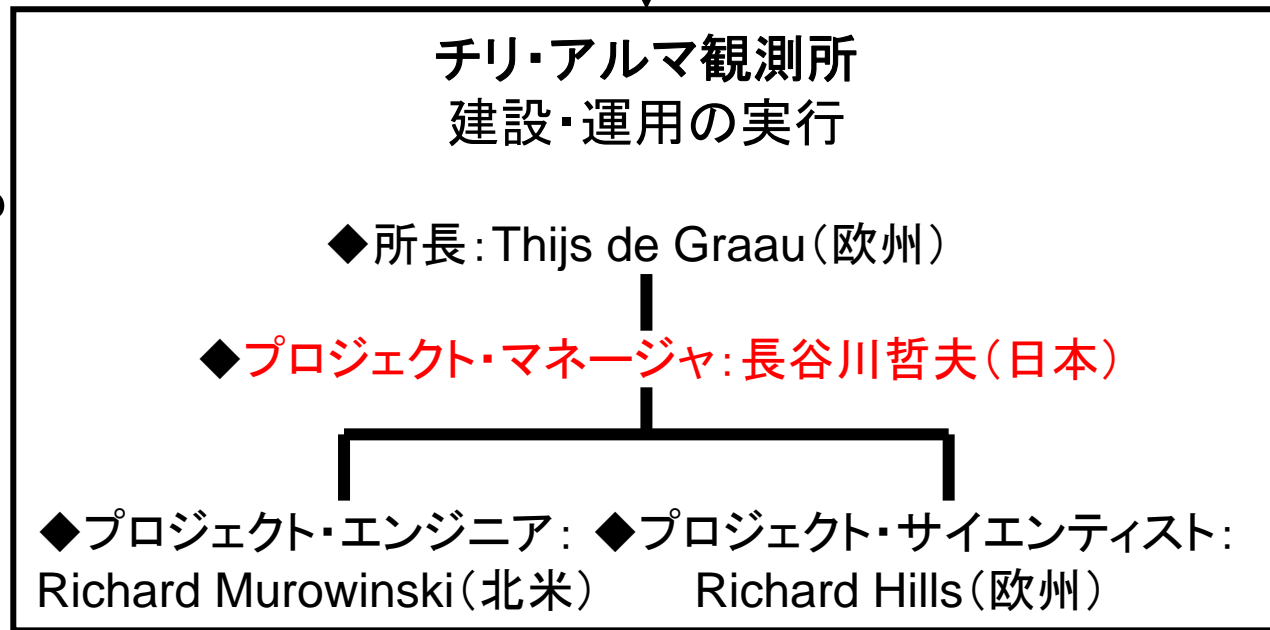
# 建設・運用体制におけるプレゼンス

最高意思決定機関に出資割合に応じた委員数を確保。  
建設・運用について日本の意見を主張。



↓ 建設・運用方針策定

建設・運用実行の中核であるチリ・アルマ観測所の主要ポストに日本メンバーが就任。  
プロジェクト推進をリード。



# 建設・技術的内容におけるプレゼンス

装置・設備の開発状況(平成20年6月現在)  
建設において米欧をリード

| 装置・設備名 | 日本 |         | 米欧 |    |
|--------|----|---------|----|----|
|        | 計画 | 達成      | 計画 | 達成 |
| アンテナ   | 16 | 4       | 64 | 4  |
| 電波写真撮影 |    | 平成20年2月 |    | 未定 |
| 相関器    | 1  | 1       | 1  | 未  |

アンテナ移動台車、山麓施設(建物)、山頂施設(建物)は米欧の担当であり完成している



# 建設における日本のプレゼンス

## 日本のアンテナ



## 北米のアンテナ



## 欧州担当のアンテナ移動台車と山麓施設建物





# 技術的内容におけるプレゼンス

最高周波数帯バンド10受信機  
(787-950GHz)の基本設計  
審査会合格(平成20年2月)



従来、超伝導素子にはニオブが使われてきたが、  
ニオブでは物性上700GHzが受信可能の上限



新しい素材(窒化ニオブ・チタン)により  
雑音レベル世界最小を実現

# 研究目的におけるプレゼンス



## アルマの科学目標 1: 太陽系以外の惑星系とその形成を解明

- ◆ 太陽系形成の標準理論モデルを日本は構築し世界をリード。  
京都大学名誉教授 林忠四郎が「京都モデル」を提唱  
    ➡ 東工大(中澤清教授)、神戸大、国立天文台グループにより発展
- ◆ 惑星形成をアルマで包括的に観測により実証

## アルマの科学目標 2: 銀河形成と諸天体の歴史を解明

- ◆ すばる望遠鏡による遠方銀河(原始銀河)探査の実績  
128億光年のかなたにある宇宙で最も遠い銀河を多数発見
- ◆ すばる望遠鏡と連携してミリ波サブミリ波の特徴を生かし、より遠方の「生まれたての銀河」の探査を実施

## アルマの科学目標 3: 膨張宇宙史と宇宙物質進化を解明

- ◆ 分子分光研究者との連携で、野辺山で発見された宇宙の分子の同定  
    ➡ 宇宙での新分子の発見により仁科賞受賞
- ◆ アルマでさらに発展させ、生命関連分子(グリシンなど)の探査を実施

# 観測運用におけるプレゼンス



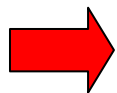
- 日本・台湾の研究者の連携で分野別サブワーキンググループが活動中
  - 近傍銀河
  - 銀河形成、銀河団
  - 星形成、原始惑星系円盤
  - 星間物質
- 今後、初期科学運用に向け、具体的な観測提案を準備
- 初期科学運用から、しっかりとアルマ観測時間を獲得・活用
- 優れた観測提案を行うためにアルマ東アジア地域センター（国立天文台三鷹に設置予定）の役割が極めて重要

# アルマによる研究の拡がり

# 広い分野との共同研究を発展させる方策

アルマ東アジア地域センターを拠点として、広い分野の研究者と以下の共同研究を発展させる

- 観測波長を超えた天文学者の共同研究の促進
  - 天文学のナショナル・センターである国立天文台三鷹に、国際競争力のある波長横断的観測(可視光、電波、X線等の観測データの統合)プロジェクトの創生 の場を構築
  - データベース天文学の拠点。電波望遠鏡として初めて観測データの信頼性を保証し、観測提案者以外の観測データの多様な利用を促進
- 天文学以外の分野への発展
  - アルマ東アジア地域センターが共同研究の萌芽の場を提供
  - 天文学以外の研究者(惑星科学、分子科学、生命科学など)のアルマを使った研究の支援



電波天文学にとどまらず広い分野との共同により  
アルマのサイエンスを展開

# 建設における技術的課題と対応

# 建設における技術的課題と対応



## 受信機カートリッジの量産

- 極めて高い仕様の受信機を240台(3受信機バンド×80台)製造するというかつてない取組
- 安定した製造・品質保証のため、以下の分野についての専門家をアルマプロジェクトで雇用し、対応している
  - 品質保証
  - 安全設計
  - 物流
  - 文書管理



# 技術的波及効果

# 技術的波及効果の例一覧



(1) 電波受信における  
HEMT増幅器の性能を  
実証  
⇒ 衛星放送用増幅器  
へ発展



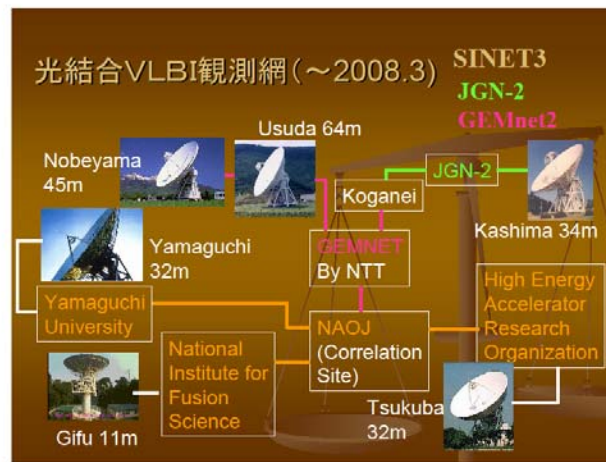
(2) 相関器(専用スーパーコンピュータ  
と言えるもの)開発技術の専用  
スーパーコンピュータへの発展



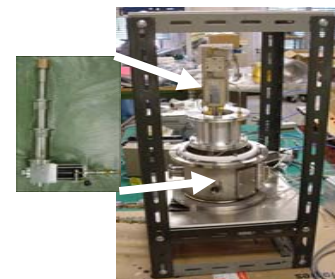
(3-1) 高感度サブミリ波検出技術  
国際宇宙ステーションISS:地球大気  
環境センサーへの応用

(3-2) サブミリ波発生検出処理技術  
サブミリ波による非侵襲的検査

(4) 日本全国の電波望遠鏡を学術ネット  
ワークで接続し、電波干渉計を構成、  
天体観測を実施  
⇒ 超高速ネットワークの実証実験



(5) アルマ受信機用  
冷凍機の性能追求から  
応用への発展



# 技術的波及効果の例(1)

電波受信におけるHEMT増幅器の性能を実証

➡ 衛星放送用増幅器へ発展

- 野辺山宇宙電波観測所で電波望遠鏡の受信機として初めて使われ、その性能を実証確認

野辺山電波望遠鏡内部に設置された  
HEMT受信機



- その後、**HEMT増幅器**はBS/CSアンテナ用小型高性能増幅器として広く普及。
- 衛星放送受信機だけでなく自動車の衝突センサー等、広い分野で使用。単価は20~100円となる

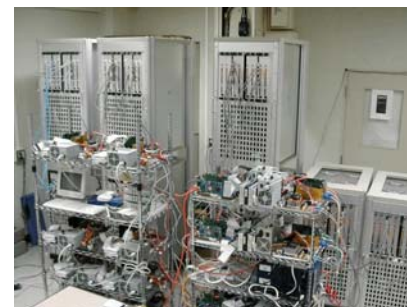


# 技術的波及効果の例(2)



## 相関器(専用スーパーコンピュータと言えるもの) 開発技術の専用スーパーコンピュータへの発展

- ・ 野辺山ミリ波干渉計用相関器は日本の電波天文学者の独創的発想  
    ➡ ACA用高分散相関器はその直系
- ・ その技術は、重力多体問題専用世界最速級  
    コンピュータGRAPE(国立天文台等に設置)  
    に発展  
    (IEEEゴードン・ベル賞受賞)
- ・ さらに、分子動力学専用計算機の開発に展開  
    タンパク質の構造解析、分子生物学、  
    新薬の研究開発、ライフサイエンスや  
    ナノサイエンスへ展開

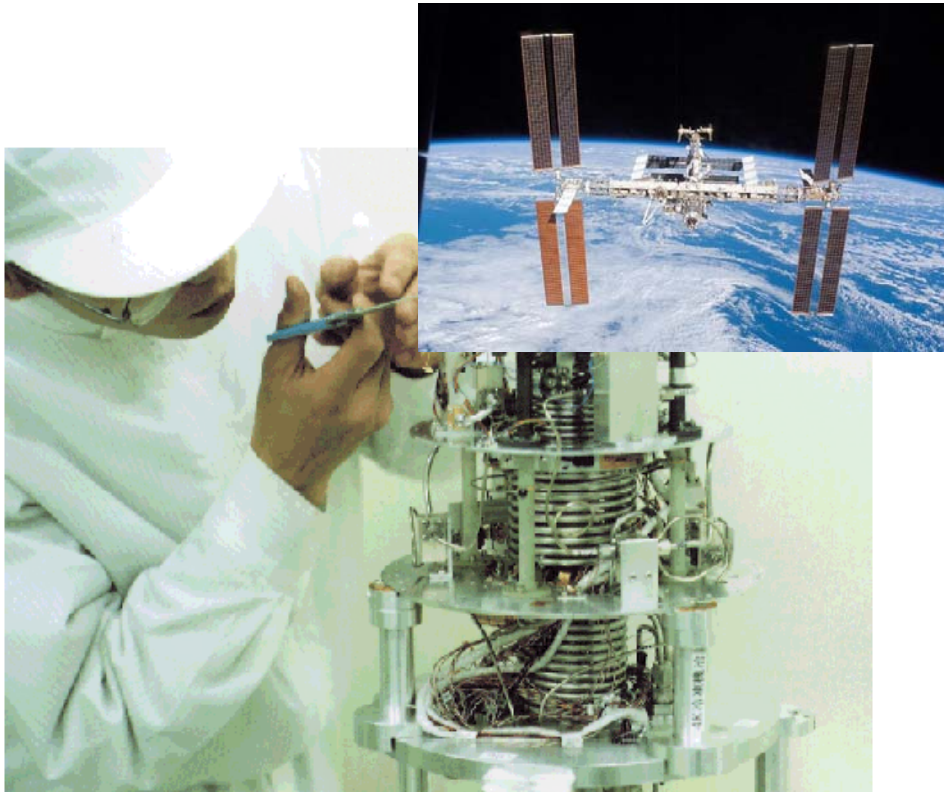


# 技術的波及効果の例(3)



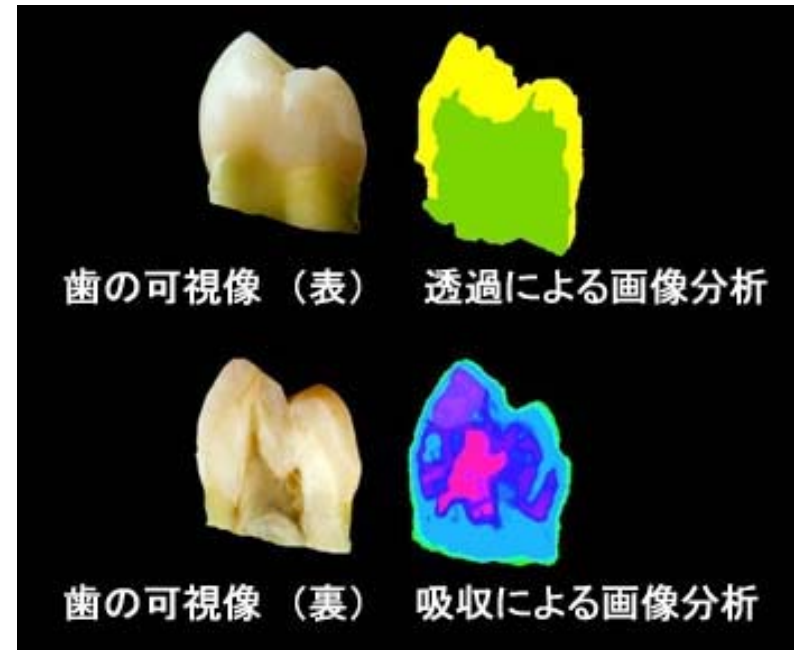
## ■ 高感度サブミリ波検出技術:

国際宇宙ステーションISS:地球大気環境セン  
サーへの応用



宇宙ステーションJEM搭載用サブミリ波検出器

## ■ サブミリ波発生検出処理技術 サブミリ波による非侵襲的検査 (痛みや危険を伴わない検査) DNA解析、分子構造解析

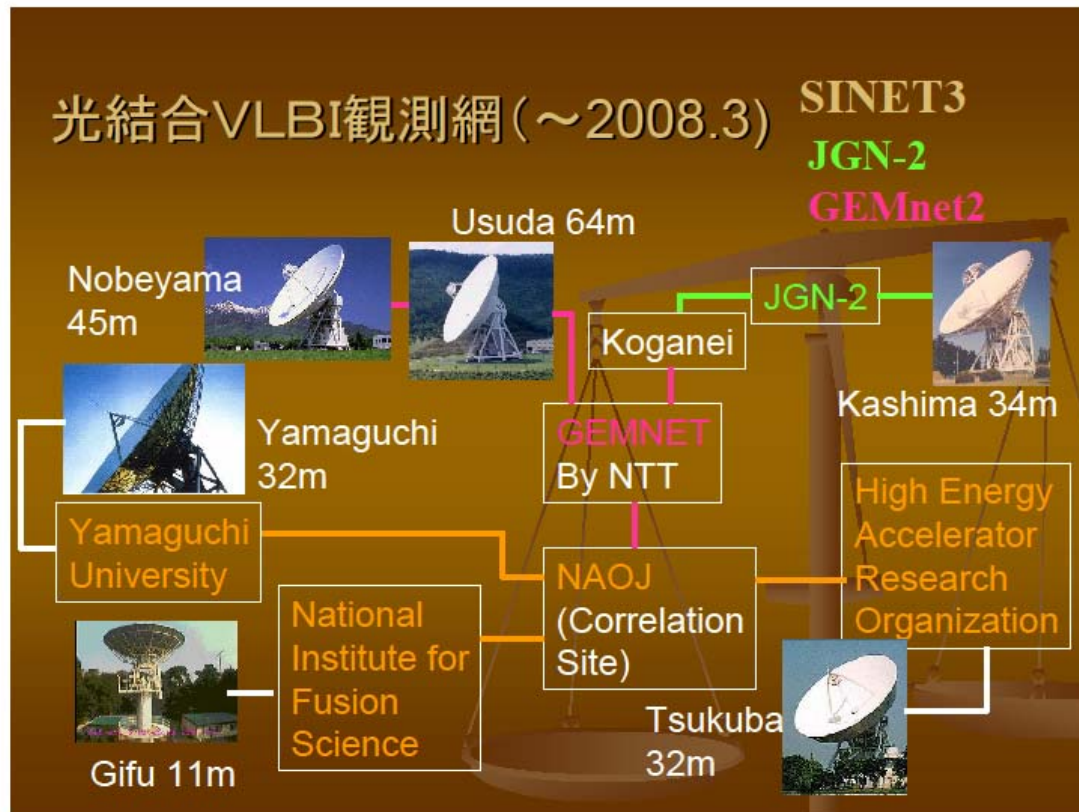




# 技術的波及効果の例(4)

日本全国の電波望遠鏡を学術ネットワークで接続し  
電波干渉計を構成、天体観測を実施

➡ 超高速ネットワークの実証実験



# 技術的波及効果の例(5)

## アルマ受信機用冷凍機の性能追求から応用への発展

アルマ仕様: 低温環境で使用可能なこと  
従来の室温仕様から $-30^{\circ}\text{C}$ 環境でも使用可能に

➡ 圧縮機室外化のニーズに伴い、より低温環境化での商用冷凍機へ

アルマ仕様: 温度変動を低減させること  
従来比約1/5に低減

➡ 計測、分析分野など、温度変動が無視できない用途に商品化



# 運用経費



# 運用経費

本格運用期 年額30.3億円

国内設備  
保守費  
0.9億円

アルマ東アジア  
地域センター  
運用経費8.9億円

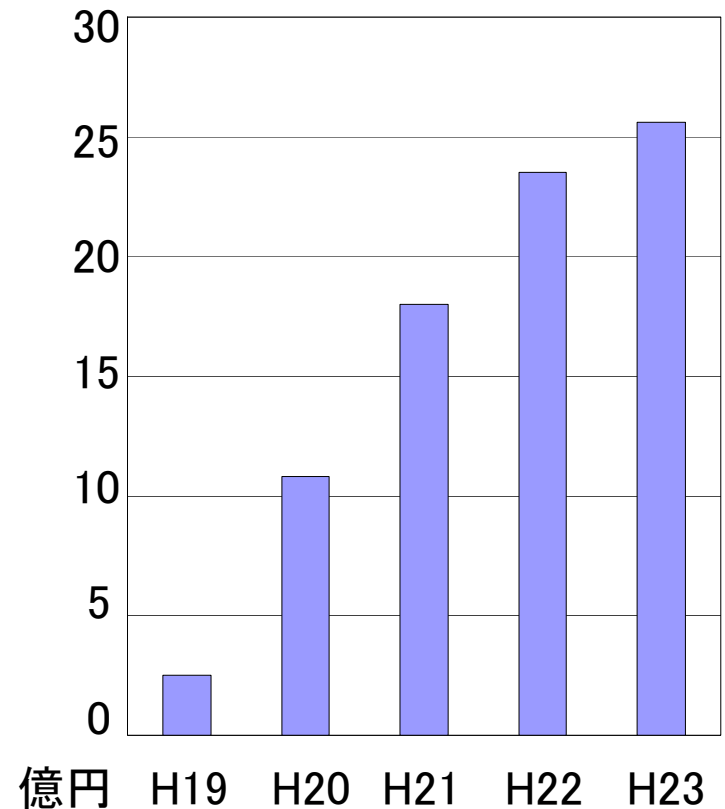
受信機  
保守経費  
3.4億円

国立天文台  
チリ事務所経費  
0.4億円

アルマ観測所  
運用経費  
(25%分担)  
8.9億円

ACAシステム  
保守経費7.8億円

部分運用期 運用経費



# まとめ

# まとめ

- 建設・運用体制、建設の技術面、研究目的において日本はプレゼンスを示している
- 建設において参加国の中でフロントランナーとなっている
- 建設貢献に見合った観測を行い、学術的成果を出して国民に還元するためには、応分の運用経費が重要
- 電波天文学だけではなく、天文学の他波長分野、惑星科学、分子科学等の分野への展開を進めており、さらに発展させる





[www.alma.info](http://www.alma.info)

*The Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA), an international astronomy facility, is a partnership among Europe, Japan and North America, in cooperation with the Republic of Chile. ALMA is funded in Europe by the European Organization for Astronomical Research in the Southern Hemisphere, in Japan by the National Institutes of Natural Sciences (NINS) in cooperation with the Academia Sinica in Taiwan and in North America by the U.S. National Science Foundation (NSF) in cooperation with the National Research Council of Canada (NRC). ALMA construction and operations are led on behalf of Europe by ESO, on behalf of Japan by the National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ) and on behalf of North America by the National Radio Astronomy Observatory (NRAO), which is managed by Associated Universities, Inc. (AUI).*