



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1回）

アルマ計画およびその進捗

自然科学研究機構 国立天文台

平成20年5月16日

説明資料の内容

・ 第Ⅰ部 アルマ計画の概要と進捗状況	3
- アルマ建設計画	4
・ 概要	4
・ 進捗状況	12
・ 今後の予定	19
- 国際協力の状況	21
- 事前評価における留意事項についての対応	23
・ 第Ⅱ部 アルマ運用計画	25
- アルマ運用計画	26
・ 概要	26
・ 部分運用	30
- アルマ運用予算計画	33
・ まとめ	37



第 I 部 アルマ計画の概要と進捗状況

アルマ建設計画（概要）

アルマ計画の概要

(ALMA : Atacama Large Millimeter /submillimeter Array)

【目的】

チリ・アタカマの5,000m高地に巨大電波望遠鏡(12mアンテナ68台、7mアンテナ12台等)を建設。光や赤外線では見えない天体や宇宙物質をミリ波・サブミリ波観測の高度な観測で捕らえ、宇宙・銀河・星・惑星系の誕生過程や宇宙の歴史を解明する。

【国際共同建設で「世界望遠鏡」を実現】

日本:国立天文台 (+東アジア)

米国:国立科学財団(+カナダ)

欧州:欧州南天天文台(欧州13カ国)

【スケジュール】

建設:平成16~23年度(8年計画)

部分運用:平成19年度開始

本格運用:平成23年度開始予定

(30年程度の運用を予定)

【資金計画】

建設費:

米欧 各459億円

日本 256億円

(内 国内建物13億円)

運用経費:

米欧 算定中

日本 年間約30億円

(本格運用期)



アルマ計画の科学目標

アルマ望遠鏡の特徴を活かし、科学目標を達成する

- ① **高い解像度で天体を細かく観測**: ハッブル宇宙望遠鏡の10倍
- ② **高い感度で遠くの天体を観測**: これまでの電波望遠鏡の100倍
- ③ **高い分光能力で存在する物質を観測**: これまでの相関器の10倍

科学目標 1

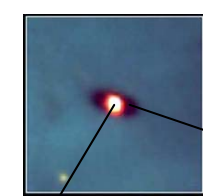
太陽系以外の惑星系とその形成を解明

科学目標 2

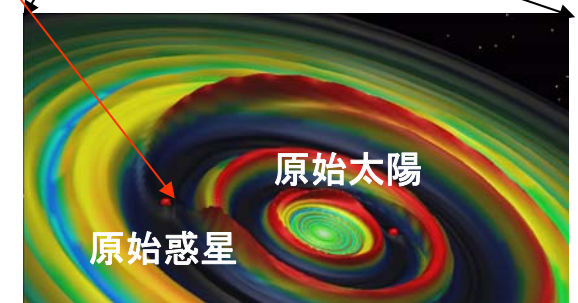
銀河形成と諸天体の歴史を解明

科学目標 3

膨張宇宙史と宇宙物質進化を解明



ハッブル宇宙望遠鏡による観測



シミュレーション例
⇒アルマの観測で検証

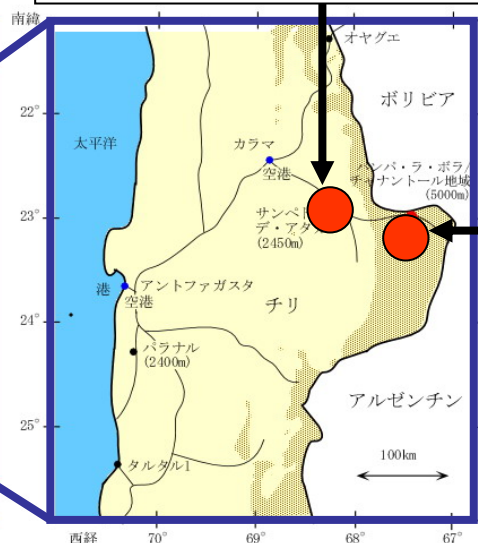
アルマ観測所の現地 (チリ・アタカマ高地)

【最適な立地条件】

- 水蒸気が少なく観測条件が良い
- 高地(標高5,000m)で乾燥
- 十分広い平坦地(10数Km)
- アクセス、治安も良い

山麓施設(標高2,900m)

山頂施設(標高5,000m)

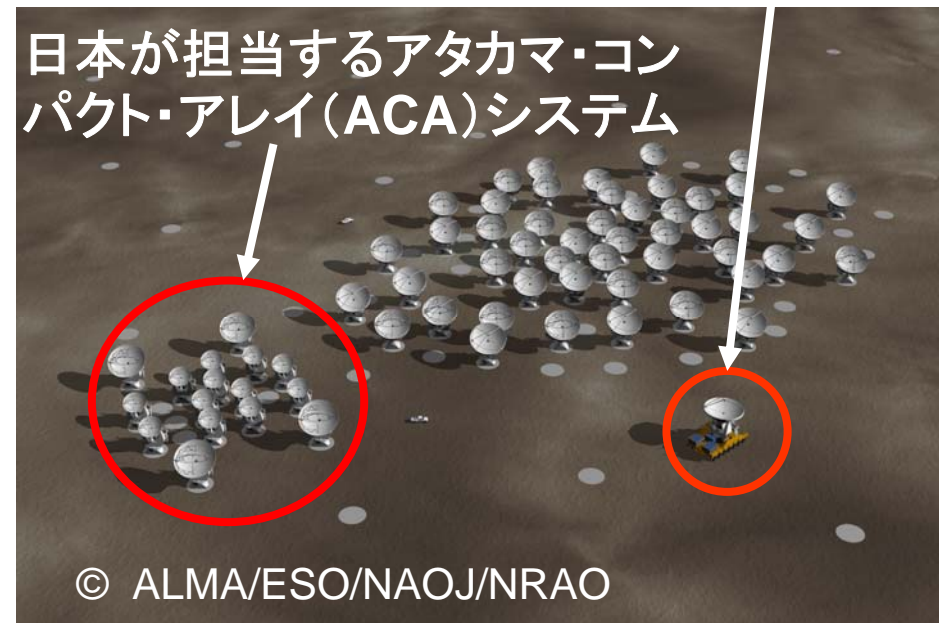
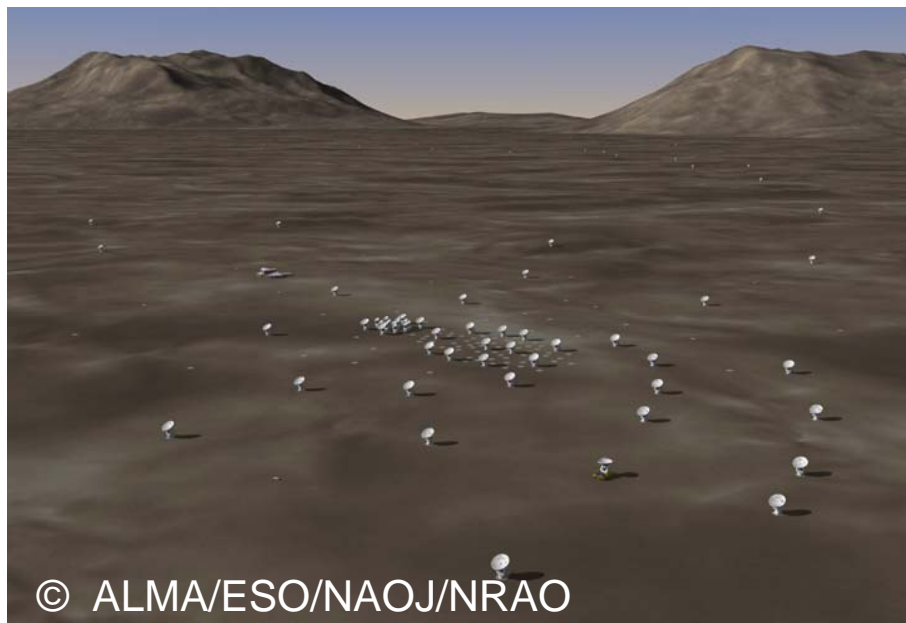


アルマ完成イメージ図



チリ山頂施設(5,000m)でのアルマ望遠鏡アンテナ群の配置

観測対象に応じて専用の移動台車でアンテナを移動



広範囲(最大18Km、山手線サイズ)に配置
(高い解像度での観測)

コンパクトに配置
(高い感度での観測)

アルマの主要装置



【受信機システム】

機能: アンテナにより集められた微弱な電波を検出し、増幅する。各アンテナに1システム搭載。1システムに7受信機カートリッジ搭載。



受信機カートリッジ



【高精度アンテナ】

機能: 天体からの微弱な電波を集める
12mアンテナ68台
7mアンテナ12台

【信号伝送・変換・評価部】

機能: アンテナから相関器への信号伝送



【相関器システム】

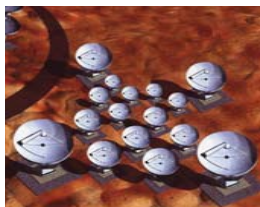
機能: 全アンテナで取得した電波信号から、天体からの信号強度・周波数・位置情報等を得る

日本と米・欧の建設分担

日本の分担(貢献割合:25%)

ACAシステム

※米欧64台のみでは描けない正確な画像を実現



- ① ACAアンテナ
7mアンテナ 12台
12mアンテナ 4台



- ② 受信機システム
バンド 4,8,10
バンド3,6,7,9(米欧より購入)

(合計304台)



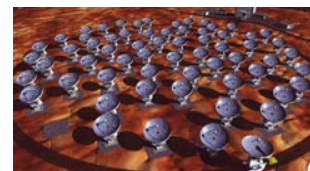
- ③ 信号伝送・変換・
評価部
(16系統:米欧より購入)

- ④ 高分散相関器
ACA用

米欧の分担(貢献割合:各37.5%)

12m64台システム

- ① 12mアンテナ
32台(米)
32台(欧)



- ② 受信機システム
バンド 3,6(米)
バンド 7,9(欧)

(合計256台)

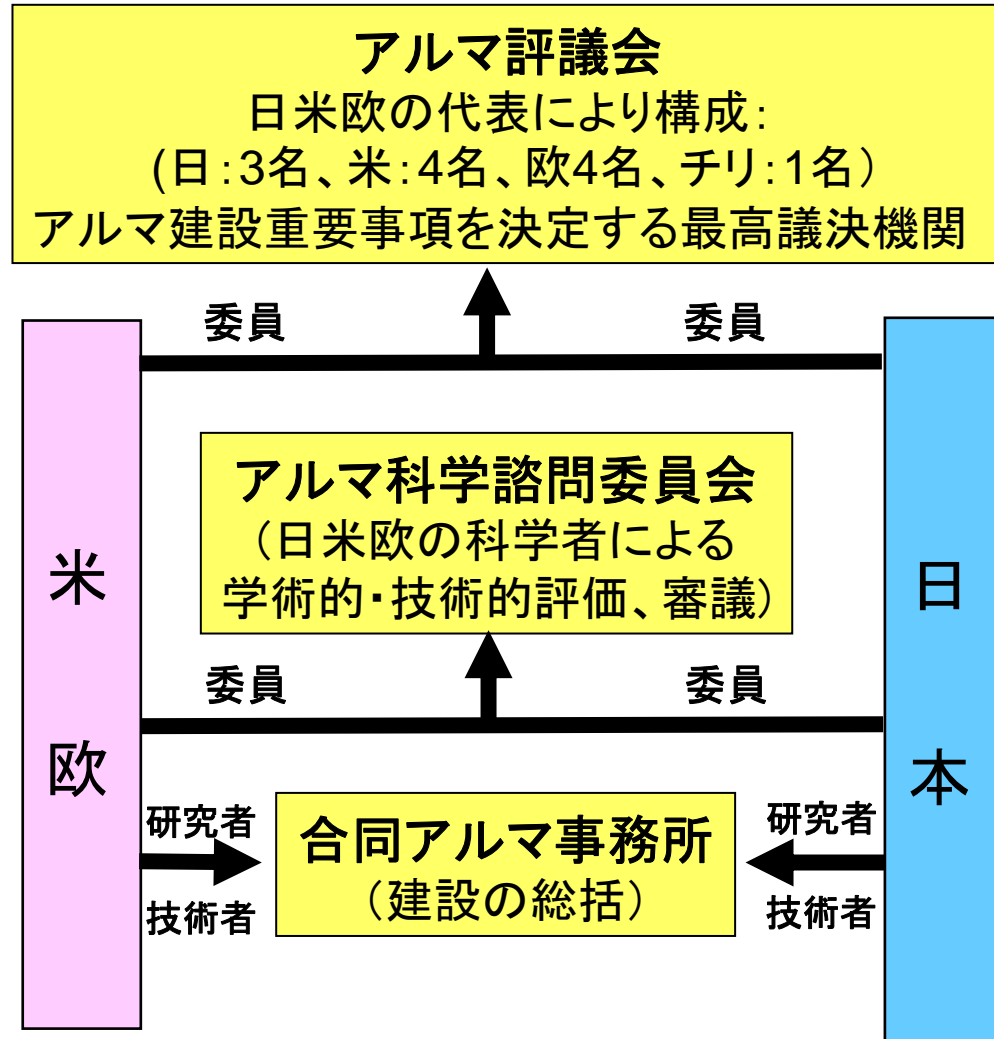


- ③ 信号伝送・変換・
評価部
(64系統)

- ④ 基本型相関器
64台アンテナ用



国際・国内共同建設体制



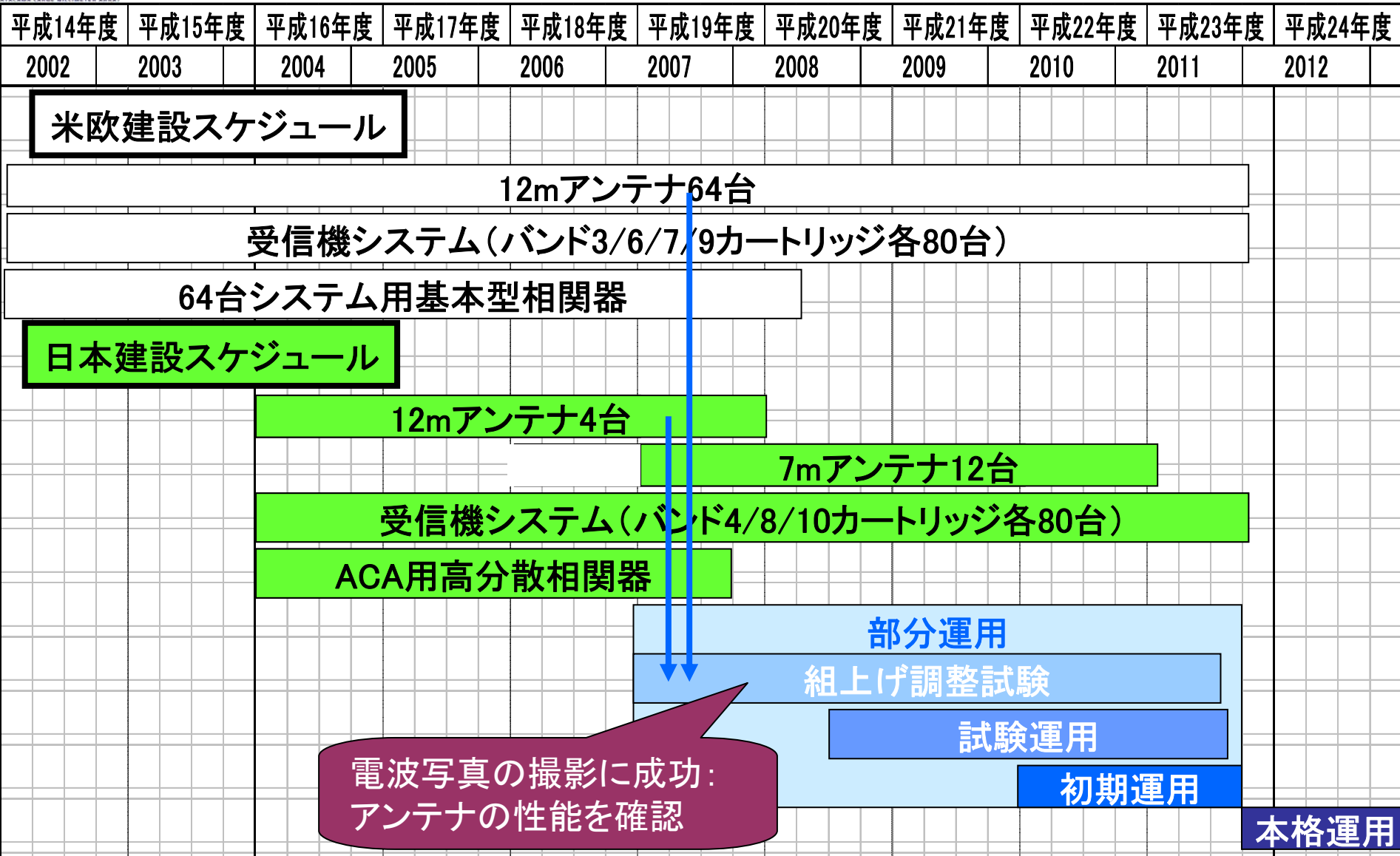
アルマ建設計画（進捗状況）



進捗状況

アルマ計画評価
作業部会第1回

アンテナの性能を確認する重要なマイルストーンを順調に達成



電波写真の撮影に成功：
アンテナの性能を確認

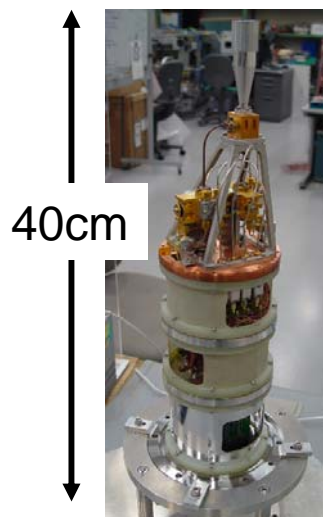
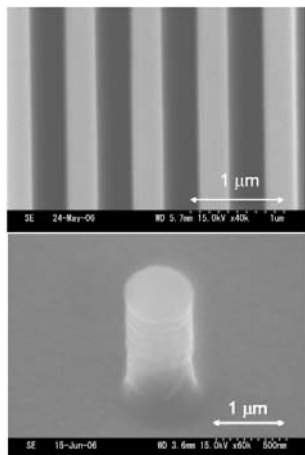
主要装置の製造：アンテナ



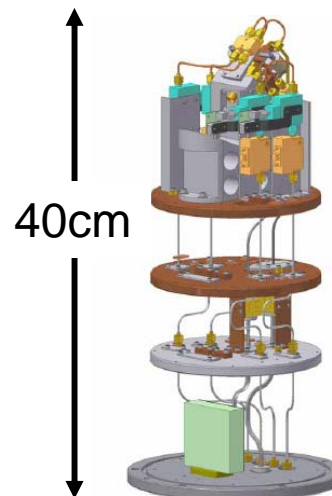
チリ現地山麓施設(標高2,900m)に設置した4台のACA用12mアンテナ
(平成20年3月撮影)

主要装置の製造：受信機

- バンド4(ミリ波)、バンド8(サブミリ波)受信機はアルマ要求仕様をクリアし、量産モデルを製造中
- バンド10(アルマ最高周波数サブミリ波)受信機は、必要となるほぼすべての技術についてアルマ要求仕様をクリアし、性能実証モデルのカートリッジを製造中



バンド4受信機
カートリッジ



バンド8受信機カートリッジ



縮小投影露光装置による素子製造

主要装置の製造：相関器

- ・ 平成16年度にACA用高分散相関器の製造を開始
- ・ 平成19年12月、チリ現地山頂施設(標高5,000m)に設置完了



ACA用高分散相関器国内試験



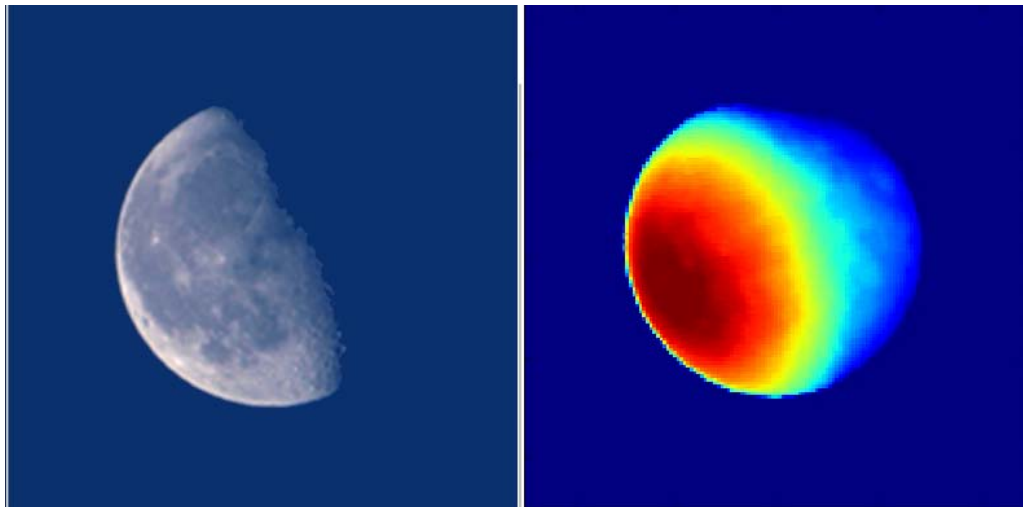
チリ現地山頂施設(標高5,000m)に設置された
ACA用高分散相関器





部分運用(組上げ調整試験)の開始

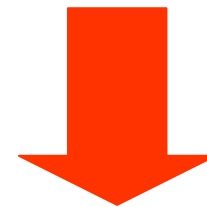
- ・ これまでに完成した装置を用いて、チリ現地における**部分運用を開始。電波望遠鏡としての技術性能を確認する組上げ調整試験を平成19年10月より実施**
- ・ 平成20年2月、日本が製作した12mアンテナのうちの1台を用いて、月の電波写真を撮影。**建設途中のアルマにおいて天体からの電波の初の受信**



光の画像

電波の画像

電波画像は、月面の温度分布を的確にとらえており、12mアンテナが目標性能を満たしていることを確認。



アンテナの性能を確認する重要なマイルストーンを順調に達成

社会への科学の普及・還元



ホームページの充実、アンテナペーパークラフト等の普及

- ・ アルマホームページを計画開始以前の平成14年から立上げ
- ・ アンテナのペーパークラフト、ぬりえを公開
- ・ 日本からチリへの「バーチャルツアー」によりアルマ観測所建設現場の疑似体験の試み
- ・ 写真ニュースをこれまでに約190回掲載

一般講演会等の開催

- ・ アルマ計画で期待される科学的成果等を説明する講演会を、全国各地で約100回開催。

アルマ計画の新聞・雑誌への記事掲載、出版

- ・ アルマ計画について新聞・雑誌記事に約90回掲載。
- ・ 多くの研究者の共同執筆で一般向け書籍を出版
(『私たちは暗黒星雲から生まれた: 宇宙史137億年を解き明かすアルマプロジェクト』: 日本評論社)



- ・ 国民の科学への興味・関心を高めるためのさまざまな工夫を展開
- ・ 科学を目指す青少年の育成に努力(教育・人材養成への貢献)
- ・ 獲得される知的財産が国民に共有される方策を、今後も推進

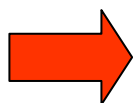


アルマ建設計画(今後の予定)

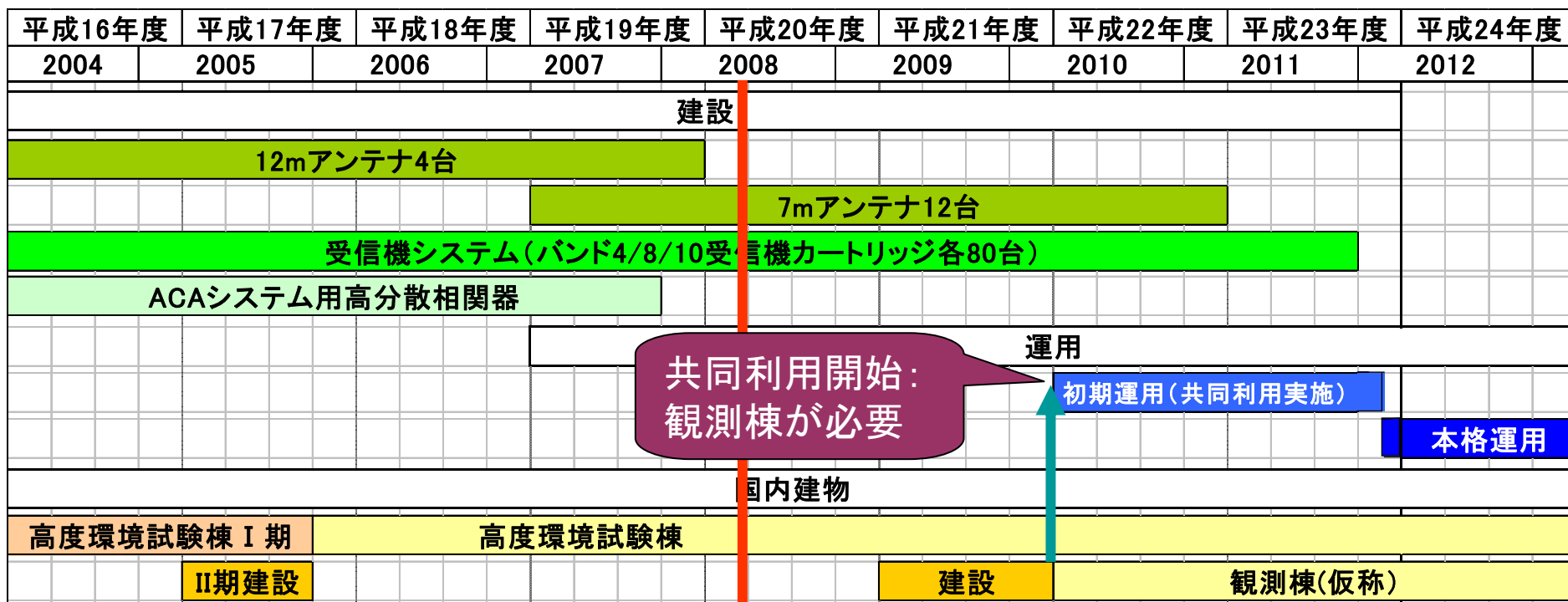


今後の建設計画

- 7mアンテナ12台の製造を継続、完了(～平成22年度)
- バンド4、8、10受信機カートリッジの量産製造を継続、完了(～平成23年度)
- 観測棟(アルマ東アジア地域センター)の建設(初期運用開始に間に合わせるために平成21年度建設が必須)



以上の装置・建物を整備するための**建設予算の確保が必要**
(総額256億円、平成21年度以降必要額117億円)



共同利用開始:
観測棟が必要

運用

初期運用(共同利用実施)

本格運用

国内建物

高度環境試験棟 I 期

高度環境試験棟

II期建設

建設

観測棟(仮称)

国際協力の状況

国際協力の状況



• 【アルマ共同建設に関する日米欧の協力体制】

- 平成16年9月、自然科学研究機構(NINS)、欧州南天天文台(ESO)、米国国立科学財団(NSF)により、日本・北米・欧州の三者によるアルマ共同建設に関する協定書を締結。平成18年7月には、アルマ評議会での日本の位置付けおよび部分運用を含む運用全般における日本の参加形態を明確に定義するための追記・修正を行い、対等の協力関係を構築。
- アルマ評議会における計画の意思決定への参加、建設への主導的参加、運用計画策定への参加等、米欧と対等の関係で計画を進めている。

• 【チリにおける建設・運用のための法的地位の確立・協力協定締結】

- 平成17年8月、関税免税措置等、チリにおける国立天文台の法的地位が確立
- チリにおける現地土地使用に関する協定、天文学振興、望遠鏡設置地域振興、等の協定を順次締結。

• 【東アジア諸国との協力の状況】

- 東アジア中核天文台連合(日本、中国、韓国、台湾の4地域の天文学研究機関の代表により結成)において、アルマの協力について協議。
- 平成17年9月、台湾の中央研究院天文及び天文物理研究所と締結した協力協定に基づき、アルマ計画の受信機システム製造やコンピューティングの分野で協力を推進。
- 平成18年10月、アルマによるサイエンスの方針について議論するため、東アジア科学諮問委員会を設立。

事前評価における 留意事項についての対応

留意事項についての対応



平成16年度に予定されている大学共同利用機関の法人化に当たって、計画を着実なものとするため、基礎研究開発や参加計画の運営に関して十分に、法人組織における理解と協力を得つつ推進すること。

- アルマ計画への参加は自然科学研究機構(以下「機構」)で承認され、機構長が協定書に署名
- プロジェクト推進に必要な人員を確保するための柔軟な人事制度の整備、チリ現地での活動を円滑に進めるためのチリ事務所の設置等、機構の理解・協力の下に計画を進めている。

参加計画の柱となるアタカマコンパクトアレイシステム、受信機及び高分散相関器の研究開発、整備に当たっては、我が国の参加の意義を十分に踏まえて、研究開発の進捗状況、全体の運用計画も考慮しつつ、我が国の特色を活かした優先的整備を図ること。

- ACA用12mアンテナ、高分散相関器についてはチリ現地へ設置し、天体からの電波の初受信に成功する等、アルマ仕様を満たすことを米欧に先んじて実証した。また、バンド4、バンド8、バンド10受信機においては、我が国が野辺山宇宙電波観測所で培ったミリ波天文学の技術を基礎に、開発・製造を進めている。

アルマ計画に参加するに当たり、計画の進展に並行して、将来的なアジア地域における運用・協力体制の構築に最大限の努力をすること。

- 平成17年9月、日本、中国、韓国、台湾の4地域の天文学研究機関の代表により、東アジア中核天文台連合が結成され、アルマの協力について協議を実施。
- 平成17年9月、台湾中央研究院天文及び天文学物理研究所)と締結した協力協定に基づき、アルマ計画の受信機やコンピューティングの分野で協力を推進。
- 平成18年10月、アルマによるサイエンスの方針について検討する東アジア科学諮問委員会を設立。

第Ⅱ部 アルマ運用計画

アルマ運用計画(概要)

アルマ運用の基本概念

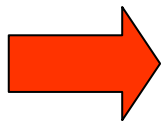
国際共同運用「世界望遠鏡」の効率的運用で最大の研究成果を

研究者が観測提案、観測データ解析に集中できる環境の提供

- 観測そのものはチリ・アルマ観測所（日米欧共同運用）が実施
- 研究者は観測提案、観測データ解析に集中。観測提案、観測データ解析支援のために地域センター（東アジア、北米、欧州）を設置
- 各地域センターにおけるネイティブ言語による支援
- 天文学プロパーだけでなく、幅広い研究者層が利用可能

効率的運用で多数の観測プログラムを実施

- 気象条件に合致した観測プログラムの選択・実施による望遠鏡の効率的運用
- 装置提供者の責任による装置保守とチリ・アルマ観測所における予防点検により、望遠鏡運転時間の高いアベイラビリティ実現



観測実行はチリ・アルマ観測所が行い、
観測者支援は各地域センターで実施

アルマ運用体制

アルマ評議会(日米欧代表により構成):
アルマ運用重要事項を決定する最高議決機関

運用方針策定

チリ・アルマ観測所
(日米欧共同運用)

- ◆観測の実施
- ◆観測データの各地域センターへの配布
- ◆観測装置の維持・点検

連携運用

アルマ東アジア
地域センター

東アジア地域
研究コミュニティ

アルマ北米
地域センター

北米地域
研究コミュニティ

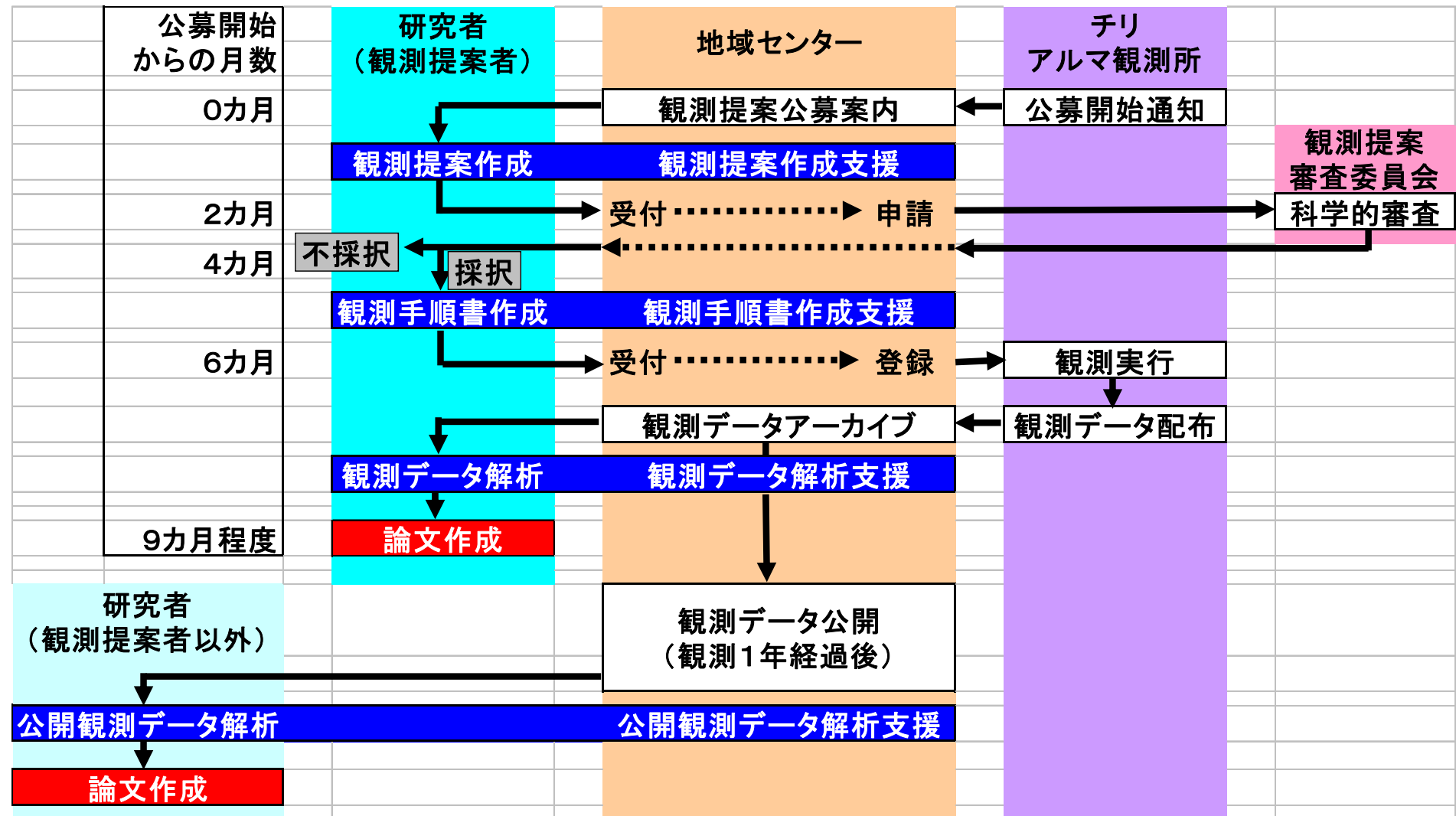
アルマ欧州
地域センター

欧州地域
研究コミュニティ

アルマ地域センター

- ◆各地域の研究者への共同利用サービス
- ◆建設分担した装置の保守
- ◆各地域における教育・広報

共同利用観測の流れ

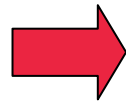


アルマ運用計画(部分運用)



部分運用とは

アルマは80台のアンテナを結合する干渉計



本格運用に先立ち、順次完成したアンテナを用いて、部分運用を行うことが可能

【建設段階での科学成果の期待】

アルマはミリ波サブミリ波の究極的な性能を有する巨大電波望遠鏡であり、部分運用でもこれまでのミリ波サブミリ波の電波望遠鏡を凌ぐ世界最高性能を実現できることから、優れた科学成果の期待

比較:

SMA(サブミリ波干渉計)
ハワイ島マウナケア山頂
6mアンテナ8台



【社会への早期の成果還元】

アルマは、多額の国民負担により建設されるものであり、その早期の成果の還元は、社会に対する責務

部分運用のスケジュール



平成16年度	平成17年度	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	平成23年度	平成24年度
2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
建設								
12mアンテナ4台								
			7mアンテナ12台					
			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <p style="text-align: center; color: blue; font-weight: bold;">部分運用</p> <p style="text-align: center;">組上げ調整試験 (電波望遠鏡としての技術性能を確認)</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <p style="text-align: center; color: blue; font-weight: bold;">試験運用</p> <p style="text-align: center;">(観測性能を実証し科学成果を得る)</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <p style="text-align: right; color: blue; font-weight: bold;">初期運用(共同利用)</p> </div>					
								本格運用
国内建物								
高度環境試験棟 I 期		高度環境試験棟						
II期建設					建設		観測棟	

アルマ運用予算計画

アルマ運用における日本の責務

チリ・アルマ観測所運用経費を分担

- チリ・アルマ観測所の運用経費内容
現地スタッフ人件費、施設維持費、光熱水費、消耗品費等
- 日本の建設分担はアルマ望遠鏡全体の25% ➡ 観測時間25%を獲得
➡ チリ・アルマ観測所運用経費の25%の責務

日本が建設を分担した装置の保守

- ACA用アンテナ、ACA用相関器、バンド4/8/10受信機カートリッジ等、日本が建設を分担した装置は、日本が責任を持って保守
- 機能・性能を維持しないと建設分担を果たしたことにならず、観測時間割り当てにも影響

東アジア地域センターの運用

- アルマ観測所の全体枠組みを成立させるために、米欧と同等の観測者支援を行う地域センター運用を行うことが責務

 **日本の責務を果たすために運用経費の確保が必須**

運用／予算計画決定のプロセス

本格運用期の長期運用／予算計画は
国際評価委員会による評価を経て2007年(平成19年)3月に策定

毎年度のアルマ運用／予算計画も、国際的な外部評価を受け決定

毎年度の予算策定／評価／決定のプロセス

長期運用計画／予算計画に基づき、
毎年度の予算計画をアルマ評議会で策定

アルマ国際外部評価
毎年の運用／予算計画を評価

外部評価の結果を受けてアルマ予算計画決定

各地域で予算要求

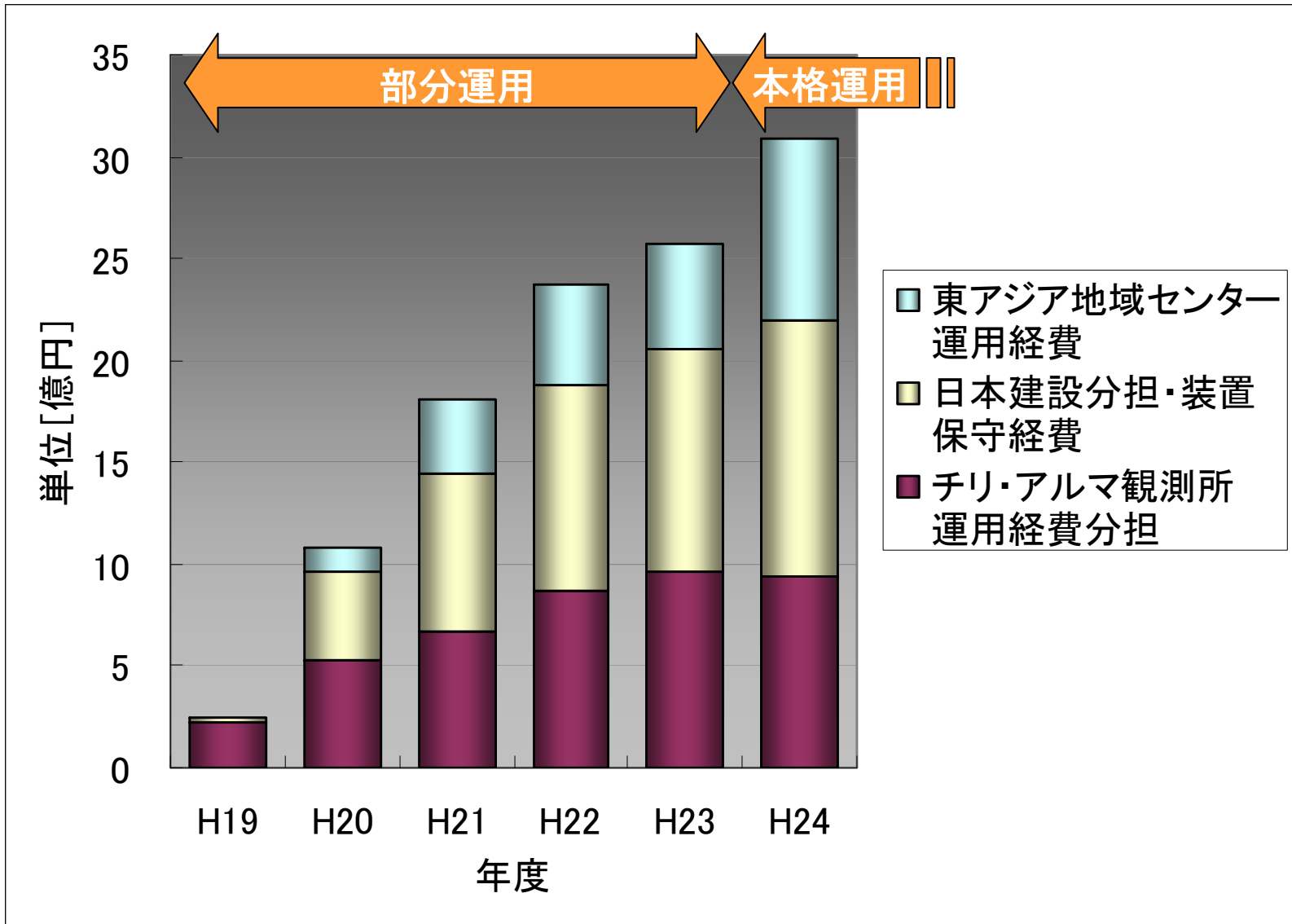
【アルマ国際外部評価】

国際外部評価委員として日本からは畚野信義氏(元通信総合研究所所長)、舞原俊憲氏(京大名誉教授)が参加。



チリ、サンチャゴ

日本の運用予算計画



まとめ



まとめ

【建設は順調に進捗】

- 基礎科学分野における初の対等な国際協カプロジェクトにおいて、日本は担当する装置の建設を順調に進めており、米欧に先んじてアンテナ性能を確認する重要なマイルストーンを達成する等、建設全体をリード。
- 東アジア諸国、特に台湾とアルマ建設の具体的な協力を実施。
- インターネット、講演会、マスコミ記事により、計画を知っていただくための一般社会への広報活動を展開。

【日本分担の装置の建設完了へ向けて】

7mアンテナ、受信機等の製造を完了するため、**建設経費の確保が必須**

【アルマ運用における日本の責務】

チリ・アルマ観測所運用経費分担、日本が建設分担した装置の保守、東アジア地域センターの運用が日本の責務であり、これを果たすための**運用経費の確保が必須**

【アルマ観測棟の建設】

アルマ東アジア地域センター設置のため**アルマ観測棟を建設することが必須**



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).