

ALMA計画における 体制及びマネジメントについて

井口 聖

自然科学研究機構 国立天文台 教授
アルマ・東アジア・プロジェクトマネージャー





背景

● 建設期および初期運用期

– 二者建設協定：Bilateral Construction Agreement

- [National Science Foundation of the United States \(NSF\)](#), and the [European Organisation for Astronomical Research in the Southern Hemisphere \(ESO\)](#), signed on September 2003 and as amended on February 2007.

– 三者建設協定：Trilateral Construction Agreement

- [National Institutes of Natural Sciences of Japan \(NINS\)](#), ESO and NSF, signed in 2004, as amended on June 2005, and as amended on July 2006.

– 協定書の締結プロセス：

- 各分担は、各国の電波天文コミュニティレベルで議論した後、国際アルマ科学諮問委員会等での審議を通し、優先順位をつけた分担リストがアルマ評議会に提出され、そこで審議・承認された。最終合意された分担リストをもとに各国で同調しながら概算要求をし、その結果として承認された予算を元に上記の協定書を締結した。
- また、概算要求をする前段階では、科学コミュニティレベルでの議論を尽くし、
 - 日本：1) 日本学術会議、 2) 文部科学省学術審議会での審議
 - 米国：1) Decadal Survey、 2) Congressでの公聴会
 - 欧州：1) OECD RI、 2) ESO Council での審議
 各国で同調しながら、計画の提案を進めた。

● 運用期

– 三者運用協定：Trilateral Operation Agreement

- NINS, ESO and NSF, signed on December 2015. 上記2つの協定書と入れ替わる。

– 協定書の締結プロセス：

- 各代表者で構成されるワーキンググループを組織し、これまでの協定書を雛形に、また運用実績を考慮して、作成した。分担は、建設期で合意した分担率とした。





ALMA Trilateral Agreement アルマ運用に関する三者協定

平成27年12月15日：自然科学研究機構（NINS）、米国国立科学財団（NSF）、欧州南天天文台（ESO）はアルマ望遠鏡の運用に関する三者協定書に署名。三者によるアルマ望遠鏡の国際協力運用を今後30年にわたって継続する枠組みが確定。



元NINS President
Katsuhiko Sato



NSF Director
France Cordova

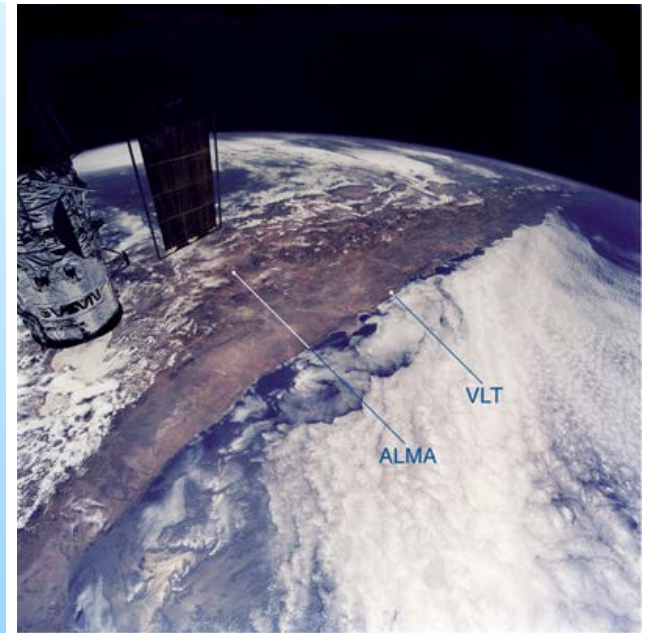


ESO Director General
Tim de Zeeuw





ALMA Global Collaboration アルマ国際共同



View of Northern Chile (NASA Space Shuttle)

ESO PR Photo 24h/99 (8 June 1999)

© ESO - ESA - Claude Nicollier

22カ国および地域：

東アジア（日本、台湾、韓国）、北米（米国、カナダ）、欧州（ESO 16加盟国）、チリ



Atacama Large Millimeter/submillimeter Array



ALMA Mission

アルマ望遠鏡のミッション

- NSF, ESO, NINS (以下、当事者) が目指すもの
 - 世界的に、宇宙物理学に関する理解を進展させること。
 - ESO加盟国、東アジア及び北米において引き続き活発に推進されている天文学研究プログラムを守ること。
 - 当事者間及びその他のミリ波サブミリ波天文学に関与する組織との間の科学研究に関する協力をさらに促進させること。
 - 30年以上の長期的な運用を目指して、アルマプロジェクトに参加する全ての組織及び研究所がその貢献割合に応じて公正かつ公平に責務及び利益を分配し、最大限の知的・経済的成果を達成すること。





ALMA Science Requirements アルマ望遠鏡の科学目標

プロジェクトで期待されるアウトカムは明確になっているか。それは国民に対して分かりやすいものと言えるか。

- アルマ計画では、
 1. 太陽系以外の惑星系とその形成を解明
 2. 銀河形成と諸天体の歴史を解明
 3. 膨張宇宙における物質進化を解明
 という3つの科学目標を明確に掲げている。

これらは、

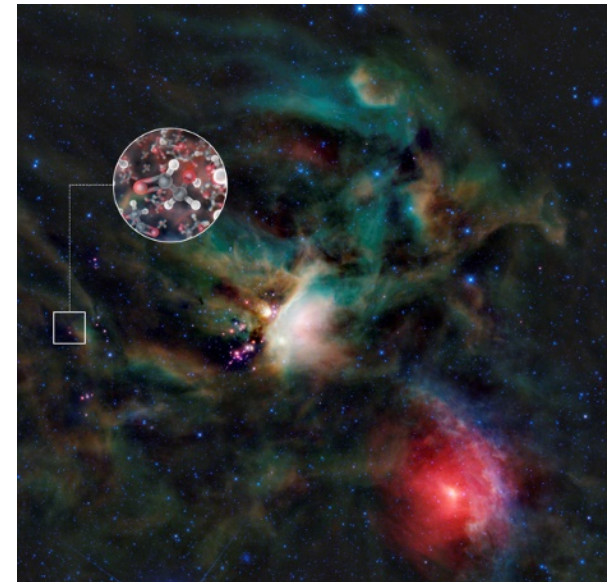
「私たちの地球がある太陽系がどうやってできたのか」

「銀河系がどうやってできたのか」

「生命の材料はどこからやってきたのか」

といった人類の世界観に関わる重要な謎を解き明かすものである。

一般講演等でも「生命の起源」と「地球型惑星の誕生」は非常に関心が高く、これらのテーマでアルマ望遠鏡は、たとえば、NHKニュース7の年始を飾る明るいニュースの1つとして、これまで平成22年1月3日、平成25年1月5日、平成28年1月3日と3度も取り上げられた。



アルマの観測により、最も単純な「糖」分子を惑星系ある領域から初めて発見した、へびつかい座の星形成領域の赤外写真。生命に密接に関連する分子が、惑星が作られる領域で既に作られていることがわかった。

Jørgensen et al. *Astrophysical Journal Letters*
2012



ALMA Science Requirements アルマ望遠鏡の科学目標

30年の運用期間中、アルマ望遠鏡が世界最先端の価値ある望遠鏡であり続けることはできるのか？

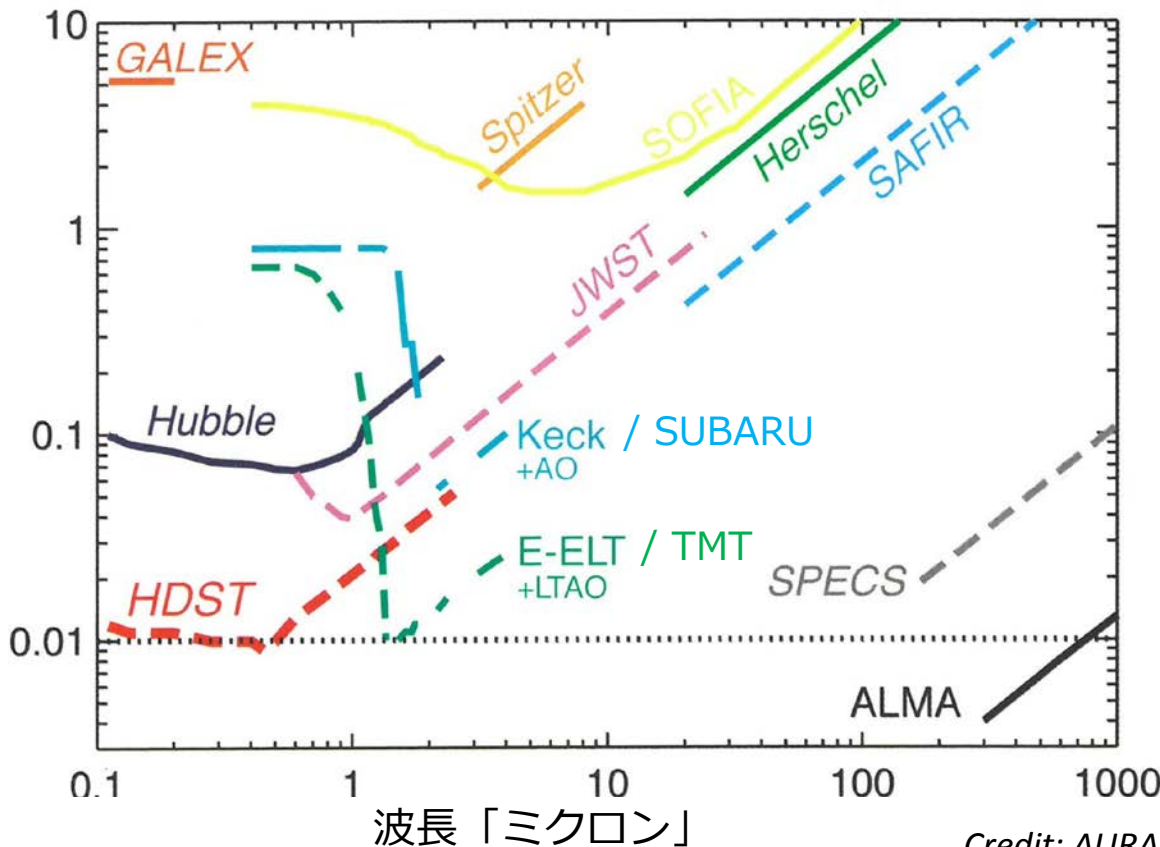
実線：運用中(or終了)
点線：建設中(計画中)

今後30年間で計画されている次世代望遠鏡と比較しても、解像度においてはアルマが最先端の望遠鏡であり続ける。

0.01秒角は、多数の原始惑星系円盤が存在する300光年程度の距離で1AUに相当。

(補足：1天文単位(1AU)は、我々が住む地球と太陽の間の距離に相当)

より細かいものが見える。
空間分解能(解像度)「秒角」



Credit: AURA





ALMA Science Requirements アルマ望遠鏡の科学目標

新しい望遠鏡等の設置を含む、今後の我が国の運用・整備計画は明確になっているか。その中で、アルマの位置づけは妥当と言えるか。

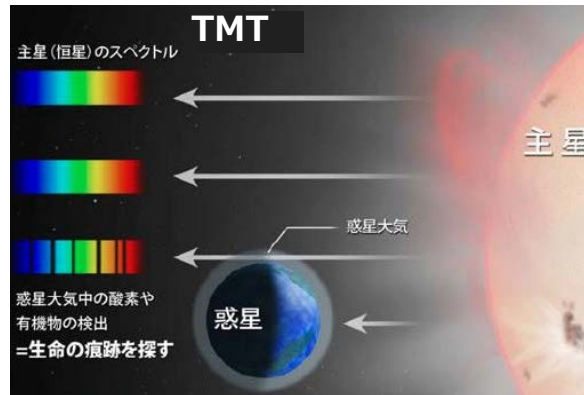
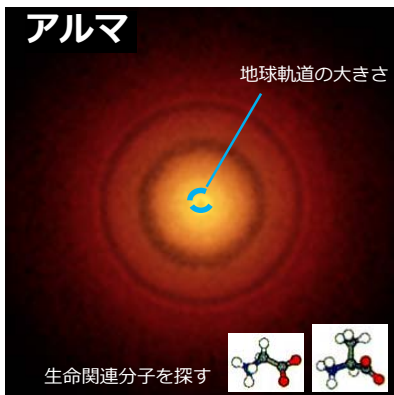
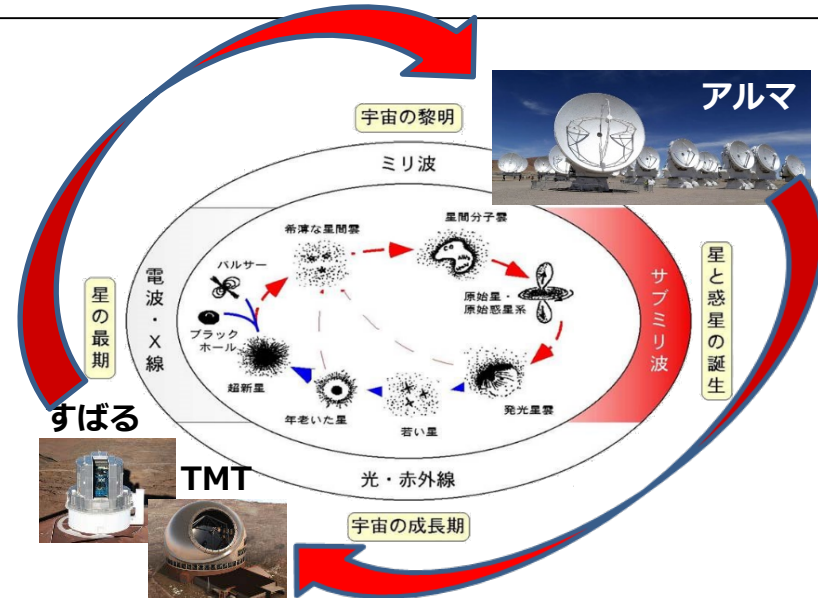
国立天文台では大型計画として、すばるからアルマ、アルマからTMTへと計画的な整備を実施。

宇宙を理解するためには、天体の起源と進化を多波長で相補的に観測することが必須。

すばるからTMT（光赤外線）になることでアルマと同等の空間分解能（0.01秒角）が実現できる。

アルマ（ミリ波・サブミリ波）は、ガスや塵を観測することで、惑星系の誕生、銀河の進化、生命の起源の研究を進める。

TMTでは、星や惑星を直接観測することで、天体の起源と進化、宇宙の成り立ち、生命の探査の研究を進める。



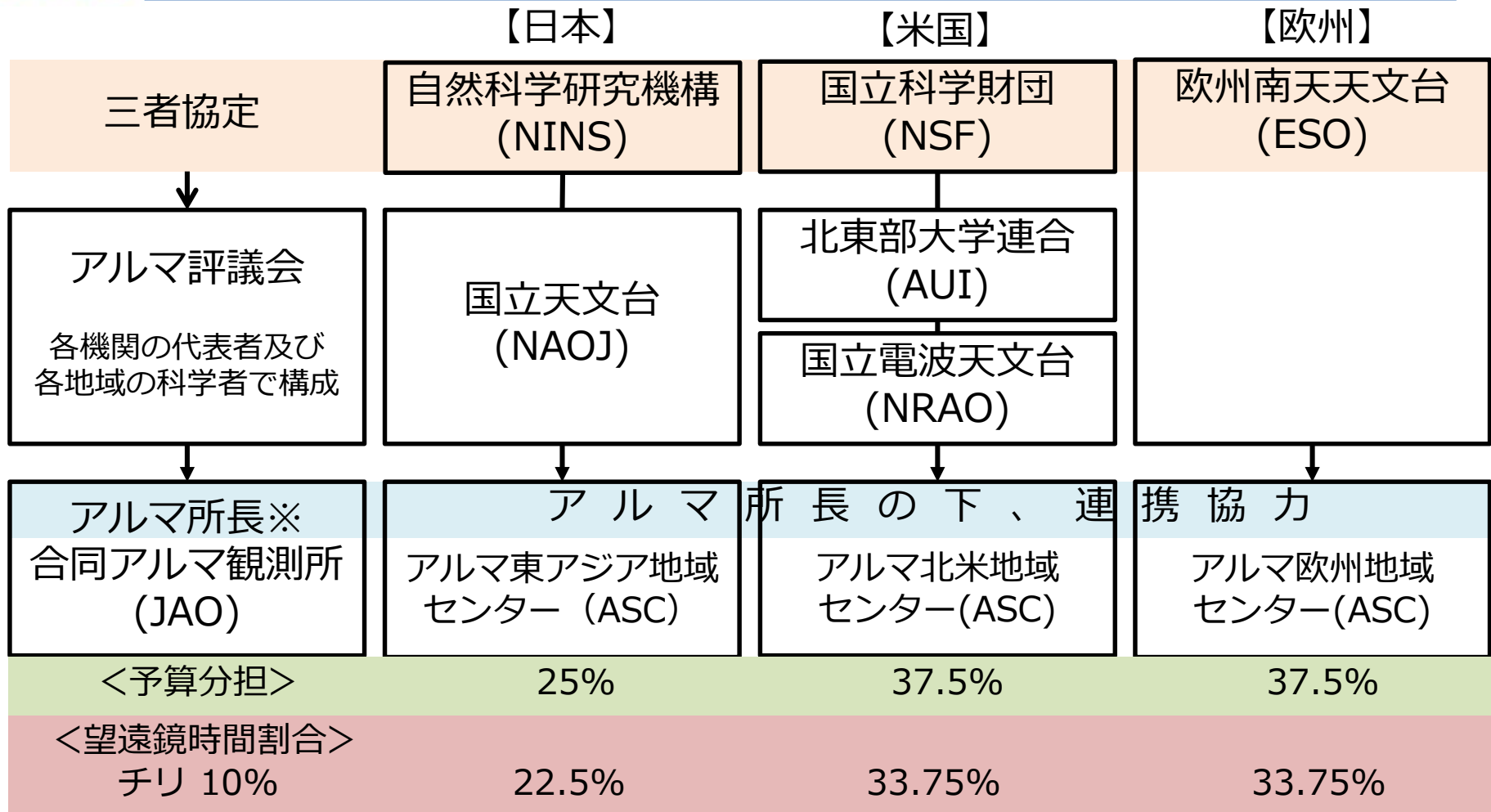
光赤外線およびミリ波・サブミリ波で相補的に最高の空間分解能で観測することで、たとえば、**アルマでは地球型惑星の誕生の現場を直接撮像し、生命関連分子の検出を目指す。**

TMTでは地球型惑星を直接撮像し、バイオマーカーの検出を目指す。



ALMA Governance (Chart)

アルマ・ガバナンス



※アルマ所長は、合同アルマ観測所(JAO)の長である。



ALMA Operation Plan

アルマ運用計画

日本 (NINS/NAOJ)
分担率25%

米国 (NSF/AUI/NRAO)
分担率37.5%

欧州 (ESO)
分担率37.5%

日米欧が分担率に応じて、運用経費、現地職員（全体で約230名）、国際職員（全体で約40名）を負担することが国際的責務

日本の内訳：運用経費および現地職員雇用経費の25%分担と、10名の国際職員派遣で国際的責務を果たしている。

合同アルマ観測所 (JAO) (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 ◆観測装置の運用保守

日米欧で取り決めた機能と装置などを備えた地域センターの運用が国際的責務

アルマ東アジア
地域センター(ASC)

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(ASC)

北米地域
研究コミュニティ

アルマ欧州
地域センター(ASC)

欧州地域
研究コミュニティ



ALMA Board アルマ評議会

- Decision Making Authority in ALMA – 最高意思決定機関

- Membership: 合計12名。各地域から Assessorが1名参加。

- EA Members (3)

- Masa Hayashi, NINS / NAOJ DG
- Toshikazu Onishi, Osaka Prefecture Uni.
- Paul Ho, EAO Director

- EU Members (4)

- Tim de Zeeuw, ESO DG
- Patrick Roche, Oxford Uni.
- Linda Tacconi, MPIEP
- Rafael Bachiller, OAN - Spain

拒否権を持つ代表者。

各地域のコミュニティーの代表者。

- NA Members (4)

- Phil Puxley, NSF – ALMA/NRAO
- Ethan Schreier, AUI president
- Sean Dougherty, NRC – Radio Astro.
- Neal Evans, Uni. of Texas

- Chile Members (1)

- Luis Chavarria, CONICYT Astro. Dir.

- Assessors

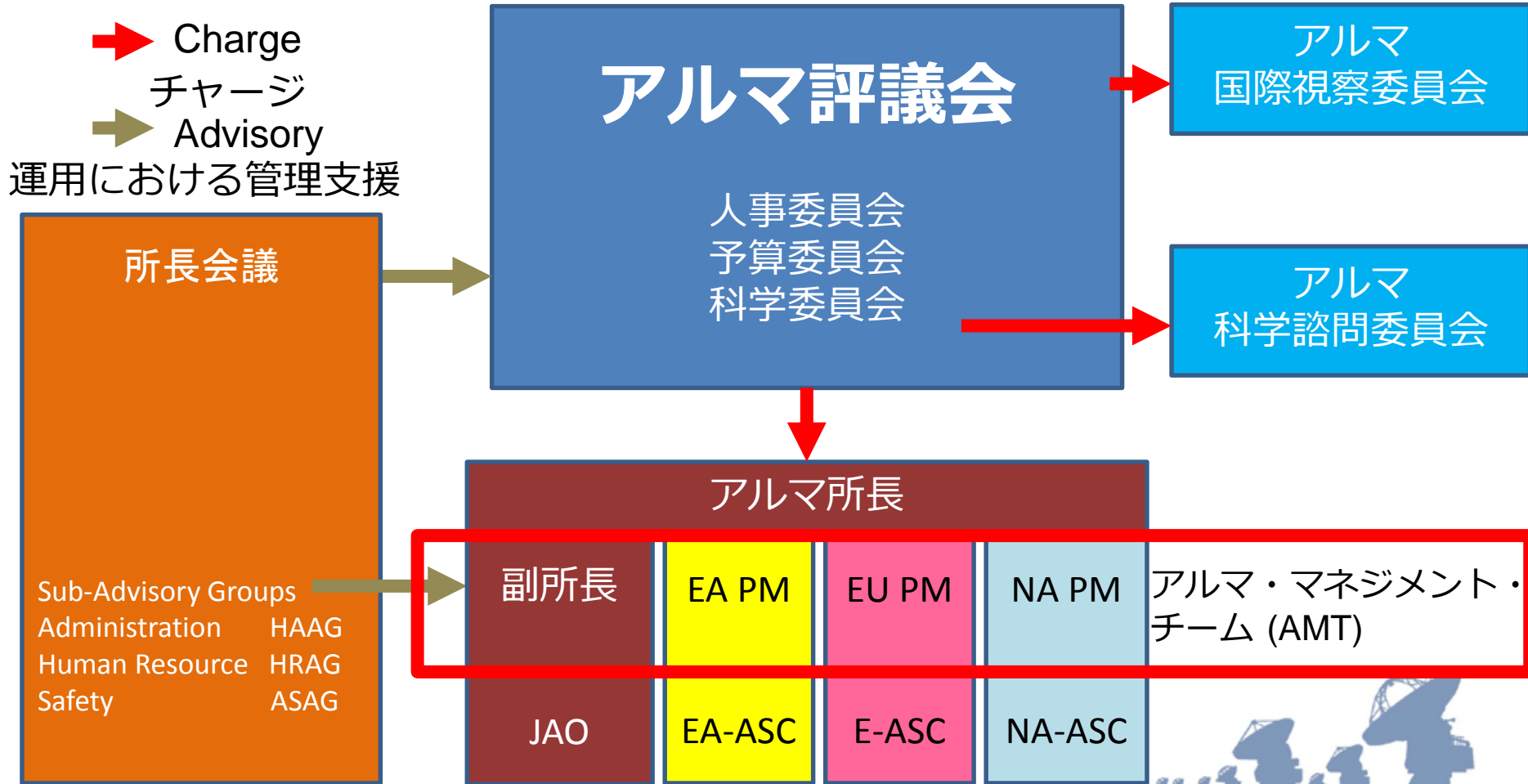
- Hideyuki Kobayashi NAOJ
- Tony Beasley NRAO Director
- Weselka Daniel Austria, MoF



ALMA Decision Making Process

アルマにおける意思決定プロセス

- アルマ評議会を中心に意思が決定される。





ALMA Management Team (AMT)

アルマ・マネジメント・チーム

合同アルマ観測所（JAO）及び各地域支援センター（ASC）の運用マネージャらで構成される。運用及び開発に効果的な支援を行う上でJAO及びASCの間で必要となる全体調整を円滑に進める目的で設置されている。

- リソースの分配（現行の予算配分の範囲内）
- アルマ全体の運用上の目標設定（アルマディレクターによる権限委譲）
- これらの目標を履行するための活動の管理

アルマ・マネジメント・チーム（AMT）は、能動的に又は要請に応じて、アルマ運用期間中のアルマの運用及び運用管理に関する事項について共有、議論、調整、解決を行う場である。

- Change Control Board に対する最終承認権限を有する
- アルマの活動に対する運用戦略を定める
- 配分された予算内でアルマの支出を最適化する
- 運用上の優先順位をレビューし、設定する





ALMA Management Team (AMT)

アルマ・マネジメント・チーム

- マネジメントチーム (AMT) がアルマをリードする。



JAO: Stuartt Corder



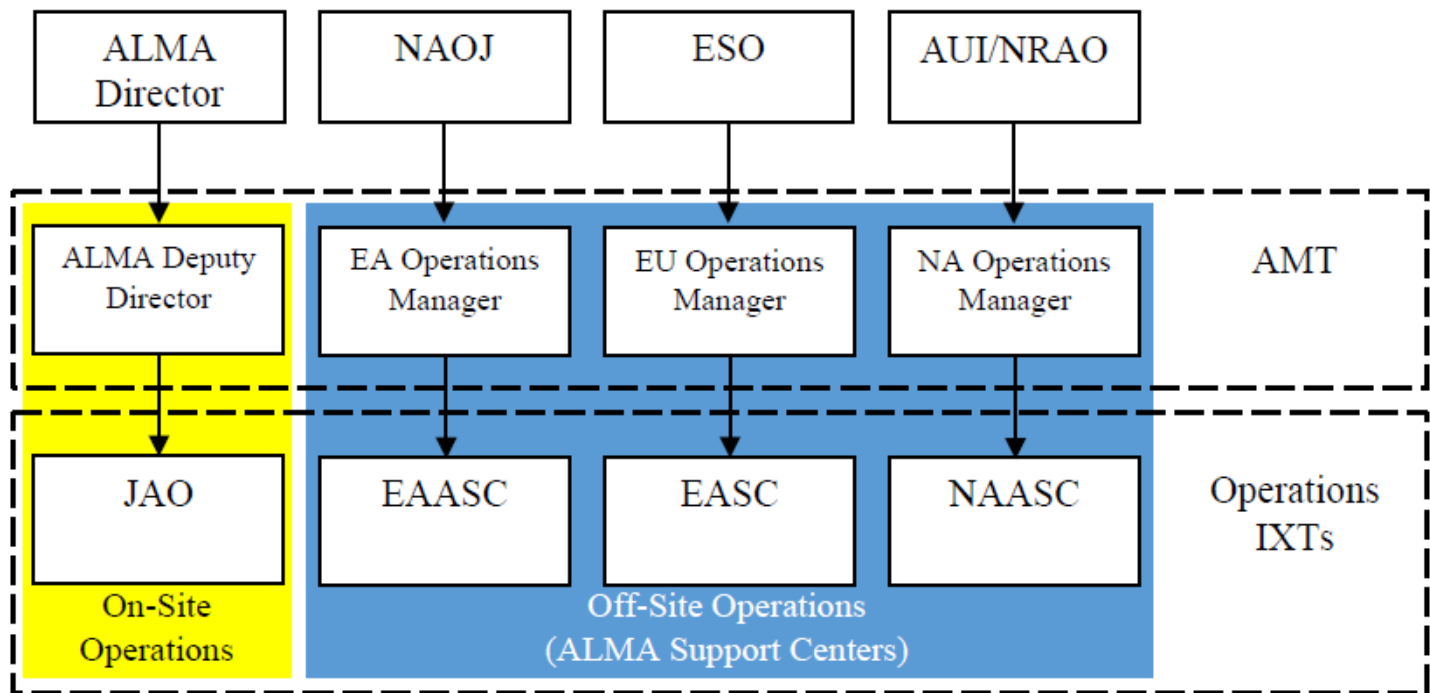
EA: Satoru Iguchi



EU: Wolfgang Wild



NA: Phil Jewell



AMT は、アルマの業務を遂行するために、統合チーム/Integrated Teams (IXTs) を設立できる。





Integrated Teams 統合チーム

- JAO及びASC間の統合チーム
 - AMTは各IXTにマネージャ1名を指名する。

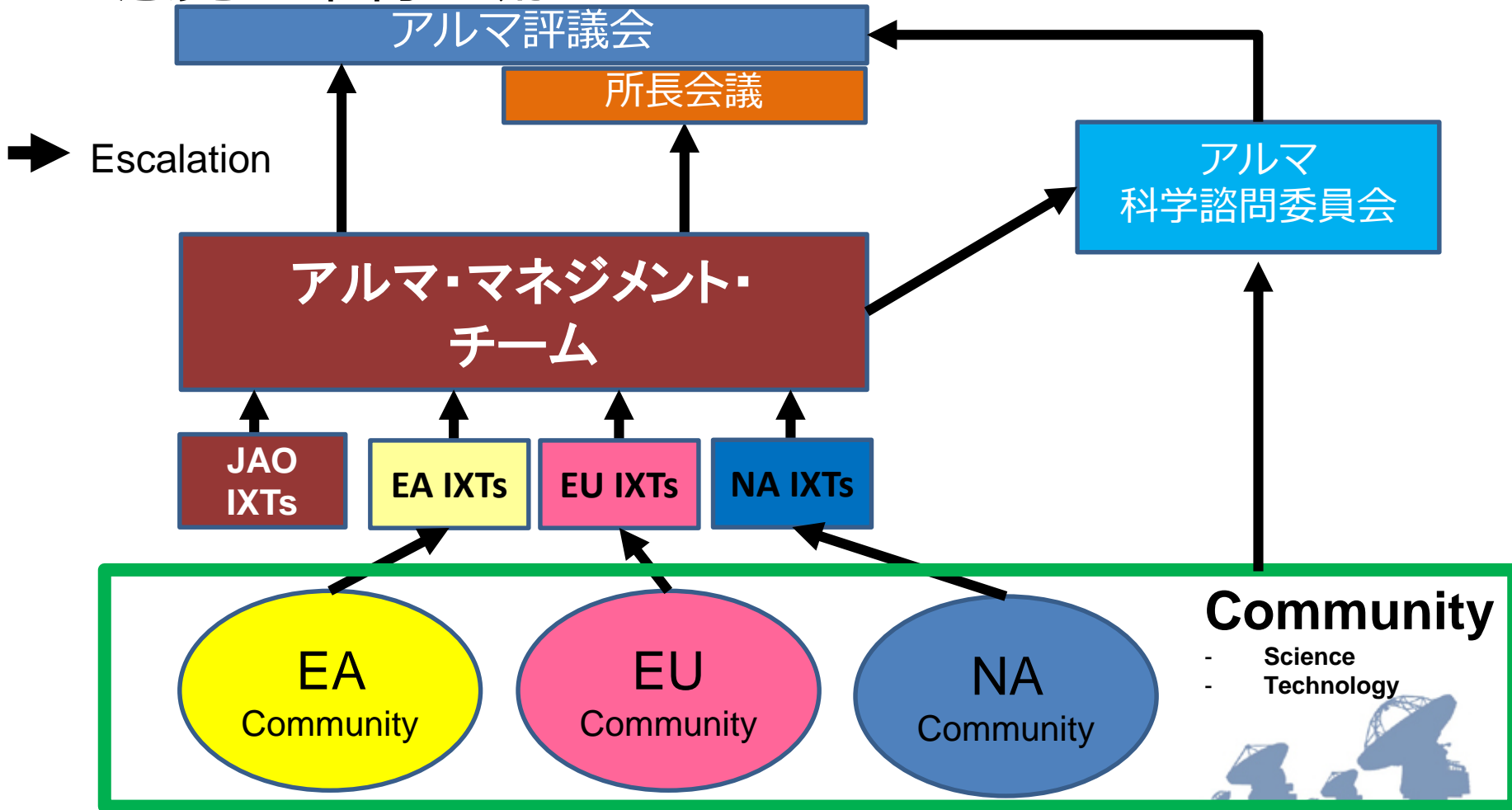
JAO	EAASC	EASC	NAASC	
J. Carpenter	D. Iono	L. Testi	A. Wootten	IST - Science
L. A. Nyman	K. Tatematsu	P. Andreani	T. Remijan	ISOpT – Science Ops.
J. Ibsen	G. Kosugi	E. Villard	M. Griffith	ICT – Computing
S. Guniat	S. Asayama	S. Rossi	K. Saini	IET – Engineering
V. Foncea	M. Hiramatsu	L. L. Christensen	C. Blue	IEPOT – EPO

- すべてのIXTマネージャーは、AMTに現状と進捗を定期的に報告し、危険信号などを即座に通知する責任を負う。

ALMA Bottom Up Process

アルマでの意見集約プロセス

意見の集約の流れ





International Visiting Committee 国際外部評価委員会

建設に関わる国際外部評価

- 2007-09 ALMA Annual External Review (委員-計8人、内2人が日本人)
- 2008-12 ALMA Annual External Review (委員-計12人、内3人が日本人)
- 2009-11 ALMA Annual External Review (委員-計11人、内3人が日本人)
- 2010-10 ALMA Annual External Review (委員-計11人、内3人が日本人(議長は日本))
- 2011-10 ALMA Annual External Review (委員-計10人、内3人が日本人)
- 2012-10 ALMA Annual External Review (委員-計11人、内3人が日本人)

→ たとえば、大幅なコスト超過を防ぐため、サイエンス目標への影響を最小限に留める当初計画からの変更案に関し、審議。

当初計画からの変更

- コスト増による欧米アンテナ台数の削減（平成21年度科学技術・学術審議会 学術分科会 研究環境基盤部会「学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会及び国立大学法人運営費交付金の特別教育研究経費（学術研究）に関する作業部会による評価」にて評価済み）
 - 当初計画：北米：12m×32台、欧州：12m×32台、日本：12m×4台、7m×12台
 - 変更計画：北米：12m×25台、欧州：12m×25台、日本：12m×4台、7m×12台
- アンテナ台数の減少により感度の低下を招くが、観測時間を長くすることや運用効率の向上によって、所期の科学目標を達成可能。平成21年8月の文科省評価においても、妥当であると判断された。
- コスト増によるアンテナの最大展開範囲（最大基線長）の縮小
 - 当初計画：18.5km、変更計画：16km
- アンテナ展開範囲の減少により解像度の低下を招くが、原始惑星系円盤の高解像度観測で実証されたように、所期の科学目標を達成可能。



International Visiting Committee 国際外部評価委員会

運用に関わる国際外部評価

- 2007-02 ALMA Operations Plan External Review (委員-計8人、内2人が日本人)
 - 2015-04 ALMA Operations Review (委員-計10人、内3人が日本人)
- アルマ望遠鏡の運用計画に対して、予算や運用体制等、専門家による幅広い観点からの審査を実施。

安全に関わる国際外部評価

- 2008-10 ALMA External Safety Review (委員-計5人、内1人が日本人)
- 本格運用の開始に先立ち、安全の専門家による外部評価を実施。

2007年9月のALMA Annual Reviewの様子



2010年10月のALMA Annual Reviewの参加者





Lessons & Learned at International Project 国際計画から学んだ教訓

アルマ計画を通じて、大型望遠鏡整備・運用のマネジメント面について、今後を活かすべき知見、残されている課題とは？

今後を活かすべき知見

- プロジェクトのあらゆる面に参画して、貢献を果たすことが重要。
 - 全ての運営（予算、人事、安全対策、広報、ストライキ対応など）に関与。
（例：非常事態における問題解決において率先してイニシアティブを取る。）
（例：アルマ広報で、日米欧が連携し対応。全世界への配信が可能。）
 - 成功のみならず、リスクや失敗なども共に負う必要がある。

残されている課題

- 予備費が無いことが大きな課題としてある。

リスクをある程度予見することはできるが、予見できなかった事態が発生したときこそ、プロジェクトマネジメントの力量が問われる。計画の規模が大きければ大きいほど、この予備費の存在が重要である。早く対処すれば、その影響を最小限に止められることから、予備費を計画予算内に組み込み、その用途を自由にプロジェクト内で裁量できる仕組みを構築することが必要。

CSTI ALMA 第1回評価検討会での説明資料 から抜粋





Lessons & Learned at International Project 国際計画から学んだ教訓

海外が日本よりも進んでいる国際共同研究事業のプロジェクトマネジメントとは？

海外が日本よりも進んでいる国際共同研究事業のプロジェクトマネジメント手法

- 次にまとめるとおり、どれもマネジメントの鉄則ばかりである。しかし、その基本こそが大事で、基本が大事であることはあらゆる局面・分野（経営、研究、スポーツなど）で共通のことであると考える。
 - 他国（外国）におけるインフラ整備の力量とその能力の高さ。
 - 指揮命令システムに対する意識と理解の高さ。
 - マネジメントとアドミニストレーションを混同しない、マネジメントへの本質的な理解の高さ。
 - 法的な整備の柔軟さと、徹底した合理主義。
 - 何より英語力の高さ。（英語が流暢というだけではない。議論力も含む。）
 - 徹底した討論を経てコンセンサスを得るプロセスの強さ。

➤ 研究事業目的にそった、力強いマネージメント体制の構築



Lessons & Learned at Large Projects

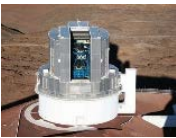
大型計画から学んだ教訓

国際共同プロジェクトにより得られたノウハウ

国立天文台が大型計画の実績を着実に積み上げてきたことで、世界からの信頼を得てきた。そして、アルマ計画への道を作り、さらに次期国際共同計画につながっている。

国立天文台が培ってきたノウハウ

1. 野辺山45m電波望遠鏡（昭和57年観測開始）【国内大型計画の推進と実現】
 - ◆ 世界に誇る施設の実現。天文研究では海外研究者も参画。
2. すばる望遠鏡（平成11年観測開始）【海外拠点における大型計画の推進と実現】
 - ◆ 国際化の第一歩を踏む。但し国内計画の一環として実施。
 - ◆ 他国でも同様の大型研究基盤の施設を整備。
3. アルマ望遠鏡（平成25年本格運用開始）【国際共同大型計画の推進と実現】
 - ◆ 完全に対等な関係で国際共同計画を推進。
 - ◆ **国際協定書**を締結し、計画の25%を貢献（分担）。
 - ◆ 世界で唯一無二の大型研究基盤の施設。
4. TMT望遠鏡【国際共同大型計画の推進と実現】
 - ◆ アルマと違い、1つの望遠鏡を分担して建設。より複雑なマネジメントが求められる。
 - ◆ アルマでの実績もあり、TMT計画の一番の要である「望遠鏡本体」および「主鏡」の製造を日本が担当。**国際協定書**を締結。



国際大型科学プロジェクトを円滑に進めるために必要な①**プロジェクトマネジメント**および②**システムエンジニアリング**に関わるノウハウを、これらの計画を段階的に行うことで、国立天文台および本計画に関連した企業に蓄積することができた。



Summary

まとめ

- アルマのマネジメント体制
 - 実施国：ESO (欧州), NSF (米国), NINS (日本)
 - 22の国と地域が、この3者に組込まれる。
 - マネジメント&システムエンジニアリング
 - 主が3者なので、統合チーム(Integrated Team)で実施。
(4以上だと合意形成は厳しかったであろう。)
 - 体制は、徹底したマネジメント学を導入。Product Tree / WBS に合わせたマネジメントの階層。
 - Configuration Control Board (Change Control Board), Budget Control Boardをマネジメントが持つ。
 - 審査会：設計・受入審査会は、NASAなどを参考。
 - Product Tree で定義された装置およびソフトウェアは、すべて設計・受入審査会を実施。SRR, PDR, CDR, TRR, PAI, PAS。
 - 建設期は毎年、国際外部評価を米国基準で実施。
- 今後の国際計画に対して、
 - マネジメント
 - 米欧流の導入に慎重な意見は良く聞かされた。しかし、ALMAを通じて感じ得た事は、国際マネジメントといっても、どこでも実施されているマネジメントとの差はなかった。(例えば、日本の民間企業で実施されている。)
 - システムエンジニアリング
 - 日本が得意ではない分野。プロジェクトでは一番大事。





www.almaobservatory.org

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

