



2021光赤天連シンポ「国際大型計画との関わり方を考える」

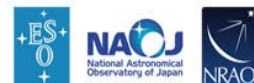
ALMA Construction and Operations

井口 聖

2021年9月6日



アルマ望遠鏡の概要 (現在)



宇宙・銀河系・惑星系の誕生過程を解明するため、日米欧の国際協力により、南米チリのアタカマ高地（標高5,000m）に建設した「アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計」による**国際共同利用研究を推進**する。

○日米欧の国際共同事業で世界最高性能の電波望遠鏡を実現

22の国および地域

日本：自然科学研究機構国立天文台
（+ 東アジア）

欧州：欧州南天天文台（欧州16カ国）

米国：国立科学財団（+ カナダ）

※ホスト国としてチリ共和国も参加

東アジア連携機関：

台湾 天文及天文学物理研究所

韓国 天文学宇宙科学研究所

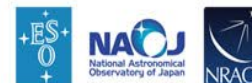


国内共同研究体制：東京工業大学地球生命研究所、東北大学、筑波大学、東京大学、東京工業大学、日本大学、早稲田大学、上越教育大学、名古屋大学、大阪大学、大阪府立大学、近畿大学、広島大学、鹿児島大学、電気通信大学、関西学院大学、理化学研究所

国内大学・研究機関教員との教育研究連携：情報通信研究機構、慶應義塾大学、大阪府立大学、茨城大学、富山大学、電気通信大学、統計数理研究所、京都産業大学



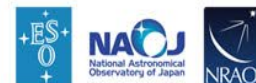
アルマ望遠鏡の沿革—計画立案



	日本学術会議	宇宙電波懇談会	日本	米国（北米）	欧州
1982			野辺山宇宙電波観測所の開所		
1983			大型ミリ波干渉計（LMA）構想	ミリ波干渉計（MMA）構想	
1984					
~1986					
1987			サブミリ波の本格観測を視野に入れ、LMAから大型ミリ波サブミリ波干渉計（LMSA）構想へ発展		
1988					
~1990					
1991					大型電波干渉計の検討開始
1992		1992.01 宇電懇シンポジウム「LMA計画」（1992年1月8日～10日、箱根町仙石原文化センター）	チリでの建設地調査開始		
1993					
1994	1994.06 日本学術会議天文学研究連絡委員会「21世紀に向けた天文学長期計画」	1994.09 宇電懇シンポジウム「LMSA計画の推進	日米での協力協議の開始		
1995		計画立案に約20年を費やした			
1996					
		31日、国立天文台(三鷹))			
1997			1997.03 日米共同ワークショップ「0.01秒角分解能によるミリ波サブミリ波天文学」で、LMSA/MMA結合計画の提案		チリでの建設地調査開始
1998		1998.02 宇電懇シンポジウム「21世紀の大型観測装置による天文学」（1998年2月4日～5日、東京大学(本郷))		1998.10 MMAの設計開発研究開始	1998.12 LSAのためのヨーロッパコンソーシアム結成
1999				1999.06 米欧間でのアルマ望遠鏡開発協力開始	
			1999.10 アルマ望遠鏡ワシントンサイエンスシンポジウム、アルマ科学諮問委員会結成		
2000					
2001		2001.12 宇電懇シンポジウム「21世紀の電波天文学」（2001年12月5日～6日、国立天文台(三鷹))	2001.04 アルマ望遠鏡 日米欧3者共同建設の決議書の締結		
				2001.11 アルマ望遠鏡建設予算の決定	
2002	2002.12.11 日本学術会議 第5部会議室 ALMA 計画に関する検討会議		2002.04 アルマ望遠鏡試作アンテナ予算の決定		2002.07 アルマ望遠鏡建設予算の決定
2003		2003.09 宇電懇シンポジウム「ALMA 時代のサイエンスと研究推進体制」（2003年9月9日～11日、国立天文台(三鷹))		2003.02 米欧によるアルマ望遠鏡（Atacama Large Millimeter Array）共同建設開始 2003.11 起工式を開催	
2004			2004.04 アルマ望遠鏡建設予算の決定 2004.09 日本が加わったアルマ望遠鏡の共同建設開始。 正式名称が Atacama Large Millimeter/submillimeter Array に。		



アルマ望遠鏡の沿革一概要



• 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) 総合科学技術・イノベーション会議での審議
 - 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、またそれらの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。**



アルマ望遠鏡の沿革—建設期



科学技術・学術審議会

- 2000 特定研究領域推進分科会 我が国における天文学研究の推進について
- 2002 総合科学技術会議 (CSTP) 学術分科会 アルマ実施計画に関する評価について
- 2003 2003.09.17 総合科学技術会議 専門調査会 評価専門調査会 「アルマ計画」評価検討会 (事前評価) 第1回
- 2004 2003.10.06 総合科学技術会議 専門調査会 評価専門調査会 「アルマ計画」評価検討会 (事前評価) 第2回
- 2005 "総合科学技術会議 専門調査会 評価専門調査会 大規模新規研究開発の評価のフォローアップ※評価専門調査会第45回 (2005.05.19)、第46回 (2005.06.01)、第47回 (2005.07.07)、第48回 (2005.08.04) の4回に渡ってフォローアップを実施"

2006 独法化

- 2007 総合科学技術会議 平成20年度概算要求における科学・技術関係施策の優先度判定結果「アルマ計画の推進」
- 2008 総合科学技術会議 平成21年度概算要求における科学・技術関係施策の優先度判定結果「アルマ計画の推進」
- 2009 総合科学技術会議 平成22年度概算要求における科学・技術関係施策の優先度判定結果「アルマ計画の推進」
- 2010 総合科学技術会議 平成23年度概算要求における科学・技術関係施策の優先度判定結果「アルマ計画の推進」



アルマ望遠鏡の沿革一運用期



科学技術・学術審議会

2011

2012

総合科学技術・イノベーション会議 (CSTI)

2013

2013.09.30 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 進捗評価

2014

2015

2016

2017

2017.01.26 総合科学技術・イノベーション会議評価専門調査会 「アルマ計画」評価検討会（事後評価）第1回

2018

2017.03.10 総合科学技術・イノベーション会議評価専門調査会 「アルマ計画」評価検討会（事後評価）第2回

2019

2020

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

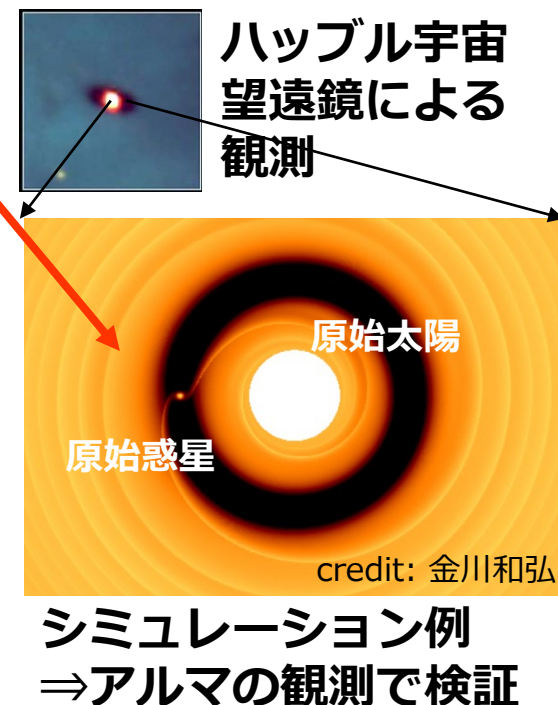
太陽系以外の惑星系とその形成を解明

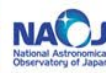
科学目標 2

銀河形成と諸天体の歴史を解明

科学目標 3

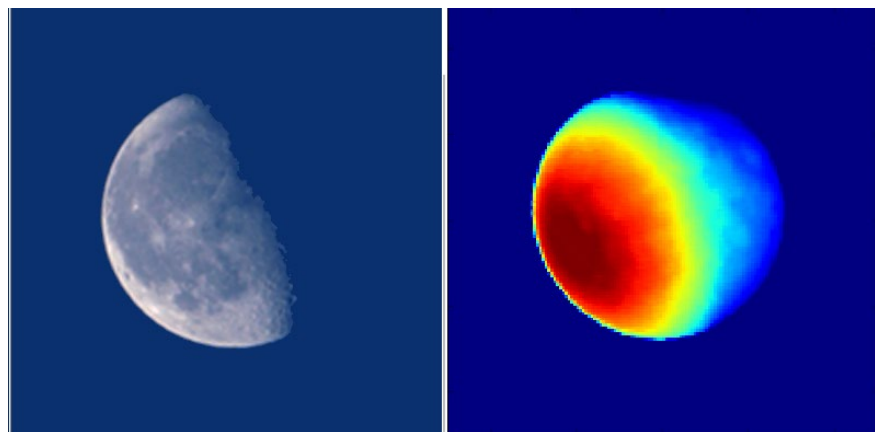
膨張宇宙における物質進化を解明





アルマ望遠鏡の建設期の歴史

2008年 (H20) 3月：日本が製造を担当する16台のアンテナのうち、**12mアンテナ4台が現地での組み立てを完了**



光の画像

12mアンテナで取得した電波の画像

2008年 (H20) 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。**アルマにおいて天体からの電波の初の受信に成功**

2009年 (H21) 4月：日本/米国が製造した2台のアンテナで干渉計実験に成功。**アンテナを含むすべての主要装置が仕様通り製造されていることを確認**



アルマ計画の重要なマイルストーンを達成

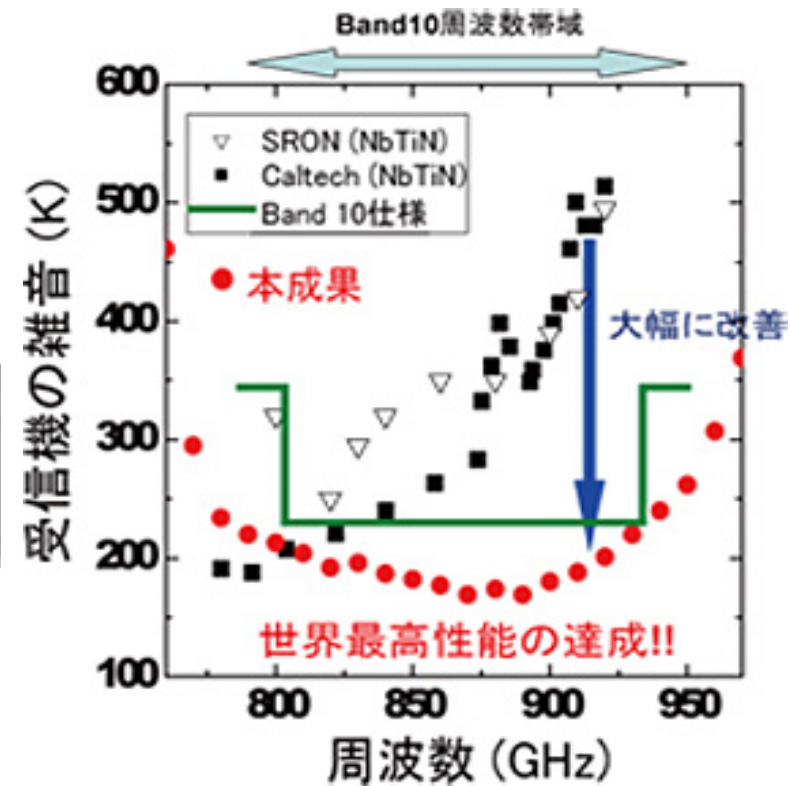
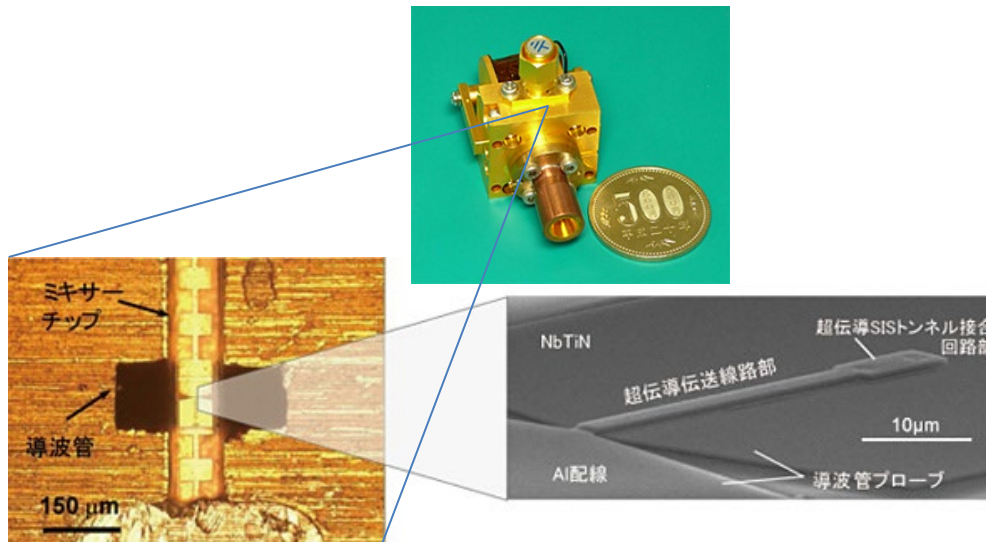
アルマ望遠鏡の建設期の歴史

- アルマにおける最初のアンテナでは、数日間の審査会が複数回開催され、一年程度の時間を要した。
- 2008年12月、日本が製造したアンテナが、米欧に先駆けてアルマの1号機のアンテナと認定された。



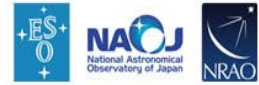
アルマ望遠鏡の建設期の歴史

- アルマ望遠鏡での最高周波数帯を観測するバンド10については多くの開発課題があったが、開発チームの人的体制を整え仕様を達成。
2008年3月 PDR を通過。





観測運用の開始と三者協定



- 2011(H23)年：日米欧のアンテナ16台で初期科学観測開始。
- 2012(H24)年：初期科学観測における科学的成果を発表。
- 2013(H25)年：本格運用を開始してチリ現地で開所式を挙行。
- 2015(H27)年：日米欧でアルマ望遠鏡の運用に関する三者協定書に署名した。これによって、三者によるアルマ望遠鏡の国際協力運用を今後30年+ α にわたって継続する枠組みが確定した。



開所式における福井照文部科学副大臣（当時）の祝辞

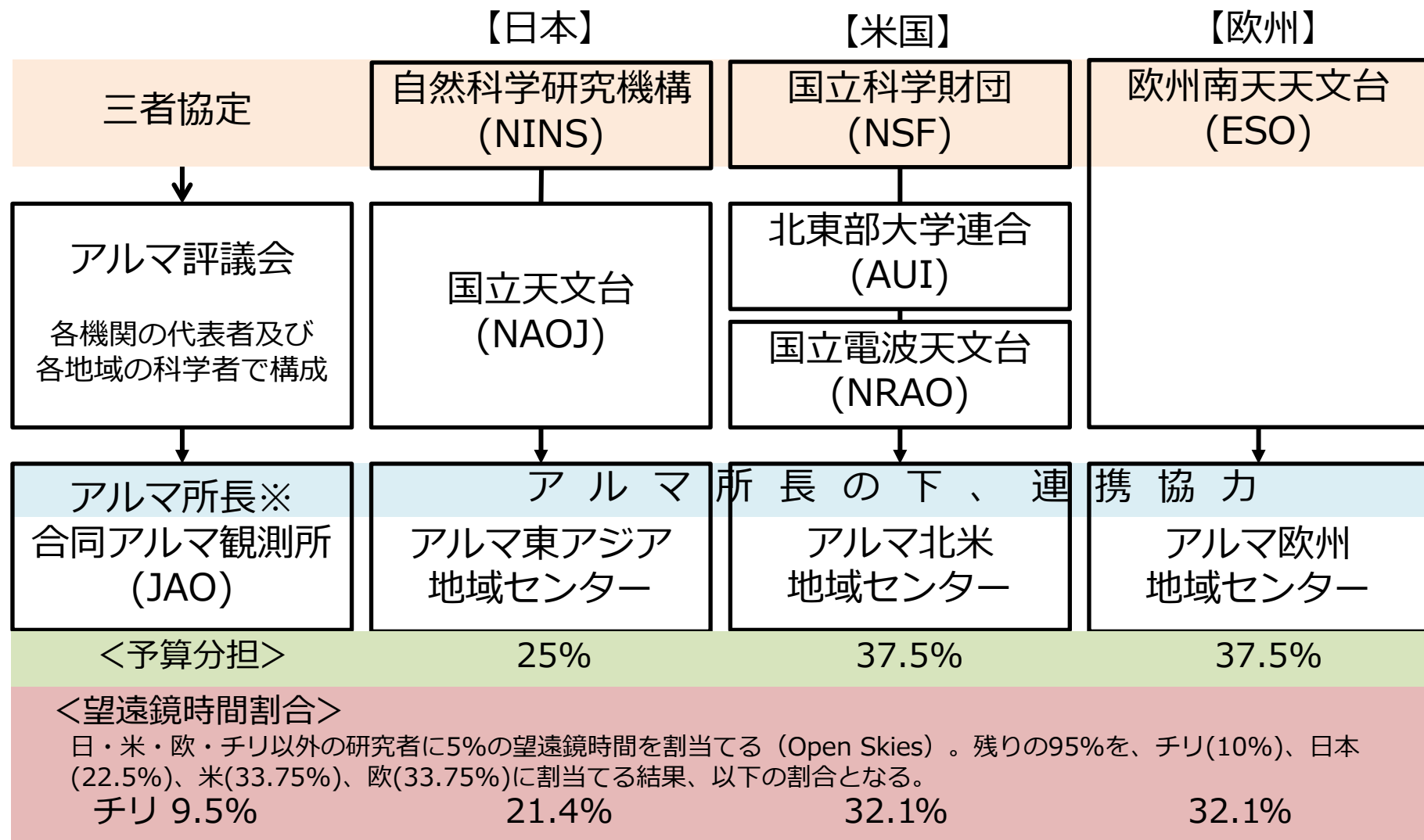
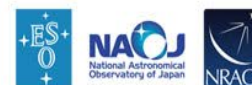


東京で開催した三者協定署名式



プロジェクトの概要：三者協定

アルマ望遠鏡のガバナンス

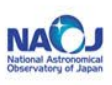


※アルマ所長は、合同アルマ観測所(JAO)の長である。

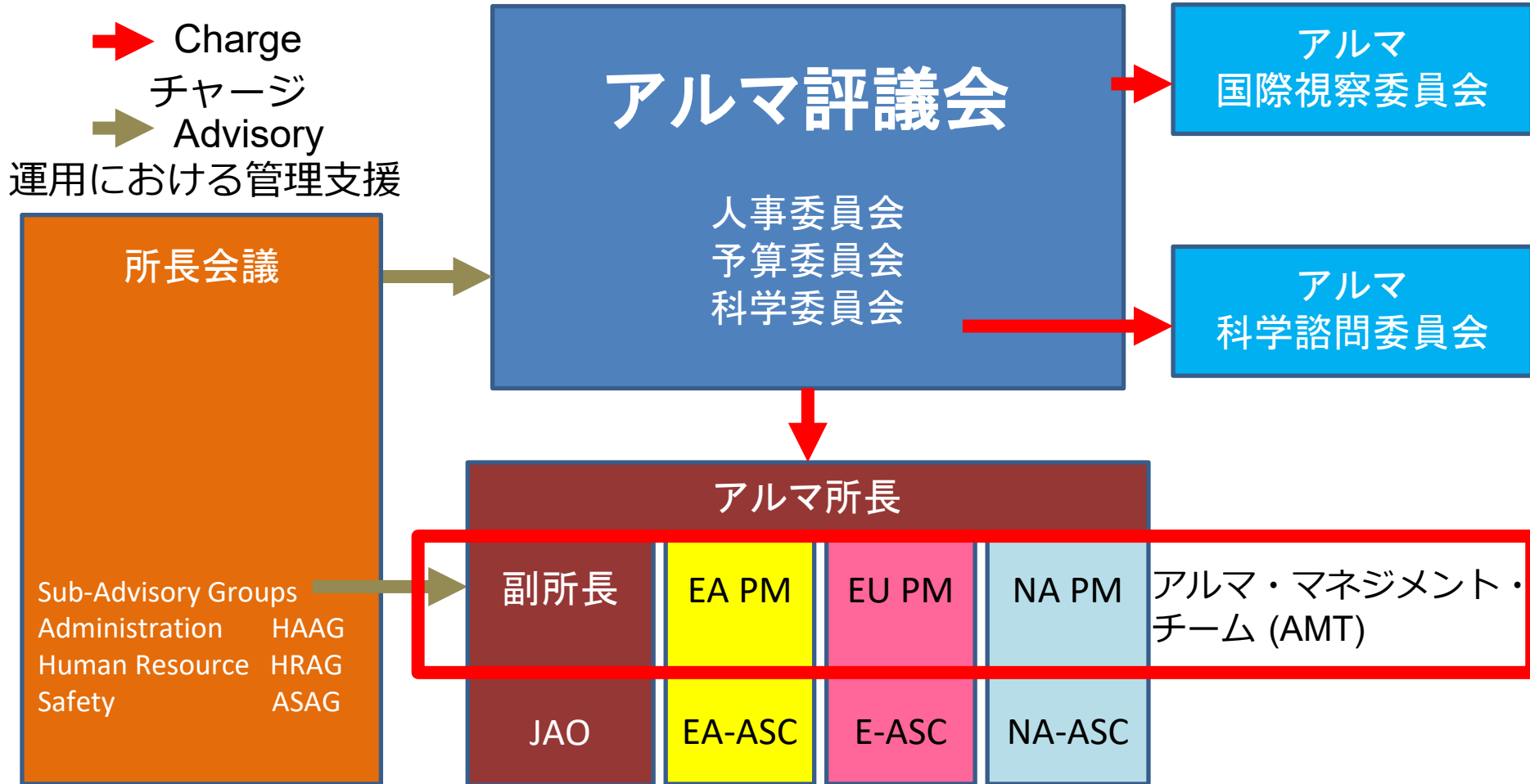
- 外部諮問委員会：(External) Advisory Committees
 - ✓ 各当事者によって指名され、評議会が承認
 - アルマ科学諮問委員会：ALMA Science Advisory Committee (ASAC):
EA 3, NA 4, EU 4, CH 1 計 12 名
 - アルマ国際視察委員会：ALMA International Visiting Committee :
EA 1, NA 1, EU 1, Externals ≤5 計 8 名以下
- アルマ評議会諮問委員会：ALMA Board Advisory Committees
 - ✓ アルマ評議会メンバーから選出され、評議会が承認
 - 人事委員会：Personnel Committee (PC)
 - 予算委員会：Budget Committee (BC)
 - 科学委員会：Science Committee (SC)
- 所長会議：Director's Council (DC)
 - NAOJ台長、ESO所長、NRAO台長（各当事者が指名・承認）
 - アルマ所長（三者協定より）



アルマにおける意思決定プロセス

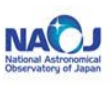


- アルマ評議会を中心に意思が決定される。





アルマ・マネージメント・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・マネージメント・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

アルマ・マネージメント・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



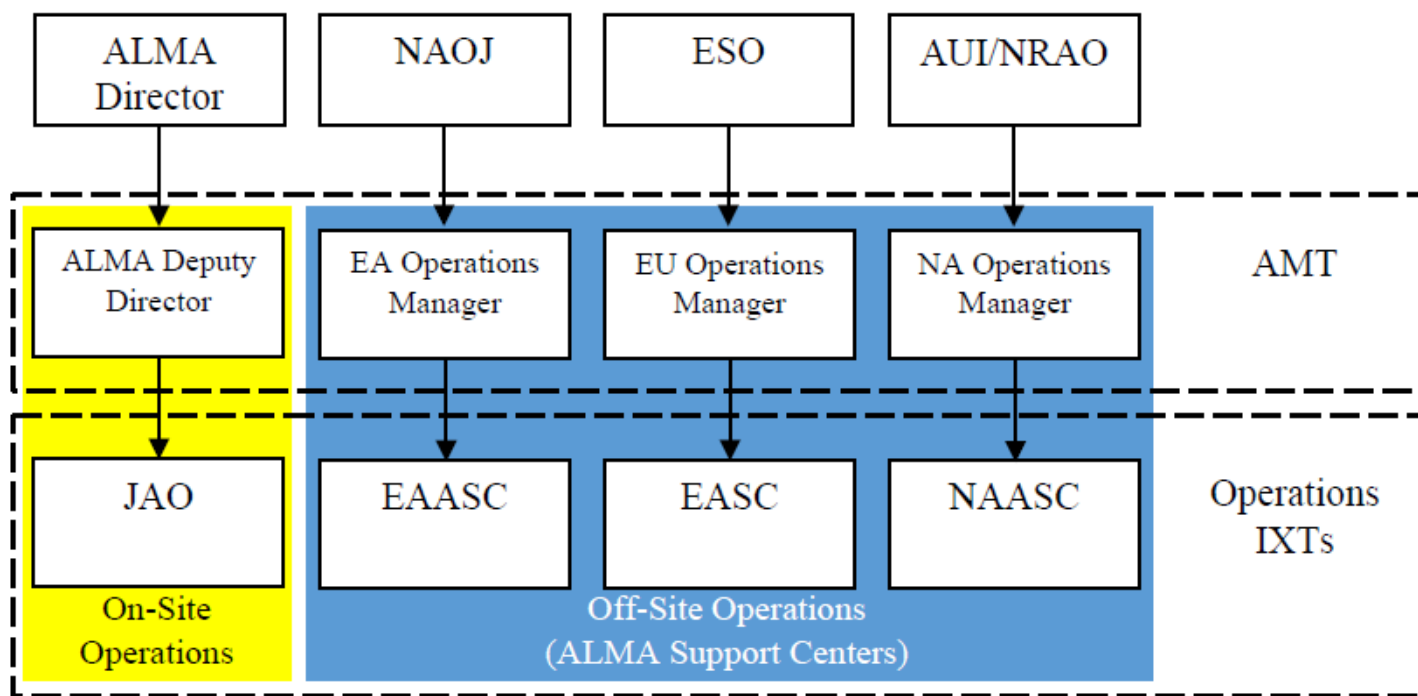
EA: Satoru Iguchi



EU: Wolfgang Wild



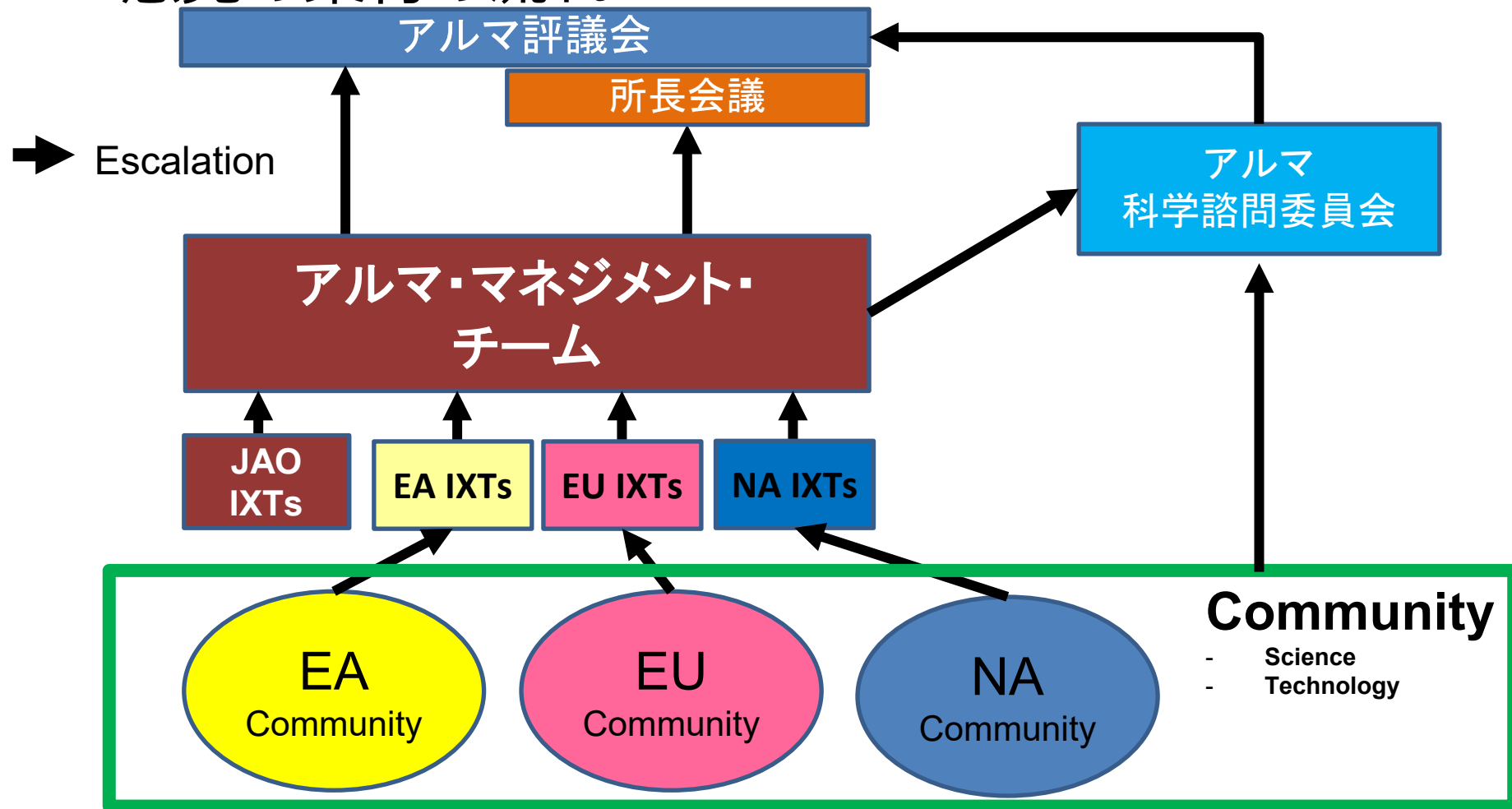
NA: Phil Jewell

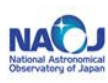


AMT は、アルマの業務を遂行するために、統合チーム/Integrated Teams (IXTs) を設立できる。

アルマでの意見集約プロセス

意見の集約の流れ





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。

プロジェクト運営 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

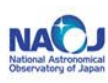
- 2008-10 ALMA External Safety Review (委員-計5人、内1人が日本人)
- 本格運用の開始に先立ち、安全の専門家による外部評価を実施。

2007年9月のALMA Annual Reviewの様子



2010年10月のALMA Annual Reviewの参加者





新協定書以降、開催された国際外部評価

- 2019 International Visiting Committee (委員-計8人、内2人が日本人)
 - アルマ望遠鏡に対して、予算、運用、安全衛生、広報に加え、将来計画も含む、専門家による幅広い観点からの審査を実施。
 - 地域センター 2019年6月と7月に、各3日間、Mitaka, Garching, Charlottesville で開催した。
各地域の科学諮問委員会の議長、コミュニティーの代表へのインタビューも含む。
 - 合同アルマ観測所 2019年9月に、計5日間、山麓施設およびサンチアゴ事務所で開催した。



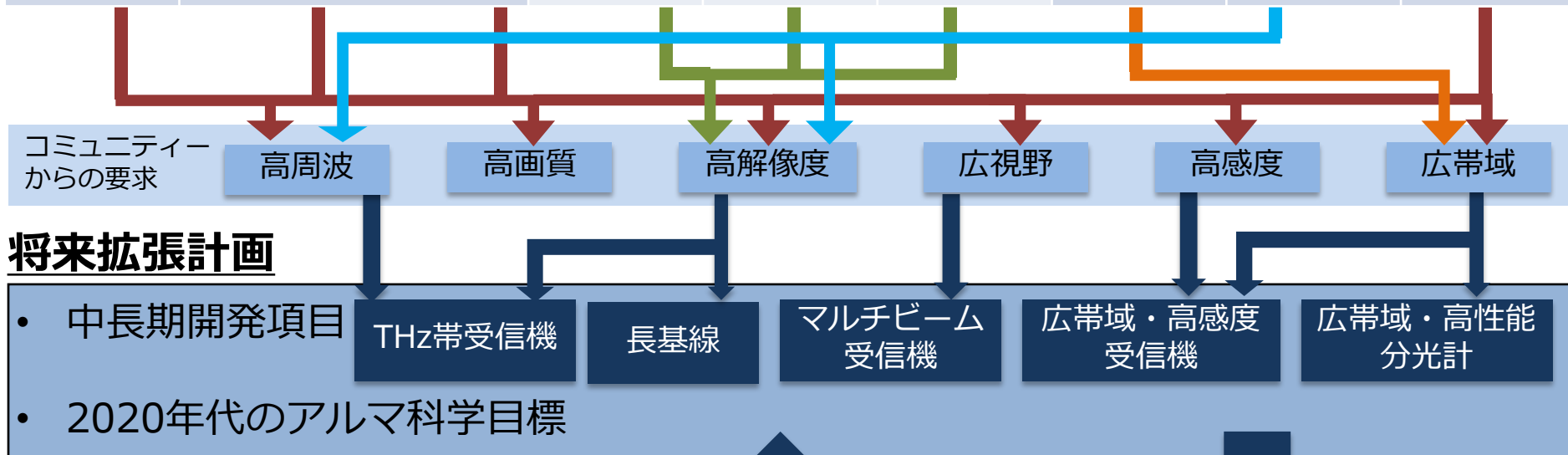
次期アルマ2計画に向けた準備



科学目標と開発計画

東アジア アルマ将来開発ワークショップ

2011	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
東アジア地域 発の開発計画 のキックオフ WS	新たな科学要求項目の検討・ 開発タイムラインの議論	高解像度観測の実現に向けたWS			アクション アイテムの整 理	広帯域受信機 の科学要求と 装置開発の議 論	高周波による 高解像度観測 の議論	デジタイザ、 バックエンド、 データ転送系 技術の議論
		アンテナのコ ストとパ フォーマンス	ソフト開発や 校正方法につ いて					



アルマ将来開発ワーキンググループ

- システムエンジニア（合同アルマ観測所）
- オブザーバトリーサイエンティスト（合同アルマ観測所）
- アルマ評議会 代表
- プログラムサイエンティスト
（国立天文台、欧州南天天文台、米国立電波天文台）

国際的な議論を経て将来開発ロードマップを策定。「アルマ2」計画は、これに整合する計画であり、**国際的な合意のもとで掲げた新たな科学目標の達成を目指す。**

2020年度に広帯域観測実現のための技術ワークショップを国立天文台主催で実施した。



科学観測による成果

科学目標1：太陽系以外の惑星系の形成

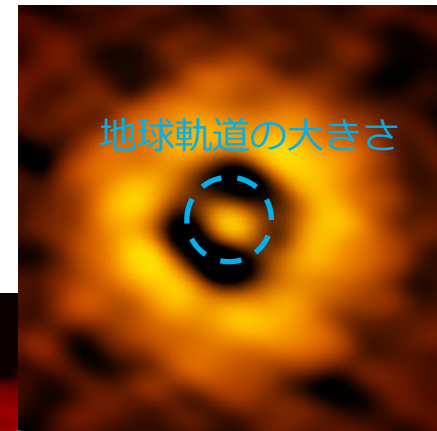


高い解像度で天体を細かく観測：ハッブル宇宙望遠鏡の10倍

- 若い星を取り巻く塵の円盤 = 惑星誕生領域を詳細に観測。
- うみへび座TW星はハッブル宇宙望遠鏡やすばる望遠鏡でも観測されているが、中心星の光を隠す必要があり中心星直近の円盤は見えない。

→ 地球軌道サイズを見るにはアルマが最適。

Andrews et al. 2016,
Astrophys. J. Letters



うみへび座TW星
距離：175光年

すばる望遠鏡

アルマ望遠鏡

ハッブル宇宙望遠鏡

天王星軌道の大きさ

約80 AU

1" = 54 AU

約20 AU

30天文単位
= 海王星軌道の大きさ

塚越（茨城大学）et al. 2016, *Astrophys. J. Letters*,
塚越 et al. 2019, *Astrophys. J. Letters*

アルマ2計画：科学目標1 地球型惑星形成領域における惑星系形成過程の理解

アルマ2による研究の展望

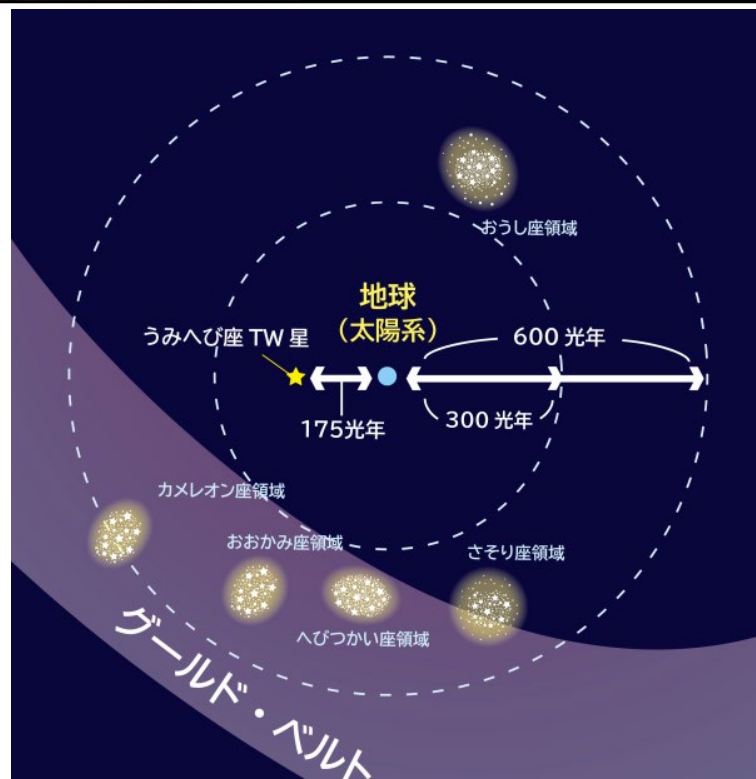
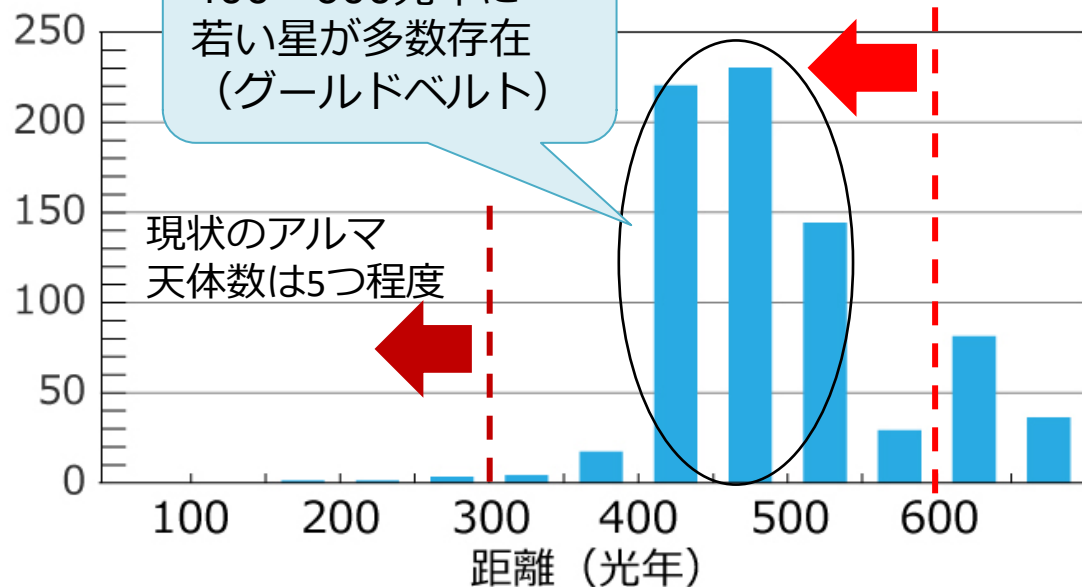
従来のアルマ望遠鏡観測では、地球軌道スケールを見分けられるのは地球から約300光年以内の数天体に限られた。解像度が向上するアルマ2では、約600光年以内にある多数の円盤の**地球軌道スケールの構造を描き出し**、円盤全域で進行する惑星系形成過程を理解する。

アルマ望遠鏡が観測した
原始惑星系円盤

内側の想像図

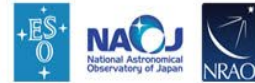
Credit:ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), S. Andrews et al.;
NRAO/AUI/NSF, S. Dagnello

アルマ2計画
天体数は約650以上





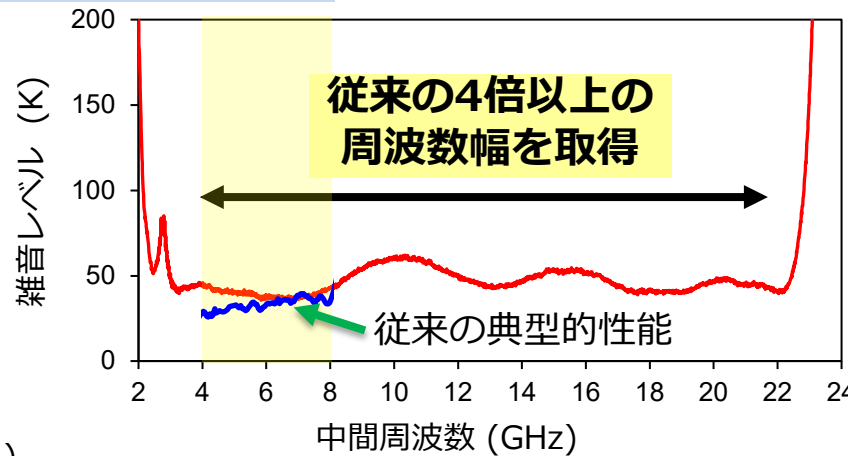
アルマ2計画に向けた技術実証の状況



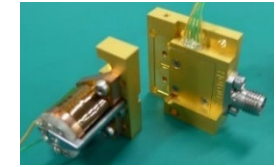
受信機の超広帯域化の実証に成功

従来の非常に良い雑音性能を維持しながら、広帯域化に成功した。大阪府立大学の国内望遠鏡に搭載し、実際の天文観測で性能を実証した。

(小嶋ほか A&A 2020, SPIE2020:)



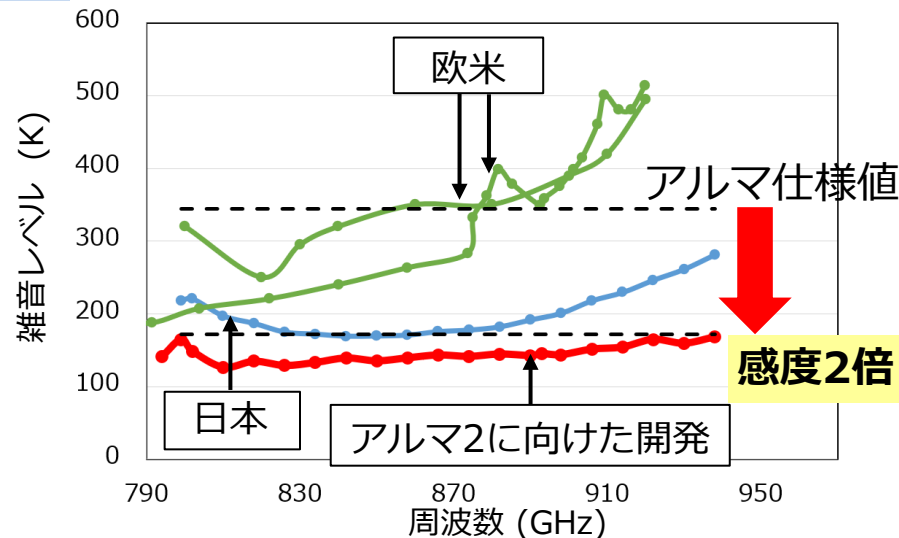
開発中の超広帯域・高感度ミキサ



高速デジタイザ (32 Gsps)
Keysight technologies

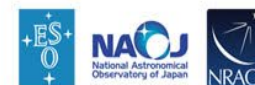
受信機の高感度化に成功

アルマ望遠鏡において、国立天文台は最高周波数帯（バンド10）受信機の開発を担当し、世界最高性能を実現した。この技術をさらに高めることで、受信機感度をより一層向上させることに成功した。





アルマ2へ向けた沿革一概要



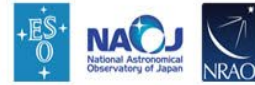
	学術審議会	日本学術会議	宇宙電波懇談会
2018		2019.3 日本学術会議・マスタープラン2020に「アルマ2」を提案	2018.11.29 宇宙電波懇談会は、日本学術会議・マスタープラン2020に「アルマ2を最も強く推薦」
2019			
2020	2020.08 科学技術・学術審議会 学術分科会 研究環境基盤部会 学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会 ロードマップ2020 「アルマ2」ヒアリング 2020.09 科学技術・学術審議会 学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会・ロードマップ2020に「アルマ2」が掲載	2020.01 日本学術会議・マスタープラン2020に「アルマ2」が重点大型研究計画として掲載	
2021			
2022	(予定) 「アルマ」事業移行評価 (予定) 「アルマ2」事前評価		



アルマ望遠鏡から学んだ
国際大型型計画とは



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、

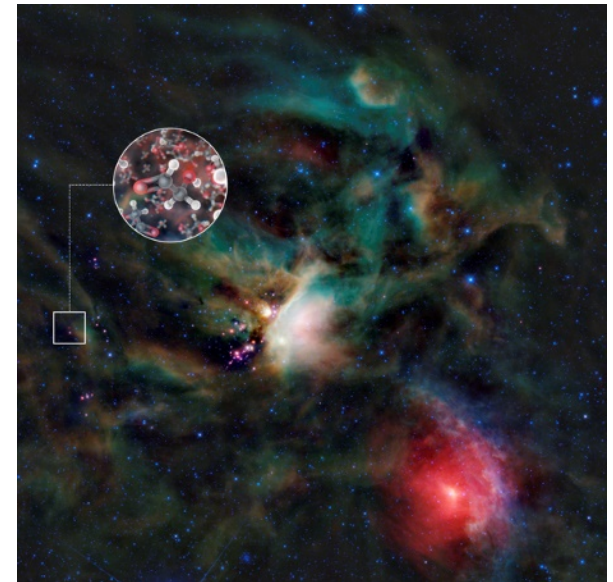
「私たちの地球がある太陽系がどうやってできたのか」

「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。



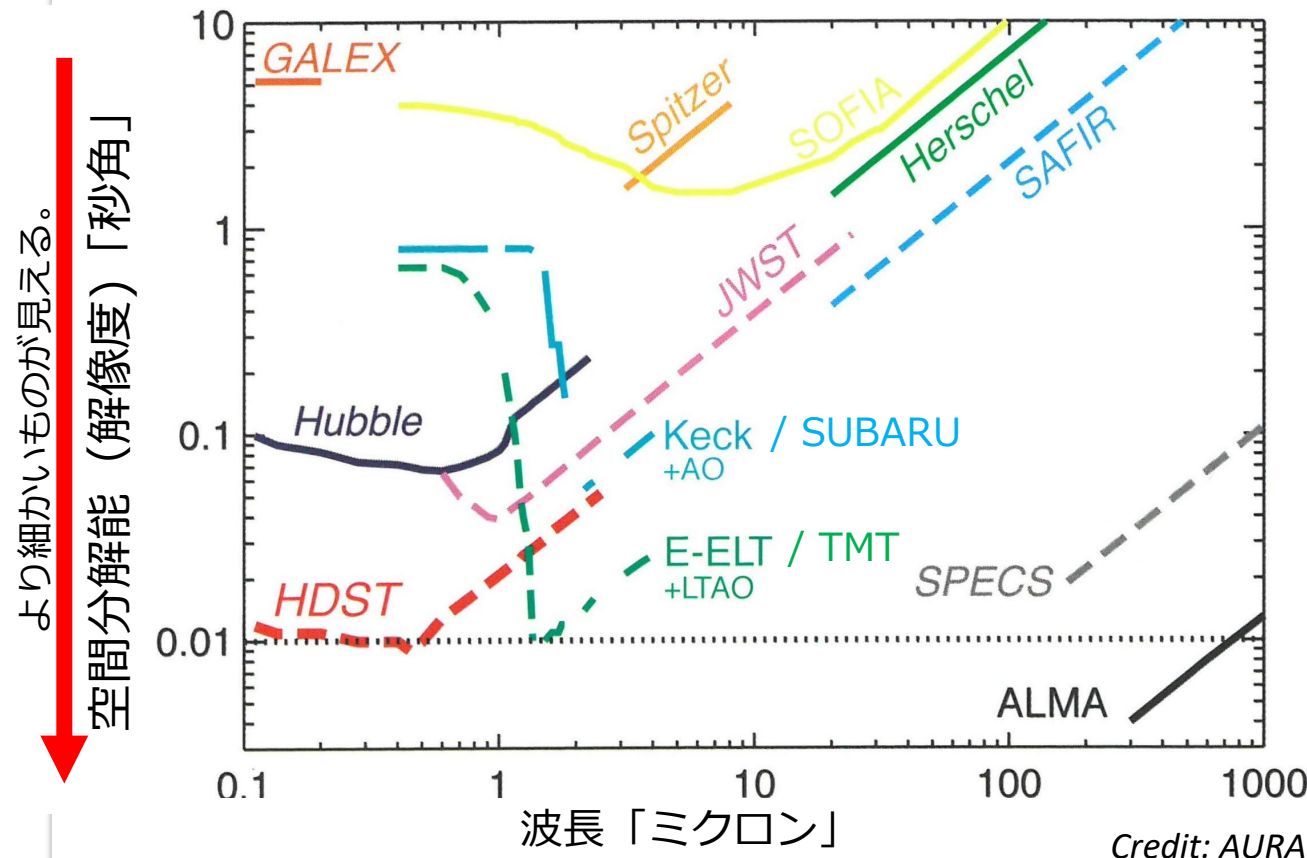
アルマの観測により、最も単純な「糖」分子を惑星系ある領域から初めて発見した、へびつかい座の星形成領域の赤外写真。生命に密接に関連する分子が、惑星が作られる領域で既に作られていることがわかった。

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)





ALMA Science Requirements アルマ望遠鏡の科学目標

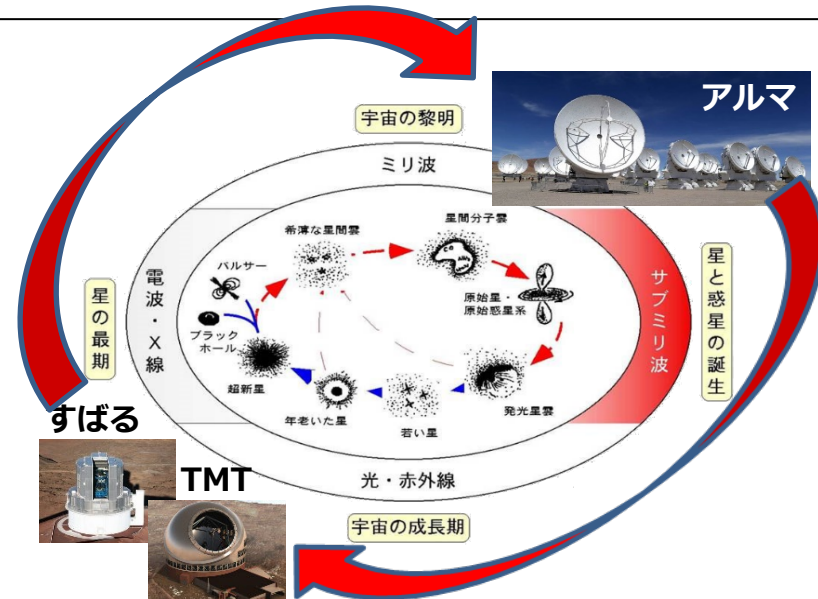
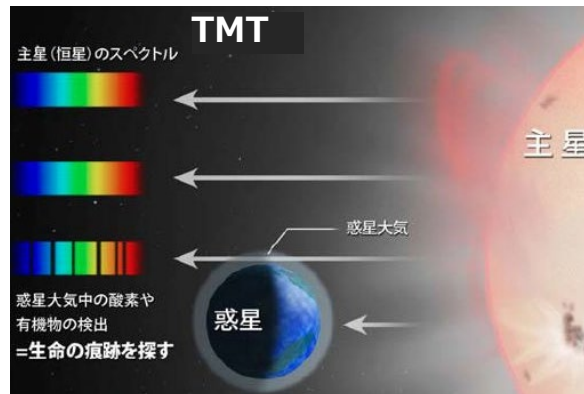
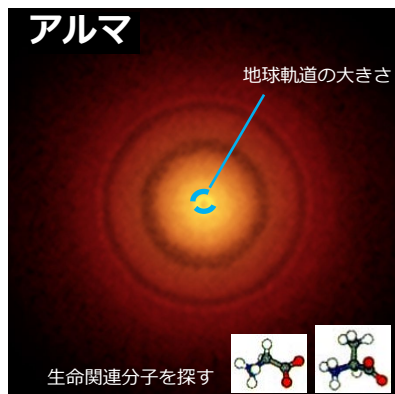
新しい望遠鏡等の設置を含む、今後の我が国の運用・整備計画は明確になっているか。
その中で、アルマの位置づけは妥当と言えるか。

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。



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、今後に活かすべき知見、残されている課題とは？

今後に活かすべき知見

- 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。
 - 指揮命令系統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 5 7 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 1 1 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 2 5 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 2 5 %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。



Lessons & Learned at Large Projects 大型計画から学んだ教訓

- 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 (NSR) 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。

但し、宇宙はさらに進み、CML, TRLの時代に突入した。





Recommendations

今後のこと

- すばる2以降のビジョン

- すばる望遠鏡：すばる2が2022年から始まる。

- しかし2031年まで。それ以降、すばる3はいるのか？

- 質的にも量的にも大きく飛躍する計画が必要であり、単なる運用の継続運用では認められない。HSC, PFS, Ultimateに続く計画が必須である。準備に10年程度はかかり、開発に5年とすると、そのリーダーはまさに20–30代の若手！

- すばる3とTMT（サイエンスブック2030）



- サイエンスブック2020の更新が必要である。PFSの科学成果が出てきた後、および次期開発計画が見えて来た段階でUpdateする必要がある。

- TMTとすばる、両立する必要があるのであれば、今から真剣に議論を積み重ねる必要がある。





Recommendations

今後のこと

- すばる2以降のビジョン
 - 誰もがわかる科学目標を掲げ、
 - すばる3、TMTそして次世代光赤外望遠鏡計画に加え、せいめい、TAO、そしてOISTERも含め
 - そして
 - （波長横断も睨み）ALMAなども含めた
- それぞれの重要性と棲み分けを示した相関図を作成し、新しい2030年代の天文学を示す必要があるかもしれない。そして、
どれもが新しい扉を開き、独自性が感じられる科学目標が位置付けられることが必要となるであろう。

また技術開発での存在感は必須である。





alma-telescope.jp

The Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA), an international astronomy facility, is a partnership of the European Organisation for Astronomical Research in the Southern Hemisphere (ESO), the U.S. National Science Foundation (NSF) and the National Institutes of Natural Sciences (NINS) of Japan in cooperation with the Republic of Chile. ALMA is funded by ESO on behalf of its Member States, by NSF in cooperation with the National Research Council of Canada (NRC) and the Ministry of Science and Technology (MOST) in Taiwan and by 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 by ESO on behalf of its Member States; by the National Radio Astronomy Observatory (NRAO), managed by Associated Universities, Inc. (AUI), on behalf of North America; and by the National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ) on behalf of East Asia. The Joint ALMA Observatory (JAO) provides the unified leadership and management of the construction, commissioning and operation of ALMA.