

# ALMA

菊池 健一（アルマプロジェクト／国立天文台）

2025年9月24日 先端技術センター ユーザーズミーティング





# アルマの概要

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）に建設したアルマ望遠鏡による**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 中央研究院天文及天文物理研究所

韓国 天文宇宙科学研究院



**国内共同研究体制**：東京科学大学地球生命研究所(旧東京工業大学地球生命研究所)、東京科学大学(旧東京工業大学)、東北大学、筑波大学、東京大学、日本大学、早稲田大学、東京都立大学、上越教育大学、名古屋大学、大阪大学、大阪公立大学(旧大阪府立大学)、近畿大学、岐阜大学、広島大学、九州大学、鹿児島大学、電気通信大学、関西学院大学、京都大学、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、大阪公立大学(旧大阪府立大学)、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、産業技術総合研究所

日本では研究者コミュニティによるボトムアップの提案から1980年代に構想が始まり、1990年代の計画開始当初から研究者コミュニティの強い支持のもとで計画を実施している。





# アルマの主要装置

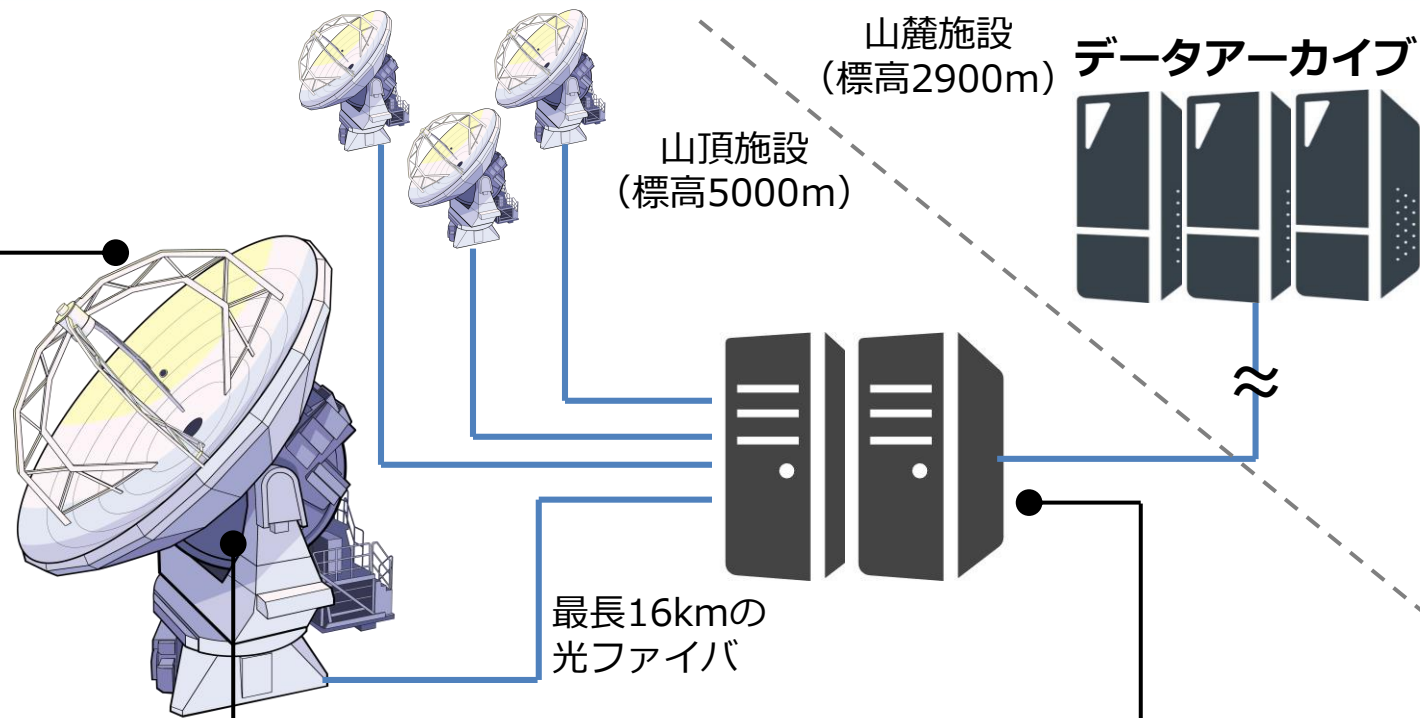


## 高精度アンテナ

天体からの微弱な電波を集める。

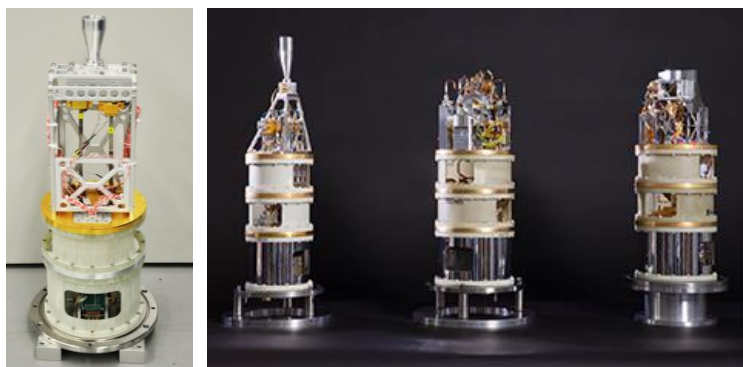
- 12mアンテナ 54台
- 7mアンテナ 12台

日本は**12mアンテナ4台**と**7mアンテナ12台**を製造



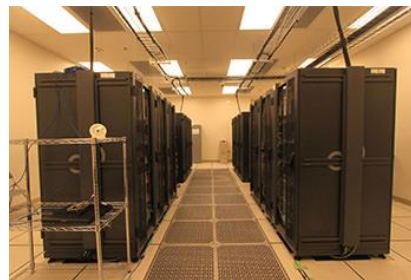
## 受信機システム

アンテナで集められた微弱な電波を検出し、増幅する。各アンテナには、異なる周波数帯 (バンド) の電波を捉える10台の受信機を搭載する。



受信機の写真。左から**バンド1, 4, 8, 10**。

## 相関器・分光計



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

- **ACA分光計** 運用開始 (2023年10月～)
- **ACA用高分散相関器** 運用終了 (2024年10月)





# 科学成果、共同利用

- 初期科学運用開始から約14年半：論文総数は **4,288編**（2025年4月中旬時点）
- 日本からの論文数は611編：米国に次いで**世界第2位**
- 高インパクト雑誌への掲載も多数：『**Nature**』に**116編**、『**Science**』に**24編**
- 国際共同プロジェクトとしての特徴：論文の約 **90%が国際共著**
- 幅広い科学トピックを網羅：
  - 惑星形成
  - 活動銀河核（AGN）
  - 宇宙化学
  - 赤方偏移  $z > 10$  の初期宇宙
  - ...
- 第12回共同利用観測（Cycle11）までの提案総数は全世界で**19,374件**。電波天文のみならず、光・赤外、理論、物理、地球惑星科学といった様々な分野の研究者が提案に参加した。

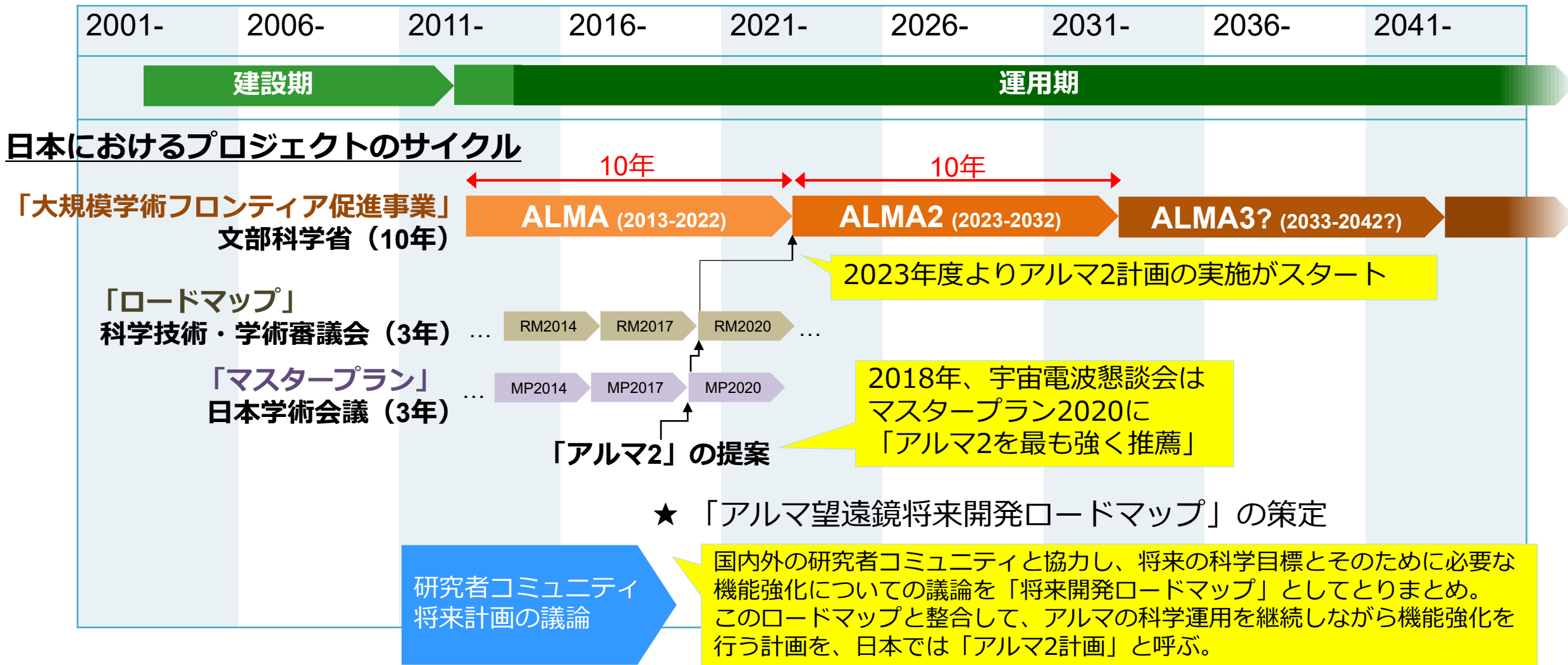
利用期	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回	第8回	第9回	第10回	第11回	第12回
観測開始	2011/10	2013/1	2014/6	2015/10	2016/10	2017/10	2018/10	2019/10	2021/10	2022/10	2023/10	2024/10
提案数	919	1,131	1,381	1,578	1,769	1,661	1,836	2,022	1,917	1769	1679	1712
採択数	113	197	353	402	507	433	369	497	327	285	240	245

要求観測時間での競争率  
(7.4倍) は過去最高





# アルマ2計画の策定



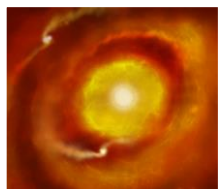


# アルマ2計画のサマリ

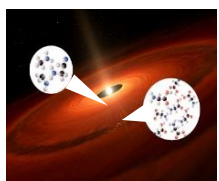
次の10年の科学を見据えて新たに設定した 3大科学目標の達成のため、国際協力によってアルマ望遠鏡の運用を継続しつつ、並行して観測機能を大幅に強化する。



## アルマ2計画の主要科学目標



科学目標 1 :  
地球軌道スケールでの惑星形成過程の理解



科学目標 2 :  
惑星系誕生過程での生命素材物質の理解

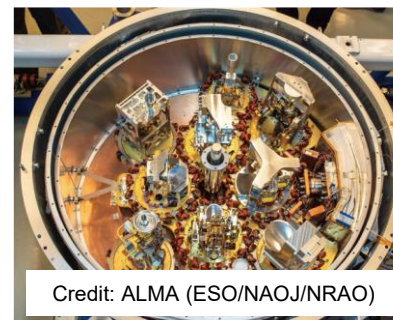


科学目標 3 :  
宇宙における元素合成の開始地点の特定



- 同時観測可能な周波数帯域 : 2倍以上
- 感度 : 約 2倍
- 解像度 : 2倍以上

アルマ2の主要科学目標の達成には、**受信機の高感度・広帯域化**、および高速大容量のデータ通信のための**信号伝送装置の高度化**が必須である。



Credit: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)



Credit: ALMA(ESO/NAOJ/NRAO)





# アルマ2 観測装置の開発

東アジア、北米、欧州の各国で分担して開発を実施する。

- 拡張バンド8受信機 (Band8v2) ← **開発棟で**
- 信号伝送装置 (DTS) ← **製造・試験**
- 次世代分光計 (TPGS, 韓国+日本)
- 次世代計算機システム (日+米+欧)

## 東アジア

### (1) 受信機

拡張バンド8受信機 (日本)  
(拡張バンド10受信機 (日本))

### (2) 信号データ処理システム

信号伝送装置 (日本)  
次世代分光計 (韓国, 日本)  
次世代計算機システム (日本)

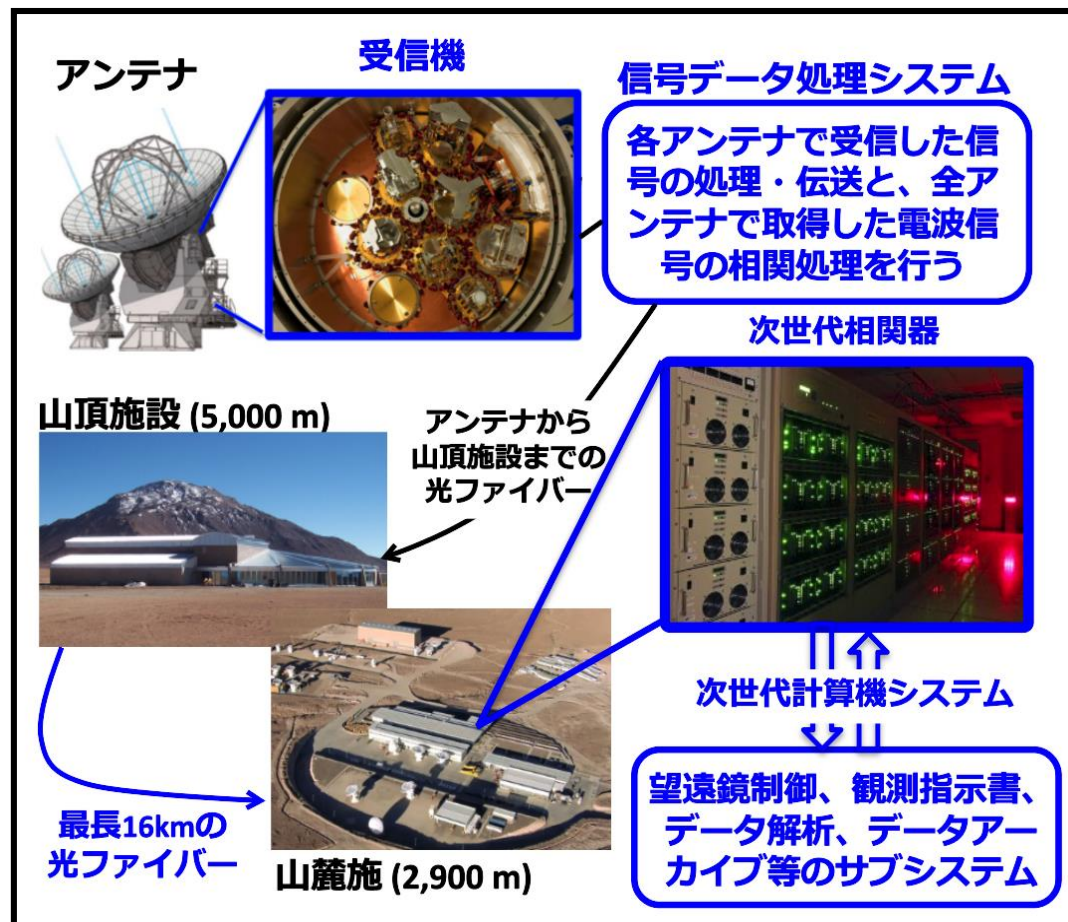
## 米欧

### (1) 受信機

新規バンド2受信機 (欧)  
拡張バンド6受信機 (米)

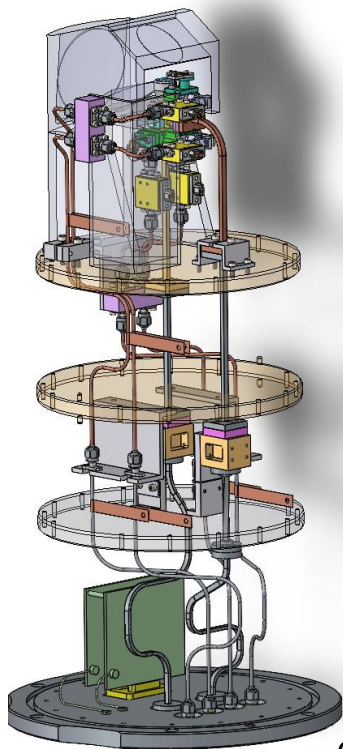
### (2) 信号データ処理システム

デジタイザー (欧)  
次世代相関器 (米)  
次世代計算機システム (米, 欧)  
光ファイバー (欧)

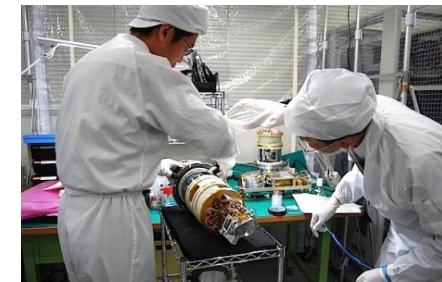
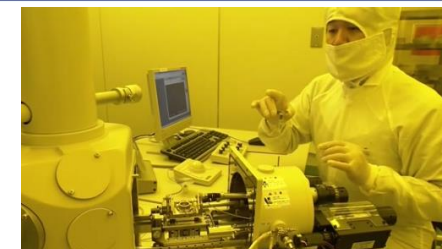
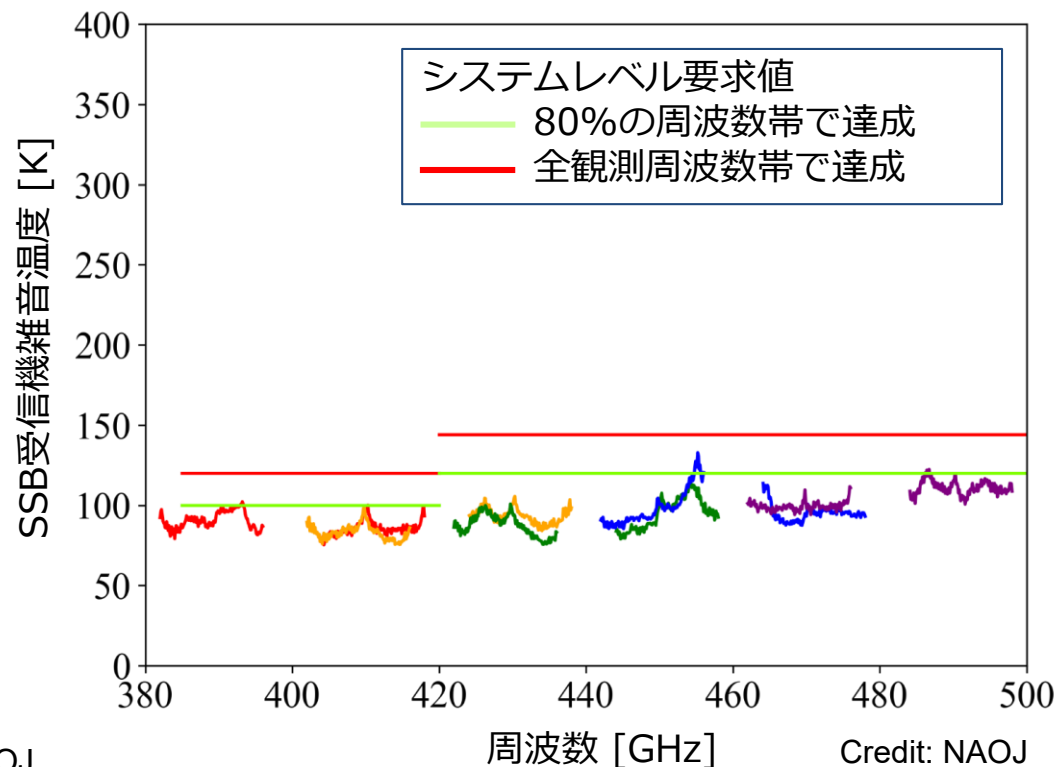


# 拡張バンド8受信機 (Band8v2)

- Building on years of development study to widen the IF bandwidth
- Improvements to the sensitivity and spectral coverage for Band 8
  - (a) Increase in IF bandwidth to 14 GHz (4-18 GHz) (goal: to 16 GHz)
  - (b) Improvement in the receiver noise over the full IF range



Credit: NAOJ



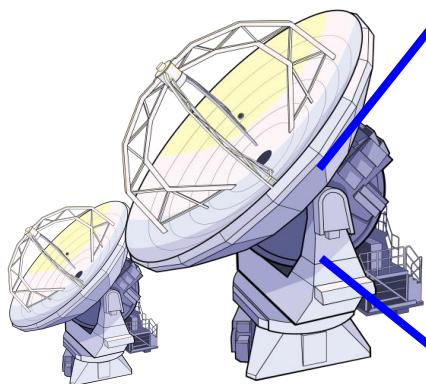
Credit: NAOJ





# 信号伝送装置 (DTS)

- アルマ2 信号データ処理システムのデータ量はこれまでの約10倍（各アンテナあたり少なくとも1.2 テラビット/秒）。

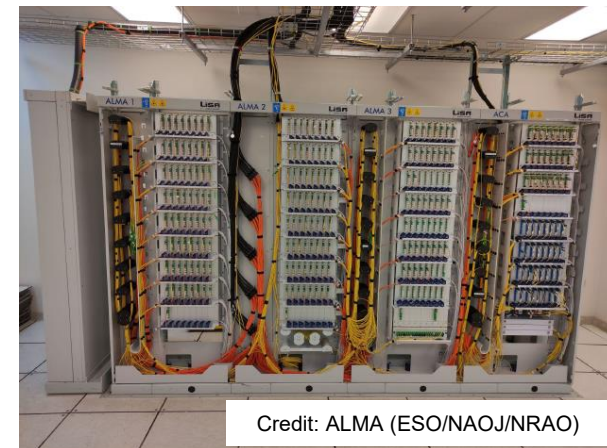


Credit: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)



Credit: NAOJ

2024年10月に国立天文台三鷹で実施した基本設計審査会 (PDR) を通過



Credit: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

中継機 (現在のアルマで使われているもの)





# アルマ2計画の策定

- 日本は2011年より世界に先駆けて、コミュニティを巻き込みながら将来の観測機能を議論。
- これらの議論の結果を受けて、国際ワーキンググループや国際アルマ科学諮問委員会等での検討が本格的に始まり、科学目標、開発項目とその優先順位を合意し、2018年に「アルマ望遠鏡将来開発ロードマップ」を策定。

## 東アジア・アルマ将来開発ワークショップ

## 国際アルマ将来開発ワークショップ

2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023

日本

日本

日本

アルマ2開始

2017年10月に京都で開催した「アルマ長基線観測ワークショップ」。日米欧他から研究者・技術者が一堂に会し、「アルマ望遠鏡将来開発ロードマップ」の策定に直接つながる議論を行った。



[https://researchers.alma-telescope.jp/e/event/2017/alma\\_long\\_baseline\\_workshop.html](https://researchers.alma-telescope.jp/e/event/2017/alma_long_baseline_workshop.html)

「アルマ望遠鏡将来開発ロードマップ」(2018)。アルマ所長と、当時アルマ評議会議長の大阪公立大学(旧大阪府立大学)の大西利和教授が署名。



<https://www.almaobservatory.org/en/publications/the-alma-development-roadmap/>



# アルマ 3 (仮称) へ向けて

- アルマ将来開発ワークショップ 2024 : 「2040年代の電波干渉計の展望」  
(2024年10月、於国立天文台三鷹)
- 17名の招待講演者と100名以上の参加者が、2040年に向けた干渉計の展望について、科学的および技術的な観点から議論。
- 具体的な要望について、今後のワークショップで継続的に議論していく。



<https://www2.nao.ac.jp/~eaarc/Meetings/ALMADW2024/>

