

資料2

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
(第82回) R1. 6. 18

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

国立天文台 大型プロジェクトの推進について

令和元年6月18日

自然科学研究機構 国立天文台

自然科学研究機構 国立天文台

概要



目的

天文学及びこれに関連する分野の研究、天象観測並びに暦書編製、中央標準時の決定及び現示並びに時計の検定に関する事務

所在地

東京都三鷹市

設置

S63.7 国立天文台 設置
H16.4 大学共同利用機関法人自然科学研究機構

職員数 (H30.5.1現在)



決算額 (H29年度)



共同研究者の受入れ状況

	計	国立大学	大学共同利用機関	公立大学	私立大学	公的機関	民間機関	外国機関	その他
研究者(人)	7,115	1,224	747	65	199	114	9	4,796	1
機関数	506	38	5	4	33	14	7	404	1

公募型共同研究実施件数

1,005件(新規)、129件(継続)

高いインパクトを持つ雑誌等掲載論文数

795(285)本

※()内はすばる、アルマによる共同利用の成果を用いて台外者のみのグループが執筆し、学会誌等に掲載された論文数

関連学会数

27学会(うち、2学会に役員が在籍)
・日本天文学会、日本測地学会、日本惑星科学会 等

締結している学術交流協定

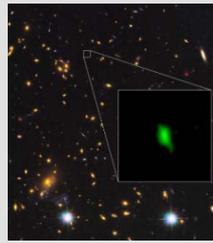
47件(うち、我が国を代表する形で海外のC O Eと締結している協定: 12件)

中核拠点としての機能

我々が住む地球も含めた宇宙は、138億年前に誕生し、現在の姿となっている。近年の観測研究の発展により、宇宙における通常の物質は4%しかなく、96%は正体不明の謎の物質であることがわかってきた。天文学研究は、このような宇宙の構造を知ることを通して、地球や人類の成り立ちに迫る研究である。

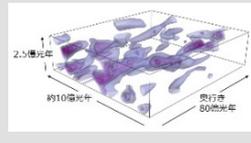
国立天文台は、我が国の天文学研究の中核拠点であり、天文学研究を自ら行うとともに、個々の大学では保有できない大型観測装置(野辺山45m電波望遠鏡、すばる望遠鏡、アルマ望遠鏡など)を建設し、共同利用装置として全国の関連研究者に提供している。また、国内の大学・研究機関が保有する光学望遠鏡、電波望遠鏡が協力して研究を進める大学間連携プロジェクトの中心機関である。さらに、大学院生を受け入れて幅広い研究指導も行っている。

世界トップクラスの観測成果例



(左画像)アルマ望遠鏡を使って、観測史上最遠方の酸素を132.8億光年かなたの銀河で発見。宇宙誕生後わずか5億年という最初期の宇宙に電離した酸素が存在したことを証明した。酸素ガスは多数の若くて巨大な星によって電離されていると考えられていることから、初期宇宙のミステリーである「宇宙再電離」を探る重要な手がかりになる。本成果はネイチャー誌に掲載され、また国内外で広く報道された。(平成30年5月)

(右画像)すばる望遠鏡搭載の超広視野主焦点カメラ(HSC)を用いた大規模探査観測データから、重力レンズ効果の解析に基づく史上最高の広さと解像度を持つダークマターの「3次元地図」を作成した。この「地図」からダークマターの塊の数や質量を調べたところ、最も単純な加速膨張宇宙モデルでは説明できない可能性があることが判明した。今後の観測により加速膨張宇宙の謎を解き明かすことが期待される。(平成30年2月)



すばる望遠鏡(ハワイ島 マウナケア山)



マウナケア山頂(標高4,200m)のすばる望遠鏡



すばる望遠鏡本体

晴天率が高く、大気による揺らぎが少ないマウナケア山頂4,200mの高地に設置。一枚鏡としては世界最大級の口径8.2mの反射鏡を有する光学望遠鏡。大気による像の揺らぎを打ち消す補償光学装置及び超広視野主焦点カメラ(HSC)の開発により、ハッブル宇宙望遠鏡をしのぐ高解像度、高精度の画像を得ることができる。

今後の展望

全国の研究者と共同してすばる望遠鏡やアルマ望遠鏡などを活用し、さらに口径30メートルに及ぶ「TMT(Thirty Meter Telescope)」を建設して、宇宙の96%を占める正体不明の謎の物質(ダークエネルギー等)の調査、生命が存在する惑星の探査などを行い、宇宙の謎の解明を進める。

アルマ望遠鏡(チリ アタカマ高原)

※アルマ(ALMA: Atacama Large Millimeter/submillimeter Array)



日本が作成を担当したアタカマコンパクトアレイ(モリタアレイ)

電波は大気中の水蒸気に吸収されるため、標高が高く乾燥した場所が観測の最適地。この条件を満たす、アタカマ砂漠(標高5,000m)に建設した電波望遠鏡(日米欧の国際協力により建設)。多数の電波望遠鏡を広範囲に配置することで高い解像度と感度を得て、より遠くの天体をより詳しく観測する。

国立天文台の理念

ビジョン

宇宙の謎に挑む国立天文台

ミッション

- 知の地平線を広げるため、大型天文研究施設を開発・建設し、共同利用に供する
- 多様な大型施設を活用し、世界の先端研究機関として天文学の発展に寄与する
- 天文に関する成果・情報提供を通じて、社会に資する

プロダクト

- 未知の宇宙の解明と、新しい宇宙像の確立
- 研究成果の社会への普及・還元と、未来世代への夢の伝承
- 世界を舞台に活躍する次世代研究者

すばる望遠鏡
(1999～)



アルマ望遠鏡
(2011～)



TMT





大型電波望遠鏡「アルマ」による 国際共同利用研究の推進

報告の概要

第I部

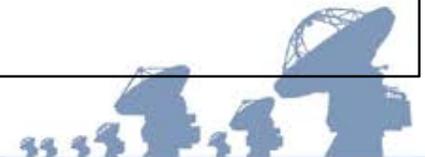
アルマ望遠鏡の概要

第II部

- プロジェクトの実施機関又は実施者としてのマネジメント状況（計画の進捗評価、資金計画管理等）
- 国際協力等の連携方策、実態など

第III部

- 当該分野におけるコミュニティの状況（今日の各分野の主な学術的潮流・動向など）





アルマ望遠鏡の概要

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カ国および地域

日本：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

（建設期の2005(平成17)年9月より参加）

韓国 天文学宇宙科学研究院

（運用期の2014(平成26)年8月より参加）



日本の所要経費 日本は貢献割合25%を分担

建設費総額： 251億円（内 国内建物整備費8億円）

年間運用経費：約29億円（本格運用開始後、30年+aの運用）



アルマ望遠鏡の概要

アルマ望遠鏡の科学目標

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

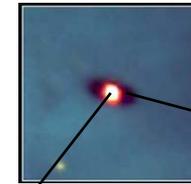
太陽系以外の惑星系とその形成を解明

科学目標 2

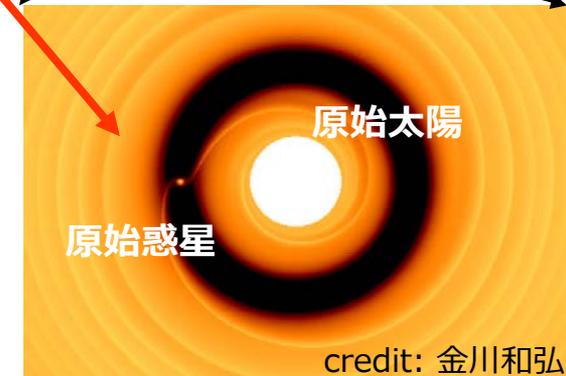
銀河形成と諸天体の歴史を解明

科学目標 3

膨張宇宙における物質進化を解明



ハッブル宇宙望遠鏡による観測



credit: 金川和弘

シミュレーション例
⇒アルマの観測で検証



広範囲（10 km以上、山手線サイズ）に配置



第Ⅱ部

- プロジェクトの実施機関又は実施者としてのマネジメント状況（計画の進捗評価、資金計画管理等）
- 国際協力等の連携方策、実態など





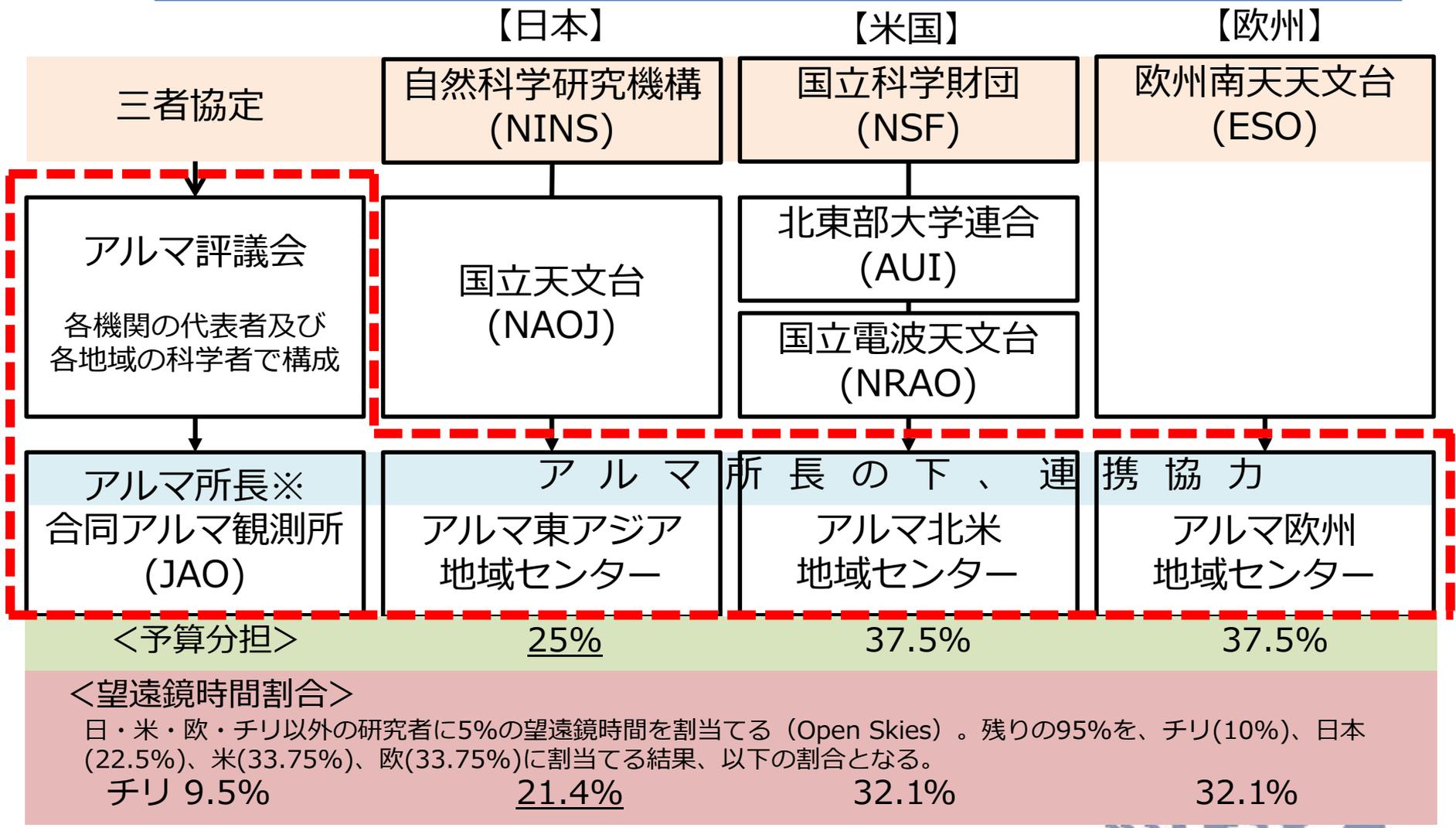
マネジメント状況、国際共同 アルマ運用に関する三者協定

- 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。三者によるアルマ望遠鏡の国際協力運用を今後20年にわたって継続する枠組みが確定。





マネジメント状況、国際共同 アルマ望遠鏡の運用体制

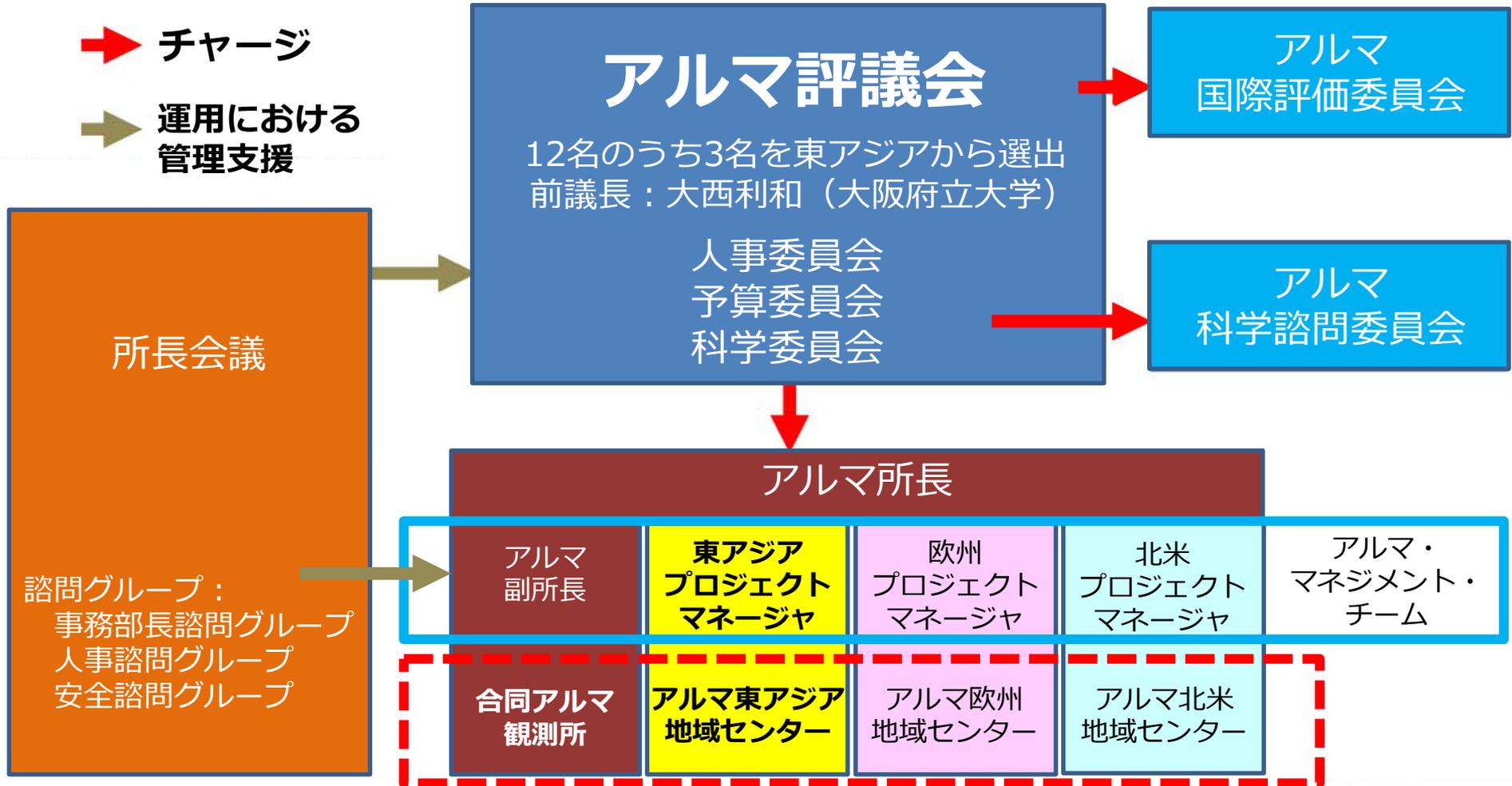


※アルマ所長は、合同アルマ観測所(JAO)の長である。 Atacama Large Millimeter/submillimeter Array



マネジメント状況、国際共同 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。





マネジメント状況、国際共同 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

観測実行は合同アルマ観測所が行い、観測者支援は各地域センターが実施する。

チリ・合同アルマ観測所（日米欧共同運用）

- ◆ 気象条件に合致した観測プログラムの選択・実行：望遠鏡の効率的運用
- ◆ 装置保守(装置提供者の責任)と予防点検：望遠鏡運転時間の高いアベイラビリティ実現

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

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

研究者が観測提案、データ解析に集中できる環境の提供

- 観測提案、データ解析支援
- 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



欧州: 7ヶ所のノード(青丸)





運用体制

合同アルマ観測所

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220名）、国際職員（全体で約40名）を負担することが国際的責務

チリ・合同アルマ観測所（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 ◆観測装置の運用保守

アルマ所長

技術部

技術部長: 水野範和

科学運用部

事務部

コンピューティング部

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。

最大規模のグループ（チリ人スタッフ約140名）である技術部を日本の職員が率いている。



マネジメント状況、国際共同 赴任者及び同伴家族の安全支援体制について

平成25年以降に以下のような対応を加えており、**引き続き、安全支援体制の強化に努めている。**

- 赴任者宿舎をサンチャゴ市内でも治安の良い地域に限定
- 在チリ日本大使館への在留届を徹底、大使館からの安全情報の周知
- 日智商工会議所加入による在チリ日本企業との交流促進・安全情報共有・緊急安否確認訓練参加
- チリ刑事警察による防犯講習
- 夜間のタクシー利用促進
- 出張者についても宿泊地域の限定、安全講習の実施
- チリ携帯電話の貸与
- 職員の疾病について、緊急時に支払いを保証する契約を病院と結び、職員に緊急連絡カードを付与
- 国立天文台チリ事務所を、より高い安全性を確保できる場所に移転





マネジメント状況、国際共同 計画推進にあたっての課題等

学術の大型施設計画は、今後なお一層、国際共同研究のもとで推進されると考える。大型計画を推進する際には、緻密にリスクを同定し、それを管理する必要があり、米欧の計画では、それら不測の事態のための予備費を申請することが認められている。日本には、その高い研究力と技術力をもって、最重要な装置等を分担することが期待されており、その重責に伴い、計画全体におけるリスクにもまた応分の責務を負うことが期待されている。リスクを管理し、その責務を負うことで、国際共同研究において日本が最も重要な決断の場で存在感を示し、計画を主導的に推進することは必須であると考えられる。現在、日本では、学術の大型施設計画において、予備費を申請することが認められていない。





第Ⅲ部

- 当該分野におけるコミュニティの状況
（今日の各分野の主な学術的潮流・
動向など）



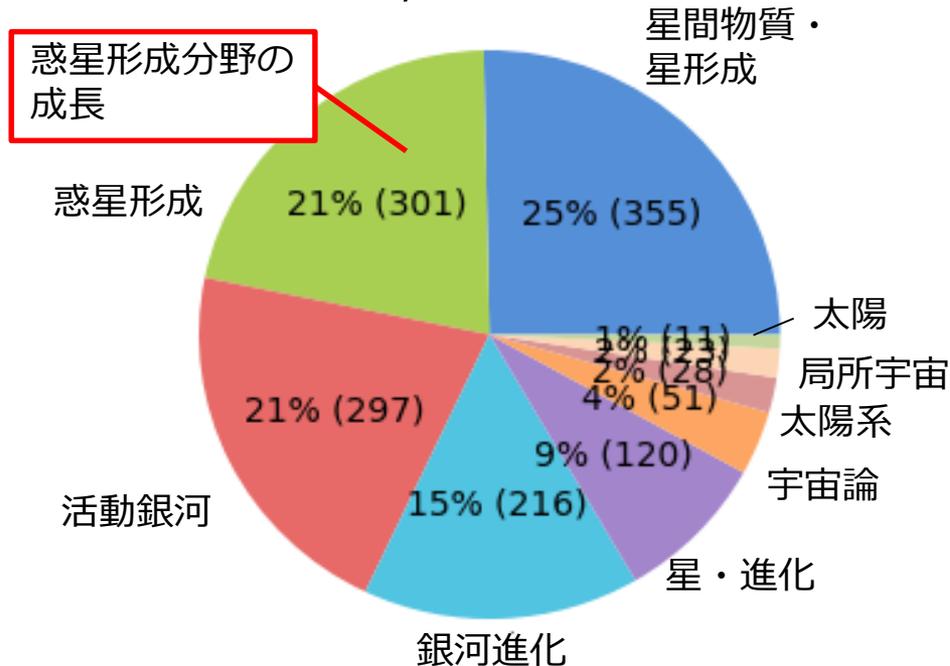


当該分野におけるコミュニティの状況

論文数

- 初期科学運用開始から約7年半：**総数1,379** (2019(平成31)年3月末)。アルマは国際共同プロジェクトであることから、大部分が国際共著論文。
- Nature (44本)**、**Science (13本)** など、インパクトの高い雑誌への掲載も多数
NatureとScienceの合計57本のうち、**13本(23%)**は東アジアの研究者が筆頭者。

2019(平成31)年3月末現在
論文総数1,379

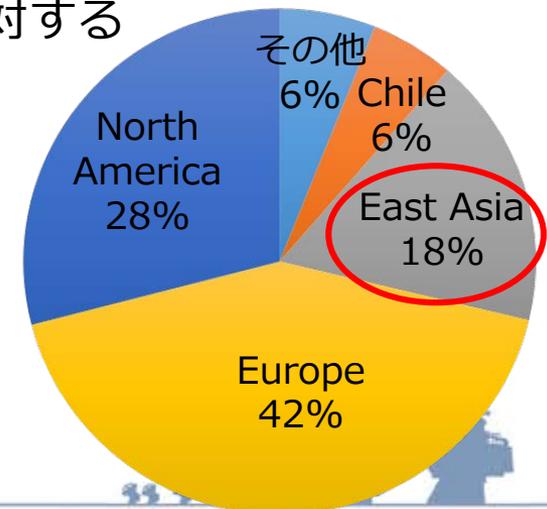


各地域の論文数分布

東アジアの成果：望遠鏡時間割合は **21.4%**

Nature、Science	23% (13本)
全論文	18% (253本)

論文総数に対する
地域分布



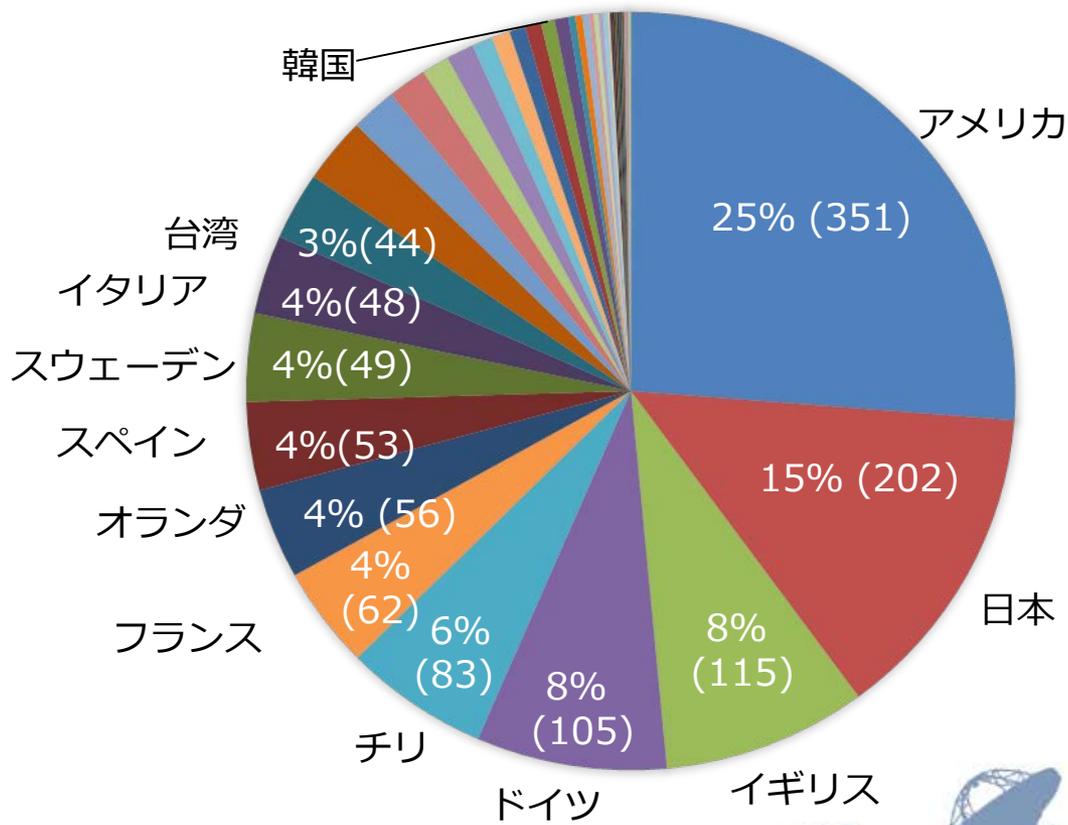


当該分野におけるコミュニティの状況

論文数

- 2019(平成31)年3月末時点において、アルマの論文総数**1,379**本のうち、日本からの論文数は202本であった。これは米国に次いで世界第2位である。

順位	主著者の所属	論文数
1	アメリカ	351
2	日本	202
3	イギリス	115
4	ドイツ	105
5	チリ	83
6	フランス	62
7	オランダ	56
8	スペイン	53
9	スウェーデン	49
10	イタリア	48
11	台湾	44
	...	
21	韓国	7
	...	
	合計	1,379



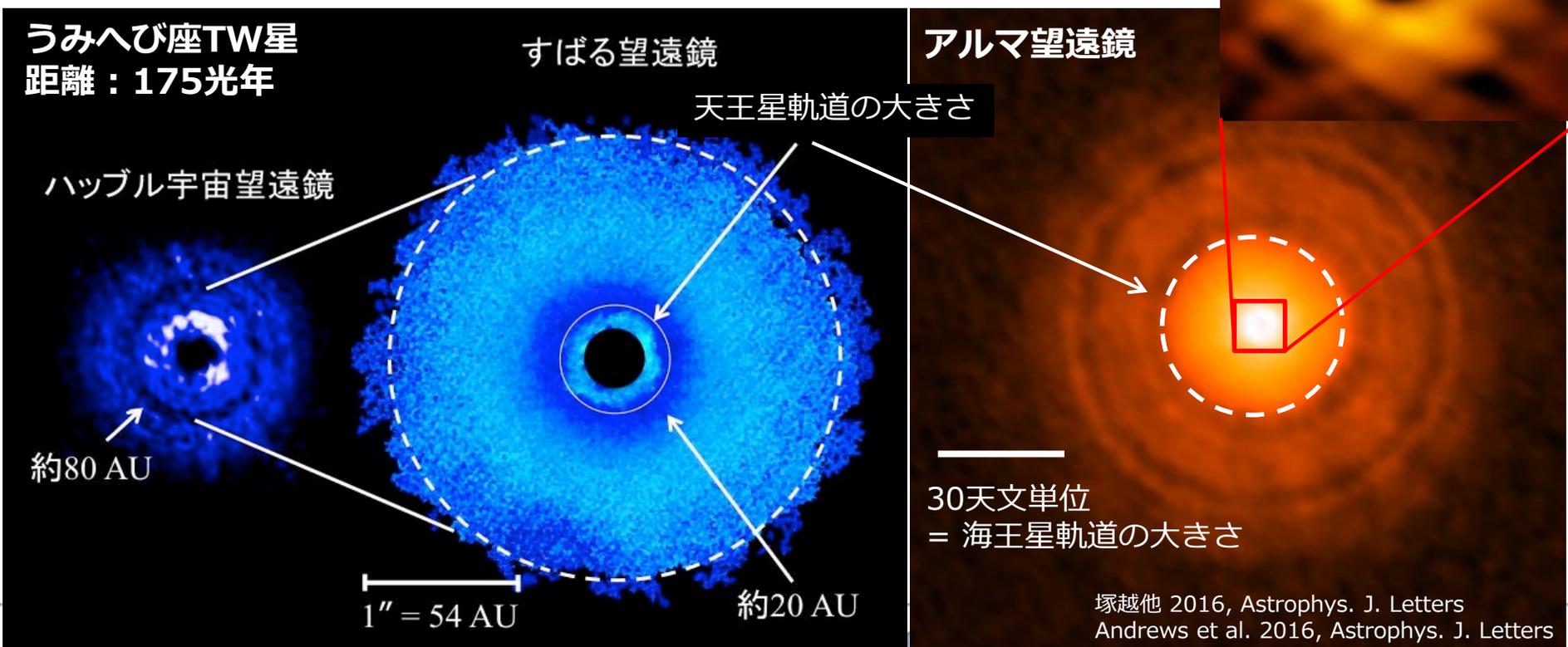
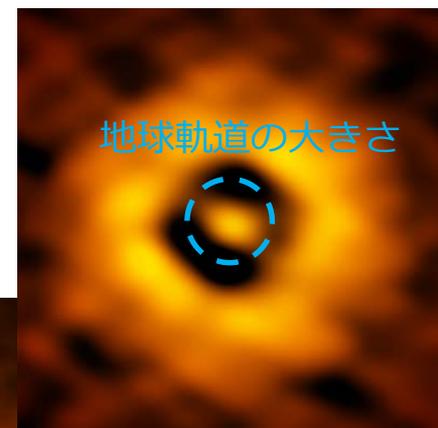


科学目標に対する進捗

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。





当該分野におけるコミュニティの状況

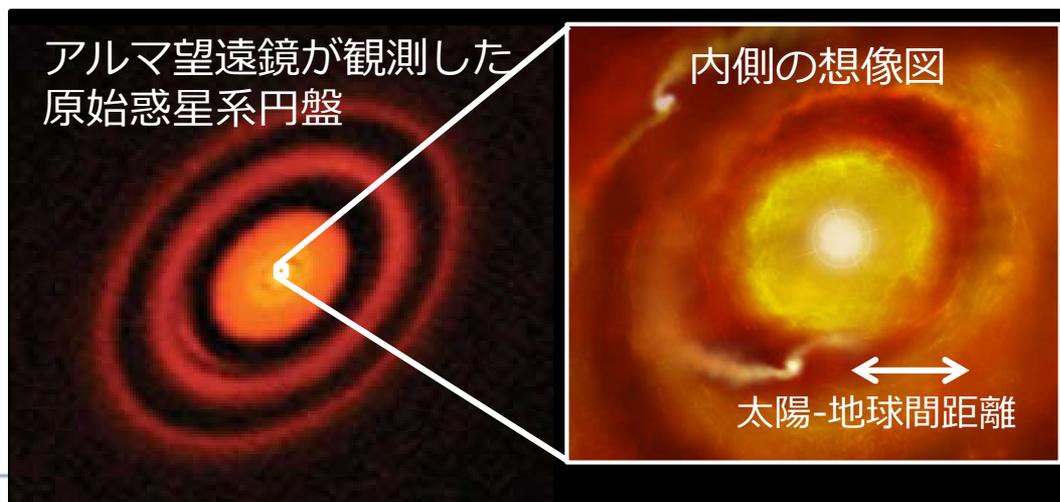
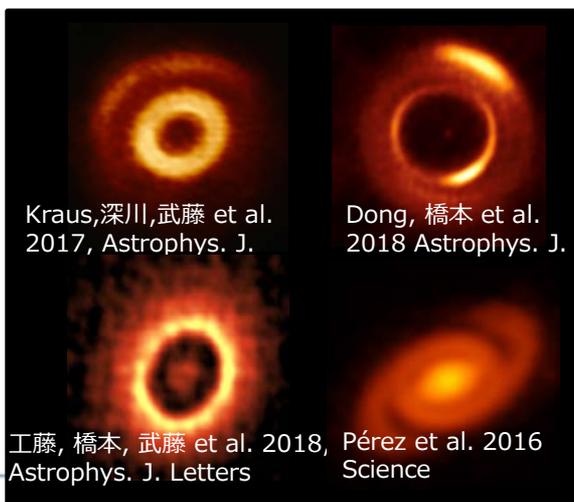
科学目標1：太陽系以外の惑星系の形成

当該分野へのインパクト

- 原始惑星系円盤の構造が史上最高の解像度で明らかになり、40年近く用いられてきた標準的な惑星系形成論の見直しを迫る結果が得られた。
- 原始惑星系円盤で、初めて地球軌道スケールの構造を発見することに成功した。

アルマ2の展望（次の10年の科学目標）

- 現在の解像度では、地球軌道スケールを見分けられるのは地球に近い数天体に限られる。アルマ2では解像度を2倍以上向上させることで、多数の円盤で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ことを目指す。





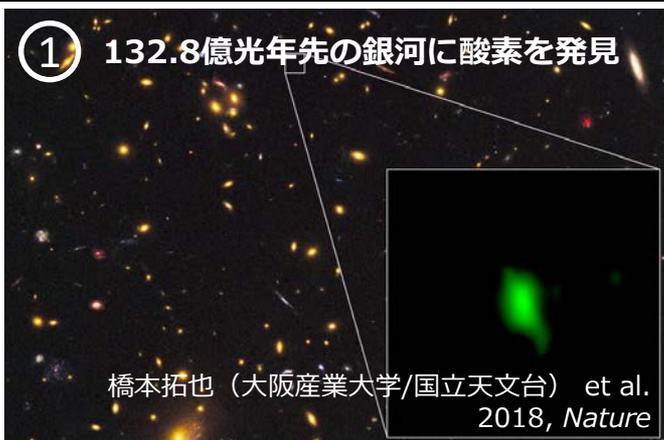
科学目標に対する進捗

科学目標2：銀河形成と諸天体の歴史

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

- 131億光年・132.8億光年先の銀河に酸素、132億光年先の銀河に酸素と塵を発見し、酸素や塵の最遠方検出記録を次々に更新した。

→ 遠方天体からの微弱な電波の観測に、大きな威力を発揮している。
日本の研究者による成果が世界をリードしている。





当該分野におけるコミュニティの状況

科学目標2：銀河形成と諸天体の歴史

当該分野へのインパクト

- 宇宙誕生後およそ3億年の時代に宇宙最初の星形成が始まった証拠が、間接的に得られた。
- アルマにより、**酸素が宇宙初期を探る新しい指標になった**。銀河形成や初期宇宙研究の新たな潮流を生み出し、**多くの研究者が酸素輝線観測に参入**してきている。

アルマ2の展望（次の10年の科学目標）

- **感度を2倍、同時観測可能な周波数帯域を2倍以上**に向上させて遠方銀河の観測効率を劇的に向上させる。これにより、宇宙誕生後およそ3億年の時代に酸素を探することで、**最初の星形成の証拠を直接とらえ**、宇宙における**元素合成の開始地点**を明らかにする。



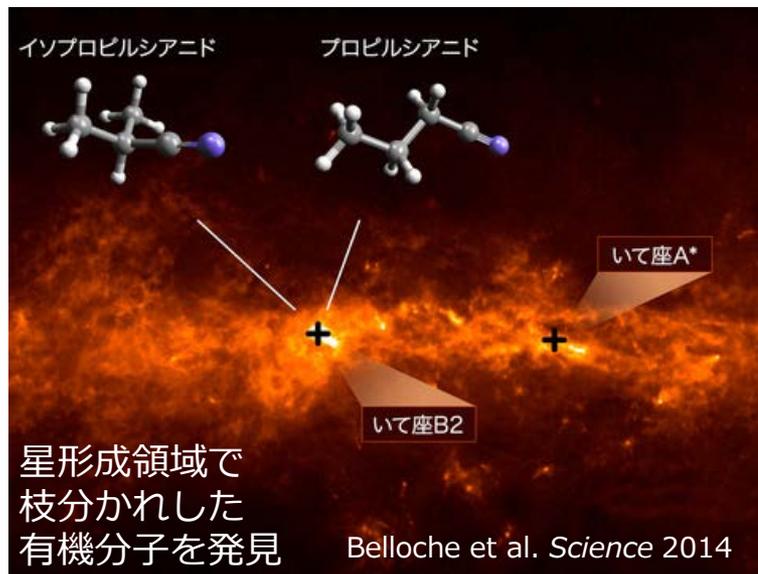
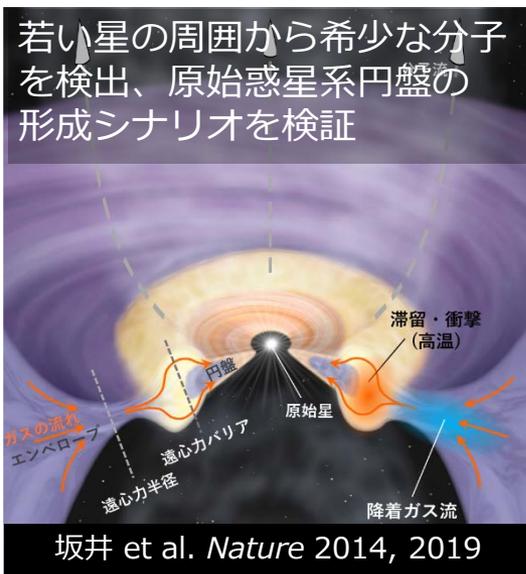


科学目標に対する進捗

科学目標3：膨張宇宙における物質進化

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

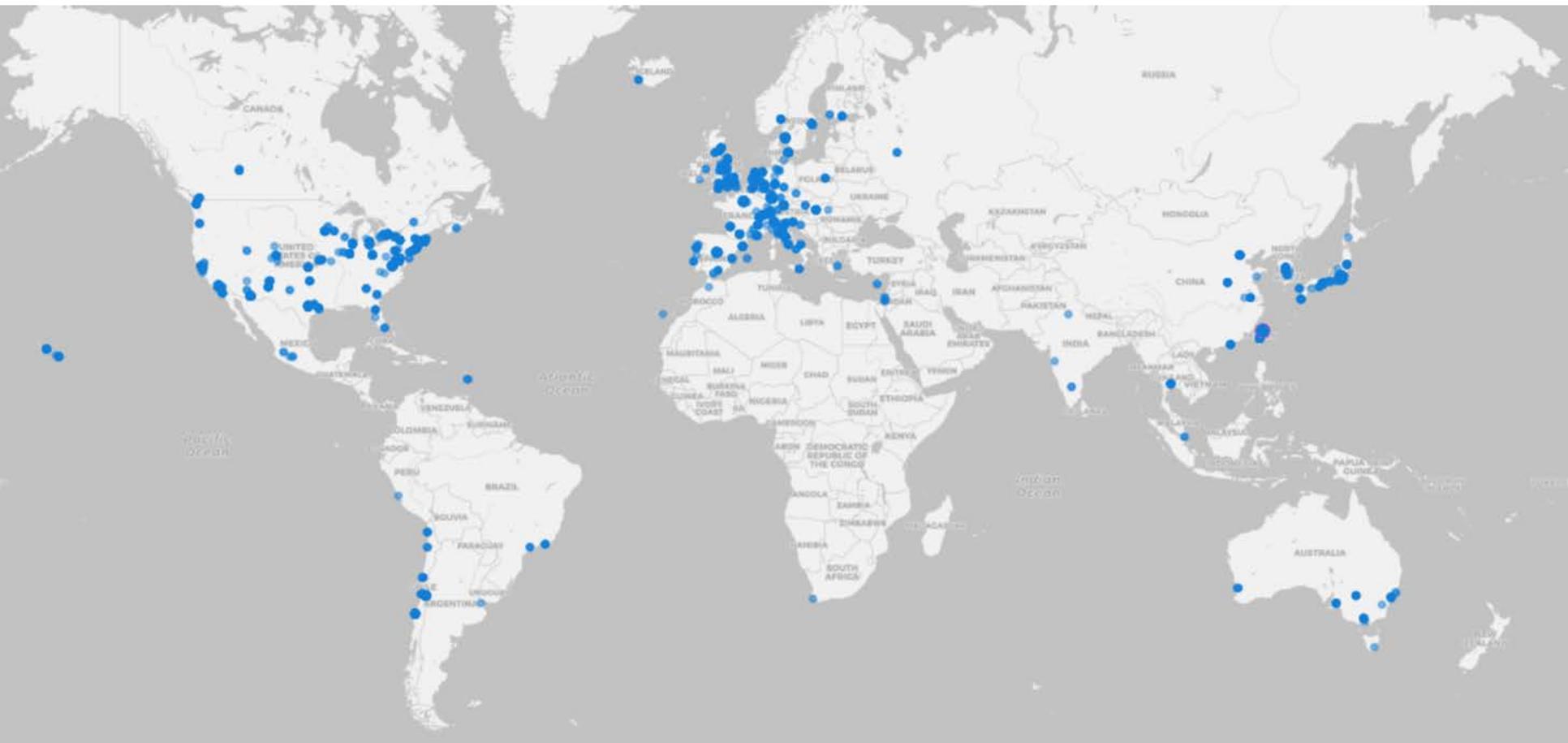
- 星形成領域や惑星誕生領域で、多様な有機分子を探る。
- 若い星の周囲の惑星誕生領域で**メタノール**を発見した。
- 天の川銀河の星形成領域で、**枝分かれした有機分子**を発見した。
→ 様々な領域の**化学組成を明らかにし、生命関連分子の検出でも大きく前進した。**





当該分野におけるコミュニティの状況 幅広い研究者が参画できる運用体制

第8回共同利用観測への提案の地域分布
(丸が大きいほど数が多い)





当該分野におけるコミュニティの状況 幅広い研究者が参画できる運用体制

- 第8回共同利用観測までの提案総数は全世界で11,862件に上り、**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。アルマ望遠鏡に対する全世界の研究者の高い期待が示された。

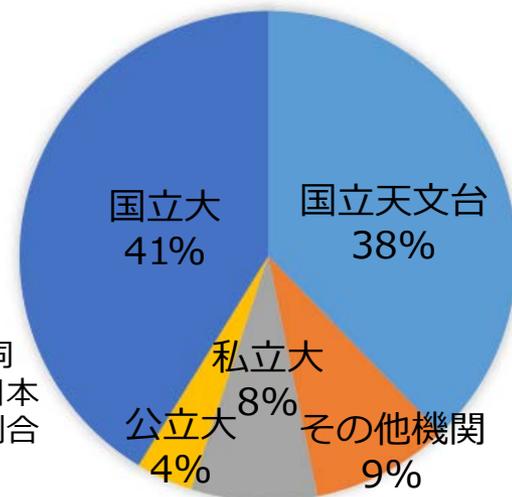
共同利用観測	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回	第8回
提案〆切	H23/6/30	H24/7/12	H25/12/5	H27/4/23	H28/4/21	H29/4/20	H30/4/19	H31/4/17
観測開始	H23/10~	H25/1~	H26/6~	H27/10~	H28/10~	H29/10~	H30/10~	H31/10~
提案数	919	1,131	1,381	1,578	1,571	1,661	1,836	1,785
採択数	113	197	353	402	475	433	369	審査中

- 全国の研究者に対し、**共同利用観測提案の作成や観測データ解析等の支援**を幅広く行っている。第1~7回共同利用観測で採択された提案のうち、日本の大学・機関に所属する研究者が主提案者となったものは378件であった。その中で205件は大学からの提案であり、内54件は大学院生からの提案であった。



大学の研究者と協力してワークショップ等を積極的に開催し、観測提案の作成を支援している。

右図：第1回~第7回共同利用観測で採択された日本の観測提案数の機関別割合





当該分野におけるコミュニティの状況 アルマ2計画の検討状況

- これまでのアルマ望遠鏡の成果と天文学全体の急速な進展を背景として、次の10年へ向けた**将来開発計画の国際的な議論を牽引**し「アルマ望遠鏡将来開発ロードマップ」を策定した。
- 2023（令和5）年度以降の「次の10年」に向けて、
 - 2018（平成30）年度に宇宙電波懇談会からの推薦を受け、**日本学術会議・マスタープラン2020に「アルマ2」を提案した。**
 - 2020（令和2）年度から始まる**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で「アルマ2」を審議いただく。**
 - 2022（令和4）年度の期末評価を経て、**次の10年の計画審査を受ける。**

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。



「アルマ望遠鏡将来開発ロードマップ」（2018）



「アルマ2」プロジェクト冊子（2018）

