



アルマ計画

総合科学技術・イノベーション会議
事後評価資料

第1回評価検討会での意見・質問等を踏まえた追加説明資料

平成29年3月10日
文部科学省研究開発局宇宙開発利用課





目次

1. 科学技術的成果等
 2. 国際共同プロジェクトにおける我が国の存在感
 3. 世界トップクラスの人材育成
 4. 技術の利活用について
 5. その他
 - (1) 今後の運用・整備計画
 - (2) 得られた知見と活用
 6. 評価の論点整理とはリンクしていない項目
- 参考資料
 - 第1回評価検討会の説明資料の再掲





1. 科学技術的成果等

日本がアルマ計画で欧州と米国に対して優位性を持っていることが確認された技術を整理して下さい。

• アンテナ技術

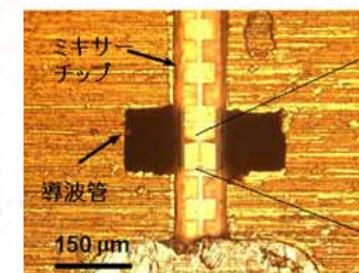
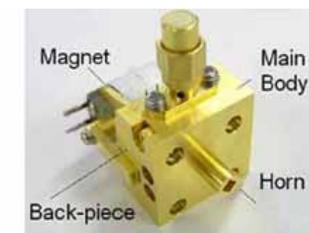
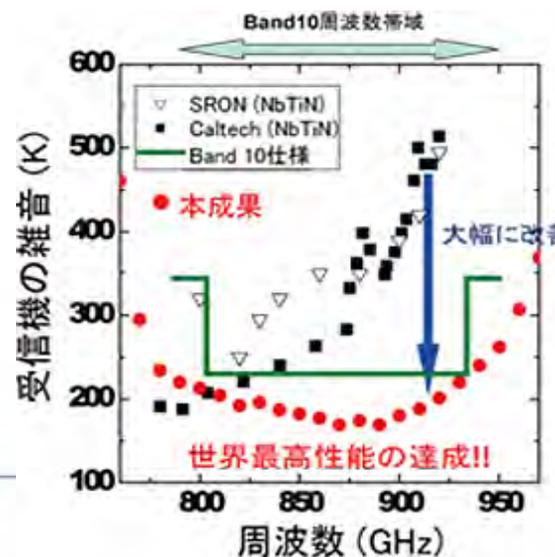
日本の建設参加は欧米に比べて2年遅れたが、開始後は建設を着実に進め、欧米に先んじてアンテナ第1号機を完成。高い性能を維持しながらスケジュールを守るという日本の技術の信頼性を示した。

アンテナ第1号：受入審査に合格し、日本のアンテナがアルマの第1号アンテナとなった（平成20(2008)年12月）



• サブミリ波受信機技術

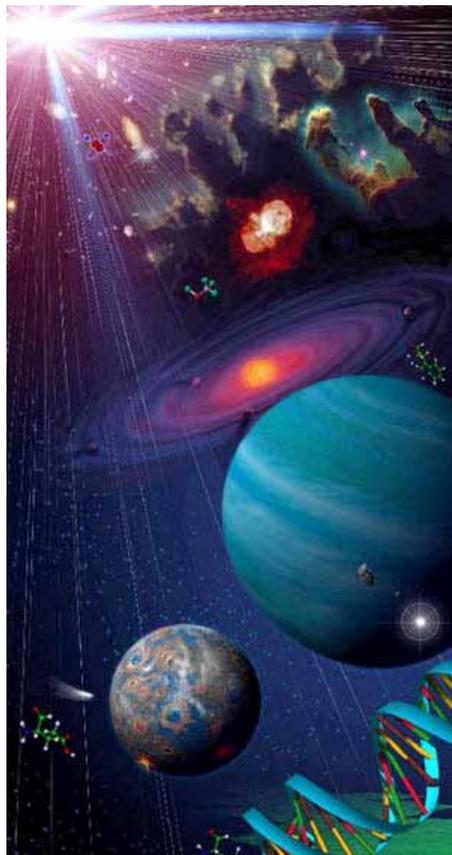
アルマの最高周波数帯であるBand 10（787-950GHz帯）の受信機として、世界最高性能の低雑音受信機を開発することに成功。Band 10 受信機の性能に匹敵するものは、未だに日本以外では開発できていない。





1. 科学技術的成果等

アルマ望遠鏡により、日本のチームとして、重点と考えるサイエンスの領域でこれまでにどんな重要な成果が得られたか、またこれから30年間の研究戦略があればそれがどのような内容か教えて下さい。



- アルマ望遠鏡では、
 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。
- 研究者の独創性を活かすために、アルマ望遠鏡では、全観測計画は研究者からのボトムアップによる公募型の観測提案を全世界で共通の審査会で審査・採択し、高い評価を得た観測提案のみを観測する。
- すばる、TMT、アルマの3つの望遠鏡を戦略的に利用することによって、上記3つの科学目標に関して、世界で優位に立つ。

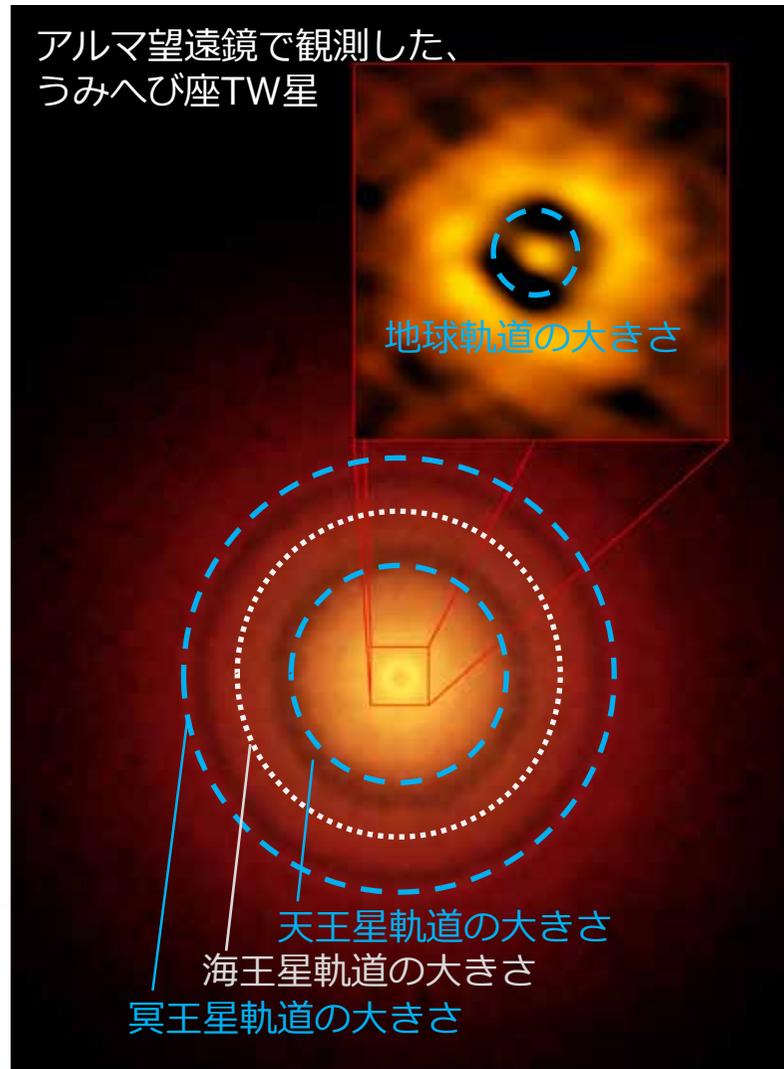




科学技術的なプレゼンス アルマでの重点サイエンス領域

1. 「太陽系以外の惑星系とその形成を解明」における日本の研究

- 建設前から原始惑星系円盤の研究の重要性を示し、アルマ望遠鏡の空間分解能 0.01秒角 (=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。)の仕様決定に大きな貢献をしたのは、日本のアルマ研究グループである。
(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)
- **これまでの成果: 「私たちの地球がある太陽系がどうやってできたのか」という、人類の世界観に関わる重要なテーマに迫る成果が続々と出てきた。**
 - 若い星 うみへび座TW星の周囲の塵円盤を、史上最高解像度で観測 (右図)。
 - 茨城大学の塚越助教らのグループは、うみへび座TW星の周囲の塵円盤から放たれる異なる2周波の電波を比較した結果、強度比から半径22天文単位の隙間内に大きな塵が欠乏 (小さな塵が卓越) していることを明らかにし、理論モデルとの比較から、この隙間に海王星程度の質量の惑星がすでに誕生している可能性を初めて指摘した。(塚越 et al. Astrophysical Journal Letters 2016)
 - 東京大学の坂井南美助教 (現在、理化学研究所准主任研究員) らのグループは、原始星L1527を観測し、原始星を取り囲むガス円盤の外縁部で化学組成が劇的に変化していることを発見した。これは、原始星のまわりを回転するガスが遠心力に支えられて滞留し、そこに外側から落下してきたガスが衝突することによって局所的に加熱され、活発な化学反応を引き起こしている様子を初めて捉えた成果である。太陽系形成時にも同様の現象が起こっていた可能性があり、隕石の分析や小惑星探査などの結果との比較研究が今後注目される。(坂井 et al. Nature 2014)
 - 大阪大学の深川美里助教 (現在、名古屋大学准教授) らのグループは、若い星HD142527を取り囲む塵とガスの円盤をアルマ望遠鏡で観測した。この円盤では塵の分布に大きな偏りが発見され、もっとも塵が集まっているところでは木星のような巨大惑星が今後形成される可能性があることがわかった。中心星からこの場所までの距離は、太陽系では海王星軌道の5倍に相当する遠さであった。これは、太陽系において惑星が存在する領域より外側でも巨大惑星が形成されうる可能性を示した成果であり、惑星系の多様性の起源を示す成果といえる。(深川 et al. Publications of the Astronomical Society of Japan 2012)

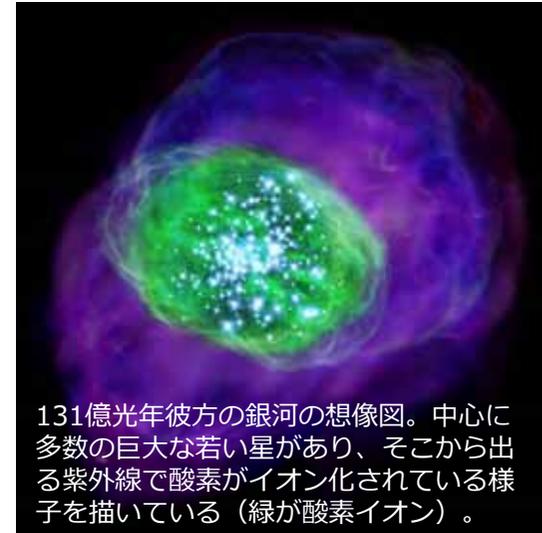




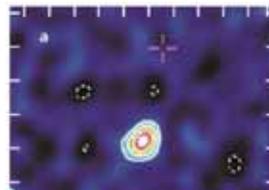
科学技術的なプレゼンス アルマでの重点サイエンス領域

2. 「銀河形成と諸天体の歴史を解明」における日本の研究

- 野辺山電波望遠鏡や野辺山ミリ波干渉計の開発を通じ、干渉計技術の向上に貢献してきた。その中で、遠方銀河の高解像度および高分散観測の重要性を指摘し、アルマ望遠鏡の**観測速度分解能**（相関器および分光器）の仕様決定に貢献した。
- これまでの成果：「**銀河系がどうやってできたのか**」という、銀河創生の由来に関わる重要なテーマに迫る成果が続々と出てきた。
 - 大阪産業大学の井上昭雄准教授らのグループは、すばる望遠鏡で発見された131億光年の距離にある銀河をアルマ望遠鏡で観測し、酸素イオンからの光を検出した（酸素の存在が確認された天体としては観測史上最遠方記録）。宇宙誕生後10億年までに宇宙全体がイオン化した「宇宙再電離」の原因天体の典型例と考えられ、宇宙初期の銀河形成を理解する上で極めて重要な発見となった。（右上図：井上 et al. Science 誌 2016）海外ウェブサイトも含め400件以上の記事で取り上げられるなど、世界的に注目された。
 - 東京大学の田村陽一助教らのグループは、アルマ望遠鏡の超高解像度重力レンズ画像を最も精緻に再現できる重力レンズモデルを構築し、117億光年彼方にある爆発的星形成銀河に、数百光年の大きさの塵の雲が複数あることを発見した（右下図）。重力レンズを起こす手前の銀河に、太陽の3億倍の質量を持つ超巨大ブラックホールがあることも判明し、爆発的星形成銀河の形成と超巨大ブラックホールの成長過程に迫る成果となった。（田村 et al. Publications of the Astronomical Society of Japan 2015）
 - 国立天文台の廿日出文洋特任助教（現在、東京大学助教）らのグループは、宇宙最大の爆発「ガンマ線バースト」が起きた、45億光年かなたの銀河をアルマ望遠鏡により観測し、分子ガスと塵から出る電波を検出。（下図：ガンマ線バースト発生銀河における分子ガスからの電波検出は世界初。）アルマの高い解像度により、ガンマ線バーストが起きた銀河における分子ガスと塵の分布の違いを初めて明らかにした。（廿日出 et al. Nature 誌 2014）



131億光年彼方の銀河の想像図。中心に多数の巨大な若い星があり、そこから出る紫外線で酸素がイオン化されている様子を描いている（緑が酸素イオン）。

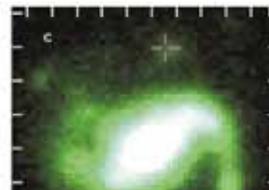


アルマ望遠鏡で観測した分子ガスの分布



ガンマ線バースト発生箇所

アルマ望遠鏡で観測した塵の分布



可視光で見た母銀河



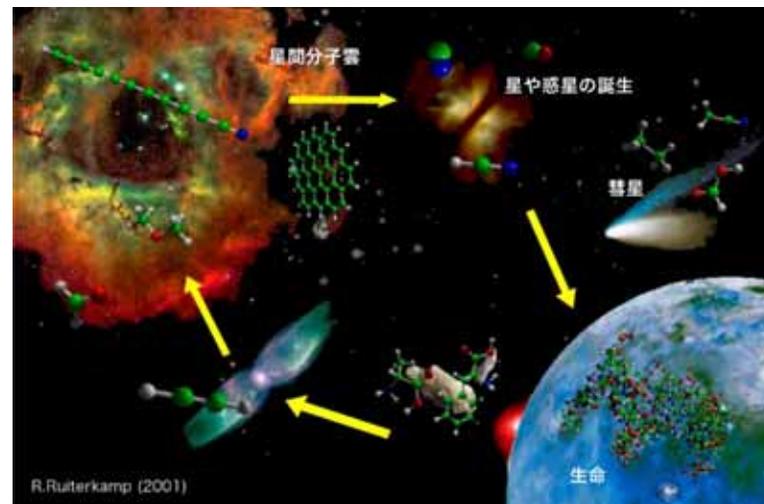
アインシュタインリング



科学技術的なプレゼンス アルマでの重点サイエンス領域

3. 「膨張宇宙における物質進化を解明」における日本の研究

- 野辺山電波望遠鏡を使って多くの分子を発見し、ミリ波サブミリ波天文学の発展に寄与してきた。その中で、生命関連分子の探査の重要性を指摘し、アルマ望遠鏡の観測感度（アンテナの台数、受信機の雑音温度）の仕様決定にも貢献した。
- これまでの成果：「**生命の材料はどこからやってきたのか**」という、生命関連分子（**アミノ酸**）の発見にはまだ至っていない。
 - これまで準備研究を進めてきた。
 - 富山大学の小林かおり准教授と連携をし、分子線カタログの作成などを進め、マイクロ波・サブミリ波分光による希薄な星間空間にある分子の分光・データベース「Toyama Microwave Atlas for spectroscopists and astronomers」の構築を行っている。その成果は、アルマ観測準備ツールの既知の分子線データベースに登録し、活用されている。さらにデータベースを強化し、日本独自の開発項目と位置づけ、強化を進めている。
 - 平成27年度に自然科学研究機構内に開所したアストロバイオロジーセンターと連携し、本研究を推し進めている。



- 30年+aの運用を通して、生命分子の関係解明と生命の起源に迫ることを目指す。





科学技術的なプレゼンス アルマでの30年間の研究戦略

- 国立天文台が有している世界最先端のすばる望遠鏡、および今後建設するTMTとのシナジーを通し、3つの科学目標において、日本の優位性をアルマによって実現する。
- 大学共同利用機関として日本全国の大学の研究拠点となり、アルマを使って大学の研究力を強化する。
 - 連携教員
 - プロジェクトマネージメント、重点サイエンス領域の研究推進、望遠鏡性能向上などで連携。
 - アルマ共同科学研究事業
 - 日本国内の大学に在籍する研究者に対し、研究員の雇用と研究費を支援。大学の力を強化して、アルマによって成果を挙げる若手研究者を多く養成。

連携教員

アルマ共同科学研究事業

連携教員（所属）	連携項目	年度	研究者（所属）	研究タイトル	重点サイエンス領域
大西 利和 連携教授 （大阪府大）	プロジェクトマネージメント	平成28年度	井上 昭雄 准教授 （大阪産業大）	遠赤外線星雲輝線を用いた宇宙再電離期の星形成銀河の星間物理	銀河形成と諸天体の歴史を解明
百瀬 宗武 連携教授 （茨城大）	太陽系以外の惑星系とその形成を解明		武藤 恭之 准教授 （工学院大）	ALMAで解明する原始惑星系円盤構造と惑星形成過程	太陽系以外の惑星系とその形成を解明
岡 朋治 連携教授 （慶應義塾大）	銀河形成と諸天体の歴史を解明		大西 利和 教授 （大阪府立大）	マゼラン雲・銀河系における星形成条件の解明	銀河形成と諸天体の歴史を解明
小林 かおり 連携准教授 （富山大）	膨張宇宙における物質進化を解明	平成29年度	高桑 繁久 教授 （鹿児島大）	ALMAによる原始星周囲の円盤の形成過程の解明	太陽系以外の惑星系とその形成を解明
酒井 剛 連携助教 （電通大）	最先端ミリ波サブミリ波受信機開発		富田 賢吾 助教 （大阪大）	ALMAのための観測的可視化フレームワークの構築	太陽系以外の惑星系とその形成を解明
鵜澤 佳徳 連携教授 （NICT）	最先端超伝導SIS素子開発		河野 孝太郎 教授 （東京大）	ダストに隠された銀河の活動性と進化の研究	銀河形成と諸天体の歴史を解明



2. 国際共同プロジェクトにおける我が国の存在感

2年の遅れをどのようにして取り戻したのか教えてください。

日本の存在感を取り戻す挽回への道のり

1. 先行された2年間、日本の分担となるACAシステムを設計し、提案。アルマ観測画像の信頼性の向上をさらに図った。（平成25年科学技術分野の文部科学大臣賞）
2. 2年遅れではあるが日本の建設予算が決定。（平成16年4月）
3. 日本のアンテナがアルマ1号機アンテナとなる。日本がアルマのトップレベルマイルストーンを実現。（平成20年12月）
4. 実現が困難とされたBand 10受信機の開発に成功。（平成21年6月）
→ これらの研究技術成果をもって建設期の初期の段階で信頼を取り戻し、欧米とマネージメントレベルで対等な関係を獲得できた。
5. 建設期は欧米2者協定 + 日米欧3者協定の併用。運用期は日米欧3者協定のみ。

国際共同計画で、欧米に対等に伍してこれらを実現できたのは、

- ・複数の大型計画を経験して、研究力と技術力を蓄積していたこと
- ・国際的な約束にもとづいて、計画通り予算が措置されたこと

によるものである。





3. 世界トップクラスの人材育成

世界クラスのトップランナーからアマチュア天文家等のすそ野の広がりまでを含めて、人材育成方策の効果・効用をどのように把握するのかについての考えを教えてください。

- 「世界トップクラスの人材育成」に関する評価指標
 - 研究レベルの指標として、以下のものが考えられる
 - 論文数、論文引用数、h-index
 - 世界的な研究チーム・研究所のリーダー格であるかどうか





3. 世界トップクラスの人材育成 「すそ野の広がり」に関する評価指標

- 研究のすそ野
 - － 研究のすそ野を広げる場は、大学・大学院である。
評価指標としては、以下のものが考えられる
 - 大学数、研究室数、大学院生数、
博士号を取った学生数、留学生数
- アマチュア天文家なども含めた、広く社会でのすそ野
 - － 天文学研究と一般社会をつなぎ、アマチュアまで含めたすそ野を広げる効果を持つ要素は、「マスメディア」「社会教育」「学校教育」「研究機関による社会への直接的な働きかけ」の4つに大別される。
この4つにおいて、その活用状況及び効果の評価指標を提案する。



3. 世界トップクラスの人材育成 「すそ野の広がり」：マスメディア

- 研究機関のマスメディア活用に関連する評価指標
 - 研究成果プレスリリース、記者レクチャーなどの効果
 - マスメディアで取り上げられた効果
 - プレスリリース数、取り上げられた記事数、メディア露出の広告費換算などの数値データは指標の一つであるが、データに現れない質的变化を把握するためにはマスメディアへのヒアリング、ソーシャルメディアの追跡調査や相当規模のアンケート調査などが必要となる。



- マスメディア活用に関する国立天文台の取り組み例
 - 研究機関としては他に先駆けて1994年に「広報普及室」を設立、観測成果発表やマスメディア対応など広報活動に力を入れてきた。その結果、現在もマスメディアからの信頼は厚く、メディア露出も多い。
 - 大学共同利用機関として大学所属の研究者による研究成果発表を強かに支援することで、天文学全体の広報活動を底上げしている。





3. 世界トップクラスの人材育成 「すそ野の広がり」：社会教育

- 社会教育に関連する評価指標
 - － 博物館等の社会教育施設における効果
 - イベント開催数、来場者数、来場者の感想や興味喚起など質的情報



- 天文学における社会教育に関する取り組み例
 - － 日本にはプラネタリウムが約400館あり、米国に次いで世界2位。児童生徒が学習投影で訪問するなど、天文との関わりを持つ機会が多い。
 - － 公開天文台も約400施設あり、世界有数。
 - － 国立天文台と社会教育施設の密な連携により、プラネタリウム番組や展示、講演会などに積極的に協力している。



図2 1990年以降設置の望遠鏡の口径別分布



3. 世界トップクラスの人材育成 「すそ野の広がり」：学校教育

- 学校教育に関連する評価指標
 - 教科書執筆やカリキュラム構築への貢献
 - 出張授業などの取り組みにおける効果



- 天文学における学校教育に関する取り組み例
 - 天文学者と学校教員、学芸員などが会員となっている天文教育普及研究会において、文部科学省におけるカリキュラム改訂に合わせて議論を行い、提言やパブリックコメントへの対応を行っている。
 - 国立天文台では「ふれあい天文学」として、年間40～80の小学校・中学校に研究者を派遣し、授業を展開している。アンケート調査では、満足度が非常に高い。



3. 世界トップクラスの人材育成 「すそ野の広がり」：直接的働きかけ

- 研究機関による社会への直接的な働きかけの評価指標
 - － 講演会や公開事業などの効果
(開催数、来場者数、来場者アンケート結果)
 - － ウェブサイトアクセス数と滞在時間、
SNSフォロワー数とエンゲージメント数



- 国立天文台による社会への直接的な働きかけの例
 - － 国立天文台ウェブサイトは、プロジェクトウェブサイトを除いても年間800万件の閲覧があり、研究機関としては非常に多い。
 - － 国立天文台野辺山宇宙電波観測所が設立当初（1982年）から常時公開を行うなど、「開かれた天文台」の取り組みを続けている。
 - － 国立天文台三鷹で年間約13,000人、野辺山で約50,000人など、非常に多くの来場者を得ている。





3. 世界トップクラスの人材育成 「すそ野の広がり」：直接的働きかけ

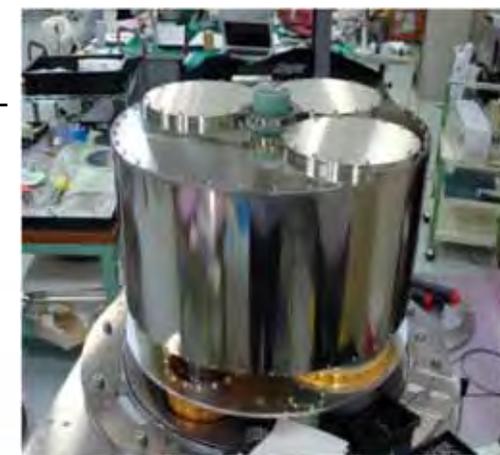
- 国際天文学連合 Office for Astronomy Outreach の
– 国際天文学連合が、天文学の普及活動拠点を、世界で唯一国立天文台内に設置。
– 発展途上国での天文学普及活動（日食観測や望遠鏡制作WS等）、国際天文学連合による太陽系外惑星命名キャンペーンなどを統括。
– 国立天文台が天文普及において世界的な立場を占めているという高い評価を示す例といえる。



4. 技術の利活用について

アルマで開発した技術が海外にどのように展開されているか教えてください。

- マックス・プランク研究所への Band 8 ミキサ提供
 - APEX (Atacama Pathfinder Experiment) に搭載する受信機開発のため、MPIfR (マックス・プランク電波天文学研究所) より Band 8 ミキサの購入の依頼。
 - 平成23年度に Band 8 ミキサ 1 台を出荷。MPIfR が開発した受信機 (FLASH+) に搭載され、現在も稼働している。
 - 平成28年度にさらに新しい受信機の開発のため、追加2台の購入依頼があった。受託事業契約を締結し、現在製造中。
- サンパウロ大学への冷凍機デュワー提供
 - LLAMA (Large Latin American Millimeter Array) で使用する受信機を搭載するため、サンパウロ大学より、冷凍機デュワーの購入の依頼。
 - 平成27年にサンパウロ大学と受託事業契約を締結し、平成28年1月に出荷完了。



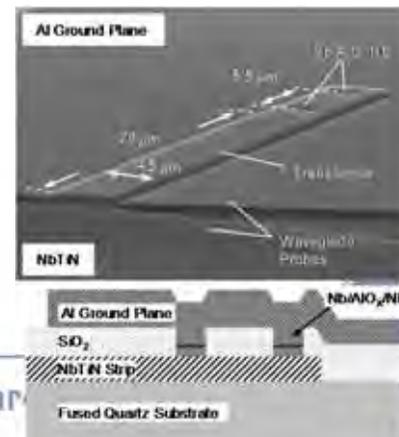


4. 技術の利活用について

BAND10や台湾で進められているBAND1も含め、受信機のバンドごとの性能、目的、担当国、利用状況を整理してください。また、日本がどのような苦勞をして技術を確立し、それにより電波天文学の基盤技術がどれだけ引き上げられたか教えて下さい。(例えば、周波数のバンドごとに電波の感度が〇〇倍のような表現でも結構です。)

日本の技術の確立：

- 野辺山宇宙電波観測所の開所以来、30年以上に渡って受信機技術の基礎開発を行い、絶えず技術の発展と蓄積を継続。
 - マシンショップやクリーンルームを維持することによって、観測機器の試作を国立天文台内で臨機応変に行える体制を確立。
- アルマの Band 10 (新規材料のNbTiN (窒化ニオブチタン) を使用) のような世界最高性能の受信機を製造する基盤技術を確立した。





4. 技術の利活用について

バンド毎の性能と担当機関

受信機バンド毎の性能（周波数範囲と雑音温度）および担当機関は以下の通りである。

受信機バンド	周波数帯域 (GHz)	雑音温度	担当機関
Band 1	31.3 – 45.0	17 K	東アジア（日本・台湾）
Band 2	67 – 90	30 K	北米 or 欧州（+日本）
Band 3	84 – 116	37 K	北米（カナダ）
Band 4	125 – 163	51 K	国立天文台
Band 5	163 – 211	65 K	欧州（+北米）
Band 6	211 – 275	83 K	北米（米国）
Band 7	275 – 373	147 K	欧州（フランス）
Band 8	385 – 500	196 K	国立天文台
Band 9	602 – 720	175 K	欧州（オランダ）
Band 10	787 – 950	230 K	国立天文台

凡例： 東アジア担当 北米担当 欧州担当 青字は開発中のバンド



4. 技術の利活用について

バンド毎の目的

- アルマの受信機バンドは、31.3-950GHzの範囲を連続的にカバーする。
- 多種多様な分子（たとえば糖なども含めて）や原子の出す輝線が観測可能。
- 連続放射のスペクトル（色）を測定可能。例えば惑星形成中のダストのサイズ分布が分かる。
- CO（一酸化炭素）などは異なる遷移が複数のバンドに含まれるが、これらを同時に測定することでガスの物理状態が推定可能。

下表に各受信機バンドに含まれる分子・原子輝線の例を示す。

受信機バンド	分子・原子輝線の例
Band 1	SiO(1-0), HC ₃ N(4-3)
Band 2	HDO(1 ₁₀ -1 ₁₁)
Band 3	CO(1-0), ¹³ CO(1-0), N ₂ H ⁺ (1-0), HCO ⁺ (1-0), メタノール(2 ₀ -1 ₀)
Band 4	HDO(4 ₂₂ -4 ₂₃)
Band 5	H ₂ O(3 ₁₃ -2 ₂₀)
Band 6	CO(2-1), ¹³ CO(2-1), CH ₃ CN(14-13), SO(7 ₆ -6 ₅), グリコールアルデヒド (36 _{10,27} -36 _{9,28}) (7 _{6,2} -6 _{5,1})
Band 7	CO(3-2), ¹³ CO(3-2), CCH(N=4-3, J=9/2-7/2), N ₂ H ⁺ (3-2), SO(7 ₈ -6 ₇)
Band 8	CO(4-3), ¹³ CO(4-3), CI (³ P ₁ - ³ P ₀)
Band 9	CO(6-5), ¹³ CO(6-5)
Band 10	CO(7-6), CO(8-7), ¹³ CO(8-7), CI (³ P ₂ - ³ P ₁)

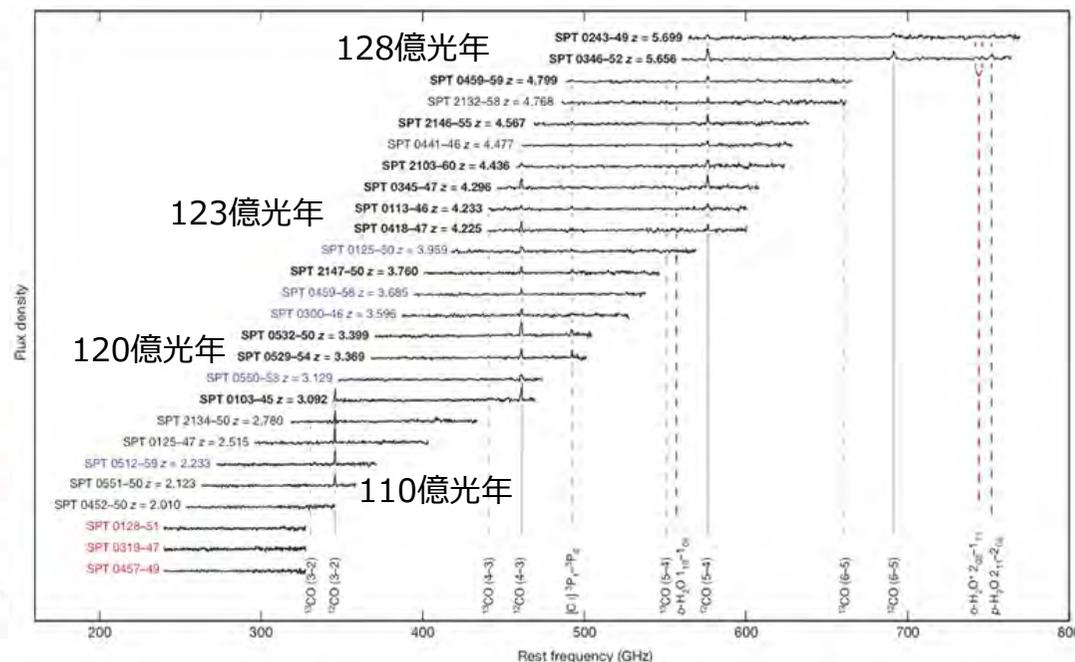
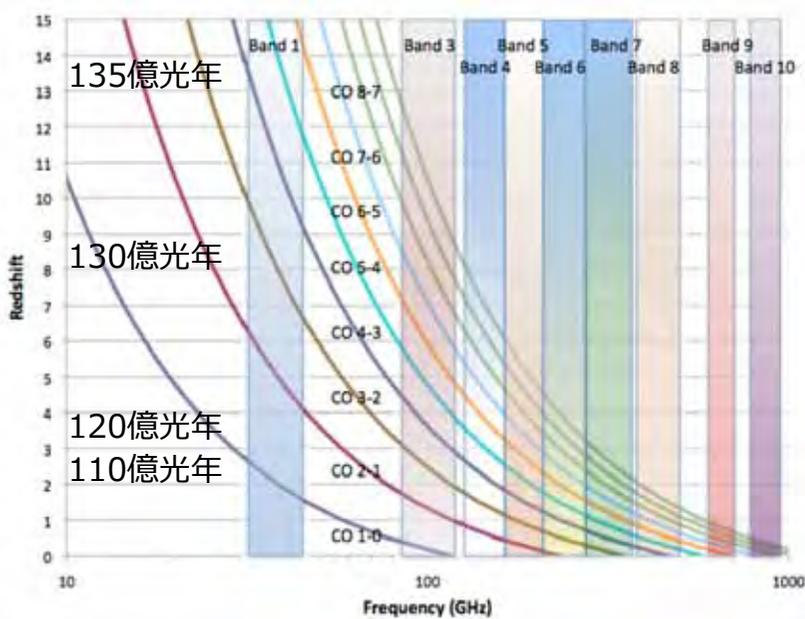
凡例： 東アジア担当 北米担当 欧州担当 青字は開発中のバンド



4. 技術の利活用について アルマのバンドとサイエンスの目的

遠方銀河の観測においては、地球からの距離が遠くなるにしたがって輝線の周波数が連続的に変化するため、全体として広い周波数帯域をカバーすることが重要である。

地球からの距離



一酸化炭素輝線の距離による周波数の変化。同じ輝線でも、距離が遠くなればなるほど、周波数は下がる。

実際にアルマ望遠鏡がBand 3で観測したさまざまな距離の銀河のスペクトル。





4. 技術の利活用について

他の受信機との感度比較

アルマ望遠鏡の受信機と、野辺山45m望遠鏡およびSMA (Submillimeter Array) 受信機との受信機雑音温度を比較。Band 10 の周波数帯では、アルマは SMA と比べて雑音温度で約3倍 (アンテナ台数も含む望遠鏡として感度は100倍以上) 向上。

アルマ			野辺山45m	SMA(※)
受信機 バンド	周波数帯域 [GHz]	雑音温度	雑音温度 (周波数帯域 [GHz])	雑音温度 (周波数帯域 [GHz])
Band 1	31.3 - 45.0	17 K	~50K (42-44)	
Band 2	67 - 90	30 K	~60K (71-92)	
Band 3	84 - 116	37 K	~75K (80-116)	
Band 4	125 - 163	51 K		
Band 5	163 - 211	65 K		~60K (175-255)
Band 6	211 - 275	83 K		~150K (250-350)
Band 7	275 - 373	147 K		~200K (425-510)
Band 8	385 - 500	196 K		~400K (600-720)
Band 9	602 - 720	175 K		~750K (800-900)
Band 10	787 - 950	230 K		

※ SMA (Submillimeter Array) : スミソニアン天体物理観測所 (SAO) と台湾中央研究院天文及天文物理研究所 (ASIAA) との共同プロジェクト。



4. 技術の利活用について

受信機の利用状況

日本が開発した Band 4, 8 受信機は第2回から、Band 10 受信機は第3回から、共同利用観測で使用されている。

共同利 用観測	期間	受信機バンド									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
第1回	H23.10~H24.12			○			○	○		○	
第2回	H25.1~H26.5			○	○		○	○	○	○	
第3回	H26.6~H27.9			○	○		○	○	○	○	○
第4回	H27.10~H28.9			○	○		○	○	○	○	○
第5回	H28.10~H29.9 (予定)			○	○	△	○	○	○	○	○
第6回	H29.10~H30.9 (予定)			○	○	○	○	○	○	○	○



4. 技術の利活用について

TMTの重要部品である「望遠鏡本体」および「主鏡」の開発に、アルマ計画で培われた技術がどのように活かされているのか教えてください。

- **超高精度制御技術**

- 例：ダイレクトドライブモーター
 (高性能な指向精度および駆動性能を実現するために、ALMA望遠鏡で開発されたダイレクトドライブモーターをTMTに使用)

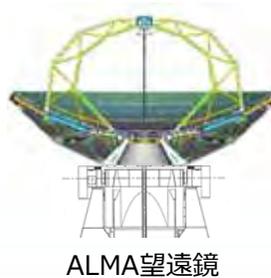
ダイレクトドライブモーター



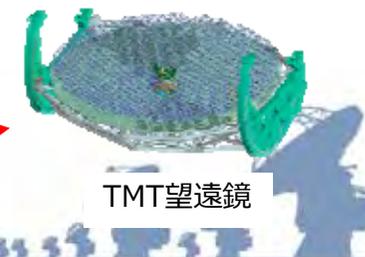
ALMA望遠鏡

- **高度な熱構造解析技術**

- 例：主鏡部の支持方法
 (高い主鏡面精度を実現するために、ALMA望遠鏡主鏡部のセンターリングの設計で考案したダブルローワーチューブ構造を、TMTの492枚の分割鏡を支えるミラーセルに使用)



ALMA望遠鏡



TMT望遠鏡



4. 技術の利活用について

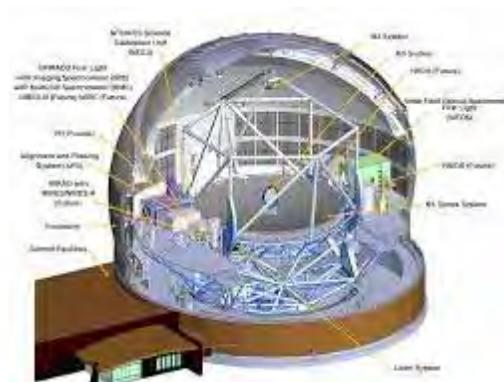
参画企業による開発技術の天文分野や他の用途への展開や、パブリシティへの利活用の状況を教えてください。

- 参画企業による開発技術の天文分野や他の用途への展開
 - 三菱電機 – アルマではACAアンテナを担当
 - ⇒TMTでは、望遠鏡本体を担当
 - ⇒JAXA/ISASでは、深宇宙探査用地上局（GREAT）の54mアンテナを担当

アルマACAアンテナ



TMT



GREAT





参画企業によるパブリシティへの利用活用の状況 三菱電機

- 三菱電機 – アルマACAアンテナを担当
 - 新聞全面広告を少なくとも4回掲載。
 - 平成20年9月掲載の広告（右画像）は日本産業広告大賞を受賞。



平成20年9月5日 日刊工業新聞



平成20年9月5日 朝日新聞



平成21年11月25日
日経新聞、中日新聞、
フジサンケイ・ビジネスアイ



平成20年9月8日 朝日新聞



参画企業によるパブリシティへの利用活用の状況 三菱電機

平成22年11月15日 産経新聞

- 三菱電機 – アルマACAアンテナを担当
 - 社内プロジェクトマネージャを務めた大島氏（右）、製造現場責任者石田氏（下）がそれぞれ新聞記事に取り上げられた。

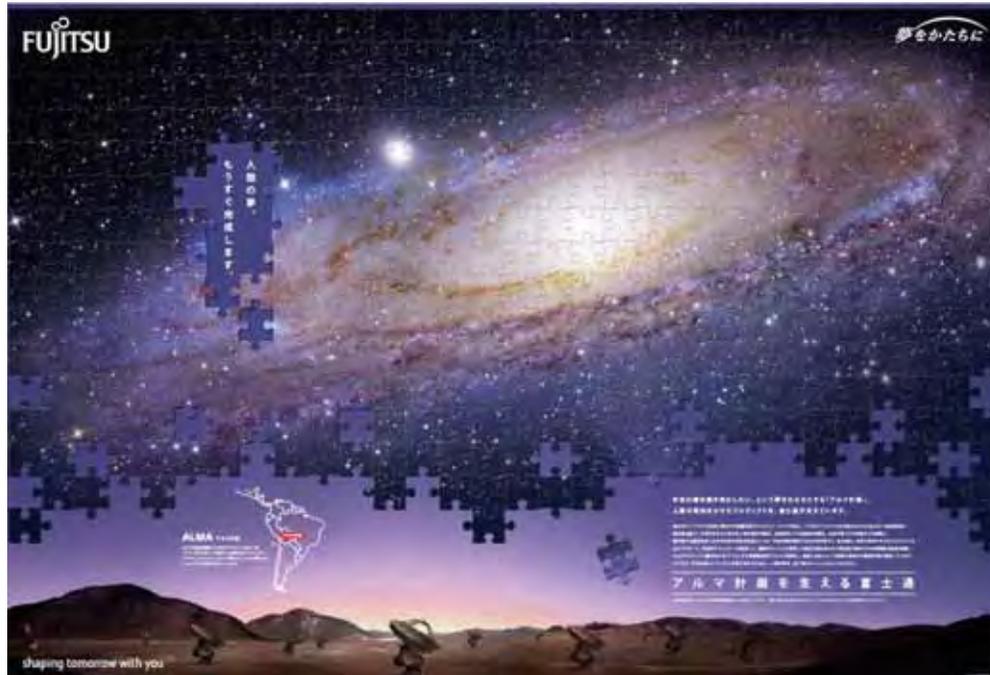
平成22年10月9日 読売新聞





参画企業によるパブリシティへの利用活用の状況 富士通

- 富士通 – ACA相関器を担当
 - 新聞全面広告を少なくとも2回掲載。
 - 平成22年掲載の広告（下画像）は日本産業広告賞新聞部門第1部第2席、平成24年掲載の広告（右画像）は日経産業新聞広告賞を受賞。



日刊工業新聞 平成22年9月15日



日本経済新聞 平成23年9月26日



参画企業によるパブリシティへの利用活用の状況 住友重機械工業

- 住友重機械工業 – アルマ受信機冷凍機を担当（欧州分担枠）
 - 世界的なシェアを持つ極低温冷凍機の応用事例としてアルマ望遠鏡をウェブサイトに大きく掲載。





参画企業によるパブリシティへの利用活用の状況 オオタ株式会社

- オオタ株式会社
 - 日本製アンテナ鏡面に使用されたアルミニウムパネルを加工。
 - 製作事例としてウェブサイトトップで紹介。





5. その他

(1) 今後の運用・整備計画

BAND10のキャリブレーションや受信バンドの広域化を含め、運用段階におけるアルマ望遠鏡の性能向上の技術革新の計画とその狙いについて教えてください。

較正方法の革新

- アルマの最高空間分解能は0.01秒角という仕様であるが、これはBand 7で実現する。これ以上の高い周波数受信機(Band 8, 9, 10)では大気中の水蒸気の影響を受け、そのキャリブレーション技術がまだ確立されていない。Band 10の較正方法の技術革新により、アルマは空間分解能を0.003秒角まで達することができる。

広帯域化の革新

- 受信機バンドの広帯域化は、さまざまな分子輝線を同時に観測する事を可能とする。これにより、アミノ酸のような生命関連物質の検出の確率の向上および観測速度の向上、またさまざまな分子輝線強度比を高い精度で測定できることで、分子組成の解明と、分子組成をもとにして諸天体形成の過程を紐解くことができる。

性能向上の技術革新

- 観測画像の品質の向上を目指し、アンテナ台数を増やす、アンテナ間の距離を広げるなどの検討も行っている。これらにより、300光年までの距離にある原始惑星系円盤の中心にある原始星を0.1 AU (天文単位) 以下の解像度で観測することができ、原始星と原始惑星系円盤がどのように惑星形成に寄与しているのかを解明することができると考えている。また、Band 7よりも低い周波数受信機で0.01秒角の空間分解能を達成できる可能性がある。

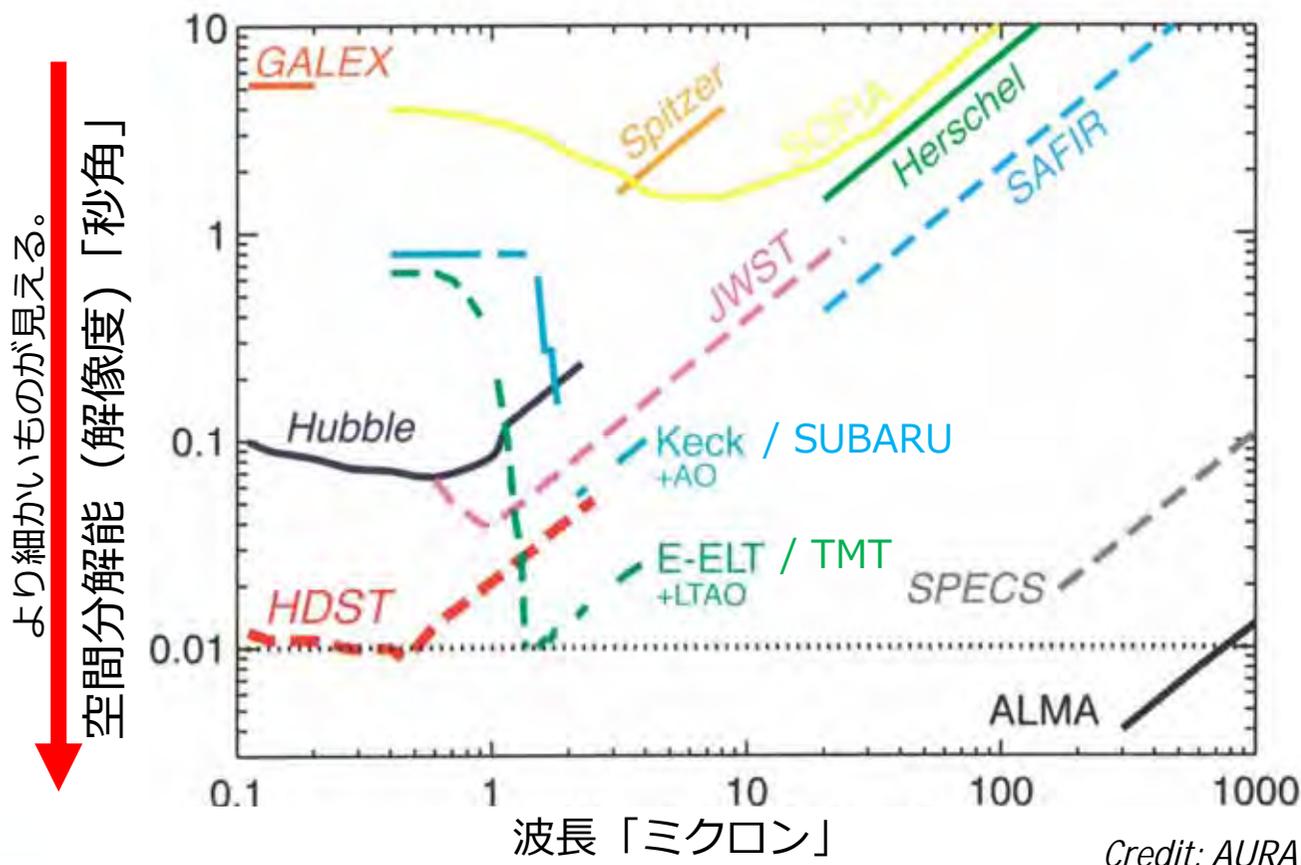




5. その他

(1) 今後の運用・整備計画

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について教えてください。



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)





5. その他

(2) 得られた知見と活用

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、今後に活かすべきどのような知見が得られましたか。また、残されている課題は何ですか。その課題にどのように対応する考えですか。

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。

建設当初から計画に従事。アルマ評議会にて報告を行う井口教授。現在、東アジアアルマプロジェクトマネージャを務める。
(右図は、平成26年1月12日 TBS「夢の扉+」にて)



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。
この課題は、国立天文台だけでは対応できない課題なだけに、今後適宜、関係各所と相談し、対応していきたい。





5. その他

(2) 得られた知見と活用

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は具体的にどのようなものですか。

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、どれもマネー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。
 - マネージメントとアドミニストレーションを混同しない、マネー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**





5. その他

(2) 得られた知見と活用

アルマ計画で得られたマネジメント面の知見を他の国際研究プロジェクトに、あるいは、他の国際研究プロジェクトのマネジメント面の知見をアルマ計画に活かしている点はありますか。

他の国際研究プロジェクトへ活用

- アルマ計画で経験を積んだスタッフをTMT計画に異動。

他の国際研究プロジェクトのマネジメント面の知見をアルマ計画に活用した例

- 国際アルマ計画の主たるプロジェクトマネージメント手法は、NASAやESAの基準を使った。たとえば、安全・品質管理など。

国立天文台におけるプロジェクト推進の知見と活用

- すばる → アルマ → TMT と、Step by step で大型計画を推進してきた。
- すばるから学んだこととして、マネージメントではないが、海外での国立天文台事務所の設立、職員の赴任などのアドミニストレーションがある。





5. その他

(2) 得られた知見と活用

不測の事態が発生した際、柔軟に予算を確保できない理由を教えてください。

- 日本の財政状況は厳しく、アルマ計画の予算状況についても、国際分担金や受信機等の保守経費など、まずは国際協力の下、プロジェクトの着実な推進に必要な経費を確保することが最優先の状況である。そのため、不測の事態に備えた予備費的性格の予算を措置することが困難な状況にある。





6. 評価の論点整理とはリンクしていない項目

アルマ計画による社会へのインパクトとしてどのようなものがあるのか教えてください。

- 特許

アルマ建設に関わった主なメーカーにおいて、以下のような特許を取得。

- 三菱電機：アンテナ技術において15件
 - 反射鏡調整機構、アンテナ調整システム、望遠鏡主鏡装置、等
- 富士通：データ処理技術等において5件
 - 電子装置およびその制御方法、エラーチェック回路およびエラーチェック方法、等
- 国立天文台：望遠鏡開発に関する技術において16件
 - アンテナ技術、超伝導素子技術、導波管技術、相関器技術、受信機技術、等





社会へのインパクト

- 文化的側面
 - 日本のロックバンド ACIDMAN
 - 代表曲 ALMA：アルマ望遠鏡からのインスピレーション
 - シングル・アルバム・ライブツアーにALMAの名。
 - シングル「新世界」のジャケットにアルマ観測画像。
 - 新しい宇宙観・世界観の構築
 - 「惑星の誕生」「生命の起源物質」など、多くの人の宇宙観・世界観を塗り替えるような挑戦的な取り組みが進んでいることを、報道などを通して示した。
 - 平成26年1月12日、TBS「夢の扉+」、そして平成26年5月25日 テレビ東京「世界で働くお父さん6」など科学番組以外でも放送されている。





社会へのインパクト

大きく報道されたアルマの成果

■ アルマ望遠鏡の成果はこれまで大きく報道されている。

平成23年10月19日 NHK
クローズアップ現代

平成26年11月7日
読売新聞朝刊1面

平成25年1月5日 NHK ニュース7

平成28年1月3日 NHK ニュース7

平成29年2月8日 NHKニュースウオッチ9





社会へのインパクト

世界各国で報道された日本発の成果

■ 「観測史上最遠方の酸素発見」の成果は、全世界で400件以上のオンライン記事に掲載された。

● 日本での報道の例

- ・ H28.06.17 NHKニュース
- ・ H28.06.17 テレビ朝日
- ・ H28.06.18 読売新聞
- ・ H28.06.20 日本経済新聞

● 海外での報道の例

- ・ H28.06.16 EL MUNDO (スペイン)
- ・ H28.06.16 WIRED (イギリス)
- ・ H28.06.16 Forbes (アメリカ)
- ・ H28.06.19 Naver (韓国)

掲載国はオーストラリア、ブラジル、カナダ、チリ、中国、フランス、ドイツ、アラブ首長国連邦、インド、ロシアなど、**39か国以上**に及んだ。





社会へのインパクト

世界各国で報道された日本発の成果

Naver (韓国)

EL MUNDO (スペイン)

Forbes (アメリカ)





社会へのインパクト テレビ、新聞等での報道

(平成28年4月～平成29年2月、代表的なもののみ抽出。平成28年4月以前を含めると国内で約590件)

=== テレビ ===

- 29.02.08 NHK総合 ニュースウオッチ9
- 29.02.08 NHK総合 ニュースシブ5時 世界初 惑星系が形作られる様子を観測
- 29.01.26 NHK BSプレミアム「コズミックフロント☆NEXT 惑星誕生のミステリー 1%の奇跡」
- 28.12.04 NHK Eテレ「サイエンスZERO ついに解明！ブラックホール成長の謎」
- 28.10.13 NHK BSプレミアム「コズミックフロント☆NEXT 銀河鉄道からのメッセージ 宮沢賢治の宇宙論」
- 28.08.29 TBS「別冊アサ秘ジャーナル」
- 28.08.25 NHK BSプレミアム「コズミックフロント☆NEXT 謎の巨大惑星 プラネット9」
- 28.06.02 NHK BSプレミアム「コズミックフロント☆NEXT ミステリー 宇宙で最も寒い場所」
- 28.05.25 南日本放送「News Now 若い恒星も惑星形成か 鹿大などの研究で明らかに」

=== 新聞 ===

- 29.02.09 毎日新聞「惑星のもとドーナツ ガスやちり、衝突し膨らむ」
- 28.09.14 愛媛新聞「愛媛大で天文学会秋季年会 きょうから」
- 28.09.14 しんぶん赤旗「巨大氷惑星 形成の証拠捉えた」
- 28.06.27 産経新聞「観測史上最古の酸素検出 131億光年離れた銀河から」
- 28.06.20 日刊工業新聞「誕生7億年 初期宇宙に酸素」
- 28.06.20 日本経済新聞「131億年前に酸素 銀河で存在確認」
- 28.06.18 読売新聞「131億年前 最古の酸素」
- 28.06.18 毎日新聞「131億年前の酸素 確認」
- 28.05.26 南日本新聞「若い星に惑星誕生の兆候発見」
- 28.04.22 読売中高生新聞「抵抗ゼロ 無限の可能性」
- 28.04.01 ちいき新聞千葉「目に見えない光も捉える望遠鏡 100億光年以上かなたへ開かれた視界」

=== 書籍 ===

- 「宇宙138億年の謎を楽しむ本」株式会社PHP研究所
- 「子ども百科ワンダーキッズペディア(21) 宇宙」小学館
- 「漫画で楽しむ！！ラクラク電波とレーダ 増補改訂版」一灯舎
- 「なぜ？の図鑑 宇宙」学研プラス
- 「愛媛大学「研究室からこんにちわ！」10」アトラス出版
- 「スーパー望遠鏡「アルマ」が見た宇宙」日本評論社

=== 雑誌 ===

- 29.02「塵とガスでとらえる惑星誕生の現場」月刊天文ガイド2017年3月号
- 29.02「ガスと塵の分布が示す、2つの惑星誕生の証拠」月刊星ナビ2017年3月号
- 29.01「宇宙の生命はありふれた存在 地球外生命体はいるのか」AERA Vol.30 No.5
- 29.01「アルマ望遠鏡、惑星の種の大きさと、その成長に迫る」月刊星ナビ2017年2月号
- 28.12「接近した若い3連星の形成現場」月刊星ナビ2017年1月号
- 28.12「アルマ望遠鏡が捉えた”三つ子”誕生の現場」月刊天文ガイド2017年1月号
- 28.11「アルマがとらえた巨大氷惑星の形成現場」月刊星ナビ2016年12月号
- 28.11「アルマ望遠鏡で探る、ハッブルウルトラディープフィールド」月刊星ナビ2016年12月号
- 28.10「モンスター星の光で進化するオリオン座大星雲」月刊星ナビ2016年11月号
- 28.10「X線が検出された最遠の銀河団」月刊星ナビ2016年11月号
- 28.09「急増光中の若い星のまわりに水のスノーライン」月刊星ナビ2016年10月号
- 28.09「アルマ望遠鏡の観測で131億年前の酸素を発見！」宇宙のとびら 第37号
- 28.08「見えてきた惑星形成領域での有機分子のふるまい」月刊天文ガイド2016年9月号
- 28.07「宇宙の再電離の原因」Newton 2016年9月号
- 28.07「南米の天文台最前線01 アルマ望遠鏡」月刊天文ガイド2016年8月号
- 28.07「アルマ望遠鏡の視力が確かめた、おうし座HL星の惑星形成の確かな証拠」月刊天文ガイド2016年8月号
- 28.07「複数の惑星を持つ星に不思議な形の塵円盤」月刊星ナビ2016年8月号
- 28.07「銀河中心ブラックホールの質量を精密に計測」月刊星ナビ2016年8月号
- 28.06「重力レンズ画像に隠された暗い矮小銀河」月刊天文ガイド2016年7月号
- 28.06「アルマ望遠鏡の重力レンズ画像にゆがみを残した矮小銀河」月刊星ナビ2016年7月号
- 28.05「謎に包まれていた宇宙赤外線背景放射の起源を一部解明」月刊天文ガイド2016年6月号
- 28.05「宇宙に満ちる謎の赤外線放射の起源をアルマで解明」月刊星ナビ2016年6月号
- 28.04「アルマ望遠鏡、原始星円盤へ流れ込むガスの動きを鮮明に」月刊天文ガイド2016年5月号
- 28.04「アルマ望遠鏡で迫る連星系での惑星形成」月刊星ナビ2016年5月号
- 28.04「惑星形成モデルを書き換える？とても冷たい空飛ぶ円盤」月刊星ナビ2016年5月号



社会へのインパクト

- 教育的側面
 - 中高生に対する職業教育におけるアルマ望遠鏡プロジェクト
 - 天文学者・科学者だけでなく、さまざまな職種（技術者、物流、翻訳、安全管理、事務担当など）が支えあうことでアルマ望遠鏡プロジェクトが成立していることを伝えている。多様な職種のスタッフがひとつのプロジェクトにかかわっていることを示すことは、広い視野に立った職業選択を促すよい例である。





6. 評価の論点整理とはリンクしていない項目

大学での研究室数、大学院生数、ポスドクの雇用者数の推移、中学生や高校生など将来の天文学者予備軍による活動やジュニアセッションでの研究発表数の推移などを教えて下さい。

大学での研究室数

大学での研究室数、大学院生数、ポスドクの雇用者数の推移を網羅的に調査したデータは存在しないが、平成28年度の段階で、天文学を学べる大学は日本全国に少なくとも76校（89学科）あり、そのうち75学科で大学院教育が行われている。

ジュニアセッション

中・高校生が天文学に関係する研究発表を行う「ジュニアセッション」を、日本天文学会年会時に開催。平成12年より実施。

開催年月	発表件数	開催年月	発表件数	開催年月	発表件数
平成12年4月	17件	平成19年3月	40件	平成27年3月	85件
平成13年3月	13件	平成20年3月	53件	平成28年3月	84件
平成13年10月	7件	平成21年3月	51件		
平成14年3月	23件	平成22年3月	52件		
平成15年3月	17件	平成23年3月	54件		
平成16年3月	34件	平成24年3月	64件		
平成17年3月	35件	平成25年3月	81件		
平成18年3月	34件	平成26年3月	82件		

第1回ジュニアセッション（平成12年4月、於東京大学）





6. 評価の論点整理とはリンクしていない項目

説明資料の論文数の集計結果について、下記について教えてください。①国別分布の基準は何ですか。②集計している著者は筆頭者のみですか。③各地域別分布の"Open Skies"とは何ですか。なお、インパクトの高い"は"インパクトファクターの高い"ではないでしょうか。

- ① 筆頭者の所属する機関の国別の集計。
- ② 集計は筆頭者のみ。
- ③ Open Skiesは、米国で定められたルールで、米国（NSFやNASAなど）が主導で参画した天文観測装置の共同利用では、米国以外の国々に対してもある割合で観測時間を提供することが定められている。

なお、インパクトの高い"は"インパクトファクターの高い"ではなく、人類の世界観に関わるような「インパクトの高い」成果という意味合いで使った。たとえば、地球型軌道に相当する円盤の溝の発見など。

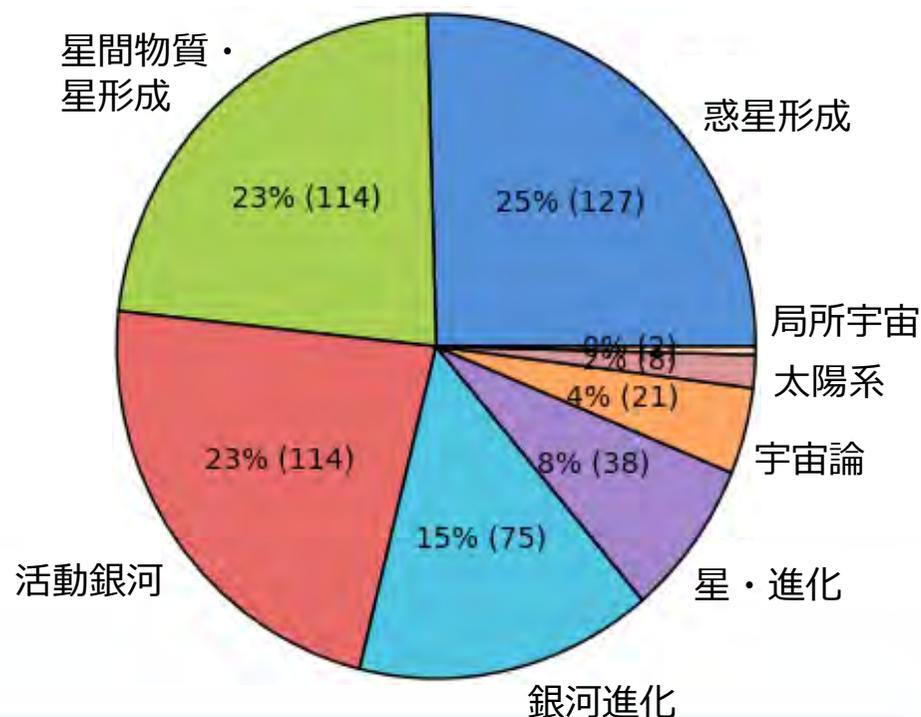




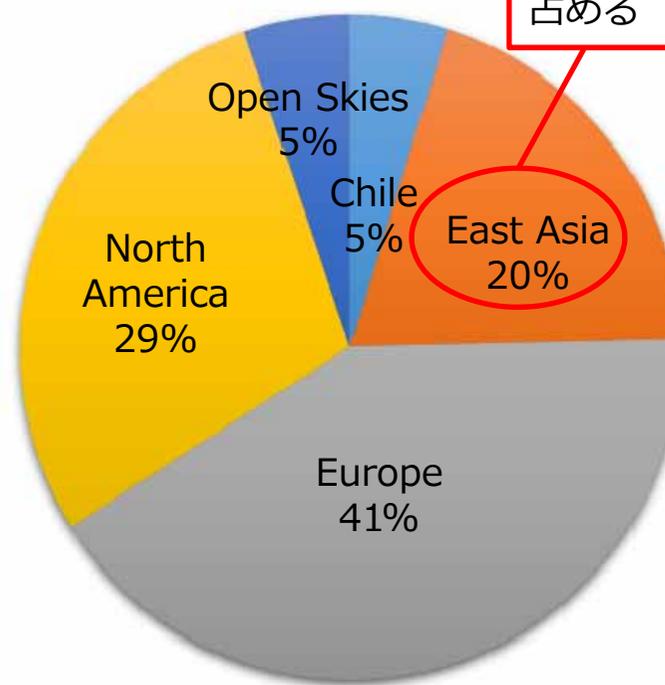
科学技術的なプレゼンス 論文数

- 初期科学運用開始から5年：総数499（平成28年11月11日付）。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（17本）、Science（7本）など、インパクトの高い雑誌への掲載も多数（うち3本が日本人が筆頭者）。

平成28年11月11日付 論文総数499



各地域：論文数分布



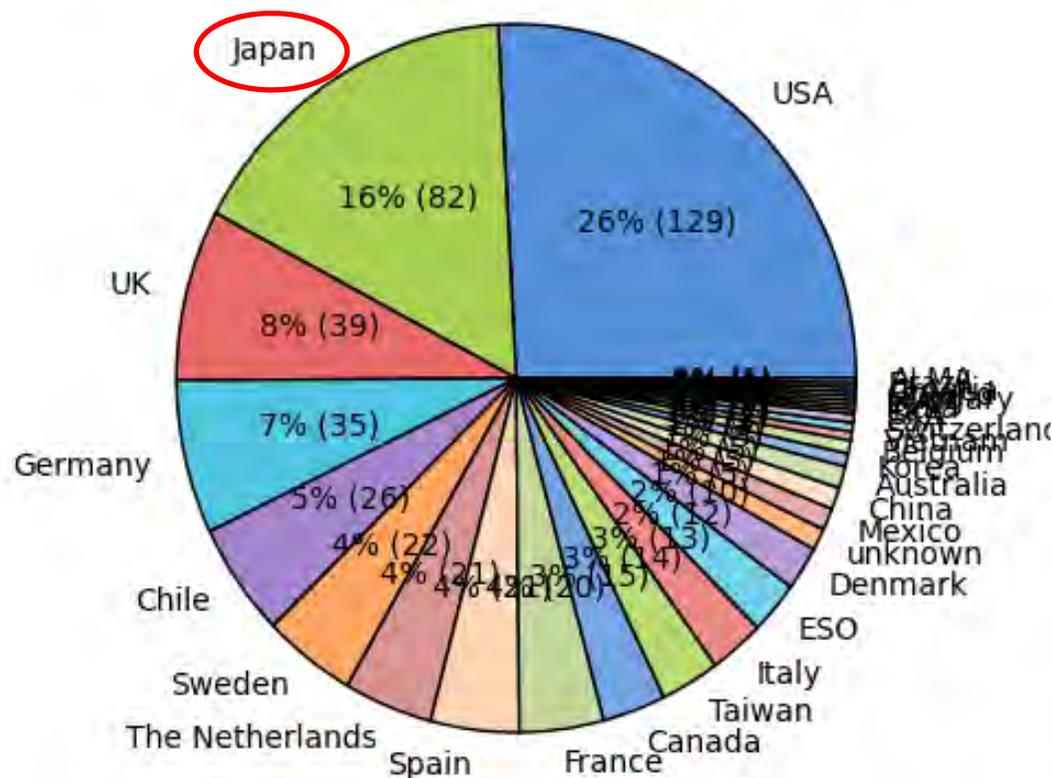
東アジアからの論文は20%を占める



科学技術的なプレゼンス 論文数

- 平成28年11月11日において、アルマの論文総数499本のうち、日本からの論文数は82本であった。これは米国に次いで世界第2位である。

Refereed ALMA publications (total: 499)



6. 評価の論点整理とはリンクしていない項目

質疑応答の際に話題となった「良い観測条件」とはどのような条件ですか。また、良い観測条件の割合はどのくらいですか。

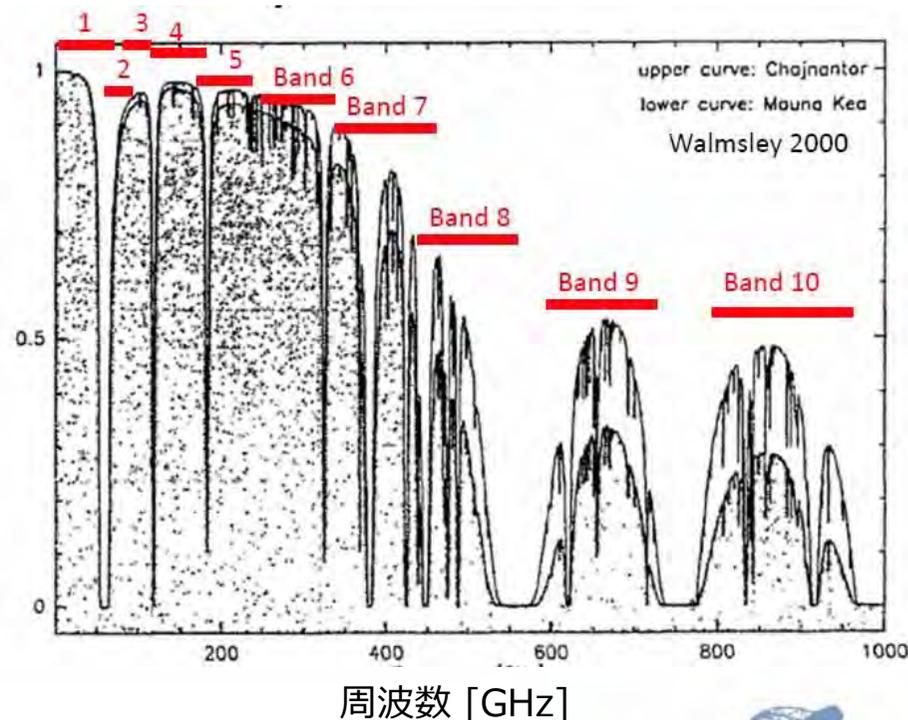
宇宙からの電波は、地球大気、特に水蒸気によって減衰する。したがって

「良い観測条件」

= 「大気中における水蒸気量が少ない」
である。

南米チリのアタカマ高地（標高5,000m）は大気が薄く晴天率も高いが、大気中の水蒸気の影響をより強く受ける Band 10 のような高い周波数帯では、「良い観測条件」の割合は、天候が良い年で約25%、悪い時でも約10%である。

大気透過率





參考資料



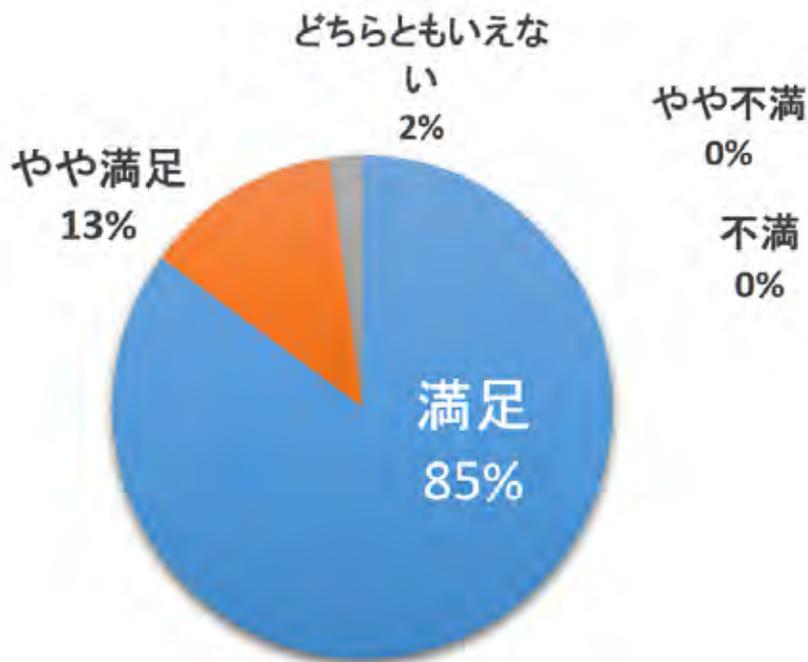


参考資料

ふれあい天文学

2015年度実績：実施60校（小学校37校、中学校23校）

全体としての満足度（回答率78%）



児童アンケートより：

今日の星のお話はわかりやすかったです。私はオリオンざのちょう新星ばく発のお話がびっくりしました。ばく発したあとは、満月の百倍でかがやくんですね。私は星が大好きなので先生みたいな人になりたいなと思いました。
(小4女子)

教職員アンケートより：

研究のことだけでなく、研究者のお人柄にふれることも大きな学びとなっております。科学や天文学に直接ふれあえる機会は、大変貴重です。科学を活かして行動していく気持ち、科学を楽しみ、応援する気持ちを大切に育てたいと思います。



参考資料

国立天文台ウェブサイトアクセス数

年度	アクセス数（広報室管轄ページ）
2015	7,943,067
2014	8,996,425
2013	8,505,648
2012	7,190,237
2011	8,971,051





参考資料

三鷹・野辺山への来場者数

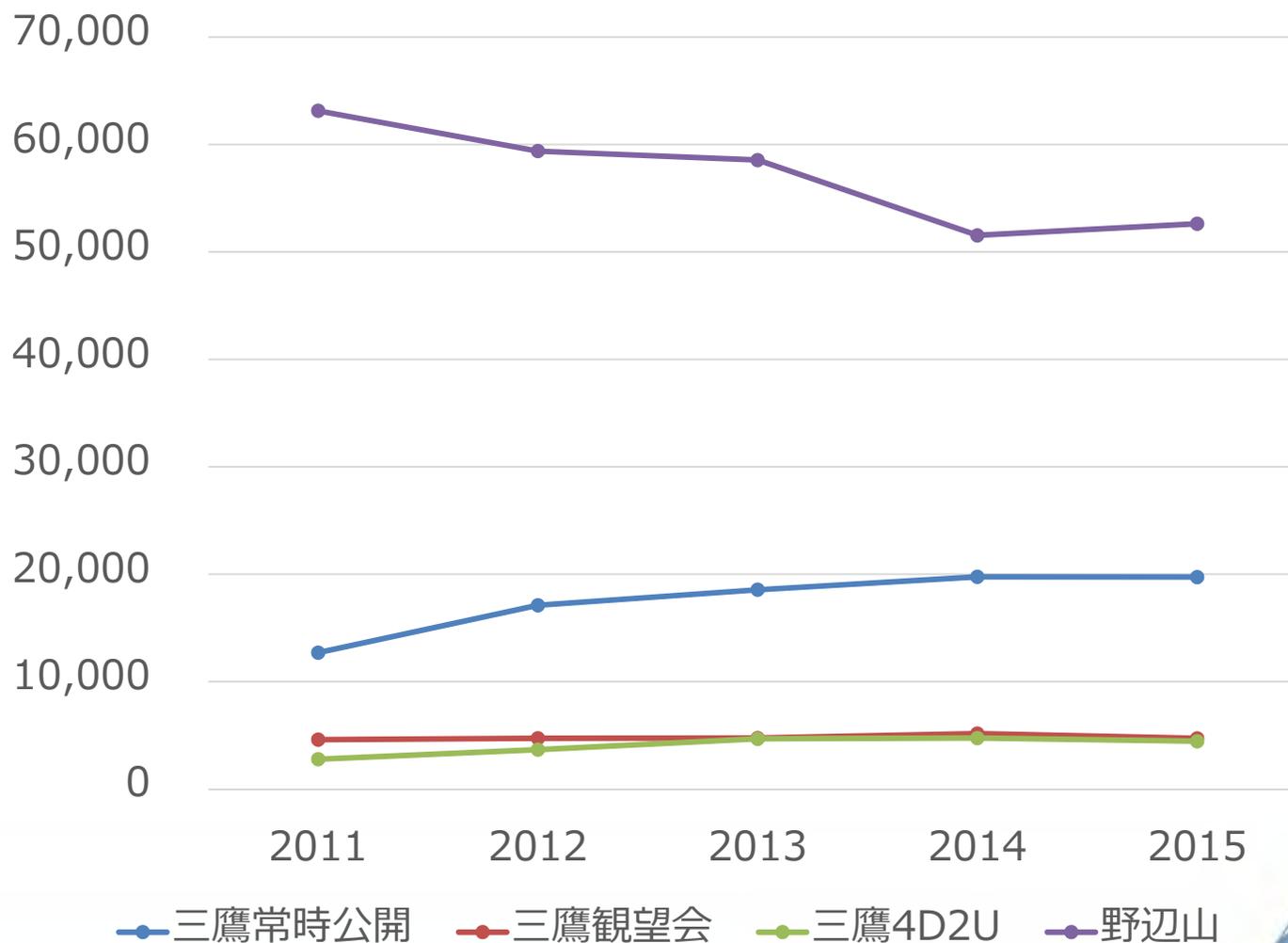
年度	三鷹 常時公開	三鷹 観望会	三鷹 4D2U	野辺山
2015	19,729	4,717	4,446	52,614
2014	19,754	5,161	3,524	51,535
2013	18,552	4,740	4,671	58,543
2012	17,111	4,725	3,664	59,383
2011	12,694	4,597	2,775	63,134





参考資料

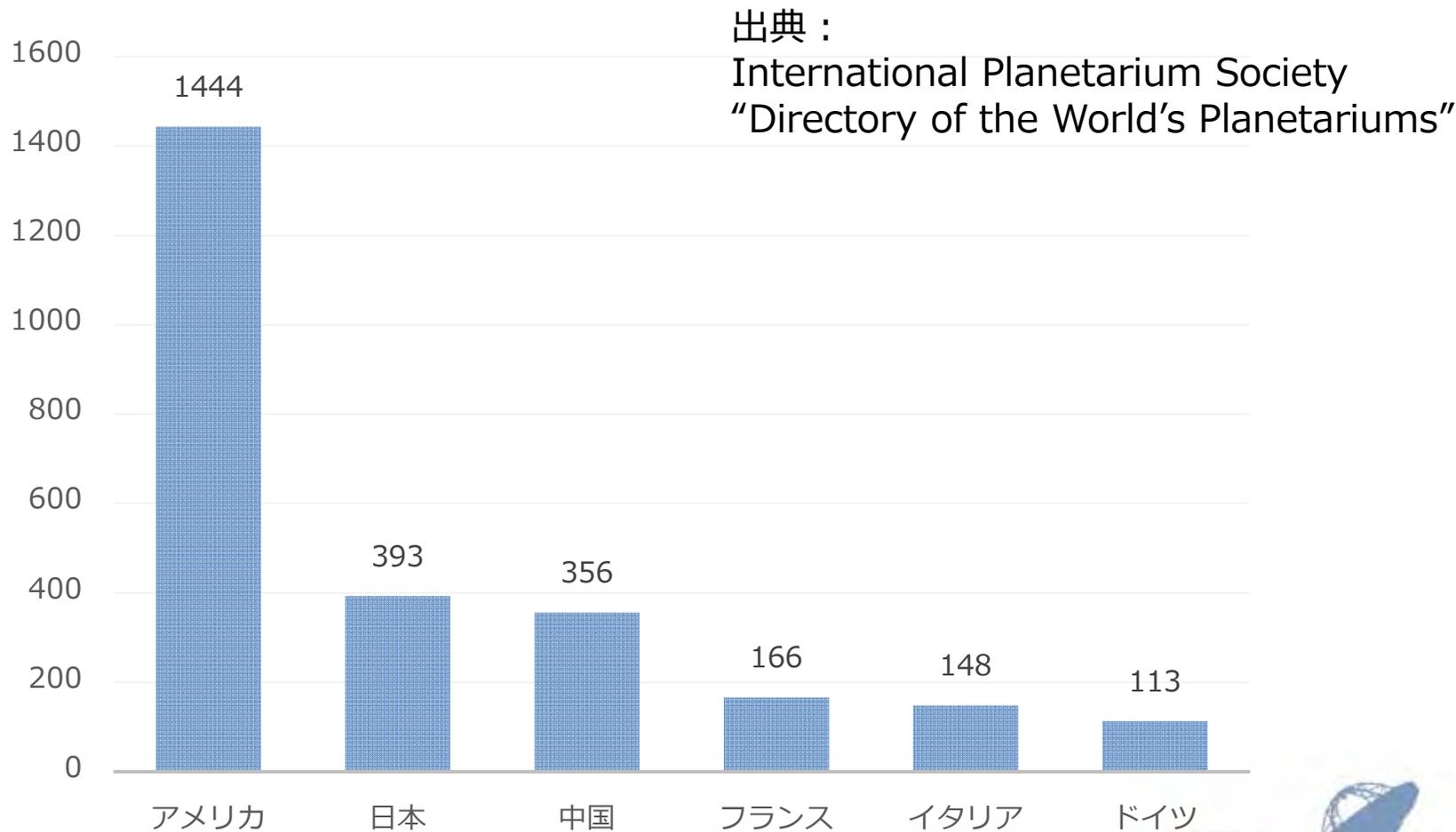
三鷹・野辺山への来場者数





参考資料

プラネタリウム数の統計





第1回評価検討会の資料の再掲





アルマ計画の概要

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

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16カ国） ※ホスト国としてチリ共和国も参加

○日本の実施主体

中心機関： 自然科学研究機構 国立天文台
連携機関等： 北大、東北大、筑波大、茨城大、東大、東工大、慶応大、明星大、工学院大、
日大、電気通信大、新潟大、富山大、上越教育大、名大、京大、京都産業大、
大阪大、大阪府大、大阪産業大、神戸大、広島大、愛媛大、九大、鹿児島大、等
東アジア連携機関等： 台湾 天文及天文物理研究所（建設期の平成17年9月より参加）
韓国天文宇宙科学研究院（運用期の平成26年8月より参加）

日本の所要経費

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30億円（本格運用開始後、30年+aの運用）





アルマ計画の概要

アルマ計画の計画期間

- **建設期間**： H16 – H25
- **計画内容**： ミリ波からサブミリ波までを観測できる巨大電波望遠鏡（12mアンテナ54台、7mアンテナ12台等）を建設。

その内、日本は、主に、ACA（アタカマ・コンパクト・アレイ）システム（7m×12台+12m×4台、そしてACA用高分散相関器）とサブミリ波を中心とする3つの周波数バンドの受信機群を分担（全建設計画の25%を貢献）。よって、運用は25%分担。

- **運用期間**： **アルマ計画は建設完了後、“30年”+a**

この運用期間30年+aは、アルマ計画の基本を定義した「プロジェクト計画」（国立天文台、国立電波天文台/米国、欧州南天天文台が協力して立案し、アルマ評議会で承認）および「アルマ運用プラン」（国立天文台、国立電波天文台/米国、欧州南天天文台と協力して合同アルマ観測所が立案し、アルマの運用に関する三者協定で承認）にて定められた。

H23 – H24（初期科学運用）

1/4のアンテナ台数で初期科学観測を開始

H25 – H34（本格運用）

太陽系以外の惑星系形成や銀河形成の解明に取り組み、
そして生命の起源に結びつくさまざまな物質の探査を実施する。

H35 – H54（さらに本格運用を継続する）





人材育成

(5) 国際的な舞台でリーダーシップを発揮できる人材及び若手研究者の育成は図られたか。

国際的な舞台でリーダーシップを発揮できる人材の育成

・ 建設期

アルマの建設に主体的に関わることによって、**大型科学計画における米欧との厳しい折衝に対応できるプロジェクトマネージャ**（写真1）や**世界に通用するシステムエンジニア**を育成することができた。アルマという世界で唯一無二のプロジェクトを通して、**世界一流の技術を有するとともに、海外スタッフを統率できるエンジニアリング研究者**（写真2）を育てることもできた。



建設当初から計画に従事。アルマ評議会にて報告を行う井口教授。現在、東アジアアルマプロジェクトマネージャを務める。



現地にてアンテナ試験を牽引する水野准教授。現在、合同アルマ観測所で、チリ人スタッフ100名を擁する最大規模のグループのマネージャを務める。

・ 運用期

アルマ望遠鏡は世界的な国際共同研究のもと運営されており、合同アルマ観測所には日米欧から約40名の国際職員が参画し、その内10名が日本からの派遣。平成29（2017）年4月予定で6名が40歳以下の若手研究者となる。





人材育成

若手研究員の育成

- 国立天文台では、アルマにおける世界最先端の観測や装置開発を通して、若手研究者の育成を行ってきた。若手研究者が、「アルマ望遠鏡」という世界最高性能の装置の使用を通じ、世界水準の研究者達と協力・競争しながら研究および開発の経験を積めることは、国際的な視野を持つ研究者を育成する観点からも最適な環境といえる。

建設期

アルマ望遠鏡の性能を実現するための科学評価試験 (CSV: Commissioning Science Verification) において、日本の若手研究者が国際チームの中で主導的役割を發揮。



日本製Band 10受信機による干渉計試験に成功

Band 10受信機の開発を通じて博士号を取得し、現在では、デルフト工科大学（欧州トップクラスの研究機関）の助教として活躍する者や、国立天文台助教としてアルマの将来受信機開発をリードしている者などがある。



日本天文学会研究奨励賞の受賞講演

運用期

共同利用観測も開始し、世界水準の天文学研究者が着実に育っている。今後のさらなる進展が期待できる。

平成27年4月にめ切られた第4回共同利用の観測提案では、世界的な激しい競争の中、日本全国の大学から合計33件が採択され、内16件が大学院生であった。

