

大規模学術フロンティア促進事業の「事前評価」（報告）

「宇宙と生命の起源を探究する大型ミリ波サブミリ波望遠鏡
アルマ2計画」

2022年（令和4年）7月28日

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

目 次

はじめに	3
1. 実施主体が構想する計画の概要	4
(1) 計画概要等	4
(2) 年次計画	4
2. 計画の評価	5
(1) 緊急性	5
(2) 戦略性	5
(3) 社会や国民からの支持	5
(4) その他（研究者コミュニティの合意、計画の推進体制、共同利用体制、計画の妥当性）	6
3. まとめ	6
(1) 総合評価	6
(2) 計画推進に当たっての留意点	6
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 委員等名簿	11

はじめに

学術研究の大型プロジェクトは、最先端の技術や知識を結集して人類未踏の研究課題に挑み、当該分野の飛躍的な発展をもたらすとともに、世界の学術研究を先導するものであり、我が国においても、社会や国民の幅広い支持を得ながら、長期的な展望を持って、これを推進していく必要がある。

文部科学省では、平成 24 年度に「大規模学術フロンティア促進事業」を創設し、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（以下「本作業部会」という。）が策定する「学術研究の大型プロジェクトの推進に関する基本構想ロードマップの策定ロードマップ」等に基づき、社会や国民からの支持を得つつ、国際的な競争・協調に迅速かつ適切に対応できるよう、学術研究の大型プロジェクトを支援し、戦略的・計画的な推進を図っている。

各プロジェクトの推進に当たっては、本作業部会として原則 10 年以内の年次計画を作成し、これに基づく進捗管理等を「大規模学術フロンティア促進事業のマネジメント」（令和 3 年 1 月 19 日本作業部会決定）（以下「マネジメント」という。）に基づき実施している。

その中で、年次計画の終期を迎えるプロジェクトについては、実施主体等に後継計画の構想があり、かつ、後継計画がロードマップに記載されている場合には、移行の可否を審議するため、本作業部会として、事業移行評価（期末評価を代替）を行うこととし、その結果を踏まえて、後継計画に対する「事前評価」を行うこととしている。

「大規模学術フロンティア促進事業」の一つである、「大型電波望遠鏡『アルマ』による国際共同利用研究の推進」は、事業移行評価の結果、後継計画への移行が適当であると認められたことから、本作業部会として、後継計画である「宇宙と生命の起源を探究する大型ミリ波サブミリ波望遠鏡アルマ 2 計画」の事前評価を実施した。本報告は、その結果を示すものである。

なお、評価に当たっては、本作業部会の委員に加え、当該分野における専門家にアドバイザーとして協力をいただき、評価を実施した。

1. 実施主体が構想する計画の概要

(1) 計画概要等

①実施主体

自然科学研究機構国立天文台

②計画概要

日米欧共同で南米チリのアタカマ高地に設置したアルマ望遠鏡の機能を格段に向上させ、比類なき電波観測性能を国際学術コミュニティに供し、惑星の誕生の現場そして生命素材を含む宇宙での物質の進化の解明に迫る。

③所要経費

約 338 億円（運用経費＋機能の高度化：300 億円、老朽化対策費：38 億円）

④計画期間

令和 5（2023）年～令和 14（2032）年（10 年間）

⑤研究目標（研究テーマ）

1. アルマ望遠鏡の機能強化

解像度の向上、広帯域・高感度化

2. アルマ望遠鏡による科学研究

〔3 大科学目標〕

（1）地球のような惑星の始源的環境の理解

（2）生命素材物質の形成現場の特定

（3）宇宙における元素合成の開始地点の特定

(2) 年次計画

「宇宙と生命の起源を探究する大型ミリ波サブミリ波望遠鏡アルマ 2 計画」の年次計画は別添のとおり

2. 計画の評価

(1) 緊急性

平成 23 (2011) 年に科学観測を開始したアルマ望遠鏡は、現行計画において電波望遠鏡として世界最高の性能を維持しつつ、惑星の誕生や生命発生に係る物質の探査などにおいて目覚ましい成果をあげてきた。本計画が掲げる科学目標は、その成果を引継いだうえで、さらに最先端の課題に挑戦するものとして設定されている。

本計画の準備段階においては、これまでの実績と技術的優位性から、望遠鏡の機能強化に関する議論を日本の研究グループが先んじて行ってきた。我が国の研究者が最先端の電波望遠鏡を用いた国際共同研究を先導し、天文分野における立場をより強固なものにして国際競争力を維持していくためには、米欧とともに本計画を速やかに実施することが必要である。

(2) 戦略性

現行計画において、日本は技術的に優位性を持つ高周波帯の受信機製造によりアルマ望遠鏡の高性能化に大きく貢献してきた。本計画においても、我が国の強みをさらに発揮しハードウェア面で本プロジェクトをリードすることが見込まれる。一方、科学目標については、本計画で期待されるアルマ望遠鏡の性能を考慮すると分野とテーマが限定的な表現となっており、長期的に電波天文学分野を牽引していくためには、強みをさらに伸ばすだけでなく世界的な分野の進展を注視し、すそ野を広げていく戦略性も求められる。

本計画は国際共同で実施されるものであり、若手研究者が国際的な環境で世界最先端の研究プロジェクトに取り組むことで、切磋琢磨して新たな研究の潮流を生み出し、国際脳循環にも貢献している。若手研究者の提案を積極的に取り入れる環境づくりがなされており、戦略的な取組と評価できる。

他の望遠鏡との連携においては、ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST) と合同観測に関する協定を締結予定であり、連携した観測により、各科学目標の達成に向けてより価値の高い学術的成果を得ることが期待される。

(3) 社会や国民からの支持

これまで継続的に国民に対して様々な媒体を通じた積極的な発信を行っており、我が国の社会や国民から支持を得ていると認められる。本計画により期待される宇宙の起源や生命誕生の謎の解明への貢献は、多くの国民の知的好奇心を満たすものであり、同じ天文分野のプロジェクトで広く一般的関心を集めている「すばる望遠鏡」や「はやぶさ 2」のような幅広い国民の認知、支持を得るポテンシャルを有している。引き続き、積極的なアウトリーチ活動を行い、成果やその意義について丁寧に説明して支持を求めていくことが必要である。

アルマ望遠鏡の研究成果からは、関連分野への学術的な波及効果のみならず、次世代通信網や気象観測、量子コンピュータの開発等へつながる技術的貢献による社会的な波及効果の創出も期待される。

また、アルマ望遠鏡が設置されているチリ現地の政府、住民とは長年にわたる様々な取組により信頼関係が構築されており、本計画を実施することに理解が得られていると評価できる。

(4) その他（研究者コミュニティの合意、計画の推進体制、共同利用体制、計画の妥当性）

本計画は、国際的な研究コミュニティによるボトムアップの議論を積み上げて合意形成を進めてきたものである。望遠鏡の運営についても、日米欧の共同実施体制にはこれまでの実績があり、日本の役割も確立されているものと評価する。

共同利用の体制についても、広く研究者から観測提案を募集してピアレビューによる選定を行う仕組みが継続され、妥当な体制となっている。

計画実現に必要な技術開発においては日本が主導的な役割を果たして性能向上への見通しが立てられており、全体として妥当な計画と判断できる。

3. まとめ

(1) 総合評価

本計画は、電波望遠鏡として世界最高の感度、解像度を有するアルマ望遠鏡の性能をさらに向上させることで、現行計画において目標とした惑星形成・進化の検証、物質探査、銀河と諸天体の歴史の解明について、より深い探索を行うことを目指すものであり、高い緊急性、戦略性を持ち、国内外の研究者コミュニティの合意や社会・国民の支持を得られる計画として評価できる。

これまでの優れた成果をベースとした3つの科学目標を達成するため、望遠鏡の性能向上（解像度、感度、周波数帯域を2倍とする）と老朽化対策を含めた維持管理を適切に進めることにより、引き続き我が国が米欧と強力に連携して最先端の電波天文学研究を牽引し、国際競争力を維持していくことが期待される。

以上を総合的に勘案し、本計画は積極的に進めるべきであり、早急に着手すべきであると評価する。

(2) 計画推進に当たっての留意点

「宇宙と生命の起源を探究する大型ミリ波サブミリ波望遠鏡アルマ2計画」の推進に当たっては、以下の点について留意する必要がある。

① 戦略的な科学目標及び計画推進

科学目標の設定に当たっては、望遠鏡の解像度の向上など技術的な開発目標と科学目標との関係性を明確にしつつ、事後的に検証可能な定量的な数値目標等を設定に至った基準とともに示す必要がある。また、科学目標については、研究者コミュニティの状況を踏まえ、研究領域・対象を過度に狭めることなくバランスのとれた目標となるよう留意する必要がある。

あわせて、日米欧の共同プロジェクトである本計画の推進に当たっては、プロジェクト経費の分担にとどまらず、我が国のプレゼンスの向上、若手研究者の国際プロジェクトにおけるリーダーシップ能力の獲得の機会創出等が十分に図られるよう、プロジェクト運営において十分に留意する必要がある。

② 計画的な老朽化対策

アンテナや施設は建設から約 15 年が経過しており、高地の過酷な屋外環境に晒されているアンテナをはじめとして、装置に老朽化の影響が認められる。故障の多発により共同利用観測に影響を及ぼすことがないように、あらかじめ装置の寿命を考慮した計画的な老朽化対策を講じていくことが必要である。

本計画の推進にあたっては、老朽化対策を長期的な計画をもとに実施するとともに、経費について長期的な試算を行った上でプロジェクトの継続性を確保することが必要である。また、装置そのものの寿命をのばすことができるような開発研究を他分野との連携も取り入れながら目指していくことが望まれる。

③ 研究者の研究環境整備

日米欧の国際共同で推進されている本プロジェクトは、国際性のある優秀な人材の育成及び天文分野の国際頭脳循環に大きく貢献してきた。後継計画の推進にあたっては、研究者だけでなく先端技術の継承を担う技術者に加え、データ処理系・運用支援系の人材についても安定的なポストを確保し、長期的な人材育成に資する取組が必要である。特に、本計画の成功には観測性能向上のための技術開発が重要であり、それに携わる研究者・技術者の処遇や、研究時間の確保への配慮が求められる。

また、若手を含む研究者・技術者等の総労働時間を考慮し、自らの研究の方向性に応じて、研究時間とプロジェクト業務に従事する時間を柔軟に配分できる体制を今後も継続するとともに、共にプロジェクトを推進する米欧の取組も取り入れながら、任期付き研究者が長期的なビジョンを描き、将来のキャリア形成につなげられるような取組を行うことが必要である。

④ 他の望遠鏡との連携等について

宇宙科学、天文学の分野では、欧米を中心としたジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡（JWST）による観測が開始され、今後は当該分野の中心的な存在になることが予想される。アルマ計画では、これまでハッブル宇宙望遠鏡との連携により優れた成果を上げており、本計画の推進にあたっては、JWST との国際共同観測等の推進や、それ以外の宇宙望遠鏡との長期的な連携方針を定めた上で、戦略的な関係構築を行っていく必要がある。

⑤ 現地の安全支援体制等

現地雇用職員との団体交渉について、プロジェクトの運営に支障をきたすことがないように、引き続き丁寧な意思疎通、情報共有を行うことにより信頼関係を維持することが必要である。

また、現地派遣職員及びその帯同家族について、宿舎、事務所の配備や、大使館、地元警察との連携、各種講習の徹底など、既に様々な安全支援が図られているが、過去の事故の教訓等も生かしながら、今後も引き続きこうした取組の維持と強化が必要である。

⑥ 社会情勢の変化によるリスクへの対応、マネジメントの強化

実施主体において本計画を推進する準備は整っていると認められるが、現下の社会情勢による為替変動や電気代の大幅な値上がり、サプライチェーンの乱れなど、計画推進を困難とする要因も生じており、実施主体には現状を踏まえた柔軟な対応が求められる。

さらに、長期にわたるプロジェクト実施にあたり、このような不測の事態に対処できるよう、日米欧の連携を深めて、引き続き国際マネジメントを強化し、さまざまなリスクを未然に低減させる取組を行っていくことが重要である。

⑦ その他

天文学は一般の関心の高い分野であり、本プロジェクトにおいても社会、国民から支持を得るため各種講演会や様々なメディア等を活用した積極的かつ継続的な情報発信に努めており、同じ天文分野で広く一般的関心を集めている「すばる望遠鏡」や「はやぶさ2」のような幅広い国民の認知、支持を得るポテンシャルを有している。一方、アルマの研究成果は、天文学に興味の薄い層にまで広く知られるには至っておらず、引き続き積極的なアウトリーチ活動の継続が必要である。その際、子供向けコンテンツの充実など発信相手に合わせた表現方法の工夫を合わせて行い、効果的な情報発信に努めることが望まれる。

また、本プロジェクトの成果の産業界への波及効果については、受信機製造で培った超伝導技術が次世代通信網や量子コンピュータの開発等へ応用される成果が認められるが、研究成果と同様に、それらが広く社会に知られ、更なる産業イノベーションの創出に貢献することが期待される。

(参考)【事業移行評価報告書 (R4.5) における留意点】

① 戦略的な科学目標の設定

現行計画の科学目標は、顕著な科学的成果をもって達成されていると認められるが、後継計画の推進にあたっては、惑星、銀河の形成過程とそこでの物質進化を解明していくための方針を明確にした上で、検証可能となる戦略的かつ具体的な目標設定が必要である。

あわせて、本プロジェクトの更なる飛躍のため、現行計画の発展にとどまらない、新たな発想を取り入れた目標を検討することが求められる。

また、引き続き卓越した科学的成果を上げていくため、解像度などの装置の性能を強化すること及びより効率的に運用していくための技術開発を継続していくことが必要である。

② 計画的な老朽化対策

アンテナや施設は建設から約 15 年が経過しており、高地の過酷な屋外環境に晒されているアンテナをはじめとして、装置に老朽化の影響が認められる。故障の多発により共同利用観測に影響を及ぼすことがないよう、あらかじめ装置の寿命を考慮した計画的な老朽化対策を講じていくことが必要である。

後継計画の推進にあたっては、老朽化対策を長期的な計画をもとに実施するとともに、経費について長期的な試算を行った上でプロジェクトの継続性を確保することが必要である。また、装置そのものの寿命をのばすことができるような開発研究を他分野との連携も取り入れながら目指していくことが望まれる。

③ 研究者の研究環境整備

日米欧の国際共同で推進されている本プロジェクトは、国際性のある優秀な人材の育成及び天文分野の国際頭脳循環に大きく貢献してきた。後継計画の推進にあたっては、研究者だけでなく先端技術の継承を担う技術者についても安定的なポストを確保し、長期的な人材育成に資する取組が必要である。

また、若手を含む研究者が、自らの研究の方向性に応じて、研究時間とプロジェクト業務に従事する時間を柔軟に配分できる体制を今後も継続するとともに、共にプロジェクトを推進する米欧の取組も取り入れながら、任期付き研究者が長期的なビジョンを描き、将来のキャリア形成につなげられるような取組を行うことが必要である。

④ 他の望遠鏡との連携等について

宇宙科学、天文学の分野では、欧米を中心としたジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST) の観測開始が迫っており、今後は当該分野の中心的な存在になることが予想される。アルマ計画では、これまでハッブル宇宙望遠鏡との連携により優れた成果を上げており、後継計画の推進にあたっては、このような宇宙望遠鏡との更なる連携、関係構築について検討し、長期的な方針を示すことが望まれる。

⑤ 現地の安全支援体制等

現地雇用職員との団体交渉について、プロジェクトの運営に支障をきたすことがないよう、引き続き丁寧な意思疎通、情報共有を行うことにより信頼関係を維持することが必要である。

また、現地派遣職員及びその帯同家族について、宿舎、事務所の配備や、大使館、地元警察との連携、各種講習の徹底など、既に様々な安全支援が図られているが、過去の事

故の教訓等も生かしながら、今後も引き続きこうした取組の維持と強化が必要である。

⑥ その他

天文学は一般の関心の高い分野であり、本プロジェクトにおいても社会、国民から支持を得るための積極的かつ継続的な情報発信に努めている。しかし、アルマの研究成果が同分野のはやぶさ2、すばる望遠鏡等のそれのように天文学に興味のない層にまで広く知られるには至っておらず、引き続き積極的なアウトリーチ活動の継続が必要である。その際、発信相手に合わせた表現方法の工夫を合わせて行い、効果的な情報発信に努めることが望まれる。

また、本プロジェクトの成果の産業界への波及効果については一定の成果が認められるが、研究成果と同様に、それらが広く社会に知られ、更なる産業イノベーションの創出に貢献することが期待される。

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 委員等名簿

【学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会委員】

◎：主査

(令和4年7月1日現在)

(臨時委員)

石原安野	千葉大学国際高等研究基幹教授
上田良夫	大阪大学大学院工学研究科教授
◎小林良彰	慶應義塾大学 SDM 研究所上席研究員・名誉教授、 ルーテル学院大学理事
中野貴志	大阪大学核物理研究センター長
長谷山美紀	北海道大学副学長、大学院情報科学研究院長
原田尚美	東京大学大気海洋研究所付属国際・地域連携研究センター教授
松岡彩子	京都大学大学院理学研究科附属地磁気世界資料解析 センター教授
山本智	東京大学大学院理学系研究科教授

(専門委員)

岡部寿男	京都大学学術情報メディアセンター長
嘉糠洋陸	東京慈恵会医科大学教授
鈴木裕子	鈴木裕子公認会計士事務所長
高橋真木子	金沢工業大学大学院イノベーションマネジメント研究科 教授
長谷川美貴	青山学院大学理工学部教授
三原智	高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所教授
吉武博通	情報・システム研究機構監事、筑波大学名誉教授

【アドバイザー】

井上一	JAXA 宇宙科学研究所名誉教授
永原裕子	東京工業大学地球生命研究所フェロー
芝井広	大阪大学名誉教授

(敬称略、五十音順)

別添：実施主体が構想する年次計画

計画名称	宇宙と生命の起源を探究する大型ミリ波サブミリ波望遠鏡アルマ2計画				
実施主体	自然科学研究機構国立天文台	分野	物理学	大型施設計画/ 大規模研究計画	大型施設計画
所要経費	日本分担分：338億円 (運用経費+機能の高度化：300億円、老朽化対策費：38億円) (2023年度～2034年度の12年間の所要経費： 日本分担分：406億円 (運用経費+機能の高度化：360億円、老朽化対策費：46億円))	計画期間	2023年度～2032年度		
計画概要	日米欧共同で南米チリのアタカマ高地に設置したアルマ望遠鏡の機能を格段に向上させ、比類なき電波観測性能を国際学術コミュニティに供し、惑星の誕生の現場そして生命素材を含む宇宙での物質の進化の解明に迫る。				

【年次計画】

項目 (研究テーマ)	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目	10年目以降	備考
アルマ望遠鏡の機能強化 解像度の向上、広帯域・高感度化	開発	→					搭載	→				
成果指標										感度・周波数帯域2倍、解像度2倍		
アルマ望遠鏡による科学研究	共同利用による科学研究：諸天体の形成過程の検証・生命関連物質等の研究											
3大科学目標： ① 地球のような惑星の始源的環境の理解 ② 生命素材物質の形成現場の特定 ③ 宇宙における元素合成の開始地点の特定		アルマ望遠鏡の機能の高度化による天文学研究の質的転換				①	→			→	→	
成果指標	論文400編/年					論文450編/年				論文490編/年		