

大規模学術フロンティア促進事業の「期末評価」（報告）

「30m 光学赤外線望遠鏡（TMT）計画の推進」について

令和5年（2023年）8月21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. 期末評価の実施方法	- 4 -
2. プロジェクトの概要	- 5 -
①概要と主な内容	- 5 -
②施設整備	- 5 -
③実施体制	- 6 -
④年次計画及び予算規模	- 6 -
3. プロジェクトの達成状況	- 7 -
・ プロジェクトの達成状況	- 7 -
・ プロジェクトの実施体制	- 7 -
・ 学術的意義と波及効果	- 8 -
・ 社会的意義と波及効果	- 8 -
4. プロジェクトの進捗評価と今後の留意点	- 9 -
①プロジェクトの達成状況を踏まえた評価	- 9 -
②今後の留意点	- 9 -
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 委員名簿	- 10 -
別添：年次計画.....	- 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、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(2012 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－」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について」（令和 5 年(2023 年)4 月 20 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。フロンティア事業として実施したプロジェクトについては、フロンティア事業として定める「年次計画」が終了した後に、当初の目的、目標が達成されたか否かを評価、公表し、その意義、成果、波及効果等について、社会や国民への説明責任を果たすべく、本作業部会として「期末評価」を行うこととしている。

「30m 光学赤外線望遠鏡（TMT）計画の推進」について

「大規模学術フロンティア促進事業」の一つである、「30m 光学赤外線望遠鏡（TMT）計画の推進」（以下「本計画」という。）は、ハワイ島マウナケア山頂域に国際協力によって口径 30m の光学赤外線望遠鏡を建設する計画であり、年次計画では平成 25 年度(2013 年度)から令和 3 年度(2021 年度)の 9 年間での建設完了を予定していたが、実施機関の予期しない事由により、平成 27 年(2015 年)4 月から現地建設が中断している状況にある。このような中、本作業部会では、2 度にわたる進捗評価をはじめ実施機関からのヒアリング等を通じてきめ細かい進捗確認を行ってきたが、年次計画終了時点においてもプロジェクト完了の見通しが明らかでないことから、フロンティア事業としての 9 年間の総括を行うために「期末評価」を実施し、本報告においてその結果を取りまとめた。

なお、本評価においては、他律的な要因によって計画が遅れていることを前提に、実施機関が果たした役割や得られた成果に関して、マネジメントに定める評価の観点に沿って確認したものであることに留意が必要である。

また、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いただいた。

1. 期末評価の実施方法

「マネジメント」に定める評価の流れに基づき、期末評価を以下のとおり実施した。

【本作業部会における期末評価の経過】

- ・ 実施主体からのヒアリング
若手含む実施研究者との意見交換
(令和5年(2023年)6月28日(水))
- ・ とりまとめ書面審議
(令和5年(2023年)8月21日(月))

2. プロジェクトの概要

①概要と主な内容

- ・ 実施主体
自然科学研究機構国立天文台

- ・ 計画概要
本計画は、米国法人である TMT 国際天文台 (TIO : TMT International Observatory LLC) が現地での工事・完成後の運用を統括し、ハワイ島マウナケア山頂域に、日本、米国、カナダ、中国及びインドの国際協力科学事業として口径 30m の光学赤外線望遠鏡 (TMT : Thirty Meter Telescope) を建設し、第二の地球探査と生命の確認、ダークエネルギーの性質の解明、宇宙で最初に誕生した星の検出などに挑むことを目的とする (補償光学を高度化した TMT は、究極の望遠鏡として 2020 年代後半から約 30 年間、観測天文学の基幹装置となる)。日本は、TMT 計画の枢要部分である主鏡分割鏡の製作・加工等を担う。

- ・ 計画期間
建設 : 平成 25 年度 (2013 年度) ~ 令和 3 年度 (2021 年度)、9 年計画

- ・ 研究テーマ (目標)
 - 1) TMT 望遠鏡の建設
 - 2) 最先端観測研究による新たな宇宙像の開拓 (第二の地球探査と生命の確認、ダークエネルギーの性質の解明、宇宙で最初に誕生した星の検出)

- ・ 評価等の経緯
評価実績 :
(事前評価) 平成 23 年 (2011 年) 11 月、平成 24 年 (2012 年) 9 月
(進捗評価) 令和元年 (2019 年) 8 月
(再進捗評価) 令和元年 (2019 年) 11 月
※ 以降もヒアリング等による進捗確認を実施

②施設整備

口径 30m の光学赤外線望遠鏡 (TMT)

- ・ 望遠鏡本体構造
- ・ 主鏡分割鏡
- ・ 観測装置

③実施体制

本計画全体は、日本・米国・カナダ・インド・中国の5カ国による米国人 T10 が、建設・運用を統括。

日本は、国立天文台の実施総括により、企業・大学・研究機関との幅広い連携体制を構築し、さらに、国立天文台の職員をハワイ、パサデナに赴任させ T10 や現地との連携体制を構築している。

④年次計画及び予算規模

別添のとおり

3. プロジェクトの達成状況

・ プロジェクトの達成状況

本計画は当初、令和3年度(2021年度)に望遠鏡の建設を完了し、令和4年度(2022年度)からの運用を開始する予定であったが、ハワイでの建設開始後、現地住民からの反対運動等による建設の中断が続いている。また、連携機関のひとつであるNSF(米国国立科学財団)の参加(予算措置)についても遅れが生じており、全体計画の進捗に関して大きな障害が生じている状況である。

一方で、日本は、T10との合意書に基づく担当分の望遠鏡の設計・製造について、高い仕様要求をクリアしながら進めている。具体的には、望遠鏡本体構造と制御系は基本設計・詳細設計審査に合格し製造段階に入っており、主要機械構造部は材料調達・加工に入る前のT10製造前審査にも合格している。主鏡分割鏡は、574枚製造予定のうち356枚の分割鏡材製造が完了し、球面研削は341枚まで、研削後の研磨は担当する175枚のうち33枚完了するなど量産の実績がある。近赤外線観測装置IRISの開発は2017年に基本設計を終了しており、2024年の装置全体の最終設計審査合格後に製造を開始する予定である。このように、不測の事態によりプロジェクト全体が遅れている状況下において、日本が担う部分については、可能な範囲で着実に製作が進んでいると判断できる。

また、我が国がリーダーシップを発揮して、T10本部をハワイに移転させるなどの改革を進めたことや現地住民等との継続的な対話を実施したことなどを通じて地元との関係構築を精力的に進めてきたことは、プロジェクト全体の前進に大きく貢献している。

さらに、ハワイにTMTを建設することができないと判断された場合に備え、代替建設地を複数検討・調査したうえでカナリア諸島ラパルマ(スペイン)を選定するなど代替案も準備できており、国際状況を見据えながら、対応可能な範囲においてプロジェクト推進のプロセスを進めていると評価できる。

・ プロジェクトの実施体制

プロジェクト全体としては、T10の統括のもと、責任や役割分担が明確な運営体制が構築できており、参加国間の連携は保たれている。日本の提案によりT10本部のハワイへの移転やT10ハワイ対策チームの一新など運営体制の改善が行われるとともに、我が国も国立天文台TMTプロジェクト長はじめ複数のスタッフを地元へ常駐させるなど地域住民の理解が得られるような様々な活動を展開しており、プロジェクト全体における日本の貢献は大きいと言える。

また、日本国内では、国立天文台による統括のもと、コミュニティ内外と

の幅広い連携体制を構築しており、特に機器製造においては、すばるや ALMA で培われた技術と経験を生かし、多くの国内企業と連携した共同開発体制が整っている。さらに、将来的なすばる望遠鏡との一体的運用に向けて、研究推進や人材育成を含めた効率的な実施体制構築に係る準備も進んでいる。

・ 学術的意義と波及効果

建設が中断している状況ではあるが、依然として高い学術的意義を有しており、今後建設が再開され TMT による観測が実施されれば、天文学分野にとどまらず、他の物理学や地球惑星科学分野も含めて極めて重要な科学成果が得られるものと期待される。

また、現時点においては、観測結果を予測する科学論文の創出や TMT サイエンスフォーラムを通じた議論の整理といった成果が得られているほか、国際協力事業への参加を通じて、若手研究者や大学院生の人材育成も進んでおり、国際的な頭脳循環はもとより、TMT の設計に関わった若手の中から、分野を代表するような優秀な研究者が複数輩出されるような波及効果も得られている。

・ 社会的意義と波及効果

TMT の建設に不可欠な分割鏡の製造や鏡交換のロボット技術の開発等には、日本独自の技術が使われており、他分野も含めた幅広い産業界への波及効果が期待できる。

また、宇宙と生命の誕生・進化に関するテーマは社会からの関心が高く、学校や科学館における出張授業・講演等のアウトリーチに積極的に取り組んでいると判断できる。

さらに、ハワイの地域社会との丁寧な対話を進めてきており、対話を通じて明らかになった教育支援や職業訓練といった地元住民の要望に対して、関係機関と協力して積極的に応えた点は、地元住民等にも高く評価されている。なお、現地ハワイにおける問題は、本計画に限らず、社会における科学の在り方を考える上で大きなインパクトを有する出来事であり、本計画を通じて得られた教訓について、他の国際共同で進められるような大型プロジェクトにも広く共有されることが望まれる。

4. プロジェクトの進捗評価と今後の留意点

①プロジェクトの達成状況を踏まえた評価

本計画は、口径 30m の超大型光学赤外線望遠鏡を建設・運用することにより重要な科学的成果の創出が期待されている国際協力プロジェクトであるが、建設段階において現地住民の強い反対運動がおこったため、計画が大幅に遅れており、プロジェクト全体としては、所期の目的である施設の建設と科学的成果の創出には至っていない状況である。

そのような状況下でも、我が国は、現地情勢を注視しながら、担当部分の装置開発・製造などについて着実に実施してきたと言える。そして、この製作過程における技術開発は、産業界への波及効果がみられ、一定の社会的意義を果たしていると評価できる。また、研究者コミュニティによる活動も積極的に進められており、TMT をコアに進めた研究テーマ検討書に係る議論や整理等が本分野の科学目標の決定・更新といった学術面での進化や若手研究者の人材育成につながっている点も評価できる。

加えて、日本が T10 におけるガバナンス強化やプロジェクト管理の体制変更をリードし、日本のスタッフを現地に常駐させて現地住民との積極的な交流や継続的な支援活動を通じて信頼関係を深める取組を継続したことにより、本計画の推進に大きく貢献してきた点は我が国の信頼獲得とプレゼンス向上に寄与していると評価できる。

②今後の留意点

1) 国際連携の一層の推進

計画の実現に向けて、今後の TMT 計画の進展に重要な位置を占める米国 NSF の動向に注視しながら、連携国との適切なコーディネーションを行う必要がある。

2) 若手人材に対する配慮

建設再開の具体的な日程が不透明な状況で、将来を担う若手研究者のモチベーションを維持することが重要となるため、TMT 建設に携わりながらも学術成果を創出できる研究環境の整備やすばる計画との綿密な連携による柔軟な人材起用などの検討が望まれる。

3) 国民に対する説明責任の履行

これまでに多額の国費を投入してきたことに加え、計画の遅延に伴うコストの増大も生じていることから、国民に対してこれまで以上の説明とより一層の理解を得るための取組が必要である。

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】

(委員)

原 田 尚 美 東京大学大気海洋研究所教授、
海洋研究開発機構地球環境部門招聘上席研究員

(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
大 橋 隆 哉 東京都立大学学長
桑 田 薫 東京工業大学理事・副学長（ダイバーシティ推進担当）
中 野 貴 志 大阪大学核物理研究センター長
○ 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 総合研究大学院大学理事・副学長
◎ 渡 辺 美代子 日本大学常務理事、特定非営利活動法人ウッドデッキ代表理事

(専門委員)

岩 井 紀 子 大阪商業大学総合経営学部商学科教授
岡 田 真 人 東京大学大学院新領域創成科学研究科教授
嘉 糠 洋 陸 東京慈恵会医科大学医学部教授
鈴 木 裕 子 鈴木裕子公認会計士事務所長、理化学研究所監事、公認会計士
関 野 徹 大阪大学産業科学研究所長
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 東京家政学院理事長、筑波大学名誉教授

【アドバイザー】

井 上 一 宇宙航空研究開発機構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

◎:主査 ○:主査代理 (敬称略、50音順)

別添：年次計画

大規模学術フロンティア促進事業の年次計画

計画名称	30m光学赤外線望遠鏡(TMT)計画の推進										
実施主体	<p><TMT計画全体> 日本を含めた5か国による国際共同事業(米国(カリフォルニア工科大学、カリフォルニア大学)、カナダ(カナダ天文学大学連合)、中国(中国国家天文台)及びインド(TMT連携機構))であり、米国人であるTMT国際天文台(TIO)が、現地における工事及び完成後の運用を統括</p> <p><日本の実施体制> 【中心機関】自然科学研究機構国立天文台 【連携機関】北大、北海道教育大、東北大、筑波大、茨城大、埼玉大、東京大、東工大、神奈川大、名大、信州大、京大、甲南大、大阪産業大、神戸大、兵庫立大、広島大、愛媛大</p>										
所要経費	建設予算総額 1,800億円(TMT計画全体) (日本の負担分:375億円、建設費総額の約21%程度) 年間運用経費 未定					計画期間		建設期間:平成25年度(2013)~令和3年度(2021) [※] ※TIOが担うTMT計画全体は2029年度までを予定(さらに遅れる可能性有り) 運用期間:開始時期未定(運用開始以後30年間運用予定) (事前評価 平成23年(2011)11月、平成24年(2012)9月、進捗評価 令和元年(2019)8月、11月)			
計画概要	TIOが現地での工事・完成後の運用を統括し、ハワイ島マウナケア山頂域に、日本、米国、カナダ、中国及びインドの国際協力科学事業として口径30mの光学赤外線望遠鏡(TMT:Thirty Meter Telescope)を建設し、第二の地球探査と生命の確認、ダークエネルギーの性質の解明、宇宙で最初に誕生した星の検出などに挑むことを目的とする(補償光学を高度化したTMTは、究極の望遠鏡として2020年代後半から約30年間、観測天文学の基幹装置となる)。日本は、TMT計画の枢要部分である主鏡分割鏡の製作・加工等を担う。										
研究目標(研究テーマ)	1. TMT望遠鏡の建設 2. 最先端観測研究による新たな宇宙像の開拓(第二の地球探査と生命の確認、ダークエネルギーの性質の解明、宇宙で最初に誕生した星の検出)										
年次計画	2013 (H25)	2014 (H26)	2015 (H27)	2016 (H28)	2017 (H29)	2018 (H30)	2019 (R1)	2020 (R2)	2021 (R3)	—	
<p><TMT望遠鏡の建設・運用> TIOが現地でのTMT望遠鏡の建設・運用を行う。日本は、主に望遠鏡構造、主鏡鏡材、主鏡研磨の一部、観測装置の一部の建設を担当。</p> <p>○望遠鏡本体構造の製作 ○主鏡分割鏡の製作 ○観測装置の製作</p>	<p>TIOにより定められている主鏡分割鏡等の製作</p>										
評価の実施時期	—	—	—	—	—	—	進捗評価	—	進捗評価		
計画推進に当たっての留意事項等	<p>【進捗評価報告書での留意点(R元年 8月)】</p> <p>①TIOとの緊密な連携による事業の推進 TMT計画全体は5か国による国際共同事業であり、現地での建設・運用を統括する米国人であるTIOのもと、各国の役割分担が定められている。そのため、国際協力の下で国立天文台が担うべき役割(主鏡分割鏡の製造等)の進捗を引き続き注視して精査すべきである。 また、TMT計画全体の現地での建設運用を統括するのは米国人のTIOであるが、TIOの意思決定を担うTIO評議員会に国立天文台長もメンバーとして参加している。そのため、例えば、国立天文台がこれまで実施してきたハワイにおける理解増進活動などを通じて獲得したノウハウや知見をTIOに積極的に提供することにより、こうした活動をTIOとして実施するよう促し、ハワイにおけるTMT計画全体のプレゼンス向上と地元住民の了解を目指すことを求めるなどTIOとの緊密な連携を実施することが重要である。</p> <p>②不測の事態に備えた事前検討の着手 ハワイ現地における工事の再開及び今後の展開が長期化する懸念から、場合によっては、TMT建設の代替候補地(スペイン/ラパルマ島)等になる可能性がある。その際、TMTとの将来的な一体運用を目指しているすばるの運用にも影響を与えるものであり、本計画の国際的地位性の確保に加え、代替案に決定した場合の課題について国立天文台が十分に検討しておく必要がある。TMT計画に投じてきた国費が科学技術のために適切に活かされるよう、代替候補地等であっても有効的に活用できる研究開発部分(主鏡の製作や鏡面加工等)の精査についても併せて国立天文台は、早期に検討することが必要である。</p> <p>【進捗評価報告書での留意点(R元年 11月)】</p> <p>8月末時点の進捗評価に記載したとおり、国立天文台は引き続きTIOとの緊密な連携による事業の推進を図るとともに、不測の事態に備えて、TMT計画に投じてきた国費が科学技術のために適切に活かされるよう、代替候補地等であっても有効的に活用できる研究開発部分(主鏡の製作や鏡面加工等)の精査について至急、検討することが必要である。2021年度末までにプロジェクト完了の見通しが明らかとなった場合、改めて進捗評価を行うこととする。</p>										