

30m光学赤外線望遠鏡計画 TMT

① 計画の概要

光学赤外線観測の最適地であるハワイ島マウナケア山頂域に、日本・米国・カナダ・中国・インドの国際共同科学事業として口径30mの超大型望遠鏡TMTを建設する。従来の口径8-10mの光学赤外線望遠鏡に対し10倍以上の集光力、3倍以上の解像度、点光源の天体に対しては100倍以上の感度という過去に類のない性能向上を実現し、現代天文学の重要課題に対して既存の望遠鏡では成しえない成果をあげる。特に立地条件を活かした高感度赤外線観測により、太陽系外の生命の存在可能性がある領域において地球型惑星を直接検出する。また、圧倒的な集光力を活かした分光観測により、惑星大気を透過してくる星の光を分析して生命に関連する物質を探る。そして、これらの性能を活かし、ビッグバン後に最初に生まれた星からの光を直接検出して初期宇宙の天体形成を解明する、宇宙膨張史を遠方の銀河間物質の赤方偏移の時間変化という直接的な方法で測定して暗黒エネルギーの性質を明らかにする、といった挑戦的な課題にも取り組む。国際協力においては、2014年にTMT国際天文台を設立し建設の役割分担を決めた。日本は建設の枢要部分である超大型高剛性軽量化望遠鏡本体および制御系、574枚におよぶ主鏡分割鏡材の製作および非球面加工の一部、第一期観測装置の主要部分等を担っている。これまでに望遠鏡の設計を完了して製造に入るとともに主鏡の量産も進めている。そして、大学共同利用にむけ、天体探査能力に秀でたすばる望遠鏡で地球型惑星や超遠方銀河の候補天体を検出し、TMTで高感度分光観測を実施するといった連携観測を推進できる運用体制の整備を進めている。2017年にハワイにおいて建設のための保全地区利用許可が承認され、2018年には現地建設準備を行った。2019年から現地建設を実施し、2030年代の天文学研究および関連学術分野の発展に寄与する。

② 学術的な意義

太陽系のような惑星系は宇宙において普遍的なものなのか、そこに生命は存在するのか。太陽系外惑星の研究の急速な進展により、これらの根源的な問いに答えることが現実的な課題となってきた。すばる望遠鏡はその中で、太陽型星を回る木星型惑星の直接撮像に成功する等の成果をあげてきた。次の大きな目標は生命の存在可能性がある領域に地球型惑星を発見し、そこに生命が存在する証拠を捉えることである。中でもTMTは、宇宙に数多い太陽よりも小さな恒星を周回する地球型惑星の直接撮像に初めて挑み、惑星の反射光の分光観測を可能にする。また、惑星が恒星の前面通過を起こす惑星系について、惑星大気を透過してくる光の分析も可能となる。TMTの大口径を最大限に活かしたこれらの手法により、地球型惑星大気の組成を調べ、生命の存在を示す分子、特に光合成の産物である酸素分子等の存在を探り、その割合を測定する。これにより太陽系の地球型惑星の研究と天文学の融合を画期的に推し進め、宇宙生物学を観測にもとづく研究分野に発展させる。

また、すばる望遠鏡やアルマ望遠鏡が宇宙誕生から5~10億年の時代の銀河の観測を切り拓いてきたことにより、これらの銀河の起源といえる宇宙で最初の星々を観測し初期宇宙の天体形成を解明することがいよいよ重要課題となってきた。TMTが目指すのは、重元素を含まないこれらの星に期待されるヘリウム輝線などの特徴的な放射を高感度分光観測でとらえることである。これにより初代星の誕生時期や、その紫外線放射や超新星爆発が以後の銀河形成をどの程度左右したのか、宇宙再電離にどの程度寄与したのか明らかにする。

さらに、宇宙物理学最大の謎である暗黒エネルギーの性質を解明するため、現在進められている銀河分布の広域調査等による研究とは全く独立に、銀河間物質の赤方偏移の時間変化を調べるという直接的な方法で宇宙の膨張の様子を明らかにする。

さらに、宇宙物理学最大の謎である暗黒エネルギーの性質を解明するため、現在進められている銀河分布の広域調査等による研究とは全く独立に、銀河間物質の赤方偏移の時間変化を調べるという直接的な方法で宇宙の膨張の様子を明らかにする。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

すばる望遠鏡等の光学赤外線望遠鏡やアルマ望遠鏡による成果に続く次のステップは、可視光・赤外線観測の高感度・高解像度化である。これを目標に世界的に計画の具体化が進み、欧州諸国とブラジルはE-ELT望遠鏡(口径39m)、米国の一部大学と豪州・韓国等はGMT望遠鏡(口径22m相当)の建設を南半球のチリで進めている。TMTの建設地であるマウナケア山頂域(標高4000m)はこの2望遠鏡の建設地(標高約3000m以下)に対して、太陽系外惑星や初代天体の研究で鍵となる赤外線観測で格段の優位性をもつ。また北半球であることから他の2望遠鏡とは異なる天域をカバーしており、隣接するすばる望遠鏡との連携で独自の研究を推進できる。

ハッブル宇宙望遠鏡の後継のジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡(JWST)が地上からは困難な広い赤外線帯域での観測を可能にするのに対しTMTは圧倒的な集光力を活かした分光観測に加え、補償光学装置によりJWSTを大幅に上回る解像力と感度を実現する。特に重要性が高まっている系外惑星研究において、TMTは地球型惑星の直接撮像や惑星大気の高精度分光観測による酸素分子スペクトル調査を初めて可能にする。

④ 実施機関と実施体制

TMT計画の目的や意思決定の原則、TIOの設立と運営、各パートナーの寄与と権利等を定めた合意書を締結済みである。署名

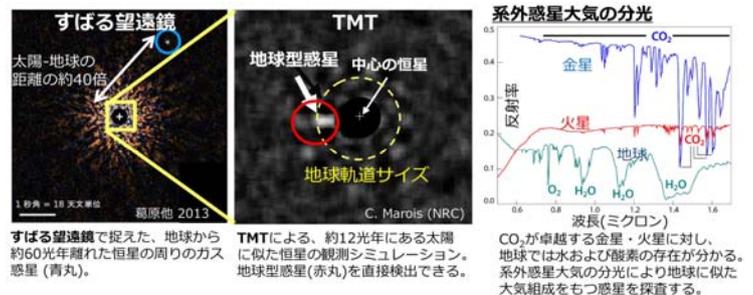


図1:TMTによる地球型系外惑星の直接撮像と生命の兆候探査

した最終責任機関は、自然科学研究機構（日本）、カリフォルニア大学・カリフォルニア工科大学（米国）、国立研究機関（カナダ）、国家天文台（中国）、科学技術庁（インド）である。また、米国国立科学財団（NSF）の正式参加にむけ、NSFによる予算措置後に執行機関となる米国天文学大学連合（AURA）が準パートナーとして参加している。TMT 計画は各国を代表する世界屈指の国立研究機関が参加しているプロジェクトである。

各パートナーからの代表が貢献に応じた投票権をもって TIO 評議員会を構成し、スケジュールや予算をはじめとする TIO の運営方針を決定する。TIO は建設計画を統括すると共に、現地工事を担当し、完成後には望遠鏡運用を担う。日本から TIO に職員を派遣し、トップマネジメント、望遠鏡や観測装置の据付調整試験、完成後の運用を主導する。

日本の分担箇所の実施統括は国立天文台があたり、望遠鏡本体構造と主鏡製作を国内企業と連携して実施する。現地での望遠鏡据付調整にむけ、すばる望遠鏡の運用と TMT の建設および運用を一体的に行う体制を構築し、現在のハワイ観測所の人員規模を大きく上回ることなく事業を実施する。すばる望遠鏡やアルマ望遠鏡で建設・開発・運用を担った職員がその技術と経験を活かして中心的な役割を担っている。

また、国立天文台が中心となり、第一期観測装置の日本分担箇所の設計・製作を進めると共に、北海道大学、東北大学、東京大学、京都大学、京都産業大学、岡山理科大学等の研究者と協力して第二期観測装置の検討・要素技術開発を実施している。

⑤ 所要経費

建設期間の日本における所要経費は従来 415 億円としていた。内訳は(1)望遠鏡本体の設計・製作・据付調整（約 229 億円）、(2)主鏡材（約 27 億円）、(3)主鏡研磨の一部（約 43 億円）、(4)観測装置（約 9 億円）、(5)共通経費分担（為替変動による約 6 億円の増額を含め約 73 億円）、(6)建設期間中の国内経費（40 億円）である。2019 年度までに約 146 億円が措置された。

建設計画全体の延伸および米国国立科学財団の参加が 2023 年になる見込みであることから、2022 年までに 1.31 億ドルの追加経費が必要になった。貢献割合に応じた日本の追加分担金は約 37 億円で、日本の建設期の所要経費は 458 億円となる。TIO 評議員会および国立天文台では多様な財源の確保と更なる経費縮減の検討を進めている。

完成以降の運用時には、TIO の分担金 12 億円、TMT を日本の大学共同利用に供するための経費 18 億円を合わせた年間 30 億円の運用経費が必要となる。

⑥ 年次計画

日本の分担として主鏡分割鏡材の製造および分割鏡の非球面加工作業、望遠鏡本体構造および制御系の製造・現地据付調整、第一期観測装置の設計・製作を以下の年次計画で実施する。建設期間を通じて、日本に配分される観測時間を日本の大学等の研究者の共同利用に供する運用体制を整備し、TIO に国立天文台職員を派遣することによる人員貢献と人材育成を継続する。現地工事再開に向けて 2018 年度に行ってきたハワイ州・ハワイ大学との協議や地元関係者との対話をふまえ、マウナケアでの確実な建設完遂を目指し、TIO 評議員会は建設計画を 2029 年度までとすることを決議した。

- 2018 年度 現地建設工事準備作業を開始、望遠鏡本体機械系製造開始
- 2020 年度 望遠鏡制御系製造開始
- 2021 年度 観測装置製造開始
- 2024 年度 望遠鏡現地据付開始
- 2027 年度 主鏡分割鏡据付開始、初期科学運用開始
- 2029 年度 主鏡分割鏡の望遠鏡据付完了、観測装置据付完了（完成）
- 2030 年度 共同利用観測開始

望遠鏡現地据付の時期からハワイにおける活動が本格化する。すばる望遠鏡を運用する

国立天文台ハワイ観測所の枠組みを活かし、すばる望遠鏡およびアルマ望遠鏡の開発・運用で経験を積んだ職員を配置する。共同利用運用においては、日本の TMT 観測時間とすばる望遠鏡を一体運用し、2つの望遠鏡の特長を活かした科学成果の創出を可能にするユーザーサポートを実施する。TIO のマネジメントに人的貢献をおこない、TMT 望遠鏡の運用全体において日本が主体的な役割を担う。

2020 年度以降、建設費（日本負担分）および国内経費に約 312 億円が必要となる。

⑦ 社会的価値

国際共同科学事業である TMT 計画で重要な役割を担うことで、天文学にとどまらず、基礎研究・技術開発において国際的な共同研究を促進する。大学の研究・教育水準向上およびグローバル化を促進し、それを通じて科学や技術に広く学生の関心を引き付けることに貢献できる。全国の学校や科学館などで出張授業・講演を毎年約 50 件実施しており、広く自然科学への理解を深めることに貢献している。

望遠鏡製作を通じた大型精密構造物の設計・製作技術は、大型加工機のサイズ・精度の向上や機械加工・溶接技術の信頼性向上などに活かせる。大型非球面鏡の製作技術は、太陽光発電、宇宙光通信、半導体・液晶露光装置などの需要があり、主鏡分割鏡に求められる高品質の量産経験は、高精度・低コストの光学系を製作する国内体制の整備に貢献している。また、TMT の国際的な広報により、日本の先端技術の産業的価値が世界に広く発信される。

TMT は総人口 30 億人を擁する 5ヶ国の新たな枠組みでの国際共同事業であり、参加国で協力して科学の普及や教育の取り組みを進めている。これは SDGs の目標である質の高い教育の普及やパートナーシップの推進に資する活動である。

⑧ 本計画に関する連絡先

白田 知史（自然科学研究機構国立天文台 TMT プロジェクト）

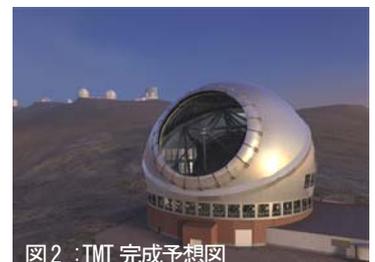


図2：TMT 完成予想図