

30m光学赤外線望遠鏡 TMT による天文学・宇宙物理学の革新と 太陽系外惑星における生命の探求

① ビジョンの概要

ビッグバンで始まり膨張を続ける宇宙では、星、銀河、大規模構造が作られるとともに星の核融合等で多様な元素が生成されてきた。この全貌を理解し、惑星の形成と生命誕生を探ることは人類の究極の課題である。これに挑む基幹観測装置として口径 30m 光学赤外線望遠鏡 TMT を建設し、すばる望遠鏡の広域探査と連携して地球型系外惑星や宇宙の初代星、宇宙膨張史等の理解を一新し、物理学・惑星科学等に波及する研究を推進する。

② ビジョンの内容

ここ 30 年の天文学の発展は目覚ましく、数千もの太陽系外惑星の発見とその多様性の解明、ビッグバン後の初期宇宙における銀河の発見、超巨大ブラックホールの検出、重力波の検出とそれを引き起こす天体現象の解明、宇宙の加速膨張の発見等により、人類の宇宙に対する理解は飛躍的に進んだ。これらの進展は今後数十年の研究の方向性を浮き彫りにし、天文学を超えて関連学問領域に変革をもたらしている。特に、太陽系外の惑星系の検出とその全体像の把握は、太陽系の特殊性や普遍性を知り生命誕生の条件を理解するには必須であり、惑星の形成・進化および地球以外の環境での生命の発生・活動を探るという新たな学問領域を生み出している。これらの研究を推進するために、国際協力で口径 30m の光学赤外線望遠鏡 TMT を建設し、赤外線波長で 0.01 秒角の解像度、約 30 等級の点光源の天体を検出できる感度という、従来の望遠鏡を凌駕する性能を実現する。日本は、すばる望遠鏡の超広視野天体探査と TMT の高感度・高解像度観測を組み合わせることで独自性の高い研究を展開する。TMT が挑む最大の課題は、太陽系外の地球型惑星と生命の兆候探査である。近年、太陽以外の星の周りで生命が誕生しうる温度領域に存在する地球型惑星が間接的な方法で確認されつつある。TMT はそのような惑星を直接撮像し、惑星からの光の分析によって表面の植物等の存在を探る。また、惑星大気を透過する星の光を精密分析し、光合成で作られる酸素分子・オゾンをはじめ、水、メタンなど生命に関連する分子の検出に挑む。

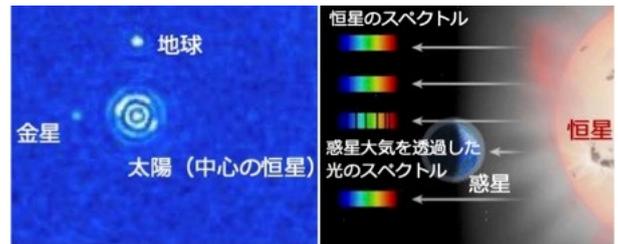


図1 (左)地球から最も近い恒星(4光年)に太陽系のような惑星系があった場合のTMTによる直接観測のシミュレーション。(右)TMTの分光観測による惑星大気の探査模式図。

③ 学術研究構想の名称

30m光学赤外線望遠鏡計画 TMT

④ 学術研究構想の概要

地上観測の最適地であるハワイ島マウナケアに国際協力のもとで口径 30m の光学赤外線望遠鏡 TMT を建設する。従来の 10m 級望遠鏡を解像度で 3 倍、感度で 100 倍上回る圧倒的な性能である。日本は枢要部分である望遠鏡本体と制御系、主鏡分割鏡、観測装置の主要部分を担当し、望遠鏡の設計を完了して製造図面の作成を行うとともに、主鏡も量産段階にある。大学共同利用に向け、広域探査能力に秀でたすばる望遠鏡で地球型系外惑星や超遠方銀河の候補を検出し、TMT で高感度・高解像度観測するという独自の観測戦略を推進できる運用体制を整備する。完成予定の 2034 年から約 50 年の運用を予定し、挑戦的課題に取り組むとともに、観測装置の更新を行うことで最高性能を維持し、天文学と関連学問分野の発展に寄与する。

⑤ 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。TMT は、現在の望遠鏡では解像度が足りず、直接検出することができない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実施する。また、惑星が恒星の前面を通過する惑星系について、惑星大気を透過してくる恒星の光の分析を行う。太陽系外の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惑星科学と天文学の融合や地球上と異なる環境での生命誕生・進化の研究が画期的に進展する。

宇宙で最初の星はいつごろ生まれ、どんな性質を持ち、周囲にどんな影響を与えたのか。TMT が目指すのは、赤外線の高感度分光観測により重元素を含まない初代星に期待されるヘリウム輝線等の特徴的な放射を捉えることである。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に与えた影響、初期宇宙の一大イベントである宇宙再電離への寄与を明らかにする。TMT は、宇宙膨張を支配しているダーク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、様々な距離（遠方ほど古い時代）にある銀河間物質の速度（赤方偏移）の時間変化を超精密に調べ、宇宙膨張の速度を測る。これは宇宙膨張の直接測定として、宇宙論にブレークスルーをもたらす。TMT は、重力波等を伴う爆発現象から放出される可視赤外線を高感度分光観測し、その爆発メカニズムや生成される元素を明らかにし、未だ解明されない鉄より重い元素の起源を明らかにする。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

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 4,000m）はこれらの 2 望遠鏡の建設地（標高 3,000m 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持つ。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、すばるとの連携で独自の研究を推進できる。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ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡（JWST）を 5 倍上回る解像力を実現する。

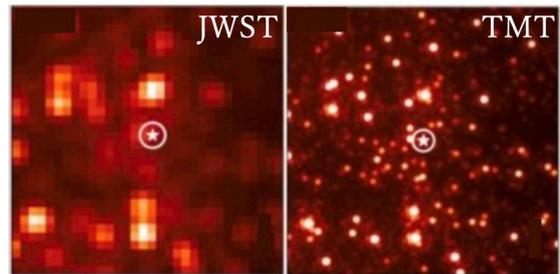


図 2 銀河中心部を JWST および TMT で観測した場合のシミュレーション。

⑦ 社会的価値

TMT 計画での国際的な研究・技術開発を通じて大学の研究・教育水準向上およびグローバル化を促進し、科学や技術に広く学生の関心を引き付けることに貢献する。天文観測の技術は様々な応用が可能であり、TMT で開発される望遠鏡構造の精密加工や制御、免震技術、大型鏡の高精度加工は大型構造物の精密制御や大型光学装置の量産等を必要とする産業での利用が期待できる。

⑧ 実施計画等について

TMT 計画は、2013 年までの準備期を経て 2014 年に TMT 国際天文台 (TIO) を設立し、建設期に入った。現在、建設地ハワイにおける問題の解決をはかるとともに、NSF の大型施設予算審査プロセスが進んでおり、2024 年度に NSF の参加決定を経て現地工事を再開する。その後は、現地のインフラ整備、ドーム建設、望遠鏡本体構造の据付、主鏡や観測装置の搭載を行って 2033 年度に完成、翌年度に共同利用を開始する。現地工事再開時期に合わせて日本の分担である主鏡分割鏡材の製造および分割鏡の非球面加工を再開し、外形加工・支持機構への搭載を含めて 2031 年度までに完了する。望遠鏡本体構造および制御系の製造を国内にて実施し、2029 年度から現地での据付調整を行う。日本は第一期観測装置 IRIS（近赤外線撮像分光装置）撮像部を担当しており、現在進めている詳細設計に続き国内での製作を実施、米国・カナダの担当部分と合わせて 2033 年度に望遠鏡への搭載・調整を完了する。最終責任機関は、日本の自然科学研究機構、米国カリフォルニア大学・カリフォルニア工科大学、カナダ国立研究機関等である。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) は、現在 TIO 準パートナーである。日本の分担箇所の実施統括に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。また、国立天文台の先端技術センターが中心となり、第一期観測装置の日本分担箇所的设计・製作を進めるとともに、幅広く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。

総建設費は約 36 億ドルである。建設期間の日本における建設費は 375 億円であり、このほか、共同利用整備の国内経費 40 億円を必要とする。完成後の望遠鏡運用は TIO が担い、その経費は年間約 3 千万ドルであり、これに加えて新規観測装置等製作に年 2 千万ドルを予定している。日本の分担金は約 12 億円であり、TMT を日本の大学共同利用に供するための経費約 18 億円を合わせ年間 30 億円の運用経費が必要となる。

⑨ 連絡先

川合 眞紀（大学共同利用法人 自然科学研究機構）