

次世代超大型望遠鏡 TMT

国立天文台 TMT 推進室

臼田知史（室長） 石井未来（広報担当）

TMT とは

超大型望遠鏡 TMT (Thirty Meter Telescope) は、口径 30m の光学赤外線望遠鏡で、2022 年の完成を目指し、2014 年秋に米国ハワイ島マウナケア山で建設が始まりました。現在、世界最先端の天文学研究に用いられ活躍している口径 8.2m のすばる望遠鏡に比べると、TMT の集光力は 13 倍、解像度は 3.6 倍になります。その結果得られる圧倒的な感度によって、太陽系外惑星に生命の兆候を探ること、宇宙初期の天体の成り立ちを解明することなどが、TMT の大きな目標です。

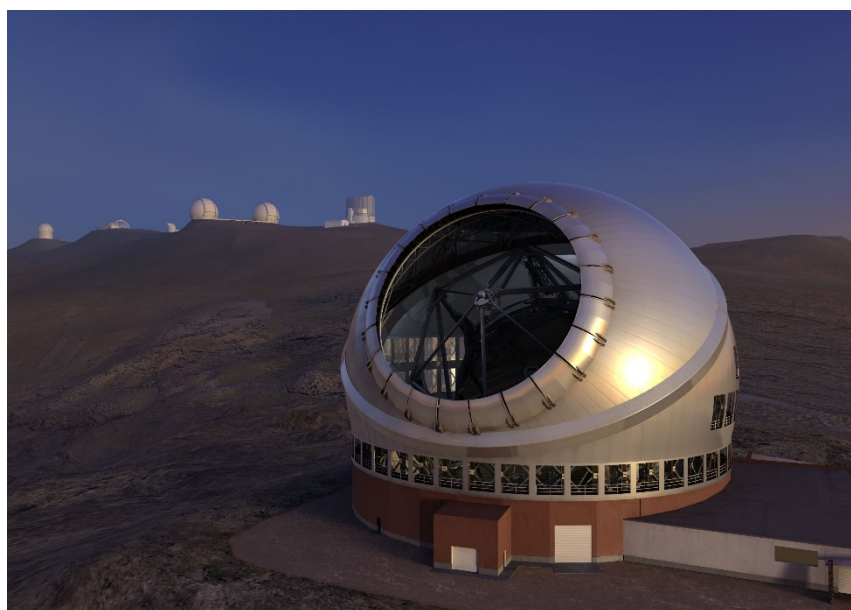


図 1: TMT 完成予想図（国立天文台提供）

TMT の設置場所

TMT の建設地は、ハワイ、メキシコ、チリの天文観測に適した候補地 5カ所で、シーイング、晴天率、水蒸気量などを数年にわたって調査した結果決められました。ハワイ島マウナケア山は、晴天率の高さ、水蒸気量の少なさ、シーイングの良さに加えて、特に補償光学系の性能に大きく影響する上空の大気揺らぎの影響が小さいことが特徴です。また、すばる望遠鏡など、同じくマウナケア山にある既存の観測施設との連携のしやすさも利点として挙げられ、最終的に建設地として選ばれました。建設地は、すばる望遠鏡から 1km ほど北西側に離れた、標高 4012m の地点です。

次世代の超大型望遠鏡計画は、TMT の他に、欧州南天天文台による E-ELT(口径 39m)と、米国、韓国、オーストラリアによる GMT(口径 8.4m×7)の二つがあります。いずれの計画も 2020 年代の観測開始を目指していますが、E-ELTと GMTは南半球のチリに建設されるのに対し、TMTは北半球のハワイ島という立地から北天域の観測に利点があります。

複合鏡と補償光学

天体からのかすかな光を捉えるために、望遠鏡は大型化の歴史をたどってきました。すばる望遠鏡などの口径8m 級の主鏡は、単一鏡としては最大のものです。さらに大きな主鏡を実現するには、複数の鏡を組み合わせる複合鏡の方が、技術面、運用面で現実的です。TMT では、対角 1.44m の六角形の鏡 492 枚を組み合わせ、口径 30m という大きさの主鏡を実現します。

口径 30m 主鏡の回折限界は、近赤外域で 0.01–0.02 秒角とハッブル望遠鏡を一桁上回りますが、地上の望遠鏡の場合は、大気の影響により天体の像が乱されてしまいます。大気の安定しているマウナケア山でもシーニングは 0.6 秒角程度で、TMT の回折限界で得られる像の数十倍もぼやけた星像です。このぼやけを補正して、大気圏外からの観測と同様に、回折限界に迫る解像度を得るための技術が補償光学です。補償光学は、光波面のゆらぎを波面センサで測定し、可変形鏡で補正するリアルタイム制御技術で、補償光学に必要な参照星を人工的に作り出すレーザーガイド星システムと合わせて、現在の8–10 m 級の大望遠鏡でも用いられています。TMT の第一期装置である補償光学系(NFIRAOS)は、6 つのレーザーガイド星/波面センサと 2 枚の可変形鏡で地表付近と地上 11km 付近の大気揺らぎを補正する、特殊な補償光学(Multi-Conjugate Adaptive Optics; MCAO)の機能を備えます。これによって広視野にわたってシャープな星像を得ることが可能になります。

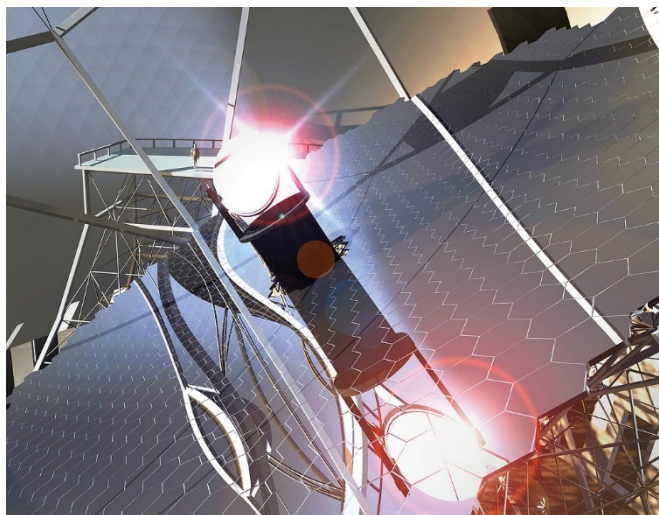


図 2: TMT 主鏡イメージ(TMT 国際天文台提供)

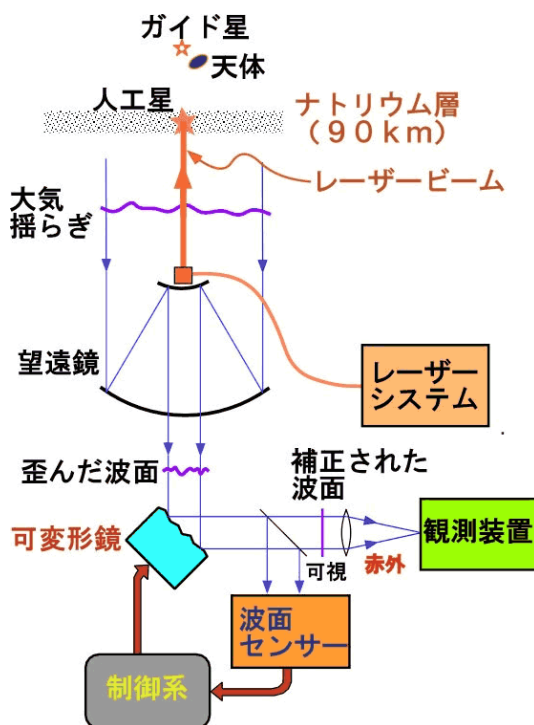


図 3: 補償光学とレーザーガイド星システムの概念図(国立天文台提供)



図 4: 銀河系中心の近赤外線画像。左が補償光学なし、右が補償光学を用いた観測 (CREDIT: KECK/UCLA GALACTIC CENTER GROUP)

TMT の科学目標

TMT は、現在の8-10m 級望遠鏡では解き明かせない宇宙の謎の数々に挑みますが、ここでは、そのうちの二つについて紹介します。

(1) 宇宙最初の星と銀河宇宙の夜明け

宇宙の誕生から数億年間は、星や銀河などの光り輝く天体がほとんどない、「宇宙の暗黒時代」だったと考えられています。最初の星や、銀河はいつ、どのように誕生して、暗黒時代を終焉させたのでしょうか？現在、すばる望遠鏡などの8-10m 級望遠鏡では、ビッグバンから7億年後の宇宙にある銀河が発見され、宇宙再電離の過程への手がかりが得られたところです。TMT では、さらに遠方の宇宙を観測し、宇宙最初期に生まれた初代星の超新星爆発や、初代銀河からの光を捉えることが期待されています。

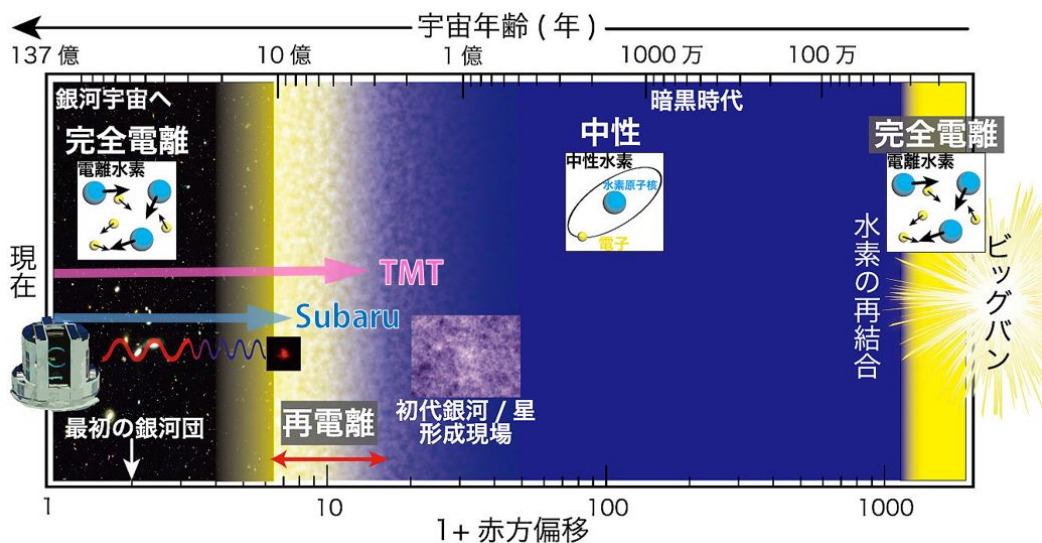


図 5: ビッグバンから現在までの宇宙の歴史 (国立天文台提供)

ます。また、すばる望遠鏡でみつけた宇宙初期の天体を、補償光学を用いた高解像度分光・撮像観測で調べることによって、宇宙の再電離史を明らかにすることが可能になります。

(2) 太陽系外惑星に生命の兆候を探る

1995 年に最初の系外惑星が発見されて以降、現在までに 4000 個以上の系外惑星候補が発見され、その多様な性質が明らかになってきています。では、それらの系外惑星の中に、生命が存在するものはあるのでしょうか？ その疑問に答えるためには、惑星系の中で液体の水が存在する領域（ハビタブルゾーン；生命居住可能領域）にある地球型惑星の観測が必要になります。そのような惑星の大気の組成を調べて、酸素など、生命活動によって作られたと考えられる物質（バイオマーカー）が検出されれば、生命体の存在確率は高まるでしょう。しかし、現在の 8－10m 級の望遠鏡では、そのような観測に必要な集光力と解像度が足りません。TMT では、二つの方法で地球型惑星の観測に挑みます。

一つは、主星（恒星）からの反射で輝く惑星を直接観測する方法です。反射光は主星に近いほど強いので、この観測には極限補償光学を用いた高い解像度と、主星の光に埋もれないようにするためのコロナグラフなどの工夫が必要です。

もう一つは、主星の前を横切るような軌道を持っている惑星では、主星の光の一部が惑星の大気を透過することを利用する方法です。この惑星大気を透過した成分を調べることによって、惑星大気の組成が分かります。しかし、この場合も、主星からの光量のうち惑星大気の透過光成分は極めて少ないため、非常に高い精度の観測が必要です。

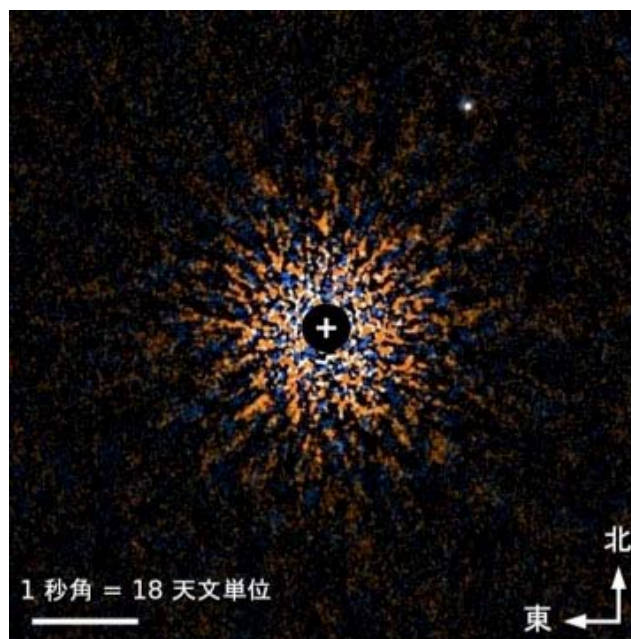


図 6: すばる望遠鏡で直接撮像された最も軽い系外惑星 GJ504 b (図の右上)。コロナグラフにより、画像中心の主星からの光は抑制されている。GJ504b は、3－5.5 木星質量と推定される木星型惑星である。(国立天文台提供)

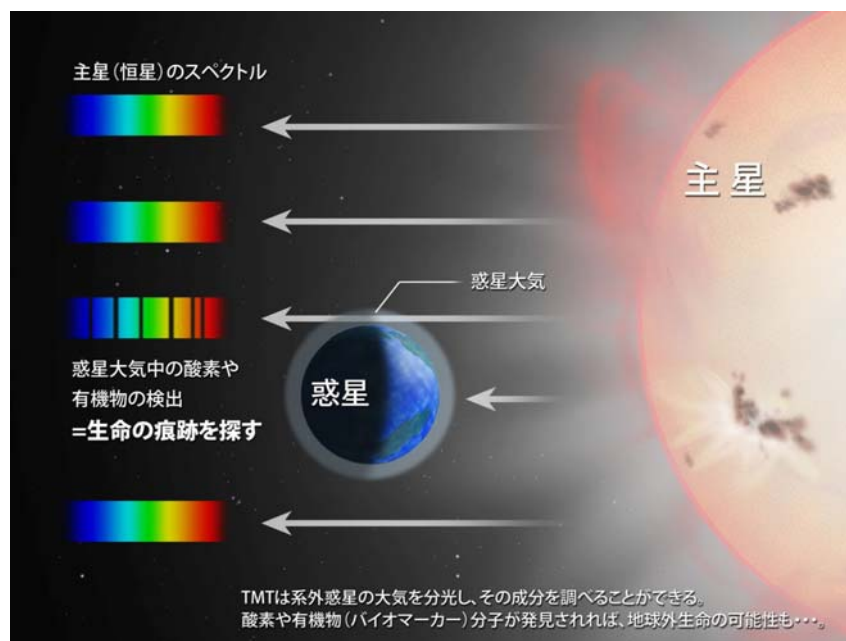


図 7: 惑星大気透過光を利用した観測方法の概念図(国立天文台提供)

国際協力と日本の役割

TMT 計画は、日本、米国、カナダ、中国、インドの 5 カ国の国際協力で行われています。

2014 年には、建設・運用の基本方針や各国の分担についての協定書に署名がされ、TMT 国際天文台が非営利法人有限責任会社として設立されました。

日本は望遠鏡本体の設計と製作に加えて、主鏡鏡材すべて(交換用と合わせて分割鏡 574 枚分)の制作と、主鏡研磨の一部を担当します。また、科学研究の検討と観測装置開発のいずれにおいても重要な役割を担います。

まとめ

天文学の歴史を振り返ると、望遠鏡の進歩によって、人類の宇宙にたいする認識は、より遠くへ広がり、そして深化したことが分かります。従来の望遠鏡の限界を遥かに超える解像度と集光力を擁する TMT によって、2020 年代にはどのような宇宙像が描かれるのか、ご期待下さい。■