

次世代 30m 超大型望遠鏡 TMT

国立天文台 先端技術センター 高見英樹

1. はじめに

TMT はハワイ州マウナケア山頂に建設される口径 30m の光学赤外線望遠鏡で、日本、米国、カナダ、中国、インドの国際共同プロジェクトであり、2020 年代の初頭には観測を開始する予定である。総建設予算は 1500 億円、日本はそのうち約 1/4 を分担する。大望遠鏡の歴史は 1949 年にパロマ山に 5m 望遠鏡が建設され、以降、1980 年代までは 4m 級が主力であり、すばるを始めとする 8-10m 級の望遠鏡が建設されたのが 1990 年代であったことを考えると、この口径 30m の望遠鏡の建設はこれまでにない大きなジャンプであり、それに伴う大幅な観測性能向上により天文学に画期的な進展をもたらすことが期待できる。本講演では、TMT 望遠鏡の概要と日本が果たす役割について解説する。

2. TMT の概要、サイエンス

1) TMT の概要、性能

口径 30m の TMT の観測性能の向上は、すばる望遠鏡と比較すると、鏡の面積で 14 倍、回折限界の角度分解能では 4 倍となり、0.01 秒角にも達する。これらを総合すると、点源の天体に対する観測効率は 200 倍にもなる。観測装置はナスミス焦点のみに設置され、第三鏡の角度を調節することにより装置を動かすことなく切り替える (図 1)。

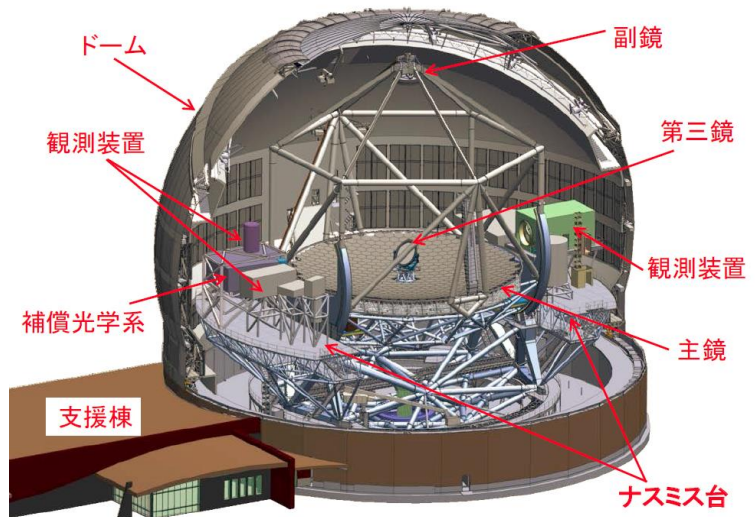


図 1、TMT の全体構造。このうち日本は、望遠鏡本体構造、主鏡材料、主鏡研磨 (一部)、観測装置 (一部) を担当する。

2) 建設地

TMT の建設地は世界で最も優れた観測地として、当初、ハワイ島マウナケア山もしくは、チリの高地が候補であったが、優れた赤外線性能、すばる望遠鏡を有する日本などのインフラの充実、などの理由によりハワイに建設されることとなった。山頂付近の尾根には新たな大型の望遠鏡建設が困難になってきたこと、大型望遠鏡を作るには固い地盤が必要なことなどから、すばるから約 1 km 離れた、少し高度が低い場所に建設される。

TMT 望遠鏡は、日、米、カナダ、中国、インドの国際協力によって建設、運用されるが、

そのために各パートナーが対等の関係で運営をする「TMT 国際天文台」(TIO) という法人を米国において設立することとし、この法人は 2014 年 5 月に登記され、同 7 月にハワイ州から建設許可が下り、10 月には起工式が行われ本格的な建設が始まった。

3) TMT によるサイエンス

TMT は現在の望遠鏡からの圧倒的な大型化によって、非常に幅広いサイエンス分野において極めて高い能力を発揮するが、特に銀河の誕生と宇宙の夜明け、太陽系外の第二の地球・生命の兆候、ブラックホール、暗黒物質、暗黒エネルギー、物理定数・宇宙定数などの研究に重要な役割を果たすことが期待される。

3. TMT 建設における日本の役割

3-1. 望遠鏡本体構造

TMT 望遠鏡の要となる本体構造は日本が設計製作をすることになった。重量 550 トンのすばる望遠鏡に比して、主鏡口径が 4 倍近い TMT は、そのまま大きくすると、重量が 50 倍近くになってしまう。現在、これを 2,300 トン程度にまで軽量化し、コストを低減し、なおかつ駆動性能を向上させるための詳細設計・検討及び製作図面の作成を行っている(図 2)。設計の特徴としては、(1) 軽量堅固なトラス構造、(2) 高い追尾/指向精度、(3) 主鏡着脱機能、(4) 主鏡 CO₂ 洗浄機能、(5) 免震安全機構、などがある。

例えば(1)を実現するために、直径 50~90cm のパイプをミクロン単位で多重接合技術の開発を進めている(図 3)。その他(2)では、重量約 2,300 トンの望遠鏡を 5/100 秒角(0.000014 度)の精度で位置制御する必要があり、これは、東京から富士山のピンポン球に狙いを正確に定める精度に相当する。これを実現するために、直径 36.6m (幅 1.65m) もある方位軸レールの鉄板レールを 10 ミクロン (=0.01 mm) 以下の精度で製作・据付ける。

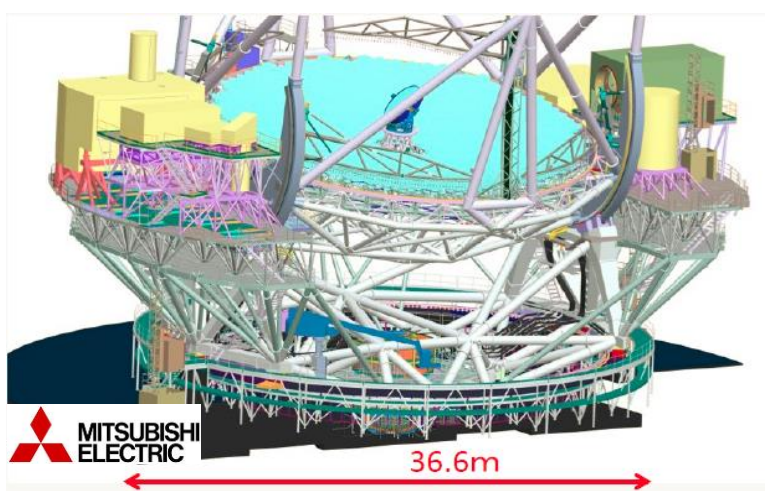


図 2、TMT 望遠鏡本体構造。望遠鏡の方位軸レールの直径は 36.6m もある。

また(5)については、1000 年に一度の地震でも主鏡等を破損しない免震機構を持つようにしている。これは、2006 年にハワイで起こった地震によってすばる望遠鏡を始めとしてマウナケア山の大型望遠鏡が損傷を受けたことを教訓にしたものである。望遠鏡本体構造は、2014 年 3 月の国際基本設計審査に合格し、同年 4 月から詳細設計に移行した。

3-2. 主鏡材料と研磨

TMT 望遠鏡では、30m の主鏡を一体で製作することは不可能であり、1.45m 径（厚さ 5 cm）の六角形の鏡を 492 枚並べることにより、これを実現する。この技術はすでに Keck 10m 望遠鏡の 36 枚のセグメント鏡で実証されたものであり、TMT ではこれを発展させて 492 枚の鏡の制御を行う。

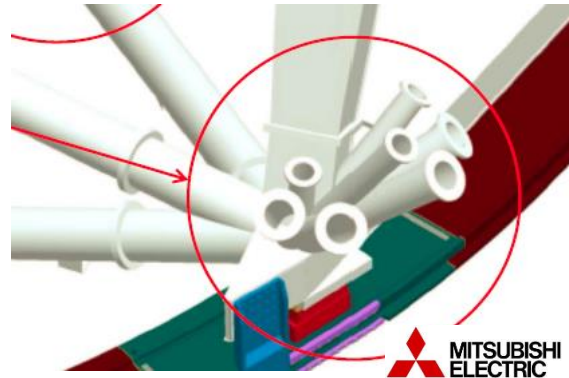


図 3、望遠鏡トラス構造の精密溶接部分。

1) 主鏡材料

TMT で用いる主鏡材料は基本変化による鏡の変形を避けるために、温度による膨張の少ない材質を用いる必要がある。これを満たす材料として、日本の企業によるクリアセラムという材料が使用されることとなり、全ての材料を日本が担うこととなった。必要な枚数は、蒸着時の交換用の鏡を含めて 600 枚近くなる。これらについては、すでに量産を開始しており、2013 年度中に 60 枚を製造した。

2) 主鏡研磨

TMT では 600 枚近い主鏡セグメントを約 5 年間で研磨・製造しなければならない。これは、世界の望遠鏡建設史上初めての試みである。そのため、鏡材料の整形、研磨を大量かつ高精度で行えるような曲げ研磨手法を用いている。これは、非球面形状となるべき主鏡材料にあらかじめ力を加えて曲げておき、それを加工が容易な球面形状に研磨をする。そののち力を開放すると所望の形状の非球面形状を得ることができるというものである（図 4）。日本は、全体のうちの約 30%を研磨する予定となっている。また、研磨の最終段階はイオンビーム加工という方法で精密な形状を作るが、これは各パートナーで研磨した鏡を米国に集めて、1 か所で行うこととなっている。

3-3. 観測装置

TMT は第一期装置として 3 台の第一期装置（可視装置 1 台、赤外線装置 2 台）、および赤外線で回折限界の角度分解能を達成する補償光学系を 1 台を製作することを決定している。このうち日本は、国立天文台が中心となって、近赤外撮

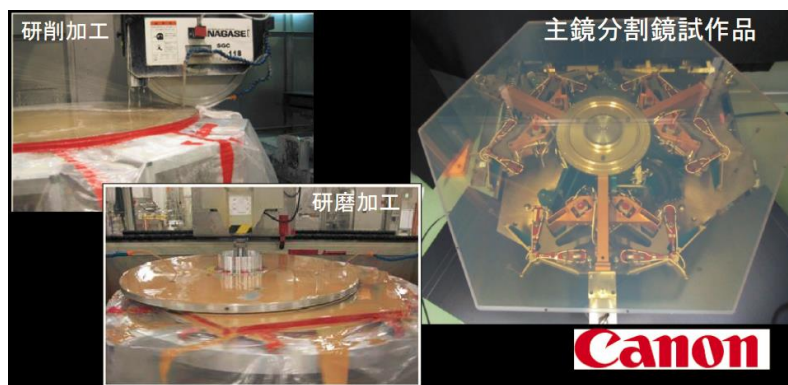


図 4、TMT 主鏡セグメントを国内で製造している様子。

像分光装置 (IRIS) と広視野可視撮像分光装置 (WFOS) を国際協力での開発に参加している。

1) IRIS : これは赤外域で比較的狭い視野 (34 秒角) で、補償光学系をフルに効かせて、0.01-0.02 秒角という極めて高い分解能で、分光、撮像観測をする装置である。また、30 μ 秒角というこれまでにない精度のアstrometri観測も目指している。この装置については、米国、カナダとの共同開発のなかで、日本は冷却カメラ部を担当する。現在、光学系の基本設計を行うとともに、カメラ光学系およびその機械系のプロトタイプの試作、試験を国立天文台の先端技術センターで行っている (図 5)。

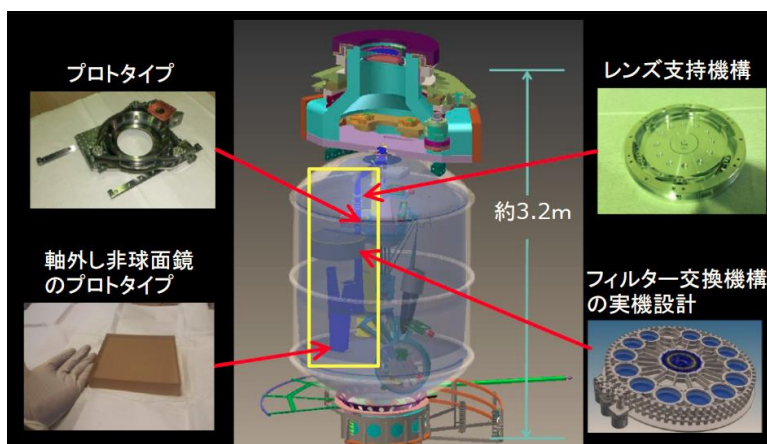


図 5、IRIS では日本はカメラ部を担当。レンズ支持機構、フィルター交換機構などの試作、試験を行っている。
カメラ部分を担当する予定となっている。

2) 広視野可視撮像分光装置 (WFOS)

これは広い視野で多数の天体を同時にスリット分光と撮像をする装置で、すばる望遠鏡における FOCAS を発展させたようなものであり、補償光学を使わないシーイングリミットの装置である。日本、米国、中国などによる共同プロジェクトであるが、日本は分光器のカ

3) 第二期装置の基礎開発

TMT の観測装置は当初は 3 台からスタートするが、そのあとの第二期装置を順次製作していく。日本では 2007 年ころから、大学の研究者が中心となり、国立天文台 TMT 推進室の支援のもと、基礎開発を行っている。現在、中間赤外装置 (MIREs/MICHI : 神奈川大、茨城大、ハワイ大学、テキサス大等)、近赤外広視野多天体面分光装置 (IRMOS/TMT-AGE : 東北大、カナダ等)、系外惑星直接撮像装置 (PFI/SEIT : 京都大、北大、国立天文台、東大、スタンフォード大、カリフォルニア大サンタバーバラ等) などが活発に活動している。

おわりに

TMT 計画は、すばる望遠鏡、ALMA に引き続く日本の大型望遠鏡計画である。これによって、日本の天文学研究が大きく進展する。さらに、TMT ではこれまでも増して高いレベルかつ国際的な環境での望遠鏡、観測装置の開発を行うこととなる。これに日本の研究者、技術者が数多く参加することにより、日本の技術力を高め、世界をリードしていけるようになることを期待する。