TMT

Thirty Meter Telescope

次世代超大型望遠鏡

自然科学研究機構 国立天文台
TMT プロジェクト

お問い合わせ
Contact info.

自然科学研究機構 国立天文台
TMT プロジェクト
東京都三鷹市大沢 2 - 21 - 1
https://tmt.nao.ac.jp

TMT International Observatory
111 Nowelo Street, Hilo, HI 96720, U.S.A.
100 W Walnut St, Pasadena, CA 91124, U.S.A.
https://www.tmt.org

NAOJ National Astronomical Observatory of Japan

TMT

© 2023NAOJ
(2023.4)

超大型望遠鏡 TMT 計画

TMT

世界最高水準の望遠鏡で，天文学研究の最前線に挑戦したい－日本の天文学者たちの夢と努力は1999年，国立天文台ハワイ観測所のすばる望遠鏡として実を結びました。観測条件に恵まれたハワイ島マウナケア山頂域に建設された口径 8.2 m のすばる望遠鏡はその後，「宇宙最遠の銀河」の記録を再三にわたって塗り替えるなど，数多くの発見を成し遂げ，日本の光赤外線天文学の水準を世界のトップレベルにまで押し上げました。そしていま，国立天文台を中心とする日本の天文学コミュニティは，かつてない巨大な光学赤外線望遠鏡 TMT の建設を，国際共同プロジェクトとして推進し，未だ人類が見たことのない宇宙の姿に迫ろうとしています。

TMT は，口径 30 m の巨大望遠鏡をハワイ島に建設する計画です。今日の可視光と赤外線による天文観測では，すばる望遠鏡をはじめとする口径 8〜10 m の望遠鏡が活躍していますが，口径30 mのTMTなら，それらの約10 倍も多くの光を集めることができます。また，補償光学で解像度を極限まで向上できる赤外線の観測では，ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡を 5 倍も上回る解像度が得られます。

近年の天文観測は，膨張する宇宙のなかでの天体の形成や，太陽系以外の惑星系の存在などを明らかにし，人類の宇宙観，自然観を大きく塗りかえるとともに，新たな謎を提起しました。TMT は，宇宙で最初の星や銀河の正体を解き明かすこと，太陽系外惑星に生命の兆候を探ることなどを大きな目標としています。

国際協力による次世代巨大望遠鏡の建設に，すばる望遠鏡の建設で培った経験と技術を惜しみなくつぎこみ，完成後はすばる望遠鏡と連携した観測を行うことにより，日本は世界の天文学をリードしていきます。

すばる望遠鏡とアルマは，世界の天文学研究に大きな発展と刺激をもたらしました。世界に 1 台しかないような観測施設を大規模な国際協力により建設・運用していくことは国立天文台の大きな強みとなっています。国立天文台は，TMT計画を万全の体制で遂行します。

常田　佐久（国立天文台長・TMT 日本代表）

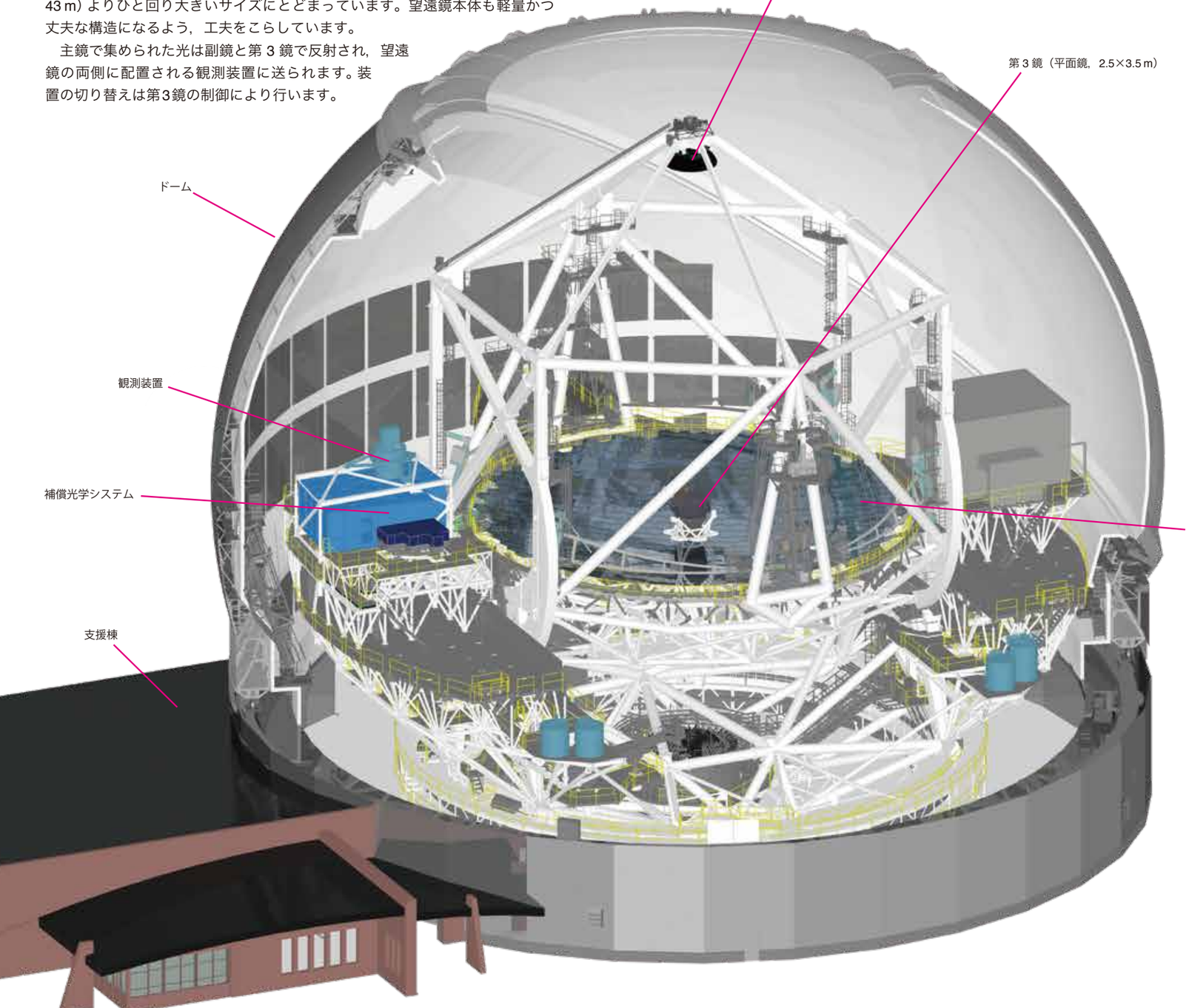
建設中の超大型望遠鏡 TMT の完成予想図。
後方 右に見えるのがすばる望遠鏡のドーム。

分割鏡方式の 30 m 望遠鏡

TMTの最大の特色は，口径30 mという，これまでの望遠鏡を大きく上回る巨大な主鏡にあります。すばる望遠鏡（口径 8.2 m）の主鏡は 1 枚の鏡ですが，TMT は多数の鏡を組み合わせて主鏡を構成する，分割鏡方式を採用しています。

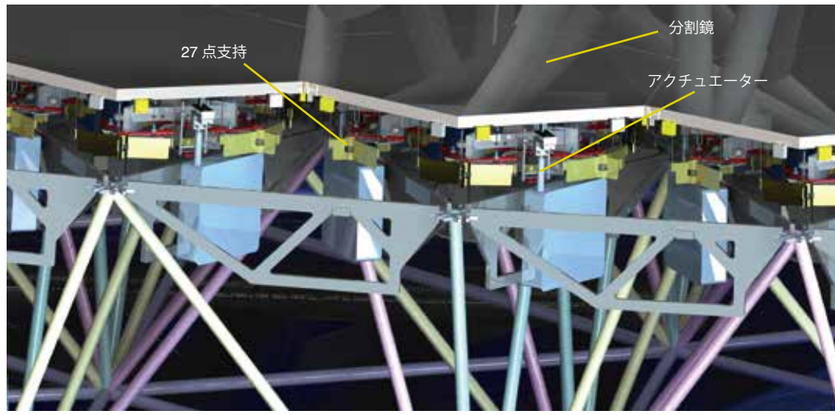
主鏡が大きくなるのにともなって，望遠鏡本体やドームも大型になりますが，これを最小限にとどめるために，主鏡の F 値（焦点距離 / 口径比）が非常に小さくなるよう設計しています。ドームの高さは 56 m ありますが，これはすばる望遠鏡のドーム（高さ 43 m）よりひと回り大きいサイズにとどまっています。望遠鏡本体も軽量かつ丈夫な構造になるよう，工夫をこらしています。

主鏡で集められた光は副鏡と第 3 鏡で反射され，望遠鏡の両側に配置される観測装置に送られます。装置の切り替えは第3鏡の制御により行います。



主鏡を構成する分割鏡は対角 1.44 m の六角形状で，これを 492 枚組み合わせます。鏡の厚さは 4.5 cm しかないので，全体としての重量を軽くすることができるのです。主鏡全体が放物面に近い双曲面になるように，それぞれの分割鏡の表面も非球面状に加工します。その精度は可視光の波長の数十分の 1，つまり 10 nm 程度にする必要があります。表面の形状が少しずつ異なる 82 種類の分割鏡を，交換用を含めて 7 枚ずつ製作します。鏡の表面は薄い金属膜でコートし，可視光から赤外線まで高い反射率をもたせます。望遠鏡運用時の分割鏡の洗浄や再コートは，交換用の鏡を利用して順次行います。

492 枚の分割鏡からなる，口径 30 m の主鏡
対角 1.44 m の分割鏡を，2.5 mm のすき間で敷き詰めています。



分割鏡の支持機構
27 点の上下方向の支持によって各分割鏡の形状を調整し，アクチュエーターによって分割鏡の相対的な位置を3点で能動的に制御します。

TMT の諸元

TMT は水平方向と高度方向に駆動する経緯台式望遠鏡で，主鏡・副鏡・第 3 鏡でつくられる焦点（ナスミス焦点）で観測を行います。観測装置は望遠鏡の両側（ナスミス台）に配置されます。ひとつひとつの観測装置も大型になるので，使用する装置の切り替えは装置を固定したまま，第 3 鏡の向きを変えることにより行います。観測可能な視野（15 分角）は，満月の視直径の約半分です。

光　学　系	リッチー・クレティエン式
焦　　点	変則ナスミス焦点
口　　径	30 メートル　492 枚の分割鏡
合成焦点距離	450 メートル
視　　野	15 分角
主　鏡　F　値	1
回　折　限　界	8 ミリ秒角（波長 1 μm）
観　測　波　長	0.31〜28 μm
望遠鏡の高さ	51 メートル

補償光学による驚異の解像度

TMT

望遠鏡の解像度は，口径が大きいほど高くなります。しかし地上望遠鏡による観測では，大気のゆらぎによる影響を受けてしまうため，星像が乱れてしまいます。

巨大な主鏡を活かして高解像度で観測を行うためには，大気による像の乱れを補正する補償光学の技術が不可欠です。赤外線による観測では，すばる望遠鏡でも補償光学はすでに実用化されていますが，口径の大きなTMTでこれを実現するには，従来にない高い技術が必要になります。

補償光学の技術を用いると，赤外線観測ではジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡の5倍，すばる望遠鏡の4倍程度の解像度が得られるようになります。解像度が高まると，天体観測を妨げる背景光(地球大気からの赤外線放射など)の影響を抑えることができるので，より暗い天体を観測することもできるようになります。

TMTの初期観測装置

近赤外線撮像分光装置（IRIS）

波長0.84〜2.4 μmの近赤外線の領域で補償光学により回折限界の解像度を実現し，撮像・分光観測を行う装置。遠方の宇宙から太陽系天体まで幅広い天文現象について，これまでにない精度のデータを提供します。恒星の近くの小さな系外惑星をみつけ，その分光観測により大気の成分の測定に挑みます。また非常に遠方の銀河の高感度分光観測により初代天体の正体に迫ります。

可視広視野多天体分光装置（WFOS）

1 μmまでの可視光の波長で，大望遠鏡としては広い視野（25平方分角）で多天体分光観測を行う装置。波長分解能は最大3500。遠方の暗い銀河を多数分光観測し，初期の銀河形成の全貌や暗黒物質の分布の解明に挑みます。

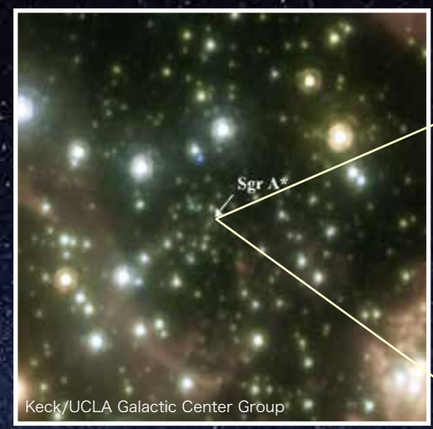
多目的回折限界近赤外高分散分光器（MODHIS）

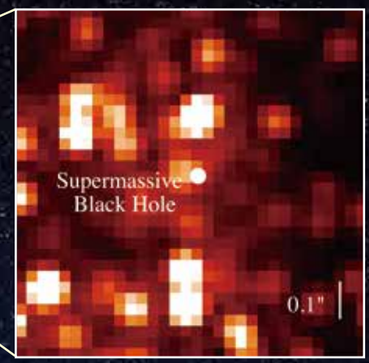
近赤外線波長域で、補償光学を利用して高波長分解能 (100,000 以上) の分光観測を高精度で行う装置。生命の兆候を示す地球型系外惑星の発見とその大気の観測に挑みます。

製作を予定している観測装置

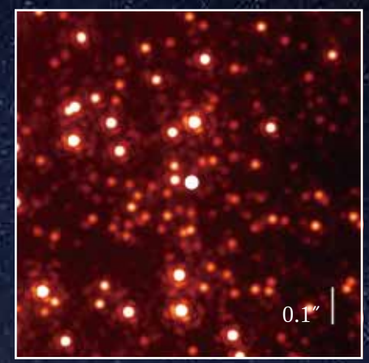
初期観測装置に続いて，多彩な観測を実現するための装置が順次製作される予定です。そのなかには，巨大な集光力を活かして可視光を波長によって細かく分けて測定する高分散分光器や，多くの天体を一度に高解像分光する装置，標高の高いハワイのマウナケア山頂域でないと観測できない中間赤外線（波長10 μm以上）の撮像・分光装置などがあります。また，地球型惑星の姿を直接撮像することをめざす装置も検討されています。

ケック望遠鏡による銀河系中心部の画像





ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡の解像度
（シミュレーション）



補償光学によりTMTで得られる画像。スケール（バーの長さ）は0.1秒角。（シミュレーション）
(© University of California, San Diego/IRIS)

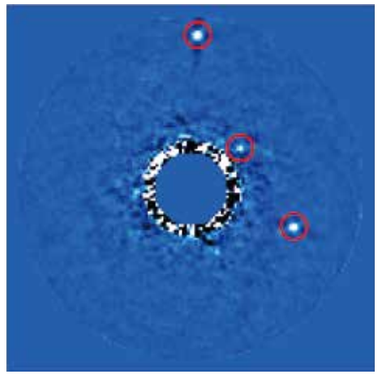
レーザーガイド星を用いた補償光学観測（想像図）
補償光学を利用するには，大気による光の波面の乱れを測定するためのガイド星（参照星）が不可欠ですが，観測を行う天域に明るい星があるとはかぎりません。そこで望遠鏡からレーザーを照射して大気中のナトリウム層を光らせ，人工のガイド星をつくり出すのです。

TMT による新時代の天文学

太陽系外惑星に生命を探る

太陽以外の星のまわりの惑星系が次々と発見され，さまざまな大きさや軌道をもつ惑星が存在することがわかってきました。最近では地球と同じくらいの大きさの惑星も見つかり，太陽系に似た惑星系も存在することがわかってきています。赤外線観測では実際に，惑星の姿さえとらえられるようになってきています。

こうした太陽系外惑星のなかに，生命が存在しているものがあるのでしょうか？　これは人類共通の大きな疑問です。TMT は 2 つの観測方法で，惑星に生命の兆候を探す観測に挑みます。



すばる望遠鏡でとらえられた，HR8799 星のまわりの3つの木星型惑星（赤色の丸）。TMTではもっとずっと小さな，地球型惑星を直接とらえることをめざしています。（画像 © プリンストン大学カリス・チーム，国立天文台）

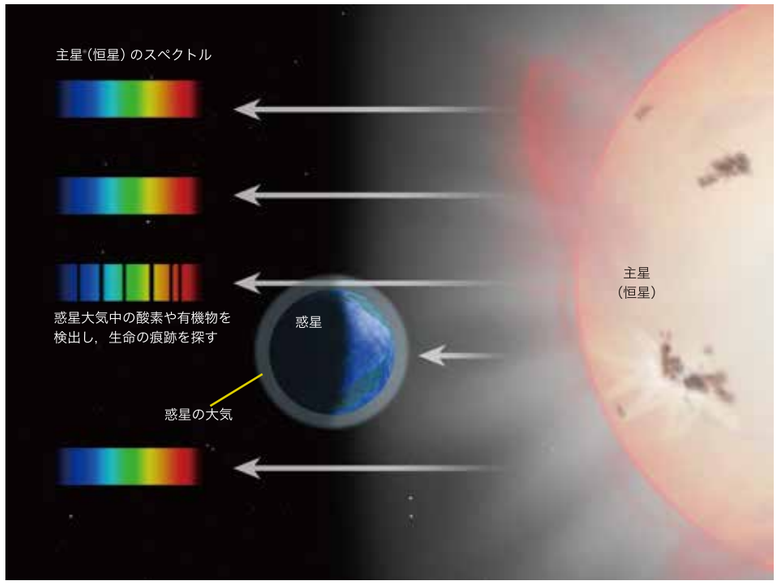
惑星の反射光を調べる

惑星の姿を直接とらえる観測が難しいのは，明るい主星（恒星）に比べて非常に暗いからです。太陽系を外から見たときに，地球の姿をとらえるのはとても難しいことです。これに対して，軽い恒星は太陽よりもずっと暗いため，惑星を検出するチャンスがひろがります。

TMTは，重さが太陽の数分の 1 ほどの星をめぐる地球型惑星の光（赤外線）を，直接とらえる観測に挑みます。惑星の光を分析して大気の組成を調べ，生命が存在する可能性を探ります。

惑星大気の透過光を調べる

私たちからみたとき，惑星がちょうど主星の前を横切るような軌道をもっている場合には，星の光の一部が惑星のもつ大気を透過してくることになります。この透過光を分析して大気の組成を調べ，酸素分子や有機物のような生命に関連した物質の存在を探ることができます。この場合，惑星の大気を透過してくる光だけを取り出すことはできないので，図のように星の光全体を非常に高い精度で測定する必要があります。



系外惑星に生命に関連する物質を探す
TMT では系外惑星の大気を分光観測することにより，その成分を調べることができます。酸素分子や有機物が見つかれば，生命が存在する可能性が高まります。

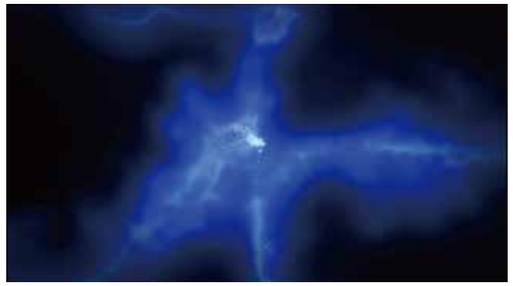
21 世紀は太陽系外惑星に生命を探る時代です。TMT はその先駆けとして，生命が存在することのできる地球型惑星の姿を実際にとらえ，そこに生命の兆候を探るという，野心的な観測を現実のものとしてくれます。

田村　元秀（東京大学教授）

宇宙で最初の星と銀河に迫る

現在の宇宙では，銀河は群れをなし，「宇宙の大規模構造」とよばれる分布を示すことがわかっています。銀河やそれがおりなす大規模構造は，宇宙が誕生したときの物質密度の濃淡が種となって形づくられたと考えられるようになってきました。天文学者たちはいま，その間の歴史の全貌を描き出し，観測で検証しようとしています。

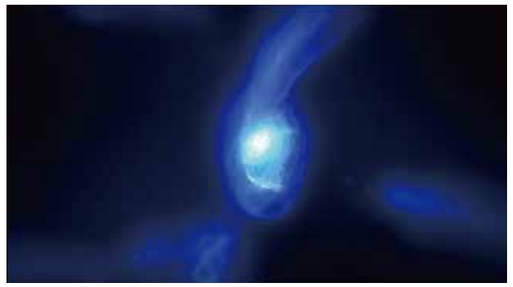
その鍵となるのが，宇宙で最初の星と銀河がいつ，どのように誕生したのかを明らかにすることです。すばる望遠鏡は，130億光年の彼方にある銀河を多数発見し，アルマ望遠鏡はさらに 3 億光年遠い銀河の発見に成功しています。これは，宇宙誕生から約 5 億年の時点の銀河からの光をとらえたことになります。TMTではさらに遠方の，宇宙で最初に輝いた星々を含む銀河をとらえ，そのなかでどのような星が形成されているのか解き明かすことをめざします。

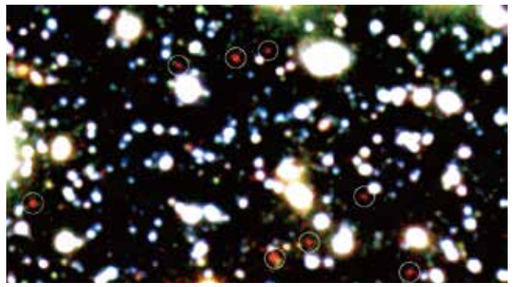


宇宙で最初の星の誕生（シミュレーション）© ALMA(ESO/NAOJ/NRAO)

1）宇宙誕生から約 40 万年以降
宇宙誕生から40万年後に，宇宙空間の水素がイオン化状態から中性の状態になり，それまで自由電子にじゃまされていた光がまっすぐに進むことができるようになります。これを宇宙の晴れ上がりといいます。その後，物質密度の高いところで水素・ヘリウムガスの集積が始まります。

2）2−3 億年後（赤方偏移〜 15）
ガスが集積し、水素･ヘリウムのみでできた「最初の星」が誕生。TMT によって，このような宇宙最初期の星形成を調べることが可能になります。大質量星は数百万年で爆発し，酸素や鉄などの元素をまき散らします。





（画像 © すばる望遠鏡）

3）　5−6 億年後 (赤方偏移〜 10)
星の集団である銀河が誕生。アルマ望遠鏡では，この時期の銀河から酸素を捉えることに成功しました。

7−8 億年後 (赤方偏移〜 7)
多数の銀河が誕生。宇宙の再電離が進行します。この時代の銀河は，すばる望遠鏡で多数発見されています。

すばる望遠鏡によって，宇宙の歴史のなかで銀河や銀河団などの構造がどのように成長してきたのか，その全貌を描き出す研究が大きく進展しました。TMT 計画では，すばる望遠鏡がかいまみた銀河宇宙の夜明け，すなわち「宇宙銀河史」の最初の1ページである構造形成の最初期に迫ったり，130 億年の歴史のなかで私たちの住む天の川のような銀河が誕生し，成長する現場を詳細にとらえたりすることも可能になります。

山田　亨（JAXA 宇宙科学研究所教授）

マウナケアと TMT

太平洋の海底からゆるやかな傾斜で標高 4000mもの高さに達するマウナケアは，世界で最も天体観測に適した場所のひとつです。山頂域では，高い晴天率，暗い夜空，低温で乾燥した空気など，最高の観測に必要な条件がそろっています。特に，TMT にとって鍵となる補償光学による観測のためには上空大気が安定していることが重要であり，この面でマウナケアはとりわけ優れています。

一方，マウナケアは，ハワイ先住民にとって，祖先や神々とのつながりを感じる神聖な場所であり，自然の中に息づくハワイ文化を象徴する場所でもあります。

ハワイ先住民の伝承によると，天の神ワーケアと大地の神パパが最初にハワイ島を生み，その後で彼らの祖先となる最初の人間を生んだといいます。マウナケアは Mauna a Wākea (ワーケアの山) とも呼ばれ，ハワイ島とワーケアをつなぐへその緒だと考えられています。つまり，先住民の人たちにとって，マウナケアは神々や祖先との結びつきを象徴する場所なのです。

マウナケアの高山地帯は, 伝統的に, 神々と精霊の領域 (ワオ･アクア) とされています。山頂域の噴石丘 (プウ) には，クーカハウウラ，ポリアフ，ワイアウ，リリノエなど，ハワイ先住民の祖先である神々の名前がつけられています。

TMT 計画では，ハワイの文化を尊重し，真に地域社会に根ざした天文台を目指して，地元の方々の意見を傾聴する対話を重視しています。コミュニティの一員として，地元の教育機関等と連携した学習支援・人材育成，文化交流，環境保護・保全を軸にした活動に取り組んでいます。

マウナケア山頂域は，年間降水量が 250mm 以下の高山砂漠帯で，一見，生物などいないように見えますが，苔，地衣類, 藻類, また, ヴェーキウ･バグなどの低温適応性のある無脊椎動物が 40 種類以上生息しています。(左画像：ヴェーキウ･バグ © Jesse Eiben, University of Hawai'i，右画像：地衣類 © C.W.Smith, University of Hawai'i)

マウナケアでの環境活動

マウナケア山頂域はハワイ州によって科学地区とされています。マウナケアの文化的資源や天然資源の保全のために 2009 年に策定された『包括的管理計画』では，動植物や遺跡の存在，水質や景観への影響など，望遠鏡建設が環境へ及ぼす影響が多角的に評価されました。その結果，景観への影響が比較的小さく，希少で絶滅の危機に瀕した動植物や，考古学上の遺跡や埋葬地へのリスクがないとして，TMT の建設場所は選ばれました。TMT建設地はマウナケア山頂より下の溶岩面にあり，クーカハウウラ山頂やワイアウ湖，プウ・リリノエといった文化的に特に配慮を必要とする場所からは見えない位置にあります。また，TMT 計画では，廃棄物を残さない，全ての職員と関連業者にマウナケア文化・天然資源についての研修を義務づけるなどの取り組みを行います。

TMTは，マウナケアの貴重な資源を守りながら，継続的に観測を行うことができるような天文台となることを目指しています。

TMT はすばる望遠鏡から 1 km ほど離れた場所（標高 4012 m）に建設される予定です。

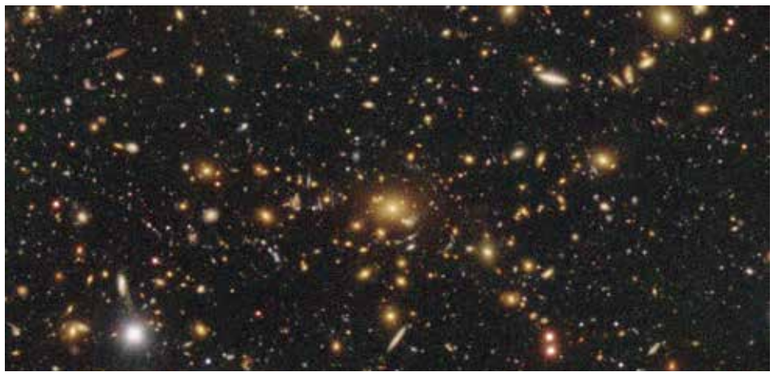
2019年４月に画像が公開されたブラックホールが Pōwehi とハワイ語で命名されたように，古より息づくハワイの文化と天文学のつながりが改めて注目されています。イミロア天文学センターは，天文学の進展に取り組むあらゆる機関と連携して，文化的視点と天文学が融合した教育プログラムを地域の人々に提供していきたいと思います。

Ka'iu Kimura（イミロア天文学センター所長）

すばる望遠鏡やアルマとの連携

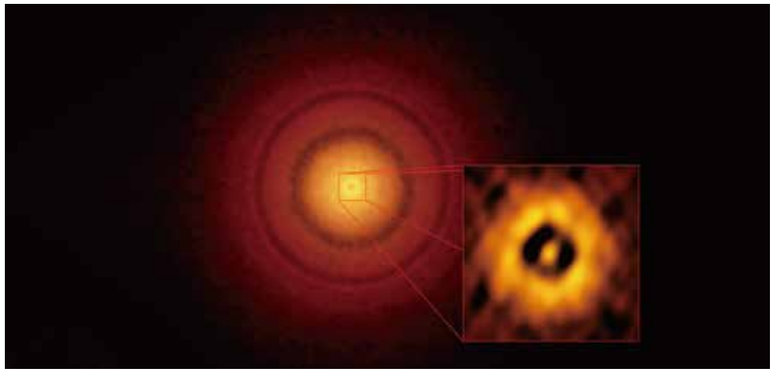
国立天文台のすばる望遠鏡はこれまで，大型望遠鏡のなかでは抜群に広い視野を活かした観測で活躍してきました。これを可能にしたのが，超広視野主焦点カメラ（Hyper Suprime-Cam, HSC）です。さらに，2400 個もの天体を同時に分光観測できる主焦点超広視野分光器（Prime Focus Spectrograph，PFS）の開発が進んでいます。これらの装置により，すばる望遠鏡は世界第一線の望遠鏡であり続けるでしょう。

TMT が観測を開始すれば，たとえばすばる望遠鏡による広域探査で最遠方銀河の候補天体を見つけて，TMT でその性質をくわしく調べるといった研究も可能になります。日本は TMT とすばる望遠鏡との連携で，世界の天文学をリードしていきます。



HSC による深宇宙探査観測画像の一部。これらの撮像データから史上最高の広さと解像度を持つダークマターの「地図」が作成されつつあります。

国立天文台はチリのアタカマ高地にある世界最大級の電波望遠鏡群，アルマ（ALMA）の建設や運用にも参加し，重要な役割を果たしてきました。2011 年に科学的な観測が始まって以来，アルマは画期的な成果を次々とあげています。とりわけ太陽系外の惑星系に関連する観測では，生まれたての星のまわりに形成されることが予想されていたちりの円盤を見事にとらえることができました。TMT は波長の短い赤外線でアルマと同等の解像度で観測することを可能にします。これにより誕生後の惑星の姿をとらえることを目指します。



アルマがとらえた うみへび座 TW 星のちりの円盤
年齢およそ 1000 万歳の若い星，うみへび座 TW 星の周りに，ちりの細い環が同心円状にいく重にも並んでいるのがはっきりと見えています。2 本の暗いすき間は，中心星からの距離が、それぞれ天王星軌道（20 天文単位）と冥王星軌道（40 天文単位）とほぼ同じです。中心星の近くを拡大してみると，地球軌道と同程度，1 天文単位の半径を持つ隙間も見つかりました。これらのすき間では，惑星が形成されているのではないかと考えられています。TMT が見ようとしているのは，こうして生まれてきた惑星の姿です。
© ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

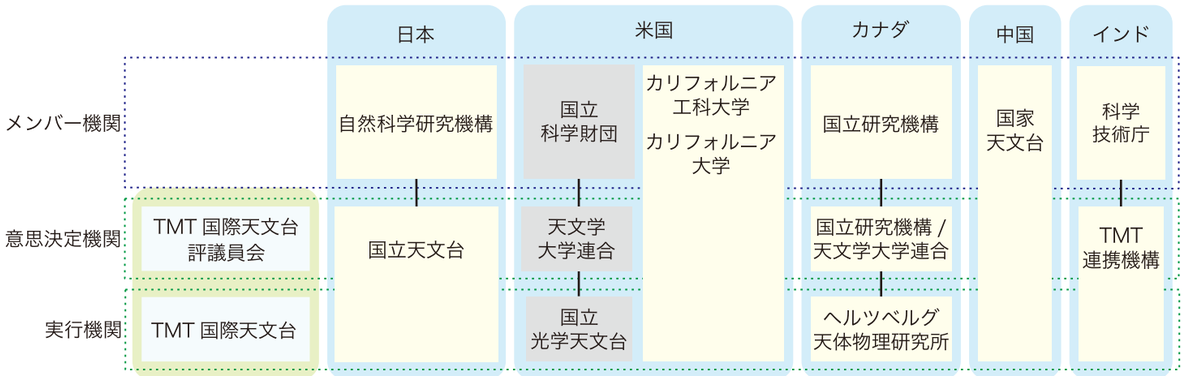
すばる望遠鏡ではこれから, HSC と新しい主焦点分光器（PFS）を使って宇宙の国勢調査を行い，進化の歴史と運命を明らかにしたいと思っています。そこで見つかってくる天体をさらにくわしく調べるのに，TMT はぴったりです。すばると TMT の連携の実現に期待します。

村山　斉（東京大学 教授）

国際協力によるプロジェクト

5 か国の共同プロジェクト

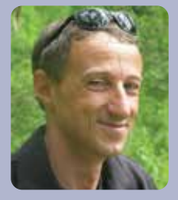
TMT 計画には日本，米国，カナダ，中国，インドの 5 か国が参加しています。2014 年に建設を担う TMT 国際天文台（TIO）が設立され，本格的な建設が始まりました。参加国・機関が分担して望遠鏡の製作にあたる他，科学目標の検討や次世代の教育・人材育成についても国際協力で進められています。



TMT プロジェクトの組織図。建設は TMT 国際天文台（TIO）の統括のもとで，各メンバーが分担して行います。日本からは自然科学機構がメンバーとして参加しています。プロジェクトの方針は，意思決定機関で構成される TIO 評議員会によって決められます。

第二期観測装置である MICHI（中間赤外観測装置）共同研究のためのミーティング。第二期観測装置は，TIO パートナー国の研究者と TMT の国際科学検討チームからの科学目標の要求を取り入れつつ，検討が進んでいます。MICHI の検討は日米を中心として，インド，カナダ，中国などの研究者と進められています。

TMTの将来を担う若手研究者・技術者向けの国際研修会。TMT での研究や開発に参加するために有用な専門知識を得るだけでなく，多様な文化的背景を持つ人々が協力して一つの巨大望遠鏡計画を成功させるためには何が必要なのかということについて，参加者それぞれが考え実践する機会となっています。（画像 © ISEE）



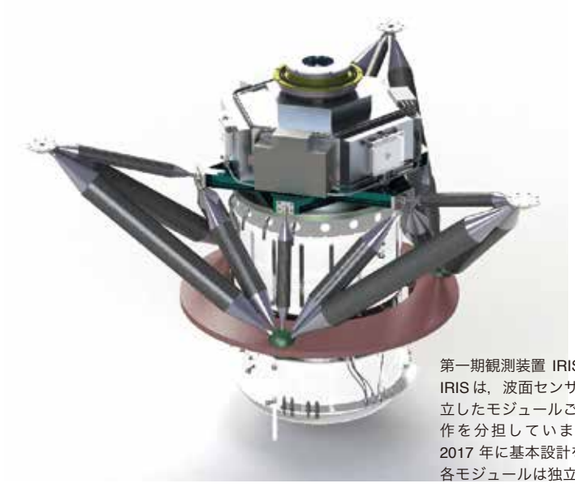
TMT の国際科学検討チームは，多くの天文学研究者が TMT の未来を一緒に考えるために設立されました。TMT では現状の望遠鏡が成し遂げられないことが可能になります。TMT は天文学に革命を起こすと期待しています。

Mark Dickinson（NSF 国立光赤外線天文学研究所）

日本で進む製作

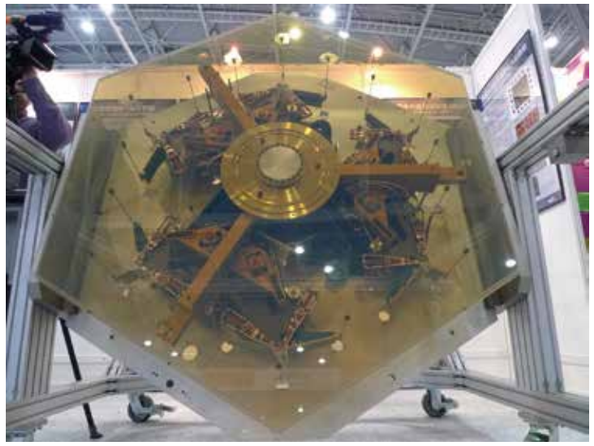
日本の役割分担

日本は，TMT 建設経費の約 5 分の 1 を分担することを予定し，国立天文台が計画を推進しています。国立天文台では，望遠鏡本体構造の設計と製作，主鏡用鏡材すべて（交換用と合わせて分割鏡 574 枚分）の製作と，その一部（175 枚）の研磨という望遠鏡建設の重要な部分を担うほか，第一期観測装置の一部の製作を担当しています。また国内外の大学・研究機関と協力して，第二期観測装置の検討も進めています。

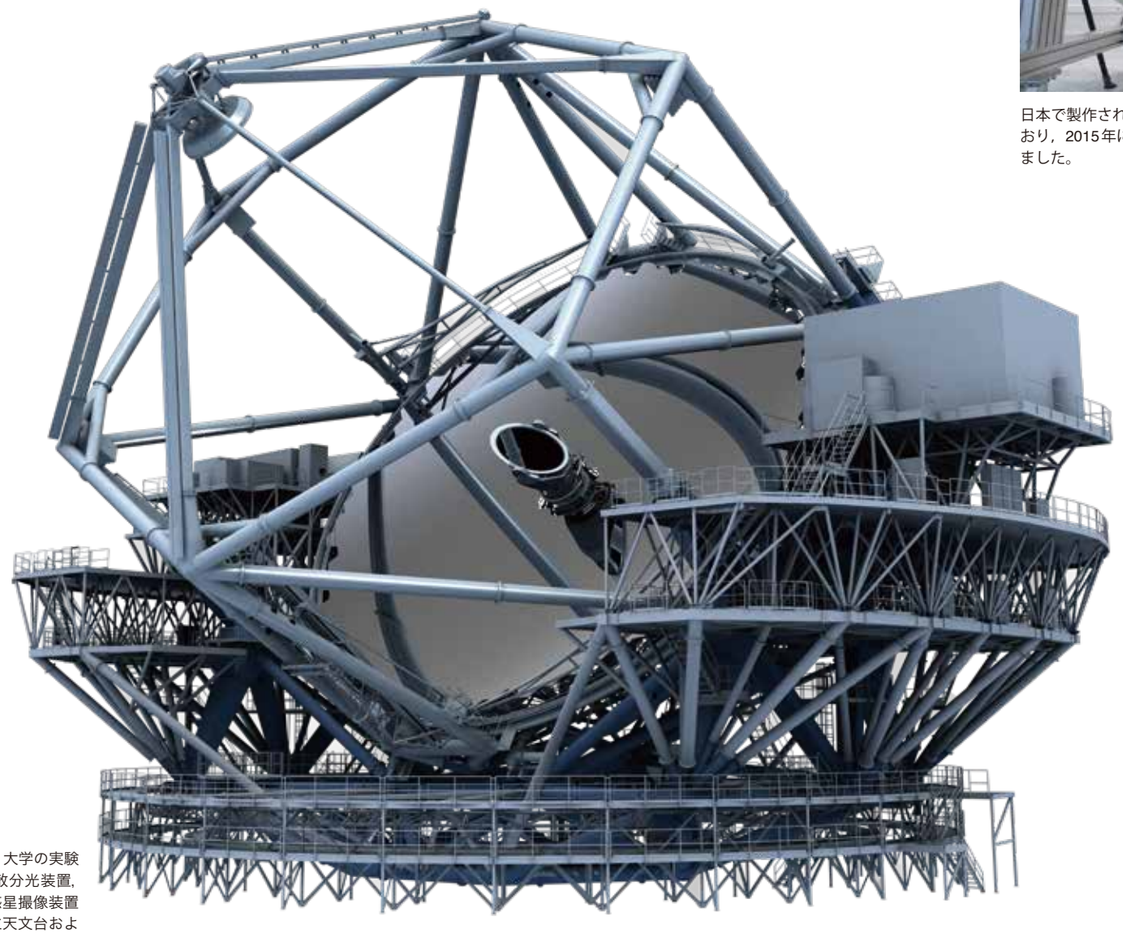


第一期観測装置 IRIS（近赤外線撮像分光装置）の構成。IRIS は，波面センサー部，撮像部，面分光部という独立したモジュールごとにカナダ，日本，アメリカが製作を分担しています。日本が担当する撮像部分は 2017 年に基本設計を終え，詳細設計が進んでいます。各モジュールは独立に製作，組み上げ，性能評価が行われた後，撮像部と面分光部の統合試験，補償光学系との統合試験を経て，ハワイへ移送される予定です。

量産が進んでいる主鏡用鏡材。夜間の温度変化によって鏡が伸び縮みしないよう，鏡の材料には，熱膨張率ゼロの特殊なガラスセラミックスを用います。国外で研磨する分については，球面研削を終えた段階で，米国，中国，インドへ輸送されます。（画像 © NAOJ/OHARA）

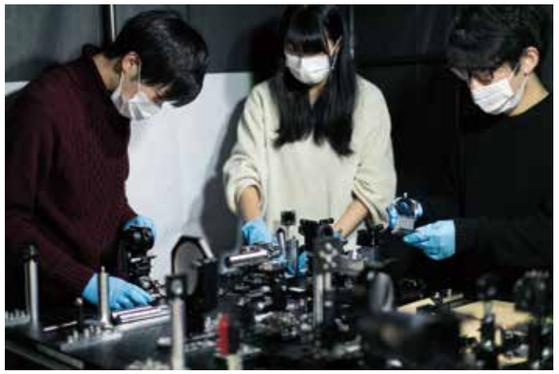


日本で製作された主鏡分割鏡の試作品。日本では 2013 年から主鏡材の量産を行っており，2015年には他の TMT パートナー国・機関に先立って主鏡研磨の量産を開始しました。



詳細設計が完了した，望遠鏡本体構造（CG）。日本はすばる望遠鏡を製作した実績が評価され，TMT でも望遠鏡本体とそれに付帯する設備の設計と製作を担当しています。TMT をすばる望遠鏡と比べると，口径は約 4 倍で，そのまま拡大すると体積・重量は 50 倍にもなりますが，軽量化の工夫により，望遠鏡本体の重さは 5 倍程度に抑えられています。大きな主鏡によって空間分解能が高くなる分，望遠鏡の追尾と指向にはすばる望遠鏡よりも高い精度が要求されます。

分割鏡交換ロボットの試作品。TMT の主鏡の反射率を最高の状態に維持するため，一日に 10 枚もの分割鏡を再メッキした予備の分割鏡と交換する必要があります。すばやく正確に，安全に鏡を交換するため，分割鏡交換ロボットが，望遠鏡本体構造の付帯設備として考案されました。（画像 © 三菱電機株式会社）



TMT 第二期観測装置の開発研究を進める，大学の実験室。第二期観測装置の候補である，高分散分光装置，広視野補償光学，中間赤外線装置，系外惑星撮像装置などの検討と開発研究は，国内では，国立天文台および大学・研究機関の研究者が協力して進めています。国内研究者の科学目標や装置仕様についての要求は，国立天文台の科学諮問委員会が中心となってとりまとめています。（画像提供：東北大学理学部・理学研究科 Photo: 志鎌康平）

TMT の第２世代の装置として実現することを目指し，多数の天体を詳細に同時に調べることが出来る補償光学の実験を進めています。この装置を用いて，宇宙初期の銀河の中で何が起こったのかを捉え，今の銀河の姿にどのようにしてたどり着いたのかを解明したいと考えています。

秋山　正幸（東北大学 教授 /TIO 科学諮問委員会委員長）

TMT には、数多くの難しい技術的課題がありますが、それを克服するために、日本で TMT に携わる人々が持つ優れた技術が生かされています。多領域にわたる知を結集して、一つ一つ課題に取り組み、完成に向け確実に前進しています。様々な技術を駆使し実現する最先端の望遠鏡 TMT によって得られる素晴らしい科学の成果に期待してください。

臼田　知史（国立天文台 TMT プロジェクト長）