

## 参考資料

**資料 1** : 「地上 30m 級光学赤外線望遠鏡計画の推進について」

光赤外天文連絡会委員長から国立天文台長への声明 (2006 年 11 月)

**資料 2** : 「ELT 推進に関する光赤外専門委員会からの提言」

光赤外専門委員長から国立天文台長への提言 (2008 年 3 月 11 日)

**資料 3** : Agreement between TMT and NAOJ (2008 年 11 月)

**資料 4** : 「天文学・宇宙物理学の展望と長期計画」

日本学術会議物理学委員会 天文学/宇宙物理学分科会 科学における大型計画のマスタープラン  
(2010 年 3 月)

**資料 5** : TMT LOI (Global partnership concerning the thirty meter telescope observatory)

観山台長等五者署名 (2011 年 9 月 28 日)

**資料 6** : 「30m 光赤外線望遠鏡 (TMT) 計画」

科学技術・学術審議会 学術分科会研究環境基盤部会

学術の大型プロジェクトに関する作業部会 (2011 年 11 月 4 日)

**資料 7** : Letter of Collaboration 協力意向表明書林台長署名 (2012 年 4 月 6 日)

国立天文台・台長様

国立天文台・光赤外専門委員会・委員長様

## 地上 30m 級光学赤外線望遠鏡計画の推進について

2006年11月

光学赤外線天文連絡会

### 1. はじめに

可視赤外線波長域は、恒星からの放射のピークに当たり、多くの原子・分子遷移線が存在するなど、宇宙を理解するための基本的な波長域となっている。地上の大型観測機器は、この重要な波長域で精密な観測を実施するために必須である。事実、すばる望遠鏡に代表される 8-10m 級の大型光学赤外線望遠鏡の登場は、天文学のあらゆる分野に大きなインパクトを与え、人類の宇宙に対する理解を飛躍的に高めた。日本の光学赤外線天文学の研究コミュニティの連絡組織である光学赤外線天文連絡会（以下、光赤天連）は、2005 年に「2010 年代の光赤外天文学」と題する報告書をまとめ、地上からの観測とスペースからの観測という両者を視野に入れたわが国の光学赤外線天文学の総合的な将来計画案を提示した。ここでは、すばる望遠鏡に続く地上 30m 級光学赤外線望遠鏡の実現に関して、国立天文台に対し、その積極的な推進と実行体制の整備を要望するものである。

以下、2.、3. で背景説明をし、4. に具体的な要望を示すこととする。

### 2. 光赤外天文学将来計画の検討経緯

口径8-10m級の地上光学赤外線望遠鏡の登場により、光学赤外線天文学は大きく進展した。宇宙初期の銀河から太陽系内天体に至るまで、口径4-5m級の地上光学赤外線望遠鏡では見ることができなかった宇宙の姿を捉えることが可能となり、人類の知のフロンティアは画期的に前進した。このような状況の中、わが国のすばる望遠鏡が比類なき性能を発揮し、多くの研究分野できわめて優れた研究成果をあげ、国際的に高い評価を得るに至ったことは周知の事実である。

一方、スペース望遠鏡に目を転ずると、日本初の本格的赤外線天文衛星「あかり」が2006年2月に打ち上げられ、順調に観測を開始している。「あかり」は、IRASを超える第2世代の赤外線全天サーベイを行い、新たな宇宙の姿を明らかにすることが期待されている。

上記に代表されるような現在の優れた観測装置群は、今まで想像さえされていなかったような新たな宇宙像を明らかにしている。例えば、ダークエネルギーが宇宙のエネルギーの大半を占めるといふ発見は、宇宙の本質に対する人類の理解に大きなインパクトを与えた。また、太陽系外惑星やその母体となる原始惑星系円盤の多様な姿を明らかにしたことは、惑星系形成への理解を飛躍的に進め、宇宙における生命の起源について探る道を開いたと言えよう。これらの発見は、すばる望遠

鏡計画や「あかり」が立案された当時には思いもしなかったような知見であり、人類の宇宙に対する認識を根本的に変えつつある。

これらの新しい発見は、現在の最先端の観測機器の性能をフルに用いて行われたものだが、さらにその本質（ダークエネルギーの詳細や起源、また系外惑星の性質を探る詳細観測など）に迫ることは現在の観測機器では不可能であり、今後の大きな課題として残されている。次世代のより高精度な観測機器によってしか、これらの重要課題の本格的解明はなしえない。

幸いにして、わが国においては、すばる望遠鏡が優れた成果を出し、また「あかり」が観測を始めたことにより、活発な光学赤外線研究コミュニティが育ってきた。この活発な研究活動と、今までの優れた成果とに基づき、わが国の光学赤外線天文学の長期にわたる将来計画が、具体的に検討されつつある。

ますます大型化する観測装置を必要とする光学赤外線天文学研究においては、日本の独自性を活かしながら、長期的かつ国際的な視点から戦略的に研究を進めていくことが重要である。そのため、多くの研究者が共同し、長期的な視点から将来計画ロードマップを検討していく必要がある。この認識に基づいて、光赤天連は、すばる望遠鏡や「あかり」に続く次世代の光赤外天文学観測計画の検討を行い、「2010年代の光赤外天文学」と題する報告書として発表した。

上記報告書では、地上望遠鏡とスペース望遠鏡の両者を提案している。地上望遠鏡には、スペースでは実現できないような超大型で複雑かつ高精度なシステムを比較的安価・安定に構築することができ、さらに随時、修理・性能向上がはかれるなどの利点がある。一方、スペースからの天体観測には、地球大気という制約を逃れ、地上からでは手が届かない波長域も含めて、あらゆる波長での観測が可能となるという利点がある。このように、両者の役割は相補的であり、光学赤外線天文学の健全な発展のためには、どちらか片方ではなく、両者の連携が欠かせない。

### 3. 光学赤外線天文学のロードマップ

ここで、報告書「2010年代の光赤外天文学」において提示された光学赤外線天文学の将来計画ロードマップの概要を、再度提示しておく。

- ① これからのわが国の光学赤外線天文学のロードマップとして、地上30m級光学赤外線望遠鏡と3m級スペース赤外線望遠鏡(SPICA)を次世代の基幹観測機器として捉え、それらを順次実現していくことを提言する。これらの観測機器には、今後10年以内に稼動が予定されているALMAやJWSTなどの先端的な他の観測機器との強い連携が要求されている。このような連携により、より広い波長域にわたって宇宙を探索することが可能となり、宇宙への理解が飛躍的に高まるからである。したがって、ここで提言する2つの基幹観測機器は、こうした他の観測機器の稼動とできる限り近い時期に建設されることが強く望まれる。
- ② 基幹観測機器の一つとして提案している地上30m級光学赤外線望遠鏡は、すばる望遠鏡の成果を継ぐものとして、その圧倒的な集光力により、天文学のあらゆる分野において画期的な成果をもたらすことが期待される。このため、次世代の補償光学装置(Adaptive Optics)、分割鏡製作・

合成技術など、この実現の鍵を握る技術について着実な開発が進められることが期待される。また、本計画の実現にあたっては、国際協力を視野にいれながら、さまざまな可能性を探っていく必要がある。

- ③ もう一つの基幹観測機器として提案しているスペース赤外線望遠鏡 SPICA (Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics)は、日本で開発された機械式冷凍機や軽量望遠鏡という独自技術を活かして、口径3.5mの冷却望遠鏡を宇宙で実現し、中間・遠赤外線領域において画期的な高性能を達成しようとするユニークな計画である。日米欧の国際協力でチリに建設中のALMA と、上述の地上30m級望遠鏡との間の波長ギャップを埋めるものでもある。SPICAの実現のために、冷凍機などの鍵となる技術開発が着実に進められ、さらに国際協力が有機的に推進されることが期待される。
- ④ これらの基幹観測機器に加え、さらに将来のスペースからの天文学計画として、JASMINE (Japan Astrometry Satellite for Infrared Exploration) 計画とJTPF (Japanese Terrestrial Planet Finder Project) 計画が検討されている。それぞれ②、③の基幹観測機器でカバーしきれない領域を探索するためのユニークな計画であり、②、③の基幹観測機器に続いて遅滞無く実現されるべきものであると考える。

#### 4. 超大型光学赤外線望遠鏡（ポストすばる望遠鏡）推進についての要望

光赤天連は、上に述べたロードマップの実現を関係各所に訴えるものである。その活動の一環として、ここでは、特に地上30m級望遠鏡の実現に必要な推進・実行体制に関して、以下の要望を提示する。国立天文台には、以下の要望を十分ご検討いただき、その実現を目指していただくよう、光赤天連として強く求めるものである。

- ① 地上30m級光学赤外線望遠鏡には、今後10年以内に稼動が予定されているALMAやJWSTなどの先端的な観測施設との強い連携が要求されていることは論を待たない。他波長やスペースの観測と連携することで、広い波長域、広いダイナミックレンジにわたって宇宙を探索することが可能となり、宇宙への理解が飛躍的に高まるからである。したがって、地上超大型光学赤外線望遠鏡は、こうした観測施設の稼動とできるだけ近い時期に建設されることが強く望まれる。この種の大型施設建設には、設計も含め10年以上の時間がかかるので、できるだけ早急に推進体制を整え、具体化を図っていただきたい。
- ② 現在、海外では、TMT (Thirty Meters Telescope) 、GMT (Giant Magellan Telescope) 、E-ELT (European Extremely Large Telescope) などの口径25-40mの地上超大型光学赤外線望遠鏡が計画されている。特にTMTは、既に調査費を確保して詳細設計に入っており、本予算の目処がつき次第、建設開始となる。時間的・予算的制約が厳しいなか、こうした計画へ参画する可能性も含め、国際協力による計画推進を具体的に検討していただきたい。

- ③ こうした巨大計画の実行にあたっては、計画を中心となって進める大学共同利用機関と、それを支える全国の大学等の研究者との密接な協力が必要である。そのために、大学共同利用機関と大学との関係をより太くし、適切な役割分担を通じて大学の基盤強化にも資する体制を整備していただきたい。
- ④ 本ロードマップにより提案されている大型計画は、天文学研究の最前線を正面から進めていくものであり、極めて重要な計画である。一方において、大型計画だけに頼ることは学問の健全な進歩を妨げるものである。大型計画と同時に特色ある中小型計画を組み合わせることにより、長期計画に戦略性と柔軟性の両者をもたせていくことが、学問の発展のうえでも、人材育成のうえでも、重要である。こうしたことにも十分配慮していただきたい。

我が国の光赤外天文学における世界的競争力を維持・強化するためには、地上30m級光学赤外線望遠鏡計画の推進は必須であり、それが天文学の発展のみならず、人類全体の知的進歩にも大きく寄与すると信ずる。しかし、我が国ではその実現へ向けた準備が始められているが、組織的な行動に未だ取りかかることができている。海外では具体的動きがかなり進んでおり、このままでは来るべき30m級望遠鏡時代に、日本がすばる望遠鏡により獲得した現有のアドバンテージを失い、最前線から取り残される危惧すらある。地上30m級光学赤外線望遠鏡計画の推進体制について、国際協力も視野に入れて早急に検討し、建設に向けての具体的行動が一刻も早く開始されることを、光赤外天文学コミュニティとして強く希望する。

国立天文台台長 観山正見殿

## ELT 推進に関する光赤外専門委員会からの提言

2008 年 3 月 11 日

光赤外専門委員会委員長 小林行泰

光赤外専門委員会では、第 7 回（2006 年 11 月 22 日）と第 8 回（2007 年 3 月 20 日）の二回を中心に、光赤外分野の地上大型望遠鏡に関する将来計画について議論をおこなった。その結果を受けて、日本の ELT 構想実現に向けて以下のような提言をまとめた。

国立天文台は、すばる望遠鏡を軸に培った観測天文学を更に発展させるために、30m 級の地上大型望遠鏡の建設を是非とも図るべきである。具体的には TMT (Thirty Meter Telescope) 計画に参加して、すばる望遠鏡との連携を計りながらマウナケア山頂に早期建設を目指すことが最も望ましく現実的である。この構想を国立天文台の ALMA 計画に続く次期大型計画と正式に位置づけ、以下の 3 つの内容について具体化を図ることを勧告・要望する。

- (1) 国立天文台長は、上記の内容をもとに TMT 計画への参画の意向を示した TMT 側と覚え書きを早急に締結し、TMT 計画におけるカルテク、カリフォルニア大学連合、カナダ大学連合と対等な立場を早急に構築する。
- (2) 国立天文台は、ELT プロジェクト室と密接な連携のもとに、TMT 計画における日本の役割分担内容を具体的し、人員体制、開発・建設項目、年次予算計画案を 2008 年度後期までに作成し、計画推進のための対外行動を本格的に開始する。
- (3) 国立天文台は、TMT 計画への参加を全国の大学等との適切な役割分担で実現するため、必要な検討ワーキンググループ等を設置し、また、観測装置開発等に向けて重要な R&D を早急に開始できるように枠組みを構築する。

次期地上超大型望遠鏡計画の国際協力への取り組みは、その予算面、手続き面、スケジュール面など流動的な展開が予測される。またスペース天文計画への国立天文台の取り組みとの両立が必要であり、大学共同利用機関として、全国の関連研究機関・大学と十二分な検討を経て、計画早期実現に向けて積極的に推進していただきたい。

参考文献：

(1) 光赤外専門委員会議事録

[http://www.naoj.org/Science/SACM/j\\_index.html](http://www.naoj.org/Science/SACM/j_index.html)

(2) 光天連提言書（2006年11月）の一部抜粋：

[http://home.hiroshima-u.ac.jp/hasc/koutenren/seimei\\_20061117.pdf](http://home.hiroshima-u.ac.jp/hasc/koutenren/seimei_20061117.pdf)

#### 4. 超大型光学赤外線望遠鏡（ポストすばる望遠鏡）推進についての要望

光赤天連は、上に述べたロードマップの実現を関係各所に訴えるものである。その活動の一環として、ここでは、特に地上30m級望遠鏡の実現に必要な推進・実行体制に関して、以下の要望を提示する。国立天文台には、以下の要望を十分ご検討いただき、その実現を目指していただくよう、光赤天連として強く求めるものである。

(1) 地上30m級光学赤外線望遠鏡には、今後10年以内に稼働が予定されているALMAやJWSTなどの先端的な観測施設との強い連携が要求されていることは論を待たない。他波長やスペースの観測と連携することで、広い波長域、広いダイナミックレンジにわたって宇宙を探索することが可能となり、宇宙への理解が飛躍的に高まるからである。したがって、地上超大型光学赤外線望遠鏡は、こうした観測施設の稼働とできるだけ近い時期に建設されることが強く望まれる。この種の大型施設建設には、設計も含め10年以上の時間がかかるので、できるだけ早急に推進体制を整え、具体化を図っていただきたい。

(2) 現在、海外では、TMT (Thirty Meters Telescope)、GMT (Giant Magellan Telescope)、E-ELT (European Extremely Large Telescope) などの口径25-40mの地上超大型光学赤外線望遠鏡が計画されている。特にTMTは、既に調査費を確保して詳細設計に入っており、本予算の目処が付き次第、建設開始となる。時間的・予算的制約が厳しいなか、こうした計画へ参画する可能性も含め、国際協力による計画推進を具体的に検討していただきたい。

(3) こうした巨大計画の実行にあたっては、計画を中心となって進める大学共同利用機関と、それを支える全国の大学等の研究者との密接な協力が必要である。そのために、大学共同利用機関と大学との関係をより太くし、適切な役割分担を通じて大学の基盤強化にも資する体制を整備していただきたい。

(4) 本ロードマップにより提案されている大型計画は、天文学研究の最前線を正面から進めていくものであり、極めて重要な計画である。一方において、大型計画だけに頼ることは学問の健全な進歩を妨げるものである。大型計画と同時に特色ある中小型計画を組み合わせることにより、長期計画に戦略性と柔軟性の両者をもたせていくことが、学問の発展のうえでも、人材育成のうえでも、重要である。こうしたことにも十分配慮していただきたい

AGREEMENT  
BETWEEN  
THE THIRTY METER TELESCOPE PROJECT  
AND  
THE NATIONAL ASTRONOMICAL OBSERVATORY OF JAPAN

Whereas the highest priority recommendation of the previous U.S. Astronomy and Astrophysics Survey Committee in ground based astronomy was an extraordinarily powerful 30 meter class Giant Segment Telescope; and the Committee recognized that such a telescope must be undertaken by a broad partnership of public and private institutions;

Whereas the founding members of the TMT Corporation (hereafter TMT, comprised of the California Institute of Technology and the University of California) with the Association of Canadian Universities for Research in Astronomy (ACURA) are undertaking a detailed design aimed at developing such a telescope;

Whereas the strong recommendation of the Advisory Committee of Optical/Infrared Astronomy and the International Review Panel to NAOJ, as well as the earnest resolution from the optical and infrared astronomical community, GOPIRA, are the participation of NAOJ to TMT, hopefully at Mauna Kea, combining the earlier design studies of the Japanese Extremely Large Telescope;

It is agreed that:

- (1) A collaboration between TMT and NAOJ will provide a basis for examining the feasibility of jointly constructing and operating the telescope and its support facilities
- (2) The TMT project and NAOJ will continue to discuss relevant technical and research activities of the respective parties.
- (3) NAOJ will designate three representatives to the TMT Board who will participate in the open sessions of the Board. Upon NAOJ's submission of a special budget request to the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology ("MEXT") for tasks that contribute to the design development of TMT as agreed by the TMT Project Manager, the three NAOJ representatives will also participate in the executive sessions of the TMT Board.
- (4) NAOJ and TMT will work to develop an implementation plan, a formal agreement, and a legal structure that would appropriately join the parties in the construction and operation of TMT.
- (5) The MOU shall commence on the date it is signed by both parties and shall terminate December 31, 2011, unless terminated earlier by mutual agreement of the parties.

For the THIRTY METER TELESCOPE PROJECT



Henry Yang  
Chair, TMT Observatory Corporation

Date: November 14, 2008

For the NATIONAL ASTRONOMICAL OBSERVATORY OF JAPAN



Shoken Miyama  
Director General, National Astronomical Observatory of Japan

Date: Nov. 7. 2008

## TMT プロジェクトチームと国立天文台との合意

米国の天文学の将来計画策定委員会が、分割鏡からなる 30 メートル望遠鏡 (TMT) の実現を、今後 10 年間の地上からの観測天文学における最重要課題であると位置付け、そのような巨大な望遠鏡の実現には、様々な国の国公立及び私立の研究機関の幅広い協力が必須であるとの認識を示したことに鑑み、

カリフォルニア工科大学、カリフォルニア大学、カナダ天文学大学連合 ACURA から成る TMT プロジェクトチーム(以下 TMT)が、そのような巨大な望遠鏡を実現するために、詳細な設計を進めていることに鑑み、

国立天文台の光学赤外線天文学専門委員会、および国際評価委員会、及び日本の光学赤外線天文学連絡会が、日本が計画していた超巨大望遠鏡(JELT)構想を実現するため、TMT がマウナケアに建設されることを前提に、国立天文台が TMT 計画に参画することを強く推奨していることに鑑み、

TMT 及び国立天文台は、以下の点で意見の一致をみた。

- (1) TMT と国立天文台の協力は、TMT 望遠鏡及びそれを支える関連施設の建設を実現するための礎となる。
- (2) TMT と国立天文台は、それぞれの側で行なわれている関連技術の検討、科学的活動に関する議論、情報交換を続ける。
- (3) 国立天文台は、TMT 評議会 (TMT ボード) の公開部議論に参加する日本の代表 3 名を指名する。国立天文台が文科省に、TMT 計画の設計開発に関して、TMT 計画マネージャーが了解する内容の準備費要求を提出した時点で、国立天文台の 3 名の代表は TMT 評議会 の全議論に参加するものとする。
- (4) 国立天文台と TMT は、国立天文台が TMT の建設、運用に適切に参加するための具体案、正式な合意書、法的体制を確立すべく、努力する。
- (5) この合意は、双方の署名が完了した日に発効し、事前に双方の合意に基づき終了されない限り、2011 年 12 月 31 日まで有効とする。

TMT 計画を代表して

Henry Yang

ヘンリー・ヤン

TMT 天文台 ボード会議議長

2008年11月14日

日付

国立天文台を代表して

観山正見

観山正見

国立天文台長

日付 2008年11月7日

## 天文学・宇宙物理学の展望と長期計画

日本学術会議物理学委員会 天文学・宇宙物理学分科会

2010年3月

## 日本学術会議 記録

文書番号	SCJ 第 21 期-220319-21510500-020
委員会等名	日本学術会議物理学委員会天文学・宇宙物理学分科会
標題	天文学・宇宙物理学の展望と長期計画
作成日	平成 22 年 (2010 年) 3 月 19 日

※ 本資料は、日本学術会議会則第二条に定める意思の表出ではない。掲載されたデータ等には、確認を要するものが含まれる可能性がある。

**日本学術会議 物理学委員会 天文学宇宙物理学分科会 委員**

海部宣男（委員長）、佐藤勝彦（副委員長）、杉山直（幹事）、永原裕子、池内了、井上一、池内了、岡村定矩、小山勝二、芝井広、柴田一成、鈴木洋一郎、須藤靖、福島登志夫、牧島一夫、観山正見

**同上 長期計画検討小委員会委員 委員**

佐藤勝彦（委員長）、海部宣男（分科会委員長）、杉山直（幹事）、井上一、池内了、岡村定矩、小山勝二、長谷川哲夫、芝井広、柴田一成、須藤靖、永原裕子、福島登志夫、牧島一夫、観山正見（以上分科会委員）、小林秀行、高橋忠幸、常田佐久、土居守、森正樹、中村正人

**執筆協力者（五十音順）**

家正則、井田茂、犬塚修一郎、上田佳宏、大石雅寿、梶田隆章、川崎雅裕、川邊良平、川村静児、柴田大、清水敏文、末松芳法、戸谷友則、中川貴雄、原弘久、本間一郎、望月優子、山田亨、吉田直紀

**協力者（五十音順）**

伊藤信成、市川隆、犬塚修一郎、梅村雅之、太田耕司、北山 哲、定金晃三、沢 武文、徂徠和夫、千葉柁司、土橋一仁、富田晃彦、仲野 誠、花見仁史、藤沢健太、松村雅文、百瀬宗武、矢治健太郎、山下卓也

## 要 旨

### 1. 作成の背景

日本学術会議の旧天文学研究連絡委員会は1994年、『21世紀の天文学』と題する長期計画報告書を取りまとめ、わが国が取り組むべき大型計画について提言した。その後15年を経て、物理学委員会の天文学・宇宙物理学分科会は、我が国の天文学・宇宙物理学分野の今後10年から20年の展望を学術的な観点から見通すとともに、さまざまなレベルで提案・準備されている計画を広くとりまとめた。そのため分科会に天文学長期計画小委員会を組織し、2回の学術会議シンポジウム、個別計画のヒアリング、日本天文学会年会の長期計画特別セッションなどの討議を経てコミュニティの意見を広く集約し、二年にわたって長期的展望の取りまとめと長期計画の策定を進めてきた。ここにその成果を報告する。

### 2. 学術的展望

本報告第2章では、現在取り組むべき主要な研究課題を挙げ、天文学・宇宙物理学の展望を示した。宇宙論分野では、宇宙の諸成分、特にダークエネルギーとダークマターの解明、第一世代天体の形成以来の宇宙の構造進化の総合的理解。銀河分野では、最遠方銀河の探索、銀河形成・銀河進化の物理過程の解明。活動銀河核・ブラックホール分野では、ブラックホールと周辺環境の共進化の解明、ブラックホールへのガス降着の物理過程の理解、ブラックホール周辺時空の検証。星・元素合成分野では、連星系や大質量星の進化と終末段階の理解、元素循環の解明、星の質量分布の解明、星間分子や星間塵の形成と進化の理解。太陽系外惑星分野では、地球型惑星の発見、異なる環境における惑星系の探求、さらにはバイオマーカー探査。太陽分野では、フレアやコロナ現象の解明、地球環境の源としての太陽研究。新たな宇宙を見る手法として、粒子線、ニュートリノ、ダークマター、重力波などの探求が注目される。理論研究分野では、コンピュータシミュレーションの重要性が急速に増すであろう。

### 3. 分野別及び個別の諸計画

第3章では、各分野で検討・準備されている諸計画を広く取りまとめた。21世紀を迎え、電磁波ではほぼ全波長域で観測が進められている。大気吸収を受ける成分は、高地や宇宙空間（スペースと表す）での観測が進んでいる。地上での大型観測装置計画は国立天文台が、スペースについてはJAXA/宇宙科学研究本部が中心となって、国内外の連携を図り、推進している。電磁波以外の粒子線や重力波による観測計画、太陽系については無人探査機による直接探査が、目覚ましい発展を見せている。

個別の具体計画は、かなり検討が進められ、かつ単独の科研費だけでは実行できないような大型計画に絞って、電波、光・赤外線、X線・ガンマ線、宇宙線・ニュートリノ、ダークマター、重力波、太陽、太陽系、理論シミュレーションの分野ごとに記載した。スパー

スミッションは、宇宙科学研究本部理学委員会でワーキンググループが設置されているという基準で選定を行った。また、名称、目的、計画概要、代表者および提案・推進主体、予算規模、進捗状況について計画一覧表を作成した。なお記載基準には合致しないがシンポジウム等で提案された計画については、巻末のシンポジウムプログラムを参照されたい。

#### 4. 国家レベルで推進すべき特に重要な大型計画

諸計画の中で特にコミュニティーの支持を強く受け、また計画の科学的意義と規模の大ききから国家レベルで早急に取り組むべき重要課題として、慎重な審議を経て次の3計画を選定し、第4章においてそれぞれについて詳しく取りまとめた。

- 1 低温大型重力波望遠鏡計画LCGT
- 2 30m光赤外線望遠鏡計画TMT
- 3 次世代赤外線天文衛星計画SPICA

LCGTは、重力波が引き起こす空間の微小なひずみを測定する新技術の高精度重力波望遠鏡である。神岡鉱山の中に長さ3kmの直交する2本のトンネルを掘り、レーザー光を通す。トンネルの終点に熱振動を押さえる冷却鏡を置き反射レーザー光を干渉させて、2本の腕の長さの微小な変化から、重力波の世界初検出と継続観測を目指す。連星を構成する中性子星やブラックホールの運動を時間を追って観測することが可能となり、強い重力場における現象の解明と一般相対性理論の詳細な検証が進む。

TMTは、口径30mの望遠鏡をハワイ・マウナケア山頂に設置する、米国などとの国際共同計画である。すばる望遠鏡の4倍のシャープな解像力は銀河中心の超巨大ブラックホールや宇宙論的遠方天体の観測、太陽系外の地球型惑星の探査・観測を可能とし、また高い感度は、宇宙最初期の星や銀河の直接観測も可能とする。すばる望遠鏡やアルマが推し進める宇宙初期の謎や太陽系外惑星の理解が、さらに飛躍的に進むと期待される。そのために大気のゆらぎを取り除く補償光学の技術開発を大幅に発展させる

SPICAは、日本が主導する宇宙空間での大型国際共同計画である。絶対温度6Kに冷却した口径3.5mの大型望遠鏡を宇宙に打ち上げ、赤外線これまでになく高解像度と高感度の観測を行う。赤外線は塵による減光を受けにくいいため銀河の中心部を透過し、銀河の誕生の現場を直接見ることができる。また太陽系外の惑星の大気成分を測定し、地球外の生命の可能性についても貴重な情報が得られる。さらに惑星などの材料となる固体成分を詳しく観測することが可能で、宇宙における物質の循環の総合的理解に迫る。

#### 5. 天文学・宇宙物理学の長期的発展のために

大規模な長期計画は主に国立天文台とJAXA/宇宙科学研究本部が中心となって進めるが、天文学・宇宙物理学が長期的に発展していくためには、両研究機関を支える大学をはじめ、考慮すべき重要な視点がある。第5章では、それら重要な基盤・環境について述べる。

大学の果たす役割は極めて重要である。共同利用研究所を支え協力して大型計画に参画

し、並行して独自の研究を推進するのみならず、優秀な若手人材を養成し、また天文学と社会をつないでゆく役割も担う。継続的予算確保の困難、個別大学における少数グループの問題、大学院生数の減少など、多くの問題を抱える現状を打開し、コミュニティが全体として発展していくために、情報格差の解消、大型計画への参加機会の増加、人事交流の活性化など、大学間・および共同利用研究所との連携を強める必要がある。また、研究の現場で、大学院生の果たしている役割は多大なものがある。国としての早急な経済支援の強化が望まれる。それとともに、天文学・宇宙物理学の専門教育を受けた人材が活躍する場所を教育・行政・産業などアカデミア以外に広げる努力をすることは、分野の長期的な発展にとって重要である。

宇宙研究が発展し広がるにつれ、周辺分野、特に素粒子物理学や原子核物理学、地球・惑星科学分野、生物分野、さらにはプラズマ・流体分野などとの連携が、ますます重要となってきた。これらの連携を通じて、新たな学際的な研究分野を創成し、魅力ある21世紀の学問を展開していくことが、学生の関心を高め、また一般社会の関心と要請にも答えることとなる。

一般に日常生活とは無縁と考えられてきた天文学・宇宙物理学研究だが、GPSや地球の気候変動などを挙げるまでもなく、実際には産業や身近な課題とも大きなつながりを持っている。今後、大型計画における最先端技術開発などを通じて、産学連携を一層積極的に進めていく必要がある。

宇宙は、子どもや大人の関心を強く惹きつけるテーマである。研究の成果をさまざまなルートで発信し社会に還元し広めてゆく活動は天文学分野では大いに進んでいるが、今後ますます重要である。未来の人類文明に資するためにも、天文学・宇宙物理学分野においても科学コミュニケーションと市民の科学リテラシーを一層強化していく必要がある。

**July 12, 2011**

**Letter of Intent**

**GLOBAL PARTNERSHIP CONCERNING THE THIRTY METER TELESCOPE OBSERVATORY**

**Preamble**

The astronomical communities of Canada, China, India, Japan and the United States recognize that a next generation large telescope is an essential tool to address questions in astronomy ranging from understanding star and planet formation to unraveling the history of galaxies and the development of large-scale structure in the universe. The signatory parties ("Parties") to this Letter of Intent ("LOI") are interested in developing and operating a next generation large telescope and recognize the advantages of combining these interests in a single international project to construct and operate a thirty meter telescope ("TMT") and associated observatory facility (collectively the "TMT Observatory").

TMT will consist of a wide-field, alt-az Ritchey-Chretien telescope with a 492 segment, 30 meter diameter primary mirror. The optical beam of TMT will feed a constellation of adaptive optics (AO) systems and science instruments mounted on large Nasmyth platforms surrounding the telescope azimuth structure. To support and maintain these technical systems, a comprehensive set of support facilities is included in the basic observatory design.

The Parties have extensive experience with the construction and operation of observatories and together with qualified industrial partners are capable of making a range of valuable in-kind contributions to the TMT Project. ACURA, the University of California and the California Institute of Technology, operating through the TMT Observatory Corporation, have thus far selected the observatory site and developed a reference design for TMT. The Parties now seek to form an international collaboration to complete technology development and develop the final system design and to progress toward construction and operation of TMT and the TMT Observatory (TMT Project).

The TMT Project will be implemented in stages: Design and Development, Preconstruction, Construction and Operations. The Preconstruction Phase will complete the Design and Development and establish readiness for the Construction Phase. The Construction Phase will be initiated upon technical readiness and when the Collaborating Partners agree that the resourced execution plan, contributions and funding, and the legal entity or other appropriate legal arrangement for executing the Construction and Operations Phases are defined. The Construction Phase will deliver the observatory with the initial science instruments as recorded in the approved TMT project cost estimate and Work Breakdown Structure. The Operations Phase will be initiated as elements of the observatory are completed and delivered to operations activities according to the resourced execution plan.

The Parties intend to develop a resourced execution plan for the TMT Project and establish a legal entity or other appropriate legal arrangement for accomplishing the construction and operation of the TMT Observatory over its lifetime.

This LOI describes the intended participation of the Parties in the Preconstruction phase of the TMT Project. It does not constitute a legal commitment on the part of the signatory parties nor does it create a legal entity.

## **Eligible Signatory parties**

The entities currently eligible to become signatory parties to this LOI are:

- Association of Canadian Universities for Research in Astronomy
- Department of Science and Technology of India
- National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences
- National Astronomical Observatory of Japan
- California Institute of Technology
- University of California

## **Purpose of this document**

This LOI confirms the Parties' intention to enter into a committed collaboration to advance their common interest in executing the TMT Project (the Collaboration). The Parties agree to enter into this Collaboration for the purposes of funding and completing the design and development work for the Preconstruction Phase and proposing an adequately resourced plan and a legal entity or other appropriate legal arrangement (the "Partnership Organization") responsible for the construction and operation of the TMT Observatory.

In order to advance the objectives of the Collaboration, the Parties agree to establish a TMT Collaborative Board. The TMT Collaborative Board will assume the task, previously commenced by them as participants in the TMT Observatory Corporation Board meetings, of defining and proposing the Partnership Organization. The Parties also will identify and pursue financial and in-kind contributions and commitments to the Preconstruction, Construction and Operations budget for the TMT Project.

It is the intent of the Parties that contributions made in furtherance of the Collaboration during the Preconstruction Phase, that are approved by the Parties, will be recorded by the TMT Observatory Corporation Project Office. It is further intended that upon the establishment of the Partnership Organization, the Parties will receive appropriate credit for such contributions, and the corresponding benefits and rights attached thereto, consistent with the terms of the Partnership Organization agreement.

## **TMT Collaborative Board**

The membership of the TMT Collaborative Board will be comprised of three representatives from each Party, one of whom is a representative of the Party with appropriate executive authority.

The TMT Collaborative Board will seek to make decisions by means of consensus. The TMT Collaborative Board Members will appoint a Chair and Vice Chair of the TMT Collaborative Board each to serve a three year term.

The TMT Collaborative Board will seek to:

- Develop commonly agreed principles and that will govern the establishment of the Partnership Organization appropriate for accomplishing the TMT Project;
- Define and propose the legal entity or other appropriate legal arrangement for the Partnership Organization;

- Oversee the development of a commonly agreed resourced execution plan for the TMT Project;
- Identify proposed financial and in-kind contributions to be provided to the TMT Project by each of the Parties;
- Support the Parties' solicitation of funds for the TMT Project from governmental and private entities; and
- Oversee and coordinate the contributions and initiatives of the Parties during the Pre-construction Phase.

Meetings of the TMT Collaborative Board will be held in coordination with TMT Observatory Corporation Board meetings and Collaborative Board Members will be granted observer status at TMT Observatory Corporation Board meetings.

The TMT Collaborative Board will terminate its activities and be discharged upon the establishment of the Partnership Organization which will then undertake responsibility for the Construction and Operations Phases of the TMT Project.

### **Resources**

It is the intent of the Parties to bring sufficient resources to execute the Preconstruction Phase of the TMT Project. The signatories will bear their own costs with respect to their activities in furtherance of the Collaboration.

### **Duration/Validation**

This LOI shall be effective upon its execution by at least three of the above-named Parties with respect to those Parties, and will be effective with respect to any additional signatory as of the date of its execution of this LOI and will expire upon the establishment of the Partnership Organization. A Party may withdraw from the Collaboration at any time without penalty upon written notice to the other Parties.

This LOI may be extended by mutual consent of the Parties.

### **New Parties**

This LOI may be opened to participation by other interested parties, in addition to the Eligible Signatory Parties identified herein, by unanimous agreement of the Parties hereto.

### **Disputes**

The members of the TMT Collaborative Board will use their best efforts to settle disputes in an amicable manner.

## Amendments

Amendments to this LOI may be made by the unanimous agreement of the Parties hereto.

## Signatories

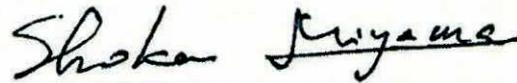
### ASSOCIATION OF CANADIAN UNIVERSITIES FOR RESEARCH IN ASTRONOMY



Date: October 11, 2011

By: Donald E. Brooks  
Chair, ACURA Institutional Council  
4409 Centre for Blood Research  
Vancouver, B.C. Canada V6T 1Z2

### NATIONAL ASTRONOMICAL OBSERVATORY OF JAPAN



Date: 29. Sep. 2011

By: Shoken Miyama  
Shoken Miyama  
Director General,  
National Astronomical Observatory of Japan

Address:  
2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588

### NATIONAL ASTRONOMICAL OBSERVATORIES, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

Date: 2011-09-01

By: Jun Yan  
Jun Yan  
Director General

Address:  
A20 Datun Road, Chaoyang District  
Beijing, 100012

THE CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Date:

By:   
Jean-Lou Chameau  
President

Address:  
1200 E. California Blvd., M/C 206-31  
Pasadena, CA 91125

REGENTS OF THE UNIVERSITY OF  
CALIFORNIA

THE CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Date:

By:   
Jean-Lou Chameau  
President

Address:  
1200 E. California Blvd., M/C 206-31  
Pasadena, CA 91125

REGENTS OF THE UNIVERSITY OF  
CALIFORNIA

大型研究計画に関する評価について(報告)

「30m光赤外線望遠鏡(TMT)計画」

平成23年11月4日

科学技術・学術審議会 学術分科会 研究環境基盤部会  
学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会

# 目 次

はじめに .....	1
「30m光赤外線望遠鏡（TMT）計画」の推進について	
1. 計画の概要 .....	2
(1) 概要	
(2) 内容	
(3) 実施体制	
(4) 国内における検討経緯	
(5) 国際的な動向	
(6) 年次計画	
(7) 予算規模	
2. 計画の評価 .....	9
(1) 研究者コミュニティの合意	
(2) 計画の実施主体	
(3) 共同利用体制	
(4) 計画の妥当性	
(5) 緊急性	
(6) 戦略性	
(7) 社会や国民の理解	
3. まとめ .....	13
(1) 総合評価	
(2) 計画推進に当たっての留意点	
参考 .....	17

## はじめに

文部科学省においては、学術研究の大規模プロジェクトへの安定的・継続的な支援を図るべく、平成24年度概算要求において、新たに「大規模学術フロンティア促進事業」を創設し、平成24年度予算の概算要求組替え基準において示された「日本再生重点化措置<sup>1</sup>」として要望を行っている<sup>2</sup>。

この事業は、世界が注目する大規模プロジェクトについて、「学術研究の大型プロジェクトの推進に関する基本構想『ロードマップ』<sup>3</sup>」等に基づき、社会や国民の幅広い理解・支持を得つつ、国際的な競争・協力に迅速かつ適切に対応できるように支援し、戦略的・計画的な推進を図ることを目的とし、現在整備中又は推進中の大規模プロジェクトの着実な実施とともに、新規の大規模プロジェクトを推進することとしている。

本作業部会においては、新規の大規模プロジェクトの立ち上げに向けて、「ロードマップ」を踏まえ、早急に着手すべきと考えられるプロジェクトについて審議を行い、「30m光赤外線望遠鏡（TMT）計画」について事前評価を行うこととした。

評価に当たっては、関係分野の専門家にアドバイザーとして加わっていただき、ヒアリング及び審議を実施した。また、評価の観点として、①研究者コミュニティの合意、②計画の実施主体、③共同利用体制、④計画の妥当性、⑤緊急性、⑥戦略性、⑦社会や国民の理解を設定し、観点別の評価を踏まえて総合的な評価結果をとりまとめた。

---

<sup>1</sup> 平成23年9月20日に閣議決定された「平成24年度予算の概算要求組替え基準について」において、我が国経済社会の再生に向けた取組として、歳出改革により捻出された財源を用いて、再生に向けてより効果の高い施策に予算を重点配分する取組（「日本再生重点化措置」）を実施することとされ、その対象となる分野として、「新たなフロンティア及び新成長戦略（科学技術・エネルギー・海洋・宇宙等、インフラ整備を含めた成長基盤の強化）」が示されている。

<sup>2</sup> 本作業部会が、平成22年10月27日にとりまとめた「学術研究の大型プロジェクトの推進について（審議のまとめ）」において、「・・・国は、ロードマップを基本に、長期的視点に立ち、大型プロジェクトの着実な推進に向けて、安定的・継続的な予算の確保に最大限の努力をすることが必要」「・・・安定的・継続的な財政措置を実現するためには、施設・設備の整備費や運用費が一体となった予算枠の確保など、新たな予算措置方策の可能性も含め、幅広い観点から検討を進めていくことが必要」であるとしている。

<sup>3</sup> 上記脚注2と同様に、「学術研究の大型プロジェクトの推進について」において、関連施策を推進する上で十分考慮すべき資料となるように、日本学術会議のマスタープランに盛り込まれた43計画についてさらに検討を深め、大型プロジェクト推進に当たっての優先度を明らかにする観点から、各研究計画について、本作業部会としての評価結果を「ロードマップ」として整理。

URL [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gi\\_jyutu/gi\\_jyutu4/toushin/1298714.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gi_jyutu/gi_jyutu4/toushin/1298714.htm)

# 「30m光赤外線望遠鏡（TMT）計画」の推進について

## 1. 計画の概要

### (1) 概要

本計画は、ハワイ島マウナケア山頂域に、日・米・カナダ・中国・インドの国際協力科学事業として口径30mの光赤外線望遠鏡（TMT (Thirty Meter Telescope)）を建設し(図1)、第二の地球探査と生命の確認、ダークエネルギー<sup>※1</sup>の性質の解明、宇宙で最初に誕生した星の検出などに挑むことを目的とする。補償光学<sup>※2</sup>を高度化したTMTは、究極の望遠鏡として2020年代から約30年間、観測天文学の基幹装置となる。

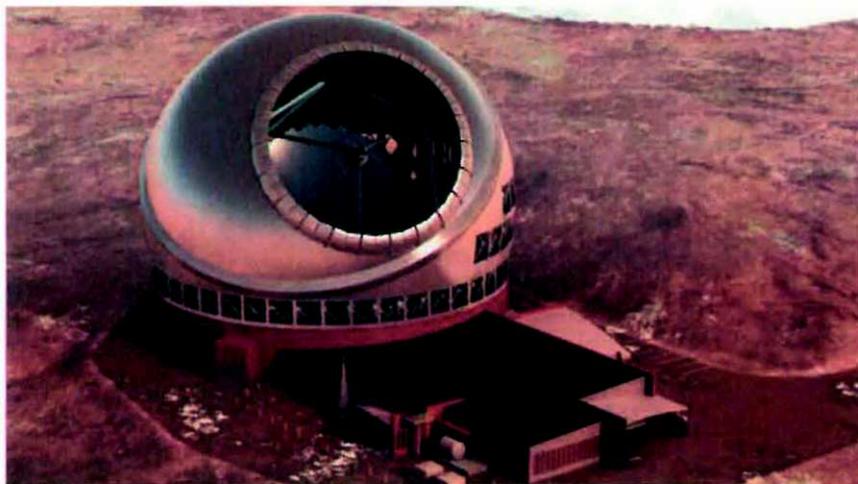


図1：TMT完成予想図

### (2) 内容

2000年から観測を開始したハワイ観測所のすばる望遠鏡(口径8m)は、遠宇宙の銀河、系外惑星系<sup>※3</sup>、超新星の観測などで成果を挙げてきた。現在、全世界で10台ほどの8~10m級の望遠鏡が稼働中であるが、1990年代からの観測天文学の急激な発展を礎として、2020年代の天文学フロンティアを担う30m級望遠鏡構想が、日米欧で2000年代前半から本格的に検討されてきた。

日本の光赤外線天文学コミュニティと理論天文学コミュニティは、次世代超大型望遠鏡で狙うサイエンスについて組織的な検討を行い、「TMTで切り拓く新しい天文学」を2011年2月に発表した。TMTが取り組む3つのテーマは、「第二の地球の探査と生命の確認」、「ダークエネルギーの性質の解明」、「宇宙で最初に誕生した星の検出」である。

#### ①第二の地球探査と生命の確認

惑星の公転運動による中心星<sup>※4</sup>の揺れを検出する視線速度法<sup>※5</sup>により、最初の系外惑星が1995年に発見され、以後数多くの系外惑星の存在が確認された。地球からみて惑星がちょうど母星の前面を通過するときに一時的に母星が暗くなる効果を調べるト

ランジット法<sup>\*6</sup>での発見も近年増加し、系外惑星の数は 1000 個を超えるほどになった。発見された系外惑星は多様であり、惑星系形成理論に新たな展開が始まっている。生命を宿す惑星は母星からの距離が適切で、水が液体の状態で存在する「ハビタブルゾーン<sup>\*7</sup>」にあると期待される。岩石質の惑星も、その発見/検証が具体化しつつあるが、ハビタブルゾーンにあって生命を宿す可能性のある岩石惑星である「第二の地球」の発見は、これからの課題である。TMTでは、直接撮像法によって「第二の地球」を発見し、その惑星表面の性質を調べることを目指す。また、「第二の地球」の中で、星の表面の前を通過するトランジットを起こす惑星の大気スペクトル<sup>\*8</sup>を分光解析<sup>\*9</sup>することで、生命の兆候の有無について解明することも大きな目的である(図2)。



図2：第二の地球の大気分析から生命の兆候の有無に迫る。

## ②ダークエネルギーの性質の解明

1998年に絶対光度<sup>\*10</sup>が一定と考えられるIa型超新星<sup>\*11</sup>の多数の観測結果から、宇宙膨張が加速していることが発見された。2003年には宇宙背景放射観測衛星WMAP<sup>\*12</sup>の観測データの解析からも同じ結論が導かれた。宇宙のエネルギー密度の約74%を占めるダークエネルギー(図3)の正体解明には、天文学において宇宙膨張の歴史を直接測定することにより、その性質に迫ることが可能と考えられている。TMTでは、波長分解能の高い分光器を製作して、多数のクェーサースペクトル<sup>\*13</sup>上の視線速度が、宇宙膨張に伴い10年間でどのように増加したかを測定することで、宇宙の膨張率を直接測定する。



図3：ダークエネルギーに迫る。

### ③宇宙で最初に誕生した星の検出

すばる望遠鏡は、124 億光年から 129 億光年彼方(宇宙誕生から 8~13 億年)の輝線銀河<sup>\*14</sup>を多数発見し、その個数密度の年代変化に特徴的な兆候を発見した。ビッグバンから 38 万年後に中性水素原子が物質の主成分となった宇宙は、ビッグバンの約 2 億年後から生まれ始めた初代星(一番星)の紫外線などでやがて再び電離したと考えられるが、その時期がビッグバン後約 8 億年前後であることがわかり始めた。TMTはすばる望遠鏡の探査限界を越え、ビッグバン後約 2 億年から始まった初代銀河や初代星を直接観測し、銀河形成史に迫る。

上記①から③の観測的研究を遂行するために、TMT本体と観測装置の概念設計が進められている。すばる望遠鏡は、直径 8mの単一主鏡を持つ高性能な望遠鏡であるが、次世代の 30m 級望遠鏡の主鏡は、単一鏡での実現は不可能であり、TMTでは、直径 1.5mの六角形の要素鏡 492 枚をほとんど隙間無く敷き詰めて、有効口径 30mの主鏡に仕立てる。主鏡の口径に対して焦点距離を前例の無いほど短くして、望遠鏡をコンパクトに製作し、ドームの大きさも必要最小限にすることで建設コストを削減する(図 4)。観測装置は、望遠鏡の両側のナスマス焦点台<sup>\*15</sup>に最大約 10 台まで配置することができ、第 3 鏡の角度を調節して天体からの光の向きを変えることで観測装置を簡単に切り替えられるようにする。補償光学(図 5)を最大限活用することでTMTの解像度<sup>\*16</sup>は近赤外線で 0.01 秒角に達し、ハッブル宇宙望遠鏡<sup>\*17</sup>の約 13 倍、すばる望遠鏡の 3.7 倍の解像度を実現する。集光力となるTMTの主鏡面積は、ハッブル宇宙望遠鏡の約 160 倍、すばる望遠鏡の約 13 倍あり、TMTの感度<sup>\*18</sup>は宇宙と地上の違いを考慮してもハッブル宇宙望遠鏡の約 40 倍、すばる望遠鏡の約 13 倍となる。これらの優れた結像性能を活かした様々な観測装置が提案されているが、第一世代としては 3 台の観測装置の製作を優先することを決定している。

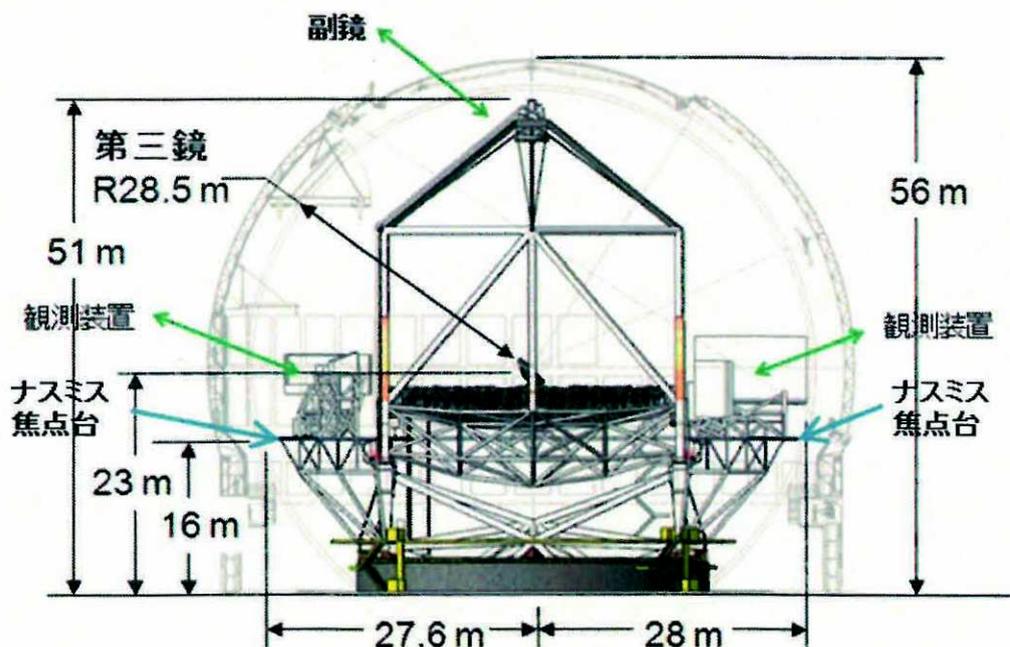


図 4 : 望遠鏡とドームの概念

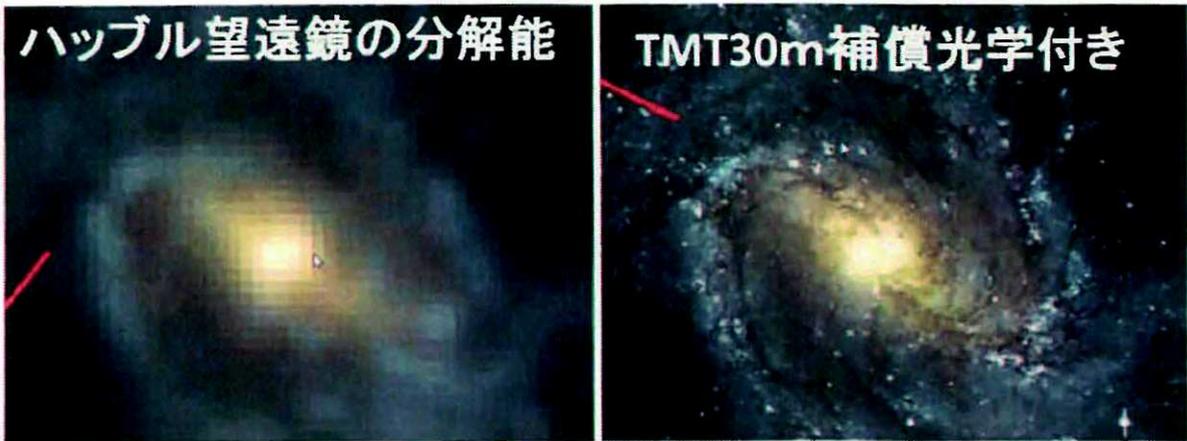


図5：補償光学の威力

工程としては、2011-2013 年は建設参加パートナーの役割分担確定、予算要求、望遠鏡の運用方針、鏡の試作などの準備期間とし、2014-2021 年の 8 年計画での建設を目指す。なお、2011 年にハワイ現地での建設許可は取得済みである。

### (3) 実施体制

TMT計画に参加するパートナーの代表は、TMT天文台の最高意志決定機関となるTMT天文台評議会を構成する。現時点では、日本は国立天文台、米国はカリフォルニア大学とカリフォルニア工科大学、カナダは天文学大学連合（ACURA）、中国は国家天文台、インドは科学技術省が窓口となる。これらのパートナー間で、各パートナーの分担内容とその範囲(図6)、権利と責任、具体的なプロジェクト推進体制(図7)、重要事項の決定を行うTMT天文台評議会の具体的な構成、完成後の望遠鏡時間の配分・運用方針などについての合意形成に向けた協議を行っている。

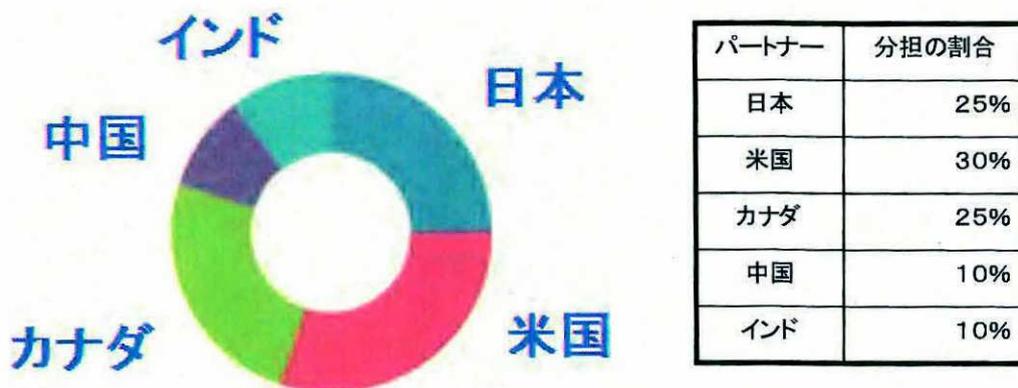


図6：パートナーの分担の割合（予定）

## TMTプロジェクト推進体制

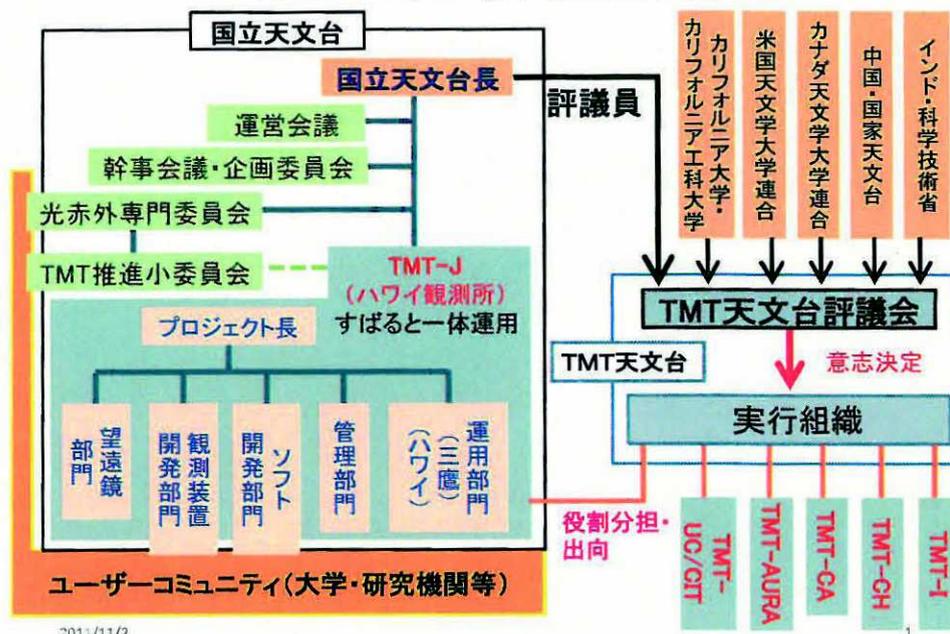


図7：TMTプロジェクト推進体制

### (4) 日本国内及び国外における検討経緯

国立天文台は、1991年から9年計画ですばる望遠鏡を建設した。8台の観測装置を含めた全体システムが軌道に乗った2002年から、次世代超大型望遠鏡として口径30mのJELT (Japan Extremely Large Telescope) 構想の検討を行った。

一方、日本国内の光赤外線天文学コミュニティと理論天文学コミュニティにおいては、まず、2005年3月に日本の光赤外線天文学コミュニティ(光学赤外線天文連絡会)の将来計画「2010年代の光赤外天文学—将来計画検討報告書—」において「可視光・赤外線地上観測は、すばる望遠鏡の成果をさらに発展させ、すばる望遠鏡を軸に広がった観測的研究者層・装置開発者層を有効に活かすため、次世代30m級望遠鏡計画の具体化を進めるべきである。」とされ、2006年11月には、日本の光赤外線天文学コミュニティを代表する団体である光学赤外線天文連絡会から、建設推進要望書が国立天文台長に寄せられていた。このような状況下、国立天文台においては、JELTとして新機軸を盛り込んだ構想を練ったが、建設予算が1000億円を越す見込みとなったため、2007年2月にハワイ島での国際協力での早期実現を目指す方針を固めた。

国外においては、次世代の大型望遠鏡計画として、カリフォルニア大学の30mCEL T (California Extremely Large Telescope) 構想、米国光学国立天文台の30mGSMT (Giant Segmented Mirror Telescope) 構想、カナダ天文学大学連合のVLOT (Very Large Optical Telescope) 構想の3つの構想があったが、三者間の覚書により、2003年6月にTMT計画として統合された。2003年10月には、カリフォルニア大学及びカリフォルニア工科大学により米国で登録されたCEL T開発公社が設立され、2007年3月に現在のTMT天文台に改称され、TMT計画の実現に向け、同天文台を中心にハワイかチリでの建設を目指して、活動を展開していた。

そのような状況において、2008年3月には外部委員を含む国立天文台の光赤外専門

委員会は国立天文台長に次世代 30m 級望遠鏡計画推進を勧告するなど、日本国内における次世代 30m 級望遠鏡計画推進にむけての気運が高まる中、同年 11 月に日本の光赤外線コミュニティは、ハワイでの建設を条件として、TMT 計画に参加する意向を表明した。2009 年には TMT 天文台は日本の意向を尊重してハワイでの建設を決断し、建設許可手続きを推進することとなった。2010 年には新たに中国とインドが TMT 計画への参加意向を表明し、2011 年にはハワイでの建設許可を得るなど、TMT 計画は 5 カ国事業として、TMT 天文台を中心に、ムーア財団から建設準備期間の運営資金の寄附を受けて推進体制を構築し、計画の具体化と建設予算の確保に向けて協力して活動している。そして、2011 年 10 月にはカリフォルニア工科大学・カリフォルニア大学・カナダ天文学大学連合・国立天文台・中国国家天文台の間で TMT 天文台参加意向表明書が交わされ、国際協力にもとづく実行組織の設立に向けた準備活動の正式な枠組みとして TMT 協力評議会が発足した。インド科学技術省も近々参加の予定である。

国内においては、TMT 計画への参加表明以後、計画の推進に向けて動きが高まっている。2010 年 3 月には、日本学術会議物理学委員会天文学・宇宙物理学分科会がとりまとめた長期計画において「日本の天文学・宇宙物理学コミュニティが一丸となって早急に実現すべき特に重要度の高い大型計画」と位置付けられ、2010 年 10 月には、科学技術・学術審議会学術分科会研究環境基盤部会学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会が平成 22 年 10 月 27 日にとりまとめた「ロードマップ」においても、「基本的な要件が満たされており、一定の優先度が認められる計画」として TMT 計画は aa 評価という高い評価を得ている。また、2011 年 2 月には、光赤外線天文学コミュニティと理論天文学コミュニティが TMT 計画の学術研究上の目的を明確にまとめた報告書「TMT で切り拓く新しい天文学」を完成させている。

#### (5) 国際的な動向

次世代超大型望遠鏡構想については、2000 年代に世界中で 7 つほどの構想が検討されてきたが、2011 年時点で、TMT 計画、GMT (Giant Magellan Telescope) 計画、E-E-L-T 計画 (European - Extremely Large Telescope) の 3 つの計画に収束している。この中でも日本の光赤外線天文学コミュニティが最も設計・製作の検討が進んでおり、実現性が高いと見なされているのが、ハワイで北の宇宙観測を目指す TMT 計画である。GMT 計画はカーネギー天文台・アリゾナ大学ほかの連合チームが検討を進めてきたもので、8m 鏡を合計 7 枚製作してそれらを単一の架台に載せるという構想である。建設地はチリのラスカンパナス天文台を想定しており、有効直径は 22m の望遠鏡となる。

全米科学財団 NSF (National Science Foundation) は、TMT 計画と GMT 計画の両計画を支援する財政的ゆとりは無いため、2012 年 7 月までに両者を比較評価し、直接支援する計画を選定する予定となっている。

欧州を中心とする 15 カ国からなる国際天文台である欧州南天天文台 ESO (European Southern Observatory) における E-E-L-T 計画は、TMT 同様の分割主鏡方式で主鏡直径 39m の次世代超大型望遠鏡計画を検討している。光学系はユニークな 5 面 (うち 3 面は非球面) 反射系で、補償光学機能が望遠鏡本体に組み込まれた野心的な設計で、建設には時間がかかる見込みである。

日本の光赤外線天文学コミュニティは、(1) ハワイでの建設によるすばる望遠鏡の広視野サーベイ機能との連携、(2) 最初に実現が可能な次世代望遠鏡への参加、の二つの観点からTMT計画に参加する戦略を立てた。2014年から建設を開始し、2020年代前半に主要テーマについての観測を世界に先駆けて進めることを期している。

(6) 年次計画 (工程表)

年度 (西暦)	平成24 2012	平成25 2013	平成26 2014	平成27 2015	平成28 2016	平成29 2017	平成30 2018	平成31 2019	平成32 2020	平成33 2021
山頂工事	地質調査・基本検討		道路・地盤							
ドーム	ドーム基本設計			下部構造		上部構造		ドーム仕上		
望遠鏡構造	基本設計・基礎開発		詳細設計			製造		据付・調整		
主鏡	性能検証・量産試作		量産			量産		搭載・調整		
鏡材	研磨 試作		初期量産			本格量産				
研磨										
調整										
副鏡・第3鏡	基本設計・基礎開発		詳細設計		製作		据付・調整			
観測装置	基本設計・基礎開発		詳細設計		製作		組立・調整			
補償光学	詳細設計		製作				組立・調整			

※赤線は日本が担当

(7) 予算規模

建設予算総額 1500 億円 (日本の分担規模 : 375 億円、25%程度、2014-2021 年度)

## 2. 計画の評価

### (1) 研究者コミュニティの合意

TMT計画について、日本の光赤外線天文学コミュニティ（光学赤外線天文連絡会）の将来計画「2010年代の光赤外線天文学—将来計画検討報告書—」において「可視光・赤外線地上観測は、すばる望遠鏡の成果をさらに発展させ、すばる望遠鏡を軸に広がった観測的研究者層・装置開発者層を有効に活かすため、次世代30m級望遠鏡計画の具体化を進めるべきである。」とされている。また、日本学術会議物理学委員会天文学・宇宙物理学分科会がとりまとめた長期計画において「日本の天文学・宇宙物理学コミュニティが一丸となって早急に実現すべき特に重要度の高い大型計画」とされている。

さらに、TMT計画に参加を表明しているアメリカ、カナダ等の研究機関の代表者で構成されるTMT天文台評議会の議長と国立天文台長との間で本計画の推進に関する覚書が交わされている。

以上から、本計画に着手するに当たっての研究者コミュニティの合意は国内外を通じて十分に得られていると判断される。

### (2) 計画の実施主体

TMT計画の実現には、巨額の費用がかかることから、国際協力による実施体制を構築することが不可欠であり、本計画は、日本、米国、カナダ、中国及びインドの5カ国の国際協力科学事業として推進することが予定されている。

TMT計画については、カリフォルニア大学及びカリフォルニア工科大学の出資により、2003年に設立されたCELT開発公社を2007年に改称したTMT天文台において、ムーア財団からの寄付を受け、本計画の推進体制の構築が進められている。日本は、2008年に国立天文台が、TMT天文台の最高意思決定機関であるTMT天文台評議会との間で覚書を結び、協力機関との位置づけで、計画の具体化に向けて活動している。2010年には、中国（国家天文台）及びインド（科学技術省）がTMT計画への参加意志を表明している。

現在、2014年からの建設を目指して、米国及びカナダにおいて技術実証が継続的に実施されているほか、参加機関の役割分担、計画の推進組織体制、望遠鏡の運用方針など、参加機関において協議が行われており、各国政府の支援により、国際協力による実施体制が構築されると判断される。

本計画の建設予算については、参加国において分担分の協議が行われているところである。日本は約25%、米国は約30%、カナダは約25%、中国及びインドはそれぞれ約10%の予算を分担する予定である。このうち、アメリカについては、分担分の約5割を寄附等により確保しているほか、全米科学財団NSFがTMT計画とGMT計画の両計画を比較評価し、支援を行う計画を選定することとなっている。また、カナダ、中国及びインドは分担分の一部を政府予算として要求を行う予定である。

なお、国際協力による計画は、計画実行に多くの困難や紆余曲折を経ることが避けられないところであり、国立天文台は、各国における本計画の実施状況や支援体制等につ

いて、適切に検証を行うとともに、アルマ計画の推進によって蓄積している経験も活かして、国際協力の中で、リーダーシップを発揮し続ける努力をすることが望まれる。

また、国は、TMT計画における国立天文台の取組に対し、必要な支援に努める必要がある。

### (3) 共同利用体制

国立天文台は、1988年の設置から、大学共同利用機関として共同利用・共同研究・国際協力科学事業などを行う、天文学分野における中核的な研究拠点としての活動を行っている。

特に、日本国内9つの観測施設による国内の共同利用・共同研究、ハワイ観測所のすばる望遠鏡や、本年9月に初の科学観測となる「初期科学運用」を開始したチリ・アタカマ高地に建設中のアルマ計画による国際協力科学事業を計画的に実施するなど、十分な実績を有しており、TMT計画に必要となる国際的な共同利用・共同研究体制が構築されると判断される。

一方、本計画が実施されれば、TMT計画、アルマ計画という複数の国際的なプロジェクトが同時に実施されることとなり、実施体制として十分な人員の確保が課題となるが、ハワイ観測所として、すばる望遠鏡のプロジェクトの見直しのほか、アルマ望遠鏡の建設やソフトウェア開発に携わった人員の配置転換などにより、こうした課題は解決できると考えられる。

さらに、国立天文台は、我が国の天文学分野の連携協力体制を強化した上で、地球惑星科学や物理学のほか、生命科学など広く関連する分野のコミュニティの協力を得て、幅広く研究者コミュニティの組織化・協力体制を構築するとともに、コミュニティの力をどのように配分し、複数の計画を成功させるかについて、リーダーシップを発揮して取り組んでいくことが望まれる。また、技術者、運営管理者の更なる充実にも留意することが望まれる。

### (4) 計画の妥当性

本計画は、現在世界で稼働している約10基の口径8~10m級の地上望遠鏡に対し、30mの口径を持つ大口径の地上望遠鏡を人類史上初めて建設し、解像度、集光力、感度を飛躍的に向上させることを目指すものであり、地上望遠鏡の大型化に伴い高度な技術が求められる。

国立天文台は、TMTと同じ光赤外線望遠鏡であるすばる望遠鏡建設の際に望遠鏡製作、主鏡材の製作・研磨等の技術を国際的に高く評価され、TMT建設に必要とされる技術を蓄積している。また、これらの計画の実施を通じ、研究者、技術者などの人的資源も蓄積されており、5ヶ国の国際協力科学事業として、本計画の実現は可能と判断される。なお、TMTの完成に向けては、すばる望遠鏡により培われてきた技術が蓄積されているものの、技術的に克服すべき課題もあり、計画の進捗に応じ、工程の確認や技術評価を十分に行い、建設計画を着実に進める必要がある。

本計画における費用負担については、国際協力により実施する計画において、日本が計画段階から主導的役割を担うことや、日本が優位性を持つ技術の最大限の活用のほか、運用段階において参加国間で分割される観測時間の確保等を考慮すれば、国立天文台の分担分として約25%を予定していることは、日本の分担分が約25%であったアルマ計画と比較しても、概ね妥当なものと判断される。

一方で、多額の国費を投入して建設・運用を行うという性質に鑑み、一層の経費効率化に向けた検討を行うことが望まれる。

## (5) 緊急性

天文学・宇宙物理学の分野においては、約10年間にわたる8~10m級の地上望遠鏡の運用により飛躍的な進歩・発見がなされてきたが、これらの望遠鏡では解明できない「第二の地球探査と生命の確認」、「ダークエネルギーの性質の解明」、「宇宙で最初に誕生した星の検出」といったテーマに挑むTMT計画は、科学の最先端を切り開き、知のフロンティアを大きく前進させることになる。各国が次世代の超大型望遠鏡の建設・運用による研究成果を競う中、速やかに本計画を推進する必要がある。

現在、TMT計画においては、2014年からの建設を目指して、米国及びカナダにおいて技術実証が継続的に実施されているほか、参加機関の役割分担、計画の推進組織体制、望遠鏡の運用方針など参加機関において協議が行われている。役割分担の最終合意は2013年に行われる予定であり、我が国が、技術的に優れている望遠鏡の本体構造の製作や大量に必要な高精度な主鏡の生産を担うためには、2012年度から、望遠鏡構造の基本設計・基礎開発や、主鏡の性能評価・量産試作・研磨試作などの技術実証等を開始する必要がある。我が国のTMT計画への参加が遅れることは、アルマ計画に計画当初から参加することができず、対等な協力関係を確保するために多大な苦勞をしたとの経験から、当該分野における学術研究の推進に大きな支障が生じることが予想され、国立天文台は、我が国の研究者がこれまでの実績の上に主導的な立場で活動できる体制を整える必要がある。

国立天文台が、政府の支援を受けて、技術実証を開始することになれば、本計画において我が国の研究者が主導的な立場で活動できるようになるとともに、各国政府における検討を加速させることにつながるものと考えられる。

以上から、本計画の緊急性は高く、提案のあった2012年から着手することは妥当であると判断される。

## (6) 戦略性

本計画は、我が国の天文学分野の飛躍的推進に資するばかりでなく、地球惑星科学や物理学のほか、生命科学など広く関連する分野にも大きな波及効果をもたらすものである。

また、すばる望遠鏡等により、124億光年から129億光年彼方(宇宙誕生から8~13億年)の輝線銀河を多数発見し、その個数密度の年代変化に特徴的な兆候を発見したことや、100億光年以上遠方にある超新星を発見したことなど、天文学分野をリードする研究成

果を挙げた我が国の研究者が、各国が次世代の超大型望遠鏡の運用による研究成果を競う時代において、引き続き第一線で学術研究を展開していくために必要不可欠な計画である。

TMT計画の実現には、国際協力による実施体制を構築することが不可欠であり、現在当該分野において提案されている次世代超大型望遠鏡計画の中で、国立天文台が最も実現性が高いと判断した計画について、計画の立案段階から主体的に進めようとするとは評価できる。

国立天文台は、すばる望遠鏡の建設・運用を通じて、当該分野における先導的な研究成果を挙げるとともに、TMTにおいて必要とされる各種の基幹技術に関しても、企業とも連携しながら、広視野機能に関する卓越した技術、超低膨張セラミックガラス、高精度な非球面鏡、高精度望遠鏡構造など多くの技術開発や経験を蓄積している。これらの日本の長をを活かし本計画に参加することで、今後の次世代超大型望遠鏡計画を国際的にリードし、本計画による新たな学術研究の成果を通じて、日本のプレゼンスを国際的に示すことが期待できる。

また、高分解機能を有するTMTは、広視野サーベイ観測に優れたすばる望遠鏡との連携に十分配慮した運用を計画しており、ダークエネルギーの探求などで世界をリードする成果が期待できる。さらに、すばる望遠鏡の超高感度CCDカメラの技術が医療用X線カメラに応用されたり、口径8mの主鏡を高精度で支える技術により、重さの計量技術制度が飛躍的に向上し、薬剤の精密な測定に応用されるなどしており、TMT計画において開発される技術についても、我が国の産業への波及効果が期待できる。

## (7) 社会や国民の理解

本計画で挑む「第二の地球探査と生命の確認」、「宇宙で最初に誕生した星の検出」といったテーマは、天文学の本質を追究する重要テーマである。

また、日本の天文学は、124億光年から129億光年彼方(宇宙誕生から8~13億年)の輝線銀河を多数発見し、その個数密度の年代変化に特徴的な兆候を発見したことや、100億光年以上遠方にある超新星を発見したことなど、大型の地上望遠鏡を用いて、遠宇宙の銀河、太陽系外惑星系、超新星の観測等で成果をあげてきた。

大型望遠鏡の解像度、集光力、感度を飛躍的に向上させるには、高度な技術が求められるが、国立天文台は、すばる望遠鏡の建設・運用を通じて、広視野機能に関する卓越した技術、超低膨張セラミックガラス、高精度な非球面鏡、高精度望遠鏡構造など、多くの技術や経験を蓄積してきている。

こうした実績を基に取り組む重要テーマは学術的な価値はもちろん、巨大望遠鏡を用いた観測では精緻かつ美しい画像が得られることから、TMT計画は、これまでのすばる望遠鏡計画と同様に、幅広い国民の知的好奇心を刺激し、国民の理解を得られると判断される。

一方、国の財政が厳しさを増す状況にある中で、本計画の推進には、多額の国費を要することから、すばる望遠鏡計画と同様に、日本の装置によって新たな発見をしたという喜びを国民と一体感を持って分かち合えるように、これまで以上に幅広く国民の理解と支持を得る取組を積極的に推進することが望まれる。

### 3. まとめ

#### ①総合評価

日本のほか、米国、カナダ、中国、インドの5カ国の国際協力科学事業として計画されているTMT計画は、現在の8~10m級の地上望遠鏡では解明できない「第二の地球探査と生命の確認」、「ダークエネルギーの性質の解明」、「宇宙で最初に誕生した星の検出」といったテーマに挑むものであり、科学の最先端を切り開き、知のフロンティアを大きく前進させることになるものである。

本計画は、我が国の天文学分野の飛躍的推進に資するばかりでなく、地球惑星科学や物理学のほか、生命科学など広く関連する分野にも大きな波及効果をもたらすものである。

また、すばる望遠鏡等により天文学分野をリードする研究成果を挙げてきた我が国の研究者が、各国が次世代の超大型望遠鏡の運用による研究成果を競う時代において、引き続き第一線で学術研究を展開していくために必要不可欠な計画である。

本計画において日本の中心機関となる国立天文台は、「野辺山宇宙電波観測所」、すばる望遠鏡、アルマ計画など、数多くの大規模プロジェクトを推進してきており、天文学・宇宙科学分野の学術研究の第一線で活躍してきている。また、すばる望遠鏡の建設・運用を通じて先導的な成果を挙げるとともに、TMTにおいて必要とされる各種の基幹技術に関して、広視野機能に関する卓越した技術、超低膨張セラミックガラス、高精度な非球面鏡、高精度望遠鏡構造など多くの技術開発や経験を、企業とも連携しながら蓄積している。これらの日本の特色を活かして本計画に参加することで、今後の次世代超大型望遠鏡計画を国際的にリードし、本計画による新たな学術研究の成果を通じて、日本のプレゼンスを国際的に示すことが期待できる。さらに、TMT計画において開発される技術は、我が国の産業への波及効果が期待できる。

現在、TMT計画においては、2014年からの建設を目指して、米国及びカナダにおいて技術実証が継続的に実施されているとともに、参加機関の役割分担、計画の推進組織体制、望遠鏡の運用方針など、参加機関において協議が行われている。役割分担の最終合意は、2013年に行われる予定であり、日本が技術的に優れている望遠鏡の本体構造の製作や大量に必要な高精度な主鏡の生産の担うためには、2012年度から、望遠鏡の基本設計・基礎開発や、主鏡の性能評価・量産試作・研磨試作などの技術実証等を開始する必要がある。また、国立天文台が、政府の支援を受けて、技術実証を開始することとなれば、本計画において我が国の研究者が主導的な立場で活動できるようになるとともに、各国政府における検討を加速させることにつながるものと考えられる。

また、本計画は、天文学分野をリードするこれまでの我が国の研究成果のほか、多くの技術や経験といった実績を基に取り組みむものであり、学術的な価値はもちろん、巨大望遠鏡を用いた観測では精緻かつ美しい画像が得られることから、幅広い国民の知的な好奇心を刺激し、国民の理解を得られると判断される。

以上を総合的に勘案し、本計画は積極的に進めるべきであり、早急に着手すべきであると評価する。

## ②計画推進にあたっての留意点

国立天文台では、現在、すばる望遠鏡、アルマ計画を推進している。

本計画の推進にあたっては、これまでの技術的蓄積を十分に活用するとともに、それぞれの観測装置が有する性能の積極的活用など、建設及び運用段階において相互の連携を強化することが望まれる。

一方、本計画が実施されれば、複数の国際的なプロジェクトが同時に実施されることとなり、十分な人員の確保が課題となるが、すばる望遠鏡のプロジェクトの見直しのほか、アルマ望遠鏡の建設やソフトウェア開発に携わった人員の配置転換などにより、こうした課題は克服できると考えられる。さらに、国立天文台は、我が国の天文学分野の連携協力体制を強化した上で、天文学のみならず地球惑星科学や物理学のほか、生命科学など広く関連する分野のコミュニティの協力を得て、十分な実施体制がとれるよう、幅広く研究者コミュニティの組織化・協力体制を構築するとともに、技術者、運営管理者のさらなる充実にも留意することが望まれる。なお、すばる望遠鏡のプロジェクトの見直しにあたっては、ハワイ観測所として一体的な推進体制の構築について積極的に検討することが必要である。

また、国立天文台は、TMT建設に必要とされる技術が蓄積されているが、その完成に向けては克服すべき課題もある。国立天文台は、本計画を主導的な立場で推進する観点から、早期からの安定的な技術開発によりその課題解決が可能となるようにするとともに、年次計画に沿った円滑な推進体制の構築に努めることが望まれる。その上で、参加国の取組状況や計画の進捗に応じ、工程の確認や技術評価を十分に行い、建設計画を着実に進める必要がある。

なお、国際協力による計画は、計画実行に多くの困難や紆余曲折を経ることが避けられないところであり、国立天文台は、各国における本計画の実施状況や支援体制等について、適切に検証を行うとともに、アルマ計画の推進によって蓄積している経験も活かして、国際協力の中で、リーダーシップを発揮し続ける努力をすることが望まれる。また、国は、TMT計画における国立天文台の取組に対し、必要な支援に努める必要がある。

## 用語解説

- ※1 ダークエネルギー  
137億年前に始まった宇宙膨張は一旦減速したが、約70億年まえからは加速していることが判明した。宇宙膨張を加速する正体不明のエネルギーにつけられた呼称。
- ※2 補償光学  
大気のゆらぎなどによる像の劣化を補正し、非常にシャープな像を得るための装置。
- ※3 系外惑星系  
太陽以外の恒星と、それを公転周回する惑星からなる系を指す「太陽系外惑星系」を略した呼称。
- ※4 中心星  
系外惑星系の中心となる恒星のこと。太陽系では太陽に相当する。
- ※5 視線速度法  
惑星の公転運動の反動で中心星はわずかに振り回される。振り回される中心星から発せられる光は、観察者(視線方向)に中心星が近づくと波長が青く(短く)なり、遠ざかると波長が赤く(長く)なる。この中心星の動き(速度)が大きいほど、波長の変化も大きくなる。このような視線速度の周期的変化から系外惑星の存在を間接的に証拠立てる手法。
- ※6 トランジット法  
中心星の手前を惑星が通過するとき中心星の明るさが減少することから系外惑星の存在を間接的に証拠立てる手法。
- ※7 ハビタブルゾーン  
中心星から近すぎる星では水は蒸発する。遠すぎると凍る。惑星表面の水が液体として存在できる温度環境にある軌道範囲をさす。
- ※8 大気スペクトル  
中心星の手前を惑星が通過する場合、中心星からの光の一部は惑星の大気を通過する。このため、中心星のスペクトルを詳しく調べると惑星大気の組成を調べることができる。
- ※9 分光解析  
天体からの光を分光器で虹のようなスペクトルにして解析すると、天体の元素組成、温度、密度や運動状態を調べることができる。これを分光解析と呼ぶ。
- ※10 絶対光度  
天体の本来の明るさを示す概念。対して、みかけの明るさは天体と観測者の距離によって変化する。
- ※11 Ia型超新星  
白色矮星の爆発現象で、極めて明るくその絶対光度は一定である。このため、みかけの明るさからその距離を算出できる。遠い銀河の距離測定に利用される。

- ※12 宇宙背景放射観測衛星WMAP  
ビッグバンから 38 万年後の宇宙からのマイクロ波のムラを精密に測定することに成功した科学衛星。この解析から、宇宙年齢やダークエネルギーの存在が解明された。
- ※13 クェーサースペクトル  
クェーサーとは、太陽の約 1 億倍の重さを持つブラックホールに落ち込むガスが光るため、銀河系の約 2000 億個の恒星全体の明るさに匹敵するほど明るく輝く天体であり、遠い宇宙でも観測できる。そのスペクトルからクェーサーと地球の間にある物質についての情報を得ることができる。
- ※14 輝線銀河  
銀河中の星間ガスは、その中に含まれる元素に特有な色を放つ。宇宙で一番多い水素原子が放つライマン $\alpha$ 輝線など、特徴的なスペクトルを強く放つ銀河をさす。
- ※15 ナスミス焦点台  
大型望遠鏡の両サイドに設けられる焦点台のこと。星を追尾して望遠鏡が傾いても、ナスミス焦点では観測装置を傾ける必要が無いいため大型観測装置を配備できる。
- ※16 解像度  
「どれだけ細かい構造まで鮮明に見えるか」という能力。地上望遠鏡では、主に大気の揺らぎによる影響が大きいが、補償光学装置を用いて大気の揺らぎを克服すると、望遠鏡の主鏡口径に比例して解像度が高くなる。
- ※17 ハッブル宇宙望遠鏡  
1990 年に打ち上げられた直径 2.4m の宇宙望遠鏡。大気のゆらぎの影響を受けないため、解像力の高い写真が得られる。
- ※18 感度  
「どれだけ暗い天体まで検出することができるか」という能力。地上望遠鏡同士の比較では主鏡の面積に比例して高くなる。地上望遠鏡では夜空の明るさが暗い天体の検出をじゃまするのに対して、宇宙望遠鏡は夜空（に相当するもの）が非常に暗いので、同じ主鏡面積でも宇宙望遠鏡の方が感度が高い。しかし、TMT望遠鏡は主鏡面積がハッブル宇宙望遠鏡の 160 倍もあるため、この効果を考慮しても感度は約 40 倍高い。感度と解像度は異なる能力であるが、両方とも現代天文学においては重要な能力であり、主鏡の口径（面積）を大きくすることにより高めることができる。

科学技術・学術審議会 学術分科会 研究環境基盤部会  
学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会  
委員等名簿

(◎：主査)

〔臨時委員：4名〕

岡田 清孝	自然科学研究機構基礎生物学研究所長
川合 知二	大阪大学産業科学研究所特任教授
平 朝彦	独立行政法人海洋研究開発機構理事
瀧澤美奈子	科学ジャーナリスト
西尾章治郎	大阪大学大学院情報科学研究科教授

〔専門委員：8名〕

◎ 飯吉 厚夫	中部大学理事長・総長
海部 宣男	放送大学教授
佐藤 勝彦	自然科学研究機構長
塚本 桓世	東京理科大学理事長、山口東京理科大学学長
長田 重一	京都大学大学院医学研究科教授
永宮 正治	J-PARCセンター長
横山 広美	東京大学大学院理学系研究科准教授

※評価にご協力いただいた専門家

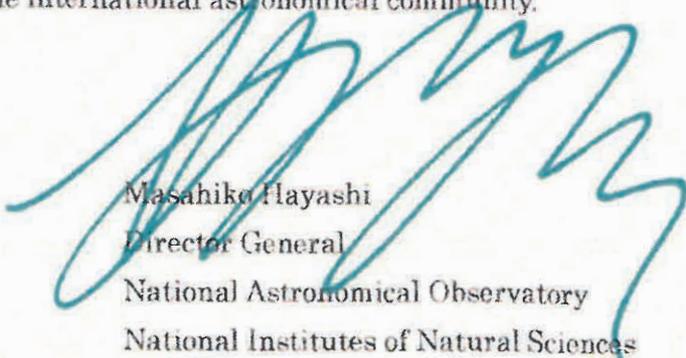
井上 一	宇宙開発委員会委員
永原 裕子	東京大学大学院理学系研究科教授
山本 智	東京大学大学院理学系研究科教授

4 April, 2012

Letter of Collaboration

In September 2011, the National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ) signed a Letter of Intent, entitled "Global Partnership Concerning the Thirty Meter Telescope Observatory", to enter into a committed international collaboration to develop and operate a next generation large telescope and associated observatory (the "TMT Project"). The Letter of Intent established a Collaboration Board with representation from each of the signatory parties. As NAOJ's representative to the Collaborative Board, I am pleased to affirm NAOJ's intent to secure necessary fund to participate in the TMT project to enable making contributions described in the TMT Observatory Corporation's proposal to NSF.

NAOJ recognizes that a next generation large telescope is an essential tool to address questions in astronomy ranging from understanding star and planet formation to unraveling the history of galaxies and the development of large-scale structure in the universe. NAOJ looks forward to its collaboration in the TMT Project and the many benefits it will provide to the international astronomical community.



Masahiko Hayashi  
Director General  
National Astronomical Observatory  
National Institutes of Natural Sciences

# 省略語集

省略	英語	日本語
ACURA	Association of Canadian Universities for Research in Astronomy	カナダ天文学大学連合
AGWFS	Acquisition, Guider, and Wave-Front Sensorの略。	天体導入／追尾／波面センサー
AIV	Assembly, Integration, and Verification	組立調整
ALMA	Atacama Large Millimeter Array	アタカマ巨大ミリ望遠鏡。南米チリで建設が進められている周波数80-950 GHz帯のミリ波サブミリ波領域で稼働する電波干渉計
AM2	Deformable Secondary Mirror	可変副鏡
AO	Adaptive Optics	アダプティブ・オプティクス：補償光学
AODP	Adaptive Optics Development Program	AO開発プログラム
AOESW	Adaptive Optics Executive Software	AO 制御ソフトウェア。補償光学を制御するソフトウェア
APS	Alignment and Phasing System	位置／位相調整システム
ASIC	application specific integrated circuit	特定用途向けのチップ
CAD	computer aided design	コンピュータを利用しての設計作業
Caltech	California Institute of Technology	カリフォルニア工科大学
CCD	Charge Coupled Device	電荷結合素子
CELT	California Extremely Large Telescope	カリフォルニア30 m望遠鏡
CFD	Computational Fluid Dynamics	流体力学の計算機シミュレーション
CFHT	Canada France Hawaii Telescope	カナダ・フランス・ハワイ望遠鏡
CIOMP	Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics, and Physics	中国科学院長春光学精密機械・物理研究所
CMB	Cosmic Microwave Background	宇宙マイクロ波背景放射
CSW	Common Software	一般公開されているソフトウェアインフラストラクチャ
CTE	Coefficient of Thermal Expansion	熱膨張率
CU-HROS	CU-High Resolution Optical Spectrometer	University of ColoradoがTMTに提案する可視高分散分光器
CW laser	continuous wave laser	連続波レーザー
DEIMOS	Deep Imaging Multi-Object Spectrograph	ケック望遠鏡の多天体分光器
DM	Deformable Mirror	可変鏡
DMS	Data Management System	データ管理システム
DRAO	Dominion Radio Astrophysical Observatory	ドミニオン電波天体物理学観測所
DSL社	Empire Dynamic Structure	カナダのEmpire Dynamic Structure社
E-ELT	European Extremely Large Telescope	欧州南天天文台による世界の3大次世代超大型望遠鏡計画のひとつ
ELT	Extremely Large Telescope	次世代地上超大型望遠鏡
ESO	European Southern Observatory	欧州南天天文台
ESW	Executive Software	執行ソフトウェア。観測実行時の全てのソフトウェアシステムの協調と同期を担当する
ExAO	Extreme Adaptive Optics	究極補償光学：補正素子数の非常に多い補償光学
f ratio		f比。光学系における有効口径と焦点距離の比
FDR	Final Design Review	最終設計審査
FITSフォーマット	Flexible Image Transport System	天文画像などの保存に使われるデータ形式
FMOS	Fiber Multi Object Spectrograph	主焦点に400 天体を同時に分光可能な多天体ファイバースペクトログラフ装置
FOCAS	The Faint Object Camera and Spectrograph	すばる望遠鏡の微光天体分光撮像装置
FOV	Field of View	観測装置などの写野
full well		CCDが受光した光を電子に変換して収容できる容量。
FWHM	full width at half maximum	関数の広がり程度を表す指標で、ピークの半分の信号値レベルでの全幅
GLAO	Ground Layer AO	地表近くの乱流を集中的に補正するタイプの補償光学
GMT	Giant Magellan Telescope	米国内の別の次世代超大型望遠鏡構想
GRB	Gamma Ray Burst	ガンマ線バースト

省略	英語	日本語
GSMT	Giant Segmented Mirror Telescope	米国国立光学天文台の30 m望遠鏡計画で、TMTとGMTを含む
H2RG	Hawaii2 RG	テレダイン社が開発したHgCdTe検出器
HIA	The Herzberg Institute of Astrophysics	カナダの天体物理研究所
HiCIAO	High contrast Coronagraphic Imager for Adaptive Optics	赤外線冷却コロナグラフ撮像装置。高コントラストの赤外線カメラ
HROS	High Resolution Optical Spectrometer	TMT望遠鏡に提案されている可視高分散分光器
HSC	Hyper Suprime Cam	Suprime-Cam の約10倍広い視野を持つすばるの主焦点カメラ
HST	Hubble Space Telescope	ハッブル宇宙望遠鏡
IBF	Ion Beam Figuring	イオンビーム加工
IFU	Integral Field Unit	面分光装置
IFU(MICHI)	Mid-Infrared Camera High-disperser, & IFU spectrograph	TMTの中間赤外線観測装置として提案されている装置
IOE	Institute of Optics and Electronics	中国成都の光学電子研究所
IRIS	Infrared Imaging Spectrometer	TMT望遠鏡の近赤外撮像分光装置
IRMOS	Infrared Multi-Object Spectrometer	TMT望遠鏡のMOAOを用いた近赤外多天体分光器
IRMS	Infrared Multi-Object Spectrograph	TMT望遠鏡の近赤外多天体分光器
ITT Exelis	ITT Exelis	TMTの分割鏡の製造設計に関わっている業者。
IUCAA	The Inter-University Centre for Astronomy and Astrophysics	インド・ブネの天文天体物理大学連合センター。
JELT	Japan Extremely Large Telescope	すばる望遠鏡に続く日本の次世代30 m級望遠鏡計画
JPL	Jet Propulsion Laboratory	ジェット推進研究所：NASAの一部門
JWST	James Webb Space Telescope	口径6.5mの宇宙赤外線望遠鏡
KECK		マウナケア山のすばる望遠鏡のとなりにある口径10mのセグメント鏡望遠鏡
LAE	Lyman Alpha Emitter	水素原子輝線を出す遠方銀河
LAMOST	Large Sky Area Multi-Object Fibre Spectroscopic Telescope	中国の国家重点科学技術プロジェクトの一つである分割鏡を採用した天体望遠鏡
LBT	Large Binocular Telescope	口径8.3mの望遠鏡2台を干渉計として利用する望遠鏡
LGS	Laser Guide Star	レーザーガイド星
LGSF	Laser Guide Star Facility	レーザーガイド星システム
LRIS	Low Resolution Imaging Spectrometer	ケック望遠鏡の低分散分光器
M1	Primary Mirror	主鏡
MICS	M1 Control System	主鏡制御システム
M2	Secondary Mirror	副鏡
M3	Tertiary Mirror	第3鏡
MAD	MCAO Demonstrator	MCAOデモンストレーター
MAOS	Multi-threaded Adaptive Optics Simulator	多スレッド化された補償光学シミュレータ
Matlab		米国のMathWorks社が開発する数値計算用に優れたソフトウェア。
MCAO	Multi - Conjugate Adaptive Optics	多共役補償光学
MEMS	Micro Electro Mechanical System	微小電気機械素子
MIRAO	Mid-Infrared Adaptive Optics	TMT望遠鏡の中間赤外線用補償光学
MIRES	Mid-InfraRed Echelle Spectrometer	TMT望遠鏡に提案されている中間赤外エシェル分光器
MIT/LL	MIT Lincoln Laboratory	マサチューセッツ工科大学 リンカーン研究所
MOAO	Multi - Object Adaptive Optics	多天体補償光学技術
MOBIE	Multi-Object Broad Band Imaging Echellette	多天体広帯域撮像エシェル分光装置
MOIRCS	Multi-Object InfraRed Camera and Spectrograph	すばる望遠鏡の近赤外多天体分光撮像装置
MOSFIRE	Multi-Object Spectrometer for Infra-Red Exploration	ケック望遠鏡の近赤外多天体分光装置

省略	英語	日本語
MTHR	Moderate to High Resolution Spectrometer	TMT望遠鏡に提案されている中分散高分散分光器
NAOJ	National Astronomical Observatory of Japan	国立天文台
NFIRAOS	Narrow Field Infrared Adaptive Optics System	TMT望遠鏡の多共役補償光学を用いた補償光学系
NGS	Natural Guide Star	補償光学系のガイドに用いる天体近傍にある星
NIAOT	Nanjing Institute of Astronomical Optics and Technology	南京天文光学技術研究所
NIR	Near Infrared	近赤外
NIRES	Near-InfraRed Echelle Spectrometer	TMT望遠鏡の近赤外回折限界エッセル分光器 (20,000<R<100,000)
NIRES-B	Near-InfraRed Echelle Spectrometer - Blue	NIRESの2つの装置のうち短波長側を担当する装置
NIRES-R	Near-InfraRed Echelle Spectrometer - Red	NIRESの2つの装置のうち長波長側を担当する装置
NOAO	National Optical Astronomy Observatory	米国国立光学天文台
NSF	National Science Foundation	米国の科学技術向上を目的とする政府組織
OIWFS	on - instrument wavefront sensors	観測装置に搭載された波面センサー
OPD	Optical Path Difference	望遠鏡の光路差
PDR	Preliminary Design Review	予備設計審査
PFI	Planet Formation Instrument	TMT望遠鏡に提案されている惑星形成観測装置
PFS	Prime Focus Spectrograph	すばる望遠鏡の主焦点機能拡大を踏まえて構想されている可視光多天体ファイバ分光器。
PI	Principal Investigator	研究代表者
PI-直接観測モード		PI が観測を遂行する。PI が観測装置を操作することで時々刻々の観測計画を直接変更することができる
PSF	Point Spread Function	点源像分布関数
PSSN	Normalized Point Source Sensitivity	規格化点源感度
QSO	Quasi Steallar Object	クエーサー
RMS	Root Mean Square	二乗平均平方根
RPG	Reconstructor Paramater Generator	NFIRAOS のリアルタイム制御に必要なAOパラメーターを算出する再構築パラメーター発生システム
RTC	real-time controller	リアルタイム制御装置
S/N	Signal to Noise ratio	信号とノイズの比率
SAC	Science Advisory Committee	TMT 科学諮問会議
SAGEM	Société d'Applications Générales de l'Électricité et de la Mécanique	フランスの電気機械光学総合企業：セグメント鏡の製造経験がある
SIDECAR		テレデザイン社が開発したASIC読み出し回路
SOSS	Science Support Operation System	科学運用支援システム
SPICA	Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics	JAXAが計画する口径3m級の次期宇宙赤外線望遠鏡計画
SPIE	The International Society for Optical Engineering	国際光工学会
SRD	Science Requirements Document	科学要求仕様書
SSA	Segment Support Assembly	TMTのセグメント鏡支持機構
SSTB	Single Segment Test Bed	単一セグメントの試験機
Suprime-Cam		すばる望遠鏡の主焦点カメラ
SWIT	Software and Information Technology (Group)	TMT観測所のソフトウェア・情報技術グループ
TAC	Time Allocation Committee	観測提案を審査し観測時間割付を監督する委員会
tip/tilt/focus		ティップ/ティルト/フォーカス
TIPC	Technical Institute of Physics and Chemistry	中国北京の物理化学技術センター

省略	英語	日本語
TMT	Thirty Meter Telescope	国立天文台が国際協力科学プロジェクトとして、ハワイ島マウナケア山頂での建設を目指している492枚のセグメント鏡からなる口径30mの次世代超大型望遠鏡
ToO観測	Time of Opportunity観測	その時間でしか実行できない観測を行う割り込み観測
tOSC	the Optical Sciences Company	オプティカルサイエンス社
UC	University of California	カリフォルニア大学
UCSC	University of California Santa Cruz	カリフォルニア大学サンタクルズ校
UVES	Ultraviolet and Visual Echelle Spectrograph	VLT望遠鏡の紫外線・可視光エシェル分光器
VLOT	Very Large Optical Telescope	カナダの超大型光学望遠鏡計画
VLT	Very Large Telescope	欧州南天天文台の口径8.2mの望遠鏡4台
VO	Virtual Observatory	仮想天文台
WFE	Wave Front Error	波面誤差
WFOS	Wide Field Optical Spectrometer	TMT望遠鏡の広視野可視分光器
WFS	wave front sensors	波面センサー
WIRC	Wide-field InfraRed Camera	TMT望遠鏡のMCAOを用いた広視野赤外カメラ
ZPF	Zero thermal expansion Pore-Free ceramics	ゼロ膨張セラミック素材



次世代超大型光学赤外線望遠鏡  
— Thirty Meter Telescope (TMT) —  
計画説明書

2012年7月

発行 国立天文台 TMT 推進室  
表紙デザイン 田島俊之 (国立天文台光赤外研究部)