

TMT建設の現状と日本の役割、 運用プランと国際協力・国際競争



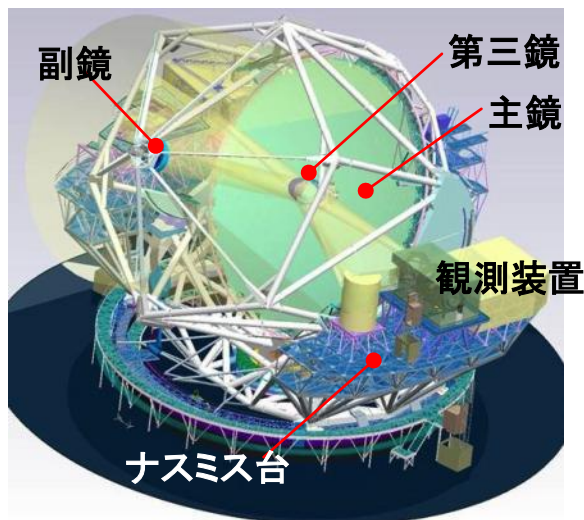
1. TMT計画の概要
2. 建設の現状
 ハワイの状況、バックアッププラン
3. 国際協力と日本の役割
4. 国際競争 他のELT計画
5. 運用プラン

1. TMT計画の概要

超大型望遠鏡 TMT計画の推進

【概要】

地球型系外惑星探査、初期宇宙史の解明、
ダークエネルギーの解明などを期し、国際共
同科学事業として、ハワイ島マウナケア山頂
に口径30m光学赤外線望遠鏡TMTを建設する。
望遠鏡本体や主鏡の製作などを担当し、2020
年代の観測天文学をリードする。



- ・ メンバー国・機関：自然科学研究機構(日本)、カリフォルニア工科大学、カリフォルニア大学、中国国家天文台、インド科学技術庁、カナダ国立研究会議、米国天文学大学連合／NSF(米国立科学財団)
- ・ 日本の分担：望遠鏡本体構造、主鏡、観測装置
- ・ 建設費：約1800億円（約18億米ドル）

30m光学赤外線望遠鏡 (TMT) 計画

【建設概要】

1.44m 六角鏡492枚＋交換用82枚

日本の建設費375億円＋活動経費40億円

2018(平成30)年度 山頂建設再開予定

2027(平成39)年度 完成予定

【日本の分担】

望遠鏡本体の製造・組立

主鏡材574枚の製作

主鏡材175枚の研磨

第一期観測装置の一部製作・組立

分担金 (TMT国際天文台運営費等)

【建設における役割分担】

	日本	米国	カナダ	中国	インド
山頂施設	○	○	○	○	○
山麓施設	○	○	○	○	○
ドーム			○		
望遠鏡製作・組立	○				
主鏡材	○				
主鏡研磨	○	○		○	○
主鏡支持機構					○
副鏡		○			
第三鏡				○	
鏡洗浄蒸着機構					○
主鏡制御		○			○
望遠鏡制御	○				○
補償光学			○		
観測装置	○	○	○	○	○
天文台運営費等	○	○	○	○	○

建設費 各パートナーの貢献割合

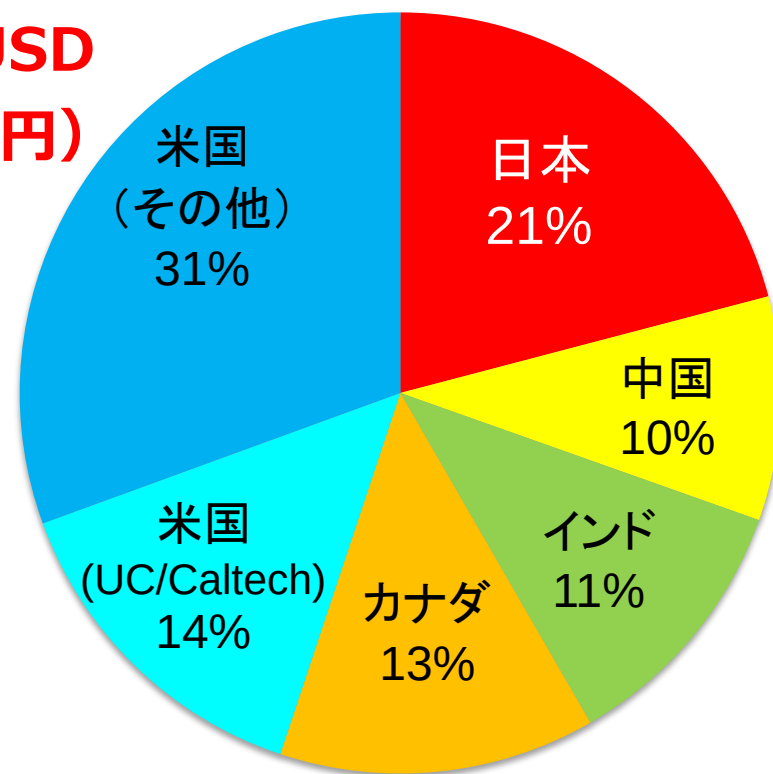
総建設費

- ・ 建設前 (～2013): 約220M USD
- ・ 建設期間 (2014～**27**): **約1,800M USD**
(約1,800億円)

← 建設開始が3年遅れに伴い経費増

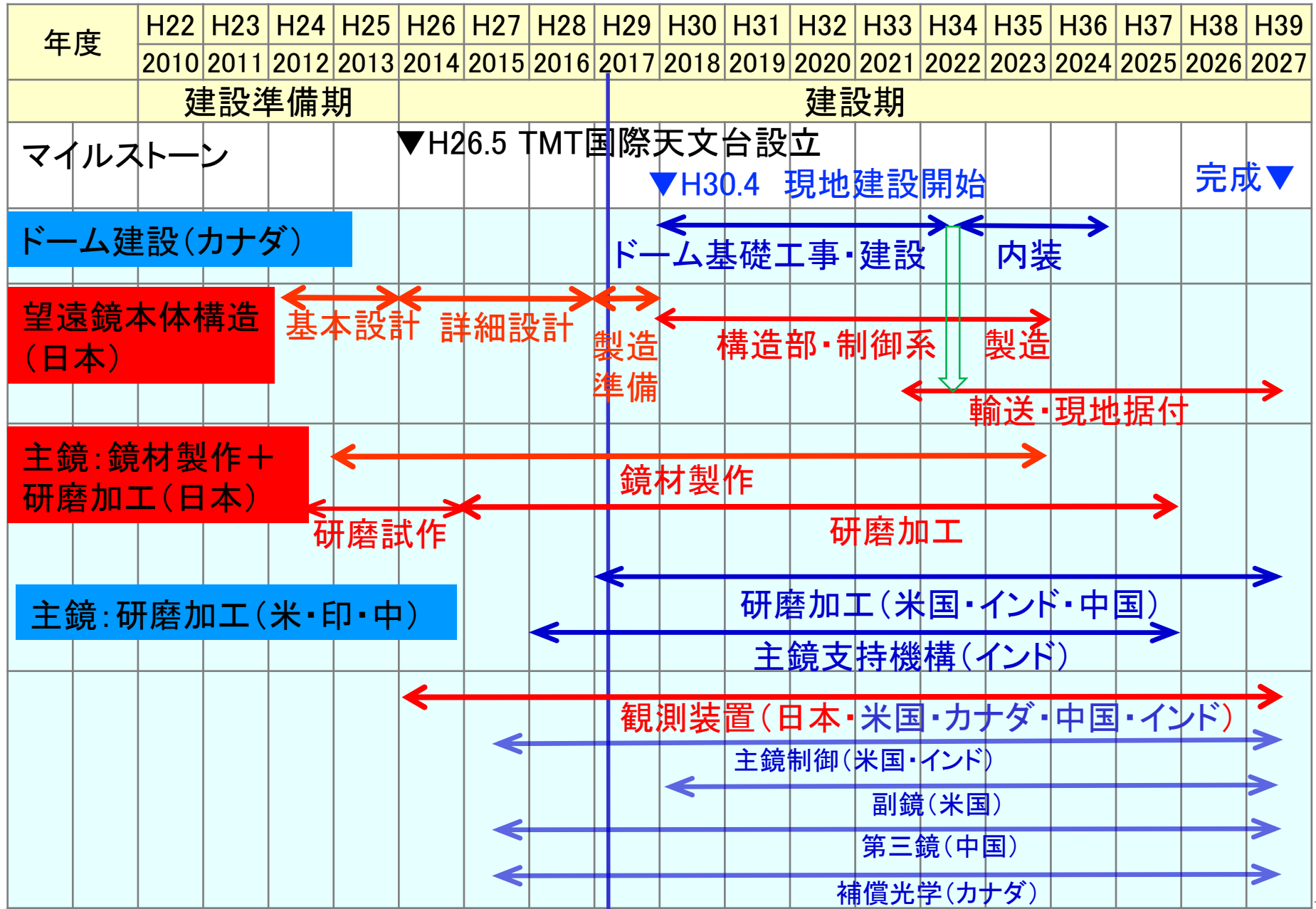
日本の貢献

- ・ 建設前 : 19億円
 - ・ 建設費期間 : 375億円 + 40億円
(共同利用にむけた国内経費)
- **約21%貢献割合**



NSFや個別大学による約31%の追加貢献を想定

日本の工程と海外の工程との関係



現地建設スケジュール

年度	H29				H30				H31				H32				H33				H34				H35				H36				H37				H38				H39			
暦年	2017				2018				2019				2020				2021				2022				2023				2024				2025				2026				2027			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
インフラ整備																																												
ドーム建設																																												
ドーム仕上げ																																												
山頂制御棟																																												
ドーム固定部被覆																																												
望遠鏡本体構造組立																																												
ドーム固定部仕上げ																																												
望遠鏡本体構造調整・試験																																												
組立調整、主鏡・装置搭載、試験																																												
ファーストライト																																												

日本が担当

日本が担当

日本が一部担当

2027年7月：ファーストライト ▲

2. TMT建設の現状

マウナケア保護地区利用許可 (CDUP) の再申請状況

- 2015年(H27年)12月：ハワイ州最高裁が州による承認手続きの瑕疵を理由にCDUPを無効とし、審査を差し戻す判決
- 2016年(H28年)2月：ハワイ州土地・天然資源委員会(BLNR)に審査が差し戻され、委員会が手続きを開始
- 2016年(H28年) 10月20日～2017年(H29年) 3月2日：BLNRが選んだ審査官による公聴会を開催（44回）
- 2017年(H29年) 4月18日：公聴会証言記録を開示
- 2017年(H29年) 5月30日：各当事者（賛成・反対両者）から、審査官の判断に向けた提案書を提出

今後の予定

- 2017年(H29年) 8月（見込み）：審査官による判断
- 2017年(H29年) 10月（見込み）：BLNRによる最終判断
- CDUP承認後、半年程度の準備期間をへて現地建設再開。

再開は2018年(H30年) 4月を予定

保護地区利用許可（CDUP） に関する公聴会

- 2016年10月から2017年3月までに44回開催。ハワイ大学およびTIOの指名による証言者、反対者の指名による証言者がそれぞれ証言し、それへの質問が行われた。
- 審査官による判断（BLNRに提出）は8月頃になる見込み。



公聴会会場（ハワイ州ヒロ）



証言するHasinger ハワイ
大学天文学研究所長



Amano審査官



証言者に対する質問¹

ハワイ州世論は引き続き TMT建設支持

TMT支持のキャンペーン



毎週のTMT支持の活動



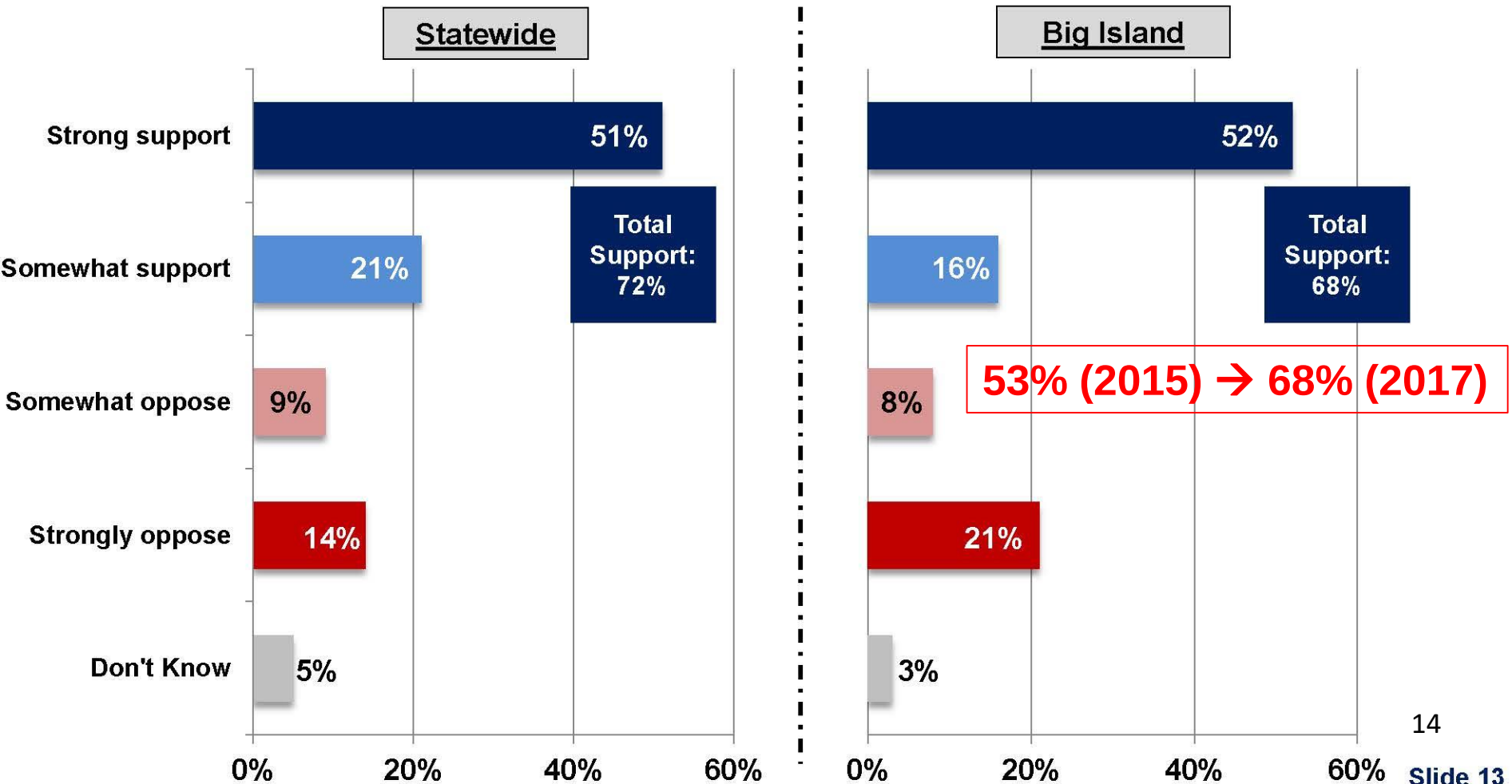
ハワイ島長Harry Kim、ハワイ州知事David Ige、ハワイ選出上院議員
Brian Schatz らからも安全なマウナケア山頂へのアクセスを支持

Native Hawaiianの教育機会推進の非営利団体がTMT支持表明



TMT Support is Overwhelmingly Strong

Based on what you know, would you say you support or oppose building an advanced telescope known as the Thirty Meter Telescope, or T.M.T., on Mauna Kea on the Big Island? (IF CHOICE) Is that strongly or somewhat?



バックアップ建設地の 選定と準備

- 2016年に6か所の候補地を検討
- 日本のコミュニティでも各地での意見交換会、意向投票などで検討・合意形成
- カナリア諸島ラ・パルマ島（標高2400m）を選定
 - ・ 北半球でよい気候条件
 - ・ ロケ・デ・ロス・ムチャチョス天文台（ORM）が多数の望遠鏡を運用
- ハワイでの建設が行えなくなった場合に、**2018年4月から建設に入れるよう**、ORMを運用するスペイン・カナリア天体物理研究所（IAC）とTMT国際天文台が準備に向けた**受入れ合意書を締結**

ラ・パルマ島



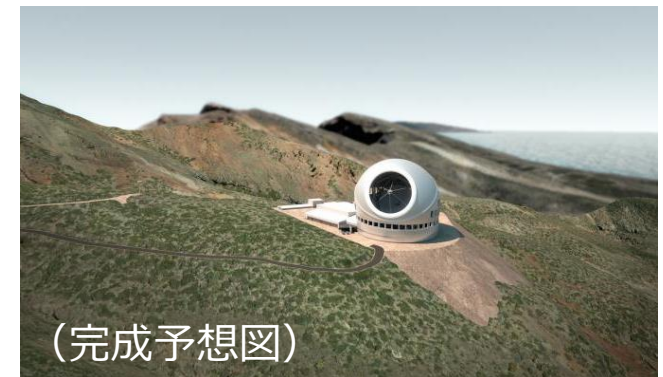
検討された候補地（この他に中国・インド）

メキシコ (San Pedro Martir) **スペイン (La Palma)**



チリ (Honar, MacKenna)

選定されたラ・パルマ (La Palma)



(完成予想図)

3. 国際協力と日本の役割

TMT国際協力の枠組みと TMT国際天文台

TMTの建設と運用を担うTMT国際天文台を平成26年に米国で法人登記・設立。**各メンバーの代表で構成されるTMT評議員会が意思決定を行う。**

TMT評議員会(Board of Governors)
構成員：各メンバー代表

意志決定

TMT国際天文台

TMTのメンバー機関

- ・ 自然科学研究機構
- ・ カリフォルニア工科大学
- ・ カリフォルニア大学
- ・ 中国国家天文台
- ・ インド科学技術省
- ・ カナダ国立研究会議
- ・ 米国天文学大学連合／NSF
(準メンバー：建設後期に正式メンバーに移行予定)

国立
天文台
(日本)

カリフォルニア工科大
カリフォルニア大
米国天文学大学連合

国家
天文台
(中国)

TMT連
携機構
(インド)

カナダ
天文学
大学連合

各国の実施機関：担当箇所の製作と分担金支払い

国立天文台ニュース

National Astronomical Observatory of Japan

2017年3月1日 No.284

特集 TMT 計画を進める人々 Vol.01



● 国際協力によるTMT建設/TMTプロジェクト・メインスタッフ インタビュー:Edward C. Stone / Gary Sanders / Henry Yang / 家 正剛 / Thomas Soifer / Michael Bolte / Gregory Fahman / 薛随建 / B. Eswar Reddy / 臼田知史 / Robert Kirshner

● 天文台メモワール:小林行泰 / 水本好彦 / 有本信雄 / 野口本和 / 渡辺松夫

● 2016年度「N体シミュレーション立春の学校」報告 / Caltech(カルテック)の重力波研究室を訪問しました / 「一般社団法人 日本カレンダー・暦文化振興協会 2016年の活動」報告 / 平成30年(2018)暦要項を発表しました!

3

2017

国立天文台ニュース

National Astronomical Observatory of Japan

2017年4月1日 No.285

特集 TMT 計画を進める人々 Vol.02



● TMT建設予定地ハワイ島マウナケア・関係者 インタビュー

有本信雄(国立天文台ハワイ観測所) / Guenther Hasinger (ハワイ大学) / Marianne Takamiya (ハワイ大学) / Stephanie Nagata (ハワイ大学) / Stewart Hunter (ハワイ大学) / 嘉数悠子(国立天文台ハワイ観測所)

● 「流体学校~Athena++で学ぶ流体力学~」報告

● 参加者募集中! 国立天文台のレクリエーション活動「三鷹地区」

● 平成28年度国立天文台長賞は、2チームに!

4

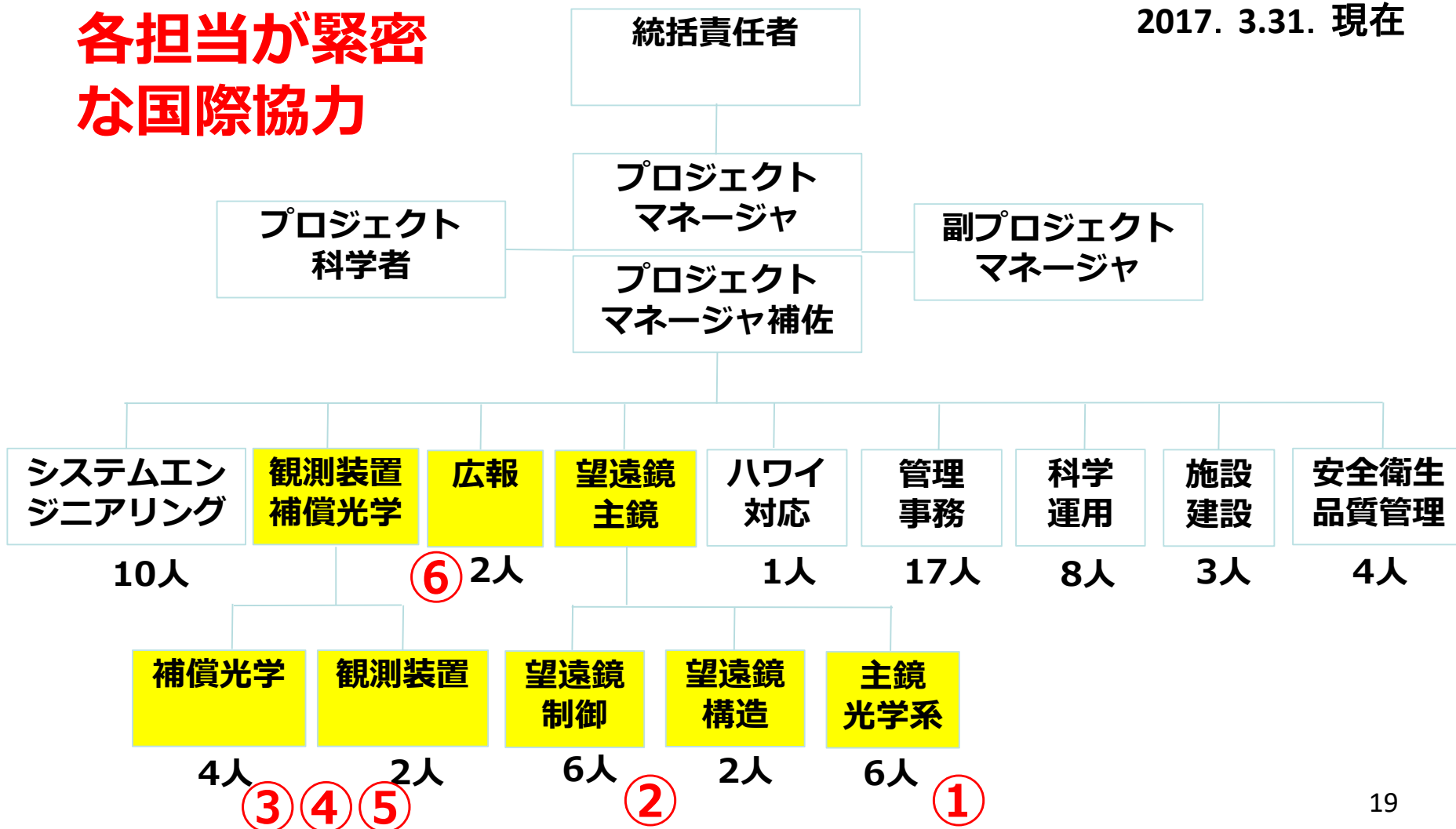
18017

国際協力と日本の役割

TMT国際天文台の組織

各担当が緊密
な国際協力

2017. 3.31. 現在



国際協力と日本の役割

①主鏡分割鏡

Shin Oya
(Optics Sub-Manager)



Takuya Yamashita
(Optics Lead)

Saeko S. Hayashi
(QA Manager)



Takaaki Miyashita
(Business Manager)



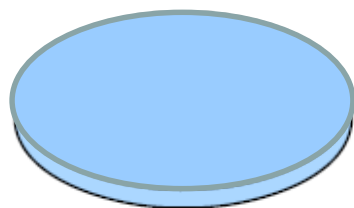
Masanori Iye
(TMT-J Representative)



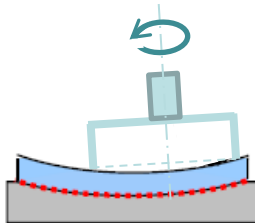
Motokuni Sugiyama 20
(Document Manager)

主鏡分割鏡の製作工程 と日本の分担

分割鏡材の製造と球面加工（日本が574枚すべてを担当）



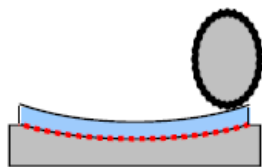
分割鏡材（**平板**）



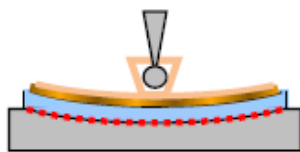
球面研削

約7割は海外
（米国、中国、
インド）に供給

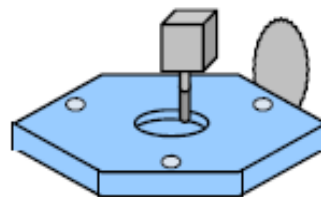
国内外で行われる非球面加工等（日本は約3割を担当）



表面**非球面**研削



表面**非球面**研磨



外形加工等

支持機構搭
載後、米国
での仕上げ
加工に供給

主鏡分割鏡 米国への輸送

1st 7 blanks @ Fremont in Dec. 2016



2nd 36 blanks from
Canon @Utsunomiya



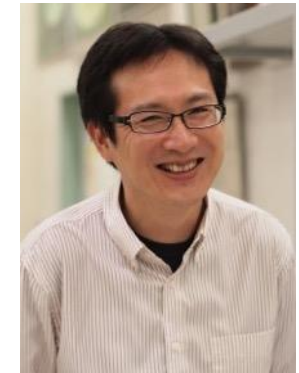
国際協力と日本の役割

②望遠鏡本体

Hiroshi Terada @Pasadena
(STR I/F Control Manager)



Junji Inatani
(STR Engineering Advisor)



Masahiro Sugimoto
(STR Systems Engineer)

Hiroshi Kusumoto
(STR Mechanical Engineer)



Akihito Kozu
(Translator)

Seiichi Tazawa
(STR Control System Engineer)



George Kosugi
(Control System Manager)

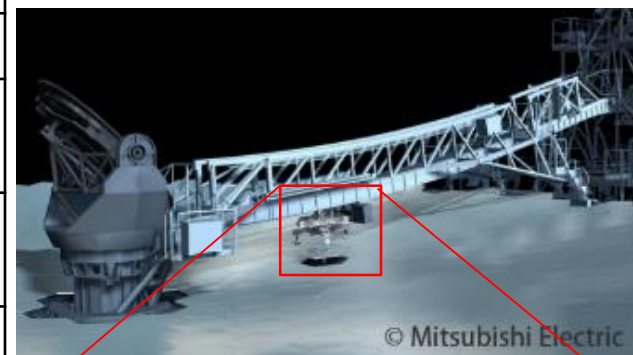


Masao Saito
(STR Lead)

望遠鏡本体の詳細設計

2013	11/12-14	基本設計審査会 (PDR)	合格
2014	4月15-16日	望遠鏡制御系のPDR	合格
	11/18-28	主鏡セグメント鏡交換機構のPDR	合格
2015	2月17-20日	望遠鏡本体の最終設計審査会 (FDR-P1)	完了
	7月27-29日	望遠鏡制御系のFDR-P2 主要な課題を解決してFDR phaseを完了させる必要あり	完了
	10月8-9日	長納期品の材料調達開始にむけた審査 (LPR)	合格
2016	2月24~25日	Delta FDR-P2	完了
	12月7-9日	FDR-P3 (主鏡セグメント交換機構等)	完了
2017~ 18年度		製造準備を開始、製造開始前審査会等を予定	

主鏡セグメント鏡交換機構



PDR: Preliminary Design Review

FDR: Final Design Review

LPR: Long-lead Procurement Review



2016年グッドデザイン賞
(ベスト100および特別賞) 受賞
24

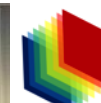
FDR-P3 2017年12月7-9日



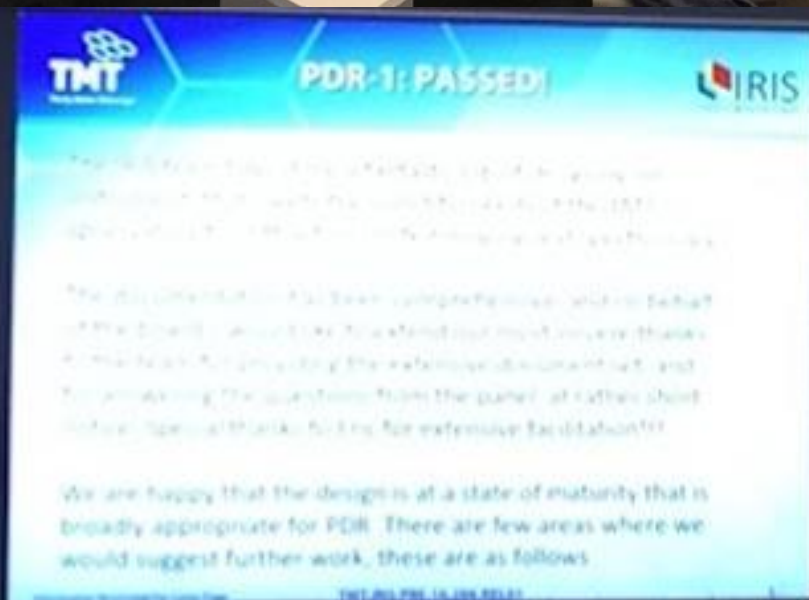
国際協力と日本の役割

③第一期観測装置IRIS

PDR-1 in Nov 17-18, 2016



IRIS
Infrared Imaging Spectrograph



PDR-1 Passed!!

国際協力と日本の役割

④第一期観測装置WFOS

- ◆ New management team: PI (Kevin Bundy) & PM (Maureen Savage)
- ◆ Opto-mechanical Design Requirements (OMDR) Phase review on May 2-3, 2017.



国際協力と日本の役割

⑤ 第二期観測装置

国際協力で進められている大学
での検討と要素技術開発
→本セッションでの講演



国際協力と日本の役割

⑥ WEPOC

Workforce development, Education, Public Outreach and Communications: TMT参加 5ヶ国の間での広報・普及・教育活動における協力を検討するチーム

International Workshop for Future Science and Technology Leaders from each partner (Hilo, 3-7 Dec. 2016)



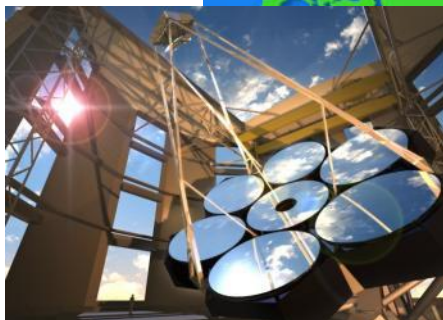
4. 国際競争の現状 他のELT計画

「国際競争」の現状

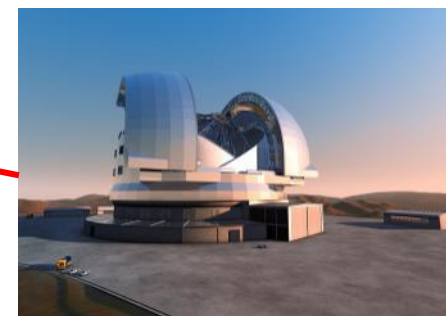
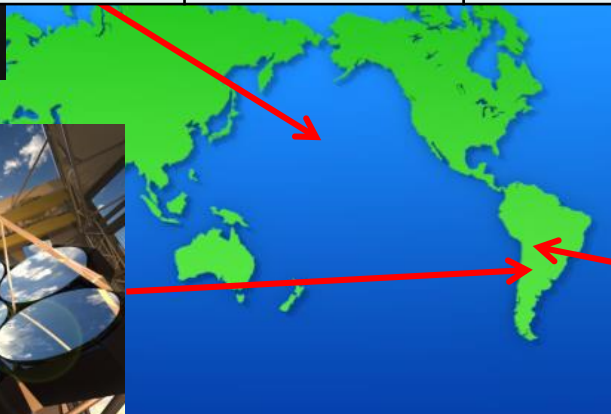
他のELT計画

TMT(米国・ハワイ)

計画	TMT	GMT	E - E L T
直径	30m	22m(8.4m x 7)	39m
予算規模	1,800億円	1,100億円 (推定)	2,000億円 (推定)
完成予定	2027年	2023年に4枚で初期運用(7枚全体の運用は2025年)	2027年
メンバー	日本、米国、カナダ、中国、インド	米国(カーネギー天文台、ほか)、韓国、オーストラリアなど	欧州南天天文台(15ヶ国)ブラジル



GMT (チリ)



E-ELT(チリ)

5. 運用プラン

運営の基本プラン

- **望遠鏡運用はTMT国際天文台（TIO）が行う**
日本の義務は分担金の支払い（年\$10M規模、第二期観測装置開発費を含む）
- **各メンバー（日本など）の観測時間の共同利用サポートは独自に行う**
観測提案受付・時間配分、観測サポート、データ解析サポート、独自のデータアーカイブなど

検討課題

- **TMTの天文台運営・望遠鏡運用にどこまで、どのように関与するか？**
組織運営面、技術面での貢献（in-kind）

望遠鏡運用の 基本プラン(1)

- 各パートナーごとに独立した観測時間
- TMT観測所が指定した夜数について各パートナーが独自に観測時間の割り当てを行う。
- 各パートナーは独自に観測提案の募集・評価・採択を行う。TMT全体における観測提案の重複は気にしない。
- ただし共有できるシステムはTMT全体として開発し共通化する。例えば、観測提案応募システム、積分時間計算ツール、データ解析ツールなど。パートナーで協力してUM、講習会を開催する。
- **基本はリモート観測（またはサービス観測）**
観測者は現地へのアクセスを気にしなくてもよい

望遠鏡運用の 基本プラン(2)

- リモート観測：ヒコ山麓施設 and/or 各国の基幹施設
(例：天文台三鷹)
 - 観測モードは2(3)つ。
 - (a) **PI-直接観測モード**：観測者が装置を操作し、時々刻々の観測計画を直接変更する。SAは観測開始時のみサポート。半夜や1時間単位の割付も考慮。現在のKeck観測とほぼ同じ。
 - (b) **キューサービスモード**：観測所のスタッフが事前に決められた観測提案を観測者に代わって遂行する。すばるのサービス観測とほぼ同じ。キュー観測ではない。1 or 2時間単位。
 - (c) **完全キュー観測モード**：観測所のスタッフが、優先度が高く、かつ当夜の観測条件に一番合った観測提案を観測者に代わって遂行する。Gemini/VLTのキュー観測と同じ。
- 運用開始初期は(a)(b)が主で、将来的に(c)を設ける予定。

望遠鏡運用の 基本プラン(3)

- ToO・Time Critical Observing：ToO観測は後日使用した観測時間を返却する方針で実行。ただし拒否権や別々のパートナーに同じ提案があった場合などについて検討されていない。
- 観測・解析ツール：解析パイプライン、観測シミュレーター（積分・観測時間計算など）は共有化。
- データアーカイブ：生データは永久保存。解析済みデータのアーカイブは考えていない。各パートナー毎にアーカイブの方式などを決定する。18ヶ月(TBD)は各パートナーに優先権ある。リモート観測：ヒロ山麓施設 and/or 各国の基幹施設（例：天文台三鷹）

- ハワイにおける保護地区利用許可手続きが進行中。2018年4月現地工事再開、2027年完成の予定。
- TMT国際天文台のもと、望遠鏡・主鏡・装置等、各担当グループで国際協力を緊密に進めている。
- (日本の)科学的成果の最大化のために、望遠鏡運用へのかかわり、共同利用・データ解析の検討が必要。