



TMT

プロジェクト進捗報告と 第二期観測装置計画

うすだ ともり

臼田知史

国立天文台 TMT推進室室長

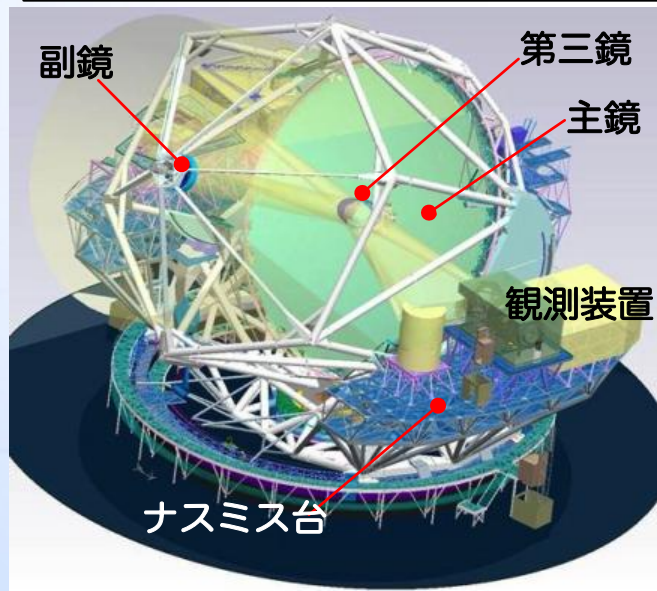


超大型望遠鏡TMT計画



【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。



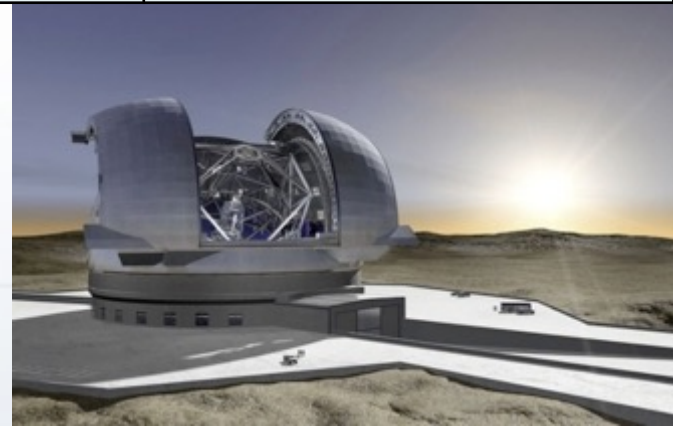
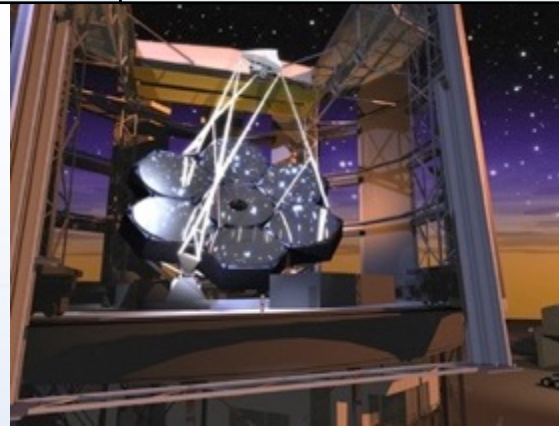
- ・メンバー国・機関：**自然科学研究機構(日本)**、カリフォルニア工科大学、カリフォルニア大学、中国国家天文台、インド科学技術庁、カナダ国立研究会議、米国天文学大学連合／NSF(米国国立科学財団)
- ・日本の分担：**望遠鏡本体構造、主鏡、観測装置**
- ・建設費：約1800億円（約18億米ドル）



世界の次世代超大型望遠鏡計画



計画名	TMT	GMT	E-ELT
口径	30m	22m (8.4m x 7)	39m
建設地 (標高)	ハワイ：マウナケア (4,012m) 北の宇宙	チリ：ラスカンパナス (2,550m) 南の宇宙	チリ：セロアルマソネ ス (3,060m) 南の宇宙
予算規模	約1,800億円	1,100億円 (推定額)	2,000億円 (推定額)
完成予定	2027年	~2021年に4枚で初期運用 (7枚全体の運用は未定)	~2025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 他)、韓国、オーストラリ ア、ブラジルサンパウロ州	欧州南天天文台 (欧州15ヶ国+ブラジ ル)



- ◆ 2014年10月：起工式
抗議活動により一時中断
- ◆ 2015年4月：反対運動の活発化に伴い、
山頂工事を中断
- ◆ 2015年5月：ハワイ州知事がTMT支持と
マウナケア管理方針を発表
- ◆ 2015年6月：工事再開を予定したが、反
対派の道路閉鎖などにより中断
- ◆ 2015年11月：ハワイ州警察の協力のもと
工事再開を予定したが、ハワイ州最高裁
から工事一時停止命令
- ◆ 2015年12月：ハワイ州最高裁が承認手続
の瑕疵を理由に保護地区利用許可(CDUP)
を無効とし、審査を差し戻す判決
- ◆ 2016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CDUP再認可の手続きを開始



2015年4月



2015年6月



マウナケア保護地区利用許可 承認に向けた取り組み状況



2016年2月以降の動き

- ◆ 2016年2月、公聴会を実施し、意見を聴取する審査官（Hearing Officer）の選考が始まる。4月1日、土地・天然資源局（DLNR）が R. Amano氏の選出を発表。
- ◆ 4月15日、審査官選出について反対派が反対意見の申し立てを提出。
- ◆ 5月6日、ハワイ州土地・天然資源委員会(BLNR)が審査官を決定。
- ◆ 5月16日、第1回プレヒアリングが開催され、提出資料や日程などについて審議
- ◆ **2011年のCDUP審議とほぼ同じ工程で進んでいる。**
- ◆ 6月17日、第2回プレヒアリングで審理の当事者認定申請のあった TIOおよびTMT反対者、TMT支持者等から当事者が認定され、その後の審議日程が決定される予定
- ◆ **2017年春にCDUP認可が目標。** 6ヶ月の準備期間（予備6ヶ月）を経て、2018年4月からの山頂工事開始が目標。



ハワイ州世論は 引き続きTMT建設支持



◆ 2015年12月28日～2016年1月9日 (最高裁判決後)

Honolulu Star-Advertiser紙世論調査

Ward Research Inc. が実施、回答数 619 ※

「マウナケアでのTMT建設を進めるべきか？」

賛成 67%

反対 27%

(ネイティブ・ハワイアンに限定すると賛成39%、反対59%)

◆ 2016年5月15日 (プレヒアリング直前)

Honolulu Star-Advertiser紙読者へのアンケート調査

回答数 1341 ※

「TMTのCDUP再取得についてどう思うか？」

賛成 88% (1182)

反対 8% (107)

※誤差は4%程度



Big Q
What do you think about the
restart of the Thirty Meter
Telescope permitting process?

May 12, 2016

A. Positive; hope TMT succeeds (1,182 Votes)

C. Negative; hope TMT leaves (107 Votes)

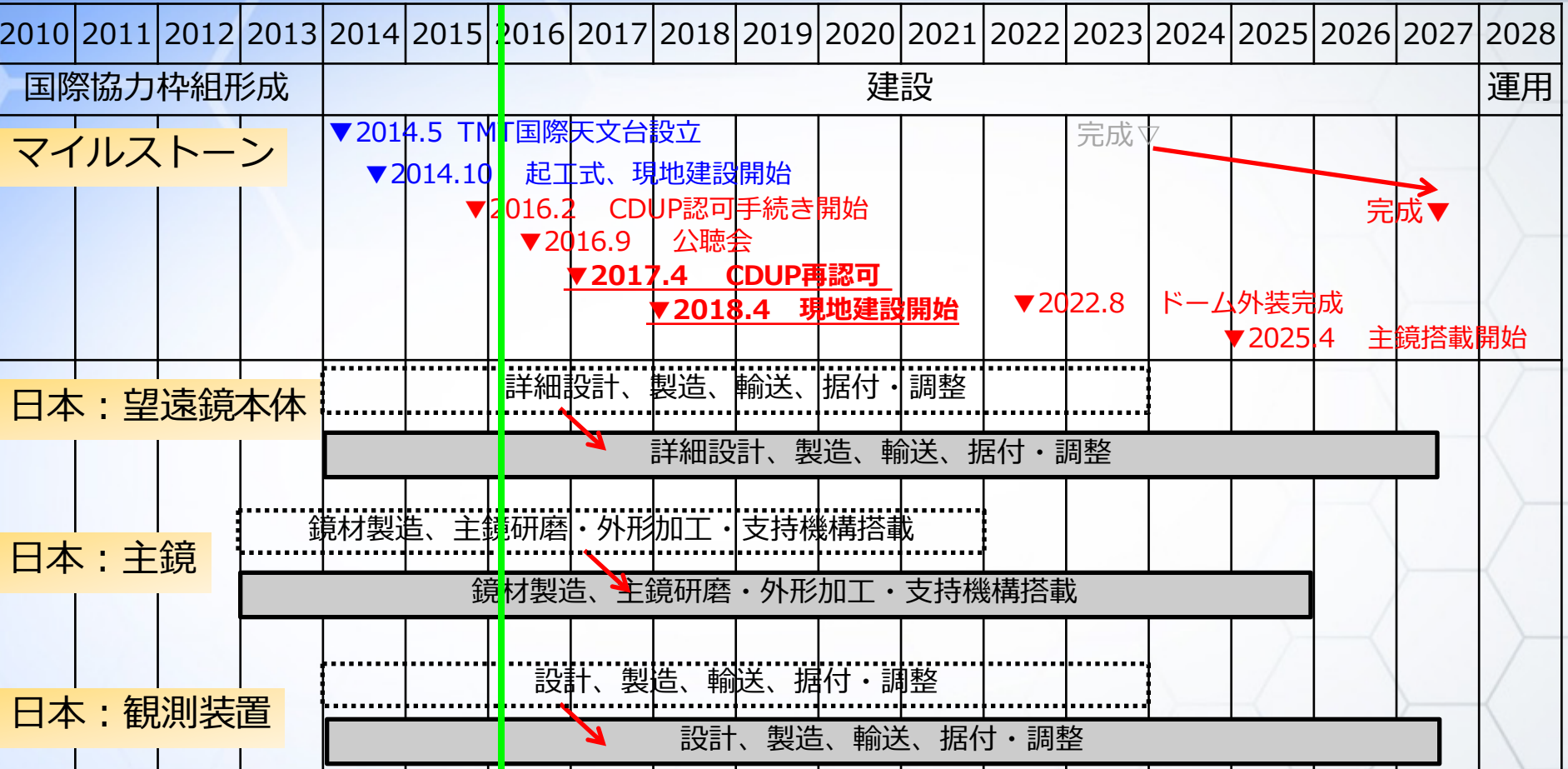
B. Neutral; mixed (52 Votes)



建設スケジュールの延伸



年度 当初予定 延伸後



- 土地利用許可（CDUP）の再審査に伴い、ハワイ現地の建設は2018(平成30)年度に開始となるため、カナダのドーム建設工程にあわせ、日本の望遠鏡本体の製造開始時期を見直し。
- 全体工程の後年への移行に伴い、完成年度が2027(平成39)年度に延伸。
- 米国・中国・インドについても、関連する部品の輸送・据付が2027(平成39)年度まで延伸。

万が一に備えたハワイ以外の 建設適地調査(プランB)

- 調査・検討している5つのサイトは、スペインのカナリア諸島（標高2,250m）、メキシコのSan Pedro Martir（標高2,800m）、チリのHonar（標高5,350m）とMacKenna（標高3,100m）の2箇所、中国のAli（標高5,100m）、インドのHanle（標高4,500m）。
- ← 北半球でマウナケアより良いサイトは無い
- TMT科学諮問委員会（SAC：柏川、秋山、松尾、本田充、臼田）で、科学的優先度について議論を開始。5月27日に京都でSAC会議が開催。
- 建設コストや建設許可申請の工程などについて、情報を整理して評議員会に報告される予定。
- カリフォルニア工科大学、カリフォルニア大学、カナダ、インドは、年内にプランBの中から一つを選択し、ハワイ堅持か次善のサイトへの移行かを早急に決断したい。しかし、日本は、マウナケアの許可（CDUP）の結果が出る（2017年4月）までハワイ優先堅持を主張。中国もハワイ堅持を希望。
- 日本としては、**プランBの優先順位について天文学コミュニティとの議論を早々に開始**する予定。



TMTパートナーと役割分担



主鏡材



望遠鏡



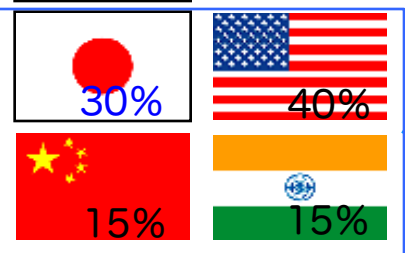
ドーム



副鏡



主鏡



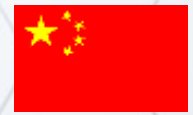
補償光学



観測装置



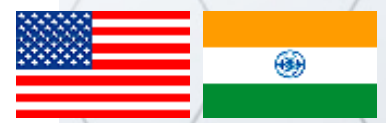
第3鏡



付帯設備



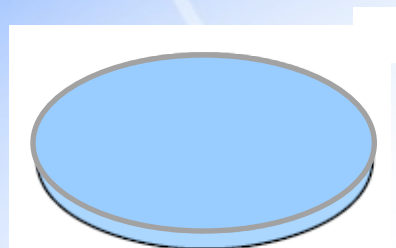
制御系・ソフト



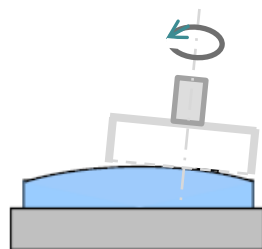
国内活動状況

日本の主鏡量産工程

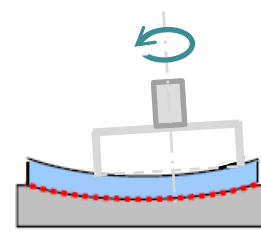
分割鏡材の製造と球面研削加工（日本が574枚全てを担当）



分割鏡材（ブランク）



裏面球面研削

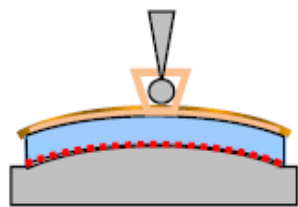


表面球面研削

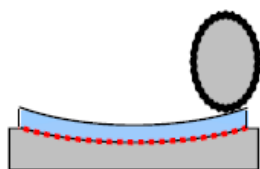


約7割は海外
（米国、中国、
インド）に供給

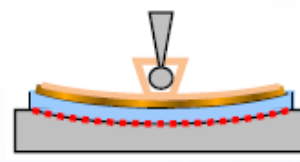
国内外で行われる非球面研削・研磨、外形加工（日本は約3割担当）



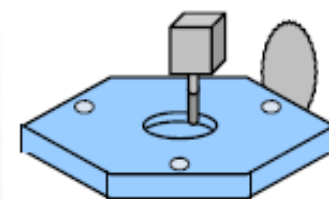
裏面球面研磨



表面非球面研削



表面非球面研磨



外形加工、
支持機構搭載等

国内活動状況 日本の主鏡量産工程

	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	計
鏡材	60(29)	35(0)	74(31)	40(21)	209(81)
球面研削	12(0)	19(0)	63(29)	60(52)	154(81)
非球面研削	12	16	33	8	69
非球面研磨	単位：枚数 ()内は海外用		6	16	22
外形加工等			0	0	0



50th Blank backside Polished





107 Blanks produced (2015 Oct)



国内活動状況 望遠鏡本体



- ◆ 2013年11月12~14日: 基本設計審査会 (PDR) **合格**
- ◆ 2014年4月15~16日: 望遠鏡制御系のPDR **合格**
- ◆ 2014年11月18~28日: 主鏡セグメント鏡交換機構(SHS)のPDR **合格**
- ◆ 2015年2月17~20日: 望遠鏡本体の最終設計審査会(FDR-P1) 
- ◆ 2015年7月27~29日: 望遠鏡制御系のFDR-P2 
- ◆ *"FDR design of telescope software and control system is progressing well in many areas, but has not yet reached FDR level"*
- ◆ 主要な課題(後述)を解決してFDR phaseを完了させる必要あり
- ◆ 2015年10月8~9日: Long-lead Procurement Review (LPR) **合格**
長納期品の材料調達開始 (EL-Journal, Lower-tube, Pintle)
- ◆ 2016年2月24~25日: Delta FDR-P2 **合格**
- ◆ 2016年12月7~9日: FDR-P3 (Segment Handling System等)
- ◆ 2017年~2018年度: FDR-C & PRR1

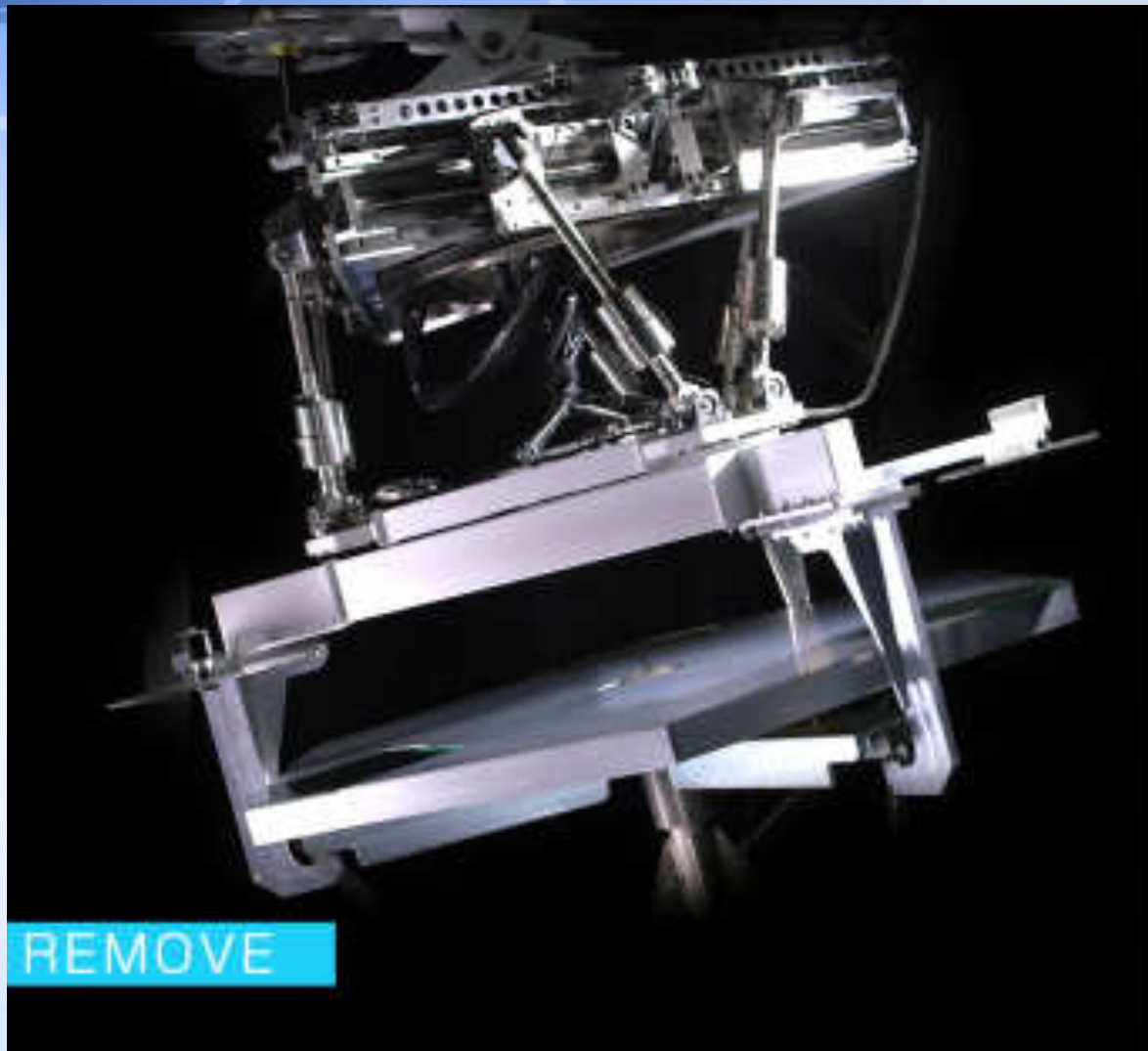




国内活動状況



SHSプロトタイプ (動画120sec)

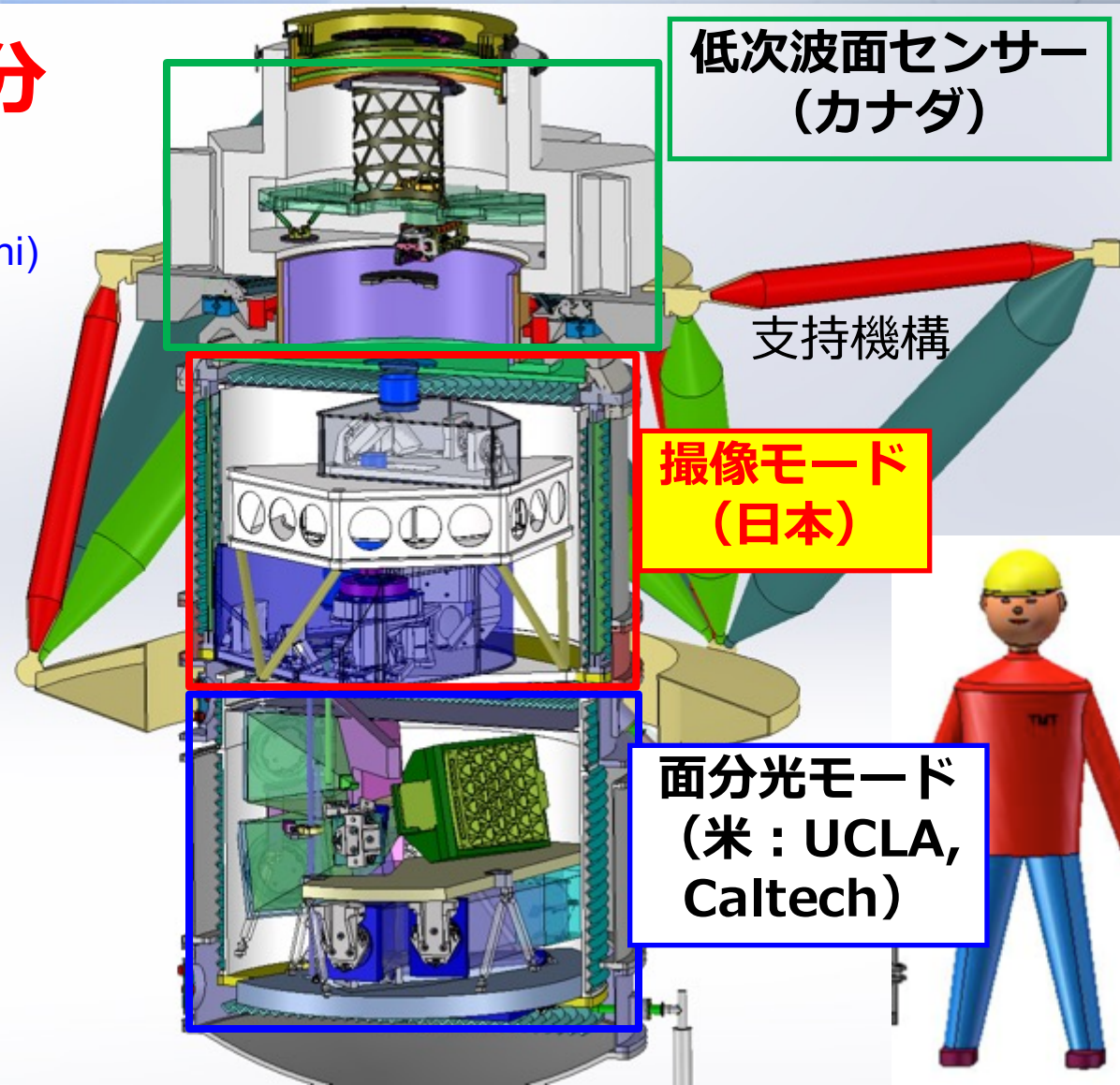


国内活動状況 第一期観測装置IRIS

近赤外線撮像面分光装置 (IRIS)

参考: OSIRIS (Keck), NIFS (Gemini)

- 日本: 撮像部分の設計・製作・試験
- 米国: 分光部分の設計・製作・試験
- カナダ: 低次波面センサー部分およびAO装置とのインターフェースの設計・製作・試験
- 中国: 光学部品製作・試験
- インド: ソフトウェアの開発・試験



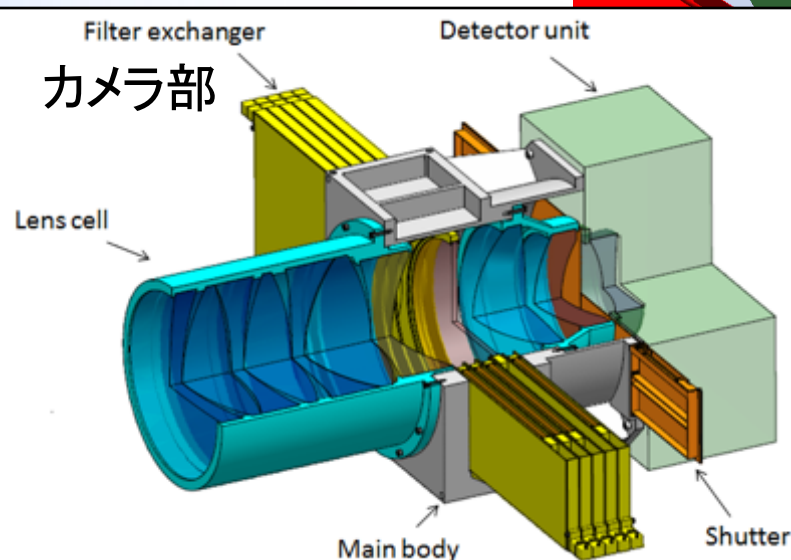
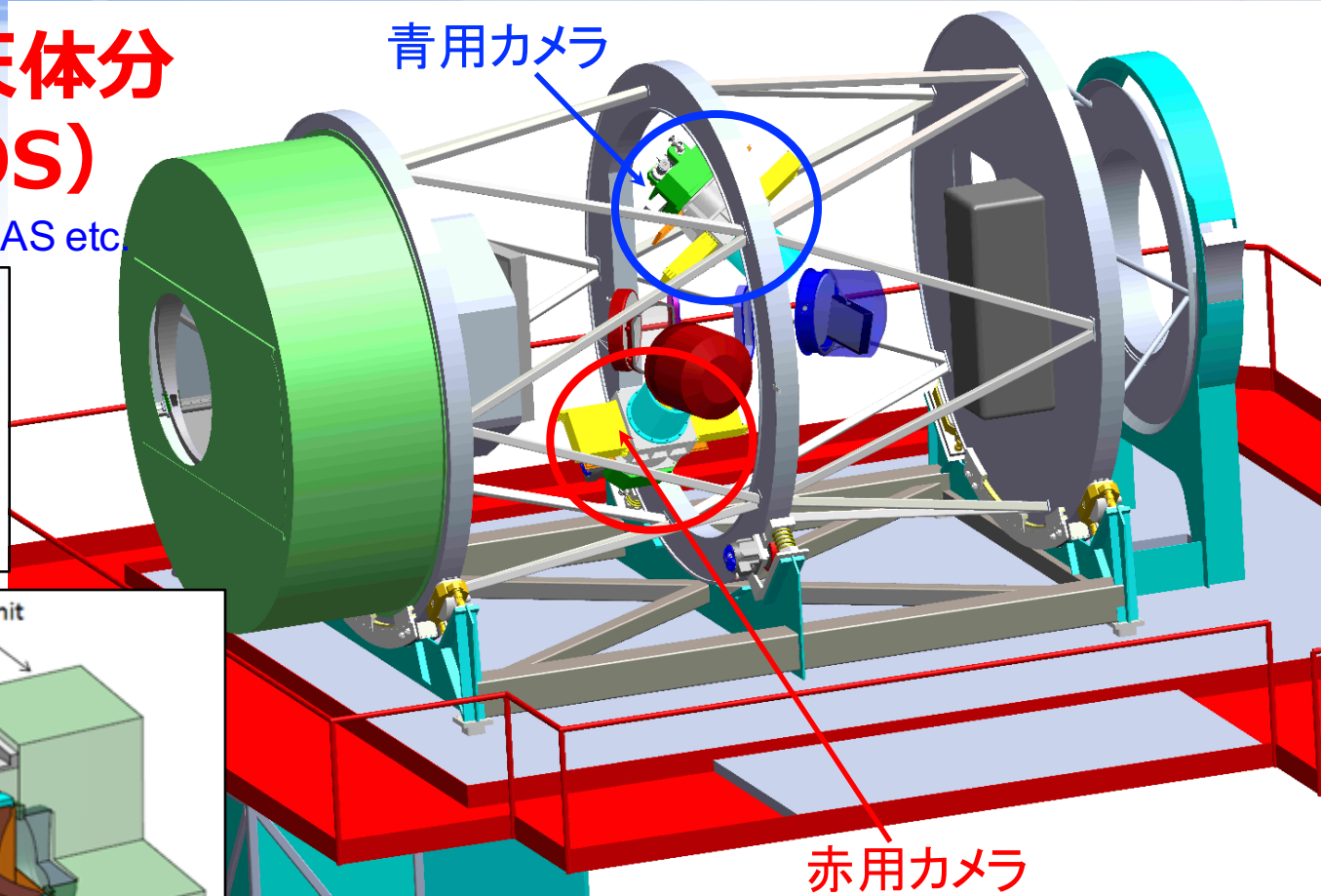
国内活動状況

第一期観測装置WFOS

広視野可視多天体分 光装置 (WFOS)

参考: DEIMOS (Keck), FOCAS etc.

日本はWFOSの青用と赤用のカメラ部（光学系、シャッター・フィルタ交換機構等）の設計・製作・試験を担当



- ◆ 米国：全体設計、検出器、総合組立・試験
- ◆ 中国：光学部品製造・試験
- ◆ インド：ソフトウェアの開発・試験
- ◆ カナダ：なし



TMT第二期観測装置



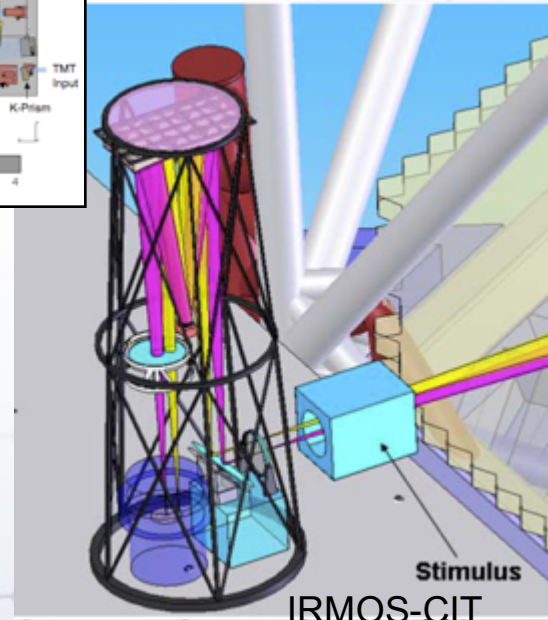
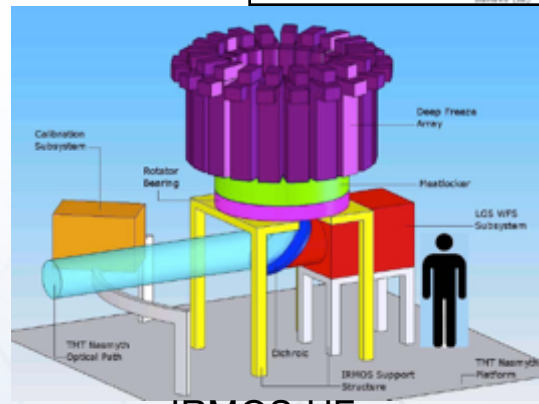
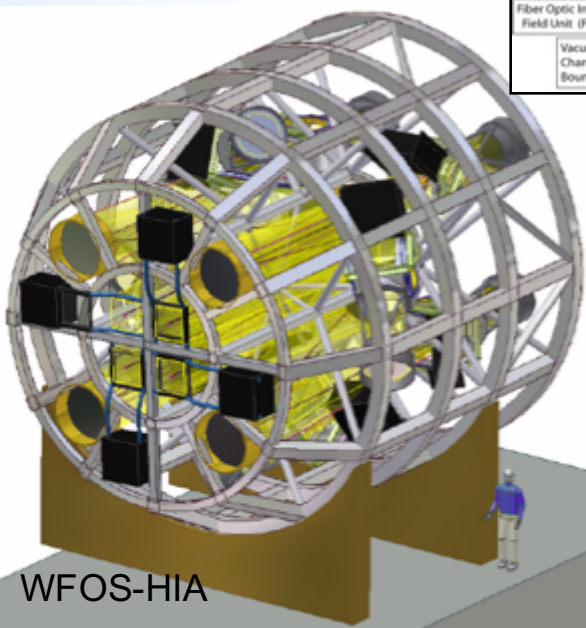
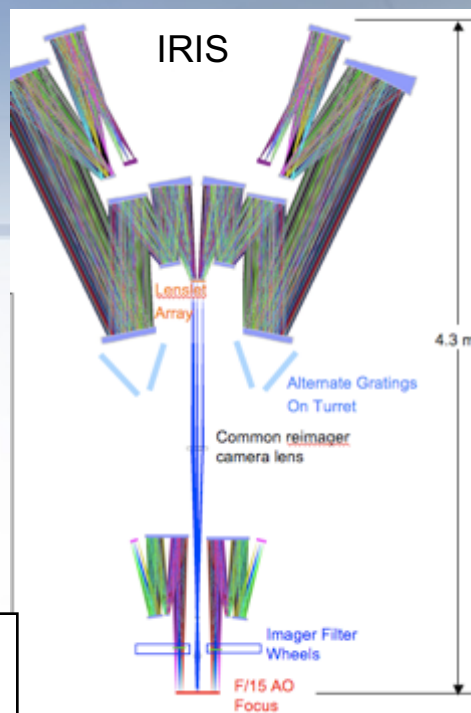
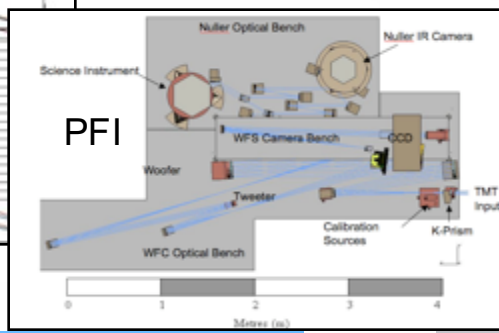
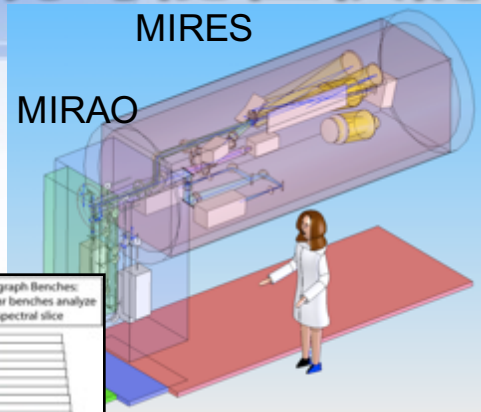
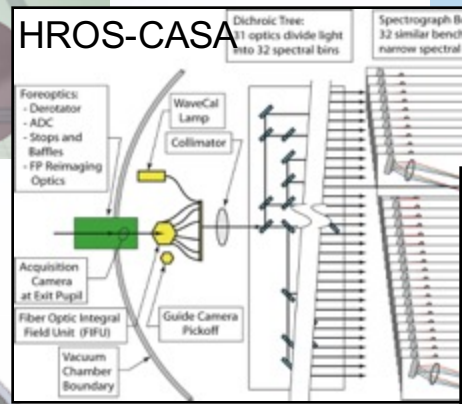
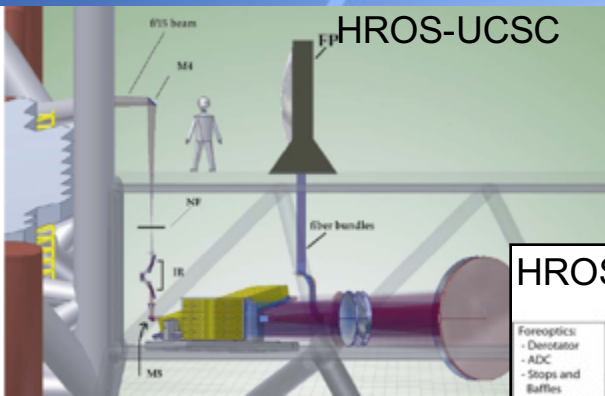
2005/6年と2011年にTMT SACが第一期装置3つを選択

Instrument	Field of view / slit length	Spectral resolution	λ (μm)	Comments
InfraRed Imager and Spectrometer (IRIS)	< 4."4 x 2".25 (IFU) 16".4 x 16".4" (imaging)	4000-8000 5-100 (imaging)	0.8 – 2.4	MCAO with NFIRAOS
Wide-field Optical spectrometer (WFOS)	40.3' squared (FoV) 576" (Total slit length)	1000-8000	0.31-1.1	Seeing-Limited (SL)
InfraRed Multislit Spectrometer (IRMS)	2' field w/ 46 deployable slits	$R = 4660 @ 0.16''$ slit	0.95-2.45	MCAO with NFIRAOS
Multi-IFU imaging spectrometer (IRMOS)	3" IFUs over >5' diameter field	2000-10000	0.8-2.5	MOAO
Mid-IR AO-fed Echelle Spectrometer (MIREs)	3" slit length 10" imaging	5000-100000	8-18 4.5-28(goal)	MIRAO
Planet Formation Instrument (PFI)	1" outer working angle, 0.05" inner working angle	$R \leq 100$	1-2.5 1-5 (goal)	10^8 contrast 10^9 goal
Near-IR AO-fed Echelle Spectrometer (NIREs)	2" slit length	20000-100000	1-5	MCAO with NFIRAOS
High-Resolution Optical Spectrometer (HROS)	5" slit length	50000	0.31-1.0 0.31-1.3(goal)	SL
"Wide"-field AO imager (WIRC)	30" imaging field	5-100	0.8-5.0 0.6-5.0(goal)	MCAO with NFIRAOS



TMT観測装置

2005~6年の実現可能性検討



WFOS-HIA

IRMOS-UF

IRMOS-CIT

TMT第二期観測装置

NFIRAOSの
下 : IRIS
横 : **NIRES-B**

IRMS

NFIRAOS

PFI

APS

MIRAO/
MIRES &
NIRES-R

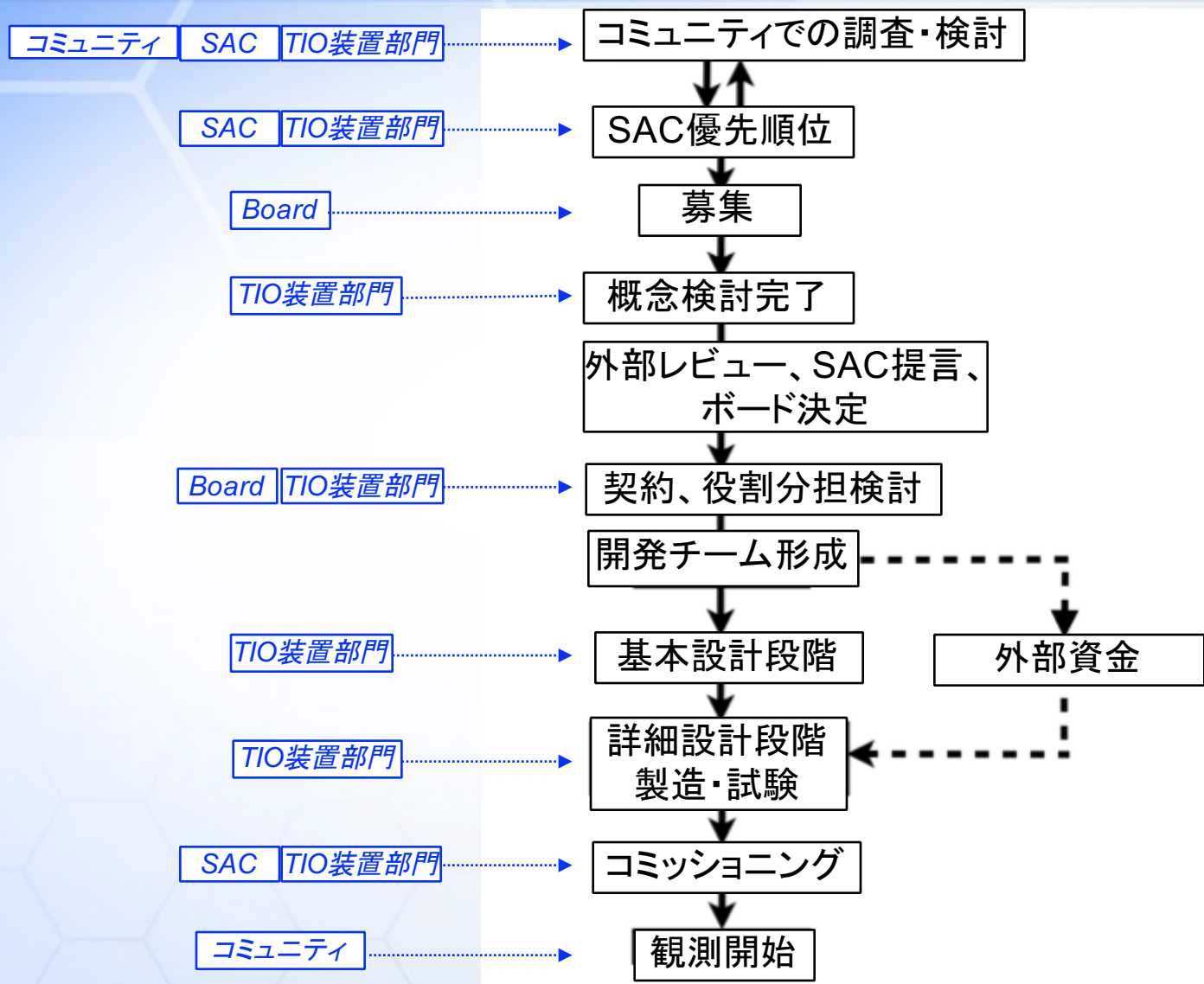
HROS

WFOS

IRMOS



TMT第二期観測装置 選択の手順



TMT第二期観測装置 選択の手順

1. コミュニティでの調査・検討

- ◆ まず、SACが製作すべき装置の基本的な Readiness & Risks, Rough Cost, & Schedule
- ◆ ワークショップを開催、White Paperの作成
- ◆ Mini-Study (～1年、<\$100k) を実施
- ◆ 装置開発グループが外部資金獲得を望む





TMT第二期観測装置 選択の手順

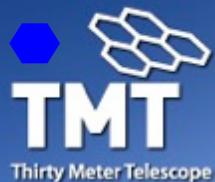


1. コミュニティでの調査・検討

- ◆ まず、SACが製作すべき装置の基本的な科学的要求 (Science, Technical Readiness & Risks, Rough Cost, & Schedule) をまとめる。
- ◆ ワークショップを開催、White Paperのまとめ
- ◆ Mini-Study (～1年、<\$100k) を実施
- ◆ 装置開発グループが外部資金獲得を望む場合、TIOはサポートする

2. SAC 優先順位

- ◆ 基本的にScience Drivenだが、科学的要求やAOとのバランスを考慮して優先順位を付ける
- ◆ この優先付けの方法は、2006年と同様

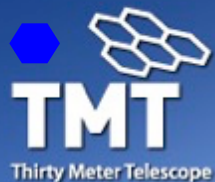


TMT第二期観測装置 選択の手順



2011年 SACでの議論の結果

- ◆ Eight instrument capabilities (not “set in stone”):
 1. High-Resolution, Optical Spectroscopy (HROS-UC-2)
 2. High-Resolution, Near-IR Spectroscopy (NIRES-B)
 3. Multi-IFU, Near-IR Spectroscopy (IRMOS-N + AO upgrades)
 4. Adaptive Secondary Mirror (AM2)
 5. Mid-Infrared, High-Resolution Spectroscopy (MIREs)
 6. High-contrast imaging (PFI)
 7. Multi-IFU, Near-Optical Spectroscopy (VMOS + AO upgrades)
 8. High-Resolution, 5-18 μ m Spectroscopy (NIREs-R)
- ◆ One new capability every 2.5 years on average
- ◆ Starts in 2018 and ends in 2040
- ◆ Total cost of \$405M at a rate of \$21M/yr after first light



TMT第二期観測装置 日本での基礎開発・検討



- ◆ TMT計画参加当初より、日本は第二期観測装置の開発に興味があることを表明してきた。2010年キックオフ会議@San Diego、2011年観測装置WS@Victoria等でも紹介。
- ◆ 2011年時点に5つの観測装置の検討を紹介
 - ◆ **MICHI (Mid-IR Camera, High-disperser, and IFU)** (Y.Okamoto+): Modified MIRES ← COMICS, MIMIZUKU
 - ◆ **NIR High Dispersion Spectrograph** (N.Kobayashi+): NIRES-b and NIRES-r ← IRCS, WINERED & IRD (Immersion Gr., Astro-Comb, fiber)
 - ◆ **NIR Multi IFU spectrograph with MOAO** (M.Akiyama+): IRMOS → **TMT-AGE** ← RAVEN, FMOS, MOIRCS-upgrade, SWIMS
 - ◆ **Optical High Dispersion Spectrograph** (W.Aoki+): HROS ← HDS, HIDES (I2 cell, image slicer, fiber)
 - ◆ **Exoplanet Direct Imager** (T.Matsuo+): SEIT ← HiCIAO, SCExAO, CHARIS

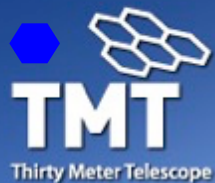
TMT第二期観測装置 日本での基礎開発・検討

Instrument	Field of view / slit length	Spectral resolution	λ (μm)	Comments
InfraRed Imager and Spectrometer (IRIS)	< 4."4 x 2".25 (IFU) 16".4 x 16".4" (imaging)	4000-8000 5-100 (imaging)	0.8 – 2.4	MCAO with NFIRAOS
Wide-field Optical spectrometer (WFOS)	40.3' squared (FoV) 576" (Total slit length)	1000-8000	0.31-1.1	Seeing-Limited (SL)
InfraRed Multislit Spectrometer (IRMS)				MCAO with NFIRAOS

日本は5つ全ての装置について検討

Multi-IFU imaging spectrometer (IRMOS)	3" IFUs over >5' diameter field	2000-10000	0.8-2.5	秋山	MOAO
Mid-IR AO-fed Echelle Spectrometer (MIREs)	3" slit length 10" imaging	5000-100000	8-18 4.5-28(goal)	市川	MIRAO
Planet Formation Instrument (PFI)	1" outer working angle, 0.05" inner working angle	$R \leq 100$	1-2.5 1-5 (goal)		10^8 contrast 10^9 goal
Near-IR AO-fed Echelle Spectrometer (NIREs)	2" slit length	20000-100000	1-5		MCAO with NFIRAOS
High-Resolution Optical Spectrometer (HROS)	5" slit length	50000	0.31-1.0 0.31-1.3(goal)	三澤	SL

10年前の提案→新しい提案も重要 (可視光面分光→川口講演)



TMT第二期観測装置 選択の手順



1. コミュニティでの調査・検討

- ◆ まず、SACが製作すべき装置の基本的な科学的要求 (Science, Technical Readiness & Risks, Rough Cost, & Schedule) をまとめる。
- ◆ ワークショップを開催、White Paperのまとめ
- ◆ Mini-Study (～1年、<\$100k) を実施
- ◆ 装置開発グループが外部資金獲得を望む場合、TIOはサポートする

2. SAC 優先順位

- ◆ 基本的にScience Drivenだが、科学的要求やAOとのバランスを考慮して優先順位を付ける
- ◆ この優先付けの方法は、2006年と同様
- ◆ ISDTs (International Science Development Teams)や各パートナーのコミュニティからの科学的要求が重要



TMT第 選

1. コミュニティでの調査・検討

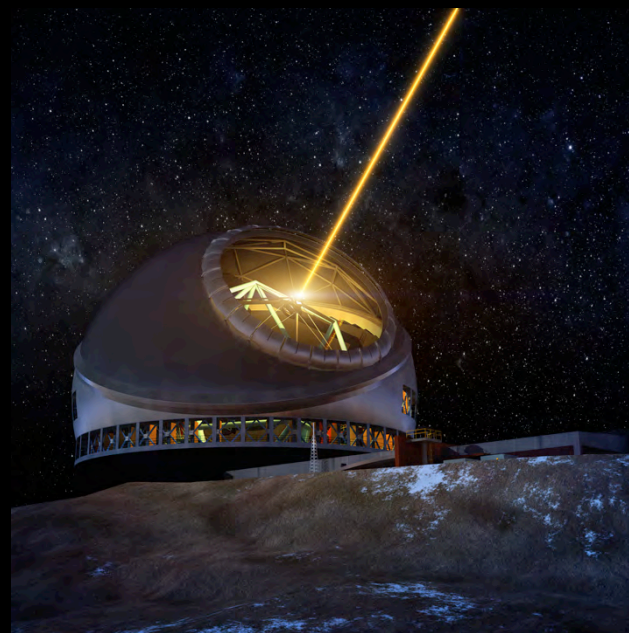
- ◆ まず、SACが製作すべき装置の Readiness & Risks, Rough C
- ◆ ワークショップを開催、Whit
- ◆ Mini-Study (~1年、<\$100k
- ◆ 装置開発グループが外部資金を

2. SAC 優先順位

- ◆ 基本的にScience Drivenだが、
して優先順位を付ける
- ◆ この優先付けの方法は、2006
- ◆ ISDTs (International Science Development Teams)
ーのコミュニティからの科学研

Thirty Meter Telescope Detailed Science Case: 2015

International Science Development Teams
& TMT Science Advisory Committee





TMT第二期観測装置 選択の手順

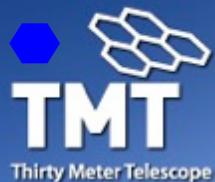


3. Competitive Conceptual Design Study

- 1つの要求に対して複数の設計案が提案されることが望ましい
- 1.5年の間、年間\$1MUSDの予算をかけて3~4つの実現可能性検討
 - 予算として、現状は各パートナーの内部努力に期待（例：日本の戦略的基礎開発経費）
- 設計審査は外部の専門委員と一緒に実施。審査項目はConcept、Science、Managementなど11項目

スケジュール：想定案

- 2017年Q1：観測装置の概念設計の募集（Call for Proposals）
- 2017年Q4：役割分担（SoW）の確定
- 2018年Q2：概念設計開始
- 2029年：ファーストライト（第一期観測装置のファーストライトより2年後）



TMT第二期観測装置 戦略的基礎開発経費



- ◆ TMT（ひいては日本の光赤外全般）に関わる**装置開発能力を育てるための基礎**。ボトムアップによる**概念検討、基礎開発は、大学研究者などの参加を期待**。2012年より開始。
- ◆ 2015年度：5件2,130万円を配分
 - ◆ TMT-AGE: TMT-Analyzer for Galaxies in the Early universe（東北大）→ 秋山さんの講演
 - ◆ Second-Earth Imager for TMT (SEIT)計画の実現に向けた
 - ◆ 高コントラス観測システムの開発（京大、北大）
 - ◆ 高効率Ge イメージンググレーティングの性能評価（東大）
 - ◆ 高効率高分散回折格子の開発（理研）
 - ◆ MICHI（Mid-Infrared Camera, High-disperser, and IFU）の要素技術開発（神奈川大、東大、茨城大）
- ◆ TMT推進小委員会が募集、審査、評価
- ◆ 以下のサイトで報告書とともに公開
http://tmt.mtk.nao.ac.jp/inst_budget-j.html

まとめ

◆ 建設サイト

- ◆ マウナケアに建設するための土地利用許可認可の手続き中。**2017年春にCDUP認可、2018年4月からの山頂工事開始を目標。**その場合、ファーストライトは2027年。
- ◆ 万が一に備え、ハワイ以外の建設適地を調査中（プランB）

◆ 国内活動状況

- ◆ 建設予算は厳しい中、主鏡の製作、望遠鏡本体の設計、第一期観測装置の設計は進行中（一部先送り）。

◆ 第二期観測装置

- ◆ これまでに日本は5つの観測装置についての興味を提案
- ◆ 2012年より戦略的基礎開発経費で、第二期観測装置のR&Dをサポート
- ◆ 2017年Q1に出る可能性が高い、**観測装置の募集に合わせて、国内で第二期観測装置の科学的要求を検討・まとめる必要がある。**
- ◆ 観測装置を開発するにあたり、リーダーシップも必要