

# 日本におけるTMT装置検討状況と展望

- ◆ TMT観測装置群の概観
- ◆ 日本におけるTMT観測装置開発
- ◆ TMT観測所の運用について

柏川伸成  
(NAOJ/TMT推進室)

Aug. 2012



THIRTY METER TELESCOPE

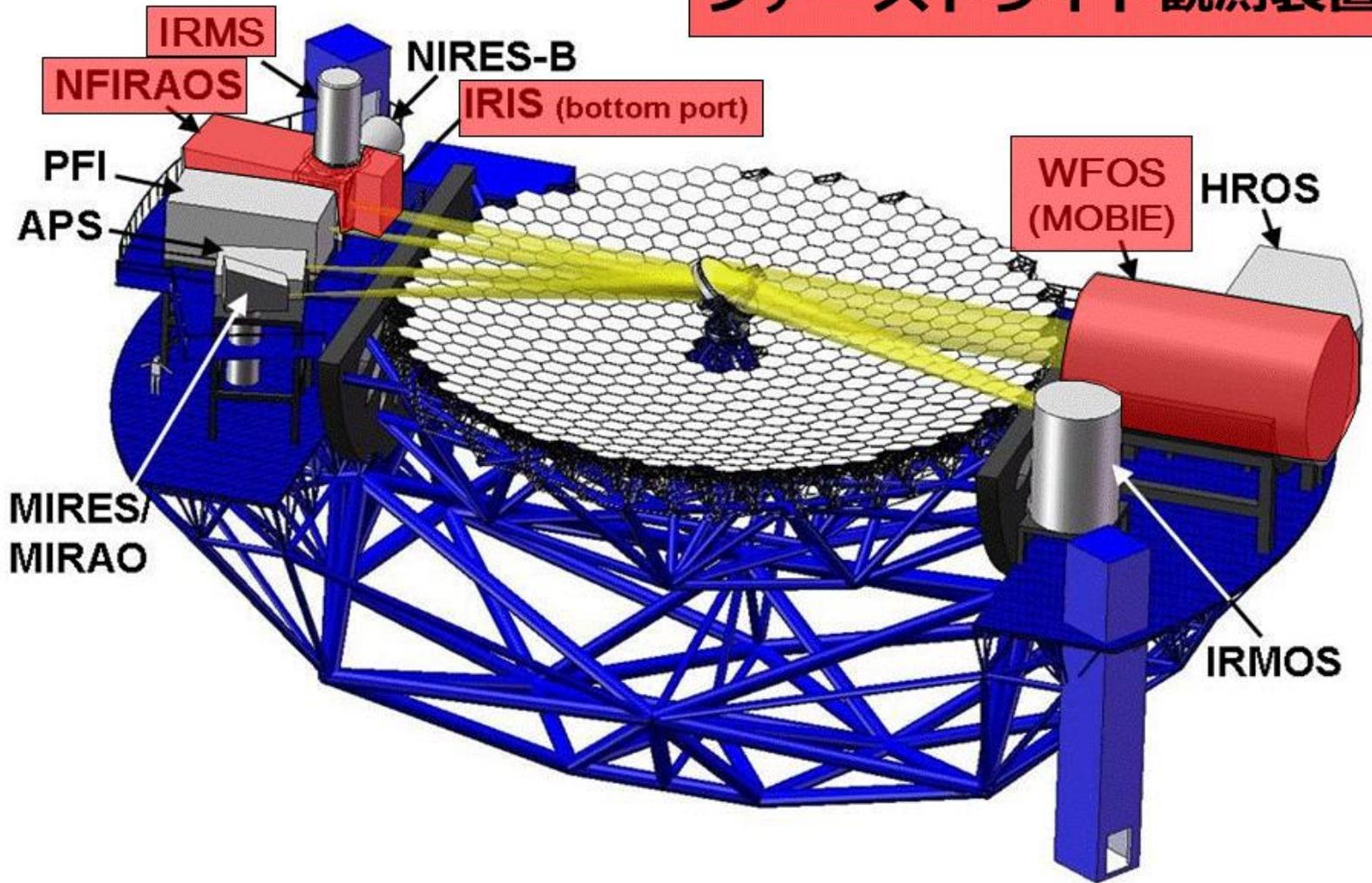
---

# TMT観測装置群の概観

# TMT観測装置群

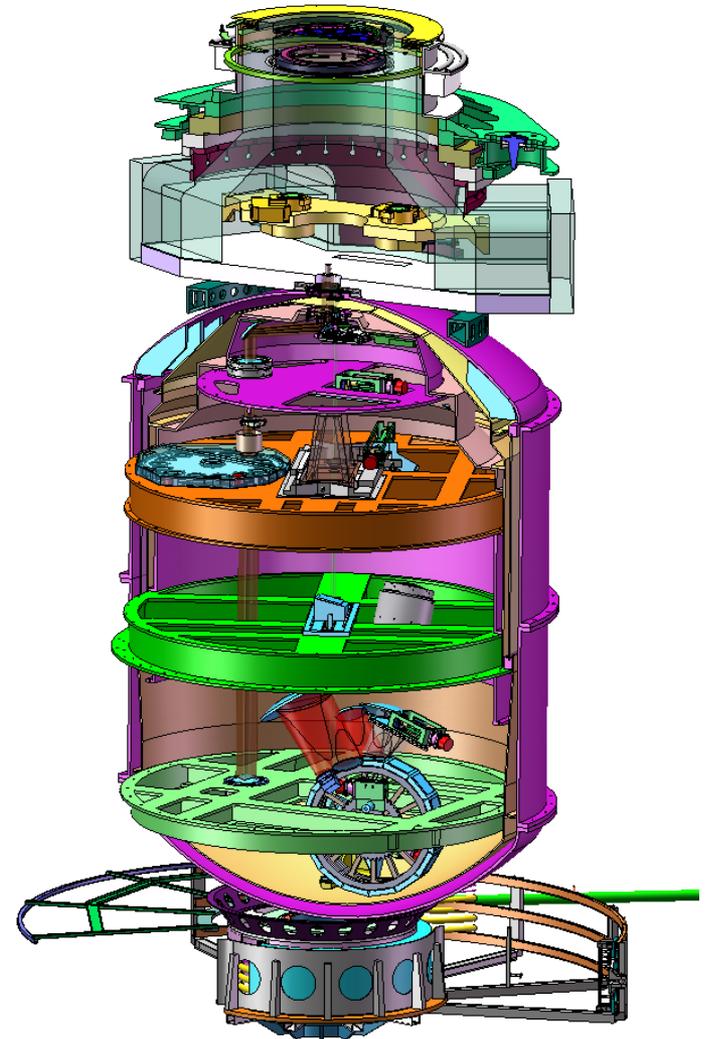
		波長分解能	サイエンスケース
近赤外回折限界 光撮像 (IRIS)	MCAO	$\leq 4,000$	銀河形成、BH・AGN、球状星団など
広視野可視分光 (MOBIE)	-	300 - 5,000	高z銀河間物質、高z銀河分光、星の種 族、化学組成など
マルチスリット近赤外分光 (IRMS)	MCAO	2,000 - 10,000	近赤外最微光天体、JWST フォローアップ
中間赤外エシエル分光撮像 (MIREs)	AO	5,000 - 100,000	原始星キネマティクス 原始惑星系円盤
近赤外回折限界エシエル (NIREs-B (JHKバンド))	MCAO	5,000 - 30,000	視線速度によるM型星の惑星検出 高z銀河間物質
近赤外多天体IFU分光 (IRMOS)	MOAO	2,000 - 10,000	近赤外最微光天体、JWSTフォローアッ プ
系外惑星検出 (PFI)	ExAO	50 - 300	系外惑星直接検出
可視エシエル (HROS)	---	30,000 - 50,000	局所銀河の星の組成、星間物質組成・運 動、高z銀河間物質、系外惑星
近赤外回折限界エシエル (NIREs-R (LMバンド))	MCAO	5,000 - 30,000	視線速度によるM型星の惑星検出 高z銀河間物質

## ファーストライト観測装置

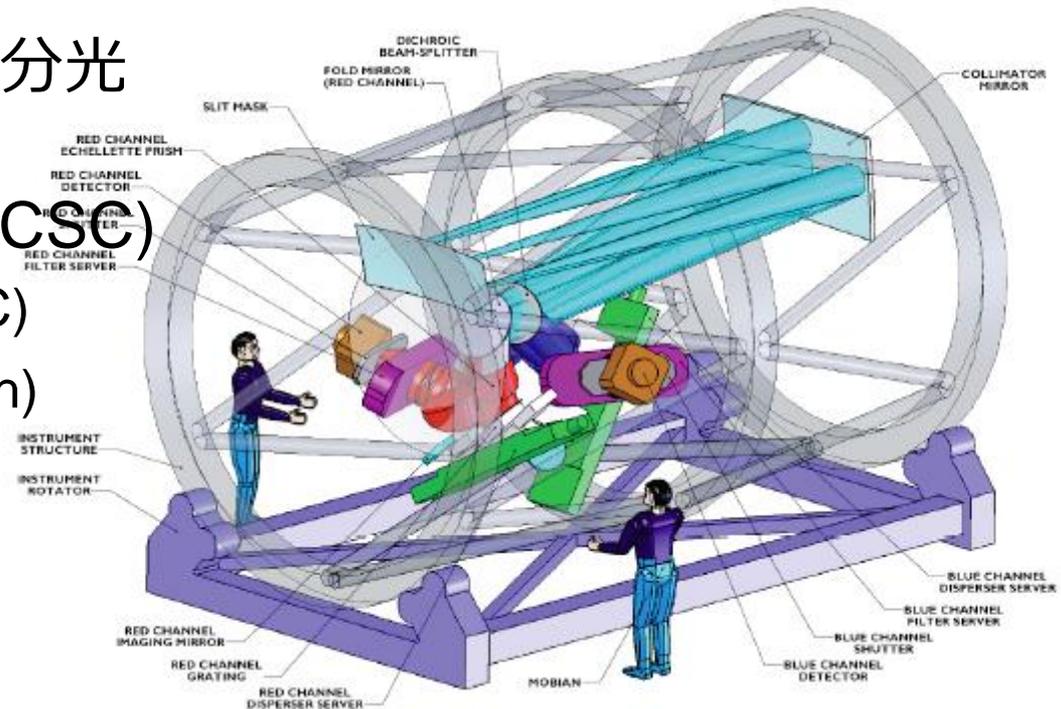


## Infrared imaging spectrometer

- ◆ 0.8 - 2.5 $\mu$ m w/NFIRAOS
- ◆  $R < 4000$
- ◆ レンズレット面分光
  - 128x128pix
  - 4 plate scales( 4-50mas)
  - 高空間分解能
- ◆ イメージスライサー
  - 90 slices w/25 and 50mas
  - 広視野(4"x2")、高分散分光
- ◆ FOV
  - $< 2''$  IFU
  - DL imaging 16.4" w/4mas
- ◆ PI: James Larkin (UCLA)
  - Co-I: Anna Moore (Caltech), PS: Betsy Barton (UCI), Others: UCS ,  
Japan, U.Toronto

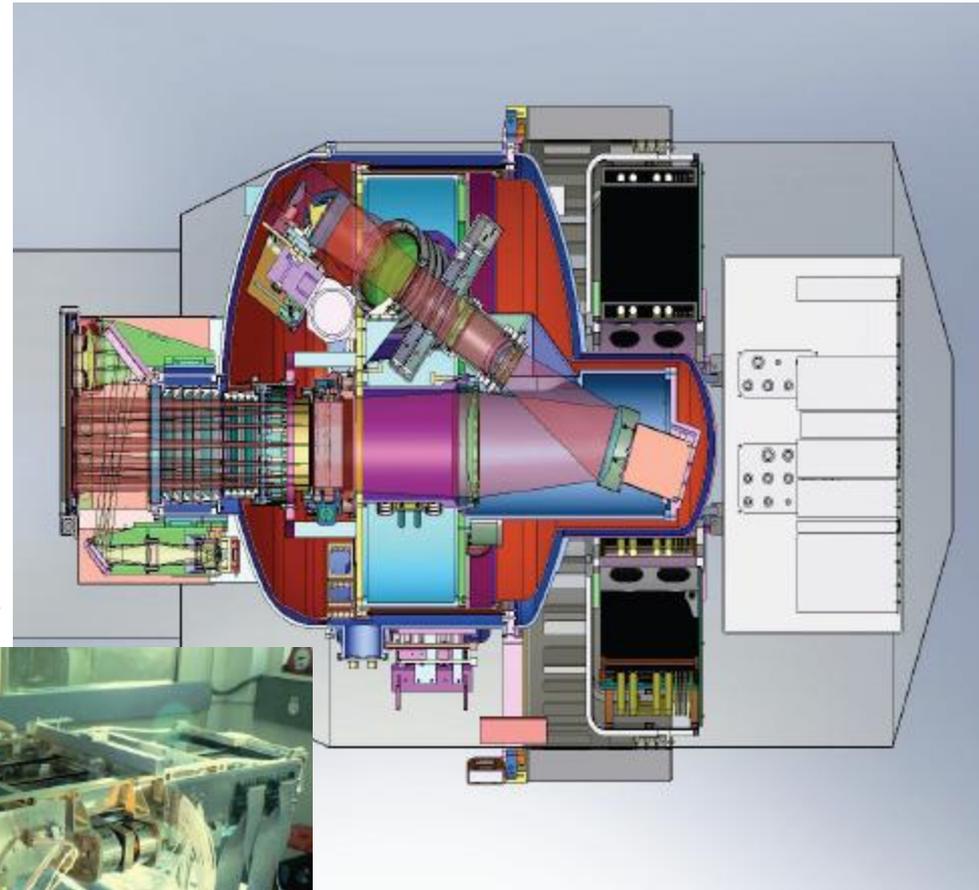


- ◆ 0.31 - 1.1  $\mu\text{m}$
- ◆ MOS~140max over 9.'6x4.'2
- ◆ R=300-8000
- ◆ 5 order Echellette
- ◆ 赤/青独立カメラ
- ◆ ロングスリット、低分散分光、直接撮像モード
- ◆ PI: Rebecca Bernstein(UCSC)
  - PM: Bruce Bigelow (UCSC)
  - PS: Chuck Steidel (Caltech)

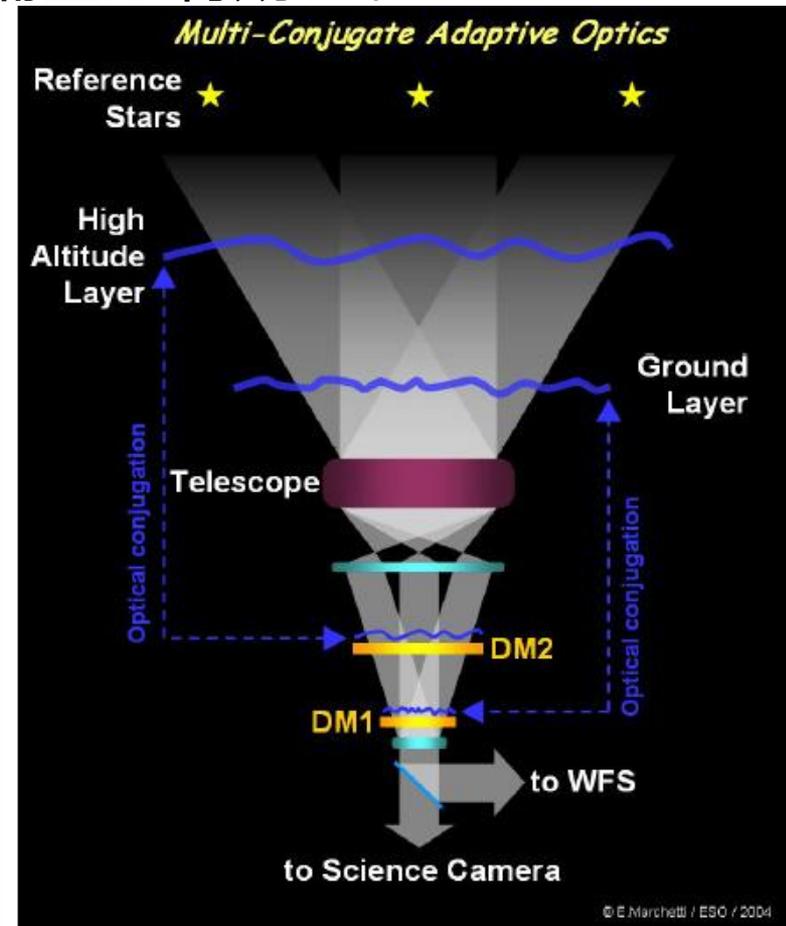
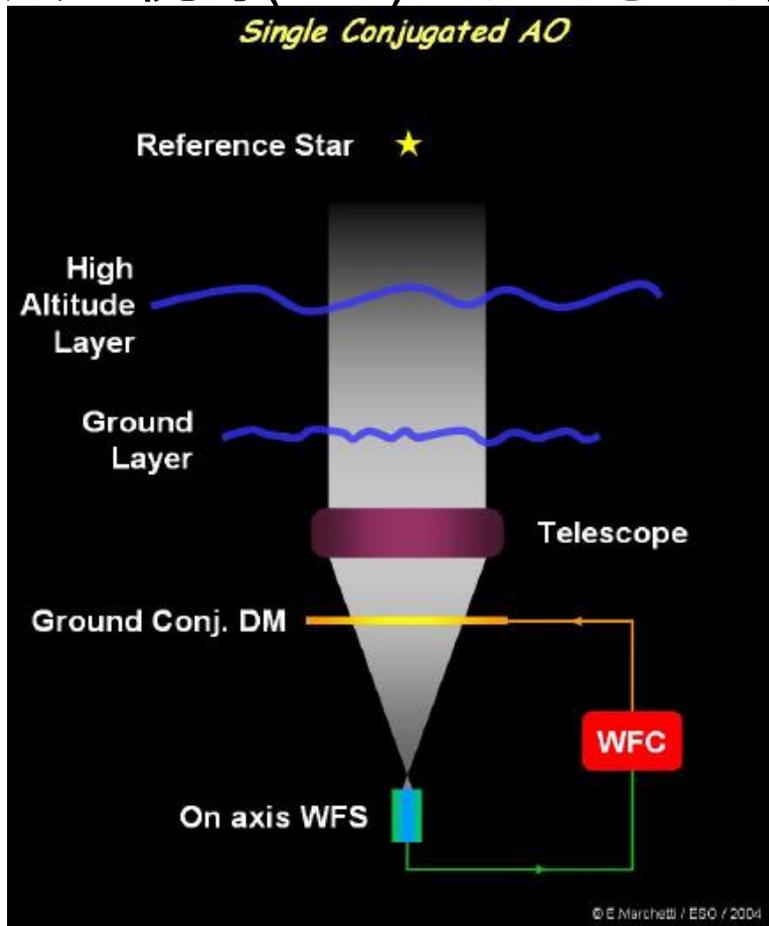


## Infrared multislit spectrometer

- ◆ 0.8 - 2.5  $\mu\text{m}$
- ◆ 2.3 arcmin FOV
- ◆ 0.06arcsec sampling
- ◆ 46 slits
- ◆ プレートスケール:  
4, 9, 22 and 50 mas
- ◆ Y,J,H,Kバンド全波長にわた  
って $R=4600$
- ◆ Keck/MOSFIRE  
のコピー



- ◆ LGSを複数個使うことで大気擾乱を3次元的に決定し、複数のDMで複数高度のゆらぎを補正する。
- ◆ 広い視野(2'Φ)にわたるAO補正が有効に。



- ◆ 段階的に(2-3年に1機)実現していく。
- ◆ 基本的にTMT運用予算で製作。
- ◆ CFPが一番早くてearly/mid 2013, FLは早くて2022年。出荷前審査まで約6年、FLまで約10年/装置。
- ◆ 2015年くらいまでは、重要な要素技術開発、概念設計。
- ◆ 日本から2-3装置を提案予定。
- ◆ 同様な装置を提案する海外のグループと連携あるいは競合して第2期装置としての提案準備を進める。
- ◆ 大学・コミュニティが直接TMT計画に参加できる。
- ◆ これまでの技術の継承と育成、これからへの発展。

## 第2期観測装置実現の手順(案)

- ◆ **0) 基本的に第2期観測装置は運用予算で建設を進める。**
- ◆ **1) community explorations:** SACが製作すべき装置の基本的なscience requirements (science, technical readiness and risks, rough cost and schedule)をまとめる。このために各コミュニティでそのような要望があるか調査。
- ◆ **2) SAC prioritization:** 上記のrequirementsやAOとのバランスを考慮して優先度をつける。
- ◆ **3) competitive conceptual design study:** SACが段階的に装置のCFPをアナウンス。1つの要求に対して複数のデザイン案が提案されることが望ましい。1.5-2年の間、\$1-2M/designかけて、conceptual design studyを行う。3年おきごとに、2つくらいの装置概念のCFPを提示。reviewは外部の専門委員によって行われる。



## ◆ 第1期観測装置

- ◆ IRIS, WFOS, IRMSの3台+NFIRAOS
- ◆ TMT建設予算で製作
- ◆ 2021年FLまでに完成させる

## ◆ 第2期観測装置

- ◆ 少なくとも6台の候補装置
- ◆ (基本的に)TMT運用予算で製作
- ◆ 2021年以降段階的(2-3年に1機)に実現していく
- ◆ コミュニティ→SACにおいて優先順位決定→CFP



THIRTY METER TELESCOPE

---

# 日本におけるTMT観測装置開発

- ◆ **第1期観測装置開発、製作へ日本から参加**
    - ◆ IRIS: 撮像部の設計、開発、サイエンスチーム
    - ◆ MOBIE/IRMS: カメラ部の設計、サイエンスチーム
  - ◆ **独自の設計に基づく第2期観測装置を日本が主導して開発、製作、供給（将来的な国際協力はある）**
    - ◆ 中間赤外撮像分光装置（茨城大、神奈川大、U.Florida）
    - ◆ 近赤外広視野多面分光装置（東北大）
    - ◆ 可視高分散分光器（NAOJ）
    - ◆ 系外惑星直接撮像装置（京大、北大、NAOJ）
    - ◆ [近赤外高分散分光装置]（東大、京産大、UH）
- すばる観測装置での経験を発展

# 第1期観測装置IRIS

- ◆ AOを用いた近赤外撮像・面分光装置
- ◆ 日本は撮像系の設計、製作、組み上げ、性能評価を担当。
- ◆ 技術的開発要素：30nmと小さい波面誤差、30 $\mu$ 秒のアストロメトリ、装置の安定性、など。
- ◆ TMT推進室の鈴木がATCに移り、ATC内でIRISチームを立ち上げる。ピーク時には10名のチームに発展（研究系スタッフ：3名、技術系スタッフ：2名、非常勤スタッフ：5名）
- ◆ 総予算30億。日本分担8億円。
- ◆ スケジュール

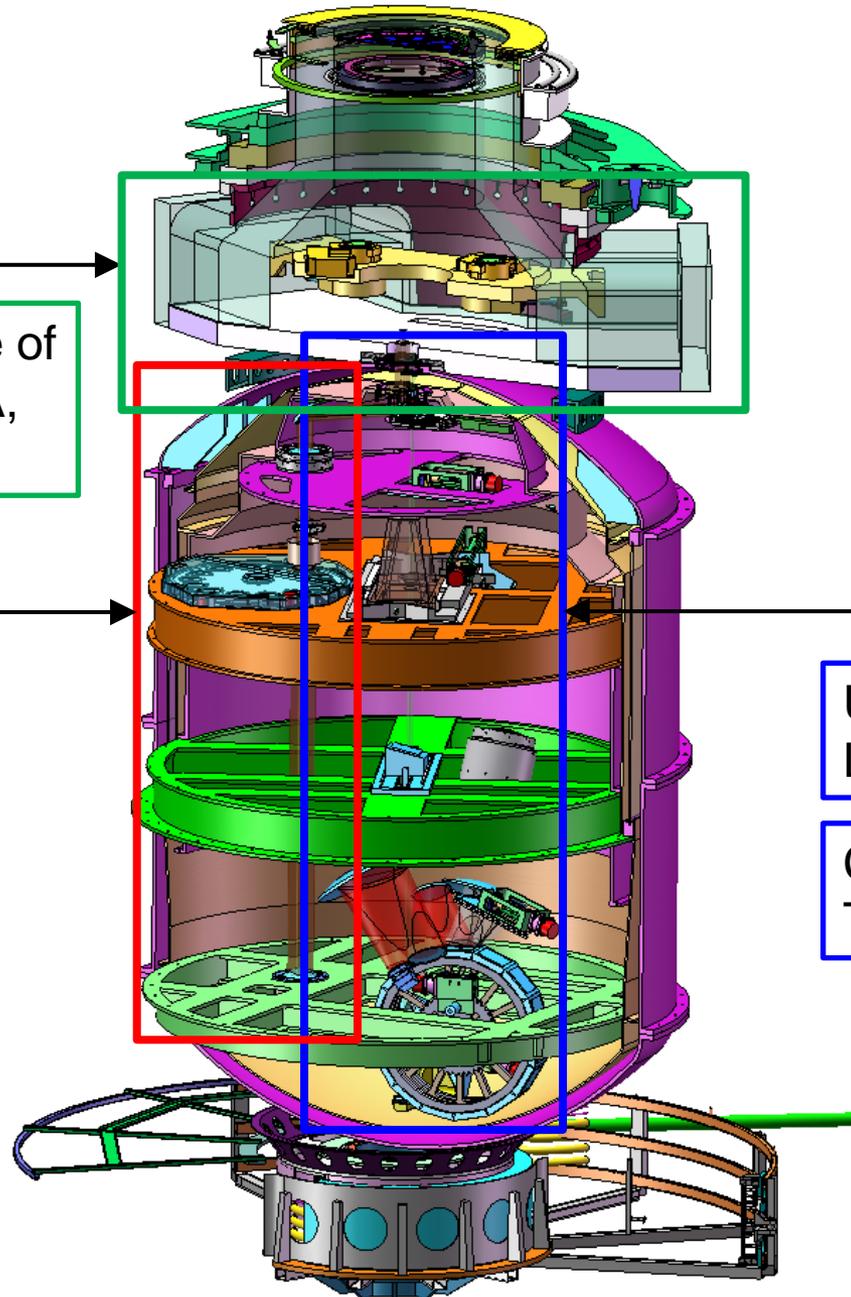


低次波面センサー

Herzberg Institute of  
Astrophysics (HIA,  
Canada)

撮像モード光学系

日本



面分光モード光学系

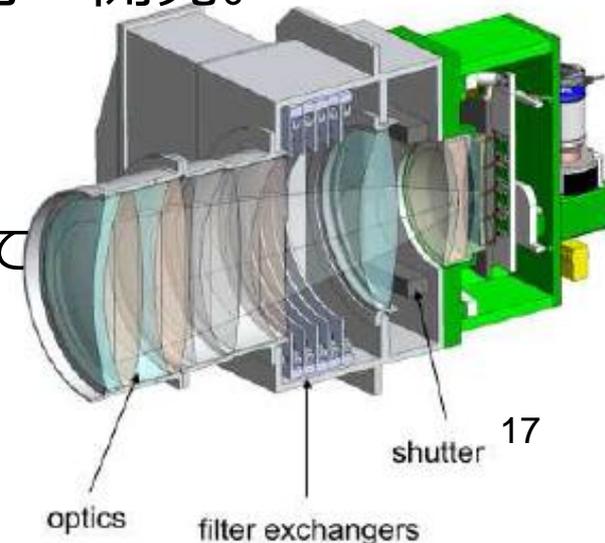
University of California  
Los Angeles (UCLA)

California Institute of  
Technology (CIT)

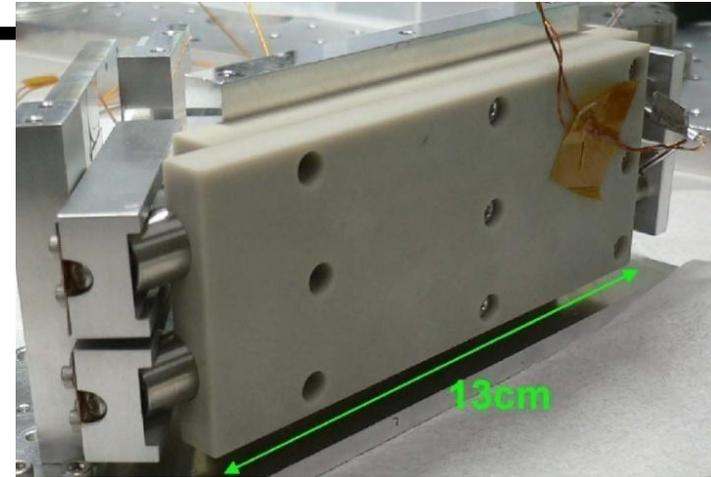
## ◆ MOBIE（可視多天体分光装置）

- ◆ 大口径フッ化カルシウム、あるいはそれ以外の硝材でのカメラ光学系検討・レンズ製作とセルへの組込み（キャノン）。
- ◆ 天文台(尾崎)を中心に検討開始。
- ◆ カメラレンズバレルの組立と最終試験を天文台で行う。試験手法・器具等は天文台で検討・開発。
- ◆ 将来的なIFUモードの追加。

→ 日本が貢献できる高いポテンシャルを持ってはいるものの、まだコラボが始まったばかりで、具体的な仕事の規模についてはこれから検討。



# 中間赤外撮像分光装置 (MIRCHI)



- 撮像・分光 @7~25um
- FOV=27.5x27.5" / 0."08@10um w/ MIRAO
- IFU (R=300@N / 600@Q), Long-slit (900 / 1800), Echelle (120,000 / 60,000)
- オプション: 偏光機能@N-band
- キーサイエンス

- Planet formation & Biomarkers

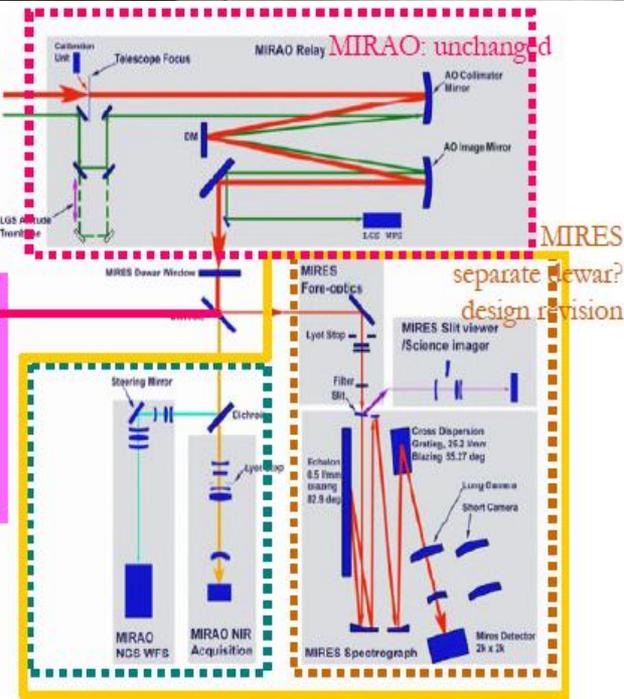
- Dynamics and chemistry of PP disk

- 茨城大(岡本)、神奈川大(本田)  
w/ UH & Florida team

- R&Ds

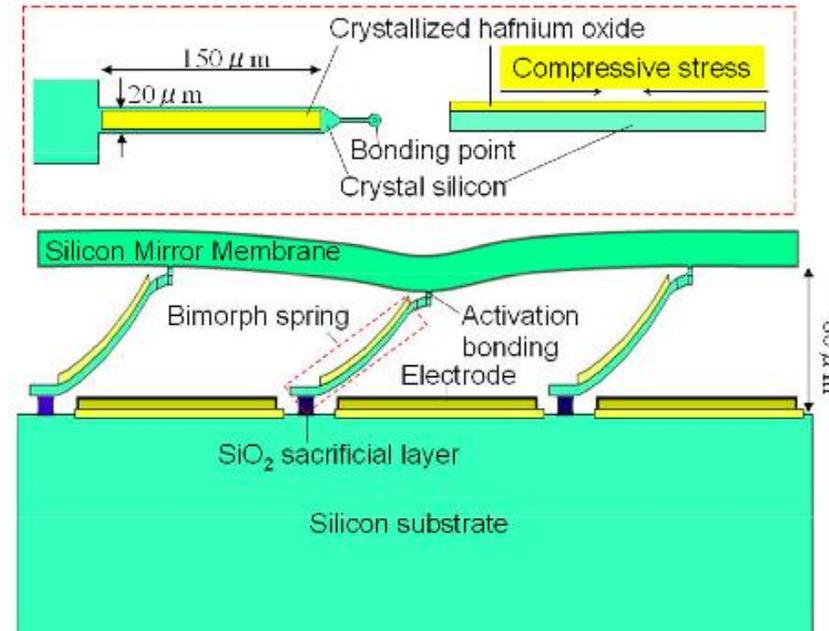
- イメージスライサーなど

Example idea  
of TMT MIR  
instrument  
constitution



# 近赤外広視野多面分光装置

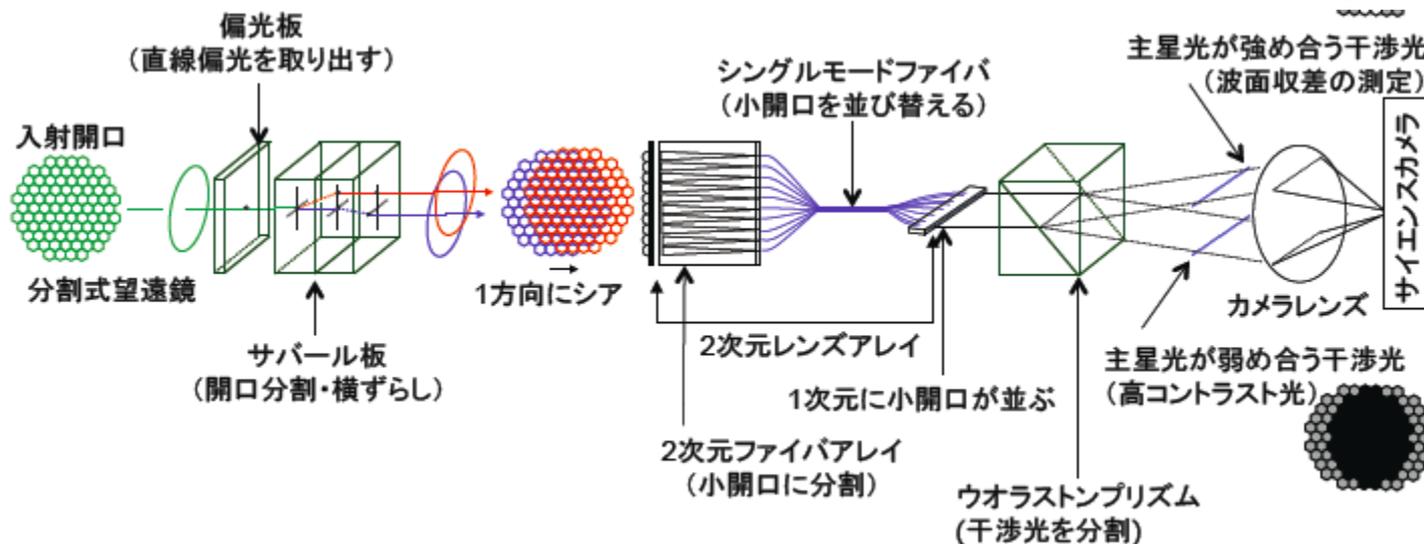
- ◆ NIR域の10-20天体同時 IFU分光 (cf. IRMOS)
- ◆ MOAOを用いてFOV 5arcmin , 空間分解能 0."02@2um
- ◆ 20 IFU units, R=1,000~20,000
- ◆ キーサイエンス
  - Search for galaxies in formation-phase at  $7 < z$
  - Physical properties of galaxies in growing-phase at  $2 < z < 7$
- ◆ 東北大(秋山) w/ U.Victoria, HIA for Subaru/RAVEN
- ◆ R&Ds
  - ◆ 大ストローク(>20um) MEMS-DM
  - ◆ トモグラフィアルゴリズム
  - ◆ ファイバーIFU
  - ◆ ...



- ◆ すばるHDSの拡張としての汎用高分散分光器か、精度と安定性重視の超高分散分光器か？
- ◆ キーサイエンス
  - ◆ Detection of terrestrial exoplanets around solar-type stars
  - ◆ Direct measurement of cosmic expansion
- ◆ 超高分散分光器の場合要求仕様は速度分解能  $\sim 10$  cm/s (c.f. ESO HARPSの速度分解能は1m/s)
- ◆ 天文台 (青木)
- ◆ R&Ds (岡山あるいはすばるを用いた実験を想定)
  - ◆ 撓み、温度、気圧に対する装置安定性実験
  - ◆ レーザーコム
  - ◆ イメージスライサー

# 地球型系外惑星直接撮像装置(SEIT)

- 要求コントラスト :  $10^{-8}$  @0".01 for  $I < 7.8$ ,  $10^{-9}$  @0".03
- Inner working area: 0".01 ( $2\lambda/D$  at  $0.08\mu\text{m}$ )
- 極限補償光学 + 偏光干渉法コロナグラフ + 瞳再配置法という新技術の組み合わせ
- $0.8\text{-}1.2\mu\text{m}$ , FOV 0."1
- 京大(松尾)+北大 w/exAOグループ
- キーサイエンス: Direct detection of earth-like exoplanets



- ◆ 第2期観測装置をどう実現していくかのスケジュールについては未決定であるが、これまでの経緯を踏まえると**将来的に海外の装置検討と競争しなければならない。**
- ◆ そのためにも**今から十分競争力のある検討・要素開発をする必要がある。**
- ◆ First Decade Instruments (06年時にFLI同様TMT装置候補として検討されたもの。)
  - ◆ (NIRES) → J-NIRESとmerge
  - ◆ (MIRES) → J-MIRESとmergeしてMICHI
  - ◆ J-IRMOS vs. IRMOS (Caltech, U.Florida)
  - ◆ J-HROS vs. HROS (UC Santa Cruz, U.Colorado)
  - ◆ J-PFI vs. PFI
  - ◆ WIRC
  - ◆ ...

- ◆ 各装置計画についてあらゆる側面(概念設計、性能、サイエンス、キーテクノロジー、開発組織、スケジュール、コスト、リスク)について議論し、R&Dを支援する。
- ◆ 年2回、2008.11.20より。次回第9回は11月末。
- ◆ すばるにおいても、大学のグループと国立天文台の強い連携があったから観測装置開発が成功した。
- ◆ 装置開発はTMTプロジェクトに国内大学のグループが参加・貢献する項目としても重要。
- ◆ コミュニティシンポジウム、ワークショップとも強いリエゾン
- ◆ 2011年3月のScience and Instrumentation Workshopでも日本から12名が口頭発表を行い、日本のプレゼンスを十分に示した。

## TMTプロジェクト室 TMT観測装置提案検討会



### TMT観測装置提案検討会

Last-modified: 2010-08-09 (月) 21:19:10 (74d)

主宰: 国立天文台TMTプロジェクト室

※(メンバー限定)とあるページの閲覧には、装置検討会のアカウント・パスワードが必要です。

- What's New !
- はじめに
- 検討会の活動
  - 今後の予定
  - これまでの活動
  - 記録
- 各種情報・資料
- Links
- 連絡先

#### What's New ! ↑

- 第4回TMT装置検討会/開催のお知らせ(2010/05/20)  
2010/06/02に、第4回TMT装置検討会を開催いたしました。

#### 最新の20件

**2010-08-09**

- TMT観測装置提案検討会

**2010-06-15**

- 第4回TMT装置検討会/開催のお知らせ
- 第4回TMT装置検討会/評価委員によるコメント(メンバー限定)
- 第4回TMT装置検討会/発表ファイル(メンバー限定)
- 掲示板(メンバー限定)

**2010-04-20**

- 検討会メーリングリスト(メンバー限定)

**2009-12-17**

- 第3回TMT装置検討会/評価委員によるコメント(メンバー限定)
- 第3回TMT装置検討会/発表ファイル(メンバー限定)

**2009-12-16**

- ◆ 国内大学・国立天文台の個別グループでのTMT第2期観測装置の実現に向けた基礎開発を日本TMTプロジェクトの描くロードマップと共同・連携して包括的に行うための経費。
- ◆ 基礎開発から概念設計までの活動に対して年間3件、各500万円程度の支援を3年程度の期間にわたって行う。
- ◆ 採択の審査はTMT観測装置検討会において行う。
- ◆ 1年に1度、進捗状況の審査。
- ◆ 審査員にはJTMT と緊密に連携し、実際に実験状況を現地において確認するなど審査という立場を超えて参加することを求める。
- ◆ **〆切：8月31日（必着）**
- ◆ **TMT第2期観測装置提案はまだまだ募集中です。**

## ◆ ポジティブな面

- ◆ 中型望遠鏡計画での観測装置開発をTMT装置開発に繋げる
- ◆ TMT装置の要素開発、プロトタイプ、試験観測を中型望遠鏡で
- ◆ 中型望遠鏡計画で育てた人材をTMT建設・運用に活かす

## ◆ ネガティブな面

- ◆ 「選択と集中」
- ◆ TMTと中型望遠鏡計画のシナジーが期待されるサイエンスケースはあるか？
- ◆ TMTと相乗効果を生むプロジェクト or TMTと全く関係ない独自の成果が期待されるプロジェクト



THIRTY METER TELESCOPE

---

# TMT観測所の運用について

## ◆ 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TACを持ち、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。

**Q. 早い段階から戦略枠やインテンシブのような時間割付を考えますか？**

- ◆ **リモート観測**：ヒロ山麓施設 and 各国の基幹施設（例：天文台三鷹、各大学） 山頂観測は基本的になし。

## ◆ 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自ら観測し、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。

**Q. 現在のすばるの観測モードと少し違いますが、TMT観測に向けて準備を進めた方がよいでしょうか？**

# TMT Baseline Operations Plan

- ◆ **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は未検討。
- ◆ **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。

**Q. 解析済みデータアーカイブはどの程度ニーズがありますか？**

- ◆ **早朝の観測** : 朝 6 時以降 2 時間程度MIR域の観測が可能。

- TMTの特徴を活かした観測装置群
- ファーストライト時には3台の観測装置と初期MCAO
- 日本におけるTMT観測装置開発の2つの大きな柱
  - ファーストライト観測装置開発、製作へ日本から参加、
  - 独自の設計に基づく第2期観測装置を日本が主導して開発、製作、供給
- すばるの装置開発から継続される技術と経験
- パートナーの独立性と協調性をはっきり区別した効率的な観測所運用体制