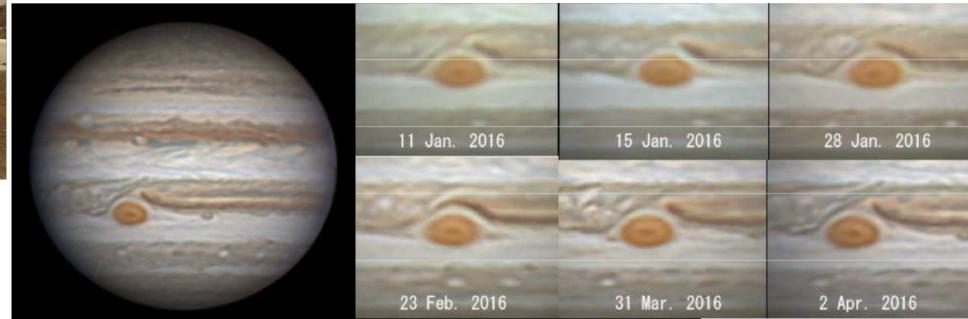




第9回光赤外線天文学大学間連携ワークショップ
2018年12月25日-26日
埼玉大学大久保キャンパス



東北大大学ハレアカラ小型望遠鏡 による惑星大気モニタリング観測

*坂野井 健^a, 鍵谷将人^a, 中川広務^a, 笠羽康正^a, 平原靖大^b,
秋山正幸^c, 宮田隆志^d, 山田学^e, 岡野章一^a

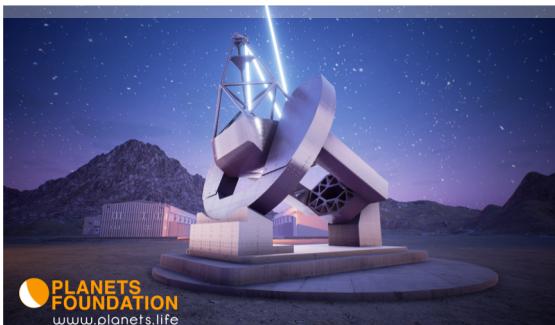
^a東北大大学・理・地球物理

^b名古屋大学・環境

^c東北大大学・理・天文

^d東大・天文学教育研究センター

^e千葉工大・惑星探査研究センター



内 容

- ・東北大学・理・地球物理グループ紹介
サイエンスのねらい
- ・東北大学ハレアカラ天文台紹介
サイト・望遠鏡
観測装置
将来計画
- ・OISTERとの連携

東北大・地球物理・太陽惑星空間系グループ 2018年

特徴

- ✓ グループ総数48名（専任教員13名）
- ✓ 惑星・地球大気を観測とシミュレーションの双方を推進
- ✓ 衛星・地上望遠鏡の搭載装置開発実績
- ✓ 大型設備所有（ハワイ・ハレアカラ天文台、飯舘・蔵王電波望遠鏡等）

➤ 宇宙地球電磁気学分野(STPP)（計12名）

- ✓ 太陽系天体プラズマ加速の素過程などの電波・電磁現象観測・シミュレーション

加藤雄人教授、熊本篤志准教授、木村智樹助教

Martinez研究員、北原研究員、大木(D3)、西田(D1)

MC:2名、BC:2名

オレンジは主に光赤外
ブルーが主に電波
黒は主にモデル・データ解析

➤ 惑星大気物理学分野(PAT)（計17名）

- ✓ シミュレーション・観測による大気現象の比較惑星学的・体系的な理解

寺田直樹教授、村田功准教授、中川広務助教、黒田剛史委嘱准教授

寺田研究員、相澤(D3)、高見(D2)

MC:7名、BC:3名

➤ 惑星プラズマ・大気研究センター(PPARC)（計19名）

- ✓ 太陽・惑星の地上/飛翔体の光赤外・電波観測と大型施設・装置運営

笠羽康正教授、小原隆博教授、三澤浩昭准教授、坂野井健准教授

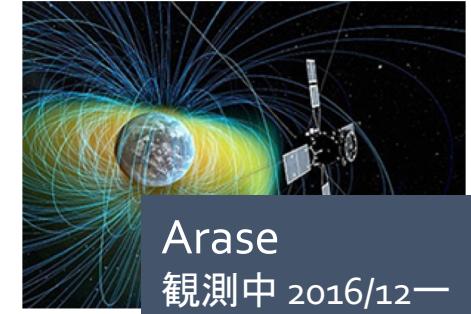
土屋史紀助教、鍵谷将人助教、大友技術職員、佐藤技術術職員、古賀(D2)

MC:6名（内1名）、BC:4名

東北大・地球物理グループ紹介



地上・衛星・探査機からの
光赤外～電波を駆使

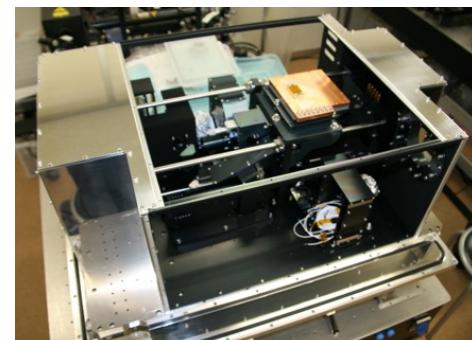
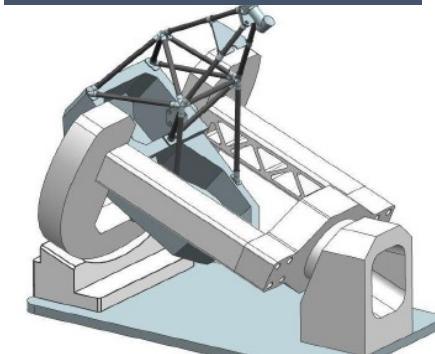


大型電波望遠鏡
の受信機調整



太陽・惑星大型電波望遠鏡
(福島/飯舘)

ハレアカラ 60cm
活動中

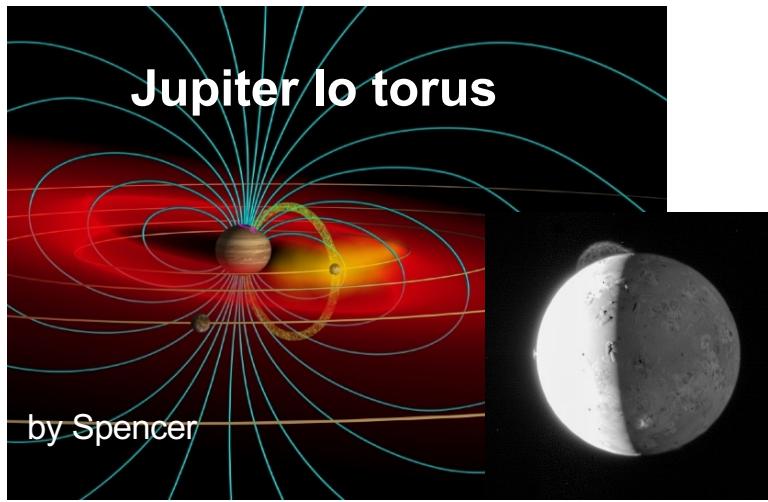


光赤外装置開発



デカメーター電波観測システム
(飯館・蔵王・川渡・米山)

1.8m惑星望遠鏡国
際計画(PLANETS)



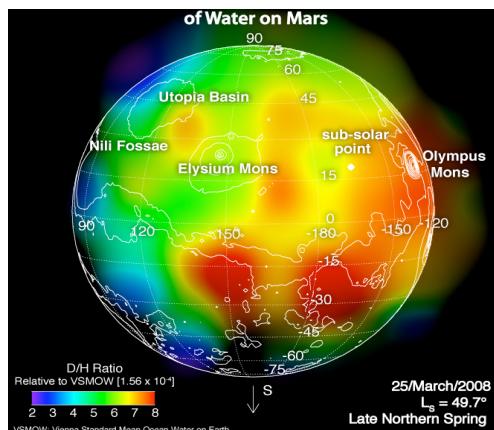
科学ターゲット

明るい天体中・近傍の希薄発光の観測
高コントラスト・ダイナミックレンジ
高分散分光が必要

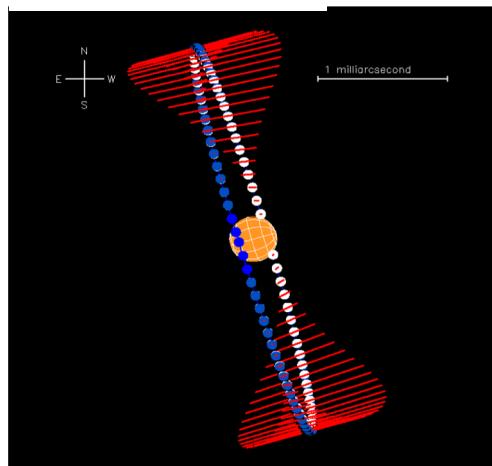


- ✓ イオ火山ガス・エンケラドス水 priyーム起源トーラス
- ✓ 火星・金星メタン・H₂O関連ガス(ドップラー風速・温度)
- ✓ 火星電離圏・外気圏リモートセンシング
- ✓ 系外惑星偏光分光

Mars HDO/H₂O map



Exoplanet

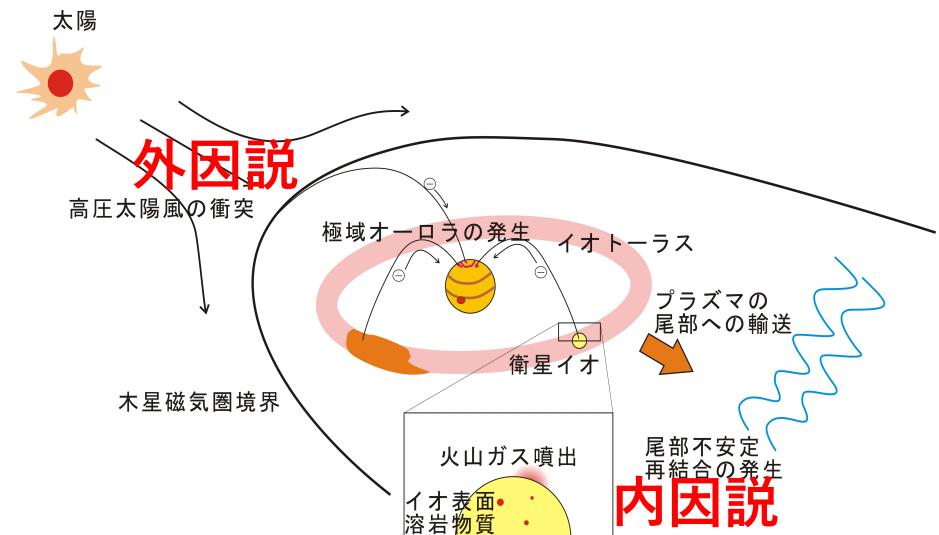


- 測定したい微弱発光・吸収は主天体の $10^{-5} \sim 10^{-7}$ 倍暗い。
 → コロナグラフ
 → 高分散分光

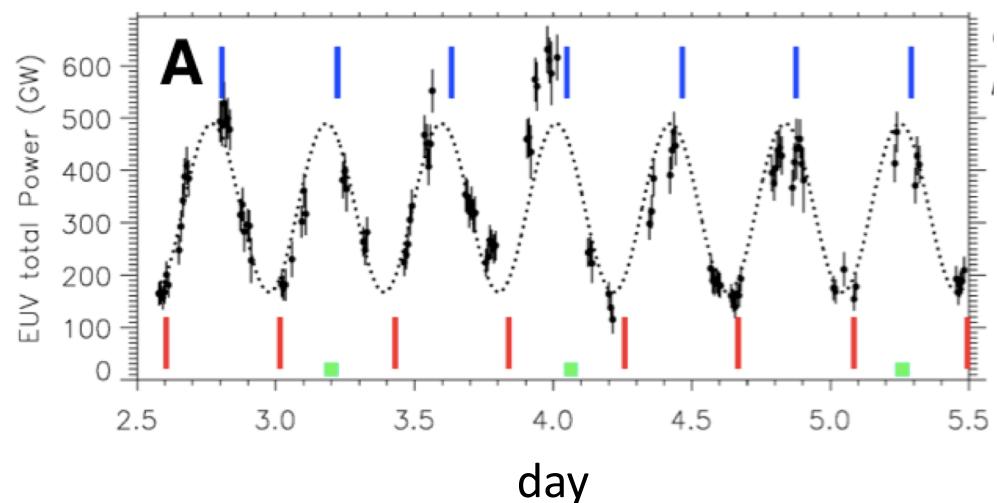
連続観測の重要性

- ✓ 木星は自転軸と磁軸が傾いているために、10時間変動成分と事象変動成分の区別が困難
- ✓ HSTのUV観測は空間分解に優れているが、連続観測に欠如
- ✓ HISAKI望遠鏡でUVトータルフラックス（空間分解なし）の連続観測に成功
→モニタリング観測の優位性

HSTによる木星UVオーロラ観測

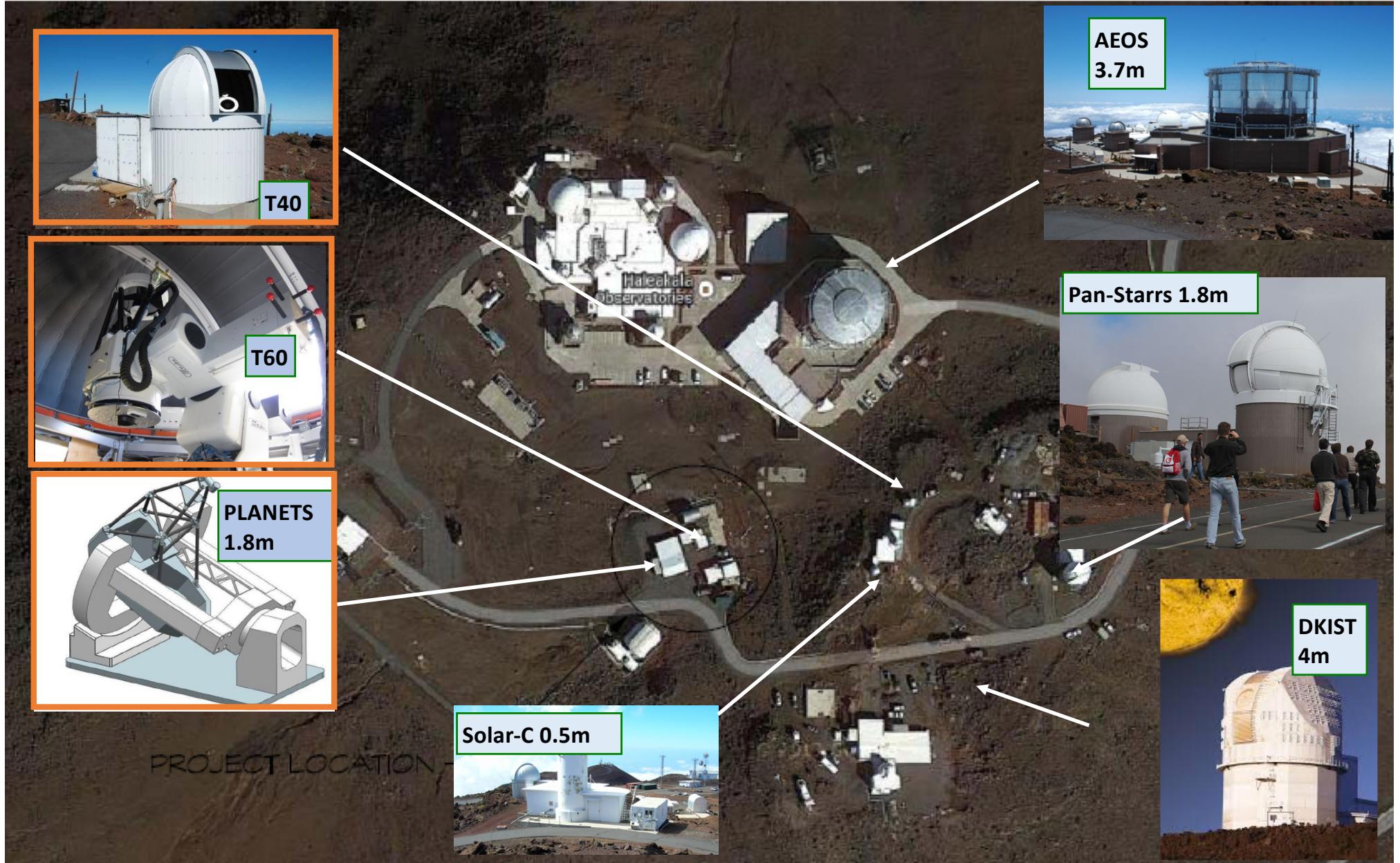


HISAKIによる木星UVオーロラ連続



Haleakala observatories

GLAT=20° 42.5' N, GLON=203° 44.5' W, ALT=3040m

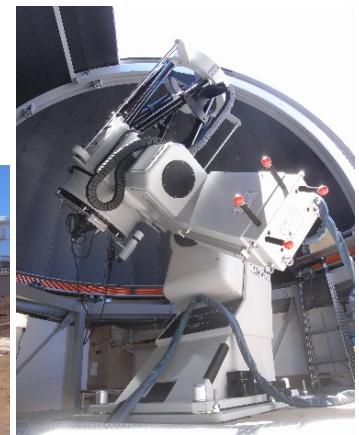


T60 facility

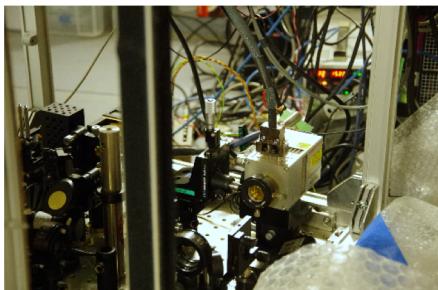
- Advantages

- (1) 高分散分光・大型装置 (Coude)
- (2) ドイツ式赤道儀 (Polarimetory)
- (3) リモート運用システム

*はゲスト装置



Instrument	Spec.
Vispec(Visible Imager and Echelle Spectrograph with Coronagraphy)	0.4-0.9mm, FOV~10' / R~50000, 3000
MILAHI (Mid-infrared laser heterodyne spectrometer)	7-11nm, R ~ 10^{6-7}
*DiPOL-2 (Polarization imager) (KIS, Germany)	B, V, R polarimetry (DoLP ~ $10^{-5 \sim 6}$)
DMD Variable Occultation Mask Imager	Variable mask + Cronograph
*Integral Field NUV Spectrograph (Chiba-tech. U)	IFU, 126 fibers, R~125
*RGB and NIR camera (Kyushu Intern. U)	RGB+2NIR, high-speed imaging

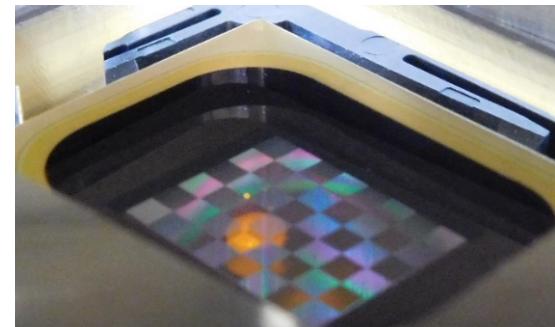
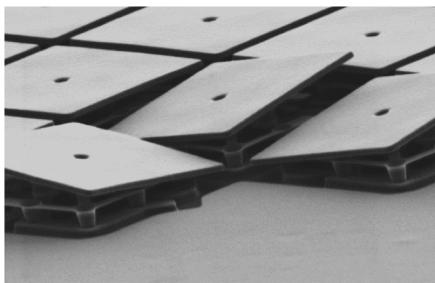


[On-going or potential guest
NIR(1-4um) Echelle spectrograph (ESPRIT)
 $\Delta/\Delta\lambda \sim 20,000$
***Mid-IR (7-12um) Echelle spectrograph (GIGMICS) Nagoya U.**
 $\Delta/\Delta\lambda \sim 40,000$

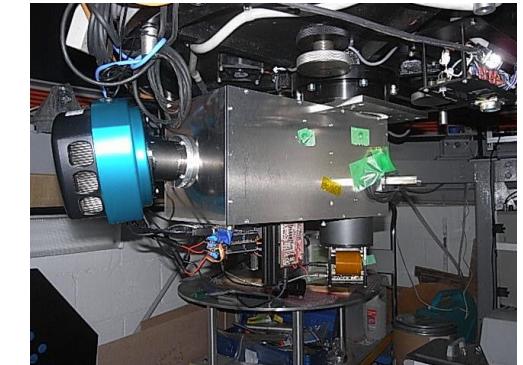
DMD variable mask coronagraph[鍵谷他]

- ✓ 可視・可変マスク
- ✓ 衛星のみ隠す、惑星ディスクぎりぎり隠し電離圏を撮る、等
- ✓ リダクションレート $\sim 10^{-5}$ to 10^{-6}
- ✓ 将来的にもう一つ瞳に配置しアポダイゼーションマスクに用いる、AOと組み合わせる等検討中

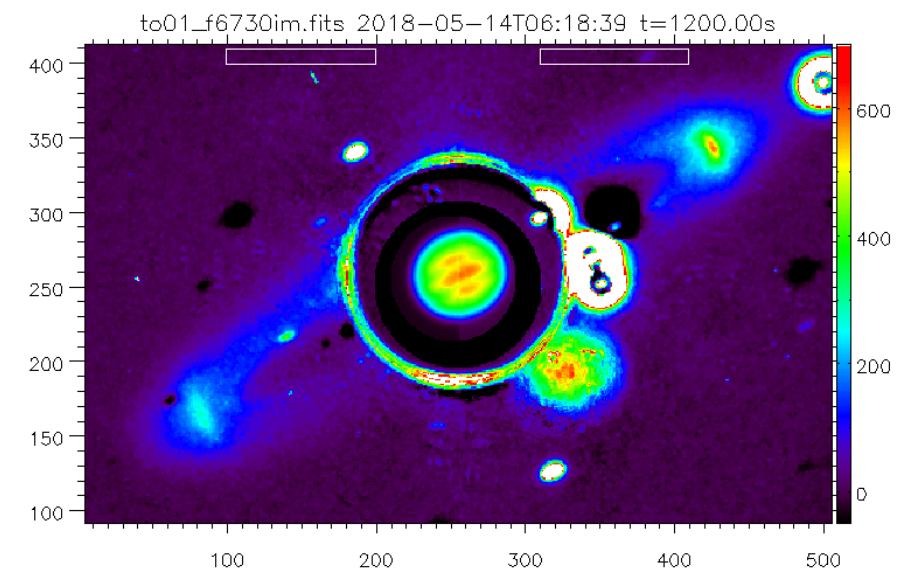
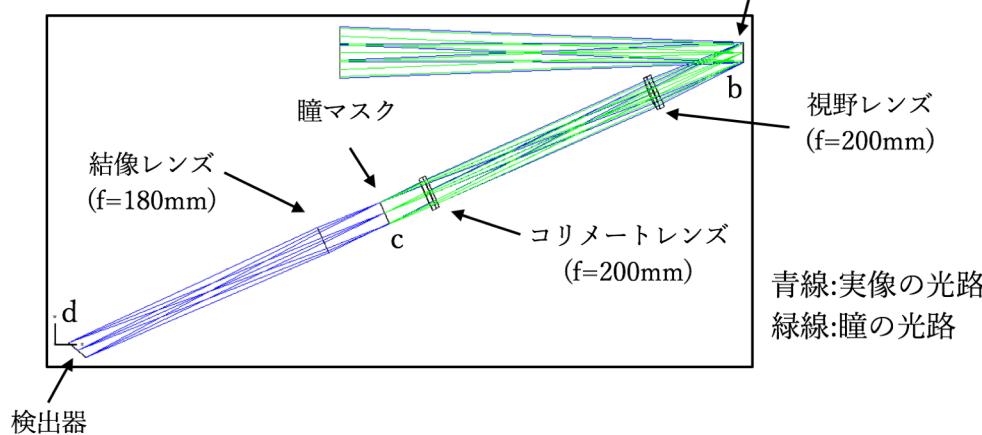
DMD array



DMD imager

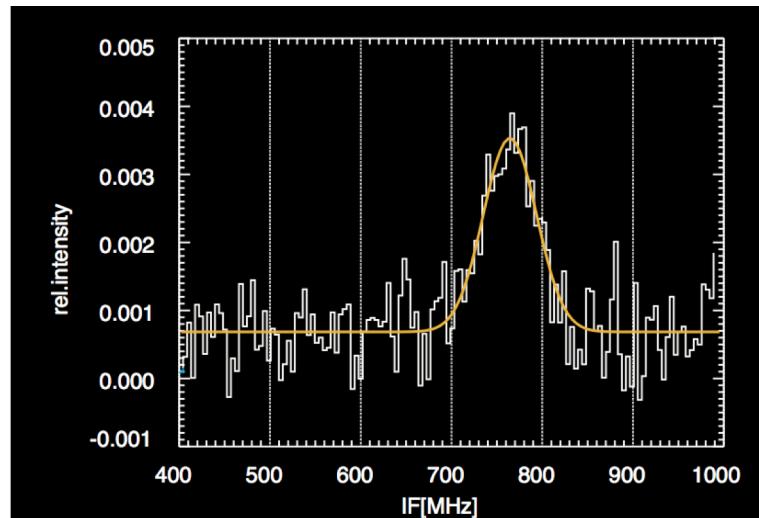
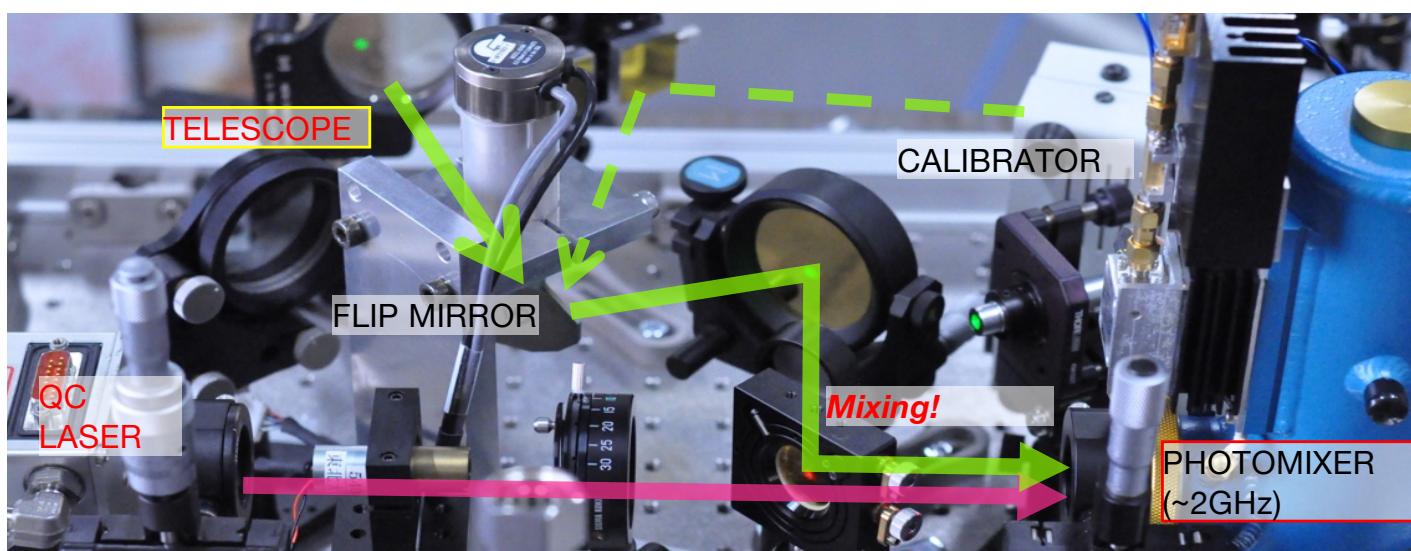


DMD

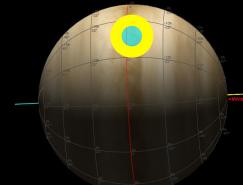


中間赤外ヘテロダイン分光器 [中川、DC高見] (7-11nm, $\lambda/\Delta\lambda \sim 10^{6-7}$)

- ・惑星微量気体の高感度検出
- ・温度と風速の遠隔探査(誤差~10 m/s & ~10K)
- ・鉛直プロファイル推定(分解能~5 km)
- ・有機分子・水系分子の検出
- ・小型軽量(飛翔体・気球搭載可能性)



Venus
mesospheric
MIR CO₂ non-LTE emission
✓ *First detection by T60 at 971.532 cm⁻¹ (2MHz res.) on 28 Mar. 2015*



Venus
(2015/05/07)

Beam Size
(60cm case)

Mars
15"

2.6" @ 7μm

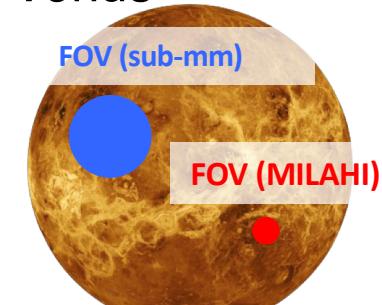


3.5" @ 10μm

Venus

FOV (sub-mm)

FOV (MILAH)



[進行中] 赤外エシェル分光器ESPRITの開発[坂野井、鍵谷、平原、市川]

現在検出器故障で苦戦中

Slit

検出器：レイセオンInSb 256x256

イメージング + エシェル分光

$\lambda/\Delta\lambda : 20,000$

波長範囲：1 – 4 μm

温度：30K(検出器), 90K(ラジエーションシールド)

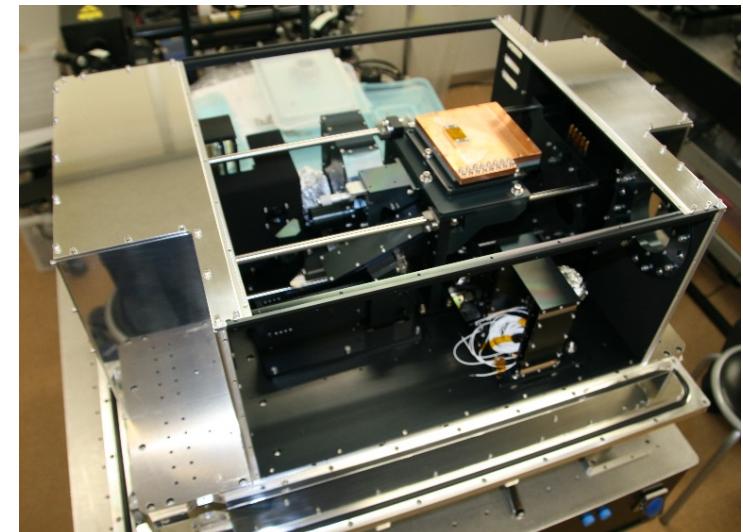
Collimating
mirror

Mirror

Intermediate
and camera
mirror

Echelle grating

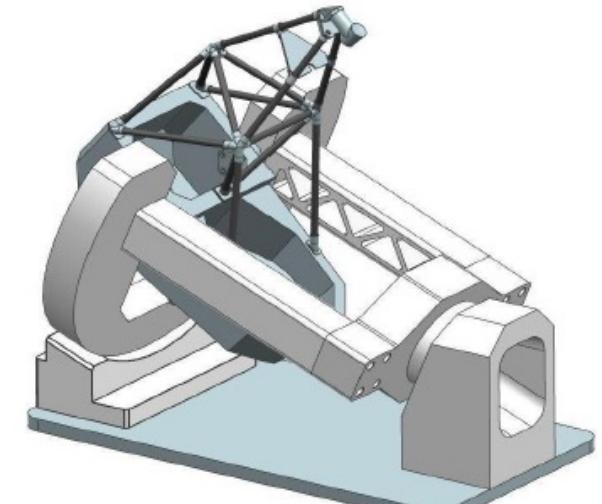
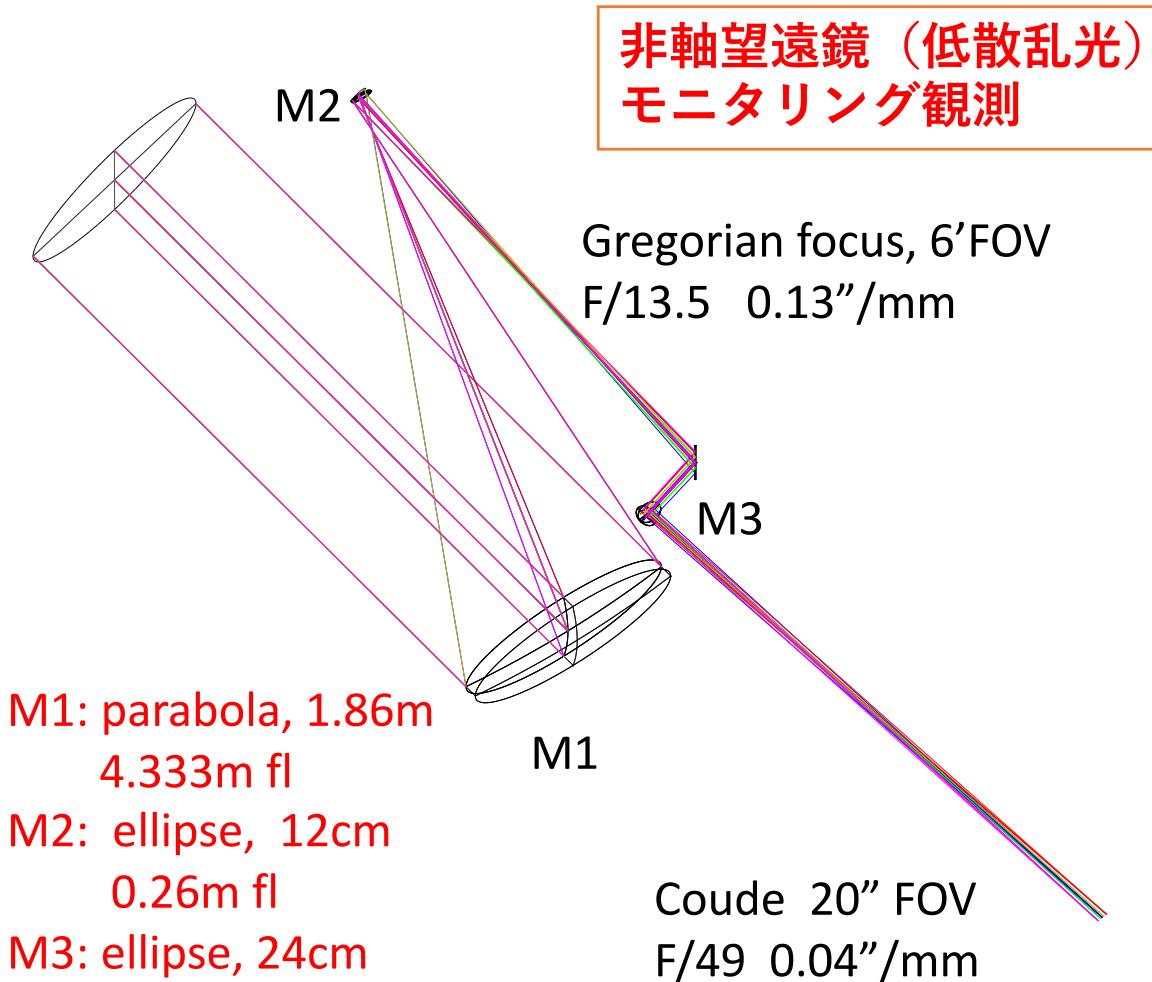
Mirror



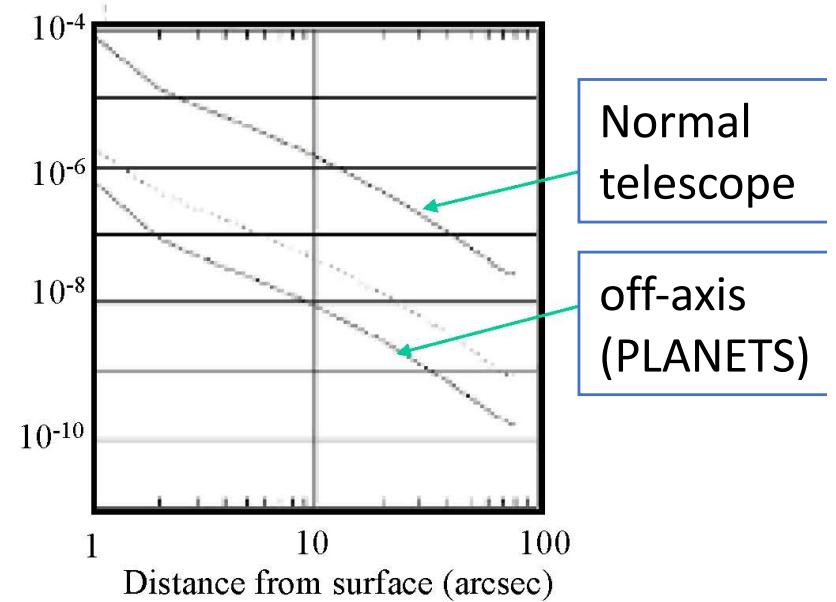
PLANETS 1.8m望遠鏡計画

[UH, KIS他と共同]

<https://www.planets.life/>



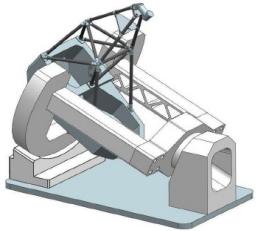
Scattered light from uniform disk source



Probably, the world biggest (*nighttime) off-axis telescope.
(* DKIST is a 4m off-axis solar telescope.)

PLANETS望遠鏡の戦略

- PLANETSの特徴は、中口径だが（ほぼ）専的に運用でき、低散乱光学系であること。
 - 変動のモニタリングサイエンス
 - 太陽系天体
 - AO+オカルティングマスクで明るい部分をぎりぎりまで隠し、高コントラスト光学系により希薄なガスを捉える。
- 想定ターゲット：エンケラドス・エウロパのプリューム、イオ火山、火星・金星大気流出
- ポテンシャル連携研究：火山学（衛星内部熱flux）、衛星地質学、原始太陽系、宇宙生命学（火星微量気体・水起源ガス等）、等
- このために必要な技術開発：AO、マスク、等



1.85-m main mirror (M1)

Ohara Clearceram Z-HS (same as TMT)

$\Phi = 1850\text{mm}$, $t=100\text{mm}$



Melting
(Dec. 2010)



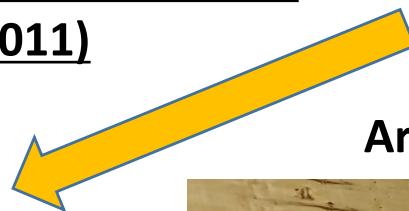
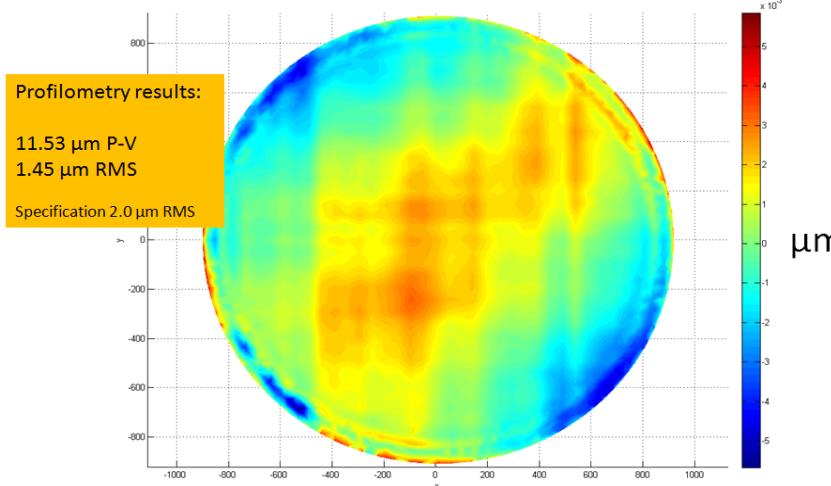
Blank reached to L.A.
(May 2011)



Grinding at Harris/EXELIS
(July 2012)

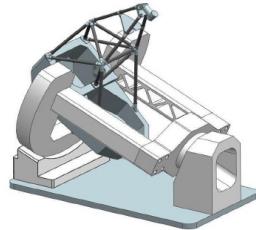
Metrology Assessment

- Average of 2 Orientations Clipped to CA
- Generation Contract – All specifications met



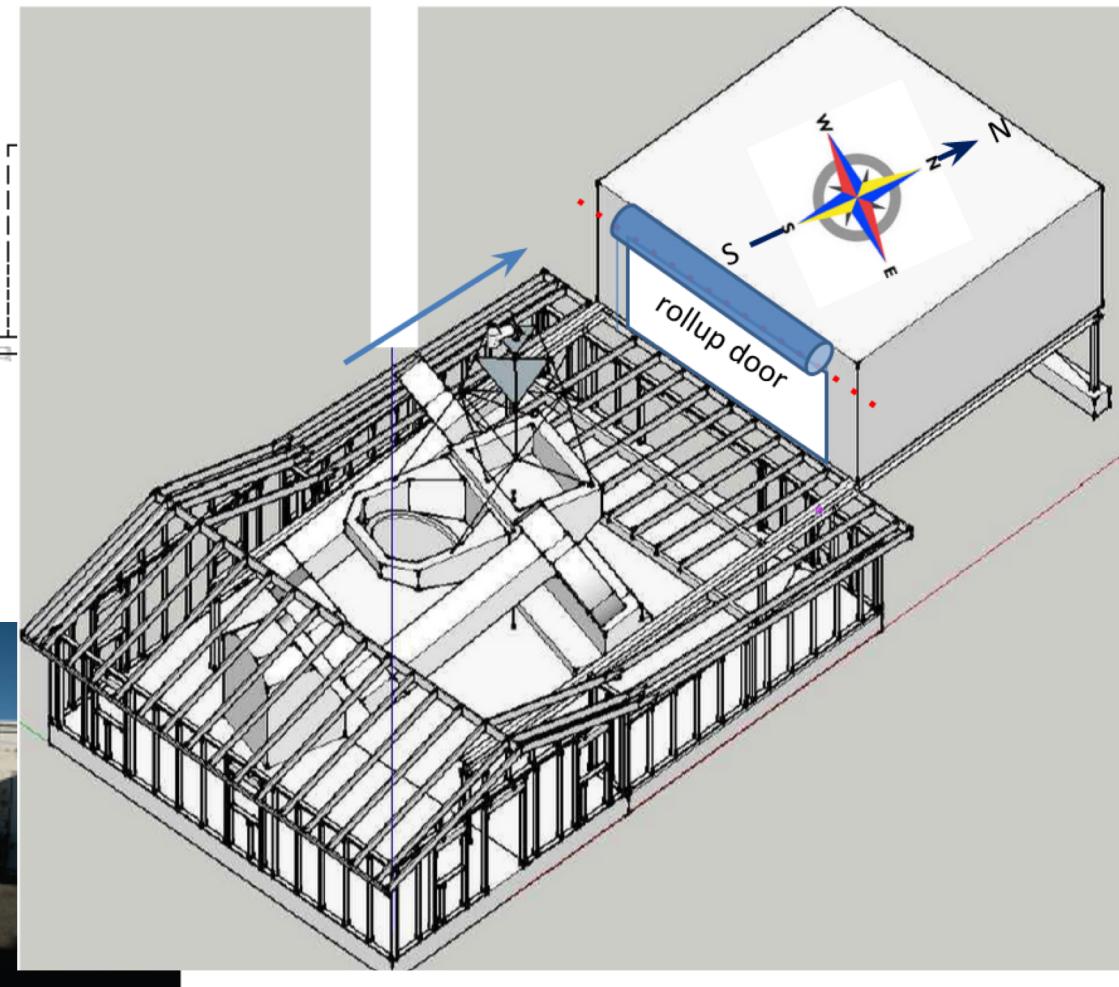
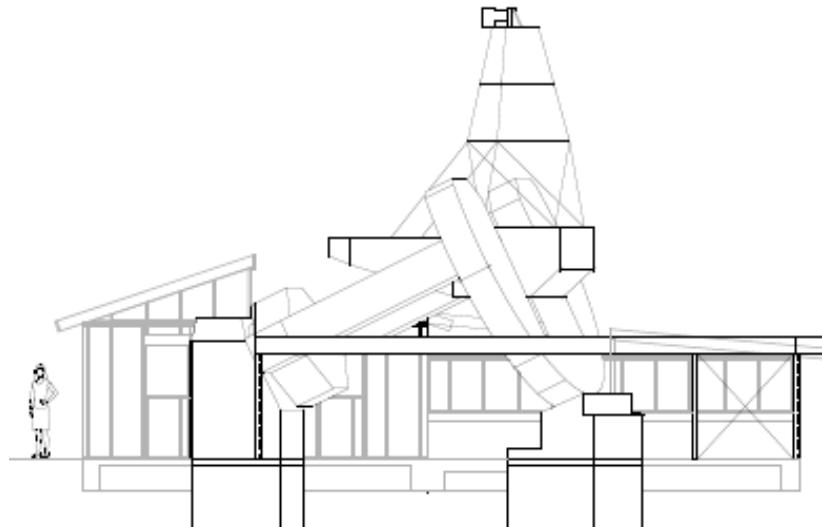
Arrived in Maui (June 2017)





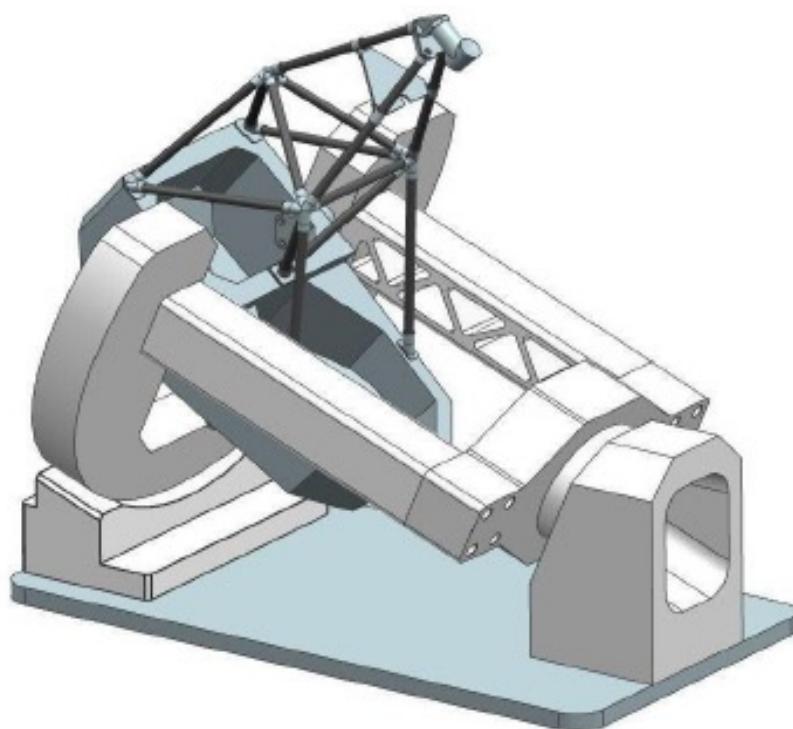
サイト・建屋建築

- ✓ ハワイ州ハレアカラの建築許可は得たが、近年建築費用が高額になつた。
- ✓ 代替地としてカナリア諸島テネリフェのサイトを検討中。



PLANETS望遠鏡 架台方式・ミラー保持機構 [鍵谷、平原、栗田]

- ✓ ホースシュー式（左）とフォーク式（右）で検討中。
- ✓ ミラー保持機構はアクティブサポートとパッシブサポート（ウィッフルツリー）とともに検討中。



まとめ

- ✓ 連携観測や共同研究をぜひお願いします
 - 全球の異なる経度帯観測網による連続観測
 - 突発事象にフレキシブルに対応できるToO的フォローアップ観測
- ✓ 観測装置・技術の交流と協力
- ✓ 学生・若手教育と人材交流の活性化
- ✓ 飛翔体、ALMA、TMT等大型計画との相乗効果・成果最大化

東北大学ハレアカラT60・T40望遠鏡

- ✓ 光赤外高分散分光 + コロナグラフ + 偏光
- ✓ 惑星大気のモニタリング観測
- ✓ 飛翔体プロジェクトとの連携

PLANETS 1.8-m非軸望遠鏡計画

- ✓ 低散乱・高コントラスト光学系
- ✓ 系外惑星・星形成 + 太陽系天体モニタリング + 活動銀河
- ✓ 日本側の観測時間は現状30%（今後の資金投入により増大）