

## PLANETS Telescope Project: Current Status of Development and Future Plan

\*Takeshi Sakanoi<sup>1</sup>, Masato Kagitani<sup>1</sup>, Toshihisa Suzuki<sup>1</sup>, Masahiro Hirahara<sup>2</sup>, Mikio Kurita<sup>3</sup>, Yasumasa Kasaba<sup>1</sup>, Aya Otomo<sup>1</sup>, Shoichi Okano<sup>1</sup>, Hiromu Nakagawa<sup>1</sup>, Takahiro Obara<sup>1</sup>, Jeffery R. Kuhn<sup>4</sup>, Svetlana V. Berdyugina<sup>5</sup>, Marcelo Emilio<sup>6</sup>

(1. Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 3. Graduate School of Science, Kyoto University, 4. Institute for Astronomy, University of Hawaii, USA, 5. Kiepenheuer Institute for Solar Physics, Germany, 6. Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brazil)

We are carrying out a 1.8-m aperture off-axis telescope project PLANETS (Polarized Light from Atmospheres of Nearby ExtraTerrestrial Systems). The PLANETS telescope is characterized by high-contrast imaging and spectroscopic capability thanks to low-scattering in the optical system by combining off-axis mirror, adaptive-optics (AO), and stable atmospheric conditions of an observatory site at a high-altitude. The scattering light of PLANETS is estimated to be more than 10 times better than that of a normal large telescope. PLANETS is the international project of which board members are from Japan, USA, Germany, and Brazil.

Our major scientific goal is to detect faint emission surrounding planet and satellite in the solar system as well as exoplanets, such as Jovian satellite Europa's plume and Martian ionosphere. These emissions are so faint ( $10^{-3}$  to  $10^{-6}$  to the brightness of planetary or satellite disk) close to the main disk (less than a few arcsec) that the measurement of these distributions and time variabilities are difficult. PLANETS is appropriate to observe these targets by taking advantages of high-contrast imaging capability and monitoring operation.

The main mirror is Clearceram Z-HS with a diameter of 1850 mm and thickness of 100 mm. Last December, the mirror was shipped from Hawaii to Japan to carry out the final polishing. We glued 36 metal adapters on the backside of mirror to connect the mirror support. We are now developing the whiffletree with warping harness system to support the main mirror, and complete its fabrication by the end of March 2020. From this April, we will carry out the final polishing using a dragging three probe method with a robot-arm system at Logist Lab./Astro-Aerospace. We expect to obtain the accuracy of main mirror better than 20 RMS nm by the final polishing. In addition, we will fabricate the telescope mount and structures using the proto-type mount Seimei telescope now stored at Nagoya University. We will assemble the whole PLANETS telescope, and achieve the first light and technical demonstration, particularly on the high-contrast and low-scattering capability, in Japan within a few years. Further, we already have the construction permit with conservation district use application (CDUA) at the summit of Haleakala, Hawaii, and we plan to install PLANETS there as soon as we get the funding for the observatory construction.

# PLANETS Telescope Project: Current Status of Development and Future Plan

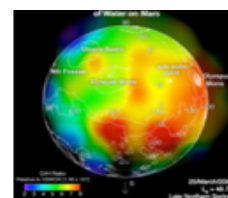
T. Sakanoi<sup>1</sup>, M. Kagitani<sup>1</sup>, T. Suzuki<sup>1</sup>, Y. Hirahara<sup>2</sup>  
M. Kurita<sup>3</sup>, Y. Kasaba<sup>1</sup>, A. Otomo<sup>1</sup>, S. Okano<sup>1</sup>  
H. Nakagawa<sup>1</sup>, T. Obara<sup>1</sup>, J. R. Kuhn<sup>4</sup>, S. V. Berdyugina<sup>5</sup>  
M. Emilio<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Tohoku Univ., <sup>2</sup>Nagoya Univ., <sup>3</sup>Kyoto Univ., <sup>4</sup>Univ. Of Hawaii, USA  
<sup>5</sup>Kiepenheuer Institute, Germany, <sup>6</sup>Univ. Estadual de Ponta Grossa, Brazil

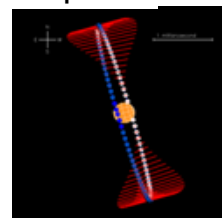
E-mail: tsakanoi@pparc.jp.tohoku.ac.jp



Mars HDO/H2O map



### Exoplanet



• Brightness of planetary disk is roughly  $10^{-5} \sim 10^{-7}$  times greater than that of targets.  
→ coronagraphy  
→ high-resolution spectroscopy

## 高コントラスト光学系による惑星・衛星大気モニタリング

太陽系天体の変動現象  
希薄大気・衛星噴出物  
系外惑星大気

### 我々の取り組むキー技術

- ✓ 高コントラスト・低散乱光学系
- ✓ 高ダイナミックレンジ光学系
- ✓ オカルティングマスク
- ✓ 補償光学(AO)
- ✓ 高分散分光
- ✓ ファイバー分光(可視・中間赤外)

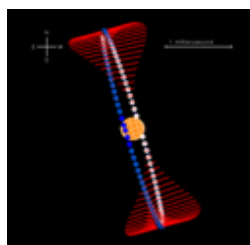
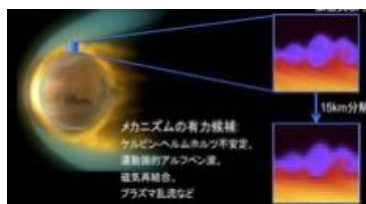
## 高コントラスト・低散乱光学系が必要なわけ

- 衛星噴出物リモートセンシング  
e.g., エウロパ、エンケラドス → 内部探査
- 非磁化惑星の大気散逸  
e.g., 火星大気、金星大気 → 惑星大気進化

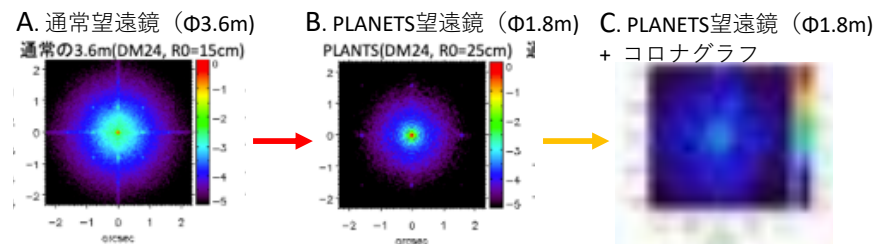
イオ  
エンケラドス  
エウロパ

火星・金星  
電離圏・外圏大気散逸

系外惑星



## PLANETS望遠鏡で達成される高コントラスト観測



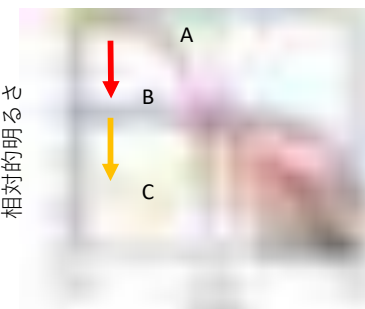
PLANETSの軸外し光学系：光路中に散乱物なし

+ 補償光学系と可変2次鏡による大気ゆらぎ補正

+ コロナグラフによる明天体遮蔽

↓  
高コントラスト光学系の実現

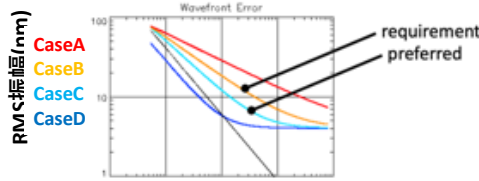
相対的明るさ



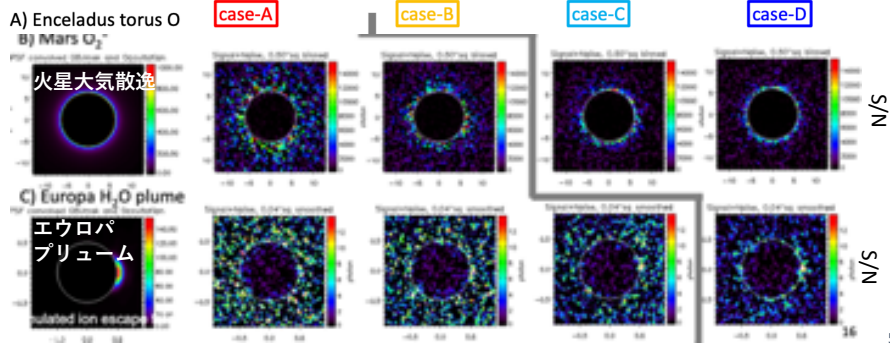
中心天体からの距離

# 観測シミュレーションと鏡面研磨精度要求

- オレンジ：仕様要求 (20 nm for 10- cm scale, 6 nm for 1-cm scale),
- 水色：目標
- Micro-roughness < 4 nm (目標 < 2 nm)



ミラー上の空間スケール (cyc/m)



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

# PLANETS 1.8-m off-axis telescope

- グレゴリアン焦点 (50-100kg)
  - ファイバーバンドル (可視分光)
  - 中空ファイバー (中間赤外ヘテロ)
- 視野: 6分角 (グレゴリアン)
  - 1分角 (回折限界)
- ナスミス焦点
  - クライオ近赤外・中間赤外分光器
  - ゲスト装置



M1: parabola, 1.86m  
4.333m fl  
M2: ellipse, 12cm  
0.26m fl

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

# PLANETS 1.8-m off-axis telescope

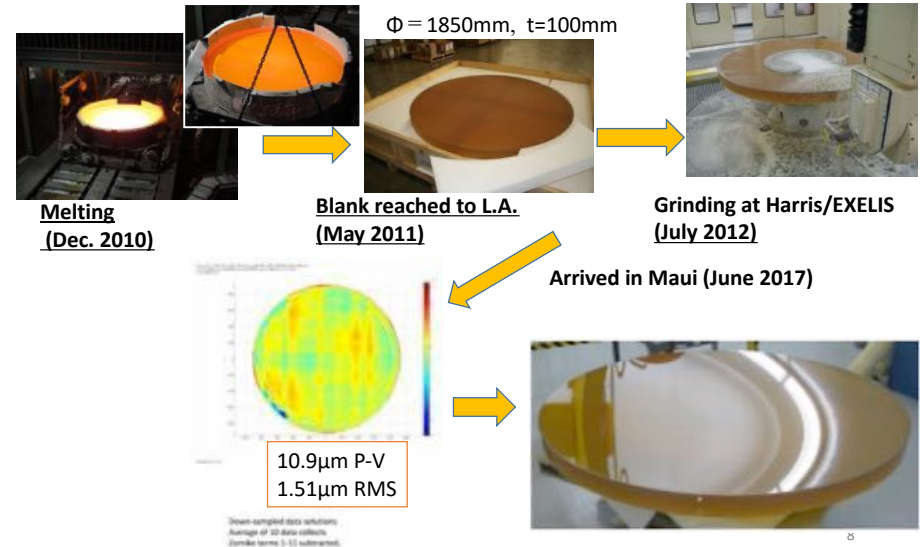
- ✓ 低散乱 (良PSF) 光学系
- ✓ 可視～中間赤外観測
- ✓ 専用望遠鏡によるターゲット最適化観測
  - モニタリング観測
  - TOO観測
  - AO, 高分散分光, コロナグラフ,

国内: 東北大(秋山:AO)・名古屋大学(平原: 研磨・赤外分光・ファイバ)・京都大学(栗田: 研磨・架台・主鏡保持)

国外: ハワイ大(サイト)、ドイツ(ポラリ・サイト)、ドイツ(資金提供)、フランス(AO)



# 1.85-m主鏡：これまでの経緯 Ohara Clearceram Z-HS



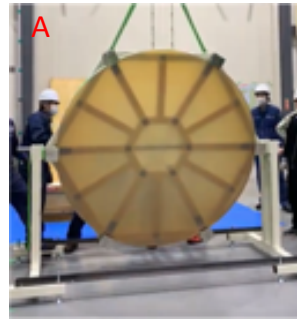


# 主鏡：現況と今後

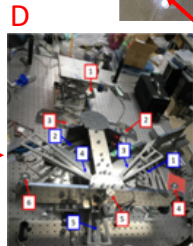
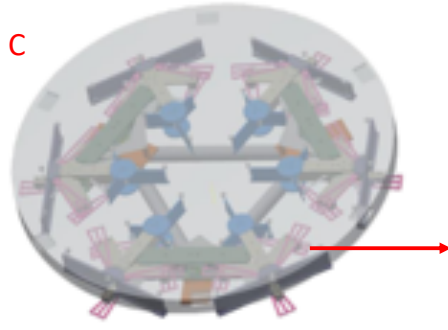
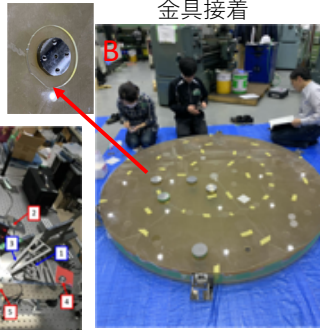
主鏡反転

2020年1月 主鏡をハワイから東北大へ輸送  
 2020年2月 主鏡を反転し、保持用の金具を固着 (A,B)  
 今後 2020年3月 主鏡保持機構を開発 (C, D)

- 主鏡支持構造にはTMTやせいめい望遠鏡で実績のあるウィップルツリー方式 (C) を採用
- 現在、1/6要素試験 (D) と詳細設計 (C) が完了。



金具接着



# 主鏡研磨計画

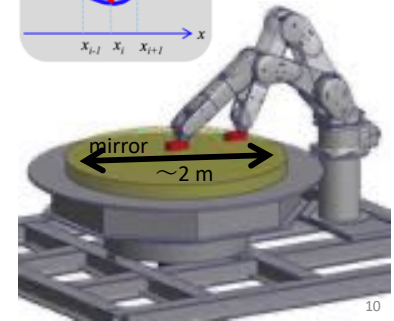
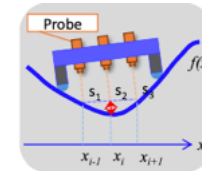
2020年4月～

- 名大・京大・アストロエアロスペース (ナガセインテグレクス) と検討中
- ロボットアーム研磨
- 3点引きずり法検査

By the only robot-arm, polishing and measuring are executed on large and free form optics

(including flat and convex shapes).

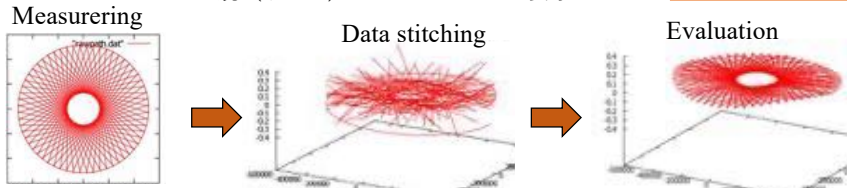
- Dragging 3 probe method
- Data stitching algorithm
- Flow of data processing
- Sample result



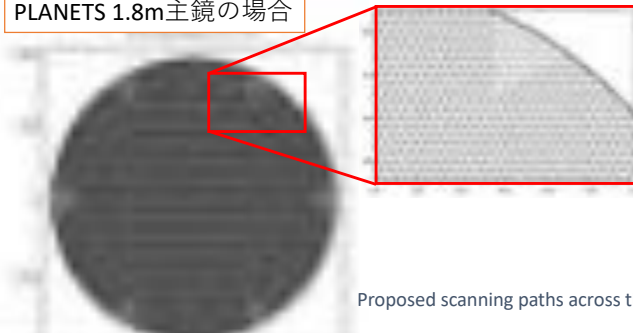
# ロボットアームを用いた鏡面検査と研磨

せいめい望遠鏡2次鏡 (Φ1m) でRMS<10nmを達成  
 PLANETS主鏡 (Φ1.8m) ではRMS<20nmを要求

2020年4月～



PLANETS 1.8m主鏡の場合



Correcting polish

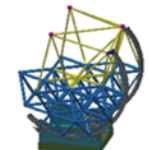
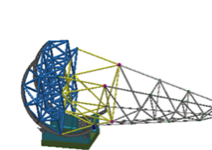
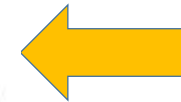


Proposed scanning paths across the PALENTS M1

# 架台製作 せいめい望遠鏡プロトタイプを再利用

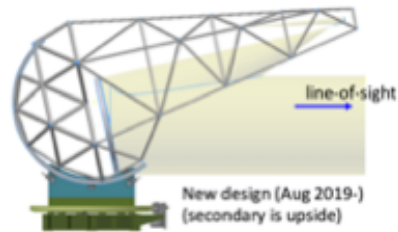
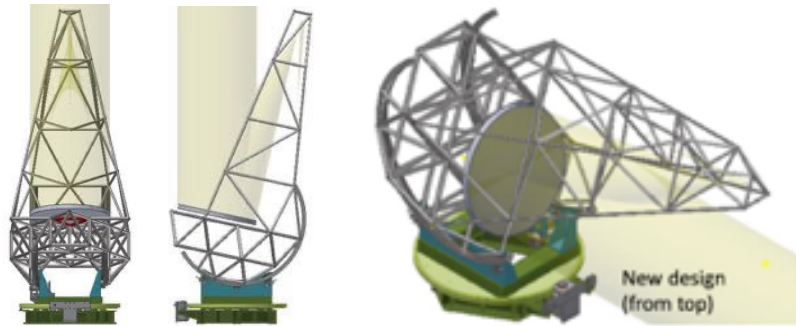
2020年3月～

- ✓京大3.8mの技術実証
- ✓軽量・堅牢な経緯大
- ✓いくつかの部品 (エンコーダ、サーボモータ等) と上部トラスは新規調達
- ✓Rガイド変更



# 架台製作

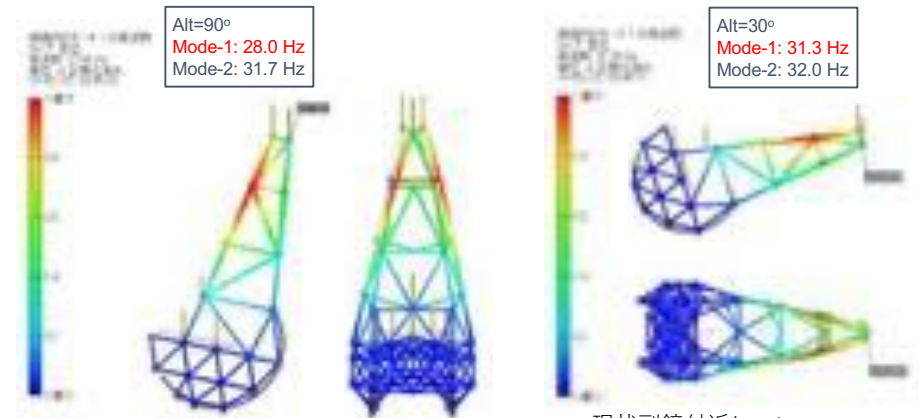
2020年3月～



Truss structure 820 kg  
 Primary+cell 600kg  
 Elevation support 1 ton  
 Azimuthal stage 1 ton  
 Total 3 - 4 ton

→ Rガイドを180度までのものに変更  
 Elevation=0度まで観測可能

# 固有振動解析



- ✓ 6000 N load for primary mirror
- ✓ 300 N load for secondary mirror

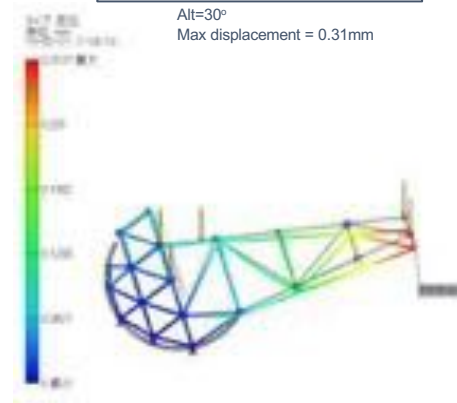
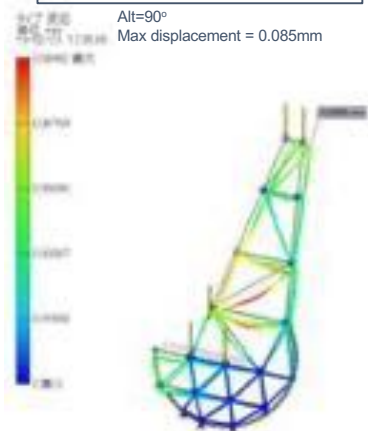
現状副鏡付近に30kg  
 90kgにしても固有振動変化なし

→ 十分硬い

# 変位解析

Displacement at secondary is  
 0.05 mm when altitude = 90°

Displacement at secondary is  
 0.31 mm when altitude = 30°



→ 2次鏡アクティブ支持機構で補正

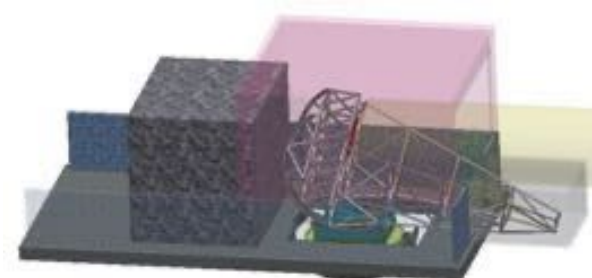
# 国内設置計画・ファーストライト

2021年～予定



Roll-off roof building in litate observatory

We could not find any place in our university campus. Fortunately, our litate observatory (37.6°N, 2-hour drive from Sendai) can enclose the structure with minor renovation.



## 将来的にハレアカラへ移設

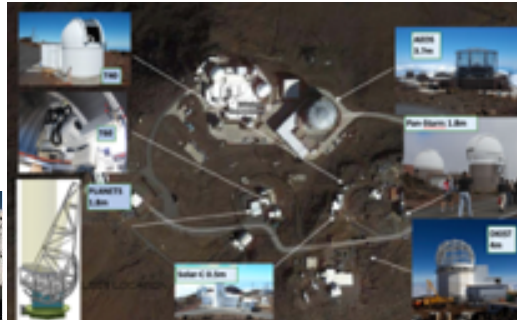
2021年～ (予算獲得)

### 日本やアタカマと異なる経度のモニタリング, TOO観測へ利用

- ハワイ・マウイ島 ハレアカラ観測所(3040m, GLAT=20° 42.5' N, GLON=203° 44.5' W)
- ハワイ大学・シカゴビルディングを改築



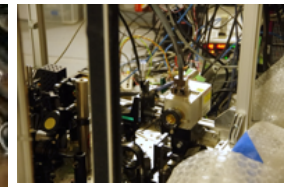
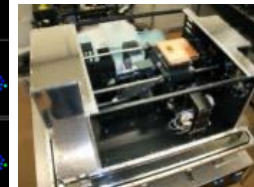
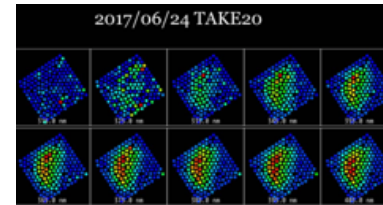
建築・土地利用許可 (CDUA) 取得済み



17

## 搭載装置計画

Instrument	Spec.
Fiber : Vispec(Visible Imager and Spectrograph with Coronagraphy)	0.4-0.9 $\mu$ m, FOV~1' / R~70,000
Fiber : MILAHI (Mid-infrared laser heterodyne spectrometer)	7-11 $\mu$ m, R ~ 10 <sup>6-7</sup>
Gregorian: DiPOL-2 (Polarization imager) (KIS)	B, V, R polarimetry (DoLP ~ 10 <sup>-5-6</sup> )
Nas: NIREchelle spectrograph (ESPRIT)	1-4 $\mu$ m, R ~ 20,000
Nas: MID-IRGIGMICS (Nagoya U.)	7-12 $\mu$ m, R ~ 40,000



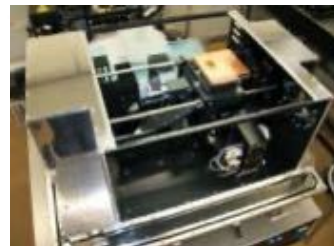
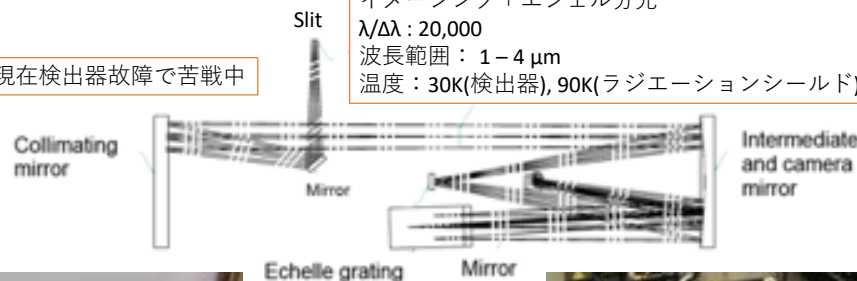
18

## 赤外エシエル分光器ESPRITの開発

[進行中]

検出器：レイセオンInSb 256x256  
イメージング+エシエル分光  
 $\lambda/\Delta\lambda$  : 20,000  
波長範囲：1-4  $\mu$ m  
温度：30K(検出器), 90K(ラジエーションシールド)

現在検出器故障で苦戦中



19

## まとめとスケジュール

- 1.8m口径PLANETS望遠鏡は、高コントラスト光学系である特長をもち、明るい主天体(惑星や衛星)周辺の大気やプラズマの微弱発光を従来より一桁以上高いS/Nで観測できる。
- せいめい望遠鏡プロトタイプ架台を再利用し、上部トラス構造を追加して架台を製作

項目	内容	期間
主鏡保持機構製作	東北大でウィップルツリ-36点支持機構を製作	2020/03
主鏡検査・最終研磨	国内ロジストラポ・アストロエアロスペースで実施	2020/04-07
架台製作・望遠鏡全体アセンブリ	せいめいプロトタイプを再利用 東北大で製作	2020/03-2021/01
ファーストライト	国内(飯館)で実施・技術実証	2021 -

技術・資金参加・装置・サイエンス・教育いずれに興味あるか  
た是非お声がけを!

20