

## [P30] University-Scale Ground-Based Observatories for Solar System: A case of Tohoku Univ.

Y. Kasaba, T. Sakanoi, M. Kagitani (Tohoku Univ.), Y. Hirahara (Nagoya Univ.),  
M. Kurita (Kyoto Univ.), M. Akiyama, H. Nakagawa, H. Misawa, A. Kumamoto,  
F. Tsuchiya, T. Kimura, A. Ohtomo, S. Satoh, T. Obara, S. Okano (Tohoku Univ.),  
J. Kuhn (Univ. Hawaii), P. Zarka (Obs. Paris)

Tohoku University has supported planetary missions with small-scale but long-lasting capability of the ground-based observations dedicated to solar system. At present, our core telescopes are Vis-IR 60-cm and Vis 40-cm at Mt. Haleakala, Hawaii, and VHF-Radio 30-m (IPRT) at Iitate, Fukushima. For future, we are running the construction of 1.8-m PLANETS Vis-IR telescope with a unique Offset-Gregorian type (with Nagoya/Kyoto Univ. in Japan and Univ. Hawaii et al. in overseas), and also investigating the participation to the NenuFAR project promoted by Obs. de Paris as the expansion of Euro LOFA (Low Frequency radio interferometer). For the effort to expand the future observational capability toward Sun, planets, satellites, minor bodies, and exoplanets, we hope to get the participations and supports from the communities in Japan.

東北大は、1974年の木星電波放射観測施設の開設以来、小規模ながら太陽系天体の地上観測能力を擁し、国内外の惑星ミッション群へ参画し随時・継続的な支援観測を行ってきた。現在、光赤外ではハワイ・ハレアカラ山頂60cm 光赤外・40cm 光学、電波では福島県飯館VHF帯30m(IPRT)の各望遠鏡を中核とする。将来に向け、オフセット・グレゴリアン型のユニークな構造を持つ1.8m PLANETS 光赤外鏡（国内では名大・京大、国外ではハワイ大他と共同）の建設中、欧LOFA(低周波電波干渉計) 拡張としてパリ天文台がNancey 観測所で進めるNenuFAR 計画への参画検討中である。この太陽、惑星・衛星群、小天体群、そして系外惑星への高頻度/任意timingの観測能力向上に対し、国内コミュニティからのご参加・ご支援を希望する。

# 大学規模の太陽系地上観測所 その現況将来計画 ～ A case in Tohoku University ～

笠羽康正<sup>1</sup>, 坂野井健<sup>1</sup>, 鍵谷将人<sup>1</sup>, 平原靖大<sup>2</sup>, 栗田光樹夫<sup>3</sup>, 秋山正幸<sup>1</sup>, 中川広務<sup>1</sup>  
三澤浩昭<sup>1</sup>, 熊本篤志<sup>1</sup>, 土屋史紀<sup>1</sup>, 木村智樹<sup>1</sup>, 大友 綾<sup>1</sup>, 佐藤 慎也<sup>1</sup>, 小原隆弘<sup>1</sup>,  
岡野章一<sup>1</sup>, J. Khun<sup>4</sup>, P. Zarka<sup>5</sup>

(<sup>1</sup>東北大 <sup>2</sup>名古屋大 <sup>3</sup>京都大 <sup>4</sup>Univ. Hawaii <sup>5</sup>Obs. de Paris)

東北大・PPARCは小規模ながら独自の太陽系天体の地上観測能力を擁し、太陽・惑星を長期観測し、国際ミッション群を随時/継続支援してきた。

[光赤外] 60cm光赤外・40cm光学 (ハレアカラ山頂 / ハワイ大協同)  
[電波] VHF帯30m --- IPRT (福島県飯舘)

それぞれの将来発展として、以下の将来開発・検討を進めている。

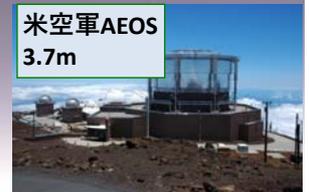
[光赤外] 1.8m PLANETS (オフセット・グレゴリアン型)  
(国内: 名大・京大協同、国外: ハワイ大他協同)  
[電波] 欧LOFAR (LOW Frequency Array) 低周波電波干渉計  
仏NenuFAR (パリ天文台による増強拡張)

**本講演には、メッセージを7つ、埋め込みました。**  
その他の視点も含め、ご意見・ご提案・ご支援等、よろしく願い申し上げます。

## [光赤外 - 現在] Small-sized Telescopes

at Mt. Haleakala, Hawaii

高度3,040m --- マウナケア(4,200m)ほどではないが、好天 & 好seeing。安定観測が可能  
時差+5h --- 日本が持つ唯一?の経度の小拠点。日本の昼に遠隔観測可 (ホワイト労働ok)  
太陽系専用で運用 --- ‘柔軟性 & 連続性max’。どんなイベント&探査機も連動ok (受ければ)



広視野用



40cm シュミット (可視)  
2000's

大型装置用



60cm カセグレン(光赤外)  
2014-

“共同利用的観測”: 2016から

2018-9年度: 2-4件

(立教大、千葉工大、名大、九州国際大、KIS[ドイツ])

<本日のメッセージ #1>

観測提案 & 装置持込、歓迎!

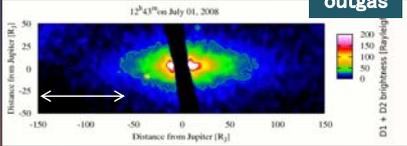
クーデ焦点: 大型装置の試験も可  
→ MIR分光等も試行

# [光赤外 - 現在] Small-sized Telescopes

at Mt. Haleakala, Hawaii

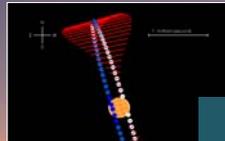
広視野 & Unique-event imaging  
～小望遠鏡ならではの～

Wide/Narrow Imagers  
to sodium nebula



水星  
outgas

DIPOL-2: Polarimeter  
Exoplanet [KIS, U.Turku]



冥王星  
衛星  
Limb透過光

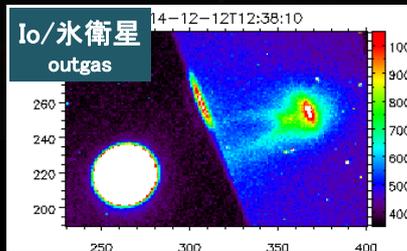
系外惑星  
反射光



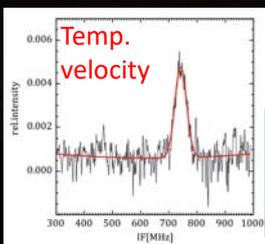
<本日のメッセージ #2>  
(短)中長期に40-cmが入っている  
ドームの共用/譲渡を検討可。

High-dispersion spectroscopy  
～小望遠鏡観測では世界でも稀～

Vispec: Visible echelle  
to plasma (S+) torus



MILAH: MIR heterodyne  
Venus & Mars CO<sub>2</sub> emission

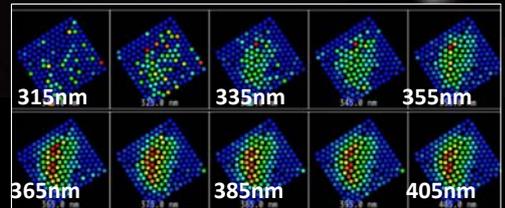


火星・金星  
速度 &  
微量成分  
検出

技術開発ベンチ

～ Occultation mask / Fiber opticsを  
将来展開を見越して開発～

Fiber-Array spectrometer  
Venus UV cloud



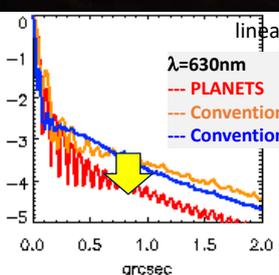
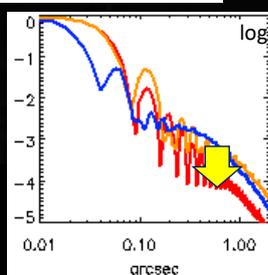
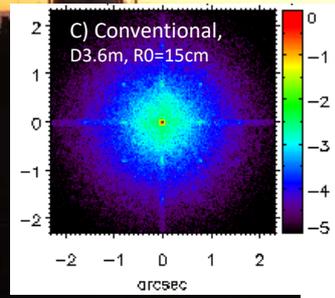
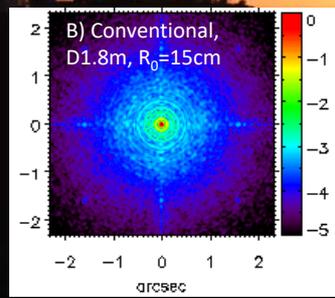
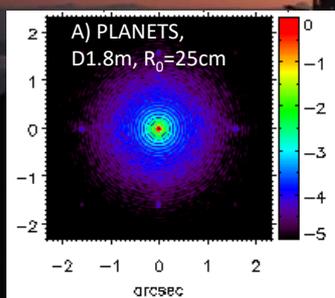
# [光赤外 - Next]

柔軟性は貴重だが、「もっと光を・・・」

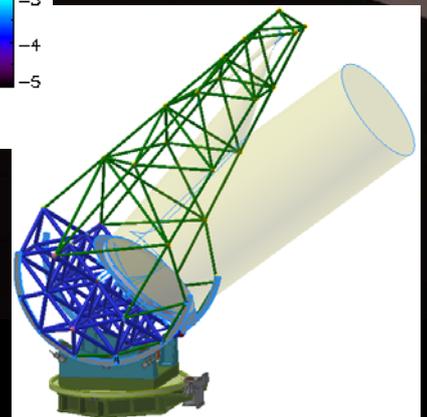
## PLANETS - 1.8m望遠鏡

(Polarized Light from Atmospheres of Nearby Extra-Terrestrial Systems)

- 「東北大 + 名大・京大」および「ハワイ大、独KIS、ブラジル」の国際共同
- 副鏡がbeamに入らない: 補償光学(副鏡)とコロナグラフを併せると
  - 副鏡支持構造による回折のない、**軸対称のきれいな点像分布**
  - 0.1-10"で、通常型・同口径の望遠鏡に対して**約1-2桁小さい回折光**

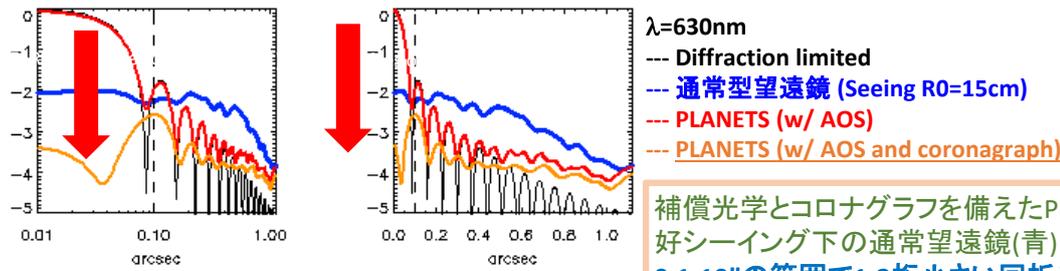


λ=630nm  
 --- PLANETS D1.8m (w/ AOS, R<sub>0</sub>=25cm)  
 --- Conventional D1.8m (w/ AOS, R<sub>0</sub>=15cm)  
 --- Conventional D3.6m (w/ AOS, R<sub>0</sub>=15cm)



…さらに、コロナグラフを適切に仕込むと…

## 'High-Contrast imaging science'



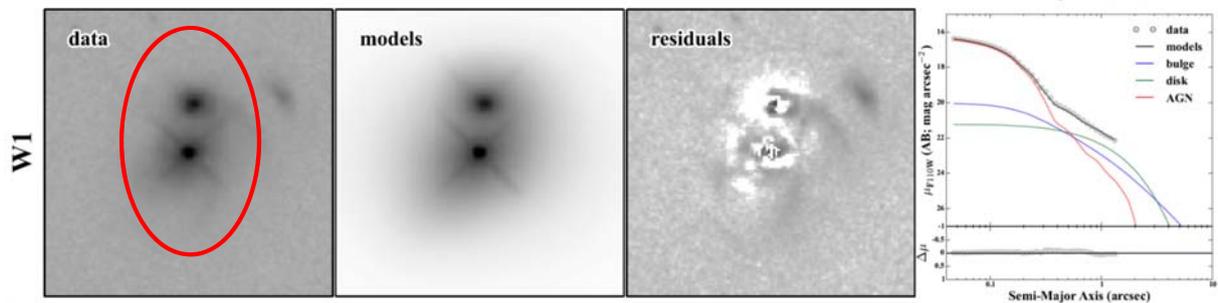
補償光学とコロナグラフを備えたPLANETS(橙)は、好シーイング下の通常望遠鏡(青)にくらべると0.1-10"の範囲で1-2桁小さい回折光を実現可能な見込み。

### 惑星/衛星からのoutgas / Stellar disks / AGN … 明るい天源/面源の周囲の微弱光を峻別

<例> 系外銀河と中心の超巨大ブラックホールの共進化 (秋山/東北大)

→ 遠方宇宙のクェーサー・活動銀河中心核周りの'母銀河'の観測が重要。  
現HST等では、銀河進化最盛期(100億光年超)の上記観測が意外に困難。

- PLANETS + AO の無遮蔽と低散乱で得られる点像関数は遠方宇宙のクェーサー(点像)まわりの母銀河を精度よく捉える点でも有効。

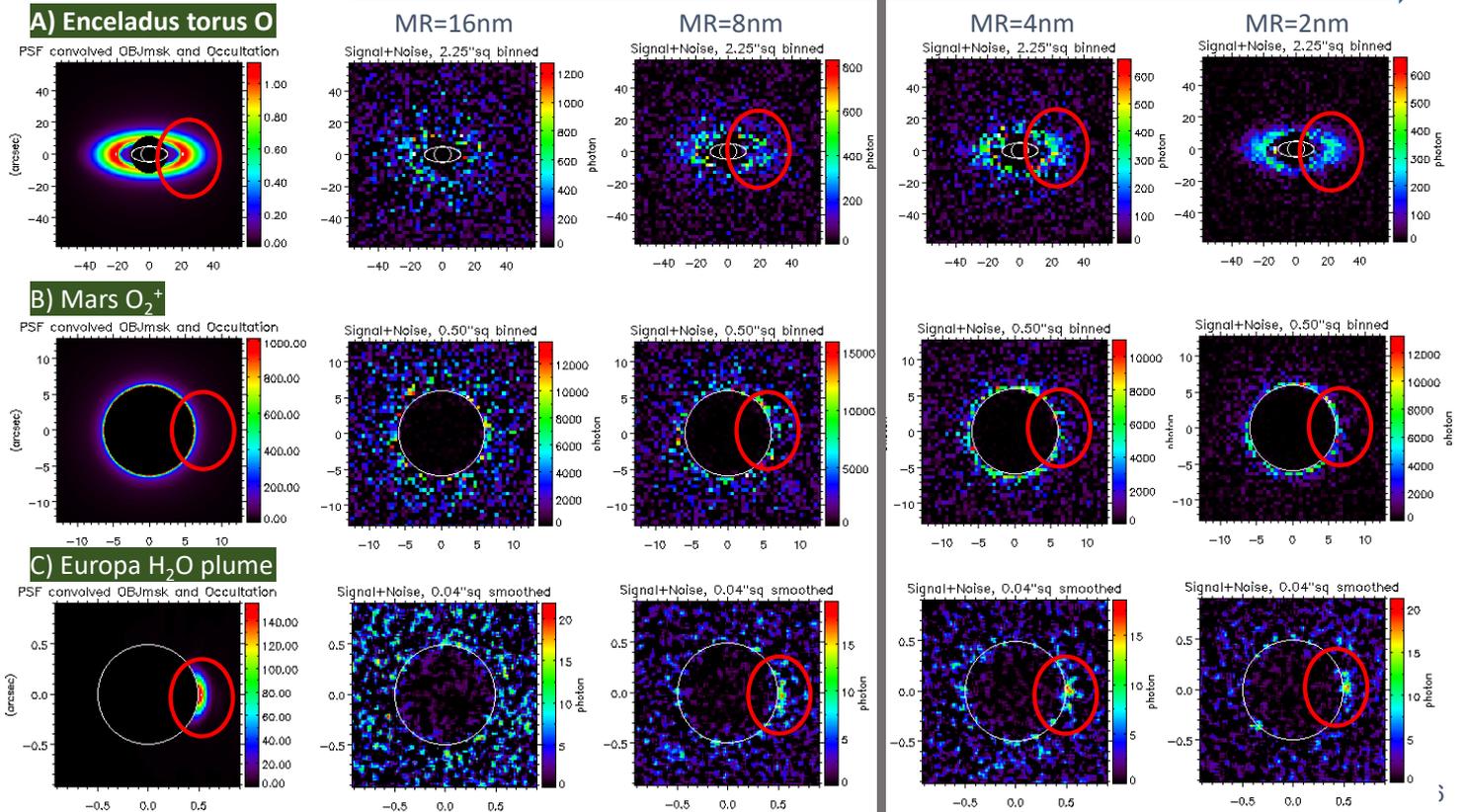


Daeseong et al. 2015, *AstroPhysical Journal*, 799, 164

## Simulation case – 惑星/衛星disk周りoutgas: 検出可能性

小口径なれど、「ユニークな特性を擁する望遠鏡」

ミラー研磨精度: < 4nmが望ましい



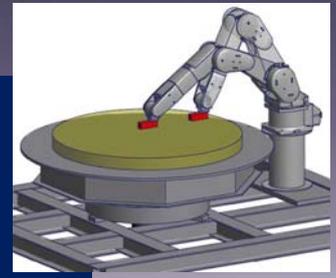
中小口径Space Telescopesによる Science Target でもある。

# PLANETS-1.8m: 現況

<2019-20年度: 最新状況>

1. 主鏡(口径2m非軸鏡)研磨 ----- 京大主導で  
京大(栗田)開発の「3点引きずり法検査」を援用し、  
低コストで「1.8-m off-axis鏡」の研磨に挑む。
2. 架台・マウント製作 ----- 東北大で組立  
名大にある「京大3.8m用構造の試作品」の一部を復活援用し、  
低コストで「1.8-m経緯台」の製造を行う。

→ 2021年度「技術実証」= First light !



国内:	東北大	(望遠鏡組立 + AO)
	名古屋大	(研磨 + 赤外分光・ファイバ)
	京都大	(研磨 + 架台・主鏡保持)
国外:	ハワイ大	(サイト)
	ドイツ	(偏光/資金提供)
	ブラジル	(資金提供)
	フランス	(AO)

<本日のメッセージ #3>

心理的/物的/技術的/資金的な応援、  
ございましたら是非お願いいたします!

➤ 2022年以降: 実観測を目指し「ハワイ・ハレアカラ」にドームを...その許可は取得済だが...

Mauna Keaと同様の問題が。(資金獲得も必要だがその前に。)

<本日のメッセージ #4>

「立地・ドーム」に idea & 知恵のある方、  
ご支援よろしくお願いいたします!



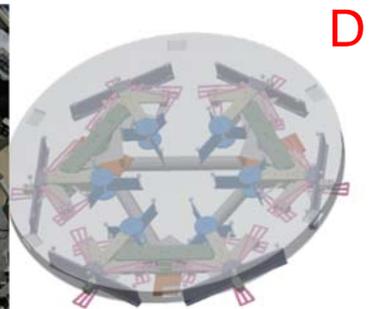
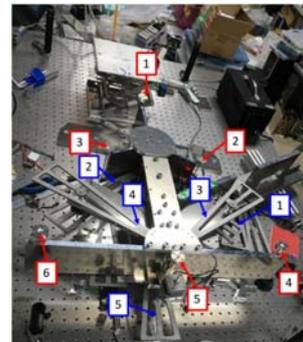
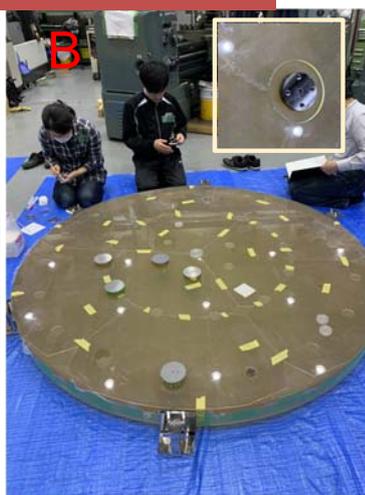
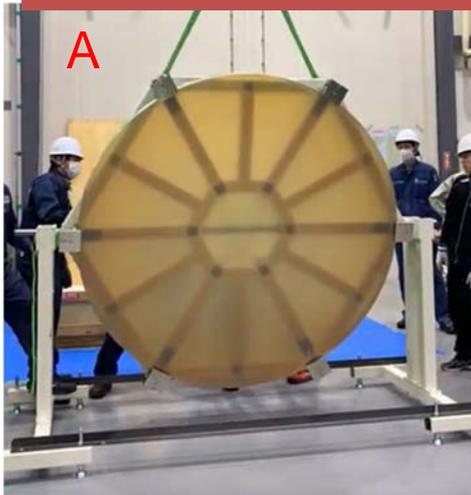
# PLANETS-1.8m: 現況

2020年1月 主鏡が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)

2020年3月 主鏡保持機構の設置 (C)  
2020年4月 主鏡形状測定 (D)  
2020年5月~7月 主鏡最終研磨 (E)

2020年3月~翌1月  
架台製作&アセンブリング(F,G)

2021年頭 試験: 国内ファーストライト (H)



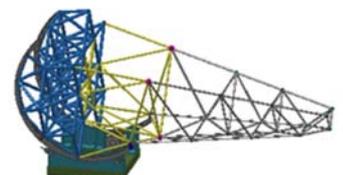
E

F



G

H



# NOW~Future 大型低周波電波望遠鏡(IPRT) 電波観測

東北大IPRT@福島県飯舘村

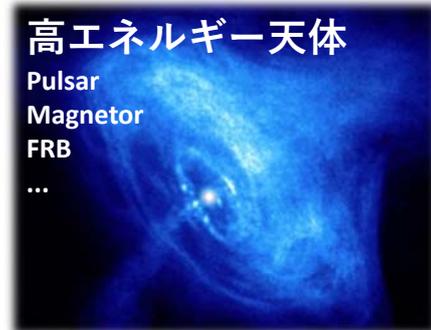
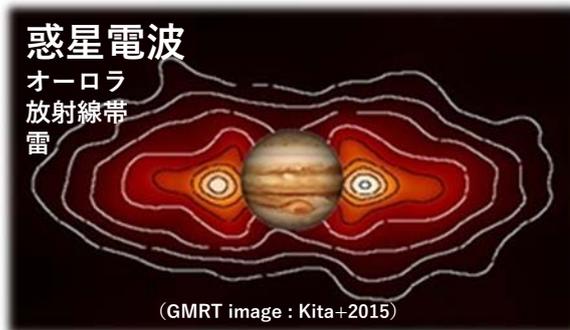


- 周波数: 100~700MHz帯 (希少)
- 開口面積: 1023m<sup>2</sup> (この周波数帯で国内最大)
- 可能視野: >高度20度 全指向(経緯台式)
- 特長: 高感度 @ 325MHz (& 650MHz)  
広帯域 @ 100~500MHz  
狭帯域(~16MHz) -- VLBI観測も可  
→ with SKA-Low in future
- マシントイム: 自由度大  
長期・長時間計測も、突発現象も対応可

“共同利用的観測”: 2016から  
2018-9年度は年3-4件  
(NICT、京大)

<本日のメッセージ #5>  
観測提案 & 装置持込、歓迎!

<Use case>



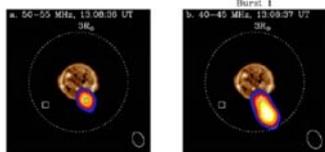
## <参考> SKA (Square Kilometer Array)

### • Solar system bodies

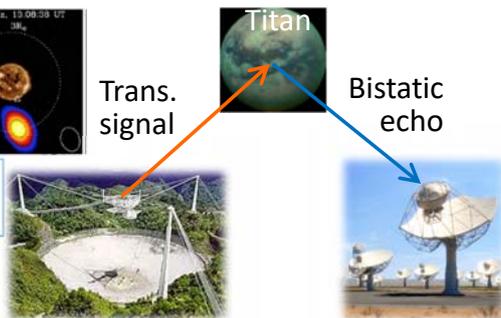
‘低周波域の開拓’を含む

SKA1-LOW@Australia  
50~350MHz 400,000m<sup>2</sup>

- Sun : Radio imaging -- Particle accel./transport.
- Planets, Moons, Small bodies : Radar Imaging & Ranging



Type-III burst by LOFA  
(Morosan+ 2014)



Construction phase after 2020~

### • Exoplanets

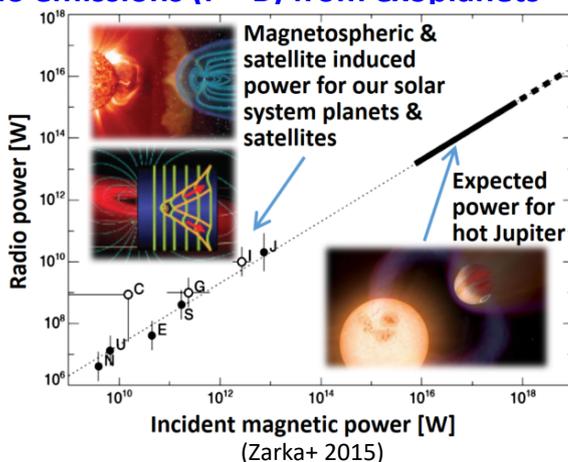
- Survey of cyclotron radio emissions ( $f \propto B$ ) from exoplanets

SKA1-MID@South Africa  
0.35~14GHz 33,000m<sup>2</sup>

Dynamic spectra in intensity & polarization

→ magnetospheric dynamics, star-planet interaction, planetary rotation, planetary dynamo

「α Booから受信」の newsあり (EPSC)



# FUTURE 低周波高感度電波観測: LOFAR→NenuFAR→SKA)

これに参画 & 日本に一部受信局?



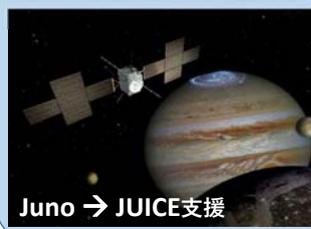
NenuFAR (Fr) @10~85MHz



LOFAR @30~240MHz

toward 'Future'

SKA-Low @ 50MHz~  
after 2020~



Juno → JUICE支援

## ● '低周波' への拡張

[太陽系内]

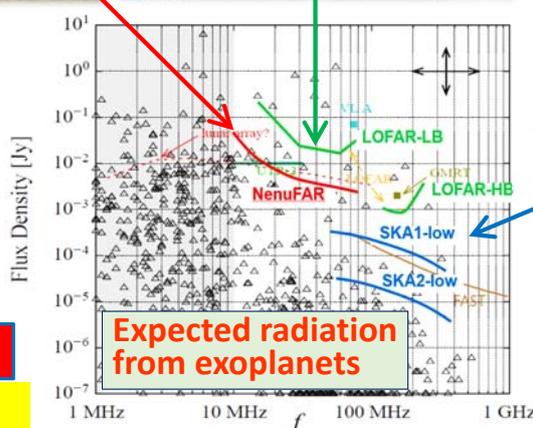
惑星: 高エネルギー活動/変動  
雷擾乱活動の探索

衛星: 地下海 - Radar試行

[太陽系外]

系外惑星: 検出 + 電磁環境

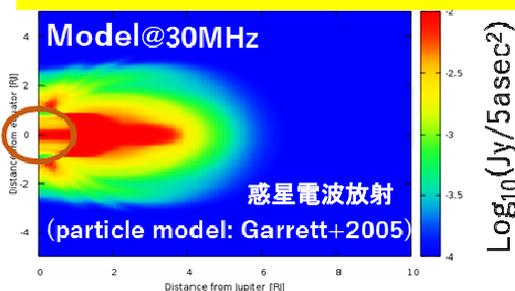
高エネルギー天体、宇宙初期



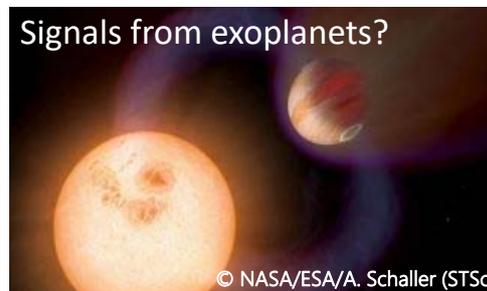
Now, starting negotiations !!!!

<本日のメッセージ #6>

議論/検討に参加されたい方、歓迎!



Lightning activities?



Signals from exoplanets?

## 汎用惑星プラズマ照射装置 (木村 et al.)

### 氷天体の 内部表層進化 実験的解明



木星



汎用惑星  
プラズマ照射装置

①宇宙プラズマの  
動力学制約

②プラズマ照射実験

宇宙プラズマ照射による長期の  
宇宙風化再現

⑤探査機その場観測の  
精密測定による検証

Jupiter's Icy Moon  
Exploration  
JUICE 2030-



エウロパ、ガニメデ、エンセラダス、セレス等

③実験の風化度と観測の比較に  
よる、表層年代測定。風化の磁場  
強度依存性による磁場年代測定。

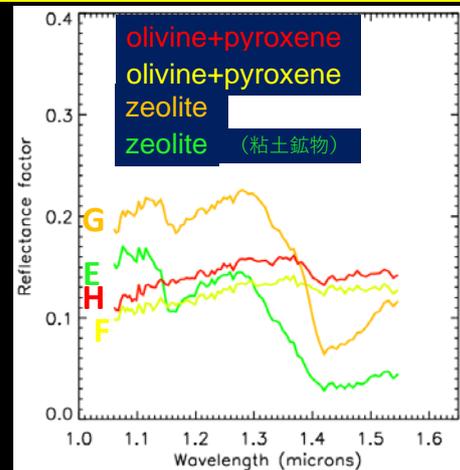
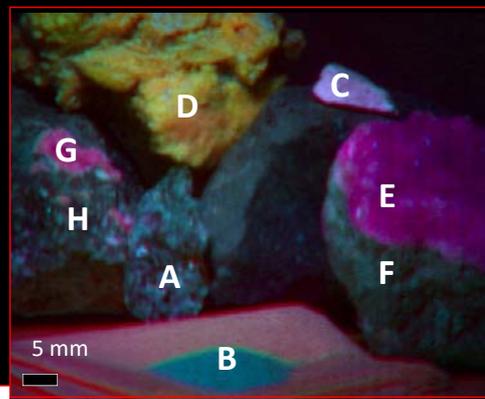
④表層・内部進化の推定: 内部物質  
の噴出年代、天体衝突年代、磁場  
ダイナモの発年代

- 近低温チャンバ製造中
- 電子銃製造中
- 2019/3Q-電子照射部稼働試験

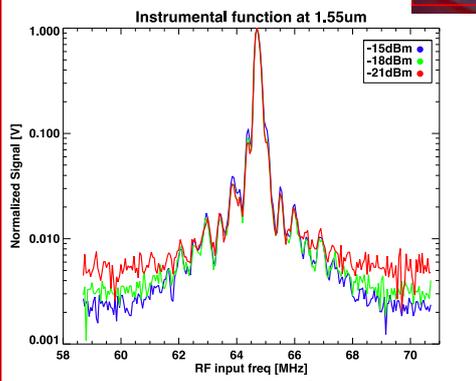
<本日のメッセージ #7>

2020年以降の稼働試験に  
関心ある方、ご連絡を!

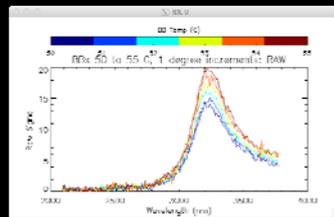
こうした基礎の上に現在進行中 ~ BBM tests – MMX MacrOmega (Nov. 2018)



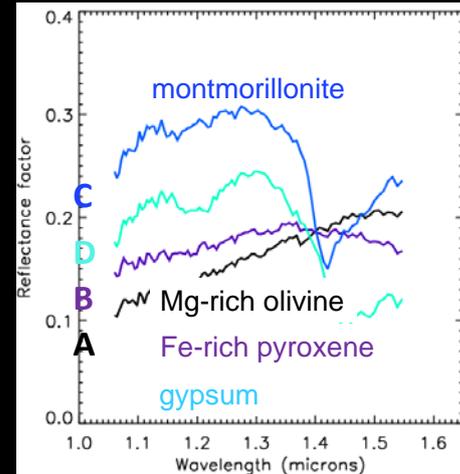
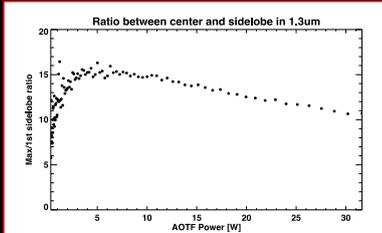
(中川, 中村智, et al.)



Raw data for blackbody measurements, 50-55 C



Main peak vs side-lobes



MacrOmega team, 2019-08-22, 23 MMX設計会議資料より

# Planned Voyages in 2020-2035

本講演には、メッセージを7つ、埋め込みました。その他の視点も含め、ご意見・ご提案・ご支援等、よろしくお願い申し上げます。

メッセージ追加:  
女川観測所 ~ 閉所予定

**MEX** (2003-)

**MAVEN** (2014-)

**TGO** (2017-)

**JUNO** (2016-)

**JUICE** (2030-)

**Cassini** (2004-)

**Akatsuki** (2015-)

**MMX** (2024-)

**Hisaki**

**HST** → **JWST**

**SPICA**

**IRTF 3m**

**Subaru 8m**

**TMT 30m**

**BepiColombo** (2025-)

**Vis/IR: Haleakala, etc.**  
40cm/60cm  
→ **PLANETS 1.8m**

**U. Tokyo 6.5m**  
**Kyoto U. 3.8m**

**Radio:**  
**Tohoku IPRT 30m**

**LOFA /**  
→ **NenuFAR**

**Nobeyama 10m**  
**ALMA**