

マスタープラン2023への提案に関するフォローアップ会議  
2022/5/18

# 惑星科学、生命圏科学、および天文学に向けた 紫外線宇宙望遠鏡計画

## Life-environmentology, Astronomy, and Planetary Ultraviolet Telescope Assembly (LAPYUTA)

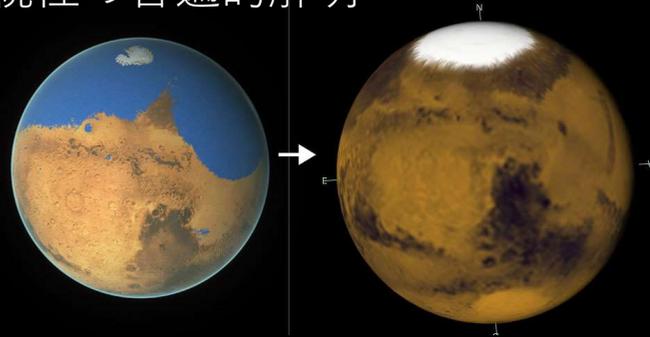
土屋史紀（東北大学大学院理学研究科）・村上豪（JAXA宇宙科学研究所）

LAPYUTAワーキンググループ

# 生命生存可能環境の多様性

## 火星・金星の外圏大気・大気散逸

- 過去に大量に存在した水の行方：大気散逸過程  
地球型惑星の大気進化に関わる重要課題
- 系外惑星大気への知見の拡張：  
惑星大気の持続性の普遍的解明



## 地球

- 惑星表層に液体の水（海）
- 太陽からのエネルギー供給

➡ 安定な生命存在環境

## 木星・土星氷衛星の地下海と表層環境

- 地下海：液体の水が安定に存在する  
普遍的形態である可能性
- エネルギー・物質供給源としての  
磁気圏プラズマの役割  
→ハビタブル環境の可能性

地下海から表層に吹き出す水プルーム(想像図)



### 氷衛星の表層から噴出するプルーム

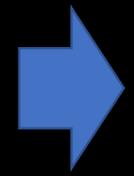
- 地下海の存在・地下海から漏れ出す情報源
- 物理的特徴→衛星の内部構造
- 衛星大気の形成

### 氷衛星の表層への磁気圏プラズマの供給

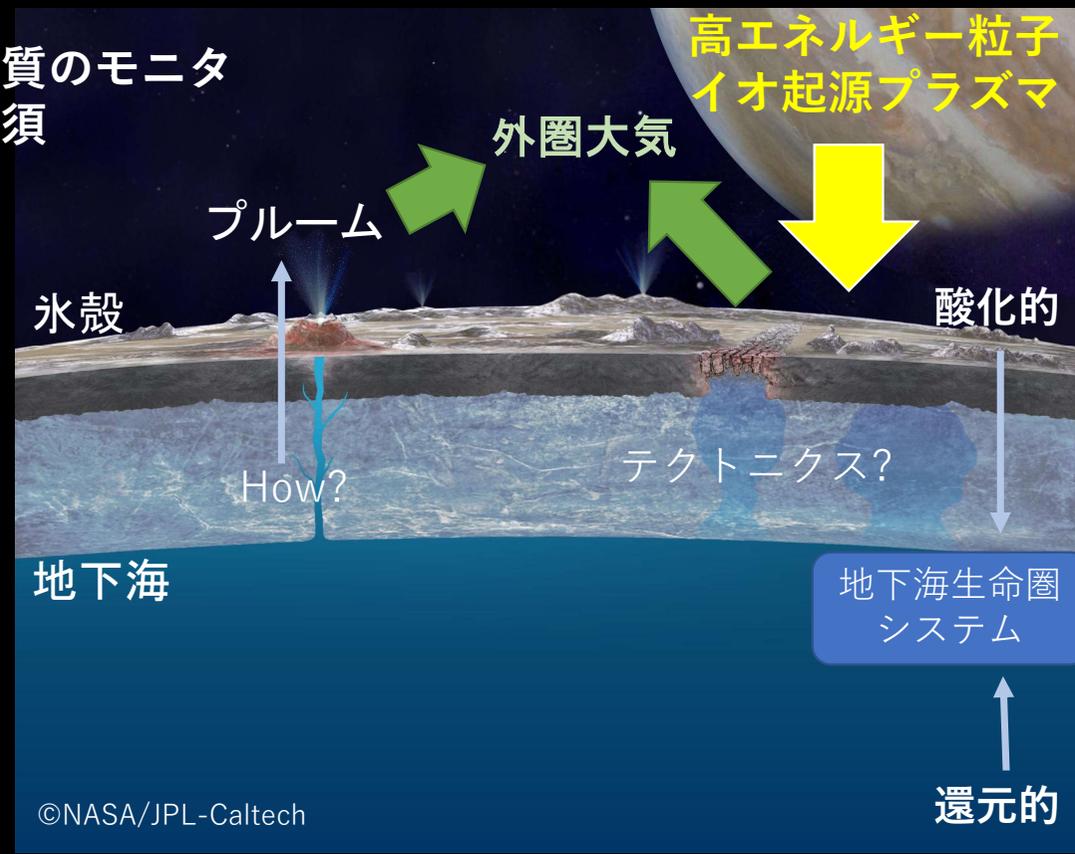
- 衛星へのエネルギー共有源
- 酸化的な表層→地下海生命圏の維持？
- スパッタリング→衛星大気の形成

### エウロパの現状

- プルーム：数例の報告のみ
- 外圏大気：空間的・時間的变化に富む



高品質のモニタ  
が必須



## 火星・金星の外圏大気・大気散逸

大気散逸総量の実証  
大気散逸量の太陽放射・太陽風依存性

- 過去環境での大気散逸の推定

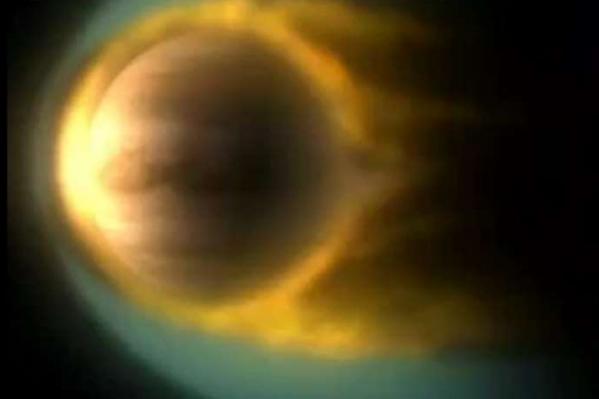
超高層大気の変動・外圏大気の広がり

- 惑星表層・下層大気の影響

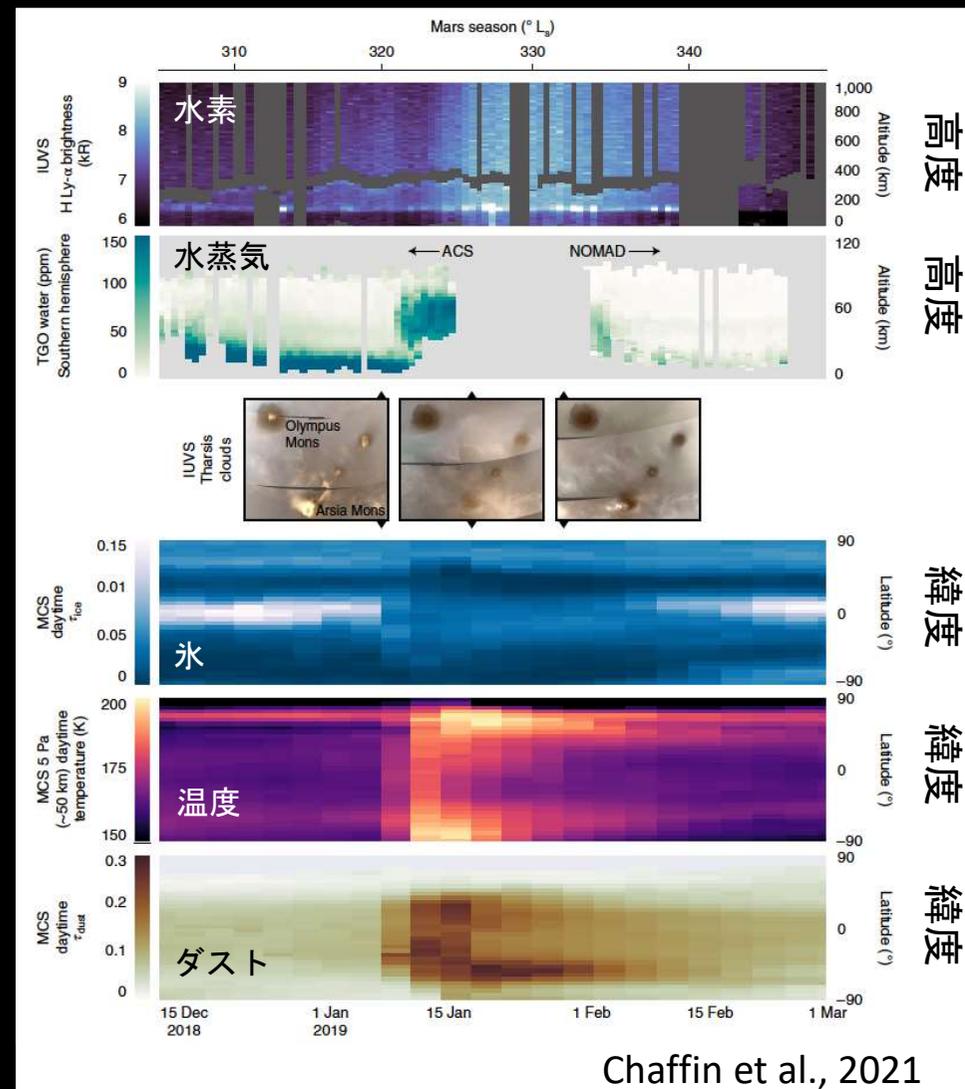
惑星全体を俯瞰  
した大気のモニタ  
が必須

過去に大量に存在した水の行方

- 惑星大気の持続性・進化過程の理解
- 系外惑星大気への知見の拡張



© ESA, C. Carreau



学術的価値, 学術的意義：系外惑星大気の特徴づけと表層環境の推定

## 高層大気の観測を通じた地球類似惑星の発見および惑星進化過程の解明

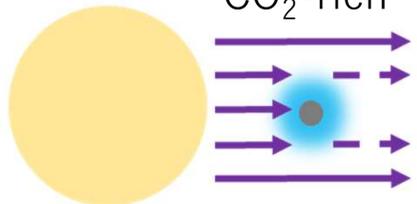
系外惑星のトランジット観測による広がった外圏大気と惑星風の検出（水素・酸素）および特徴づけ

- (1) 地球型惑星と金星・火星型惑星の区別 → 温暖な気候を持つ惑星（ハビタブル惑星）候補の発見
- (2) 大規模に流出する地球型惑星大気の見つけ・詳細観測 → 惑星進化の系統的理解

HZ of cool star: close to star → High UV irradiation (> x10)

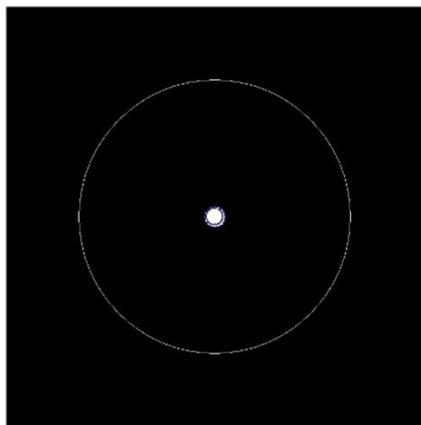
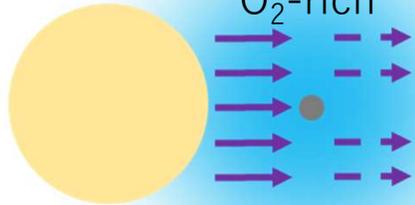
金星型惑星の大気

CO<sub>2</sub>-rich

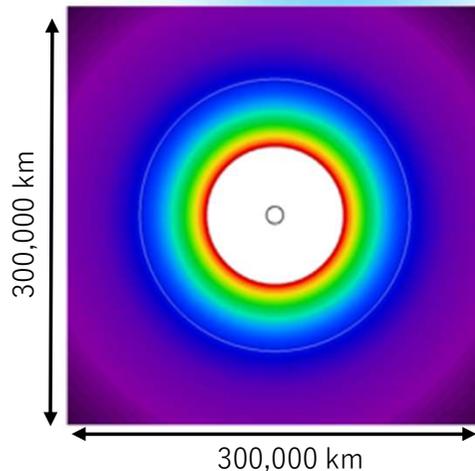


地球型惑星の大気

O<sub>2</sub>-rich

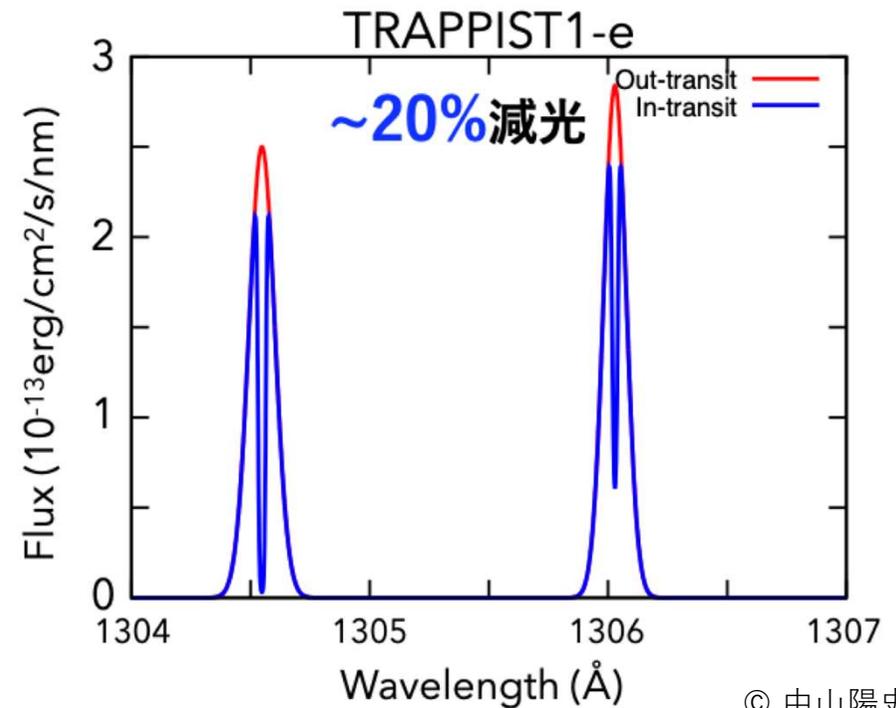


Black: Star, White: Planet



*The Earth-like planet has extended oxygen corona*

- 2020年代後半に発見が期待される最適ターゲットを対象
- 30-40m地上望遠鏡との連携



© 中山陽史 (東大)

# 生命存在可能環境の多様性：探査手段

	巨大惑星の衛星	地球型惑星	系外惑星
課題	表層から噴出するプルーム 表層への磁気圏プラズマの供給	大気の散逸量・外圏大気の広がり 太陽放射・太陽風・下層大気の影響	外圏大気の特徴づけと 表層環境の推定
探査手段	その場探査 リモセンと相補的		その場での物理量計測 近傍からの高解像度観測
	可視・赤外 リモセン	主に表層環境 空間構造を俯瞰	主に下層大気・表層環境 下層大気
	紫外 リモセン	外圏・電離大気、プルーム 空間構造を俯瞰・高コントラスト	外圏・超高層・電離大気 外圏大気

# LAPYUTA 計画

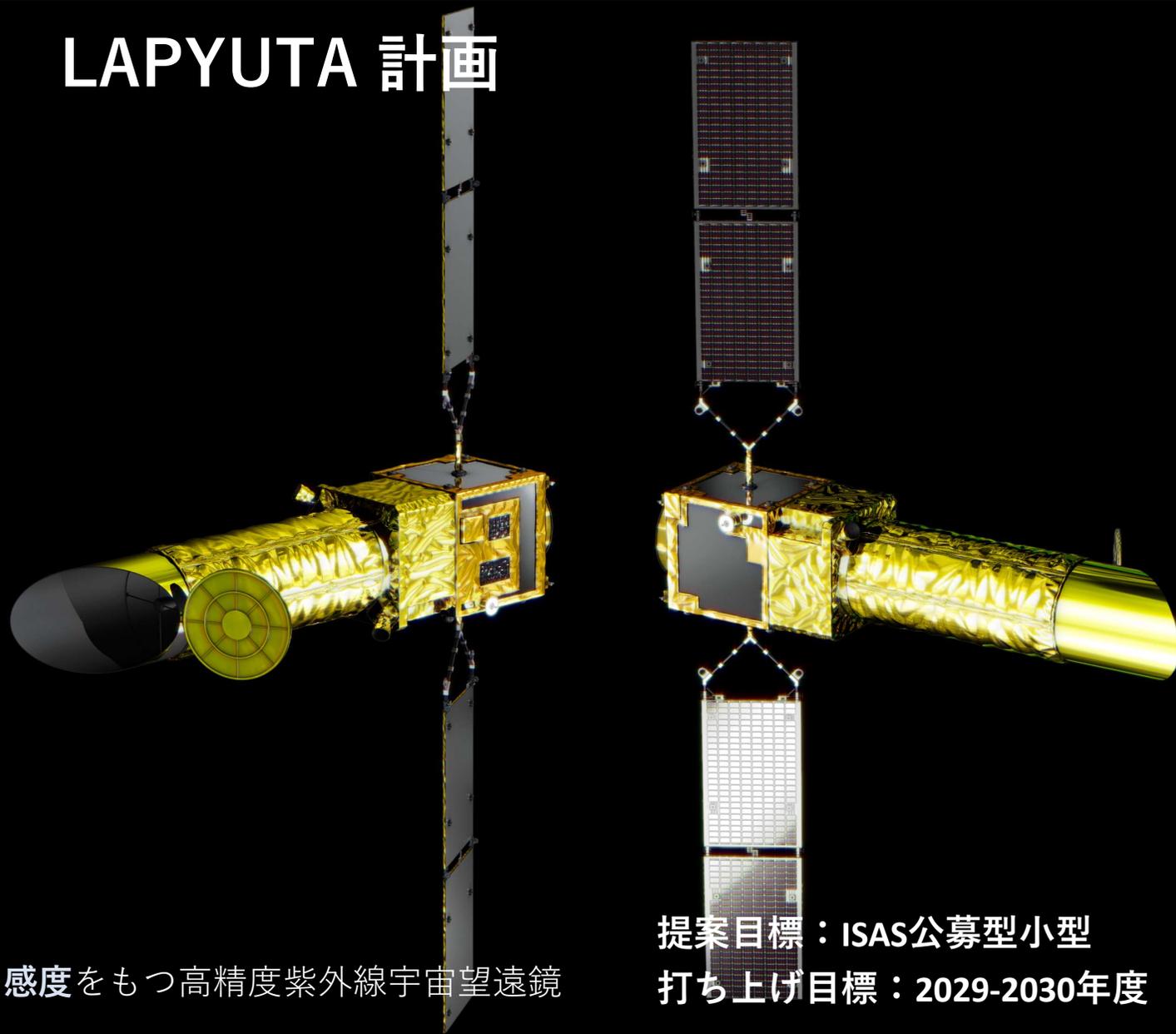
## 主要諸元

- ・主鏡口径 60 cm
- ・有効面積  $>350 \text{ cm}^2$
- ・空間分解能 0.1秒角
- ・波長範囲 110-190 nm
- ・波長分解能 0.02nm
- ・視野（分光） 3分角  
（撮像） 3分×3分角
- ・遠地点高度  $> 7,500 \text{ km}$

## 主要観測装置

- ・分光観測装置
- ・UVスリットイメージャ
- ・広視野イメージャ(option)

惑星分光観測衛星「ひさき」の  
100倍以上の空間分解能、100倍以上の感度をもつ高精度紫外線宇宙望遠鏡



提案目標：ISAS公募型小型  
打ち上げ目標：2029-2030年度

## 今後20~30年のビジョン

# LAPYUTA計画の位置づけ

## 巨大惑星の氷衛星の地下海

- 液体の水を持つ普遍的形態の一つ  
→ハビタブル環境を持つ可能性
- 2030年代の国際探査の中心的課題
  - 米国：Europa Clipper
  - 欧州：JUICE(4機器に日本から参加)
- ESA Voyage2050：  
「Moons of the Giant Planets」  
選定された3課題の1つ

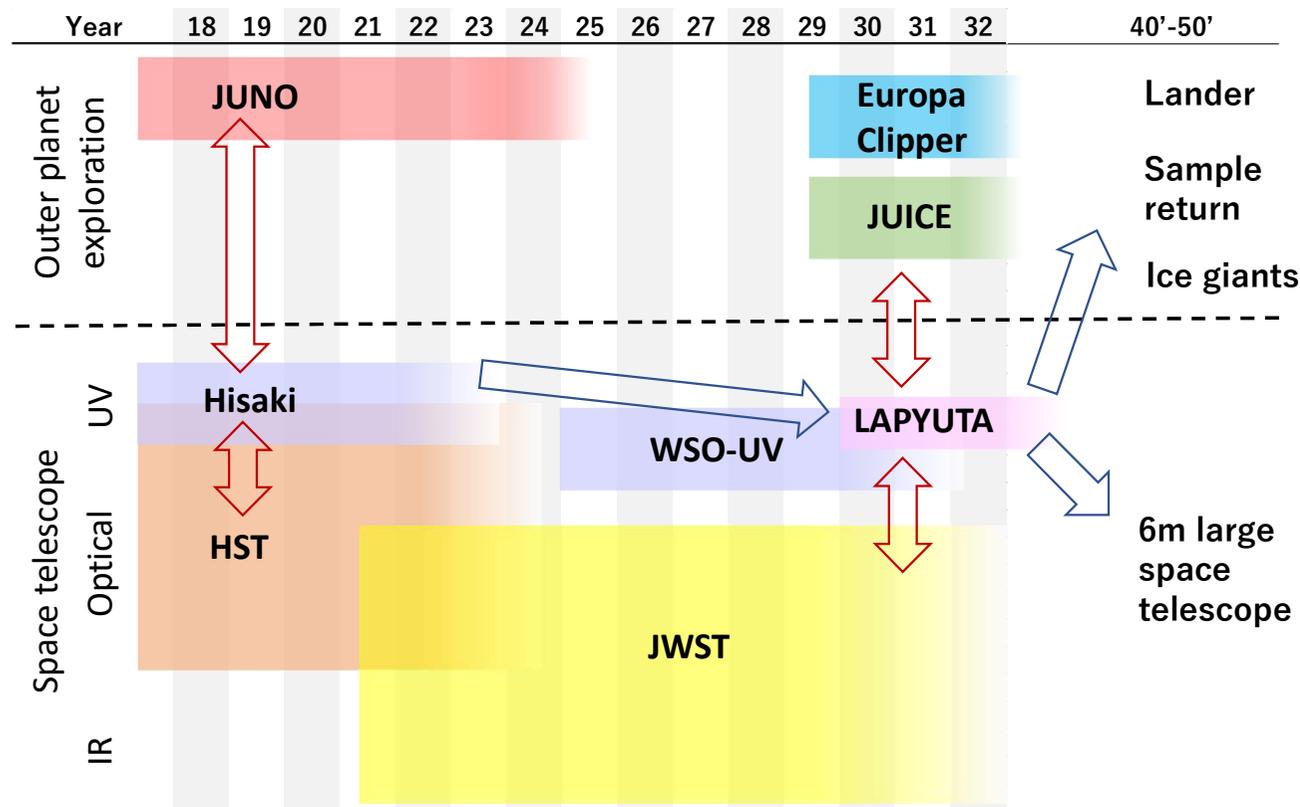
## 火星・金星の外圏大気・大気散逸

- 過去に存在した水の行方：大気散逸過程  
地球型惑星の大気進化に関わる重要課題
- 系外惑星大気への知見の拡張：  
惑星大気の持続性の普遍的解明

HST・WSO-UV後の紫外線望遠鏡計画はない

LAPYUTAの役割

- 2030年代の紫外線惑星観測プラットフォーム
- 将来の大型計画による宇宙生命探査への先鞭



実施主体の明確性， 科学者コミュニティの合意

## 科学者コミュニティでの合意形成

太陽系科学・惑星科学・系外惑星・太陽物理分野

天文学分野

地球電磁気・地球惑星圏学会

- ・ 太陽地球惑星圏将来衛星計画  
ロードマップ策定(2021,2022)
- ・ 将来構想文書への記載

日本惑星科学会

- ・ 来る10年の月惑星探査検討会2  
外惑星・系外惑星パネル分科会  
月・火星・地球型惑星パネル分科会

光学赤外天文連絡会

- ・ 大型計画提案申請
- ・ 2030年代将来計画検討WG  
本計画の提案・レビュー(2019-)

他の計画との関係

- ロシア宇宙望遠鏡WSO-UV：系外惑星大気観測の科学検討と開発技術共有の両面で協力。
- 木星氷衛星探査計画：空間構造を俯瞰できるLAPYUTAと相補的。協調観測で連携。
- 火星・金星探査計画：太陽風・下層大気観測との協調観測で連携。

## 計画の実施主体の明確性

科学検討・機器開発・概念検討

太陽系・惑星科学、系外惑星、太陽物理、  
天文学分野の、国内外17機関・大学の  
約50名の研究者が参加。

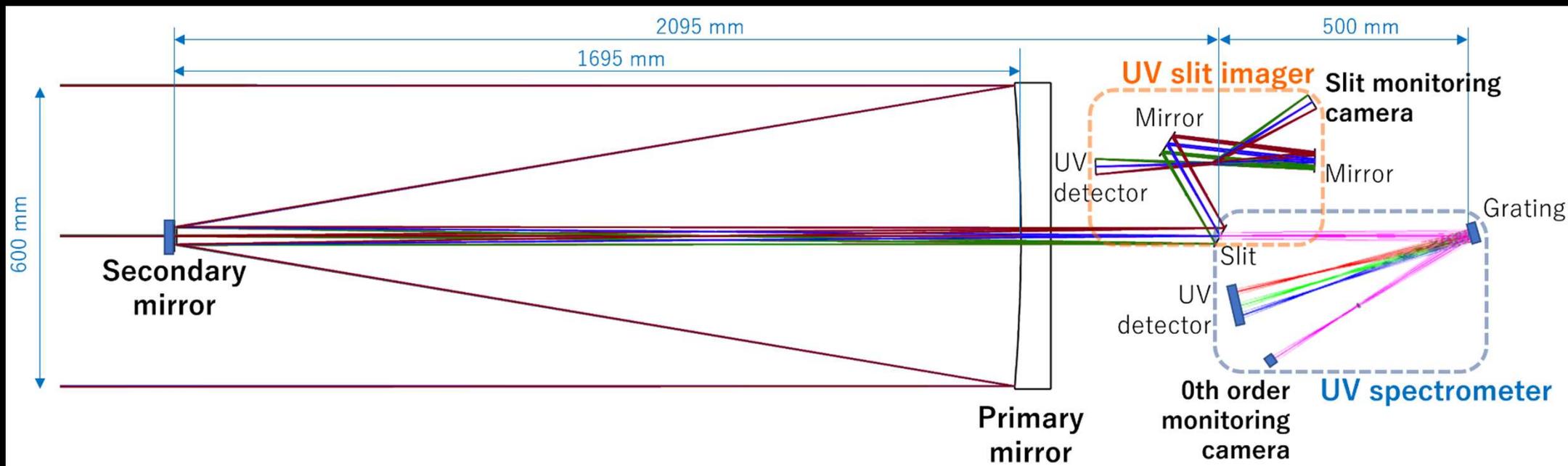
実施機関：JAXA宇宙科学研究所

- ・ 公募型小型計画検討WG設立審査を経て、  
2021年1月にWG設立。
- ・ 公募型小型計画公募で本計画を提案予定。  
2030年代初頭の観測開始を目指す。

計画の妥当性, 成熟度

# LAPYUTA 計画：概念設計

カセグレン望遠鏡：口径60 cm、実効焦点距離 36 m



## キー技術

- ・ 大口径（60 cm）紫外線反射鏡
- ・ 大型高感度・高分解能検出器
- ・ 姿勢擾乱補正機能

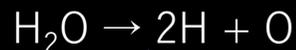
視野中心（±3秒角）において空間分解能0.1秒角を達成する光学設計解

計画の妥当性, 成熟度

# 観測の実現性検討

エウロパプルーム

(有効面積350cm<sup>2</sup>, 空間分解能0.1秒角, 10時間積分)

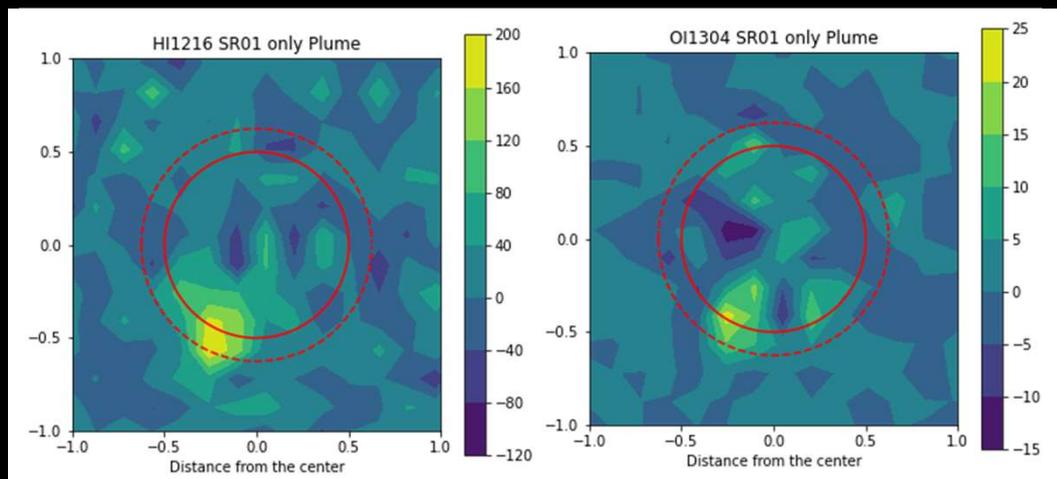


HI 121.6nm

OI 130.4nm/135.6nm

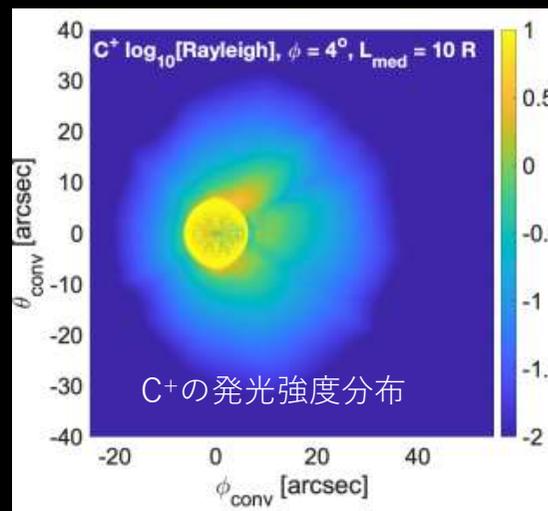
火星イオン流出・水素コロナ

(有効面積350cm<sup>2</sup>)

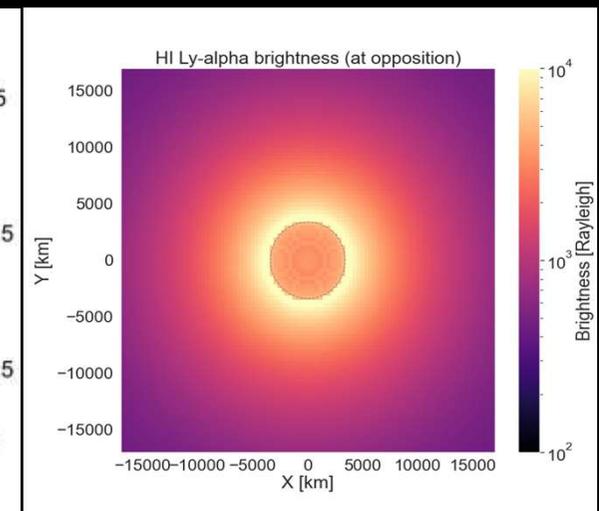


水素原子(HI Ly- $\alpha$ )

酸素原子(130.4nm)



炭素イオン流出  
(133.5nm)



水素原子コロナ  
(HI Ly- $\alpha$ )

積分時間10時間でプルーム検出が可能

広視野撮像を実現

## 共同利用体制の充実度

# 観測運用プラン

### • 公募観測期間の設定

観測機会を広く科学コミュニティに提供。

### • 観測データの公開

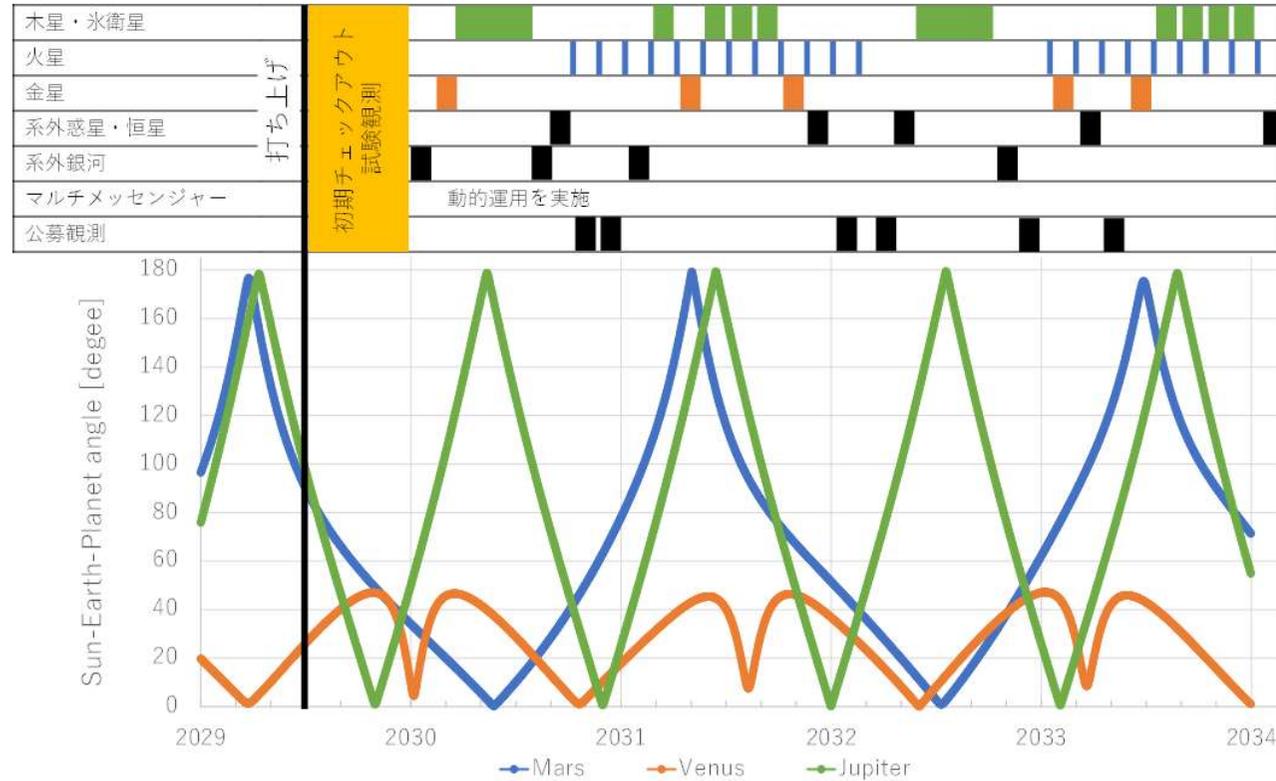
観測から一定期間の経過後に、既存の公開データベースを通して広く科学コミュニティに提供。

### • 他ミッションとの国際協調観測

キャンペーン観測の企画を通し、異なるミッション間をつなぐ役割を果たす。広い意味での国際的な共同利用を推進。

- 太陽系内の天体は、太陽離角の条件から観測好機に制約がある
- 多様な観測ターゲットを設定しつつ、特定観測対象のモニタ観測を実現できる

### ミッション期間における各太陽系内惑星の観測好機 (太陽離角: 下段)と観測プランの一例(上段)



### 各観測ターゲットの観測時間割り当て案

木星系	4カ月/年	系外惑星	1.5カ月/年
火星	2カ月/年	天文分野	1.5カ月/年
金星	1カ月/年	公募観測	2カ月/年

## 社会的価値

- 巨大惑星の氷衛星や地球型惑星大気の探査を通して、宇宙空間における生命生存可能環境の形成と進化の解明に寄与することは、大きな**知的価値**を持つ。
- LOPYUTAで用いる光子の検出器（CMOSセンサ）は、今後多くの宇宙ミッションで必要とされるキー技術要素である。**国産技術の育成・向上**により、重要技術の安定供給を図るとともに、民間企業と協力して耐環境CMOSセンサ（例：耐放射線環境）の開発を進めることは産業的価値がある。

## 大型研究計画としての適否

- 紫外線宇宙望遠鏡：大気圏外での観測が必要となり、**宇宙機としての開発が必須**。
- 宇宙科学研究所の小型衛星バスとイプシロンロケットの使用を想定した場合、プロジェクトの総費用は概算180億円と評価されるため、大型研究計画として進める必要がある。

## 国家としての戦略性， 緊急性

- **日本のヘリテージ** **紫外線観測技術は日本の強み**となっている（例：WSOUVへの紫外分光器UVSPEXの採用）。実績を積み上げてきた紫外線観測技術と、望遠鏡技術を融合し、日本の強みを発展させる。
- **国際氷衛星探査における位置づけ**  
今後20-30年間で大きく前進する国際的な氷衛星探査の中で、LOPYUTAは日本の貢献を最大化する方策と位置づけることができる。この意味で、**JUICE計画と同時期に観測を開始(2030年~)**することが重要となる。
- **将来につながる科学・技術**  
LOPYUTA計画を通して、高感度化・高精度化の要素技術を実証し、**60cm鏡の宇宙望遠鏡に適用することで、将来の国際的な大型望遠鏡計画への参画**（例：6m大型宇宙望遠鏡, 2040年代）に向けた日本の存在感を高めるとともに、**宇宙生命探査への先鞭**となる。

# まとめ

- 氷天体の地下海環境や地球型惑星の大気散逸は、惑星・衛星の生命存在環境の多様性の理解に関わる重要課題。
- 氷衛星のプルーム、外圏大気、大気流出の観測が必要。これらの領域の分子、原子、及びイオンを紫外線により長期間連続観測することが有効な手段。
- LOPYUTA計画は紫外線の分光と撮像によりこれらの課題に取り組み、**太陽系の惑星・衛星と太陽系外惑星の生命存在可能環境を普遍的視座のもとに理解することを目指す。**
- JAXA宇宙科学研究所 公募型小型計画での実施を目指し検討を進めている。
- **2030年代の国際的な木星氷衛星探査において主体的な役割を果たす。**他の惑星探査ミッションとの協調観測を通じて、国際的な共同利用研究を推進。
- LOPYUTAは地球・惑星科学分野で培われた紫外線観測技術と、天文学・太陽物理学分野により培われた望遠鏡技術を融合し、広い研究コミュニティに太陽系内天体、系外惑星の観測手段を提供する。紫外線観測技術は太陽系科学、系外惑星科学、天文学と分野間をまたがる**日本のキー技術**といえるもので、高精度化・高感度化の要素技術実証を通して、**将来の大型計画における日本の存在感を高める**ことにつながる。