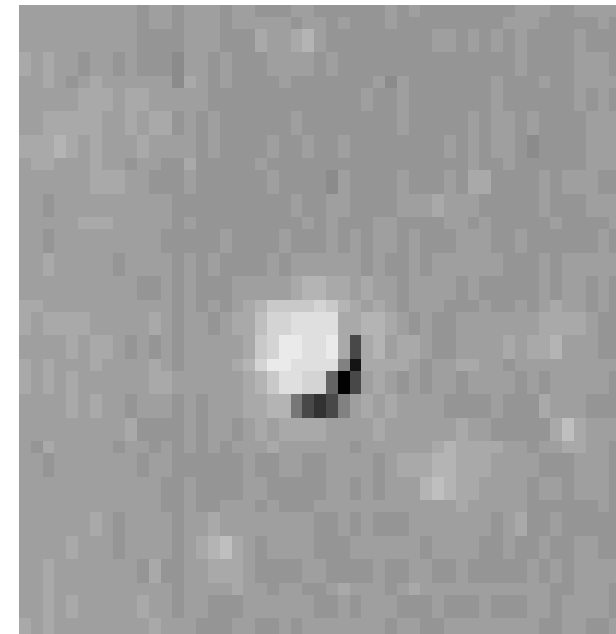
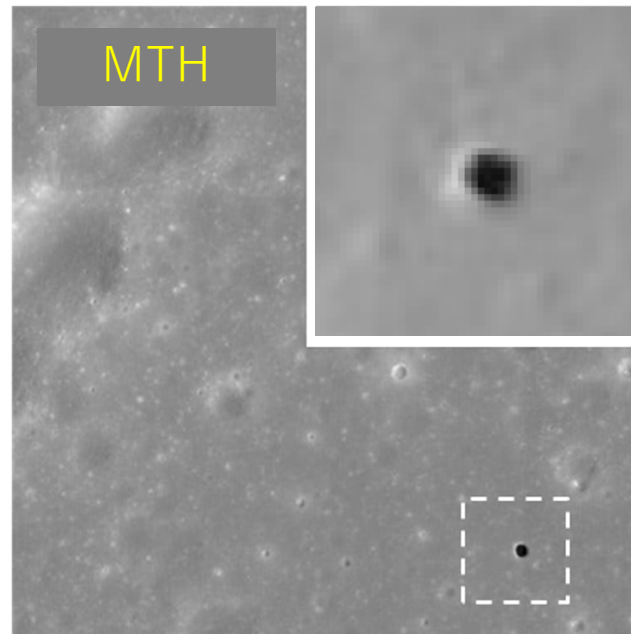


月の縦孔・地下空洞直接探査 (UZUME)

※UZUME : Unprecedented Zipangu Underworld of the Moon Exploration (古今未曾有の日本の月地下世界探査)



© JAXA/SELENE

JAXA 宇宙科学研究所 春山純一
UZUME WG

内容

- 月の縦孔・地下空洞とは
- 月の縦孔・地下空洞の重要性
- UZUME初号機の構想

内容

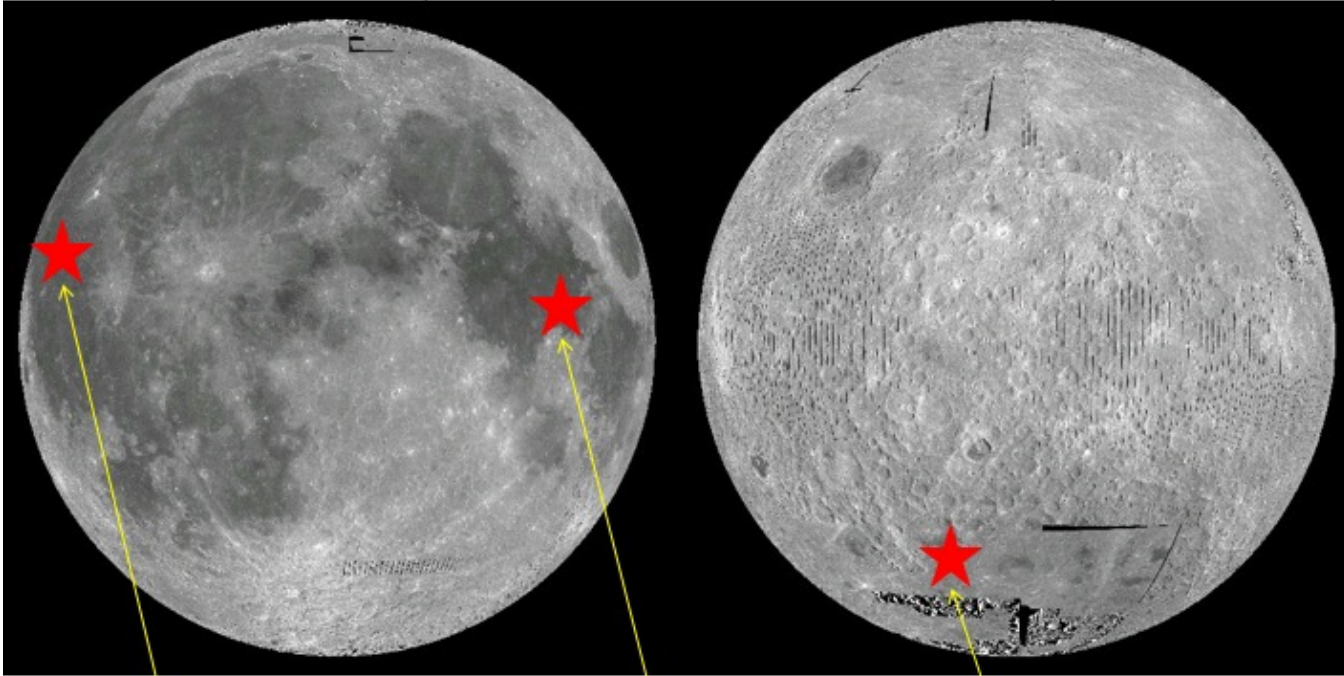
- 月の縦孔・地下空洞とは
- 月の縦孔・地下空洞の重要性
- UZUME初号機の構想

月の縦孔

～SELENEの見つけた三つの巨大な縦孔～

月の表

月の裏

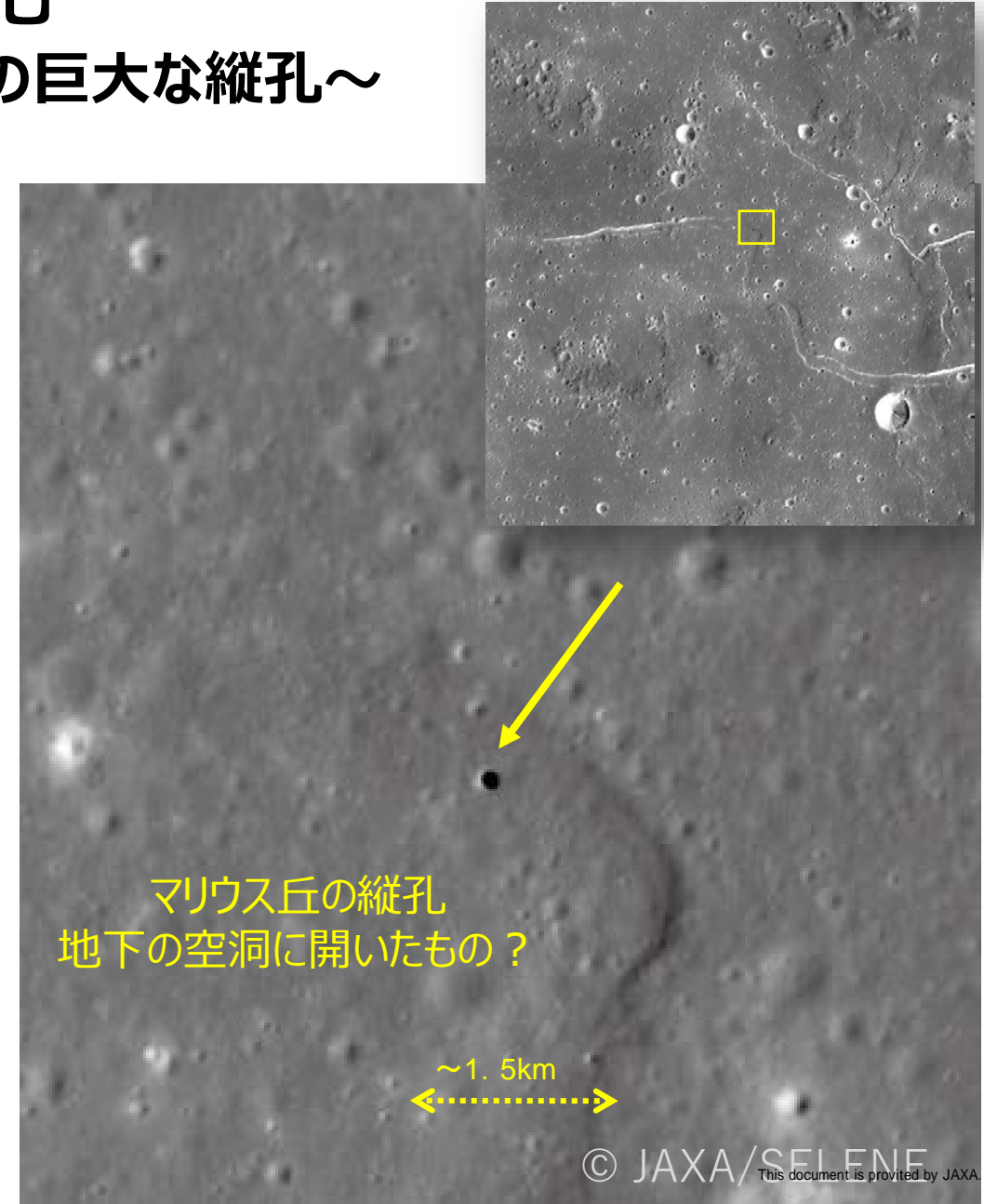


マリウスヒルの縦孔

静の海の縦孔

賢者の海の縦孔

かぐやが発見した月の縦孔

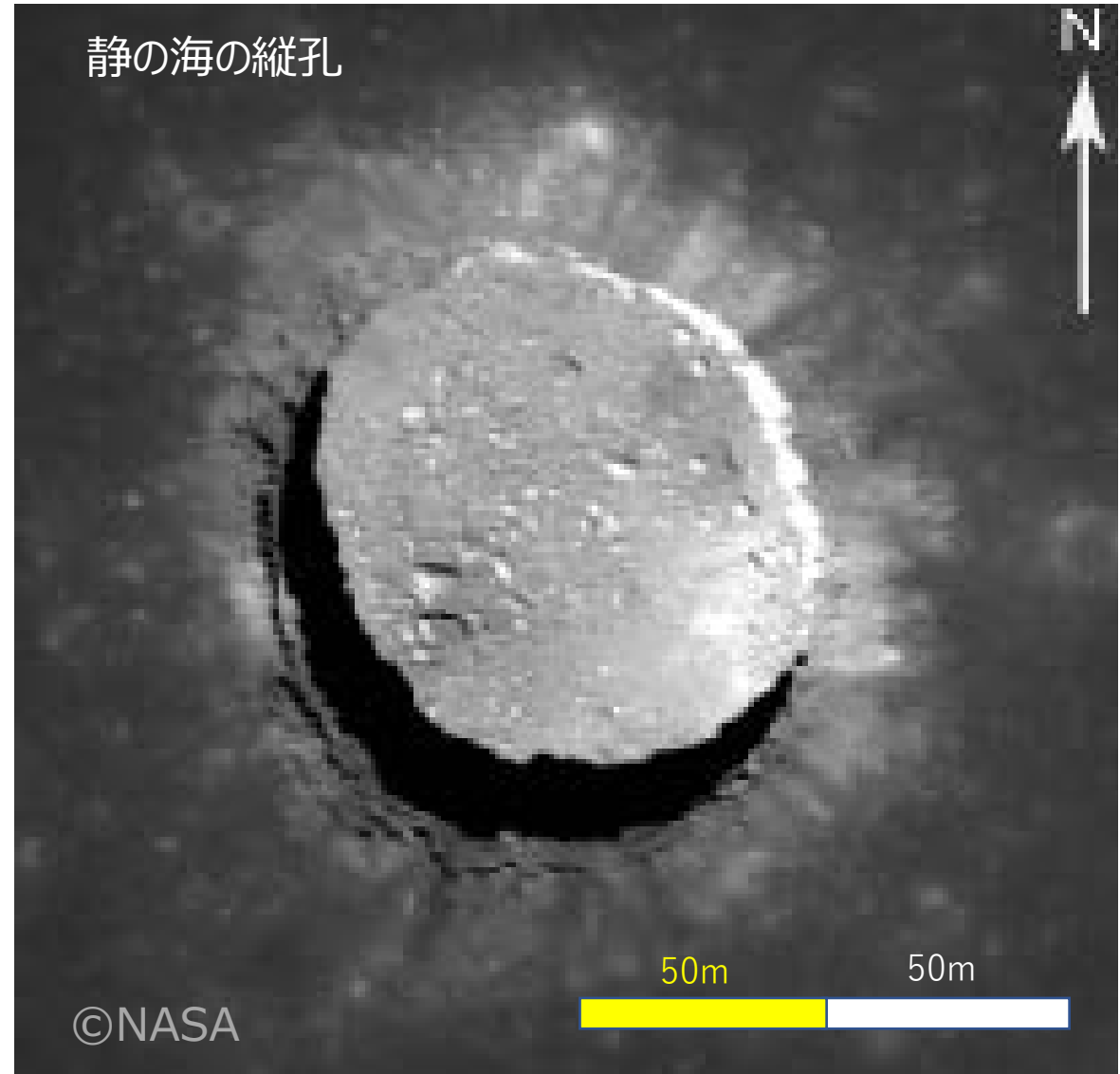
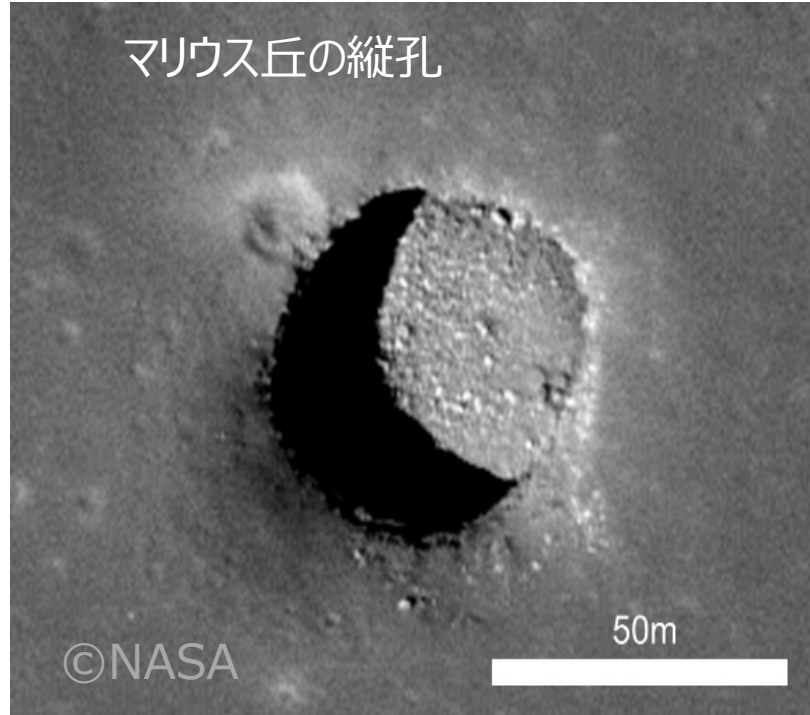


マリウス丘の縦孔
地下の空洞に開いたもの？

～1.5km
←-----→

月の縦孔

～高解像度観測結果～



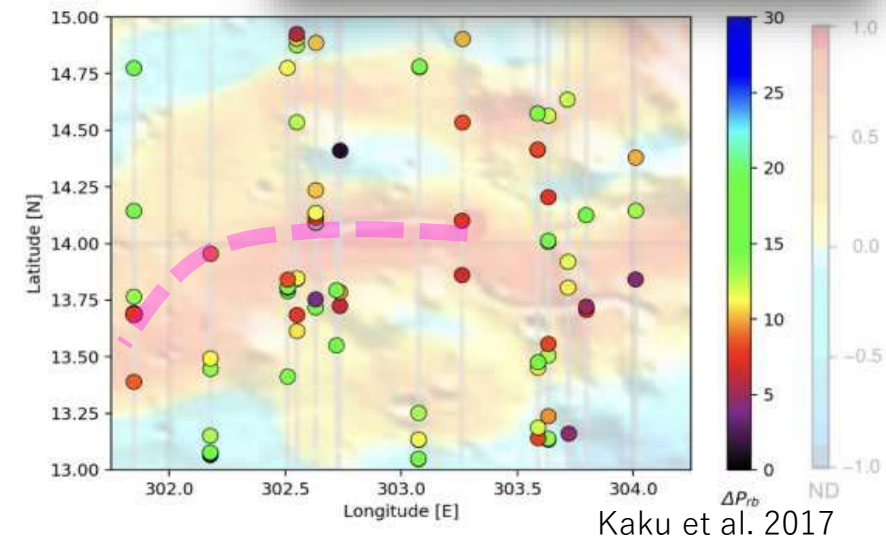
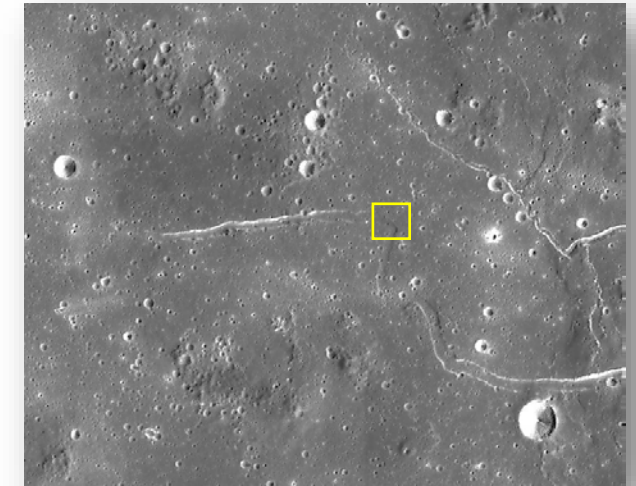
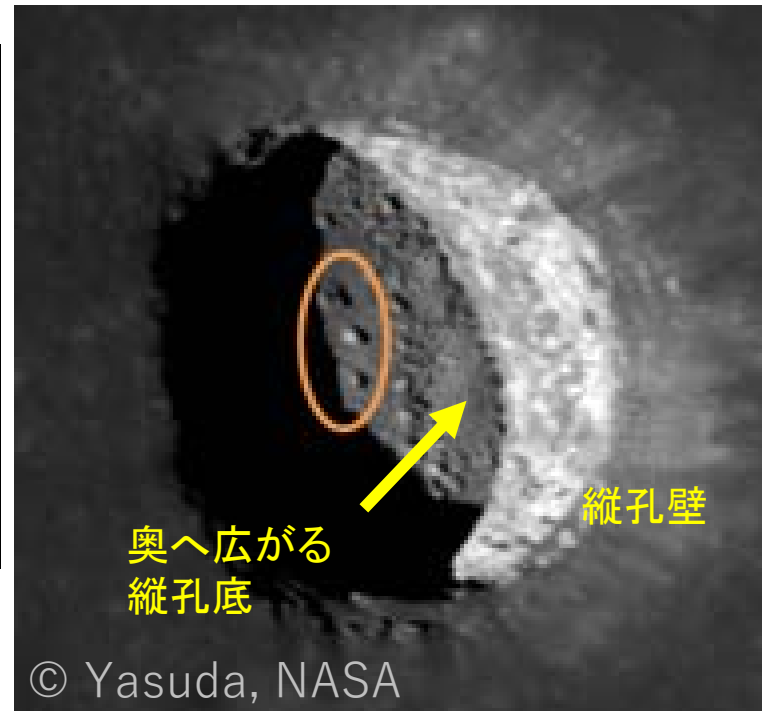
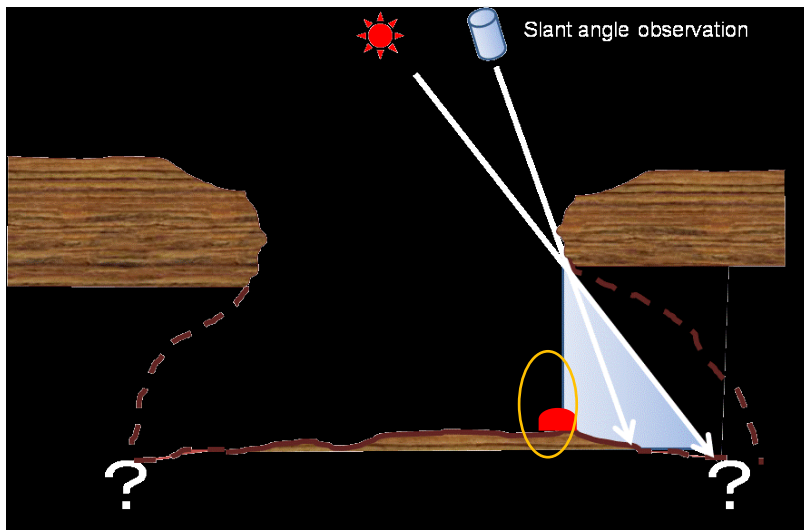
深い縦孔。クレータの底とは異なる形状。
ほぼ間違いなく、地下の空洞に開いたもの？

月の縦孔

~重力場・レーダ観測結果~

~縦孔の斜め撮像観測結果~

横方向に空洞が広がっている

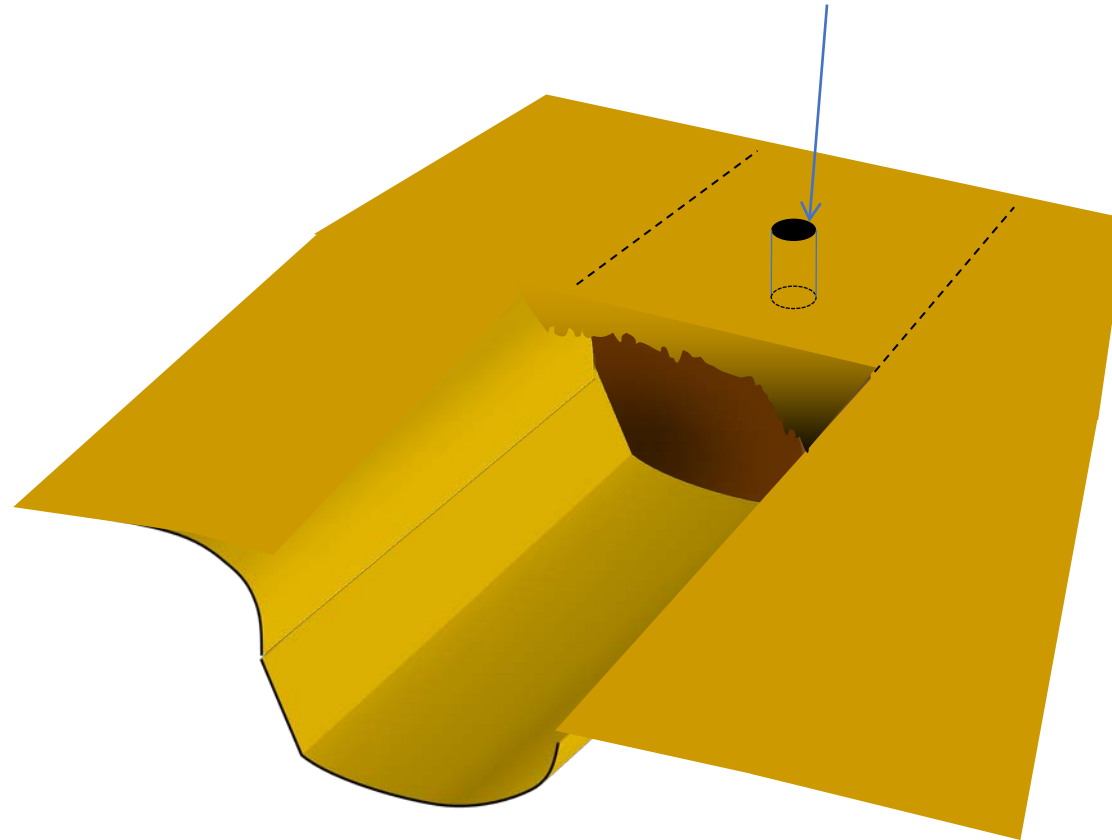


**縦孔は巨大な地下空間（溶岩チューブ）
に開いた孔？**

大きな重力低下地帯（暖色）が溶岩谷に沿って存在。それに沿って、レーダデータでも地下構造を検知

～SELENEによる月の縦孔の発見～

**溶岩チューブのような地下空洞
の上を開いた孔を見つけた！？**



内容

- 月の縦孔・地下空洞とは
- 月の縦孔・地下空洞の重要性
- UZUME初号機の構想

基地建設候補地としての重要性

縦孔情報

～月基地としての様々な利点を持つ～

● 天井の存在

放射線・紫外線・隕石衝突、
隕石衝突の際の飛散物から
機器や人が守られる

● 定常な温度

赤道域で、 -20°C 付近

● 広大な空間

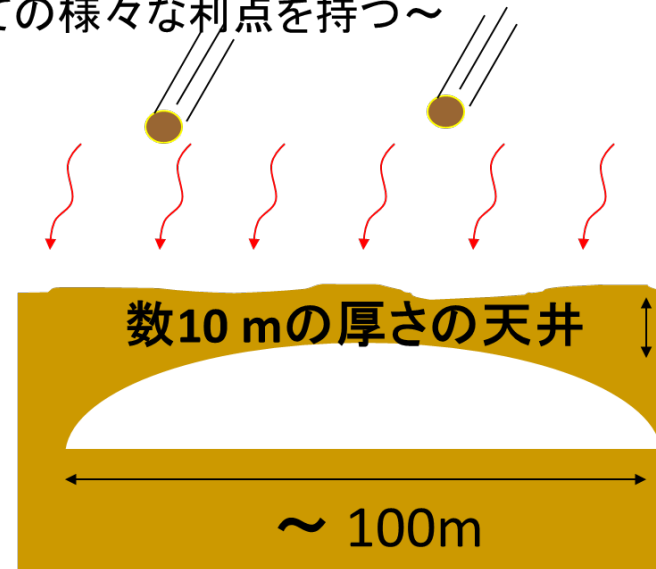
数 10m の高さ 100m に及ぶ幅
数 km 以上の長さのところも？

● 平滑で堅固な床面

● 高い密閉性

● 塵の無い空間

● 安定な光環境



あくまでも地球からの類推 → 科学的な調査が必要

そこで

月の縦孔・地下空洞直接探査（UZUME） を企画

※UZUME : Unprecedented Zipangu Underworld of the
Moon Exploration（古今未曾有の日本の月地下世界探査）

話しは前後しますが、

**月の縦孔・地下空洞は
科学の重要課題を解決する宝の洞窟**

惑星科学の大目的

これからの惑星科学における大目的は、「**ハビタビリティ**」にかかわる知識を増やしていくこと、すなわち、次の2点であるとされている。

1. 過去にどのように生命や生命を育んだ環境「**生命圏**」が生まれ、その後、進化維持されたかという「**持続条件**」といった知識を増やしていくこと。
2. 今後、我々人類の住む世界「**居住圏**」を宇宙へと「**拡大**」していくうえで必要な宇宙の知識を増やしていくこと

「惑星科学／太陽系科学 研究領域の目標・戦略・工程表」（惑星科学会 2015）、「国際宇宙探査専門委員会中間報告書」（JAXA 2019）

この二つを共に達成するために、今後重要となる探査対象は何か
火山活動である

ハビタビリティの理解に火山活動の理解は必須

生命圏は水環境と関連して語られることが多いが…

水環境も熱輸送の過程で生じた一つの形態。

単にH₂Oがあるだけでは生命圏としては不十分。
火成活動が環境形成に重要な鍵を握る。

熱は温度が低いところへ流れる。熱の流れ方(どのくらいの熱が流れ、どんな現象がおこるか)に関する理解があって初めて、水環境を含む生命圏の解明につながる。

ハビタビリティの理解に火山活動の理解は必須

ハビタビリティの理解において、多様な惑星火山活動の理解は避けては通れない。

我々は、**月の縦孔・地下空洞**に着目し、それを直接探査し、
多くの固体天体の進化を決定づける最も重要な要因である火山活動に関わるデータを取得する（重力天体探査の意義）

月地下空洞の科学的的重要性～月表面形成の決定因子

空洞が溶岩チューブ？

- ・月の数百キロに亘る溶岩流域を作るには、1500度以上の高温のマグマ噴出が必要。
- ・しかし溶岩チューブが形成されれば、地球上の溶岩流と同じ温度(約1200度)で可能。

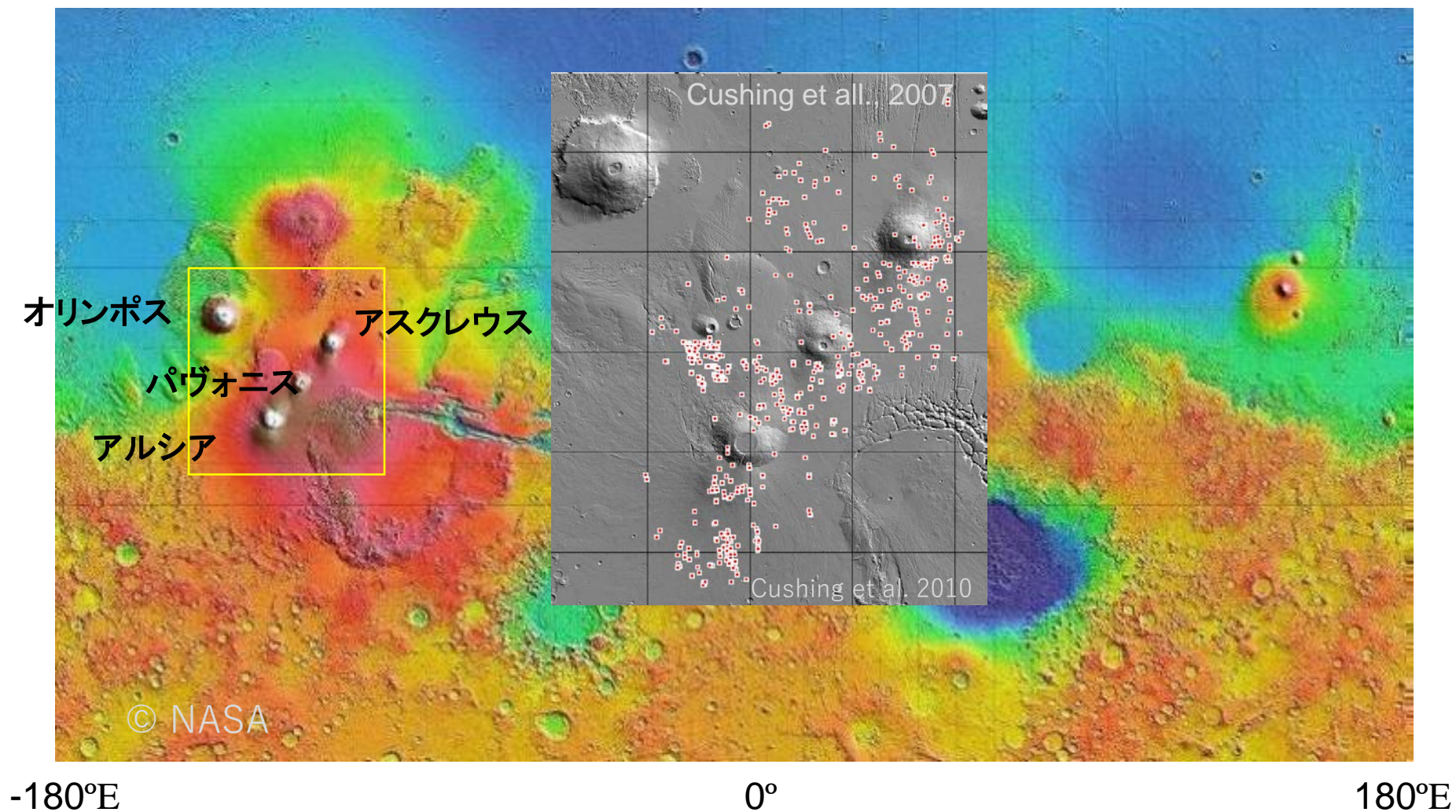
溶岩チューブでない？

- ・マグマが火道に戻った（ドレインバック）？
- ・発泡性の溶岩の存在？
→新たな火山学への展開

→結論づけるためには、地下空洞を直接観測することが必要。

月以外の地下空洞探査

火星でも多数の縦孔が見つかった。形状や分布から、ほとんどが、溶岩チューブに開いたものであることは確実。チューブ内は湿乾を繰り返す場所 => 生命誕生？



火星の縦孔の位置と、そのうちの1つの拡大図

巨大空洞の正体は何か？

アーチ？

①

喫水線？

②

③

縄状構造？

© 白尾元理



天井は？

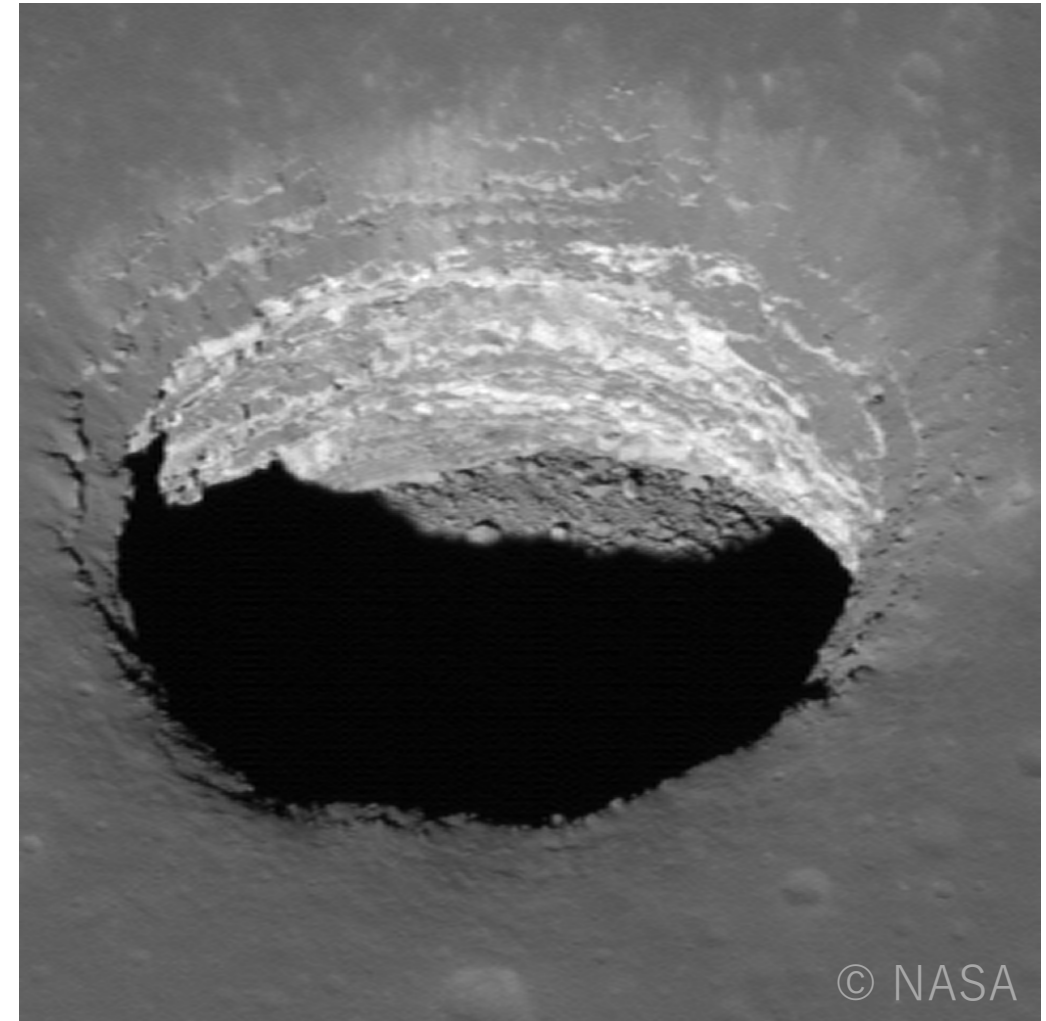
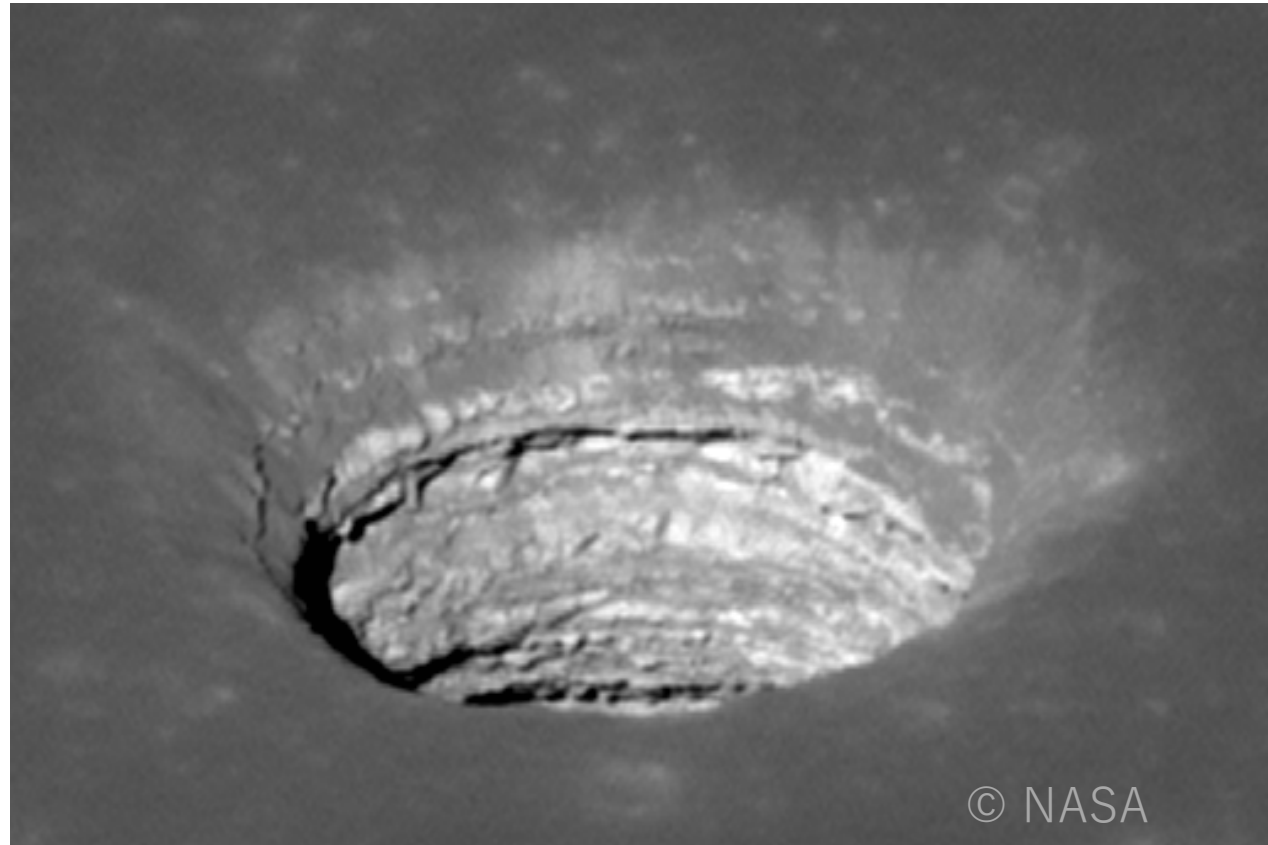
奥行きは？

壁の表面は？

縦孔の壁の科学的的重要性～優れた露頭～

溶岩流厚さ、火山活動の変遷、レゴリスの発達、過去の磁場etc.

静の海の縦孔 Western Wall



内容

- 月の縦孔・地下空洞とは
- 月の縦孔・地下空洞の重要性
- UZUME 初号機の構想

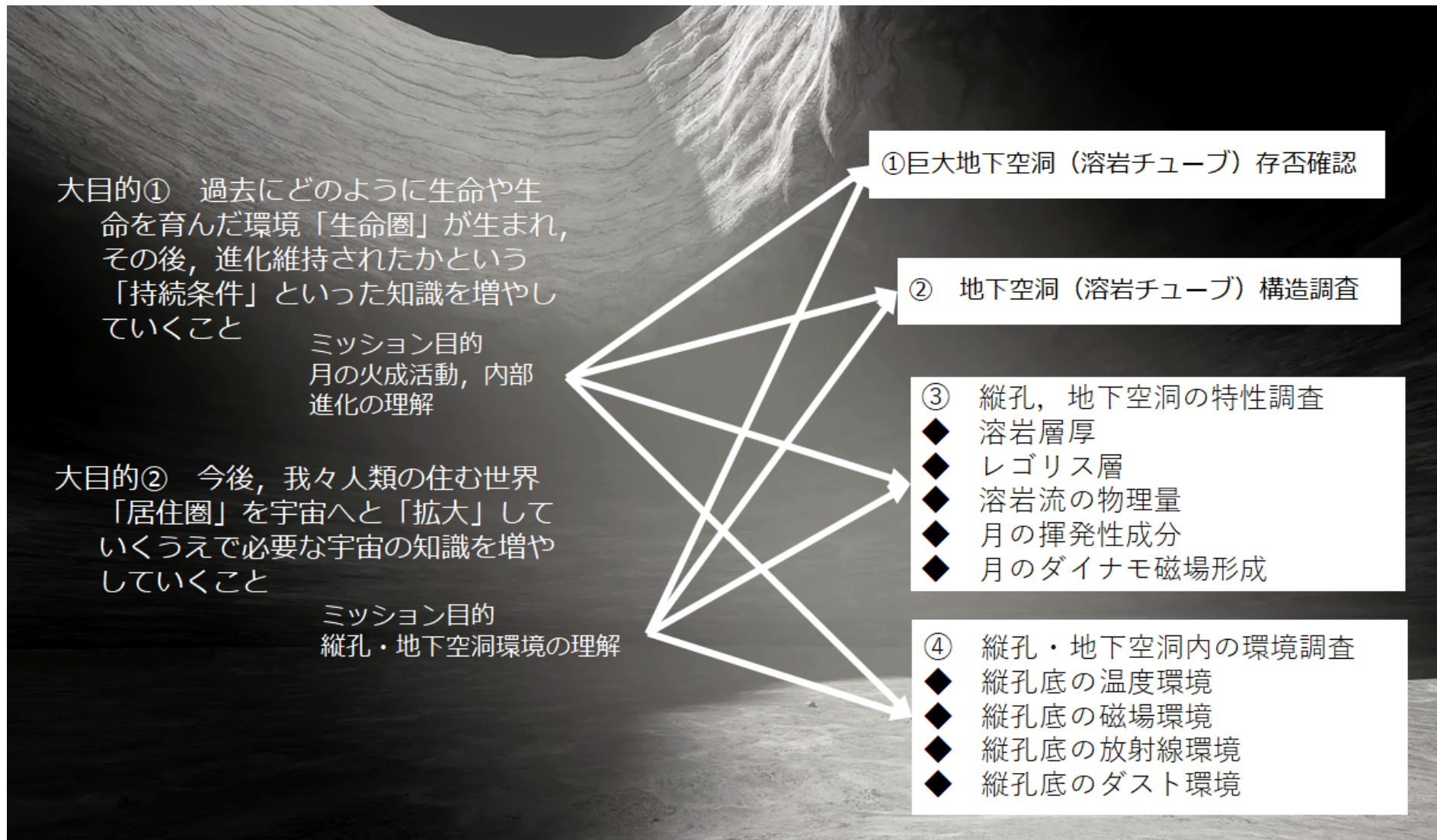
日本は、月探査のヘリテージを有する

**世界に先駆け、100mという高精度着陸
30°の斜度まで降りられる二段階着陸**

**SLIMのヘリテージを活かし、
日本の月着陸探査のイニシアチブを確保**

理学ミッションと搭載機器

SLIMをベースとし、**搭載機器質量は数kgレベル**に限定される中、



巨大空洞は実在するの？

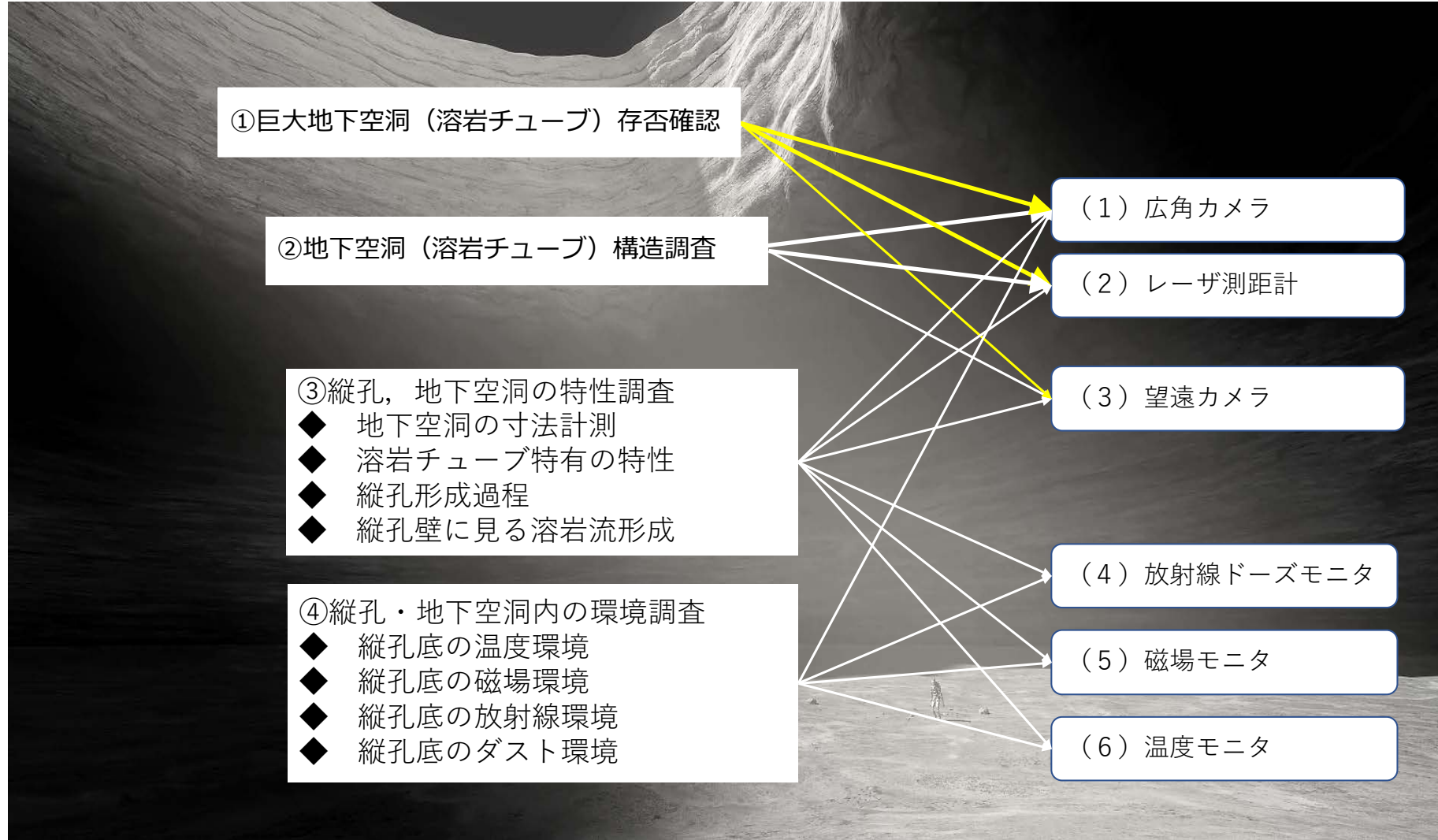
巨大空洞の正体は何か？

地下空洞（溶岩チューブ）の科学探査、利用に資するデータ取得

大目的と本WGで目指すミッションとの関係

搭載機器候補

- ベースは、広角カメラとレーザ測距計
- オプションとして、放射線ドーズモニタ、磁力計、温度モニタなどWGの活動の中で、搭載可能性なども踏まえて検討する。



昨年10月、
月の縦孔・地下空洞直接探査（UZUME）は、
宇宙科学研究所、宇宙理学委員会により、
ワーキンググループ（WG）設立の承認をいただく。

ワーキンググループ体制図

ISAS内外のJAXAメンバーと
JAXA外メンバー 約50名

代表者： 春山純一(JAXA)

<アドバイザー・ボード>
TBD

<全体とりまとめ，システムインテグレーション>
理学ミッション：春山 純一，庄司 大悟 (JAXA)

<全体とりまとめ，システムインテグレーション>
工学システム：河野 功，角 有司 (JAXA)

- 理学検討(JAXAメンバー)：
- 西堀 俊幸 (研開) (観測機器とりまとめ 兼)
 - 岡田 達明 (ISAS) (理学全般)
 - 山本 幸生 (ISAS) (データ処理・アーカイブ)
 - 岩田 隆浩 (ISAS) (光学観測機器)
 - 永松 愛子 (研開) (放射線計測機器)
 - TBD (磁場計測機器)
 - 桜井 誠人 (研開) (将来居住利用推進)
 - 佐藤 毅彦 (ISAS) (理学全般)

- 理学検討 (JAXA外メンバー)
- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 下司 信夫 (産総研) 小松 吾郎 (ダマツオオ大) 白尾 元理 (惑星地質研究会) 千葉 達朗 (アジア航測) 寺藺 淳也 (会津大) 藤原 靖 (横浜国大) ●本多 力 (火山洞窟学会) ●眞部 広紀 (佐世保高専) ●宮本 英昭 (東大) ●道上 達広 (広島大) ●諸田 智克 (東大) | <ul style="list-style-type: none"> ●清水 久芳 (東大) ●三宅 洋 (神戸大) ●北村 健太郎 (徳山高専) ●内藤 雅之 (量研) ●小平 聡 (量研) ●草野 広樹 (量研) ●長谷部 信行 (早稲田大) ●寺沢 和洋 (慶應大) ●小林 憲正 (横浜国大) ●横堀 伸一 (東京薬科大) ●吉村 義隆 (玉川大) ●嶋田 和人 (筑波航研) ●新井 真由美 (未来館) |
|---|---|

- <着陸機>
- 澤井 秀次郎，香河 英司，安光 亮一郎， (JAXA)

- <移動体>
- 大槻 真嗣，尾崎 直哉 (JAXA)
 - 石上 玄也 (慶應大)

- <搭載ミッション観測機器>
- 西堀 敏幸 (JAXA)

- <バス機器兼用>
光学センサ (4Kステレオカメラ，測距システム)
- 西堀 敏幸 (JAXA)，岩崎 晃 (東大)，木村 真一 (東京理科大)

- <ミッション機器・オプション観測機器>
- 清水 久芳 (東京大) 磁力計(GSR and/or FM-OFG)
 - 内藤 雅之 (量研) 放射線計
 - 西堀 敏幸 (JAXA) 温度計 (白金抵抗センサ)

- 工学検討(JAXA外メンバー)
- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ●能見 公博 (静岡大) ●有隅 仁 (産総研) ●石井 裕之 (早稲田大) ●吉田 和也 (東北大) | <ul style="list-style-type: none"> ●古谷 克司 (豊田工大) ●大山 英明 (産総研) ●岡田 慧 (東大) ●床井 浩平 (和歌山大) ●北園 幸一 (都立大) |
|--|--|

縦孔へ (OMOTENASHI のヘリテージ：理工一体で検討) (現状3案：JAXA内外の協力を得つつ検討中)

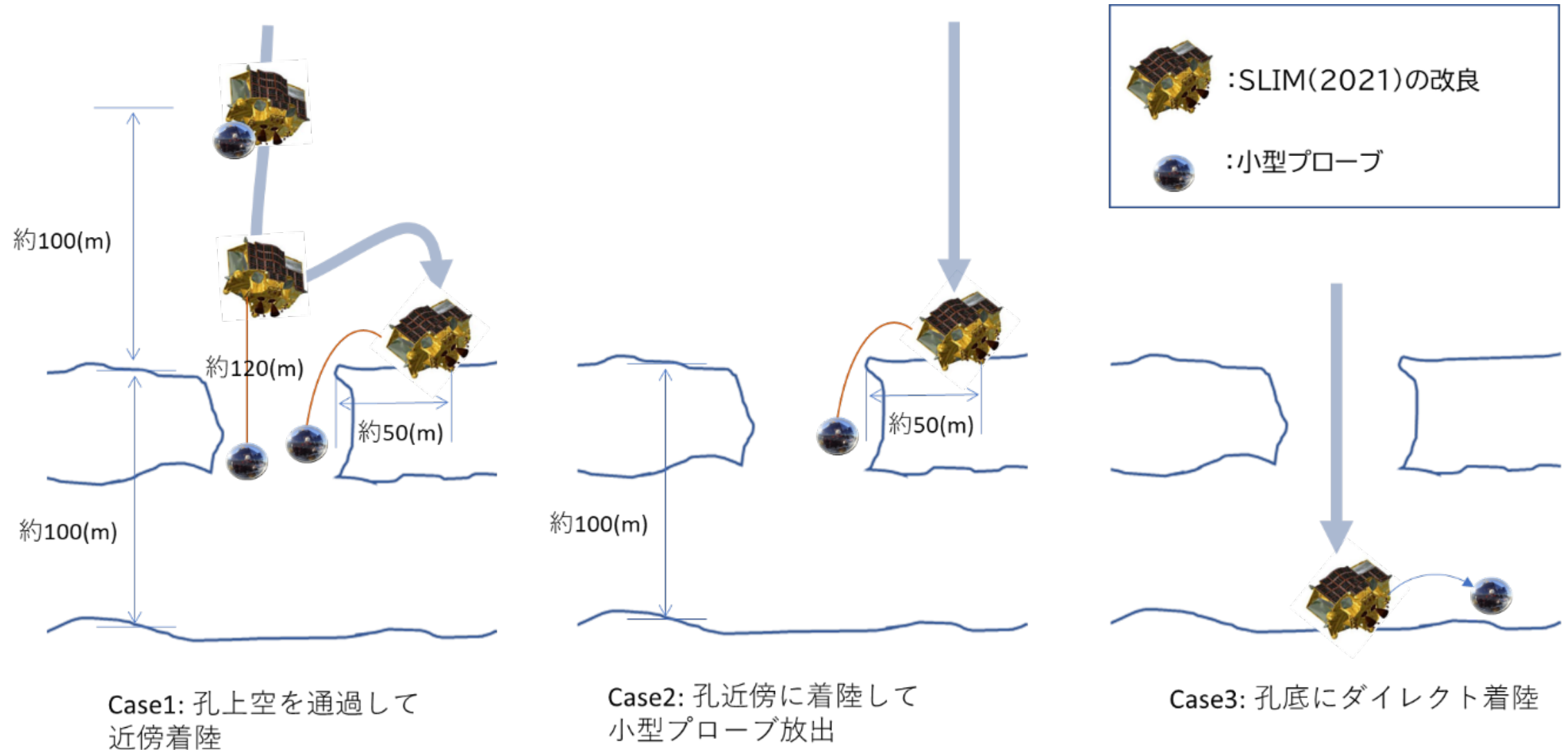


表4.2-1 WG活動スケジュール (案)

2022

担当グループ	FY イベント	2020				2021				2022				2023				
		1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	
	全体スケジュール		▲WG設立															
理学	研究取りまとめ	サイエンス目標詳細化		—▲														
		ミッション機器性能の設計値の決定 クリティカル要素試験、試作試験																
		ベース機器の確定																
		オプション機器の決定																
工学	トータルシステム	衛星システム構想、搭載機会調査、調整																
	ミッションシナリオ	軌道検討、ペイロード質量検討																
	着陸機(ランダ)の概念設計	システム検討(メーカ検討)																
		リアル機構の検討(メーカ検討)																
	小型プローブのミッション機器	小型プローブへのミッション機器インテグレーション検討(工学プローブRGと共同)																
		光学カメラ、磁力計、放射線系、温度計の仕様決定																
		ミッション機器搭載小型プローブの設計・試作・試験																
	小型プローブの移動法	移動体トレードオフ																
		小型プローブの着陸機へのインテグレーション検討																
		小型プローブ本体の設計・試作・試験																
	(以下はオプション)																	
	投擲システムの検討	投擲システムのインテグレーション																
		投擲システムの設計・試作・試験																

MDR: Mission Definition Review
 ミッション定義審査。 ミッション要求(ミッションの意義、目的、ミッションサクセスクライテリア等)及び資金規模を含めたミッション定義の妥当性を本部として審査するもの。

今後、月の縦孔地下空洞直接探査（UZUME）
の実現にむけて
理学、工学、様々な方々のご参加をお待ちしています。

End