

# MMXミッションの着陸オペレーションに関する検討

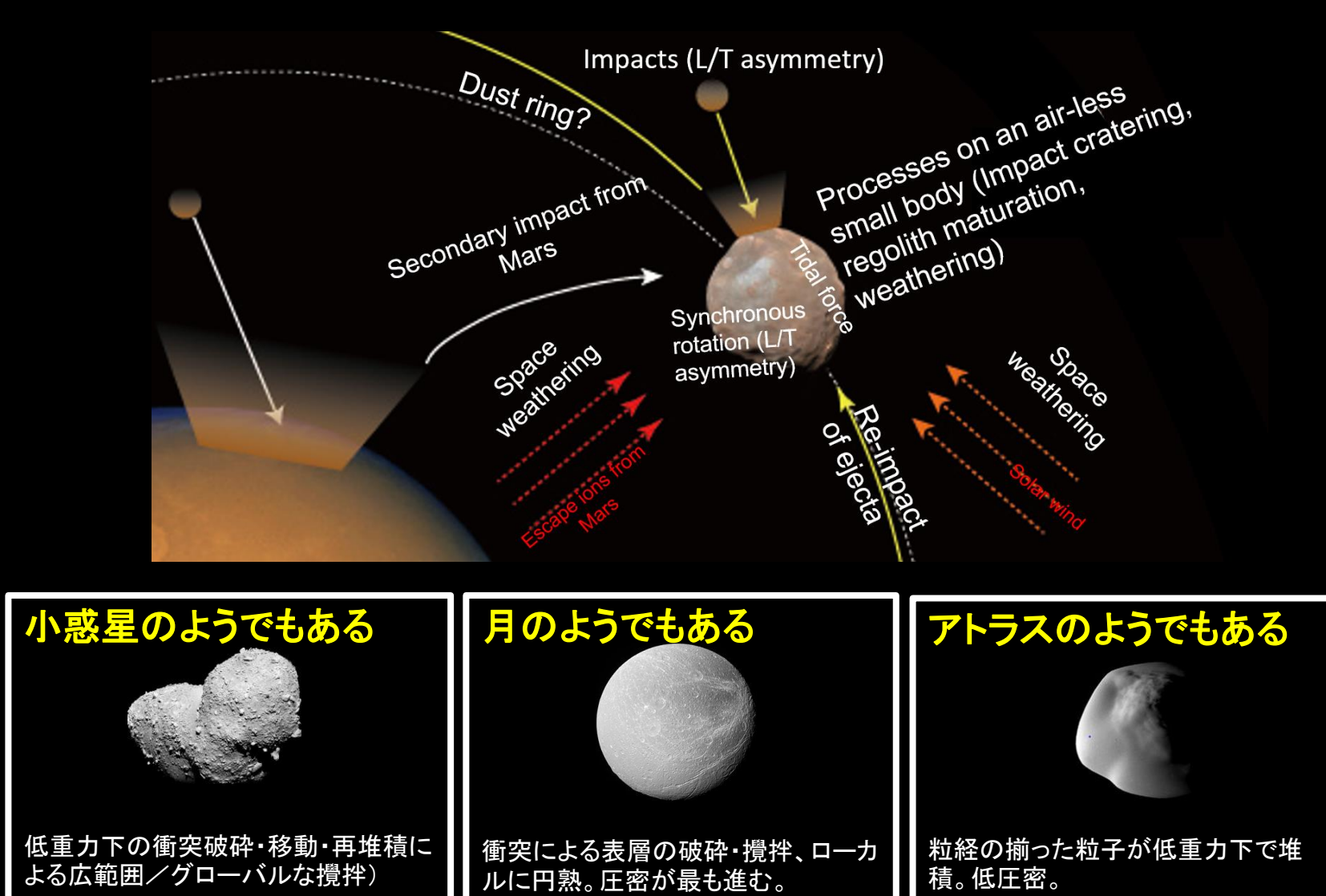
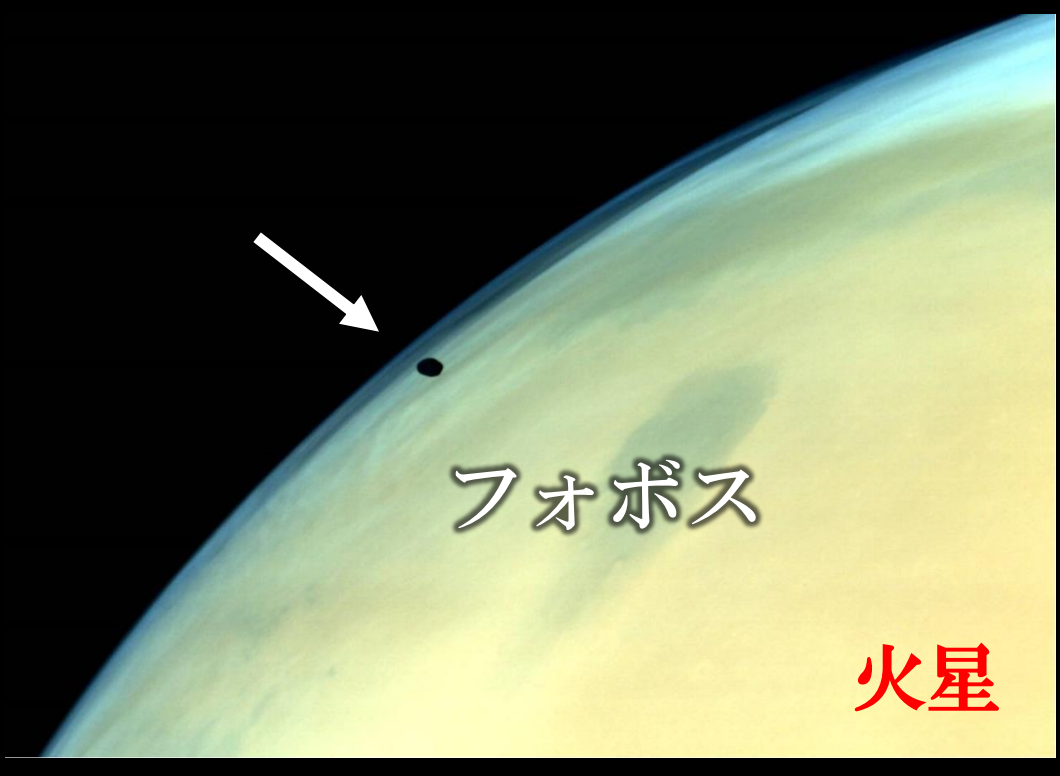


○宮本英昭 (東大)、今田高峰、大槻真嗣 (JAXA)、小川和律 (神戸大)、亀田真吾 (立教大)、馬場満久 (JAXA)、菊地紘 (東大)、坂谷尚哉 (JAXA)、逸見良道 (東大)、加藤裕基 (JAXA)、中村智樹 (東北大)、新原隆史 (東大)、和田浩二 (千葉工大)、MMX着地運用ワーキングチーム

## 背景

フォボスは、火星に浮かぶ石炭?? フォボスは小天体であり、火星圏の特殊な衛星

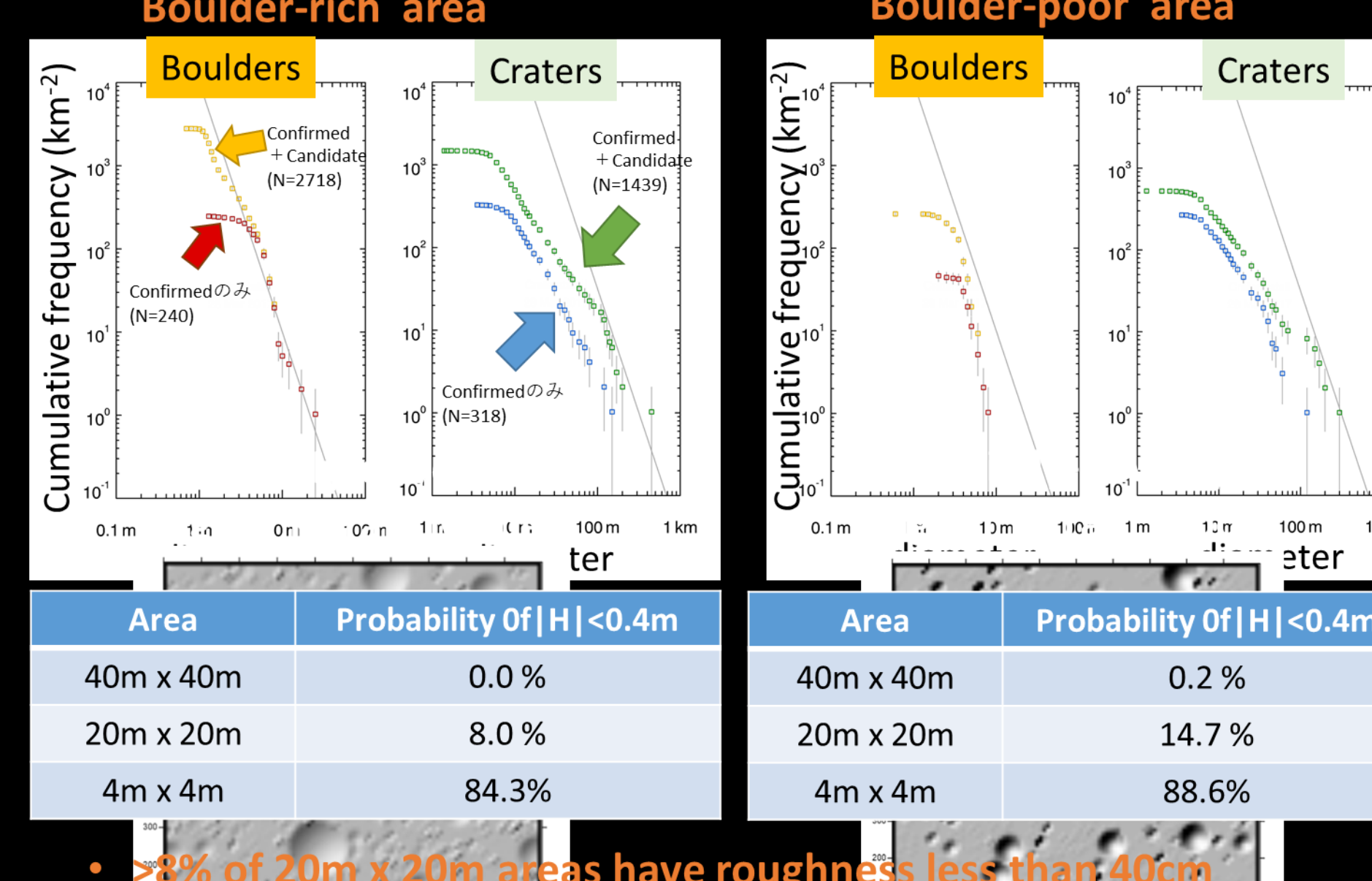
- 真っ黒く
- 奇妙に軽小さく
- 火星に近すぎる



## フォボスの画像解析

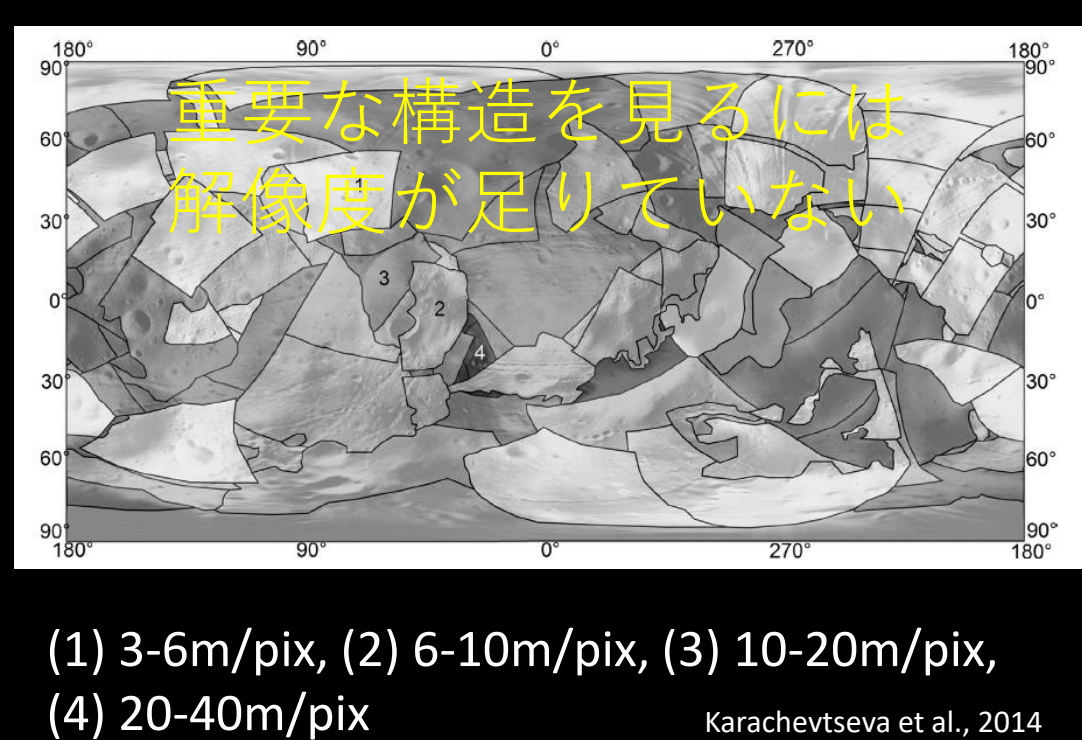


Statistics of boulders and craters in high-resolution images



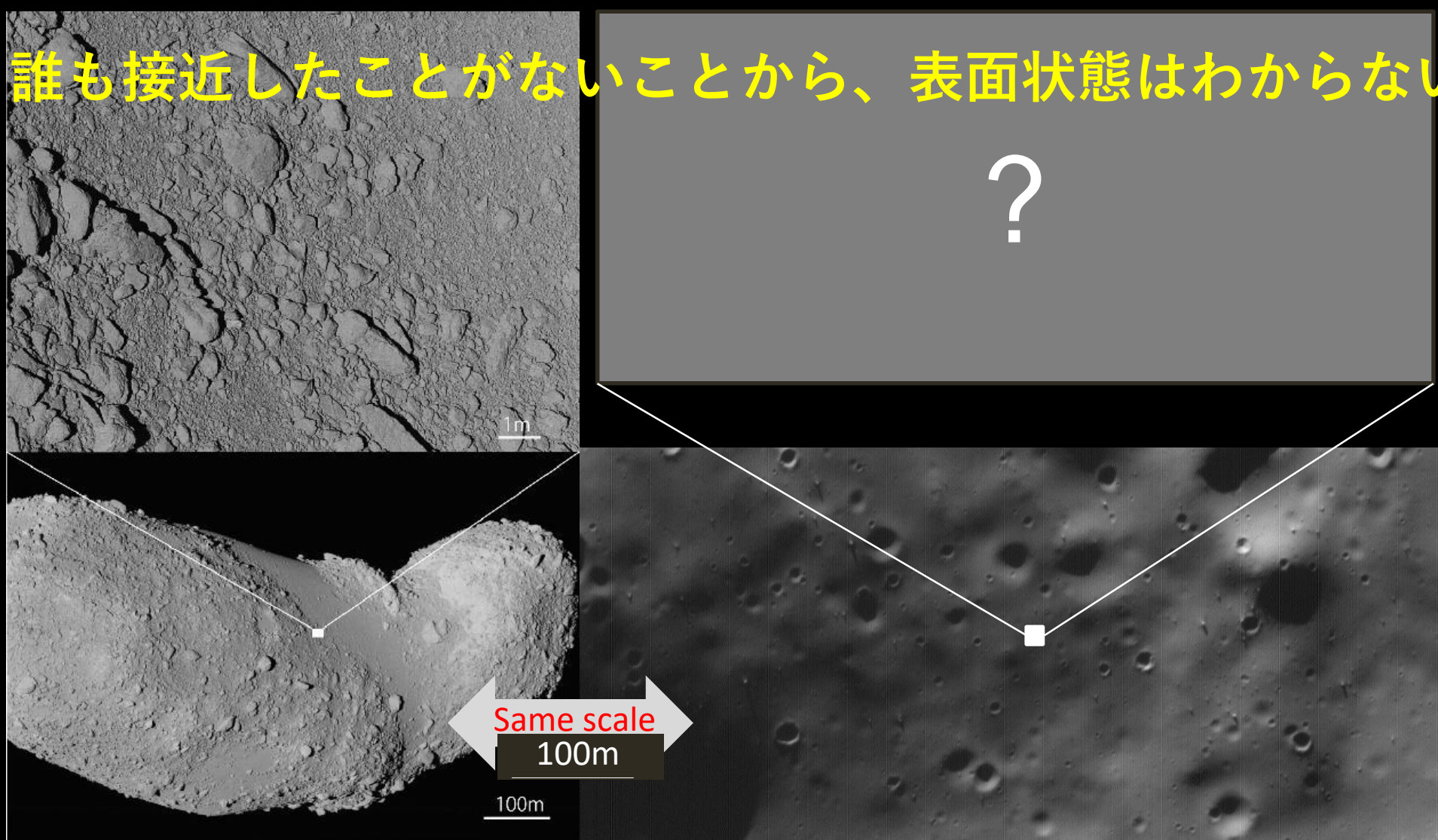
- >8% of 20m x 20m areas have roughness less than 40um
- >80% of 4m x 4m areas have roughness less than 40um

HRSCとバイキング周回機による撮像状況

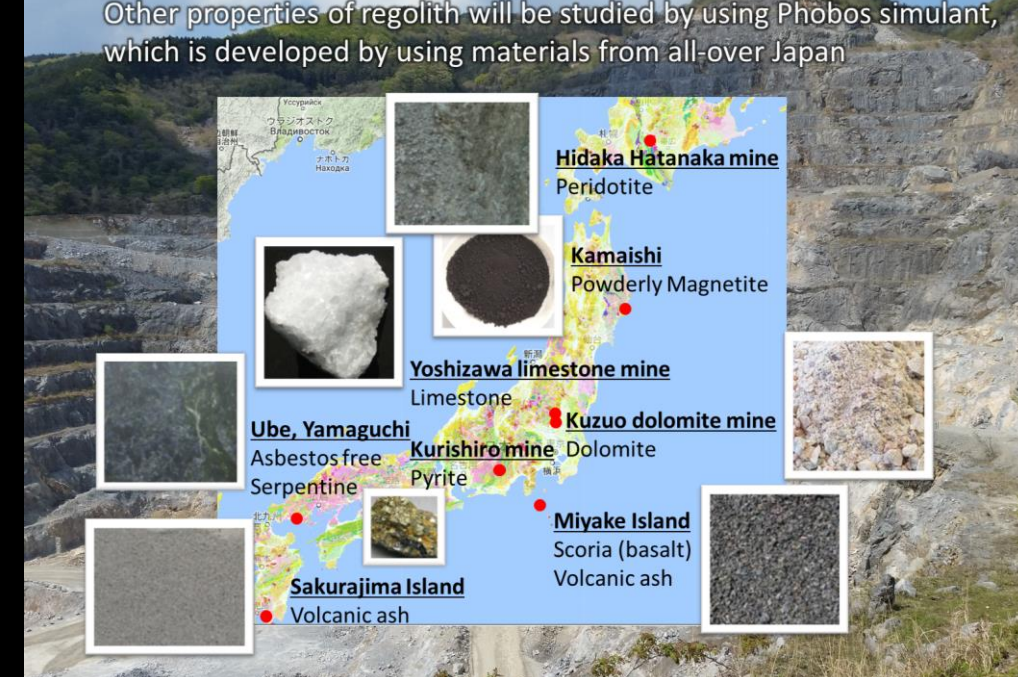
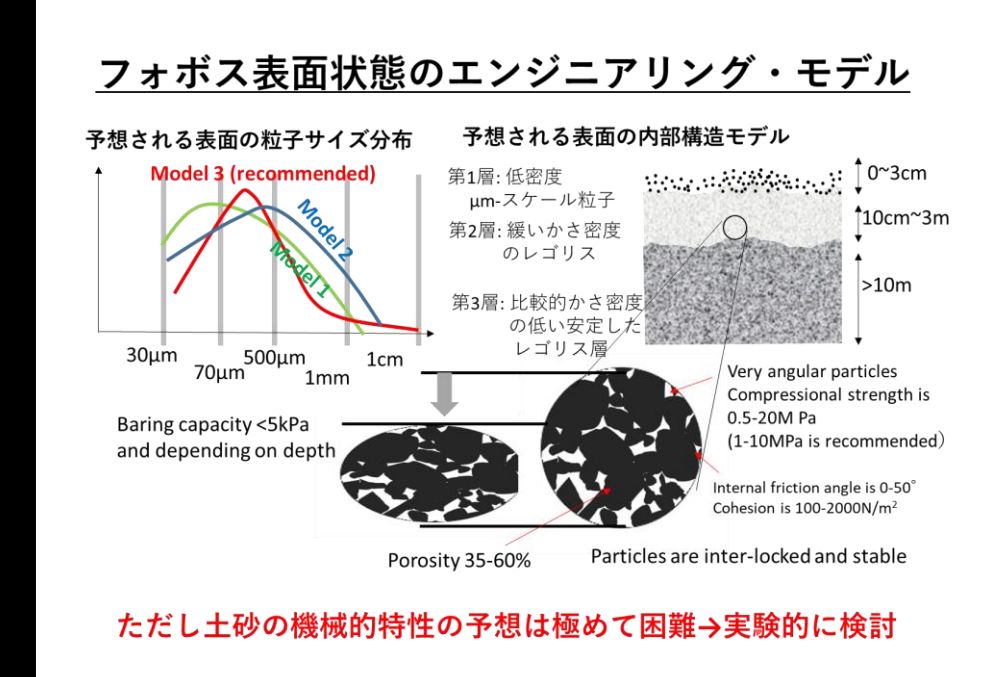


Itokawa

Phobos



## フォボスの模擬土壌



国内の鉱山会社や地方自治体の協力を得て、必要となる素材をそれぞれトン単位で確保している。こうした材料物質は、ある程度の加工を施した上で石岡市にある保管施設に保管している。特に粉塵の発生が甚大である場合は、この保管施設に用意した屋外の作業場を利用して一次加工を行っている。その後の精密な調整は、文京区の本郷キャンパスに移送後に行う。

しかし着陸機的设计には、表面環境に関するさまざまなパラメータの理解が必要

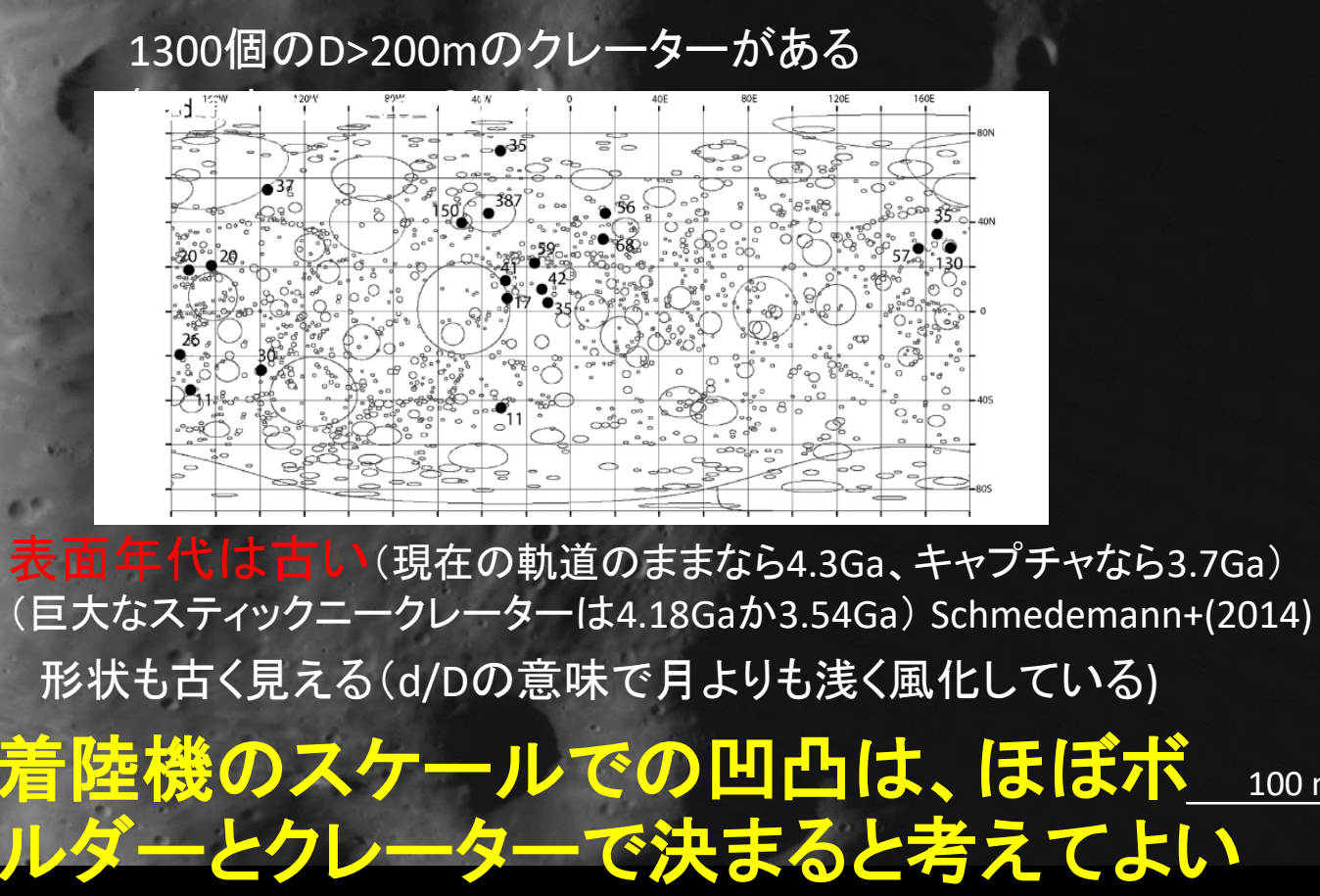
- Dust deposition rate
- Meteoroid flux
- Thermal inertia
- Thermal radiation
- Emissivity
- Albedo
- Magnetic field
- Thermal environment
- Regolith particle size, density, vertical structure
- Regolith electrostatic adhesion
- Gravity vector
- Acceleration
- Surface inclination
- Local surface roughness (boulders/craters)
- Friction between footpad and regolith parameters (e.g., cohesion, internal friction angle, bearing capacity)
- Ground deformation parameters (Young's modulus, Poisson's ratio) terra-mechanical parameters

そこで着地運用ワーキングチームでは、過去のデータの再検討を行い、各国の専門家のレビューも受けつつ検討を進めている

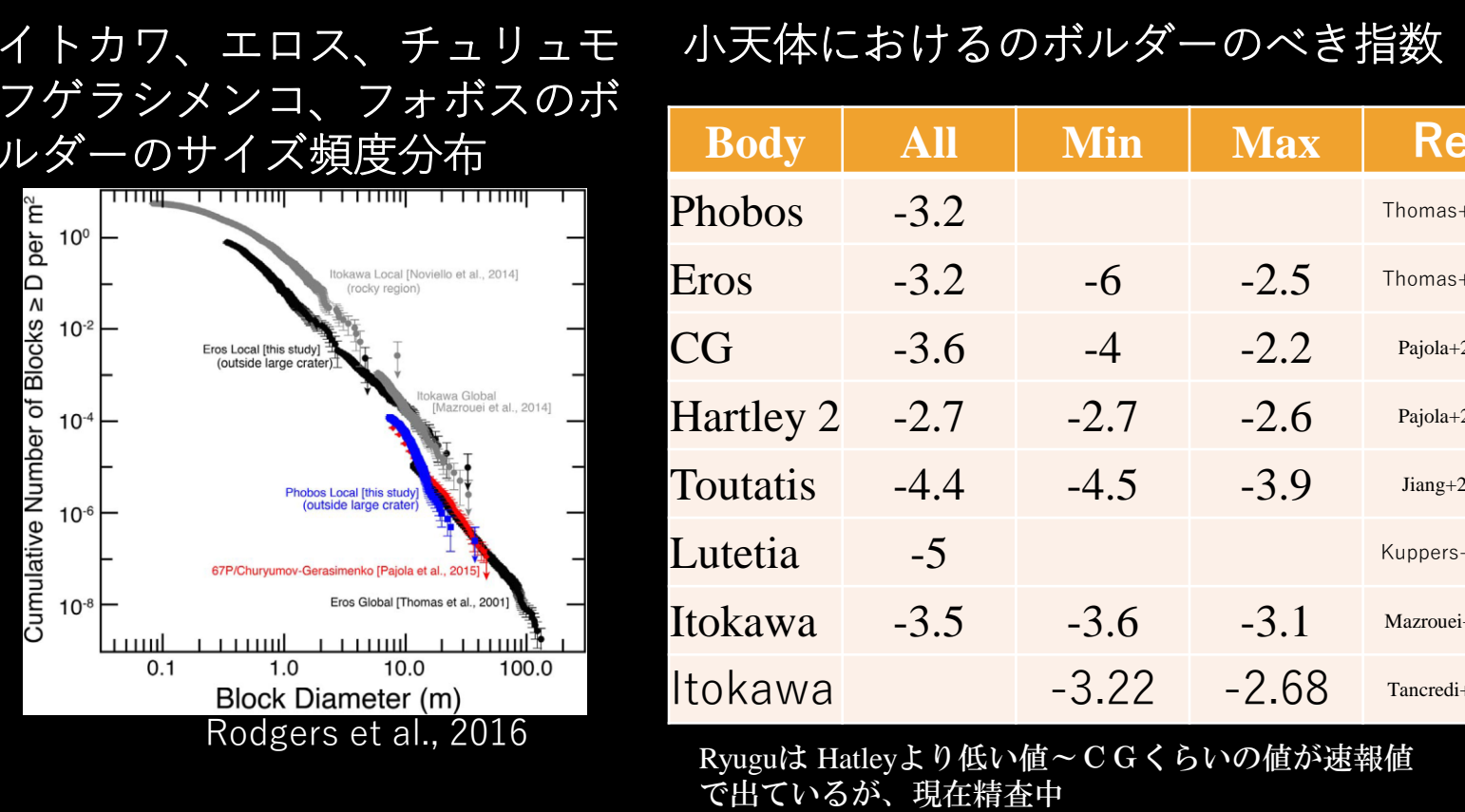
- 大きさ、質量、軌道要素などの幾つかのパラメータは、かなり高い精度で知られている
- 表面重力、傾斜、ダスト降下率、小天体粒子フラックス、表面温度、磁場などは、ある程度推定可能
- 詳細な表面粗度、表面土砂の状態などは、新規の研究が必要



フォボスの地質学的特徴は、クレーターとグループ(線状の溝)、ボルダー



最も厄介なボルダーの分布については、全体としてはリュウグウ>イトカワ>エロス~フォボスと予想される

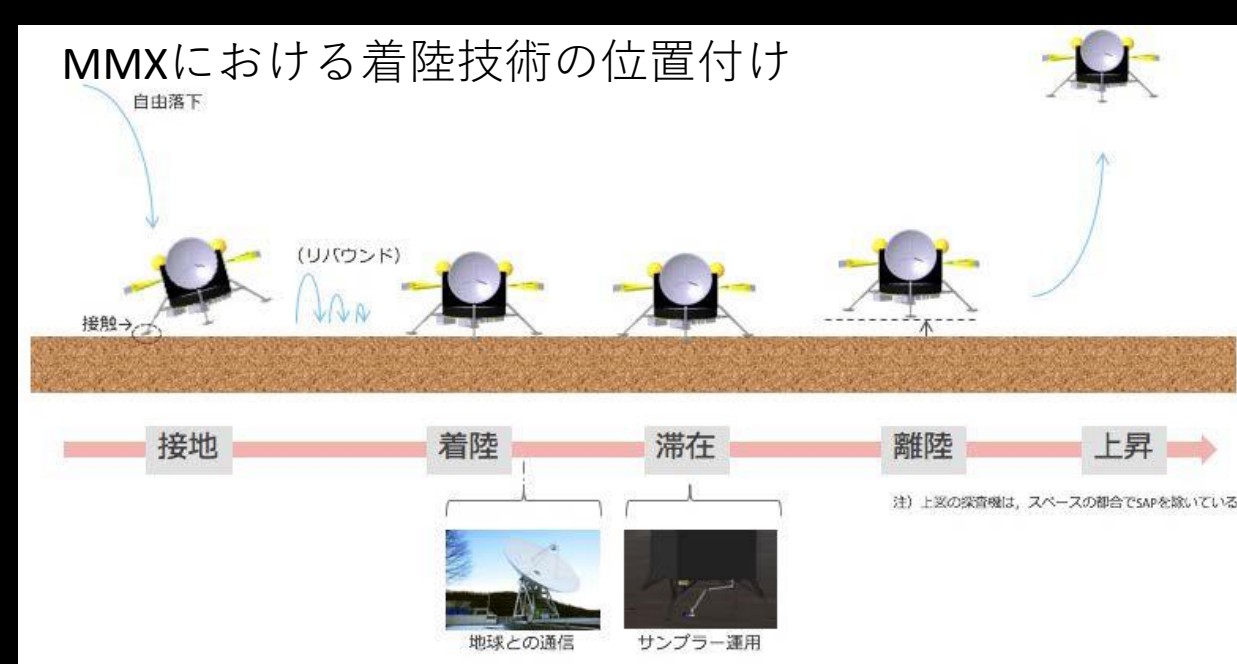


着陸機のスケールとなると、別の角度からの検討が必要

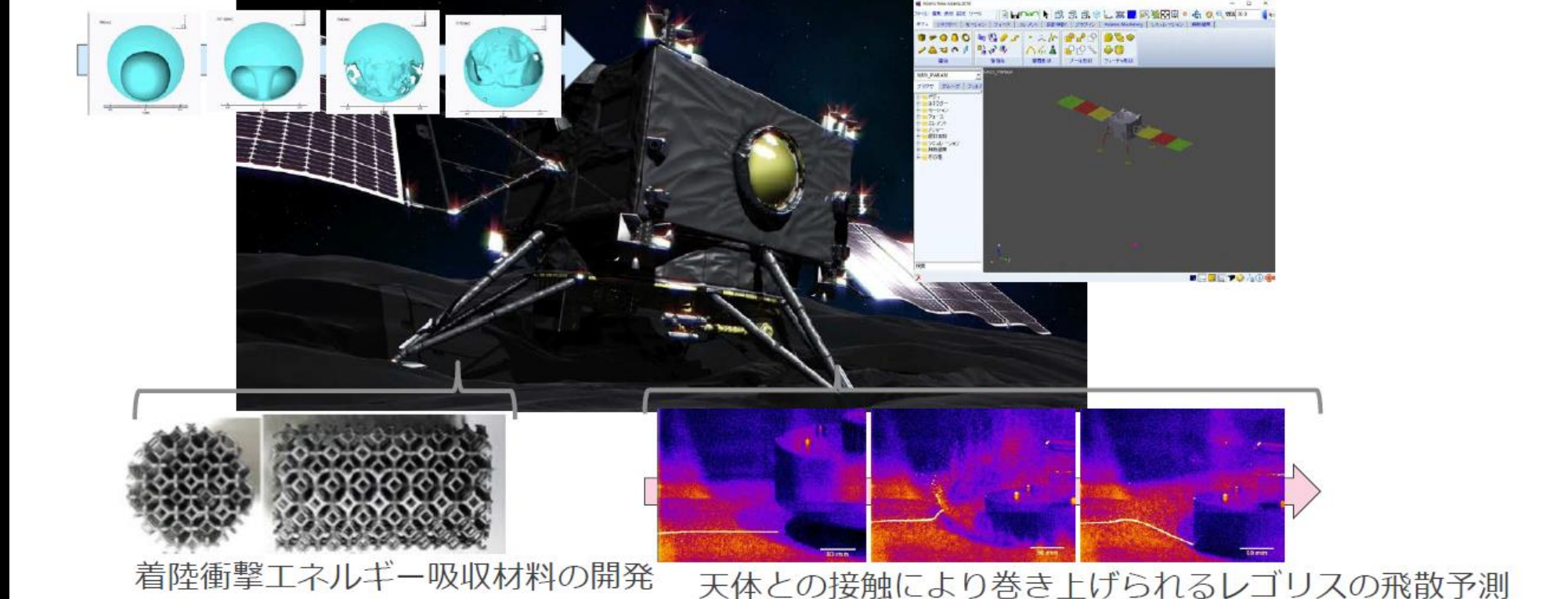
## 着陸システム概念検討

- 一般的な着陸ミッションにおける課題
- 探査機を破壊から守る (衝撃、転倒)
- 探査機を汚染から守る (レゴリスの付着・混入)

- MMXの着陸における特徴
- 母船自身が着陸する (タッチアンドゴーではない)
- 着陸を複数回行う
- 目標天体の重力が小さく、復元力として期待が薄い
- 火星衛星を周回や着陸した探査機に前例がなく、環境の情報が不十分である
- 天体表面はすべてレゴリスに覆われているとの予測



微小重力環境におけるスロッシング 天体表面の接触時に伴う反力の推定・着陸シミュレーション技術



- MMXにおける着陸技術の位置付け
- 着陸運用は、後に続くサンプラー運用の前提条件を作ると同時に、探査機全損の可能性を内包する
- MMXの着陸はシステム設計や思想に影響を大きく受け、その逆もありえるため単一のサブシステム (例えば「着陸脚」のみ) として分化することが困難
- そのためMMXの着陸装置はバスシステムの一部として扱い、「着陸システム」として設計する必要がある

「ヘビーなシステム検討」期間において、メーカー候補と技術課題を識別し、分担しながら検討を進めている

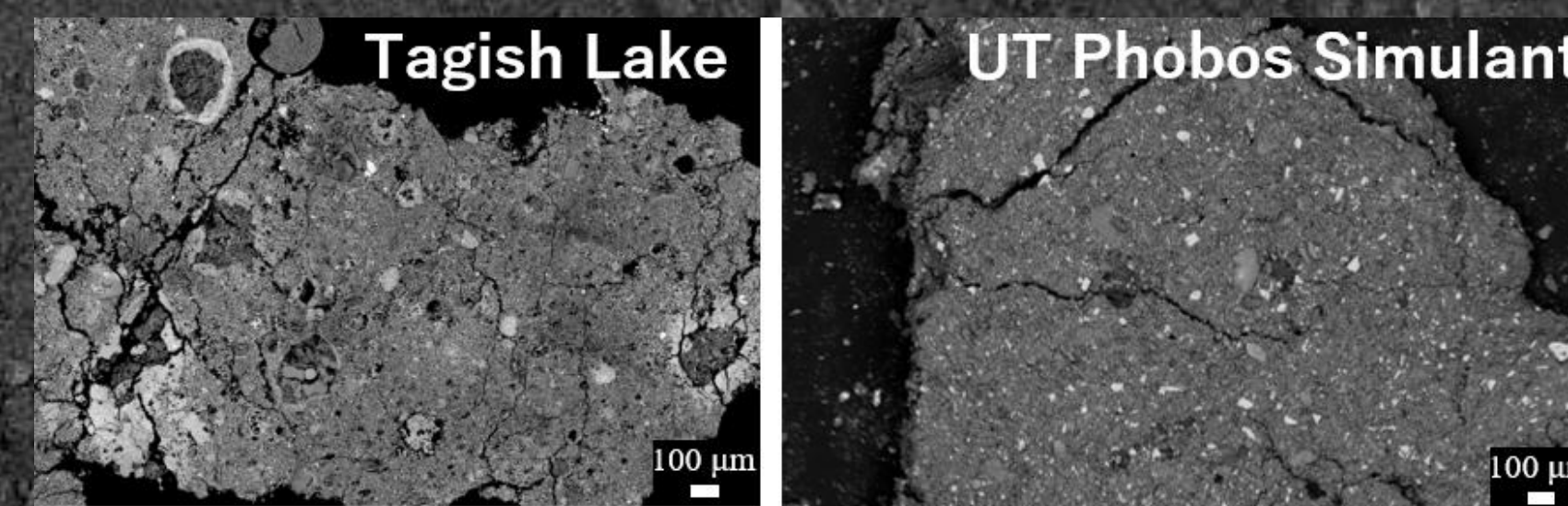
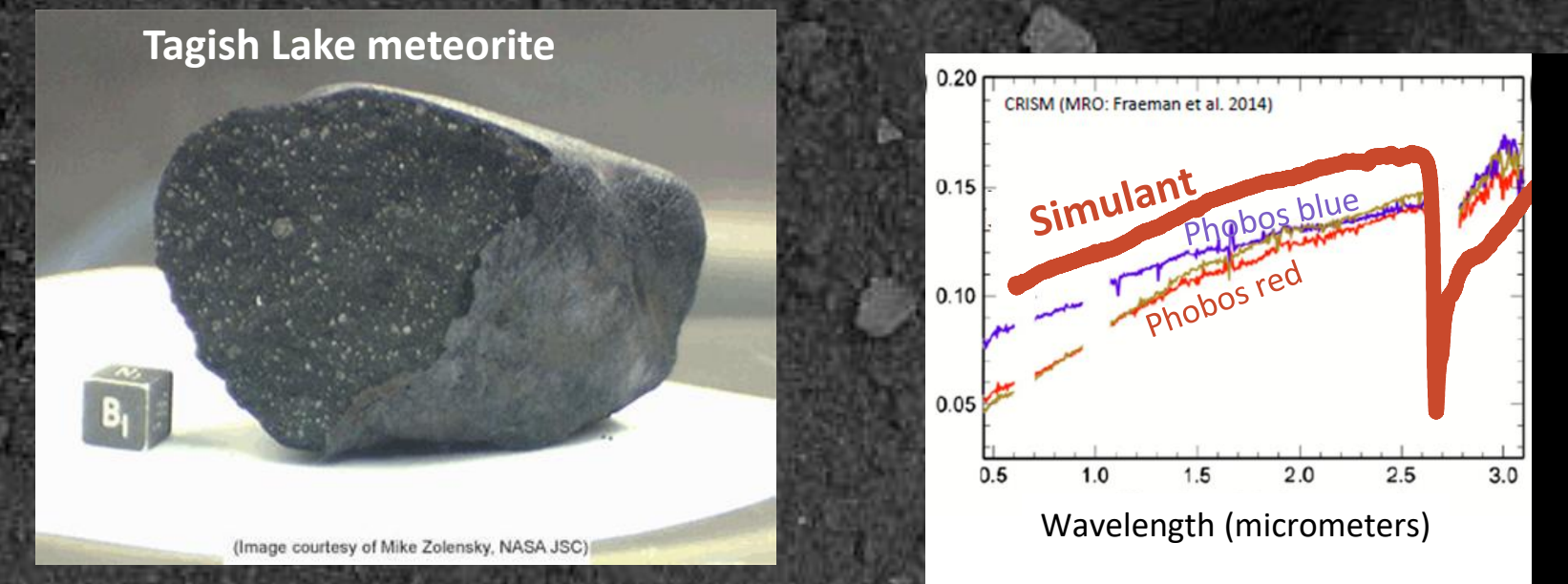
## 作製法

Basic idea of the simulant (Tagish-lake base version)



岩石の粉碎には幾つかの手法を組み合わせる。特に粒子形状が重要となる場合が多いと考えられるため、衝撃破砕で自然で円磨度の低い形状を作る。粉碎した素材は適切な分量で混合し、場合によっては過熱し固化させた後に再破砕する。

## 作製



SEM (back-scattered electron) image of Tagish lake (left) and UT Phobos Simulant (UTPS-TB)

反射分光特性やアルbedo、密度などといった過去の探査データをうまく模擬できる模擬土壌を作成することはできている。興味深いことに、炭素質隕石を仮定したシミュラント (UTPS-TB)も、火星由来物質と炭素質隕石の混合物を仮定したシミュラント (UTPS-IB)も、双方ともに探査データを模擬できてしまう。

## LOWT Summary for Phobos Surface

Information	Classification of Measurement/Status	Landing Hazard	Sampling Hazard	Others	Previous Baseline	Estimation after LOWT workshop (Sep. 2017)
Dispersion of Touchdown	B	B	Turnover	Navigation Design	100m x 100m (TBSD)	70m x 20m, LOWT Recommended
Local Surface Inclination	C	C	Turnover	Improper Sampling	Within +/- 10 deg in Touchdown Area	Less than 0.3 m in Touchdown Area
Ground Strength Parameters (Cohesion C, Friction Angle φ)	B	B	Turnover Improper Sampling	Improper Sampling Unable to Pull Out	0.884 - 2.210 Pa φ: 25 - 29 deg	C: 100 - 2,000 Pa φ: 30 to 60 deg
Ground Strength Parameters (Ultimate Bearing Capacity, Allowable Bearing Capacity)	B	B	Turnover Improper Sampling	Improper Sampling Unable to Pull Out	Ultimate: 0.194 to 764 kPa	N/A
Coefficient of Subgrade Reaction	B	B	Turnover	Improper Sampling	Test Data Required	Regolith Simulant Produced for data collection
Gravity Vector, Gravity Acceleration	C	C	Turnover	Improper Sampling	Acceleration: 0.00598g Vector: Less than 10% of Turnover Limit	Acceleration: 0.005 to 0.007 m/s^2
Boulder (Abundance, Size, Distribution)	B	C			Determine the Requirement for Navigation	ND) = 10^-7(D/10m)^-3
Crater (Abundance, Size, Distribution)	B	C			Determine the Requirement for Navigation	N/A
Regolith Characteristics (Size, Shape, Composition, Bulk Density, Porosity, Particle Structure, Debris Distribution)	B	B			Improper Sampling Unable to Pull Out	Size: Model 1: 300 µm-peak/10 µm-0% Model 2: 30 µm-peak/200 µm-100% Particle Density: 1342 to 1904 kg/m^3 Porosity: 0.25 to 0.35 Others: Update required
Regolith Electrostatic Adhesion Property	B	B			Determine the Requirement for Anti-contamination	N/A
Ground Deformation Parameters (Young's Modulus, Poisson's Ratio)	B	B	Turnover	Improper Sampling	Test Data Required	Regolith Simulant Produced for data collection
Coefficient of Friction (Foot pad & Rock) (Static, Dynamic, etc.)	B	B	Turnover	Improper Sampling	Static: 0.75 Dynamic: 0.6	static/dynamic: 0.6~0.7
Thermo-mechanics Parameters (α, ν, etc.)	B	B	Turnover	Improper Sampling	Test Data Required	Regolith Simulant Produced for data collection
Thermal Environment (Mars Orb. Mark Moon Surface)	A	A			for System Design	80 to 300 K
The Mark of Rolling Object on Surface	B	B	Turnover	Improper Sampling	Useful for Landing Site Determination	N/A
Sunlight Condition (Angle, Albedo)	A	A			for System Design	Phobos: Albedo: 0.09 to 0.05
Electrical Potential	B	B			for System Design	N/A
Regolith Condition	A	A			Established	N/A