



小惑星探査機「はやぶさ2」の 着地点候補について

Candidates for landing sites
for the Hayabusa2 mission

2018年8月23日

August 23, 2018

JAXA はやぶさ2プロジェクト
JAXA Hayabusa2 Project



本日の内容/Topics



「はやぶさ2」に関する、

- ・着地点の候補
(タッチダウンおよびMASCOT・MINERVA-IIの着地
点候補)

について紹介する。

Regarding Hayabusa2:

- Candidates for landing sites for
touchdown, MASCOT, and MINERVA-II



目次



0. 「はやぶさ2」概要・ミッションの流れ概要
1. プロジェクトの現状と全体スケジュール
2. 着地候補地点と予定日
3. タッチダウン候補地点選定
4. タッチダウン候補地点についての科学的検討
5. MASCOTの着地候補地点選定
6. MINERVA-IIの着地候補地点選定
7. 着陸実現に向けた戦略
8. 今後の予定

3



Contents



0. Hayabusa2 & mission flow outline
1. Project status & overall schedule
2. Landing site candidates and expected dates
3. Selection of touchdown site candidates
4. Science discussions for touchdown site candidates
5. Selection of landing site candidates for MASCOT
6. Selection of landing site candidates for MINERVA-II
7. Strategy toward the successful touchdown
8. Future plans

4



「はやぶさ2」概要



目的

「はやぶさ」が探査したS型小惑星イトカワよりも始原的なタイプであるC型小惑星リュウグウの探査及びサンプルリターンを行い、原始太陽系における鉱物・水・有機物の相互作用の解明することで、地球・海・生命の起源と進化に迫るとともに、「はやぶさ」で実証した深宇宙往復探査技術を維持・発展させて、本分野で世界を牽引する。

期待される成果と効果

- ・水や有機物に富むC型小惑星の探査により、地球・海・生命の原材料間の相互作用と進化を解明し、太陽系科学を発展させる。
- ・衝突装置によって生成されるクレーター付近からのサンプル採取という新たな挑戦も行うことで、日本がこの分野において、さらに世界をリードする。
- ・太陽系天体往復探査の安定した技術を確立する。

特色:

- ・世界初のC型微小地球接近小惑星のサンプルリターンである。
- ・小惑星にランデブーしながら衝突装置を衝突させて、その前後を観測するという世界初の試みを行う。
- ・「はやぶさ」の探査成果と合わせることで、太陽系内の物質分布や起源と進化過程について、より深く知ることができる。

国際的位置づけ:

- ・日本が先頭に立った始原天体探査の分野で、C型小惑星という新たな地點へ到達させる。
- ・「はやぶさ」探査機によって得た独自性と優位性を發揮し、日本の惑星科学及び太陽系探査技術の進展を図るとともに、始原天体探査のフロンティアを拓く。
- ・NASAにおいても、小惑星サンプルリターンミッションOSIRIS-REx（打上げ：平成28年、小惑星到着：平成30年、地球帰還：平成35年）が実施されており、サンプルの交換が取り決められていることに加えて科学者の相互交流が行われており、両者の成果を比較・検証することによる科学的成果も期待されている。



(イラスト 池下章裕氏)

はやぶさ2 主要諸元

質量	約 609kg
打上げ	平成26年(2014年)12月3日
軌道	小惑星往復
小惑星到着	平成30年(2018年)
地球帰還	平成32年(2020年)
小惑星滞在期間	約18ヶ月
探査対象天体	地球接近小惑星 Ryugu(リュウグウ)

主要搭載機器

サンプリング機構、地球帰還カプセル、光学カメラ、レーザー測距計、科学観測機器(近赤外、中間赤外)、衝突装置、小型ローバ

5



Overview of Hayabusa2



Objective

We will explore and sample the C-type asteroid Ryugu, which is a more primitive type than the S-type asteroid Itokawa that Hayabusa explored, and elucidate interactions between minerals, water, and organic matter in the primitive solar system. By doing so, we will learn about the origin and evolution of Earth, the oceans, and life, and maintain and develop the technologies for deep-space return exploration (as demonstrated with Hayabusa), a field in which Japan leads the world.

Expected results and effects

- ・By exploring a C-type asteroid, which is rich in water and organic materials, we will clarify interactions between the building blocks of Earth and the evolution of its oceans and life, thereby developing solar system science.
- ・Japan will further its worldwide lead in this field by taking on the new challenge of obtaining samples from a crater produced by an impacting device.
- ・We will establish stable technologies for return exploration of solar-system bodies.

Features:

- ・World's first sample return mission to a C-type asteroid.
- ・World's first attempt at a rendezvous with an asteroid and performance of observation before and after projectile impact from an impactor.
- ・Comparison with results from Hayabusa will allow deeper understanding of the distribution, origins, and evolution of materials in the solar system.

International positioning:

- ・Japan is a leader in the field of primitive body exploration, and visiting a type-C asteroid marks a new accomplishment.
- ・This mission builds on the originality and successes of the Hayabusa mission. In addition to developing planetary science and solar system exploration technologies in Japan, this mission develops new frontiers in exploration of primitive heavenly bodies.
- ・NASA too is conducting an asteroid sample return mission, OSIRIS-REx (launch: 2016; asteroid arrival: 2018; Earth return: 2023). We will exchange samples and otherwise promote scientific exchange, and expect further scientific findings through comparison and investigation of the results from both missions.



(Illustration: Akihiro Ikeshita)

Hayabusa 2 primary specifications

Mass	Approx. 609 kg
Launch	3 Dec 2014
Mission	Asteroid return
Arrival	27 June 2018
Earth return	2020
Stay at asteroid	Approx. 18 months
Target body	Near-Earth asteroid Ryugu

Primary instruments

Sampling mechanism, re-entry capsule, optical cameras, laser range-finder, scientific observation equipment (near-infrared, thermal infrared), impactor, miniature rovers.

6



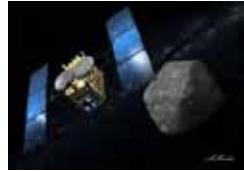
ミッションの流れ概要



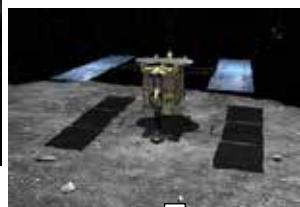
打上げ
2014年12月3日



小惑星到着
2018年6月27日



地球スイングバイ
2015年12月3日



リモートセンシング観測によって、小惑星を調べる。その後、小型ローバや小型着陸機を切り離す。さらに表面からサンプルを取得する。

地球帰還
2020年末ごろ



小惑星出発
2019年11-12月



安全を確認後、クレーターにタッチダウンを行い、地下物質を採取する。

衝突装置によって、小惑星表面に人工的なクレーターを作る。

(イラスト 池下章裕氏)

7



Mission flow



Launch
3 Dec 2014



Arrival at asteroid
June 27, 2018



Examine the asteroid by remote sensing observations. Next, release a small lander and rover and also obtain samples from the surface.

Earth return
late 2020



Depart asteroid
Nov-Dec 2019



Sample analysis

After confirming safety, touchdown within the crater and obtain subsurface samples

Use an impactor to create an artificial crater on the asteroid's surface

(Illustrations: Akihiro Ikeshita)

8



1. プロジェクトの現状と全体スケジュール



現状:

- 8月5日からは重力測定のための運用を開始し、8月7日の8:10頃(日本時間)において最低高度851mまで接近した。その後、8月10日にホームポジションに復帰した。
- これまで取得されたデータに基づいて、着地点の検討を行った。
- 8月18日からBox-B運用を開始した。(9月7日にBox-Aに戻る予定)

全体スケジュール:



9



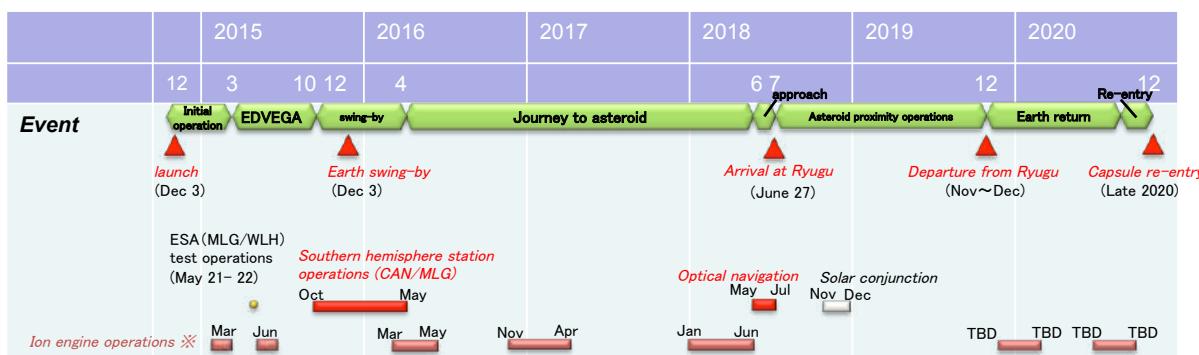
1. Current project status & schedule overview



Current status:

- On August 5, we began operations for gravity measurement, approaching Ryugu to an altitude minimum of 851m at around 08:10 JST on August 7. The spacecraft then returned to the home position on August 10.
- Based on the data obtained to date, we investigated possible landing points.
- BOX-B operations began on August 18 (scheduled to return to BOX-A on September 7).

Schedule overview:



10

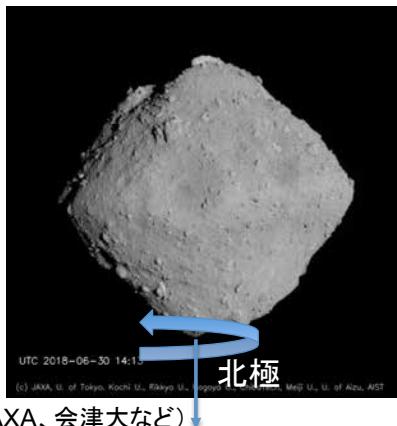


本資料における注意点



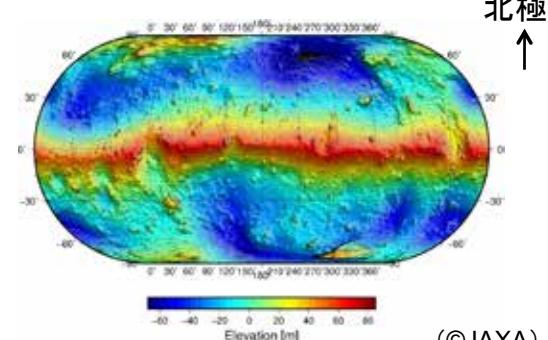
小惑星の向きに注意！

これまでの公開画像は、太陽系において北側（地球の北極がある方）を上にして描いていました。



リュウグウは自転が逆向き(逆行)

本資料では、通常の地図と同様に、北を上にして描いています。リュウグウが逆行自転していることにより、リュウグウの“北”は左の図の下側なので、上下が逆になります。今後は、画像含めて北を上にします。



リュウグウの“地図”的例

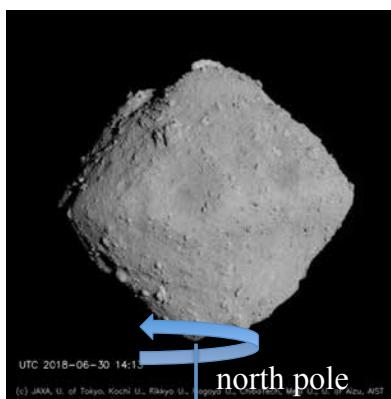


Points to note in this document



Pay attention to the orientation of the asteroid!

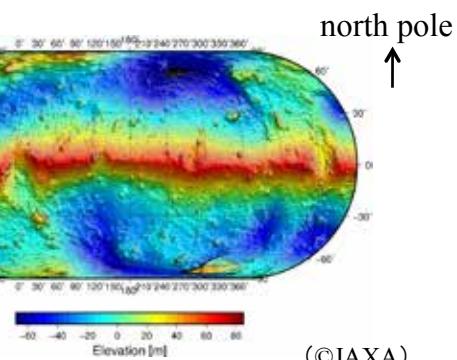
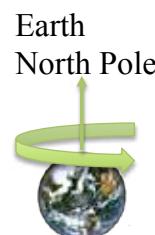
Public images so far have shown the northern direction of the Solar System (direction of the Earth's North Pole) pointing upwards.



(©JAXA, U. of Aizu et al.)

In this document, like a typical map, north is drawn pointing upwards. As Ryugu rotates backwards, Ryugu's “north” is at the bottom of the left-hand figure, but the top in this map (top and bottom are reversed).

From now on, public images also show the northern direction of Ryugu pointing upwards.



Ryugu has a reverse rotation (retrograde)

Example of a Ryugu “map”



2. 着地候補地点と予定日



着陸地点選定(LSS:Landing Site Selection)会議

- ・2018年8月17日に開催
- ・参加者 109人(リモート参加者を含む)
- ・外国人の参加者39人[DLRより14人、CNESより2人、NASAより2人]
- ・議論は午前10時から午後7時まで行われた

↓

タッチダウン、MASCOT、MINERVA-IIの着地候補地点を決定した



(©JAXA)

2018年8月17日 LSS会議の集合写真 13



2. Landing site candidates and expected dates

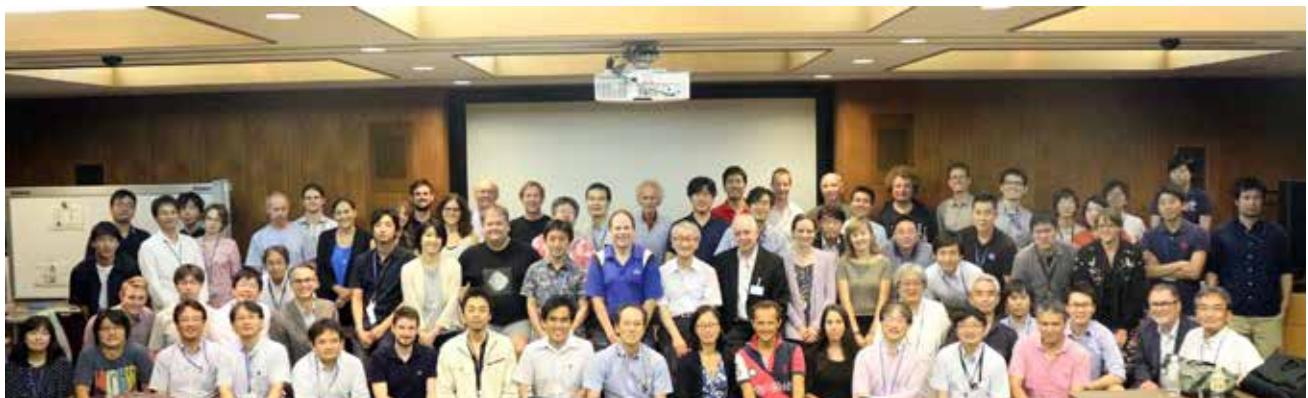


Landing Site Selection(LSS) conference:

- ・Held on August 17, 2018
- ・109 attendees (including remote participants)
- ・39 participants from overseas (14 from DLR, 2 from CNES and 2 from NASA)
- ・Discussion took place from 10 am to 7 pm.

↓

Determined candidate landing points for spacecraft touchdown, MASCOT & MINERVA-II



(©JAXA)

August 17, 2018: Group photo of LSS meeting

14

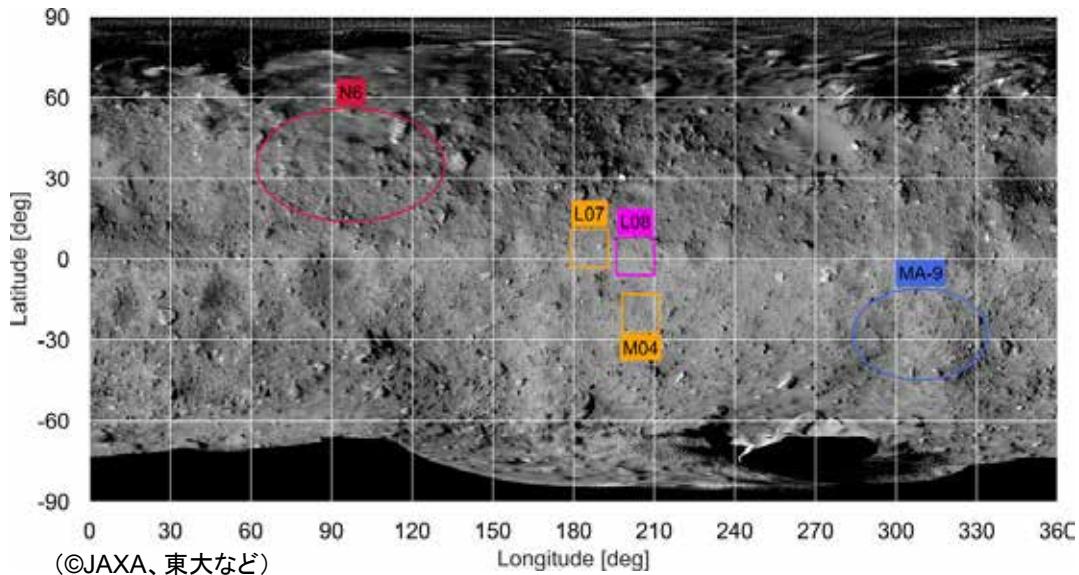


2. 着地候補地点と予定日



決定された着地候補地点

- | | |
|--------------|-------------------------|
| タッチダウン | : L08 (バックアップ: L07、M04) |
| MASCOT | : MA-9 |
| MINERVA-II-1 | : N6 |



15

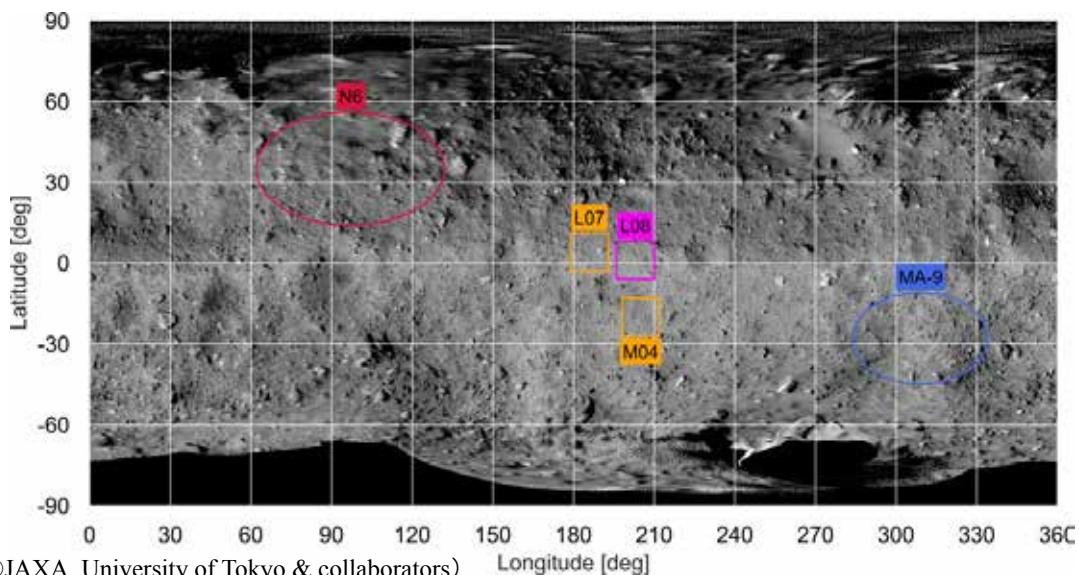


2. Landing site candidates and expected dates



Determined landing site candidates

- | | |
|--------------|-------------------------|
| Touchdown | : L08 (backup: L07、M04) |
| MASCOT | : MA-9 |
| MINERVA-II-1 | : N6 |



16



2. 着地候補地点と予定日



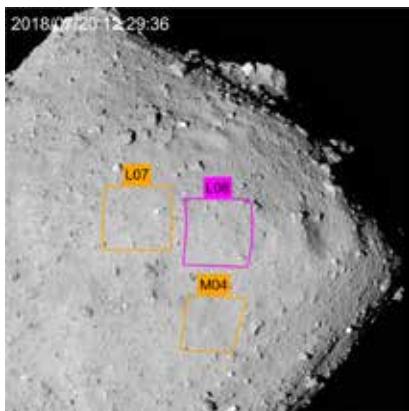
決定された着地候補地点

タッチダウン : L08(バックアップ:L07、M04)

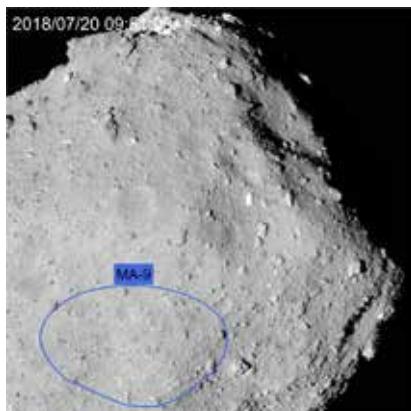
MASCOT : MA-9

MINERVA-II-1 : N6

タッチダウン



MASCOT



MINERVA-II-1



(©JAXA、東大など)

17



2. Landing site candidates and expected dates



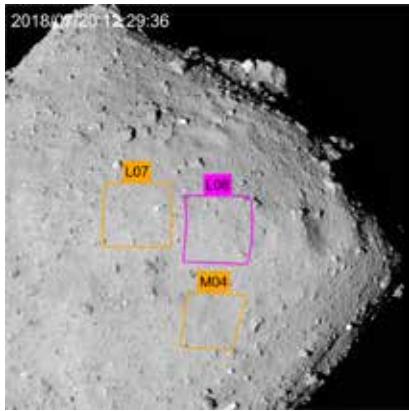
Determined landing site candidates

Touchdown : L08 (backup: L07, M04)

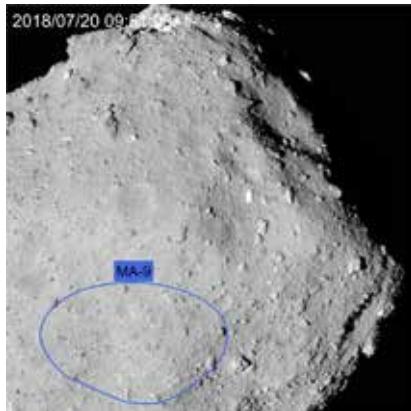
MASCOT : MA-9

MINERVA-II-1 : N6

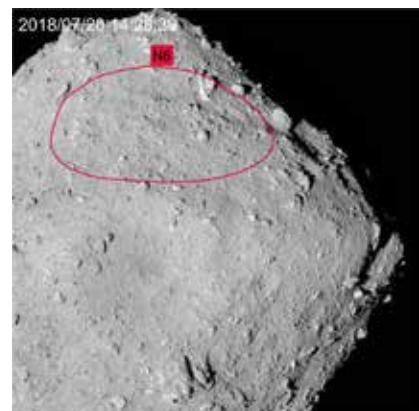
Touchdown



MASCOT



MINERVA-II-1



(©JAXA, University of Tokyo & collaborators)

18



2. 着地候補地点と予定日



運用予定日

タッチダウン1リハーサル1:9月11日～12日
(最下点到達:9月12日)

MINERVA-II-1運用 :9月20日～21日
(MINERVA-II-1分離:9月21日)

MASCOT運用 :10月2日～4日
(MASCOT分離:10月3日)

タッチダウン1リハーサル2:10月中旬

タッチダウン1 :10月下旬

注意:運用の日は変更になる場合があります。

19



2. Landing site candidates and expected dates



Operation Schedule

Touchdown 1 rehearsal 1: September 11 ~ 12
(Arrival at lowest altitude : September 12)

MINERVA-II-1 operation: September 20 ~ 21
(MINERVA-II-1 separation : September 21)

MASCOT operation: October 2 ~ 4
(MASCOT separation : October 3)

Touchdown 1 rehearsal 2: mid-October

Touchdown 1: late-October

Note: date of operations may be changed.

20



3. タッチダウン候補地点選定

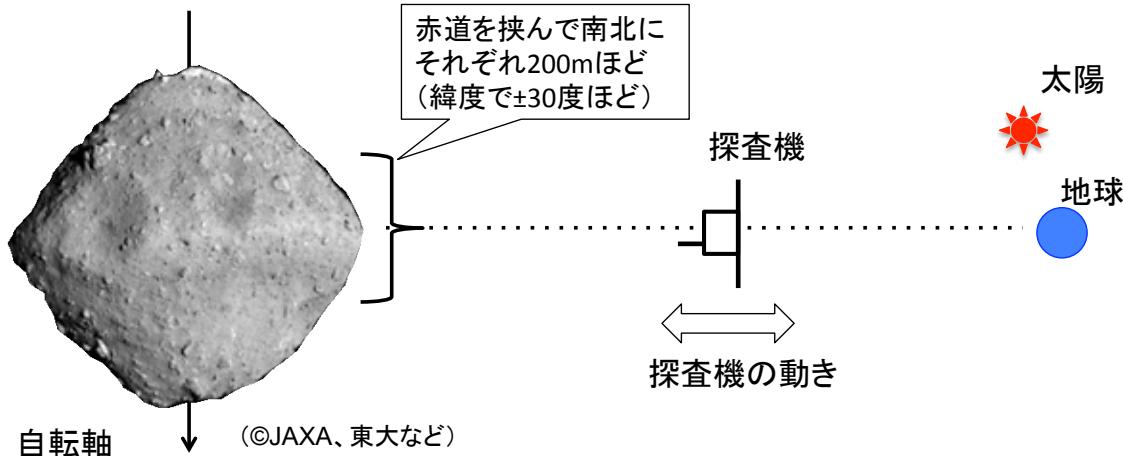


タッチダウン候補地点の前提条件—その1

探査機が着陸できる天体上の範囲

探査機は地球とリュウグウを結ぶ線に沿って移動できる。

↓
探査機が着地できるのは、リュウグウの赤道を中心として南北に
それぞれ200m程度の領域（緯度で±30°程度の範囲）



21



3. Selection of touchdown site candidates

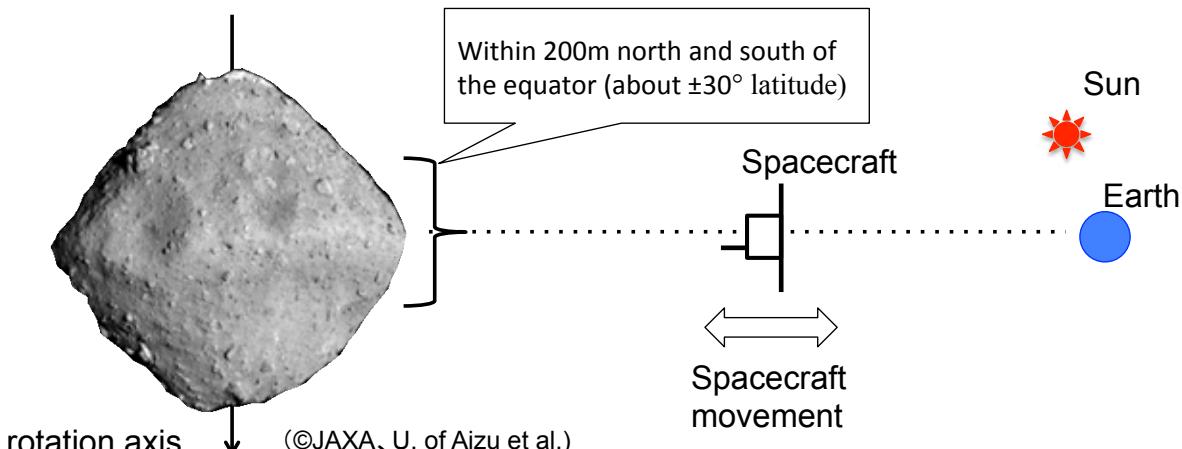


Prerequisites for touchdown candidate points, part 1

Range on the celestial body where the spacecraft can land

The spacecraft can move along the line connecting the Earth and Ryugu.

↓
The region where the spacecraft can land is the area within about 200 m to the north and south of Ryugu's equator (range of about ±30° latitude)



22



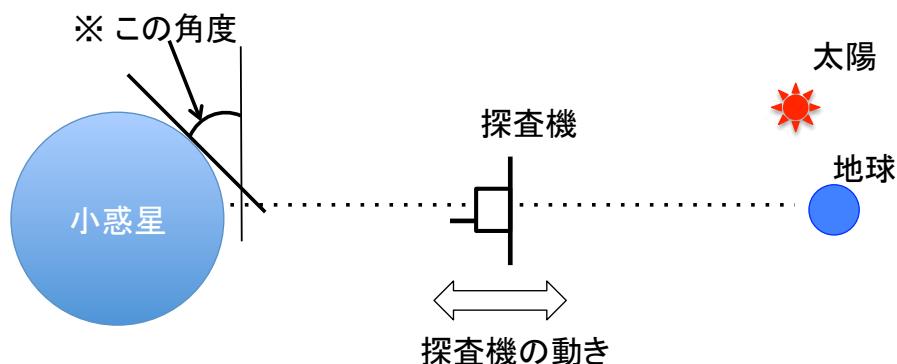
3. タッチダウン候補地点選定



タッチダウン候補地点の前提条件—その2

探査機が着陸できる表面の条件

- (1) 平均斜度30度以内※ ←太陽電池のパドルの向きの制限
- (2) 直径100mの平坦部分 ←航法誘導の精度
- (3) ボルダーは高さ50cm以下 ←サンプラーhornの長さ
- (4) 絶対温度370K(97°C)度以下←機器の動作温度範囲保持



23



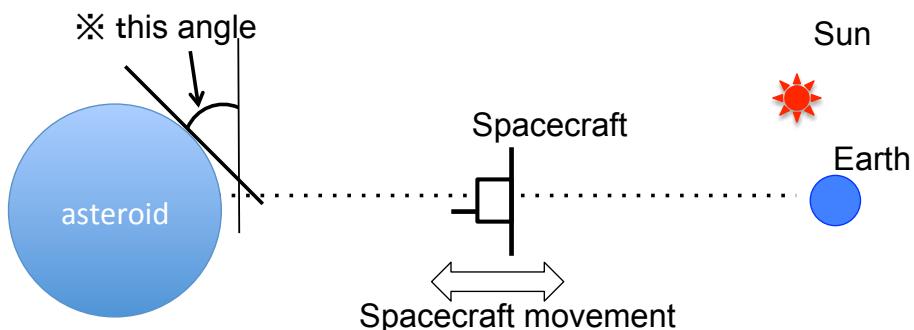
3. Selection of touchdown site candidates



Prerequisites for touchdown candidate points, part 2

Surface conditions suitable for landing

- (1) Average slope within 30° ※ ← Limit due to orientation of solar panels
- (2) Flat region with 100m diameter ← Navigation guidance accuracy
- (3) Boulder height less than 50cm ← Length of sampler horn
- (4) Absolute temperature less than 370K(97°C)
← Within operating temperature range of equipment



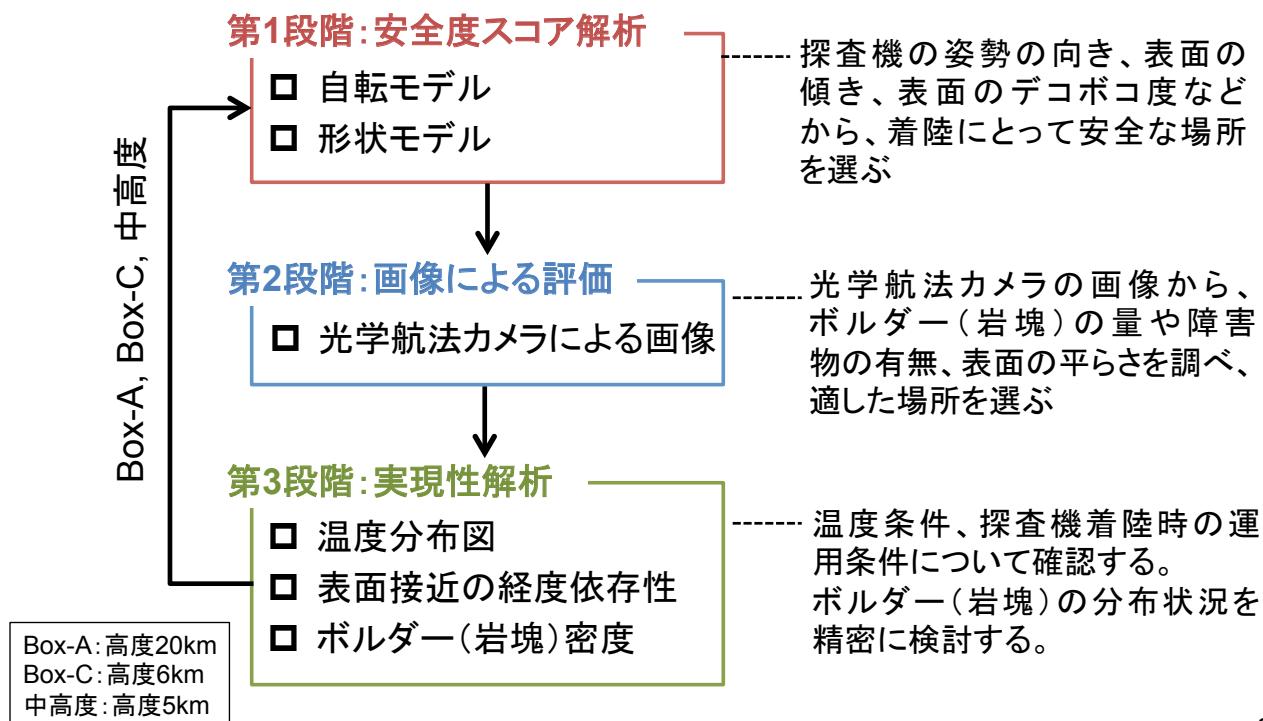
24



3. タッチダウン候補地点選定



タッチダウン候補地点の絞り込みの手順



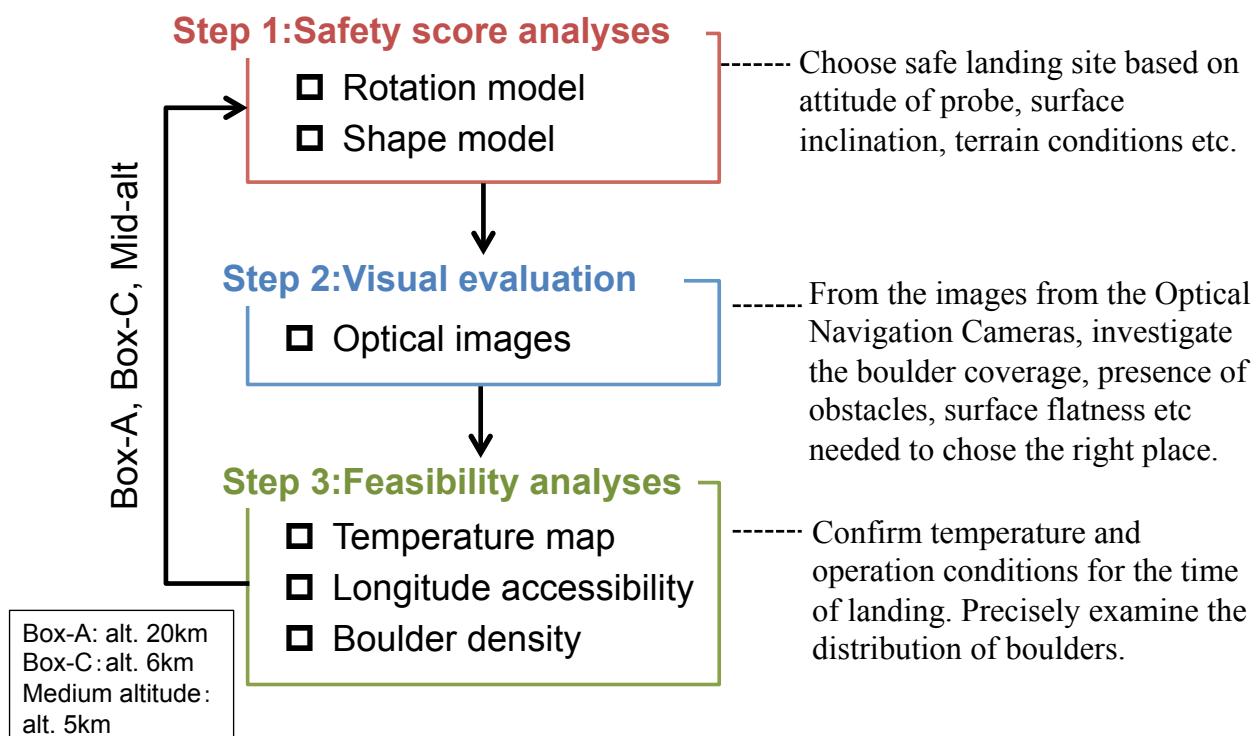
25



3. Selection of touchdown site candidates



Procedure of the selection of landing site candidates



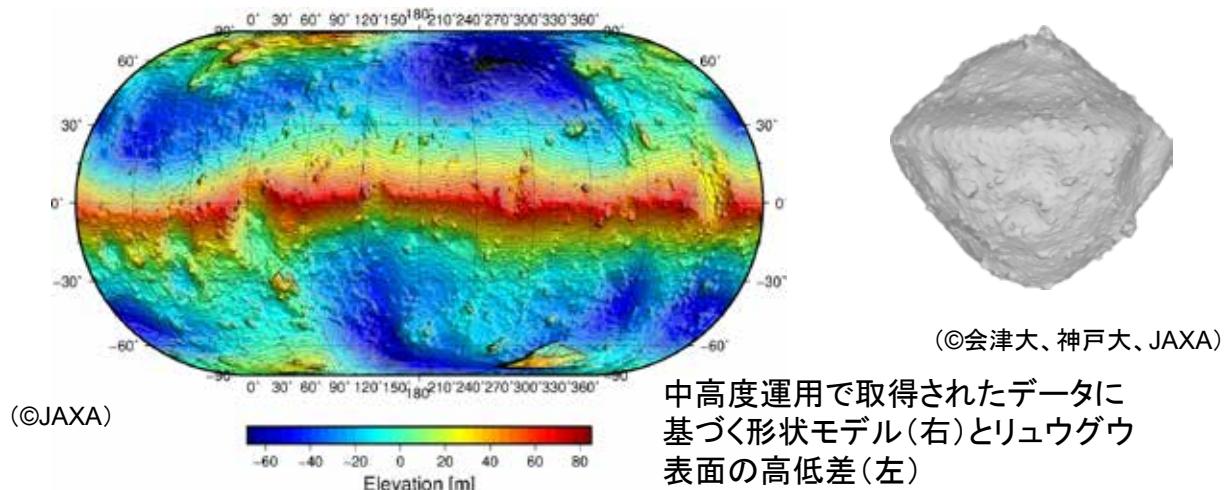
26



3. タッチダウン候補地点選定



タッチダウン候補地点の絞り込み: 第1段階-形状モデルより



形状モデルより、各場所における「安全度スコア」を求める。

考慮される項目:

- ・太陽角(探査機の+z軸方向と太陽方向とがなす角)
- ・表面の傾き
- ・表面のデコボコ度

安全度スコアの値より、より安全な場所を選ぶ。

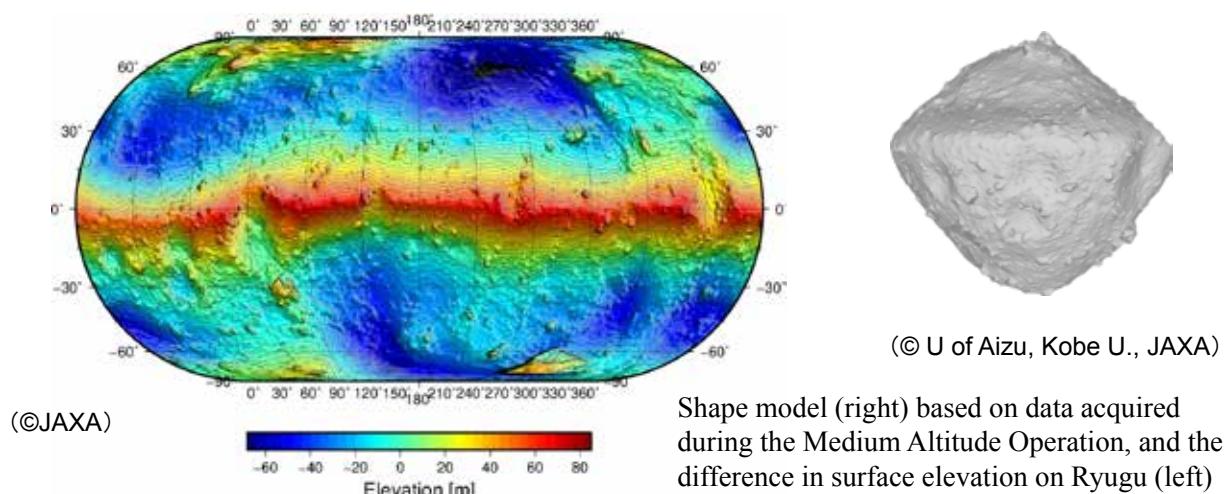
27



3. Selection of touchdown site candidates



Narrow down touchdown candidates: Step 1, from shape model



Safety score for each point is calculated by using the shape model.

Items considered:

- ・Sun angle(angle between +z axis of S/C and the sun)
- ・Slope angle
- ・Roughness

The safety score value can aid selecting a safe location.

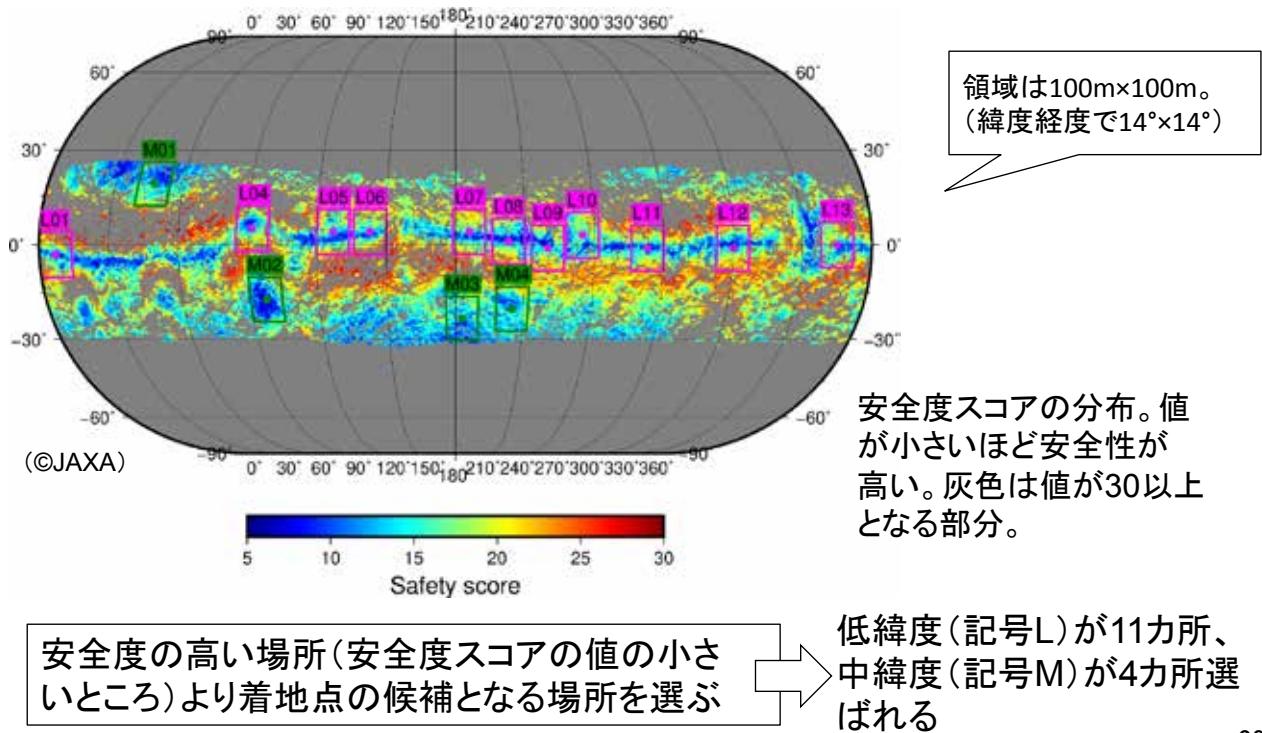
28



3. タッチダウン候補地点選定



タッチダウン候補地点の絞り込み: 第1段階-形状モデルより



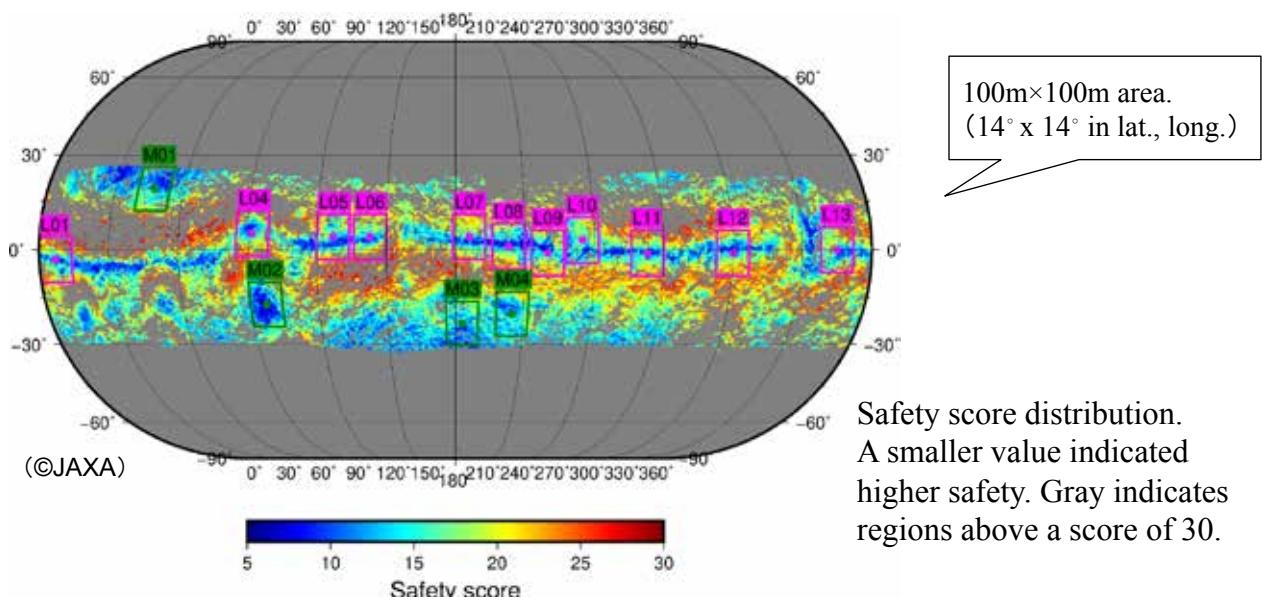
29



3. Selection of touchdown site candidates



Narrow down touchdown candidates: Step 1, from shape model



11 low latitude (“L”) and 4
middle latitudes (“M”) were
selected.

30



3. タッチダウン候補地点選定



タッチダウン候補地点の絞り込み: 第2段階-画像より

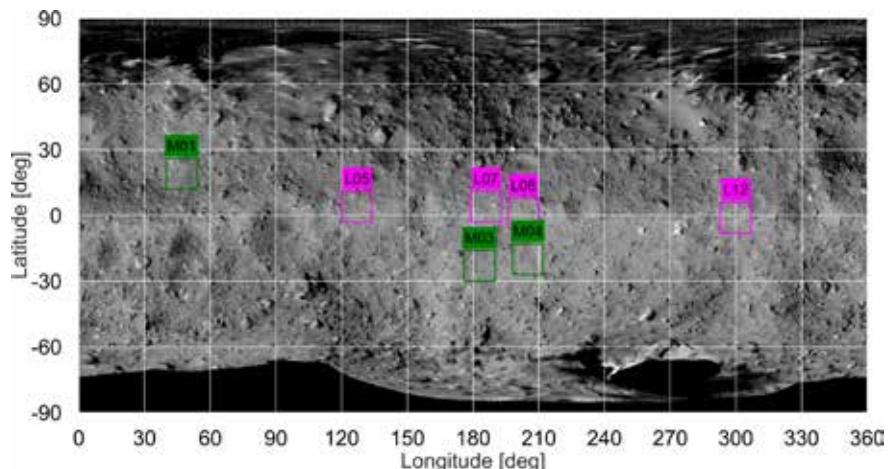
光学航法カメラで撮影された画像より候補地を絞り込む。

注目点:

- ・ボルダー(岩塊)の量
- ・東側の障害物の有無※
- ・平らさ

低緯度(記号L)が4カ所、
中緯度(記号M)が3カ所に
絞り込まれる

※探査機が着陸するときに東側から接近していくので、東側に障害物があると危険



31



3. Selection of touchdown site candidates



Narrow down touchdown candidates: Step 2, from images

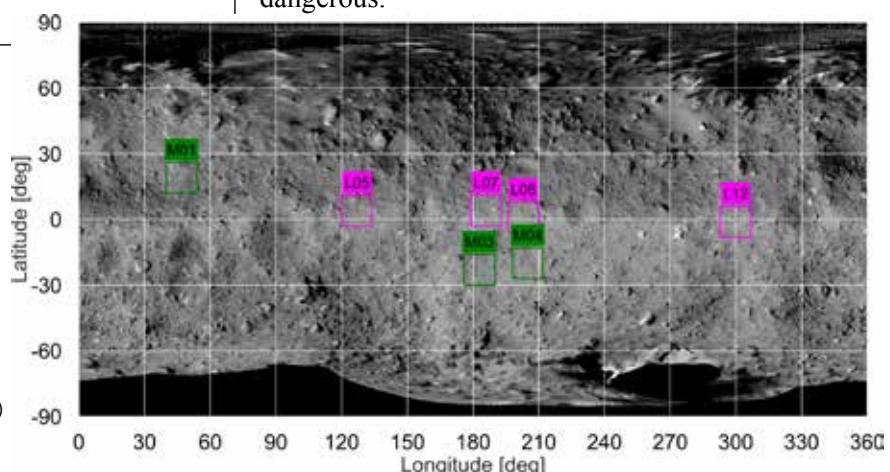
Choose candidate sites from images captured with the Optical Navigation Cameras:

Features to note:

- ・Boulder coverage
- ・Obstacles on the east side※
- ・flatness

Narrow down to four low latitude ("L") and three mid-latitude ("M") sites.

※Since the spacecraft will approach from the east when landing, obstacles on the east side are dangerous.



32

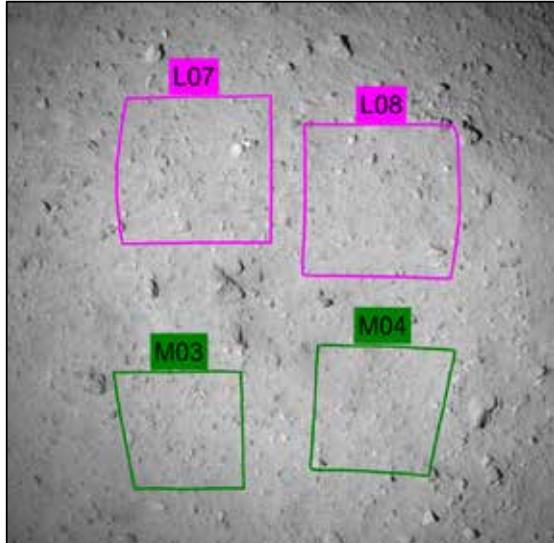


3. タッチダウン候補地点選定

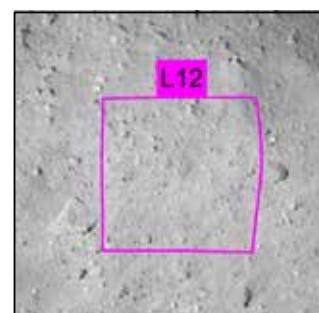
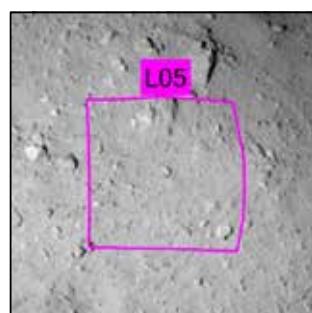
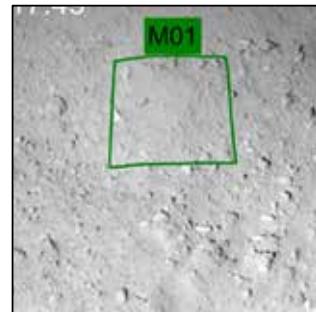


タッチダウン候補地点の絞り込み: 第2段階-画像より

絞り込まれた候補: 低緯度(記号L)が4カ所、中緯度(記号M)が3カ所



(©JAXA、東大など)



33

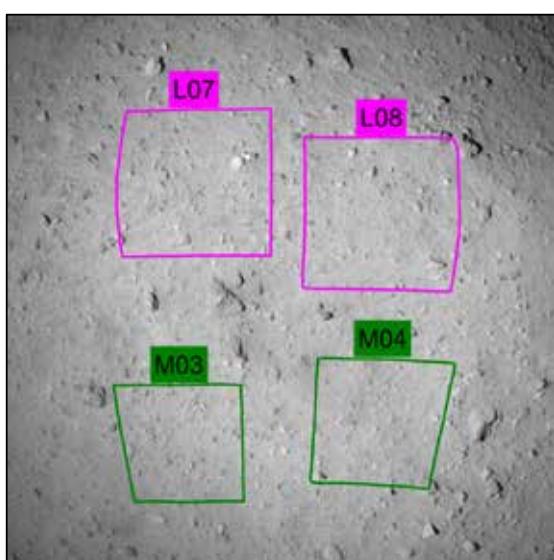


3. Selection of touchdown site candidates

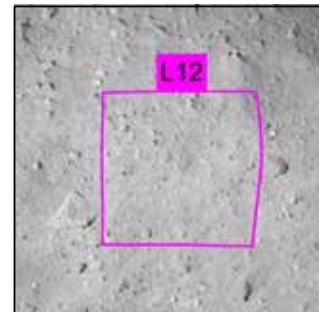
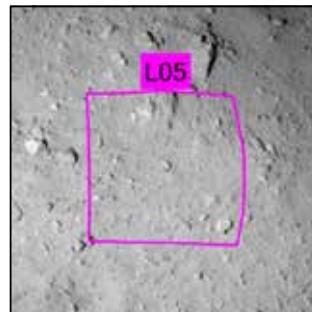
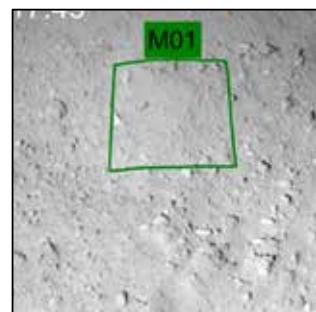


Narrow down touchdown candidates: Step 2, from images

Candidate sites: four low latitude ("L") and three mid-latitude ("M")



(©JAXA、U. Tokyo et al.)



34



3. タッチダウン候補地点選定



タッチダウン候補地点の絞り込み: 第3段階-実現性より

絞り込まれた7候補(低緯度4カ所、中緯度3カ所)からの更なる絞り込み

表面温度の確認:
絶対温度で370K以下

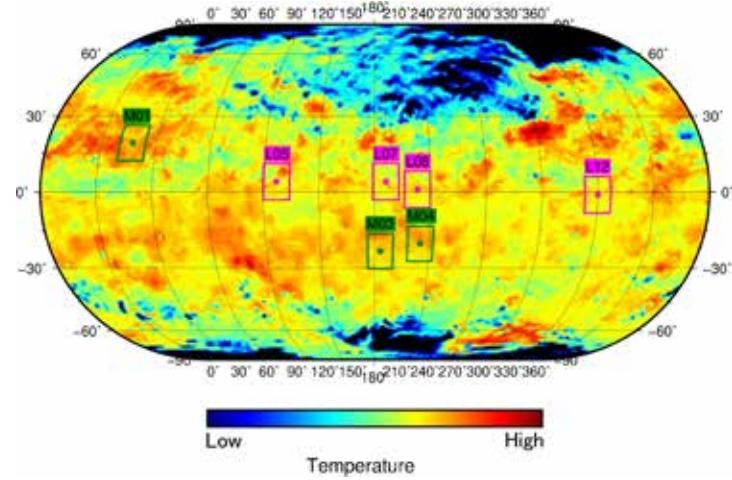
7候補地点すべてでOK

表面接近の経度依存性:
地上追跡局との通信が途絶え
ないこと

7候補地点すべてでOK

ボルダー(岩塊)密度:
ボルダーは少ない方が好ましい

7候補地点を比較



(©JAXA、足利大学など)

35



3. Selection of touchdown site candidates



Narrow down touchdown candidates: Step 3, feasibility

Further narrowing down from 7 candidates (4 low latitude, 3 mid-latitude)

Surface temperature:
absolute temperature
of 370 K or less.

7 candidate points all OK

Longitude dependence of surface
approach: communication with
ground tracking stations uninterrupted

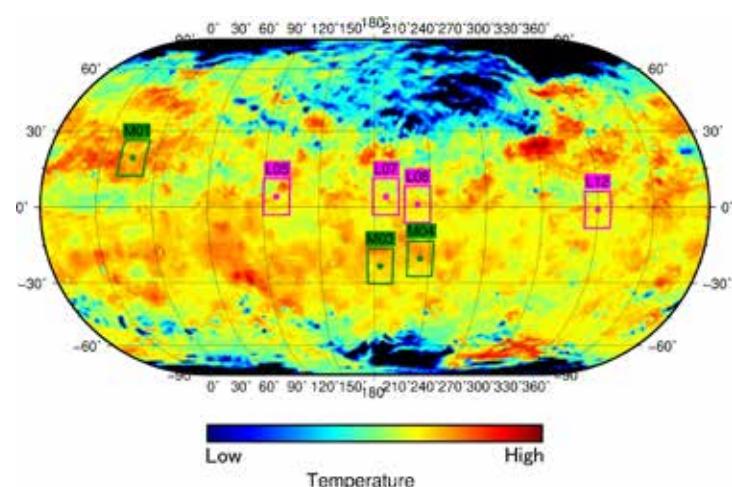


7 candidate points all OK

Boulder number density:
less boulders are preferred



Compare the 7 possible sites



Surface temperature distribution map

(©JAXA、Ashikaga U et al.) 36



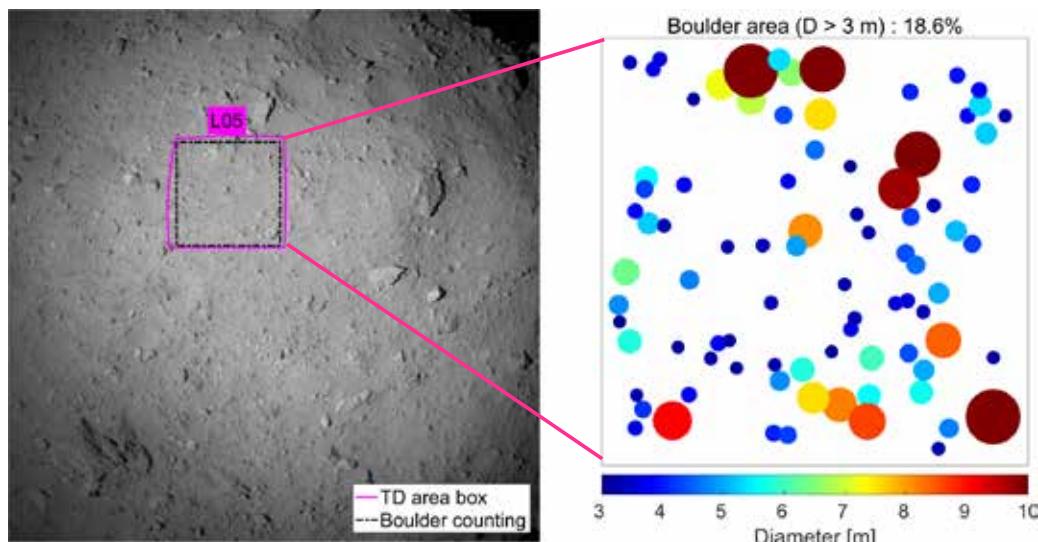
3. タッチダウン候補地点選定



タッチダウン候補地点の絞り込み: 第3段階-実現性より

絞り込まれた7候補(低緯度4カ所、中緯度3カ所)からの更なる絞り込み

ボルダー(岩塊)マップを作成しボルダーによる被覆率を調べる



(©JAXA、東大など)

ボルダー(岩塊)マップの例

37



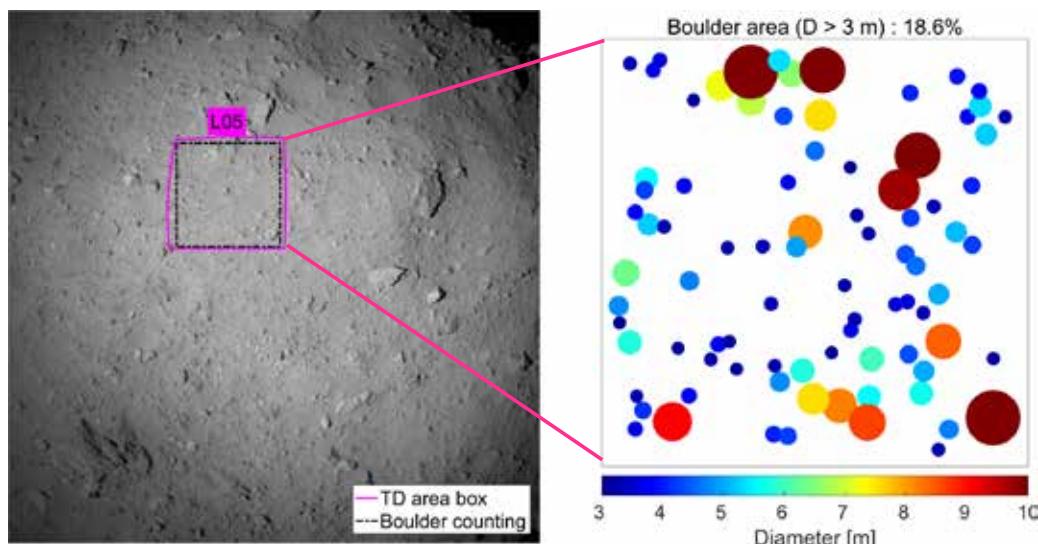
3. Selection of touchdown site candidates



Narrow down touchdown candidates: Step 3, feasibility

Further narrowing down from 7 candidates (4 low latitude, 3 mid-latitude)

Create boulder map and check boulder coverage



(©JAXA, U. Tokyo et al)

Example boulder map

38

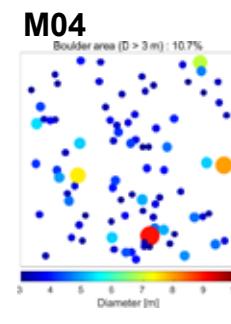
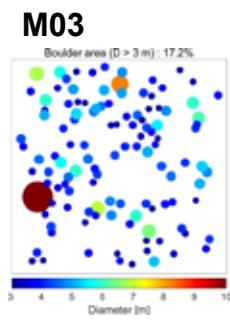
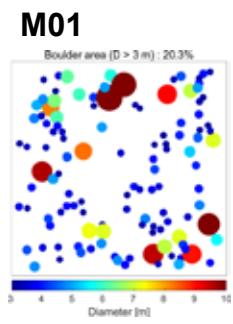
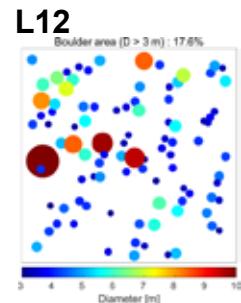
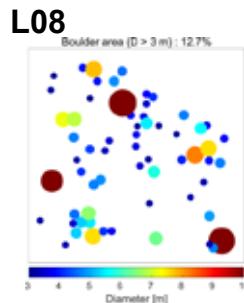
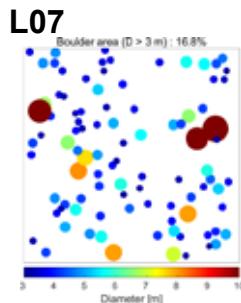
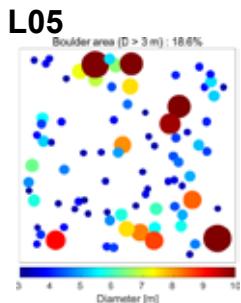


3. タッチダウン候補地点選定



タッチダウン候補地点の絞り込み: 第3段階-実現性より

絞り込まれた7候補(低緯度4カ所、中緯度3カ所)からの更なる絞り込み
ボルダー(岩塊)マップを作成する。



ボルダー(岩塊)の分布。
直径が3m以上のボル
ダーについて色別で
大きさを示す。10m以
上のものは茶色。

(C)JAXA)

39



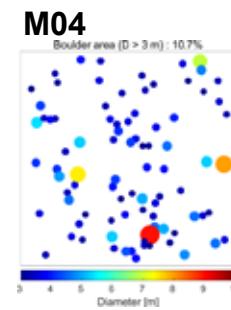
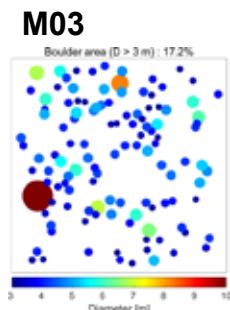
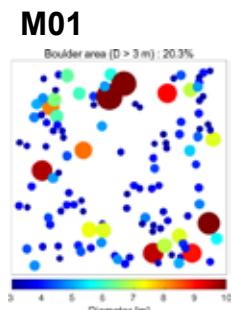
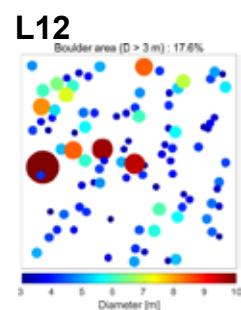
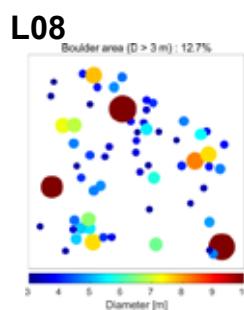
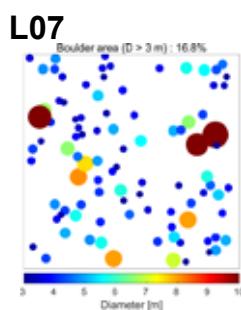
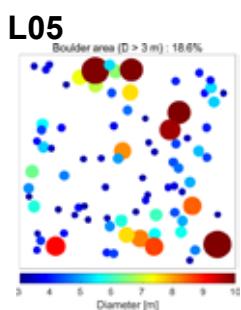
3. Selection of touchdown site candidates



Narrow down touchdown candidates: Step 3, feasibility

Further narrowing down from 7 candidates (4 low latitude, 3 mid-latitude)

Creating boulder maps



Distribution of boulders.
The size of boulders with a
diameter greater than 3m
is indicated by marker size
and color. Brown is for
boulders larger than 10m.

(C)JAXA)

40



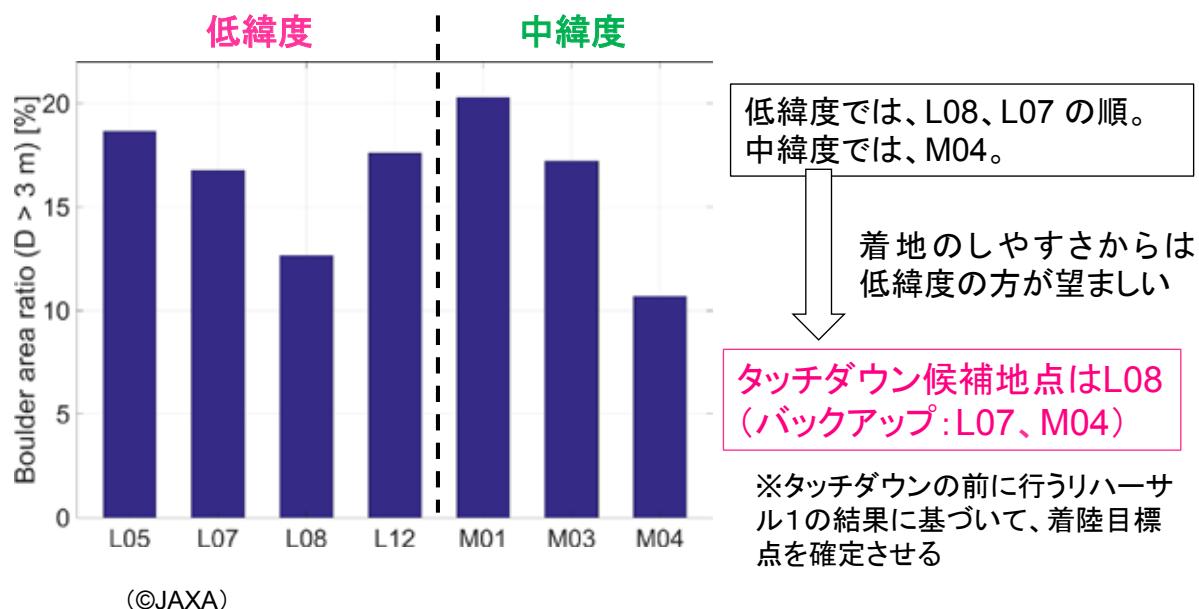
3. タッチダウン候補地点選定



タッチダウン候補地点の絞り込み：第3段階-実現性より

絞り込まれた7候補(低緯度4カ所、中緯度3カ所)からの更なる絞り込み

ボルダー(岩塊)による被覆率を調べる



41



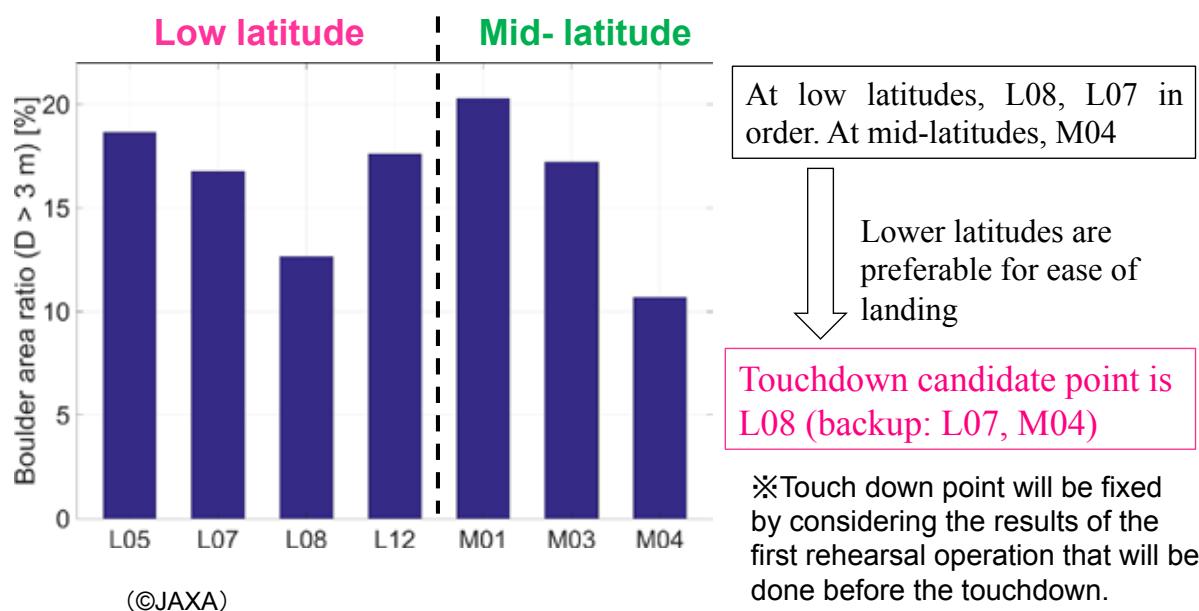
3. Selection of touchdown site candidates



Narrow down touchdown candidates: Step 3, feasibility

Further narrowing down from 7 candidates (4 low latitude, 3 mid-latitude)

Determining boulder coverage



42

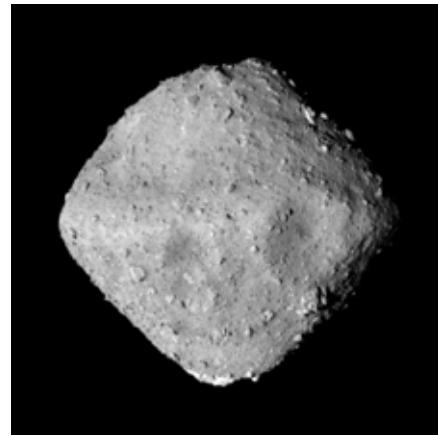


4. タッチダウン候補地点についての科学的検討



リュウグウの特徴

- ・コマ(独楽)型、円形の赤道形状
- ・半径: 平均 約450 m
(赤道半径 約500 m、極半径約440 m)
- ・質量: 約4.5億トン ($GM=$ 約 $30 \text{ m}^3\text{s}^{-2}$)※
- ・自転軸の向き: $(\lambda, \beta) = (180^\circ, -87^\circ)$
- ・赤道傾斜角: 約8°
- ・自転周期: $P = 7.63$ 時間
- ・反射率因子(v-band): 0.02
- ・クレーターの数密度: イトカワやエロスと同等
- ・多数のボルダー(岩塊)の存在: 最大のものは南極付近に存在(約130m)
- ・可視光におけるスペクトル: 平坦、赤道付近や極付近で青っぽい
- ・近赤外におけるスペクトル: 平坦な(少し赤みがかっている)スペクトル、水による弱い吸収あり
- ・輝度温度: 強いroughness効果あり(昼間における温度変化が小さい)、赤道付近で熱慣性がより大きい



(©JAXA、東大など)

(※赤道での重力は地球の約8万分の1、イトカワの数倍の重力となる)

43

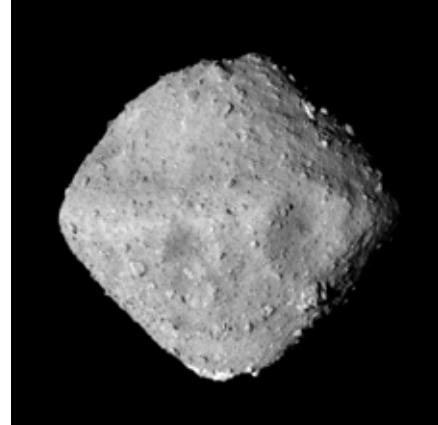


4. Science discussions for touchdown site candidates



Features of Ryugu

- Top shape with a very circular equatorial bulge
- Radius: mean ~ 450 m
(equatorial ~ 500 m, polar ~ 440 m)
- Mass: ~ 450 million ton ($GM \sim 30 \text{ m}^3\text{s}^{-2}$)※
- Rotation axis: $(\lambda, \beta) = (180^\circ, -87^\circ)$
- Obliquity: $\sim 8^\circ$
- Rotation period: $P = 7.63$ hours
- Reflectance factor (v-band): 0.02
- Crater number density: as much as those on Itokawa and Eros
- Many boulders: the largest near the south pole is ~ 130 m across
- Optical spectra: flat spectra, bluer in equatorial bulge and poles
- NIR spectra: uniform flat (slightly redder) spectra with weak water absorption
- brightness temperature: strong roughness effect (flat diurnal Temperature variation), higher thermal inertia in the equatorial bulge



(©JAXA、University of Tokyo & collaborators)

(※The gravity at the equator is eighty-thousandth of the Earth and a few times of Itokawa)

44



4. タッチダウン候補地点についての 科学的検討



着地点候補についての科学的評価のポイント

■ ポイント1: 表面物質

- ・中間赤外カメラのデータより表面温度と熱物理特性を調べる。
- ・近赤外分光計によるスペクトルデータより、物質の差異を調べる。
- ・光学航法カメラの波長別の画像より、地形・地質や宇宙風化を調べる。
↓
※サイエンスとして成果が期待できるかどうかを評価する

■ ポイント2: 安全性

- ・ボルダーのサイズ分布・空間分布を調べる(画像やレーザ高度計データより)
↓
※ボルダーのサイズ頻度分布等から小さいボルダーネ数も推定し安全性を評価

■ ポイント3: サンプルの収量

- ・中間赤外カメラの観測データより表面粒径を推定する
↓
※表面にあるレゴリスの粒径から、より多くサンプルが採取される場所を評価

45



4. Science discussions for touchdown site candidates



Scientific evaluation points of landing site candidates

■ Point 1: surface properties

- ・Examine surface temperature and thermophysical properties using the Thermal Infrared Imager data.
- ・Examine composition differences using spectral data from the Near Infrared Spectrometer.
- ・Examine terrain, geology and space weathering from different wavelength images from the Optical Navigation Camera.
↓
※ Evaluate potential scientific merit.

■ Point 2: safety

- ・Examine size and spatial distribution of boulders (from images and laser altimeter data).
↓
※ Evaluate safety by estimating the number of small boulders from the boulder size distribution.

■ Point 3: sample yield

- ・Estimate surface grain sizes from observational data from the Thermal Infrared Imager.
↓
※ From the particle size of surface regolith, evaluate where the maximum amount of sample can be gathered.

46

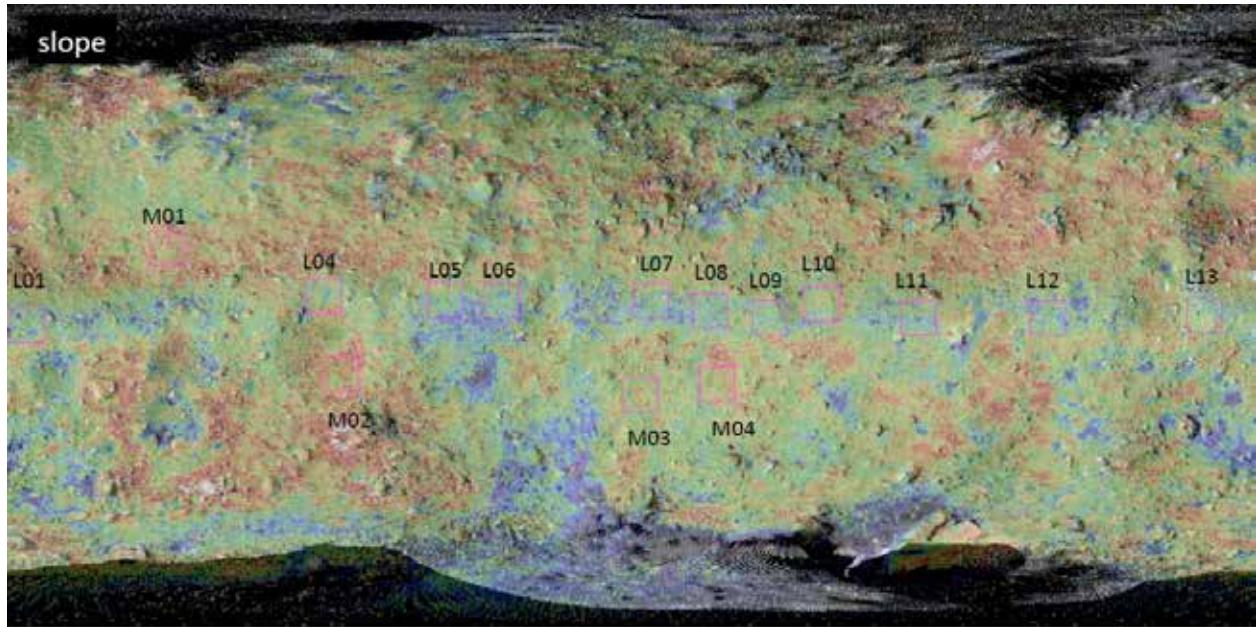


4. タッチダウン候補地点についての 科学的検討



着地点候補についての科学的評価のポイント(データの例)

ONC-T によるスペクトル勾配マップ (Box-C)



(©JAXA、東大など)

47

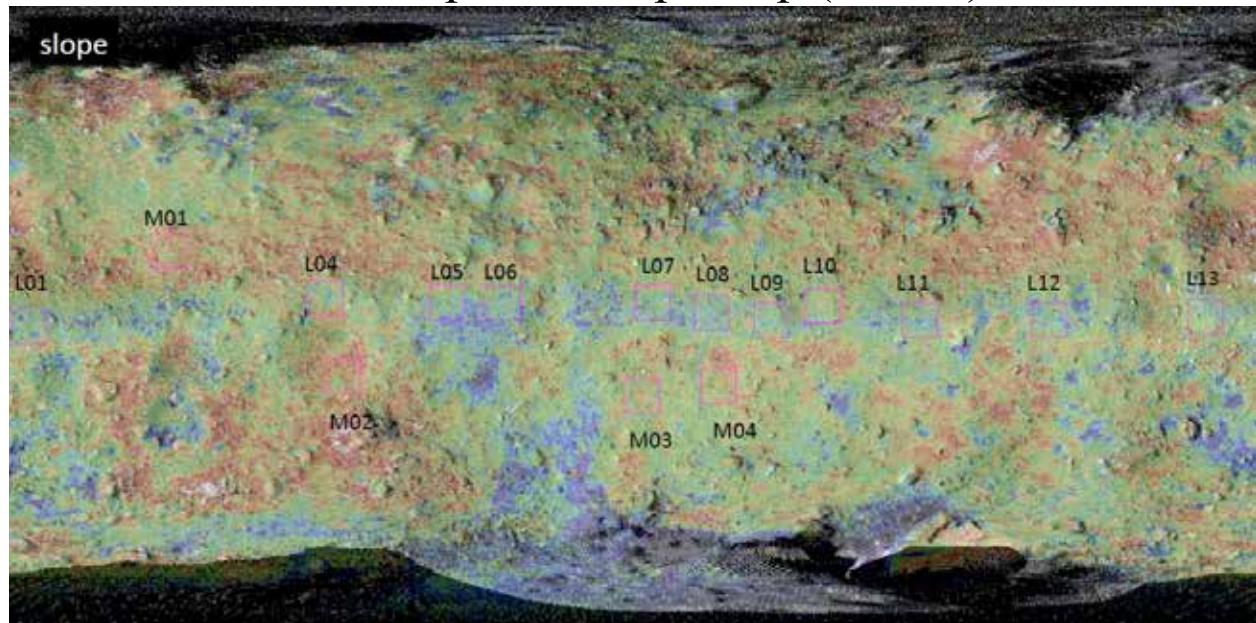


4. Science discussions for touchdown site candidates



The points for scientific evaluation of the landing site candidates:
one example from observation data.

ONC-T spectral slope map (Box-C)



(©JAXA, University of Tokyo & collaborators)

48



4. タッチダウン候補地点についての科学的検討



着地点候補についての科学的評価のまとめ

候補地	ポイント1 表面物質	ポイント2 安全性	ポイント3 サンプル収量	合計
L5	22	29	12	63
L7	22	31	12	65
L8	22	31	12	65
L12	22	31	11	64
M1	21	33	13	67
M3	21	30	13	64
M4	21	33	13	67

評価に大きな差はないが、低緯度(L)ならばL08、L07がよい。中緯度(M)ならば、M1、M4がよい。

表面温度、可視・近赤外線のスペクトルなどにおいて、表面上大きな違いはなく、ほぼ一様である。ただし、微小な違いがあり、スペクトル特性からは、低緯度の方が、より多様な粒子を含んでいることが期待される。

中緯度(M)の方がより小さいサイズの粒子が多いと思われ、サンプルの収量がより多くなると期待される。

確認されたボルダー(岩塊)の量や推定されたより小さいボルダーの量、さらに表面のroughnessなどの情報から安全性を評価。

49



4. Science discussions for touchdown site candidates



Summary of the scientific evaluation of landing point candidates

Candidate site	Point 1 surface properties	Point 2 safety	Point 3 Sample yield	Total
L5	22	29	12	63
L7	22	31	12	65
L8	22	31	12	65
L12	22	31	11	64
M1	21	33	13	67
M3	21	30	13	64
M4	21	33	13	67

Although no big difference in evaluation, L08 & L07 are good for low latitude (L). M1 & M4 are good if mid-latitude (M) is preferred.

Surface temperature, visible / near-infrared spectrum etc. There is no big differences across the surface, which is almost uniform. However, there are minor differences. Spectral characteristics indicate that lower latitudes may contain more diverse particles.

Mid-latitudes (M) seem to have many smaller sized particles, which is expected to increase the sample yield.

Safety is evaluated from information such as number density of boulders, estimated number of smaller boulders and surface roughness.

50



4. タッチダウン候補地点についての 科学的検討

着地点候補についての科学的評価のまとめ



科学的に重要な点：

- (1) リュウグウ表面物質の混合比の場所による差異は小さい。
- (2) リュウグウ表面には、多様性を持った異なる物質が混じった状態で存在している。
- (3) どこからサンプルを採取しても、リュウグウ全体を代表する多様性のある資料が採取できる可能性が高い。

51



4. Science discussions for touchdown site candidates



Summary of the scientific evaluation of landing point candidates

Scientifically important points:

- (1) Difference in mixing ratio of Ryugu surface material has a low dependence on location.
- (2) A diversity of different materials are present mixed together on Ryugu's surface.
- (3) Regardless of where the sample is collected, there is a high possibility of gathering diversified materials that represent the whole of Ryugu.

52



5. MASCOTの着地候補地点選定

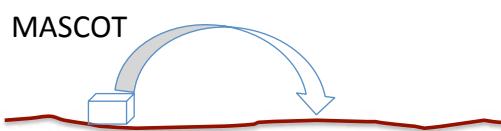
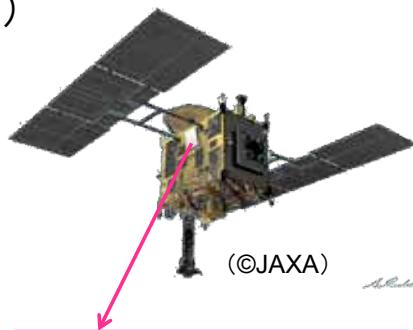


MASCOT (Mobile Asteroid Surface Scout)

- DLR (ドイツ航空宇宙センター)と CNES(フランス国立宇宙研究センター)によって製作
- 約10kgの小型の着陸機
- 4つの科学機器を搭載
- 1度だけジャンプして移動可能

MASCOT搭載科学機器

機器名	機能
広角カメラ (MASCAM)	複数波長での画像の撮影
分光顕微鏡 (MicrOmega)	鉱物組成・特性の調査
熱放射計 (MARA)	表面温度の測定
磁力計 (MASMAG)	磁場の測定



フライトモデル (© DLR)



53



5. Selection of landing site candidates for MASCOT

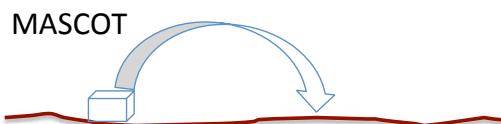
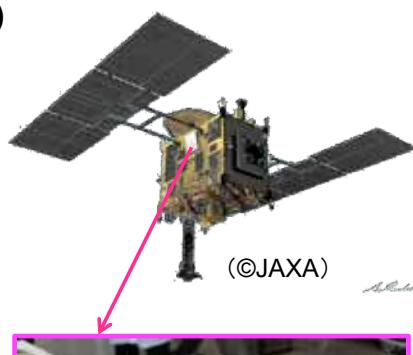


MASCOT (Mobile Asteroid Surface Scout)

- Created by DLR (German Aerospace Center) and CNES (French National Centre for Space Studies)
- Small lander with mass approx. 10 kg
- Carries four scientific instruments
- Can move only once, by jumping

Scientific instruments aboard MASCOT

Device	Function
Wide-angle camera (MASCAM)	Imaging at multiple wavelengths
Spectroscopic microscope (MicrOmega)	Investigation of mineral composition and characteristics
Thermal radiometer (MARA)	Surface temperature measurements
Magnetometer (MASMAG)	Magnetic field measurements



Flight model (© DLR)



54

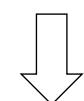


5. MASCOTの着地候補地点選定



MASCOTの着地点選定の条件

- ・タッチダウン候補地の外に着地する(確率95%以上)
- ・小惑星の自転周期の40%以上の期間において、通信できる確率が90%以上となる
- ・太陽の光が当たる期間が40%～70%となる確率が90%以上となる
- ・バックアップの候補地が北半球および南半球に存在する
- ・MINERVA-IIの着地候補地点と重ならない



10,000回～100,000回のモンテカルロ・シミュレーションで検討



10カ所選定



6カ所に絞り込み、順位付け

さらに考慮する点

- ・温度に関する条件(日照、姿勢、分離前の昇温、小惑星表面温度、夜におけるMASCOT直下の温度)
- ・運用の条件
- ・ボルダー(岩塊)の条件
- ・4つの機器の観測条件

55

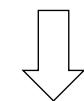


5. Selection of landing site candidates for MASCOT



Criteria for the selection of landing site candidates for MASCOT

- Probability to land outside the candidates for touchdown > 95 %
- Probability to have RF link during at least 40% of the asteroid period > 90 %
- Probability to have a good daylight ratio (between 40% and 70%) > 90 %
- Selection among remaining candidates to have one candidate per reachable and suitable zone, in northern as well as in southern hemisphere
- No overlap with the landing site candidates for MINERVA-II



computed 10,000 ~ 100,000 Monte-Carlo trials



10 candidates



6 candidates & prioritization

Further conditions

- ・Temperature (illumination, orientation, heating, prior separation, asteroid surface temperature, night temperature underneath MASCOT)
- ・Operation
- ・Boulders
- ・Observation conditions for four instruments

56



5. MASCOTの着地候補地点選定



着地点についての科学的な判断基準

機器	着地点についての判断基準
MicrOmega (分光顕微鏡)	C(炭素)やOH(ヒドロキシ基)を多く含む物質がある 高いSNR(信号雑音比)を得るために着地点の温度が低い必要あり
MASCAM (広角カメラ)	視野にはいるボルター(岩塊) 微粒子 異なる物質が混じっていること(スペクトル！) 新鮮な物質(宇宙風化を受けていない)
MARA (熱放射計)	レゴリス層が薄いか無い ボルダー(岩塊)の近くに着地することが好ましい 熱的に変性していない場所を優先
MASMAG (磁力計)	細かい粒子のレゴリスで熱慣性が低い 熱慣性が一様(MARAやTIRのデータとの関連) 岩石の量が少ない→視野内に不均一性がない



「はやぶさ2」に搭載されたリモートセンシング機器によるリュウグウの初期観測結果：表面全体にわたって大きな変化はない→一様である

57



5. Selection of landing site candidates for MASCOT



Scientific Criteria for Landing Site

Instrument	Criteria for Landing Site
MicrOmega	Composition of C-rich and/or OH-rich content. Low Temperature of landing site for high SNR (signal-to-noise ratio).
MASCAM	Boulders in the field of view Fine grained particles Compositional heterogeneity (color!) Fresh material (non-weathered)
MARA	Thin to no regolith layer. Landing or hopping close to boulders preferable. Preferentially less thermally altered region.
MASMAG	Low thermal inertia for fine grained fraction of the regolith Homogeneous thermal inertia (link the MARA + TIR data) Low rock abundance -> no inhomogeneities in the FoV (field of view)



Remote sensing instruments onboard HY2 give preliminary information on Ryugu : no big variation over the surface → homogenous

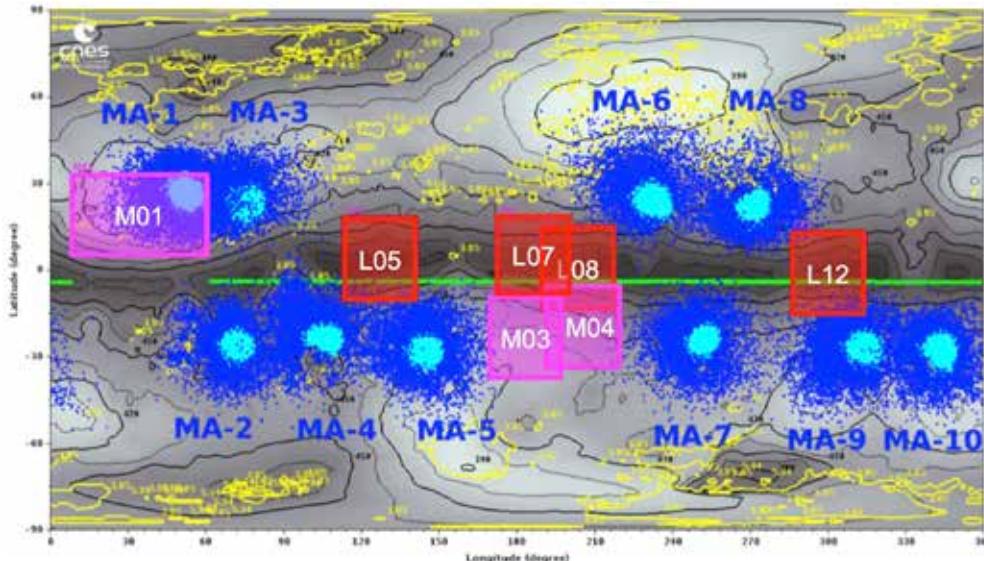
58



5. MASCOTの着地候補地点選定



MASCOTの着地点候補: 10カ所選定 (MA-1~MA-10)



(©DLR,CNES)

水色が最初に接地する領域で、青い領域が静止する領域。タッチダウン候補地点が赤(低緯度)およびピンク(中緯度)の四角で示されている。

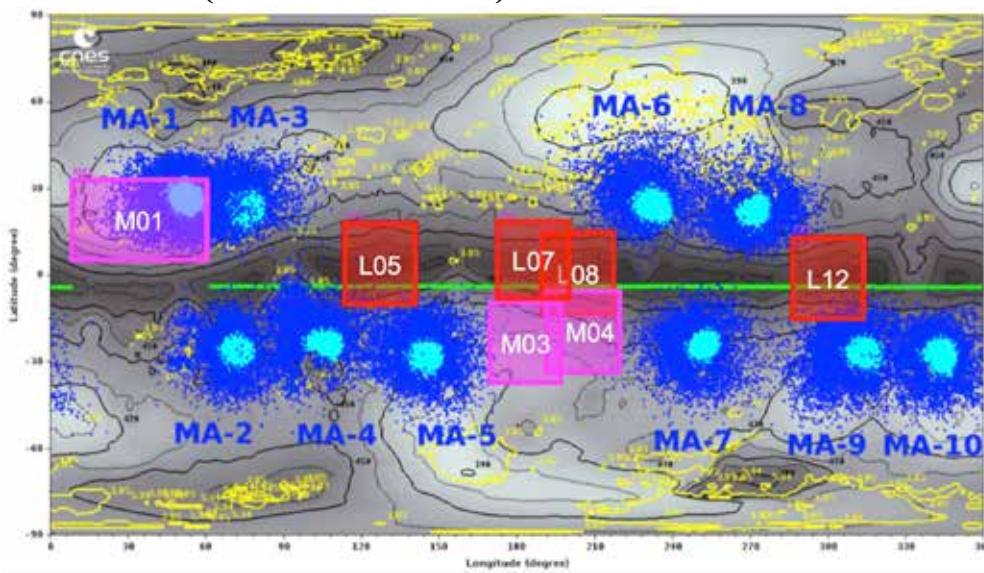
59



5. Selection of landing site candidates for MASCOT



Landing site candidates for MASCOT: selected 10 candidates (MA-1~MA-10)



(©DLR,CNES)

Light blue shows the first contact points and blue shows the first settlement points. The candidates of touchdown sites are shown by red squares (low latitude) and pink squares (mid- latitude).

60



5. MASCOTの着地候補地点選定



MASCOT 着地候補地点順位付け会議 (トゥールーズ 8月14日)



(© CNES/Rémi Benoît, 2018)

生産的な会合。リハーサルや訓練が役に立った(JAXAに感謝する)
=> 過程は複雑だったが、すべての項目についてスケジュールに沿って行うことができた。

61



5. Selection of landing site candidates for MASCOT



MASCOT Ranking meeting (Toulouse Aug 14)



(© CNES/Rémi Benoît, 2018)

Fruitful meeting, useful rehearsal and training (thanks to JAXA)
=> complex process but all milestones/deliveries were reached according to the schedule

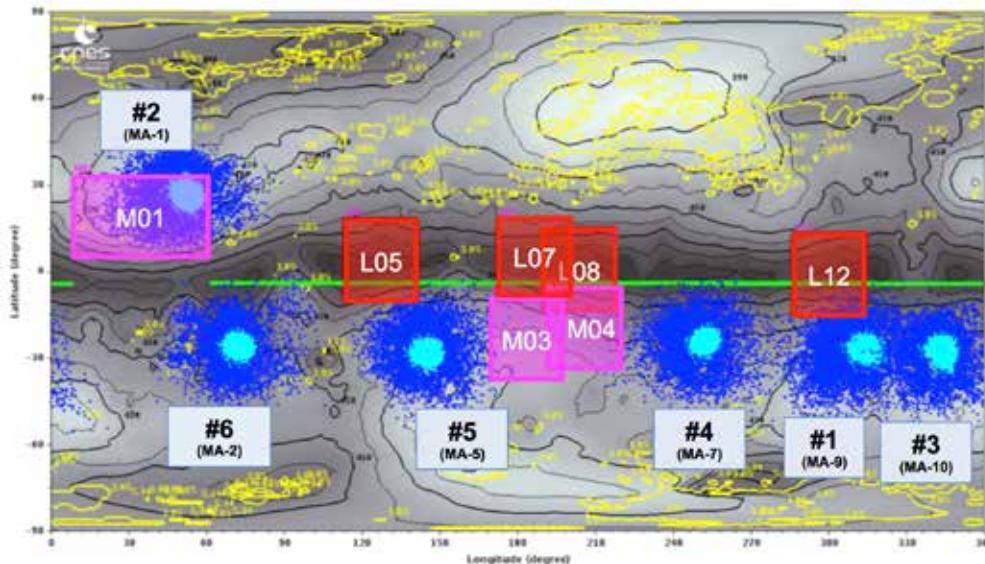
62



5. MASCOTの着地候補地点選定



MASCOTの着地点候補:10カ所からの絞り込みと優先順位付け



着地点候補の優先順位:MA-9 > MA-1 > MA-10 > MA-7 > MA-5 > MA-2

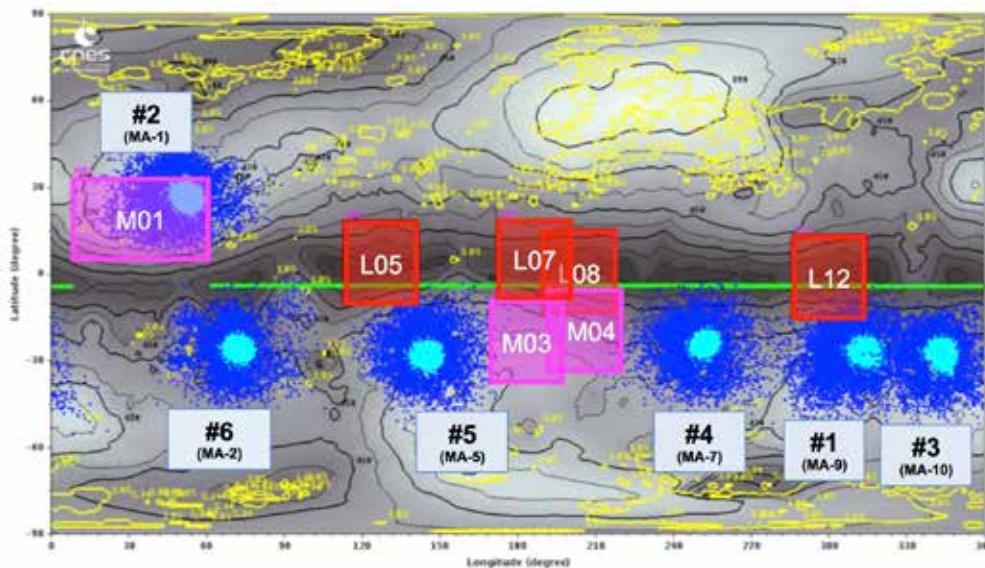
63



5. Selection of landing site candidates for MASCOT



Landing site candidates for MASCOT: Selection from 10 candidates and the order of priority



Priority of landing site:MA-9 > MA-1 > MA-10 > MA-7 > MA-5 > MA-2

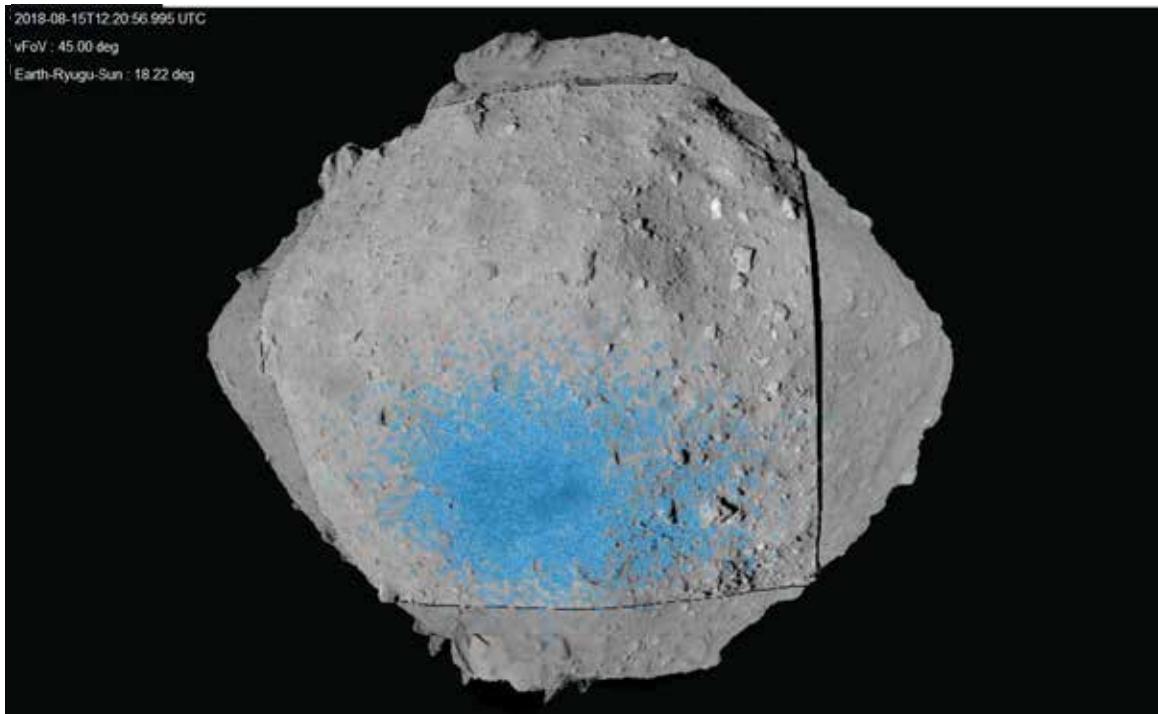
64



5. MASCOTの着地候補地点選定



MASCOT着陸候補地点



©JAXA, 東京大, 高知大, 立教大, 名古屋大, 千葉工大, 明治大, 会津大, 産総研, CNES, DLR

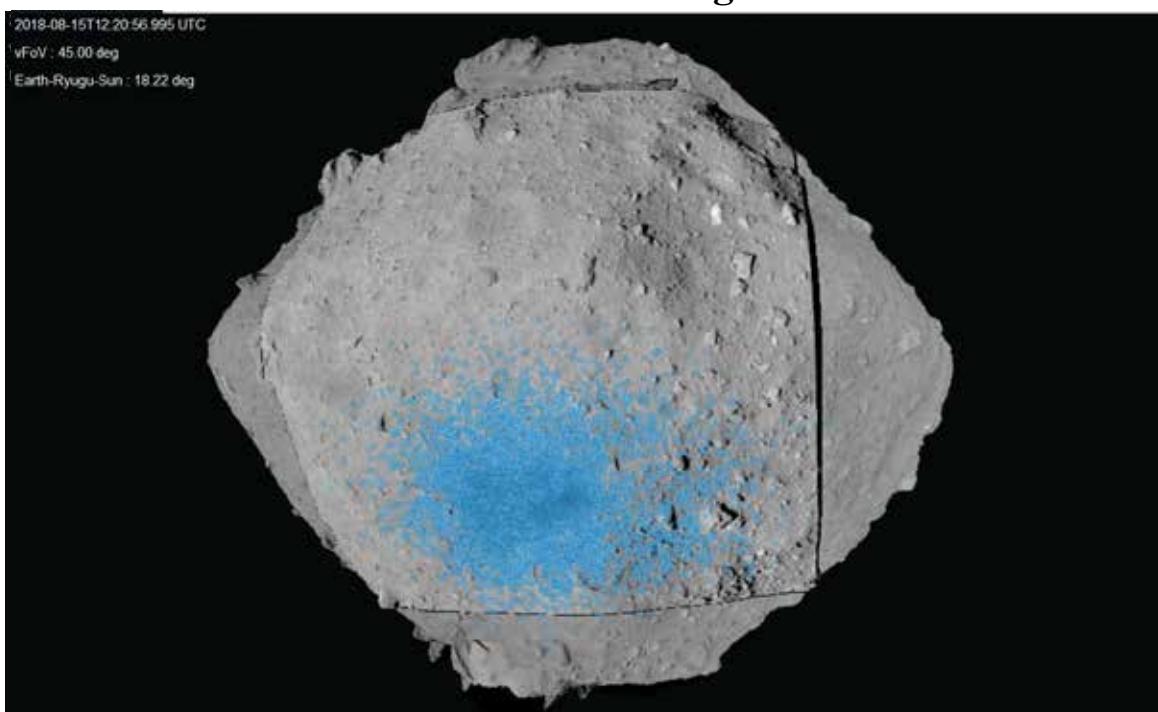
65



5. Selection of landing site candidates for MASCOT



MASCOT landing site



©JAXA, University Tokyo, Kochi University, Rikkyo University, Nagoya University, Chiba Institute of Technology, Meiji University, University of Aizu, AIST, CNES, DLR

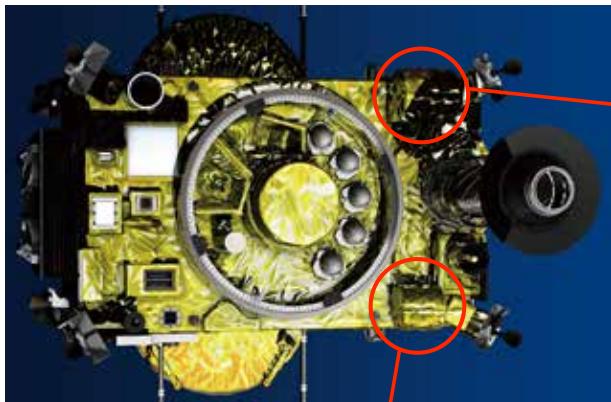
66



6. MINERVA-IIの着地候補地点選定



MINERVA-II-1のAとBを分離する(MINERVA-II-2は来年に分離予定)



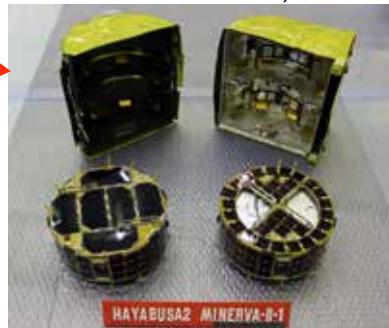
MINERVA-II-2

MINERVA-IIコンソーシアム(東北大学、東京電機大学、大阪大学、山形大学、東京理科大学)が製作



(©JAXA)

MINERVA-II-1A, 1B



JAXA製作

MINERVA-II-1A, MINERVA-II-1Bの仕様

- ・サイズ: 直径17cm、高さ7cm
- ・質量: それぞれ約1kg
- ・アクチュエータ: 2つのDCモータ
- ・搭載センサ: カメラ、フォトダイオード、
 加速時計、温度計、ジャイロ
- ・通信速度: 32kbps(最大)

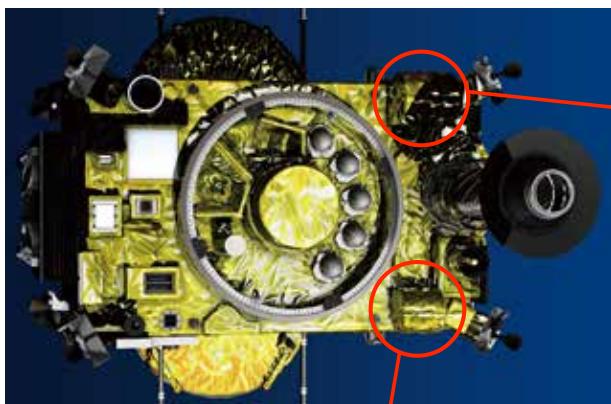
67



6. Selection of landing site candidates for MINERVA-II



Release of MINERVA-II-1 A & B (MINERVA-II-2 will be released next year)



MINERVA-II-2

Created by the MINERVA-II consortium (Tohoku University, Tokyo Denki University, Osaka University, Yamagata University, Tokyo University of Science)



(©JAXA)

MINERVA-II-1A, 1B



Produced at JAXA

MINERVA-II-1A, MINERVA-II-1B Specification

- ・size: diameter 17cm, height 7cm
- ・weight: about 1kg each
- ・Actuator: 2 DC motors
- ・Mounted sensor: camera, photodiode, accelerometer, thermometer, gyro.
- ・Communication speed: 32kbps (max)

68



6. MINERVA-IIの着地候補地点選定



MINERVA-IIの着地点選定の条件:

- ・着地する場所がタッチダウン予定地と重ならないこと
- ・着地する場所がMASCOTの着地予定地と重ならないこと
- ・分離後の探査機高度が30mより低くならないこと
- ・地上局との通信が確保できること
- ・温度が高くない領域で、陰となる領域が少ないとこと

↓

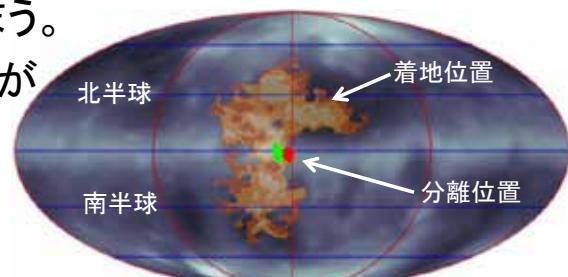
- ・赤道付近はリッジ(尾根)となっているため、赤道付近に分離すると着地点が南北に大きく広がってしまう。

↓

- ・南半球に分離した場合、探査機高度が30mより低くなる可能性がある。

↓

- ・赤道から北半球側に100m以上離れたところに分離する



(©JAXA)

赤道付近に分離すると、着地位置が南北に広がってしまう

69



6. Selection of landing site candidates for MINERVA-II



Conditions for MINERVA-II landing site selection:

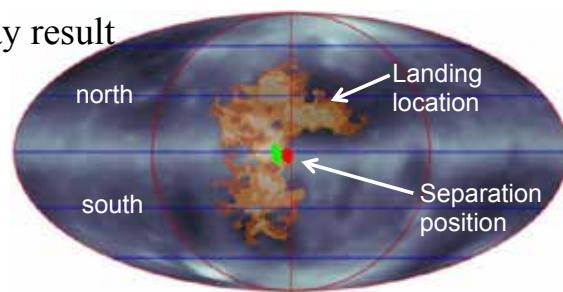
- ・ Landing site does not overlap with spacecraft touchdown candidates.
- ・ Landing site does not overlap with MASCOT landing site candidates.
- ・ The altitude of the spacecraft after separation must not be lower than 30m.
- ・ Ensure communication with ground station.
- ・ Not high temperature region, and fewer parts in shadow

↓

- ・ Due to the equatorial ridge, separation near the equator results in widely spaced landing points to the north and south.
- ・ Separating in the southern hemisphere may result in a spacecraft altitude below 30m.



- ・ Separate in northern hemisphere, more than 100m north of the equator.



(©JAXA)

When separating near the equator, the landing position spread north and south.

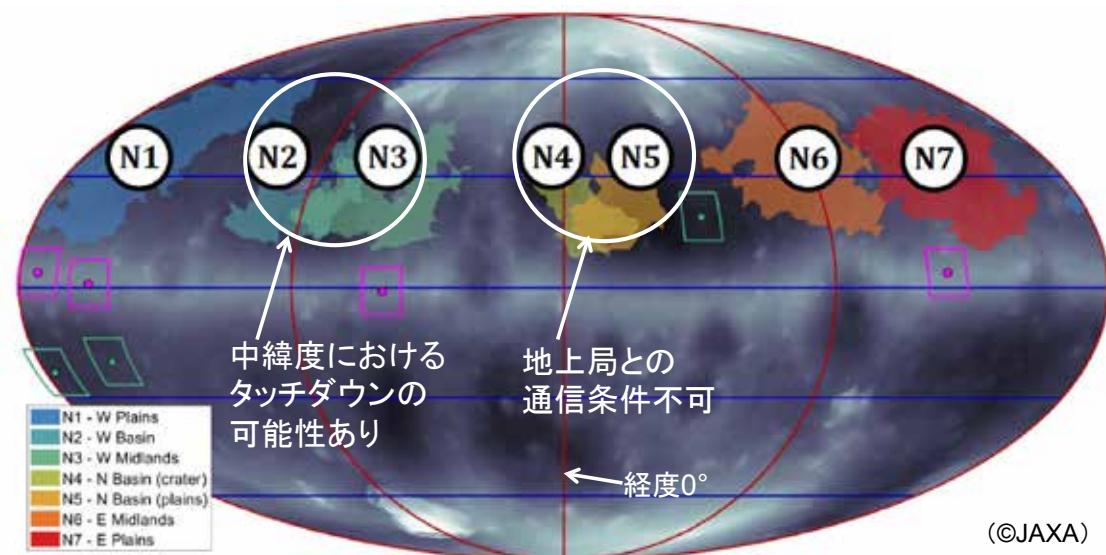
70



6. MINERVA-IIの着地候補地点選定



MINERVA-IIの着地点候補: 北半球で検討



- ・タッチダウン・MASCOTの着地点と重ならないことを確認
- ・ONC-Tによる観測可能性等も考慮

候補地: N6 > N1 > N7

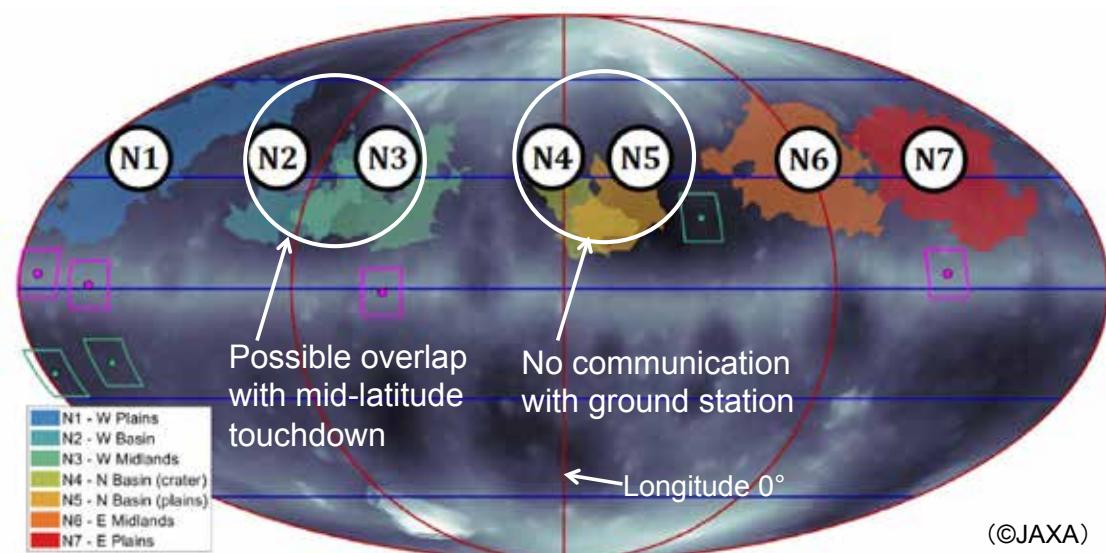
71



6. Selection of landing site candidates for MINERVA-II



Landing site candidates for MINERVA-II: northern hemisphere



- ・Touchdown・confirm no overlap with MASCOT's landing site.
- ・Also consider observability etc. using the ONC-T camera.

Candidate locations:
N6 > N1 > N7

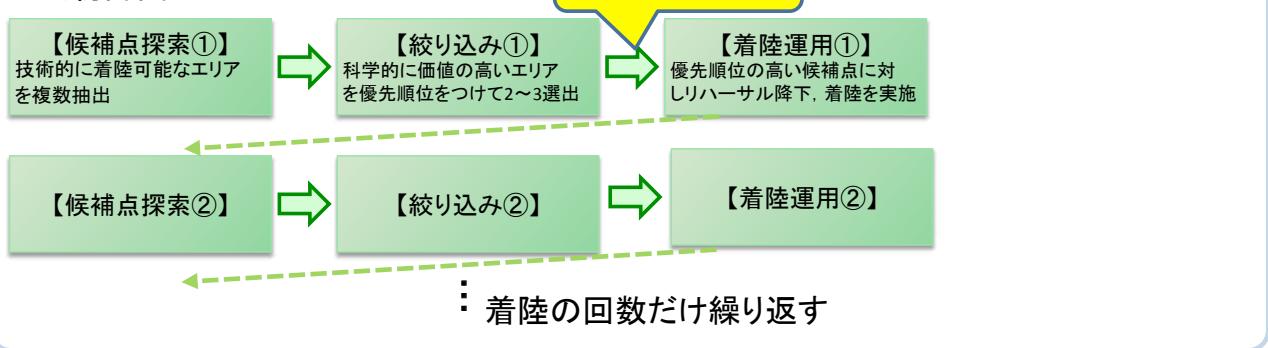
72



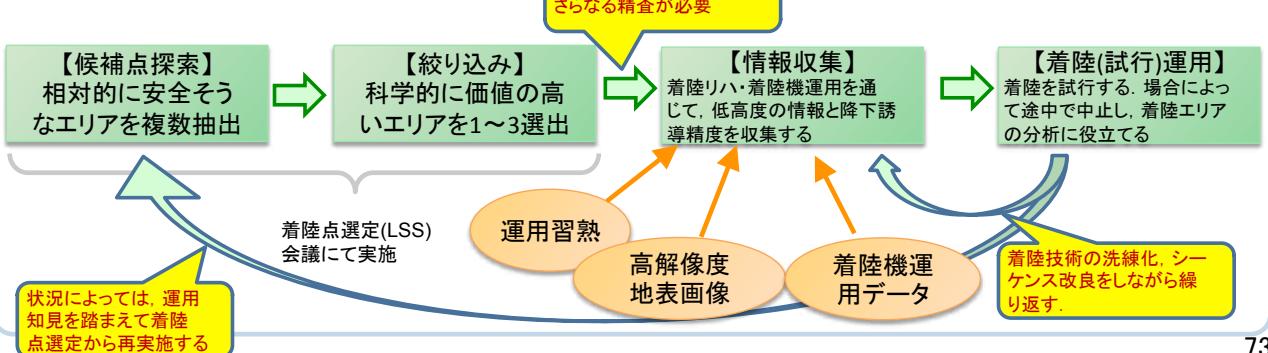
7. 着陸実現に向けた戦略



◆ 当初計画



◆ 新計画



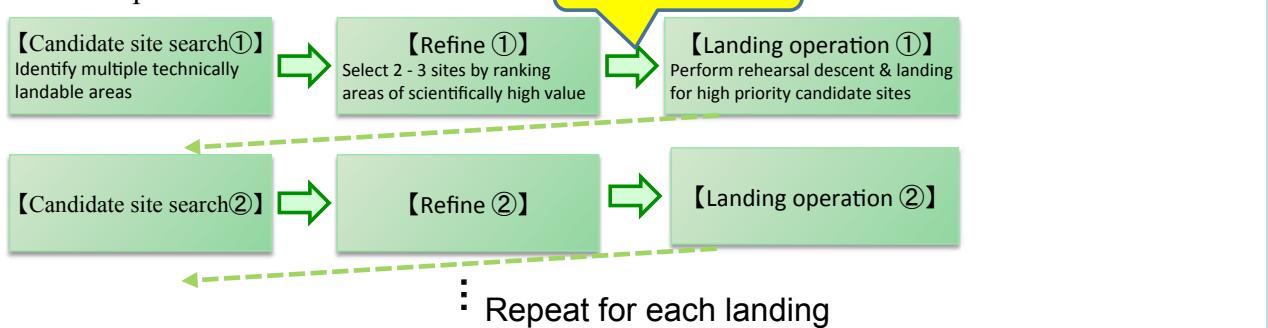
73



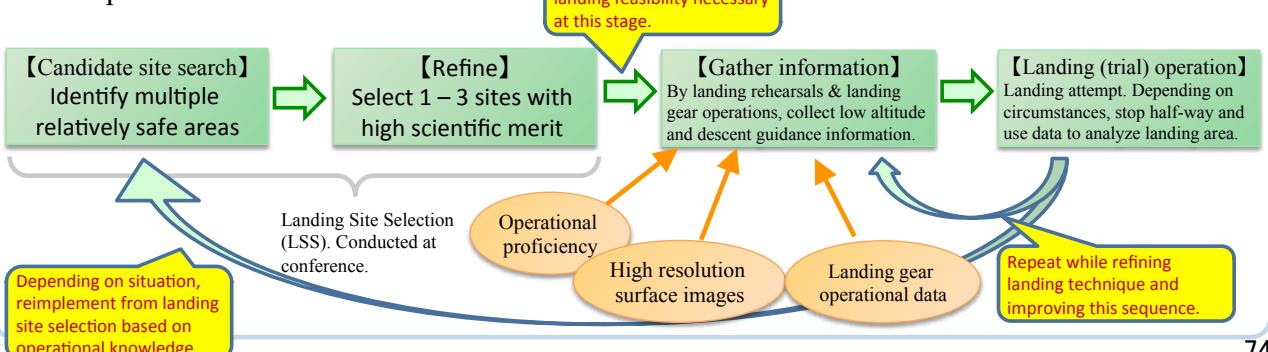
7. Strategy toward the successful touchdown



◆ Initial plan



◆ New plan



74

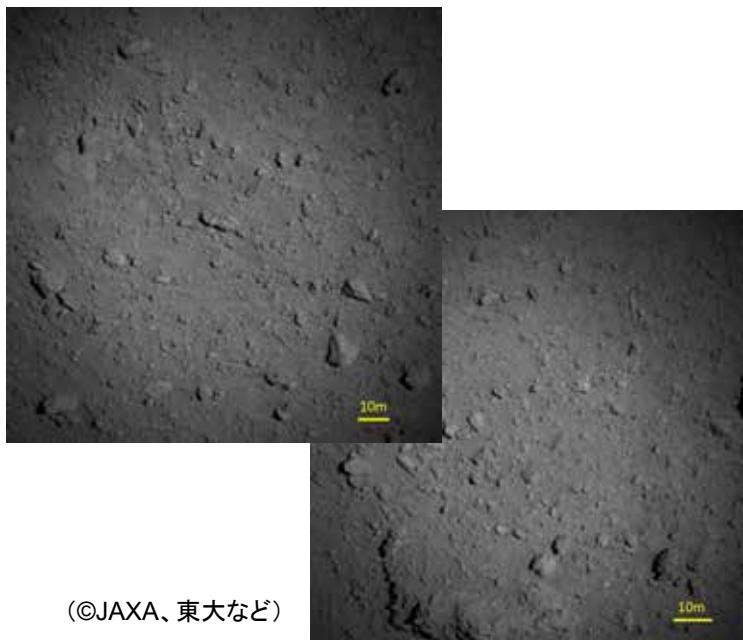


7. 着陸実現に向けた戦略

重要な事項



低高度から表面を詳しく調べる



→ 航法誘導精度を
どこまで上げるこ
とができるか

高度約1kmから撮影したリュウグウ表面

75

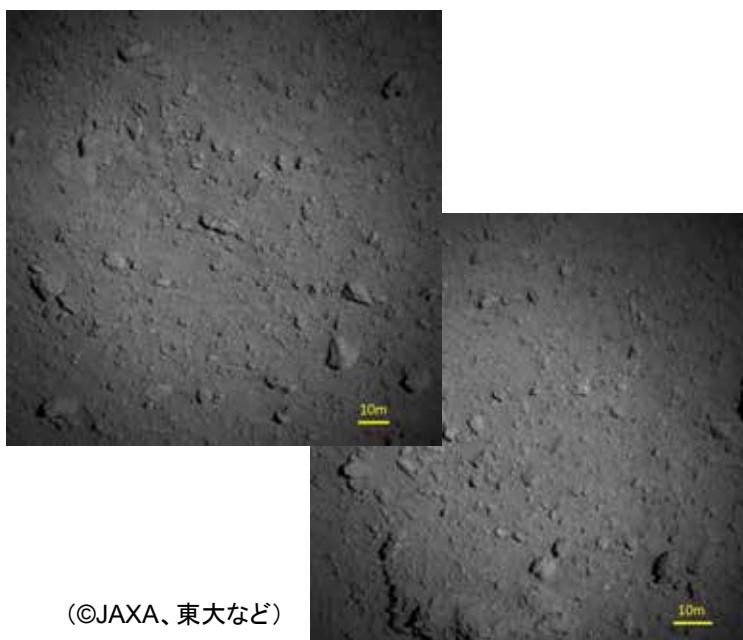


7. Strategy toward the successful touchdown



Important point

Detail of surface from low altitude



→ How far can the
navigation
guidance accuracy
be increased?

Ryugu surface taken from an altitude of about 1km.

76



8. 今後の予定



■記者説明会の予定

- ・9月 5日(水)11:00～12:00
- ・9月27日(木)14:30～15:30

■アウトリーチ・イベント

➢ 子供向けイベント

- ・“なぜなに「はやぶさ2」何でも質問教室”
- ・9月2日(日)14時～16時
- ・相模原市立博物館
- ・ネット中継等も行う予定

(時刻は日本時間)

77



8. Future Plans



■Schedule for press briefings

- Sept. 5 (Wed) 11:00～12:00
- Sept. 27 (Thurs) 14:30～15:30

■Outreach and events (in Japanese)

➢ Events for Children

- ・ Why Hayabusa2? Any questions classroom
- ・ Sept. 2 (Sunday) 2 – 4pm
- ・ Sagamihara City Museum
- ・ Online broadcast planned

(Time : JST)

78