



# 小天体を対象とした2D-3Dシームレスな 可視化及び計測機能の開発

○Mayumi Ichikawa<sup>1</sup> , Eri Tatsumi<sup>2</sup> , Naru Hirata<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ISAS/JAXA, Japan. <sup>2</sup>Instituto de Astrofísica de Canarias, Spain. <sup>3</sup>The University of Aizu, Japan.

# Introduction

- ✓ はやぶさ2拡張ミッションの主な2つの活動
  - ・新たな小惑星（98943 Torifune、1998 KY26）の探査
  - ・はやぶさ2成果の活用による科学成果の向上
    - ①GISプロダクト及び解析ツールの開発
    - ②観測データの検索・可視化システムの開発

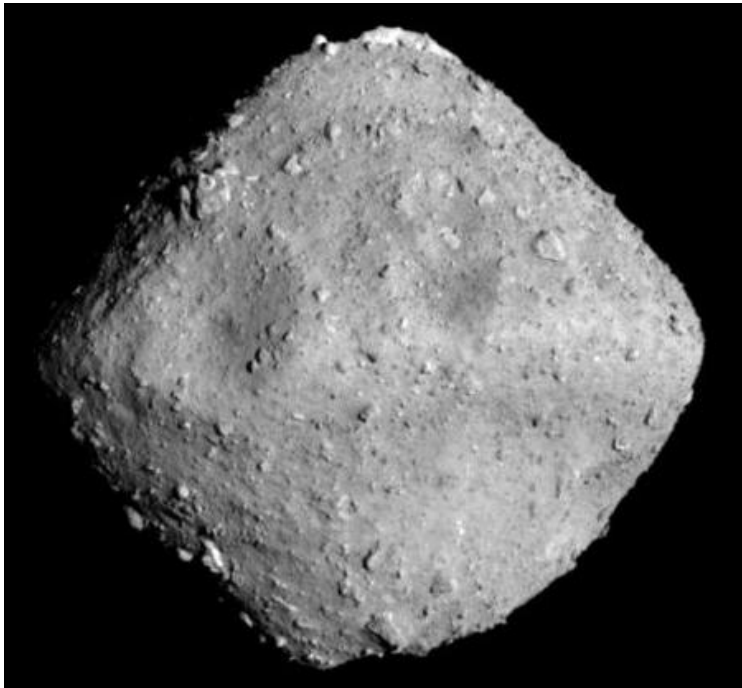


Image of Ryugu acquired by ONC-T at 2018-06-26T03:50:12. Credit: JAXA, UTokyo, Kochi U., Rikkyo U., Nagoya U., Chiba Inst. of Tech., Meiji U., U. of Aizu, AIST.



Artist's rendering of Hayabusa2's touchdown by Akihiro Ikeshita

# Motivation for our work

- ✓ 各観測機器でデータ形式・仕様が大きく異なる／地理情報を統合して解析をする必要がある
- ✓ これまで機器横断的な研究はあまり活発ではなかった
- ✓ 統合的な解析には、統一された解析環境と位置の対応付けが必要

 **GISを用いたアプローチ**

## Scientific instruments

Instrument	Type	Purpose / Overview
ONC	Imager	Optical Navigation Camera; Telescopic camera (ONC-T) and Wide-angle cameras (ONC-W1 and ONC-W2) A multi-band imager observing at central wavelengths of 390, 480, 550, 700, 860, 950, and 589.5 nm.
LIDAR	Laser Altimeter	Distance measurement
NIRS3	Spectrometer	Near Infrared Spectrometer; Point spectrometer to detect hydroxyl absorption, covering in the 1.8–3.2 $\mu\text{m}$ range with a spectral resolution of 18 nm.
TIR	Imager	Thermal Infrared Imager; Bolometric imager covering the 8–12 $\mu\text{m}$ wavelength range.

# GISとは

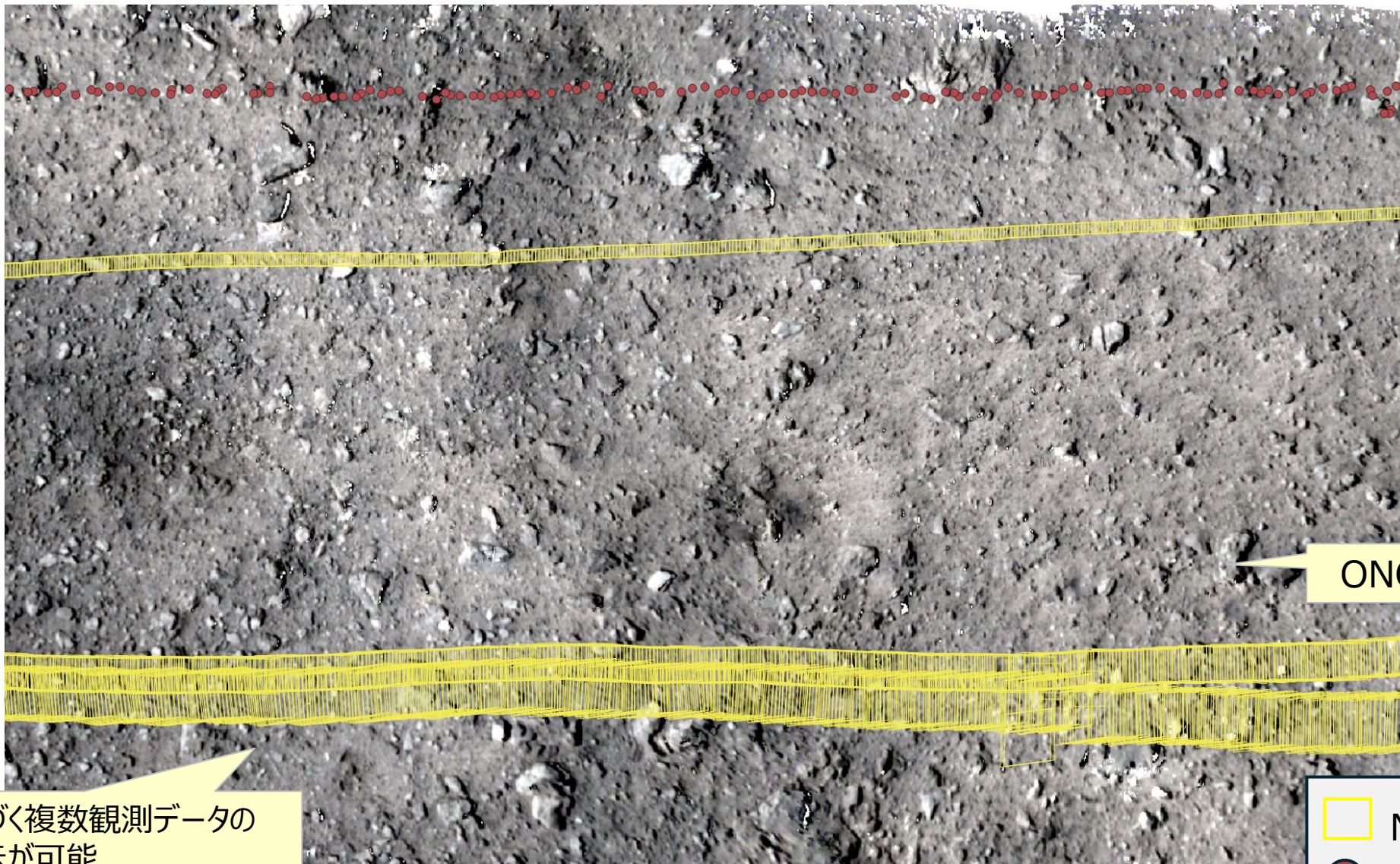
✓ 地理情報システムとは（出典：国土地理院）

「地理的位置を手がかりに、位置に関する情報を持ったデータ（空間データ）を総合的に管理・加工し、視覚的に表示し、高度な分析や迅速な判断を可能にする技術である。」

✓ 導入のメリット

- 位置情報に基づくデータ解析が可能  
関心対象について複数のセンサの情報をまとめて解析できる  
特定地点の観測情報を抽出・解析できる
- センサ種類によらず、同様の解析環境でデータを扱うことができる  
GISフォーマットのデータならGIS環境で全て扱える
- 既存のGISソフト（ArcGIS、QGIS等）で扱うことができる  
デフォルトで様々な解析機能が備わっているため、コーディングの手間などが省ける  
操作が簡単（ドラッグアンドドロップでファイルが開く）

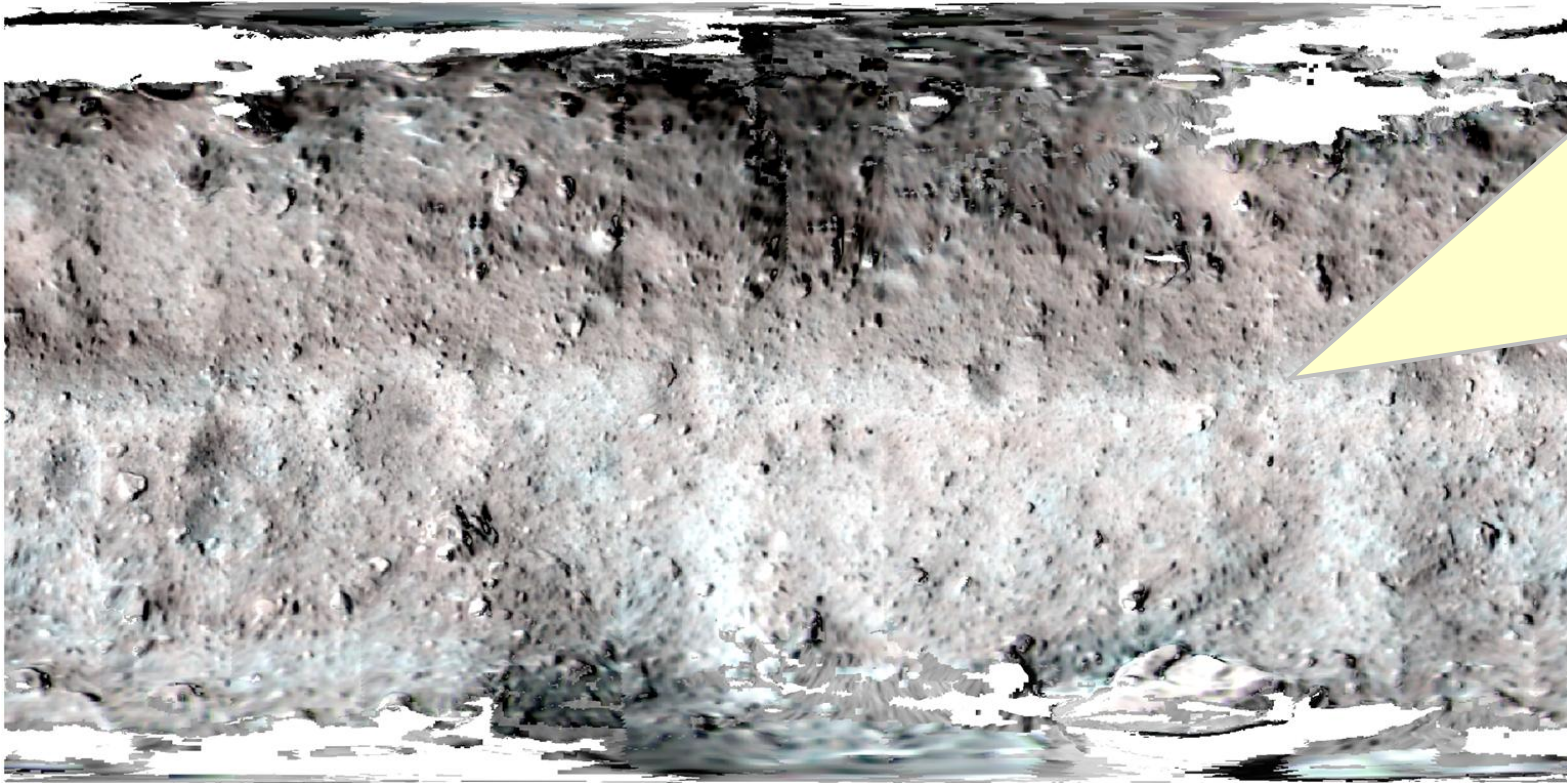
# GISとは



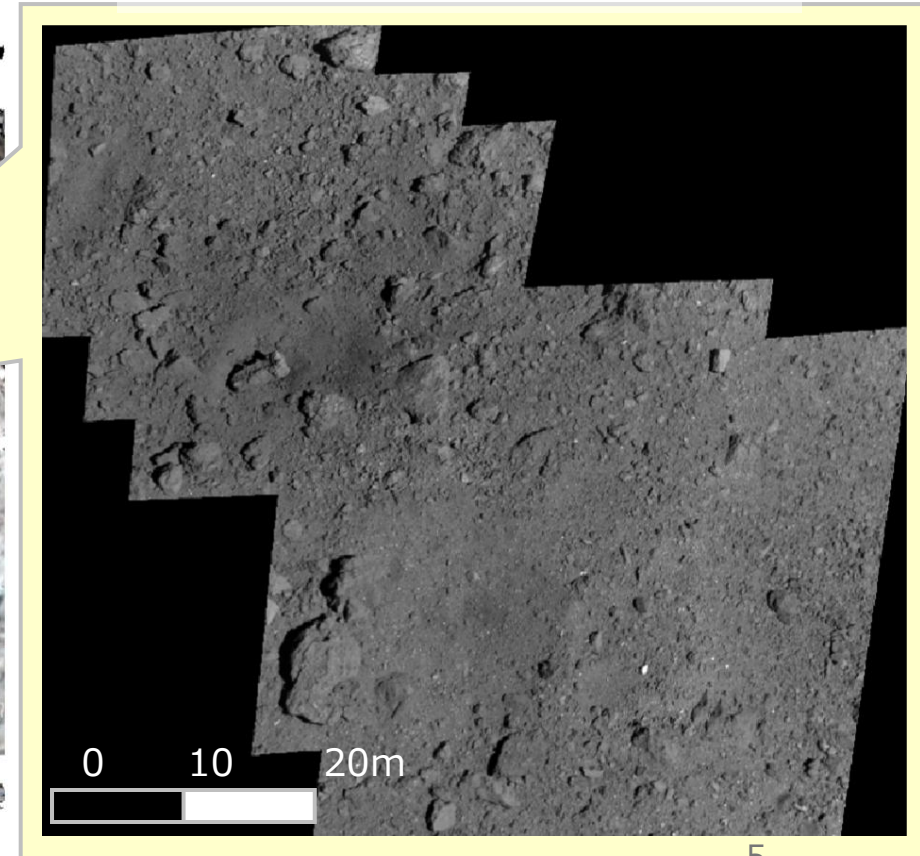
# GIS Products #1: ONC (Optical Navigation Camera)

- ✓ GeoTIFF形式によるグローバルおよび高解像度ローカルマップ
- ✓ 運用モードに応じて異なる空間解像度
- ✓ 複数波長帯のスペクトル情報を含む

グローバルマップ



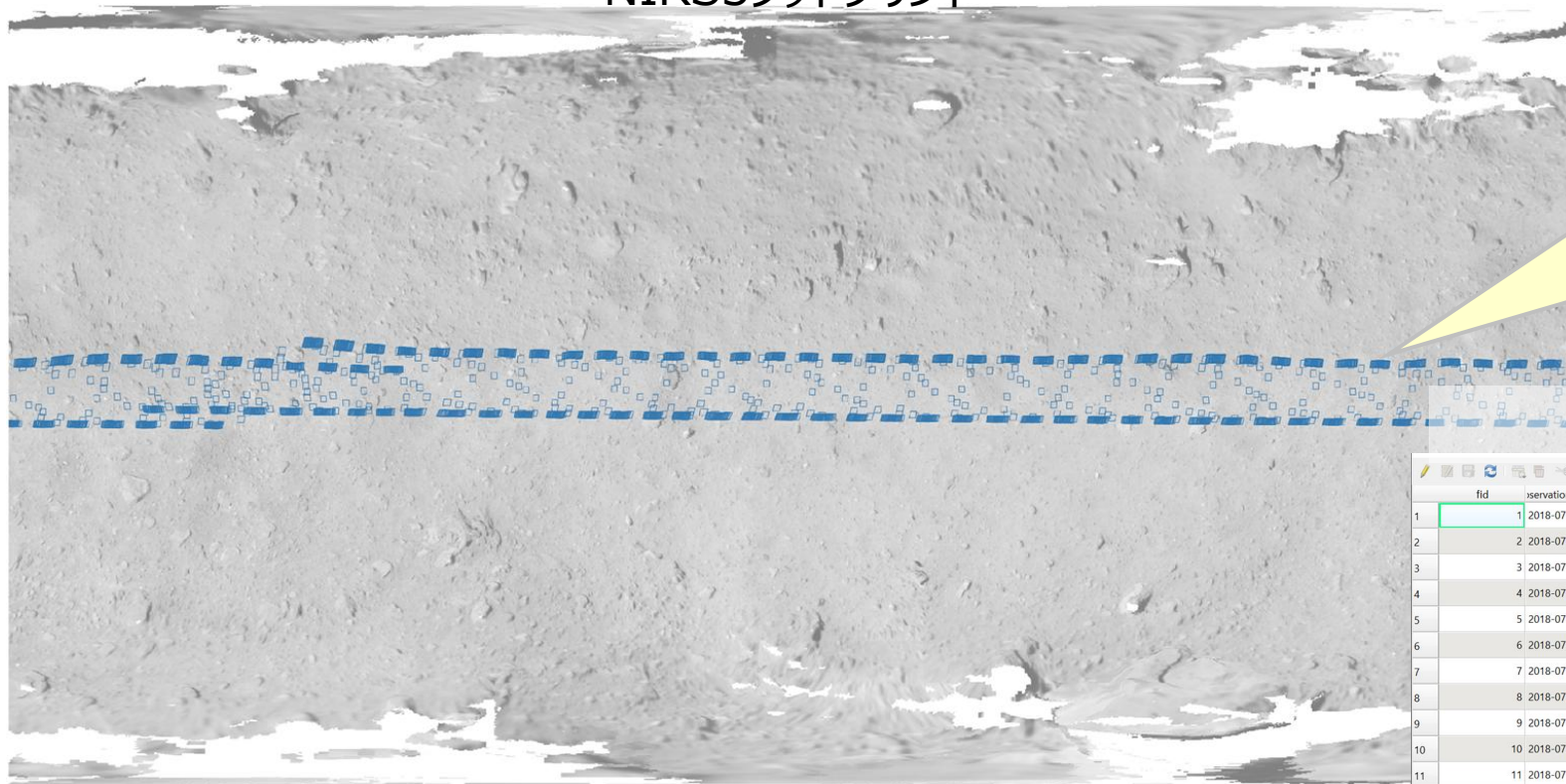
高解像度ローカルマップ



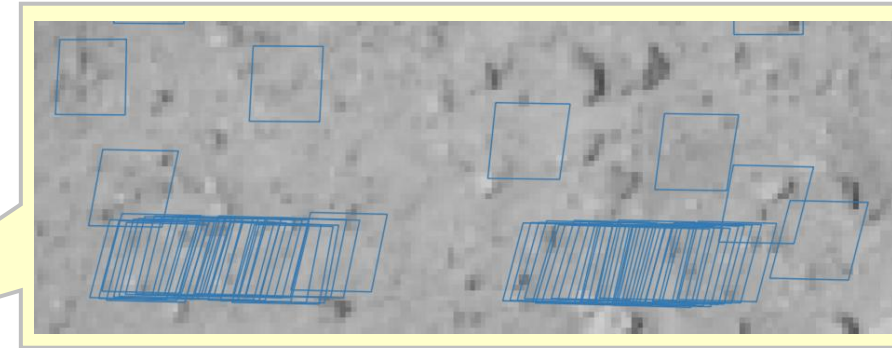
# GIS Products #2: NIRS3 (Near-Infrared Spectrometer)

- ✓ GeoPackage形式によるNIRS3観測フットプリント（ベクタデータ）
- ✓ 反射率および観測条件などの属性情報を含む

NIRS3フットプリント



拡大図



各観測の観測情報詳細

	fid	observation time (UT)	Phase angle	Incidence angle	Emission angle	Temperature	wl1	wl2	wl3	wl4	wl5	wl6
1	1	2018-07-20T07:...	18.6400549	24.0606056	18.0318467	352	-1.7219963233...	3.74245973944...	-8.2365013440...	1.61572336310...	-2.8594106424...	3.28143250953...
2	2	2018-07-20T07:...	17.6293669	39.3878251	22.1114129	354	-2.0717512150...	-7.1160568040...	8.22745460027...	1.61451987423...	1.07103251139...	0.00021026203...
3	3	2018-07-20T07:...	17.2201098	30.537131	13.2789238	358	-2.9802764700...	-0.0001086132...	7.40844916435...	0.00016380591...	3.78488257410...	0.00012153026...
4	4	2018-07-20T07:...	17.1759142	28.7894367	13.7358261	358	-2.9802764700...	-7.1162030508...	4.11549590353...	8.27087205834...	2.42773021454...	0.00012153034...
5	5	2018-07-20T07:...	17.1722394	30.9799283	13.8744422	358	-2.9802764700...	3.74055912288...	4.11549808632...	1.61143145760...	-2.8657880193...	0.00012153041...
6	6	2018-07-20T07:...	17.1737538	30.4687244	13.499777	358	-2.9802764700...	3.74056139662...	-8.2394244600...	-7.9485944297...	1.07057712739...	-0.0002333709...
7	7	2018-07-20T07:...	17.1689134	29.270069	12.5761067	357	-2.7233819643...	3.74095202460...	2.46907984546...	1.61230263984...	-1.6436075384...	0.00012153243...
8	8	2018-07-20T07:...	17.1671094	28.42068	11.6215416	357	-2.7233819643...	0.00011609509...	8.22598303784...	-7.9485173046...	-2.8645072234...	3.28070273099...
9	9	2018-07-20T07:...	17.171791	30.875025	13.9208014	357	-2.7233819643...	-3.3710446587...	5.76205020479...	1.61230457251...	-2.8645088150...	-0.0001446440...
10	10	2018-07-20T07:...	17.1721547	30.7475072	13.5517958	357	-2.7233819643...	-3.3710468414...	5.76205347897...	-7.9485267633...	-1.6436102669...	3.28070673276...
11	11	2018-07-20T07:...	17.16901	31.8585084	14.7219343	356	-2.4873716419...	-3.3710130082...	8.22653964860...	1.61310833846...	-2.8633251076...	-5.5916811106...
12	12	2018-07-20T07:...	17.169933	33.5327758	16.6355073	356	-2.4873716419...	-3.3710148272...	-8.2383221524...	0.00016380843...	2.42798869294...	-0.0001446425...
13	13	2018-07-20T07:...	17.1717282	33.3913664	16.5632644	356	-2.4873716419...	-3.3710170100...	8.22654965304...	8.27108233352...	1.07082878457...	3.28088572132...
14	14	2018-07-20T07:...	17.1707519	36.4392177	20.2792563	355	-2.2706541091...	-0.0001086128...	5.76217098569...	0.00024490713...	2.42810128838...	0.00021026203...
15	15	2018-07-20T07:...	17.1707721	35.1214689	18.3276333	355	-2.2706541091...	-7.1161412051...	5.76217425987...	0.00024490727...	2.42810274357...	0.00021026216...

# GIS Analysis Example (スペクトルスロープによる宇宙風化の評価)

- ✓ スペクトル解析データに特化したQGISプラグインを開発
- ✓ 利用例 (スペクトルスロープ計算及びスロープマップの作成)
  - ⇒ 宇宙風化・組成差の可視化と、分布パターンの地形との関連性の把握

Spectral slope map

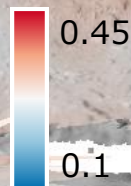
NIRS3 footprint

マップ生成プラグインを用いて  
ベクタデータをラスターに変換



スロープ計算プラグインにより、  
各フットプリントに計算結果を  
属性情報として追加

Slope (2.1-2.5  $\mu\text{m}$ )



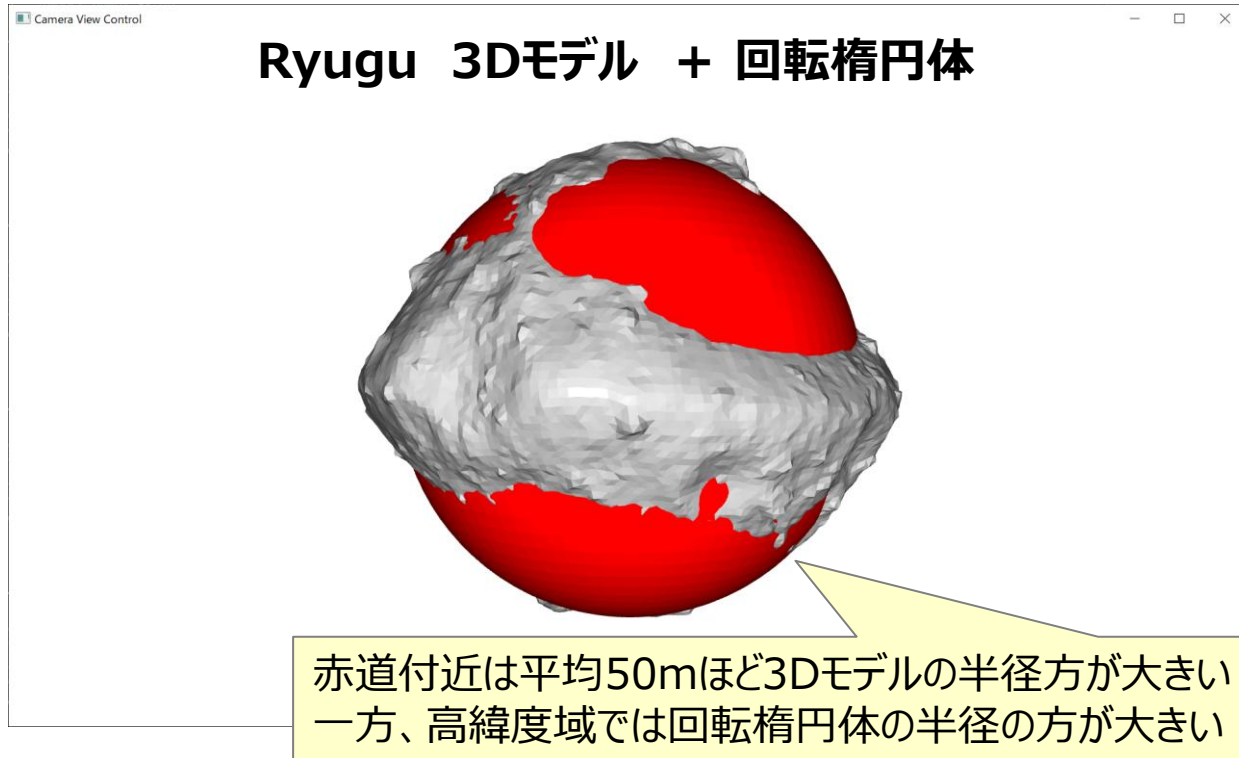
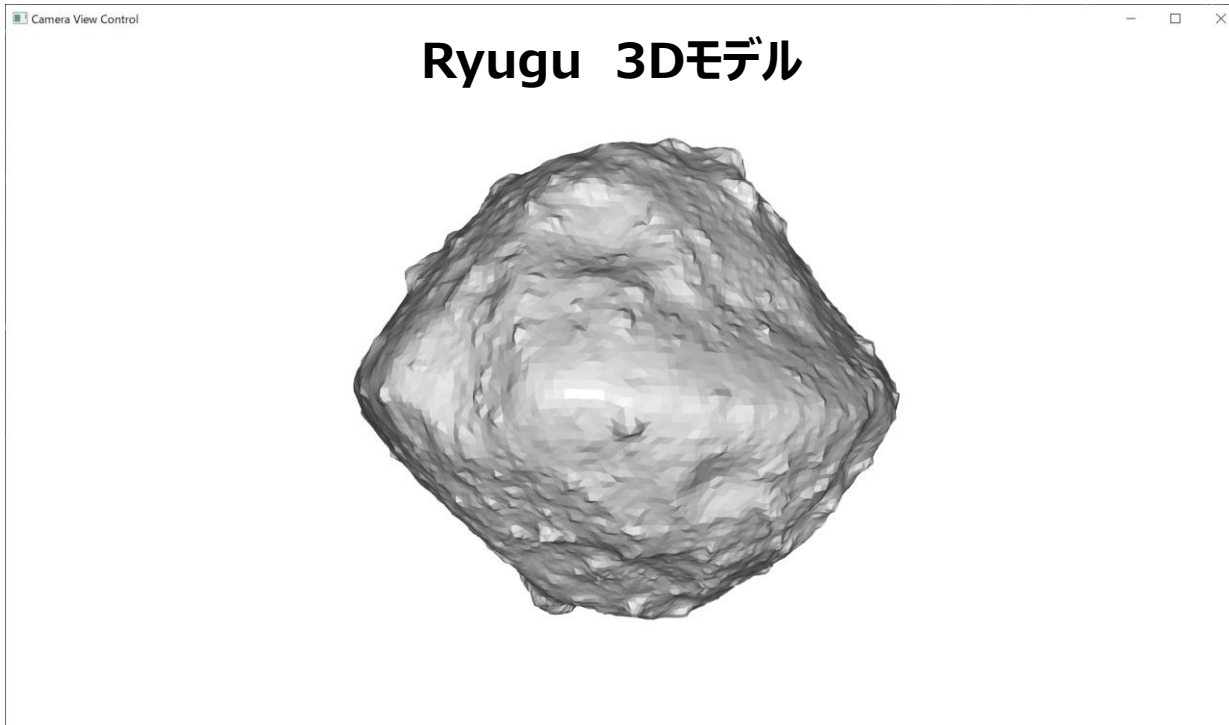
# GISの限界（小惑星への適用限界）

✓ GISは元々地球を対象にしている

GIS は、楕円体近似や平面投影の誤差が小さい天体を前提として設計されている

→ 2D 地図上での描画・選択・距離・面積計測が容易

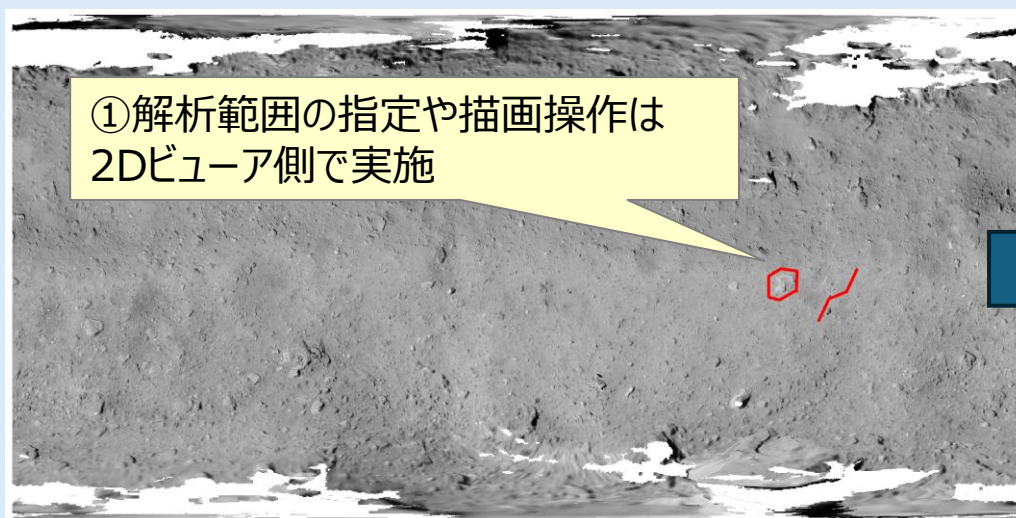
→リュウグウやイトカワのような不規則形状天体では平面投影による幾何情報の歪みが顕著  
形状の違いや測地楕円体を前提とした機能（距離や面積計測）での誤差が問題となる



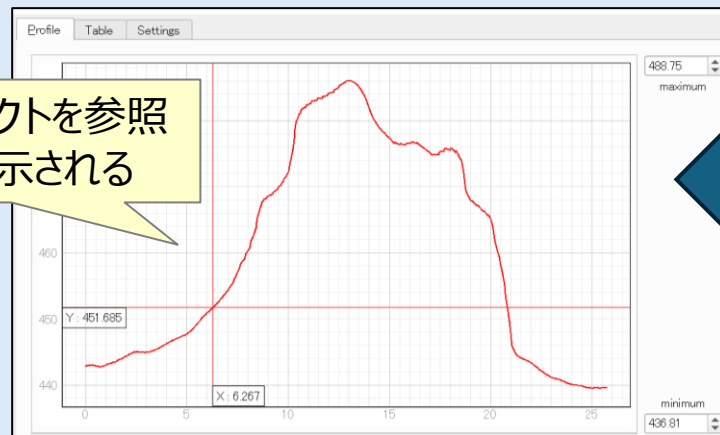
# 取り組み方針

- ✓ 2D と 3D の利点を統合したシームレスな解析環境を構築
- ✓ 地図ベースの操作性と 3D 形状の正確性を両立
- ✓ 特に効果が大いと考えられる可視化・計測機能を開発

2D環境



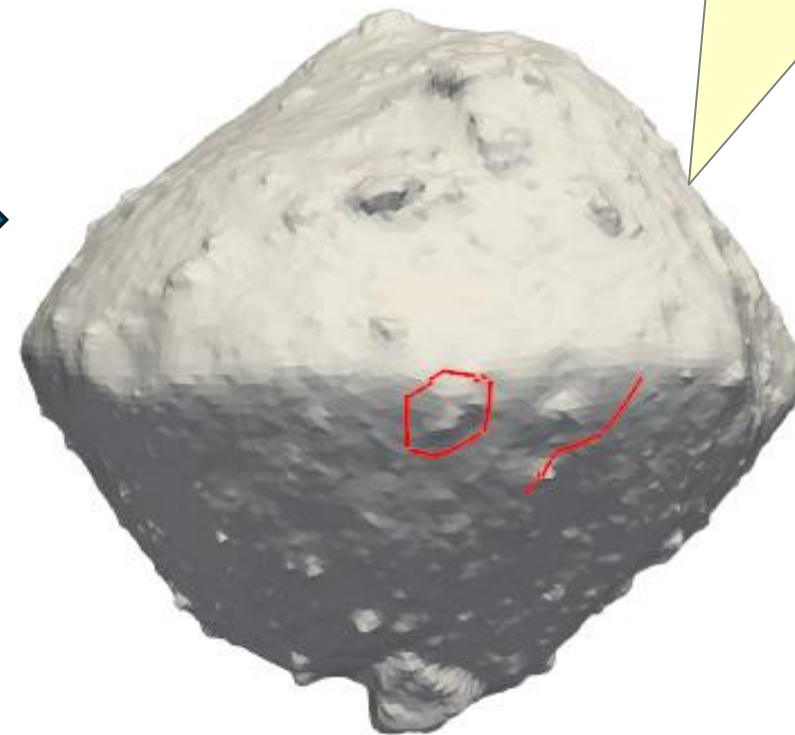
③3Dオブジェクトを参照した情報が表示される



メリット

- ・既存のGIS環境の利用
- ・操作性の高さ
- ・環境依存性低

3D環境



表示

情報取得

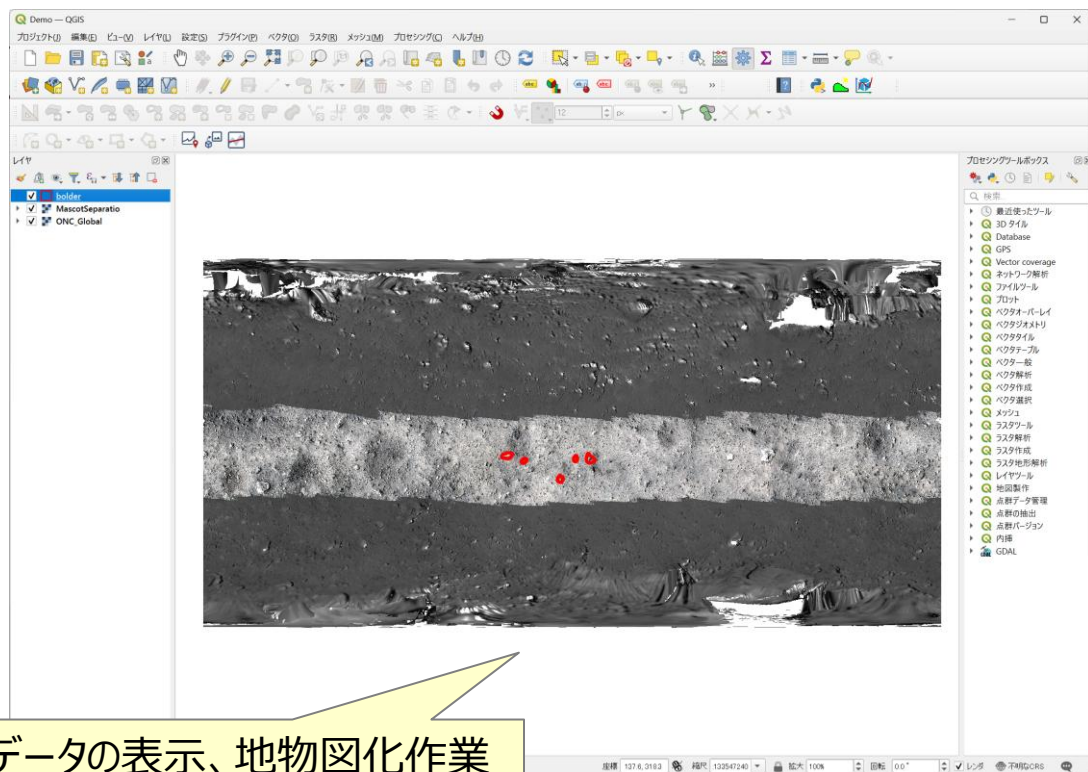
メリット

- ・3Dモデルをベースとした可視化・解析
- ・形状の正確性

# 開発内容① 3次元モデル上での可視化機能

- ✓ GISデータセットを3次元モデル上に効率的かつ視覚的に表現する機能
- ✓ 宇宙探査ミッションで取得される不規則な形状を持つ天体のデータを対象とし、地表分析や科学的解析に必要な情報を直感的に可視化

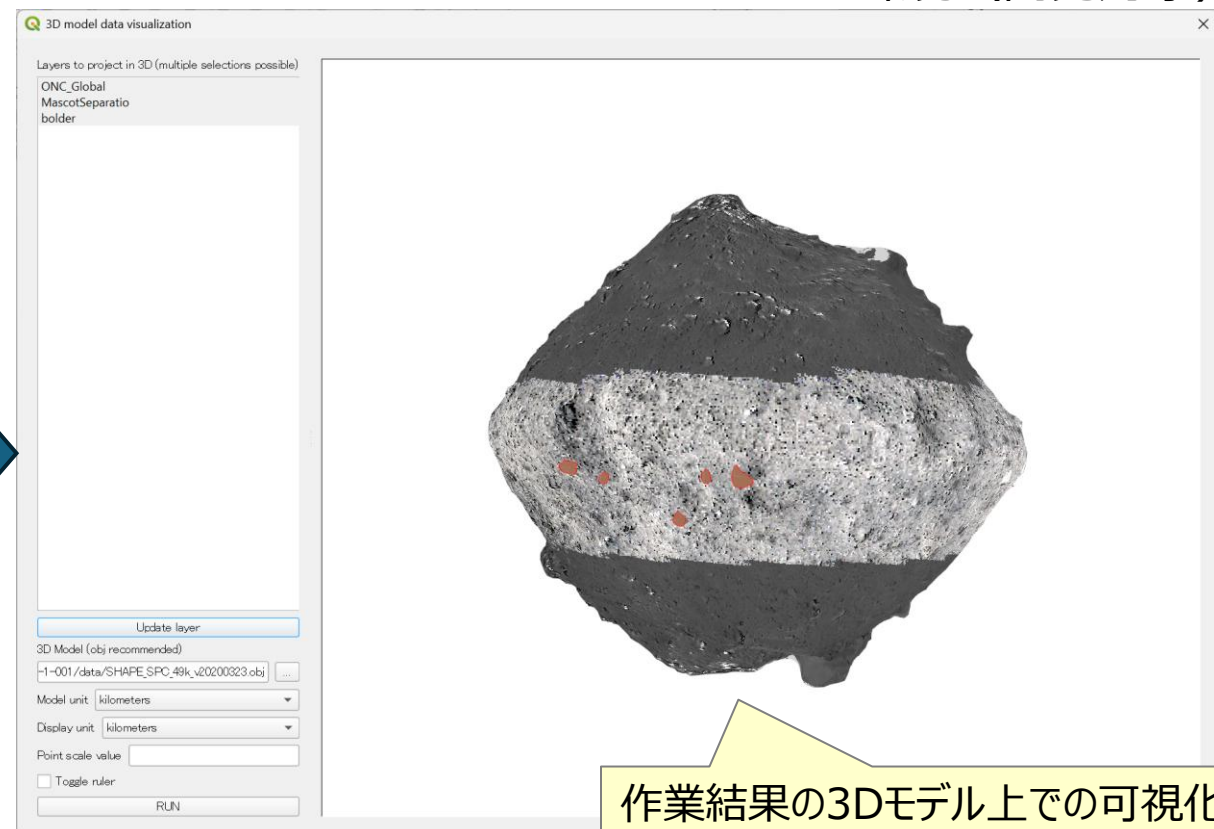
## 2D環境 (QGIS)



データの表示、地物図化作業  
などは2D環境で実施



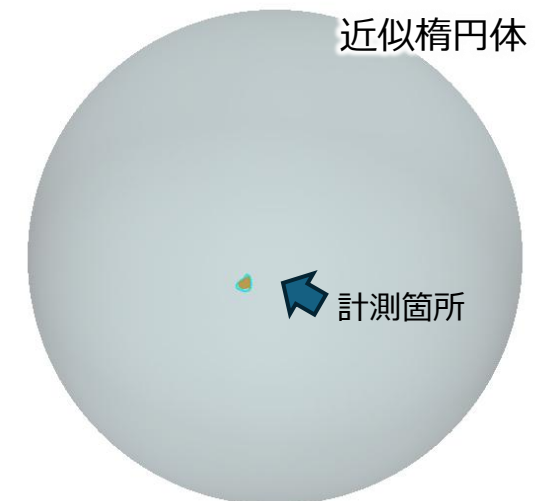
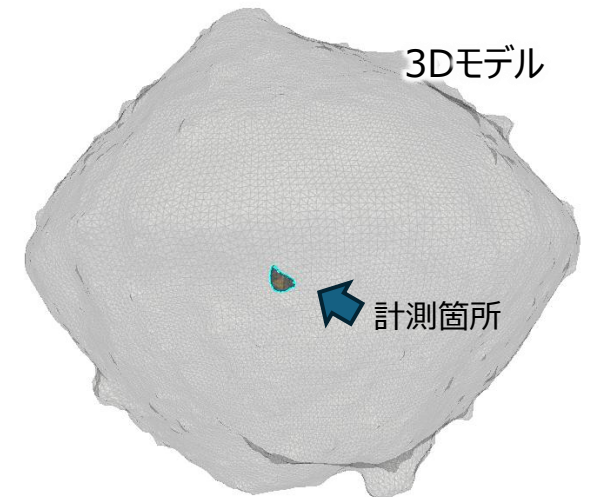
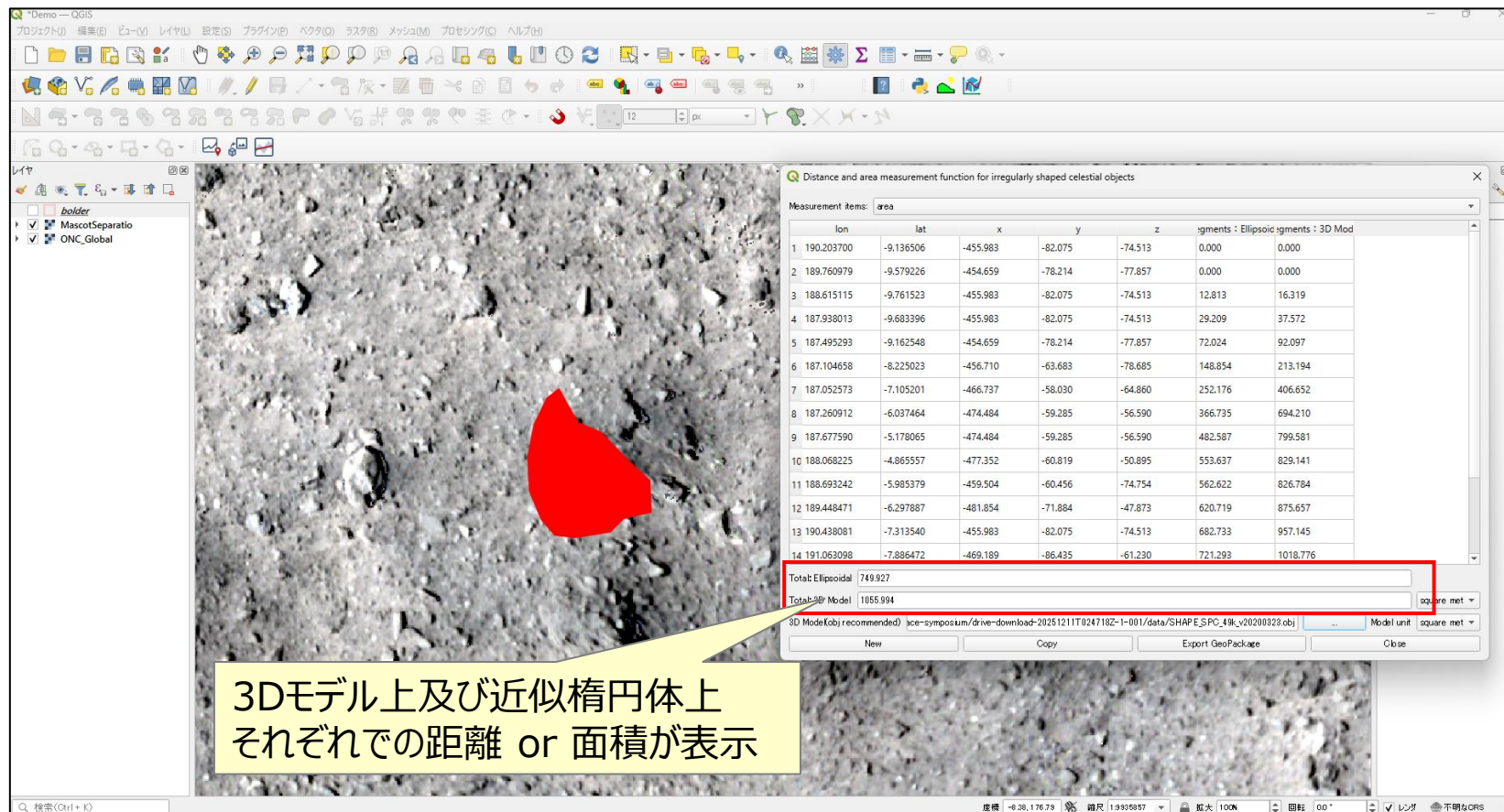
## 3D環境 (開発対象)



作業結果の3Dモデル上での可視化  
表示設定等は2D環境とリンク

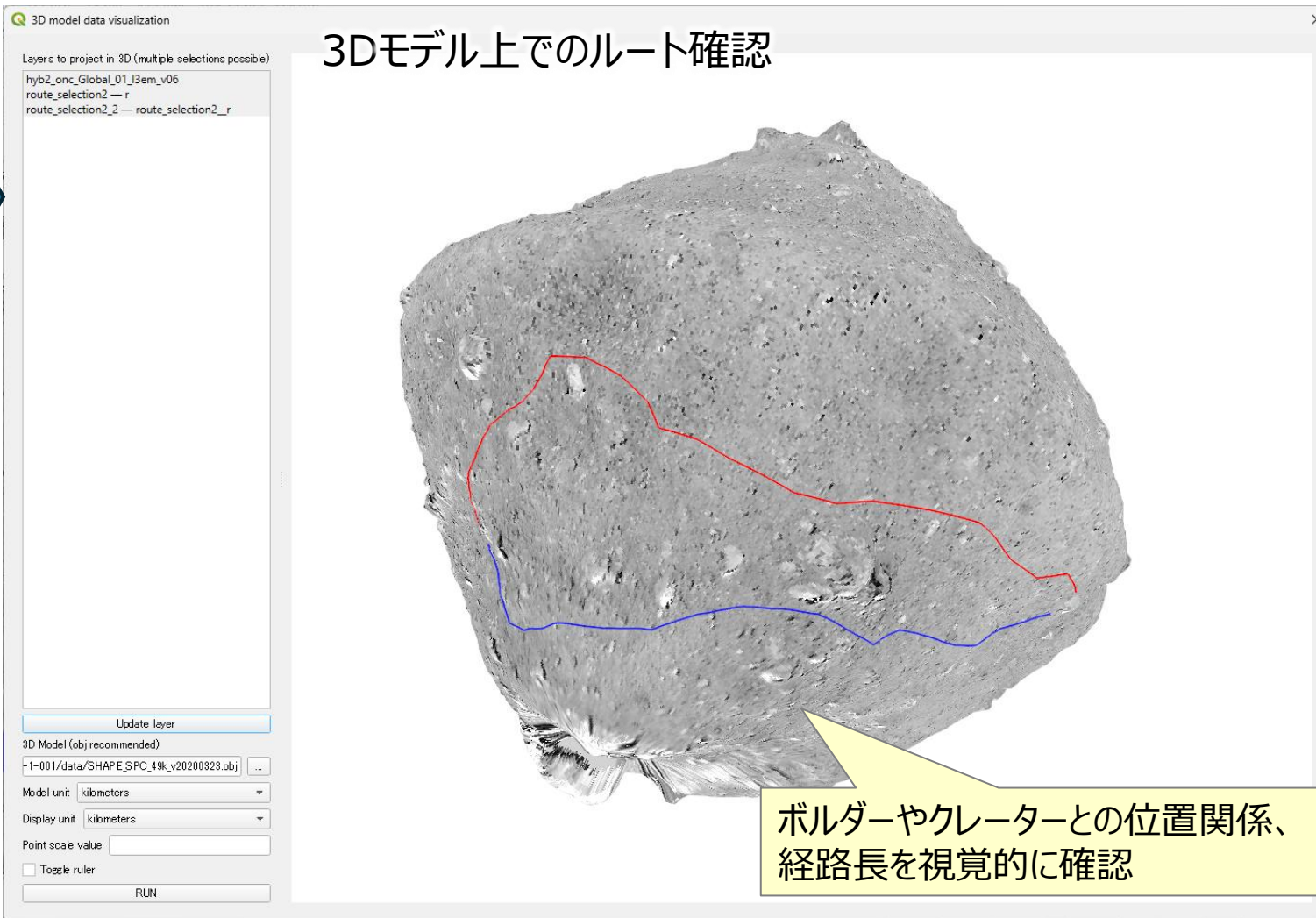
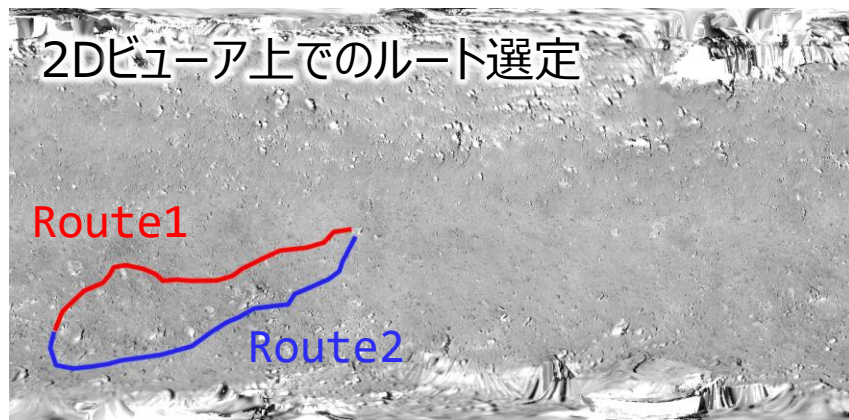
## 開発内容② 不規則形状天体に対応した距離・面積の計測機能

- ✓ 不規則な形状を持つ天体表面上での正確な距離および面積計測機能
- ✓ 小惑星上の地形計測の高精度化や、ローバーの移動距離推定、着陸地点の選定などの科学的・工学的な解析を支援



# 解析事例（経路選定）

✓ 2Dマップ上で選択した経路の確認及び小天体上での距離計測  
→ 効率的な探索ルートを選定



Distance and area measurement function for irregularly shaped celestial objects

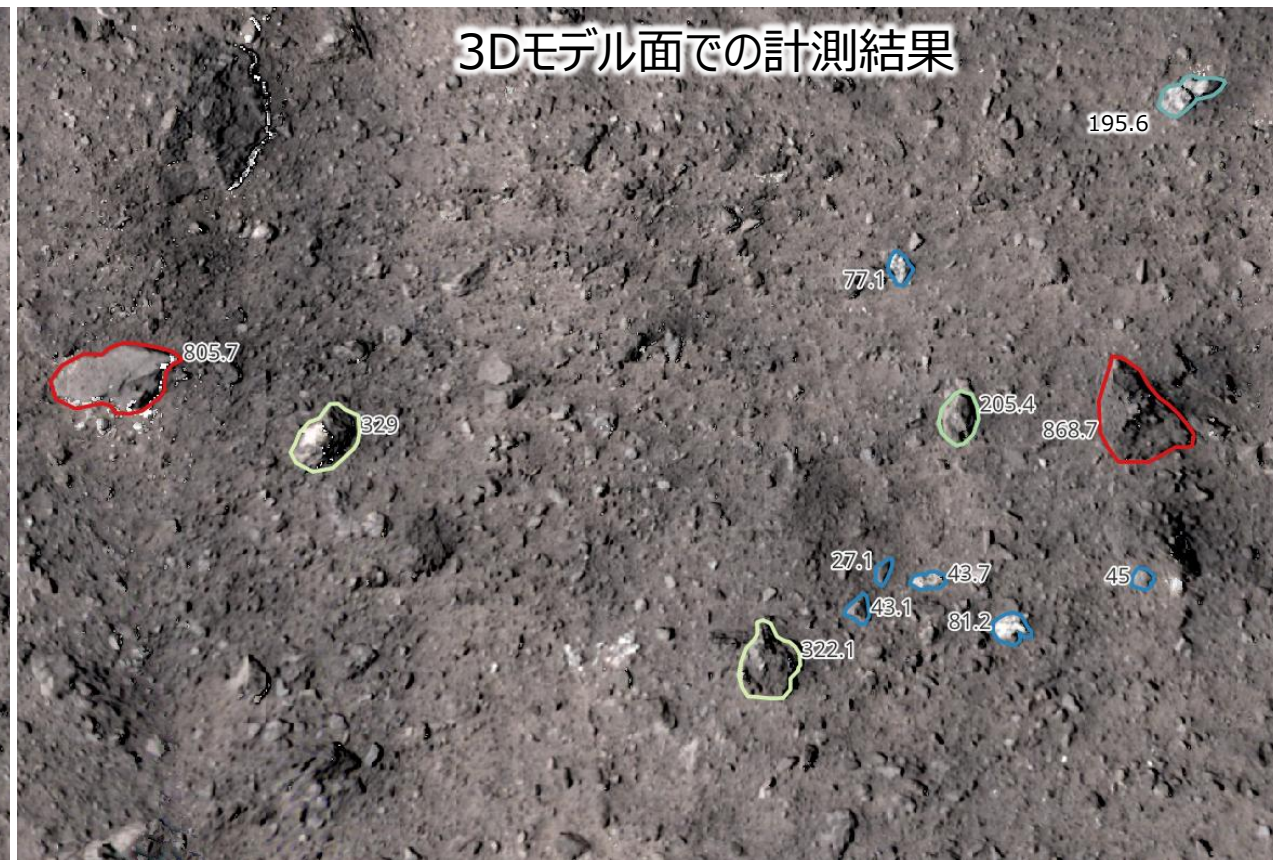
Meas: 3Dモデル上での距離計測

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	20.316622	-47.567968	262.340	97.129	-306.014	0.000	0.000				
2	23.623486	-40.063930	304.939	133.373	-279.911	61.554	61.722				
3	33.544078	-31.415209	317.975	210.815	-233.015	92.275	91.468				
4	41.048116	-28.489906	299.918	261.158	-215.835	55.728	56.174				
5	44.482167	-23.656797	299.524	294.158	-183.908	44.824	45.919				
6	44.609354	-21.748991	307.402	303.238	-172.261	14.945	16.738				
7	50.332773	-20.731494	271.545	327.458	-161.013	42.461	44.709				
8	57.073688	-22.384926	233.469	360.525	-176.903	50.691	52.874				
9	63.178668	-24.038358	190.548	376.872	-188.361	45.731	47.336				
10	65.595222	-27.218035	132	370.564	-209.292	30.137	31.311				
11	71.572044	28.268	384.982	-204.172	41.845	42.700					

3Dモデル上での経路長を確認  
Route1: 1091.068m  
Route2: 916.855m

# 解析事例（対象地物の分類）

- ✓ ボルダーやクレーターのサイズを正確に計測  
→ 地形特性を考慮した解析の精度向上



# 今後の開発計画

## ✓ 追加機能の開発

- **高度解析機能の拡張**

スペクトル吸収解析、クラスタリング、主成分分析（PCA） など

- **他ツールとのフォーマット互換性**

SBMT、AiGIS などとの連携

- **他観測機器への対応**

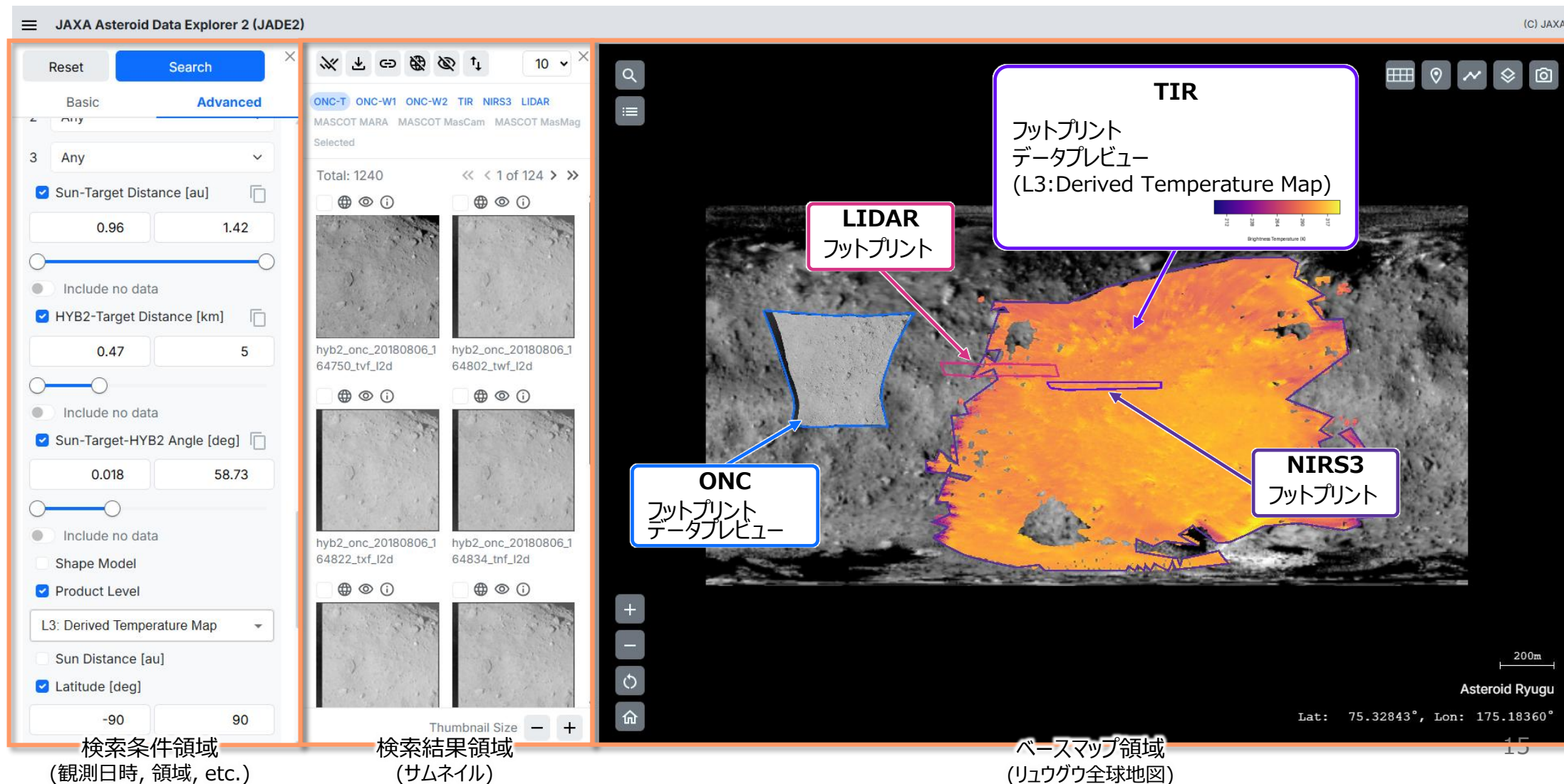
TIR、LIDAR など

# JADE 2

JADE 2 サイト  
<https://jade2.darts.isas.jaxa.jp/>



- ✓はやぶさ2 観測データ検索、可視化、配信Webアプリケーション
- ✓複数の観測機器データについて検索やデータプレビューが可能

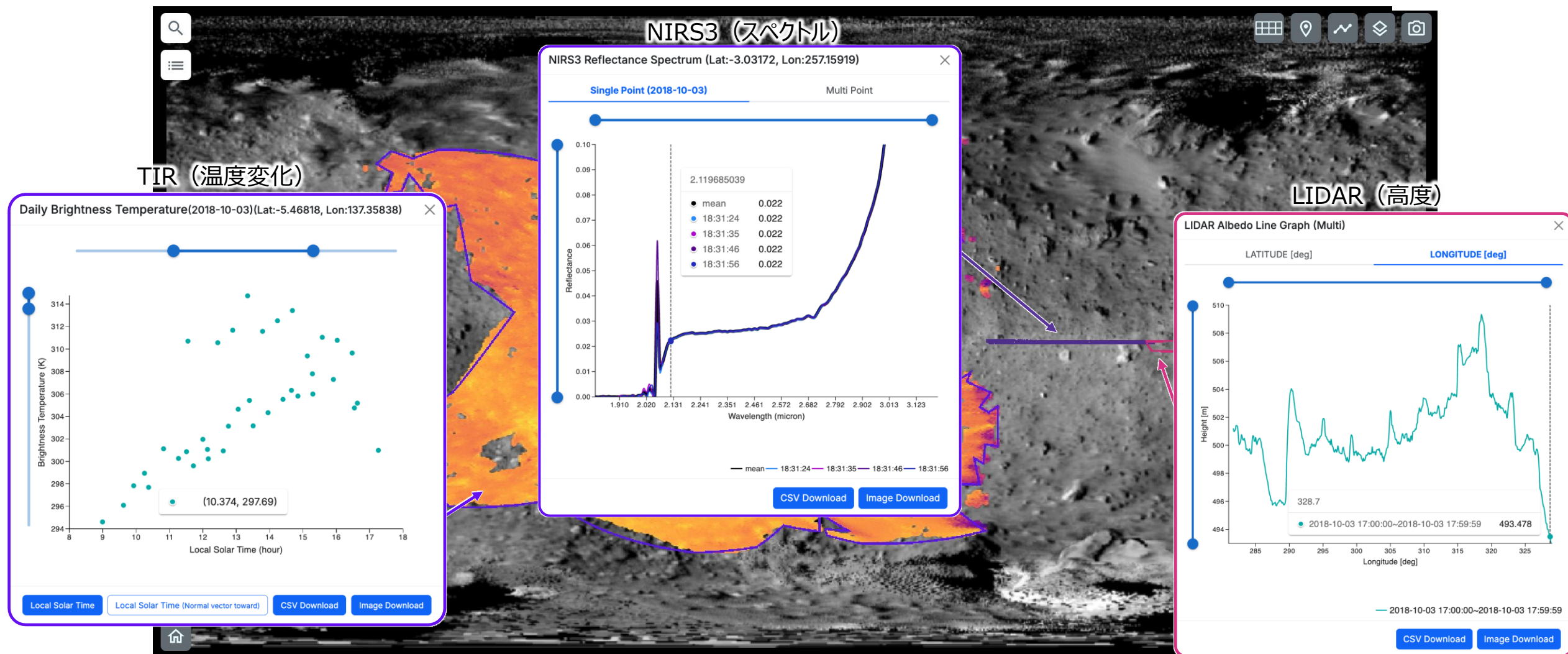


# JADE 2

JADE 2 サイト  
<https://jade2.darts.isas.jaxa.jp/>



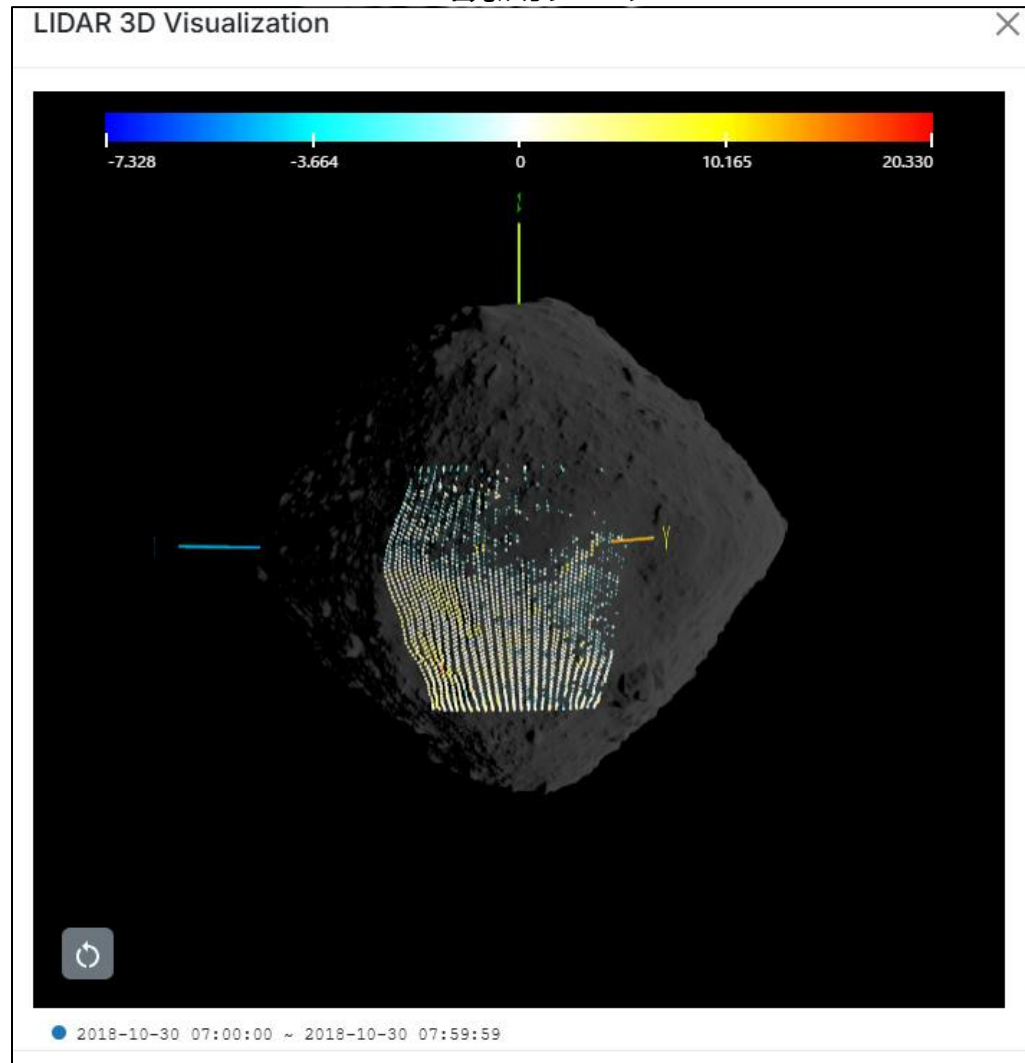
✓ 検索システム上で観測結果（スペクトル・温度・高度）が確認できる



# JADE 2

✓ 3Dビューによる可視化

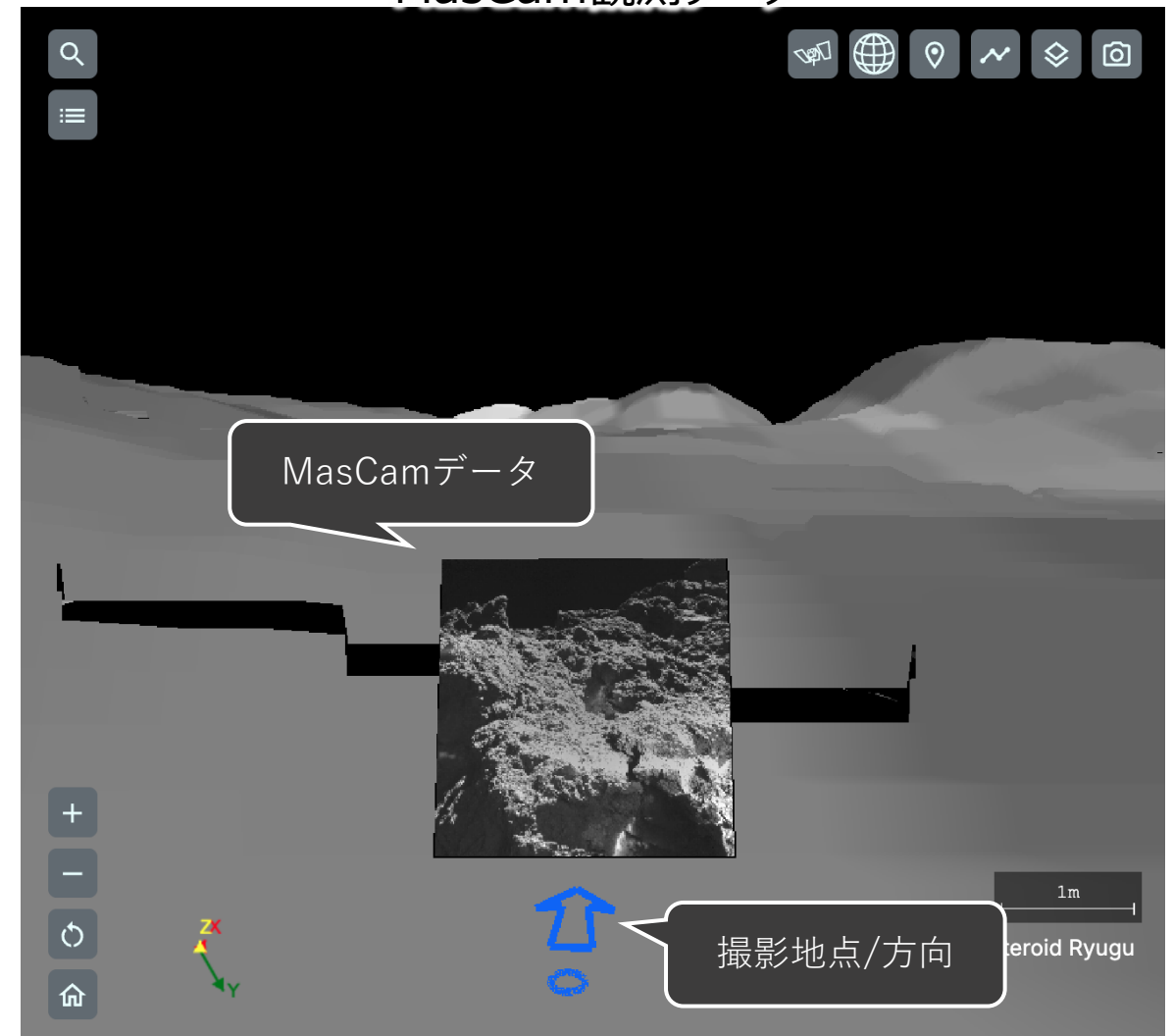
LIDAR観測データ



JADE 2 サイト  
<https://jade2.darts.isas.jaxa.jp/>



MasCam観測データ



## まとめ

### ■実施事項

- ✓ はやぶさ2成果の活用促進に向けたGISプロダクトや解析ツール及び検索システムの開発
- ✓ 2D $\leftrightarrow$ 3Dのシームレスな解析環境を開発
  - 3次元モデル上での可視化機能
  - 不規則形状天体に対応した距離・面積の計測機能

### ■今後の予定

- ✓ 機能拡張
  - 追加機能の開発、PyAiGISへの展開
- ✓ 成果の公開
  - GISプロダクトの公開（DARTS等）、QGISプラグインの公開（QGISリポジトリ）
- ✓ 他ミッションへの展開
  - MMX や海外の OSIRIS-APEX、Hera ミッションへの共有（研究会等）  
⇒小天体探査の可視化・解析手法の標準化を目指す