

はやぶさ2搭載カメラONCによる小惑星リュウグウ可視光画像のアーカイブ構築

横田康弘¹, 本田理恵², 杉田精司³, 諸田智克³, 亀田真吾⁴, 澤田弘崇¹, 山田学⁵, 神山徹⁶, 巽瑛理⁷, 鈴木秀彦⁸, 長勇一郎³, 坂谷尚也¹, 松岡萌⁶, 早川雅彦¹, 湯本航生³, 本田親寿⁹, 小川和律¹, 吉岡和夫³, 村上真也¹, 山本幸生¹, M. K. Crombie¹⁰

1 JAXA; 2 愛媛大; 3 東大; 4 立教大; 5 千葉工大; 6 産総研; 7 カナリア天文台;
8 明治大; 9 会津大; 10 Indigo Information Services, LLC

2019年度 共同研究

研究代表者：本田理恵

課題：「はやぶさ2 ONCによる小惑星リュウグウのマルチスケール画像アーカイブ構築」

“Archiving of multi-scale images of asteroid Ryugu by ONC onboard Hayabusa2”

- 本研究課題では、はやぶさ2 Onboard Navigation Camera (ONC)データアーカイブ構築のために、3次元形状モデル作成ソフトMetashapeと計算機(Mac mini)を購入し、活用した。
- Metashapeではさらに多様な研究も行えており、本発表ではそれらも合わせてオムニバスの的に紹介する。

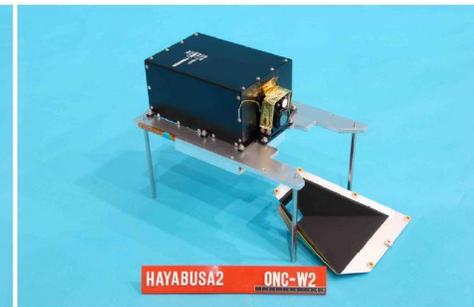
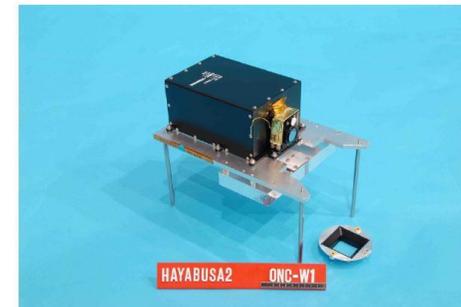
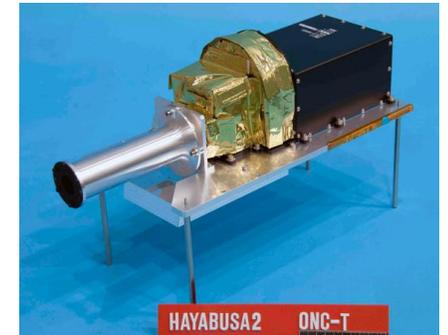
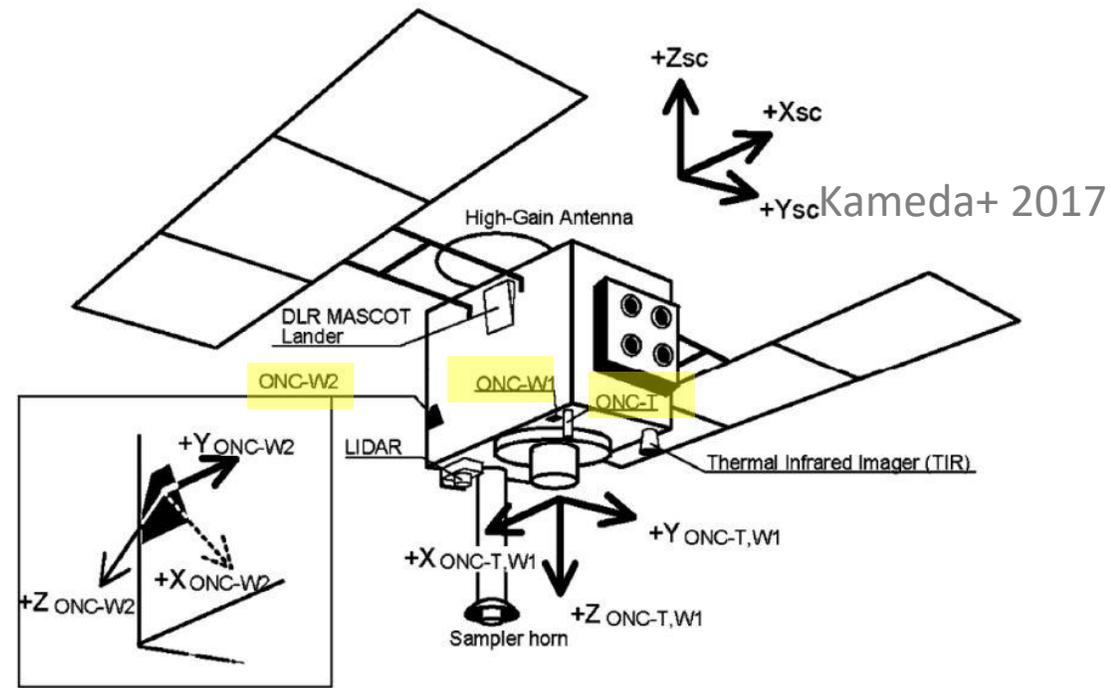
1. ONC PDS4データアーカイブ作成 の紹介

2. Metashape利用事例 の紹介

- ONC低高度画像
- 帰還試料の粒子形状カタログ
- 中間赤外カメラ (TIR) での検討

ONC 背景説明

- Onboard Navigation Camera
- 望遠 (ONC-T)と広角(ONC-W1, W2)
- 1024 x 1024 pixels
- ONC-Tの空間分解能 : 0.1 mrad/pixels
→ 2 m/pix @ 20 km
- ONC-Tはフィルターホイールで7バンド + wideバンド撮像
 - 約1万枚のサイエンス観測画像を取得。
アーカイブ化が課題であった。



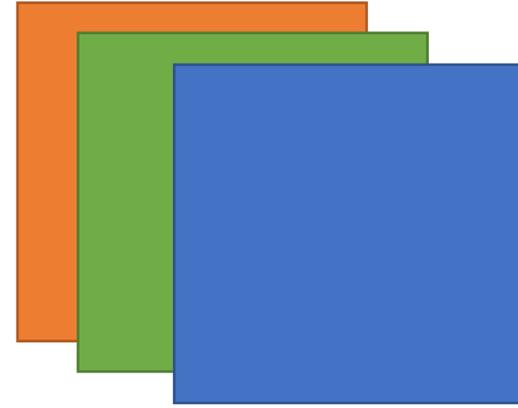
PDS4バンドル化までのデータ処理の流れ

Table 5. ONC data products and their processing levels

| ONC Product | PDS4 Processing Level | ONC Processing Level | |
|---|-----------------------|----------------------|--|
| Raw / Partially Onboard Processed Image Data | Raw | L2a | <ul style="list-style-type: none"> • DN値 • 校正過程 • Radiance factor • 測光補正 |
| Partially Processed Image Data | Partially Processed | L2b | |
| Distortion Corrected and Physically Converted Image Data | Calibrated | L2c | |
| Derived I/F Image Data | Derived | L2d | |
| Derived Photometrically Corrected Reflectance Image Data | Derived | L2e | |
| Derived Co-Registered I/F image Cube Data | Derived | L2drc | <ul style="list-style-type: none"> • バンド位置合わせ |
| Derived Co-Registered Photometrically Corrected Reflectance Image Cube Data | Derived | L2erc | |
| Derived Backplane Image Cube Data | Derived | L2dbpc | <ul style="list-style-type: none"> • 幾何学情報 |
| Calibration Data | Derived | -- | |
| Browse Product | Derived | -- | |

マルチバンドの位置合わせ

- フィルタホイールを回す間に、探査機直下の地表は移動する。
- マルチバンド画像にはバンド間位置合わせが必要。
- 低高度ほど画面内の位置ずれ量は大きくなる。
- 内製の位置合わせプログラム (Kouyama+ 2022) を、全マルチバンドリュウグウ画像に適用した。
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2112.09404>
- 性能確認作業に購入計算機(Mac mini)を使用。



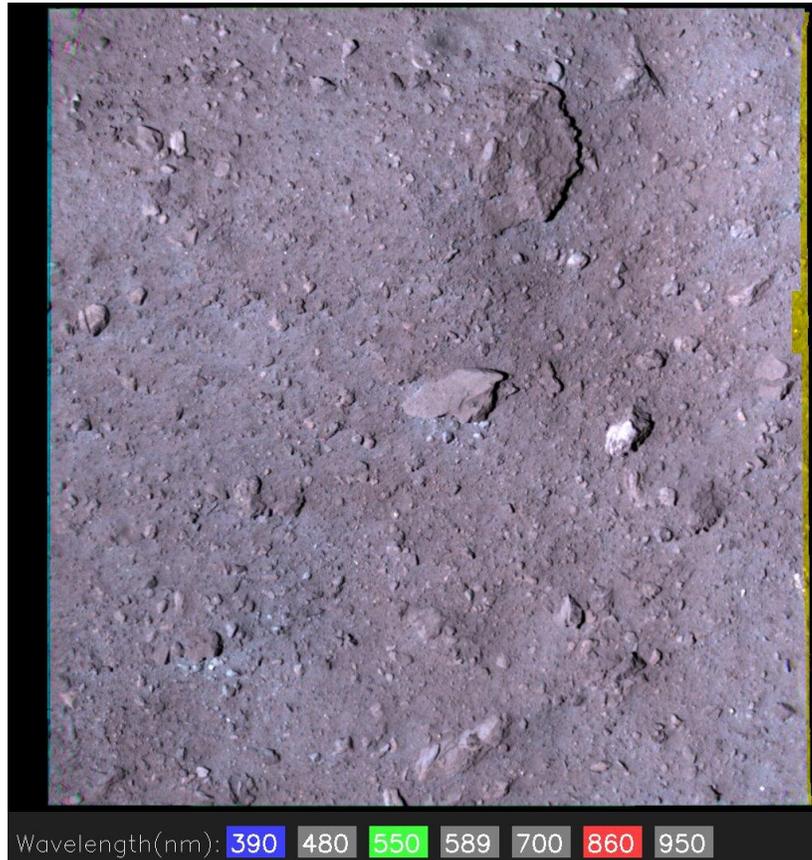
バンド位置合わせ済
I/F データ
(Level 2drc)



位置合わせ済の
測光補正済み反射率
(Level 2erc)

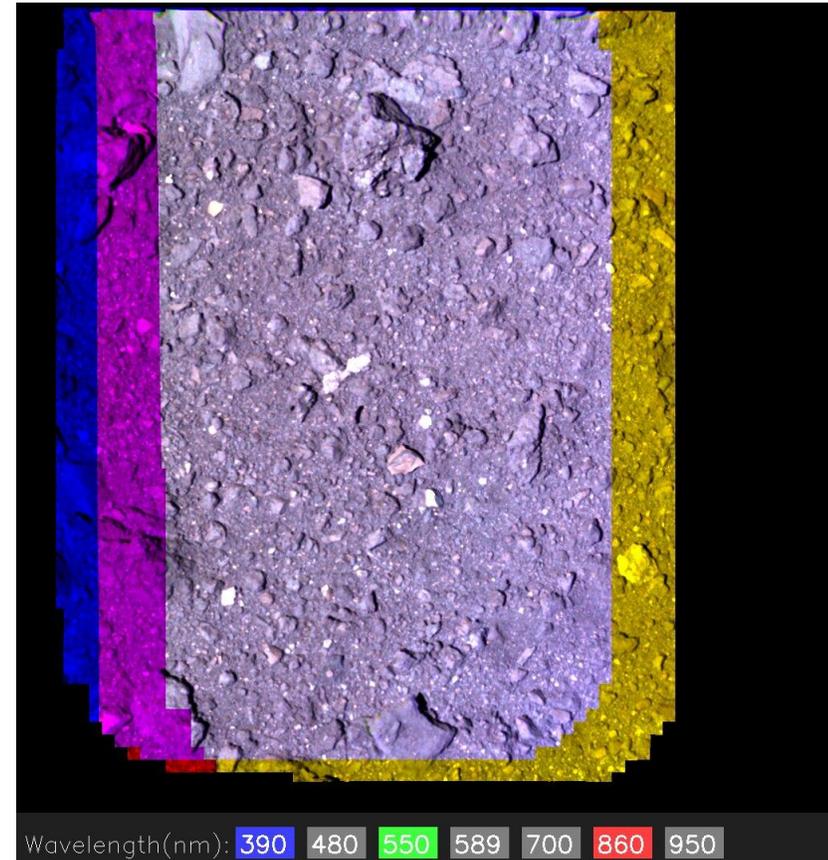


バンド位置合わせの例



hyb2_onc_20181004_042554_tnf_l2drc

上空（3km）から撮った画像では、バンド間の位置ずれは少なく重なり量も多い。



hyb2_onc_20181015_130749_tnf_l2drc

低高度画像では、フィルタを回す間に視野内の地表が大きく動くため、位置合わせも難しくなる。
→ 対応できた。

適切な軌道の選択：模擬画像との目視比較で確認

- 各画素の観測角度情報 (Backplane) 計算に、会津大 平田成さんのソフト “plate renderer” を用いている。
 - 正確なBackplaneには正確な軌道が必要。選択肢 → SPC軌道かLIDAR軌道か。
- 実画像と模擬画像との比較htmlを用意した。
- チーム内で分担した目視確認により、各画像に採用する軌道を選んだ。

観測画像 (校正後) 模擬 (選択後) 模擬 (SPC軌道) 模擬 (LIDAR軌道)

SPC軌道を採用した例

| File Name | L2a | L2b | L2c | L2d | AdoptedBp | Op(spc) | Op(lidar) | M_VER | NA |
|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----------|---------|-----------|--------------|-----|
| hyb2_onc_20180801_094857_tvf[hdr] | | | | | | | | 20200323SPC' | 10: |
| hyb2_onc_20180801_094909_twf[hdr] | | | | | | | | 20200323SPC' | 10: |
| hyb2_onc_20180801_094929_txf[hdr] | | | | | | | | 20200323SPC' | 10: |

LIDAR軌道を採用した例

| | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|-----------------|--|
| hyb2_onc_20190404_111532_tuf[hdr] | | | | | | | | '20191114LIDAR' | |
| hyb2_onc_20190404_185339_tvf[hdr] | | | | | | | | '20191114LIDAR' | |
| hyb2_onc_20190404_185352_twf[hdr] | | | | | | | | '20191114LIDAR' | |

将来課題

- 軌道自体の改良は将来課題。
- 目視では確認サイクルに時間がかかる。将来探査では実画像との照合を自動でできると望ましい。

PDS4データの公開ページ

JAXA DARTSの「はやぶさ2」データ公開ページ

<https://darts.isas.jaxa.jp/planet/project/hayabusa2/>

Hayabusa2 Science Data Archives

Home ONC TIR NIRS3 LIDAR SPICE PDS4

0:22 / 5:55

ONC
Optical Navigation Camera
ONC is composed of three framing cameras. One is a telescopic camera (ONC-T), and the others are a wide camera (ONC-W1 and ONC-W2).
[View details >](#) [View data >](#)

TIR
Thermal InfraRed Imager
TIR is a thermal infrared imager to investigate thermophysical properties of C-class near-Earth asteroid.
[View details >](#) [View data >](#)

NIRS3
Near InfraRed Spectrometer
NIRS3 measures the spectral radiance of reflected sunlight from the asteroid. The spectral coverage is 1.8 to 3.2 μm to detect structural OH ions and H₂O molecules.
[View details >](#) [View data >](#)

LIDAR
Light Detection And Ranging
LIDAR is a laser altimeter to measure the distance from the asteroid surface. It can measure range from 25 km to 30 m.
[View details >](#) [View data >](#)

SPICE
SPICE kernels
Orbit, attitude, and other required ancillary data are archived in SPICE kernels.
[View details >](#) [View data >](#)

PDS4
PDS4 bundles
List of datasets compliant with Planetary Data System version 4 (PDS4) data standard.
[View details >](#)

© Japan Aerospace Exploration Agency 2014-2021

darts.isas.jaxa.jp/planet/project/hayabusa2/list.html

JAXA JLPEDA Haya2 Tools

List of PDS4 bundles

Here is the list of PDS4 bundles from Hayabusa2 Asteroid Sample Return mission.

- [Hayabusa2 Mission Bundle](#)
- [Hayabusa2 ONC Bundle](#)
- [Hayabusa2 TIR Bundle](#)
- [Hayabusa2 NIRS3 Bundle](#)
- [Hayabusa2 LIDAR Bundle](#)

Other links

- [List of DOIs of PDS4 Hayabusa2 archives at Japan Link Center \(in Japanese\)](#)
- [Hayabusa 2 Data Archive at Asteroid/Dust Subnode of NASA/PDS Small Bodies Node.](#)

© Japan Aerospace Exploration Agency 2022
[Hayabusa2 Science Data Archives](#), [DARTS](#) / [Hayabusa2 Web site](#) / [ISAS](#) / [JAXA](#)

(1) 左上の「ONC」はまだ過去の先行版なので、「PDS4」へ進んでください。

(2) 「ONC Bundle」に進むと次ページへ。

PDS4データの公開ページ

(3) DOIのページに着く。

<https://darts.isas.jaxa.jp/doi/hyb2/hyb2-00200.html>

Hayabusa2 Optical Navigation Camera (ONC) Bundle

DATA FILE DOWNLOAD

Directory (DARTS/JAXA) Download zip (DARTS/JAXA) Download page (PDS SBN/NASA)

DATA CITATION

Sugita, S., R. Honda, T. Morota, S. Kameda, H. Sawada, Y. Yokota, M. Yamada, T. Kouyama, E. Tatsumi, H. Suzuki, Y. Cho, N. Sakatani, M. Matsuoka, M. Hayakawa, K. Yumoto, C. Honda, K. Ogawa, K. Yoshioka, S. Murakami, Y. Yamamoto, M. K. Crombie, Hayabusa2 ONC Bundle, urn:jaxa:darts:hyb2_onc, JAXA Data Archives and Transmission System, <https://doi.org/10.17597/isas.darts/hyb2-00200>, 2022.

IDENTIFICATION INFORMATION

- Title: Hayabusa2 Optical Navigation Camera (ONC) Bundle
- DOI: <https://doi.org/10.17597/isas.darts/hyb2-00200>
- Alternate identifier(s):
 - URN: urn:jaxa:darts:hyb2_onc

DATASET CREATOR

- Seiji Sugita, The University of Tokyo, <https://orcid.org/0000-0001-6076-3614>
- Rie Honda, Ehime University, <https://orcid.org/0000-0001-7008-5300>
- Tomokatsu Morota, The University of Tokyo, <https://orcid.org/0000-0002-0500-4591>
- Shingo Kameda, Rikkyo University, <https://orcid.org/0000-0001-9084-2858>
- Hiroataka Sawada, Japan Aerospace Exploration Agency, <https://orcid.org/0000-0002-8731-6889>
- Yasuhiro Yokota, Japan Aerospace Exploration Agency, <https://orcid.org/0000-0001-9230-974X>
- Manabu Yamada, Chiba Institute of Technology, <https://orcid.org/0000-0003-0726-6592>
- Toru Kouyama, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, <https://orcid.org/0000-0002-1060-3986>
- Eri Tatsumi, Instituto de Astrofísica de Canarias, <https://orcid.org/0000-0002-6142-9842>
- Hidehiko Suzuki, Meiji University, <https://orcid.org/0000-0001-7070-2065>

個別ファイルのディレクトリ

全体のzip

データセットのDOI

今後の公開予定

Table 5. ONC data products and their processing levels

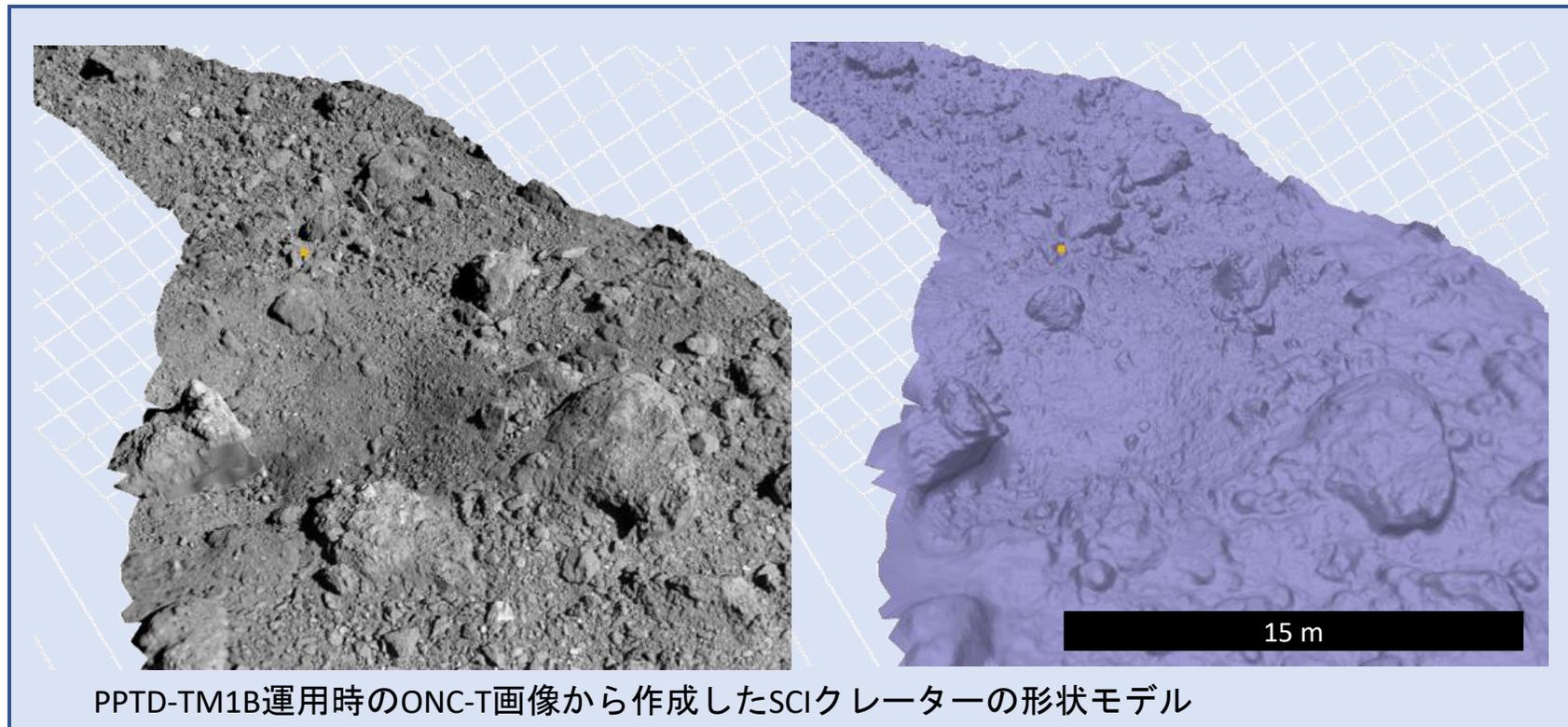
| ONC Product | PDS4 Processing Level | ONC Processing Level |
|---|-----------------------|----------------------|
| Raw / Partially Onboard Processed Image Data | Raw | L2a |
| Partially Processed Image Data | Partially Processed | L2b |
| Distortion Corrected and Physically Converted Image Data | Calibrated | L2c |
| Derived I/F Image Data | Derived | L2d |
| Derived Photometrically Corrected Reflectance Image Data | Derived | L2e |
| Derived Co-Registered I/F image Cube Data | Derived | L2drc |
| Derived Co-Registered Photometrically Corrected Reflectance Image Cube Data | Derived | L2erc |
| Derived Backplane Image Cube Data | Derived | L2dbpc |
| Calibration Data | Derived | -- |
| Browse Product | Derived | -- |

- 上記データは、PDS4審査を経てメジャーな修正を行ったCertified版として公開済み。(L2eを除く)
- ヘッダ情報のマイナー修正中。
- Level 3 (モザイク) データは、JLPEDAの拡張ミッションチーム協力のもとで準備予定。
- L2e (測光補正済み) は一部公開済みであるが引き続き補正精度の検証を行う必要がある。

MetaShapeから得られた成果 (用途1)

ONC-T・W1低高度画像から高解像度地形モデルを作成

- 近接撮像画像の測光補正(形状による見かけの明暗の補正)による**分光データの高精度化**
 - 数10 cm~1 m大の岩塊やクレーターのアルベドをカタログ化した (Yumoto+2021, JpGU)
- 数10 cm大の**小さな岩塊の3軸比を評価した** (Aikyo+2022, 惑星科学会)



MetaShapeから得られた成果 (用途2)

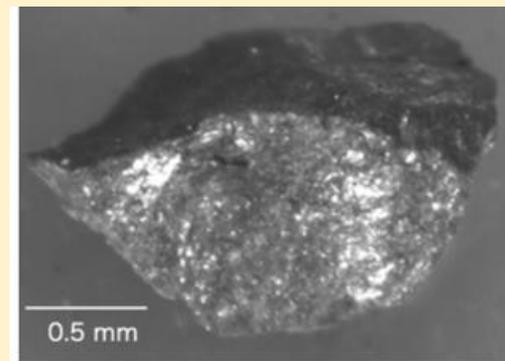
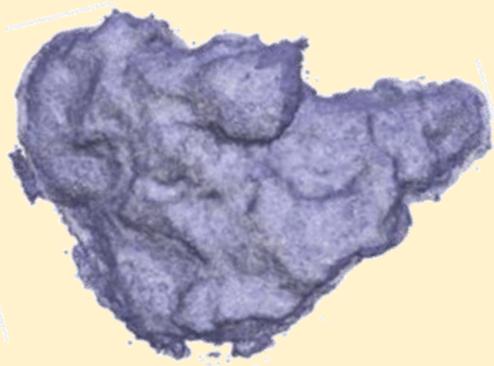
帰還試料のステレオ撮影から帰還粒子の形状モデルを作成 (Cho+2022, PSSで手法提案)

JAXA Curation database: <https://doi.org/10.17597/ISAS.DARTS/CUR-Ryugu-description>

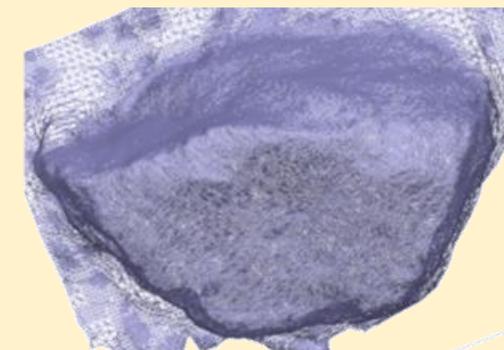
- 体積の評価から、**帰還粒子の密度は隕石よりも低い**ことが分かった (Aikyo+2022, JpGU)
- 粒子表面に見られる多数の輝点は、**粒子形状に起因する鏡面反射**であることが分かった (Yumoto+2022, LPSC)
- リモセンで見られた**rough**又は**smooth**な岩塊と同等の形状を持つ**帰還試料**が見つかった (Yabe+2022, LPSC)



A0008粒子



A0034粒子



帰還試料のステレオ画像から作成した帰還粒子の形状モデル

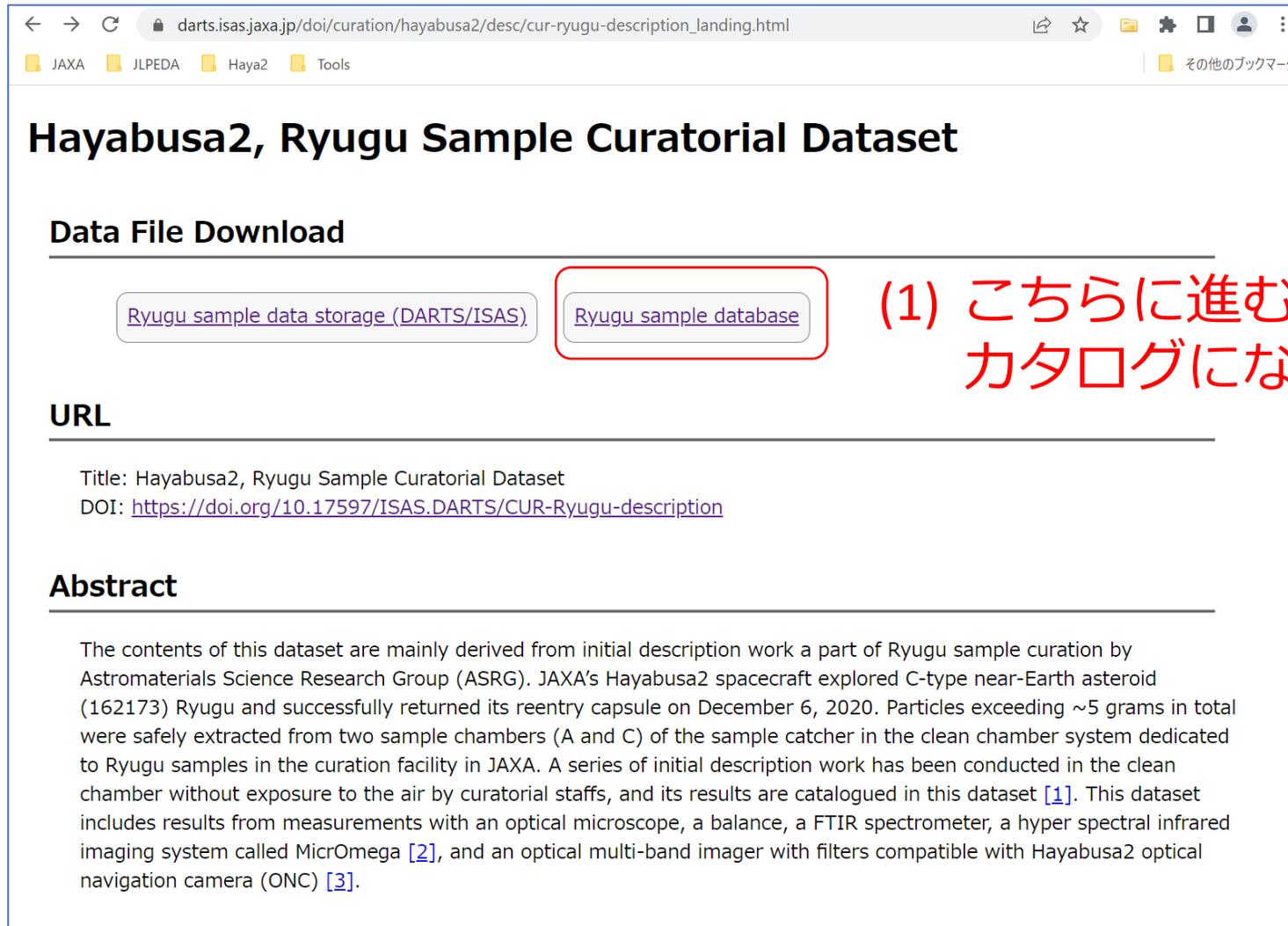
MetaShapeから得られた成果 (用途2)

帰還試料のステレオ撮影から帰還粒子の形状モデルを作成 (Cho+2022, PSSで手法提案)

- 東大杉田研では、JAXAキュレーションチームの一員として、国際AO第1回, 第2回の分配に供された全粒子についてステレオ撮像を行い、Metashapeを用いて形状モデルを算出。
- 形状モデルは、等高線画像 (PNG)として、JAXAキュレーションのデータベースの一部としてwebで世界中に公開済み。
DOI <https://doi.org/10.17597/ISAS.DARTS/CUR-Ryugu-description>
- 形状モデルの数値データは、準備中の論文が受理後に一般公開する予定。

JAXAキュレーション施設のwebデータベース

- <https://doi.org/10.17597/ISAS.DARTS/CUR-Ryugu-description>



← → ↻ darts.isas.jaxa.jp/doi/curation/hayabusa2/desc/cur-ryugu-description_landing.html

JAXA JLPEDA Haya2 Tools その他のブックマーク

Hayabusa2, Ryugu Sample Curatorial Dataset

Data File Download

[Ryugu sample data storage \(DARTS/ISAS\)](#) [Ryugu sample database](#)

URL

Title: Hayabusa2, Ryugu Sample Curatorial Dataset
DOI: <https://doi.org/10.17597/ISAS.DARTS/CUR-Ryugu-description>

Abstract

The contents of this dataset are mainly derived from initial description work a part of Ryugu sample curation by Astromaterials Science Research Group (ASRG). JAXA's Hayabusa2 spacecraft explored C-type near-Earth asteroid (162173) Ryugu and successfully returned its reentry capsule on December 6, 2020. Particles exceeding ~5 grams in total were safely extracted from two sample chambers (A and C) of the sample catcher in the clean chamber system dedicated to Ryugu samples in the curation facility in JAXA. A series of initial description work has been conducted in the clean chamber without exposure to the air by curatorial staffs, and its results are catalogued in this dataset [1]. This dataset includes results from measurements with an optical microscope, a balance, a FTIR spectrometer, a hyper spectral infrared imaging system called MicrOmega [2], and an optical multi-band imager with filters compatible with Hayabusa2 optical navigation camera (ONC) [3].

(1) こちらに進むと次ページの
カタログになる。

JAXAキュレーション施設のwebデータベース

← → ↻ darts.isas.jaxa.jp/curation/hayabusa2/

JAXA JLPEDA Haya2 Tools

Display style table thumbnail

items per page 25 50 100

image size small < medium

add columns

Reset (default style)

Search constraints

- ▶ AO allocation[Ⓞ]
- ▶ chamber[Ⓞ]
- ▶ name
- ▶ form[Ⓞ]
- ▶ Measurement Label[Ⓞ]
 AND OR
- ▶ Distribution Label[Ⓞ]
 AND OR
- size include blank
558 3,004.75 5,451.5 7,898.25 10,345
898 ~ 10345 μm
- weight include blank
0 107.1 214.2 321.3 428.4
0 ~ 794.2 mg

Search

Reset

Search results **Cart**

Total : 1807 Search Results : 1807 hits

Constraints : no constraint.

download bulk export

| | AO allocation | chamber | name | form | photo | microscope | size(μm) | weight(mg) | link/download | condition | category |
|--------------------------|---------------|---------|-------|----------|-------|------------|-----------------------|------------|--|-----------|----------|
| <input type="checkbox"/> | n/a | A | A0005 | particle | | | 3367 | 10.2 | <ul style="list-style-type: none">all descriptiondata folderFTIR(csv)MicrOmega(csv) | pristine | 1 |
| <input type="checkbox"/> | n/a | A | A0006 | particle | | | 2894 | 6.3 | <ul style="list-style-type: none">all descriptiondata folderFTIR(csv) | pristine | 1 |
| <input type="checkbox"/> | n/a | A | A0007 | particle | | | 4834 | 14.9 | <ul style="list-style-type: none">all descriptiondata folderFTIR(csv)MicrOmega(csv) | pristine | 1 |
| <input type="checkbox"/> | n/a | A | A0008 | particle | | | 3858 | 10.2 | <ul style="list-style-type: none">all descriptiondata folderFTIR(csv)MicrOmega(csv) | pristine | 1 |
| <input type="checkbox"/> | n/a | A | A0009 | particle | | | 3100 | 9.2 | <ul style="list-style-type: none">all descriptiondata folderFTIR(csv)MicrOmega(csv) | pristine | 1 |

(2) “all description”に進む (次ページ)

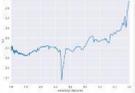
JAXAキュレーション施設のwebデータベース

Weight

| measurement_datetime | total_weight(mg) | sample_dish_weight(mg) | sample_weight(mg) | sample_weight_error(mg) | dish | comment |
|----------------------|------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|-----------|---------|
| 2020-12-24 14:21 | 5263.9 | 5253.7 | 10.2 | 0.06 | JX15-0008 | - |

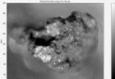
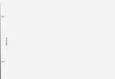
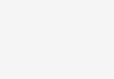
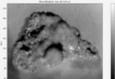
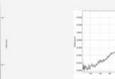
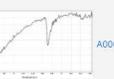
FTIR

| measurement_datetime | comment |
|----------------------|-------------------|
| 2021-03-30 11:40 | A0008_01_stack400 |

| spectrum_img | roi_img | roi_light_img | csv_file | comment |
|---|---|---|-------------------------|---------|
|  |  |  | A0008_01_stack400-1.csv | - |
|  |  |  | A0008_02_stack400-1.csv | - |

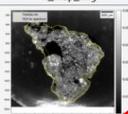
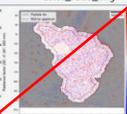
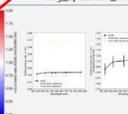
MicrOmega

| measurement_datetime | comment |
|----------------------|---------|
| 2021-07-21 00:00 | - |

| position | angle(°) | monochromatic_img | roi_img | mean_spectrum_img | mean_spectrum_csv | comment |
|----------|----------|---|---|---|-------------------------------------|---------|
| 180 | - |  |  |  | A0008_DiffZ_0deg_AverageSpectra.csv | - |
| 0 | - |  |  |  | - | - |

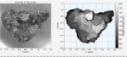
Multi-band Spectroscopy

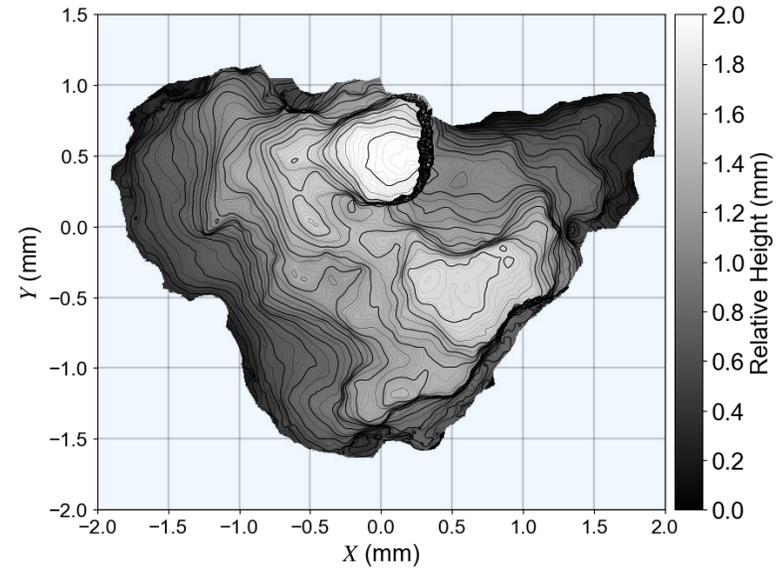
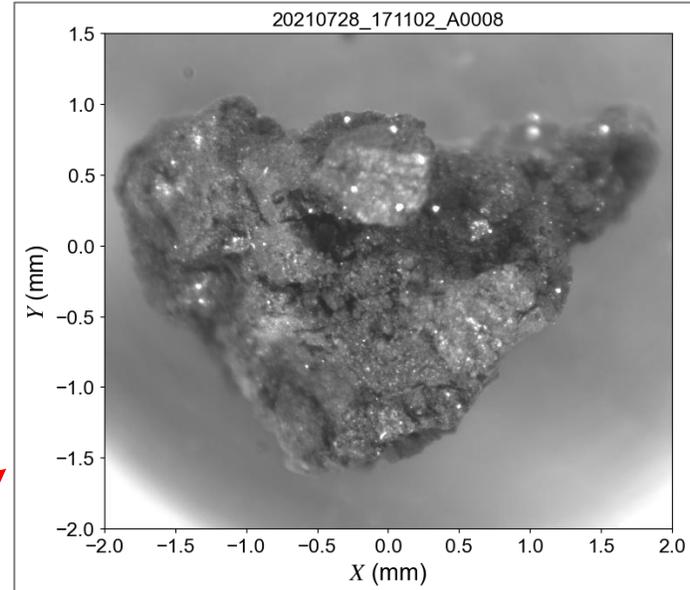
| measurement_datetime | comment |
|----------------------|---------|
| 2021-07-28 18:15 | - |

| measurement_condition_csv | if_map_img | color_ratio_img | avg_spectrum_img | avg_spectrum_csv | comm |
|--|---|---|---|---|------|
| A0008_MBS_csv_file_measurement_condition.csv |  |  |  |  | - |

Stereo imaging

| measurement_datetime | comment |
|----------------------|---------|
| 2021-07-28 18:15 | - |

| elevation_map_img | comment |
|---|---------|
|  | - |



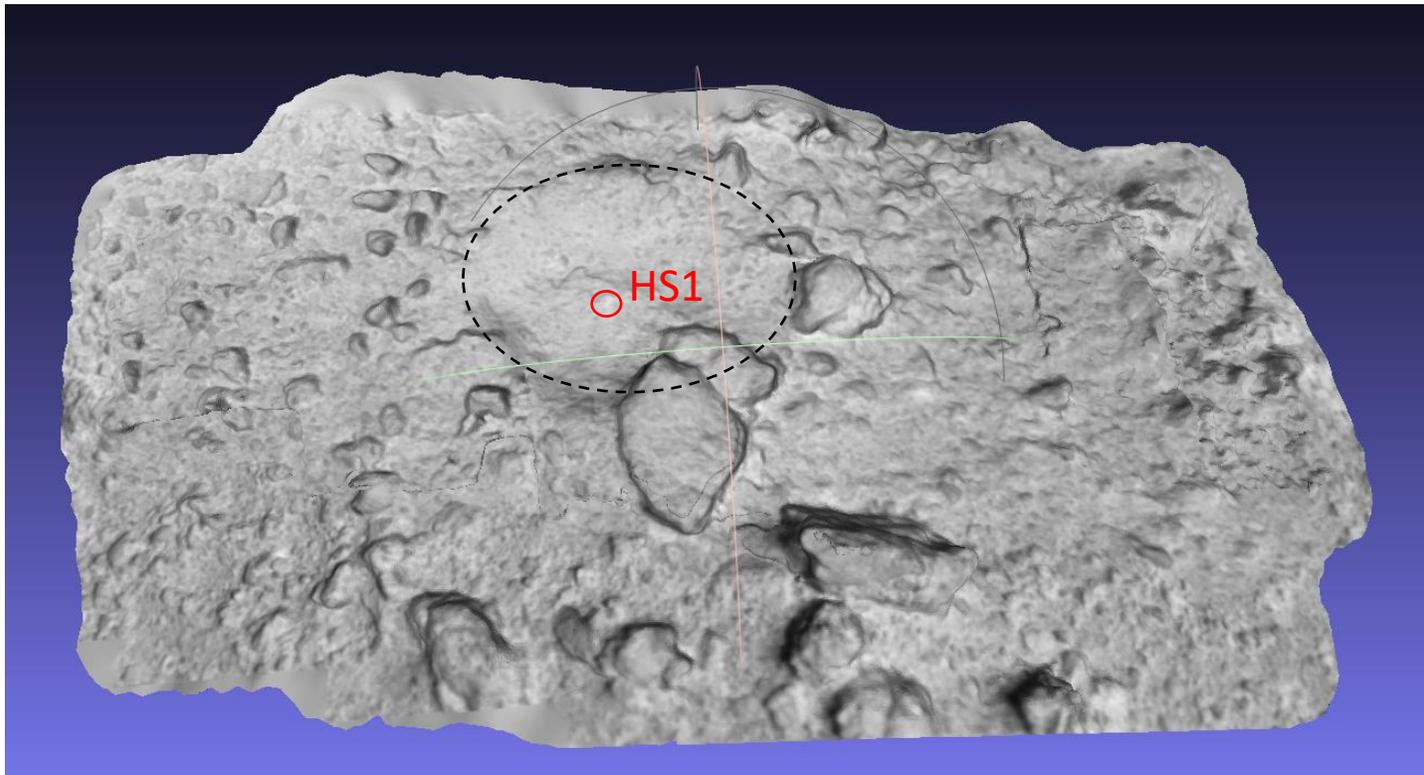
(4) 現在は等高線図が公開されている。

(3) ページを下へスクロールした場所に形状モデルの情報がある。

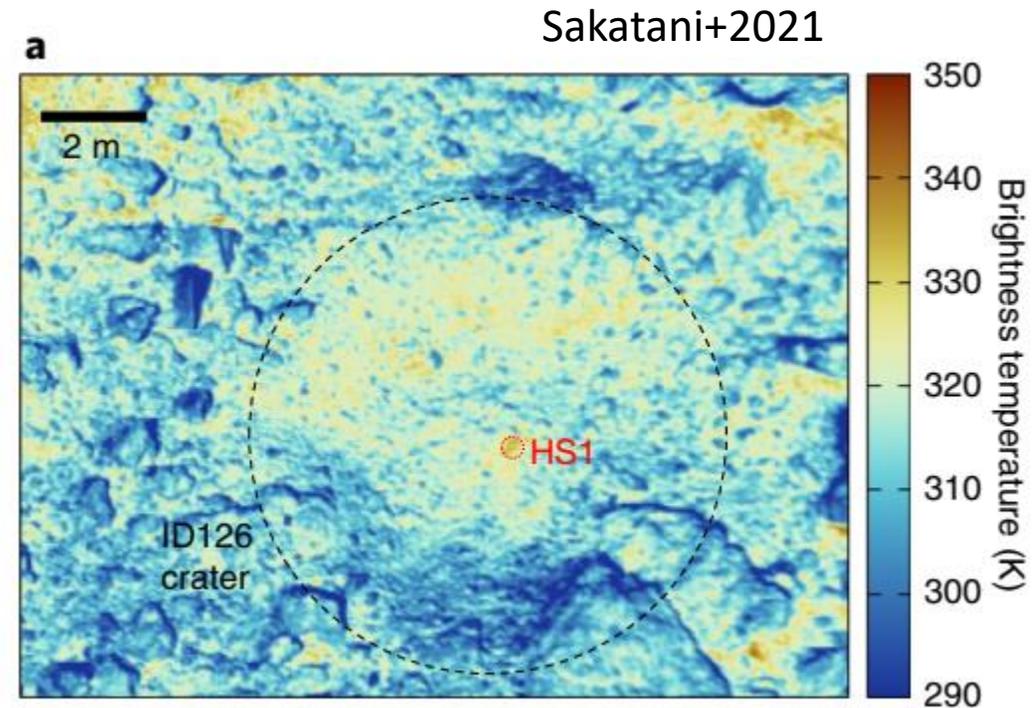
MetaShapeから得られた成果 (用途3)

中間赤外カメラ (TIR) の画像を用いた地形モデル作成の試み(1)

- TIR の近接撮像データを用いた DEM 作成 & 詳細形状評価
→ Sakatani+2021 (Nat. Ast.) の検討に使用



TIR 画像を利用した local DEM

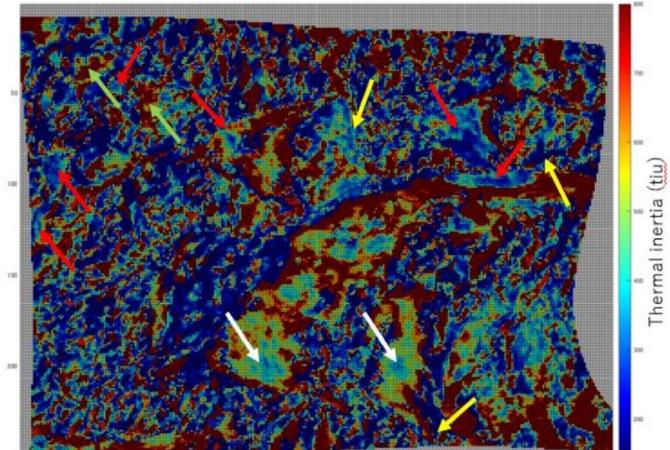
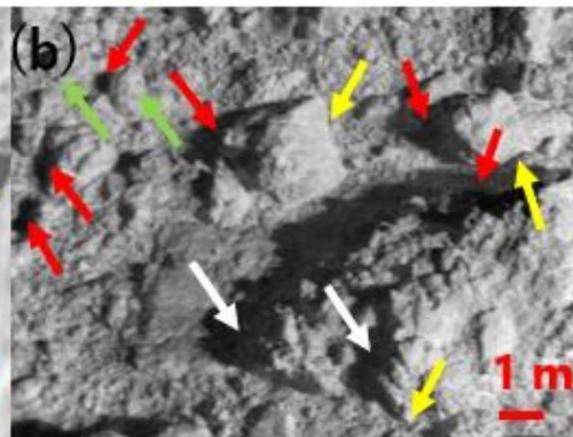
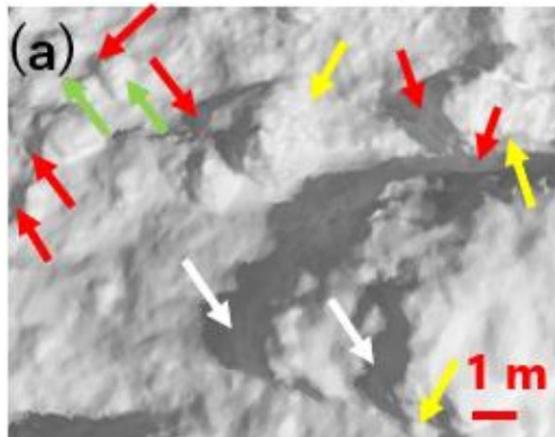


TIR 画像

MetaShapeから得られた成果 (用途3)

中間赤外カメラ (TIR) の画像を用いた地形モデル作成の試み(2)

- TIR DEM の作成、熱計算、および局所的熱慣性の評価 (伊藤 2018, 東京大学 修論)
→ 可視光画像に頼らない TIR 自己完結型の熱解析手法



(左) TIR DEM の熱計算、(中) TIR 画像、(右) 超局所的熱慣性マップ

まとめ

- ONCデータのアーカイブ化は、PDS4バンドルの一般公開までたどり着いた。
- 購入したMetashapeの利用は多岐にわたっており、ONC以外の「はやぶさ2」データにも活用が進んでいる。
 - ONC低高度画像
 - 帰還試料の粒子形状カタログ
 - TIR での検討

宣伝: 開発中のONCデータの検索システム

宇宙研 月惑星探査データ解析グループ(JLPEDA)では、ONCチームと協力して、webでのONCデータ検索システム **JAXA Asteroid Data Exploler (JADE)**を開発中。
これまでに宇宙研 菊地紘さんが研究会等で報告している。
現在はチーム内で利用しつつ改良中であり、一般公開を目指している。

The screenshot displays the JAXA Asteroid Data Explorer (JADE) web interface. On the left, there is a sidebar with various filters and controls:

- Reset** button
- Observation Time**: 2018/06/27 00:00 to 2019/11/13 23:59
- Filter by Mission Schedule** section:
 - Camera Select**: ONC-W1,2; ONC-T
 - Definition of Product Level**: L2d: data_iof
 - Object**: Any
 - Resolution [m/pixel]**: 0.01461 to 1.52873
 - Latitude [deg]**: Include no data
 - Longitude [deg]**: Include no data
 - Phase Angle [deg]**: 0 to 360

The central area shows a grid of 9 thumbnail images of the asteroid Ryugu, each with a timestamp. The first row shows images from 2018/07/20 at 07:12:30, 07:22:24, and 07:32:19. The second row shows images from 2018/07/20 at 07:42:13, 07:52:08, and 08:02:02. The third row shows images from 2018/07/20 at 08:11:57, 10:00:57, and 10:10:52. Each thumbnail has a globe icon and an information icon.

The right-hand side features a large image viewer showing a detailed grayscale image of the asteroid's surface. A yellow rectangular box highlights a specific region of interest. The viewer includes a search bar, a home button, and a copyright notice: (C)JAXA/JLPEDA. The asteroid is identified as **Asteroid Ryugu** with coordinates **Lat:-63.17102°, Lon:98.63690°**.