

R5年度実用研究

二重小惑星探査計画Hera搭載中間赤外カメラTIRI用の 熱画像解析ソフトウェアの開発 ～HEATの解析機能拡張

Development of thermal image analysis software for Thermal Infrared Imager onboard Hera :
Implement of HEAT for heat analysis tool

2024年12月19日

前橋工科大学 工学部 生命工学領域

荒井 武彦

坂谷 尚哉, 鳶生 有理, 千秋 博紀,
出村 裕英, 斎藤 啓仁, 金野 龍二
岡田 達明, 田中 智, HERA/TIRIチーム

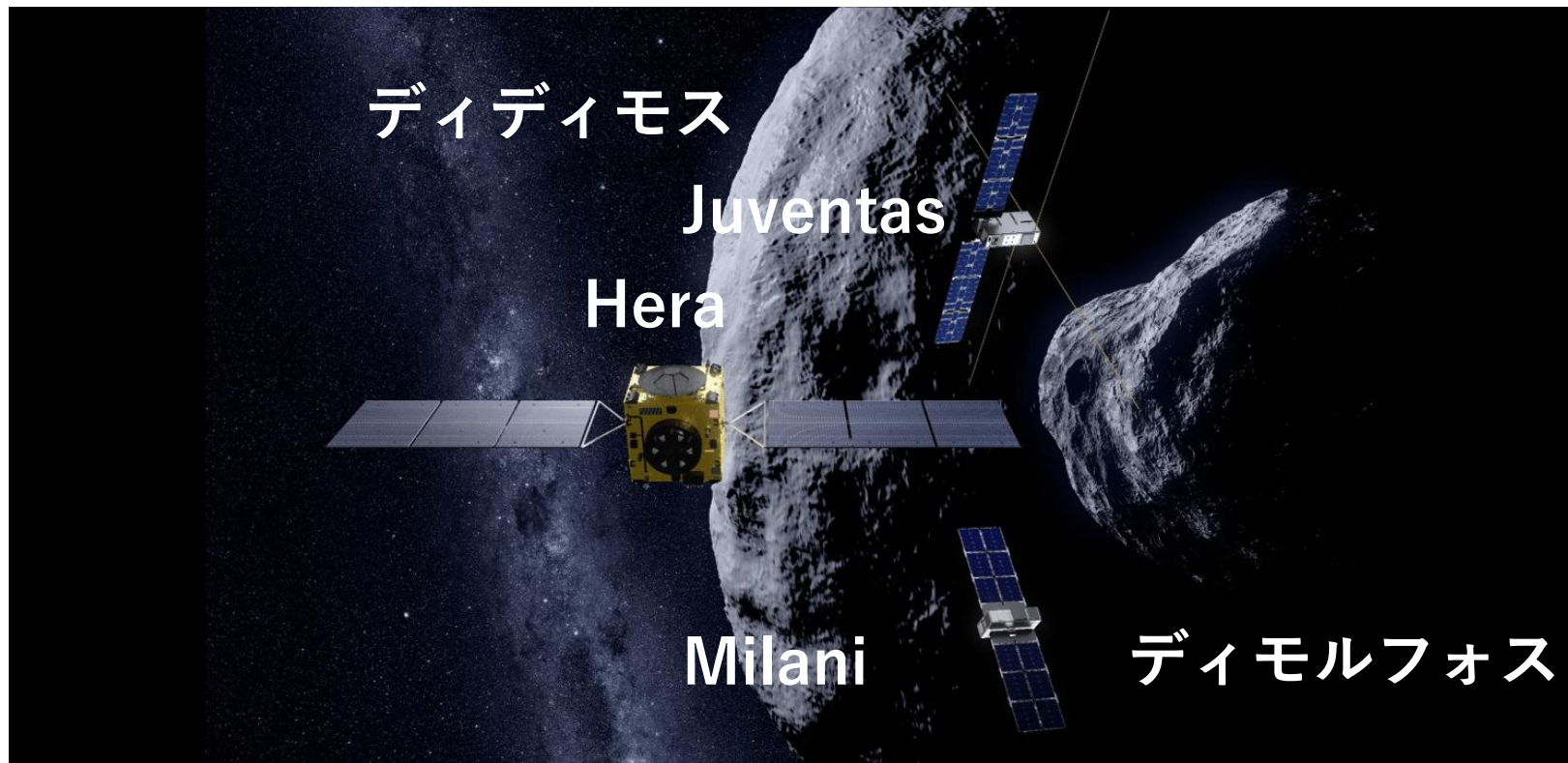
目次

1. 背景
2. HEATの開発
3. HEATの性能
4. HEATの次期バージョン
5. まとめ

1 背景

Hera ミッション

バイナリ小惑星ディディモス・ディモルフォス系を探索する
プラネタリディフェンスミッション(2026~2027年ランデブュー)



1 背景 Hera ミッション

2024年10月7日ファルコン9ロケットで打ち上げ

Hera 探査機

モノクロ可視カメラ

キューブサット

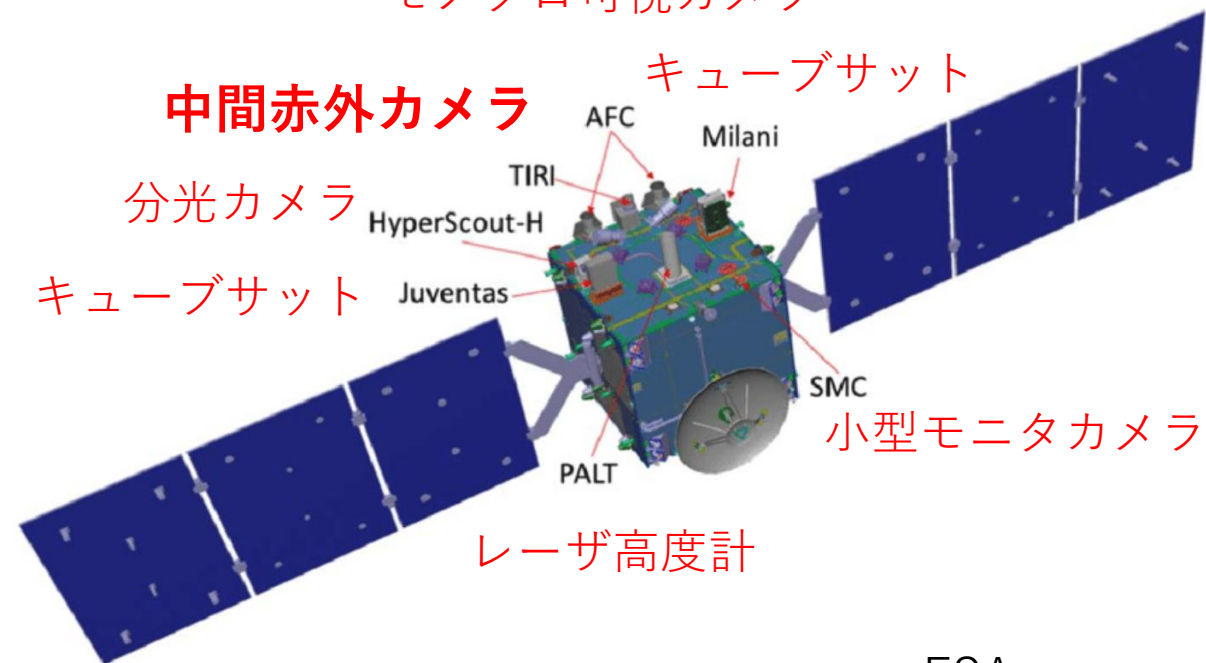
中間赤外カメラ

分光カメラ

キューブサット

小型モニタカメラ

レーザ高度計



ESA

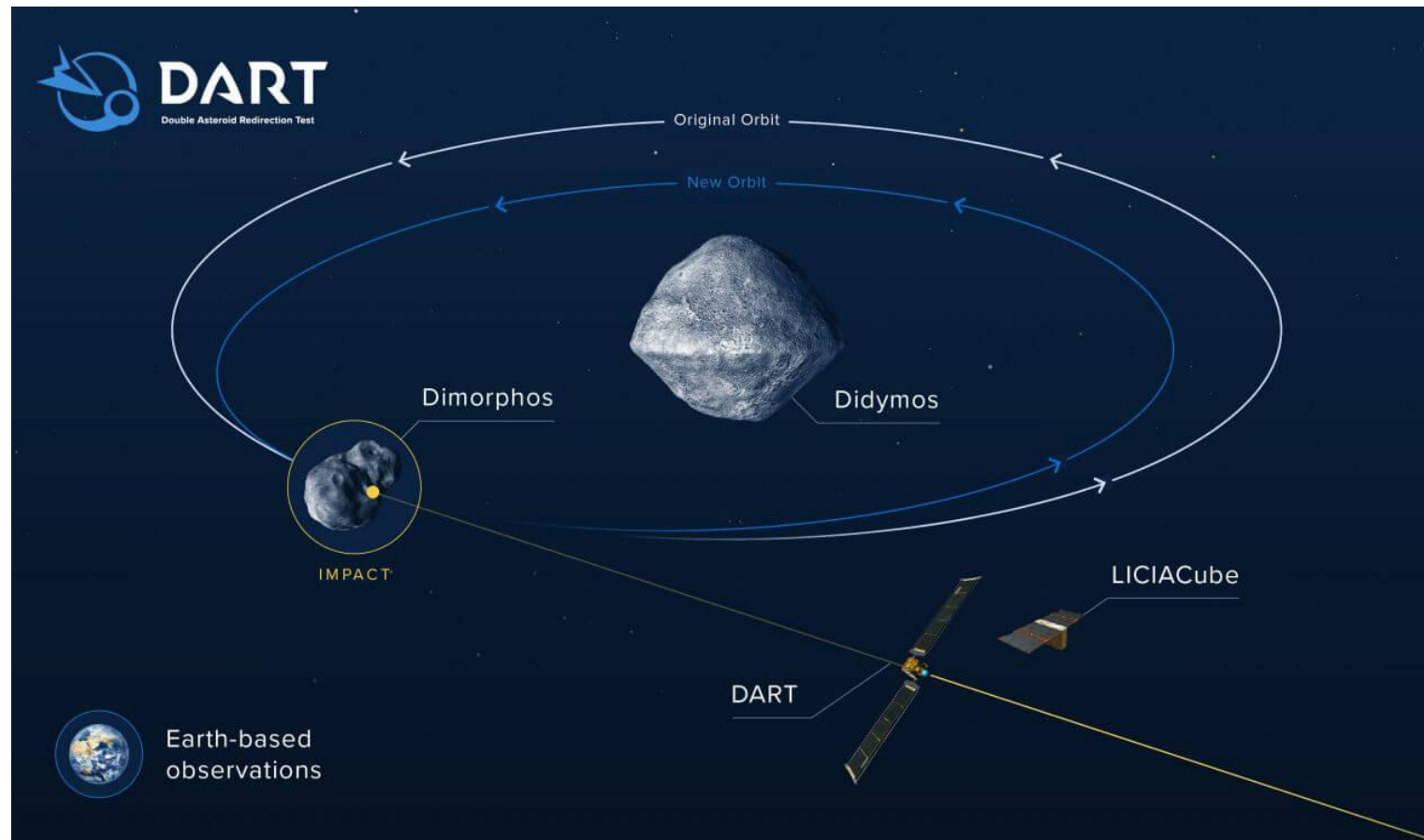


ESA

1 背景

DART ミッション

2022年9月ディモルフォスを公転しているディディモスにDART探査機が衝突
ディモスフォス軌道周期を11時間55分から11時間23分に変化させた



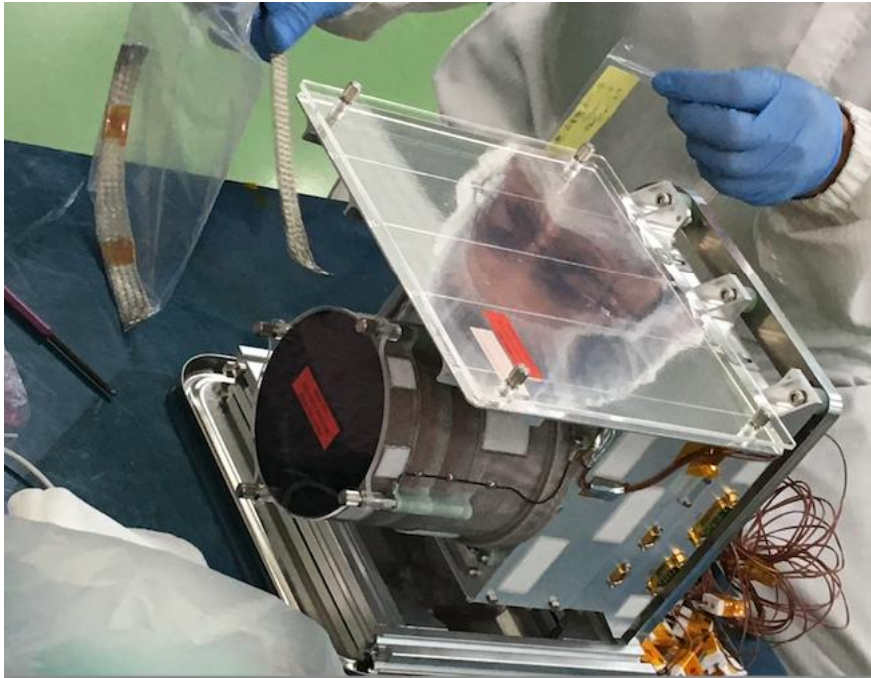
2022年9月26日
衝突

(NASA/Johns Hopkins APL/Steve Gribben)

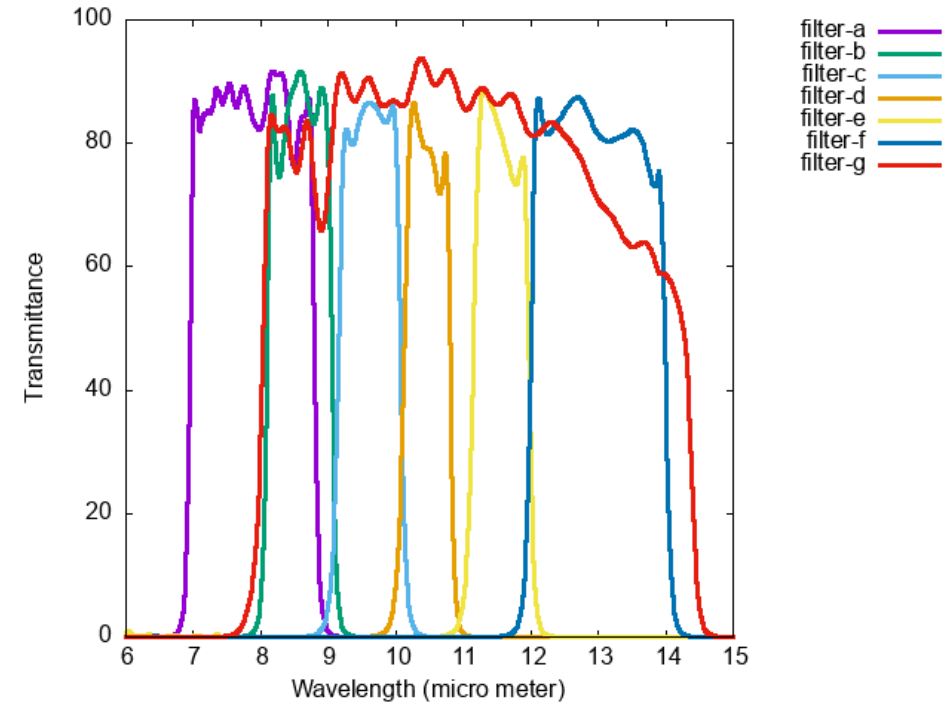
1 背景

Hera搭載中間赤外カメラTIRI

TIRIフライトモデル



バンドパスフィルタ透過率



- センサ：非冷却マイクロボロメータアレイ
- 画素：1024 x 768
- FOV：13.3° x 10°
- フィルタ：中間赤外域の6つの狭帯域バンド(8～14 μm)

1 背景

Hera搭載中間赤外カメラTIRI

惑星科学の目的

- S型小惑星の熱物性の調査
- 100m級小惑星の熱物性の調査と二重小惑星の形成過程の解明
- 連星系のダイナミクスと熱的影響(BYORP)の調査
- DART衝突実験の痕跡と影響、スケーリング則の調査
- 宇宙風化の表層粒径の影響の調査

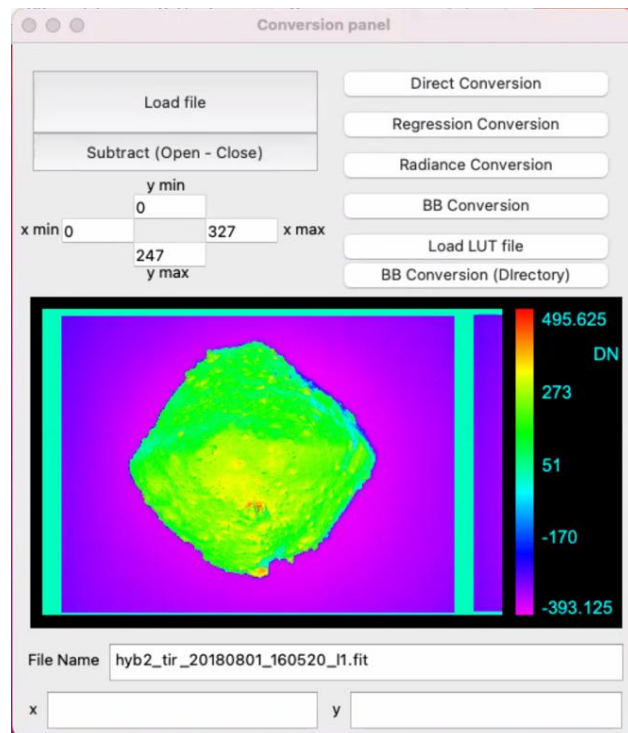
プラネタリ・ディフェンスの目的

- DART標的小惑星の空隙率や強度の調査
- 連星系のダイナミクスと衝突による異常な状態の調査
- DART衝突クレータの形状・寸法と物質の調査
- DART衝突イジェクタのDidymosへの堆積状態の調査
- 熱赤外画像を用いた光学自立航法への貢献

1 背景 HEAT

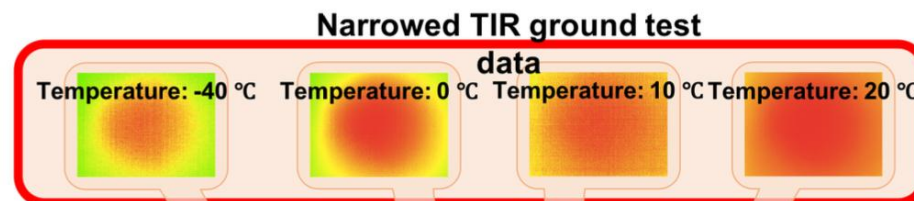
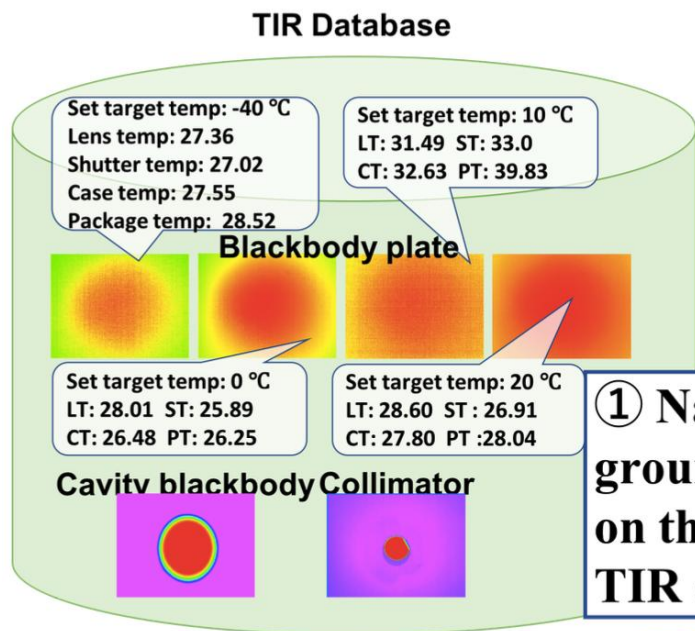
Hera/TIRIの較正・データ解析ツールにHayabusa2/TIR用に開発されたHEAT(**H**ayabusa2 **E**xploration **A**ssistant for **T**IR)を活用する

Endo *et al.*, HEAT: Image and database browser for the thermal imager on Hayabusa2, *IEEE* (2017)

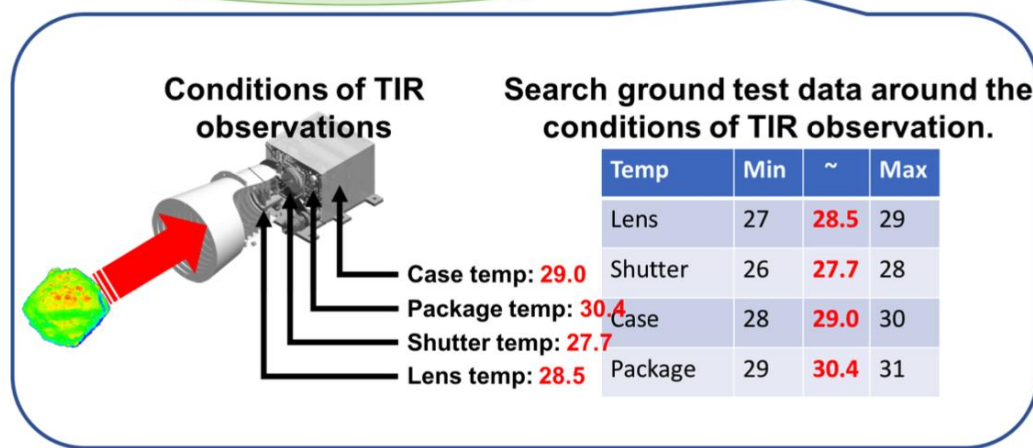
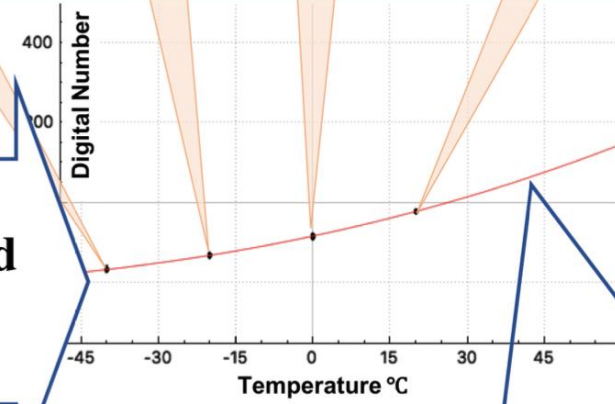


- HEATは、リュウグウ観測データを温度画像に変換する地上較正データのデータベースとして、会津大学の大学院生らによって開発
- オープンソースとして公開中
- 会津大学の学生らによって、解析機能が強化

1 背景 HEAT



① **Narrow TIR ground test data based on the conditions of TIR observations.**



② **Obtain calibration coefficient **A** and **B** by fitting narrowed ground test.**

$$DN = A \times F(T) + B$$

DN: Observed value of TIR

F(T): Energy flux

A: Calibration coefficient in the fitting

B: Calibration coefficient in the fitting

1 背景 HEAT

はやぶさ 2 TIR用地上試験較正
データベース・可視化ツール

R3 萌芽研究

機能安定化
オープンソース化

R4 実用研究

リュウグウ熱解析機能の実装
(ラフネスモデルデータベースの構築)

R5 実用研究

TIRI画像較正データベースの構築
TIRI解析機能の拡張
(分光撮像データ解析機能の実装)

汎用的な小天体熱解析ツール

目的 (実用研究)

はやぶさ 2 搭載TIRの可視・較正データベースとして開発された HEATをTIRI用の較正データベースにアップグレードする

特に安定化・高速化を行い, オープンソースとして, 多くのユーザーに提供し, TIR/TIRIデータの利用を促進させる

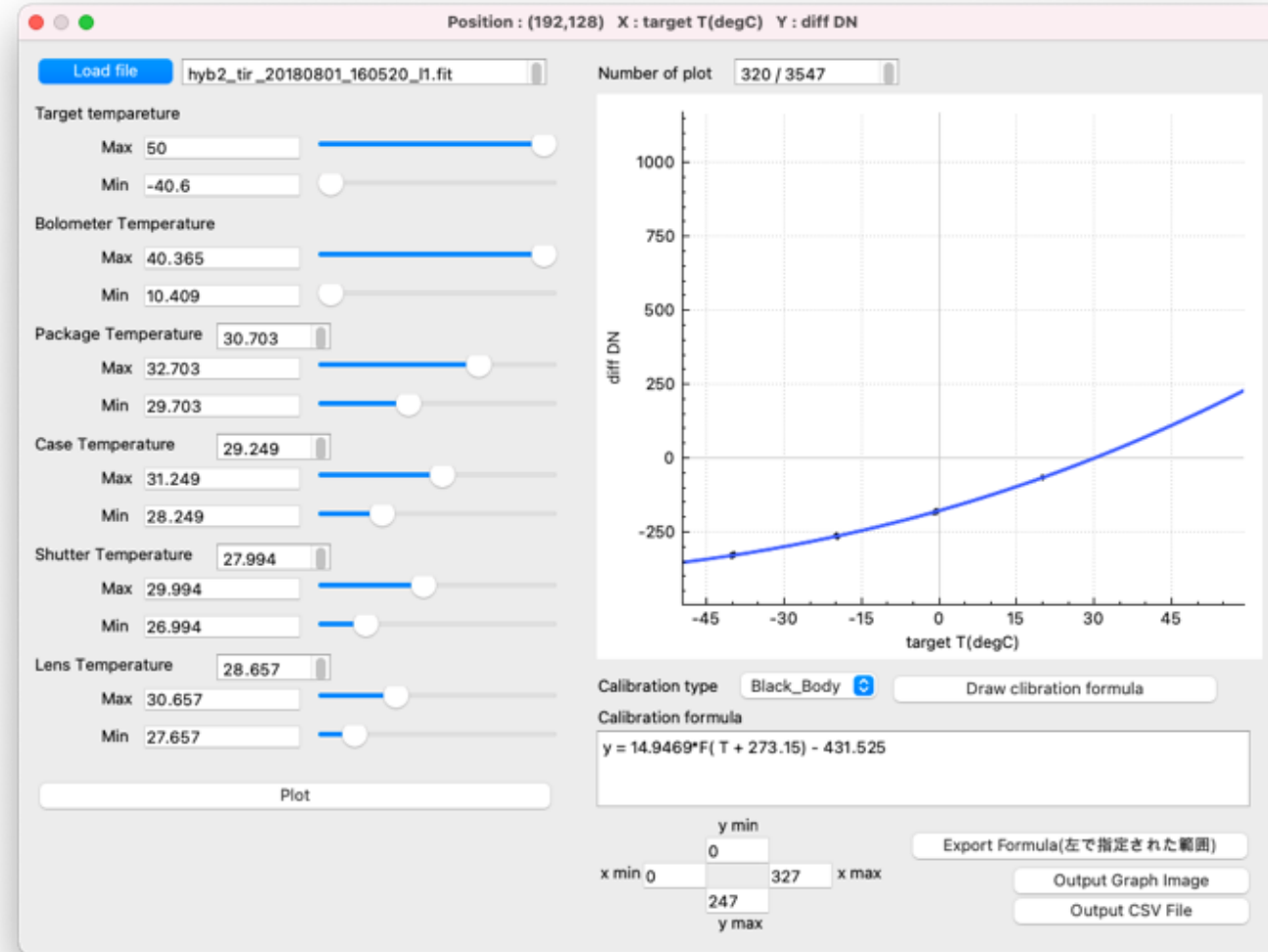
2 HEATの開発

開発環境

- C++
- Qt5 / Qt6
- MySQL
- Mac
(Win, Linux)

公開

- GitHub (ver. 1.5)
- GPLライセンス



(協力 株式会社 会津ラボ)

齋藤, 会津大学修士論文 (2022)

2 HEATの開発

GitHubでオープンソースとして公開中

<https://github.com/HEAT-Develop/HEAT>

HEAT-Develop / HEAT Public

Notifications Fork 1 Star 3

Code Issues 1 Pull requests 1 Actions Projects Security Insights

main Go to file Code

About
No description, website, or topics provided.

Readme
GPL-2.0 license
Activity
3 stars
1 watching
1 fork
Report repository

File/Folder	Action	Time
HEAT_Develop	Add files via upload	c6d67da · 9 months ago
HEAT_ver1.5	Add files via upload	last year
HEAT_ver2.0	Add files via upload	9 months ago
src	Add files via upload	2 years ago
HEAT.icns	Add files via upload	2 years ago
HEAT.pro	Add files via upload	2 years ago

最新

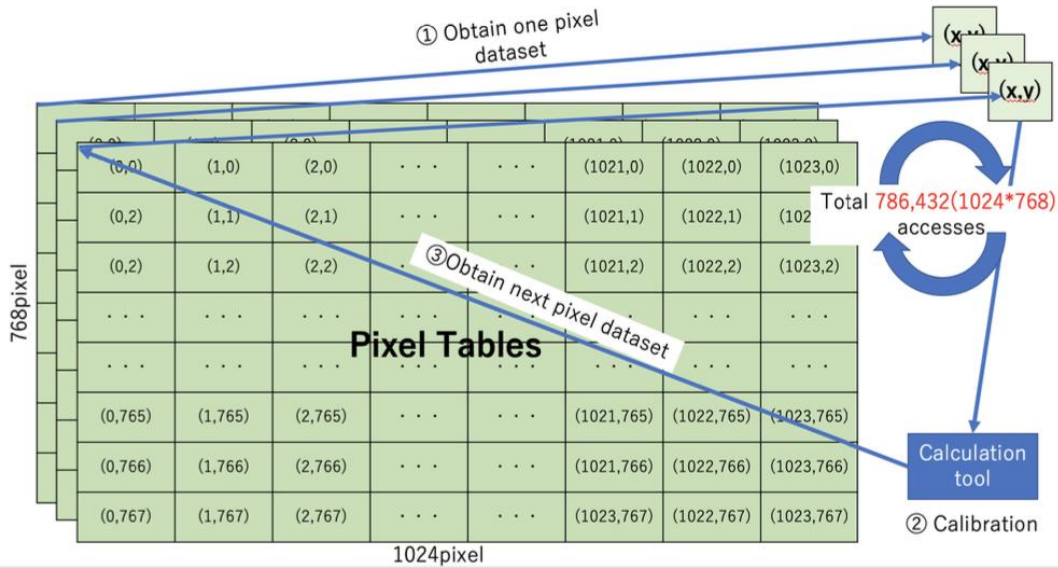


最新は
HEAT_ver2.0だが,
HEAT2_ver1.0
を近々公開

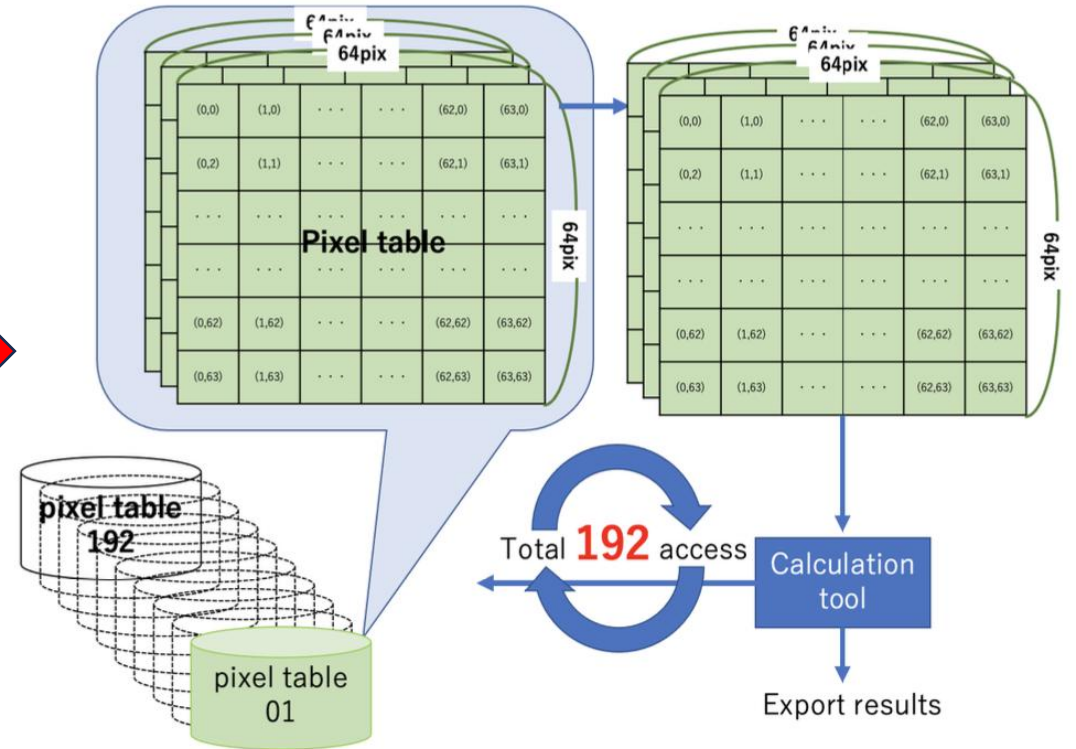
2 HEATの開発

領域分割による並列化・高速化
ソースコードの最適化

並列計算による高速化



分割

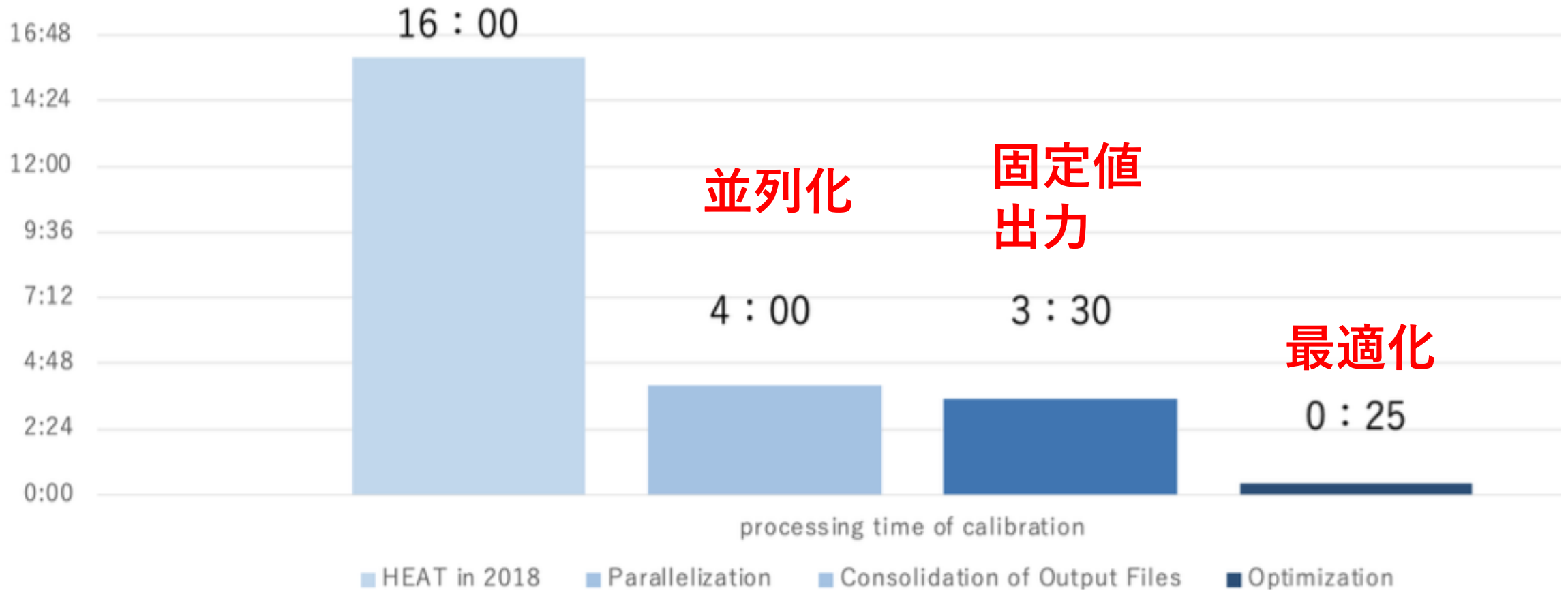


1024 x 768 ピクセル

金野, 会津大学修士論文 (2023)

3. HEATの性能 ベンチマーク

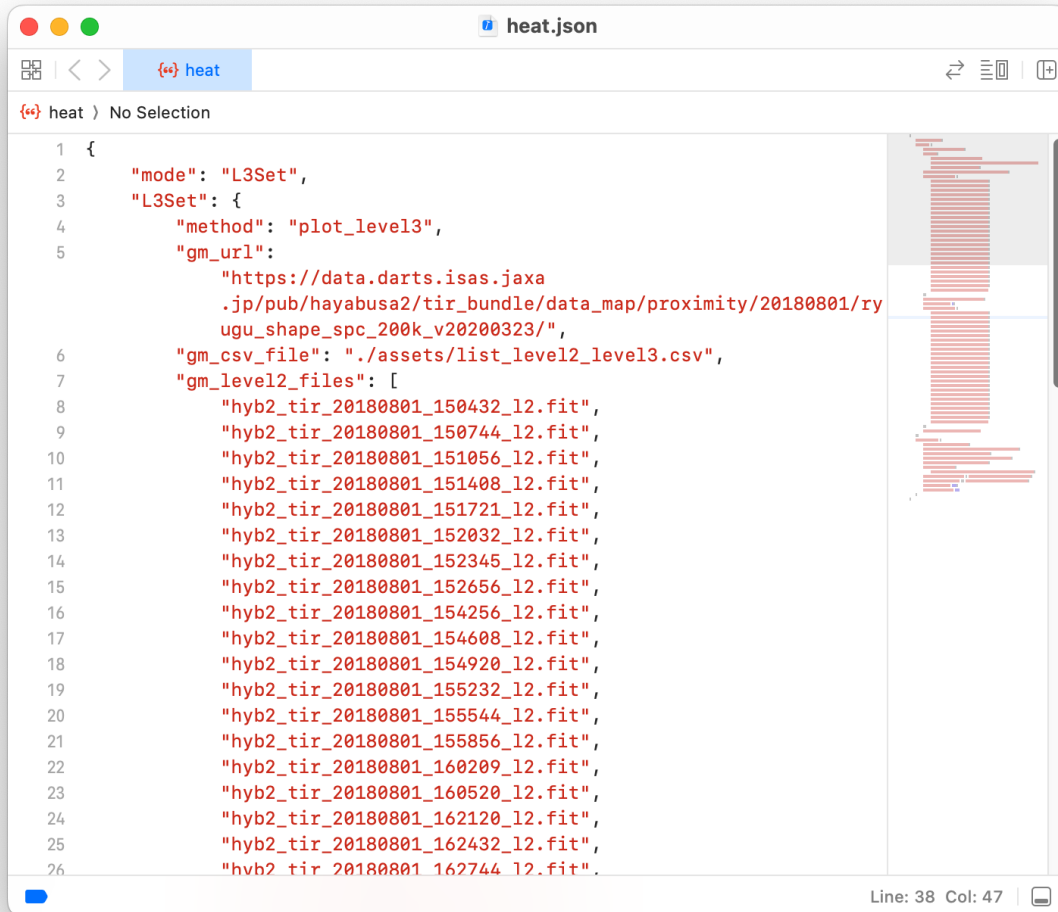
Changes in processing time of calibration



4 HEATの次期バージョン

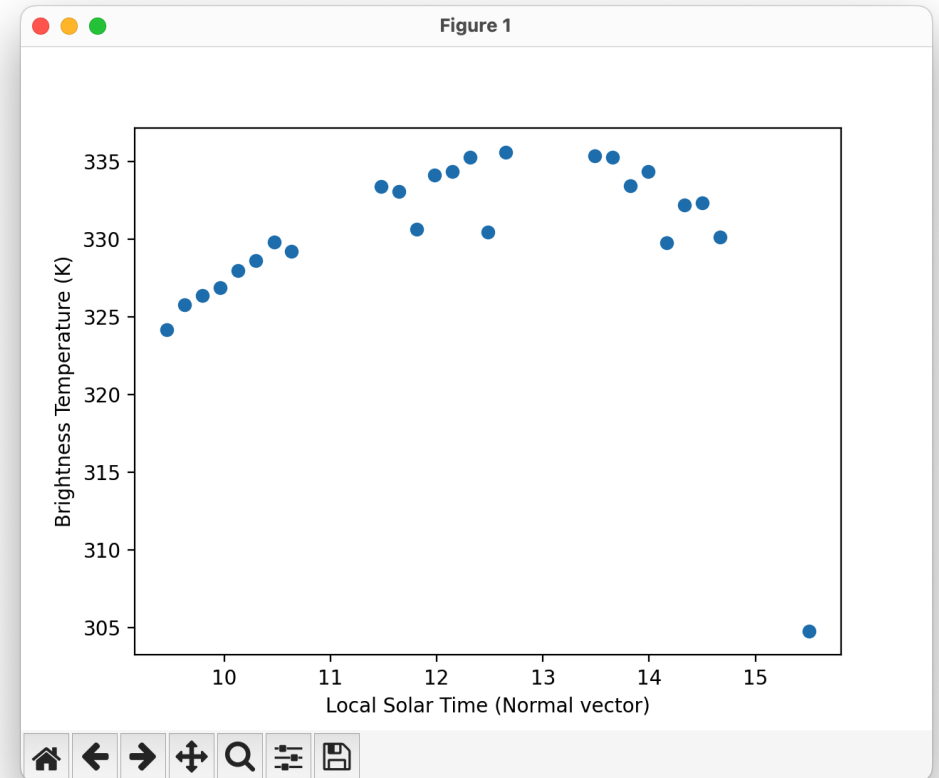
開発プログラミング言語を**Python**に移植

JSONファイルでパラメータ設定



```
1 {
2   "mode": "L3Set",
3   "L3Set": {
4     "method": "plot_level3",
5     "gm_url":
6       "https://data.darts.isas.jaxa
7       .jp/pub/hayabusa2/tir_bundle/data_map/proximity/20180801/ry
8       ugu_shape_spc_200k_v20200323/",
9     "gm_csv_file": "./assets/list_level2_level3.csv",
10    "gm_level2_files": [
11      "hyb2_tir_20180801_150432_l2.fit",
12      "hyb2_tir_20180801_150744_l2.fit",
13      "hyb2_tir_20180801_151056_l2.fit",
14      "hyb2_tir_20180801_151408_l2.fit",
15      "hyb2_tir_20180801_151721_l2.fit",
16      "hyb2_tir_20180801_152032_l2.fit",
17      "hyb2_tir_20180801_152345_l2.fit",
18      "hyb2_tir_20180801_152656_l2.fit",
19      "hyb2_tir_20180801_154256_l2.fit",
20      "hyb2_tir_20180801_154608_l2.fit",
21      "hyb2_tir_20180801_154920_l2.fit",
22      "hyb2_tir_20180801_155232_l2.fit",
23      "hyb2_tir_20180801_155544_l2.fit",
24      "hyb2_tir_20180801_155856_l2.fit",
25      "hyb2_tir_20180801_160209_l2.fit",
26      "hyb2_tir_20180801_160520_l2.fit",
27      "hyb2_tir_20180801_162120_l2.fit",
28      "hyb2_tir_20180801_162432_l2.fit",
29      "hvb2_tir_20180801_162744_l2.fit".
30    ]
31  }
32 }
```

Matplotlibで描画

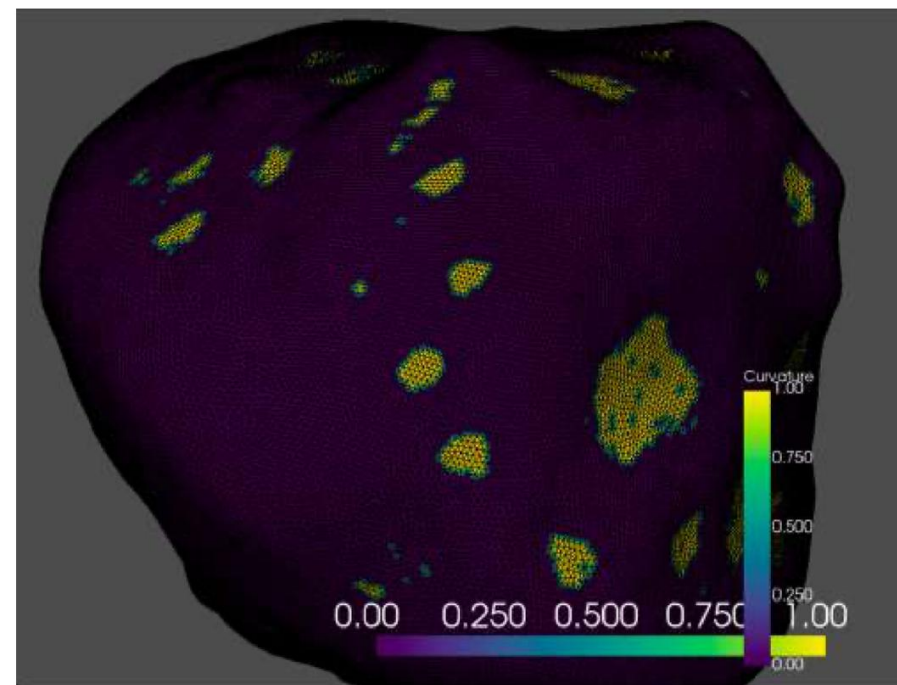
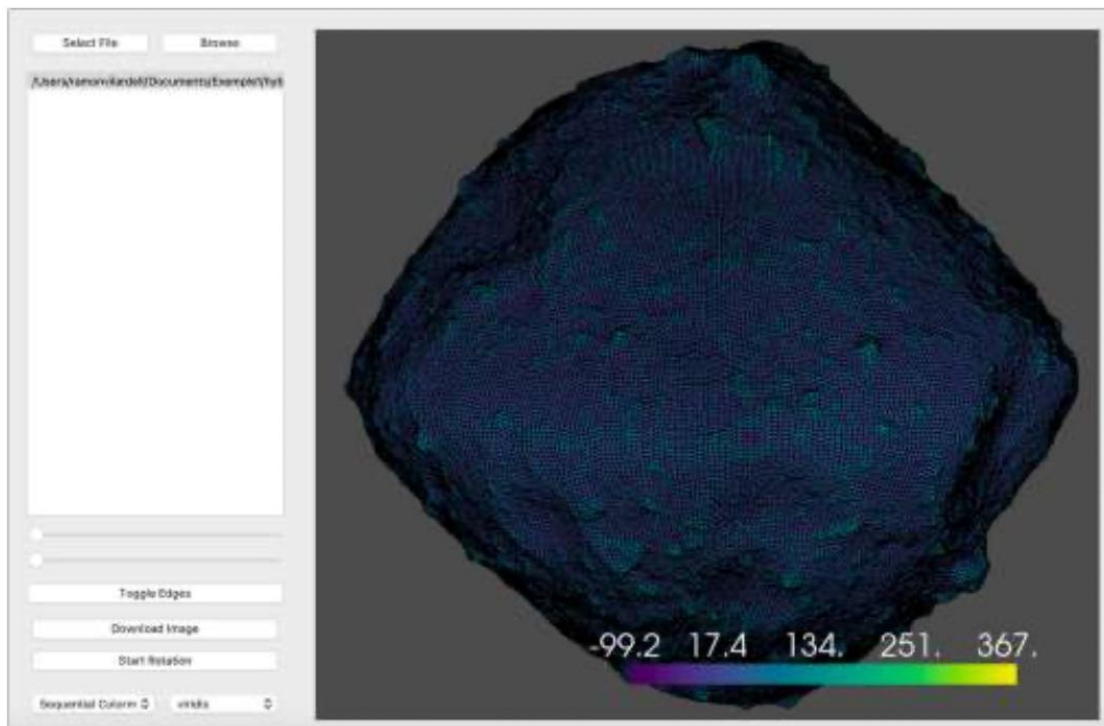


4 HEATの次期バージョン

Pythonライブラリを使用して、可視・解析機能の強化

3D温度マップの表示

ラプラシアン・スムージング
による窪地の検出



5 まとめ

- Hera/TIRI用の地上較正データベースとして, はやぶさ 2 TIR用に開発されたHEATをアップグレードした
- 高速化 & 解析機能を実装したHEATをGitHubで公開しているが, ライブラリのバージョン依存がある
- ライブラリに依存せず, さらに解析機能が充実したPythonバージョンを開発中(HEAT2として近々公開)

謝辞

- This work was supported by MEXT Promotion of Distinctive Joint Research Center Program Grant Number JPMXP0619217839/JPMXP0622717003/JPMXP0723830458.
- 本研究は文部科学省特色ある共同研究拠点の整備の推進事業 JPMXP0619217839/JPMXP0622717003/JPMXP0723830458 の助成を受けたものです。

成果論文

査読付論文

- Vilardell *et al.*, “New Version of HEAT: Calibration and Visualization Tool for Thermal Imagers on Hayabusa2 and Hera”, *IEEE Aerospace* (2024)
- Senshu *et al.*, “Development of Numerical Model of the Thermal State of an Asteroid with Locally Rough Surface and Its Application”, *International Journal of Thermophysics* 43(7) (2022)
- Sakatani *et al.*, Anomalously porous boulders on (162173) Ryugu as primordial materials from its parent body, *Nature Astronomy* 5(8) 766-774 (2021)
- Arai *et al.*, Geometric correction for thermographic images of asteroid 162173 Ryugu by TIR (thermal infrared imager) onboard Hayabusa2, *Earth, Planets and Space* 73(1) (2021)

卒業論文・修士論文

- 金野 龍二, Extending for TIRI and high-performance computing based on ground tests ~ HEAT: Hayabusa2/Hera Exploration Assistant for TIR/TIRI, 会津大学 修士論文 (2024)
- 斎藤 啓仁, Extending HEAT to Hera Mission~ Smart Calibration Tool of Thermal Cameras ~, 会津大学 修士論文 (2023)