

萌芽研究

はやぶさ2中間赤外カメラ較正・可視化ツールHEAT の安定化と機能拡張

Refactoring and Function Enhancement of HEAT:
Calibration and Visualization Tool for Thermal Infrared Imager onboard Hayabusa2

2022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, 小林 達郎,
岡田 達明, 田中 智, 福原 哲哉

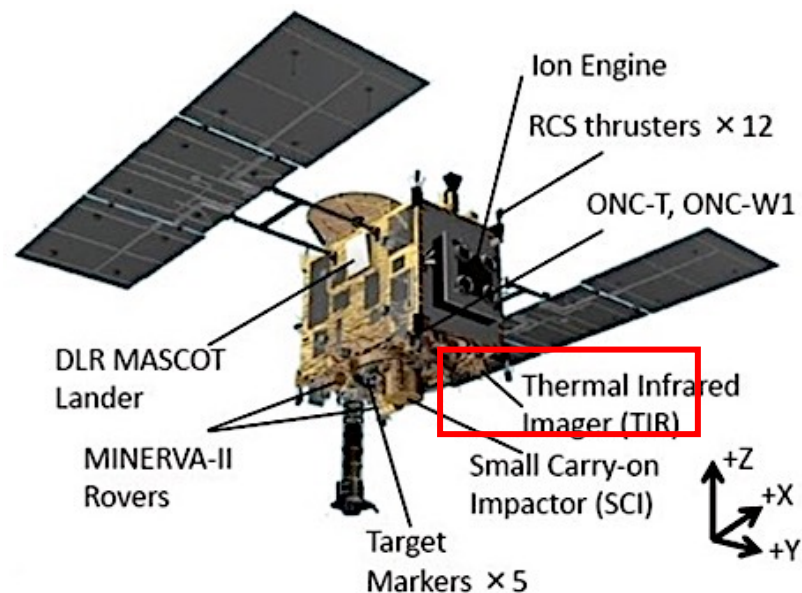
1 背景

2018年6月～2019年11月

はやぶさ2搭載中間赤外カメラTIRによる小惑星162173リュウグウの熱撮像

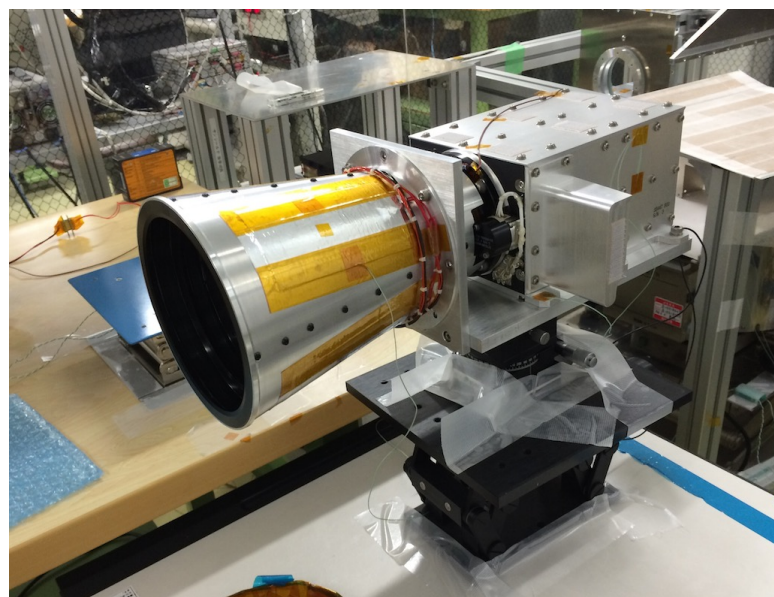
熱画像を熱モデルと比較して，表層の放射率・空隙率・熱慣性などを導出しリュウグウの母天体の集積過程やリュウグウの熱進化過程を解明中

小惑星探査機はやぶさ 2



Tsuda et al., 2017

中間赤外カメラTIR



- 非冷却マイクロボロメータアレイ
- 328 x 248 ピクセル
- 16.7° x 12.7° FOV
- 0.051° / ピクセル
- ~ 5 m @ 5 km
- 8-12 μm バンドパスフィルター

1 背景 TIRプロダクト

JAXA/DARTS・NASA/PDSでLevel-1・Level-2を公開中

https://data.darts.isas.jaxa.jp/pub/hayabusa2/tir_bundle/browse/

<https://sbn.psi.edu/pds/resource/hayabusa2/tir.html>

萌芽研究

生画像
Level-1

地上較正值
(DB)

輝度温度画像
Level-2

放射率
(画像ベースDB)

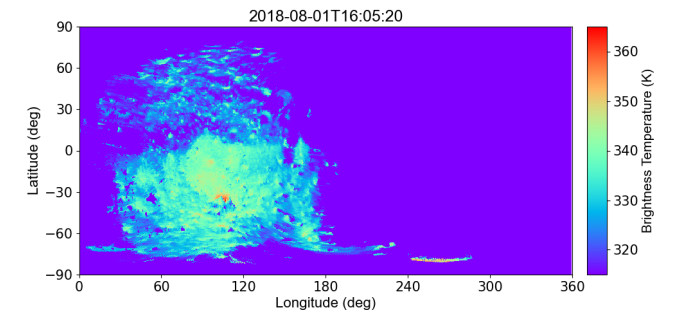
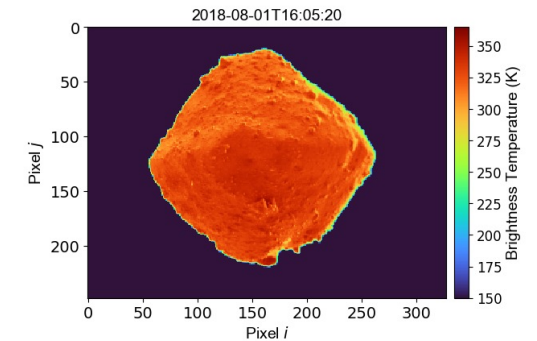
実用研究

輝度温度マップ
Level-3

形状モデル

熱慣性マップ
Level-4

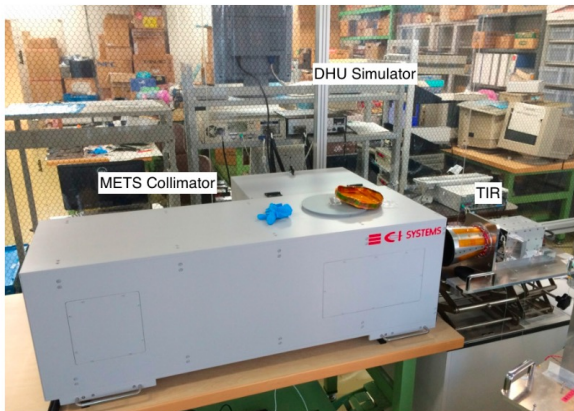
ラフネスモデル
(マップDB)



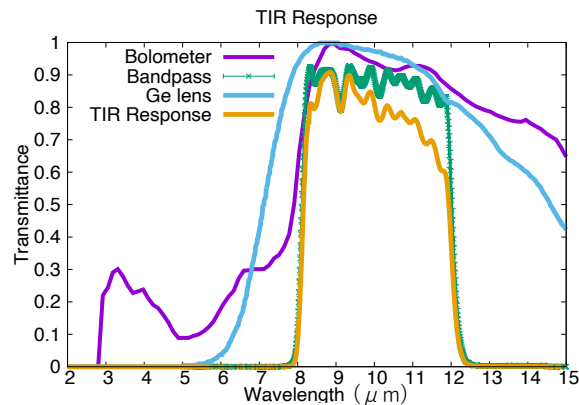
1 背景

Level-1 → Level-2

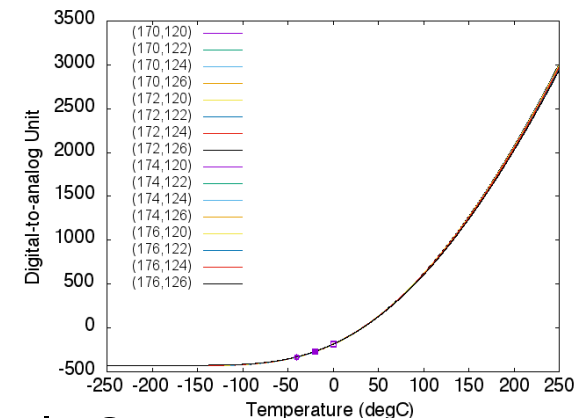
TIR地上校正試験



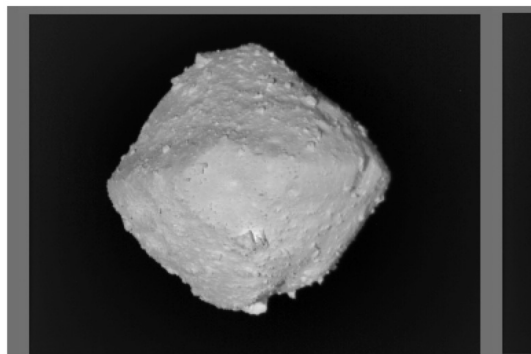
TIR応答関数



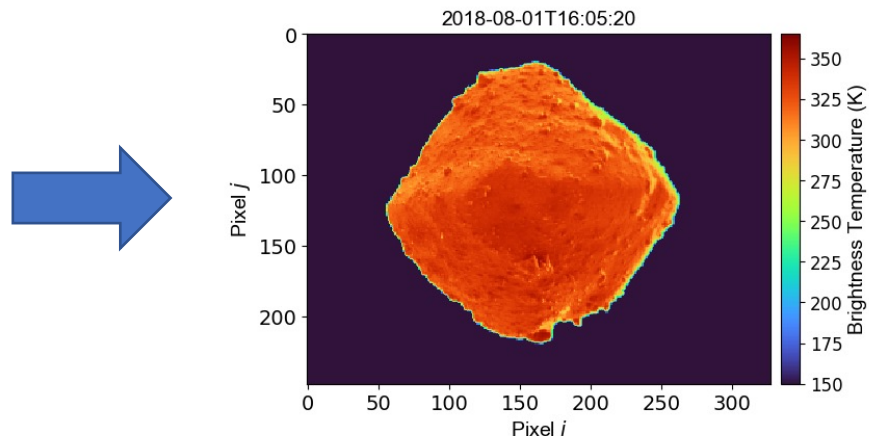
プランクの法則



TIR Level-1 デジタル値画像



TIR Level-2 輝度温度画像

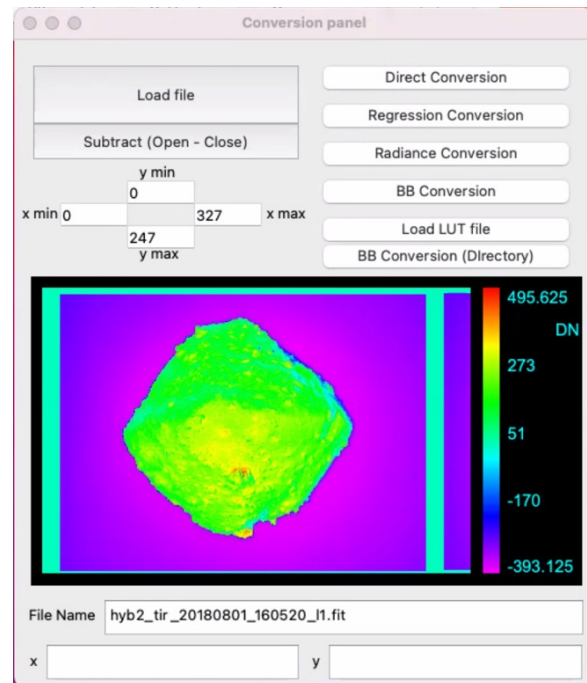


1 背景 HEAT

Hayabusa2 Exploration Assistant for TIR

地上較正データを使って，観測したデジタル値を温度に変換するためのデータベースとしてHEATは会津大学の大学院生によって開発された

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



- 会津大学の大学院生らによって，アップデート
- 多くのユーザにTIRデータを活用してもらうためオープンソースとして公開
- データの再現性の保証や解析機能を充実化

目的 (萌芽研究)

TIRのデータ解析・利用を促進するために、HEATをデータ正較・可視化ツールとして多くのユーザに提供する

ICT産業界の協力を経てソースコードの重複機能の整理・削除・再構成などのリファクタリングを行って安定化させ、オープンソースとして公開する

2 リファクタリング

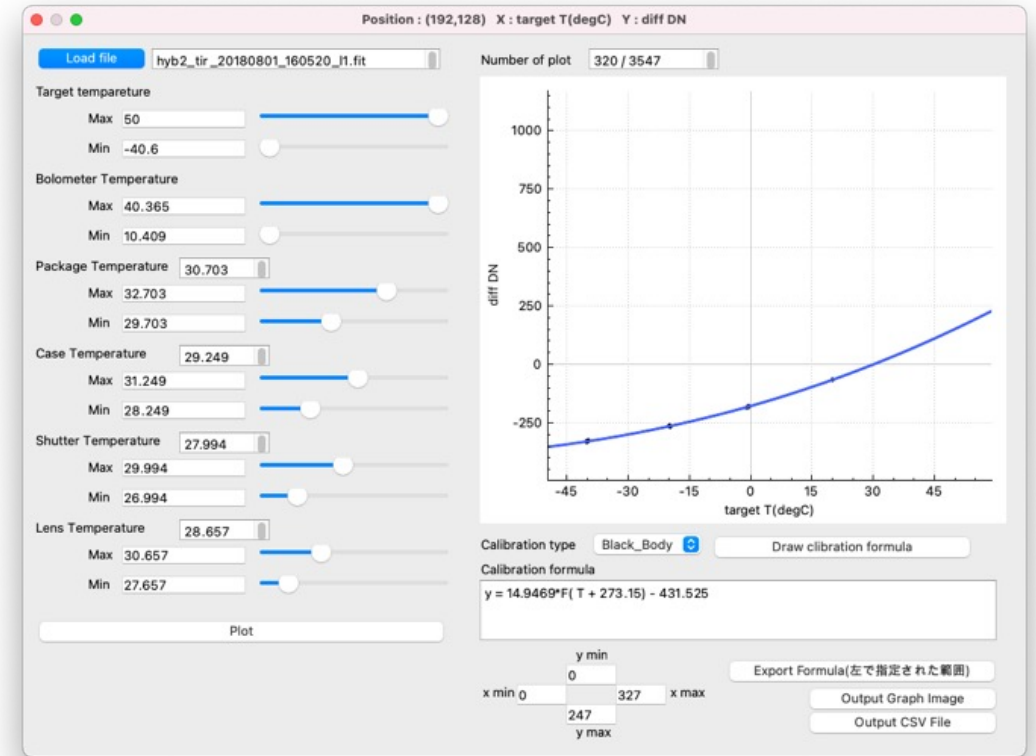
株式会社 会津ラボ様

改修項目

- メモリの動的確保への対応
- 可変長サイズの観測データへの対応
- 多プラットフォーム対応 (Mac, Win, Linux)
- 推奨開発環境の確認 (Qt5 推奨)

納品物

- Mac, Win, LinuxのHEAT実行形式ファイル
- ライセンスチェックされたソースコード (GPLライセンス)
- 作業報告書 (セットアップ手順メモ, 開発レポート)



Saito et al. (2022)

3 オープンソース GitHub

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

4 成果

査読付論文発表

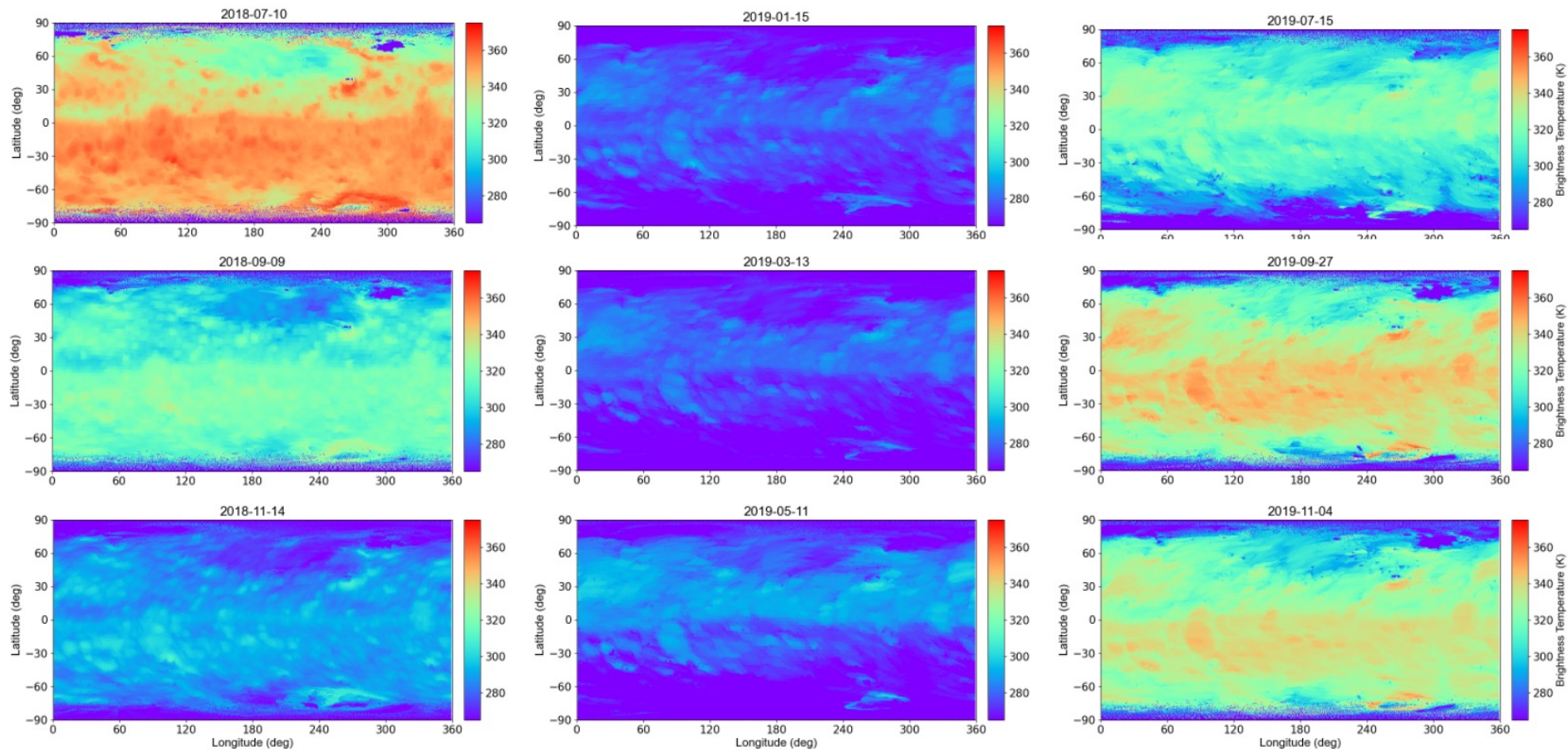
- **Sakatani *et al.*, Anomalously porous boulders on (162173) Ryugu as primordial materials from its parent body, *Nature Astronomy* 5(8) 766-774 (2021)**
- **Arai *et al.*, Geometric correction for thermographic images of asteroid 162173 Ryugu by TIR (thermal infrared imager) onboard Hayabusa2, *Earth, Planets and Space* 73(1) (2021)**
- Shimaki *et al.*, Thermophysical properties of the surface of asteroid 162173 Ryugu: Infrared observations and thermal inertia mapping, *ICARUS* 348 (2020)
- Okada *et al.*, Highly porous nature of a primitive asteroid revealed by thermal imaging, *NATURE* 579(7800) 518-522 (2020)
- Okada *et al.*, Thermal Infrared Imaging Experiments of C-Type Asteroid 162173 Ryugu on Hayabusa2, *SPACE SCIENCE REVIEWS* 208(1-4) 255-286 (2017)
- Arai *et al.*, Thermal Imaging Performance of TIR Onboard the Hayabusa2 Spacecraft, *SPACE SCIENCE REVIEWS* 208(1-4) 239-254 (2017)

4 成果 学会発表

- 坂谷ほか, Local variation in thermal inertia around the artificial impact crater on Ryugu, 日本地球惑星科学連合2021年大会, (2021)
- 鳶生ほか, High-resolution global thermal images of Ryugu acquired from the dawn side, 日本地球惑星科学連合2021年大会, (2021)
- 大杉ほか, Analysis of the temperature distributions of boulders on C-type asteroid 162173 Ryugu observed in low altitude operation of the asteroid explorer Hayabusa2, 日本地球惑星科学連合2021年大会, (2021)
- 荒井ほか, 小惑星探査機はやぶさ2搭載中間赤外カメラTIRによる小惑星リュウグウ表層の高精細温度マップの構築, 日本地球惑星科学連合2021年大会, (2021)
- 岡田ほか, Thermophysical Properties of C-Type Asteroid 162173 Ryugu Revealed by the Thermal Infrared Imager TIR on Hayabusa2, TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES, AEROSPACE TECHNOLOGY JAPAN (2021)
- 大杉ほか, 小惑星探査機はやぶさ2の低高度運用で観測された小惑星リュウグウに点在する岩塊の温度変化分布解析 (2), 日本惑星科学2021年会秋季講演会 (2021)
- 荒井ほか, 小惑星探査機はやぶさ2 搭載中間赤外カメラTIRのデータリリース, 日本惑星科学2021年会秋季講演会 (2021)
- Ohsugi *et al.*, Analysis of the Temperature Distributions of Boulders on C-Type Asteroid 162173 Ryugu Observed in Low Altitude Operation of the Asteroid Explorer Hayabusa2, 53rd Lunar and Planetary Science Conference (2022)
- 齊藤ほか, はやぶさ2中間赤外カメラの較正・可視化ツールHEATの安定化と機能拡張, 日本地球惑星科学連合2022年大会 (2022)
- 大杉ほか, 小惑星探査機はやぶさ2の低高度運用で観測された小惑星リュウグウに点在する岩塊の温度分布変化並びに熱物性解析, 日本惑星科学2022年会秋季講演会 (2022)
- 荒井ほか, 小惑星探査機はやぶさ2搭載中間赤外カメラTIRによって観測された小惑星162173リュウグウの日中の影領域, 日本惑星科学2022年会秋季講演会 (2022)

5 次期HEAT TIR Level-3 温度マップ

最高温度マップ

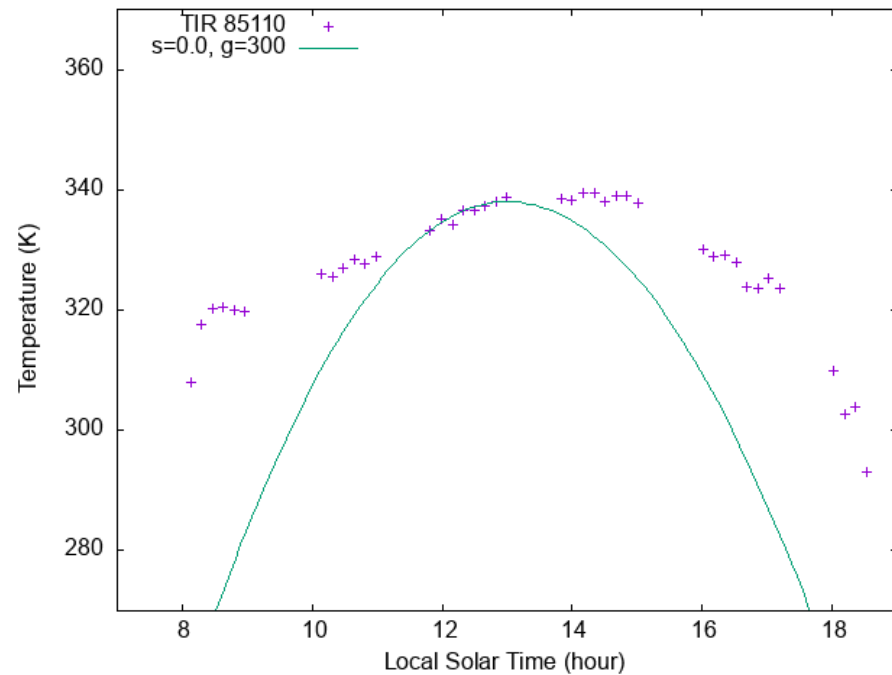


5 次期HEAT TIR Level-4 熱慣性

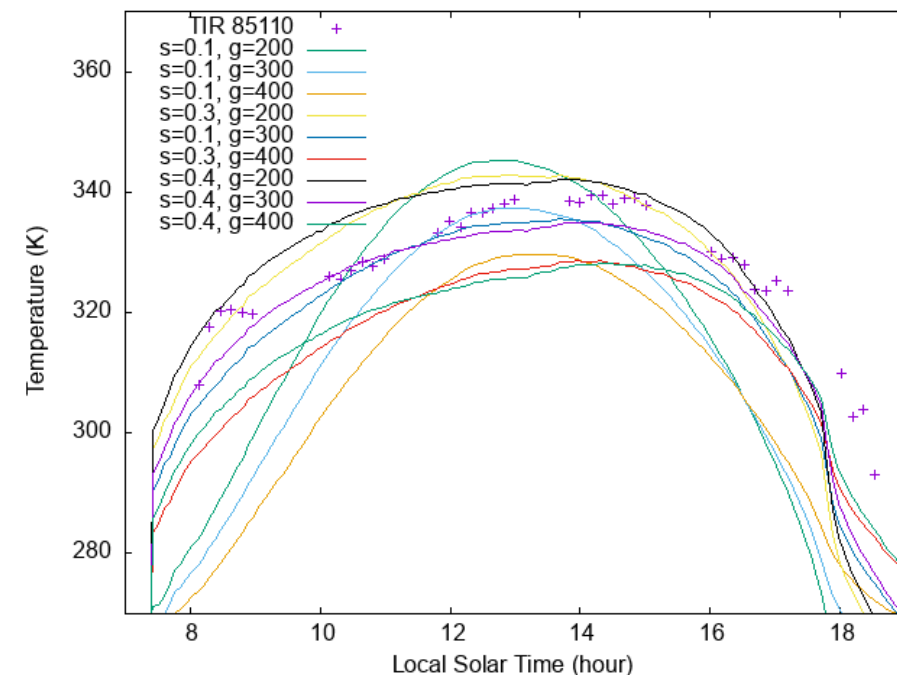
ラフネスモデルを使用した予想温度プロファイルと観測温度プロファイルを比較して、熱慣性を地域毎に導出

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)

ラフネスなし



ラフネスあり



5 次期HEAT

Hera Exploration Assistant for TIRI

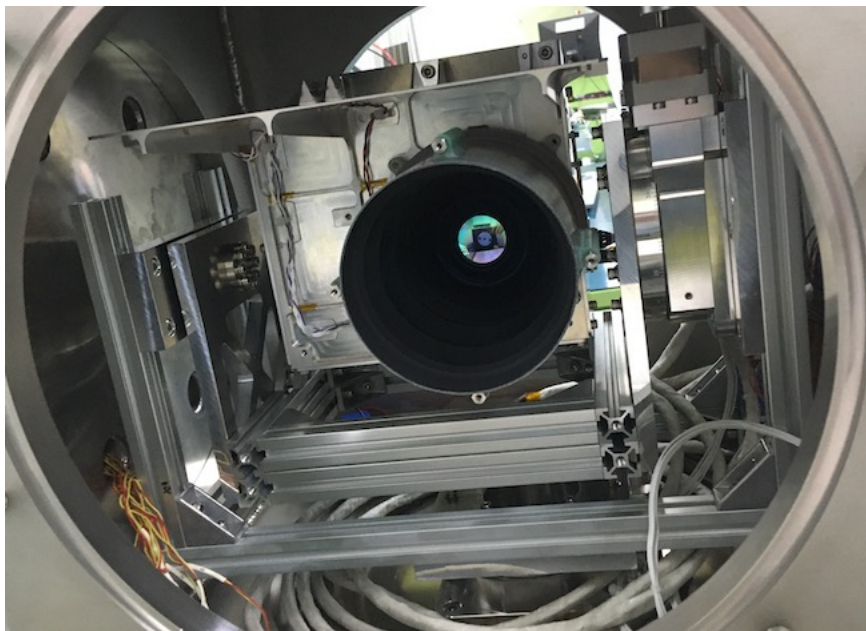
2024年打ち上げ～2026年小惑星到着

小惑星ディディモス&ディモルフォスの熱分光撮像

プラネタリディフェンスのための基礎データの取得を主目的とする

Hera探査機搭載中間赤外カメラTIRI

仕様



- 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)

まとめ

- HEATをデータ正較・可視化ツールとして多くのユーザに提供するため、ICT産業界の協力を経てソースコードの機能重複部分の整理・削除・再構成などのリファクタリングを行って安定化
- GitHubでオープンソースとして公開
- 次期アップデートバージョンには、ラフネスモデルを使用した熱モデルと観測データの比較解析機能を実装予定
- 次期小天体探査のHera搭載TIRI用の正較・データ解析機能も準備中

謝辞

- This work was supported by MEXT Promotion of Distinctive Joint Research Center Program Grant Number JPMXP0619217839/JPMXP0622717003.
- 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 の助成を受けたものです.