

令和元年5月23日現在

機関番号：82645

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2018

課題番号：26287108

研究課題名(和文) 大気のない惑星模擬表層の熱慣性測定：惑星リモートセンシングへの応用

研究課題名(英文) Thermal inertia measurements of airless planetary surface and its applications to planetary remote sensing

研究代表者

岡田 達明 (Okada, Tatsuaki)

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・准教授

研究者番号：30321566

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は大気のない惑星表層の熱物性について実験的・数値的なモデルを作成し、実際の惑星探査機による観測結果に適用するものである。想定していた表層は、砂礫質のレゴリス状であり、それらに対して実験および数値シミュレーションを進めていた。小惑星探査機「はやぶさ2」が小惑星リュウグウに到着し、熱撮像カメラTIRによって世界初の小惑星1自転分の高解像度熱撮像を実施した。その結果、小惑星表面は想像に比べて低熱慣性であり、非常に空隙の多い表層で覆われており、当初予測していたレゴリス状とは異なっていた。そこで、観測に適合すべく、高空隙率でラフネスのある表面状態に対する熱モデルの構築を新規に開始し始めている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では主に小惑星の表層熱物性を示す熱物理モデルを実験および数値シミュレーション的に構築し、「はやぶさ2」熱赤外撮像装置TIRによる観測結果と比較することを意図していたが、TIRの観測結果によって、小惑星表層の状態が想定と大きく乖離していることが判明した。即ち砂礫質のレゴリスでは覆われておらず、高空隙な岩石で覆われており、熱物理モデルは完璧に再構築をする必要が生じた。岩塊は母天体の内部構造であり、それが高空隙であったという事実は小天体の圧密度が低いことを示唆する。これは現在の地球に衝突の恐れのある地球近傍小惑星や、原始太陽系の微惑星の機械的性質が脆弱であることを示す、重要な成果である。

研究成果の概要(英文)：This study is to construct a thermophysical model by performing the laboratory experiments and the numerical simulation for the atmosphere-free planetary surfaces covered with soil or granule regolith, and to apply the model to the analysis for thermal infrared imaging of planetary surfaces. The Japanese asteroid explorer Hayabusa2 arrived at the near-earth C-type asteroid Ryugu in June 2018, and started its remote sensing observations. The first set of high-resolved global thermal images of an asteroid has been obtained in history. The data implies that the surface materials have much lower thermal inertia than the typical carbonaceous chondrite meteorites, indicating the highly porous materials. This is completely different from our original thought, so that we started to reconstruct the thermophysical model, by considering the porosity and roughness in order to account for the brightness temperature and its diurnal profile observed by thermal infrared imager on Hayabusa2.

研究分野：惑星探査科学

キーワード：熱慣性 熱撮像 空隙率 はやぶさ2 小惑星 惑星形成 熱赤外カメラ 岩塊

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 当初の研究目的概要

本研究では、惑星表層の物理状態を熱赤外線撮像（サーモグラフィ）によって定量的に調べる手法を確立するため、実験および数値シミュレーションによる表層熱慣性の取得を目的とする。小惑星や彗星など大気のない天体表層では、昼間の太陽光照射と夜間の放射冷却を天体の自転によって交互に繰り返すため、大きな表層温度勾配と時間変動が生じる。その条件を模擬し、熱放射計測によって表層熱慣性を決定した実験例は過去にないため、本研究で初めて実験系を構築する。それを用いて粒径・空隙率の異なる多様な試料の熱慣性を体系的に調査する。さらに、取得したデータベースを「はやぶさ2」など将来の探査機や地上観測による惑星熱観測データの解釈に応用する。

### (2) 熱慣性の測定の意義

表層物理状態は、惑星探査の基礎観測情報のひとつである。表層土壌の粒径や岩塊存在度、岩塊の内部空隙率は、天体の集積過程の初期における揮発性成分を豊富に含む物質の存在やその脱ガス過程や圧密過程、天体表面での物質流動による堆積過程などを調べる指標となる。熱放射観測による表層熱慣性の決定は、惑星リモートセンシングの代表的手法である。熱慣性は岩石のスカスカ度、土壌のフワフワ度を表すため、始原的小惑星や彗星など特に低重力の小天体表層探査に重要である。

### (3) はやぶさ2等の国内外小天体探査における熱撮像計画

2014年打上予定の小惑星探査機「はやぶさ2」はC型小惑星1999JU3の探査とサンプルリターンを行う。上記のようにC型小惑星は一般に低密度であり、その形成・進化過程の理解には熱放射計測が有効である。また、サンプルリターンの試料採取には最適な粒子サイズがある。試料中に岩石組織が十分な大きさで含まれ、かつ試料採取装置に抵抗なく取り込めるサイズ（1~10mm）である。リモート熱放射観測によって表層物質の粒径を事前に決定し、地点選定することや試料採取が成功する秘訣である。また、地球近傍小惑星の表層温度は高く（1AU付近で400Kの可能性）、探査機にとって安全な熱環境であることの確認も重要である。そのため「はやぶさ2」では熱撮像カメラTIRを搭載し、小惑星表層の熱撮像（サーモグラフィ）を行う。

## 2. 研究の目的

本研究の当初の主な目的は下記の内容であった。

- ・大気のない惑星表層の物理状態と熱真空環境を模擬する実験系構築
- ・動的な熱慣性計測により、物質と熱慣性の環境を調査
- ・探査機データ、地上観測データの解釈

## 3. 研究の方法

研究を以下の年次で進めた。結果報告する内容を鍵括弧で示す。

2014年度：

- ・真空中での熱慣性測定実験用装置のための真空チェンバや測定系の構築(1)
- ・数値モデルによる大気のない惑星表面熱モデルの初期案の作成
- ・熱赤外線カメラTIRの地上較正、機能確認 [1][2]

2015年度：

- ・真空中での熱慣性測定実験用装置のための真空チェンバや測定系の構築(2)
- ・数値モデルによる大気のない惑星表面熱モデルの改定と高解像度化[3]
- ・地球スイングバイによる「はやぶさ2」の地球および月観測および深宇宙観測

2016年度：

- ・真空中での熱慣性測定実験用装置での撮像系（市販熱撮像カメラ）の設置と測定開始[4]
- ・数値モデルによる大気のない惑星表面熱モデルの高解像度化の検討（形状モデル対応）
- ・地球スイングバイによる「はやぶさ2」の地球および月観測のデータ解析、軌道上較正[5]

2017年度：

- ・真空中での熱慣性測定実験用装置によるソイル状試料の熱慣性予備測定
- ・数値モデルによる小惑星模擬表面に対する観測シミュレーション
- ・地球スイングバイ時の月観測データから予測する接近時の小惑星検知精度の見積

2018年度：

- ・真空中での熱慣性測定実験用装置による焼結試料の測定準備
- ・数値モデルによる大気のない惑星表層熱モデルのラフネス表面に対する応答[6]
- ・小惑星リュウグウの熱撮像によるグローバルな表層温度測定、熱慣性の決定[7]
- ・小惑星リュウグウの表面の特徴付け[8-10]

#### 4. 研究成果

(1) 熱撮像装置の設計検討および機能性能の評価を実施した。本装置は単体試験での温度校正、システム試験での温度測定、深宇宙観測の結果から判断して、150~423K (実質は 460K まで) の輝度温度の測定が可能、かつ歪みが画素以内であることが確認された。

[1: Okada et al. SSR 208, 255-286 (2017).]

(2) 模擬観測：隕石や岩石に対するレスポンス

熱撮像装置 TIR による岩石や隕石サンプルに対するレスポンスの確認を実験的に実施した。炭素質コンドライト隕石に対するレスポンスで、コンドリュールの箇所が周囲よりも低温になることを感度よく撮像できているのが分かる。熱放射率が低い (ガラス質のため) ことが影響していると考えられる。[2: Arai, T. et al., SSR 208, 239-254, (2017).]

(3) 熱モデルのシミュレーション

測定データの解釈のために、数値熱モデルの高解像度化の改良を進めた。先ずは大気のない球形の小天体の熱モデルに対し、数値シミュレーションを実施した (形状モデルへの対応も可能)。ノード別に熱物性を与え、天体の自転や太陽距離・角度による温度の伝播を考慮して、深さ方向も 20 層以上設けて数値的に解くことが可能である。表層にはラフネスも与えることが可能である。 [3: Takita J. et al., SSR 208, 287-315 (2017)]

(4) 岩石の熱慣性の測定

岩石やその破砕物の熱慣性を実験的に決定する。岩石の熱慣性は化学組成に依存せず、概ね空隙率で決まる。空隙率が同程度であるならば、熱慣性も概ね同様の値になる。但し真空中において測定する必要があり、過去に数例があるのみであった。過去の研究例も含めて得られた熱慣性の値を確定する必要がある (図 1)。 [4: Okada T., LPSC, 47, 1457, Z(2016)]

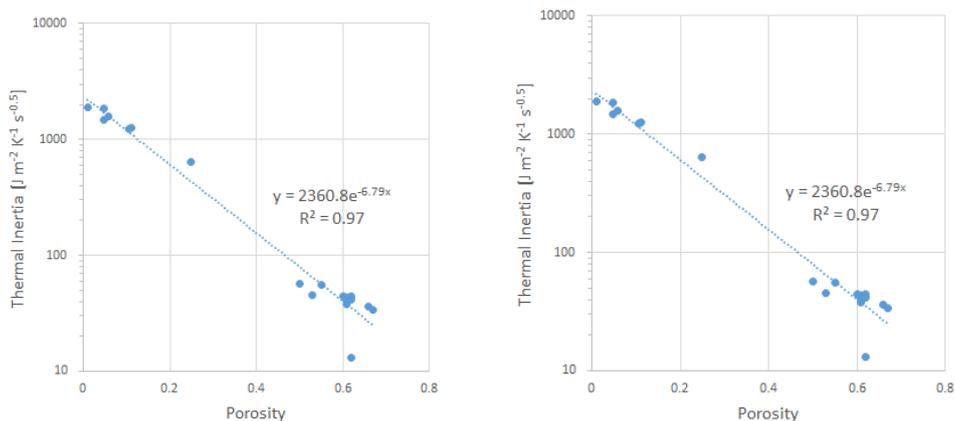


図 1 岩石質の空隙率と熱伝導率(左)と熱慣性(右)の値

(5) 地球スイングバイ時の地球・月観測と小惑星リュウグウの TIR による検知可能性

地球スイングバイの前後に「はやぶさ 2」TIR から地球と月の観測を行い、検出感度の下限値の決定、画素以下の熱光源の振る舞い、小惑星到着時の距離 2000km からの検知可能性、小惑星の衛星の検知可能性について調べた (図 2)。 [5: Okada, T. et al., PSS 158, 46-52 (2018)]

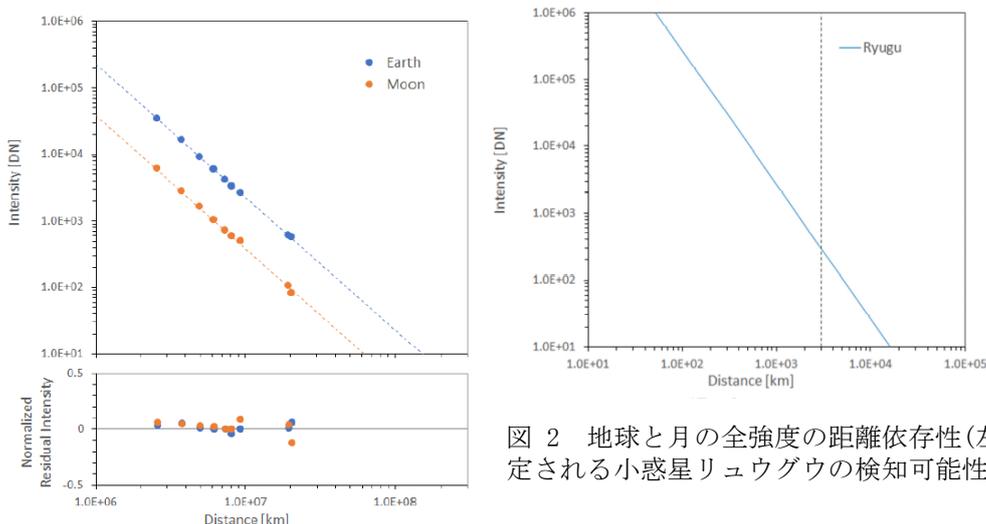


図 2 地球と月の全強度の距離依存性(左)と想定される小惑星リュウグウの検知可能性。

(6) 表層ラフネスへの応答と表面熱慣性

小惑星リュウグウの熱特性は想定を超えてラフであった。砂礫質のレゴリスはなく、凹凸が極めて多く、熱放射強度は方向依存性が強く、ラフネスの影響が非常に大きいことが分かった。一日の温度プロファイルは理論値からは大きく外れていた。ラフネスがあると温度プロファイルと熱慣性の関係が単純ではなくなり、新しいモデルが必要である。そこで、ラフネスを考慮した熱計算を実施した。その結果の一例として、熱慣性はかなり小さく  $200\sim 300$  [ $\text{J m}^{-2} \text{M}^{-1} \text{s}^{-0.5}$ ] 程度の値に相当する [6: Shimaki, Y. et al., LPSC, 50, 1724, (2019)]。

(7) 全球熱撮像によるリュウグウの熱慣性の決定

小惑星リュウグウの輝度温度を TIR によって観測し、自転に伴う日変化を追跡することによって熱慣性を決定した。それによると熱慣性は低く、かつ岩塊も低く、 $200\sim 300$  [ $\text{J m}^{-2} \text{K}^{-1} \text{s}^{-0.5}$ ] であることが分かった。この値は隕石と比較しても低く、空隙率が高いことを示す重大な発見である。 [7: Okada T. et al., LPSC, 50, #1325 (2019)]

(8) 小惑星リュウグウの特徴

小惑星の近傍観測で複数の観測装置を併用して決定した特徴が得られた。サイズは直径約 1km のコマ型で、円錐を上下くっつけた状態である。赤道リッジがありやや固めの物質があるように見える。表面にクレータがあるが小さめのクレータは少なく、崩壊しやすい素材で形成された。反射特性から物質は一様で水の吸収に乏しい。温度は月レゴリス的ではなく、高空隙な岩で覆われている (図 3)。 [8: Watanabe, S. et al., Science, 464, 268-272 (2019)], [9: Kitazato K. et al., Science 464, 272-275 (2019)], [10: Sugita, S., et al, 464, 252 (2019)]

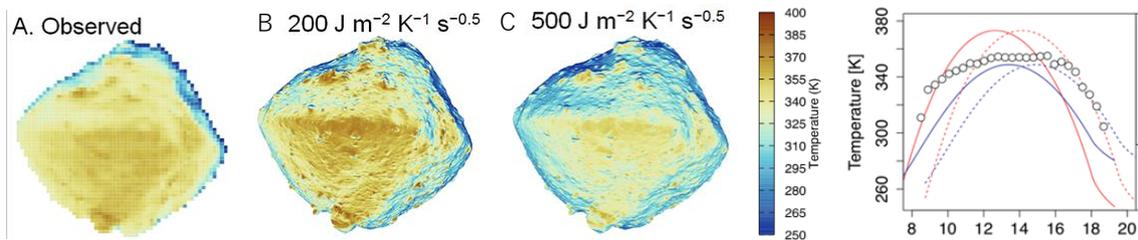


図 3 小惑星リュウグウの表層温度と数値計算との比較、および平坦な温度日変化の特徴

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 9 件)

1. Watanabe, S., Hirabayashi, M., Hirata, N., Okada, T., et al.: Hayabusa2 arrives at the carbonaceous asteroid 162173 Ryugu - A spinning top-shaped rubble pile, Science, 364, 268-272, (2019), doi: 10.1126/science.aav8032.
2. Sugita S., Honda, R., Morota, T., Okada, T., et al.: The geomorphology, color, and thermal properties of Ryugu: Implications for parent-body processes, Science, 464, 252, (2019), doi: 10.1126/science.aaw0422
3. Kitazato, K., Milliken, R. E., Iwata, T., Okada, T., et al.: Surface composition of asteroid 162173 Ryugu as observed by the Hayabusa2 NIRS3 instrument, Science, 464, 272-275, (2019), doi: 10.1126/science.aav7432
4. Okada, T., Fukuhara, T., Tanaka, S., et al., Hayabusa2 TIR Team: Earth and moon observations by thermal infrared imager on Hayabusa2 and the application to detectability of asteroid 162173 Ryugu, Planetary and Space Science, 158, 46-52, (2018), doi: 10.1016/j.pss.2018.05.007
5. Arai, T., Nakamura, T., Tanaka, S., Demura, H., Ogawa, Y., Sakatani, N., Horikawa, Y., Senshu, H., Fukuhara, T., Okada, T.: Thermal Imaging Performance of TIR Onboard the Hayabusa2 Spacecraft, Space Science Reviews, 208, 239-254, (2017), doi: 10.1007/s11214-017-0353-9.
6. Tatsuaki Okada, Tetsuya Fukuhara, Satoshi Tanaka, et al., Thermal Infrared Imaging Experiments of C-Type Asteroid 162173 Ryugu on Hayabusa2. Space Sci Rev, 208, 255-286 (2017). Doi: 10.1007/s11214-016-0286-8.
7. K. Endo, \*H. Demura, T. Dairaku, T. Fukuhara, S. Tanaka, T. Okada, HEAT: Image and database browser for the thermal imager on Hayabusa2 IEEE Aerospace (2017) 978-1-5090-1613-6/17.
8. Tra-Mi Ho, Volodymyr Baturkin, Christian Grimm, Jan Thimo Grundmann, Tatsuaki Okada, et al., MASCOT: The Mobile Asteroid Surface Scout Onboard the Hayabusa2 Mission. Space Sci Rev, 208, 339-374, (2017) doi: 10.1007/s11214-016-0251-6.
9. Hiroki Hihara, Kaori Iwase, Junpei Sano, Hisashi Otake, Tatsuaki Okada, et al. (Total 9 authors), SpaceWire-Based Thermal-Infrared Imager System for Asteroid Sample Return Mission HAYABUSA2. Journal of Applied Remote Sensing, 8, 84987, (2014). doi/10.1117/1.jrs.8.084987.

[学会発表] (計 50 件)

1. T. Okada, and Hayabusa2 Thermal-Infrared Imager (TIR) Team, "THERMAL IMAGING OF C-TYPE NEAR EARTH ASTEROID 162173 RYUGU BY THERMAL INFRARED IMAGER TIR ON HAYABUSA2", 50th Lunar and Planetary Science Conference (LPSC2019), March 2019, The Woodlands, TX, USA, #1325, 2019.
2. Y. Shimaki, T. Okada, et al. "SURFACE ROUGHNESS AND THERMAL INERTIA OF ASTEROID RYUGU INFERRED FROM TIR ON HAYABUSA2", 50th Lunar and Planetary Science Conference (LPSC2019), March 2019,

- The Woodlands, TX, USA, #1724, 2019.
3. N. Sakatani, T. Okada, et al. "SURFACE PHYSICAL CONDITION OF ASTEORID RYUGU USING CLOSE-UP OPTICAL AND THERMAL IMAGES", 50th Lunar and Planetary Science Conference (LPSC2019), March 2019, The Woodlands, TX, USA, #1732, 2019.
  4. K. Suko, H. Demura, T. Okada, et al. "TIR DATA PROCESSING BY HEAT DURING RENDEZVOUS OF HAYABUSA2 WITH THE ASTEROID (162173) RYUGU", 50th Lunar and Planetary Science Conference (LPSC2019), March 2019, The Woodlands, TX, USA, #2275, 2019.
  5. T. Okada, et al., "The first global thermal images of asteroid 162173 Ryugu by Hayabusa2", 3rd Thermal Models for Planetary Science (TherMoPS III), February 2019, Budapest, D2-01, 2019.
  6. N. Sakatani, S. Tanaka, T. Okada, et al., "High-resolved thermographic observation of craters and boulders on Ryugu", 3rd Thermal Models for Planetary Science (TherMoPS III), February 2019, Budapest, D2-02, 2019.
  7. Y. Shimaki, H. Senshu, N. Sakatani, T. Okada, et al., "Global thermal inertia and surface roughness of asteroid Ryugu by TIR on Hayabusa2", 3rd Thermal Models for Planetary Science (TherMoPS III), February 2019, Budapest, D2-03, 2019.
  8. Tatsuaki Okada, Hayabusa2 TIR Team, "Thermo-physical properties of asteroid 162173 Ryugu by TIR on Hayabusa2", AGU Fallmeeting, Washington D.C., Dec 2018, P21A-07, 2018.
  9. Takehiko Arai, Tatsuaki Okada, et al., "Local Thermal Properties of Asteroid Ryugu observed with Thermal Infrared Imager onboard Hayabusa2", AGU Fallmeeting, Washington D.C., Dec 2018, P33C-3845, 2018.
  10. T. Okada, T. Fukuhara, S. Tanaka, et al., "Thermal Infrared Observations of C-type Asteroid 162173 Ryugu by Hayabusa2", 50th Annual Division for Planetary Sciences Meeting (DPS2018), Knoxville, TN, USA, October 2018, 501.04, 2018.
  11. Tatsuaki Okada, Tetsuya Fukuhara, Satoshi Tanaka, et al., "Observation Plans of Thermal Infrared Imager TIR onboard Hayabusa2 during the Asteroid Proximity Phase", Japan Geoscience Union (JpGU2018), May 2018, Makuhari, Japan, PPS03-P12, 2018.
  12. Tatsuaki Okada, Hayabusa2 TIR Team, "Thermal Infrared Imager TIR on Hayabusa2 and its preparation for asteroid proximity phase operations around 162173 Ryugu", 49th Lunar and Planetary Science Conference, (2018.3.19-23) #1403
  13. 岡田達明, 他, "はやぶさ2着陸地点選定訓練:LIDARおよびTIR", 第18回宇宙科学シンポジウム, (2018.1.9-10) P-013
  14. 岡田達明, はやぶさ2・TIR チーム, "「はやぶさ2」中間赤外カメラ TIR の軌道上運用と近傍運用計画", 日本惑星科学会 2017 年秋季講演会, (2017.09.27-29) P55
  15. 坂谷 尚哉, 岡田 達明, はやぶさ2 TIR チーム, "はやぶさ2 着陸地点選定訓練データを用いた熱慣性決定手法の評価", 日本惑星科学会 2017 年秋季講演会, (2017.09.27-29) P56.
  16. Tatsuaki OKADA, et al., "Thermal Infrared Imaging of Rocky Bodies in the Solar System: Earth and Moon Observations by TIR on Hayabusa2", Asia Oceania Geosciences Society 14th Annual Meeting (AOGS2017), (2017.8.6-11) PS04-D3-PM1-310-008 (PS04-A008)
  17. Tatsuaki Okada, Tetsuya Fukuhara, Satoshi Tanaka, "In-Flight Performance of Thermal Infrared Imager on Hayabusa2 and Its Implications to the Observations of Asteroid 162173 Ryugu", 31th International Symposium on Space Technology and Science (ISTS), (2017.6.3-9) 2017-k-06
  18. 岡田 達明, 他, "Detectability Performance of Thermal Infrared Imager TIR on Hayabusa2v", 日本地球惑星科学連合 2017 年大会 (JpGU-AGU 共同大会 2017), (2017.05.20-25) PPS02-P20
  19. 荒井 武彦, 松永 恒雄, 岡田 達明, Hayabusa2 TIR Team, "はやぶさ2搭載中間赤外カメラの地球撮像による較正 Geometric and Radiometric Calibration of the Thermal Infrared Imager onboard the Hayabusa2 Spacecraft by the Earth Observation", 日本地球惑星科学連合 2017 年大会 (JpGU-AGU 共同大会 2017), (2017.05.20-25) PPS02-P21
  20. 遠藤 憲, 大塚 貴幸, \*須古 健太郎, 出村 裕英, 岡田 達明, 他 "はやぶさ2に搭載される中間赤外カメラのための画像及びデータベースブラウザ HEAT: Image and database browser for the thermal imager on Hayabusa2", 日本地球惑星科学連合 2017 年大会 (JpGU-AGU 共同大会 2017), (2017.05.20-25) PPS02-P22
  21. Tatsuaki Okada, Hayabusa2 TIR Team, "Calibration of thermal infrared imager on Hayabusa2 for thermal mapping of asteroid Ryugu", Asteroids, Comets, Meteors 2017, (2017.4.10-14) Poster2.e.9
  22. T. Arai, H. Demura, T. Okada, et al., Observed data products and Asteroid Mappings of Thermal Infrared Imager onboard Hayabusa2. Lunar Planet Sci. Conf., 20-24 March 2017, The Woodlands, TX, 48, #1708, 2017.
  23. T. Okada, Hayabusa2 TIR Team. Earth and Moon Images by Thermal Infrared Imager TIR on Hayabusa2 and its Implications to Observations of Asteroid Ryugu. Lunar Planet Sci. Conf., 20-24 March 2017, The Woodlands, TX, 48, #1818, 2017.
  24. Ken Endo, Hirohide Demura, Tatsuaki Okada, et al., HEAT: Image and database browser for the thermal imager on Hayabusa2. IEEE Aerospace (2017) 978-1-5090-1613-6/17.
  25. 岡田達明, 他, はやぶさ2地球・月スイングバイ時の科学成果:TIR+LIDAR. 第17回宇宙科学シンポジウム, 2017年1月5-6日, JAXA宇宙科学研究所, 相模原, P-114, 2017.
  26. 岡田達明, はやぶさ2・TIR チーム, "「はやぶさ2」中間赤外カメラ TIR による巡航中の観測. 日本惑星科学会 2016 年秋季講演会, 2016 年 9 月 13-15 日, 岡山, P2-09, 2016.
  27. 岡田達明, 他, TIR による地球スイングバイ時の地球・月撮像. 第 60 回宇宙科学技術連合講演会, 2016 年 9 月 6-10 日, 函館, 1G13, 2016.
  28. Tatsuaki OKADA, et al., Thermal Infrared Imaging of C-Type Asteroid 162173 Ryugu Planned by Hayabusa2. Asia-Oceania Geosciences Society (AOGS) 2016, 1-5 August 2016, Singapore, PS08-A012, 2016.
  29. Ken Endo, Naru Hirata, Wataru Ueno, Hirohide Demura, Tatsuaki Okada, et al., Image and database browser for TIR on Hayabusa2. Japan Geosciences Union (JpGU) General Assembly 2016, 22-26 May 2016, Makuhari, Japan, PCG10-02, 2016.
  30. Tatsuaki Okada, et al., Thermal Infrared Imager TIR on Hayabusa2 and Its In-Flight Performance using Earth-Moon Thermal Images. Japan Geosciences Union (JpGU) General Assembly 2016, 22-26 May 2016, Makuhari, Japan, PCG10-01, 2016.

31. Tatsuaki Okada and the Hayabusa2 TIR Team, Earth and Moon Observations by Thermal Infrared Imager TIR on Hayabusa2 and Applications to Asteroid 162173 Ryugu. European Geosciences Union General Assembly 2016, 17-25 April, Vienna, EGU2016-6669, 2016.
32. T. Okada, Thermal Inertia of Surface Materials of Solar System Small Bodies and Its dependence on Porosity, Lunar Planet. Sci. Conf. (21-25 Mar 2016, The Woodlands, TX), 47, #1457, 2016.
33. T. Okada, TIR Team, Thermal-Infrared Imager TIR on Hayabusa2 and its In-Flight Performance and Calibration using Earth and Moon Thermal Images, Lunar Planet. Sci. Conf. (21-25 Mar 2016, The Woodlands, TX), 47, #1407, 2016.
34. 岡田達明, 岩田隆浩, はやぶさ2 TIR チーム&NIRS3 チーム, 「はやぶさ2」での遠隔赤外観測-TIR・NIRS3による軌道上性能評価と小惑星 Ryugu 観測計画, 第16回宇宙科学シンポジウム, 2016年1月, ISAS, 相模原, P-030, 2016.
35. Tatsuaki Okada, Hayabusa2 TIR team, Overview of TIR Design and Operations. Radiometry and Thermo-Physical Model Workshop, 9 December 2015, Sagami-hara, #01, 2015.
36. Tatsuaki Okada, Hayabusa2 Science Team, Hayabusa2: Sample Return Mission to C-Class Near-Earth Asteroid (162173) 1999JU3, Asia-Oceania Geosciences Society Meeting 2015, August, Singapore, PS09-A004, 2015.
37. T. Okada, Hayabusa2 Thermal-Infrared Imager (TIR) Team, Thermal Infrared Imager on Hayabusa2: Current Status and Observation Plan. Asia-Oceania Geosciences Society Meeting 2015, August, Singapore, PS04-A005, 2015.
38. Tatsuaki Okada and Hayabusa2 TIR Team, Thermal Infrared Imager on Hayabusa2: Science and Development. European Geosciences Union 2015, PS1.4/GI2.12, Vienna, 2015
39. Tatsuaki Okada, Hayabusa TIR team, Thermal Infrared Imager on Hayabusa2 for Observation of Thermo-Physical Properties of C-Class Asteroid (162173) 1999JU3. 30th International Symposium of Space Science and Technology, Kobe Convention Center, 2015-k-66, Session k-13, 2015.
40. Hiroki Hihara, Tatsuaki Okada et al., Infrared sensor system using robotics technology for inter-planetary mission. SPIE 9608-11, 2015.
41. 岡田達明, はやぶさ2・TIR チーム, 「はやぶさ2」搭載中間赤外カメラ TIR の軌道上動作確認. 日本惑星科学会 2015 年度秋季講演会, 2015 年 10 月, 東京工業大学, 08-04, 2015.
42. 岡田達明, はやぶさ2・TIR チーム, 「はやぶさ2」搭載中間赤外カメラ TIR : 軌道上初期チェックと今後の運用計画. JPGU2015, 2015 年 5 月, 幕張, PCG30-05, 2015.
43. 岡田達明, 岩田隆浩, はやぶさ2 TIR チーム, はやぶさ2 NIRS3 チーム, はやぶさ2での遠隔赤外観測: NIRS3・TIRによる小惑星 1999JU3 探査計画, 第15回宇宙科学シンポジウム, ISAS, 相模原, P-162, 2015.
44. T. Okada, Hayabusa2 Thermal-Infrared Imager (TIR) Team, THERMAL-INFRARED IMAGER TIR ON HAYABUSA2 FOR OBSERVATION OF ASTEROID (162173) 1999JU3. Lunar Planet. Sci. Conf. (16-20 Mar 2015, The Woodlands, TX), 46, #1331, 2015.
45. 岡田達明, はやぶさ2・TIR チーム, 「はやぶさ2」搭載中間赤外カメラ TIR の科学観測計画. 日本惑星科学会秋季講演会 (2014 年 9 月 25 日, 東北大学片平さくらホール), 07-02, 2014.
46. 荒井武彦, 岡田達明, TIR チーム, はやぶさ2搭載中間赤外カメラによる隕石の測定. 日本惑星科学会秋季講演会 (2014 年 9 月 25 日, 東北大学片平さくらホール), P1-28, 2014.
47. T. Okada, TIR-Team, Thermo-Physical Properties of Asteroid Investigated by Thermal Infrared Imager on Hayabusa2. COSPAR Scientific Assembly Annual Meeting 2014 (2 - 10 Aug 2014, Moscow), BO.4-0030-14, 2014.
48. T. Okada, TIR-Team, Thermal Infrared Imaging of C-class Asteroid by Hayabusa2. Asia-Oceania Geosciences Society Annual Meeting 2014 (28 July - 1 Aug 2014, Sapporo), PS12-A020, 2014.
49. 岡田達明, はやぶさ2 TIR チーム, 「はやぶさ2」搭載中間赤外カメラ TIR : 科学観測と地上校正. Japan Geoscience Union Meeting 2014 (28 Apr - 2 May 2014, Pacifico Yokohama), U06-P04, 2014.
50. T. Okada, Hayabusa2 TIR-Team, Thermal Infrared Imager TIR on Hayabusa2: Result of Ground Calibration. International Conference of Asteroid, Comets, Meteors 2014 (30 June 30 - 4 July 2014, Helsinki), #8ACF, 2014.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

○取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<https://planetb.sci.isas.jaxa.jp/~okada/>

## 6. 研究組織

(1) 研究分担者 (なし)

(2) 研究協力者

田中 智 (Tanaka, Satoshi), 福原 哲哉 (Fukuhara, Tetsuya), 田口 真 (Taguchi, Makoto)  
 荒井 武彦 (Arai, Takehiko), 坂谷 尚哉 (Sakatani, Naoya), 鷗生 有理 (Shimaki, Yuri)  
 千秋 博紀 (Senshu, Hiroki), 出村 裕英 (Demura, Hirohide), Jorn Helbert (Jorn Helbert)  
 Thomas G. Mueller (Thomas G. Mueller)