

はやぶさ2 ONCの地上校正試験と初期画像データ Pre-launch calibration and the first image data of the optical navigation camera of Hayabusa 2

杉田 精司^{1*}; 亀田 真吾²; 澤田 弘崇³; 鈴木 秀彦⁴; 山田 学⁵; 本田 理恵⁶; 諸田 智克⁷; 本田 親寿⁸; 小川 和律³; 白井 慶³; 飯島 祐一³; 長 勇一郎²; 武井 亮人²; 奥村 裕²; 安田 竜弓²; 柴崎 和夫²; 佐藤 允基²; 池澤 祥太²; 中村 智樹⁸; 廣井 孝弘⁹; 鎌田 俊一¹⁰; 古賀 すみれ¹;
ONCサイエンスチーム³

SUGITA, Seiji^{1*}; KAMEDA, Shingo²; SAWADA, Hirotaka³; SUZUKI, Hidehiko⁴; YAMADA, Manabu⁵; HONDA, Rie⁶; MOROTA, Tomokatsu⁷; HONDA, Chikatoshi⁸; OGAWA, Kazunori³; SHIRAI, Kei³; IJIMA, Yuichi³; CHO, Yuichiro²; TAKEI, Akito²; OKUMURA, Hiroshi²; YASUDA, Tatsuya²; SHIBAZAKI, Kazuo²; SATO, Masaki²; IKEZAWA, Shota²; NAKAMURA, Tomoki⁸; HIROI, Takahiro⁹; KAMATA, Shunichi¹⁰; KOGA, Sumire¹; ONC, Science team³

¹ 東京大学, ² 立教大学, ³ 宇宙航空研究開発機構, ⁴ 明治大学, ⁵ 千葉工業大学, ⁶ 高知大学, ⁷ 会津大学, ⁸ 東北大学, ⁹ ブラウン大学, ¹⁰ カリフォルニア大学サンタクルーズ校

¹University of Tokyo, ²Rikkyo University, ³JAXA, ⁴Meiji University, ⁵Chiba Institute of Technology, ⁶Kochi University, ⁷Aizu University, ⁸Tohoku University, ⁹Brown University, ¹⁰UC. Santa Cruz

はじめに

ONCは3台(T, W1, W2)の可視 CCD カメラからなるシステムであり、探査機の光学航行と理学観測の両方を担う。特に ONC-T は、7枚の狭帯域フィルタを用いて分光撮像を行い、はやぶさ2搭載機器中で最も高い空間解像度で小惑星 1999JU₃ の全球観測する点で大変に重要な機器である。本ポスターでは、ONCの地上試験および初期運用中取得データについて簡単に解説する。特に、地上試験では、これまで行われたことがなかった隕石を用いた End-to-end 試験を実施した。この手法は、はやぶさ2の他の機器および欧州から参加している MASCOT の CAM および MicroOmega でも採用されて、機器間のクロスキャリブレーションとしても役立つこととなった。なお、昨年、彗星に着陸を果たした Rosetta 探査においても Flight Spare 品の校正試験に我々の隕石試料を利用したい旨の要請があり、こちらにも利用された。

炭素質隕石を用いた ONC-T の分光撮像試験

カメラの性能は、積分球やコリメータを用いた標準的な光学検証試験によって定量され、それら個々の性能試験の結果の積み上げで総合性能を割り出すことは可能である。しかし、現実には往々にして見落とし点や不測の不具合が起きるものである。これを防ぐためには、なるべく実際の観測に近い条件で、実際の観測対象に近い物体を撮像する End-to-end 試験を行って計測性能の確認を行うことが有効である。はやぶさ2の ONC-T では、相対吸収強度が3%ほどしかない 0.7 μ m 吸収帯の捕捉が非常に重要な要件となっている。そこで、光学検証試験において、炭素質コンドライトを被写体として計測を行った。

実験では、0.7 μ m 吸収帯を持つ CM コンドライト (Murchisonx3, Nogoya, Murray) のいずれでも 0.7 μ m 吸収は検出され、吸収帯のない CM コンドライト (Jbilet Windelwan) では、検出されることが確認された。この結果は、1999JU₃ に 0.7 μ m 吸収帯があれば、ONC-T で検出可能であることを示すものである。

システム総合試験中取得 ONC-W1 データ

システム総合試験では、W1 カメラ健全性確認撮像試験の際に被写体として炭素質コンドライトを用いた。W1 は分光機能を持たないが、小惑星表面へのタッチダウンの際に地表面から 1~3m の距離で撮像できる可能性がある。この際には数 mm の極めて高い分解能が実現できる。しかし、実際の小惑星が持つ微妙な濃淡コントラストや組織が計測できるかは、実際の隕石で試験する必要がある。

撮像試験には、数種類の CM, CV 隕石を用いた。実験結果は、W1 は 1m 程度の距離において CV 隕石に特徴的な大きな CAI 組織を識別できることを示唆している。また、CM2 隕石内のコンドリュール破片の濃淡が W1 画像中にも確認できる結果を得た。ただし、この濃淡の程度は弱く、表面の起伏による見かけ輝度変化と見分けることは難しいものであることに十分注意する必要がある。

ONC 初期運用中取得 ONC-W2 データ

2014年12月3日の打上げ後の第1可視中に W2 による月撮像が行われ、ONC のファーストライトとなった。本画像の計測値および地上感度試験の結果からは、月の反射率は7%相当と見積られる。月探査周回機 KAGUYA の MI 計測値から推定される太陽位相角 50° における月高地の反射率 (4.5 ? 10.7 %) と概ね良く一致する。

PCG30-P01

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 18:15-19:30

キーワード: 小惑星, 惑星探査, はやぶさ2探査, 分光撮像

Keywords: asteroid, planetary exploration, Hayabusa 2 mission, Multi-band imaging

小惑星模型を用いた Structure-from-Motion 法による小惑星形状推定の精度評価 Accuracy Evaluation of Asteroid Shape Reconstruction by Structure-from-Motion Method with a asteroid scale model

平田 成^{1*}; 岩崎 文哉¹; はやぶさ 2 形状モデル 検討グループ²

HIRATA, Naru^{1*}; IWASAKI, Fumiya¹; HAYABUSA-2 SHAPE RECONSTRUCTION, Study group²

¹ 会津大学, ² はやぶさ 2 プロジェクト

¹ARC-Space/CAIST, The University of Aizu, ²Hayabusa-2 project

はやぶさ 2 プロジェクトにおける小惑星形状モデル作成手法の検討のため、オープンソースとして公開されている形状復元ツールの評価を行った。評価したのは Structure from Motion による形状復元が可能なソフト Bundler と、これと協働して高解像度の形状モデルを作成可能なソフト PMVS2 である。昨年度の連合大会では、小惑星探査機はやぶさが撮影した小惑星イトカワの画像を用いてイトカワの形状を復元し、得られた形状モデルの精度の評価を行った。しかし、評価の基準とした Gaskell et al. (2009) による高解像度形状モデルも同じ画像セットから作成されたものであるため、評価の妥当性に問題があった。そこで今回は、JAXA が所有する小惑星の模型を用い、これを高精度レーザースキャナーで測定した形状モデルを評価基準とし、模型の画像から Bundler と PMVS2 で復元した形状モデルの精度を評価した。独立した手法で作成した二つの形状モデルを比較することで、ツールそのものの性能を妥当性を持って評価できる。

キーワード: 小惑星, 形状推定, bundler, PMVS2, Structure-from-Motion, はやぶさ 2

Keywords: Asteroid, shape reconstruction, bundler, PMVS2, Structure-from-Motion, Hayabusa-2

はやぶさ2搭載近赤外分光計 NIRS3 の開発結果 Results of the development for NIRS3: the Near Infrared Spectrometer on Hayabusa-2

岩田 隆浩^{1*}; 北里 宏平²; 安部 正真¹; 荒井 武彦¹; 仲内 悠祐³; 中村 智樹⁴; 廣井 孝弘⁵;
大澤 崇人⁶; 松岡 萌⁴; 松浦 周二¹
IWATA, Takahiro^{1*}; KITAZATO, Kohei²; ABE, Masanao¹; ARAI, Takehiko¹; NAKAUCHI, Yusuke³;
NAKAMURA, Tomoki⁴; HIROI, Takahiro⁵; OSAWA, Takahito⁶; MATSUOKA, Moe⁴; MATSUURA, Shuji¹

¹JAXA 宇宙科学研究所, ²会津大, ³総研大, ⁴東北大, ⁵ブラウン大, ⁶JAEA

¹Institute of Space and Astronautical Science, JAXA, ²University of Aizu, ³Graduate University for Advanced Studies, ⁴Tohoku University, ⁵Brown University, ⁶JAEA

近赤外分光計 (NIRS3) は、小惑星探査機「はやぶさ2」に搭載され、1.8~3.2 μm 帯の近赤外波長域において小惑星表面からの太陽反射光及び熱放射を分光測定するリモートセンシング機器である。NIRS3 の主要目的は、C 型小惑星 1999JU3 において 3 μm 帯での OH 基の対称伸縮振動や水分子の変角振動による吸収を検出し、小惑星表面における水・含水鉱物の分布や水質変成、熱変成等の状態を明らかにすることである。含水鉱物による吸収帯の強度を 1~2% の精度で推定するため、我々は 2.6 μm 帯での SN 比が 50 を超えることを目標に、NIRS3 観測システムを設計・開発した。

NIRS3 は分光計ユニット (NIRS3-S) と電気回路ユニット (NIRS3-AE) から構成され、NIRS3-S には 128 ピクセルのインジウム砒素 (InAs) フォトダイオードによる一次元イメージセンサ型検出器が搭載されている。NIRS3 のフライトモデルを用いた地上試験として、2013 年 2 月~2014 年 9 月に、NIRS3 単体でのプロトフライト試験および性能試験、「はやぶさ2」探査機に組み込んだ一次噛合せ試験および総合試験を実施した。単体性能試験では、NIRS3-S を試験用小型チャンバ内で軌道上温度をカバーする -90~-60 $^{\circ}\text{C}$ に冷却して、黒体炉からの近赤外光を入射し、感度校正、波長校正のための基礎データを取得するとともに、S/N 等の基本性能を確認した。この結果、軌道上 S/N 予測値は、高度 20km からのホームポジション観測では目標を大きく上回る 300 以上となり、高度を低下させて実施する SCI クレータ等の高解像度観測でも S/N >60 を満足することを確認した。さらに、黒体炉の近赤外光を、鉱物試料、無水炭素質隕石、MASCOT 搭載 MicrOmega 校正板で反射させて NIRS3 で受光することにより、これらの反射スペクトルと FTIR (フーリエ変換型赤外分光計) との整合性の確認、ならびに相互校正データ取得を行った。これらの地上試験の結果から、NIRS3 を用いた C 型小惑星表面での、初期構成、水質変成、熱変成、宇宙風化に関して、新たな知見を得るのに十分な性能を有することを示した。これらの結果と、軌道上での初期性能確認の結果を併せて報告する。

キーワード: はやぶさ2, 小惑星, 1999JU3, NIRS3, 近赤外線, 分光計

Keywords: Hayabusa-2, asteroid, 1999JU3, NIRS3, near infrared, spectrometer

はやぶさ2レーザ高度計 LIDAR の初期運用 Initial operation of Hayabusa-2 laser altimeter (LIDAR)

野田 寛大^{1*}; 水野 貴秀²; 並木 則行¹; 千秋 博紀³; 山田 竜平¹; 平田 成⁴; 清水上 誠⁵
NODA, Hiroto^{1*}; MIZUNO, Takahide²; NAMIKI, Noriyuki¹; SENSHU, Hiroki³; YAMADA, Ryuhei¹;
HIRATA, Naru⁴; SHIZUGAMI, Makoto⁵

¹ 国立天文台 RISE 月惑星探査検討室, ² 宇宙航空研究開発機構, ³ 千葉工業大学惑星探査研究センター, ⁴ 会津大学 コンピュータ理工学部, ⁵ 国立天文台水沢 VLBI 観測所

¹RISE project, NAOJ, ²Japan Aerospace Exploration Agency, ³Planetary Exploration Research Center, Chiba Institute of Technology, ⁴Dep. of Computer Science and Engineering, Univ. of Aizu, ⁵Mizusawa VLBI Observatory, NAOJ

Introduction: As a successor of Japanese Hayabusa Asteroid mission, Hayabusa-2 was successfully launched on 3 December 2014. The target asteroid of Hayabusa-2 is now called 1999 JU₃, which has C-type spectral type. C-type asteroids are considered to be more primitive than S-type asteroids because of its further heliocentric distance, and to be good targets to know the origin and the history of the solar system.

As a part of the Attitude and Orbit Control Subsystem (AOCS), the laser altimeter called LIDAR is developed. LIDAR measures altitudes of the spacecraft from a surface of the asteroid by detecting a time of flight of bounced laser pulse on the asteroid surface. Basically the LIDAR data are used for navigation of the spacecraft, and they are particularly important during touch-down operation. Besides, the LIDAR data will be served for scientific analysis of the shape, mass, and surface properties of the asteroid in order to elucidate physical evolution of minor bodies such as impact fragmentation and coagulation.

In addition to the normal ranging mode, LIDAR of Hayabusa-2 is equipped with dust counting mode and laser transponder mode. The levitation dusts above the asteroid, if they exist, can be measured along the line of sight direction of the LIDAR in dust counting mode. The laser transponder mode is used for the demonstration of the optical data transmission from the spacecraft to the ground laser station and vice-versa, when the spacecraft is near the Earth for the Earth gravity assist operation in winter 2015.

Operation history: After the launch, the LIDAR was turned on for the first time on 15 December 2014 for the confirmation of the power consumption and thermal environment of the instrument. On 23 January 2015, detailed function test was done. On this day, all the necessary commands were issued and all observation modes were used. The whole ranging system was checked by turning on the laser and the detector unit for the first time after the launch. Because no ranging target is available during the cruise phase, each function was checked separately. First, the laser power is confirmed to be normal. Then, the high voltage of the APD (Avalanche Photo Diode) detector was applied properly, which was compensated with the temperature of the APD to stabilize the sensitivity. Also, the noise level of the APD was checked by changing the threshold level of the detectable signal. Lastly, the range-finding circuit was intentionally operated by detecting the stray light of the emitted laser by setting no dead time of the circuit. The dust mode and laser transponder mode were also confirmed to be normal. Besides, the quick look software of the LIDAR for monitoring the housekeeping data and data reduction has been developed, and the function was also confirmed in the initial checkout.

Future plan: The first chance of light detection will be realized as an experiment on the laser transponder mode before and after the Earth gravity assist in winter 2015. In this opportunity we can evaluate whether the alignment of the transmitting and receiving telescope keeps the required alignment position for ranging after the shock of the launch. The link budget of the laser can be also tested in this experiment.

After the Earth gravity assist operation, the spacecraft will be inserted into the transfer orbit, and it will arrive at the target asteroid in the middle of 2018 and the ranging with the LIDAR will start.

キーワード: LIDAR, はやぶさ2, 小惑星, レーザ高度計, 測距, 初期運用

Keywords: LIDAR, Hayabusa-2, asteroid, laser altimeter, ranging, initial operation

はやぶさ帰還試料キュレーションの現状 Present status of curation of Hayabusa-returned samples

矢田 達^{1*}; 安部 正真¹; 上梶 真之¹; 唐牛 譲¹; 中藤 亜衣子¹; 熊谷 和也¹; 岡田 達明¹
YADA, Toru^{1*}; ABE, Masanao¹; UESUGI, Masayuki¹; KAROUJI, Yuzuru¹; NAKATO, Aiko¹;
KUMAGAI, Kazuya¹; OKADA, Tatsuaki¹

¹ 宇宙航空研究開発機構

¹ Japan Aerospace Exploration Agency

JAXA 地球外物質キュレーションチームでは、2010年の試料帰還以降、「はやぶさ」帰還試料の初期記載を継続している (Yada et al., 2014)。「はやぶさ」の帰還試料を収めるキャッチャーはA室、B室、回転筒の3つの領域に区切られており、2013年までにそれぞれA室、B室から合成石英ガラス円盤上に落下回収した試料の記載を行っていた。それに対して、キャッチャーB室フタは、キャッチャーB室から取り外された部品をそのまま観察しており、比較的偏りの少ない粒子群と目される。2013年末から新たに開発した密閉型ホルダーを使用して、このB室フタを直接電子顕微鏡に導入し、全域のマップ撮影による15ミクロン以上の全粒子記載を始めており、2015年2月現在までに、そのおよそ2/3の領域までの記載を終了した。その結果、B室フタ上で記載された粒子数は1800個を上回り、イトカワ起源と考えられる主にケイ酸塩鉱物から成る粒子は、この内400個超となった。

この内、拾い出して初期記載を終えた100個強の粒子を加えて、第3回目の国際公募研究を2015年1月に発表して、3月まで研究テーマを公募している。国際公募研究委員会による査読過程を経て、6月には審査結果を公表し、7月から粒子の配布を開始する予定である。

今後の予定としては、2015年度上半期中にはB室フタ上粒子の記載を終え、下半期にかけてキャッチャー内の未回収の領域である回転筒からの粒子回収を行う予定である。

参考文献：

Yada T. et al. (2014) *Meteoritics Planet. Sci.* 49, 135.

キーワード: 小惑星, イトカワ, はやぶさ, キュレーション, サンプルリターン, LLコンドライト

Keywords: asteroid, Itokawa, Hayabusa, curation, sample return, LL chondrite

数値計算と統計解析によるフォボスの線状構造の形成過程 Statistical analyses of lineaments on Phobos: implications to their formational processes and orbital environment

菊地 紘^{1*}; 宮本 英昭¹
KIKUCHI, Hiroshi^{1*}; MIYAMOTO, Hideaki¹

¹ 東京大学総合研究博物館

¹The University Museum, The University of Tokyo

火星の衛星であるフォボスとダイモスの起源は、主につぎの2つの説が提唱されている。まずひとつは、主に小惑星の分光観測と類似していることから、小天体が火星軌道で捕獲されたのではないか（捕獲説）とするものである。もうひとつは、フォボスもダイモスも順行したほぼ真円軌道を持つことから、火星軌道において集積した（集積説）というものである。

前者ではダイモスの形成が困難なことから、両衛星の三軸比や密度が類似していることから、現在のところ後者の集積説が優勢な状況である。たとえばガス円盤により合体衝突して成長した胚が衛星となり、ほとんどは火星に衝突してしまっただが、残ることができた衛星がフォボスとダイモスであるなどと考えられている [1]。しかしながらクレーター年代学による推定によると、フォボスの表層は約 43 億年前に更新されている [2] とされる。フォボスが火星に衝突せずに現在の軌道に存在するためには、形成時に同期軌道距離近く離れている必要があるが、Rosenblatt らによると、そのような円盤の密度を想定するとダイモスサイズの衛星は形成することができないという問題がある。さらに、同期軌道上でダイモスが形成できる条件を考えると、フォボスと同程度の大きさの衛星が形成できるはずだが、表層年代より早い時間で火星に衝突してしまうという問題もある。すなわち、フォボスとダイモスの双方が同時に形成することは難しい [3]。もっとも、フォボスが同期軌道上でダイモスサイズの胚が集積して形成されたと仮定すれば、フォボスとダイモスの双方が形成することができる可能性はあるが、これを定量的に示すには不確定要素が多く、条件が複雑なため、数値解析ではまだ示すことができていない。そのためフォボスがいったいどこで集積したかという点が両者の起源を考える上で重要な問題となっていると言える。

本研究は、フォボスに顕著にみられる筋状の構造を丹念に調査している。これらは 31-38 億年前 [2] に何らかの衝突により形成された [4] と考えられてきたが、一方で内部構造に由来しているとする考え方も根強く残っていた。私たちはこうした溝構造が、一連のものは全て同一平面上に存在することを明らかにしてきたが、今回さらに主成分分析を通じてその空間分布を調査した。その結果、衝突現象を引き起こした物質はフォボスの進行方向と垂直な方向から衝突している傾向があることがわかった。さらに N 体計算をもちいて衝突物質の力学とフォボスの軌道との関係を検証した結果、本研究で明らかにされたフォボス上の筋状構造の統計的な分布だけでなく、不規則に並ぶピットチェーンやグループなど類似した地形も含めた形態的な特徴をうまく再現できた。さらに、こうしたフォボスの溝構造が形成されるためには、フォボスが火星から少なくとも 19500 km 以上離れていることが必要であるということがわかった。これは溝構造が形成されたときフォボスが同期軌道上付近に存在していたことを示唆しており、フォボスとダイモスの起源として集積説を支持する。

Reference

- [1] Craddock, A. R., (2011) *Icarus*, 211, 1150-1161
- [2] Schmedemann, N., et al., (2014) *Planetary and Space Science*, 102, 152-163
- [3] Rosenblatt, P., Charnoz, S., (2012) *Icarus*, 221, 806-815
- [4] Murray, J. M., Heggie, D. C., (2014) *Planetary and Space Science*, 102, 119-143

キーワード: フォボス, 溝構造
Keywords: Phobos, Lineaments

2012年10月りゅう座流星群のMUレーダーヘッドエコー観測 MU radar head echo observations of the 2012 October Draconid outburst

藤原 康徳^{1*}; Kero Johan²; 阿保 真³; Szasz Csilla²; 中村 卓司⁴
FUJIWARA, Yasunori^{1*}; KERO, Johan²; ABO, Makoto³; SZASZ, Csilla²; NAKAMURA, Takuji⁴

¹ 総合研究大学院大学, ²IRF, ³ 首都大学東京, ⁴ 国立極地研究所

¹SOKENDAI, ²Swedish Institute of Space Physics, ³Tokyo Metropolitan University, ⁴National Institute of Polar Research

10月りゅう座流星群は、21P/Giacobini-Zinner 彗星を親天体とする流星群で、1933年、1946年にはZHR10,000を上回る流星嵐をおこしたことで知られている。

近年、親彗星からのダスト（流星体）放出とそのダストの軌道変化を計算でシミュレーションすることによりその彗星からのダストの地球近傍での分布を求め、それによる流星群の出現予報が行われている。この方法により、2011年には、Giacobini-Zinner 彗星からの流星群の活発な出現が予報され、実際の観測とよい一致をみた。

2012年には、モデル計算からは、この彗星からのダストは地球に大きく近づくことはなく、活発な出現があることは予報されていなかった。我々は、2012年10月8日～10日に大型大気レーダーであるMUレーダー（京都大学生存圏研究所：滋賀県甲賀市）でヘッドエコーモードによる電波観測を実施した。10月8日の13時～20時（UT）に、10月りゅう座流星群の2011年の出現を上回る活発な活動を捉えた。

活動の中心時間帯（13-20時 UT）での51個の流星からの平均輻射点は、赤経 $\alpha=262.5$ 度、赤緯 $\delta=+55.8$ 度、地心速度 $V_g=20.6$ km/s であった。発表では、2011年のMUレーダーでのヘッドエコー観測結果（Kero et al. 2012）との比較結果についても報告する。

キーワード: 流星群, レーダー観測, ヘッドエコー

Keywords: meteor shower, radar observation, head echo

ほうおう座流星群の予報計算 Prediction of Phoenicid

斉藤 雄大¹; 佐藤 勲^{1*}; 阿部 新助¹
SAITO, Takehiro¹; SATO, Isao^{1*}; ABE, Shinsuke¹

¹ 日本大学理工学部

¹ Nihon University

1956年に大出現したほうおう座流星群は、289P/ブランパン (Blanpain) 彗星を母彗星とする流星群である。この流星群の特徴は、地球に対する衝突速度が10km/sと流星群の中で最も遅いことと、ダストトレールが頻繁に木星に接近して軌道を曲げられるために予報計算が困難であることである。この流星群が2014年に再び出現することが予報されたため、2次元ダストトレール計算を行い、流星を出現させる原因となるダストトレールの特定を試みた。

1956年の大出現は、18-19世紀に低速度で放出された多数のダストトレールが同時に接近するという極めて稀な現象が起こったために、衝突速度が最低のこの流星群でも多数の火球が出現したらしいことがわかった。一方で、2014年の出現では、19-20世紀のダストトレールがばらけて接近するため、出現数はあまり多くないと予想されたが、実際の観測でもHR5程度の出現にとどまった模様である。

ほうおう座流星群の出現には95年の周期性があり、次回の顕著な出現は2051年になると予想される

キーワード: ほうおう座流星, 予報計算

Keywords: Phoenicid, prediction