

はやぶさ2の統合サイエンス On activities in the interdisciplinary science of Hayabusa-2

小林 直樹^{1*}; 渡邊 誠一郎²; はやぶさ2 統合サイエンスチーム¹

KOBAYASHI, Naoki^{1*}; WATANABE, Sei-ichiro²; THE INTERDISCIPLINARY SCIENCE TEAM, Hayabusa-2¹

¹ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, ² 名古屋大学大学院環境学研究科地球環境科学専攻

¹ ISAS/JAXA, ² Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Nagoya University

はやぶさ2はC型近地球小惑星である1999JU3からサンプルを持ち帰る小惑星探査ミッションである。その搭載科学装置として、近赤外線分光計 (NIRS3)、中間赤外線カメラ (TIR)、可視カメラ (ONC-T)、レーザ高度計 (LIDAR)、サンプル (SMP)、衝突装置 (SCI)、理学観測用分離カメラ (DCAM-D)、小型ランダ (MASCOT) を搭載する。これらの観測装置を駆使して1999JU3の表層物質と表層状態を特定し、最大3つのサンプリング箇所を選定する。地球に帰還するサンプルの分析により、1999JU3上で生じている物理、化学作用を理解すること、その天体の形成から現在に至る迄の歴史を読み解くことを目指している。従って搭載機器を駆使した表面物質と状態の特徴付け戦略ははやぶさ2の科学成果を成功に導く鍵となっている。そこでサンプルリターンミッションをより効果的なものとするべく、はやぶさ2プロジェクトでは統合サイエンスチームを立ち上げ検討してきた。本報告でははやぶさ2の統合サイエンス活動を紹介する。

はやぶさ2統合サイエンスチームは2012年12月に発足した。発足時に掲げた目的は以下の通りである：はやぶさ2の科学シナリオの全体像の構築、機器横断的なサイエンステーマの識別と各テーマにおける観測装置の役割を明確にすること、ミッションシナリオにおける科学的制約条件と科学的評価を明確化すること、そしてサイエンスの裾野を広げること即ち「小惑星からの惑星科学」を考え尽くすことである。統合サイエンスチームの議論はプロジェクトメンバーにはオープンな場で行われている。これまでに、リターンサンプルの分析戦略、リモセン機器による小惑星表面の不均質の同定、表面温度推定戦略、クレータ年代学、衝突地形、形状モデル作成法、C型小惑星の反射スペクトル、宇宙風化などを真摯に議論してきた。その成果は「表面物質と状態の切り分け戦略」として論理流れ図として結実している。この図には「基本観測量」、「統合観測量」、「同定できる特徴」、その「指標」および「総合的な推定量」の互いの関係が示されている。図中にはこれらの観測量、推定量への各機器の寄与も明示されている。また、統合サイエンスチームでは衝突装置に関する科学運用に関しても熱心に議論されている。衝突装置は微小重力下での壮大な衝突実験を実現し、また、表面をはぎ取ることで内部の物質を露出させる役割を担う。しかしSCIの運用は探査機のシステムリソースを食う大掛かりなものであり、良く練られた運用プランが必須となっている。

作成された論理フロー図ははやぶさ2の科学を成功に導く指針となるものである。それは今後も改訂され、論理的により完備なものとなり込まれる。そのために、論理図を補完する検討や実験などをとりまとめる専門作業グループを設けている。現在は総合試験や機器のキャリブレーション試験など開発フェーズの山場を迎えているため、統合サイエンスの活動をやや落としているが、開発フェーズが終わりに近づくに連れて統合サイエンス活動を活発化させる。はやぶさ2の統合サイエンス活動はその科学ミッションを成功に導く鍵であり、日本における惑星探査を増進させる役割を担うものと考えている。

キーワード: はやぶさ2, 小惑星, 探査, 表層物質, 統合サイエンス, サンプルリターン

Keywords: Hayabusa-2, asteroid, exploration, surface material, interdisciplinary science, sample return

U06-02

会場:503

時間:4月28日 09:15-09:30

はやぶさ2 ONC-Tの反射分光観測による含水鉱物吸収の検出可能性 Detectability of 0.7 μ m absorption band of hydrous minerals using the Hayabusa2 ONC-T Flight Model

亀田 真吾^{1*}; 武井 亮斗¹; 佐藤 允基¹; 奥村 裕¹; 長 勇一郎²; ONC Science Team³

KAMEDA, Shingo^{1*}; AKITO, Takei,¹; SATO, Masaki¹; OKUMURA, Yu¹; CHO, Yuichiro²; ONC, Science team³

¹ 立教大学, ² 東京大学, ³ JAXA

¹ Rikkyo University, ² The University of Tokyo, ³ JAXA

Hayabusa2 has three cameras for optical navigation to the asteroid 1999JU3. ONC-T is one of them and it can be used also for reflectance spectroscopy. The results of the ground-based observation suggested that hydrous materials might remain on the 1999JU3 but on the small part of the surface. To bring them to the Earth, we should perform reflectance spectroscopic observation near the asteroid using ONC-T to locate the point where hydrous mineral is rich.

In this presentation, we will report the result of final calibration test of ONC-T and discuss the detectability of hydrous minerals on 1999JU3.

はやぶさ2レーザ高度計の科学観測のための開発 Development and tests of Hayabusa-2 LIDAR

並木 則行^{1*}; 水野 貴秀²; 千秋 博紀¹; 山田 竜平³; 野田 寛大³; 清水 誠³; 平田 成⁴; 池田 人⁵; 阿部 新助⁶; 松本 晃治³; 押上 祥子³; 吉田 二美³; 平田 直之⁷; 宮本 英昭⁷; 佐々木 晶⁸; 荒木 博志³; 田澤 誠一³; 石原 吉明²; 小林 正規¹; 和田 浩二¹; 出村 裕英⁴; 木村 淳⁹; 早川 雅彦²; 小林 直樹²; 三田 信²; 川原 康介²; 國森 裕生¹⁰
NAMIKI, Noriyuki^{1*}; MIZUNO, Takahide²; SENSU, Hiroki¹; YAMADA, Ryuhei³; NODA, Hiroto³; SHIZUGAMI, Makoto³; HIRATA, Naru⁴; IKEDA, Hitoshi⁵; ABE, Shinsuke⁶; MATSUMOTO, Koji³; OSHIGAMI, Shoko³; YOSHIDA, Fumi³; HIRATA, Naoyuki⁷; MIYAMOTO, Hideaki⁷; SASAKI, Sho⁸; ARAKI, Hiroshi³; TAZAWA, Seiichi³; ISHIHARA, Yoshiaki²; KOBAYASHI, Masanori¹; WADA, Koji¹; DEMURA, Hirohide⁴; KIMURA, Jun⁹; HAYAKAWA, Masahiko²; KOBAYASHI, Naoki²; MITA, Makoto²; KAWAHARA, Kousuke²; KUNIMORI, Hiroo¹⁰

¹ 千葉工業大学, ²JAXA 宇宙科学研究本部, ³ 国立天文台, ⁴ 会津大学, ⁵ 宇宙航空研究開発機構, ⁶ 日本大学, ⁷ 東京大学, ⁸ 大阪大学, ⁹ 東京工業大学, ¹⁰ 通信総合研究所

¹PERC/Chitech, ²ISAS/JAXA, ³NAOJ, ⁴The University of Aizu, ⁵ARD/JAXA, ⁶Nihon University, ⁷The University of Tokyo, ⁸Osaka University, ⁹Tokyo Institute of Technology, ¹⁰NICT

小惑星探査機「はやぶさ2」に搭載されるレーザ距離計(LIDAR)の観測データを使った科学観測目標について講演する。小惑星探査の科学的意義を一言にまとめるならば、「原始惑星系円盤⇒微惑星⇒小惑星へといたる過程の missing piece を明らかにする」ということになるだろう。リターンサンプルは隕石と異なり産地情報を有しているの、サンプル分析結果をリモートセンシング観測と結びつけることで、サンプルが経験した「過程」を遡ることができるかも知れない。

「はやぶさ2」のリモートセンシング観測データはその場観察で得られる産地情報である。LIDARは本来は光学航法のためのバス機器であるが、サイエンスチームは距離測定から得られるデータを科学利用する。LIDAR観測の科学目標とは、「衝突破壊・合体のプロセスを含めた小天体物理進化の謎解き」であり、具体的には下記の3つを掲げている。

(1) 1993JU3の分光スペクトル観測(AMICA, NIR3, アルベド)から collisional family を同定する。

(2) 形状と重力から平均空隙率を計算し, rubble pile 天体の衝突破壊・合体の歴史を推定する。

(3) リターンサンプルの宇宙線照射年代, 太陽風インプランテーションから軌道進化を制約する。

加えて Itokawa 探査の科学成果を発展させる(リターンサンプルをさらに活用する)ために以下の2点を新たな科学目標に追加した。

(4) Rubble pile 天体を実証する。Itokawa と 1999JU3 の比較から, rubble pile 天体普遍性とバリエーションを議論する。そのために, 接近運用の復路で成るべく多くの重力観測を実施して空隙率の均一/不均一性を測定する。形状中心と重心の相違を 10 m の精度で測定することを目標としている。

(5) 小惑星ダストのその場観察を行う。従来の研究で提唱されているように, もし小惑星周辺に浮遊するダストが存在するならばレーザの微弱な反射光が検知されるはずである。はやぶさサンプルの出自は表層レゴリスであるのか, 浮遊ダストであるのか, を確認する。小惑星周辺に漂う浮遊ダストを発見することができれば, 空間密度分から, 小惑星ダストの移流・攪拌をその場観察し(3)の解釈に反映する。

講演ではこれらの目標達成のために必要な観測機器性能を紹介し, 試験と開発の現状を報告する。

キーワード: はやぶさ, 小惑星, 探査, レーザ, 高度計

Keywords: Hayabusa, asteroid, exploration, LIDAR

はやぶさ2 TIRの観測から表面熱物性を求める戦略 A strategy to estimate thermal properties using Thermal Infrared Imager on board Hayabusa-2.

千秋 博紀^{1*}; 滝田 隼²; 田中 智³; 岡田 達明³
SENSHU, Hiroki^{1*}; TAKITA, Jun²; TANAKA, Satoshi³; OKADA, Tatsuaki³

¹ 千葉工業大学惑星探査研究センター, ² 東京大学大学院理学系研究科, ³ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所
¹PERC/Chitech, ²Graduate School of Science, Tokyo University, ³ISAS/JAXA

Thermal InfraRed imager (TIR) on board Hayabusa-2, an upcoming Japanese mission to C-type asteroid 1999JU3, is non-cooled bolometer which image mid-infrared thermal emission from the asteroidal surface. The field-of-view (FOV) of TIR is 16x12 degrees and its effective pixels are 320x240. So the spatial resolution, which depends on distance from the surface, is about 18m from an altitude of 20km (Home position) and less than 1m from an altitude of 1km.

By comparing the temperature distribution obtained by TIR and thermal evolution model, we can get thermophysical properties such as thermal inertia and emissivity. These parameters are diagnostic for the characteristic size of surface grain.

In this presentation we will present our strategy to estimate the thermophysical properties from TIR observation.

キーワード: はやぶさ2, 熱赤外カメラ, 表面温度, 熱物性, 熱慣性率, 放射率

Keywords: hayabusa-2, thermal infrared imager, surface temperature, thermal properties, thermal inertia, emissivity

小惑星の表面地形と重力ポテンシャルの関係 Relationship on Surface Morphology of Small Asteroids and Geopotential

平田 成^{1*}; 松本 晃治²; 木村 淳³

HIRATA, Naru^{1*}; MATSUMOTO, Koji²; KIMURA, Jun³

¹ 会津大学, ² 国立天文台 RISE 月惑星探査検討室, ³ 東京工業大学地球生命研究所

¹ARC-Space/CAIST, The University of Aizu, ²RISE Project, The National Astronomical Observatory of Japan, ³The Earth-Life Science Institute (ELSI) of Tokyo Institute of Technology

小惑星イトカワの表面は smooth terrain と rough terrain という対照的な二種類の地質要素に区分できる。smooth terrain は数 cm 径の細粒の物質で覆われた平坦な特徴を持つのに対し、rough terrain は数 10 cm から数 m に及ぶ boulder で覆われた起伏の激しさで特徴づけられる。イトカワ上では smooth terrain は 3 カ所に分布している。このうち、南極域の MUSES-C 地域、北極域の Sagami-hara 地域の 2 カ所が最大の広がりを持つ。Sagami-hara 地域に隣接する Uchinoura 地域は、前二者よりは小規模な smooth terrain である。

イトカワでは形状モデルと自転モデルが得られているので、均質な内部構造を仮定すれば表面の重力ポテンシャルを求めることができる。このようにして得られた重力ポテンシャルマップと smooth terrain の分布を比較すると、smooth terrain は重力ポテンシャルの低い領域に分布し、その表面はほぼ等ポテンシャルになっている。これは、移動しやすい細粒物質が隕石衝突などに伴う振動によって低ポテンシャルの地域に溜まった結果 smooth terrain が形成された、という説明とよく対応する。

イトカワの場合、全体形状が両極方向に強く扁平しているため（軸比約 1.2）、両極域は全球で最も標高が低い、すなわちポテンシャルの低い地域となる。そこに細粒の物質が溜まった結果、MUSES-C 地域と Sagami-hara 地域の二つの smooth terrain になったと解釈できる。Uchinoura 地域はその形状から衝突クレーターと考えられる。クレーター底もまたローカルな低ポテンシャル域であり、そこに細粒の物質が溜まったものであろう。

天体表面の細粒物質の体積が、表面全体を覆うほど十分であれば、このような分布の偏りは観察されないと考えられるが、若く、小さな小惑星ではレゴリス形成が十分進んでいないため、イトカワのように低ポテンシャルの地域にのみ限定された smooth terrain の形成が見られるはずである。

従って、小惑星の形状または軸比、そして自転状態が得られれば、重力ポテンシャル分布を推定することで、小惑星上での smooth terrain の分布を予測することができる。

小惑星探査機はやぶさ 2 の対象天体である 1999 JU3 は、ライトカーブ観測によって軸比が約 1.2、自転周期は 7.63 h と見積もられている。引力ポテンシャルと遠心力ポテンシャルの関係から、極（短軸上）と赤道（長軸上）での重力ポテンシャル差を求めると、1999 JU3 表面ではやや引力ポテンシャルが勝っているものの、ほぼ両者が釣り合った状態にあることがわかった。従って、この小惑星表面で smooth terrain が形成されている場合、その分布はやや極域に偏っているか、あるいはクレーターなどのローカルな低地にあることが予測される。

キーワード: 小惑星, ジオポテンシャル, smooth terrain, イトカワ, 1999JU3

Keywords: Asteroid, geopotential, smooth terrain, Itokawa, 1999JU3

イトカワの多バンド画像の主成分分析から示唆されるS型小惑星のスペクトル進化 Spectral evolution of s-type asteroids suggested by principal component analysis of multi-band images of Itokawa

古賀 すみれ^{1*}; 杉田 精司¹; 鎌田 俊一²; 石黒 正晃³; 廣井 孝弘⁴; 佐々木 晶⁵

KOGA, Sumire^{1*}; SUGITA, Seiji¹; KAMATA, Shunichi²; ISHIGURO, Masateru³; HIROI, Takahiro⁴; SASAKI, Sho⁵

¹ 東京大学大学院新領域創成科学研究科, ² 北海道大学 理学研究院, ³ ソウル大学 物理天文学科, ⁴ ブラウン大学惑星地質,
⁵ 大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻

¹Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, ²Dept. of Earth and Planetary Sci., UC Santa Cruz, ³Department of Physics and Astronomy, Seoul National University, ⁴Department of Geological Science, Brown University, ⁵Department of Earth and Space Science, Graduate School of Science, Osaka University

背景・目的

イトカワ表面では組成の不均一性が小さいことや、宇宙風化の程度の異なる地域があることなどが知られているが[1,2]、宇宙風化以外にスペクトルを変化させる要素の有無は十分に検証されていない。我々はAMICA(Asteroid Multi-band Imaging CAMERA)のイトカワ多バンド画像を用いた主成分分析(PCA)で、主成分スペクトルとその空間分布を調べている。これまでの解析で、イトカワ、メインベルト小惑星、レーザー照射した隕石のスペクトルのPCAを使った比較から、微小隕石衝突による宇宙風化[3]により小惑星のスペクトルがどう進化するかが示唆されていた[4]。しかし電磁ノイズの影響で、他の要素については解析できていなかった。本研究では電磁ノイズを除去し、宇宙風化以外に起因するスペクトル変化のトレンドを吟味することを目的として解析する。

方法

AMICAの可視6バンド画像(中心波長381,429,553,700,861,960nm)を使用した。画像に含まれている周期的な電磁ノイズを正弦波の重ね合わせを引いて除去した。[5]に従い画像校正と反射率への変換、平行移動による位置合わせを行った。

得られた画像を553nm画像で規格化し、PCAを行った。特徴的な黒い岩(Black Boulder)の入った画像も用いた。Black Boulderの成因として[6]で衝撃暗化が指摘されている。また、イトカワのスペクトルをECAS[7]の540個の小惑星スペクトルデータと合わせたPCAでイトカワとメインベルト小惑星のスペクトル分布とを比較した。

結果

電磁ノイズ除去処理により、除去前に比演算画像に顕著に見られた縞模様を除去できた。

イトカワのデータだけのPCAでは、PC1は、430-700nmで特に急な立ち上がりをもつ全体的に右肩上がりのスペクトルとなった。PC1スコア空間分布は、大きなボルダーの上で値が低いなど先行研究[8]で得られている宇宙風化度空間分布と調和的であった。

PC2は553nm以外の波長で正の値を持ち、短・長波長の両側に上がったスペクトルとなった。550nm付近でピーク形を持つPC2はイトカワ主要構成物質の無水ケイ酸塩のスペクトルと異なり、物質科学的な解釈は難しい。ボルダーの多い地域ではPC1は大きい、PC2は小さい値をとるが、PC1スコアの極小になるボルダーを取り囲むようにPC2スコアの極大が分布するという特徴が見られた。また、PC1、2の寄与率はそれぞれ60-75%、20-30%であった。

一方、Black BoulderのスペクトルはECASのPC空間において他の部分の作るクラスターと離れた位置に分布した。

議論と展望

イトカワだけのスペクトルのPC1、2の寄与率はイトカワの表面スペクトルの不均一性は2つのプロセスによって支配されていることを示唆する。また、PC1、2スコアの分布は、PC2を決めるプロセスが、宇宙風化の中間的に進行したところで過渡的に起こることを示しているかも知れない。まだイトカワ表面の一部しか観察できていないため今後は全球解析を進めていく。学会の講演では他の地域に見られる傾向を報告する予定である。

一方、Black Boulderが作るスペクトルのトレンドが宇宙風化の影響が卓越する他の地域と異なる事実は、Black Boulderの起源が宇宙風化とは別のプロセス(衝撃暗化が一つの可能性)であることを示唆する。

今回の解析でイトカワ全体で起きている典型的宇宙風化以外のトレンドも捉えることができた。微小隕石による宇宙風化だけでなくより大きな衝突による進化プロセスを合わせて考慮することで、小惑星の進化過程を制約しスペクトルにより分類される小惑星クラス同士の関係性を導けるかも知れない。

参考文献

[1] Abe, M et al. (2006) Sci. 312, 1334. [2] Hiroi, T. et al. (2006) Nature 443, 56. [3] Sasaki, S. et al. (2001) Nature 410,

U06-06

会場:503

時間:4月28日 10:15-10:30

555-557. [4] Koga, S. et al. (2014) 45th LPSC, Abstract #1721. [5] Ishiguro, M. et al., (2010) Icarus, 207, 714. [6] Hirata, N. and Ishiguro, M., (2011) 42nd LPSC, Abstract #1821. [7] Tedesco, E.F. et al. (1982) Astron.J. 87, 1585. [8] Ishiguro, M. et al. (2007) MAPS 42, 1791.

はやぶさ2の衝突装置 Small carry-on impactor of Hayabusa2

佐伯 孝尚^{1*}; 今村 裕志¹; 澤田 弘崇¹; 荒川 政彦²; 高木 靖彦³; 門野 敏彦⁴; 和田 浩二⁵; 早川 雅彦¹; 白井 慶¹; 岡本 千里¹; 小川 和律⁶; 飯島 祐一¹

SAIKI, Takanao^{1*}; IMAMURA, Hiroshi¹; SAWADA, Hirotaka¹; ARAKAWA, Masahiko²; TAKAGI, Yasuhiko³; KADONO, Toshihiko⁴; WADA, Koji⁵; HAYAKAWA, Masahiko¹; SHIRAI, Kei¹; OKAMOTO, Chisato¹; OGAWA, Kazunori⁶; IIJIMA, Yuichi¹

¹ 宇宙航空研究開発機構, ² 神戸大学, ³ 愛知東邦大学, ⁴ 産業医科大学, ⁵ 千葉工業大学, ⁶ 東京大学

¹Japan Aerospace Exploration Agency, ²Kobe University, ³Aichi Toho University, ⁴University of Occupational and Environmental Health, ⁵Chiba Institute of Technology, ⁶University of Tokyo

Small Carry-on Impactor of Hayabusa2

A Japanese spacecraft, Hayabusa2, the successor of Hayabusa, which came back from the Asteroid Itokawa with sample materials after its 7-year-interplanetary journeys, is a current mission of Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) and scheduled to be launched in 2014. Hayabusa2 is a similar sample return mission to Hayabusa, however the type of the target asteroid is different from that of Hayabusa. Asteroid Itokawa, explored by Hayabusa is a rock-rich S-type one. Hayabusa2 will go to a C-type asteroid. Both C-type and S-type asteroids consist of rocks, but C-type asteroids are considered to have organic and water materials. Hayabusa2 has two objectives to discover: organic matters and water in the solar system and relationship between life and ocean water. C-type asteroids are the most common variety and many of them are in the outer part of the asteroid belt beyond 2.7 AU. An asteroid, called 1999 JU3, is chosen as the target of Hayabusa2 mission because it is considerably easy to reach. It has a similar orbit as that of Itokawa and it is in the orbit that occasionally comes close to the earth orbit.

The design of Hayabusa2 basically follows Hayabusa. Its configuration, size and weight are almost same as Hayabusa and the touch-down operation will be performed in much the same way. However, it is planned to be equipped with some new components. Small Carry-on Impactor (SCI) is one of the new challenges. The observations by Hayabusa discovered that Itokawa was rubble-pile body with the macro-porosity. No direct observational data as for their internal structures and sub-surface materials were available, however. One of the most important scientific objectives of Hayabusa2 is to investigate chemical and physical properties of the internal materials and structures in order to understand the history of formation of small bodies such as small, un-differentiated asteroids. In order to achieve this objective, the SCI is required to remove the surface regolith and create an artificial crater on the surface of the asteroid. Different from other impact missions, Hayabusa2 can make a detailed observation of the resultant crater after the impact. Observing the size of the crater is very important to investigate the physical properties of the asteroid. Additionally, Hayabusa2 will try to touchdown near the crater to get the fresh material of the asteroid.

It is very difficult to create a meaningful crater on the asteroid. High kinetic energy (i.e. about 2km/s impact speed and 2kg impact mass) is required to make a crater, but the high speed is difficult to realize. The famous impact mission, Deep Impact was the direct impact mission, which used the interplanetary velocity for the impact speed. Consequently, the impact energy became very high. On the other hand, SCI of Hayabusa2 is a carry-on type impactor and it should accelerate itself after the separation from the mother spacecraft. Therefore, how to accelerate the impact body is a big challenge of SCI. The traditional acceleration devices such as rocket motors and thrusters are difficult to hit the asteroid without a guidance system because the acceleration distance is large. To overcome this difficulty, the powerful explosive is use in SCI. The special type of shaped charge makes it possible to accelerate the impact head in a very short amount of time (less than 1 millisecond) and it becomes possible to crash into the asteroid.

The development of SCI is now almost finished. A lot of tests were conducted during the development period. The overview of the small carry-on impactor system and the results of the development tests will be presented in the conference.

キーワード: はやぶさ2, 衝突装置, 人工クレータ

Keywords: Hayabusa2, Impactor, Artificial Crater

U06-08

会場:503

時間:4月28日 11:15-11:30

はやぶさ 2 小型搭載型衝突装置による科学 Small Carry-on Impactor Elucidates the Nature of Craters and the Evolution of our solar system

和田 浩二^{1*}; SCI チーム²; DCAM3 チーム²
WADA, Koji^{1*}; SCI, Team²; DCAM3, Team²

¹ 千葉工業大学惑星探査研究センター, ² はやぶさ 2 プロジェクト
¹PERC/Chitech, ²Hayabusa-2 Project

Hayabusa-2, the Japanese next asteroid exploration mission, equips Small Carry-on Impactor (SCI) to launch a decimeter scale projectile on an asteroid surface. This is a novel apparatus to excavate the asteroid surface, and hopefully it will enable us to observe a fresh surface without space weathering and thermal alteration. Furthermore, we will be able to recover the asteroid sample excavated from several 10 cm depth at the deposit of the impact ejecta. The SCI impact on the asteroid is very good chance to examine the projectile scale on the crater scaling law in addition to the study on the gravity effect on the crater formation process. In this presentation, I will introduce the scientific goals of Hayabusa-2 mission using SCI and the scientific problems to be solved in the near future to maximize the scientific outputs of the SCI impact.

キーワード: はやぶさ 2, 小型搭載型衝突装置, 衝突, 小惑星
Keywords: Hayabusa-2, SCI, impact, asteroid

U06-09

会場:503

時間:4月28日 11:30-11:45

はやぶさ2衝突装置(SCI)爆薬部飛翔性能確認試験 The final impact tests of Small Carry-on Impactor(SCI) equipped on HAYABUSA-2

早川 雅彦^{1*}; 佐伯 孝尚¹; 今村 裕志²; 白井 慶²; 和田 浩二³; 荒川 政彦⁴; 岡本 千里²; 津田 雄一¹; 高木 靖彦⁵; 門野 敏彦⁶; 中澤 暁²; 飯島 祐一¹; 矢野 創²; 上斗米 秀夫⁷; 松崎 伸一⁷
HAYAKAWA, Masahiko^{1*}; SAIKI, Takanao¹; IMAMURA, Hiroshi²; SHIRAI, Kei²; WADA, Koji³; ARAKAWA, Masahiko⁴; OKAMOTO, Chisato²; TSUDA, Yuichi¹; TAKAGI, Yasuhiko⁵; KADONO, Toshihiko⁶; NAKAZAWA, Satoru²; IJIMA, Yuichi¹; YANO, Hajime²; KAMITOMAI, Hideo⁷; MATSUZAKI, Shinichi⁷

¹ 宇宙航空開発機構宇宙科学研究所, ² 宇宙航空開発機構月惑星探査プログラムグループ, ³ 千葉工業大学宇宙探査研究センター, ⁴ 神戸大学大学院理学研究科, ⁵ 愛知東邦大学, ⁶ 産業医科大学医学部, ⁷ 日本工機(株)

¹ ISAS/JAXA, ² JSPEC/JAXA, ³ Planetary Exploration Research Center/Chiba Institute of Technology, ⁴ Graduate School of Science, Kobe University, ⁵ Aichi Toho University, ⁶ University of Occupational and Environmental Health, ⁷ NIPPON KOHKI Co. Ltd

「はやぶさ2」は現在、フライトモデル総合試験の真っ最中である。これに先立ち各サブシステムは個々に単体を製作完了し、単体総合試験を行って正常動作することを確認して総合試験に合流することになる。はやぶさ2号機から採用されたSCI (Small Carry-on Impactor) は新規サブシステムで、「はやぶさ2」本体から切り離された後、爆薬に点火し銅の弾丸を小惑星1999 JU3表面に打ち込むためのものである。

本講演では2013年10月にSCIの爆薬部のFM相当品の最終性能確認試験が行われたので報告する。SCIによって小惑星に打ちこまれる弾丸の重さは約2kg、衝突速度は約2km/secというスペックである。報告する試験ではフライトモデルと同ロットで製作されたSCI爆薬部のフライトモデル相当品に衝撃振動、温度サイクルなどの環境負荷を行い、常温、高温、低温状態で射出試験に供した。相当品がフライトモデルで受けるであろう環境を負荷された後も要求スペックを満たしていることが確認された。

また、このような大規模な衝突(実験)はそうそう行なえないので、衝突現象の解明という立場からも、実験室と天体表面を繋ぐスケールの実験としても位置付けることができ、SCIサイエンスチームとして着弾点でクレーターのできる様子を高速カメラ、赤外線カメラ、加速度計、地震計などを用いて撮影・計測を行った。その試験(実験)の概要を報告する。

キーワード: はやぶさ2, 衝突装置, 衝突実験, 飛翔実験, クレーター

Keywords: HAYABUSA-2, Small Carry-on Impactor, impact experiment, crater, explosion



はやぶさ 2 DCAM3-D の光学性能検証試験 Optical performance verification of DCAM3-D/Hayabusa 2

石橋 高^{1*}; 荒川 政彦²; 飯島 祐一³; 小川 和律⁴; 白井 慶³; 和田 浩二¹; 本田 理恵⁵; 澤田 弘崇³; 坂谷 尚哉⁶; 門野 敏彦⁷; 小林 正規¹; 中澤 暁³; 早川 基³; 池田 優二⁸
ISHIBASHI, Ko^{1*}; ARAKAWA, Masahiko²; IJIMA, Yuichi³; OGAWA, Kazunori⁴; SHIRAI, Kei³; WADA, Koji¹; HONDA, Rie⁵; SAWADA, Hirotaka³; SAKATANI, Naoya⁶; KADONO, Toshihiko⁷; KOBAYASHI, Masanori¹; NAKAZAWA, Satoru³; HAYAKAWA, Hajime³; IKEDA, Yuji⁸

¹ 千葉工業大学, ² 神戸大学, ³ 宇宙航空研究開発機構, ⁴ 東京大学, ⁵ 高知大学, ⁶ 総合研究大学院大学, ⁷ 産業医科大学, ⁸ フォトコーディング

¹Chiba Institute of Technology, ²Kobe University, ³Japan Aerospace Exploration Agency, ⁴University of Tokyo, ⁵Kochi University, ⁶The Graduate University for Advanced Studies, ⁷University of Occupational and Environmental Health, ⁸Photocoding

はやぶさ 2 では、探査対象天体である小惑星 1999JU3 の起源と進化を探るため、小惑星上への SCI (衝突体) の衝突が行われる。重量約 2kg の銅の弾丸を秒速約 2km/s で小惑星表面に衝突させる。この衝突により小惑星上に人工クレーターを形成し、その内部または周囲からの試料採取を行う。また、形成されたクレーター内部の観測から小惑星内部の構造に関する知見が得られると期待されている。さらに、この SCI の衝突は微小天体上での衝突現象を明らかにすると、小惑星上での衝突実験という側面も持ち合わせている。

現在、はやぶさ 2 に搭載される小型分離カメラ「DCAM3」の開発が進められている。DCAM3 は、はやぶさ 2 本体から分離され、小惑星への SCI の衝突現象を可視光で観測するカメラである。DCAM3 にはアナログ系 (DCAM3-A)、デジタル系 (DCAM3-D) の2つのカメラが搭載される。DCAM3-D は科学観測に利用され、その目的は、(1) SCI (衝突体) の発射および小惑星への衝突の確認、(2) SCI 衝突により生成されるイジェクタの観測である。(1) では、SCI の発射位置や小惑星上の着弾点の位置の観測から、衝突条件の明確化を行う。(2) では、形成されるイジェクタカーテンの形状や移動速度、岩片の放出速度などから、標的状態の明確化、イジェクタのスケーリング則の検証、1999JU3 の表層構造の推定などを行う。

これらの観測目的を達成するためには、DCAM3-D 光学系は非常に厳しい要求仕様を満たさなければならない。SCI と小惑星の両方を捉えるための大きな視野角 (74°)、画像全領域での高い結像・集光性能、暗い SCI やイジェクタを捉えるための明るい光学系 ($F>1.7$)、耐放射線性、限られたリソース (重量 30g 以下、光軸長 40mm 以下) といった条件に加え、これらをアクティブな温度制御無しで達成することが求められる。

本発表では、DCAM3-D の FM 光学系 (レンズ+CMOS センサ) の光学性能検証試験の実施状況およびその結果について報告する。光学性能検証試験は、センサの電気試験、コリメータ試験、積分球試験から成る。センサの電気試験では、光学検証試験のベースとなる CMOS センサの性能の評価を行った。当初センサはカタログ値通りの性能が出ていなかったが、調査と改善を経てカタログ値通りの性能を達成することができた。コリメータ試験では、まずシム調整により適切なレンズ-センサ基板距離およびレンズ-センサ角度の最適化を行った。次いで真空中 ($<1\text{torr}$) において温度・波長域・画角をパラメータとして振り、コリメータに設置したピンホール像の撮像を行い、結像・集光性能 (ensquared energy)、空間分解能、歪曲などの評価を行った。シム調整に関しては、より良い結像・集光性能を得るために三回に渡る最適化を行った。積分球試験では感度、周辺減光、迷光などの評価を行った。これら一連の光学性能検証試験の結果は良好であり、DCAM3-D 光学系は非常に厳しい要求仕様を概ね満たしていることが確認された。

キーワード: 小惑星, 惑星探査, はやぶさ 2, 観測機器

Keywords: asteroid, planetary exploration, Hayabusa-2, scientific payload

ラブルパイル天体の内部構造がクレーター形成過程に及ぼす影響 The effect of substrate structure of rubble-pile bodies on cratering process

巽 瑛理^{1*}; 杉田 精司¹
TATSUMI, Eri^{1*}; SUGITA, Seiji¹

¹ 東京大学大学院新領域創成科学研究科

¹ Graduate School of Frontier Science, The University of Tokyo

背景と研究の目的: Hayabusa によって探査が行われた小惑星イトカワの表層には、他の天体には見られない地形が多く観測される。その象徴的な地形の一つに、ボールダーの豊富な表層でのほぼ円形の窪地が挙げられる (Hirata et al. 2009)。本稿では以下、この窪地を QCD (Quasi-Circular Depression) と呼ぶ。QCD は衝突で形成した可能性が高いが、QCD を衝突クレーターであるとしてイトカワの表面年代を推定すると、75Myr-1Gyr と非常に大きな不確定性が出てしまう (Michel et al., 2009)。この大きな不確定性は、主にラブルパイル天体表面でのクレーター則の不確定性による。小天体でのクレーター形成は、大天体で起こっている衝突エネルギーに比べると非常に小さな衝突エネルギーで起こっているはずである (Benz and Asphaug, 1999)。そのような衝突エネルギーでは、従来のクレーター形成過程で議論されてきた材料強度スケールと重力スケールの中間的なプロセスが卓越すると考えられる。つまり、ラブルパイル天体は重力的に相互結合して形作られているので、全体としては物質強度を持たないが、個々の岩塊は強度を持つため、表層ボールダーの破壊による衝突エネルギーの散逸を無視できないのである (Armoring 効果)。

また、クレーター形成過程において重要なのが、質量損失である。脱出速度の小さい小天体では高速イジェクタの質量は質量損失そのものであり、小惑星の消滅のタイムスケールに直接的に関係する。

イトカワはボールダーが豊富な表層を持ち、密度も低いことからラブルパイル天体とされている (Abe et al., 2006; Saito et al., 2006)。しかし、その内部構造の直接的な観測はなく、表層の下の基層構造は不明である。先行研究からは、粉体層でのクレーター形成が容器の影響を受けることや、ターゲットの背面の物質の有無によってターゲットの破壊の程度が変わることが分かっている (荒川ほか, 2012)。このことから、基層がボールダーかレゴリス層かによって、表面ボールダーの破壊やクレーター形成過程は大きく変化すると推論できる。

本研究では、同じラブルパイル天体であっても内部が材料強度を持ったボールダーか、材料強度を持たないレゴリスのような物質かがクレーター形成に大きく影響する可能性に着目した。このような内部の材料強度の有無が表面のクレーター形成にどれほどの影響を与えるかを実験的に検証した。また、小天体のタイムスケールを決める上で重要となる、クレーターの大きさ、エジェクタ質量に着目し、計測を行った。

衝突実験: 実験では、ガラスビーズを模擬レゴリスとし、ガラスビーズ焼結体を 8~15mm 程度に破碎することで模擬ボールダーを作成した。ターゲットの表層は模擬ボールダーで作り、基層は模擬レゴリスのケースと模擬ボールダーのケースの両方を用意した。インパクターはポリカ弾丸 (ϕ 10mm) を 160~180m/s で衝突させ、高速度カメラでクレーター形成過程を観察した。

実験結果: 予備的な実験では、基層がボールダー層であるときには、イジェクタ質量はレゴリス層であるときの 1/5 以下であり、最終的なクレーター直径も 2 割程度小さくなることが観察された。また、基層がボールダーであるとき、表層のボールダーの破壊の程度が高くなることが確認された。この 2 つの観察結果から、基層がボールダーであるときには、衝突エネルギーがボールダーの破壊により多く使われ、クレーター形成に使われるエネルギーが減少したと考えられる。この理由としては、ボールダーの力学的インピーダンスがレゴリスの 10 倍程度と大きいため、基層がボールダーの場合は強い反射波が表面に戻り、表層のボールダーが効率的に破壊されたという可能性が挙げられる。一方、基層がレゴリス層の場合には、インパクターとボールダーの衝突で発生した応力波はボールダーからインピーダンスの小さいレゴリス層へと効率的に透過し、強度を持たないレゴリス層の運動エネルギーに変換される。結果として、レゴリス層の運動により、表層でのボールダーの破壊はほとんど起こらず、イジェクタの質量が大きくなったと説明できる。

小惑星進化への影響: 上記のように、内部がボールダーのように材料強度を持つ場合にはクレーター直径がレゴリス層に形成される直径に比べて 2 割程度変化するため、イトカワのようなラブルパイル天体の表面年代は単純には決定できない。しかし、本研究で得られたクレーター直径が強度スケールよりも重力スケールに近いという観測事実から、表面年代について先行研究で示された範囲を低年代側 ($\sim 10^8$ 年) ヘシフトさせることが予想される。また、小天体内部もボールダーである場合には、衝突に伴う質量損失が大幅に減る可能性があることが分かった。このことから、小天体の内部構造の違いによって小天体の消滅時間が 5 倍程度変わりうることが示唆された。

キーワード: ラブルパイル天体, クレーター形成, 質量損失, 破壊

Keywords: rubble-pile bodies, impact cratering, mass loss, fragmentation

宇宙空間のコンピュータビジョン: はやぶさ2のための光学航法技術の開発 Computer Vision in Space: Optical Navigation Technology Development for Hayabusa-2

太田 直哉^{1*}
OHTA, Naoya^{1*}

¹ 群馬大学
¹ Gunma University

コンピュータビジョン(以下 CV と表記)はカメラで得られた画像を処理し、そこに撮影されている物体の情報を得る技術である。我々ははやぶさ2形状モデル開発グループはこの技術をはやぶさ2の光学ナビゲーションのために利用し、小惑星の形状を復元する技術を開発している。本稿ではその状況について報告する。一方、CV 技術の宇宙環境へ適用は、単なる既存の技術の応用に留まらず、この分野を新たな展開へ導く要素も含んでいる。本稿ではこれについても言及する。

小惑星探査機はやぶさ2のミッションにおいて、小惑星へタッチダウンする位置の決定などのために、小惑星の形状モデルを作成する必要がある。しかし小惑星が遠方のため、このモデルは地上からの観測では作成できず、探査機が小惑星に近づいた時点での計測に依らなければならない。またレーザーなど能動的な計測方法は使用エネルギーの点から困難で、カメラによる画像を用いた手法が主になる。我々はこの技術を確立することを目的としている。

画像から物体形状を計算する技術は、CV 分野で精力的に研究されている。したがって我々の目的のためには、惑星科学の研究者と CV をはじめとする画像技術の研究者との共同作業が望ましい。グループの運営は惑星科学の研究者である東京大学の杉田精司教授、会津大学の平田成准教授などを中心に行われているが、研究者としては CV 分野から早稲田大学の石川博教授と筆者、コンピュータグラフィクス(以下 CG) 分野からは東京大学の高橋成雄准教授が参加して、分野融合的に研究を行っている。

現在我々は CV 分野で開発された *structure from motion* の技術をそのまま小惑星の形状復元に適用し、有効性を検証している。これは対象を多方向から撮影した画像を用いて形状を計算する技術である。その結果、はやぶさ2のナビゲーションに必要な最低限の形状が得られることは確認されている。しかしより柔軟なナビゲーションを可能にする精度を得ようとすれば、復元技術を更に高度化しなければならない。そのため、上記に加え *photometric stereo* の利用を検討している。

photometric stereo は物体の反射特性を利用した形状復元法である。しかしこの技術の利用に当たっては、CV 技術をそのまま本目的に利用できない。その理由は探査機が小惑星の形状を復元する状況と、この技術が本来想定している状況とが異なるからである。本来の *photometric stereo* は、対象物体を同一視点から照明方向を変えて撮影することを想定している。しかし探査機を小惑星の自転に同期して同じ相対位置に制御し続けることは、燃料の制約上困難である。また物体の反射モデルとして CV 分野では Lambert 則や Phong のモデルが用いられるが、小惑星の反射特性は Hapke 則や Minnaert 則などによって記述される。このことから、我々のグループでは *photometric stereo* を基礎にしながらも、宇宙探査のための小惑星形状復元のための新たな技術を開発し、はやぶさ2のナビゲーションに役立てることを考えている。

CV の発祥を考えると、人間あるいは生物の視覚機能を人工的に実現することが動機となっている。そのため開発された技術も用途を限定せず、使用環境も地球上の一般的な空間を仮定している場合が多い。このことから上記のように、それが宇宙探査のための計測技術としてはそのまま利用できない場合が起こる。しかし、逆に宇宙探査という明確な目的をもって CV 技術を見た場合、この技術にまた違った展開が期待できるのではないと思われる。

宇宙空間での使用を想定した場合、以下のような特殊性が見出せる。まず照明環境は太陽からの平行光のみを想定すれば良い場合も多く、この単純性を最大限に利用した処理が開発できる。また前述のように、地上の一般物体を想定したものではない特別な反射モデルが利用される。また探査機の中で処理を行う場合は実行できる処理量は限られる。そのため処理の目的を明確にし、それを達成する必要最小限の処理を開発するという評価基準が必要になる。また画像を地上に転送して処理する場合には、今度は画像の枚数が制限される。その一方必要とする処理量に制限は少なく、更に長時間の処理も許容される場合も多い。このような場合には対象の CG モデルから画像を作成し、それが観測画像に一致するようにモデルを更新する CG-CV loop のような手法も現実味を帯びるのではないと思われる。その他形状だけではなく、惑星探査のための計測として必要な情報を得ること、処理結果に関して誤差の指標 (*error bar*) をつけること、など宇宙探査に必要な情報を積極的に提供する技術の開発も、CV 分野の一つの重要な研究方向になり得ると考えている。

キーワード: 画像計測, 形状復元, 光学ナビゲーション, はやぶさ2

Keywords: image measurement, shape reconstruction, optical navigation, Hayabusa-2

太陽系有機物の分析化学は惑星科学に何をもたらすことができるか Analytical chemistry of organic compounds in the Solar System: An attempt to link with planetary science

藪田 ひかる^{1*}
YABUTA, Hikaru^{1*}

¹ 大阪大学理学研究科

¹ Osaka University, Department of Earth and Space Science

Analytical chemistry of organic compounds in the Solar System small bodies is a microscopic approach for understanding of the origin and evolution of building blocks of the Solar System and life, which has a complementary relationship with macroscopic approaches such as observational and theoretical astronomy. This approach would provide a significance of considering organic compounds in the planetary formation theory, which has been constructed only by silicate and ice dusts. Indeed, significant roles of organic compounds in the early Solar System are explained by (1) high abundances of C, H, O, N in the Solar System, (2) major components of dusts in interstellar clouds, (3) high reactivity to heat, light, shock, water, and minerals (chemical indicator recording the processes in the Solar System), (4) possible contribution to accretion of dusts, due to their stickiness (Kouchi et al. 2002), and (5) possible contribution to redox imbalance in solar nebula (that determined the chemical compositions of chondrules) (Yurimoto and Kuramoto, 1998). Despite these significant roles, however, organic cosmochemistry was not a very popular field in planetary science until several years ago. One of the reasons may be because of difficulty in visualization of organic compounds, i.e., drawing of a big picture. In this point, I attempt to show a simple example. When starch-syrup is heated, how is it changed. One would tell that the color is changed from colorless to brown, the originally sticky syrup becomes less sticky candy, and water-soluble syrup becomes an insoluble solid. These descriptions are based on visibility and are easy to understand. On the other hand, if these phenomena are translated to organic analytical chemistry, the description becomes quite different from the former; hydroxyl groups of glucose changes to carbonyl groups via dehydration as well as aromaticity increases with heating. However, it should be noted that two ways of descriptions explain exactly the same phenomenon. That demonstrates that physical properties (color, stickiness, and solubility) are determined by molecular chemical structures. Likewise, analytical chemistry of organic compounds in the Solar System has a potential to reveal the molecular science that determines physics of macroscopic planetary formation, such as the color of asteroids (albedo). This will become possible by improvements of the in-situ organic analyses such as spectromicroscopy (e.g., STXM), electron microscopy (TEM), and ion probe mass spectrometry (e.g., nanoSIMS), through visualization of the distributions of organics and minerals in the Solar System materials which record the chemical evolution from dusts to planetesimals.

キーワード: 有機物, 太陽系, 分析化学, 小天体, 惑星形成, 可視化

Keywords: Organic compounds, Solar System, Analytical chemistry, small bodies, planetary formation, visualization

原始惑星系円盤における複雑な有機分子生成モデル Formation Process of Complex Organic Molecules in Protoplanetary Disks

野村 英子^{1*}
NOMURA, Hideko^{1*}

¹ 東京工業大学
¹Tokyo Institute of Technology

原始惑星系円盤における化学反応は、太陽系内物質の起源に繋がると考えられる。近年、星間雲の電波遷移線観測により、複雑な有機分子が新たに発見されている一方で、太陽系内の彗星や隕石にもアミノ酸などが見つかった。本研究では、星間雲における有機分子生成モデルを原始惑星系円盤の温度・密度構造に適用し、円盤における複雑な有機分子生成について議論した。具体的には、中心星からの照射を考慮した円盤温度・密度構造モデルをもとに、星間塵表面反応も含めた化学反応ネットワーク計算を行った。その結果、円盤外縁の低温部の星間塵上においては水素付加反応による分子生成が進むのに対し、円盤半径十～数十 AU 付近の暖かな領域においては、星間塵上のラジカル同士の反応による、さらに複雑な有機分子生成が進むことを示した。我々の分子存在量の計算結果を彗星からの有機分子輝線観測の結果と比較したところ、良い一致を示した。また、中心星からの紫外線により塵表面から脱離した分子を ALMA で観測することにより、円盤内の塵表面反応の観測的検証の可能性を示唆した。講演ではさらに、小惑星帯における有機物生成についても議論したい。

キーワード: 原始惑星系円盤, 有機分子生成
Keywords: protoplanetary disks, formation of organic molecules

はやぶさ帰還試料キュレーション状況の報告 Status report of curation of Hayabusa-returned samples

矢田 達^{1*}; 安部 正真¹; 上梶 真之¹; 唐牛 譲¹; 石橋 之宏¹; 岡田 達明¹; 佐竹 渉¹; 藤本 正樹¹
YADA, Toru^{1*}; ABE, Masanao¹; UESUGI, Masayuki¹; KAROUJI, Yuzuru¹; ISHIBASHI, Yukihiro¹; OKADA, Tatsuaki¹; SATAKE, Wataru¹; FUJIMOTO, Masaki¹

¹ 宇宙航空研究開発機構

¹ Japan Aerospace Exploration Agency

2010年6月、小惑星探査機「はやぶさ」はS型地球近傍小惑星イトカワより表層粒子試料を地球に帰還させた(Abe et al., 2011)。それ以降、JAXA キュレーションチーム(ESCuTe)では、「はやぶさ」のサンプルキャッチャーからの粒子の回収・記載を進め、現在の所、400個超の粒子が初期記載済みとして公表されている(Yada et al., 2014a)。本発表では、その回収初期記載と試料の配付・研究の現状と今後の予定についてまとめる。

帰還した探査機「はやぶさ」の再突入カプセルから取り出されたサンプルコンテナは、JAXA キュレーションセンター(ESCuC)のクリーンルームにおいて洗浄分解の末、真空環境のクリーンチェンバー第1室で開封され、イトカワ表層物質を収めたサンプルキャッチャーが取り出され、試料のハンドリングを行う高純度窒素環境のクリーンチェンバー第2室へ移された。サンプルキャッチャーは主に、捕獲試料が通過する回転筒と、2回目のタッチダウンの際に捕獲された試料を収めるA室と、1回目のタッチダウン捕獲試料を収めるB室からなる。当初、試料を取り出す為にそれぞれキャッチャーA、B室のフタと同じサイズの合成石英ガラス製の円盤を準備し、そのガラス円盤の上にキャッチャーに振動を与えて内部の粒子を落下させることで回収を行っていた。そのガラス円盤状から、専用に開発した静電制御マイクロマニピュレーターを用いて、一つ一つ電子顕微鏡用密閉型試料ホルダー上に移動して、SEM-EDSで記載を行い、クリーンチェンバー第2室内のグリッドを切った合成石英ガラス板上に移動し、粒子IDを付けて保管している(Yada et al., 2014b)。このガラス円盤の他に、2013年度にはキャッチャーB室のフタを、専用の電子顕微鏡用密閉型ホルダーに設置してSEM-EDSによりフタ上の粒子を直接記載している。

ガラス円盤を用いた方法は、粒子を記載する為にマニピュレーターで1個ずつ移動させる手間とリスクを伴う。この手間とリスクを解消する為、我々は2013年度にキャッチャーA、B室フタと同サイズで、専用の電子顕微鏡用密閉型ホルダーに設置して直接SEM-EDSによる記載が可能な、メタルディスクを開発した。2014年度よりこのディスクによる粒子回収を開始し、最終的には2年強をかけてキャッチャー内の粒子の全容を把握する予定である(Yada T. et al., 2014a)。

JAXA/ESCuTeでは、2012年初頭より全世界の研究者より「はやぶさ」帰還試料について研究プロポーザルを募集し、外部専門家から成る委員会による審査を経て選ばれたプロポーザルに対して試料を配付する、国際公募研究を開始した。現在までほぼ1年に1回のペースで行われており、第3回目の公募が2014年度より開始する予定である。国際公募研究の成果は、2013年より始まったJAXAが主催する国際シンポジウム(Hayabusa 2013: Symposium of Solar System Materials)にて発表され、抄録が国際誌にまとめられる予定である。

また、希少な特徴を持ち、国際公募研究に供する事が難しい試料について、JAXA/ESCuTeの取り纏めの元に2013年よりコンソーシアム研究を開始している。現在の所、最大サイズケイ酸塩粒子、塩を含むケイ酸塩粒子、硫化鉄粒子、リン酸塩を含む粒子の4種類について、コンソーシアム研究が進められている(Uesugi et al., 2013; Yada et al., 2013; Karouji et al., 2013)。今後も別の希少な特徴を持つ試料について、コンソーシアム研究を開始する予定である。

参考文献:

- Abe M. et al. (2011) LPS XLII, Abstract #1638.
- Karouji Y. et al. (2013) 76th Ann. Meteorit. Soc. Meeting, Abstract #5148.
- Uesugi M. et al. (2013) 76th Ann. Meteorit. Soc. Meeting, Abstract #5186.
- Yada T. et al. (2013) 76th Ann. Meteorit. Soc. Meeting, Abstract #5150.
- Yada T. et al. (2014a) LPS XLV, Abstract #1759.
- Yada T. et al. (2014b) MAPS, in press.

キーワード: はやぶさ, 小惑星, キュレーション, サンプルリターン

Keywords: Hayabusa, asteroid, curation, sample return

はやぶさ帰還試料中の炭素質物質の起源同定の試み Examination of the origin of carbonaceous particles in Hayabusa-returned samples

上相 真之^{1*}; 奈良岡 浩²; 伊藤 元雄³; 藪田 ひかる⁴; 北島 富美雄²; 高野 淑識³; 三田 肇⁵; 癸生川 陽子⁶; 矢田 達¹; 唐牛 譲¹; 石橋 之宏¹; 佐竹 渉⁷; 岡田 達明¹; 安部 正真¹
UESUGI, Masayuki^{1*}; NARAOKA, Hiroshi²; ITO, Motoo³; YABUTA, Hikaru⁴; KITAJIMA, Fumio²; TAKANO, Yoshinori³; MITA, Hajime⁵; KEBUKAWA, Yoko⁶; YADA, Toru¹; KAROUJI, Yuzuru¹; ISHIBASHI, Yukihiro¹; SATAKE, Wataru⁷; OKADA, Tatsuaki¹; ABE, Masanao¹

¹ 独立行政法人宇宙航空研究開発機構, ² 九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門, ³ 海洋研究開発機構 高知コア研究所, ⁴ 大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻, ⁵ 福岡工業大学工学部生命環境科学科, ⁶ 北海道大学 大学院理学研究院 自然史科学専攻 地球惑星システム科学, ⁷ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

¹Japan aerospace exploration agency, ²Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University, ³Kochi Institute for Core Sample Research JAMSTEC, ⁴Osaka University, Department of Earth and Space Science, ⁵Fukuoka Institute of Technology, Faculty of Engineering, Department of Life, Environment and Mater, ⁶Department of Natural History Sciences Hokkaido University, ⁷Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo

Extraterrestrial Sample Curation Team (ESCuTe) recovered more than 50 carbonaceous particles from the sample catcher of the Hayabusa spacecraft. Those carbonaceous materials, named as category 3, were found in the form of particles with similar size range of the silicate particles those confirmed as Itokawa regolith particles. Initial description by the SEM-EDS analysis shows variable textures and chemical compositions of them, suggesting the multiple origins of the carbonaceous materials.

Preliminary examinations of category 3 particles were carefully processed in parallel with those of silicate materials. However, we could not obtain the information for the origin of category 3 particles before the opening of international announcement of opportunity (A/O). The ESCuTe and preliminary examination team of category 3 particles have continued the investigations. In this paper, we report the several recent results obtained from the sequential analyses.

Samples allocated for the preliminary examinations of category 3 are RA-QD02-0008, RA-QD02-0120, RA-QD02-0180, RB-QD04-0001, RB-QD04-0037-01 and RB-QD04-0047-02. RA-QD02-0008 was lost during the manipulation at first preliminary examination. Three samples, RA-QD02-0120, RB-QD04-0001, and RB-QD04-0047-02, were pressed on the Au plate and fixed without any adhesive materials. We analyzed H, C and N isotopic composition by nano-SIMS in the beginning of the sequential study, in order to investigate the isotopic anomaly which is a direct evidence of extraterrestrial origin of organic materials [8]. FT-IR and micro-Raman spectroscopy were also applied for the pressed samples [9]. After ToF-SIMS analysis of those particles, the samples were sliced by FIB in order to investigate the fine structure of the samples by XANES and TEM/STEM [10].

We performed those analyses with determining the effect on the subsequent analyses, such as sample damages and contaminations. The rest two particles, RA-QD02-0180 and RB-QD04-0037-01 were pressed on indium plates, because significant disturbance by Au on the ToF-SIMS analyses was found. We will also report the construction of the sequential analysis flow of tiny carbonaceous particles.

In parallel with the Hayabusa-returned particles, we processed observation and analysis of insoluble organic matter (IOM) of A881458 (CM2) and several possible materials of the origin of the category 3 particles, such as viton, silicon rubber, vectran and particles collected from the Hayabusa2 clean room.

We did not obtain any signature of extraterrestrial origin from category 3 particles so far. We are planning to continue the preliminary examination of category 3 by the end of March 2014. We are also planning to open the category 3 particles to the future International A/O, with the data of preliminary examinations before the end of 2014.

References: [1] Yada et al. 2011. *Meteoritics & Planetary Science* 32:A74. [2] Nakamura et al. 2011. *Science* 333:1113-1116. [3] Yurimoto et al. 2011. *Science* 333:1116-1119. [4] Ebihara et al. 2011. *Science* 333:1119-1121. [5] Noguchi et al. (2011) *Science* 333:1121-1125. [6] Tsuchiyama et al. 2011. *Science* 333:1125-1128. [7] Nagao et al. 2011. *Science* 333:1128-1131. [8] Ito et al. 2013. Abstract of Hayabusa Symposium, [9] Kitajima et al., 2013 Abstract of Hayabusa Symposium, [10] Uesugi et al. 2013. Abstract of Hayabusa Symposium

はやぶさカテゴリ 3 有機物試料中の水素、炭素と窒素同位体組成 H, C and N isotopic compositions of HAYABUSA Category 3 organic samples

伊藤 元雄^{1*}; 上相 真之²; 奈良岡 浩³; 藪田 ひかる⁴; 北島 富美雄³; 三田 肇⁵; 高野 淑識⁶; 唐牛 譲²; 矢田 達²; 石橋 之宏²; 岡田 達明²; 安部 正真²

ITO, Motoo^{1*}; UESUGI, Masayuki²; NARAOKA, Hiroshi³; YABUTA, Hikaru⁴; KITAJIMA, Fumio³; MITA, Hajime⁵; TAKANO, Yoshinori⁶; KAROUJI, Yuzuru²; YADA, Toru²; ISHIBASHI, Yukihiro²; OKADA, Tatsuaki²; ABE, Masanao²

¹ 海洋研究開発機構 高知コア研究所, ² 宇宙航空研究開発機構, ³ 九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門, ⁴ 大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻, ⁵ 福岡工業大学工学部生命環境科学科, ⁶ 海洋研究開発機構 海洋・極限環境生物圏領域

¹Kochi Institute for Core Sample Research, JAMSTEC, ²Japan Aerospace Exploration Agency, ³Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University, ⁴Osaka University, Department of Earth and Space Science, ⁵Fukuoka Institute of Technology, Department of Life, Environment and Materials Science, ⁶Institute of Biogeosciences, JAMSTEC

Hayabusa spacecraft had brought back asteroid Itokawa particles to the Earth on June 2010. More than 1,500 mineral particles were identified on the Qz glass after the compulsive free fall, and most of them were very small ranging from 10 to 300 μm but are mostly smaller than 50 μm (Nakamura et al., 2011). In addition several amount of carbonaceous materials were found that is called Category 3. Based on FE-SEM and EDS observations at JAXA Extraterrestrial Sample Curation Team, those samples mainly composed of C, N, O and some of them contain NaCl and KCl (JAXA Hayabusa sample catalogue).

H, C and N isotopic compositions of extraterrestrial organic materials in Stardust cometary samples (McKeegan et al., 2006), IDPs (Messenger, 2000), IOM (Busemann et al. 2006) and nanoglobules in primitive chondrite (Nakamura-Messenger et al., 2006) provide a clue for understanding of origin and nature of the Solar System. Large D and ^{15}N isotopic enrichments were observed, and C isotope is slightly enriched in ^{13}C in extraterrestrial organic materials (Pizzarello, 2005). Those data suggest that extraterrestrial organics are probably interstellar material that was survived through formation processes (planetesimals) of the Solar System (Sanford et al., 2001), and may also have material that formed in the cold molecular cloud region of the protoplanetary disk (Aikawa et al., 2002).

Here we report H, C and N isotopic measurement of organic materials from Hayabusa Category 3 samples, RB-QD04-0047-02, RA-QD02-0120 and RB-QD04-0001, by an ion imaging with the JAMSTEC NanoSIMS ion microprobe. The purposes of this study are to evaluate terrestrial contaminations in the Hayabusa spacecraft and in the JAXA curation facility, and to find extraterrestrial organic materials on the basis of H, C and N isotope measurements.

Each Hayabusa organic sample was pressed on Au plate together with terrestrial organic standards of 1-hydroxybenzotriazole hydrate and BBOT with known H, C and N isotopic compositions. Following the SEM study to check the sample condition, texture and morphology, the samples were analyzed for H, C and N isotopic compositions by an isotopic imaging with the JAMSTEC NanoSIMS 50L at Kochi Institute for Core Sample Research.

We studied three Hayabusa organic samples, RB-QD04-0047-02, RA-QD02-0120 and RB-QD04-0001. All of the samples have been initially investigated by a FE-SEM and EDX observation at JAXA Hayabusa curation facility, and the EDX spectra of the samples contain C, N and O; the dominant elements are C, and N (Hayabusa sample catalogue).

Based on NanoSIMS isotopic images of H, C and N in RB-QD04-0047-02, RA-QD02-0120 and RB-QD04-0001, all three samples show homogeneous and terrestrial H, C and N isotopic compositions within an error ($\delta\text{D} = 60 \pm 13$ permil, $\delta^{13}\text{C} = 3 \pm 3$ permil and $\delta^{15}\text{N} = -4 \pm 2$ permil for RB-QD04-0047-02; $\delta\text{D} = 81 \pm 54$ permil, $\delta^{13}\text{C} = -20 \pm 8$ permil and $\delta^{15}\text{N} = 2 \pm 2$ permil for RA-QD02-0120; $\delta\text{D} = 135 \pm 32$ permil, $\delta^{13}\text{C} = -20 \pm 9$ permil and $\delta^{15}\text{N} = 16 \pm 12$ permil for RB-QD04-0001).

The IOMs in CI and CM chondrites show heterogeneous distributions of δD at the molecular (Remusat et al. 2009) and micron scale level (Busemann et al., 2006). The IOMs of CR, CM and CI have D and ^{15}N isotopic enrichments in micron-sized regions (hot spots). The IOMs in ordinary chondrites are heterogeneous, however, they do not show many micron-scale anomalies as IOMs in carbonaceous chondrite (Remusat et al., 2013). It is obvious that H, C and N isotope signatures of Hayabusa organic samples are different from those of IOMs in carbonaceous and ordinary chondrites: i.e., No hot spots, terrestrial values for H, C and N isotopes.

We have not found strong evidence of extraterrestrial origin because isotope compositions of H, C and N in Hayabusa organic samples show terrestrial values, and homogeneous distributions of H, C and N in the samples, which are unlike to IOM in various types of chondrites.

メインベルト小惑星のアルベド分布の傾向 Albedo properties of main belt asteroids based on the infrared all-sky surveyors

臼井 文彦^{1*}

USUI, Fumihiko^{1*}

¹ 東京大学

¹University of Tokyo

Presently, the number of asteroids is known to be more than 620,000, and more than 90% of asteroids are classified as the main-belt asteroids (MBAs). The spatial distribution of compositions among MBAs is of particular interest, because the main belt is the largest reservoir of asteroids in the solar system. Asteroids are thought to be the remnants of planetesimals formed in the early solar system, and have a clue to study the formation and evolution of asteroids, origin of meteoroids and the near-Earth asteroids, as well as the formation of the solar system. Size and albedo are one of the most basic physical quantities of asteroid. Knowledge of size and albedo is essential in many fields of asteroid research, such as chemical composition and mineralogy, the size-frequency distribution of dynamical families and populations of asteroids, and the relationship between asteroids in the outer solar system and comets.

Several techniques have been developed to determine the size of asteroids. One of the most effective methods for measuring asteroidal size and albedo indirectly is through the use of radiometry, where a combination of the thermal infrared flux and the absolute magnitude as the reflected sunlight. Using radiometric measurements, a large number of objects can be observed in a short period of time, providing coherent data for large populations of asteroids within the asteroid belt. Infrared observations can be made still better under ideal circumstances, from space. The first space-borne infrared telescope is the Infrared Astronomical Satellite (IRAS; Neugebauer et al. 1984), launched in 1983 and performed a survey of the entire sky. To date, there are two other infrared astronomical satellites dedicated to all-sky survey: the Japanese infrared satellite AKARI (Murakami et al. 2007), and the Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE; Wright et al. 2010). Based on the all-sky survey data obtained by IRAS, AKARI, and WISE, the largest asteroid catalogs containing size and albedo data were constructed (e.g., Tedesco et al. 2002; Usui et al. 2011; Mainzer et al. 2011). The total number of asteroids detected with size and albedo information with these three surveyors is 138,285, which is 22% of currently known asteroids with orbits.

In addition, several outstanding works have provided the taxonomic classification of asteroids (e.g., Tholen 1989; Bus & Binzel 2002; Lazzaro et al. 2004; Carvano et al. 2010), based on ground-based spectroscopic observations within optical and near-infrared wavelengths. Along with these taxonomic classifications, size and albedo data also contribute to our understanding of asteroid compositions. In general, the albedo of C-types is considered as low and that of S-types is high (e.g., Zellner & Gradie 1976). The relationship between taxonomic types and albedo is, however, complex and type determinations cannot be made on the basis of albedo values alone. Recently albedos of C- and S-type asteroids are found to vary widely, especially for sizes smaller than several tens km (Usui et al. 2013). Furthermore, in spite of the albedo transition process like space weathering, the heliocentric distribution of the mean albedo of asteroids in each taxonomic type is found to be nearly flat. In the total distribution, on the other hand, the mean albedo value gradually decreases with increasing the semimajor axis, presumably due to the compositional mixing ratios of taxonomic types.

In this talk, we present the details of data compiling of size, albedo, and taxonomy of MBAs, and discuss the compositional distribution in the main belt regions.

キーワード: 小惑星, メインベルト, 赤外線サーベイ, サイズ・アルベド, スペクトルタイプ分類

Keywords: asteroids, main belt, infrared surveys, size and albedo, taxonomic classifications

内側小惑星帯のベストイドのライトカーブサーベイ Lightcurve Survey of Vestoids in the Inner Asteroid Belt

長谷川 直^{1*}; 宮坂 正大²; 三戸 洋之³; 猿楽 祐樹¹; 小澤 友彦⁴; 黒田 大介⁵; 吉田 道利⁶; 柳澤 顕史⁵; 清水 康広⁵; 長山 省吾⁵; 戸田 博之⁵; 沖田 喜一⁵; 河合 誠之⁷; 関口 朋彦⁸; 石黒 正晃⁹; 安部 正真¹
HASEGAWA, Sunao^{1*}; MIYASAKA, Seidai²; MITO, Hiroyuki³; SARUGAKU, Yuki¹; OZAWA, Tomohiko⁴; KURODA, Daisuke⁵; YOSHIDA, Michitoshi⁶; YANAGISAWA, Kenshi⁵; SHIMIZU, Yasuhiro⁵; NAGAYAMA, Shogo⁵; TODA, Hiroyuki⁵; OKITA, Kouji⁵; KAWAI, Nobuyuki⁷; SEKIGUCHI, Tomohiko⁸; ISHIGURO, Masateru⁹; ABE, Masanao¹

¹ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, ² 東京都庁, ³ 東京大学木曽観測所, ⁴ みさと天文台, ⁵ 国立天文台岡山天体物理観測所, ⁶ 広島大学宇宙科学センター, ⁷ 東京工業大学理工学研究科, ⁸ 北海道教育大学教育学部, ⁹ ソウル大学物理天文学科
¹Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, ²Tokyo Metropolitan Government, ³Kiso Observatory, Institute of Astronomy, The University of Tokyo, ⁴Misato Observatory, ⁵Okayama Astrophysical Observatory, National Astronomical Observatory, ⁶Hiroshima Astrophysical Science Center, Hiroshima University, ⁷Graduate School of engineering, , Tokyo Institute of Technology, ⁸Asahikawa Campus, Hokkaido University of Education, ⁹Department of Physical and Astronomy, Seoul National University

We have made the lightcurve observation of 13 vestoids ((1933) Tinchin, (2011) Veteraniya, (2508) Alupka, (3657) Ermolova, (3900) Knezevic, (4005) Dyagilev, (4383) Suruga, (4434) Nikulin, (4796) Lewis, (6331) 1992 FZ₁, (8645) 1998 TN, (10285) Renemichelsen, and (10320) Reiland).

Lightcurves in the R-band of rotation periods were found for (1933) Tinchin, (2011) Veteraniya, (2508) Alupka, (3657) Ermolova, (3900) Knezevic, (4005) Dyagilev, (4383) Suruga, (4796) Lewis, (6331) 1992 FZ₁, (8645) 1998 TN, and (10320) Reiland.

The distribution of rotational rates of 59 vestoids in the inner main belt, including 29 members of the Vesta family that are regarded as ejecta from the asteroid (4) Vesta, is inconsistent with the best-fit Maxwellian distribution.

This inconsistency may be due to the effect of thermal radiation Yarkovsky- O'Keefe-Radzievskii-Paddack (YORP) torques, and implies that the collision event that formed vestoids is sub-billion to several billion years in age.

キーワード: 小惑星, ベスタ

Keywords: asteroid, vesta

ロケット実験 CIBER による黄道光の近赤外線スペクトル観測 Near-infrared spectral measurements of zodiacal light by CIBER rocket experiments

松浦 周二^{1*}; 新井 俊明¹; 大西 陽介¹; 白旗 麻衣¹; 津村 耕司¹; 松本 敏雄²; Bock James³; CIBER チーム³
MATSUURA, Shuji^{1*}; ARAI, Toshiaki¹; ONISHI, Yosuke¹; SHIRAHATA, Mai¹; TSUMURA, Kohji¹; MATSUMOTO,
Toshio²; BOCK, James³; CIBER, Team³

¹ 宇宙航空研究開発機構, ² ASIAA, ³ カリフォルニア工科大学

¹ JAXA, ² ASIAA, ³ Caltech

我々は、太陽系から銀河系外にいたるあらゆる赤外線の宇宙拡散放射を、視線方向の積分である宇宙赤外線背景放射として、ロケット実験 CIBER (Cosmic Infrared Background Experiment) により観測した。CIBER 実験の目的のひとつは、宇宙赤外線背景放射を構成する放射成分のうち、惑星間ダストによる太陽光散乱である黄道光を観測することである。これまでに実施した CIBER 実験により、波長 0.8-2 μ m の近赤外線における黄道光の放射スペクトルと偏光度を観測することに初めて成功した。本講演では、その観測結果について報告する。

CIBER 実験は、日米韓の国際共同実験として、NASA の観測ロケットプログラムのもと実施した。2009 年から 2013 年までに 4 回の実験を行い、全ての実験において高度 200km 以上での地球大気の影響がない良好な観測データを取得できた。CIBER 実験の主目的である銀河系外の拡散放射を検出する要求から、観測天域を黄道光が比較的暗い太陽離角 90 度以上に限ったが、黄緯に対する輝度の依存性を利用して、様々な放射成分を含む観測値から黄道光を成分分離した。その結果、黄道光の連続スペクトルと偏光度を取得するとともに、輝度の季節変化に関する情報を得た。

観測された黄道光の赤外線放射スペクトルには、有為な黄緯依存性や季節変化がなく、太陽スペクトルに対して波長 1.5 μ m より短波長における明らかな赤化が見られた。この結果から、放射源である惑星間ダストは、ミクロンサイズ以上の大きさを持つとともに、短波長での鉱物吸収の存在を示している。偏光度は黄極において最大の 20-25% が観測され、可視域での過去の測定値と比較して同等以上であることがわかった。また、偏光度には有為な波長依存性がなく、この点においても観測波長よりも十分大きい惑星間ダストが主であることが示唆される。

本講演では、観測結果を報告するとともに、これを隕石や彗星ダストの反射スペクトルや偏光の観測と比較し、惑星間ダストの光学特性について議論する。

キーワード: 黄道光, 惑星間ダスト, 赤外線, 観測

Keywords: zodiacal light, interplanetary dust, infrared, observation

反射スペクトルから見た木星小衛星の起源 Reflectance Spectra of Jovian Small Satellites and Implication of their Origin

高遠 徳尚^{1*}; 寺田 宏¹; 吉田 二美¹; 大槻 圭史²
TAKATO, Naruhisa^{1*}; TERADA, Hiroshi¹; YOSHIDA, Fumi¹; OHTSUKI, Keiji²

¹ 国立天文台, ² 神戸大学

¹National Astronomical Observatory of Japan, ²Kobe Univ.

1. はじめに 木星にはガリレオ衛星より内側を回る4つの小衛星と、その外側を回る多数の不規則衛星が存在する。力学的な考察と測光データから、これらの衛星は木星系外の天体が捕獲されたものと考えられている。しかしそれを証明する直接的証拠に欠けており、また太陽系内のどの領域で形成された天体をどのようなプロセスで捕獲したのかも未だ解明されていない。木星の不規則衛星の成因を解明することは、Niceモデルに見られるような太陽系内の動径方向の物質移動の理論に関して重要な制限を与えることができる点でも重要である。本研究では、Thebeの波長3 μ m帯での狭帯域測光観測を行い、水質変性鉱物の存在を確認するとともに、今まで分光観測がなされていなかった主要な不規則衛星の可視分光観測を行い、そのスペクトル型を正確に決定し、木星周辺の小惑星（ヒルダ群、トロヤ群）との比較を行った。

2. 観測と結果

(1) Thebeの3 μ m帯狭帯域測光観測

Thebeは暗くかつ木星に近いため、8 m望遠鏡でも3 μ m帯の分光観測は困難である。そこでSubaru IRCSのH₂O Iceフィルター(λ λ =2.974-3.126 μ m)とKバンドフィルターによる測光観測から、3 μ m帯の吸収の深さを求めた(観測は2005年5月25日UTに行った)。その結果ThebeにもAmaltheaと同様に3 μ m帯に吸収があり、3.05 μ mの反射率はKバンドの0.67倍であることが分かった。この方法の有効性は、スペクトルが既知のAmaltheaを同様に観測することで確認している。

(2) 不規則衛星の可視分光観測

順行衛星のHimalia family(5天体中4天体)とThemisto、逆行衛星のCarme, Kalyke(Carme family), Ananke, Pasiphae(それぞれのfamilyの代表), Sinope, Callirrhoeの11天体、およびAmalthea(今までに可視光スペクトルが得られていなかった)を、2012年12月7日UT及び2014年12月21日UTにSubaru/FOCASを用いて分光観測(λ = 0.38-0.9 μ m, 一部天体は λ =0.48-0.9 μ m, スリット幅2")を行った。その結果、Himalia familyは広義のCタイプ、同じ順行のThemistoはDタイプ、逆行衛星はAnankeがC, PasiphaeがX, その他はDタイプであることが分かった。Amaltheaは過去に得られたデータと合わせてみると、波長0.6-2.4 μ mで見るとDタイプと良く一致するが、波長0.6 μ m以下では急激に反射率が減少している。また3 μ m帯に深い吸収があるのが特徴である。

3. 考察 ガリレオ衛星より内側を回るAmalthea, Thebeと、Dタイプ小惑星とのスペクトル上の大きな違いは3 μ m帯の吸収(水質変性鉱物によると考えられる)の有無である。これらの小衛星は小惑星から木星が捕獲した天体そのものではなく、木星系円盤の一部となってガリレオ衛星の材料にもなった、円盤内でかなりプロセス(衝突合体、加熱)された天体が木星に落ちてきたものと考えの方が自然である。AmaltheaのスペクトルがCalistoの氷が少ない領域のスペクトルと類似していることも、この考えを支持している。

不規則衛星は木星が小惑星から捕獲したと考えられているが、どこからいつ捕獲したのかは分かっていない。可能性が高いのは現在の木星の近くに存在するトロヤ群あるいはヒルダ群である。これらの小惑星のスペクトルタイプは不規則衛星と似ているものが多い。Grav et al.(2012)によると、どちらの群もC, Pタイプ(〜Xタイプ)とDタイプとで構成されていて、Dタイプの割合(個数の割合)は直径が大きいほど少なくなるが、トロヤ群の方が全体としてDタイプの割合が多く、また直径によるDタイプの割合の減少の仕方が緩い(直径20 km以上の天体でDタイプの割合は、トロヤ群約85%、ヒルダ群約75%であるが、直径100 km以上ではトロヤ群約70%に対しヒルダ群は約10%である)。

我々の観測結果からC, XタイプとDタイプの割合を直径の関数として求めると、木星の不規則衛星はヒルダ群の分布と良く一致することが分かった。全く違った起源からスペクトルタイプ-サイズ分布を再現するのは容易ではないと思われるので、この結果は木星の不規則衛星がヒルダ群と共通の供給源から捕獲されたことを強く示唆している。と

4. まとめ

(1) Amalthea, Thebeなどのガリレオ衛星の内側を回る小衛星は、周木星円盤内でプロセスされた微衛星の残骸である可能性が高い。

(2) ガリレオ衛星の外側を回る不規則衛星は、トロヤ群ではなくヒルダ群と共通の供給源から捕獲された天体の可能性が高い。

キーワード: 衛星, 木星, スペクトル, ヒルダ群, トロヤ群

Keywords: satellites, Jupiter, spectrum, Hilda group, Trojan

含水ケイ酸塩鉱物に対する太陽風プロトンによる風化作用の影響 Weathering effect of solar wind proton on hydrated silicate minerals

仲内 悠祐^{1*}; 安部 正真²; 北里 宏平³; 土山 明⁴; 安田 啓介⁵

NAKAUCHI, Yusuke^{1*}; ABE, Masanao²; KITAZATO, Kohei³; TSUCHIYAMA, Akira⁴; YASUDA, Keisuke⁵

¹ 総合研究大学院大学, ² 宇宙航空研究開発機構, ³ 会津大学, ⁴ 京都大学, ⁵ 若狭湾エネルギー研究センター

¹The Graduate University for Advanced Studies, ²Japan Aerospace Exploration Agency, ³University of Aizu, ⁴Kyoto University,

⁵The Wakasa Wan Energy Reserch Center

NIRS3 is an on-board near infrared spectrometer of Hayabusa-2 project which is aimed at returning samples from C-type asteroid 1999 JU3. In this project, it is important to characterize mineralogical and heterogeneities on the asteroid surface for the sampling site selection. Observing wavelength of NIRS3 is including the 3 μm band which is characterizing C-type asteroid (Rivkin *et al.* LPSC 2002, Milliken *et al.* 2007). The NIRS3 will measure reflectance spectra of asteroid surface in the wavelength range of 1.8 - 3.2 μm . This wavelength region includes features mainly related to OH and H₂O.

The spectral properties of the surface, however, would have different trend to the subsurface, because the surface of asteroids would be exposed to solar wind and micrometeorite. As for the reflectance spectrum of the moon, the absorption feature from 2.8 μm to 3.0 μm was reported in M³ data (Pieters *et al.* 2009). It is thought that the implantation of solar wind proton is one of the causes (McCord *et al.* 2011). The solar wind protons will affect the spectral shape of 3 μm region of air less bodies. Thus we study effect of irradiation of solar wind protons on near-infrared reflectance spectra by laboratory experiment.

We executed the simulation of irradiation of solar wind protons using ion implantation device at the Wakasa Wan Energy Research Center (WERC), Fukui. This device can irradiate H₂⁺ beam with 10 keV in a vacuum (under 1×10^{-5} Pa). The total amount of H₂⁺ was about 10^{18} ion/cm². Three samples were prepared; olivine (San Carlos, Arizona), antigorite (Sangenchaya, Kyoto), saponite (synthetic: Kunimine Industries Co., Ltd.). Antigorite and saponite were sieved between 50 μm and 75 μm and olivine served between 75 μm and 105 μm , and then they were heated for 24 hours at 423 K. They were packed into Cu cups and formed pellets. After irradiated the spectra were measured using FTIR, which resolution was 2.0 cm⁻¹ in wavenumber. We adopted the analysis method of Ichimura *et al.* (2012), which is to compare the reflectance spectra of altered sample, R, with unaltered sample, R₀, to determine the alteration ratio of spectra, R/R₀, without absorption water.

The alteration ratios of irradiated samples were different between minerals. The alteration ratio of olivine showed increasing of broad absorption feature from 2.8 μm to 3.8 μm due to OH/H₂O production. In antigorite and saponite, the alteration ratio, additionally, showed characteristic change related to coupling state of -OH. In the alteration ratio of antigorite, stretching of -OH bonded water molecule (-OH \cdots ^HOH) at 2.77 μm and stretching of -OH \cdots ^HOSi at 2.85 μm was increased conspicuously. On the other hands, the alteration ratio of saponite was changed conspicuously at 2.77 μm .

We think that the difference of the bands which showed conspicuously change is related with structure of minerals. Antigorite have -OH into the crystal. Therefore the irradiated protons broke bonds of Si-O and produced newer hydrogen bonds which are -OH \cdots ^HOH or -OH \cdots ^HOSi. Saponite has H₂O as interlayer water. It would be similarly broken bands of Si-O and produced newer hydrogen bonds which are -OH \cdots ^HOH. These spectral changes can explain same process. These features support that the irradiated protons react with bonds of Si-O in the crystal.

In this study, we showed that the alteration of feature related with OH/H₂O is different from each mineral. Next step, we will examine the other minerals against determination minerals and the amount of water from reflectance spectra.

キーワード: はやぶさ 2, 宇宙風化, 太陽風, 水, C 型小惑星, 照射実験

Keywords: Hayabusa-2, space weathering, solar wind, OH/H₂O, C-type Asteroid, proton implantation

U06-23

会場:503

時間:4月28日 17:35-17:50

ナノ秒パルスレーザー照射実験による宇宙風化作用において硫化鉄の果たす役割の検証

The effect of coexisting iron sulfide on space weathering by nanosecond pulse laser irradiation

岡崎 瑞祈^{1*}; 佐々木 晶¹; 廣井 孝弘²
OKAZAKI, Mizuki^{1*}; SASAKI, Sho¹; HIROI, Takahiro²

¹ 大阪大学理学研究科, ² ブラウン大学

¹School of Science, Osaka University, ²Brown University

大気のない天体表面が、太陽風や微小隕石の衝突などにより見た目の色や明るさが変化していく現象を宇宙風化作用という。存在度から普通コンドライトはS型小惑星由来と考えられているが、スペクトルは一致せず、S型小惑星はスペクトルが赤化・暗化・吸収帯が弱くなっているということが議論されてきた。宇宙風化作用を受けた鉱物表面には、ナノ鉄微粒子が生成していることが月のソイルからも見られているが、ナノ秒パルスレーザーを鉱物表面に照射するとナノ鉄微粒子を実験的に生成することができ、宇宙風化作用のスペクトル変化を再現出来る。

また、はやぶさが小惑星イトカワから持ち帰った微粒子の宇宙風化された表面の電子顕微鏡観察・元素分析から、ナノ鉄微粒子を含むアモルファス層の外側に硫化鉄のナノ微粒子を含む層が発見された。また別に数10 μm サイズの硫化鉄の結晶も見つかっており、硫黄に関して興味深い事実が明らかになっている。ここから、硫黄は揮発性に富むため天体表面で起こる宇宙風化作用に関係があるのではと推測し、パルスレーザーを用いて風化させ分光装置でスペクトルをとる室内実験を行った。

粒子サイズ45~75 μm のカンラン石、輝石に同サイズの硫化鉄を10%、20%混ぜたペレットを作成しナノ秒パルスレーザーを照射してスペクトル変化を引き起こした。また対照実験として同サイズの鉄を10%、20%混ぜたものや、粒子サイズ45 μm 以下の硫化鉄を混ぜたものでも実験を行った。

その結果から、硫黄が含まれる場合は、スペクトルが赤化も強く、また近赤外領域も暗化していることが確認された。

鉄のみが含まれる場合は赤化は見られるものの暗化は見られないのに対し、硫化鉄が含まれる場合では赤化に加え、レーザー照射前に比べ20%の暗化も見られた。これまで赤化に注目されてきた宇宙風化作用だが、硫化鉄が加わった場合では暗化も見られ、風化が強まることが確認できた。赤化に関してはナノ鉄（もしくは硫化鉄）微粒子の存在が考えられるが、全体的な暗化に関しては検討中である。

図： パルスレーザーを照射したサンプル

キーワード: 宇宙風化作用, 硫化鉄, レーザー照射実験, 小惑星, イトカワ

Keywords: space weathering, iron sulfide, experiments using pulse laser, asteroids, Itokawa



Hayabusa 2 探査候補天体 1999 JU3 の光学特性 Photometric Properties of (162173) 1999 JU3 in Preparation for JAXA Hayabusa 2 Sample Return Mission

石黒 正晃^{1*}; 黒田 大介²; 長谷川 直³; Hayabusa 2 地上観測グループ⁴
ISHIGURO, Masateru^{1*}; KURODA, Daisuke²; HASEGAWA, Sunao³; HAYABUSA 2, Observation sub-group⁴

¹ ソウル大学物理天文学科, ² 国立天文台岡山天体物理観測所, ³ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, ⁴ 宇宙航空研究開発機構

¹Department of Physical and Astronomy, Seoul National University, ²Okayama Astrophysical Observatory, National Astronomical Observatory of Japan, ³Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, ⁴Japan Aerospace Exploration Agency

A near-Earth asteroid, (162173) 1999 JU3 (hereafter 1999 JU3), is a primary target asteroid for Hayabusa 2 sample return mission. We conducted a worldwide campaign to make photometric observations of the asteroid to determine the physical properties. 1999 JU3 is classified into C-type asteroid having a nearly spherical shape and the synodic rotational period of 7.6312 ± 0.0010 hr.

In this presentation, we will report further information about 1999 JU3 determined since last JpGU meeting in 2013. We investigated the magnitude-phase angle relation. We obtained the parameters for IAU H-G formalism, $H = 19.20 \pm 0.12$ and $G = 0.077 \pm 0.011$ (V-band, 550nm), respectively. In combination of our result with infrared photometry, the geometric albedo is updated to be 0.05 (Mueller et al. in preparation), which is typical to but slightly smaller than the average of C-type asteroids in main-belt. We found that the magnitude-phase angle relation has a linear behavior in a wide range of the phase angles (5-80 degree) and show a possible non-linear opposition brightening within the phase angle of 5 degree. The phase slope is consistent to those of tens-km C-type asteroids, that is, $0.04 \text{ mag degree}^{-1}$. The opposition effect amplitude, $\approx 10\%$ or less, is slightly weaker than that of a precursor C-type mission target body, (253) Mathilde, but the difference seems to reflect the diversity of C-type asteroids. Recently, Shevchenko & Belskaya (2010) reported that $\sim 20\%$ of all studied low albedo asteroids did not show detectable opposition effect. We explore the significance of 1999 JU3 data with remote-sensing devices in terms of the opposition effect.

キーワード: はやぶさ 2, 1999 JU3, 地上観測

Keywords: Hayabusa 2, 1999 JU3, Ground-based observations

はやぶさ 2 搭載レーザー高度計による C 型小惑星のアルベド観測 Observation of geometric albedo of the C-type asteroid by the laser altimeter on Hayabusa-2 spacecraft

山田 竜平^{1*}; 千秋 博紀²; 阿部 新助³; 吉田 二美¹; 平田 直之⁴; 石原 吉明⁵; 平田 成⁶; 野田 寛大¹; 並木 則行²
YAMADA, Ryuhei^{1*}; SENSU, Hiroki²; ABE, Shinsuke³; YOSHIDA, Fumi¹; HIRATA, Naoyuki⁴; ISHIHARA, Yoshiaki⁵
; HIRATA, Naru⁶; NODA, Hiroto¹; NAMIKI, Noriyuki²

¹ 国立天文台, ² 千葉工業大学, ³ 日本大学, ⁴ 東京大学, ⁵ 宇宙航空研究開発機構, ⁶ 会津大学

¹National Astronomical Observatory of Japan, ²Chiba Institute of Technology, ³Nihon University, ⁴University of Tokyo, ⁵Japan Aerospace Exploration Agency, ⁶The University of Aizu

2014 年末打上げ予定の小惑星探査機「はやぶさ 2」では、近地球型の C 型小惑星「1999JU3」の探査を行う。我々ははやぶさ 2 に搭載されるレーザー高度計 (LIDAR) を使用して、レーザー波長 (1064nm) における 1999JU3 のアルベドを調べる事を検討している。はやぶさ 2 搭載用の LIDAR には探査機-小惑星間の距離を測定する機能に加えて、レーザーパルスの送信光強度と受信光強度を測定する機能がついており、この強度データを用いて小惑星表面のジオメトリックアルベドを推定する事が可能である。

本発表では、まず、はやぶさ 2 搭載 LIDAR の特性調査試験の結果から、LIDAR を用いて小惑星表面アルベドを現状どの程度の精度で決定可能か評価した結果を示す。ここでは、機器の特性から決まるアルベドの決定精度に加え、小惑星の表面傾斜や、ラフネスが LIDAR の観測値から求まるアルベドの推定値にどの程度影響を及ぼすか検討した結果についても述べる。

我々は LIDAR の観測値から決められる小惑星表面のアルベド分布及び他機器の観測データを組み合わせて (1)1999JU3 の岩石・鉱物タイプ、(2) 水質変成度の高低、(3) 宇宙風化、外来物質による表面変成についての情報を得る事を検討している。本発表では先に評価した精度で決められるアルベド値から、どの程度これらの科学情報について言及できるか調査した結果についても報告する予定である。

キーワード: 小惑星アルベド, C 型小惑星, 1999JU3, はやぶさ 2, レーザー高度計

Keywords: Albedo of Asteroid, C-type asteroid, 1999JU3, Hayabusa-2, Laser Altimeter

はやぶさ 2 搭載近赤外分光計 NIRS3 のフライトモデル性能 Performances of Flight Model of 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; 松岡 萌⁴; 松浦 周二¹; 尾崎 正伸¹; 渡邊 誠一郎⁶

IWATA, Takahiro^{1*}; KITAZATO, Kohei²; ABE, Masanao¹; ARAI, Takehiko¹; NAKAUCHI, Yusuke³; NAKAMURA, Tomoki⁴; HIROI, Takahiro⁵; MATSUOKA, Moe⁴; MATSUURA, Shuji¹; OZAKI, Masanobu¹; WATANABE, Sei-ichiro⁶

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, ⁶名古屋大

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

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 ミクロン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 ミクロン帯での 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・含水鉱物の分布状態を明らかにすることである。C 型小惑星の素材ならびにその分布を調べることは、太陽系の初期進化の様子や地球の水の起源を解明する上で重要である。このため我々は、地球上の水による 3 ミクロン帯の吸収の影響を受けないように、小惑星表面を直接観測する。含水鉱物の量を 1~2 wt% の精度で推定するため、我々は 2.6 ミクロン帯での SN 比が 50 を超えることを目標に、NIRS3 観測システムを設計した。

NIRS3 のフライトモデルについて、2013 年より地上試験を開始した。NIRS3-S (センサ部) を NIRS3 試験用小型チャンバ内で軌道上温度である -80 °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、定常観測において目標を大きく上回る 300 以上となることが確認された。また、NIRS3 の単体熱真空試験・機械環境試験、及びシステム総合試験においても、NIRS3 が軌道上環境で十分な機能・性能を維持できることが確認された。さらに、黒体炉の近赤外光を、鉱物試料 (serpentine, olivine)、C コンドライト (Murchison, Murray, Jbilet Winselwan) 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が FTIR (フーリエ変換型赤外分光計) で得られるものと整合的であることを示した。これらの地上試験の結果から、NIRS3 を用いた C 形小惑星表面での、初期構成、水質変成、熱変成、宇宙風化に関して、新たな知見が得られることが期待される。

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」搭載中間赤外カメラ TIR: 科学観測と地上較正 Thermal Infrared Imager TIR on Hayabusa2: Instrumentation and Ground Calibration

岡田 達明^{1*}; 福原 哲哉³; 田中 智¹; 田口 真⁴; 荒井 武彦²; 今村 剛¹; 千秋 博紀⁵; 出村 裕英⁶; 小川 佳子⁶; 北里 宏平⁶; 長谷川 直¹; 関口 朋彦⁷; 中村 良介⁸; 神山 徹⁸; 松永 恒雄⁹; 和田 武彦¹; 滝田 隼¹⁰; 坂谷 尚哉¹⁰; 堀川 大和¹¹; ヘルバート ヨルン¹²; ミュラー トマス¹³; ハーガーマン アクセル¹⁴; はやぶさ 2 TIR チーム²

OKADA, Tatsuki^{1*}; FUKUHARA, Tetsuya³; TANAKA, Satoshi¹; TAGUCHI, Makoto⁴; ARAI, Takehiko²; IMAMURA, Takeshi¹; SENSU, Hiroki⁵; DEMURA, Hirohide⁶; OGAWA, Yoshiko⁶; KITAZATO, Kohei⁶; HASEGAWA, Sunao¹; SEKIGUCHI, Tomohiko⁷; NAKAMURA, Ryosuke⁸; KOUYAMA, Toru⁸; MATSUNAGA, Tsuneo⁹; WADA, Takehiko¹; TAKITA, Jun¹⁰; SAKATANI, Naoya¹⁰; HORIKAWA, Yamato¹¹; HELBERT, Jorn¹²; MUELLER, Thomas¹³; HAGERMANN, Axel¹⁴; HAYABUSA2, TIR team²

¹ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, ² 宇宙航空研究開発機構月惑星探査プログラムグループ, ³ 北海道大学, ⁴ 立教大学, ⁵ 千葉工業大学, ⁶ 会津大学, ⁷ 北海道教育大学, ⁸ 産業総合研究所, ⁹ 国立環境研究所, ¹⁰ 東京大学, ¹¹ 総合研究大学院大学, ¹² ドイツ航空宇宙センター, ¹³ マックスプランク地球外物理学研究所, ¹⁴ オープン大学

¹ ISAS/JAXA, ² JSPEC/JAXA, ³ Hokkaido University, ⁴ Rikkyo University, ⁵ Chiba Institute of Technology, ⁶ University of Aizu, ⁷ Hokkaido University of Education, ⁸ AIST, ⁹ NIES, ¹⁰ University of Tokyo, ¹¹ Sokendai, ¹² German Aerospace Center (DLR), ¹³ Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics (MPE), ¹⁴ Open University

小惑星探査機「はやぶさ 2」に搭載する中間赤外カメラ TIR は近地球型の C 型小惑星 (162173) 1999JU3 の 2 次元熱撮像を行い、表層熱物性を全球的に調べる装置である。小天体探査では始原物質の探求や初期進化過程を示す物質科学探査に注目が集まるが、微惑星の形成やその後の力学的な成長・進化過程の解明には物性探査も重要である。

原始太陽系で微惑星が形成される際には低密度（高空隙）天体が作られ、衝突合体を伴う成長過程により圧密されてゆくと考えられる。C 型小惑星は低密度な例も多く、稠密な岩塊が空隙の多い状態で集合しているか、多孔質な岩塊や高空隙土壌の堆積が考えられる。これらの特徴は TIR 観測から得られる熱物性、特に熱慣性により識別できる可能性がある。C 型小惑星では過去に脱水過程を経たと考えられる。その痕跡が貫入地形や溝地形として小惑星上に現存し、熱慣性の差異として発見できるかもしれない。小惑星イトカワでもみられた表層粒子流や、クレータ周辺のイジェクタ堆積層などは周辺地域に比べて平均粒径が小粒かつ高空隙率が想定されるため、熱慣性の違いによって検出できるだろう。周辺浮遊物（衛星）や、ダスト雲、揮発性噴出物があれば、それらからの赤外放射を検出できる可能性がある。また、現地で熱撮像を行うことにより、地上観測から見積もられる小惑星の熱物性の推定精度について評価することができ、将来の小惑星地上観測の信頼度に与える貢献度は大きい。

TIR は 2 次元非冷却ボロメータを検出器に用いた中間赤外カメラである。有効画素数は 328×248 、視野は $16^\circ \times 12^\circ$ 、画素解像度は 0.05° であり、高度 20km の Home Position (HP) から撮像すると 20m（直径約 0.9km の小惑星 1999JU3 の全体が 45 画素）、高度 1km から撮像すると 1m 以下の画素解像度で $280\text{m} \times 210\text{m}$ の範囲をカバーできる。これは HP からの小惑星全体の特徴の把握やサンプル回収地点の事前・事後に行う現地調査・産状把握に適する。なお、TIR の光学系の焦点距離は 34m だが、距離 5m でも 1cm 以上の構造を識別できる。「はやぶさ 2」では小惑星 1999JU3 を太陽距離 0.96~1.42AU で太陽側から観測する。C 型小惑星のアルベド 0.05、熱放射率 0.90~0.95 と仮定すると、小惑星昼側の表層温度は $-40^\circ\text{C} \sim +150^\circ\text{C}$ と見積もられる。TIR の観測波長域は $8 \sim 12 \mu\text{m}$ であり、表層からの熱放射への感度は良好である。

TIR の撮像性能の較正試験を $-40 \sim +150^\circ\text{C}$ に対して実施してきている。最終目標はこの温度範囲で各画素に対して絶対温度 3°C 、NETD で 0.3°C 以下の精度を達成する較正データを求めることである。較正装置は、低温側は真空チェンバ中の黒体ターゲット、高温側はクリーンブース内でオイルバスや平面黒体ターゲットを用いており、TIR のレンズ温度や取り付けパネル面温度を制御しながら実施してきた。観測時には較正時と同じ OFPN (Onboard Flat Pattern Noise) データを設定する必要があるが、全温度域で同一の OFPN の使用が理想である。これまで概ね成立することを確認しているが、別の較正システムの使用による低温・高温域のデータの接続、検出器への入射エネルギーによるデータのバイアス変化の補正、幾何較正などを進め、TIR の較正精度の向上を目指している。講演では TIR の科学観測目標と較正試験の結果について報告する。

キーワード: 小惑星, はやぶさ 2, 熱物性, 熱赤外, ボロメータ, 惑星探査

Keywords: asteroid, Hayabusa2, thermo-physical property, Thermal Infrared, bolometer, planetary exploration

小天体表面における粒子サイズと空隙率の関係 Relationship between Regolith Particle Size and Porosity on Small Bodies

木内 真人^{1*}; 中村 昭子¹
KIUCHI, Masato^{1*}; NAKAMURA, Akiko¹

¹ 神戸大学大学院理学研究科

¹Department of Earth and Planetary Sciences, Kobe University

小天体表面はレゴリス層と呼ばれる粒子層によって覆われており、レゴリス層の粒子サイズと空隙率は重要な物性値である。例として、天体表面の反射率や熱慣性は粒子サイズや空隙率に依存する。また、これらの物性値はクレーター効率のような衝突応答性に影響を与える。過去には、アポロ計画による月レゴリスの粒子サイズの直接測定が行われており、平均空隙率が 51% と推定されている (Michell et al., 1974)。また、観測による推定として、地上レーダー観測による空隙率の推定では、小惑星表面の平均空隙率は $51 \pm 14\%$ という結果を得ており (Magri et al., 2001)、反射率の角度依存性を用いた空隙率の推定では、S 型小惑星表面の空隙率の範囲は 40 - 80 % となっている (Hapke, 1986; Domingue et al., 2002)。本研究では、まず地上実験のデータより、空隙率と粒子にはたらく力の関係を得た。そして、その関係を小天体表面の条件に適用することで、レゴリス層の空隙率と粒子サイズの関係性を求めた。

Yu et al. (2003) では、実験データをもとに、液架橋力をもとにした粒子間力 F_v と粒子にかかる重力 F_g の比 R_F と空隙率の関係が表されている。空隙率は粒子が密に充填していない状態でそれぞれ測定されており、粒子サイズによって空隙率は異なる値をとる。本研究では、粒子間力はファンデルワールス力が支配的だと想定し、ファンデルワールス力には吸着分子の影響を考慮した以下のモデル式 (Perko et al., 2001) を適用した。

$$F_v = AS^2r/48 \Omega^2 \quad (1)$$

A はハマー定数 (物性値)、r は粒子半径、 Ω は吸着分子半径 (ここでは酸素イオン半径) である。また S は cleanliness ratio と呼ばれるもので、粒子表面の吸着分子の少なさを表しており、地球上では 0.1 程度、宇宙空間では約 1 という値をとる。過去研究のデータに我々が行ったフライアッシュの測定データを加え、また (1) 式を用いることで、空隙率 p と $R_F (=F_v/F_g)$ の関係

$$p = p_0 + (1 - p_0) \exp(-mR_F^{-2}) \quad (2)$$

を得た。ここで、 p_0 , m , n は定数である。また、(1) 式を (2) 式に代入することで、次式が得られる。

$$p = p_0 + (1 - p_0) \exp \{-m(AS^2/64 \pi \Omega^2 \rho \text{ gr}^2)^{-n}\} \quad (3)$$

ここで ρ は粒子密度、 g は重力加速度である。(3) 式に小天体表面の条件を適用することで、小天体表面の粒子半径と空隙率の関係を得ることができる。例として小惑星イトカワ表面における空隙率と粒子半径の関係を得た。はやぶさの画像より得られたイトカワの粒子サイズは、細かい粒子層が広がる地域では mm-cm サイズと推定されており (Yano et al., 2006)、今回得られた関係によると、この範囲の粒子サイズでは 0.55 - 0.8 の範囲の空隙率をもつと見積もられる。同様の方法で、その他の小天体表面における空隙率と粒子サイズの見積ることができる。

また Gundlach and Blum (2013) では、熱慣性データとレゴリス層における熱伝導率モデルから、レゴリス層の粒子サイズを推定している。ここで、(3) 式の関係と Gundlach and Blum (2013) の関係を組み合わせることで、小天体表面の粒子サイズと空隙率をそれぞれ推定することができ、その結果についても報告する。

キーワード: 小惑星, レゴリス, 空隙率

Keywords: asteroid, regolith, porosity

TIR による SCI クレーターの検出方法の検討

How to detect a small crater produced by Small Carry-on Impactor (SCI) using Thermal InfraRed Camera (TIR)

和田 浩二^{1*}; 中村 昭子²; 黒澤 耕介¹; SCI チーム³; TIR チーム³

WADA, Koji^{1*}; NAKAMURA, Akiko²; KUROSAWA, Kosuke¹; SCI, Team³; TIR, Team³

¹ 千葉工業大学惑星探査研究センター, ² 神戸大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻, ³ はやぶさ 2 プロジェクト

¹PERC/Chitech, ²Department of Earth and Planetary Sciences, Kobe University, ³Hayabusa-2 Project

In Hayabusa-2 mission, a crater will be formed on the surface of a C-type asteroid 1999JU3 using Small Carry-on Impactor (SCI) and the crater should be quickly detected from the mother ship. The detection, however, will become difficult when the crater is very small with a diameter of only 30 cm, near to the resolution limit of on-board cameras. On the other hand, Thermal InfraRed Camera (TIR) mounted on Hayabusa-2 has a possibility to detect such a small crater even if the crater size is sub-pixel of TIR resolution, because the temperature on the surface of a small crater is expected to be different from that around the crater. We, therefore, have started examination about the possibility and method to detect a SCI-formed small crater using TIR. In this presentation, we introduce the basic idea and the preliminary results of our modeling.

キーワード: はやぶさ 2, 衝突, 小惑星, 熱赤外カメラ, 小型搭載型衝突装置, クレーター熱モデル

Keywords: Hayabusa-2, Impact, SCI, TIR, crater thermal model, asteroid

はやぶさ 2・SCI の地上校正実験：クレーターサイズについて Hayabusa 2/SCI: calibration impact experiments

門野 敏彦^{1*}; 荒川 政彦²; 辻堂 さやか²; 保井 みなみ³; 長谷川 直⁴; 黒澤 耕介⁵; 白井 慶⁴; 早川 雅彦⁴; 岡本 千里⁴; 佐伯 孝尚⁴; 今村 裕志⁴; 矢野 創⁴; 中澤 暁⁴; 小川 和律⁴; 飯島 祐一⁴; 平田 成⁶; 高木 靖彦⁷; 和田 浩二⁵
KADONO, Toshihiko^{1*}; ARAKAWA, Masahiko²; TSUJIDO, Sayaka²; YASUI, Minami³; HASEGAWA, Sunao⁴; KUROSAWA, Kosuke⁵; SHIRAI, Kei⁴; HAYAKAWA, Masahiko⁴; OKAMOTO, Chisato⁴; SAIKI, Takanao⁴; IMAMURA, Hiroshi⁴; YANO, Hajime⁴; NAKAZAWA, Satoru⁴; OGAWA, Kazunori⁴; IJIMA, Yuichi⁴; HIRATA, Naru⁶; TAKAGI, Yasuhiko⁷; WADA, Koji⁵

¹ 産業医科大学, ² 神戸大学大学院理学研究科, ³ 神戸大学自然科学系先端融合研究環重点研究部, ⁴ 宇宙航空研究開発機構, ⁵ 千葉工業大学 惑星探査研究センター, ⁶ 会津大学 コンピュータ理工学部, ⁷ 愛知東邦大学

¹University of Occupational and Environmental Health, ²Graduate School of Science, Kobe University, ³Organization of Advanced Science and Technology, Kobe University, ⁴Japan Aerospace Exploration Agency, ⁵Planetary Exploration Research Center, Chiba Institute of Technology, ⁶Dep. of Computer Science and Engineering, Univ. of Aizu, ⁷Aichi Toho University

はやぶさ 2 探査機に搭載予定の SCI(Small Carryon Impactor) は直径 15 cm, 質量 2 kg, 中空の銅球である。これを小惑星表面に秒速 2 km で衝突させて形成されるクレーターや放出物の分布を調べる予定である。クレーターなどから天体表面がどのような状態(組成, 構造)であるかを推定するためには, 予め状態がわかっている標的に SCI と同様の飛翔体を衝突させて, どのようなクレーターが形成されるのかを調べておく必要がある。われわれは宇宙研の二段式水素銃を使って中空弾丸を加速し, 石膏, 玄武岩に衝突させてクレーターを調べた。また, 神岡で行われた実スケールの実験において砂に衝突させてできたクレーターのサイズも調べた。これらの結果について報告する。

キーワード: はやぶさ 2, SCI, 衝突実験

Keywords: Hayabusa 2, Small Carryon Impactor, Impact experiments

石英砂上への衝突クレーター形成実験：エジェクタの速度分布に対する弾丸密度依存性

Impact crater formation on quartz sand: the effect of projectile density on ejecta velocity distributions

辻堂 さやか^{1*}; 荒川 政彦¹; 和田 浩二²; 鈴木 絢子³

TSUJIDO, Sayaka^{1*}; ARAKAWA, Masahiko¹; WADA, Koji²; SUZUKI, Ayako³

¹ 神戸大学大学院理学研究科, ² 千葉工業大学惑星探査研究センター, ³ 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

¹Graduate School of Science, Kobe University, ²Planetary Exploration Research Center, Chiba Institute of Technology, ³Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency

1. はじめに

衝突クレーター形成に伴うエジェクタの速度分布を理解することは、固体天体表層の衝突進化を考える上で重要である。特に小惑星の表層は様々な物性を持つと考えられ、表層の空隙率、強度、密度等は、その起源や進化により大きく変化する。従って、様々な物性を持つ表面でのクレーター形成に伴うエジェクタ速度分布の知見が重要である。一方、小惑星帯には幾つかのタイプの小惑星が存在し、その物性はタイプにより大きく異なる。力学強度や密度が異なる小惑星同士が衝突してクレーターを形成すると、その組み合わせによって、形成されるクレーターの大きさや形状は変化する。はやぶさ、Dawn、はやぶさ2などの小惑星探査が進む中、小惑星表層に関する情報は飛躍的に増えてきた。今後、より精密な室内実験により、クレーター形成過程に対する衝突物質の依存性が明らかにできれば、観測されるクレーターから衝突天体の種類などが特定できるようになる。そのためには、ターゲットや弾丸の物性を系統的に変化させたクレーター形成実験が必要である。しかしながら、これまで、クレーター形成に伴うエジェクタの速度分布に関しては、弾丸密度の依存性に関する研究は十分に行われていない。

そこで、本研究では弾丸密度に着目し、衝突クレーター形成に伴うエジェクタの速度分布に対する弾丸密度依存性を明らかにした。そのために8種類の密度の異なる弾丸を用いて石英砂ターゲットに対して衝突クレーター形成実験を行った。

2. 実験・解析方法

標的粒子には、直径 500 μm の石英砂、直径 500 μm または 100 μm のガラスビーズ球の3種類を用いた。それらの粒子を直径 30cm の金属容器に入れて標的試料とした。石英砂またはガラスビーズを用いて準備した標的試料の空隙率はそれぞれ、44.7%、41.4%、37.6%である。標的を設置する真空チャンバー内の圧力は、 $<10^3\text{Pa}$ とした。また、弾丸には密度の異なる8種類の球形弾丸（ナイロン、ガラス、アルミナ、ジルコニア、チタン、鉄、銅、鉛）を用いた。弾丸直径はすべて 3mm であり、この弾丸を直径 10mm のサボを用いて、一段式軽ガス銃により加速した。エジェクタの正確な観測には、弾丸の加速ガスからの影響を完全に除く必要がある。そのために2つの手段を講じている。まず、弾丸発射用サボにより加速ガスの直接流入を防いでいる。さらに、金属容器をアクリルボックスに入れて、チャンバー内に広がった加速ガスが回り込んでエジェクタに影響を与えるのを防いでいる。標的への衝突速度 (v_i) は、 $24\sim 217\text{m/s}$ とした。

放出された個々の標的粒子の軌跡を計測することによってエジェクタ速度分布を求めた。そのために高速デジタルビデオカメラを使用して、撮影速度 2000-10000 コマ/秒で粒子放出の様子を撮影した。取得したビデオから >30 個の粒子の軌跡を追跡し、それぞれの粒子の放出位置と放出速度、そして放出角度の関係を求めた。

3. 結果・考察

撮影された高速ビデオ画像でエジェクタが広がっている様子を見ると、密度の小さなナイロン弾丸と密度の大きなジルコニア弾丸ではその形状が大きく異なることがわかった。ナイロンでは、エジェクタカーテンの外縁が水平面となす角が小さく 50° 程度でありエジェクタカーテンは潰れて見える。一方、ジルコニアではその角度は 58° 程度とカーテンが立って見えた。このカーテン形状の差の理由を調べるために粒子の放出角度について調べてみた。その結果、放出位置と放出角度については、全ての弾丸において衝突点に近い地点から放出された粒子ほど、放出角度が大きく、放出位置が衝突点から遠くなるにつれて減少していく傾向が見られた。その角度は、最大 48° 程度であり、 30° 程度まで角度は小さくなった。しかしながら、この傾向の弾丸密度による依存性は見られなかった。これは、エジェクタカーテン形状の差は、放出角度の違いが原因ではないことを示している。一方、エジェクタ速度のスケール則 (式①) において、弾丸密度が $<6\text{g/cm}^3$ の範囲では、 μ は弾丸密度に比例していることがわかった。(式②)

$$v_0/v_i = a(x/R)^{-1/\mu} \quad \text{式①}$$

$$\mu = 0.05 \rho + 0.38 \quad \text{式②}$$

すなわち、カーテン形状の差は、速度分布の差が原因であることがわかった。しかしながら、鉄についてはカーテ

U06-P08

会場:3 階ポスター会場

時間:4 月 28 日 18:15-19:30

ンが立っているにも関わらずこのトレンドに乗らなかった。さらに、クレーターサイズの弾丸密度依存性について（式③）のような関係が求まった。

$$[R * (\rho_t / m)^{(1/3)}] = 11 * [\rho_t / \rho_p]^{0.096} \quad \text{式③}$$

今後、さらに広い速度範囲で様々な物性を持つ標的試料に対してエジェクタ速度分布の弾丸密度依存性を明らかにしていきたい。

粉粒体斜面に対する衝突クレータリング実験 Impact cratering experiments on granular slopes

林 康介^{1*}; 隅田 育郎¹
HAYASHI, Kosuke^{1*}; SUMITA, Ikuro¹

¹ 金沢大学大学院 自然科学研究科

¹ Graduate School of Natural Science and Technology

衝突クレータリングは惑星表層の地形を決める重要な素過程の一つであり、その物理を理解するために粉粒体をターゲットとした室内実験が多く行われてきた(例: Walsh et al., 2003, de Vet and Bruyn, 2007)。これらの実験では、形成されるクレーターの形態は実際のクレーターと同様に衝突エネルギーが大きくなるにつれて単純クレーターから複雑クレーターに変化し、クレーターの形成過程において強度よりも重力が支配的な場合にはクレーターの直径はエネルギーの約 1/4 乗に比例することが分かっている。近年、小惑星の探査が進み、さらに多様なクレーターが発見されるようになってきた。小惑星に見られるクレーターは重力・強度支配の遷移領域に該当するものがあり、私達はそれを理解するための基礎実験を行った(Takita and Sumita, 2013)。一方で小惑星はそのサイズに比して起伏が激しいため、斜面に衝突することにより形成されたと考えられるクレーターも発見されている(Jaumann et al., 2012)。過去のクレータリング実験は水平なターゲットへの衝突実験が主であるため、斜面に対する衝突は良く理解されていない。本発表では、斜面の傾斜角がクレーターの形成に与える影響を理解するために行った実験の結果について報告する。

本実験では、縦 25cm、横 18cm、深さ 9cm のアクリル容器に平均粒径 0.204mm、密度 2.66g/cm³、安息角 37.2° の砂を充填率が約 0.56 になるように詰めた粉粒体ターゲットを任意の傾斜角 θ 向け、その上からステンレス球のインパクトター(直径 11mm、22.2mm、密度 7.70g/cm³、質量 5.5g、44.1g)を自由落下させてクレーターを形成する。クレーターの形成過程は高速度カメラで撮影する。衝突エネルギー E が 0.055J と 0.073J、0.58J の 3 種類、 θ が 0°、11°、16°、22°、34° の 5 種類の合計 15 通りの実験を行った。

クレーター形成の前後に粉粒体表面の形状をレーザー変位計をステッピングモーターで動かしながら 3 次元的に測定する。変位計の分解能は高さ方向に約 0.024mm、水平方向に約 0.1mm である。ステッピングモーターは 0.2mm 刻みで動く。クレーター形成前の表面の形状データの値をクレーター形成後の表面の形状データの値から差し引くことでクレーター形成による粉粒体ターゲット表面の鉛直変位を求める。鉛直下向きの最大変位を Crater depth、斜面方向の長さを水平射影した最大距離を Crater length、走向方向の最大水平距離を Crater width とする。

解析の結果、 θ が約 20° 以上になるとリムと呼ばれるクレーターの周りの盛り上がった部分が途切れることが分かった。高速度カメラで撮影した画像の観察から、 θ が大きくなるに伴い、衝突地点の上側の粒子の崩壊の規模が大きくなることが分かった。これが高傾斜角でリムが途切れる原因である。また、実験で作られたクレーターとベスタのクレーターの地形データ(Jaumann et al., 2012)を比較すると、最深点が斜面下側に寄り、イジェクタが斜面下側に広がる点が共通していた。Crater depth は θ が大きくなるに従って単調減少する。Crater length 及び Crater width は θ が 0° から 22° までは大きく変わらないが 22° を超えると増加する。この結果、クレーターの Depth/Length 比は θ の増加に伴って 0.25 から 0.05 まで減少する。これは θ の効果のみによって幅広い Depth/Length 比のクレーターが形成できることを示している。

各長さスケールのエネルギー依存性を AE^a の形にべき指数フィットすると(E は衝突エネルギー)、 θ が変化すると係数 A ばかりでなく、冪 a の値が変化した。これは、斜面衝突では平面のスケーリング則をそのまま適用できないことを示している。

引用文献:

de Vet and Bruyn., 2007. Phys.Rev E 76, 041306

Jaumann et al., 2012. Science 336, 687

Takita and Sumita, 2013. Phys.Rev E 88, 022203

Walsh et al., 2003, PRL 91.104301

キーワード: 衝突クレータリング, 粉粒体
Keywords: impact cratering, granular matter

鉄隕石衝突破壊強度の試料サイズ依存性 Size Dependence of Impact Disruption Threshold of Iron Meteorites

桂 武邦¹; 中村 昭子^{1*}; 高部 彩奈¹; 岡本 尚也¹; 三軒 一義¹; 長谷川 直²; Liu Xun³; 真下 茂³
KATSURA, Takekuni¹; NAKAMURA, Akiko^{1*}; TAKABE, Ayana¹; OKAMOTO, Takaya¹; SANGEN, Kazuyoshi¹; HASEGAWA, Sunao²; LIU, Xun³; MASHIMO, Tsutomu³

¹ 神戸大学大学院理学研究科, ² 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, ³ 熊本大学パルスパワー研究所
¹Graduate School of Science, Kobe University, ²Institute of Space and Astronautical Science, ³Institute of Pulsed Power Science, Kumamoto University

鉄隕石や M 型小惑星のいくつかは、分化した微惑星のコアや始原天体にできたメルトプールを起源としていると考えられる。鉄が分化してから鉄隕石が惑星間空間に衝突で放出されるまでの間、鉄質の天体は、質量や温度や衝突速度が異なる様々な衝突過程を経験したと考えられる。

本研究では、常温で、数 mm から数 cm の鉄隕石を弾丸もしくは標的とする衝突破壊実験を、衝突速度数 100 m/s から数 km/s の範囲で行った。一つの例外を除き、鉄隕石試料のほうが衝突対象試料より小さい条件で実験を行った。結果の比較のために、スチールの衝突破壊実験も行った。

鉄隕石試料やスチール試料の破片サイズ分布は、岩石のものとは異なり、その展延性のために細かい破片が少ないことが示された。また、最大破片質量割合は、弾丸の運動エネルギーを系の質量で割ったエネルギー密度だけでなく、試料のサイズにも依存することが示された。我々は、鉄隕石の動的強度が試料サイズに対してべき乗依存性を持つと仮定した。この動的強度を用いて初期発生圧力を規格化したところ、最大破片質量割合は、規格化された初期発生圧力の -2 乗に依存することが示された。さらに、鉄隕石試料やスチール試料の圧縮変形度合も、動的強度で規格化された初期発生圧力を用いて整理できることが示された。

本研究は宇宙科学研究所のスペースプラズマ共同利用と、熊本大学パルスパワー GCOE プログラムにより支援を受けました。

キーワード: 小天体, 鉄隕石, 衝突過程

Keywords: Small Bodies, Iron Meteorite, Impact Process

はやぶさ 2 探査天体 1999 JU3 のクレーター年代学モデルの構築と ONC による観測可能性

Cratering chronology models for the near-Earth asteroid 1999 JU3

安藤 滉祐^{1*}; 諸田 智克¹; 杉田 精司²; 本田 理恵³; 亀田 真吾⁴; 山田 学⁵; 本田 親寿⁶; 鈴木 秀彦⁴; 渡邊 誠一郎⁷
ANDO, Kosuke^{1*}; MOROTA, Tomokatsu¹; SUGITA, Seiji²; HONDA, Rie³; KAMEDA, Shingo⁴; YAMADA, Manabu⁵; HONDA, Chikatoshi⁶; SUZUKI, Hidehiko⁴; WATANABE, Sei-ichiro⁷

¹ 名古屋大学大学院環境学研究科, ² 東京大学大学院新領域創成科学研究科複雑理工学専攻, ³ 高知大学理学部応用理学科, ⁴ 立教大学理学部, ⁵ 千葉工業大学惑星探査研究センター, ⁶ 会津大学, ⁷ 名古屋大学大学院環境学研究科地球環境科学専攻
¹Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, ²Department of Complexity Science and Engineering, Graduate School of Frontier Science, The University, ³Department of Information Science, Kochi University, ⁴School of Science, Rikkyo University, ⁵Planetary Exploration Research Center, Chiba Institute of Technology, ⁶The University of Aizu, ⁷Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Nagoya University

2014 年打ち上げ予定の小惑星探査機「はやぶさ 2」は、C 型小惑星である「1999 JU3」を探査対象とし、そのサンプルリターンを大きな目的の一つとしている。微量、微小スケールのサンプルから太陽系スケールの情報を得るためにはマルチスケールの進化過程の理解が必要である。つまり、そのサンプルがどのような物質であり、1999 JU3 上ではどのように存在していたのか、そして 1999 JU3 が太陽系のどこで生まれ、どのような進化をたどってきたのか、を知る必要がある。1999 JU3 の進化過程を探る上で、その形成年代の理解は特に重要である。本研究は、はやぶさ 2 で得られるであろう 1999 JU3 の詳細画像データからクレーター年代学手法にもとづく年代決定を可能とするために、1999 JU3 表面におけるクレーター年代学関数（表面年代とクレーター数密度の関係）の構築を目的とする。また、得られたクレーター年代学関数に基づいて、工学航法カメラ（ONC）によるクレーター観測による年代決定精度の検証を行う。

高空隙ターゲットに形成されるキャビティ形状・衝突破壊のスケーリング解析 Scaling analysis of cavity morphology and disruption threshold for highly porous targets

岡本 尚也^{1*}; 中村 昭子¹; 長谷川 直²
OKAMOTO, Takaya^{1*}; NAKAMURA, Akiko¹; HASEGAWA, Sunao²

¹ 神戸大学大学院理学研究科, ² 宇宙科学研究所

¹Graduate School of Science, Kobe University, ²Institute of Space and Astronautical Science

小天体表面に衝突体が衝突してつくるクレーターの形状は、その天体の空隙率や密度、強度、そして衝突体の大きさ、密度、強度、速度によって変わることが考えられる。これまで<60%の大きな空隙率を持つターゲット（石膏、ガラスビーズ焼結体、雪）を用いた衝突実験が行われており、クレーターの深さや直径が調べられてきた。しかし、近年の探査計画や地上観測によりこれらの天体は非常に空隙率が高い(<86%)ものまでであることが分かってきた。それら小天体の形成期における衝突進化を理解するためにはさらに大きな空隙率を用いた実験が必要となってくる。我々はこれまでよりさらに高い空隙率を持つターゲットに形成されるキャビティ形状について調べた。そしてこれまでの研究データを合わせることで幅広い範囲の空隙率を持つターゲットにできるキャビティ形状について整理した。また、衝突進化史において重要となる衝突破壊強度と空隙率の関係についても整理した。

これまで我々は空隙率 80, 87, 94%を持つターゲットを作成し、衝突速度が毎秒数キロメートルの衝突実験を行ってきた(Okamoto et al., 2013)。弾丸にはチタン、アルミニウム、玄武岩、ステンレスを用いてきたが、これらに比べて低密度のナイロン弾丸も新たに用いた。トラックの形状は、弾丸破壊の程度が小さい場合は細長いニンジン型、破壊の程度が大きい場合は太短いカブ型が観察された。本発表ではこのカブ型のキャビティ形状について報告する。

カブ型のキャビティをクレーターとみなし、この最大径と入口径を従来の強度支配域のクレータースケーリング則を用いて整理したところ、キャビティの最大径と入口径は程よくスケーリングされ、半経験式をそれぞれ得た。衝突点から最大径までの距離は、弾丸の運動エネルギーが初期の運動エネルギーの $1/e$ となる特徴的長さと相関が見られた。特徴的長さは抵抗係数の関数となっており、抵抗係数は弾丸の破壊の程度に依存することから、弾丸の破壊が最大径までの距離に関与していることが示唆された。

成長中のキャビティの体積、最大径、深さと衝突からの時間との関係を調べた。横軸に(衝突速度) × (時間) / (弾丸半径) で表される規格化時間を、縦軸に(キャビティ体積) × (ターゲット密度) / (弾丸質量) のキャビティ規格化体積を用いて整理した(Schmidt and Housen., 1987)。成長中のキャビティの規格化体積は衝突速度の違いに依らず規格化時間に対してべき乗の関係が見られた。(ターゲット密度) / (弾丸密度) の比が大きい方がべき指数はわずかに大きな値をとった。一方、弾丸直径で規格化したキャビティ最大径と深さはどちらも形成初期段階では無次元時間とべき乗の関係が見られた。これらのべき指数は、規格化体積について得られたべき指数と矛盾しなかった。すなわち、キャビティは楕円体の一部として成長していることがわかった。

衝突破壊されたターゲットの質量が元の質量の半分になるときのエネルギー密度を衝突破壊強度という。衝突破壊強度は空隙率が大きいターゲットほど衝突破壊強度はやや大きくなる傾向になった。またターゲットの直径/高さの比が0.5のときよりも1.0の時の方が衝突破壊強度は大きくなった。本発表では、様々な先行研究の衝突破壊強度を無次元化して整理したものについて議論する。

キーワード: 衝突実験, 小天体, クレーター, カタストロフィック破壊

Keywords: impact experiment, small body, crater, catastrophic disruption

はやぶさ試料最大粒子のコンソーシアム研究 A consortium study of the largest particle of Hayabusa-returned samples

上梶 真之^{1*}; 唐牛 譲¹; 矢田 達¹; 石橋 之宏¹; 佐竹 渉²; 岡田 達明¹; 安部 正真¹
UESUGI, Masayuki^{1*}; KAROUJI, Yuzuru¹; YADA, Toru¹; ISHIBASHI, Yukihiro¹; SATAKE, Wataru²; OKADA, Tatsuaki¹
; ABE, Masanao¹

¹ 宇宙航空研究開発機構, ² 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

¹Japan Aerospace Exploration Agency, ²Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo

Hayabusa-returned samples retrieved by the Hayabusa spacecraft were already distributed and investigated in the preliminary examinations and international A/Os. Through the investigations, several insights have been obtained on the formation process of 25143 Itokawa and surface processes occurred on the asteroid, as well as the confirmation that the particles were certainly regolith particles from there [1-6].

There are several particles, however, which have not been distributed for those examinations because of their rare features appeared in the initial description done by extraterrestrial sample curation team (ESCuTe) of JAXA. Though those particles will provide us further information for Itokawa and evolution of the asteroid, the samples should be investigated as carefully as possible to reduce consumption and damage of the samples. RA-QD02-0136-01 is currently the largest sample of Hayabusa-returned samples recovered from the sample catcher. The major axis of the particle ra is around 310 μm , and weight of the particles is estimated around 20 μg , assuming the volume $V = 4/3\pi r_a r_b r_c \sim 4/3\pi/(2\sqrt{2})r_a^3$ and density of the particle as 3.4 g/cm^3 , where r_a , r_b and r_c are major axis, semi-major axis and minor axis, respectively. The RA-QD02-0136-01 is mainly composed of Ca-rich pyroxene, and also contains minor amount of low-Ca pyroxene, olivine, plagioclase and troilite. In order to maximize scientific gain from the Hayabusa-returned samples, we decided to investigate this particle by constructing a specific consortium for the analysis.

6 teams were joined the consortium, and following analyses were proposed.

M. Uesugi and A. Tsuchiyama : CT observation of 3D texture and surface observation

J. Park and Rutger team : Ar age analysis to determine the shock ages

K. Nishiizumi and K. Nagao : Analysis of cosmogenic nuclides to estimate the erosion rate of Itokawa

N. Kita and D. Nakashima : O-isotope analysis of high-Ca pyroxenes and plagioclases by SIMS

F. Langenhorst : TEM observation of the dislocations for estimating shock effect by small impacts

L. Keller : TEM observation of the space weathering rims

Currently, we prepare the sample cutting method, and evaluate effect of the cutting and sample transfer on the subsequent analysis. We will report the sequential flow of the analyses and results of the rehearsals.

References: [1] Nakamura et al. 2011. Science 333:1113-1116. [2] Yurimoto et al. 2011. Science 333:1116-1119. [3] Ebihara et al. 2011. Science 333:1119-1121. [4] Noguchi et al. (2011) Science 333:1121-1125. [5] Tsuchiyama et al. 2011. Science 333:1125-1128. [6] Nagao et al. 2011. Science 333:1128-1131.

塩を含むイトカワ粒子のコンソーシアム研究の現状 Present status of a consortium study of a NaCl bearing Itokawa particle

矢田 達^{1*}; 上相 真之¹; 唐牛 譲¹; 野口 高明²; 伊藤 元雄³; 石橋 之宏¹; 岡田 達明¹; 安部 正真¹
YADA, Toru^{1*}; UESUGI, Masayuki¹; KAROUJI, Yuzuru¹; NOGUCHI, Takaaki²; ITO, Motoo³; ISHIBASHI, Yukihiro¹; OKADA, Tatsuaki¹; ABE, Masanao¹

¹ 宇宙航空研究開発機構, ² 茨城大学理学部, ³ 海洋研究開発機構

¹Japan Aerospace Exploration Agency, ²Faculty of Science, Ibaraki University, ³Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

2010 年 6 月、小惑星探査機「はやぶさ」は S 型地球近傍小惑星イトカワより表層粒子試料を地球に帰還させた (Abe et al., 2011)。それ以降、JAXA キュレーションチーム (ESCuTe) では、「はやぶさ」のサンプルキャッチャーからの粒子の回収・記載を進め、現在の所、400 個超の粒子が初期記載済みとして公表されている (Yada et al., 2014)。この内、希少な特徴を持つ粒子については、複数の研究グループからのプロポーザルが重複し、配布が困難になることが予想される為、コンソーシアム研究の対象となっている。JAXA キュレーションチームがコンソーシアム研究を取り纏めて、広く研究者研究グループを募り、参加する研究者間で科学成果を最大化する為の分析準備及び分析のフローを議論の上決定し、そのフローに則って分析を進める。

このコンソーシアム研究の対象となっている粒子の一つに、塩を含むケイ酸塩鉱物粒子がある。この粒子 (RA-QD02-0129) は粒径 40 μ m で、主に斜長石の組成のケイ酸塩からなり、その表面に 3.75 μ m の自形の NaCl 粒子が存在している。今までに記載された 400 個超の「はやぶさ」帰還粒子の中で、塩を含むケイ酸塩粒子は、この粒子 1 個だけである。

惑星物質試料において、塩の存在は非常に希少かつ貴重である。普通コンドライト隕石では、今までに H コンドライトのモナハン、ザグ隕石からしか塩は見つかっていない。これらの隕石から見つかった塩は消滅核種のヨウ素 129 の痕跡が見つかっており、初期太陽系において H コンドライト母天体もしくは他の天体で形成され、両隕石に取り込まれたと考えられている (Zolensky et al., 1999; Whitby et al., 2000)。塩の形成には水が関わっており、塩が形成された母天体の起源について貴重な情報が得られると期待される。また塩と水の存在は有機物の物質進化とも密接に絡んでおり、生命の起源にも関連する興味深い研究対象である。

この粒子の研究でまず重要なのは、この粒子に含まれている塩の地球外起源を証明することである。地球外起源であることが示された場合、更にイトカワもしくは LL コンドライト母天体起源か、外来起源かを明らかにすることが重要となる。塩は非常に微小で、前述の隕石の塩で検出された、初期太陽系の年代を示す消滅核種ヨウ素 129 の娘核種キセノン 129 の検出は、現在の質量分析計の性能では難しい。現在の所、この微小な塩の地球外起源を証明することが出来る物質科学的証拠として考えられているのは、(1) 塩からの太陽フレアトラックの検出、(2) 塩表層からの太陽風ヘリウムの検出、(3) 塩表層の宇宙風化層の存在、である。(1)、(3) の為には塩の超薄切片の透過電子顕微鏡観察、(2) の為にはレーザーイオン化質量分析計による分析が必要である。分析計画としては、ヘリウムを人工的に打ち込んだ塩や、モナハン隕石の塩などの模擬試料によるリハーサル分析により検出観察手段を確立し、本番の試料の分析に望む予定である。

参考文献:

- Abe M. et al. (2011) LPS XLII, Abstract #1638.
- Whitby J. et al. (2000) Science 288, 1819.
- Yada T. et al. (2014) LPS XLV, Abstract #1759.
- Zolensky M. E. et al. (1999) Science 285, 1377.

キーワード: イトカワ, 小惑星, 塩, コンソーシアム

Keywords: Itokawa, asteroid, NaCl, consortium

アグリゲートタイプイトカワ粒子の3次元構造について Three-dimensional structures of aggregate-type Itokawa particles

矢田 達^{1*}; 上相 真之¹; 唐牛 譲¹; 上杉 健太郎³; 土山 明²; 石橋 之宏¹; 岡田 達明¹; 安部 正真¹
YADA, Toru^{1*}; UESUGI, Masayuki¹; KAROUJI, Yuzuru¹; UESUGI, Kentaro³; TSUCHIYAMA, Akira²; ISHIBASHI, Yukihiro¹; OKADA, Tatsuaki¹; ABE, Masanao¹

¹ 宇宙航空研究開発機構, ² 京都大学大学院理学研究科, ³ 高輝度光科学研究センター

¹Japan Aerospace Exploration Agency, ²Graduate school of science, Kyoto University, ³Japan Synchrotron Radiation Research Institute

微小天体表層においては、衝突やそれに起因した振動による破碎摩耗などにより生じたレゴリス粒子が存在している。その形成過程成因を探ることで、微小天体や、その前駆天体の物理化学的環境を知ることが出来ると考えられる。

小惑星探査機「はやぶさ」は2010年6月、S型の地球近傍小惑星イトカワから表層の試料を地球に帰還させた(Abe et al., 2011)。この微小天体表層のレゴリス粒子の中でも微小な構成粒子の集合体(アグリゲート)タイプの粒子について、その3次元構造を明らかにし、最終的に微小構成粒子の3次元配置とその形成過程を解明することにより、その粒子の形成環境を明らかにするのが本研究の目的である。

本研究では、初期記載された400個超のはやぶさ帰還粒子の内、JAXAの配分枠の中から選ばれた5つのアグリゲートタイプイトカワ粒子(粒径55-128 μm)について、まず放射光CTの手法を用いて3次元構造解析を行った。脆い構造のアグリゲート粒子の放射光CTを行う為に、微小な逆ピラミッド形状の窒化ケイ素膜から成る試料ホルダーの内部に粒子を設置した。これをSPring-8のBL47XUにおいて7keV、8keVの2種のエネルギーの放射光を照射し、得られた透過X線像を元に計算機により3次元内部構造を再構成する。それぞれのエネルギーによる鉱物のX線吸収係数の差から鉱物種を識別する事が可能となる(Tsuchiyama et al., 2013)。

現在、取得データの計算機による解析中である。今後はこのデータを元に微小構成粒子の3次元配置を明らかにし、その形成過程について考察を行う予定である。また、微小粒子間の微細構造を明らかにする為に、それら粒子の一部について、集束イオンビーム加工装置により超薄切片を作成し、透過顕微鏡観察を行う予定である。

参考文献:

Abe M. et al. (2011) LPS XLII, Abstract #1638.

Tsuchiyama et al. (2013) GCA 116, 5.

キーワード: イトカワ, 小惑星, アグリゲート, 3次元構造, 放射光CT

Keywords: Itokawa, asteroid, aggregate, three-dimensional structure, synchrotron CT

硫化鉄およびリン酸塩鉱物を含むはやぶさ帰還試料のコンソーシアム研究 Consortium Study of Troilite and Phosphate-bearing HAYABUSA Returned Samples

唐牛 譲^{1*}; 上相 真之¹; 矢田 達¹; 石橋 之宏¹; 佐竹 渉²; 岡田 達明¹; 安部 正真¹
KAROUJI, Yuzuru^{1*}; UESUGI, Masayuki¹; YADA, Toru¹; ISHIBASHI, Yukihiro¹; SATAKE, Wataru²; OKADA, Tatsuaki¹
; ABE, Masanao¹

¹ 宇宙航空研究開発機構, ² 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

¹Japan Aerospace Exploration Agency, ²Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo

HAYABUSA returned samples have been shown as Itokawa origin by the preliminary examinations (e.g. Nakamura et al., 2011). Furthermore, international AO study has begun last year, and a formation process of asteroid Itokawa is becoming revealed.

HAYABUSA returned samples are described initially by JAXA Extraterrestrial Sample Curation Team (ESCuTe), and a sample catalogue is prepared based on the data of initial description (e.g. Yada et al., 2014). More than 400 returned samples were described so far. These described samples are classified into four categories. A number of samples of each category to be distributed for international AO are decided based on the sample catalogue. But it is difficult to distribute such samples with rare characteristics in composition, mineralogy, structure, or size, although those samples should maintain scientifically important information.

Therefore, in JAXA, ESCuTe started to organize the consortium studies in order to obtain the scientific information as many as possible from these samples (e.g. Yada et al., 2014; Uesugi et al., 2014). In this paper, we report the research plan for the particles mainly composed of FeS and which contain phosphate minerals.

RA-QD02-0245 composed mainly of FeS (40 micron) with smaller attached olivine and pyroxene grains. This particle was analyzed by X-ray CT at SPring-8 for 3D texture without atmosphere. Two ultra-thin section will be made from the edge of this particle by FIB. The ultra-thin sections will be examined by TEM in detail for space-weathering effect on FeS surface. The main mass of this particle will be analyzed for chemical composition. Especially, the siderophile element composition gives us information on the formation process of Itokawa parent body.

Some particles including phosphate mineral were found by the initial description. Because Ca-phosphate tends to be enriched in incompatible elements such as REEs, Th and U, we propose the investigation of U-Pb systematics using Nano-SIMS in order to study the history recorded in the phosphates. We will perform the U-Pb dating of the phosphates as many as possible and aim to understand the thermal history of Itokawa parent body such as crystallization age and the catastrophic collision if recorded.

Keywords: HAYABUSA, Itokawa, troilite, phosphate, siderophile element, U-Pb dating

U06-P17

会場:3 階ポスター会場

時間:4 月 28 日 18:15-19:30

Bundler と PMVS2 を用いた Structure-from-Motion 法による小惑星形状推定手法 Asteroid Shape Reconstruction by Structure-from-Motion Method with Bundler and PMVS2

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

HIRATA, Naru^{1*}; MORI, Yohei¹; 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。はやぶさ探査機が取得した、小惑星イトカワの画像を入力として、前記ツールによる形状復元を行い、既存の形状モデルと比較することで精度、解像度などを評価した。Bundler と PMVS2 による形状復元は、迅速な処理が特徴であり、精度、解像度の点でも運用初期に必要な条件を満たしている。より高解像度な形状モデルは shape-from-shading や照度差ステレオなどの他の手法によって構築する必要がある。

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

U06-P18

会場:3 階ポスター会場

時間:4 月 28 日 18:15-19:30

異なる空間分解能惑星画像間の対応点探索

Feature matching in planetary images with multiple spatial resolutions by using SIFT algorithm

小玉 洋之¹; 本田 親寿^{1*}

KODAMA, Hiroyuki¹; HONDA, Chikatoshi^{1*}

¹ 会津大学

¹The University of Aizu

This study uses feature matching in planetary images with multiple spatial resolution. To know where lower altitude images are taken in high altitude images is performed based on images without the position and attitude of spacecraft in this study. The lower altitude images of AMICA on-board the Hayabusa spacecraft, asteroid probe are found as a correspondence of image features (keypoint) in higher altitude images. We adopted the Scale Invariant Features Transform (SIFT) to represent a kind of key-point of image for image feature matching. In generally, the SIFT keypoint is robust to scale transition, change of lighting condition, parallel displacement, and rotation of image, so this keypoint is suitable to feature matching of planetary image which contains of scale and rotation between different images. As a result, for the improvement of accuracy of feature matching, it is important to have a preprocessing of image (e.g., equalizing).

キーワード: 惑星画像, SIFT, 対応点探索, AMICA

Keywords: planetary image, SIFT, feature matching, AMICA

フォボスのグループ：3次元マッピングと統計解析を通じた形成過程の推察 Grooves on Phobos: Spatial distributions and their implications to the formational mechanism

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は主星に最も近接した衛星である。近年ではフォボスは地球の衛星である月とは全く異なる起源が提案されている [1] が、このような距離で衛星が存在するために起源や進化を考えることは、一般に衛星を理解する上で重要である。またこの近さゆえ、主星と衛星の影響を調べる上でも最も適した天体であると考えられる。現時点で約 3000 枚の高解像度画像が蓄積されており、フォボスは最も多くの情報が取得されている小天体となった。

フォボスの表層で見られる顕著な特徴のひとつとして、グループと呼ばれる直線状の溝のような構造が挙げられる。不思議なことに火星のもう一つの衛星であるダイモスは、サイズ、スペクトル、軌道パラメータで類似した特徴をもっているにも関わらずグループは全く見られない。またグループは他の多くの小天体にも見られる地形であるが、定義すら曖昧で成因はよくわかっていない。そのため最も多くの情報が得られているフォボスを例にグループの形成過程を明らかにすれば、小天体全体の表層進化過程の理解にも大きく貢献するものと考えられる。

フォボスのグループの形成仮説として、詳細な 2 次元射影図上でマッピングすることで、火星の衝突で生じたイジェクタが二次衝突としてフォボスに衝突し、グループが形成したとする仮説が最も調和的であると示された [2]。しかしながらこの仮説ではイジェクタが直線状に並ばないことや北半球にグループが形成されにくいことがシミュレーションにより示された [3]。そのためグループの調和的な形成仮説は未だ存在しない。グループの形態的特徴を知る際、2 次元データの解析は主流で便利であるが、反面グループの情報が特に極付近で歪んでしまうので、定量的な議論をするためにも新しい手法が求められる。

そこで我々は高解像度画像を丁寧に分析することで、488 本のグループの位置や長さを確認し、これらをフォボスの 3 次元数値形状モデル上に投影した。その結果、すべてのグループが、たとえ一見複雑な形状にみえるグループであっても、それぞれ実際は 1 つの平面上に存在していることを見出した。定量的な解析が可能になったことで、グループは主に 3 種類 (A,B,C 型) に分類できることがわかった。

A,C 型グループの存在する平面を解析したところ、この平面は黄道面と平行な面と比較的一致することがわかった。他方で黄道面から棒状に連なる小破片がフォボスに衝突したならば、衝突確率は理論的に火星の赤道面から離れたところで最も高いことが示される。この理論値と観測値の分布を比較したとき、類似した傾向があることがわかった。さらに、衝突頻度を考慮し、グループの形態を 3 次元モデルでシミュレートしたときも、観測事実と調和的な結果が得られた。以上の同値関係から A,C 型グループは黄道面から小破片が衝突したことで形成されたと考えた仮説が最も調和的であると我々は結論付けた。

小破片が直線状に並んでいなければグループとして認識されない。潮汐力により天体が破壊され、棒状に引き延ばされる現象は 1994 年に観測されたシューメーカー・リビー第 9 彗星が観測されており、我々は火星でもこのような現象が起きていると考え、数値シミュレーションを用いて検証をした。結果、適切なパラメータを与えれば小破片の軌道とフォボスが交差するときに小破片が棒状に引き延ばされることを確認できた。さらにこれがダイモスの軌道と交差ときには、小破片が拡散してしまい、直線とは認識されない結果を得ることができた。これはグループがフォボスにあってダイモスにはない説明の一つになりえると考えられる。

一方観測事実から B 型グループについては、A,C 型と比べて密で細く pit chain が少ないことが確認されており、さらに我々が解析したところ、衝突方向がフォボスの進行方向と一致すること、ほとんどの B 型は北半球にしかない特徴があることが判明した。このことから我々は様々な仮説を検討、検証し、少なくとも 2 つの仮説がそれを満足するものであると考えた。そのうちの一つは火星にかつて環が存在したことで説明できる可能性を示唆し、同時にこのアイデアはフォボスの捕獲説を補完する説明にも繋がることを見出した。我々の仮説はフォボスのグループを調和的に説明できるばかりでなく、地質学的な観点から天体が捕獲されることを初めて示唆する重要な証拠になると考えられる。

本講演では、フォボスのグループが特徴的な形態をしているのは、フォボスが最も主星に近い天体であったためであり、フォボス特有の性質であることを説明する。

参考文献

- [1]Craddock, R.A., 2011. Icarus, 211, 1150-1161
- [2]Murray, J.B., Iliffe, J.C., 2011. Geomorphology. Geol. Soc. Spec. Publ., London, pp.21-41
- [3]Ramsay, K.R., James, W. H., 2013. Planetary and Space Science, 69-95

U06-P19

会場:3 階ポスター会場

時間:4 月 28 日 18:15-19:30

キーワード: フォボス, グループ, 火星, 潮汐破壊, 衝突
Keywords: Phobos, groove, Mars, tidal-disruption, impact

探査候補となる地球近傍小惑星の可視分光観測 Visible wavelength spectroscopy of sub-km-sized Near-Earth Asteroids with low delta-v

黒田 大介^{1*}; 石黒 正晃²; 高遠 徳尚³; 長谷川 直⁴; 安部 正真⁴; 津田 雄一⁴; 杉田 精司⁵; 白井 文彦⁶; 服部 亮³; 岩田 生³; 今西 昌俊³; 寺田 宏³; Choi Young-Jun⁷; 渡邊 誠一郎⁸; 吉川 真⁴
KURODA, Daisuke^{1*}; ISHIGURO, Masateru²; TAKATO, Naruhisa³; HASEGAWA, Sunao⁴; ABE, Masanao⁴; TSUDA, Yuichi⁴; SUGITA, Seiji⁵; USUI, Fumihiko⁶; HATTORI, Takashi³; IWATA, Ikuru³; IMANISHI, Masatoshi³; TERADA, Hiroshi³; CHOI, Young-jun⁷; WATANABE, Sei-ichiro⁸; YOSHIKAWA, Makoto⁴

¹ 国立天文台 岡山天体物理観測所, ² ソウル大学物理天文学科, ³ 国立天文台ハワイ観測所, ⁴ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, ⁵ 東京大学新領域創成科学研究科, ⁶ 東京大学大学院理学系研究科, ⁷ 韓国天文宇宙科学研究院, ⁸ 名古屋大学大学院環境学研究科

¹Okayama Astrophysical Observatory, National Astronomical Observatory of Japan, ²Department of Physics and Astronomy, Seoul National University, ³Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan, ⁴Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, ⁵Graduate School of Frontier Science, The University of Tokyo, ⁶Graduate School of Science, The University of Tokyo, ⁷Korea Astronomy and Space Science Institute, ⁸Graduate School of Science, Nagoya University

We present a unique data set of the taxonomic type of near-Earth asteroids (NEAs) accessible with available spacecraft.

The research on NEAs has entered a new phase thanks to sample-return space explorations together with state-of-the-art large ground-based telescopes. We made observations of twelve asteroids with Subaru, GEMINI-North, GEMINI-South and Okayama 188cm telescopes. They have low delta-v orbits with potential to be investigated by manned/unmanned spacecraft. Also, ten sub-km-sized bodies are included in them, and are one of remarkable characteristics in terms of an evolutionary scenario.

We find that eleven asteroids are classified as S-complex and one asteroid as V-type. Most S-complex asteroids (eight out of eleven, ~70%) have spectra similar to subgroups of Q or Sq-type, suggesting that these objects are less matured against space weathering.

In this presentation, we show their spectra and discuss dominance of S-complex asteroids based on the previous research.

キーワード: 小惑星, 可視分光観測, スペクトル分類

Keywords: asteroid, visible spectroscopy, taxonomic classification

太陽系小天体の発見観測と位置観測に特化した可視広帯域フィルターの開発と性能評価

Development of a wide-band optical filter optimized for deep imaging of small solar-system bodies

奥村 真一郎^{1*}; 西山 広太¹; 浦川 聖太郎¹; 坂本 強¹; 高橋 典嗣¹; 吉川 真²

OKUMURA, Shin-ichiro^{1*}; NISHIYAMA, Kota¹; URAKAWA, Seitaro¹; SAKAMOTO, Tsuyoshi¹; TAKAHASHI, Noritsugu¹; YOSHIKAWA, Makoto²

¹ 日本スペースガード協会, ² 宇宙航空研究開発機構

¹Japan Spaceguard Association, ²JAXA

太陽系小天体のように太陽光を反射して光る天体の発見観測、位置測定観測に特化した可視広帯域フィルターを設計、製作し評価を行った。「Wi」フィルターと名付けた新設計のフィルターは市街光、特に水銀やナトリウムの輝線の影響を減らす設計となっている。(1) 人工光の多くはVバンド帯の波長に集中していること、(2) 太陽光スペクトルの「フォトン数」のピークは6350Åにあること、(3) 多くの小惑星は可視光の波長範囲において7000Å前後に反射率のピークがある事、を理由に新フィルターのカットオン波長はSchottのガラスフィルター「OG590」を使用することにより5880Åに設定した。一方、カットオフ波長はOH夜光の影響、9400Åにある水蒸気の吸収帯を考慮して9400Åとし、これは干渉膜により仕様を満たす。

これまで使用していた、市販品の波長カットフィルター(Wフィルター、4900-9100Å)を使用する場合と比べ、Wiフィルターにより空の明るさは人工光の影響の場合のみならず月明かりの散乱光に対しても10-20%減らすことが出来た。小惑星観測時において、Wフィルターと比べてWiフィルターは透過波長範囲を16%狭くしているにもかかわらずWiフィルターの使用により小惑星の出力フラックス値は3%増えた。結果、Wiフィルターの使用により小惑星観測時の信号対雑音比を平均で6%向上させることができた。完全空乏型CCDのように長波長側で感度の高いCCDを使用する場合にはさらに大きな改善が見られると思われる。

参考:

Wide-Band Optical Filter Optimized for Deep Imaging of Small Solar-System Bodies,
Okumura *et al.* Publications of the Astronomical Society of Japan, **64**, 47 (2012)

キーワード: 可視, 太陽系小天体, 光害, 広帯域フィルター

Keywords: optical, small solar system body, light pollution, wide-band filter

U06-P22

会場:3 階ポスター会場

時間:4 月 28 日 18:15-19:30

ほうおう座流星群の出現予報 Prediction of Phoeicid in 2014

首藤 宙伸¹; 佐藤 勲^{2*}
SHUTO, Hironobu¹; SATO, Isao^{2*}

¹ 日本大学, ² 日本天文学会
¹Nihon Univ., ²Astronomical Society of Japan

1956 年に大出現したほうおう座流星群は、ブランパン彗星 (289P/Blanpain) を母天体とする流星群で、2014 年に出現する可能性がある。ブランパン彗星は、1819 年に彗星として発見されて以来、長く見失われており、1819 年にバーストを起こした可能性が考えられる。このため、1956 年の大出現は、1819 年のダストトレールの接近によるものである可能性が考えられ、今年の大出現の可能性についても、この観点から検討が進められている。また、ブランパン彗星の平均公転周期は 5.27 年で、木星と 9:4 の共鳴関係にあり、95 年周期がある。従って次回は、2051 年に大出現することが予想されている。

キーワード: 流星
Keywords: Meteors

小惑星天体を形成する多状態混合固化物質 Solidified and mixed materials on Asteroid body

三浦 保範^{1*}
MIURA, Yasunori^{1*}

¹ 国内外大学
¹In & Out University

本研究は次のようにまとめられる。

- 1) 小惑星の研究は、地球内外天体の創成期物質のでき方に貴重な情報を提供してくれる。
- 2) 小惑星の表層物質は地球の固体岩石鉱物の集積で考えられているが、地球の鉱物結晶と同じ物質同定法を使うのでわかりにくい。しかし小惑星物質は多状態を混合した非晶質を含む固化物質である。
- 3) 小惑星天体は、衝突溶融形成により非球形表面で形成されているのは、微粒子衝突で不均質不規則分布から推察できる。
- 4) 小惑星の多状態含有固体物質の内部分布と保存などにより、衝突孔内部に流体質の特徴が観察される可能性がある。
- 5) 小惑星起源隕石が地球岩石と形成が異なることがイオン衝撃実験でわかる。地球の多層に分かれる結晶質岩石（マグマ溶融）物質は、かたいケイ酸塩構造が形成されているので、最初にイオン衝撃で発生するのはアルカリイオン (Na,K,Ca) が多い。小惑星表面の岩石は、衝突熱の形成のため、イオン衝撃で脆弱なケイ酸 (Si,Al) が破壊されやすく高い発生になることが多い。
- 6) 地球の衝突岩石は、原岩のケイ酸構造がかたいので地球の深成岩と同じイオン衝撃の形式を示すことが多い。主な差異はマクロな破碎組織でなく、高温からの急冷か徐冷による原子結合の軟弱か均質強化の違いである。
- 7) 小惑星の岩石は無大気・無水天体であるので、直接に衝撃形成された多状態含有固体相と衝突しながら多状態が媒体となって粒子が増大する、「衝突進化物質」を示す。
- 8) 地球創成期は小惑星と同じ衝突形成で不規則表面が地球に残存している。内部の軽元素流体が大量に放出し（巨大衝突）、大気から凝固した海水層を形成する三状態圏の循環層を示すのでマクロ生命体が発生している。小惑星には三状態循環圏が全体でないで、局所的な状態変化によるマイクロ疑似物質が高解像度電子顕微鏡でその場観察または地球への持ち帰り試料観察される。
- 9) 小惑星の多状態含有固体物質は液体・気体分子が固結時に非晶質化した固体で、容易に人工的衝撃で離脱して固化部分を異常に強調した物質を観察することになるので、現地でのその場の衝撃試料回収は避けるべきである。

キーワード: 小惑星, 固化集合体, 非晶質固化, 流体, イオン衝撃実験, ミクロ疑似体物質

Keywords: Asteroids, solid aggregates, amorphous materials, fluid, ion bombardment run, micro quasi life-like materials

マルチインパクト仮説による月と地球の起源 The Origin of The Moon and The Earth in Multi-Impact Hypothesis

種子 彰^{1*}
TANEKO, Akira^{1*}

¹SEED SCIENCE Lab.

¹SEED SCIENCE Lab.

マルチインパクト仮説による月と地球の起源

これは、地球と月の起源への新仮説、下記疑問と解釈への統一的な解決策の提案です。

- (1). 何故、地球では五度以上もの生物大絶滅が起きたのか?
- (2). 隕石には、未分化コンドライトと分化石質エコンドライト・鉄隕石が何故混在するか?
- (3). 何故、小惑星帯では惑星に成れなかった(旧説)のか? イトカワは分化した破片では?
- (4). 巨大惑星衝突説の問題点を解決する、月と深海底のオリジナル起源説を提案。
- (5). 何故、原始惑星セラが破壊したのか? = 木星摂動による軌道変形と潮汐力による悲劇。
- (6). 木星摂動によるセラ軌道の偏平率の増加と木星接近による潮汐力による破壊。
- (7). プレートテクトニクスの Plate 境界形成と、地殻の無い深海底形成の起源を提案。
- (8). 大陸移動と深海底更新の起源と、駆動力の謎を解明。
- (9). 何故、ダイヤモンドパイプが南アフリカに形成されたのか?
- (10). 何故、コア偏芯(約一割)が起きているのか? = ブラジル上空バンアレン帯の異常
- (11). 木星大赤斑の起源の新仮説、その何故と如何にを考える。
- (12). 何故、外惑星の冥王星(今は小惑星)がシリケイト星であるのか?

今までのジャイアントインパクト仮説は、月を作る為だけの理論である。

地球への火星サイズコア有り原始惑星が地球への偶然衝突の結果であり、

更に月がマントルだけ形成される条件を計算しているだけである。これはオリジナルな衝突仮説です。

原始惑星セラがボーデ法則のセレス位置に誕生した。分化した惑星セラは、木星摂動により楕円軌道が偏平化した。

エネルギー保存の為に長軸は一定である。セラの偏心率は増加し、太陽を焦点とするその軌道は木星近点側に伸びて接近する。

セラは木星と衝突する直前に、木星の潮汐力で断裂した。そのマントル破片が地球に衝突することにより、月が形成された。

セラが地球への衝突した位置が太平洋になり、プレート境界亀裂の起源となった。

更に時間差攻撃のマルチインパクトで複数の深海底も形成された。慣性モーメントの偏芯は大陸移動説や海底更新説の駆動力と推定される。

エネルギーが大きいマントル破片は冥王星になり、重く高密度なコアリッチ破片は内惑星側に飛散して水星になった。

セラの破片が木星へ衝突して、それが木星の大赤斑の起源となったことを私は推定した。

分化している鉄隕石・石鉄隕石・石質隕石と、未分化なコンドライトとが混在している事。

セレスが小惑星帯に存在するという事実は、隕石の起源はこの仮説によりすなおに納得できる。

マルチインパクト説は度重なる生物大絶滅の根拠となり、海が 70 % を占める理由でもあり、プレート境界亀裂の起源も理解できた。

この様にマルチインパクト仮説は、月を作るだけでなく地球の現状も統一的に説明できる。

もし小惑星イトカワがセラ地殻の集合?等が確認できれば、本仮説の証明にもなると思われる。

キーワード: セラ潮汐破壊, 木星の摂動, セラの軌道変遷, 公転面の一致, フィーデングゾーン (集積範囲), 深海底の起源
Keywords: Serra tidal disruption, Perturbation of Jupiter, Orbit transition of Serra, Match of the planets revolving surface, Feedengue zone (integrated range), Origin of Deep Sea Bottom

U06-P24

会場:3 階ポスター会場

時間:4 月 28 日 18:15-19:30

