

太陽系小天体名の発音調査 Pronunciations of the names of the minor solar system bodies

佐藤 勲^{1*}
Isao Sato^{1*}

¹ 宇宙用語研究会
¹JANNET

過去 20 年にわたる調査の結果、これまでに出現した彗星名の発音調査が完了した。その結果、「ハレー彗星」、「ハートレイ彗星」、「シューメーカー・レビー彗星」などは正しくなく、「ハリー彗星」、「ハートリー彗星」、「シューメーカー・リビー彗星」が正しいことがわかった。小惑星と衛星の名前についても調査が進んでおり、ラテン語読みで「キロン」、「ティタン」、「エンケラドゥス」、「ヒペリオン」などと表記すべきものが、英語読みで「カイロン」、「タイタン」、「エンセラダス」、「ハイペリオン」などと表記されているものが多い実態が明らかとなっている。このような混乱が引き起こされているのは、大学研究者がサイエンスばかりを重視して、用語についてまじめに議論してこなかったことが原因である。

キーワード: 太陽系小天体, 発音

Keywords: minor solar system bodies, pronunciation



ソーラー電力セイル小型実証機搭載 PVDF ダストセンサにおける固体微粒子衝突の校正実験

Ground calibration impact experiments on arrayed large-area dust detector for interplanetary space onboard IKAROS

岡本 千里^{1*}, 矢野 創¹, 田中 真², 平井 隆之³, 長谷川 直¹, 田端 誠¹, 尾川 順子¹, 岩井 岳夫⁴, 奥平 恭子⁵

Chisato Okamoto^{1*}, YANO, Hajime¹, TANAKA, Makoto², HIRAI, Takayuki³, HASEGAWA, Sunao¹, TABATA, Makoto¹, OGAWA, Junko¹, IWAI, Takeo⁴, OKUDAIRA, Kyoko⁵

¹ 宇宙航空研究開発機構, ² 東海大学, ³ 総合研究大学院大学, ⁴ 東京大学, ⁵ 会津大学

¹Japan Aerospace Exploration Agency, ²Tokai University, ³The Graduate University for Advanced Studies, ⁴Tokyo University,

⁵The University of Aizu

半世紀にわたり太陽系探査が行われてきたが、太陽に近いために地上光学観測が困難であること、さらに探査機による直接観測・検出の機会が十分得られてこなかったために、今なお内惑星系太陽系ダストの分布モデルは不十分である。そこで、ソーラー電力セイル小型実証機「IKAROS」に搭載されたダストセンサである ALADDIN は、センサへの宇宙塵衝突の連続計測から、内惑星領域の太陽系ダストの分布を解明することを目的とし、ミッション期間の大部分を深宇宙空間のクルージングに費やす探査機に搭載された。2010年5月の打ち上げ以降、ALADDIN によって、地球公転軌道から金星近傍までのダスト連続計測が行われ、内惑星領域の太陽系ダストの分布の計測が行われている。ダストセンサは、PVDF(ポリフッ化ビニルデン)を使った軽量・薄型・大面積の計測器 (ALDN-S) であり、総面積 200 m² のセイル膜面上の一部 (0.3%) に搭載された。さらにそれらのセンサからの衝突信号をまとめて処理する電子回路部 (ALDN-E) をフレキシブルケーブルでつなぎ、その処理後信号を通信部に送るという構成である。ALADDIN の技術開発目的は、将来の外惑星探査ミッションに活用する予定の大面積ダスト検出器の深宇宙での実証および、1~0.7 AU におけるクルージング期間で、過去実績よりも同一観測期間内で一桁以上多いダスト衝突を検出し、大型ダストのフラックス精度、時間・空間分解能を向上させ、内惑星領域における、ダスト分布の日心距離依存性を評価することである。

ALADDIN が出す実宇宙計測データを評価するために、様々な質量と速度におけるダスト衝突について、IKAROS に搭載されたセンサの同等品 (フライトスペア) を用いた校正衝突実験が必要である。そこで、本研究では、様々な衝突条件における固体微粒子衝突をフライトモデルと同一品である PVDF センサに行い、衝突によるセンサ検出強度・感度を調べた。衝突実験では、ALDN-S の二種の PVDF センサ (500mm x 250mm x 20 ミクロン厚と 100mm x 80mm x 9 ミクロン厚) のフライトスペアを標的として、JAXA に設置された 2 段式軽ガス銃を用いて、直径 100~330 ミクロンのガラスビーズおよび金属球 (アルミ, SUS, タングステン) のショットガンないしシングルショットの超高速衝突実験を行った。PVDF センサは IKAROS の膜面上と同様に 8CH 搭載されている状態を模擬するため、衝突が起こる標的用センサの他にもダミーセンサ 7 枚を同条件で真空チャンバ内に配置した。衝突速度範囲は 3.6 - 6.6 km/s、衝突角度は正面衝突とし、真空度は 30Pa 以下とする。計測にはフライトモデルと同一ロットの回路部品から制作された ALDN-S フライトスペアを用いた。本スペアを使用することで、宇宙機に搭載されたセンサとの詳細な比較を行うことができる。実験コンフィギュレーションとして、PVDF センサの信号線を真空導入端子を介し、真空チャンバの外に出して、衝突で発生する微小電荷を内部アンプで増幅、電圧値へ変換したのち、衝突時刻、衝突信号強度ピーク値、信号減衰時間を記録した。衝突によるダスト信号のパルス幅は 10 μ s~30 μ s、発生電位 V は数 V であった。実験ではダスト衝突の PVDF 上での衝突位置に対する依存性は見られなかった。さらに、これらの衝突実験後の PVDF の性能評価を行うため、センサ上のクレータ観察を行ったところ、衝突による PVDF センサの機能消失は起こっていないことが分かった。具体的には、センサ両面の導通によるセンサ機能の消失が起こるかを検証したところ、今回行った実験すべてで衝突前後ともに PVDF センサの静電容量はほぼ変化しないことを確認した。つまり、より小さなダストが卓越している宇宙空間でも、ダスト衝突によるセンサ機能の消失が起こる可能性が低いと考えられた。

土星系における小型衛星表層の地質学的特徴と表層進化 Geological features and surface processes on saturnian small satellites

平田 直之^{1*}, 宮本 英昭¹

Naoyuki Hirata^{1*}, Hideaki Miyamoto¹

¹ 東京大学総合研究博物館

¹The University Museum, The University of Tokyo

巨大ガス惑星を回る小型衛星は、微小重力、限られた熱的変成、氷を主成分としているという点で小惑星や彗星とよく似た環境にあるといえ、小天体研究において興味深い対象になると考えられる。同時に小型衛星は、大規模衝突、周囲の環や大型衛星との複雑な相互作用を受けており、巨大ガス惑星の周惑星円盤、衛星や環の形成過程やその後の進化にとって重要な鍵を握っていると見られる。2004年以降、カッシーニ探査機によって土星系の小型衛星の高解像度画像が続々と得られている。我々はこれら小型衛星の解析と調査を行っており、その特色ある表層進化を明らかにしつつけている。この発表では、パン (Pan)、ダフニス (Daphnis)、アトラス (Atlas)、ヤヌス (Janus)、エピメテウス (Epimetheus)、メトネ (Methone)、パレネ (Pallene)、テレスト (Telesto)、カリプソ (Calypso)、ヘレネ (Helene) についての我々の最新の報告を行う。

パン、ダフニス、アトラスは主要環の外縁部に位置し、もっとも土星に近い軌道をもつ衛星群である。形状は円盤型にちかく、環粒子を集積して形成されたと考えられている。表層は極めて滑らかで、一般的な小天体に見られるようなクレーターや溝状構造等の特徴は一切見られない。我々は詳細な画像解析の結果、従来存在しないと考えられていた衛星表層にクレーターが存在することを発見した。さらに衛星表層の静電的性質を調査した結果、衛星表層が常に帯電しており表層の微粒子が運動しつづける可能性があることが分かった。これらの力によって衛星表層が更新され続けている可能性が高いことを明らかにした。

ヘレネは、ディオネと軌道を共有している小型衛星であり、E環の外縁部に位置している。この小型衛星は先行半球と後行半球で全く異なる表層を持つことを発見した。衛星の後行半球はクレーターで飽和している一方で、先行半球側はクレーターが著しく乏しい。また先行半球側は奇妙な筋状構造を多数もつことも分かった。調査の結果、クレーターが乏しい領域と筋が存在する領域はほぼ一致していることがわかった。さらに重力解析の結果、筋状構造は重力方向と一致していること、筋は7度~20度程度の急勾配斜面にしか存在しないことを明らかにした。このためこれら筋状構造は地すべりによって生じたものであることが明らかになった。さらにクレーターの欠乏や地すべりの存在はエンセラダスの放出物の堆積によって説明できることも明らかになった。ヘレネに近い軌道をもつテレスト、カリプソ、メトネ、パレネも同様にエンセラダスの放出物による汚染を受けており、それらの効果によって衛星表層が大きな影響を受けていることを明らかにした。これらの堆積物からエンセラダスの火山活動は極めて短命である可能性が高いということも明らかになった。

ヤヌス、エピメテウスはミマスよりもやや内側に位置する小型衛星である。これらの衛星は軌道を共有しており、定期的に軌道が入れ替わる。表面はクレーターで飽和しており、これらの衛星はかなり古い表面をもつことがわかった。調査の結果、ヤヌスとエピメテウスの表面には明るい領域と暗い領域が存在することが分かった。暗い領域は (i) 低地に存在しており、(ii) その表面は平たく、(iii) 周囲よりも暗く、(iv) 明るい領域との境界は明瞭に分かれており、これらの特徴から池のような姿をしている。暗い領域は明るい領域の中に点在して存在しており、明るい基盤岩の上に暗い物質が堆積することによって生じたものと考えられる。位置を調べた結果、ヤヌスのものは Far side の低緯度に多く存在することがわかった。またエピメテウスのものは南極側や先行半球側に多く存在することがわかった。これらの地域性は、ヤヌスとエピメテウスと軌道を共有している希薄な環との衝突によって説明できることがわかった。おそらく環を介して衛星間で微粒子を交換していると考えられる。天体間でレゴリスを共有し、交換しあっている天体が発見されるのは初めてである。また、スペクトルや形態的な調査の結果、これら暗い物質が土星系の多くの衛星にみられる暗色物質 (ダークマテリアル) である可能性が高いことも明らかになった。この発見は暗色物質による汚染が系最内部にまで至る広域的なものであることを意味していると考えられる。

キーワード: 土星系, 小型衛星, 環, 地質学特徴

Keywords: Saturn system, small satellite, ring, geological feature

低密度弾丸による空隙を持つ表面への強度支配域クレーター形成の模擬実験 Cratering experiments of porous surface in strength regime using low density impactors

原田 竣也^{1*}, 岡本 尚也¹, 青木 隆修¹, 中村 昭子¹

Shunya Harada^{1*}, Takaya Okamoto¹, Takanobu Aoki¹, Akiko Nakamura¹

¹ 神戸大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻

¹ Graduate School of Science, Kobe University

探査機 Cassini により、土星の衛星の高解像度の表面画像が得られるようになり、小クレーターが詳しく観測されるようになった。これら衛星には平均密度が $\sim 1\text{g/cm}^3$ のものがあり、そのため氷岩石天体だと考えられている。例えば、土星の衛星の Iapetus は、平均密度が 1.1g/cm^3 程度であり、その地表は Cassini が最高 10m/pixel の解像度で撮影している。

このような天体の表面はレゴリス層で覆われていると考えられている。レゴリス層は衝突によるイジェクタなどの破片物質が降り積もったものであり、その過程で空隙を持つと考えられる。レゴリス層が氷微粒子を含む場合は、焼結作用によって強度を持つようになると考えられる。焼結は衝突による圧密や昇温でより進行する可能性がある。

そこで本研究では、空隙を持った天体表面の強度支配域クレーターの形成過程を調べるため、標的と弾丸を作成し衝突実験を行った。空隙と強度を持った標的を作成するため、粒径 55 μm の中空ガラスビーズを焼結させた。焼結温度を変えることで、この焼結体の空隙率を 73-94%、強度を 0.6-1.9MPa で変化させた。弾丸には、天体と同様の物質が衝突することを想定し、直径 3mm のガラスビーズ焼結体 ($\sim 1.3\text{g/cm}^3$) や多孔質アルミナ球 ($\sim 1.8\text{g/cm}^3$) を使用し、神戸大学の小型ガス銃を用いて 100-300m/s で標的に衝突させた。

標的の空隙率が 94% では貫入孔が形成されたが、空隙率が小さくなるに連れて孔は浅くなり、74% ではクレーターに近い形となった。一方、今回の実験範囲で形成された孔の直径はいずれにおいても弾丸とほぼ同じ大きさであった。

形成された貫入孔やクレーターの形状やサイズを、過去の研究結果と比較し、空隙を持つ天体表面へのクレーター形成過程について議論する。

キーワード: 空隙率, 強度, 氷岩石天体, 衛星, 衝突実験

Keywords: porosity, strength, ice-rock body, satellite, impact experiment

はやぶさ帰還試料の国際公募分析の現況

Present status of international announcement of opportunity for research of Hayabusa-returned samples

矢田 達^{1*}, 安部 正真¹, 岡田 達明¹, 上楯 真之¹, 唐牛 謙¹, 石橋 之宏¹, 八嶋 彰吾², 藤本 正樹¹, 吉川 真¹

Toru Yada^{1*}, Masanao Abe¹, Tatsuaki Okada¹, Masayuki Uesugi¹, Yuzuru Karouji¹, Yukihiro Ishibashi¹, Shogo Yakame², Masaki Fujimoto¹, Makoto Yoshikawa¹

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

¹ Japan Aerospace Exploration Agency, ² Graduate school of Science, University of Tokyo

2010年6月の小惑星探査機はやぶさの再突入カプセル地球帰還以降、JAXA 惑星物質キュレーションセンターでは、カプセルから取り出されたサンプルキャッチャー内に捕獲されていた粒子の回収初期記載を行っている [1]。

初期記載されたケイ酸塩鉱物粒子の一部について2011年に初期分析を実施した結果、それらが平衡化の進んだ LL コンドライト隕石と同様の鉱物化学・酸素同位体組成を示すこと [2-5]、ごく表層に宇宙風化の痕跡が見られること [6]、希ガス同位体組成から粒子が小天体表面で宇宙線に暴露されており、その期間が短い(300万年以下) ことなどが分かった [7]。これらの成果は回収されたケイ酸塩鉱物粒子が小惑星イトカワ起源であることを示している。

2013年2月14日現在で回収された粒子数は430個にのぼり、その内約3/4が主にケイ酸塩鉱物からなるイトカワ起源の粒子だった。まだサンプルキャッチャーからの完全な粒子回収は完了しておらず、2015年度半ばまでには回収試料の全量把握を終える計画で作業を進めている。

探査機はやぶさの打ち上げ前にNASAとの間に交わした合意文書では、粒子の内15%は国際公募研究に提供されることになっており、JAXAでは国際公募分析委員会を発足して、2012年1月から3月にかけて1回目の国際公募研究の応募を行い、6月に7カ国17の研究グループが選抜され、2012年11月にかけて65個の粒子の配布を行った。現在、ほとんどの研究グループで分析を進めている所で、その成果は今年10月にJAXA相模原キャンパスで開催されるはやぶさ帰還試料に関するシンポジウムで発表される予定である。また、2013年1月から3月にかけて第2回目の国際公募分析の応募が行われ、5月中旬には選抜された研究グループが発表され、8月末にかけて配布が行われる予定である。

引用文献: [1] Yada T. et al. (2013) *Meteoritics Planet. Sci.*, in print. [2] Nakamura T. et al. (2011) *Science*, 333, 1113. [3] Yurimoto H. et al. (2011) *Science*, 333, 1116. [4] Ebihara M. et al. (2011) *Science*, 333, 1119. [5] Tsuchiyama A. et al. (2011) *Science*, 333, 1125. [6] Noguchi T. et al. (2011) *Science*, 333, 1121. [7] Nagao K. et al. (2011) *Science*, 333, 1128.

キーワード: はやぶさ, イトカワ, 小惑星, 国際公募分析, 隕石, LL コンドライト

Keywords: Hayabusa, Itokawa, curation, international announcement of opportunity, meteorite, LL chondrite

主成分分析を用いたイトカワ表面スペクトルの解析 Analysis of The Asteroid Itokawa Surface Spectra Using Principal Component Analysis

古賀 すみれ^{2*}, 伊佐敷 一裕¹, 杉田 精司²
Sumire Koga^{2*}, Kazuhiro Isashiki¹, Seiji Sugita²

¹ 東京大学理学系研究科, ² 東京大学新領域

¹Dept. Sci., Univ. Tokyo, ²Dept. Complexity Sci. and Engr. Univ. Tokyo

主成分分析を用いたイトカワ表面スペクトルの解析

目的

2003年に打ち上げられた小惑星探査機「はやぶさ」に搭載された可視分光カメラ AMICA は、約1ヶ月間滞在したホームポジションで70cmの高い空間分解能をもち、7バンドでイトカワの全面を撮像した。

本研究では、AMICAの画像データを用いて主成分分析(PCA)によりイトカワ表面スペクトルの解析をおこなった。PCAには、表面スペクトルの地域差や分布を定量的に評価しやすく、網羅的に解析できる利点がある。さらに、そもそも小惑星のスペクトル分類自体が反射スペクトルのPCAに基づいており、1つの小惑星上の反射スペクトルに対して同様の解析を行って比較することは意義が大きい。バンド分光ではあるが、全表面の詳細なデータが得られている小惑星表面に対して同じ解析をおこない、どのような主成分が出るかを求めることは有意義である。

このような解析方法は、現在プロジェクト化されている「はやぶさ2」の解析でも有効性が期待される。本研究は、イトカワのスペクトル特性について新しい特徴を見つけることを目指すと同時に、はやぶさ2のデータ解析に備えることを目的とする。

解析手法

ほぼ同じ探査機位置から撮像した7バンドの画像セットを用いた。画像校正をおこない、位置合わせをしてから解析をおこなった。

校正・位置合わせの手順

(1) ダークや smear 補正、ホットピクセルの除去の必要性を確かめた。ここではこれらの補正は必要なかった [2]。次に対応するバンドの flat 画像で割った。

(2) 比画像をとると、2枚の画像のわずかなずれにより、岩の影などで異常値をとる。これを少なくするように、平行移動によって位置合わせをした。このとき0.1ピクセル単位で移動した。しかし、わずかな回転などが必ず含まれるため、平行移動で完全な位置合わせをすることはできない。そこで、隣ピクセルと一定以上の差をもつピクセルは、解析の段階で排除してこの異常値による影響を防いだ。

解析の手順

ほぼ同じ位置から撮像したイトカワ半球の7バンドの画像セットを、そのうちの1つのwバンド画像で割った、6個の比画像に対してPCAをおこない、主成分の係数と寄与率を求めた。この解析を他の画像セットでもおこなった。並行して、イトカワ半球の全点のCvとRw/Rb(反射スペクトルの曲率と傾き)をプロットし、相関を確かめた。Cv、Rw/Rbはそれぞれ宇宙風化の指標のひとつとされる [1]。

結果・議論

CvとRw/Rbとは宇宙風化と一致する正の相関がみられた。これは、本研究で行ったデータ解析が正しく行われていてことを示している。ただし相関はゆるやかで、分布の広がりをもつ意味について検討する必要がある。

解析した画像セットにもよるが、第1、第2主成分(PC1, 2)のもつ寄与率はそれぞれ60-70%、20-30%であった。それぞれの主成分が何を示すのか吟味した。PC1はスペクトルの形状の特徴および、宇宙風化が大きく異なっている地点との対応関係との比較などから、宇宙風化の強さを示すと推測された。宇宙風化がイトカワの反射スペクトル変化の最も卓越した成分であるという先行研究 [1] の知見とも整合的である。一方PC2が何に対応するのは特定できていない。組成的な不均一性、粒子の大きさ、あるいはノイズ、位置合わせの不完全性などが考えられる。このPC2の意味は今後の重要な課題である。

また、PC1, 2プロットでスペクトルは1つのクラスターとなったが、Black Boulder (イトカワの「頭」に位置する黒い岩、[3]) はメインのクラスターから外れており、イトカワ表面上に卓越する反射スペクトル変化の要因と大きく異なるプロセスないし組成を反映している可能性が高いことが示唆される。

U07-P06

会場:コンベンションホール

時間:5月19日 18:15-19:30

結論・今後の課題

PCA 解析からは、宇宙風化のイトカワ表面上で卓越していることが強く示唆する結果を得た。また、PCA は、Black Boulder を特異な点として捉えることができることも確認された。これらの結果は、データの分布の主成分抽出、網羅的な分析という PCA の有効性を示すものである。

一方寄与率 20-30% をもつ PC 2 の意味については特定できていない。これが何を意味するのか究明する必要がある。

参考

- [1] Ishiguro et al. 2007, MAPS 42, 1791.
- [2] Ishiguro et al. 2010, Icarus 207, 714.
- [3] Hirata & Ishiguro 2011, 42nd LPSC (2011).

キーワード: 小惑星, 可視分光, 宇宙風化

Keywords: asteroid, visible spectroscopy, space weathering

はやぶさ2搭載の可視分光カメラ ONC による科学観測計画 Scientific observation plan for Hayabusa-2 visible multi-band cameras

杉田 精司^{1*}, 本田 理恵², 亀田 真吾³, 諸田 智克⁴, 澤田 弘崇⁵, 本田 親寿⁶, 鈴木 秀彦³, 小川 和律⁵, 白井 慶⁵, 山田 学⁷, 中村 良介⁸, はやぶさ2 ONC サイエンスチーム⁵
Seiji Sugita^{1*}, Rie Honda², Shingo Kameda³, Tomokatsu Morota⁴, Hiroataka Sawada⁵, Chikatoshi Honda⁶, Hidehiko Suzuki³, Kazunori Ogawa⁵, Kei Shirai⁵, Manabu Yamada⁷, Ryosuke Nakamura⁸, Hayabusa-2 ONC Science Team⁵

¹ 東京大学, ² 高知大学, ³ 立教大学, ⁴ 名古屋大学, ⁵ 宇宙航空研究開発機構, ⁶ 会津大学, ⁷ 千葉工業大学, ⁸ 産業総合研究所
¹University of Tokyo, ²Kochi University, ³Rikkyo University, ⁴Nagoya University, ⁵JAXA, ⁶Aizu University, ⁷Chiba Institute of Technology, ⁸AIST

はやぶさ2 探査は始源的天体からの試料回収探査を基本目的としている。どのような地質調査にも言えることだが、採取試料の産状や周辺地域の地質構造が明らかにされていなければ、試料の精密分析結果を正確に解釈することはできない。この周辺地域の地質構造の観察を行うのが、はやぶさ2 に搭載される各種リモセン機器群の最大の役割である。

その中でも ONC は3つのカメラを持ち、多種多様な科学観測を行う(図1)。その内容は、(a) 形状・形態観察(小惑星回転運動捕捉を含む)と(b) マルチバンド分光観察に大別される。

まず、(a) の形状・形態観察は、天体の平均密度(重力計測と組み合わせによる)、内部の密度不均質(慣性主軸と自転軸の一致・不一致度の観測から)、衝突や破壊・加熱履歴(表面粒子のサイズや形状の空間分布などから)、SCIによる人工クレーター形成の観測など様々な科学観測の実現に役立つ。また、全球形状観測や局所地形観測は、タッチダウンの安全性を確保するという工学的観点からも非常に重要である。ONCには、このように多様な科学目標があるが、実際に行う観測と解析は、小惑星の全球形状モデルや局所地形モデルを精密に作成することと、小惑星全体の回転運動を観測することに集約される。これらの観測・解析は、はやぶさ初号機で実施された観測と基本的に同様である。初号機での形状観測から直径1 kmに満たない小惑星イトカワが衝突破片の再集積物(rubble pile)であることを示す重要観測データを得られたことはよく知られている。

はやぶさ2 計画では、探査小惑星のランデブー期間を初号機に比べて大幅に延長し、はるかに詳細な形状・形態観測の実現を目指している。また、形状モデル生成についても初号機での経験を踏まえて詳細な見直しを行い、精密化・迅速化を目指している。しかし、原理的な面において、その目的および観測方針、必要機器性能には大幅な変更はない。

その一方で、物質科学的な見地に立てば、「はやぶさ」初号機の探査対象天体のイトカワ(S型小惑星)と「はやぶさ2」が狙う1999JU3(C型小惑星)では月と火星ほどに異なる。星の小ささから一括りに小惑星と総称されるが、S型小惑星とC型小惑星では、それほどまでに分光学的特徴が異なる。そのため、S型小惑星を狙った「はやぶさ」初号機とC型小惑星を目指す「はやぶさ2」では、分光観測の目的も内容も大きく異なる。特に、月と同様に紫外領域と1 μm 近辺において強い吸収帯を持つS型小惑星と異なり、C型小惑星は紫外域から近赤外域にかけて特徴に乏しい平坦なスペクトル形状を持つ。その平坦なスペクトルの上に、紫外域や0.7 μm 近辺に弱い吸収帯(いずれも含水鉱物由来と推定されている)が乗った状況になっており2)、この微弱な吸収帯の強度や形状から物質分布を調べることが必要である。この状況は、特徴に乏しい無水酸化鉄ダストの中から含水鉱物を発見し火星表層研究に大きな役割を果たした火星リモセン観測と非常に似通っている。

含水鉱物の分光観測については、実は非常に強いOH吸収帯の存在する3 μm 帯の観測が可視光観測より優れている。はやぶさ2にも3 μm 帯域を狙ったNIRS3が搭載予定である。しかし一般に、この波長帯の検出器に比べて可視カメラの空間分解能は圧倒的に高い。この可視カメラが持つ高い空間解像度を利用して、1999JU3のタッチダウン予定地域の微小スケールの不均一度を把握することは、最適なタッチダウン地点選択の観点からも、実際のタッチダウン地域の産状記載の観点からも非常に重要である。本講演では、1999JU3表面に期待される可視光領域の分光特性に基づいて検討しているONCによるマルチバンド分光観測計画の概略を紹介する。

キーワード: 小惑星探査, 始源的天体, はやぶさ2, リモートセンシング観測, 反射分光法, 機器開発

Keywords: asteroid mission, primitive bodies, Hayabusa-2 mission, remote sensing, reflectance spectroscopy, instrument development

小惑星探査機はやぶさ 2ONC の較正試験について Calibration of Asteroid Explorer Hayabusa-2 ONC (Optical Navigation Camera)

佐藤 允基^{1*}, 武井 亮斗¹, 長 勇一郎², 鈴木 秀彦¹, 山田 学³, 亀田 真吾¹, はやぶさ 2ONC チーム⁴

Masaki Sato^{1*}, TAKEI, Akito¹, Yuichiro Cho², Hidehiko Suzuki¹, Manabu Yamada³, Shingo Kameda¹, Hayabusa2 ONC team⁴

¹立教大学, ²東京大学, ³千葉工業大学, ⁴宇宙航空開発研究機構

¹Rikkyo University, ²The University of Tokyo, ³Chiba Institute of Technology, ⁴JAXA

はやぶさ初号機は S 型小惑星イトカワからのサンプルリターンを成功させた。その後継機であるはやぶさ 2 では、初号機で実証された技術を基に C 型小惑星 1999JU3 を目指す。

S 型小惑星と C 型小惑星では熱変性度が異なる。C 型小惑星の方が熱変性は進んでいないと考えられており、その点で C 型小惑星の方がより始原的であり、有機物や含水鉱物を多く含んでいる可能性がある。そこで、はやぶさ 2 は 1999JU3 の表面にあるとされている熱変性の進んでいない試料のサンプルリターンを行う。

1999JU3 の地上観測結果から含水鉱物の存在を示す 700nm の吸収帯が確認された (Vilas, 2008)。しかし表面全域には含水鉱物が分布していない可能性があるため、着陸地点を選定するためには打ち上げ後にも 700nm の吸収帯の有無について観測を行う。そして含水鉱物が含まれる地域を特定する必要がある。

着陸地点選定のための観測は ONC によって行われる。ONC とは Optical Navigation Camera の略で光学航法カメラのことをいう。ONC には ONC-W1、ONC-W2 という広角カメラと、ONC-T という望遠カメラがある。ONC-T には 7 枚のバンドパスフィルター (390nm、480nm、550nm、589.5nm、700nm、860nm、950nm) と 1 枚のガラスからなるフィルターホイールがついている。このフィルターホイールを回転させることで分光観測が可能となり、これにより着陸地点の選定を行う。

今回我々は ONC 用に較正用カメラ・フィルターを用意し、フライトモデルでの ONC 光学較正試験に向けて本番と同様の方法で予備実験を行った。予備実験は小惑星の輝度計算、フィルターの透過率測定を行った上で、感度較正、フラット特性、PSF(Point Spread Function) を測定した。そして、これらの予備実験を踏まえてフライトモデルの光学較正試験に参加した。その結果を予備実験内容とともに報告する。

InAs 検出器低温性能評価データに基づくはやぶさ 2 近赤外分光計の観測性能検討 An observation performance study of NIRS3 on Hayabusa-2 based on low temperature examination data for InAs detector

仲内 悠祐^{1*}, 北里 宏平², 岩田 隆浩³, 松浦周二³, 大竹 真紀子³, 安部 正真³

Yusuke Nakauchi^{1*}, Kohei Kitazato², Takahiro Iwata³, Shuji Matsuura³, Makiko Ohtake³, Masanao Abe³

¹ 総合研究大学院大学物理科学研究科, ² 会津大学, ³ 宇宙航空研究開発機構

¹The Graduate University for Advanced Studies School of Physical Sciences, ²University of Aizu, ³JAXA

次期小惑星探査機はやぶさ 2 搭載予定の近赤外分光計 (NIRS3) は、 $3 \mu\text{m}$ 帯の太陽光反射スペクトルを用いて含水量や鉱物組成の情報を取得することを目指している。炭素質コンドライトやそれらが含む主要鉱物のスペクトル解析から、ヒドロキシル基 (-OH 基) の伸縮振動に由来する吸収特徴が $2.7 \mu\text{m}$ 付近にみられ、水分子 (H_2O) の変角振動に由来する特徴が $1.9 \mu\text{m}$ 付近, $2.9\text{-}3.0 \mu\text{m}$ に存在することが知られている。 $1.9 \mu\text{m}$ での特徴は $3 \mu\text{m}$ 帯のものに比べると吸収強度が弱く、さらに熱に弱いとされている。一方、 $3 \mu\text{m}$ 帯の吸収特徴は比較的熱に強いことが実験室での加熱実験で示されている。これらの特徴から、NIRS3 のサイエンス目標のフルサクセスとして挙げられている「水・含水鉱物量の推定」のためには、 $3 \mu\text{m}$ 帯における全体的な吸収特徴に加え、比較的細かい吸収特徴を抽出することが必要となってくる。これらの特徴抽出のために、目標 SN 比を 50 以上と定めた。

SN 比を決める支配的要因の一つが検出器の性能である。NIRS3 で使用されるインジウムヒ素 (InAs) 検出器素子の性能データは、検出器メーカーで室温および -20 でのデータが取得されているものの、NIRS3 での使用環境である -80

付近での低温特性が取得されていない。そこで我々は宇宙科学研究所の恒温槽を用いて実際の動作環境をできる限り再現し、検出器の性能を測定して実環境での SN 比の評価を行った。使用した検出器は、エンジニアリングモデル (以下 EM) とフライトモデル (以下 FM) である。小惑星の光の模擬には黒体炉を用いた。

本発表以前の NIRS3 の観測性能検討は EM の検出器データに基づいており、目標 SN 比の達成が厳しい状況であった。SN 比が厳しいの主な要因は、検出器における RMS ノイズ (暗出力の揺らぎと読み出しノイズが支配的) が高いことである。そのため SN 比 50 以上を実現するには検出器ゲインの変更やスタック回数、積分時間の増加などのデータ取得法の改良、またグレーティングなど光学系の設計や検出器動作温度の変更など RMS ノイズを統計学的に抑えることが計画されていた。

この度 FM の検出器が納入されその性能評価を行ったところ、EM 検出器に比べ特性がよくなっていることがわかった。FM の検出器では、RMS ノイズに加え検出器の画素間感度偏差や暗時の出力が小さく、出力の積分時間に対するリニアリティーが良いことがわかった。今回の発表では、EM の検出器と FM の検出器の性能比較を行い、ミッションで実際に得られるであろう SN 比について検討する。

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

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

はやぶさ2 探査機搭載 LIDAR による C タイプ小惑星のアルベド計測 Measuring Albedo of C-type Asteroid with LIDAR onboard HAYABUSA2 Spacecraft

阿部 新助^{1*}, 吉田 二美², 野田 寛大², 山田 竜平², 佐々木 晶², 並木 則行³
Shinsuke Abe^{1*}, Fumi Yoshida², Hiroতোমo Noda², Ryuhei Yamada², Sho Sasaki², Noriyuki Namiki³

¹ 日本大学理工学部航空宇宙工学科, ² 国立天文台, ³ 千葉工業大学惑星探査研究センター

¹Department of Aerospace Engineering, College of Science and Technology, Nihon University, ²National Astronomical Observatory of Japan, ³Planetary Exploration Research Center, Chiba Institute of Technology

JAXA/ISAS の小惑星サンプルリターン・ミッション「はやぶさ-2」は、2014 年打ち上げられ、2018 年に近地球小惑星 (162173) 1999 JU3 の探査を行い、2020 年に地球に帰還する予定である。LIDAR(レーザー高度計)は、はやぶさ2 に搭載される5つの機器のうちの1つで、探査機からターゲット小惑星表面までの距離の計測に使われる。高度 25km から 30m までのレンジを計測するパルス・レーザー光の波長は、波長 1.06 μm 。LIDAR は、探査機のナビゲーション装置としてだけでなく、地形、アルベド(反射率)、浮遊ダスト、重力、形状の計測にも使われる。

1999 JU3 や他のメインベルト小惑星の地上分光&撮像観測結果、炭素質コンドライトの室内実験などを考慮しながら、はやぶさ2 探査機に搭載される LIDAR を使った C-タイプ小惑星のアルベドに関する科学的観測項目を議論する。例えば、表面アルベドの異方性、宇宙風化や関連するメインベルト小惑星族など。また、はやぶさ-1 探査機搭載の LIDAR と NIRS(近赤外線分光器) で得られた、S-タイプ小惑星イトカワのアルベド異方性についても示す。

キーワード: 小惑星, はやぶさ, レーザー高度計, アルベド, 宇宙風化, 炭素質コンドライト
Keywords: asteroids, Hayabusa, LIDAR, albedo, space weathering, carbonaceous chondrites

はやぶさ2搭載小型ランダー MASCOT の開発と現状

Development of MASCOT (Mobile Asteroid Surface Scout) small lander on Hayabusa2

岡田 達明^{1*}, Tra-Mi Ho², MASCOT チーム²
Tatsuaki Okada^{1*}, HO, Tra-Mi², MASCOT team²

¹ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, ² ドイツ航空宇宙センター

¹Institute of Space and Astronautical Science, JAXA, ²German Aerospace Center

はやぶさ2では小型ランダー MASCOT による小惑星表面上での探査を実施する。C型小惑星 1999JU3 の表層の地形、微細な構造・組織・組成、表層の熱物性や残留磁気などの調査によって微小なC型小惑星のより詳細な素性を調べる。小型ランダーの開発の現状と科学目標について報告する。

はやぶさ2では10kg級のランダー MASCOT をドイツ宇宙機構 DLR が中心となり、宇宙航空研究開発機構 JAXA やフランス宇宙機構 CNES と協力のもとで科学探査ロボットとして開発を進めている。搭載観測機器は約3kgであり、多色の広角多色カメラ CAM、可視・近赤外分光顕微鏡 MicrOmega、他バンド熱放射計 MARA、磁力計 MAG をする。寿命は1次電源で決まり、ノミナル11時間、最長16時間(2小惑星日)である。MASCOT は2011年12月に探査機とのインターフェース確認を済ませ、2012年6月に事前設計審査を受けて詳細設計フェーズに入り、プロトモデルによる設計確認を実施途上であるが、各種環境試験や電気動作試験、分離試験等を実施済みである。はやぶさ2の一次噛合せ試験に参加することによってインターフェース成立性を検証する。2013年に詳細設計審査を受けてフライトモデルの製作に着手する。

小型ランダーの最重要目的は、表層における高解像度・微視的な高精度の地形や物質の観察や分析である。特にC型小惑星が対象であるため、水や有機物と無機鉱物との共存状態や相互作用の状態をその場で観察・分析することが最重要である。表面にいて直接接触するランダーゆえに可能となる表層物理状態の探査や内部構造探査も重要であるが、限られたリソース内で実現することは困難である。掘削孔の構造や地下物質(宇宙風化を受けていない試料、地下の氷や有機物など)の探査はC型小惑星の水と有機物の関連性を調べる探査として極めて重要であるが、ランダー自身の長期間の寿命や孔への誘導制御という技術課題があり、実現性の検討を進めている。なお、小型ランダーの主要観測課題は次のように整理できる。表面での科学観測(Stand-alone surface science): 地形や物質の高解像度撮像や微視的スケールでの観測、物質の組成や組織のその場分析、内部構造の探査を行う。地質学的産状把握(Geological context): 帰還サンプルやサンプル回収地域付近の産状について情報を収集する。指標情報(Groundtruth): リモート観測データを解析するために必要な表層の物理状態、典型的な粒径、物質の元素・鉱物組成、物性についての情報を取得する。

キーワード: はやぶさ2, 小惑星, 着陸機, 分光顕微鏡, 熱放射計

Keywords: Hayabusa2, asteroid, lander, hyperspectral microscope, thermal radiometer

微小重力ローバーの力学シミュレーション Dynamical simulation of microgravity rovers

原田敏宏¹, 北里 宏平^{1*}
HARADA, Toshihiro¹, Kohei Kitazato^{1*}

¹ 会津大学
¹University of Aizu

We developed a dynamics simulator of microgravity rover for small body exploration. Surface exploration using rovers are expected to return scientific discoveries yet to be made, and for them the global and long-term operations and tactical planning are needed. However, gravity fields of small bodies are not uniform due to their irregular shapes so that it is difficult to analytically predict the rover's motion. Thus, physical-based simulation for microgravity rovers is required.

We designed the simulator to have functions to estimate the rover trajectory based on rigid-body dynamics and to visualize the trajectory data on the shape model of small body. The graphical interface has been built in to support the usability. In addition, we performed a comparative experiment in laboratory to verify the simulation of rigid-body's rebound motion.

Finally we examined characteristics of rover motion using Itokawa's shape model. As a result, we found that the rover's motion would converge for shape models of less than approximately 5-m resolution.

Keywords: simulation, dynamics, rover, Hayabusa-2

小型キックステージを用いた低コスト深宇宙探査ミッションの可能性について A study on a low-cost deep space exploration mission utilizing a small kick stage

池永 敏憲^{1*}, 歌島 昌由¹, 石井 信明¹, 吉川 真¹, 平岩 徹夫¹, 野田 篤司¹

Toshinori Ikenaga^{1*}, UTASHIMA, Masayoshi¹, ISHII, Nobuaki¹, Makoto Yoshikawa¹, HIRAIWA, Tetsuo¹, NODA, Atsushi¹

¹ 宇宙航空研究開発機構

¹ Japan Aerospace Exploration Agency

本研究は、小型キックステージを用いたデュアルローンチシステム、及び、「惑星間待機軌道」の概念を導入した自在性の高い深宇宙探査軌道の設計手法を用いることで、深宇宙探査ミッションの低コスト化を実現することを目的とする。

本研究では、静止トランスファ軌道(GTO)に投入される主ペイロードに、質量500kgの深宇宙探査機、及びwet質量300kgの小型キックモータから構成される、総質量800kgのデュアルローンチシステムが副ペイロードとして相乗りし、GTO投入後、小型キックモータによるVを用いて、一旦、軌道エネルギーC3がほぼゼロの軌道に遷移後、探査機搭載の電気推進システム(「はやぶさ2」相当のスペックを仮定)を用いて目標天体(本研究では火星に設定)に向かう状況を仮定した。打ち上げロケットとしては、日本の基幹ロケットH-2Aを想定した。H-2A 206型を用いるとした場合、GTO投入能力は6tonであるため、本研究の打ち上げコンフィギュレーションの場合でも、主ペイロード質量として5ton程度は確保できる。

本研究では、前述の打ち上げコンフィギュレーションを用いて、小惑星探査機「はやぶさ2」相当の深宇宙探査機を火星に到達できることを軌道シミュレーションにて確認した。また、本打ち上げ方式を採用する場合、輸送コストの大幅な削減は期待できるが、深宇宙探査機にとってクリティカルである、ローンチウィンドウに関しては、副ペイロードである深宇宙探査機側には自由度はほとんどないと考えられる。この問題を解消する方法として、本研究では、軌道エネルギーC3がほぼゼロの軌道を「惑星間待機軌道」として適切に利用することを提案する。これにより、ローンチウィンドウを拡大できることをシミュレーションにて確認した。その結果を報告する。

キーワード: 小型キックステージ, デュアルローンチシステム, 低コスト深宇宙探査, 電気推進, 惑星間待機軌道

Keywords: small kick stage, dual launch system, low-cost deep space exploration, electric propulsion, interplanetary parking orbit

Asteroid Shape Reconstruction using Structure from Motion Asteroid Shape Reconstruction using Structure from Motion

Yohei Mori^{1*}, Naru Hirata¹, Hirohide Demura¹
Yohei Mori^{1*}, Naru Hirata¹, Hirohide Demura¹

¹The University of Aizu

¹The University of Aizu

A shape model of an asteroid is important for science analysis on exploring missions. In the Hayabusa mission, three models of asteroid Itokawa were reconstructed by different methods [M. Maruya, 2006], [H. Demura, 2006], [R. Gaskell, 2006]. A more precise model was reconstructed that have 3 millions or more polygons used multi-image photogrammetry after the mission [M. Maruya, 2006]. For the Hayabusa 2 project, a shape model of an asteroid 1999JU3 is also required. It must be investigated what reconstruction method is good. We focus on a method called Structure from motion (SfM) to achieve it. An open-source software Bundler [N. Snavely, 2006] implements SfM and Bundle adjustment [B. Triggs, 1999]. SfM is a method which uses multiple images to estimate real space coordinates of features in images and camera positions. Bundle adjustment is a kind of optimization method for non-linear model to estimate parameters on a geometric model precisely. A more precise result and less manual works are expected compared with ones in the Hayabusa mission by using and customizing the software. We reconstructed a shape model of Itokawa from 169 AMICA Images using this software. As a result, a sparse shape model is reconstructed successfully around equatorial region. However the number of points of polar regions are quite less than ones of equatorial region. This is caused by an insufficiency of images captured around a pole. We experimented this polar area observations using a shape model presented by [R. Gaskell, 2006]. In this experiment, we rendered the model and take images around of it with some longitude variations. One of the dataset is consists of images view from 30 degree longitude. The polar region is reconstructed successfully by inputting the dataset. And we also experimented with 70 degree and 80 degree longitude datasets for confirming the availability of Structure from Motion in the case of the rotation axis of 1999JU3 is parallel to the plane of revolution. The result was also good. Structure from Motion is useful for reconstructing asteroid shape model from multiple images. We are examining a method for quantitative evaluation of these results.

キーワード: Hayabusa, Hayabusa 2, 3D Shape Reconstruction

Keywords: Hayabusa, Hayabusa 2, 3D Shape Reconstruction

はやぶさ2における重力推定について Gravity Estimation in Hayabusa2 Mission

池田 人^{1*}, 松本 晃治², はやぶさ2 LIDAR サイエンスチーム³, はやぶさ2 アストロダイナミクスチーム⁴
Hitoshi Ikeda^{1*}, Koji MATSUMOTO², Hayabusa2 LIDAR Science Team³, Hayabusa2 Astrodynamics Team⁴

¹ 宇宙航空研究開発機構, ² 国立天文台, ³ はやぶさ2 LIDAR サイエンスチーム, ⁴ はやぶさ2 アストロダイナミクスチーム

¹Japan Aerospace Exploration Agency, ²National Astronomical Observatory of Japan, ³Hayabusa2 LIDAR Science Team, ⁴Hayabusa2 Astrodynamics Team

The Japanese asteroid explorer Hayabusa2 will be launched in the mid-2010s to return samples from C-type near earth asteroid 1999JU3. During the rendezvous phase (i.e., proximity operation phase), we will make scientific observations to estimate physical parameters (e.g., gravity field, shape, pole direction, spin-rate, ephemeris) of the target body, which are very important not only for its scientific investigation but also for the spacecraft navigation. In particular, the mass is essential to perform a stable touch down sequence to collect samples from the asteroid's surface. We will attempt to estimate the gravity field of the target body using earth-based radiometric tracking measurements (2way Doppler and range) and spacecraft-based measurements (information from optical navigation camera and laser altimetry) with global parameter estimation technique. As the first step for the gravity field estimation, we performed a simulation study about mass estimation under simple configuration and evaluated the relation between the quality and quantity of measurements and the accuracies of estimation results. The detectability of the low degree and order gravity field coefficients is also investigated.

キーワード: 重力, 軌道, 小天体

Keywords: gravity, orbit, small-body