

平成21年6月6日現在

研究種目：基盤研究 (B)
研究期間：2006～2008
課題番号：18340133
研究課題名 (和文) 光散乱特性による小惑星表面物質の研究
研究課題名 (英文) Study of asteroid surface material through the light scattering properties
研究代表者 向井 正 (MUKAI TADASHI) 神戸大学・大学院理学研究科・教授 研究者番号：10097412

## 研究成果の概要：

小惑星表面を模擬した物質の光散乱特性を明らかにするために、(1) 室内での光散乱実験を実施し、不規則形状体の光散乱データベースの構築を目指すと共に、(2) 不規則形状体の光散乱を理論的に検討する手法としての数値計算ツールの開発を実施した。それらの基礎過程の研究を基に、(3) 小惑星表面画像の解析から、小惑星表面物質を演繹した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
18年度	7,100,000	2,130,000	9,230,000
19年度	1,900,000	570,000	2,470,000
20年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
年度			
総計	10,800,000	3,240,000	14,040,000

## 研究分野：惑星科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：分光、小惑星、隕石、光散乱、不規則形状体

## 1. 研究開始当初の背景

小惑星探査計画(はやぶさ)が2005年9月に小惑星イトカワ近傍に到達し、波長 $1\mu\text{m}$ のレーザー波による小惑星表面形状の探査(LIDAR)や、可視カメラによる表面撮像(AMICA)によって、小惑星表面の光散乱に関する詳細なデータが多量に入手できた。

## 2. 研究の目的

滑らかな表面や、球体、回転楕円体形状の場合には、光反射・散乱過程は解析的に取り扱うことができる。しかし、われわれが扱う

自然界の散乱体は、凹凸に富んだ不規則な表面を持ち、その形状も変化に富んでいる。自然界における不規則な形状体による光散乱過程を、室内実験や数値シミュレーションによって明らかにすることを、本研究の大きな目標としている。本研究課題では、小惑星の表面を対象として、光散乱過程の解析に取り組む。

## 3. 研究の方法

研究の実施手法は、2つの基礎過程の研究開発と、その応用から成る。即ち、

(1) 室内実験による不規則散乱体の光散乱特性の測定。

(2) 数値シミュレーションによる不規則散乱体による光散乱特性の解析。

(3) 上記の成果に基づいて、小惑星表面の画像解析を行ない、表面物質の物理特性とその起源を解明。

#### 4. 研究成果

(1) 小惑星模擬表面の不規則さを表わすパラメータ（表面凹凸度や粒径分布、鉱物組成）を定量化し、可視から近赤外線波長域にまたがる幅広い領域で光散乱強度の測定を行って、表面の不規則性を示すパラメータと、光散乱特性との関係を調べた。このため、可視域の多位相角同時分光計光学系に冷却CCDを取り付けた装置の設計・製作を行ない、完成した装置の校正測定を開始した。その結果、近赤外分光計のみでは原因が特定できていなかった、波長方向の見かけの感度パターンを引き起こす原因、すなわち、装置内の光学素子を特定することができ、分光計のデータの精度をより詳細に評価できるようになった。光散乱データベースの構築に向けて引き続き測定を実行中である。

(2) 不規則散乱を扱う既存の数値シミュレーションを比較検討し、個々の手法の問題点を明らかにした。その後、独自に開発した波長に比べて大きな基本粒子からできている集合体による光散乱法（グルーピング法, Okada et al. 2007）を拡張して、充填率30%までの、疎な空間分布をした多重粒子による散乱特性の計算手法を完成させた（Okada et al. 2009）。この手法を、小惑星表面に想定されている細粒層（レゴリス層）による光散乱過程に適用し、過去に得られた散乱強度と位相角の関係を測定した実験結果の特徴を再現できることを示した。

(3) これらの基礎的な検討結果を基に、小惑星サンプルリターン計画の対象小惑星であるイトカワで得られている画像データの解析を行なった。その結果、初年度の実験室測定により、粉の粒子径が波長に比べてじゅうぶん大きい場合には、塊と粉による光散乱特性に違いが見られないことを示した。小惑星イトカワのクローズアップ画像から、イトカワ表面のレゴリス最小サイズはサブミリメートル～ミリメートル程度で、可視波長に比べて十分大きいという可能性が高いことが推測される。イトカワ表面でレゴリス粒子を供給する衝突破壊過程について検討し、そのようなレゴリスが衝突で生成可能であることを示し

た（中村, 国立天文台研究会, 2009）。

#### 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 16件）

1. N. Hirata, and 10 authors (A. M. Nakamura as 9<sup>th</sup> author) A survey of possible impact structures on 25143 Itokawa, Icarus 200, 486-502 (2009) 査読有
2. K. Fujita, Y. Itoh, and T. Mukai, Development of simultaneous imaging polarimeter for asteroids, Adv. Space Res. 43, 325-327 (2009) 査読有
3. Y. Okada, I. Mann, T. Mukai, and M. Kohler, Extended calculation of polarization and intensity of fractal aggregates based on rigorous method for light scattering simulations with numerical orientation averaging, J. Q. R. S. T 109, 2613-2627 (2008) 査読有
4. O. S. Barnouin-Jha, A. F. Cheng, T. Mukai, et al. Small-scale topography of 25143 Itokawa from the Hayabusa laser altimeter, Icarus 198, 108-124 (2008) 査読有
5. A. M. Nakamura, T. Michikami, N. Hirata et al., Impact processes of boulders on the surface of asteroid 25143 Itokawa - Fragments from collisional disruption, Earth, Planet. Space 60, 7-12 (2008) 査読有
6. T. Michikami, A. M. Nakamura, N. Hirata et al., Size-frequency statistics of boulders on global surface of asteroid 25143 Itokawa, Earth, Planet. Space 60, 13-20 (2008) 査読有
7. R. W. Gaskell, O. S. Barnouin-Jha, D. J. Scheeres, A. S. Konopliv, T. Mukai et al. Characterizing and navigating small bodies with imaging data, Meteoritics & Planetary Science, 43, 1049-1061 (2008) 査読有
8. 向井正, 小惑星の衝突, 科学, 78, 416-417 (2008) 査読無
9. T. Mukai, S. Abe, N. Hirata et al., An overview of the LIDAR observations of asteroid 25143 Itokawa, Adv. Space Res. 40, 187-192 (2007) 査読有

10. Y. Okada, T. Mukai, I. Mann, H. Nomura, T. Takeuchi, I. Sano, and S. Mukai, Grouping and adding method for calculating light scattering by large fluffy aggregates, J. Q. S. R. T. 108, 65-80 (2007) 査読有
  11. T. Mukai and Y. Okada, Optical properties of large aggregates, ESA-SP 643, 157-160 (2007) 査読有
  12. T. Mukai, A. M. Nakamura and T. Sakai, Asteroidal surface studies by laboratory light scattering and LIDAR on HAYABUSA, Adv. Space Res. 37, 138-141 (2006) 査読有
  13. Y. Okada, A. M. Nakamura and T. Mukai, Light scattering by particulate media of irregularly shaped particles: Laboratory measurements and numerical simulations, J. Q. S. R. T. 100, 1330-1334 (2006) 査読有
  14. J. Saito, H. Miyamoto, R. Nakamura, M. Ishiguro, T. Michikami, A. M. Nakamura et al. Detailed images of asteroid 25143 Itokawa from Hayabusa, Science 312, 1341-1344 (2006) 査読有
  15. A. Fujiwara, J. Kawaguchi, D. K. Yeomans, M. Abe, T. Mukai, et al., The rubble-pile asteroid Itokawa as observed by Hayabusa, Science 312, 1330-1334 (2006) 査読有
  16. S. Abe, T. Mukai, N. Hirata et al., Mass and Local Topography Measurements of Itokawa by Hayabusa, Science 312, 1344-1347 (2006) 査読有
- [学会発表] (計 11 件)
1. 中村昭子, イトカワボルダーの衝突形成, 第5回始原天体研究会, 国立天文台2月28日, 2009 (口頭)
  2. T. Mukai, Y. Okada, I. Mann, and A. M. Nakamura, Light Scattering by Regolith Dust Particles on Icy Body, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) Meeting, June 16, 2008, Busan, Korea (Oral)
  3. Honda, A. M. Nakamura, T. Mukai, Laboratory study of opposition surge of rock chips and particle layers, 36th COSPAR scientific assembly, Beijing, July 16-23, 2007 (poster).
  4. Y. Okada, I. Mann, I. Sano, S. Mukai, 2007, Reduction of iterations for the linear equation solution in DDA - application for the orientation variation of irregularly shaped particles, in The 10th Electromagnetic and light scattering conference, June 17-23, 2007, Bodrum, Turkey (Poster)
  5. 本田隆行, 中村昭子, 向井正, 普通隕石片・粉表面による opposition surge の測定, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, 幕張, 2007 年 5 月 19-24 日 (ポスター)
  6. K. Kawakami and A. M. Nakamura, Near infrared opposition surge of carbonaceous chondrite meteorites, 38th Lunar, Planet. Sci. Conf., League City, Texas, March 12-16, 2007 (print only)
  7. T. Honda, A. M. Nakamura, T. Mukai, Laboratory measurements of opposition surge from simulated asteroid surfaces, 38th Lunar, Planet. Sci. Conf., League City, Texas, March 12-16, 2007 (Poster).
  8. 本田隆行, 中村昭子, 向井正, 岩片による opposition surge の実験的研究, 日本惑星科学会 2006 年秋期講演会, HAT 神戸, 2006 年 10 月 18-20 日 (口頭+ポスター)
  9. A. M. Nakamura, Y. Yokota, M. Ishiguro, N. Hirata, et al., Microscopic surface roughness of Itokawa inferred from photometric function, 2<sup>nd</sup> Hayabusa International Symposium, Tokyo, July 12-14, 2006 (poster).
  10. T. Honda, A. M. Nakamura, and T. Mukai, Laboratory study of opposition surge of chips and particle layers of meteorites, 2nd Hayabusa International Symposium, Tokyo, July 12-14, 2006 (poster).
  11. 本田隆行, 中村昭子, 向井正, 岩片による opposition surge の研究, 地球惑星科学関連学会 2006 年合同大会, 幕張, 2006 年 5 月 14-18 日 (ポスター)
6. 研究組織
- (1) 研究代表者  
向井 正 (MUKAI TADASHI)  
神戸大学・大学院理学研究科・教授  
研究者番号: 10097412
  - (2) 研究分担者  
中村 昭子 (NAKAMURA AKIKO)  
神戸大学・大学院理学研究科・准教授  
研究者番号: 40260012

岡田 靖彦 (OKADA YASUHIKO)  
神戸大学・大学院理学研究科・COE 研究員  
研究者番号：30372650  
(2007 年末まで)

平田 成 (HIRATA NARU)  
会津大学・コンピューターソフトウェア学  
科・准教授  
研究者番号：80372655  
(2007 年末まで)

(3) 連携研究者

岡田靖彦氏と平田成氏は、平成 20 年度は  
連携研究者として参加した。