

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。

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

A はハマカー定数 (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

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

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。

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

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間関係を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