

粉粒体の小天体表面の空隙率 - 圧力と空隙率の関係 Porosity of Granular Surface of Small Bodies - Relationship between Pressure and Porosity

大村 知美^{1*}; 木内 真人¹; Guettler Carsten²; 中村 昭子¹
OMURA, Tomomi^{1*}; KIUCHI, Masato¹; GUETTLER, Carsten²; NAKAMURA, Akiko¹

¹ 神戸大学大学院理学研究科, ²Max-Planck-Institute for Solar System Research

¹Graduate School of Science, Kobe University, ²Max-Planck-Institute for Solar System Research

月表面や、多くの小惑星表面にはレゴリス層が存在する。レゴリス層の空隙率は様々である可能性があり、空隙のある粉体層に圧力を加えると空隙率は減少するはずである。圧力と空隙率の変化の関係を明らかにすることで、例えば衝突してきた惑星間塵や隕石がどこまで貫入できるか、また着陸機での小惑星探査の際、機体のもぐりこむ程度等を予想することができる。同様に空隙をもった天体として微惑星も挙げられる。ダスト塊から成る微惑星の空隙率は90%程度であると考えられている (Kataoka et al., 2013)。一方、このような高空隙のダスト塊から成る標的にダスト塊をふるい落として衝突させると表面の層は圧密を受けるという実験結果があり (Meisner et al., 2012)、惑星形成時の微惑星同士の衝突においても圧密による空隙率の変化の可能性がある。この関係を明らかにすることは、惑星への進化過程での空隙率を推定することにも役立つ。

ここで、まずは圧力を受ける前の空隙率を決定する必要がある。本研究では小惑星上のレゴリス層、すなわち微小重力下で降り積もった粉体層を考える。空隙率は粒子の配置によって決まり、影響する要素としては粒子径、粒子形状、粒子間力、重力などが考えられる。粒子間力と重力の比から粉体層の空隙率を予測する経験式が提案されている (Yu et al., 2003; Kiuchi and Nakamura, 2014)。ただしこの経験式は1G下での実験結果から導きだされた経験式であるため、小惑星表面のような微小重力下でも成り立つかを調べる必要がある。また、この式には粒子径分布幅等の要素は含まれていないが、レゴリス層は衝突破片から成りその大きさは均一ではないため、粒子径分布の影響について考える必要がある。衝突破片のサイズ分布はべきで表されることが多く、このようなサイズ分布を持つ粒子の空隙率については、タッピング充填など密な充填構造を持っている場合については粒子の幾何学的配置から空隙率を予測するモデルが提案されている (Suzuki et al., 2001)。しかしゆるみ充填の場合の空隙率はモデルによる予測値から外れる。そのため、レゴリス層の堆積初期の空隙率を予測するためには、ゆるみ充填の場合の空隙率と粒子径分布の関係についてさらなる研究が必要である。

次に衝突や着陸の際、すなわちレゴリス層に圧力がかかる場合を考える。本研究では、粒子形状、粒子径分布幅、組成の異なる6種類の試料に対し遠心加速装置と圧縮試験機を用いて粉体層の圧密実験を行い、試料ごとにかかる圧力と空隙率の関係を調べた。

試料には粒子形状が同じで粒径分布の異なる海砂1-3 (それぞれメジアン径13 μm 、24 μm 、73 μm) と、フライアッシュ (4.5 μm)、溶融アルミナ (5.3 μm)、玄武岩衝突実験でできた破片のうち直径が210 μm 以下のもの (以下玄武岩) (29 μm) を用いた。これらを直径5.8 cm、深さ3.3 cm (玄武岩は直径2.7 cm、深さ1.4 cm) の容器にふるい入れてすり切り充填した。圧密前の空隙率に注目すると、海砂2と玄武岩ではメジアン径は近いが空隙率はそれぞれ58%、52%と玄武岩の方が低い。粒子径累積分布を粒子径のべきで表した時のべき指数はそれぞれ0.53と0.78であるため、ここから Suzuki et al. (2001) における、ゆるみ充填の場合はべき指数が大きいほど空隙率が小さくなる傾向と同様の結果が得られた。これらに遠心加速装置では1-18 G、圧縮試験機では 10^6 Paまでの力をかけ、遠心加速装置を用いた実験では遠心加速装置から取り出した後の表面高さから、圧縮試験機を用いた実験では圧縮変位から体積を求め、圧密後の空隙率を決定した。

本発表では、実験結果を複数の既存の粉体圧縮の式と比較すると共に、圧力と空隙率の変化、また空隙率による圧縮強度の変化について、主に粒子径分布と関連づけて議論する。

キーワード: 微惑星, 小惑星, 空隙率, 粉粒体

Keywords: planetesimals, asteroids, porosity, powder and granular material