

振動によるレゴリス層の密度進化に関する実験的研究

○大村知美, 中村昭子

神戸大学大学院理学研究科

多くの天体表層はレゴリス層に覆われている。レゴリス層の充填率は比較的lowく、例えば月ではコアサンプルの測定より 0.6 程度(Michell et al., 1974), レーダー観測から Phobos で 0.6 ± 0.1 程度, Deimos で 0.4 ± 0.1 程度(Busch et al., 2007), Itokawa の smooth surface terrain で 0.5 ± 0.2 程度(Ostro et al., 2004)であると推定されている。レゴリス層構成粒子のサイズは天体によって異なり、月では $75 \mu\text{m}$ 程度(Michell et al., 1974), 直径 $\sim 100 \text{ km}$ 以下の小天体では mm — cm オーダーであると考えられている(Gundlach and Blum, 2013)。それにも関わらずこのように充填率が比較的小さくなるのは、これら小天体では重力が微小であるため、重力に対し粒子間力の影響が大きくなるためだと考えられる。レゴリス層の充填率は圧力、振動などにより変化すると考えられるが、本研究では後者に着目する。振動の起こる原因としては衝突励起振動が考えられる。イトカワ表層では粒子の移動、分級がみられ、これは振動によるものだと示唆されている(Miyamoto et al., 2007)。よって小天体上においても振動による充填率変化は十分に起こりうるといえる。現在、振動によるレゴリス層の変化が起こるか否かの見積もりは粉粒体物理分野で得られた知見を元に行われている。たとえば粒子の対流が起こる特徴的な振動加速度は $\Gamma \approx 1$ となる加速度 (Γ : 重力加速度で規格化した振動加速度)であることが明らかになっており(Garcimartin et al., 2002 など)、この値は天体上で地形変化が起こるか否かといった見積もりにも使われている。しかしながらこういった値は地上における、mm サイズの粒子を用いて行った実験結果から得られたものである。こういった粒子を地上で扱う場合、粒子間力は重力に対しはるかに小さいのでほぼ無視することができる。しかしながら、小天体上のレゴリス粒子の場合は微小重力下ゆえ、粒子径が mm サイズであっても粒子間力の影響は大きくなる。

そこで本研究では付着力の効果を評価するため、振動による充填率変化を Γ 依存性に着目して調べた。加えて、充填率変化の周波数依存性についても調べた。

実験試料には 5 種類の μm サイズ粒子を用いた。粒子の形状はレゴリス模擬物として不規則形状のものと、比較のため球形のものを用いた。本研究では粒子間力の影響の大きさをファンデルワールス力と粒子にかかる重力の比 (F_v/mg , F_v : ファンデルワールス力, m : 粒子質量, g : 重力加速度)で評価する。今回用いた試料での値は $g=9.8 \text{ m/s}^2$ とすると $\sim 7 - 2000$ 程度で、これは重力加速度が 10^{-2} m/s^2 の天体上における直径 $100 \mu\text{m} - 1 \text{ mm}$ の粒子と同程度である。試料を 5.5 cm の高さから目開き $500 \mu\text{m}$ のふるいを用いて内径 58 mm, 深さ 33 mm の容器にふるい入れ、すり切り充填してサンプルを作成した。サンプルを用いて振動実験とタッピング実験を行った。振動実験ではサンプルに対し最大振動加速度が $5 - 34 \text{ m/s}^2$ となるような正弦波振動を 60 秒以上与えた。周波数は 15 Hz, 50 Hz, 150 Hz, 200 Hz で変化させた。タッピング実験では任意の高さから落下させることでサンプルに衝

撃加速度を与えた。与えた衝撃加速度は >90 , >150 , >280 m/s^2 で、落下回数は50回と70回で実験を行った。後者の実験は1種類の試料(シリカサンド($19\ \mu m$))に対してのみ行った。どちらの実験においても、サンプルの充填率は実験前後にレーザー測距計で測定した試料表面高さとして試料の粒子密度、実験終了後に測定した試料質量より求めた。

振動実験の結果からは充填率変化の Γ 依存性、試料依存性、周波数依存性が見られた。図1に各試料の周波数50 Hzでの実験結果を示す。 Γ が大きくなるほど充填率が大きくなる傾向はどの試料も同じであるが、充填率の増加具合には差がみられた。これは付着力の影響の大きさが関係していると考えられ、 F_v/mg が大きくなるほど充填率の増加は少ない傾向がみられた。ガラスビーズ($18\ \mu m$)の結果は傾向から外れていた。これは、他の不規則形状粒子の充填率変化には粒子が向きを変えることによる影響が含まれているが、球形粒子であるガラスビーズの場合はその効果が含まれないためだと考えられる。充填率の増加した試料のうちアルミナ($23\ \mu m$, $77\ \mu m$)では周波数依存性も見られ、粒子径に対する振動の振幅が小さくなるにつれ充填率の増加は大きくなる傾向がみられた。シリカサンド($19\ \mu m$)ではこの傾向は見られなかったが、これはこの試料の粒子径分布幅が広いことが影響していると考えられる。

シリカサンド($19\ \mu m$)の振動実験の結果とタッピング実験の結果から充填率変化の Γ 依存性を調べると、 $\Gamma \approx 15$ までは Γ と共に充填率は大きくなったが、 $\Gamma \approx 28$ になると充填率は減少した。振動によって粒子層を充填した際、最終的な充填率がある Γ までは増加し、それ以上では減少し始めるという傾向は先行研究(Nowak et al., 1997 など)と同じであるが、境界となる Γ の値は5倍程度異なった。このことから、小天体上における地形変化などを考える上で室内実験より明らかになった閾値を適用する際、付着力の影響で閾値が変化することを考慮すべきであることが示唆される(図2)。

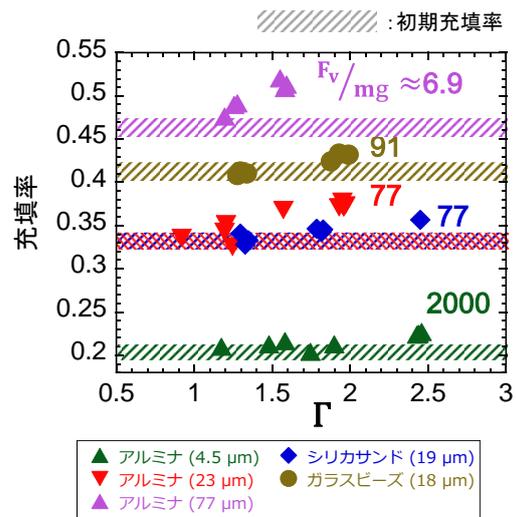


図1 50 Hzでの実験結果

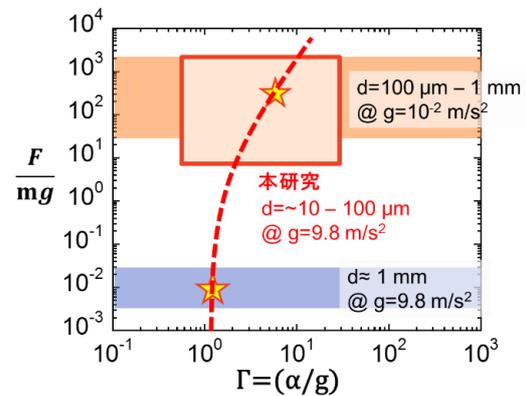


図2 Γ 依存性への付着力の影響(予想)

縦軸はある重力下で直径 d の粒子に働く付着力(F)と重力(mg)の比、横軸は重力で規格化した振動加速度を示している。星印は下からそれぞれ粉粒体物理分野で得られていた特徴的な値、上は本研究で得られた特徴的な値を示している。