

レゴリス対流による小惑星表面更新のタイムスケールの推定

○山田智哉, 安藤滉祐, 諸田智克, 桂木洋光
名古屋大学大学院環境学研究科

【はじめに】

『はやぶさ』による高精度探査データの解析により, 小惑星イトカワの表面は天体衝突起源の地震動で常に更新され続けてきた可能性が指摘されている. 例えば, 表面のレゴリス層では流動化・分級した跡が観測され[1], 持ち帰られた微粒子の宇宙線照射年代はおおよそ 1~3 Myr と比較的若いことが知られている[2]. 一方, 地上の室内実験ではレゴリスのような粉体に振動を加えると粉体対流が容易に生じることが知られている (e.g. [3]). しかし, イトカワをはじめとする小惑星のような微小重力環境下において粉体対流による表面更新がどのようなタイムスケールで起こるのかという点に関しては, 定量的議論がこれまで十分になされて来なかった.

この問題を解決するために, 我々は定常な鉛直振動を加えたガラスビーズ層の粉体対流速度のスケールリング則を実験的に求めた. その結果, 粉体対流の速度はほぼ重力加速度に比例することが分かった[4]. この実験結果より, 粉体対流は微小重力環境下においても発生し得るが, その速度は極めて小さくなる可能性が示唆された. このため, 対流による表面更新のタイムスケールは非常に長くなることが予想される.

【方法】

本研究では, レゴリス対流による表面更新過程をモデル化し, レゴリス層を持つ一般の小惑星の対流による表面更新のタイムスケールの推定を試みた. このモデルでは, 対流による表面更新過程を

1. インパクターがターゲット小惑星へ衝突する衝突段階
2. 衝突による地震動が発生する振動段階
3. 振動によって対流が発生する対流段階

の三つに分けた. 衝突段階ではメインベルト小惑星 (MBA) における天体衝突頻度モデル [5] を用いてインパクターの個数分布と衝突頻度を, 振動段階では小惑星の衝突励起地震モデル [6] を用いて振動加速度と振動継続時間を, 対流段階では実験で求められた粉体対流速度のスケールリング則 [4] を用いて対流速度をそれぞれ推定した. 1~3 の各段階を統合し, 小惑星上で起こるレゴリス対流による表面更新のタイムスケール T を小惑星直径 D_a の関数として求めた.

【結果と考察】

求めた T の表式に先行研究 [1, 6] で標準として用いられている物性値 (衝突エネルギーから振動エネルギーへの変換効率: $\eta=10^{-4}$, 衝突励起地震の減衰の指標である Q 値: $Q=2000$ 等)

を代入することで、小惑星の表面レゴリスが対流によって更新するために必要なタイムスケール T (図1の●) を求めた。図1より、推定された対流による表面更新のタイムスケール T はMBAの衝突寿命 (図1の○) より概ね一桁以上短いことが分かった。

イトカワサイズの小惑星 ($D_a=400$ m) の場合、図1より内挿して求めると $T=14$ Myrとなることが分かり、前述の通り、このタイムスケールはイトカワの衝突寿命の値およそ240 Myrより十分に短い。また、 $T=14$ Myrという値はイトカワの表面レゴリス粒子の宇宙線照射年代 (図1の◆) と比べても整合的な範囲内にあると言える。

一方、 T の推定値は Q や η が持つ不定性によって変化する。例えば、 η の推定値は $10^{-6} \sim 10^{-2}$ と四桁にわたる不定性を持つことが知られており[6]、 T の推定値に大きく影響を与え得る。そこで、 T が最も長くなる $\eta=10^{-6}$ の場合の T を見積もったところ、 T は衝突寿命と同程度になることが分かった。最悪のケースでも衝突寿命と対流による表面更新のタイムスケールが同程度であることから、対流による小惑星の表面更新がその寿命内に十分に可能であることが明らかになったと言える。

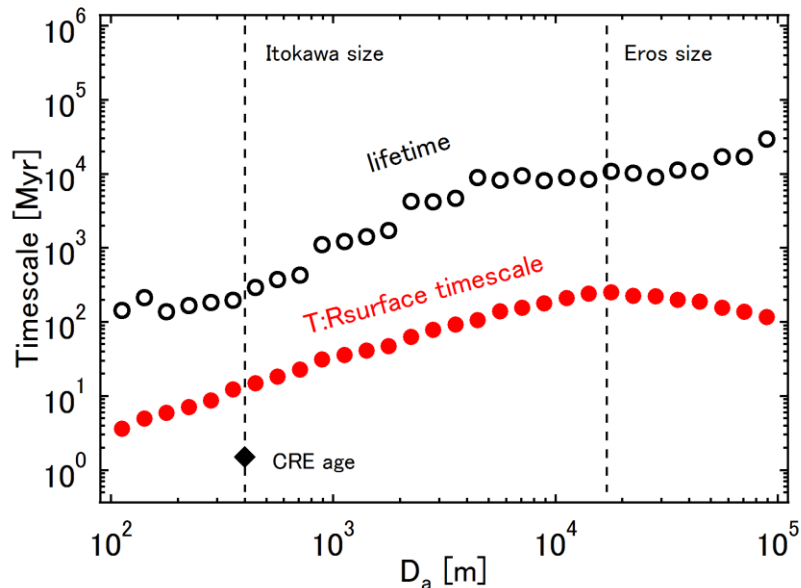


図1 メインベルト小惑星の直径 D_a に対するさまざまなタイムスケール。●は $Q=2000$, $\eta=10^{-4}$ の時の対流による表面更新のタイムスケール T , ○はMBAの衝突寿命, ◆はイトカワのレゴリス粒子の宇宙線照射年代 (CRE age) を示す。

【参考文献】

- [1] H. Miyamoto *et al.*, *Science* **316**, 1011 (2007).
- [2] M. M. M. Meier *et al.*, LPSC abstract #1247 (2014).
- [3] A. Garcimartín *et al.*, *Physical Review E* **65**, 031303 (2002).
- [4] T. M. Yamada and H. Katsuragi, *Planetary and Space Science* **100**, 79-86 (2014).
- [5] D. P. O'Brien and R. Greenberg, *Icarus* **178**, 179-212 (2005).
- [6] J. E. Richardson Jr. *et al.*, *Icarus* **179**, 325-349 (2005).