

IDP の起源としての浮遊ダスト Levitation dust: a source of IDPs.

千秋博紀¹, 小林正規¹, 和田浩二¹, 並木則行¹, 平田直之², 宮本英昭²

¹千葉工業大学惑星探査研究センター, ²東京大学総合研究博物館

Hiroki Senshu¹, Masanori Kobayashi¹, Koji Wada¹, Noriyuki Namiki¹,
Noayuki Hirata², and Hideaki Miyamoto²

¹Planetary Exploration Research Center, Chiba Institute of Technology,

²The University Museum, The University of Tokyo

探査機はやぶさが小惑星 Itokawa から持ち帰ったサンプルの分析によれば, Itokawa 表面の物質は常に失われており, 800 万年に 1m の割合でサイズが小さくなっているらしい(Nagao et al., 2011)。平均直径が 330m しかない Itokawa からの脱出速度は, わずか 20cm/s である。このため, 表面物質が何らかの理由で速度を得ると, 容易に天体から失われるだろう。天体を脱出した物質は, 惑星間塵の起源となり得る。小天体の進化を考える上でも, 惑星間塵の起源と進化を考える上でも, 小天体表面で速度を得た物質の運動を明らかにする必要がある。

小天体表面で物質が速度を得るメカニズムとしては, 天体衝突や他の天体に近づいた際の潮汐力, 粒子流, 太陽風によるピックアップなどが考えられる。惑星間塵の起源となるようなダストの場合, 体積に比して表面積が大きい。このため, 表面から飛び出したダストの運動は, 光電効果による帯電の影響を強く受ける。そこで本研究では, Colwell et al. (2005)のモデルを応用し, 光電効果の影響を検討する。

大気を持たず, 表面が非導電体でできた小天体は, 太陽光を受けると光電効果によって電子を失うと同時に, 太陽風の電子が打ち込まれる。このバランスによって, 小天体表面は最終的に正に帯電する。一方, 小天体上空には光電効果によって弾き出された電子が存在するため, 上向きの電場が作られる。

光電効果と太陽風電子の打ち込みはダストにも働く。このため, ダストは小天体表面と電氣的に反発する。さらに上空を浮遊するダストには, 天体表面から飛び出した光電電子も打ち込まれる。

Colwell et al. (2005)は, 以上の効果を微

分方程式の形でまとめている(詳細は紙面の都合で省略する)。しかし良く知られているように, 微分方程式は初期条件が与えられないと解く事ができないのだが, 実際にはダストが天体表面を離れる際の射出速度は様々な要因によって影響を受けるため, よくわかっていない(例えば Sternovsky et al., 2002; Scheeres et al., 2010)。そこで本研究では天体表面での射出速度とダストのサイズをパラメータとして, その後の運動がどのように記述されるのかを調べる。

本研究は, 様々なサイズの天体についてダストの運動を調べ, その傾向を調べることを目標とするが, ここでは紙面の都合もあるため, はやぶさ 2 の標的天体である 1999JU3 について結果を紹介する。1999JU3 は, 半径およそ 450m であり, Colwell et al. (2005) が研究対象とした Eros (半径 20km)よりも小さく, Itokawa よりも大きい天体である。

図 1 に, 計算結果の一例を示す。これを見ると, 射出速度が同じでもダストの半径が $3\mu\text{m}$, $5\mu\text{m}$, $7\mu\text{m}$ の場合で, その後の運動が全く異なる事がわかる。ダスト半径が $3\mu\text{m}$ で射出速度が 12cm/s 以下の場合には, ダストは速やかに天体表面に再堆積する。これは, 飛行中に天体表面からの光電電子の打ち込みを受けて電荷が負になり, 正に帯電している天体表面に引かれて落下するためである。一方, 射出速度が 14cm/s になると, 一気に到達高度が高くなる。これは, ある高度(デバイ長)より上では光電電子の打ち込みが効かなくなるためである。この高度よりも上空では再び光電効果によって正に帯電する効果が卓越し, 天体表面とは電氣的に反発を起こす。図からだけではわからないが, この反発によって加速されたダストは最終的に脱出速度以上に

加速され、天体から失われている。

ダストの半径が $7\mu\text{m}$ の場合は、射出後の運動はほぼ放物軌道になっている。これに対し、半径 $5\mu\text{m}$ のダストの運動は射出速度によってさまざまである。 9cm/s で射出された場合には、天体上空で振動するような運動を行う。これは、天体の重力と表面との電気的反発力のバランスによる。すなわち、天体に近いと電気的反発力が勝り、天体から遠ざかると重力が勝るためにこのような振動を起こすのである。Colwell et al. (2005)が示したように、Eros ではこのような振動運動をするパラメタレンジは広い(半径 $0.3\text{-}1.0\mu\text{m}$, 射出速度 $0.5\text{-}2.0\text{m/s}$)のだが、1999JU3 ではパラメタレンジはごく限られており、Itokawa ではより狭い。

振動運動する条件の速度の下限値は、ダストがデバイ高度を越えられるか否かで決まる。一方、速度の上限値は重力に引かれて落下してくるダストを、電気的反発で止められるか否かで決まる。事実、射出速度が 10cm/s の粒子は、 9cm/s で打ち上げられた場合よりもわずかに最高到達高度が高いため、電気的反発だけでは落下を止められずに、ダストは天体表面に落ちてしまう。天体の重力が小さい場合には、電気的反発

によって支える事の出来るダストのサイズは大きくなるが、同時にダストの慣性が強くなるため、結果的に振動解が得られる条件が厳しくなるものと考えられる。

グラフの縦軸のスケールが異なる事にも注目すべきである。グラフによると、 $3\mu\text{m}$, $5\mu\text{m}$, $7\mu\text{m}$ のダストの中では、 $5\mu\text{m}$ のダストが最高到達高度が一番高い。これは、天体表面との電気的反発が有効に効いたためである。

以上をまとめると、次のようになる。

- 1999JU3 表面からは、 $5\mu\text{m}$ よりも小さなダストは電気的反発で失われる
 - 上限サイズは天体の重力加速度の大きさと決まる
 - 惑星間塵のサイズ分布と小天体のサイズ分布を関係づけられるかもしれない
- 失われる上限サイズぎりぎりのダストは、放物軌道よりも高高度まで運ばれる
- 失われる上限サイズぎりぎりのダストは、射出速度によっては振動運動をすることがある
 - ダストを観測する場合にはこのサイズのダストが重要となるだろう

1999JU3の場合

軌道長半径1.189AU, 離心率0.190

天体半径 461m, 表面重力加速度 0.00029m/s^2

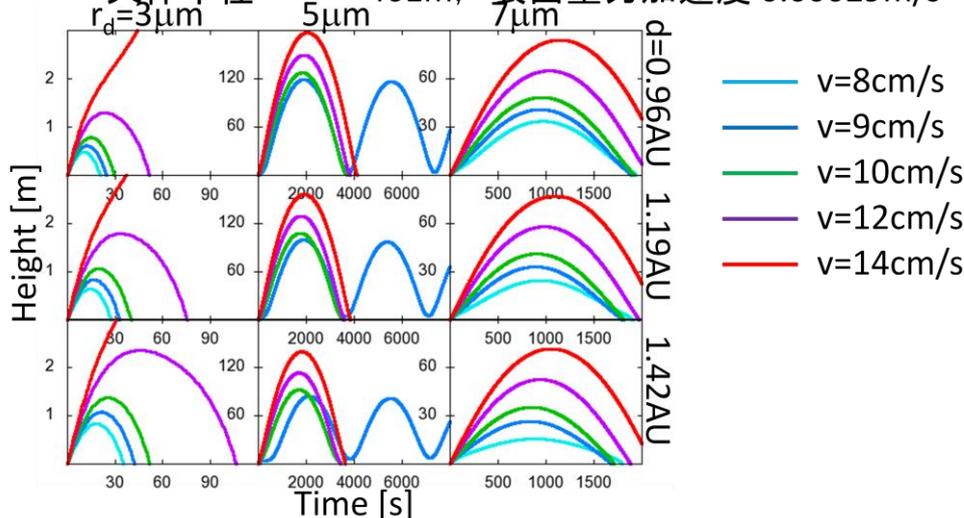


図1：1999JU3 表面から半径 $3\mu\text{m}$ (左カラム), $5\mu\text{m}$ (中央カラム), $7\mu\text{m}$ (右カラム) のダストを、様々な射出速度で打ち上げた場合の高度変化。上段, 中段, 下段はそれぞれ 1999JU3 が近日点, 平均日心距離, 遠日点にある場合に相当する。それぞれのパネルで、縦軸(高度)と横軸(時間)のスケールが異なる事に注意。