

## プロレート宇宙塵の形成

### Prolate Cosmic Spherule Formation

# 土居 政雄 [1]; 中本 泰史 [2]

# Masao Doi[1]; Taishi Nakamoto[2]

[1] 筑波・数理・物理; [2] 東工大

[1] Physics, Tsukuba Univ.; [2] Tokyo Tech

宇宙塵 (cosmic spherule) とは、地球外のダスト粒子が大気圏突入時のガス摩擦により加熱・溶融し、表面張力で丸くなったあと冷えて固まったものである。主に、地球大気上層や南極の氷の中、あるいは深海底などで採取されている。大きさは1 mm以下で、組成は隕石とよく似ており、石質・鉄質・ガラス質等がある。宇宙塵の起源は小惑星の破片や彗星から放出されたダスト粒子などの惑星間塵であり、それらがポインティング・ロバートソン効果を受けて太陽に落下する途中に地球に捕獲されたものと考えられる。宇宙塵は一度溶けているので、大気圏に突入する前の組成から変化しているが、加熱や蒸発の度合いを知ることで地球大気突入前の状態を推定することができる。すなわち、宇宙塵を分析することで地球外にある惑星間塵の情報を得ることができると考えられる。

宇宙塵の中には、形が球ではなくプロレート(ラグビーボール型)やオプレート(ドラ焼型)の形状を持つものが発見されている。このような形状は、地球大気に突入したダスト粒子が融解した後に何らかの理由によって変形し、そのまま冷えて固まった時に定まったと考えられる。オプレートの形状は、融解したダスト粒子にガス動圧が一方向から加わった時に形成される。一方、プロレートの形状は、溶融したダスト粒子が回転しているときに形成されることが予想されている。大気圏に突入する前のダスト粒子が非球対称な形をしている場合、ダスト粒子に加わるガス動圧によってダスト粒子は一般に回転を始めると考えられる。このときの回転軸は、ダスト粒子の運動方向に垂直である。このように回転しているダスト粒子には、ガスの動圧および遠心力が働く。加わるガス動圧が遠心力に勝れば、溶融ダストの形状は回転軸方向に伸びたプロレート型になることが考えられる。しかし、地球大気に突入して溶融したダスト粒子に働くガス動圧の大きさや遠心力の大きさは詳しくは調べられていないので、本当にプロレート型宇宙塵が形成されるかどうかは、明らかではない。

そこで私達は、惑星間塵が地球大気に突入するときにダスト粒子に働く動圧や遠心力の大きさを調べ、プロレート型の宇宙塵が形成されるかどうか調べた。惑星間塵の大気圏突入パラメータ(初期半径・突入速度・突入角度)は、出来るだけ広い範囲を調べた。

まず初めに、高速剛体回転している溶融ダスト粒子に、超音速の希薄ガスが当たった時のダスト粒子の変形を、線形近似を用いて解析的に解いた。溶融体内部の流体運動と、表面が変形することによる表面張力、表面に作用するガス動圧、および遠心力を考慮した。その結果、遠心力とガス動圧の比  $R$  が  $19/5$  より大きければ、遠心力が卓越して形状はオプレート型になり、逆に  $R$  が  $19/5$  より小さければ、ガス動圧が卓越して形状はプロレート型になることがわかった。次に、地球大気に突入したダスト粒子が再固化するときに受けているガス動圧を知るために、地球大気に突入したダスト粒子の大気中の運動および温度を計算した。運動方程式とエネルギー方程式を、蒸発によるサイズ減少を考慮しながら数値計算した。さらに、ダスト粒子が非球対称な形状をしている場合にガス動圧から得られるトルクを、ダスト粒子の非対称パラメータ  $f$  (ダストの断面積に対する非対称部分の断面積の比) を用いて見積もり、再固化時の角速度を求めた。なお、ダスト粒子は蒸発することでサイズが減少するが、慣性モーメントも同時に小さくなるので、角速度は一定のままである。突入パラメータとしては、初期半径が  $0.005 \text{ mm} \sim 1 \text{ mm}$ 、突入速度  $11.2 \text{ km/s} \sim 30 \text{ km/s}$ 、突入角  $0^\circ \sim 90^\circ$  ( $0^\circ$  が地球の中心方向) の範囲を調べた。

以上のような解析を行った結果、地球大気に突入したダスト粒子が融解時に得た角速度ではほとんどの場合、再固化時には遠心力よりもガス動圧が上回り、 $R$  が  $19/5$  より小さくなることがわかった。これは、ダスト粒子の半径は蒸発によって小さくなるが、それに伴って遠心力も弱くなるためであると考えられる。そして、このような場合、ダスト粒子はプロレート形状になることが示唆される。したがって、地球大気に突入した粒子のうち、宇宙塵を形成するような突入パラメータをもつものの中には、プロレート形状の宇宙塵が形成される可能性が十分にあることがわかった。