

## 宇宙塵の3次元形状-地球大気中で溶融したダスト粒子の変形

## Three-Dimensional Shapes of Cosmic spherules: Deformation of Dust Particles Molten in the Earth Atmosphere

# 土居 政雄 [1]; 中本 泰史 [2]; 中村 智樹 [3]; 山内 祐司 [4]

# Masao Doi[1]; Taishi Nakamoto[2]; Tomoki Nakamura[3]; yuji Yamauchi[4]

[1] 東工大・地惑; [2] 東工大; [3] 九大・理・地球惑星; [4] 九大・理・地惑

[1] titech; [2] Tokyo Tech; [3] Earth and Planetary Sci., Kyushu Univ.; [4] Earth and Planetary Sciences, Kyushu Univ.

宇宙塵とは、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。大きさは直径で1 mm 以下、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。

近年、宇宙塵の形状に注目した観測がなされ、オプレート型(ドラ焼き型)の宇宙塵やプロレート型(ラグビーボール型)の宇宙塵が発見された(Tsuchiya et al. 2004)。地球大気中に突入したダスト粒子が溶融中に力を受けて変形したと考えられる。変形させる力としては、表面張力、ガス動圧、遠心力などが考えられる。しかし、宇宙塵の形状の起源は、宇宙塵の形成過程と関係していると考えられるものの、まだ明らかにはされていない。

ダスト粒子の形状は、ダスト粒子が溶融しているときに回転しているかどうかで変化する。地球大気中に突入したダスト粒子が回転していない場合、一方向からガス動圧が加わることでオプレート型の宇宙塵が形成されると考えられる(Sekiya et al. 2003)。一方、ダスト粒子が高速回転している場合には、プロレート型の宇宙塵が形成される(土居・中本 合同大会 2007 P223-P002)。

本研究では、地球大気中に突入したダスト粒子の運動方程式とエネルギー方程式を蒸発も考慮して解いて、溶融し再固化するときに働くガス動圧や遠心力、および流れの様子を計算した。そして、再固化時のダスト粒子の変形度の大きさを求めた。本研究では、ダスト粒子の変形度の大きさを、ダスト粒子の長軸 A、中軸 B、短軸 C の長さを用いて  $\{(1-B/A)2 + (1-C/B)2\}^{1/2}$  と定義した。このとき、ダスト粒子の変形に対する線形解析解を用いて、各軸の大きさを計算した。本研究で調べたパラメータの範囲は、突入速度 12 km/s - 20km/s、突入角 0 度-90 度(0 度が地球の中心方向)、初期サイズ 0.1 mm から 2 mm までである。また南極から採取した、完全溶融したと考えられる宇宙塵(大きさ 40 ミクロンから 120 ミクロンまで)の A、B、C をそれぞれ測定した。また各軸の大きさを測定した後、表面を研磨し内部の化学組成を電子顕微鏡で分析した。これら数値計算した結果と測定した宇宙塵の変形度を比較した。

採取した宇宙塵の変形度は、ほぼ 0 から 0.3 まで分布していた。一方、この範囲の半径を持つ粒子に対して数値計算で変形度を評価すると、その上限値は 0.1 ほどであった。実際の宇宙塵は、理論モデルで得られたよりも大きな変形をしていることがわかった。

このような変形度の大きい宇宙塵が形成される可能性として、次の 3 つの可能性を検討した。

(1) 表面張力が理論モデルで想定したよりも小さい場合: 変形度が大きい宇宙塵は表面張力が小さい可能性がある。本研究では、表面張力の値として玄武岩の値 400 dyn/cm を用いた。サイズが 40 ミクロンから 120 ミクロンの範囲において変形度がおよそ 0.3 となる表面張力の大きさを求めると、およそ 50 dyn/cm が必要であることがわかった。しかし、採取された宇宙塵の化学組成にはあまり違いがないことから、表面張力の違いではないと考えられる。

(2) 再固化時の粘性が高い場合: 再固化時にダスト粒子の粘性が高い場合、ダスト粒子の変形のタイムスケールがダスト粒子の溶融時間よりも長くなる場合がある。このとき、ダスト粒子はより高温で粘性の低い状態のときの形状を保持していると考えられ、ダスト粒子の変形度が大きくなる可能性がある。しかし、採取された宇宙塵の化学組成にあまり違いがないことから、粘性の違いでも説明できない。

(3) 結晶成長の異方性: ダスト粒子が冷えて内部が結晶化するとき、ある特定の方向に結晶が成長しダスト粒子の変形度を大きく変えてしまうことが考えられる。しかし、変形度の大きい宇宙塵の内部にある結晶のサイズは小さく、結晶成長の影響が少ないと思われる。また、小さい変形度を持つ宇宙塵の内部にも同様の結晶が見られることから影響が少ないと考えられる。

以上のことから、宇宙塵の形状の起源として、表面張力や粘性、あるいは結晶化といった内部の物性によらない力学モデルを考える必要があることがわかった。変形度の大きい宇宙塵が形成される可能性としてさらに考えられるのは、回転軸がガス流に対し平行な場合、サイズの大きいダスト粒子が高速で突入し強いガス動圧を受けた場合、大気との摩擦により分裂したダスト粒子が溶融中に衝突し固化した場合、内部に生じた気泡や沸騰により溶融中に変形する場合、などである。詳細は今後、研究を進めて明らかにする必要がある。