

SM/MPAC&SEED 第2回回収試料に含まれる2次デブリの詳細分析

茨城大学 野口高明, 九州大学 中村智樹, 石川島播磨重工業㈱ 北澤幸人

1. はじめに

国際宇宙ステーションロシアサービスモジュール利用微小粒子捕獲実験及び材料曝露実験 (SM/MPAC&SEED) の2回の回収エアロジェルの1次評価概要については、北澤ら¹⁾, Neish et al.²⁾ において報告されている。本発表では、我々は第2回回収のエアロジェルに観察された顕著な試料捕獲トラックのひとつから捕獲された粒子の詳細分析について報告する。実際に大気圏外において曝露を行ったエアロジェルから捕獲粒子を取り出して分析を行った研究は、最近まで Mir に搭載したエアロジェルから捕獲粒子を取り出して分析した例 (Hörz et al., 2000) などわずかであった。しかし、Stardust 探査機に搭載したエアロジェルで捕獲した研究例が今後爆発的に増加すると考えられる。この場合、捕獲粒子に各種非破壊分析を行うのでは、捕獲粒子について誤った結論を導く可能性があるため³⁾、エアロジェルから粒子を取り出しての分析は重要である。

2. 分析した試料と作業手順について

第2回回収の SM/MPAC&SEED に搭載されていた ISS の Wake 面側シリカエアロジェルのひとつに見られたキャロット状のトラックに捕獲されていた黒および透明の粒子を、茨城大学理学部のクリーンルームにおいて、実体顕微鏡下で鋭利なタングステン針を用いてエアロジェルから取り出した。取り出した試料は、直径 $5\mu\text{m}$ のグラスファイバーにアセトンに可溶性な接着剤を極少量用いて取り付け、高エネルギー加速器研究機構の放射光実験施設において、X線回折を行なった。透明な粒子はシリカエアロジェルの融けたものであったが、黒い粒子は銀の酸化物と硫化物の混合物であると同定された。この粒子について、さらに茨城大学機器分析センターの透過電子顕微鏡 (TEM) を用いて詳細観察を行った。TEM 試料は、超薄切片法を用いて作成した。また、超薄切片を切り出した残りの試料断面を同センターの走査電子顕微鏡 (SEM) で観察した。

3. 結果と議論

捕獲粒子の主要構成物質は、 Ag_2O (立方晶系) と Ag_2S (単斜晶系, 鉱物の arcanthite と同結晶構造) である。超薄切片を観察すると、捕獲粒子の表面 $0.2\mu\text{m}$ は連続的なリム構造を持っている。リムは、捕獲粒子全体の内部に比べて粗粒 (直径 $50\text{-}100\text{nm}$) の Ag_2S と酸化銀、これらの粒子の粒間を埋める S を含むアモルファスな物質からなる。この S を含むアモルファス物質は非常に不安定で、電子線が照射されるとすぐに分解が始まり S が失われる。電子線回折によると、捕獲粒子表面の酸化銀は、複雑な双晶を持つものも多く、 Ag_2O 以外の酸化銀も含まれている。それに対して内部は極細粒 (直径 $<30\text{nm}$) の Ag_2O 結晶のゆるい集合体である。捕獲粒子の断面試料の SEM 観察からも、内部には大きな空隙があることが分かる。しかし、このような物質が人工衛星やロケットのどのようなところで用いられていた物質であるかは現状では明らかではない。

捕獲粒子の超薄切片のひとつからは、捕獲粒子のリムに Ca に乏しい輝石（直径 $<1.5\mu\text{m}$ ）が見出された。その電子線回折パターンは斜方輝石であることを示している。TEM に取り付けられたエネルギー分散型スペクトロメータ（EDS）によって、 $\text{Wo}_1\text{En}_{85}\text{Fs}_{14}$ ($\text{Ca}_{0.02}\text{Mg}_{1.70}\text{Fe}_{0.28}\text{Si}_2\text{O}_6$) という化学組成を持つことが分かった。輝石は隕石や宇宙塵に一般的な鉱物である。地球上で回収あるいは捕集された地球外物質ばかりでなく、Mir においてエアロジェルを用いて捕獲されたマイクロメテオロイドにも Ca に乏しい輝石が確認されている。このように一般的な鉱物であることから、この輝石粒子は、このスペースデブリを発生させたメテオロイドの残留物ではないかと考えられる。言い換えると、このスペースデブリは 2 次デブリである可能性が高い。

残留鉱物粒子はただ一粒発見されただけなので、その起源に対する不確定性は大きい。しかしながら、地球上で捕獲・採集される各種の宇宙塵や隕石の中では、化学組成の均一な Fs_{15} から Fs_{20} 程度の斜方輝石を多く含むものは比較的限られている。隕石の中では普通コンドライトというもともと数の多い隕石のグループに属する H コンドライトが代表的なものである。H コンドライトは地球上で回収された隕石の 31% を占める一般的な物質である (Grady, 2000) が、数百 μm 以下の宇宙塵にはほとんど存在しないことが知られている (Beckerling and Bischoff, 1995)。このことを考慮すると、2 次デブリを発生させる元となったメテオロイドは H コンドライト的物質であり、約 1mm 以上ある隕石的なサイズを持った物質であった可能性が高いと考えられる。

4. エアロジェルからの粒子取出しについて

本報告において捕獲粒子の掘り出しは実体鏡下でフリーハンドで行ったが、フリーハンドでは直径約 $20\mu\text{m}$ 以下の捕獲粒子の回収の成功率は相当低い。より小さな捕獲粒子の取り出しを確実にできるようなするため、本年度の科研費で駿河精機製電動マイクロマニピュレータを導入し、エアロジェル捕獲実験によって捕獲された微小粒子の掘り出しを試みている。角膜手術用の小型メスを用いているがエアロジェルを滑らかに切り出すことは困難である。最近、エアロジェルの切り出しにはピエゾアクチュエータを取り付けた小型メスが非常に有効であるという論文が出た (Ishii et al., 2005)。この論文によると、アクチュエータの振動数 (50-60Hz 程度) をコントロールすると滑らかに切り出すことが可能である。次年度の JAXA の MPAC 分析にあったっては、ピエゾアクチュエータを導入し、捕獲粒子の取り出しの確実性を向上させるとともに、より小さな捕獲粒子の取り出し・分析を可能にすることが適切である。

5. 研究発表リスト

- 1) 北澤幸人, Neisch, 野口高明, 山県一郎, 木本雄吾, 石澤淳一郎, 鈴木峰男, 藤原顕 SM/MPAC 1 次評価 (初期分析) 報告. 本報告書.
- 2) M. J. Neish, Y. Kitazawa, T. Noguchi, T. Inoue, K. Imagawa, T. Goka, Y. Ochi; PASSIVE MEASUREMENT OF DUST PARTICLES ON THE ISS USING MPAC: EXPERIMENT SUMMARY, PARTICLE FLUXES AND CHEMICAL ANALYSIS, Proceedings of the Fourth European Conference on Space Debris, Darmstadt, Germany, 18-20 April 2005 (ESA SP-587, August 2005), (2005).
- 3) T. Noguchi, T. Nakamura, K. Okudaira, H. Yano, S. Sugita, and M. J. Burchell (投稿中) Thermal alteration of hydrated minerals during hypervelocity capture to silica aerogel at the flyby speed of STARDUST. Meteoritics and Planetary Science.