

## 宇宙塵鉱物学：彗星観測衛星 ROSETTA のためのデータベース

## Study of Possible Cometary Particles for the Rosetta Mission

# 中村 圭子[1], Wolfgang Kloeck,[2], Jens Romstedt,[3], Ansger Greshake,[4], Torsten Grund,[5], Marco Wiegand,[6], Bernhard Basnar,[7]

# Keiko Nakamura[1], Wolfgang Kloeck[2], Jens Romstedt[3], Ansger Greshake[4], Torsten Grund[5], Marco Wiegand[6], Bernhard Basnar[7]

[1] 神大・理・地球惑星, [2] ハレ大・地質, [3] ESA, ESTEC, [4] ベルリン自然史博物館, [5] ミュンスター大・惑星科学, [6] マックスプランク・微細構造物理, [7] ウィーン工科大・分析化学

[1] Earth and Planetary Sci., Kobe Univ, [2] Inst. of Geology, Halle Univ., [3] ESA, ESTEC, [4] Berlin Natural History Museum, [5] Planetary Sci., Univ. of Muenster, [6] Microstructure Physics, Max Planck Inst., [7] Analytical Chem., Inst. Tech., Wien

欧州宇宙機構が2003年に打上げ予定のROSETTAは、8年間の宇宙空間飛行の後 Wirtanen 彗星に接近・観測する多角的彗星探査衛星である。搭載実験器の一つであるMIDASは彗星塵回収装置を取り付けた宇宙空間対応型原子間力顕微鏡として現在改良が進んでいる。MIDAS顕微鏡で得られた彗星塵の表層組織データを正確に把握し、実験成果を十分に引き出すためには、総合的な予備実験データの蓄積が必要である。そのため我々は上層大気浮遊宇宙塵の表層組織の観察及び透過型電子顕微鏡で内部構造観察・組成分析を行い、宇宙塵の組織・鉱物・化学的情報をまとめたデータベースを作成している。この結果を報告する。

〔はじめに〕欧州宇宙機構(ESA)が2003年に打上げ予定のROSETTAは、8年間の宇宙空間飛行の後46P-Wirtanen彗星に接近し10数種の実験機器でコマ及び彗星核を詳細に観測する多角的彗星探査衛星である。搭載実験器の中でもMIDAS(Micro Imaging Dust Analysis System)は彗星塵回収装置を取り付けた宇宙空間対応型原子間力顕微鏡(AFM)として現在改良が進んでいる。彗星塵を調べることは彗星の起源探究も含めて、原始太陽系星雲の構成粒子を知ることに他ならない。MIDAS顕微鏡で得られた彗星塵の表層組織データを正確に把握し、実験成果を十分に引き出すためには、総合的な予備実験データの蓄積が必要である。現在我々は宇宙塵の表層組織の観察及び内部構造観察・組成分析を行い、宇宙塵の組織・鉱物・化学的情報をまとめたデータベースを作成している。

〔実験〕NASAが上空20000mで回収した宇宙塵を試料として用いた。宇宙塵(3~40 $\mu$ m)は個々に分別・洗浄を行い特殊基板に装着後、AFM、電界放出走査型電子顕微鏡(FESEM)及び低真空走査型電子顕微鏡(ESEM)で組織観察を行った。全ての宇宙塵はエネルギー分散型X線分光(EDX)分析器でバルク組成を定量測定した後、試料それぞれの半分をマイクロトームを用いて厚さ70nm以下の超薄切片に削り出し、透過型電子顕微鏡(TEM)観察を行った。宇宙塵試料の残りの半分は、時間飛行型二次イオン質量分析器(TOFSIMS)を用いて分析中である。

〔結果と考察〕現在30以上の宇宙塵の観察・分析が完了しており、それらは鉱物・表層組織の特徴に基づいて分類されているが、ここでは各分類の代表的な粒子の観察・分析結果を報告する。

球状ケイ酸塩タイプ：塵表面に大気圏突入時に受けた熱変成によると思われる磁鉄鉱が線状に成長しており、これらの磁鉄鉱は数百nmの八面体自形を呈していることがAFMで確認された。(図1参照)内部組織は均質な非晶質である。ケイ酸塩が微量のニッケルを含むことにより、地球外鉱物であることがわかる。

硫化鉄タイプ：AFM観察では数百nm~数 $\mu$ mの隆起物が多数みられたが、これらは全て120度の角を呈しており、硫化鉄の自形である六方晶結晶が突出しているものと思われる。粒子は大部分が少量のニッケルを含む硫化鉄であるが、隕石によく見られるトロイライト硫化鉄は確認されていない。少量の含水層状ケイ酸塩および炭素質物質がみられる場合がある。

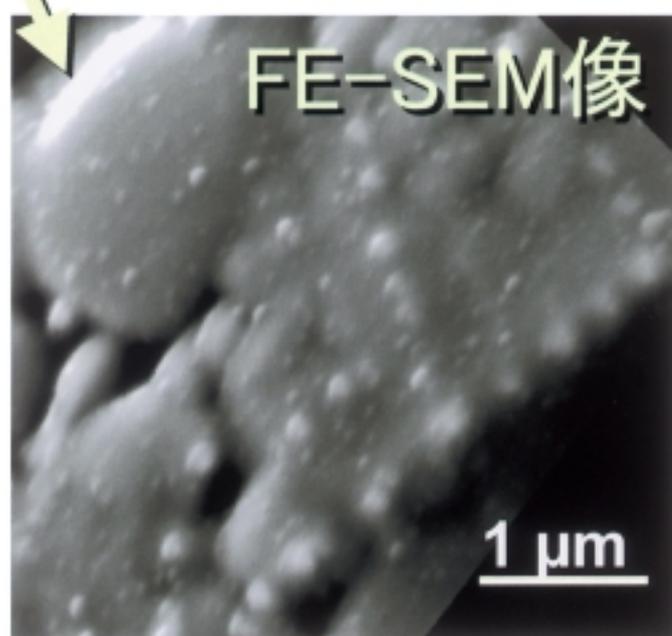
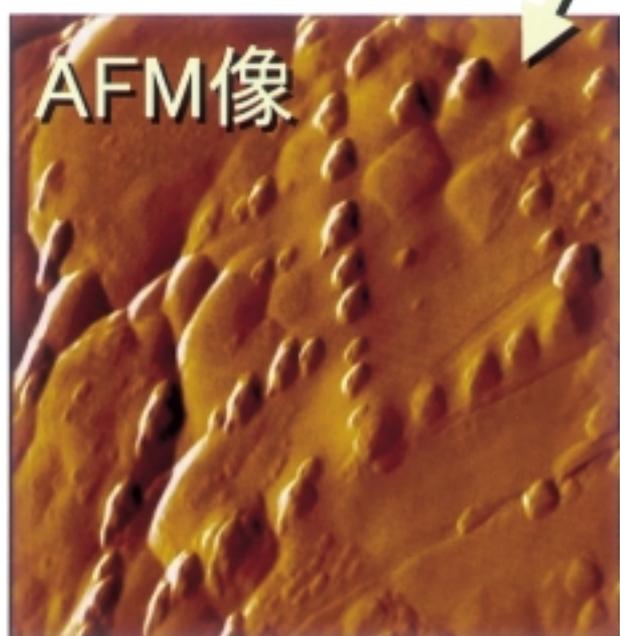
コンドリチックスムーズタイプ：炭素質コンドライト隕石と組成的に似ており、組織が密に詰まっている。サポナイトなどの含水層状ケイ酸塩に富み、ペントラングライト・ピロータイトなどの硫化物を含む。この硫化物の含有量は宇宙塵個々によって様々で、上の硫化鉄タイプの宇宙塵と深く関連している。表層が一部溶融し、脱ガスしたような組織も見られたが、内部には含水層状ケイ酸塩や炭酸塩鉱物が残っていることから内部は熱から守られていたことがわかる。

コンドリチックポーラスタイプ：多孔質で表層の凹凸が激しい。FESEM像とAFM像それぞれで同一範囲を撮影したものを比較すると、AFM像では宇宙塵を構成する数10nm~数百nmの微粒子が鮮明に見て取れる。これらの微粒子の大部分はカンラン石や輝石からなる無水ケイ酸塩で組成は極めて非平衡である。さらにこのタイプの宇宙塵

には GEMS と呼ばれる炭素質ガラス中に直径数 nm の鉄ニッケル硫化物及びメタルを含有する直径 100~500nm の非晶質球状粒子がみられる。GEMS は宇宙塵に取り込まれる以前に長期間太陽風を受けたためにアモルファス化した始源星間構成粒子と言われている (Bradley, 1994) が、詳しいことはわかっていない。

〔結論〕本研究で宇宙塵の表層組織の観察及び TEM で内部構造観察・組成分析が総合的に行われたことにより、宇宙塵の形状と組成は深く関連していることがわかった。また AFM を用いることにより宇宙塵の間隙度・表面溶融度・構成粒子の大きさを見積もることが出来るだけでなく、組織比較による鉱物同定も可能になった。本研究は現在も継続中で、放射光 X 線施設、微小領域質量分析器を使用しての宇宙塵中微量元素測定、同位体測定も行われており、将来 ROSETTA 計画で得られる貴重な彗星塵の情報を正確に把握するための宇宙塵の組織・鉱物・化学的情報をまとめたデータベースを拡張中である。

〔図 1〕球状ケイ酸塩タイプ宇宙塵 (L2006L2) 直径 22  $\mu\text{m}$ 。表面に大気圏突入時に受けた熱変成による磁鉄鉱が線状に成長しており、これらの磁鉄鉱は数百 nm の八面体自形を呈していることが AFM 像では確認できる。大気圏突入時にさらに高温の熱変成を受けたと思われる宇宙塵 (下図 : L2008I13 直径 16  $\mu\text{m}$ ) では、表層部の磁鉄鉱が大きく成長し、多数の球を形取っている。



0

4.00  $\mu\text{m}$

