

Wild 2 彗星粒子中のケイ酸塩鉱物に見られる温度・圧力履歴：透過電子顕微鏡による研究

Effects of high temperature and pressure observed in silicate minerals in Comet Wild 2 samples: Transmission electron microscopy

留岡 和重 [1]; 富岡 尚敬 [1]; 大西 市朗 [1]

Kazushige Tomeoka[1]; Naotaka Tomioka[1]; Ichiro Ohnishi[1]

[1] 神戸大・理・地球惑星

[1] Earth Planet. Sci., Kobe Univ.

http://www.planet.sci.kobe-u.ac.jp/study/list/planet_m/tomeoka.html

はじめに：2006年1月15日、Stardust 探査機は Wild 2 彗星試料を地球に持ち帰ることに成功した。その後直ちに、回収試料は初期分析のために世界中の研究者達に送られた。我々は2006年2~6月の間に、NASA JSC から合計9つの Wild 2 試料を受け取った。これら9つの試料を透過電子顕微鏡 (TEM) で詳しく調べた結果、それらは次の3つのグループに分けられることがわかった：(1) ケイ酸塩に富むタイプ (3つ)、(2) Si-O ガラスに富むタイプ (4つ)、(3) いずれにも当てはまらない異常なタイプ (2つ)。ここでは (1) と (2) に分類される7つの試料の結果について報告する。

試料はいずれもウルトラマイクロームによって作られた大きさ 1-23 μm 、厚さ 70-100 nm の薄片である。

結果：ケイ酸塩に富む粒子：

FC13-0-17-1-3 (試料名) は主に Ca に乏しい輝石 (斜方輝石、大きさ 0.3-1.5 μm) と少量の Fe に富むカンラン石 (Fa30-Fa50, 0.2-1.0 μm) および Ca に富む輝石 (オーザイト) からなる。微量の Fe-Ni 硫化物 (大きさ 0.1-0.3 μm) が含まれている。

C2115-24-22-1-8 は大部分 Fe に富むカンラン石 (Fa9-Fa36, 大きさ 0.3-2.0 μm) からなり、少量の Ca に富む輝石 (ダイオプサイド) および Si, O, Al, Na に富むガラスを含む。カンラン石粒子の一つが高密度 ($\sim 10^{10} \text{ cm}^{-2}$) の [001] 方向らせん転位を持つことがわかった。

C2027-2-69-1-4 は、コア、内部リム、外部リムからなる累体構造を持つ。コアは Ca に乏しい輝石 (エンスタタイトおよびピジォナイト、大きさ 0.5-2.0 μm) からなり、少量のカンラン石 (Fa19-Fa24) を含む。エンスタタイトは単斜エンスタタイトであり、斜方エンスタタイトとの不規則積層構造を持つ。内部リムは Mg, Fe を含む Si-O ガラスからなり、少量の Fe-Ni 金属・硫化物の微粒子 (径 5-150 nm) を含む。外側リムは純粋な Si-O ガラスからなる。これは融けたエアロジェルと思われる。

Si-O ガラスに富む粒子 (C2004-1-44-4-4, C2054-0-35-16-6, C2054-0-35-44-3, C2054-0-35-53-3): これらはいずれも Mg, Fe を含む Si-O ガラスからなり、無数の微小な Fe-Ni 金属・硫化物粒子 (径 5-300 nm) と丸い穴 (気泡の跡) (径 20-300 nm) を含む。

議論: ケイ酸塩に富む3つの試料のいずれのカンラン石も Fe に富み、試料間また各試料中の粒子間で組成に大きな違いがある。これは、カンラン石の化学組成が1ミクロン以下のスケールで不均質であることを意味する。このような特徴はタイプ3の非平衡コンドライトのものに相当し、Wild 2 試料の熱変成度が極めて低いことを意味する。

C2115-24-22-1-8 中のカンラン石粒子に見られる高密度のらせん転位は、27 GPa 以上の衝撃圧力による変形によって形成されると考えられている (Ashworth 1985)。それゆえ、このカンラン石の存在は、Wild 2 粒子が Stardust に捕捉される以前に強い衝撃圧力を受けたことを示唆する。これは、Wild 2 彗星が衝突を受けたこと示す証拠であるかもしれない。

輝石は3つのケイ酸塩に富む試料すべてに含まれているが、その結晶構造と組成は試料ごとに異なる。同じエンスタタイトでも FC13-0-17-1-3 では斜方構造であり、C2027-2-69-1-4 では単斜構造である。斜方エンスタタイトは600 以上の高温からゆっくりと冷却されてできるのに対し、単斜エンスタタイトは1000 以上の高温から急冷されてできることが知られている (Smyth 1974)。それゆえ、2種類のエンスタタイトが見つかったことは、Wild 2 粒子にはケイ酸塩形成時の熱履歴 (特に高温からの冷却過程) が非常に異なるものが存在することを示唆している。

C2027-2-69-1-4 の累体構造の内部リムは、Wild 2 の輝石粒子がエアロジェルに突入する際に加熱によって一部融けて、融けたエアロジェルと混ざり合ってきたと考えられる。

Si-O ガラスに富む4つの試料は Stardust によって回収された試料中、最も一般的なタイプに相当する。これら試料の構成物と組織は C2027-2-69-1-4 の内部リムのものとよく一致している。このことから、Si-O ガラスに富む4つの試料は、彗星粒子がエアロジェルに突入する際に融けたケイ酸塩とエアロジェルが混ざり合ってきた二次生成物であると思われる。