

隕石中の氷の痕跡とその母天体進化

松本恵 (東北大・理) 土山明 (立命館大, GIG/CAS), 中藤亜衣子 (JAXA/ISAS), 松野淳也 (立命館大), 三宅亮 (京大), 片岡章雅 (国立天文台), 伊藤元雄 (JAMSTEC), 富岡尚敬 (JAMSTEC), 兒玉優 (マリンワークジャパン), 上杉健太郎 (JASRI/SPring-8), 竹内晃久 (JASRI/SPring-8), 中野司 (産総研), バッカロ エピファニオ (ロンドン自然史博物館)

小惑星から飛来する隕石は、太陽系初期の情報を記録している貴重な試料である。なかでも炭素質コンドライトは、水や有機物を多く含むことから、地球の水や生命の起源を探る重要な手掛かりとされている。隕石中の水の多くは、含水鉱物の構造水として含まれている。含水鉱物は、小天体内の氷が融けて生じた水と岩石との相互作用によって形成されるため、炭素質コンドライトの母天体 (の一部) は、太陽系の低温領域で形成した氷-岩石天体と考えられている。しかし、氷が小惑星内にどのように分布していたのかは、これまで明らかにされていない。

本研究では、放射光 X 線 CT により、炭素質コンドライトの一つ Acfer 094 隕石の内部を観察し、直径 10 μm 程度の非常に多孔質な岩相 (UPL: Ultra Porous Lithology) を多数発見した。他の多くの隕石には、このような岩相は見られない。これは、隕石母天体形成時の圧密作用により鉱物粒子間の空間が潰れてしまうためと考えられる。Acfer 094 隕石中に UPL が見られたことは、隕石母天体形成時に空隙を埋めて支えた固体物質が存在したことを示している。その候補として考えられるのは、氷や揮発性の有機物である。UPL および周囲のマトリクスを詳細に観察した結果、有機物が抜けた痕跡は見られず、一方で氷が融けて生じた水と岩石の相互作用の痕跡が見られたことから、UPL の空隙にはもともと氷が存在していた可能性がきわめて高いことがわかった。これら氷の痕跡は、隕石母天体内の氷の分布を知る上で重要な手掛かりとなる。

UPL は Acfer 094 隕石マトリクス中に広く分布している。このような大きさの氷に富む岩相は、宇宙の塵 (氷-ケイ酸塩粒子の多孔質な集合体) が、太陽系の雪線付近で焼結作用を被ることにより形成され得る。このことから、UPL は雪線付近で形成し、隕石母天体内に取り込まれ、その後、それらの氷が融けて無くなることで、今回観察されたマイクロサイズの UPL が生じたと考えられる。

実際に Acfer 094 隕石中には、氷が融けて生じた水により含水化したケイ酸塩粒子が多く含まれていた。一方で、これらケイ酸塩粒子中の水の量を全て賄うためには、観察された氷の量より遥かに多量の氷が必要であることがわかった。このことは、母天体内の氷の分布は不均質であり、隕石が放出された場所とは別の所に、さらに多量の氷が存在していたことを示唆している。

これらの発見をもとに、本研究では、Acfer 094 隕石の母天体形成について以下のようなモデルを提案する。

- ① 母天体の小惑星は、塵を集積して成長しながら太陽系内を外側から内側に雪線を越えて移動。雪線より外側では氷-ケイ酸塩粒子からなる多孔質な塵が、内側では氷を含まないケイ酸塩粒子からなる多孔質な塵が集積。
- ② 雪線付近では、氷-ケイ酸塩粒子からなる多孔質な塵が温度上昇による焼結作用を受けて、氷とケイ酸塩粒子の (隙間のない) 塊を形成。それらは、氷を含まない塵と共に隕石母天体表面に集積する。
- ③ 隕石母天体内で氷が融けて水が生じ、ケイ酸塩粒子の一部が含水化。このとき、氷が融けて無くなることで、今回観察されたマイクロサイズの UPL が生じる。
- ④ 母天体の一部が破碎され、その破片が宇宙空間に放出され隕石となって地球に飛来。

①の過程により、母天体内部に氷に富むコアと氷に乏しいマントルが形成され、氷の分布は不均質となる。③の過程でケイ酸塩粒子を含水化させた水の大部分は、母天体内部の氷に富むコアから供給されたと考えられる。近年、太陽系初期に、木星型惑星の軌道変化の影響を受けて、①のような小惑星の太陽系動径方向の移動が起こっていたことが、示唆されている。

このような太陽系初期の氷-岩石天体の形成過程に関する新たなモデルは、今後の隕石やリターンサンプル分析結果の解釈に新たな視点を加える点で重要である。