

## 小惑星イトカワや月面で成長するひげ状金属結晶

### Metallic whiskers found in soil samples from asteroid Itokawa and the Moon.

京都大・理<sup>1</sup>, °(P) 松本徹

Kyoto Univ.<sup>1</sup>, °(P) Toru Matsumoto

E-mail: matsumoto.toru.2z@kyoto-u.ac.jp

固体結晶の成長に伴う形態や微細組織、結晶方位の制御機構を理解するために、自然界で成長する固体結晶に注目する視点は重要である。宇宙環境の超高真空下では、多様な結晶成長や変成を引き起こす現象が存在し、地球外物質に含まれる鉱物結晶の観察によってその一端が理解され始めている。太陽系内で宇宙環境に暴露された固体は、太陽光や太陽風(太陽から吹き出す 1keV/nucleon 程度のエネルギーを持つ水素イオンやヘリウムの原子核)、宇宙空間を高速で飛び交う極小岩石破片(微小隕石)の衝突に曝されて特有の変化を受ける。これらの一連の変化は、地上での岩石の風化と対応させて宇宙風化と呼ばれている。宇宙風化は小惑星や月など大気のない天体表面の鉱物結晶で進行する現象であり、日本の宇宙探査機「はやぶさ」が地球に持ち帰った小惑星イトカワの砂や、アポロ計画で回収された月面の砂にその痕跡が残されている。本発表では、鉱物結晶で見られるナノスケールの宇宙風化組織を紹介するとともに、近年イトカワの砂や月の砂で見つかった特異な金属鉄ウィスカー(ひげ状の結晶) [1, 2]の成長機構を考察する。

小天体の砂の主成分はケイ酸塩や酸化物、硫化物である。こうした鉱物結晶が宇宙空間に曝されると、太陽風の貫入深さ程度である 100nm 程度の表面深さの範囲で、非晶質化やスパッタリング(原子の弾き出し)が引き起こされる。これは原子炉内壁で進行する照射線損傷に類似しており、地質学的時間(数千年から数百万年)でゆっくりと進行する点が特徴である。一方、微小隕石衝突は熱的作用や結晶の気相凝縮、VLS(Vapor-Liquid-Solid)機構などによる結晶成長を促す。

小惑星イトカワの砂に含まれる硫化鉄鉱物(FeS)の電子顕微鏡観察を行うと、宇宙空間に暴露されていた硫化鉄の最表面には、1 $\mu$ m 程度の長さの金属鉄ウィスカーが伸長していることが発見された。ウィスカーは多結晶で一部の結晶面を共有していた。硫化鉄の表面下では、電子線回折パターンにゆがみが見られ、超構造由来の回折スポットが消えており、硫黄原子の選択的な消失が見られた。硫化鉄表面下の結晶構造変化は、太陽風の貫入による弾き出し損傷や化学反応により形成されたと考えられる。一方、金属鉄のひげ状結晶は、硫黄原子が太陽風照射や隕石衝突時の加熱によって選択的に失われた後、過剰な鉄原子から生成したと推測される。照射線損傷に伴うウィスカー成長は地球上の天然物や材料物質で見つかっておらず、長期の宇宙環境に暴露された結晶に特有の変化であるかもしれない。このように小天体表層環境の物質変化に着目することで、未知の結晶成長機構の発見につながることを示された。

[1] T. Matsumoto, et al., Nature Communications, 11 (2020) 1-8. [2] T. Matsumoto, et al., Geochimica Cosmochimica Acta, 299 (2021) 69-84.