

イトカワレゴリス粒子の宇宙風化微細組織の評価：太陽風を模擬したイオン照射実験との比較

Estimation of space weathering morphologies of Itokawa regolith particles by comparison with ion irradiation experiments

松本 徹^{1*}, 土山 明², 瀧川 晶², 安田啓介³, 中田吉則³, 三宅 亮²

Tooru Matsumoto^{1*}, Akira Tsuchiyama², Aki Takigawa², Keisuke Yasuda³, Yoshinori Nakata³, Akira Miyake²

¹ 阪大. 理. 宇宙地球科学, ² 京大. 理. 地球惑星科学, ³ 若狭湾エネルギー研究センター

¹Osaka University, ²Kyoto University, ³The Wakasa wan energy research center

探査機はやぶさが回収した小惑星イトカワのレゴリス粒子は、大気のない固体天体表面の現象についての情報を保持すると期待される。3次元形状分析より、エッジの丸い粒子が存在することが観察され、粒子の丸みは小惑星表面での地震振動による機械的摩耗もしくは太陽風によるスパッタリングにより形成した可能性が指摘された [1]。一方で透過型電子顕微鏡 (STEM) により、粒子表面に太陽風照射に起因する 100nm 程度の厚さの宇宙風化層が観察された [2,3]。しかし、これら宇宙風化層の厚さとエッジの丸みには、はっきりとした相関が認められなかった [4]。これより粒子の丸みは機械的摩耗が原因である可能性が高いと考えられた。しかし CT 分析 (数 μ m スケール) と STEM 分析 (nm スケール) の比較はスケールに差があり直接的な比較としては不十分であり、また太陽風照射が粒子形状に与える効果も明らかでない。これまで数十 nm から数 μ m の観察に適する走査型電子顕微鏡 (SEM) でイトカワ粒子表面が観察されており [5]、観察された表面組織を太陽風に起因する構造に注目して評価する事が重要である。そこで本研究では、太陽風によるイトカワ粒子の宇宙風化を模擬した高エネルギー粒子照射実験を行うとともに、照射試料とイトカワ粒子の表面微細組織の比較を試みた。照射実験は若狭湾エネルギー研究センターにて行われた。イトカワ粒子模擬物質として、イトカワ粒子のオリビンと近い組成を持つ 100 μ m 程度のスリランカ産オリビン粒子 (Fe_3O_4) を使用した。10 keV から 50 keV の H^+ , $^4\text{He}^+$ イオンを 1×10^{16} ions/cm² から 1×10^{18} ions/cm² の照射線量にて試料に照射した。照射前後で、試料表面を電界放出型走査型電子顕微鏡 (FE-SEM JSM7001F: 京都大学) による表面組織の微細観察を行い表面形態の変化を評価した。また、照射後の試料の一部は集束イオンビーム加工装置 (FEI Quanta 200 3DS: 京都大学) で切り出し、透過型電子顕微鏡 (H8000k: 京都大学) によって試料断面の構造を観察した。FE-SEM 観察の結果、 3×10^{17} ions/cm² 以上の照射量では試料表面に多数の blister (水膨れ状) の構造が観察された。blister のサイズは 100 nm から 3 μ m であり、照射イオンのエネルギーが大きい試料ほど blister の平均サイズは大きい傾向にあった。200 nm から 300 nm の blister に覆われた照射試料の断面を TEM 観察した結果、表面下に数 nm から 200 nm の大きさの空隙で満たされた層が観察され、100 nm 以上の大きさの空隙が表面を押し上げ blister を形成していることが明らかとなった。空隙は H, もしくは He イオンで満たされていたと考えられる。同様の空隙構造を持つ宇宙風化層が、イトカワレゴリス粒子の超薄切片的 STEM 観察により観察されている [3]。層の厚さが He の貫入深さと一致することから、太陽風の He イオンによりこれらの空隙が形成されたと推測されている。また、FE-SEM を用いた観察によりイトカワ粒子表面にも空隙と同サイズの blister 構造が観察されている [5]。実験における照射量 3×10^{17} ions/cm² は He の太陽風の照射年代に換算すると、およそ 1500 年になり、イトカワレゴリス粒子の blister は 10^3 年オーダーの太陽風照射期間を経て形成されたと考えられる。宇宙風化層に観察される Solar flare track 密度から算出した太陽風照射年代は 1000 年程度であると見積もられ [3]、本研究により見積もった照射年代とおおよそ一致している。このように太陽風による宇宙風化層の形成は粒子のレゴリス層の滞在期間 (<約 3 百万年) [6] より短い時間で起こると考えられる。対して粒子の丸みをもたらす機械的な摩耗はレゴリス層中で数百万年の時間で作用した可能性がある。[1] Tsuchiyama A. et al. (2011) Science, 333, 1125-1128. [2] Noguchi T. et al. (2011) Science, 333, 1121-1125. [3] Noguchi T. et al. (2012) Met. Planet. Sci. submitted. [4] Tsuchiyama A. et al. (2013) LPSC XLIV,2169. [5] Matsumoto T. et al. (2013) LPSC XLIV, 1441. [6] Nagao K. et al. (2011) Science, 333, 1128-1131.

キーワード: イトカワ, レゴリス, 宇宙風化

Keywords: Itokawa, regolith, space weathering