

岩石表面の宇宙風化作用：サブキロメートル天体の風化

Rock space weathering: A lesson from Itokawa and weathering of sub-km asteroids

佐々木 晶 [1]; 廣井 孝弘 [2]; 二村 徳宏 [3]; 石黒 正晃 [4]; 上田 裕司 [5]; 山本 彩 [6]

Sho Sasaki[1]; Takahiro Hiroi[2]; Tokuhiko Nimura[3]; Masateru Ishiguro[4]; Yuji Ueda[5]; Aya Yamamoto[6]

[1] 国立天文台・水沢; [2] ブラウン大地学; [3] 東大・理・地球惑星; [4] IfA; [5] 東大・理・宇宙惑星; [6] レステック
[1] Mizusawa Obs., Nat'l Astron. Obs. Japan; [2] Dept. Geological Sci., Brown Univ.; [3] Earth and Planetary Sci., Tokyo Univ;
[4] UH; [5] Space and Planetary Sci., Univ. of Tokyo; [6] RESTEC

月や小惑星のように大気のない固体天体の表面は、隕石の激しい衝突で生成されたレゴリスというソイル状の微粒子で覆われている。月の石を粉末にしたものと、月ソイルの反射スペクトルでは、ソイルの方が暗く、しかも赤外領域よりも可視領域の方が暗いというスペクトルの「赤化」を示していた。この変化は、宇宙風化作用 (Space Weathering) と呼ばれ、ハプケは、ソイル粒子中に、ナノメートルサイズの鉄微粒子が形成されたことが原因であると考えた (Hapke, 1975)。

一方、地球上に落下する隕石の大部分を占める普通コンドライトの反射スペクトルに対応する小惑星が非常に少ない一方で、小惑星帯の多くを占めるS型小惑星の反射スペクトルに対応する隕石は非常に少ない。S型小惑星の反射スペクトルは明らかな赤化傾向がある。観測データが増えるとともに、月と同様に宇宙風化作用により、普通コンドライトの反射スペクトルがS型の反射スペクトルに変化すると考えられるようになった。

我々は、鉱物粒子にパルスレーザー照射を行えば、実際に宇宙空間でのダスト高速衝突による宇宙風化作用を再現できると考え、真空中でカンラン石、輝石にパルスレーザーを照射した。その結果、カンラン石粉末へのレーザー照射で色が変化すること、さらに、反射スペクトル全体としても赤化の傾向を示すことが明らかになった。得られた反射スペクトルが一部の小惑星の観測データを再現することがわかった。さらに、サンプルの透過型電子顕微鏡による観察を行った結果、カンラン石粒子の周囲に、蒸発物質が凝結してできたアモルファスのリムが形成されていて、その中に数ナノメートルから数10ナノメートルの微小粒子が存在することが確認された (Sasaki et al., 2001)。

我々は鉱物板にもレーザー照射を行ったが、反射スペクトルの変化は見られなかった。表面が粒子状であれば、ダスト衝突などで蒸発した物質は、周囲の粒子表面に蒸着する。そこに微小鉄を含むアモルファスリムが形成されることが宇宙風化作用にとって重要である。そのため、レゴリス状の表面が宇宙風化作用にとっては不可欠であると考えていた。Binzel et al. (2004) は、近地球小惑星の観測データの解析から、(風化の弱い)普通コンドライト的なQ型小惑星から、(風化した)S型小惑星にはサイズの違いがあり、Q型小惑星は0.1-5kmよりも小さいという結果を得た。これはレゴリスが少ないため風化が弱いと考えられた。

2005年秋に、日本の小惑星探査機「はやぶさ」が長径550mの小惑星イトカワを探査した。イトカワ表面の80%は、粗くボルダー(岩塊)の多い地域であるが、全体的には風化を受けた反射スペクトルを示している。また、10-20%の明るさの違いがあり、明るい地域は「青く」、暗い地域は「赤い」(Saito et al., 2006)。これは、明るさの違いが宇宙風化度の違いに起因することを示している。クローズアップ画像によると、ボルダー表面そのものが暗い色になっている。風化した粒子が強固に付着した可能性もあるが、岩石表面が風化していることが強く示唆される。風化層は比較的強固であるように見える。

そのため、小惑星を構成していると考えられる、隕石の岩片に、パルスレーザーを照射して、反射スペクトルが変化するかどうか、実験を行った。イトカワはLL5-LL6に近い反射スペクトルを示していると考えられているため、試料として、NWA1794(LL5)とBensour(LL6)の新鮮な岩片を使った。

パルスレーザー照射により、隕石岩片の色も暗くなる。NWA1794を15mJのレーザーで照射した場合、岩石サンプルでは、550nmの反射率が20%低下した。これは、粒子状サンプルの50%低下よりも小さいが、風化傾向は確認された。小惑星を構成する岩塊は、レゴリスよりも弱い、宇宙風化を示す。隕石には、微小スケールの空隙があるため、蒸発した物質が凝結する表面積が広く、風化を起こすアモルファス層が形成されるのであろう。結果として、イトカワ表面に見られるような、風化したボルダーが形成される。小さいキロメートル以下の天体は、細かいレゴリスは多くない。(イトカワにはレゴリス層があるが典型的な粒子サイズはセンチメートルで、これは強い宇宙風化作用には大きすぎるサイズである。)しかし、岩石表面が風化されるため、このような小さな天体でも、時間とともに赤化した反射スペクトルを示すと考えられる。

References

Binzel R. P. et al. (2004) Icarus 170, 259-294.

Hapke B. et al. (1975) Moon, 13, 339-353.

Saito J. et al. (2006) Science, submitted

Sasaki S., et al. (2001) Nature, 410, 555-557.

Sasaki S. et al. (2006) LPSC XXXVII #1671