ナノ秒パルスレーザー・プロトン照射による宇宙風化作用のシミュレーション

Simulation of Space Weathering by Irradiation of Nanosecond Pulse Laser and Proton Beams

 # 佐々木 晶 [1]，山田 真保 [2]，永原 裕子 [3]，藤原 顕 [4]，廣井 孝弘 [5]，長谷川 直 [4]，矢野 創 [6]，大橋 英雄 [7]，大嶽 久志 [8]

Sho Sasaki [1], Maho Yamada [2], Hiroko Nagahara [3], Akira Fujiwara [4], Takahiro Hiroi [5], Sunao Hasegawa [4], Hajime Yano [6], Hideo Ohashi [7], Hisashi Otake [8]

[1] 東大・理・地質，[2] 日本宇宙フォーラム，[3] 東大・理，[4] 宇宙研，[5] ブラウン大地学，[6] NASA/JSC-ESSSE，[7] 東京水産大環境，[8] 宇宙開発・月

[1] Geological Inst., Univ. Tokyo, [2] JSF, [3] Geol. Inst., Univ. Tokyo, [4] ISAS, [5] Dept. Geological Sci., Brown Univ., [6] NASA/JSC-ESSSE, [7] Dep. Ocean Sci., Tokyo Univ. Fish., [8] Moon Lab.,NASDA

http://www.geol.s.u-tokyo.ac.jp/~sho/index-j.html

宇宙風化作用を解明するため、ダストの衝突の時間スケールに対応したナノ秒のパルスレーザーの照射とプロトンの照射を、カンラン石、輝石の粉末試料に行った。カンラン石の反射率低下は輝石より大きいが、両者とも１ミクロンの吸収帯の変化は小さい。スペクトルの赤化は説明できる。この結果と小惑星の反射スペクトルの比較から、ベスタの表面はオリビン型小惑星よりも古く１億年以上である可能性が指摘される。

月・小惑星の天体観測スペクトルと、月物質・隕石の実験室での反射スペクトルには大きな違いがある。天体のスペクトルでは、反射率が全体的に低く、この傾向は波長が短いほど大きい。また、輝石やカンラン石に特有の１ミクロンの吸収帯が相対的に弱くなっている。この、月、小惑星表面の反射スペクトルの変化は、シリケイト中に含まれる酸化鉄が、微小隕石衝突により還元されてサブミクロンスケールで金属鉄となる「宇宙風化作用（Space Weathering）」と呼ばれるプロセスで天体表面が変成されたためと考えられている。実際に月のソイル粒子のリムには、10-100nmスケールの鉄微粒子が発見されている。このとき、太陽風粒子起源の水素が、還元剤として、酸化鉄から金属鉄の形成に役割を果たしている可能性がある。Ｓタイプ小惑星は、この宇宙風化作用により、普通コンドライトなどからスペクトルが変化したと考えられている。

太陽系空間での衝突速度（数―10km/s以上）の粒子を、現在のダスト加速器で大量に連続照射することは困難である。しかし、パルスレーザーの照射により、微小粒子の衝突にともなう溶融・蒸発などといった物理過程が再現できることが知られていた。レーザー加熱のみで、分光スペクトルの変化を観察した研究はある(Moroz et al., 1996)が、現実の衝突現象(10e-9秒)よりもはるかに長いパルスレーザー（10e-6秒）を使っていて、溶融・急速冷却によるガラス質の生成を再現しているにすぎない。また、還元剤として重要と考えられている太陽風の打ち込みを考慮していない。結果の解析においても、スペクトルの変化にとって重要な還元鉄の存在は確認されていない。大竹・大嶽(1998)は水素雰囲気下の加熱実験を行い、スペクトルの変化を得たが、ガラスの生成によるものと考えられる。

そのため我々は、現実の衝突に近い時間スケール(10-9秒)のパルスレーザーを用いた実験を行った。パルスレーザーの照射径は200ミクロン程度であり、1cm四方を埋め尽くすためには3000発の照射が必要である。20Hzのパルスレーザーでも連続照射を行えば10分以下で照射可能である。そこで、10cmサイズのX-Yステージの上に乗る小型の真空チェンバーを製作して試作して、試料面を走査するシステムを製作した。パルスのエネルギーは1mJから30mJまで可変である。さらにプロトン照射を、東京大学原子力総合研究センターの後方散乱装置において、1MVの照射を行った(Yamada et al., 1999)。

用いたサンプルは、カンラン石, 鉄含有量の異なる輝石(Enstatite, Hypersthene, Diogenite)の75ミクロン以下の粉末である。プロトンを照射したサンプルと照射しないサンプルの両方にレーザー照射を行い、照射エネルギーと照射時間による反射スペクトルの変化を測定した。カンラン石では15mJ、30mJの照射で顕著な反射率の低下が見られた。反射率の低下とスペクトルの赤化が観察された一方で、１ミクロンの吸収帯の相対的な深さは大きく変化しない。予想に反して輝石よりもカンラン石のサンプルの方が宇宙風化作用を受け易いという結果を得た。溶融・ガラス化したMorozらの実験結果と異なり、ガラス化の傾向はサンプルの顕微鏡分析、X線回折分析でも見られない。また、走査電子顕微鏡による観察も行った。プロトン照射のみでもカンラン石の反射率は少し減少したが、輝石の変化は小さい。プロトン照射とレーザー照射で、スペクトル変化の相乗的な効果は見られなかった。また、レーザー照射の結果を見るかぎり、輝石の鉄の含有量による違いは見られていない。

今回の結果により、以前考えられていた（１ミクロン帯の吸収帯の深さに基づいた）小惑星の組成や表面年代は変更を受ける可能性がある。レーザー照射後のスペクトルと小惑星のスペクトルとの比較を行った。Olivine asteroidsのいくつかのスペクトルは30mJの照射の結果に極似している。また、VestaのスペクトルはEnstatiteに30mJの照射を10回行ったものに近い。Vestaの表面は１ミクロンの吸収帯が残っているからといって、必ずしも新

しいとは限らない。推測される表面年代は10e8-10e9年でOlivine asteroidsより１桁古い。

Moroz, L. V. et al. (1996) Icarus, 122, 366-382.
Ohtake, M. and Ohtake, H., 29the LPSC.
Yamada, M. et al. (1999) Submitted to Earth Planet. Sci.