

[2024202016]

イオン注入による月面放射線風化作用の模擬研究

Simulation research of space weathering for anorthite using ion beam irradiation

山中 千博, 武田 晋弥

Chihiro Yamanaka, and Sinya Takeda

Department of Earth and Space Science, The University of Osaka

Abstract

Proton irradiation for anorthite sample was performed to examine radiation effects on a dominant mineral on the moon. FT-IR and ESR were adopted to evaluate the effect. OH-formation was confirmed for proton irradiated anorthite, but ESR signal was not detected at the room temperature.

Keyword: Space weathering, anorthite

1. はじめに

月表面の地層（レゴリス層）の堆積環境やその年代の研究は、月面資源の探索に向けて極めて重要な課題である。月表面の放射線環境は、浅い部分は主に太陽風電子・イオン影響下にあるが、特に極域では、太陽光線や太陽風は地表に平行に入射するために地形効果をうけ、電子、イオンの分布が地表水平面内で変わることが予想されている。また太陽風プロトンは月面酸化物と作用して OH や H₂O などの水酸基／水分子を形成する。さらに現在の太陽風では、重水素は枯渇しており、H/D 比の極めて高い OH 基が形成する。一方、極域を含む月面高地のレゴリスは、斜長石（特に Anorthite）を主とする岩石で構成されており、極域が低温であることもあって、水分子が集積するものと考えられている。

本研究では、2024 年度 12 月 12 日、13 日の 2 日間で、10 keV-380 keV のプロトン照射実験を、酸化物ターゲット（アノーサイト）に対して行い、プロトン-酸化物反応による OH 基の生成実験を試みた。ほとんどの太陽粒子は、10 MeV/n 以内であり、低速の場合は 10 – 80 eV/n としてよい。実際、rf 水素プラズマなどを月面土壤に照射させた例などは過去にあり^[1]、TIARA では照射後に大気暴露した際の大気中水分の吸着などもあるため、我々はより深部にイオン注入するため低速太陽風より大きめのエネルギーを用いた。また月面微量水において、不純物と

して H₂S や SO₂ が存在することが知られており、生成 OH へのイオン原子の付与を狙った S⁺の照射実験をあわせ行った。

2. アノーサイトに対するプロトン照射実験

北海道余市産のアノーサイト巨晶試料（1.5cm 角）を用い、これを 1mm 厚にスライスし研磨したもの、およびその粉末（125-250μm）を照射試料として用いた。また参考として、月面高地レゴリスシミュラントとして提供されているアノーサイト粉末（Exolith Lab 社販売）を 125-250μm に調整したものも測定には使用した。

照射試料は銅板上に固定し、これを室温、真空中にて 400keV イオン注入装置（TIARA）を用いて H⁺のイオン照射を行った。ビームのエネルギーは 10 keV, 100 keV, 380 keV, とし、ビーム電流値は 400 nA から 1μA とした。ビームは 2×2cm の拡大照射とし、照射量は $6.25 \times 10^{13} - 10^{15}$ の範囲で調整した。

3. 結果 FT-IR および ESR 分析

Fig 1 にプロトン照射前後の FT-IR スペクトル（室温、窒素雰囲気測定）を示す。未照射の試料として同等のものを複数用いて、照射後試料を保持した環境などは同一とした。このため、大気から試料表面への水分吸着などは同様であることを確認している。

3550 cm^{-1} および 3620 cm^{-1} 付近の吸収スペクトルは、重複しているが、OH 基の吸収に相当する。また 1500 cm^{-1} 近辺の吸収は H_2O であり、真空乾燥後消失する。詳細は、アニーリング実験を行ってみる必要があるが、先行研究^[1,2]と同様な結果を得た。なお、粉末試料における測定でも同様な結果を得ている。つまり、アノーサイト試料における宇宙放射線風化、水酸基へ転換を模擬できていることはわかった。

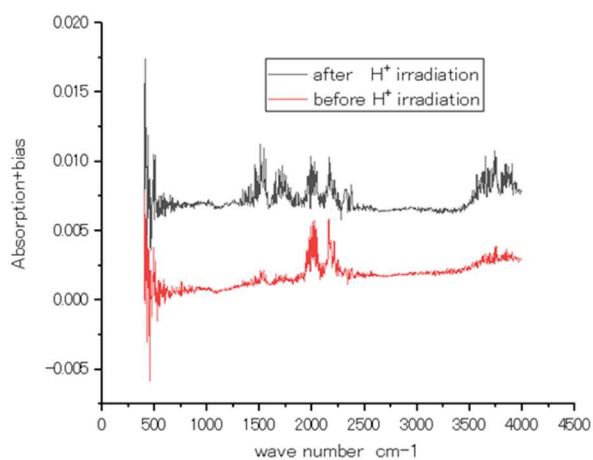


Figure 1. FT-IR spectra for anorthite plate samples before and after proton irradiation (380 keV, 10^{14}).

Fig.2 に示しているのは、380keV の H^+ , S^+ を 10^{15} 個照射した同一質量の anorthite 粉末の ESR スペクトルである。形成された結晶欠陥は、イオウの場合にのみ顕著で、プロトンに対しては、見られない。今回、プロトン照射を行った 6 点の anorthite において、同じ ESR 条件で不対電子欠陥が、全く見られなかったのは不可解である。常磁性の欠陥として存在しなければ、このような結果になるわけであるが、通常、イオン照射を行えば、放射線損傷の形で、結晶欠陥が発生するはずである。斜長石類において、 γ 線照射に対して、放射線欠陥が蓄積することは、光刺激ルミネッセンス測定や ESR における Al, Ti 中心などの増加として知られていることであるが、Al, Ti 中心については、低温の ESR でなければ測定できない。微量元素の存在を確認するとともに、低温 ESR を用いた研究を継続する必要がある。

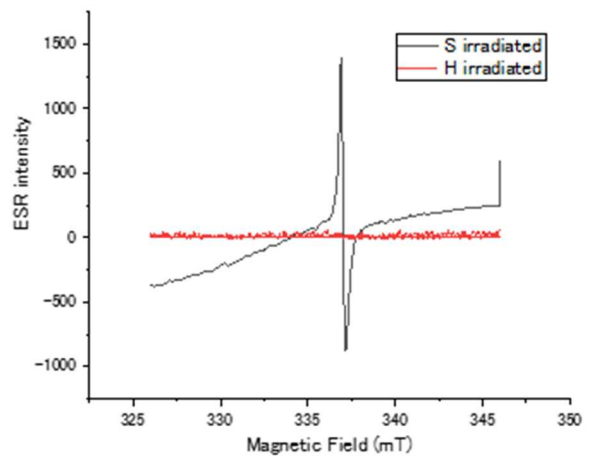


Figure 2. ESR spectra for irradiated anorthite. Microwave power of 1mW and modulation 0.1mT at 100 kHz were applied.

参考文献

- [1] A. P. Zent et al., PRODUCTION OF OH/ H_2O IN LUNAR SAMPLES VIA PROTON BOMBARDMENT, 41st Lunar and Planetary Science Conference 2665., 2010
- [2] W.D.Liu et al., Temperature dependences of hydrous species in feldspars, Phys. Chem.of Minerals 45 609., 2018