

火星表面における玄武岩の風化メカニズム

宮城県仙台第三高等学校 理数科

要旨

現在、火星開発においては、火星の土壌であるレゴリスの二次利用が注目されている。そこで本研究では、レゴリスの生成メカニズムを明らかにすることを目的とし、風化過程における温度変化および酸性水溶液の影響について実験的に検証した。温度変化に関しては、複数回の試行を行ったが顕著な変化は観察されなかった。このことから、火星表面における約 100°C の温度差が土壌に与える影響は限定的であると考えられる。一方、酸性水溶液の実験では、岩石に硫酸を滴下した際に硫酸塩の析出が確認され、これは化学的風化というよりも、塩類風化による影響が大きい可能性を示唆している。以上の結果から、火星の風化プロセスには塩類風化が主要な要因として関与していることが明らかとなった。

1 背景

近年、火星についての実験が多く行われており、そのデータを用いれば室内実験に限られる高校生でもアイデア次第で宇宙、特に火星に関する謎に迫ることが可能であると期待される。火星表層の農業利用を目指して、フルボ酸を用いて斜長石からカオリナイト(カオリン)と呼ばれる粘土鉱物を生成し、稲の栽培を試みる研究や、チタン合金に火星レゴリス(火星の砂状土壌)を混合することで、従来よりも高い機械的強度を得る材料工学的研究などが報告されている。また、地球上の資源を火星に輸送することは、燃料消費や輸送コストの面で大きな制約があり、持続可能な開発の観点からも課題が多い。これらの背景から、火星開発においては現地資源、特に火星レゴリスの二次利用が重要な研究対象として注目されている。

しかし、現在のところ火星からのサンプルリターンは実現しておらず、実際のレゴリスを用いた検証は困難である。そこで本研究では、地球上で火星レゴリスを再現し、模擬的な環境での風化シミュレーションを行うために、火星における主な風化の発生要因を解明することを目的とする。

2 目的と見通し

本研究は、火星表層におけるレゴリスの生成メ

カニズムの解明を主たる目的とする。先行研究により、火星表面において支配的な鉱物組成が玄武岩であることが報告されており、本研究ではその玄武岩が火星環境下でいかに風化するかを調査対象とする。火成岩の風化プロセスは一般に、物理的風化および化学的風化に分類されるが、実験の再現性および安全性を考慮し、本研究では物理的風化のうち、温度変化による風化および塩類風化の2要因に着目して検討を行った。

3 材料と方法(実験 1)

火星表面の玄武岩は斜長石の含有率が高いことが、先行研究により明らかとなっている。そこで本実験では、斜長石を多く含有する三滝玄武岩を使用した。

実験 1 では、火星表面における温度変化を模擬し、物理的風化への影響を検証した。火星の赤道付近における気温は、 -80°C から 30°C の範囲で変動することが報告されている。(図 1)

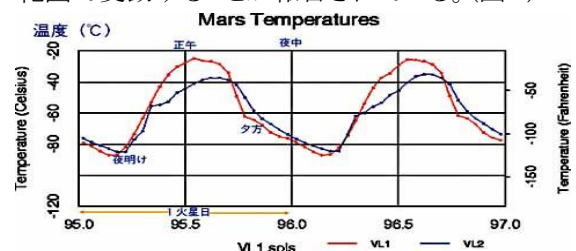


図 1(火星の赤道付近における温度変化)

この温度差を可能な限り再現するため、採取した三滝玄武岩をドライアイスにより -79°C まで冷却し、その後室温(30°C)の実験室内に放置して自然に昇温させた。この加温・冷却の一連の過程を1サイクルとし、計5サイクル実施した。



図 2(試料を室温で放置している様子)

各サイクル後において、岩石表面の変化を肉眼により観察・記録した。加えて、斜長石の含有量が風化に及ぼす影響を検証するため、斜長石の少ない別種の玄武岩を用いた対照実験も並行して実施した。

4 結果と考察(実験 1)

三滝玄武岩および対照として用いた実験用玄武岩のいずれにおいても、5 サイクルすべての加温・冷却処理後において、クラック(ひび割れ)等の顕著な物理的变化は確認されなかった。一方で、岩石表面に霜の発生が認められた。

以上の結果より、火星表面の赤道付近で想定される温度変化($-80^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$)程度では、玄武岩の物理的風化は極めて限定的であり、急速な風化の主因とはなりにくいことが示唆された。

5 材料と方法(実験 2)

先行研究において、硫酸は玄武岩の化学的風化を促進することが報告されている。本実験では、玄武岩粒子の粒径の違いが風化に与え

る影響を検証することを目的とした。三滝玄武岩をすり鉢を用いて砕き、「礫(れき)」「砂」「泥」の3区分に分類した。(図 3)

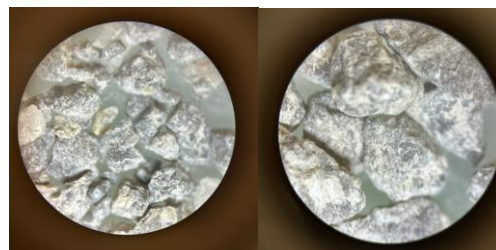
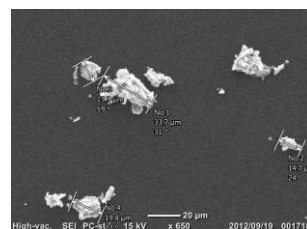


図 3(左上が泥、左下が砂、右下が礫)

それぞれの粒子をペトリ皿の中心に配置し、pH1 の希硫酸をスポイトにて5滴滴下した。その後、乾燥方法の違いが風化に与える影響を調べるため、①自然乾燥、②紫外線殺菌灯を照射しながらの乾燥、の2条件を設定した。これは火星表面における太陽紫外線の影響を模擬するためである。

滴下から24時間後、ペトリ皿上に残留液がないことを確認したのち、双眼実体顕微鏡を用いて岩石表面の変化を観察・記録した。

6 結果と考察(実験 2)

自然乾燥条件および紫外線殺菌灯下の乾燥条件のいずれにおいても、観察された結果に顕著な差は見られなかった。粒径が最も小さい「泥」では、明確な変化を視認することは困難であったが、「砂」および「礫」の試料では、表面に微細な硫酸塩結晶が形成されている様子が観察された。

これらの結果から、玄武岩の風化においては、太陽光に含まれる紫外線の影響は限定的であり、主に塩類風化(結晶化による物理的な劣化)が支配的な要因となっている可能性が示唆された。

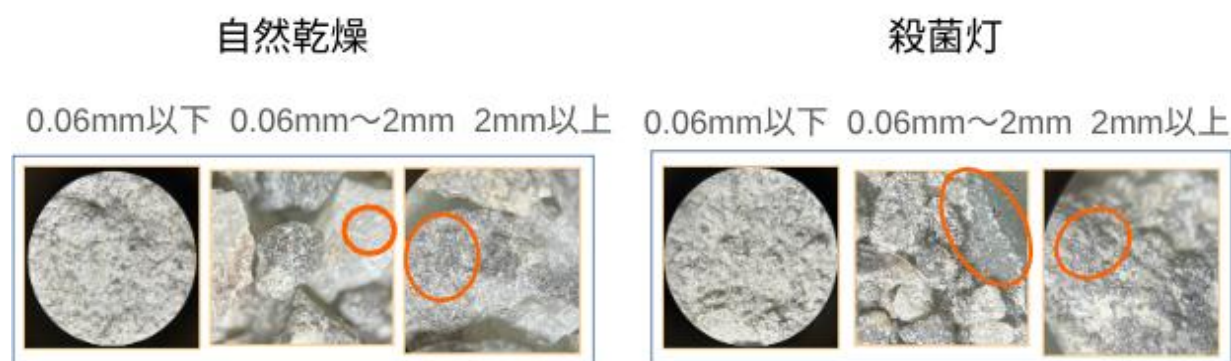


図 4(実験 2 結果)

環境 \ 粒径	0.06mm以下	0.06～2mm	2mm以上
自然乾燥	観測不可能	結晶が析出	結晶が析出
殺菌灯	観測不可能	結晶が析出	結晶が析出

6 結論

本研究により、火星表面における低温環境下での物理的風化は極めて微小であり、玄武岩の風化への影響は限定的であると考えられる。また、火星表面に存在するとされる酸性水溶液との反応においては、典型的な化学的風化ではなく、塩類風化による風化作用が主要なプロセスである可能性が高いことが明らかとなった。

7 展望

今後の研究では、玄武岩中に含まれる石基と斑晶の鉱物における塩類風化の感受性の違いに着目し、画像解析ソフト「ImageJ」を用いて定量的な評価を行う予定である。さらに、火星の地域ごとの土壌成分データと照らし合わせることで、風化が進行しやすい地質条件の特定にもつなげたいと考えている。

また、風化以外のレゴリス生成要因(例:衝突、火山活動、乾燥・酸化など)についても実験

的アプローチを通じて検証し、火星土壌形成メカニズムの全体像を明らかにしていくことを目指す。

8 参考文献

- 1) 地球砂漠と月・火星砂漠の相違点～火星の表面物質と農業的利用の可能性～
https://www.jstage.jst.go.jp/article/bss/21/4/21_4_129/_pdf/-char/ja
- 2) Martian regolith- Ti6Al4V composites via additive manufacturing
<https://ceramics.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1111/ijac.14136>
- 3) New Martian Dust Simulant JMDS-1 and Applications to Laboratory Thermal Conductivity Measurements
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/2020EA001347>

4) Radiation shielding materials are an essential component of long-term space travel and habitation

<https://scholarworks.wm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=6537&context=etd>

5) 火星の風化に挑む中学化学実験部 小森 信男

https://www.jstage.jst.go.jp/article/yuseijin/31/4/31_322/_pdf/-char/ja