

活動報告 学校教育の現場から ～火星の物理的風化に挑む中学校科学部実験～

小森 信男^{1, 2}

1. はじめに

筆者は、中学校科学部において、火星の環境を模した岩石の風化実験を、生徒とともに行ってきました[1]。そして現在は、この活動として、硫酸水溶液に浸した玄武岩に紫外線を照射し、玄武岩や水溶液の化学的な変質を調べる研究[2]と、紫外線を照射しながら硫酸の湿潤乾燥の繰り返しを玄武岩に与え、物理的な風化を調べる研究を行っています。今回は、この物理的な風化を調べる研究について報告します。

過去の火星表層には32億年程前から40億年程前に、温暖で酸性の水があった時期があったと推定されています[3]。そしてこの時期における玄武岩への硫酸の影響を実験的に推定した研究としては、例えばToscaらの研究があります[4]。この研究では、合成した玄武岩を硫酸性水溶液に浸し乾燥させると、微細な、鉄酸化物(主に水酸化物)、硫酸塩および玄武岩質ガラス等が生成されることを確認しています。このように硫酸による玄武岩の変質を調べた研究は、いくつかあります。また火星の岩石の物理的風化に関する研究は、塩類風化や凍結破碎、熱破碎によるものがいくつか行われています[5]。しかし紫外線による玄武岩の劣化を調べた研究や、硫酸による玄武岩の物理的な風化を調べた研究は、私が調べた限りではないようです。

この科学部研究では、この時期に火星表層の玄武岩は、紫外線を浴びながら硫酸の湿潤乾燥の繰り返

返しを受けたという想定に基づいて、実験を行ないました。過去に玄武岩が硫酸の湿潤乾燥の繰り返しを受けた頻度等、不明な点がある想定に基づいた実験ですが、誰も行ったことがなく、火星についての新しい知見が得られるかもしれないという筆者の考えに、筆者はもちろん生徒たちもやる気を感じたはずです。この研究を担当した主な生徒はBさんです。Bさんは、火星に興味がありテーマは思いつきませんが、火星に関する研究を行いたいという動機で科学部に入部しました。そして、筆者の「この実験は過去の火星の物理的な風化を推定するための一つの手段となるかもしれません。やってみませんか。」という提案に興味を持ち、行うことになりました。根拠が足りないため専門家が行わない研究を実行可能な点に、中学校科学部の特色や価値の一つがあると思っています。

2. 方法

この実験の方法は筆者が考え、必要な器具も筆者が準備しました。この実験で使用した紫外線照射灯は、20 W殺菌灯2本です。この殺菌灯の下に、岩石試料と硫酸の入ったシャーレを置きます。殺菌灯は波長254 nmをピークとする紫外線Cを照射します。紫外線照射灯によって岩石試料表面に照射される紫外線照度は実測値が約10 W/m²であり、40億年程前の火星表面に照射される紫外線照度の総量に近いと考えます[6]。この紫外線照射灯との対照実験として、熱を発生する発熱装置を使用しました。この装置は、電熱線を組み込んだセラミックス製の発熱体を使用して熱を発生し、紫外線を照射した場合と

1.東京学芸大学大学院 連合学校教育学研究科自然系教育講座
2.大田区立蒲田中学校

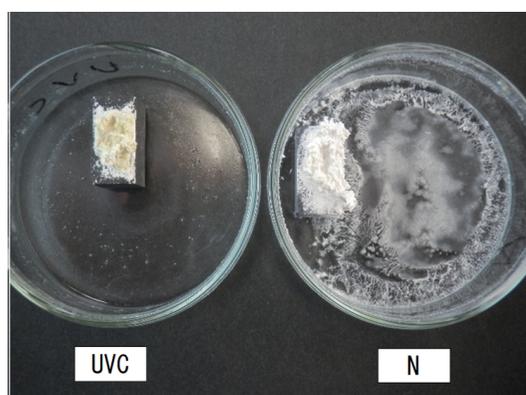


図1: 1回目の実験 1サイクル終了後の試料の状態。1サイクル終了後、UVC試料表面にやや褐色を帯びた白色に近い硫酸塩が生じている。シャーレの表面には粒径0.2 mm程の硫酸塩が散在している。硫酸塩の中心には粒径0.1 mm程の岩石の破片と思われる微粒子が確認できるものが多い。Nでは、試料表面やシャーレの表面一面に、白色の硫酸塩が生じている。

の試料表面の温度差を ± 2 ℃以内に保ちながら、試料を乾燥させることができます。

火星グセフクレーターにおいて分析された岩石の化学的性質は、pH 0～1の酸性水溶液による鉱物の溶解によって説明できることが示されているため[7]、この実験ではpH 1の硫酸水溶液を用いました。使用した玄武岩は、入手しやすい兵庫県玄武洞産の玄武岩を用いました。この玄武岩は業者に依頼し1 cm×1 cm×2 cmの直方体に整形した後、超音波洗浄したものです。なお火星地殻組成は、探査機のデータを基に玄武岩組成が支配的であると推定されています[8]。

以上のような条件の下、Bさんが週3回の部活動において、2つのシャーレに入れた玄武岩試料に、硫酸水溶液を試料上面が完全に浸るまで加えました。そして、それらの玄武岩試料を紫外線照射灯と発熱装置で乾燥させました。紫外線照射灯で乾燥させる試料をUVCと呼び、発熱装置で乾燥させる試料をNと呼ぶことにしました。シャーレに入れた硫酸水溶液が蒸発し試料が乾燥する日数は、夏で3日程、冬では5日程です。そして、この湿潤乾燥の過程を1サイクルと呼ぶことにしました。Bさんはこのサイクルを繰り返し、1サイクル毎に観察と写真撮影を行い観察記録ノートに気づいたことを記録しました。そして再現性を確かめるため、同じ実験を3回行いました。1回

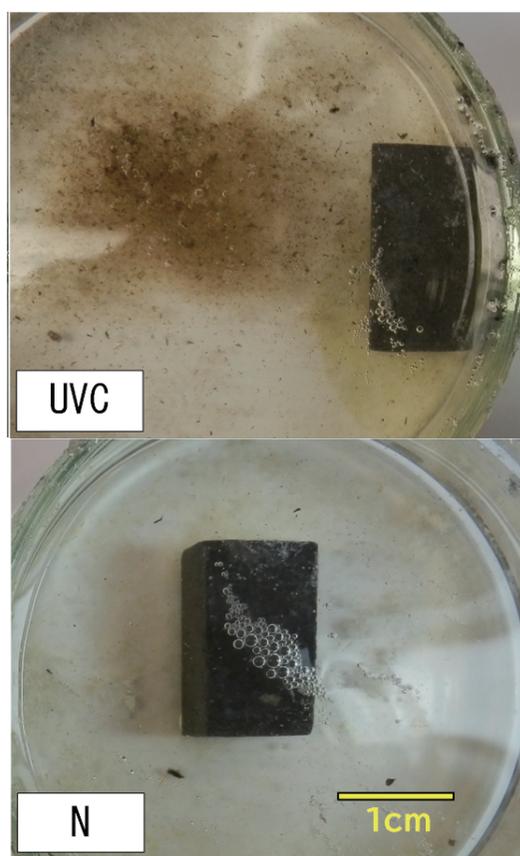


図2: 2回目の実験 9サイクルの試料 精製水を加え硫酸塩を溶かした状態。UVCでは、粒径0.1 mm程かそれ以下の微細な破片が明らかに増えている。Nはあまり増えていない。Nでは0.1 mm程～数mmの破片が散在している。

目は6月後半～7月後半に5サイクル、2回目は8月末～11月末に9サイクル、3回目は12月前半～5月前半に22サイクルまで行い、再現性があるかどうかを調べました。

3. 結果

以上のような3回の実験の結果、共通して認められた現象は次の3点です。

(1) 硫酸塩の色の違い

3回の実験とも、1サイクルでは玄武岩表面に生じる硫酸塩の色が、UVCではやや褐色を帯びた白色に近い色ですが、Nでは白色でした(図1)。またシャーレ全体に広がる硫酸塩の色は10サイクル程度まで

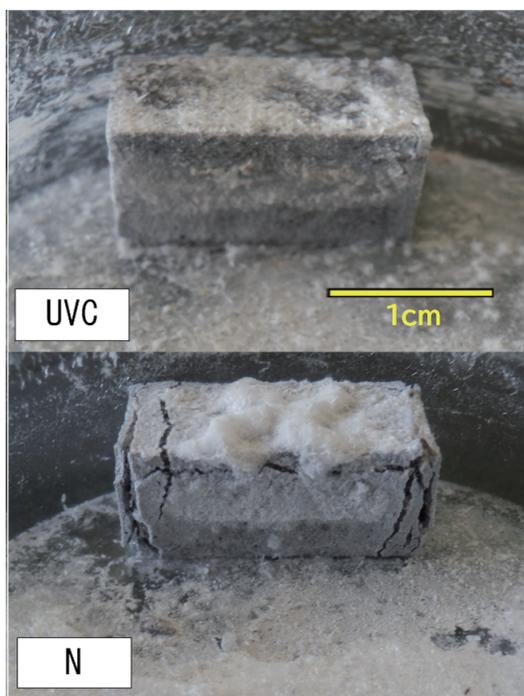


図3: 22サイクル終了後、精製水を加え硫酸塩を溶かした後、その水をできるだけ取り除き、室内に放置し乾燥させた状態。Nでは、1 cm×1 cmの2つの側面にほぼ平行に、明瞭なクラックが生じている。同様に2 cm×1 cmの面にも平行に生じている。シャーレ一面に粒径0.1 mm程～数mmの破片が散在している。UVCでも、写真では確認できないが、1 cm×1 cmの右側面に平行に、長さ0.4 cm程、幅0.2 mm程のクラックが生じている。またシャーレ一面に粒径0.1 mm程かそれ以下の微破片が、まばらに散在している。Nの方がUVCよりも、生じるクラックの程度が大きい。

UVCは濃い灰色、Nは2サイクル以降は薄い褐色を帯びる傾向がありました。

(2) 微粉末の発生

3回の実験に共通した特徴は、UVCでは目で見極められる限界付近の粒径0.1mm程の微破片が、Nよりも多く発生するという事です。そしてNでは粒径0.1mm程以上の破片の割合が多いということです。2回目の実験で9サイクルの試料から生じる破片の状態を図2に示します。この微破片の発生は、3回の実験を比較すると気温が低い程、同じサイクルでは発生数は少なくなる傾向があるように思われます。

(3) クラックの発生

3回の実験ともサイクル数は異なりますが、試料の

1 cm×1 cmの面または2 cm×1 cmの面にほぼ平行にクラックが入りました。このクラックの程度はNの方が大きいことがわかりました(図3)。このクラックは、精製水で硫酸塩をできるだけ取り除き乾燥させた後、はっきりと認められました。クラックは、破壊の様相が硫酸ナトリウム等による塩類風化の様相[9]と類似していることから、硫酸塩による塩類風化によって生じると考えられます。NとUVCでは、生じた硫酸塩は異なることが色の違いから推定されます。そして生じる硫酸塩の違いから、NとUVCでは、塩類風化の程度が異なると考えられます。このクラックの発生も、気温が低くなるほど、発生までのサイクル数が多くなる傾向があるように思われます。

以上のように今回の実験では、紫外線による粒径0.1 mm程の微破片の発生を促進する作用と、硫酸によって生じた硫酸塩による塩類風化と考えられる玄武岩の破碎が認められました。

4. 考察

過去の火星グセフクレーターやメリディアニ平原では、硫酸水溶液が存在していたと推定されています[7]。このとき、玄武岩が硫酸水溶液による湿潤乾燥の繰り返しを受けたと仮定すれば、この科学部実験結果から、硫酸水溶液が干上がる過程で、火星上の玄武岩が、紫外線と硫酸によって表面が劣化し微細な破片が発生した可能性はあると思います。同様に硫酸の湿潤乾燥の繰り返しによる塩類風化により、玄武岩が細粒化した可能性も考えられると思います。しかしこのような推定は、過去の火星において玄武岩が湿潤乾燥の繰り返しを受けたという前提条件が必要です。この前提条件は、成り立つかどうか現在のところわかっていません。したがって以上のような科学部実験によって得られた推定は、今のところ根拠の乏しいものと言わざるを得ません。

一方過去の火星では火山活動が活発な時期があったようです[10]。地球上では火山活動に伴い、硫酸を含んだ低pHの蒸気が噴出することがあります[11]。火山周辺の噴気孔付近では、硫酸水溶液の湿潤乾燥による繰り返しを受け、塩類風化が生じる可能性はあると思います。まず地球上の噴気孔付近の塩類風化に着目した調査の必要性を感じます。ま



図4: 大田区生徒理科研究発表会における、BさんA君の発表の様子。
なおA君は、主に玄武岩や水溶液の化学的な変質を調べる研究を担当している。

た過去の火星表層において、硫酸水溶液に浸った玄武岩が乾燥した過程は確実にあったはずですが、今回の科学部研究結果から、湿潤乾燥を繰り返さなくても、条件によっては1回の湿潤乾燥で、紫外線と硫酸によって玄武岩が劣化し風化する可能性が考えられます。そこで今後は、玄武岩の1回の湿潤乾燥による変化を調べていく興味と必要性を感じています。

5. 科学部研究の特徴

筆者の指導する科学部研究に参加する生徒は、Bさんのように自分でテーマは思いつきませんが、科学や天文、宇宙、火星等に関する研究をやりたいと思う生徒が多いです。そして科学部研究はやり方次第で、このような生徒の興味や意欲を喚起し、理科で育成すべき資質・能力を育てることができると考えています。

この科学部研究では教師がテーマや実験法を提示し、生徒は実験を行いながら考察します。教師が目的や実験法を提示するという点を除いては、自由研究の指導と同じです。つまり結果の処理やまとめ、考察、発表等は、生徒の主体性を重視しながら生徒と話し合い、指導援助し研究を深めていきます。教師の熱意と発想が生徒の興味や意欲を高めるともいえます。中学校には専門家のような設備はありませんが、専門家の研究の隙間を埋める研究そして中学校でも可能な実験を行い、惑星科学に僅かでも貢献できる成果を出すことを目標の一つとしています。

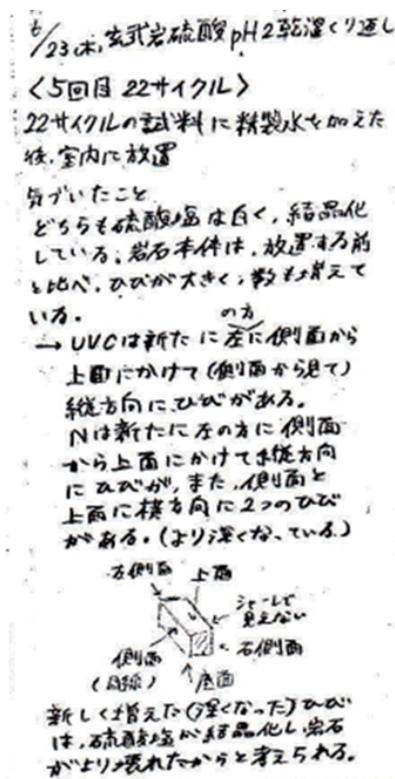


図5: 22サイクル終了後のBさんの観察及び考察内容。Bさんの観察記録ノートより抜粋。

6. まとめ

硫酸に浸した玄武岩に湿潤乾燥の繰り返しを与えると、紫外線を照射した方が、照射しない場合よりも粒径0.1 mm程の微細な岩石の破片が生じやすくなること、逆に照射しない方が硫酸塩による塩類風化と考えられる作用によって、生じるクラックの程度が大きくなり、生じる破片は粒径0.1mm程～数mmのものが発生しやすいことがわかりました。

中学校科学部において可能な実験と肉眼観察のみで得られた結果ですが、過去の火星表層での物理的風化を探る上でのヒントは得られたと思います。Bさんは湿潤乾燥22サイクルを与えた試料の観察と考察(図5)の後、観察記録ノートに「塩類風化の影響が顕著に出ていて、とても面白いと思った。また予想では、紫外線を当てているUVCの方が岩石が壊れると思ったが、Nの方が壊れていて、なぜだろう」と考

察するのが楽しかった。予想では紫外線の影響しか考えていなかったが、実験の結果から硫酸塩の種類も関係しているかもしれないとわかり、色々な見方があると学んだ。」という感想を書いています。今後の科学部研究の方向性を、生徒たちと話し合いながら決めていくつもりです。

謝辞

この研究を進めるにあたり、常に多くのご指導をいただいております東京学芸大学教授の藤本光一郎先生に、深く感謝申し上げます。また、この研究を熱心に進めているBさんはじめ大田区立蒲田中学校科学探求部の皆さんに、感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 小森信男, 2020, 学校教育学研究論集 42, 63.
- [2] 小森信男, 2022, エッセイ: 中学校科学部での模擬火星環境岩石変質実験, 遊星人 31, 174.
- [3] 関根康人, 地質学雑誌 118, 650.
- [4] Tosca, N. J. et al., 2004, Journal of Geophysical Research Planets 109, E05003 1.
- [5] 佐藤昌人ほか, 2016, 地学雑誌 125, 133.
- [6] Cockell, C., 2002, in Astrobiology: The Quest for the Conditions of Life (G. Horneck, C. Baumstark-Khan, Eds), Springer Nature, 219.
- [7] Hurowitz, J. A. et al., 2006, Journal of Geophysical Research 111, E02S19 1.
- [8] 白井寛裕, 2011, 地球化学 45, 159.
- [9] 山田剛, 松倉公憲, 2000, 筑波大学陸域環境研究センター報告 1, 27.
- [10] Gaillard, F. et al., 2013, Space Science Reviews 174, 251.
- [11] Hynek, B. M. et al., 2013, Journal of Geophysical Research Planets 118, 2083.

著者紹介

小森 信男

東京学芸大学大学院 連合学校教育学研究科自然系教育講座

大田区立蒲田中学校

私立中学高等学校教諭を7年間、東京都公立中学校教諭を31年間勤め、2022年3月退職。退職後も指導員として科学部指導を継続中。日本惑星科学会、日本地球惑星科学連合、日本地学教育学会等に所属。