

第19回「科学の芽」賞 応募用紙

受付番号 : GJ0015

応募部門 : 中学生部門

応募区分 : 団体応募

題名 : 2種類の結晶による大谷石の破壊の仕方の違い

学校名 : 東京都 大田区立蒲田中学校

学年 : 2年生

代表者名 : 北田 はるか

※ 個人情報保護のため、入力された項目から抜粋して出力しています。

2種類の結晶による大谷石の破壊の仕方の違い

大田区立蒲田中学校科学探究部 2年
北田はるか 檜山 翼 草間 錬

1 動機

私は土星に興味をもち科学探究部に入部した。そして火星上での物理的風化にも興味をもった。科学探究部では、先輩が、硫酸の湿潤乾燥の繰り返しによって玄武岩が塩類風化を受けるという研究結果を出している。そして、塩類風化は火星上で生じた可能性が高いことを知った。そこで私は、火星上に多く見つかっている硫酸マグネシウム及び、比較のための硫酸ナトリウムを使った塩類風化実験を行い、岩石の破壊の仕方の違いを調べてみたいと思った（北田）。

科学探究部に入り、再結晶に関係する研究を行いたいと思った。岩石の中や表面に再結晶が生じて、岩石を壊す現象があると知りとても興味を持ち、この研究を行うことにした。是非この実験を行ってみたいと思った。そしてこの現象の特徴をできるだけ調べたいと思った（檜山）。

科学探究部に入り、電気パンの研究を行っていたが、檜山君が行っている岩石が結晶によって壊れる実験を見て、私もやってみたいと思った。特に、岩石にひびができて壊れることに興味をもち、調べたくなった（草間）。

2 背景と目的

火星や地球の土の中には、硫酸マグネシウムや硫酸ナトリウム等の硫酸塩が含まれる場合がある。地球上では、土の中に硫酸塩があると周りの岩石は塩類風化を受けやすいことが科学者の研究でわかっている（例えば吉田、2014）。塩類風化とは、岩石の中にしみ込んだ塩類の溶液が再結晶することによって岩石を壊す現象である。そして過去の火星表面でも水と硫酸塩による塩類風化が生じたかもしれないと先生から聞き、硫酸塩による塩類風化について調べてみたいと思った。

そこでこの研究の目的を、硫酸ナトリウムと硫酸マグネシウムによる塩類風化の特徴、特に破壊の仕方の違いについて、大谷石等を使って調べることにした。大谷石は、塩類風化を受けやすい岩石として知られている（例えば山田・松倉、2001）。

3 関連する過去の研究

塩類風化に関する研究は、世界中の科学者によって、多くの研究が行われている。大谷石の塩類風化に関する研究は、小口（2008）等、主に日本の科学者や大学生によって行われている。硫酸ナトリウムと硫酸マグネシウムによる大谷石の塩類風化の程度を調べた研究として（山田・松倉、2000, 2001）がある。塩類風化に関する中学生の研究は、私たちが調べた限りでは、ないようだ。

4 方法

4.1 塩類風化実験 A

栃木県宇都宮市産緑色凝灰岩(大谷石)を 4×4×15cm に整形した角柱を、硫酸ナトリウム飽和水溶液を約 1000cm³を入れたプラスチック容器(18×13×6cm 程)に浸し(写真 1)、その変化を肉眼で継続観察した。そして生じた破片の重量、結晶の大きさや形を調べた。この方法は(山田・松倉,2001)の方法を参考にした。なお角柱をセットしたプラ容器は、廊下の高さ 1.4m程の台に静置し、温度と湿度を観察の度に測定した。同じ実験を硫酸マグネシウム飽和水溶液でも行った。



写真1 プラ容器にセットした緑色凝灰岩の角柱(角柱の1/3弱はフタの下の水溶液に浸っている)

4.2 塩類風化実験 B

理科室にある緑色凝灰岩（静岡県河津町沢田産）をハンマーで割り 3cm 前後の塊状にし、水道水で表面の汚れを洗い、試料とした。この緑色凝灰岩は、0.1mm程の火山灰の粒が固まったものであり、薄い緑色を帯びている。粒の大きさが均質で、風化によって生じる破片の大きさの違いを調べるためには、大谷石よりも適切な試料と考えた。

実験用試料をそれぞれ7×11×5 cm程のプラスチック容器に入れ、さらに岩石が完全に浸るまで硫酸ナトリウム飽和水溶液と硫酸マグネシウム飽和水溶液を入れ、一日静置した。これを湿潤状態として写真撮影をした。

その後、試料を硫酸ナトリウム水溶液と硫酸マグネシウム水溶液から取り出し、それぞれアルミ箔に包み 1 日間ホットプレートを使って 90℃で乾燥させた。これを乾燥状態とする。以上のような湿潤乾燥の過程を1サイクルと数え、15 サイクルまで岩石に硫酸マグネシウムによる湿潤乾燥を繰り返し与えた。そしてサイクル毎に、各岩石を肉眼観察した。その後、生じた破片の顕微鏡観察を行った。この方法は、山田・松倉(2001)の方法を参考にした。

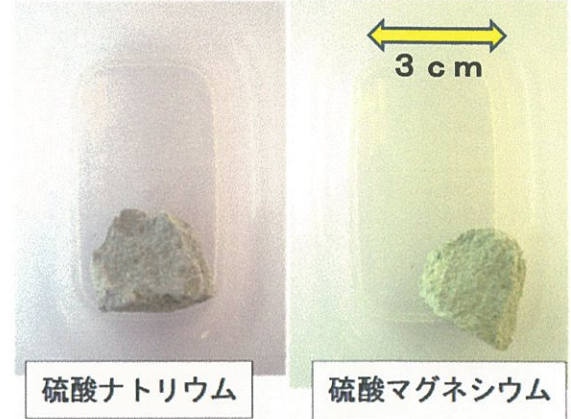


写真2 飽和水溶液中に試料を入れた状態（実験前）

4.3 園芸用スポンジ実験

4×4×15 cmの園芸用スポンジ（フローラルフォーム）を2つ用意し、4.1と同じ実験を、この園芸用スポンジを用いて行い（写真3）、試料の変化を肉眼で継続観察した。さらに実験後の試料の顕微鏡観察を行った。

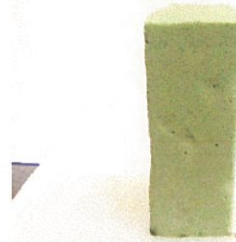


写真3 プラ容器にセットした園芸用スポンジの角柱。1/3弱はフタの下の水溶液に浸っている。

5 結果

5.1 塩類風化実験 A

5.1.1 硫酸ナトリウムを使用した実験（2回目の実験結果）



2023年9月22日（実験開始）



9月29日

写真4a 硫酸ナトリウムの場合 2回目の実験の経過（2023年9月22日～9月29日）

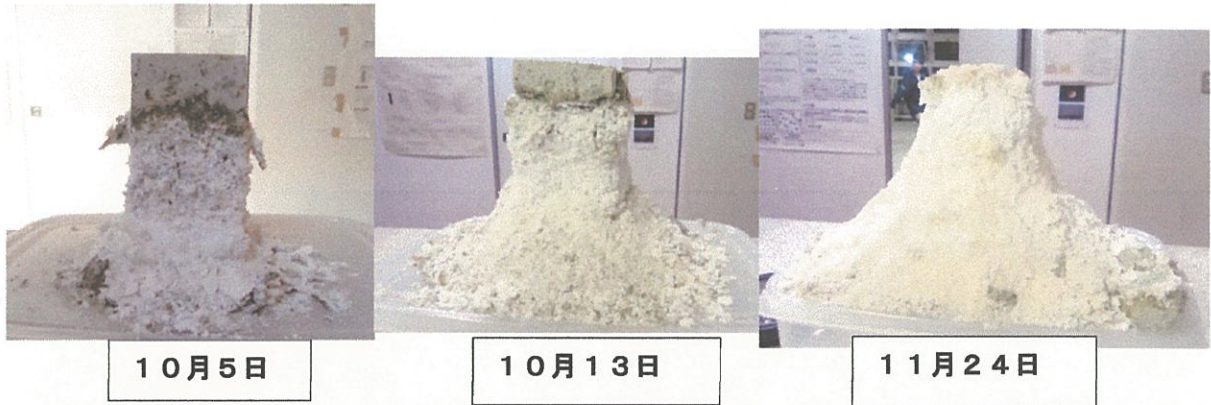


写真4b 硫酸ナトリウムの場合 2回目の実験の経過(2023年10月5日～11月24日)

この1回目の実験は、2022年11月10日～5月22日まで、科学探究部の先輩が行った。2回目の実験は、2023年9月22日～11月24日、3回目の実験は 2024年5月24日～8月5日まで行ったが、3回とも同じような結果となった。

ここでは2回目の実験結果を示す。2回目の実験は、2023年9月22日～9月29日までの間に、水溶液はプラスチック容器蓋の面から約7.5cm上昇した。そして岩石の表面に、白い結晶が生じた。この白い結晶は、プラスチック容器の蓋に近い程多い。結晶の大きさは0.1mm程のものが多い。白い結晶中には、岩石の破片が混じっていた。破片の大きさは5mm前後～0.1mm程度だった。大小の破片が入り混じり、形ははっきりしない。9月29日頃から、岩石が表面からはがれ始めた10月5日には、水溶液は約9cmの高さまで上昇した。その後、白い結晶によって生じた岩石の破片は、増えていった。11月24日頃には、水溶液は試料の上面まで上昇し、プラスチック容器を全て被う大量の結晶と岩石の破片が生じた(写真4ab)。3回目の実験で、試料の高さの変化を定規で測定したが、高さの上昇や下降は認められなかった。

5.1.2 硫酸マグネシウムを使用した実験(2回目と3回目の実験結果)

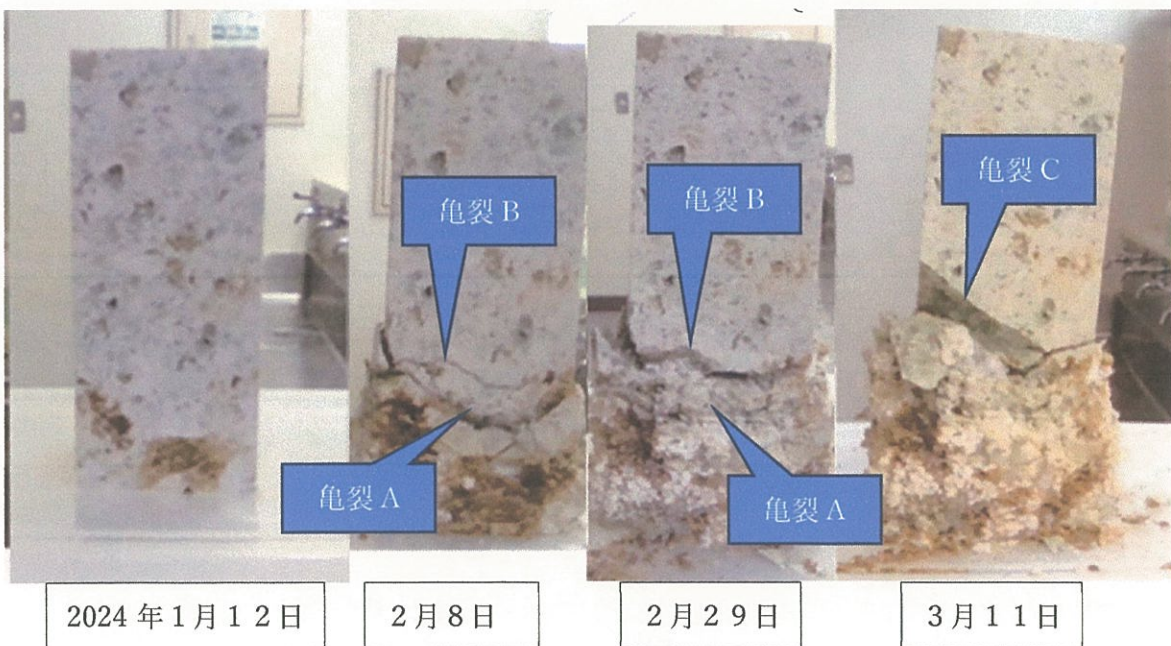


写真5 硫酸マグネシウムの場合 2回目の実験の経過(2024年1月12日～3月11日)

水溶液は、プラスチック容器蓋の面から少しずつ上昇し、水面に平行方向に亀裂が生じた。2月8日にはプラスチック蓋の面から、3~4cm程上昇し、0.5mm~3mm以上の幅の亀裂が、3本以上生じていた。これらの亀裂の中の主なものを亀裂A、亀裂Bとする。

2月15日ごろには、亀裂Aは、幅が4mm程に大きくなった。その後、亀裂が縮んだように見えた。亀裂Bは、2月29日には亀裂の中が、生じた霜柱状の結晶で埋まり、幅が4mmくらいに広がった。亀裂Aは、亀裂の上に結晶が生じ、見づらくなった。亀裂Aの下あたりに生じた結晶は少し褐色を帯びた。その後亀裂Cが発生し、3月11日頃には、亀裂Cと亀裂Bによって、幅2cm厚さ1cm程の破片が生じた。

この実験と同じ実験は、2023年9月22日~12月22日と2024年4月22日~7月4日の3回行ったが、3回とも、同じような結果になった。3回とも、試料の側面には結晶は硫酸ナトリウムに比べてあまり生じないが、水面に平行方向に複数の亀裂が生じ、破壊が進む様子が認められた。

亀裂が生じるため、試料全体の高さが高くなることがわかってきたので、3回目の実験では、試料の高さを毎回測定し、時間の経過と高さの関係を調べた。

3回目の実験は、2024年4月22日~7月4日に行い、表1のような結果が得られた。これをグラフ化すると図1のようになる。5月31日~6月3日には0.15mm、6月24日~6月27日には0.5mmと、急激に高さが増加し、合計2016時間(84日)で、1.6cm高さは上昇した。霜柱状の結晶(写真6)が生じると亀裂が生じ、急激に高さが上昇するようだ。

表1 時間と高さの関係(3回目の実験結果)

測定日	4月22日	4月26日	5月10日	5月13日	5月16日	5月17日	5月24日	5月27日	5月31日	6月3日	6月6日	6月7日	6月10日	6月21日	6月24日	6月27日	6月28日	7月1日	7月4日	7月5日
時間	24	120	216	528	600	624	792	864	960	1272	1344	1368	1440	1704	1776	1848	1872	1944	2016	2040
日数	1	5	9	22	25	26	33	36	40	53	56	57	60	71	74	77	78	81	84	85
高さ(cm)	15	15.2	15.4	15.5	15.5	15.5	15.75	15.85	15.9	16.05	16.05	16.05	16.25	16.25	16.3	16.8	16.8	16.8	16.8	16.3

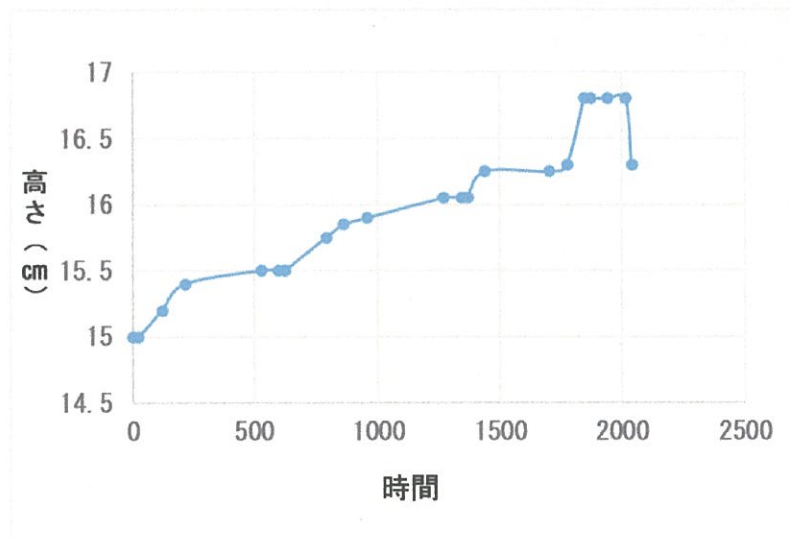


図1 時間と高さの関係(3回目の実験結果)

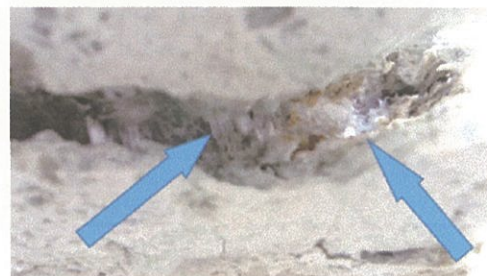


写真6 2024年4月22日~5月13日の間に、生じた亀裂の中に生じた霜柱状の結晶

5.1.3 各フルイに残った破片の重量と形

5.1.1 で示した硫酸ナトリウムを使用した1回目の実験の後、大量に生じた結晶と破片が混じったものを、薬さじで大さじ1杯程採取して、ろ過し、破片を取り出し、フルイ分けを行った。そして各フルイの目に残った破片の重量を測定し、破片の形を顕微鏡観察した。同じように、5.1.2 で示した硫酸マグネシウムを使用した2回目の実験の後、亀裂A付近の少し褐色を帯びた結晶と破片が混じった部分を取り出し、同じくフルイ分けと各フルイに残った破片の重量の測定、破片の顕微鏡観察を行った(表2、図2、写真7)。

フルイの目(mm)	4	2	1	0.5	0.2	0.2以下	計
硫酸マグネシウム(g)	0.17	0.1	0.07	0.08	0	0	0.42
硫酸ナトリウム(g)	0	0.05	0.07	0.09	0.02	0.02	0.25

表2 各フルイの目に残った破片の重量

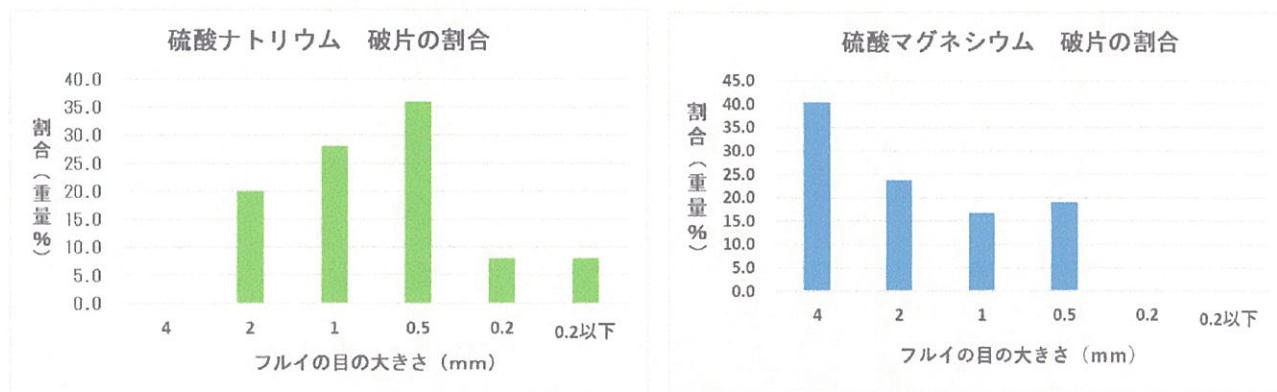
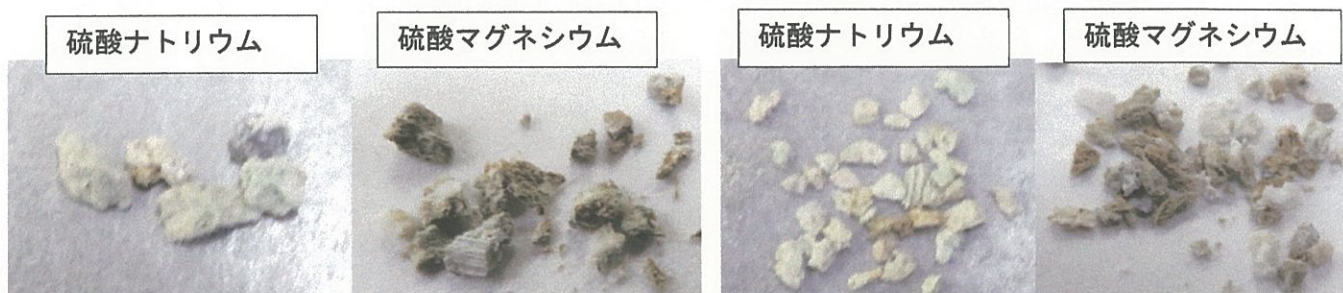


図2 各フルイの目に残った破片の割合(重量%)



2mmのフルイに残った破片

1mmのフルイに残った破片

写真7 2mmと1mmのフルイに残った破片の比較

各フルイに残った破片の割合は、硫酸ナトリウムの方が、硫酸マグネシウムよりも、0.5mm以下の破片の割合が大きいことがわかる。破片の形は、硫酸ナトリウム、硫酸マグネシウムとも、細長い形をしていて形の違いは感じられないが、硫酸ナトリウムは硫酸マグネシウムよりも、より平たい破片が多いように感じる。

5.2 塩類風化実験B(2023年11月24日~2024年3月11日)

1サイクル目、5サイクル目、15サイクル目の結果を写真8に示す。

硫酸ナトリウムでは5サイクル程から、硫酸マグネシウムよりも、水溶液が濁りはじめた。15サイクル目では、硫酸ナトリウムの方が、圧倒的に水が濁っていた。また硫酸ナトリウムは、約1mm以下の破片が多く、細かい破片を沢山生じているように見える。これらのことから、硫酸ナトリウムは水に浮遊するくらい細かい破片を、硫酸マグネシウムよりも早く、多

く生じさせることができると考える。

硫酸マグネシウムから生じる破片の大きさは約 1mm から 3 mm程が多いように見える。

5 サイクル、15 サイクルの試料本体の大きさを見ると、硫酸ナトリウムの方が、試料本体の大きさが、硫酸マグネシウムよりも、小さくなっていることがわかる。

以上のことから、硫酸ナトリウムは、硫酸マグネシウムよりも、試料全体を細かく壊す力は大きいと考える。

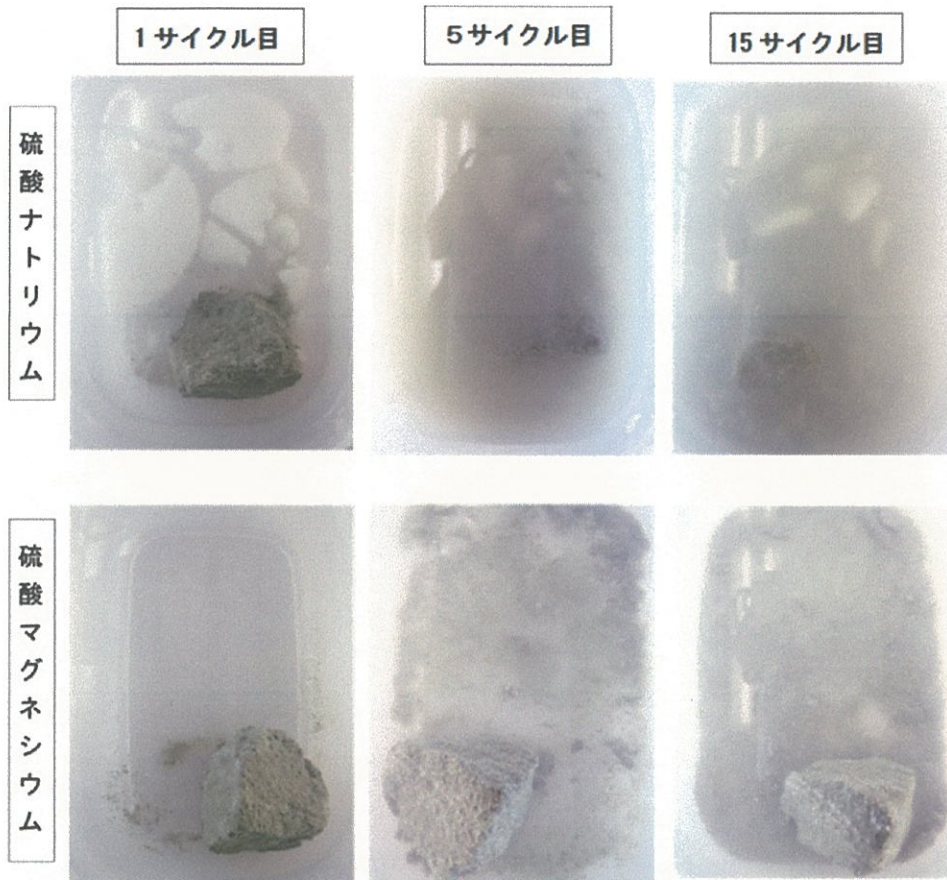


写真8 2mmと1mmのフルイに残った破片の比較

硫酸ナトリウムと硫酸マグネシウムの破片の大きさを、より詳しく調べるため、塩類風化実験 15 サイクル目の水溶液中の破片を葉さじで採取し、スライドガラスに載せ顕微鏡で観察した。その結果を以下に示す(写真9)。

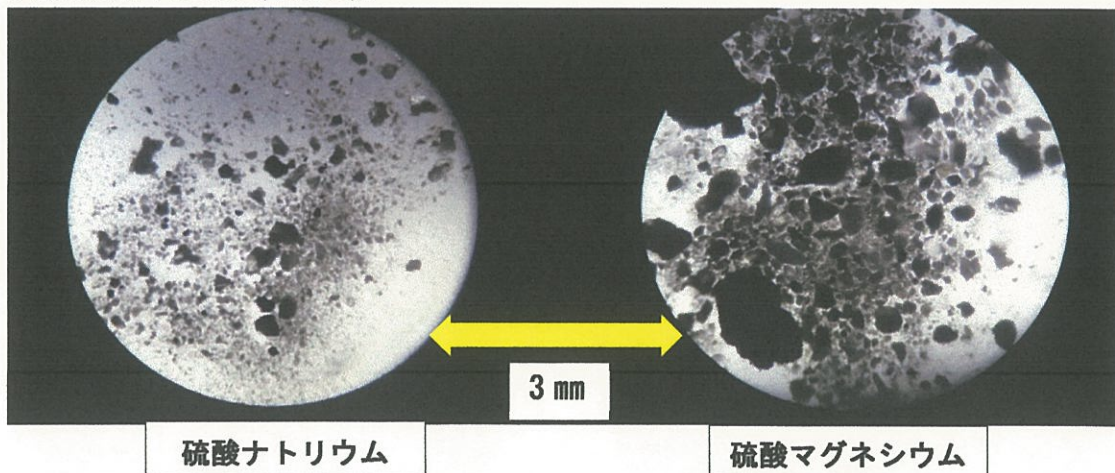


写真9 硫酸ナトリウムと硫酸マグネシウムの破片の顕微鏡写真 (15 サイクル)

硫酸ナトリウムは、0.4 mm程の破片が一番大きく、0.1 mm程以下の破片も多い。硫酸マグネシウムは、1 mm程の破片が一番大きく、0.5 mm程以上の破片と 0.1 mm以下の破片も多い。全体的に硫酸マグネシウムの方が、硫酸ナトリウムよりも、0.5 mm程よりも大きい破片が多い。

4.3 園芸用スポンジ(フローラルフォーム)を使った実験

大谷石の内部の細かい空隙の中で、結晶がどのように生じるのかを調べるために、園芸用スポンジを使って、塩類風化実験Aと同じ実験を行った。その結果は、次のようになった(写真10)。

4.3.1 肉眼観察 (2024年2月9日~2024年4月5日)



写真10 硫酸ナトリウムと硫酸マグネシウム飽和水溶液に浸した園芸用スポンジの変化

水溶液が園芸用スポンジを上昇する速さも高さも、硫酸ナトリウムの方が、硫酸マグネシウムの場合よりも大きい。

硫酸ナトリウムの場合は、3日で4cm程上昇し、側面に結晶が生じはじめた。その後側面から生じる結晶は多くなり、プラ容器のフタの上にも、結晶は落下した。硫酸マグネシウムの場合は、水溶液は3週間程で4cm程上昇したが、それ以上ほとんど上昇しなかった。

以上のように、園芸用スポンジの場合の硫酸ナトリウムと硫酸マグネシウムの結晶の生じ方や生じる量は、5.1で示した大谷石の場合と似ている。

4.3.2 スポンジ横断面の肉眼観察

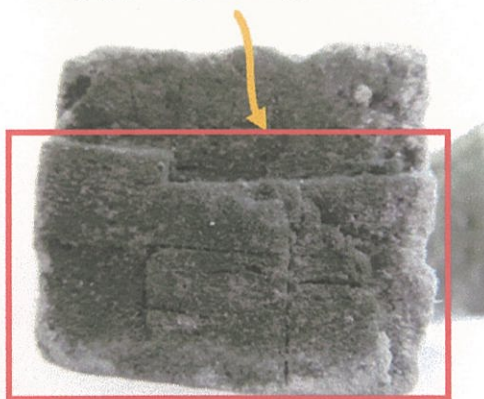
プラ容器フタの高さよりも2 cm高い



写真 11 スポンジを切った状態

実験後のスポンジを、室内に1か月以上静置し、乾燥させた。そして、硫酸ナトリウムの場合は、プラ容器のフタの高さから2cmと1cmの高さでスポンジを切り、硫酸マグネシウムの場合は0cmと1cmの高さで切った(写真11)。そして断面を肉眼と顕微鏡で観察した。その結果を以下に示す(写真12)。

プラ容器フタの高さよりも2 cmの高さで切った断面



硫酸ナトリウム水溶液



プラ容器のフタの面から1 cmの高さで切ったスポンジを6等分した状態

プラ容器フタの高さで切った断面



硫酸マグネシウム水溶液



プラ容器のフタの面から1 cmの高さで切ったスポンジを6等分した状態

写真 12 スポンジを切った断面の様子

硫酸ナトリウムの場合は、プラスチック容器のフタから1cmの高さで切った断面、2cmの高さで切った断面とも、結晶が内部まで生じていた。内部まで硫酸ナトリウム水溶液が浸み込んだと考えられる。硫酸マグネシウムの場合は、プラスチック容器のフタの高さで切った断面、1cmの高さで切った断面とも、内部には結晶がほとんど生じていなかった。側面には薄く数mmの結晶が生じていた。硫酸マグネシウム水溶液は、内部まで浸み込みにくいと考えられる。

硫酸ナトリウムの破片は、花のつぼみのような破片が細かくスポンジの網目に分布していた。硫酸マグネシウムの破片のイメージとしては、スポンジの網目に薄い膜のような結晶が沢山ついているイメージだった。

4.3.3 スポンジ横断面の顕微鏡観察

写真12の硫酸ナトリウムと硫酸マグネシウムの結晶の大きさや形を観察するため、スポンジの横断面を顕微鏡観察した結果を以下に示す(写真13)。

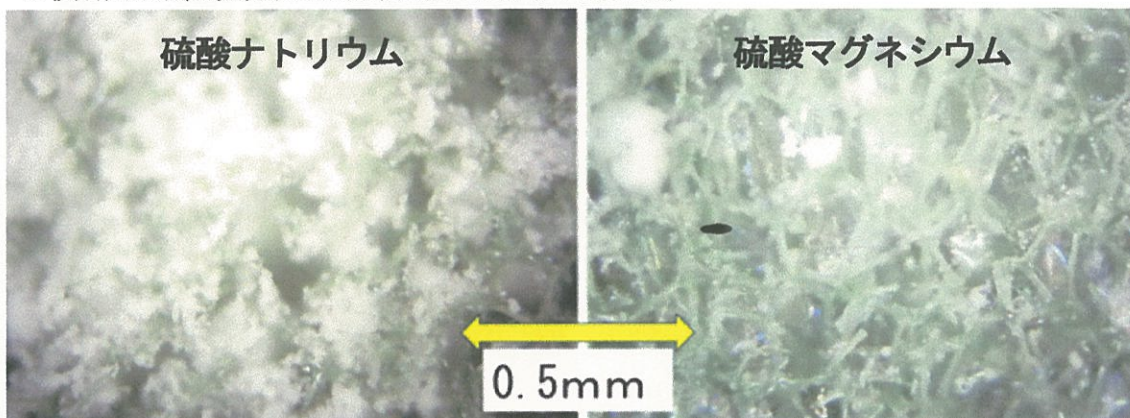


写真13 プラスチックの蓋から約1cmの高さで切ったものに見られる結晶の顕微鏡観察(角柱の側面付近)

硫酸ナトリウムの場合は結晶が角柱の側面、内部とも、花のつぼみのような形の細かい0.01mm以下の細かい結晶がびっしりと網目についていた。

硫酸マグネシウムの場合は、角柱の側面には、形はわからないが細かい(0.01mm以下)結晶が少し生じていた。大部分は、結晶が生じていないか、角ばった透明な0.1mm前後の結晶が、まばらに散らばっていた。しかし角柱の内部には、ほとんど結晶は観察できなかった。以上のことから、硫酸マグネシウムより硫酸ナトリウムの方が、水溶液が奥まで浸透する性質があり、小さな再結晶が生じると考えた。

このことと肉眼観察の結果から、大谷石の場合も、硫酸ナトリウム水溶液は、硫酸マグネシウム水溶液よりも、岩石の中のより小さな孔の中に浸透でき、細かい結晶を多く生じさせることができると考えた。

6. 考察

実験結果をまとめると、次のようになる。

塩類風化実験 A

- ・硫酸ナトリウム水溶液の方が硫酸マグネシウム水溶液よりも大谷石中を早く上昇すること。
- ・硫酸ナトリウム水溶液の場合は、大谷石は表面から削られるように壊れること。
- ・硫酸マグネシウム水溶液では、結晶が成長することによる亀裂によって、壊れることが多いこと。

塩類風化実験 B

- ・硫酸ナトリウム水溶液の方が、硫酸マグネシウム水溶液より、試料本体が壊れる程度が大きいこと。
- ・硫酸ナトリウム水溶液の方が、硫酸マグネシウム水溶液より細かい破片が生じやすいこと。

園芸用スポンジを使った実験

- ・硫酸ナトリウム水溶液、硫酸マグネシウム水溶液とも、大谷石の場合と似た水溶液の上昇の仕方や結晶の仕方をする。
- ・硫酸ナトリウム水溶液の方が、硫酸マグネシウム水溶液よりも細かい網目の中を浸透し、細かい結晶に再結晶する性質が強いこと。

以上のような、硫酸ナトリウム飽和水溶液と硫酸マグネシウム飽和水溶液が岩石やスポンジに与える影響の違いは、これまで知られていないようだ。

そして、以上の結果から硫酸ナトリウム飽和水溶液は、硫酸マグネシウム飽和水溶液よりも大谷石の内部まで浸透しやすく、0.5mm 以下の細かい破片を生じやすいと考えられる。そして岩石の表面の方が乾燥しやすいため、表面から結晶が生じ、表面が削られるように壊れると考える（図2）。

硫酸マグネシウム飽和水溶液は、大谷石の内部まで浸透しにくいいため、大谷石の表面付近を浸透し、ある高さまで上昇すると、水溶液から結晶が析出しやすい水分の条件になり、析出した結晶によって亀裂が生じ、亀裂の中で結晶はさらに霜柱状に成長し、亀裂は大谷石の内部に拡がっていくと考える（図2）。このように、岩石の中への浸透のしやすさ、しにくさが、大谷石の破壊の仕方や破片の大きさの違いに大きな影響を与えると考える。

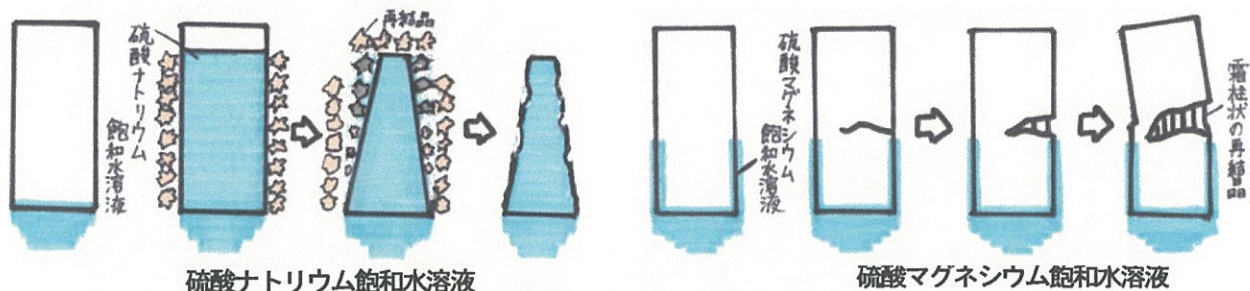


図2 風化の仕方の違い モデル図

大学で行われた研究(山田・松倉, 2001)は、この研究とほとんど同じ実験を、この研究と異なる温度と湿度の条件で行った。その結果、硫酸ナトリウムの場合、岩石表面がポロポロに崩れたこと、硫酸マグネシウムの場合、塩が岩石下部に析出した後、岩石下部が樽状に膨れ、亀裂が入ったと報告しており、この研究と似た現象が生じたようだ。そして硫酸ナトリウムと硫酸マグネシウムの場合の破壊の程度の違いについて考察しているが、破壊の仕方の違いの原因については調べていない。私たちの研究では、冬の最低温度 10°C程、最低湿度 30%程、夏の最高気温 30°C程、最高湿度 80%程の校舎内の廊下で行い、硫酸ナトリウムと硫酸マグネシウムの破壊の仕方の違いが、山田・松倉(2001)よりもはっきり生じたと考える。さらにスポンジ実験を行い、硫酸ナトリウムと硫酸マグネシウムの破壊の仕方の違いが生じる原因を考察した点が、山田・松倉(2001)と異なる。

研究を行った感想

硫酸ナトリウムと硫酸マグネシウムとでは、岩石の壊れ方や岩石への浸透しやすさ、生じる破片や再結晶の形や大きさなど、違う点が多くとても興味深かった。また、火星上ではどのように岩石が風化されていくのかを知りたい、もっといろいろ調べていきたいと思った（北田）。

塩類風化は、溶液次第で結果が大きく変わることに関心を持ち、他の液体ではどんな結果になるのが気になった（草間）。同じ物質でも濃度が異なるとどうなるのかも知りたい（檜山）

参考文献

- 小口千明(2006): 塩類風化による地圏材料の劣化に関する研究、埼玉大学総合研究機構研究プロジェクト研究成果報告書, 第4号(17年度), 1-4.
- 山田剛・松倉公憲(2000): 凝灰岩の塩類風化に関する一実験、筑波大学陸域環境研究センター報告, No. 1, 27~34.
- 山田剛・松倉公憲(2001): 凝灰岩の柱状試料を用いた塩類風化に関する予察的実験、筑波大学陸域環境研究センター報告, No. 2, 19~24.
- 吉田夏樹・三田卓・望月泰史・土屋恵美(2014): 硫酸ナトリウムの作用により劣化した住宅基礎コンクリートの補修、一般社団法人日本建築総合試験所機関紙, Vol. 39, No. 1.