

研究概要

自分の住んでいる熊本県宇土市網津町馬門で産出される「馬門石(まかどいし)」の赤色の原因を明らかにするため研究を始めた。馬門石の赤色について、鉄の酸化、中でもFe₂O₃ではと考え研究を行った。

A：観察・実験、B：成分分析・焼成試験、C分布調査 を行った結果、A：実験の結果、赤色の原因には生成が容易なFeO(OH)もあり得と考え、B：焼成試験では赤色の原因は鉄以外では考えにくく、C：馬門石の生成は分布の様子などから水による酸化が原因ではないかと考えた。

しかし、FeO(OH)が赤色の原因と考えると気になる部分も複数存在し、Aso-4火砕流堆積物は水に浸しても色に変化はなかった。また、馬門石の生成についても、火砕流堆積物としての高温と、凝灰岩としての多孔質という特徴から、高温を保ったままガス交換が起こり高温酸化を起こした表層より少し下の一部が馬門石になったのではないかと考える と分布の様子と合致する。

1 はじめに

自分たちの住む熊本県宇土市網津町(図1)で産出される馬門石(まかどいし)は約9万年前のAso-4火砕流堆積物の阿蘇溶結凝灰岩の一種とされるが特徴的な赤色をしており(図2)、古墳時代には近畿地方まで運ばれ石棺に使われた(図3)が、その赤色の原因は未だに不明である。



2 動機・目的

私たちは、この馬門石の赤色の原因を知りたいと思い、A：観察・実験、B：成分分析・焼成実験、C：分布調査 の3観点から研究を行うことにした。

馬門石の色の原因についてこれまでの文献を調べると(図4)、「酸化が関係しているのでは」との記述こそあれど、詳細は不明であった。そこで今回は、馬門石の赤色は、どこでもよく見られる鉄の酸化、中でも火山の火口付近に見られる赤色の成分、Fe₂O₃ (ヘマタイト) によるものではないか、と仮説を立て研究を行った。

これよりAso-4火砕流堆積物の阿蘇溶結凝灰岩のなかで、赤いものを「馬門石」、黒いものを「Aso-4」と呼ぶこととする。図4 熊本日日新聞「馬門石 噴火の奇跡に触れる」2021より引用、加筆

3 A:観察・実験

(1) 馬門石とAso-4の違い

馬門石とAso-4の性質の違いについて観察・実験を行うと、2つに密度の差はほとんどなく、磁性はどちらにもあり、磁石に付いたものには磁鉄鉱や角閃石が見られた。

(2) 生成実験…馬門石の赤色の候補となる成分とその生成

①赤色を示す成分に関する文献調査

馬門石の赤色の原因について、赤色を呈することのある鉱物の文献調査を行った。すると、水銀、銅、クロム、鉛など、鉄以外にも様々な鉱物があると分かったが、今回は可能性として高い酸化鉄に着目した。

すると、鉄サビ、中でも赤サビは、FeO(OH)という酸化物であると分かった。

そこで、Fe₂O₃とFeO(OH)の性質を調べると(図5)、Fe₂O₃は鉄の「最高酸化状態」で非常に高い温度での加熱が必要なこと、FeO(OH)は水と酸素があれば生成されることが分かった。

②FeO(OH)とFe₂O₃の生成実験

①の結果を元に、鉄クギなどを用いて生成実験を行った。鉄クギを水に浸けて放置すると、すぐにオレンジ色の赤サビが発生した(表1)。

よって、FeO(OH)は、水と酸素で容易に生成されたと分かった。次に、鉄粉をガスバーナーで2〜30分加熱した。加熱中は赤くなっていたが、温度が下がると元の状態に戻った。

磁性や酸/アルカリとの反応などに加熱前と違い見られなかったため、Fe₂O₃はガスバーナー程度の加熱では容易に生成されないと分かった。

4 B:成分分析・焼成試験

熊本県産業技術センターの協力の下で、馬門地域で色の異なる試料(表2)の成分分析及焼成実験を行った。

<成分分析>

(1) 方法

①粉末試料の作製 試料を岩石クラッシャー、メノウの乳棒・乳鉢を用いてアルコールを加えつつ粉碎し、ペースト状にしたものを乾燥させて粉末試料にした。

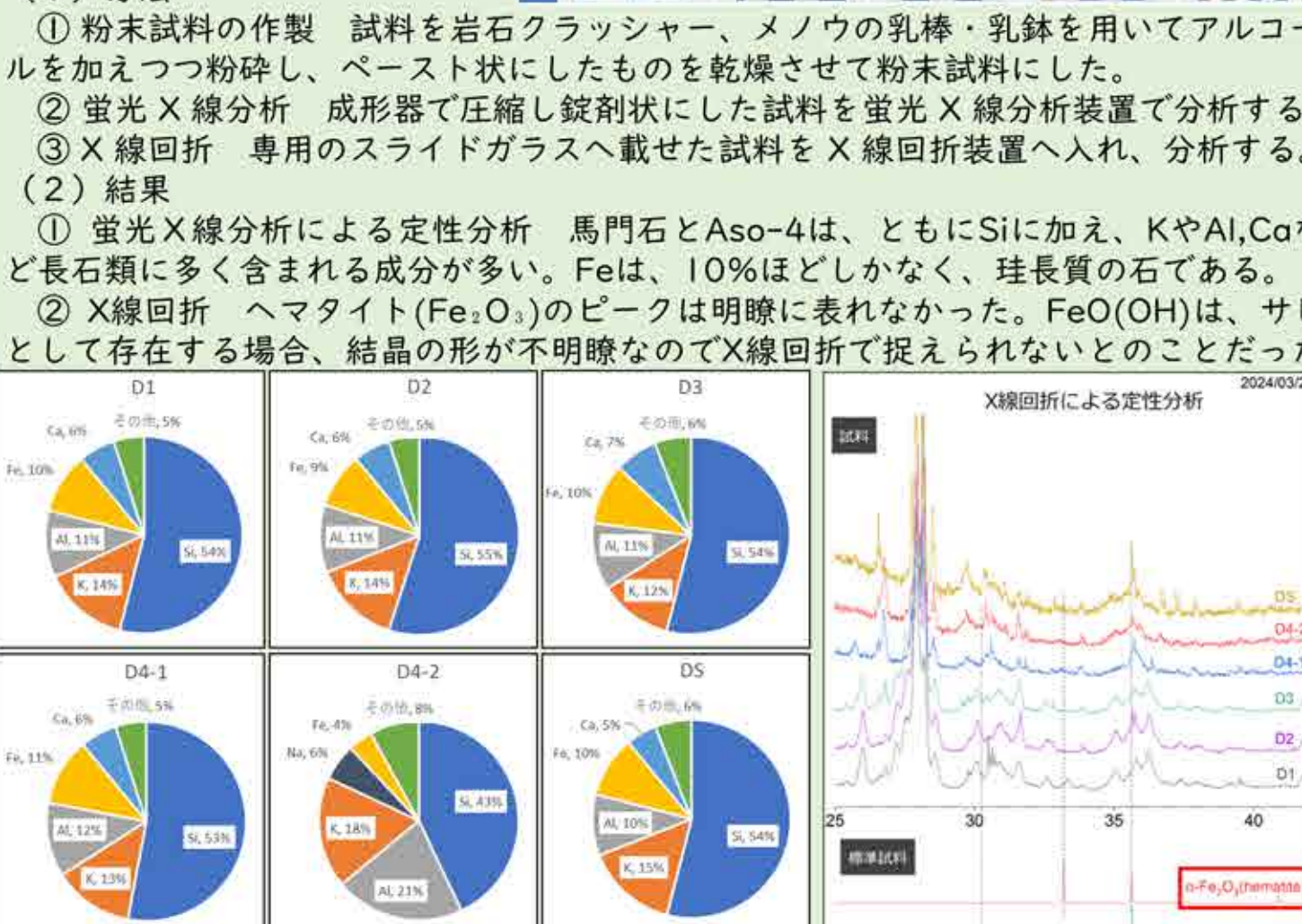
②蛍光X線分析 成形器で圧縮し錠剤状にした試料を蛍光X線分析装置で分析する。

③X線回折 専用のスライドガラスへ載せた試料をX線回折装置へ入れ、分析する。

(2) 結果

①蛍光X線分析による定性分析 馬門石とAso-4は、ともにSiに加え、KやAl,Caなど長石類に多く含まれる成分が多い。Feは、10%ほどしかなく、珪長質の石である。

②X線回折 ヘマタイト(Fe₂O₃)のピークは明瞭に表れなかった。FeO(OH)は、サビとして存在する場合、結晶の形が不明瞭なのでX線回折で捉えられないとのことだった。



<焼成実験>

①方法

馬門石(M1)とAso-4(M2)の試料を1,000℃と300℃の電気炉で24時間加熱。

②仮説

馬門石の赤色の原因が鉄なら、高温加熱により岩石中の鉄がヘマタイト化し岩石の色が赤色に変化するのではないかと考えた。鉄以外なら加熱しても色には変化するのではないかと考えた。

③結果

1000℃の高温で24時間加熱すると、馬門石、Aso-4ともに鮮やかな赤色に変化した。

④考察

馬門石の赤色の原因は鉄以外には考えにくく、FeO(OH)がFe₂O₃かだと考えられる。

8 謝辞・参考文献

本研究を進めるにあたり、熊本県産業技術センターの大城善郎様、元本校地学教師の田中基義先生、御船町恐竜博物館学芸員の池上直樹先生、本校教諭の本多栄喜先生、研究助成をいただいた公益財団法人 武田科学振興財団など、多くの方々にご協力・ご助言頂いた。本研究に関わって下さった皆様に、この場を借りて、心より感謝申し上げます。

<参考文献>

- ◆鉄サビの生成過程と構造変化、鈴木茂 (2008)
- ◆熊本日日新聞「馬門石 噴火の軌跡に触れる」(2021)
- ◆地理院地図 化学辞典
- ◆酸化鉄、水酸化鉄系化合物の生成と物性 高田利夫 (1969)
- ◆鉄サビ生成の現状と未解明点 三沢俊平 (1983)
- ◆化学図録(数研出版より)
- ◆阿蘇火山の生い立ち 地質が語る大地の鼓動、渡辺一徳 (2003)
- ◆熊本の自然をたずねて (2009) 熊本県高等学校教育研究会地学部会
- ◆熊本県地質図編集委員会 (2008)
- ◆植山古墳 橿原市公式ホームページ

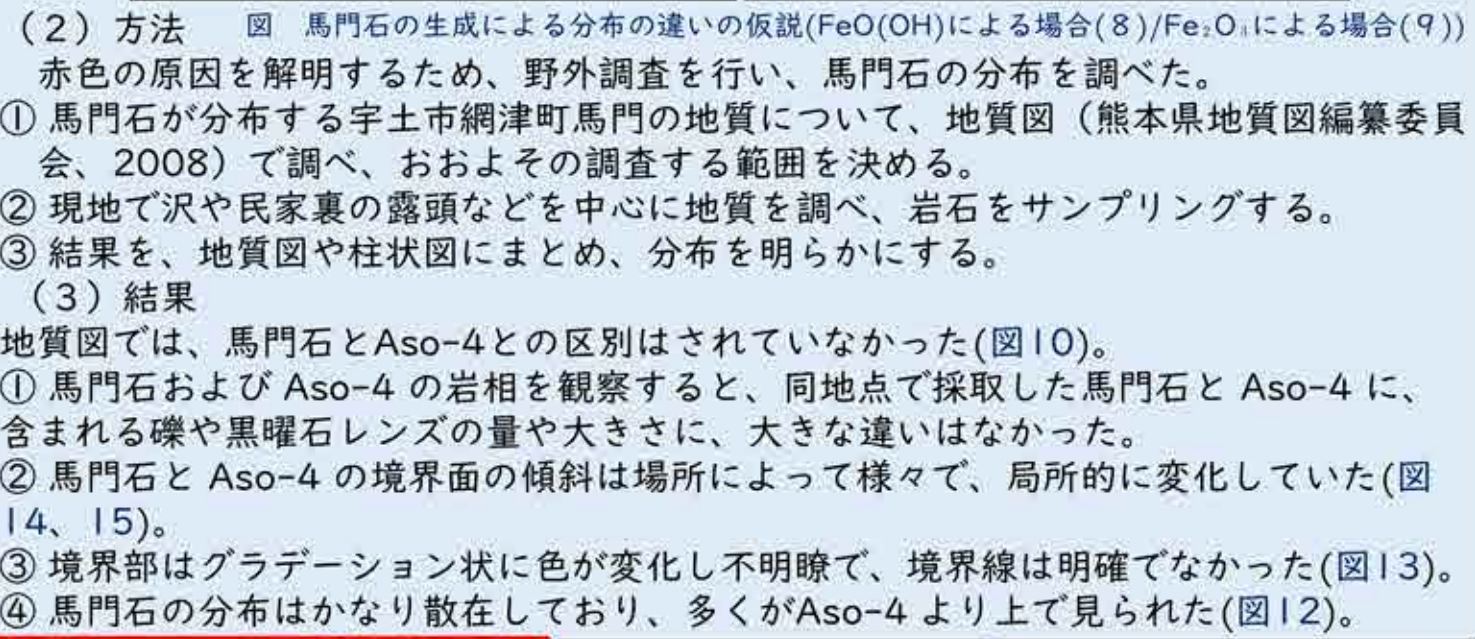
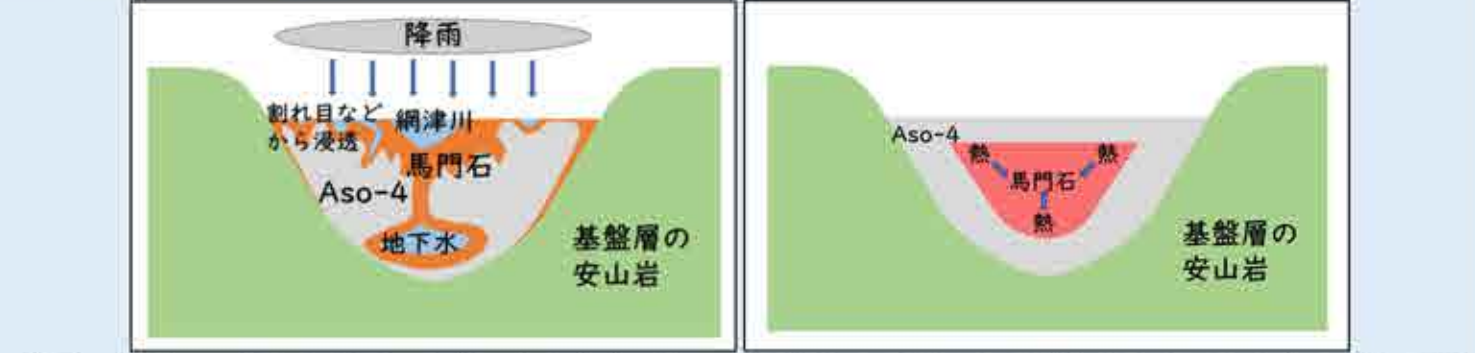
5 C:現地調査

FeO(OH)とFe₂O₃は生成条件が異なるため、分布の様子から絞り込めると考えた。

(1) 仮説

FeO(OH)の場合は、水による酸化で生成されるため、雨や川の水に触れる上部や基盤層の境界などに分布すると考えられる(図8)。

Fe₂O₃の場合は、高温酸化によって生成されるため、熱がこもる中心部付近に分布すると考えられる(図9)。



(4) 考察

これらの結果から、馬門石の赤い原因はFeO(OH)であると考えた。よって、馬門石の形成過程は、馬門石とAso-4は元々同じ岩石で、堆積後に空気に触れて、酸素と水による酸化でAso-4の一部で内部にFeO(OH)が形成され、馬門石に変化したと考えた。

6 馬門石の赤色の原因に関する考察(結論の再検討)

(1) 再検討の必要性

ここまで、馬門石の赤い原因についてFeO(OH)と考えてきたが、気になる部分もある。

①馬門石の分布は限定的

水による酸化で内部の鉄が赤サビFeO(OH)となり赤くなったとすると、露頭は馬門石だらけでAso-4の分布は限られるはずだが、実際はAso-4もよく見られた。

②色

鉄クギから生成された赤サビは、赤というよりオレンジ色で馬門石の赤色とは異なる。

(2) 方法

鉄クギ、黒いAso-4、磁鉄鉱、角閃石を水に浸けて、空気に晒し、7日間放置する。

(3) 結果

鉄クギはオレンジ色に変化した。磁鉄鉱は赤色に変化した。角閃石は赤色に変化した。Aso-4は赤色に変化した。

(4) 考察

①赤サビ(FeO(OH))の生成

鉄クギはすぐに赤サビが発生したが、自然界では鉄クギのような鉄だけの状態では存在せず、すでに酸化鉄である。よって、自然界では赤サビも簡単に生成されないのではと考えた。

②ヘマタイトFe₂O₃の生成

色の原因が水との関連の強いFeO(OH)だと考えたのは、馬門石の分布が散在していることや、比較的表層の近くに分布していたためである。そこで、散在的にFe₂O₃が形成されることが説明できれば、馬門石の赤色の原因がFe₂O₃と考えることが可能になる。

凝灰岩は火成岩ではなく堆積岩であり、凝灰岩は同じ火山の噴火によってできる火山岩と比べ、火山灰が固まってできる(表5)。そのため、隙間が存在(多孔質)する。火砕流が堆積したAso-4火砕流堆積物は高温を保ったまま、多孔質な部分から火山ガスが抜けると同時に空気が入り、ガス交換が起こったと考えられる。この空気中の酸素が、堆積物の表面より少し下の高温が保たれている部分にも供給され、高温酸化が起こり、Fe₂O₃が形成されて赤くなり、馬門石となった、と考えた(図16)。



7 まとめ・成果

馬門石の赤色の原因は、「ヘマタイトFe₂O₃」と考えられる。馬門石も周囲のAso-4同様に堆積直後は黒かったが、表層の少し下の部分において、火砕流堆積物としての高温と、多孔質な凝灰岩であることでガス交換で供給された酸素により、鉄が高温酸化しヘマタイトFe₂O₃を生じた。その結果、散在的に分布する赤い馬門石となった。今回の調査で、馬門地域における馬門石とAso-4との境界部や分布を明らかにできた。

<今後の課題>

- なぜ馬門地域のAso-4火砕流堆積物は他の地域と異なり、Fe₂O₃が生成されたのか。
- 馬門地区以外での、馬門石のような赤色の火砕流堆積物の存在や分布の調査(阿蘇の東部には、阿蘇4Bに区別される、赤色の岩石を含む層があるそうである。)
- 成分分析による、岩石中のFe₂O₃の検出方法の検討
- Fe₂O₃やFeO(OH)の水や温度条件による生成の仕方の変化