

マグマの究極の発泡—レティキュライト—

日本大学文理学部地球システム科学科准教授 安井 真也

1. 火山砕屑物の分類

レティキュライトの話の前に、火山砕屑物の分類についてふれたい。火山学の教科書による火山砕屑物(火砕物)の分類法には、粒径によるもの(2mm未満:火山灰, 2mm~64mm:火山レキ, 64mm以上:火山岩塊)のほかに、外形の特徴によるものがある。多孔質な火砕物で色調が白っぽいものを軽石、黒っぽいものをスコリアという。特定の外形を示す火山弾には、紡錘状火山弾やパン皮状火山弾がある。その他で特徴的なものとしては、金髪の女性の毛髪のように細長い「ペレーの毛」や液滴状の「ペレーの涙」といったものもある。これらはハワイの火山の女神ペレーにちなんでいる。ハワイ島のキラウエア火山では、ペレーの毛や涙のほかに、多孔質で非常に軽いスポンジ状の「レティキュライト」と呼ばれるものも見られる。

2. キラウエア火山の火砕物

キラウエア火山は、世界で最も活動的な火山として有名であるが、1983年以来30年以上噴火が継続し、連日のように溶岩が流れ続けている。溶岩が溢流する穏やかな噴火が長く継続しているが、活動初期の3年間(1983~1986年)には爆発的な噴火を繰り返した¹⁾。この期間には、平均して2週間に一度、10時間ほど継続する溶岩噴泉が起り、噴水のように吹き上げる溶岩噴泉は高さが500m近くに及ぶこともあった。赤熱の火柱から火口付近に降下したマグマのしぶきがPuu Oo火砕丘を成長させるとともに、しばしば風下にスコリアがもたらされた。1969年のマウナウル噴火、1959年のキラウエア・イキ噴火でも高い溶岩噴泉が起り、風下にスコリアが堆積した。粘性の低い溶岩が流れる印象の強いハワイの火山であるが、このように火砕物をもたらす噴火もあるのである。このような溶岩噴泉の活動では、ペレーの毛やペレーの涙の他に、レティキュライトも生産され、風によって遠方まで到達する¹⁾。ハワイではほとんど絶え間なく貿易風が吹いており、Puu Oo火砕丘の風下にあたる山麓では、1983~

1986年の溶岩噴泉に由来するとみられるペレーの毛やレティキュライトが見つかる。図1は1970年代のマウナウル噴火の溶岩原の上で、大学生がペレーの毛やレティキュライトを観察している様子である。溶岩のくぼみを注意して見てみると、ペレーの毛やレティキュライトが見つかる(図2, 図3)。なおペレーの毛は、川のように流れる溶岩の表面で、風で綿菓子のように溶岩が引き伸ばされてできる場合も観察されている。



図1 キラウエア火山の溶岩上でのレティキュライトの観察風景(日本大学文理学部の海外実地研究)



図2 溶岩のくぼみにたまったペレーの毛

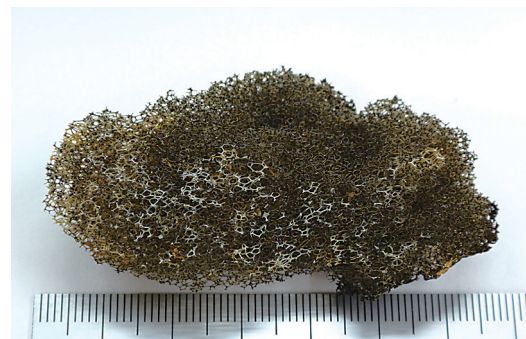


図3 レティキュライト

3. レティキュライト

レティキュライトはとても軽く、手で簡単に握りつぶせてしまうほど脆い。これを拡大して見てみると、黄金色のガラスが3次元的なフレームワークを作っているのが確認できる(図4)。フレームの形状に着目すると、六角形や五角形が多いが、四角形に近いものも見られる。稀に気泡壁が残っている場合や、薄いガラスの膜がフレームを縁取るように認められる場合もある(図4の矢印)。

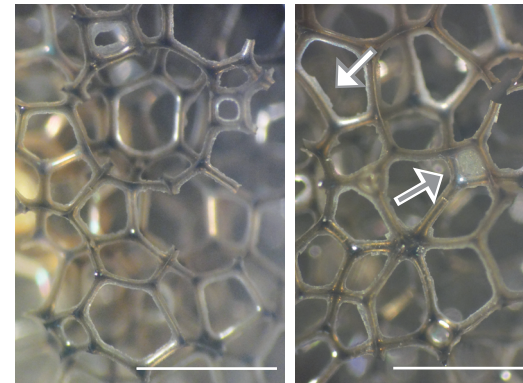


図4 レティキュライトのガラスのフレームワーク構造(実体顕微鏡写真) スケール:左3.4mm, 右1.4mm 矢印の部分には、薄い気泡壁が残っている。

レティキュライトは、マグマが著しく発泡し、気泡どうしが接触して最密充填構造をとった後、気泡壁が破裂して、稜にあたる部分がフレームを作ったもので、閉じた空間は残されていないとされる²⁾。理想的には、気泡が最密充填することで、個々の気泡が12面体~14面体に変形するという。破裂する前の気泡の立体的な構造を想像しながら顕微鏡で観察すると、実際にはフレームの形もさまざまであるため、いびつな形状の多面体の気泡がひしめきあうような分布が想像できる。一方、パホイホイ溶岩を観察すると、球形や、若干変形した気泡が散在する状態が見られる。気泡の間の壁が厚い点が、レティキュライトとは対照的である(図5)。レティキュライトは、気泡間の壁が破裂してほとんど残っていないフレーム状のマグマが急冷してできた脆い火山ガラスなのである。

レティキュライトは最も軽い火山岩であるといわれる。その密度はいかほどなのだろうか。密度の計算に必要な体積を求める段階の前準備として、軽石のような多孔質試料の場合、通常は立方体や直方体に整形するか、パラフィンなどでコーティングす

るが、レティキュライトの場合は脆弱すぎて困難である。測定方法は示されていないが、キラウエア火山の1983~1986年のレティキュライトの試料について、密度が0.05g/cm³という文献値がある²⁾。玄武岩の真密度を2.8g/cm³とした場合、体積が56倍膨らんだことを意味しており、空隙率は98%ということになる。レティキュライトは「究極の発泡」の痕跡であるといえよう。

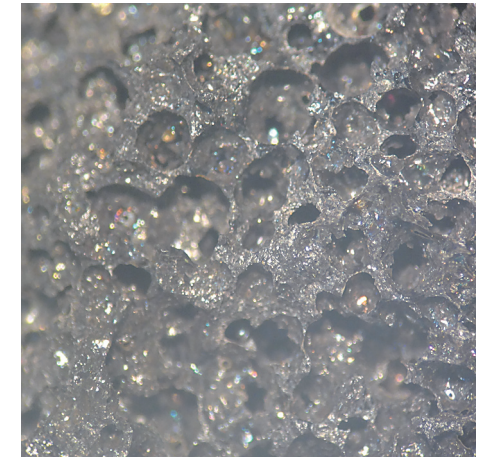


図5 パホイホイ溶岩に見られる球形の気泡(キラウエア火山) 画像の横幅:1cm

4. 水に浮くか沈むか?

レティキュライトの極端に低い密度からは、水に浮くことが予想される。しかし、実験してみると、レティキュライトはしばらくすると完全に沈んでしまう(図6)。これは粒子内部の空隙が完全につながっていて、水が空隙に侵入するためである。水に沈むのは、レティキュライトの特徴の一つである。

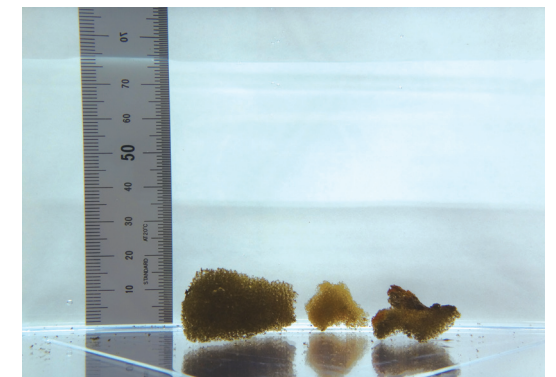


図6 水槽の底に沈んだレティキュライト

一方、図7は水に浮く流紋岩質の軽石の例である(密度 0.4g/cm^3 , 鹿児島県・始良カルデラの火砕流堆積物)。薄片にして顕微鏡で見るとガラスの中に閉じ込められた気泡が認められる。

キラウエア火山のレティキュライトを生産する噴火では、玄武岩質マグマの粘性が低く、気泡壁が破れやすいためにガスが抜けやすく、激しい爆発が起きにくいとみられる。これに対して、図7の軽石をもたらし流紋岩質マグマは高粘性で、ガスが抜けにくく、爆発的な噴火をした、ととらえられる。



図7 水に浮く軽石(鹿児島県・始良カルデラ)



図8 浅間火山1783年噴火の軽石(画像左半分の明色の粒子)と富士火山1707年噴火のスコリア(右半分の暗色粒子)



図9 水槽の底に沈んだスコリアと軽石。富士火山1707年噴火のスコリアは、着水後すみやかに沈んだ。浅間火山1783年噴火の軽石は、泡を出しながら水を吸って次第に沈んだ。写真中で浮いている粒子もやがて完全に沈んだ。

他の例として、玄武岩質火山の爆発的噴火である富士火山1707年噴火のスコリアは、密度が 1.2g/cm^3 前後³⁾で水に浮かない(図8, 図9)。これは細かい気泡に富むことから、マグマの上昇速度が大きく、ガスが抜けにくかったようである。安山岩質火山の爆発的噴火である浅間火山1783年噴火の軽石は、密度約 0.75g/cm^3 (240個の平均)⁴⁾だが、吸水して沈む(図9)。連結した気泡が多く、気泡壁が破れやすかったらしい。このように解釈は容易ではないが、多孔質粒子の浮き沈みは、噴火の激しさに関係しているといえよう。

また興味深い例として、1924年の西表島近海の西表海底火山の噴火では、大量の流紋岩質軽石(0.39g/cm^3)が噴出し、一時的に日本列島の沿岸が漂着軽石で囲まれたという⁵⁾。このときは軽石の漂流状況から、黒潮をはじめとする日本近海の流れの様子が明らかにされている。このような漂流軽石は、軽石どうしの摩擦や生物の付着によって、やがては見えなくなるという⁵⁾。

なお身近な物に、レティキュライトとよく似た構造(図10)を持つスポンジ(密度 0.03g/cm^3)があるが、これも水に浮かない。いろいろな材質、構造のスポンジを水に浮かべてみるのも面白い。

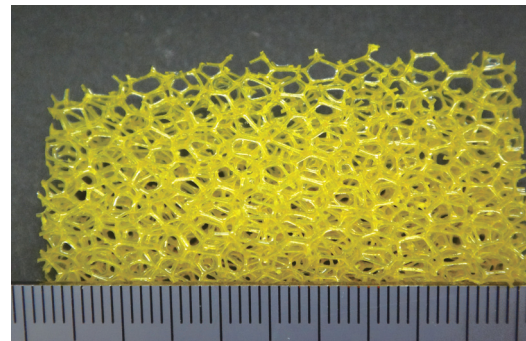


図10 レティキュライトと似た構造のスポンジ。水につけると完全に沈む。

5. 地学教育における密度の測定実習

軽石のような多孔質の物質は、気孔を体積に含めたときの密度(見かけ密度)と真の密度を比較するのが重要になってくる。図11のように整形すれば、体積を容易に計算できるので、見かけ密度が簡単に求まる。例えば、図11の流紋岩質軽石の見かけ密度は 0.4g/cm^3 で、文献による流紋岩の真密度は 2.37g/cm^3 前後である。この場合、マグマの発泡に

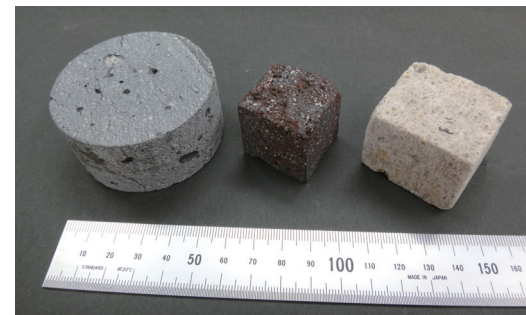


図11 岩石カッターで整形した火山岩の試料の例
左:富士火山の溶岩のボーリングコア試料(玄武岩)気泡少量, 2.7g/cm^3 , 中央:浅間火山の溶岩(安山岩)空隙有, 2.0g/cm^3 , 右:始良カルデラの軽石(流紋岩) 0.4g/cm^3

より体積が約6倍膨張し、空隙率が84%にもなったことを示している。

また、筆者が実践している実習の一つとして、身の回りの物質の密度と岩石や鉱物の密度を比較して、地球内部物質や惑星の密度を考える実習も密度の理解の上で効果的である。例えば教材として市販されている物質(鉄, アルミ, ゴム, 木, ポリエチレンなど)の数センチ角の立方体や直方体は、キッチンスケールと定規を用いて、簡単に密度を求められる。図12のような立方体の黄鉄鉱や八面体の螢石なども同様に密度を求められる。地球の平均密度, 地球の中心核, マントル, 地殻, 斜長石, カンラン石, 惑星, 彗星などの密度の値を文献で調べて、自分で求めた物体の密度と比較すると、さまざまな発見や驚きがある。上記の物質のなかで、密度が地球の核に最も近いのは鉄であるが、主に鉄とニッケルからなる高圧の核は鉄よりずっと密度が高い。主にカンラン石からなる上部マントルは螢石と密度が似る。地殻はアルミとほぼ同じ密度である。黄鉄鉱の密度は地球の平均密度に近い。これらの物質や鉱物を手のひらにのせて、地球全体, 核, マントル, 地殻の密度を実感するのもよい。大きめのカンラン石を用意して、アルキメデス法で体積測定を試みるのもよいだろう。また、土星やハレー彗星と木, 人体とポリエチレン(レジ袋の材料でもある)といった組み合わせの密度比べをすると、さらに興味が広がるかもしれない。図13には軽石とともに水に浮かぶ、木とポリエチレンの様子が見える。

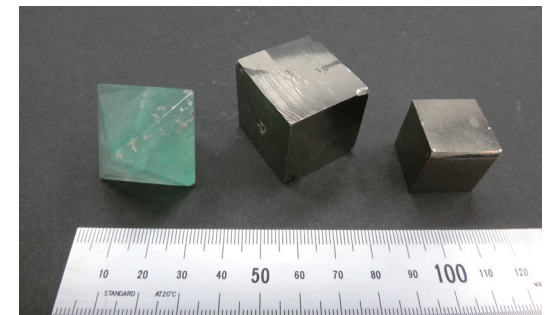


図12 密度測定が容易な鉱物の例
左:螢石(八面体), 中央および右:黄鉄鉱(立方体)

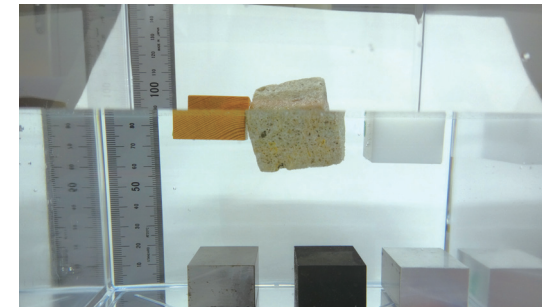


図13 水槽の中の軽石とさまざまな物質
水に浮く試料(左:ツガの木, 中央:軽石(図11と同じ試料), 右:ポリエチレン), 水槽底の試料(左:鉄, 中央:ゴム, 右:アルミ)

参考文献

- 1) Tilling, R. et. al. (2010), Eruptions of Hawaiian Volcanoes, General Information Product 117, USGS, 63p.
- 2) Vergnolle, S. and Mangan, M. (2000), Hawaiian and Strombolian eruptions, Encyclopedia of Volcanoes, Academic Press, 447-461.
- 3) 宮地直道・他(2011), 富士火山1707年噴火の推移とその噴出物の物理化学的特性の経時変化, 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, 46, 219-240.
- 4) 加藤史恵・安井真也・高橋正樹(2010), 浅間火山1783年噴火と1108年噴火の本質物質の見かけ密度と噴火機構, 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, 45, 255-263.
- 5) 加藤祐三(2009), 軽石—海底火山からのメッセージ, 八坂書房 264p.