

マグマから火成岩まで

(1) マグマと溶岩の違い

地下深部の岩石が融けたものがマグマです。マグマは噴火などで地表に出ると、いろいろな成分（溶岩・火山ガス（CO₂やH₂O, SO₂など）・火山弾・火山灰など）に分かれます。そのうちの液体成分が溶岩です。大雑把に言うと地下にある時はマグマ，地表に出たら溶岩（マグマの一部）です。

(2) なぜ多くの種類の火成岩があるのか

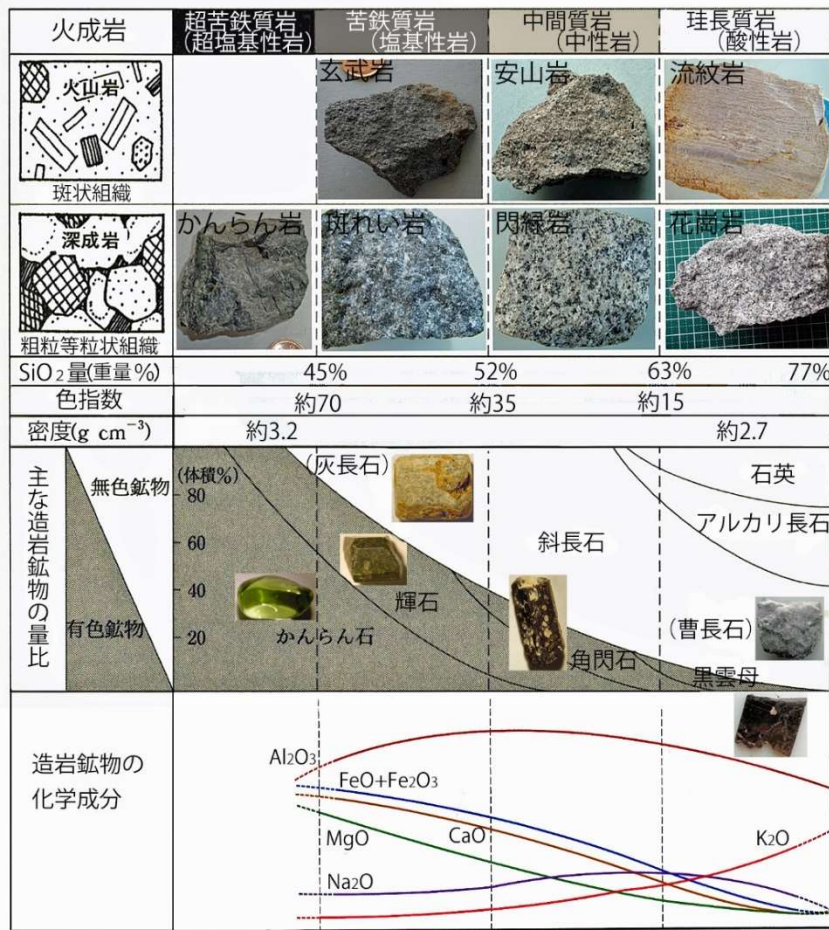


図1 火成岩の分類表（諸資料から作成）

図1の表は、火成岩の性質をうまくまとめたもので、中学校理科や高校地学の教科書をはじめ、大学のテキストにも必ず載っているものです（ただし、アルカリ元素を多く含む岩石には当てはまりません）。また、近年は流紋岩と安山岩の間にデイサイト、花崗岩と閃緑岩の間に花崗閃緑岩を入れることも増えています。もともとこの表はSiO₂成分の量（重量%）によって分けられたため、表の最上段の名称が酸性岩とか塩基性岩とかが主流でしたが、構成鉱物の特徴によって珪長質岩（石英や長石が多い）、苦鉄質岩（MgやFe成分が多い）などと呼ぶことが増えています。

この表の横軸は、化学成分量（SiO₂成分量）ですが、縦軸は組織の違いです。よく言われるのは

地表（またはその近く）で固まったものは急冷したため、細粒な鉱物が多く含まれていることです。地下深部で固まったものは鉱物が成長する余裕があったため、比較的大きな鉱物が集まっています。しかし近年は、地表で形成された花崗岩が見つかったことから、「地下深部で」より「地下でゆっくり」という点が強調されることが多いようです。

図1では岩石の境界に線を引いてありますが、あくまでSiO₂成分の量で分けただけで、自然界のことですのでその境界はあいまいな部分が多く残されています。載せた写真の岩石は私が持っているものから適当なものを使いましたので“典型的”なものとは限りません。写真が小さいですが、容量の大きなものを使っていますので拡大してみてくださいも画質はさほど悪くならないと思います。

色指数は有色鉱物の量で決めたもので、黒っぽい、白っぽいという判断でいいと思います。**密度**は、いわば岩石の重さともいえるもので、大雑把には3g/cm³前後ですので、石ころは、水の3倍くらい重くと思えばいいと思います。黒っぽい岩石ほど重くともいえるでしょう。図1の岩石名を下にたどって囲まれる鉱物が、その岩石に含まれる鉱物で、その面積が含まれる量を示しています。図2は安山岩（斑れい岩）の例で、斜長石が最も多く、輝石、角閃石のほか

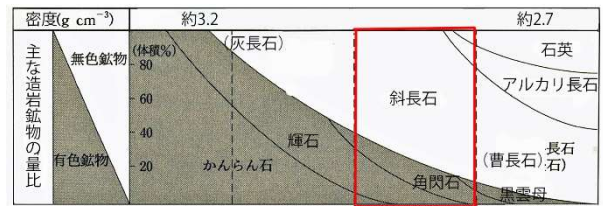


図2 安山岩（斑れい岩）に含まれる鉱物

石英、アルカリ長石（カリ長石：以前は正長石の名を使っていました）、黒雲母、かんらん石も含むことがあります。図1の造岩鉱物の**化学成分**は多くを占めるSiO₂は除いたものです。主に斜長石に含まれるAlが最も多いことがわかります。表の左側ほど有色鉱物が増えますが、その原因として、Fe, Mg, Caが多いことがわかります。右側ほど無色鉱物が増えますが、化学成分としてはKやNaが増える特徴があります。これらの化学成分は風化を受けて土壌になると、地下水とともに流れ去ったり、その土地に残留したりして、植物などに大きな影響を与えます。

(2) なぜいろいろな鉱物ができるのか

岩石は、いろいろな鉱物の集合体です。そのほとんどは図1に示された7種で、すべてSi（珪素）とO（酸素）が結合したものが基本的な構造（SiO₄四面体：図3）です。会報 no.1, no.2, no.11でも紹介しましたが、その構造について少し詳しく紹介します。

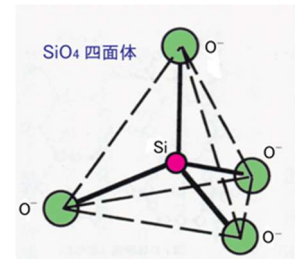


図3 SiO₄四面体

SiO₄四面体が結合して目に見える鉱物になります。四面体の酸素はマイナスのイオンになっており、金属イオンなどの陽イオンを接着剤のように使って結合します。この時に使う陽イオンは同じような大きさ・性質を持っていればいろいろなものが利用できます。そのためほとんどの鉱物の化学組成は複雑なものになっています（固溶体といえます）。接着剤として、どのような陽イオンを、どの程度使うかによって、長石類～かんらん石という名前がつけられます（図4～図8）。この結合の強弱によって、鉱物の硬さや、風化作用（特に化学的風化作用）に対する強弱が決まります。強い方から、石英・長石類・雲母類・角閃石類・輝石類・かんらん石の順で、この順は、マグマから結晶として出てくる順の逆になります。晶出順序の早いものほど、周囲にあったマグマの中の陽イオンを多く使って結晶をつくります。この結合はイオ

ン結合で共有結合に比べ弱いものです。したがって風化に対して弱くなります。長石類や石英になると陽イオンが不足し、四面体の酸素を共有してつながる共有結合が多くなり、石英は共有結合ばかりからできており、強い結合になります。つまり風化に対して丈夫になります。したがって、岩石が風化を受け、砂やシルトになるにつれしだいに石英の割合が増える傾向があります。

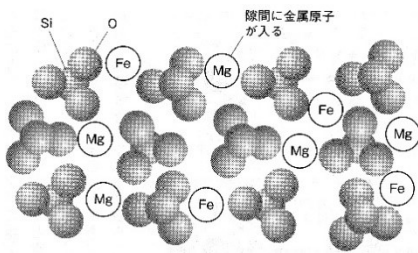


図4 かんらん石: SiO_4 四面体は独立していて隣の四面体と1個も酸素を共有しない。 Mg^{2+} や Fe^{2+} を挟む。

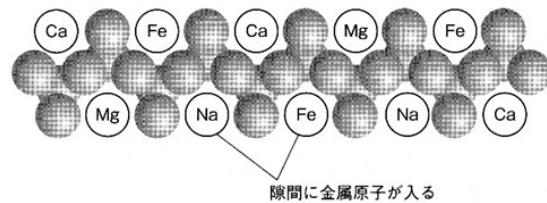


図5 輝石: SiO_4 四面体が一重の鎖状につながる。Siは隣の四面体のSiと2個の酸素を共有する。Siの一部はAlで置換されることがある。

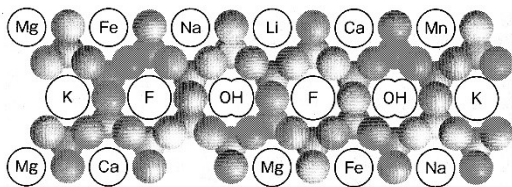


図6 角閃石: SiO_4 四面体が二重鎖構造でつながる。Siは2個の酸素を共有する列と、3個の酸素を共有する列がある。OHを挟む。

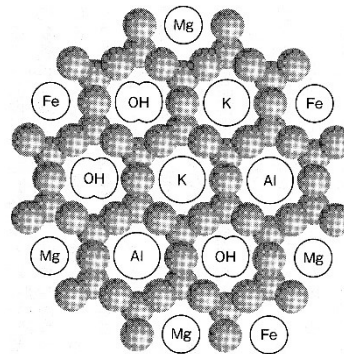


図7 黒雲母: SiO_4 四面体は層状構造をつくり、各々のSiは隣の四面体のSiと3個の酸素を共有する。Siの一部はAlで置換されることも多い。

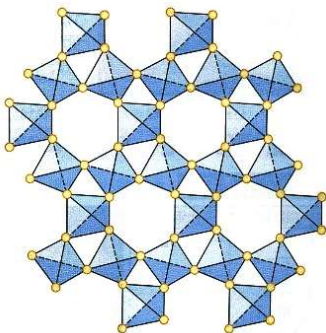


図8 長石や石英: SiO_4 四面体の酸素はすべて共有される。三次元的につながり網目構造をつくる。長石はSiがAlで置換されることが多い。

※図4～図7は藤岡(2017), 図8は浜島書店編集部, 2024を引用

角閃石と黒雲母を見ると四面体の間にOHが入っています。これは、水を含むといえるもので含水鉱物といいます。プレートの移動中に海水との接触によってもつぐられ、海溝から地球内部にもぐり込んでいくと、ある深さでこれらの水が絞り出され、マントルをつくる岩石を融けやすくします。これがマグマの形成に大きくかかわっています。

(3) なぜいろいろなマグマ(岩石)ができるのか—マグマの結晶分化作用

マグマの温度が下がるにつれて鉱物が違う温度で結晶化していき、これを結晶分化作用といいます。まず、玄武岩質マグマ(本源マグマ)が冷えていき、その中から融点が高い鉱物が結晶(固体)し、斑れい岩や玄武岩ができます。斑れい岩の成分(かんらん石や輝石など)が除かれますので、まだ液体のマグマは化学組成が変化して安山岩質マグマと呼ばれるものになります。このマグマが固化すると閃緑岩や安山岩になります。残されたマグマの成分を流紋岩質マグマと呼び花崗岩や流紋岩に

なります(図9ではデイサイト質マグマも表示されています)。

結晶となって密度が大きくなった(重くなった)鉱物は重力によって沈み込んでいくと考えられています。その好例としてグリーンランドのスケアガード岩体のような層状貫入岩体が挙げられます。この考えのもとにはボーエン(1928)という人が提唱した反応原理と呼ばれるものです。密度の大きな苦鉄質鉱物が沈み、低密度の珩長質鉱物が浮きます。また、深成岩になる前に噴火すれば、噴出物が次第に珩長質に変化するわけです。スケアガードは行ったことはありませんが、ニューヨークに近いところにあるパリセイドの粗粒玄武岩体もボーエンの説を立証したといわれています。ずいぶん前ですが、海外巡検で案内していただきました(図10)。図11はサンプリングした粗粒相と細粒相です。なお、いろいろな火成岩がある理由は、結晶分化作用だけでは説明できず、マグマの混合(会報 no.14 参照)、同化作用(周囲にある岩石を溶かし込む)などの考えがあります。

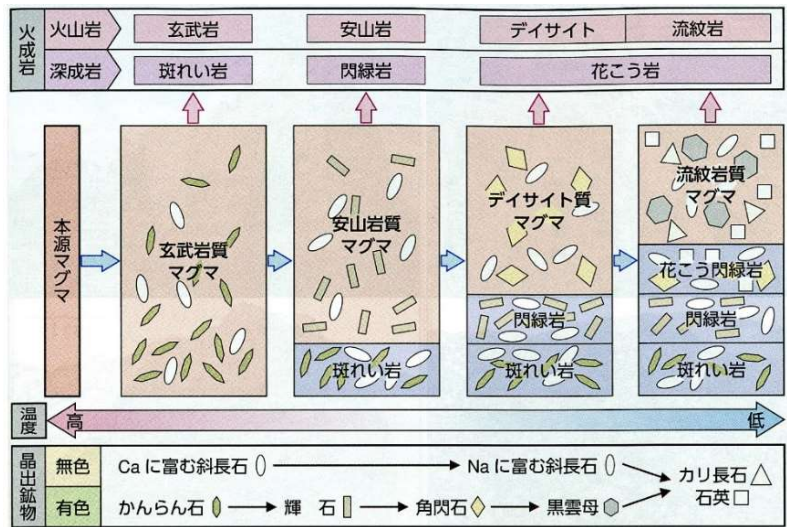


図9 結晶分化作用 (浜島書店編集部, 2024)

また、深成岩になる前に噴火すれば、噴出物が次第に珩長質に変化するわけです。スケアガードは行ったことはありませんが、ニューヨークに近いところにあるパリセイドの粗粒玄武岩体もボーエンの説を立証したといわれています。ずいぶん前ですが、海外巡検で案内していただきました(図10)。図11はサンプリングした粗粒相と細粒相です。なお、いろいろな火成岩がある理由は、結晶分化作用だけでは説明できず、マグマの混合(会報 no.14 参照)、同化作用(周囲にある岩石を溶かし込む)などの考えがあります。



左 図10 パリセイド岩体



右: 図11 パリセイドで見られる粗粒相と細粒相

主な参考引用文献

在田一則・竹下徹・見延庄士郎・渡部重十(編著), 2015, 第2版地球惑星科学入門. 北海道大学出版会, 447p.

藤岡換太郎, 2017, 三つの石で地球がわかる. 講談社, 222p.

浜島書店編集部, 2024, 二訂版ニューステージ地学図表. 浜島書店, 233p.

鷹村 権(編著), 1983, 日曜の地学海外編 ハワイ+北アメリカ自然の旅. 築地書館, 114p.