

理科教科書における火成岩分類法の問題点

日本大学文理学部地球システム科学科 高橋正樹

1. はじめに

火成岩とは、マグマが冷却固化して形成された岩石である。初等中等教育の中では、火成岩の分類についての教育はかなり重視されており、必ずといってよいほど触れられている。特に火成岩の色指数あるいはみかけの色調による識別は、かなり重要な位置を占めているといえよう。しかし、色指数による分類は、実際の学術的な火成岩の分類体系のなかでは、必ずしも重要視されているわけではない。また、火成岩の組成的多様性の説明には、これも必ずといってよいほど、ボーエン流の反応原理に基づく結晶分化作用が説明に用いられている。しかし、この考え方も、現代火成岩岩石学の中では普遍的な現象であるという認識は得られていない。ここでは、こうしたわが国の初等中等教育の中における火成岩の分類の取り扱い方が抱える問題点について考えてみたい。

2. 斑れい岩は優黒質か一色指数の問題

色指数とは火成岩に含まれる有色鉱物の量比のことである。有色鉱物とは鉄やマグネシウムを含むかんらん石、輝石、角閃石、黒雲母などの苦鉄質鉱物のことである。鉄が含まれていると可視光線が吸収されて黒っぽく見えるのでこの名称がある。

図1をみてみよう。これは火成岩(深成岩)であるが、両者とも同じくらいに白っぽく見える。左側は花崗岩である。それでは右側の岩石も花崗岩なのだろうか。実は右側の岩石は、斜長石に富む斑れい岩である。図2も火成岩(深成岩)である。両者とも同じくらいの有色鉱物量に見えるが、左側は閃緑岩であり、右側は斑れい岩である。このように、色指数のみかけで深成岩を区分することは実際にはきわめて困難である。そのため、一般に深成岩の分類には色指数は用いられない。そもそも、深成岩はマグマ溜り内でマグマがゆっくりと冷却固化することで生成されるが、ゆっくりと冷却するマグマ溜り内では、結晶化した壁や天井の一部が崩壊して重力流として流下したり崩落したりして、マグマ溜りの底に結晶

だけが濃集することが多い。こうして形成された深成岩のことをキュームレート(沈積岩)という。深成岩は結晶が集積して出来ることが多く、その場合深成岩の化学組成はマグマの化学組成とは一致しない。粘性の低いサラサラした玄武岩質マグマでは、結晶が液から分離しやすいので、玄武岩質マグマから結晶化した斑れい岩は、多くの場合キュームレイト的である。

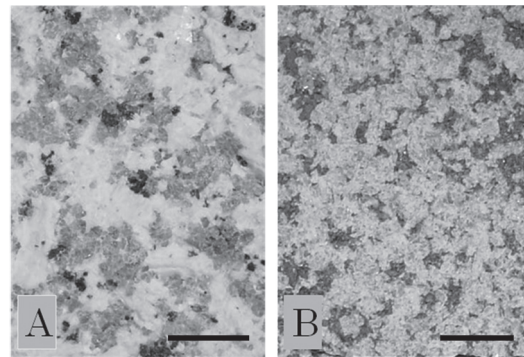


図1 火成岩(深成岩)の研磨片写真。横線は1 cm。A:黒雲母花崗岩(苗木); B:かんらん石含有輝石斑れい岩(富士火山捕獲岩)

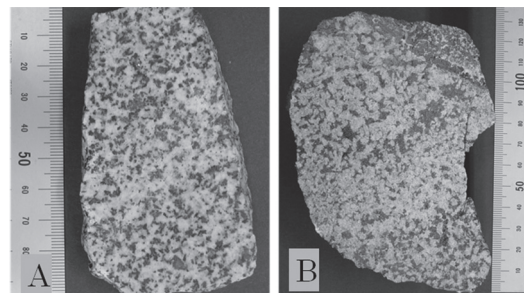


図2 火成岩(深成岩)の研磨片写真。物差し目盛の単位はmm。A:角閃石閃緑岩(丹沢岩体); B:かんらん石含有輝石斑れい岩(富士火山捕獲岩)

それでは火山岩の場合はどうだろうか。これまでの教科書では、玄武岩は優黒色、安山岩は中間色の灰色、デイサイトや流紋岩は優白色であるとされてきた。図3は火山岩の研磨片の写真であるが、どちらが玄武岩かわかるだろうか。左側Aの灰色の火山岩が玄武岩であり、右側Bの優黒色の火山岩が安山岩である。このように灰色の玄武岩や優黒色の

安山岩はごく普通にみられる。黒曜石は流紋岩質であるが黒色をしていることが多い。

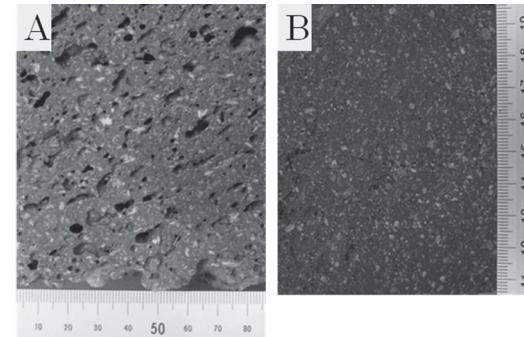


図3 火成岩(火山岩)の研磨片。物差し目の数字はcm。A:玄武岩(富士火山青木ヶ原溶岩); B:安山岩(桜島火山大正溶岩)。Aには延びた気泡が多数含まれる。

火山岩は斑晶と石基から構成されており、斜長石斑晶に富んでいると、斜長石は白色なので、全体として白っぽく見える。日本列島のようなプレート沈み込み帯の玄武岩には斜長石斑晶に富んでいるものが多いので、あまり黒っぽくはみえない。石基はどうだろうか。確かに玄武岩の方が石基鉱物としては輝石などの有色鉱物に富む。しかし、火山ガラスが多かったりすると、安山岩やデイサイトでも黒っぽくみえることが普通である。黒曜石の例はすでに示したが、カンカン石として知られるガラス質の斑晶に乏しい安山岩であるサヌカイトも、かなり黒っぽい色調の岩石である。石基の色調は結晶の粒度によっても変化する。粒度が粗いと白っぽく見え、細かいと黒っぽくみえる。

以上のように、火成岩の色調は教材として教えやすいので教科書ではよく使われるが、火成岩を分類する基準としては、実は必ずしも適当ではないのである。野外で実際に火成岩をみた生徒は、色調に頼った判定をすることで、多くの場合、誤った結論に至ることが考えられる。火成岩の分類の教授法には、もっと工夫が必要であろう。

3. 深成岩の分類体系:無色鉱物の量比による分類

斜長石などの無色鉱物をほとんど含まない超苦鉄質岩を除くと、大部分の深成岩の分類は無色鉱物の量比(体積比)によって行われる。無色鉱物とは、鉄やマグネシウムを含まず、珪素、アルミニウム、アルカリを含む、斜長石、アルカリ長石、石英、準長

石などの鉱物のことであり、これらは珪長質鉱物とよばれる。

国際地質科学連合の推奨する深成岩の分類を図4に示す(Le Maitre, 2002)。図4は準長石を含まない深成岩の分類を示した三角図で、頂点に石英、左右に斜長石とアルカリ長石をとってある。アルカリ長石に富むのが花崗岩であり、乏しくなると花崗閃緑岩、最も乏しいものがトナル岩とよばれる。石英とアルカリ長石の両方に乏しいのが閃緑岩と斑れい岩であるが、両者の区分は構成する斜長石のカルシウム量によって行われる。

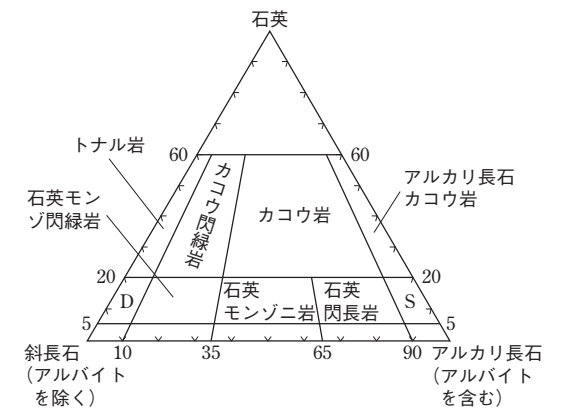


図4 国際地質科学連合(IUGS)の推奨する深成岩類(花崗岩類)の分類。D:石英閃緑岩・石英斑れい岩・石英斜長岩; S:アルカリ長石石英閃緑岩

国際地質科学連合の推奨する深成岩の分類体系によれば、各深成岩の色指数は、アルカリ長石花崗岩が0~20、花崗岩が5~20、花崗閃緑岩が5~25、トナル岩が10~40、石英モンゾ閃緑岩が15~40、石英閃緑岩が20~45、石英斑れい岩が25~55、閃緑岩が25~50、斑れい岩が35~65、石英斜長岩や斜長岩が0~10である。これをみても、色指数による深成岩の分類がきわめて困難であることがわかる。

4. 火山岩の分類体系:全岩化学組成による分類

火山岩は斑晶と細粒の石基から構成されており、石基にはしばしばガラスが含まれているので、色指数のような鉱物モード組成によって火山岩を分類することは難しい。そこで現在では全岩化学組成によって分類することが一般的である。久野 久は、かつて石基鉱物の色指数によって火山岩を分類する

方法を提案した(久野, 1954)。しかし, 石基が完晶質ではなく, きわめて細粒であったり, ガラスが多かったりする場合には, この方法は適用できないと明確に述べている。久野の分類によれば, 石基の色指数が 60 ~ 35 が玄武岩, 35 ~ 10 が安山岩, 10 以下がデイサイト(石英安山岩)と流紋岩である。

現在用いられている全岩 SiO₂ 量による火山岩の分類法にはいくつかのものがあるが, 国際地質科学連合の推奨する分類体系によれば, アルカリ量の少ない場合には, 45 ~ 52wt. % が玄武岩, 52 ~ 57wt. % が玄武岩質安山岩, 57 ~ 63wt. % が安山岩, 63 ~ (70 ~ 77)wt. % がデイサイト, 70 ~ 77wt. % 以上が流紋岩ということになる。わが国でよく用いられている分類体系は都城・久城(1975)によるもので, 国際地質科学連合のものと同様に, 縦軸にアルカリ量(Na₂O + K₂O), 横軸に SiO₂ 量をとっており, SiO₂ が 45 ~ 53wt. % が玄武岩, 53 ~ 62wt. % が安山岩, 62 ~ 70wt. % がデイサイト, 70wt. % 以上が流紋岩となっている(図 5)。

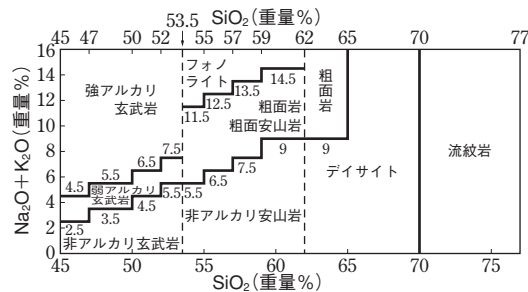


図 5 全岩化学組成による火山岩の分類(都城・久城, 1975)。

5. ボーエンの反応原理: 教えやすいが必ずしも正しくない考え方

1920 年代にアメリカ合衆国のボーエンは, カーネギー地球物理学研究所において, 多数の珪酸塩鉱物の融解実験を行い, それに基づいて「反応原理」の考えを提唱した。多くの珪酸塩鉱物は固溶体を構成しており, 鉱物と液(メルト)は, 温度低下とともに相互に反応しながらその組成を変化させる。このことを「反応原理」とよび, その変化の仕方を「反応系列」とよんだ。反応系列には「連続反応系列」と「不連続反応系列」の 2 種類がある。

斜長石は, 温度低下とともに, その組成をカルシウムに富むものからナトリウムに富むものへと液と反応しながら連続的に変化させるが, こうした鉱物

は連続反応系列とよばれる。かんらん石は液と反応して輝石に, 輝石は液と反応して角閃石に, 角閃石は液と反応して黒雲母になるが, これらの鉱物は不連続反応系列とよばれる。温度低下とともに液が晶出する鉱物と様々な程度に反応しながらその組成を変化させていくプロセスを「分別晶出作用」という。また, 分別晶出作用や結晶の分離などによって, マグマの組成が変化していく現象のことを「結晶分化作用」とよぶ。

ボーエンは単一の本源玄武岩マグマの結晶分化作用によって, 様々なマグマが形成されると考えた。玄武岩マグマは温度低下とともに結晶分化作用によって液の SiO₂ 量が増加し, 安山岩質, デイサイト質, 流紋岩質マグマへと変化する。それとともに, 晶出する苦鉄質鉱物はかんらん石, 輝石, 角閃石, 黒雲母へと変化していく。また, 珪長質鉱物は, 斜長石の組成がカルシウムに富むものからナトリウムに富むものへと変化していき, 最後にはアルカリ長石や石英が晶出する。以上がボーエンの考えたシナリオである。

こうしたボーエンのシナリオに沿って, しかもそれを単純化して描かれたものが図 6 のような図である。この類の図は, 最初に欧米の入門的な地質学教科書に掲載されたものであるが, わが国にも輸入されて, しかも今日に至るまで, ほとんど変更されることなく繰り返し使用されている。

この図は以下のような誤りを含んでいる。(1) 玄武岩は斑れい岩に, 安山岩は閃緑岩に, デイサイト・流紋岩は花崗岩に, それぞれ対応するように書かれているが, 実際はそれほど単純にはいかず, 必ずしも対応はしていない。例えば, ある種の斑れい岩は玄武岩ではなく安山岩と対応している。また, そもそも粗粒等粒状の深成岩と斑晶と細粒の石基からなる火山と同じ構成鉱物図で表現することはできない。(2) 苦鉄質鉱物として, 玄武岩と斑れい岩はかんらん石と輝石を, 安山岩と閃緑岩は角閃石と輝石を, デイサイト・流紋岩は角閃石と黒雲母を含むように書かれているが, 特に日本列島の第四紀火山岩においては, 必ずしも玄武岩はかんらん石を含まないし, 安山岩は角閃石を含まない。また, デイサイト・流紋岩が必ず角閃石と黒雲母を含むわけではない。むしろ, 輝石玄武岩, 輝石安山岩, 輝石デイサイト・流紋岩などはごく普通にみられる。特に安山岩のほ

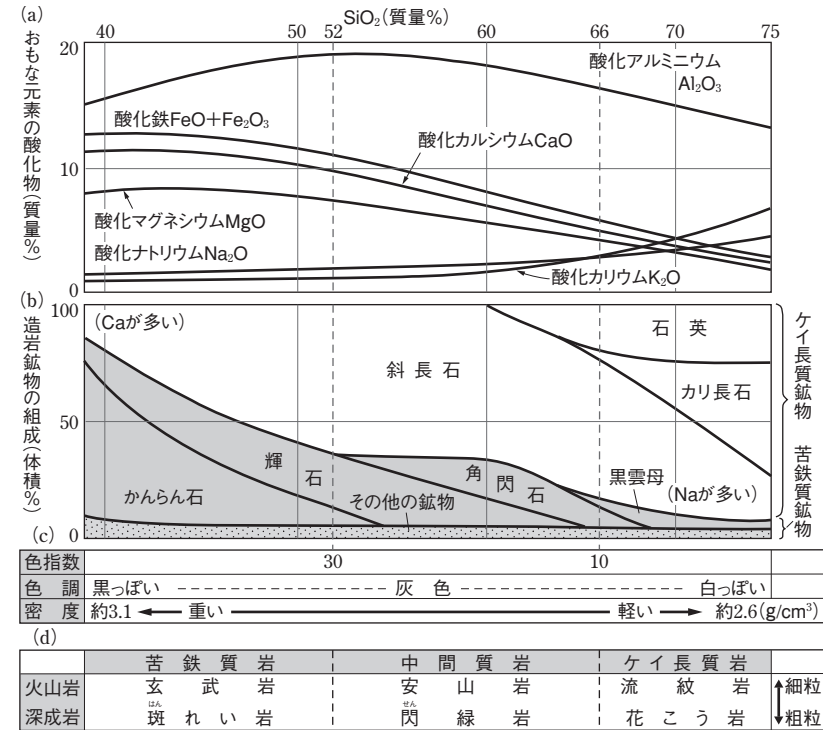


図 6 結晶分化作用によるマグマの化学組成変化と出現する鉱物の種類の変化および火山岩と深成岩の対応を模式的に示した図(地学 I の教科書より)

とんどもは輝石安山岩であり, 角閃石を含むものは少数派である。また, ボーエンの不連続反応系列の苦鉄質鉱物をすべて含むような層状深成岩体(マグマ溜りの固化した岩体)は滅多にみられず, スケアガード層状斑れい岩体のように, マグマが結晶分化しても最後まで角閃石や黒雲母の晶出しないタイプの方が一般的である。

ボーエン以降, 最近の実験的研究や岩石学的研究などの進展で判明してきた事実には以下のようなものがある。(1) マントルかんらん岩の部分融解によって生成される苦鉄質マグマの化学組成は, 温度・圧力・含まれる水の量・含まれる二酸化炭素量などの違いに支配されて, きわめて多様であり, 「単一の本源玄武岩質マグマ」などというものは, もはや空想の産物にすぎない。(2) 玄武岩マグマからの苦鉄質鉱物の晶出順序は, 圧力や温度, 含水量によって大きく変化する。常にかんらん石が輝石よりも先に晶出するとは限らず, 輝石が先に晶出することもありえる。また, 角閃石が晶出するためには, 温度が低いことと水が十分に存在することが必要である。(3) 大部分の珪長質マグマは, 玄武岩質マグマの結

晶分化作用によってではなく, 玄武岩を含む地殻物質の融解によって生ずる。(4) 多くの安山岩質マグマは, 玄武岩質マグマの結晶分化作用ではなく, 玄武岩質マグマと珪長質マグマのマグマ混合によって形成される。

以上のように, 現在では, ボーエンの提唱したシナリオのほとんどは書き換えられてしまっている。図 6 のような図は, こうした現代岩石学の成果をほとんど汲み取っていないことになる。初等中等教育における火成岩の分類や成因についての教授内容の主要な根幹をなしている, (1) 色調(色指数)による火成岩の分類, および(2) もはや科学史上のものにすぎないボーエン流の古典的なシナリオに依拠した玄武岩質マグマからの反応原理に基づく結晶分化作用による多様な火成岩の生成説, はできるだけ速やかに修正することが望ましい。こうした教授内容は, 教えやすいかもしれないが, 一種の伝説ともいえる現実離れた観念的なものでしかないからだ。今後, 火成岩に関わる教授内容を現代的知識に基づいてどのように変えていくのか, 志ある現場の教員諸氏の努力と実践に期待したい。

引用文献

- 久野 久(1954): 火山および火山岩. 岩波書店 255p
 Le Maitre (2002): Igneous Rocks, A Classification and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. 2nd Edition. Cambridge University Press. 236p
 都城秋穂・久城育夫(1975): 岩石学 II 共立出版 171p