

岩石の自然分類の可能性について

小 出 良 幸

要 旨

本質的属性に基づく自然分類が岩石の理想的な分類である。岩石の分類にかかわる課題を整理し、岩石に自然分類が適用できるかを検討した。岩石の分類は、火成岩、変成岩、堆積岩の3つ成因がもっとも本質的である。変成岩と堆積岩では、自然分類に基づいた岩石名の適用は可能になっているが、火成岩では人為分類の導入が不可欠となっている。火成岩の人為分類の定義の整理と、体系的な導入が重要な課題となる。

キーワード：自然分類，人為分類，岩石，成因，属性

I はじめに

自然界の事物は多様である。多様な事物を記載し区分するために、いろいろな分類体系が導入されている。分類は、自然分類と人為分類の2つの方法に大別される。自然分類とは、対象が持っている本質的属性に基づいて区分していくもので、人為分類とは、研究者や分類者が目的に応じて基準を定義し区分していくものである（小出, 2011）。

元素を例にすると、自然分類は周期律表の構築を目指すものである。元素ごとの原子番号（陽子の数）の増加につれて、化学的性質に周期性があることを解明し、その周期性にもとづいて、未発見の元素探しや化学的性質の厳密化、周期性の原因追求などがなされていく。元素の本質的属性に基いた周期律表が完成すれば、原子という階層での体系化が完成することになる。

自然分類による体系化がされると、分類のための記載的研究は終わり、さらに深い階層、原子の内部構造や構成物（素粒子）の多様性や特性、より広く分子や物質内での振る舞い、自然界での分布などの探求へと、階層を越えた多層的な記載へと研究は進んでいく。ところが、多くの科学では、網羅的発見と体系化が同時に進行することになる。

自然界のすべての事物に対して、自然分類の体系が導入できているわけではない（小出, 2011）。生物の分類体系では、Linne（1735）が方法論を呈し、Dawin（1859）がその体系の根拠たるべき「進化論」を提示した。しかし、実際の種の定義や種の認定などの運用においては、完

全な自然分類に達しておらず、未だに新たな分類体系が提示されたり、進化論の改訂も継続中である。

地質学の分野においては、鉱物に自然分類が導入されている。無機的な元素の結合によって結晶はできているので、網羅的に記述できれば、自然分類の体系は完成するはずである。ところが、運用上あるいは体系化、階層化において、人為分類が導入されているため、自然分類にはなりきれないことが、小出(2011)によって指摘されている。

自然の個物は、自然分類に至ることを目指して、研究され、記載されているのだが、その道はまだまだ険しいものである。研究対象に適用している分類体系を掘り下げていくことは、対象をより深く理解し、今後の方向性を知るために重要なプロセスである。地質学の重要な研究対象である岩石においては、どのような分類体系が使われ、どのような課題がどこに潜んでいるかを厳密に検討した研究はない。本稿では岩石の分類における課題と、自然分類の可能性を検討していく。

Ⅱ 岩石分類の現状と課題

地質学で扱う対象は、岩石(未固結の物質のこともある)を素材としている。岩石は自然界に産するものなので、研究は野外調査からスタートする。野外調査で岩石の産状を記載していくのだが、岩石の同定という作業が不可欠になる。室内実験において、詳細な記載がはじまり、さらなる区分がなされる。その際、それぞれの作業過程において、岩石名が付けられていく。時には、作業用に付けられた後、捨てられる名称もある。岩石名はすべて何らかの必要性によって用いられたものであり、最終的に必要不可欠で最適なものだけが残っているはずである。その最適な岩石名が自然分類に基づいたものになっていけばいいのだが、そうではなさそうである。岩石分類の現状におけるいくつかの問題を示して、分類のための検討材料としていく。

なお本稿では、岩石の事例や概念について、必ずしも多様性を網羅的に扱っているわけではなく、代表的なものを祖上にして議論する。いくつも例外があることは認識しているが、大筋の文脈はおさえたものとなっている。

1 人為分類と自然分類の混在：二律背反

マグマの特性をとらえ、分類する場合を考える。

マグマにはいくつかの種類があり、マグマ溜まりで成分が大きく変化した結果、火成岩(igneous rock)も多様になる。火成岩を色でみても、白っぽい流紋岩やデイサイト、灰色の安山岩、黒っぽい玄武岩と呼ばれるものまである。これは細粒の火山岩の名称であるが、粗粒の深成岩の色においても同様の多様性(花崗岩、閃緑岩、斑レイ岩)がある。マグマの性質の違いを反映した色で、火成岩を区分することは、マグマに関する知見を深めたことになるはずである。

付随的・後生的属性による人為分類

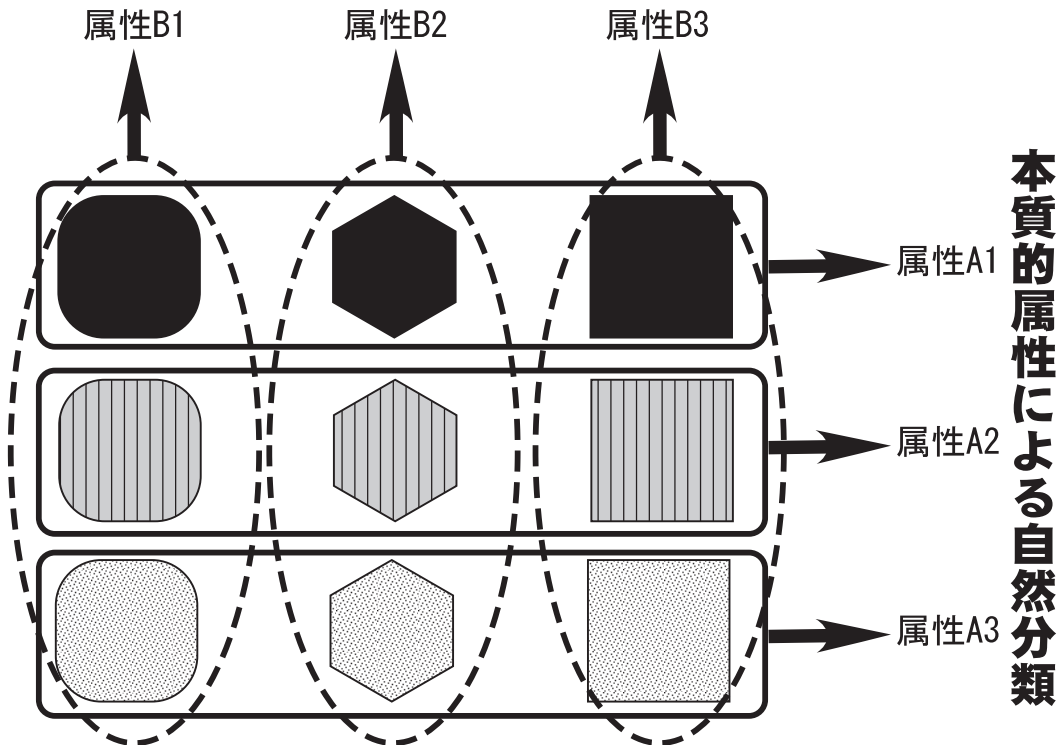


図1 二律背反の分類体系

岩石は分類において、いくつかの属性に基いて分類がなされる。本質的属性に基づく自然分類が理想なのだが、野外では必要に応じて多数の人為分類が系統性なく導入される。最終的に整理されればいいのだが、現実には整理されずに両者が混在したまま残されているので、名称が複雑化し、混乱させられることになる。

区分を、幾重にも深めることは可能である。

同じ種類の火山岩でも、地域や時代の違いは、地質学における地域性、時間変化を解明することができる。したがって、岩石に時代ごとに別の名称を用いることにも意義がある。

一連の火山活動で同じ性質の玄武岩であっても、噴出の時期が違えば、記載レベルでは別の活動と認識され、別の名称がつけられる。さらに、同じ溶岩流であっても、ある鉱物を持つ部分と持たない部分があったとする。その鉱物の有無は、際立った特性であるため、記載し分類することが可能となる。もしその鉱物がマグマの混合によるものであれば、マグマの成因を示す重要な情報となる。一方、その鉱物が上昇中に周囲の岩石から混入したことわかれば、特徴的な鉱物は記載事項として重要であっても、マグマの本質を理解するのには不要な情報となる。

以上述べてきたように、多様な岩石を区別するため、あるいは詳細な研究をするためには、より詳細な岩石記載が必要となる。そのために、岩石は何らかの属性（本質的属性とは限らない）

に基づいて分類されていく。記載による分類とは、岩石の属性を、研究者の目的に基づいて区分していくことでもある(図1)。研究者の目的が完結するまで、分類は深く多岐にわたる属性に基づいたものが導入されていくだろう。その時、分類基準たる属性は、そのメタ的属性(本質的、付带的、後生的など)を配慮されることなく、混在されて利用されている。

岩石の記載や分類などからはじまる研究のプロセスは、普遍的規則性、原則などの岩石の本質(自然分類も含まれる)を求めておこなわれているはずだが、詳しく研究を進めることによって、人為分類が増え、本質的属性があったとしても埋もれていく。多数の人為分類が混入することは、本質を見過させる危険性をはらんでいて、本質的属性から自然分類を探ることから遠ざける。そこには、二律背反(ambivalent)の混乱が起こっている。

2 野外名：厳密さと実用のジレンマ

野外調査の時、岩石を識別し記載をするために、既知の岩石名をつける。ただし見たことのない岩石、判別できない岩石に対しては、独自に野外名(field name)をつけることが多い。野外名は、分類体系などととらわれることなく、岩石の何らかの特徴に応じて、必要性から付けられることになる。野外名は、単に特徴を捉えた名称(キナコ:始良Tn火山灰層)や、色(緑色岩:実は変質した玄武岩)によるものなどがある。時にはひとつの地域の調査において、いくつもの野外名が使われることもある。野外名は自由に選べ、即応性があるため、利便性があり、今でも野外調査では利用されている。野外名は、調査の遂行や記載において必要に応じて用いられたもので、本質的属性に依拠しないため人為分類となる。

野外名は、個人のレベルの使用であれば問題はないが、利便性と普及から野外名を「共通語」として使っていくと、定着することがある。「キナコ」や「緑色岩」などの名称は、もともと野外名であったのが定着し、現在でも論文に使用されている。公式名称ではないが、学術的には通用するものとなっている。例えば、第四紀の火山灰(日本第四紀学会第四紀露頭集編集委員会, 1996)では多数の野外名が使用されている。

地質学発祥の頃から、研究者ごとに野外名が用いられてきた。同じ種類の岩石であっても、時代や地域が違えば異なった名称が用いられることもあった(緑色岩でも古いものをスピライト、輝緑岩などと呼んだ)。そのため、異なった地域での岩石の対比ができない、別時代での岩石との比較ができない、同一の岩石に複数の定義や名称があるという混乱もでてきた。研究の進展、成果の蓄積によって、岩石名は、統一性、普遍性がないものが多数使用されてきた。あまりに多数の岩石名が流布してきたため、岩石名を集めた本も出版されることになった(Johannsen, 1931, 1932, 1937, 1938)。

混乱を解消するために、国際地質科学連合(International Union of Geological Sciences, 略称:IUGS)は、記載岩石学的な分類体系を、深成岩に対して提唱し、その後火成岩に拡大した(IUGS, 1973; Streckeisen, 1967)。IUGSの方法は、火成岩を構成している鉱物の量比(モード組成と呼ぶ)

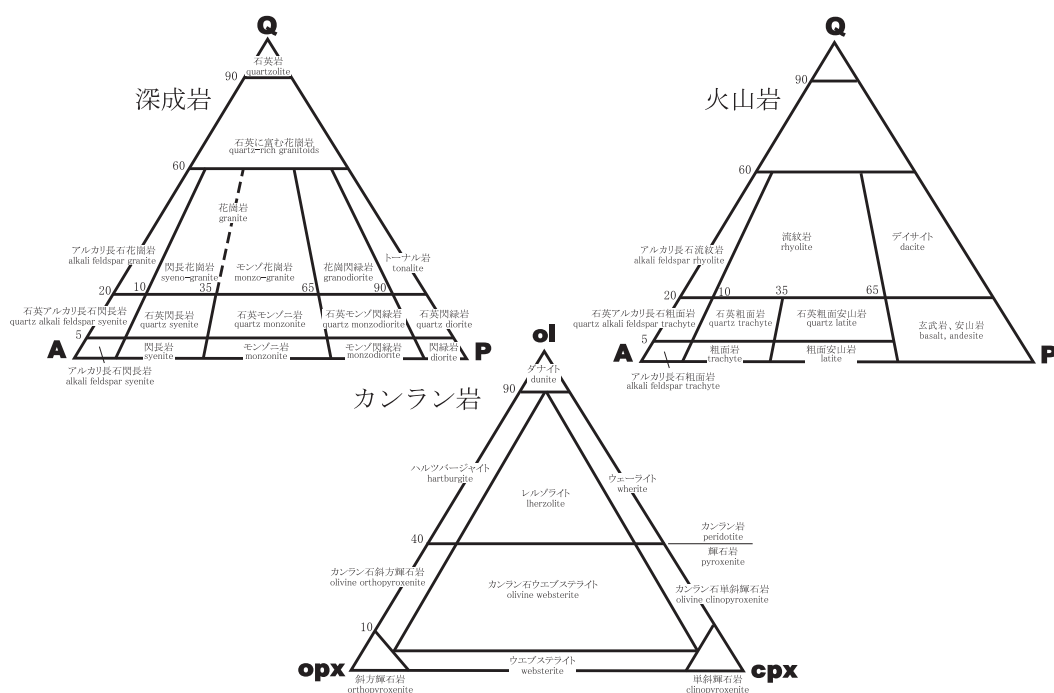


図2 IUGSの分類

国際地質科学連合（International Union of Geological Sciences, 略称：IUGS）が導入したモード組成に基づく火成岩の分類体系の代表的な図を示した。深成岩と火山岩は、石英（Q）、アルカリ長石（A）、斜長石（P）の3成分で、カンラン岩はカンラン石（ol）、斜方輝石（opx）、単斜輝石（cpx）の3成分で区分されたもの示した（Streckeisen, 1967）。

を計測して分類をおこなうものである（図2）。

火成岩を構成している主要な鉱物（造岩鉱物）でもある石英（Q）、アルカリ長石（A）、斜長石（P）の3成分で、石英がないときは準長石（F）をもとに分類される。ただし有色鉱物が90%以上の場合は、特異な火成岩なので、カンラン石（ol）、斜方輝石（opx）、単斜輝石（cpx）の3成分、あるいはカンラン石（ol）、輝石（px）+角閃石（hor）、斜長石（pl）、もしくはカンラン石（ol）、角閃石（hor）、輝石（px）の3成分によって区分する。

モード組成は、岩石薄片を作成して、顕微鏡を用いて一定間隔で移動しながら二次元的な鉱物の広がり測定することによって決定される。統計的なモード組成の計測法も確立されている（黒田・諏訪, 1983）。岩石の主要鉱物のモード組成を調べれば、適用すべき図により、一義的に名称を決定できることになる。岩石名に客観的定義が与えられたことになる。

野外でも、目分量でモード組成を推定できれば、おおまかな分類として仮の岩石名をつけることは可能である。最終的には実験室で薄片を用いて決定することが前提であれば、その区分は大雑把でも定義に基づいた厳密なものに準拠しているものとなる。

粗粒の火成岩（主には深成岩）では、鉱物が肉眼でも判別できるので野外でも目分量は適用しやすい。細粒の火成岩（火山岩）では、顕微鏡による観察をしなければ名称を決めることができないので、野外での適用には不便である。しかし、火山岩でも、熟練すれば経験に基づいて名称が適用され、名称が大きく変わることはない。

どのような岩石であっても、モード組成による区分を前提に、野外では仮の名称を与え、モード測定によって厳密に分類名を決めるという手法が統一されていればいいのだが、近年はなかなかおこなわれない。モード組成は名称決定以外の目的がないと、作業が負担となるため、目分量による野外名がそのまま記載名として使われている場合が多い。

IUGSの分類は、名称を統一することには貢献したが、その定義の厳密さは必ずしも普及していない。その結果、厳密に定義を適用した岩石名と野外で目分量を使ったまま検証されていない仮の岩石名が混在している状態となっている。厳密な比較をしたい場合、他の研究の岩石名が仮名称として混在すると、厳密さが保証されないということが生じる。

実用という現実と厳密さという理想は、現状では乖離しており、そこにはジレンマが生まれる。さらに、構成物の組み合わせとその量比を元にした分類は、術語統一や普遍性をもってはいるが、人為的に境界を設けたもので人為分類となる。その境界や定義に、地質学的必然性があるかどうか疑問となる。

3 消えた区分、消えない区分

火成岩は、火山岩（volcanic rock）と深成岩（plutonic rock）に大別される。

深成岩は、マグマが地下深部でゆっくりと冷えていくため、マグマに含まれている成分（揮発性成分は除く）が、すべて結晶化していくことになる。このような岩石を完晶質といい、すべての深成岩が持つ特徴となる。

一方、火山岩は地表や海底など急冷される場にマグマが噴出するため、完全に結晶化する時間もなく固化してしまうことが多い。ただし、火山岩の結晶化率はさまざまで、全く結晶化せずに固まったもの（非晶質あるいはガラス質とよばれる）から、完全に結晶化してはいるが、急速に冷え固まった組織を持っているものまである。

火成岩を野外で観察すれば、火山岩と深成岩の違いは組織から容易に見分けられ、区分することが可能である。火山岩と深成岩の分類は、マグマの冷却条件に基づいた形成場という本質的属性で、自然分類に位置づけられるであろう。火山岩と深成岩の区分は、一般化されたもので、多くはこの区分が適用できる。しかし、実際の火山岩と深成岩の境界は不明瞭な場合もある。

マグマ溜まりでマグマの温度が下がると、結晶化がはじまる。マグマ溜まりでは、ゆっくりとした結晶成長の条件が維持され結晶（斑晶）を含んだマグマの状態になる。マグマ溜まりから、マグマが地表に噴出すると、大きな結晶（斑晶）をもった非晶質あるいは微小な結晶による急冷組織を持った火山岩の特徴が生まれる。多くの火山岩には斑晶が見られることから、マグマはこ

のような固化様式をもっていると考えられる。

噴出するマグマの一部が、マグマ溜まりと地表の間に貫入し、噴出することなく比較的ゆっくりと冷えると、大きな斑晶と小さな結晶からできた完晶質の火山岩と深成岩の中間的な岩石ができる。かつて、このような岩石を、「半深成岩 (hypabyssal rock)」と呼んだ。「半深成岩」は、組織が両者の中間的であるということからつけられたもので、成因に基づくものではなかった。成因に基づくのであれば、深成岩か火山岩のどちらかにすべきである。現在では使われなくなっているが、「半深成岩」の特徴はなくなったわけではなく、考え方（分類体系）の変化によって使われなくなってきたものである。

現在では、「半深成岩」の成因が解明されている。貫入岩では、急冷された周縁部は火山岩の組織をもち、比較的ゆっくりと冷えた内部では粗粒の深成岩的な組織となる条件で形成されたものである。岩石は断熱性のよい（熱伝導が小さい）物質なので、浅所でもマグマがゆっくりと冷える条件（貫入）が達成されれば比較的簡単にできることになる。岩脈や岩床などとして浅所の貫入岩で組織ができることが確認されている。大きな貫入岩では、マグマがゆっくり冷えるため深成岩のように粗粒で完全に結晶したものとなる。岩石の組織で区分するより、マグマの産状に基づく分類の方がマグマの成因を考える上でより本質的で、なおかつ実用的であるので、半深成岩は使われなくなった。

この事例は、明瞭な特徴や根拠があるため、区別された分類があったとしても、より本質的な属性が発見されると、その区分が無効になることがあるということを示している。研究が進めば、分類体系はより精緻になり深まるはずだが、本質的でないとして消えていく分類もある。ただし、これは稀な例で、成因が明らかになり、不要なはずの名称が残されることも（例えば、キナコや緑色岩など）ある。

4 結晶形成による区分：不明瞭な境界

成因による区分は本質的だが、その境界にも問題が起こりうる事例がある。

堆積岩の多くは、碎屑性の構成物からできているが、沈殿や蒸発で形成されたものも堆積岩に分類されている。蒸発岩や化学的沈殿岩（以下、沈殿岩と呼ぶ）と呼ばれる堆積岩である。

蒸発岩や沈殿岩は、液体から固体が晶出（沈殿、析出も似た意味になる）するのは、火成岩の形成時のマグマで起こるプロセスと同じである。マグマは岩石成分を多く含む溶液ととらえれば、蒸発岩や沈殿岩の形成も低温での火成作用ともみなせる。

両者の大きな違いは温度と水の関与の程度である。それらが区分における重要な属性になるかみていく。

マグマの温度は、1200℃から700℃まで広い範囲をもっている。また、結晶が混在しているマグマ（冷却で結晶化が起こっている状態）では、630℃ほどまで下がると考えられる（Tuttle and Bowen, 1958; Luth et al., 1964）。

1977年、アルヴィン号によって深海の熱水噴出孔のチムニーが発見された (Woods Hole Oceanographic Institution, 2013)。チムニーの本体は熱水中の溶存成分が急冷して沈殿したもので沈殿岩である。チムニーは、大西洋中央海嶺で最も高水温で407℃以上もあることが確認されている。さらに深海で水圧が上がれば沸点も上がり6000mでは480℃になると見積もられ、地下に存在する熱水脈ではもっと高温になっているものと推定される。

マグマと熱水との温度差は200℃程度 (もっと小さい可能性もある) で、マグマがとりうる温度範囲の広さと比べれば小さな差といえる。つまり、火成岩と沈殿岩の成因における本質的な違いが、温度差としていいのかという疑問である。火成岩と堆積岩という成因の境界を区別するには、両者が交わらない温度を境界として定義にしなければならない。重複するようであれば、別の観点での定義が必要になる。

次に火成作用と沈殿作用の違いを水の関与の程度とする。

マグマという液体から鉱物の結晶が形成されて、火成岩ができる。マグマが固まる時、マグマのすべてが岩石になるわけではなく、多くの揮発成分 (水分やガス) は固結後に抜けていく。固化直前には水の多い溶液 (マグマ) から結晶が晶出している状態となる。固化した火成岩にも、数wt%, 多いときには10数wt%の水 (結晶水や間隙に含まれている水分) を含んでいることがある (久城, 1998)。火成作用には、水の関与は少なからずある。

一方、沈殿岩や蒸発岩では、当初、大量の液体 (多くは水) が関与していたが、最終的に水分がなくなり結晶や沈殿物だけになった堆積岩である。物理現象としては、温度や圧力などの低下にともなって成分の溶解度が低くなり結晶化したものである。水の量が減り、結晶が増え、最終的には大部分の水分がなくなったものが、蒸発岩や沈殿岩になる。

区分するには、マグマの水分量を厳密に定義して、水溶液を除くようなものにしなければならない。水の量だけでは区分しにくい状況が起こるかもしれない。マグマから晶出した火成岩と溶液から沈殿でできた堆積岩との違いは、どこにあるのだろうか。

火成岩と堆積岩という基本的な境界も、詳細に検討すると不明瞭な場合があることがわかる。

5 破砕と堆積作用：繰り返される再定義

堆積作用においても、火成作用との境界が難しい場合も想定される。

火山活動で噴出した火山砕屑岩、海底の火山噴火における砕屑岩であるハイアロクラスタイト (hyaloclastite) は、火山岩類の重要な部分を占め、火山現象を解き明かすために貴重な産状となっている。火山砕屑物やハイアロクラスタイトは、マグマが起源で、マグマの噴出形態 (火山活動) の一種と位置づけられ、火山学でも研究対象となっている。だが、形成機構だけを考えると堆積作用ともみなせる。火成作用と堆積作用の2つの成因のどちらにも位置づけられる場合がある。

成因としては、火成岩と堆積岩のどちらもありえるが、定義を厳密にすれば、解決できる問題

でもある。例えば、「一連の火山作用やマグマによって形成されたものはすべて火山岩として分類する」とか、火山岩は「マグマがそのまま固まったものだけ」に限定し、「それ以外は堆積岩として扱う」と定義すれば、運用上注意すれば、不便さはあるかもしれないが、解決できる。

火山体は、活動中の火山では、噴火による物質供給が大きいため地形変動が激しい。火山体では、火山碎屑物が移動してたまる再堆積した火山碎屑岩（reworked pyroclastite, reworked hyaloclastite）が形成されることも多い。火山碎屑物は通常の堆積構造をもたないのが特徴である。一方、再堆積火山碎屑岩は、通常の堆積作用が働くため堆積構造をもっている。火山性の再堆積岩は、火山碎屑岩と混在している産状がよく見られる。火山性の再堆積岩は、火山碎屑岩よりは堆積作用を強く受けており、野外調査では再堆積岩は区別して記載される。

火山碎屑岩を火成岩の範疇に入れたとすると、再堆積火山碎屑岩の定義を再度しなければならない。再々堆積火山碎屑岩（再堆積火山碎屑岩の礫の混在など）が産状として識別できたとすると…、などと現実的ではないかもしれないが、論理的に定義の繰り返しが必要となる。

火山に由来する破碎物とその堆積物では、成因に基づいて考えると区分の難しいものとなる。再堆積層の再堆積も起こりうる。しかし、その現象が識別できなければ、概念に過ぎないが。

6 体系化に向けて

本項で述べたように、岩石分類の現状は、整理されたものではない。まして自然分類を意識した体系化がなされているわけでもない。研究過程で人為分類が導入されるのは仕方がないことであるが、最終的には一般則を用いて記載レベルの多様な人為分類を整理しておく必要がある。そもそも多様な区分、詳細な岩石名の導入は、地質学的一般則を抽象するためのものであったはずである。だがそのような整理作業がなされることは少ない。その結果が、属性不明の混乱した分類体系、実用性を重んじて体系化されてない岩石名称の慣用、境界の曖昧さなどが残されたままの定義など、多くの問題が生じるのだろう。

このような問題は、岩石に時代や地域の多様性が大きいこと、地質学の一般原則が必ずしも充分解明されていないこと、野外調査が先行するので実用性が不可欠である、などすぐに解決できないものに起因している。

自然分類は、分類の体系化が目指すべき目標でもある。自然分類が可能かどうか。そして自然分類が可能なら、どこまで適用できるのか。その先の人為分類の体系との整合性はあるのか。自然の個物を網羅することはできないが、研究し知見を広げるためには、分類・命名は不可欠な作業である。そのような検討が繰り返しおこなわれることが望まれる。

Ⅲ 岩石の属性

岩石分類においていろいろな課題がある。それを解消することは難しいであろうが、自然分類

を目指すことは重要な視点である。以下では、記載として用いられる岩石の属性を整理していく。

1 岩石とは

以下の議論では、岩石を中心に扱うので、岩石の定義をおこなう。

地学事典によれば、岩石とは「地球上層部を構成する物質。数種（まれに一種）の鉱物の集合体」（端山, 1996）とされている。今では、観測データや実物試料も集まり、地球以外の天体（月、火星、小惑星、隕石など）の固体部分の物質も、「岩石」として扱われている。

鉱物とは、「自然界に産出する均一な物質（多くは無機質）ではほぼ一定の化学組成をもつもの」（湊, 1998）で、人工的に合成された結晶は鉱物とは呼ばない。人工結晶が先に合成され、発見されていても、鉱物とはならない。自然物が発見されたとき、はじめて鉱物として記載される。鉱物の高温高压合成実験ですでに発見されている結晶が、自然界でみつかったのはじめて鉱物名が与えられるという事例も起こっている。また、生体内（人体も含む）の自然の一部とみなされ、その内部で形成された結晶（バクテリア内に形成される無機結晶や歯、骨など）も、鉱物とされている。

岩石は、一般に複数の鉱物が集合して形成されているが、まれに一種類の鉱物だけからできているものもある。岩石には、鉱物以外に、非晶質物質（ガラスと呼ばれる）が含まれていたり、岩石の破片を含むこともある。ガラスだけからできている岩石は、肉眼的には均質に見えるが原子レベルでは不均質で、結晶ではないので鉱物とは区分される。

岩石が鉱物などの集合物であるのに固まっているのは、鉱物自身の密着による固化や、セメント物質や細粒物質（matrix）、ガラスや隠微晶質などの基質（groundmass）などが、大きな結晶や岩片を膠結させているためである。

自然界に存在する固体物質は、すべて「岩石」となる。厳密にみていくと、岩石には鉱物以外にも、いろいろな物質が含まれていることになる。そのような例外的物質を含むことを考慮しながらも、「鉱物の混合物」が岩石の一般的な抽象（定義）となるであろう。

鉱物は均質な組成や物性を持つが、岩石は鉱物の集合物なので、一般に不均質になっている。不均質な混合物であることが岩石の特徴となる。不均質な混合物である岩石において、自然分類が成り立つかどうか、重要な課題となる。

2 岩石の属性

自然分類は、本質的属性に基いておこなうもの（小出, 2011）だが、そもそも属性とはどのようなものであろうか。

「属性」とは、アリストテレス哲学を起源とする古典的なスコラ哲学の用法では、実体とは存在を意味する言葉に由来し、実体の本質を属性と呼んだ（木田, 1998）。実体と属性は、一対となる概念であった。

属性とは実体の本質なので、「本質的属性」という表現は、哲学における用法的には同義反復

となる。本来の意味の属性は、英語ではattributeと表現され、単に特性をいう場合はpropertyが用いられているが、このような区別がされて用いられることは少なくなってきた。現在では、属性も特性と同義に使われていることが多い。

本稿でも属性を特性と似た意味で用いている。「本質的属性」とは、実体（岩石）がもっていて、自然分類にいたるかもしれない重要な特徴（本来の意味で「属性」）を意味している。よって属性には、分類を考える上で重要な本質的属性と、それ以外の本質的ではない属性がありうることになる。本質的でない属性には、岩石を記載する上では用いるが、分類においては重要性を持たない属性を、「付随的属性」と呼ぶ（木田, 1998）。また、岩石が形成時にはもっておらず、後になんらかの作用で付け加わったものを、本稿では「後生的属性」と呼ぶことにする。このような属性は、岩石の履歴を解明する上では重要だが自然分類においては必要のない属性となる。

岩石を研究する上で着目している属性にはどのようなものがあるのか。野外観察から室内作業や実験などの研究の過程で記載される属性はどのような内容なのか。それらの中に本質的属性はあるのかどうかを検討していく。

3 岩石記載における属性

野外調査において、ひとつの露頭が記載の単位となる。露頭の位置（産地）を確認し、岩石の産状を記録する。産状記載のために、岩石の種類を見分け、命名する必要がある。産状には、岩石名称では示し切れない特徴や見かけの様子、形成時の環境を示す情報、火成岩の構造などにも注目される。

露頭がひとつの種類の岩石からできている場合もあるが、他の岩石と一緒に産することも多い。複数の岩石がある場合、それぞれ岩石記載に加えて、岩石ごとの地質学的関係を調べていく。必要に応じて、代表的な岩石試料を採取していく。このような手順が、ひとつの露頭での作業となり、露頭ごとに繰り返されていく。

以上のような野外作業を目的の地域全域で行なった後、室内での作業となる。野外調査の情報の整理や試料を再検討して、地質図を作成していく。実験室では採取した試料から、岩石の薄片を作り顕微鏡で詳しく観察する。顕微鏡は岩石専用のものを用いて、岩石の組織を調べ、構成鉱物を判別する。必要に応じてモード組成を測定する。また、鉱物の微小部分の化学分析、火成岩全体（全岩）の化学成分（主要成分、微量成分、同位体組成など）を分析していく。それらの分析データから、火成岩や鉱物の特徴や年代を決めていく。

研究の目的によって記載内容は変化はするが、上述が一般的な地質調査や室内実験でなされ、えられる情報である。岩石記載の手順から、野外調査にて位置、岩石名、産状が、室内作業にて地質図が、室内実験にて岩石組織、化学組成、時代がえられる基本的な情報となる（表1）。これらの記載された情報から、研究の目的を達成し、新知見が得たり、新たな課題が見出されたりしていくことになる。

表 1 岩石の記載情報

記載事項	手法	表記法	属性
野外			
位置	地図、GPS	数値 (緯度経度)	後生的
岩石名	—	言語 (〇〇岩)	目的
産状			
構造	観察、計測	数値 (走行傾斜)	本質的・後生的
岩石間の関係：岩相境界	観察	言語 (断層、整合、不整合等)	後生的
形成位置	観察、推定	言語・数値 (古緯度)	付帶的
形成環境	観察、推定	言語 (海底、陸地、温帯等)	本質的
時代			
相対年代 (大型化石)	同定	言語 (〇〇時代)	本質的
室内			
地質図	手作業、PC	図	後生的
岩石組織			
構成鉱物	偏光顕微鏡観察	鉱物名	本質的
モード組成	偏光顕微鏡観察	数値	付帶的
組織 (模様、つくり)	偏光顕微鏡観察	言語 (組織名)	本質的
化学組成	化学分析	数値	本質的
時代			
相対年代 (微小化石)	顕微鏡・電子顕微鏡観察	言語 (〇〇時代)	本質的
絶対年代	化学分析 (同位体測定)	数値 (〇〇年前)	本質的
脳内			
成因	論理	言語	本質的

岩石の記載の主な事項を、野外調査、室内実験、脳内に区分し、それぞれの事項を得る手法、情報の表記法、属性を示した。

次に、これらの記載情報がどのような属性を持つのか、本質的属性になるものがあるかどうかを検討していく。

i 位置

野外調査における位置とは、地形図上の位置、もしくは地理的な緯度経度のことで、露頭や岩石の基本的な情報として不可欠なものである。以前は、地図上の位置や地名のみが記載されていたが、近年ではGPSの発達、普及によって、緯度経度による数値記録をして、デジタル地図上での表現も可能となっている (小出, 2004; 小出・新井田, 2007)。

多数の露頭からえられた情報を用いて、岩石の特徴や分布、変化を広域的に捉えたり、周辺地質との関連を知り、大地の歴史を復元していくこととなる。そのような作業の過程で、露頭位置のデータは、現状の3次元的な把握や、過去の地質の復元を行なうために、不可欠な情報となる。

露頭の位置情報は、地質学的復元のために重要な情報ではあるが、現状を把握するために必要なものであって、岩石が形成されたときの本質的属性でない。変化を受けた後に現在の位置にたどり着いたので後生的属性になる。

ii 岩石名

露頭の記載において、岩石の同定が岩石記載のはじまりとなる。岩石の種類を見分け、名称を決めることが優先される。名前をつけるためには、岩石をどう分類するかの体系が重要になる。分類体系が本質的属性に基づいたものであることが望ましい。本稿では本質的属性にもとづいた自然分類が適用できるかどうかを検討しているので、まだ自然分類は現在の岩石名には認知されていないという前提に立っている。

現在使われている岩石名称は、自然分類によるものが含まれているかもしれないが、まだ不明である。中には、IUGEの分類（Streckeisen, 1967）のように明らかに人為分類もある。本稿においては、岩石名が自然分類によって可能か、を探るのが目的となる。

iii 産状

産状とは、岩石が露頭にどのような様子で現れているかということである。岩石の種類を見分け、種類ごとの広がり方を調べ、それぞれの岩石の構造、形成された時にできた初生の構造などに注目して記載する。さらに、岩石ごとの地質学的関係である岩石境界を認定し、境界の種別を区別していく。他にも気づいた露頭や岩石の特徴を記載していく。このような作業が、露頭の産状記載となる。

産状における岩石の構造とは、地層面、片理面、葉理面、流理構造、断層面、褶曲軸、割れ目、線状の傷などである。3次元的に記載するために、特別な器具（クリノメーター）を用いて、各構造の走行と傾斜を測定する。岩石の構造は、岩石をできた状態に復元したり、その地域に働いた力（応力場）を知るのに重要な情報となる（小出, 2006）。

産状から、岩石がどのような場でできたかを推定することが、重要な目的となる。岩石が形成された時の初生の産状を見分けることが必要となる。形成された場と現在おかれている「場」とは、ほとんどの場合違っている。ここでいう「場」とは、地理的位置と地質学的環境の両方を意味する。現在見ている岩石は、形成「場」を保存しているとは限らない。地層も多くは湖底や海底で形成されるが、現在観察している露頭は陸地であるので、「場」は違っている。花崗岩などの深成岩は、地下深部でゆっくり冷え固まったもので、観察している地表とは明らかに違っている。

したがって、形成位置よりも形成環境（こちらを形成場ということが多い）が重要となる。

現在の位置は、地図や緯度経度などの精度の良い表記が可能であるが、過去の形成位置は、古地理的位置を復元することで、大体の緯度を復元することができることもある（古地磁気データによる）が、多くの場合、非常に困難である。形成環境は、定性的ではあるが、岩石の産状からある程度推定可能である。水中の環境でも淡水、汽水、海水か、海底でも海岸付近、大陸棚、深海か、寒流、暖流かなど、調べる手法がある。大雑把ではあるが、形成環境を推定することは可能となる（小出, 2011）。

露頭にいく種類もの岩石がある場合、それぞれの岩石の境界を見極め、区分していく。さらに、

岩石の境界がいつ形成されたのかの前後関係を読み取っていく (小出, 2006)。境界の形成時期から岩石が経てきた履歴を探ることが可能である。

岩石の初生の形成環境に由来する特徴は、本質的属性といえる。一方、他の岩石との関係など形成後に付け加えられた特徴は後生的属性となる。産状は、形成環境を探るために重要な情報となるが、古い岩石ほど初生の形成環境の情報は消えていることが多い。

iv 地質図

日本では岩石が完全に露出していることはなく、被覆層 (火山灰や土壌、植生) があるため分布は限定されている。限られた露頭情報から岩石の2次元的広がりを分布として推定していく。多数の露頭の記載情報を整理して、分布図を作成していく。本来であれば、被覆層も岩石の分布図として表現すべきだが、被覆層が研究テーマであったり、大きな地形を形成している被覆層や厚く広い分布の被覆層 (河川堆積物、第四紀層など) は表現されることがあっても、薄い火山灰や土壌、植生などは、表現されないことも多い (産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2012)。

露頭は広域でみれば地形図上における点の情報となる。点として、岩石種ごとの分布がわかる。例えば、いくつもの露頭に同じ岩石があるとする、その範囲には岩石の境界はないと想定される。露頭によっていくつかの違った岩石があれば、境界を想定しなければならない。ある露頭で異なる岩石の境界が見られたとしたら、延長して境界を推定することができる。境界が不明なら、各露頭の情報に矛盾なく見えていないところに、推定した境界を引くことになる。

堆積岩の場合は、露頭の位置から緯度、経度、標高が、地層構造から走行や傾斜の情報が加わり、岩石や境界面の3次元的広がりを推定することが可能になる。地質図学として厳密に推定可能で、今ではコンピュータで作図することも可能である。

岩石分布を3次元的に再構築したものを、地表面を基準にして2次元表現したものが地質図となる。別の2次元表現として、地下まで表現された地質断面図が付けられることもある。地質断面図とは、地下に広がる岩石分布を推定したものである。精密な調査や厳密な地質図学によって作成された地質図からは、地下への分布もかなりの精度で推定可能となる。

被覆層のない露岩地域では、地質図が事実即した実態図となる。一方、日本のように植生が多く露頭が少ない地域、断層などの擾乱の大きい変動地域では、地質図の精度は悪くなる。

表土や植生が多く、変動の激しいところでは、限られた露頭から推定すべき部分が多くなる。作成者の意図、思惑によって地質図が作成されていくことになる。地質図は、研究者の解釈図ともなり、人為的なものとなる。地下方向への延長された断面図は、検証不能なさらなる推定が加わることとなる。

地質図は、現状の岩石の分布図であり、形成時の分布や環境を示しているものではない。現在の岩石分布は、形成後受けたさまざまな地質学的擾乱の結果として成り立ったものである。今後

も変化は続いていく。地質図は時間軸では現在という点での現況図である。

地質図は、初生の形成環境のような本質的属性を含んではいるが、現況図としてみると後生的属性を強く反映したものといえる。

v 岩石組織

岩石組織とは、岩石内部のつくりや見かけのことである。「見かけ」とはあいまいな表現だが、鉱物の組み合わせや組み合わさり方のことで、岩石を鉱物という構成物からみた基本的な成り立ちといえる。

岩石組織は、深成岩のように粗粒であれば、野外でもある程度は識別可能である。細粒の火山岩では、野外ではルーペ（虫眼鏡）などを用いて観察することもあるが、鉱物の判定が困難な場合も多い。詳細な観察をするためには、岩石を薄く研磨して、光が通るようにして、岩石用の顕微鏡（偏光顕微鏡）にて調べていく。偏光顕微鏡を使うと、鉱物種の同定が可能になり、鉱物が織りなす組織も詳しく観察することができる。

組織の観察から鉱物ごとの結晶化の順序や、結晶化過程、冷却スピードなどを定性的に読み取ることが可能である。これらは、マグマから岩石にいたる過程に関する重要な属性となる。ところが、つくりや形態からの判別は、定性的である程度は客観性はあるが、人為的な判断も混入する。

岩石学では、組織を構成する鉱物の種類を識別し、それぞれの量を測定していく。鉱物の量を比率として表すモード（mode）組成が使われる。岩石の薄片からモード組成を得るが、岩石全体を表しているとみなされる。モード組成は、岩石組織の特徴の一つを定量化したもので、本質的属性といえる。実用性も高く、今でも必要に応じて使用されている。

岩石は鉱物の混合物であるので、モード組成は多様性があり、多数の岩石を対象にすると、連続的に変化していくことになる。ある鉱物に着目して考えた場合、その鉱物がある、なしで区分すれば、人為が入り込むことなく本質的である。あるいは、IUGSの区分のように鉱物の存在量で区分する場合、その値や境界をどこにするかは、人為的な境界となる。人為的境界の設定は、モード組成の区分に人為分類を用いることになる。構成鉱物は岩石を分類する上で本質的属性であるが、モード組成は基本的な属性ではあるが付帯的属性、区分の定義は人為的である。

岩石組織には本質的属性を持つものもあるが、記載において、人為的な判断、区分が混入している。

vi 化学組成

深成岩の花崗岩と斑レイ岩、火山岩のデイサイトと玄武岩は、明瞭な色の違いがあるが、それは化学組成を反映したものとみさせる。火成岩の多様性の一側面を化学組成でとらえることになる。火成岩の化学組成は、重要な属性で本質的なものといえる。

マグマが冷却していくと、マグマの化学組成と物理条件に対応した結晶が形成されてくる。温

度低下に伴い、結晶は成長し量を増やし、時には別の結晶へと変化していく。これは、結晶分化作用として説明されている。結晶とマグマの密度が違っていれば、結晶がマグマから遊離し集まり結晶分化の程度に応じた岩石が形成される。一方、マグマも、分化された結晶に呼応して、連続的に化学組成を変化させる。マグマから連続的に形成された岩石を採取し、その化学組成の変化をみていくと、マグマの化学的変化を追跡することが可能になる。岩石の化学組成は、マグマの多様性と結晶分化作用を追跡でき、重要で本質的な属性となる。

化学組成が本質的属性だとしても、連続的に変化する個物の境界は、人為的に引くことになる。花崗岩と斑レイ岩の境界、デイサイトと玄武岩の境界である。化学組成を用いた定量的境界が定義される。必要があれば、間に閃緑岩や安山岩などの細分化のための定義も客観的にできる。それらの境界は、人為分類となる。

vii 時代

時代とは、岩石が形成された年代のことである。年代を決める方法には、放射性核種を用いる方法（絶対年代と呼ばれる）と、化石によるもの（相対年代）がある。化石は、大型の特徴的なものであれば、野外でも時代決定ができるが、微小の化石や絶対年代は野外では知ることができない。

新しい火山岩に関しては、古文書などに火山活動の記述による年代決定が用いられることもあるが、古い火成岩では岩石に含まれている放射性核種を用いて絶対年代が測定される。岩石の古さに応じて、用いる放射性核種は違っている。目的の核種を一定量含んでいる必要があるので、試料も吟味が必要になる。さらに、核種に応じた特別な抽出技術や分析装置が必要になる。絶対年代は、どこでも簡単に得られる情報ではない。

絶対年代は、化学分析の一種なので定量的にえられる数値である。マグマが形成された時や、均質化された放射性核種が鉱物や岩石に固定された時、放射壊変がはじまり時計がスタートする。分析で得られる数値は、形成から現在にいたるまでの経過時間を示している。値は、現在を基点として「(今から) ○○年前」という表記がなされることになる。ただし、植物に関連する年代測定技術である炭素14 (^{14}C) による年代値は、1950年を基点としている。

化石を用いる年代は、時代名による相対的な年代となる。化石を含むのは地層なので堆積岩のみに用いられる手法で、火成岩には適用できない。化石による年代は、時代を限定できるが、年代の定量値を得られるものではない。地層の重なる順序は形成順序を示して、化石が多産する地層では、一つの時代であっても、非常に詳細な順序関係を記録することが可能になる。時代によっては、絶対年代より詳細に区分することが可能となる。絶対年代と相対年代は、適用する試料の違いと、出てくる年代の違いから、地球の歴史を編むために相補的な役割を果たしている。

年代を得る手法はいろいろがあるが、いずれも岩石の形成の時代を示す本質的な属性となる。しかし、数値の境界としての地質時代区分は、人為的なものとなる。

Ⅳ 岩石の分類体系

岩石名は、岩石を分類した結果にもとづき、つけられるべきものであるが、野外調査においては、実用上必要なものとして用いられる。野外においては野外名として一時的に名称をつけて使うことも可能であるが、前述のように一時的名称が流布し常用化していくことも起こりうる。岩石名の分類基準は、できれば自然分類の体系、さもないと客観性のある人為分類体系になっていることが望ましい。

岩石には、生物のように体系化されてしかるべき属性が内在しているわけではないので、なんらかの本質的属性、あるいはそれを手がかりに何らかの客観性をもった基準に依拠することが望ましい。

岩石記載の手順にもとづいて、抽出された属性がどのようなものかをみてきた（表 1）。次に、これらの属性が、岩石の分類にどう関係するのかを検討していく。

1 記載における属性

位置、岩石間の関係、地質図は後生的属性で、形成位置は付帯的属性になり、本項の検討からは除外される。構造、形成環境、岩石組織（構成鉱物、モード組成、組織）、化学組成、そして時代が、岩石記載における本質的属性となる。

構造は、形成時にできたものが重要な属性となる。岩石形成時の構造は、計測された走行や傾斜が地質図作成や地質の復元に重要ではあるが、岩石の分類に結びつくものではない。形成環境を示すような構造は、試料サイズの岩石組織としても記録されているので参照できる。形成後の構造は、変遷や履歴を知るためには重要であるが、岩石名に反映されることは少ない。

時代は、地質学的情報の本質をなす重要な属性であるが、時代を重んじたあまり、時代が異なれば同じ岩石に別の名称をつけてきたことが、混乱を生じてきたという経緯がある。時代は本質的属性ではあるが、岩石の分類を決める上では適用すべきでないものとなる。

以上のことから検討すべき本質的属性は、形成環境、岩石組織（構成鉱物、モード組成、組織）、そして化学組成となる。ただし、これらの記載事項や表記が、岩石名に直接付くことは少ないが、岩石名の決定に重要な役割を果たしている。その役割についてみていく。

2 本質的属性から成因へ

形成環境とは、その岩石がどのような環境で形成されたのか、岩石の形成場を巨視的（マクロ）に広域で見たものである。一方、岩石組織（構成鉱物、モード組成、組織）は、岩石をルーペや顕微鏡などで観察して、微視的（ミクロ）にその形成条件、形成プロセスの情報を得るものである。化学組成とは、岩石やその構成物の鉱物の潜在的特性を読み取るものである。岩石・鉱物の各種の測定値から起源や形成条件（年代）を、定量的あるいは定性的に推定するものである。

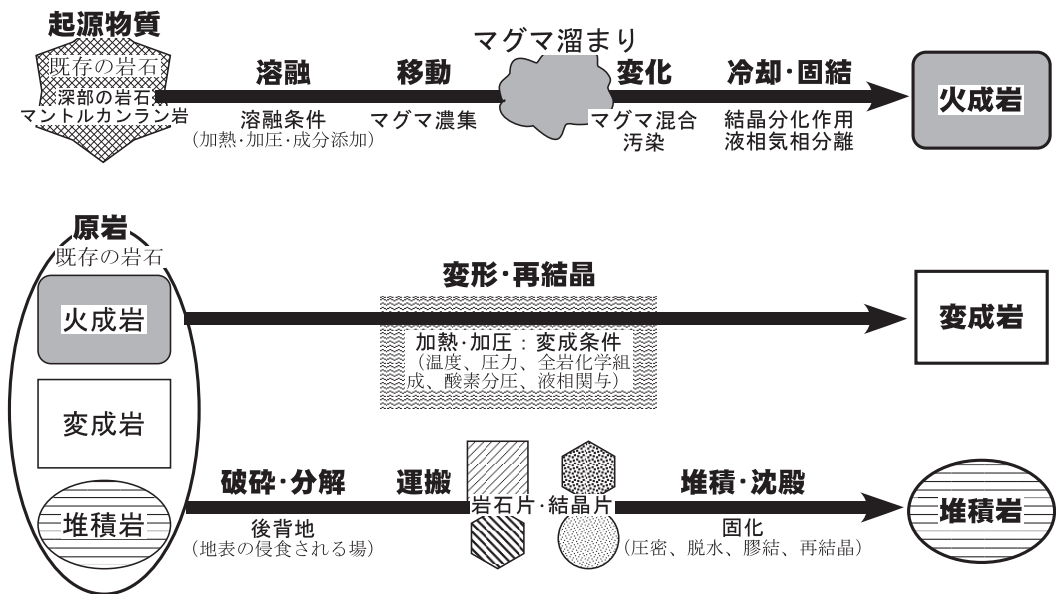


図3 岩石の形成にいたる作用

火成岩，変成岩，堆積岩が形成されるまで関与している作用や過程，条件を概要したもの。

地質学の研究ではさまざまな属性が記載されていくが，記載における本質的属性は，岩石がどのような素材（起源）から由来し，どのような条件，形成環境で，変化あるいは形成されたかを探ることに収斂していく。言い換えると，岩石の成因と変遷を知ることとなる。ある地域の岩石の成因や変遷の過程が一般化できれば，地質学の原則となる。一般化による原則の探求は，地質学の重要な目的でもある。そして，一般的原則は，地域の個別の研究に利用されていく。

ただし形成後の変遷は，後生的属性から探ることになるので，成因が最も重要な本質的属性となる。岩石の分類体系や名称も，成因を反映したものであることが，本質を捉えたものになるはずで理想となる。岩石はすべからく成因論に基づく区分を目指すことになる。

3 岩石の成因

岩石の成因は，火成岩（igneous rock）と変成岩（metamorphic rock），堆積岩（sedimentary rock）の3つに大別ができる。この三分法は，都城・久城（1975）によれば，ドイツの地質学者Cotta（1866）によって提案されたといわれている。岩石のそれぞれの成因は，明瞭で分かりやすいものである。

以下では岩石の成因と関与している作用や過程の概要をまとめていく（図3）。

火成岩

火成岩はマグマが固まったもので，マグマは既存の岩石が溶融することで形成される。そのよ

うな既存の岩石を起源物質という。既存の岩石とは、マンツルのカンラン岩や地下深部（多くは地殻下部）の岩石となる。

起源物質が溶融する条件を満たした時、一部溶け出し溶融体（マグマ）が形成される。溶融する条件とは、起源物質の加熱、加圧、成分添加の要因があることが解明されている。加熱とは、通常は固体である物質が、地球内部の何らかの作用（熱い物質の接近、高温の条件への移動など）によって、融点まで温められることである。加圧とは、起源物質が高压条件（マンツル対流での深部への沈み込み、重力落下など）になり、起源物質の融点を越える場合である。成分添加とは、融点降下を起こす物質（水分や炭酸塩など）が起源物質に加わり、融点が下がる場合である。

形成された小さなマグマは、周辺の岩石より密度が小さいため浮力が発生して、上方（地表に向かって）に移動しながら集まっていく。マグマと周辺の岩石の密度が釣り合ったところに、マグマ溜まりが形成されていく。上昇中やマグマ溜まりで、マグマ同士の「混合（magma mixing）」や周辺の岩石に由来する成分が混入するような「汚染（contamination）」による変化が起こることもある。地下は浅所になるほど温度と圧力が下がるため、マグマ中に結晶ができはじめる（結晶分化作用と呼ぶ）。マグマ溜まりで結晶分化作用が進み、地下浅所でゆっくり冷え固まったものが深成岩となる。温度低下や圧力低下によって液相や気相がマグマから分離して、マグマ内にとどまると相対的にマグマの密度が下がったり、マグマ溜まりの膨張により、火道が形成され地表に噴出すると火山岩となる。

変成岩

変成岩は、既存の岩石（火成岩、変成岩、堆積岩）を原岩として、温度や圧力などの変成条件が加わることによって、別の岩石に変わったものである。変成作用では、岩石は溶けることなく、鉱物間の成分交換（固相反応）によって新しい平衡状態になるために、再結晶作用や変形作用が起こる。そのため、原岩の組織や化学組成などの特徴を強く残すことになる。変成作用の条件は、温度と圧力が重要なものであるが、原岩の化学組成、酸素分圧、液相の関与も重要となる。高温高压の条件や変形が激しいときは、岩石が溶け出すことがある。溶けた岩石は、火成岩の範疇にはいるが、一部の溶融であれば、変成岩の中に溶けた部分があるような岩石（ミグマタイトと呼ばれる）として扱われることもある。

堆積岩

堆積岩は、既存のあらゆる岩石（火成岩、変成岩、堆積岩）が原岩となる。原岩は地表に出ているものが、侵食をうけるので、原岩のあった環境を反映することになる。そのような原岩の環境を考慮した場を、後背地と呼ぶ。原岩は、物理的の破碎、化学的の分解などによって岩石片や結晶片に破碎されていく。小さくなった破片は、河川などの流水や風によって移動、運搬されていく。流水の運搬能力がなくなると、岩石片や結晶片は、河岸や湖底、海底などに堆積、沈殿していく。

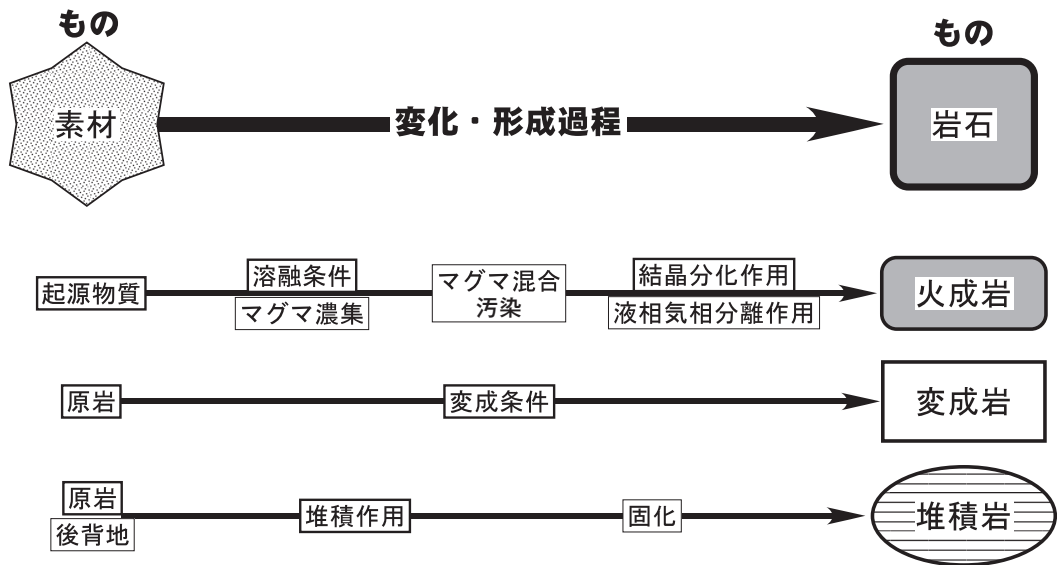


図4 岩石の本質的属性

素材から変化・形成過程をへて新たなものへといたる過程を、火成岩、変成岩、堆積岩という3つの成因にもとづく区分でみたもの。それぞれの成因で本質的属性となるものを太い線で囲んだ。

安定した堆積場で、長い時間の経過や累重する堆積層の加圧によって、脱水、膠結、再結晶などが起こり堆積岩となる。

4 岩石の自然分類の適用の可能性

成因に基づく火成岩、変成岩、堆積岩の3つの分類は、定義の上でも明瞭な区分がなされている。岩石の成因は、すべての岩石が本質的に持っている属性であり、重複することではなく、唯一固有のものである。岩石の成因に基づく分類は、本質的属性に基づく自然分類といえる。これら3つの成因は、最上位の区分階層といえるだろう。

野外調査でも、成因を見極めることが岩石記載において重要となる。ただしこの区分だけでは、岩石の分類体系としてあまりに単純で、実用的ではない。岩石の細分が必要となる。

上述の3つの成因の検討から、それぞれの成因に関与する一般的な作用や過程の概要をみてきた(図4)。火成岩では、起源物質、溶融条件、マグマ濃集、マグマ混合、マグマ汚染、結晶分化作用、液相気相分離作用が関与していた。変成岩では原岩と変成条件が、堆積岩では、原岩、後背地、堆積作用、固化過程が関与していた。これらのうち、どれが岩石の自然分類において本質的属性になるかを検討していく(表2)。

i 火成岩

同時代の近隣の地域において起こった火成作用には、火成岩として多様性はあるが、化学組成

表 2 岩石の成因による細分

属性	反映している作用	種類・内容	分類
火成岩			
マグマ系列	起源物質、溶融条件	初生マグマ（アルカリ、ソレアイト、カルクアルカリ）	自然分類。細分は人為分類
鉱物組み合わせ	結晶分化作用	モード組成（IUGSの分類）	定義による人為分類
全岩化学組成	結晶分化作用 起源物質 溶融条件	ノルム組成（CIPWの区分）ほか マントル端成分（5種類） 起源物質の特性	定義による人為分類 自然分類。混合のため適用不能 自然分類。定性的で適用不能
変成岩			
原岩区分	原岩	堆積岩、火成岩	自然分類
変形組織	変成条件	片岩、片麻岩、マイロナイト	自然分類
変成相	変成条件	特徴的変成鉱物	自然分類
堆積岩			
粒子サイズ	堆積作用	礫岩、砂岩、粘土岩、シルト岩	自然分類。細分は人為分類
構成粒子	原岩	粒子組成（ワッケ、アレナイト）	自然分類。細分は人為分類

成因（火成岩，変成岩，堆積岩）ごとに関わっている属性とそこに関与している作用，実際の分類の種類や内容を示して，どのような分類になっているかをまとめたもの。

や鉱物組み合わせにおいて共通する特性をもっている岩石が分布していることが知られている。そのような火成岩類には，成因に密接な関係があるとして，「岩石区」とよばれ，成因究明がなされてきた（都城・久城，1975）。

当初，アルカリ成分（化学組成の Na_2O と K_2O を合わせたもの）と珪酸（ SiO_2 ）の含有量で比べて，岩石区ごとに違いが見つかったことから，アルカリ成分の多いものをアルカリ系列（alkalic series），少ないものを非アルカリとした。また，非アルカリ系列には，ソレアイト系列（tholeiitic series）とカルクアルカリ系列（calc-alkalic series）があることがわかってきた。

これら3つのタイプはマグマ系列とも呼ばれ，違いは最初に形成されたマグマ（初生マグマ）に由来するものだと考えられた。初生マグマは，起源物質とその溶融条件に依存すると考えられている。

マグマ系列は，起源物質と溶融条件という本質的属性に由来している自然分類の対象となる。ただし，マグマ系列だけでは大雑把なので，さらなる岩石の細分がなされている。細分には，鉱物組み合わせと全岩化学組成が用いられる。

鉱物組み合わせは，火成岩を構成している鉱物の組み合わせによるもので，マグマが固化するときの結晶分化作用を反映している。結晶分化作用で特徴的な鉱物があれば，岩石区分の手がかりにすることも可能であり，名称に使うこともできる。ただし特徴的鉱物がどの岩石にもあるわけではなく，多くの岩石は似た鉱物の組み合わせ（造岩鉱物とよばれる）からできている。造岩鉱物の量比の違いによって見かけも違い，区分されていく。鉱物の量比を定量化したものがモード組成である。モード組成において境界を定義して岩石を区分したものが，IUGSの岩石区分（図2）であった。これは，人為分類であるが，客観性を持った有用なものである。

全岩化学組成も，モード組成と同じように，結晶分化作用を反映している。全岩化学組成とモ

ード組成は似た情報ともいえるが、いくつかの点で違いがある。全岩化学組成は、鉱物組み合わせよりも、総括的、大局的に特徴をとらえるものである。モード組成は岩石薄片面の2次元的分析なので、岩石全体を反映しているかという不安もあるが、化学組成は試料を粉碎して利用するので、岩石全体をとらえ、平均化された値といえる。近年、分析装置の発達普及により、化学分析が手軽にできるようになったことで多用されている。

化学分析では多くの元素の濃度を測定することが可能である。主要成分から得られる情報、微量元素の情報、元素の種類による化学的挙動の違いによる情報、組成の比較、系統的处理などで、多様な情報を得ることができる。

主要成分の化学組成を用いて、仮想的ではあるが現実の鉱物に似せて標準鉱物（ノルム鉱物と呼ぶ）を計算する方法が提案された（提案者にちなんでCIPWノルムと呼ばれる）。ノルム鉱物に基いて岩石を区分する方法は、上述のモード組成との違いを活かして用いられているが、人為的な仮想鉱物を用いた境界を定義していることになる。

化学組成のうち微量元素や同位体組成は、起源物質の特性を反映するものもある。同位体組成から、マントルにはいくつかの端成分となるものがあり、端成分マントルが混合したものが、多様なマグマの起源物質となっていることも判明している。小出（1992）では、端成分マントルとして、DMM（地球上で最も枯渇した端成分）、EM II（堆積岩や沈み込んだ海洋地殻に由来する肥沃な端成分）、EM I（LoNdの端成分）、HIMU（LoNdの端成分）、PREMA（PUM, CHUR, UR, BSEなどと呼ばれる最も普遍的に存在すると考えられる端成分）の5つが考えられている。さらに、微量元素から起源物質の特性を見出し、マグマの形成環境を推定することも可能である。

微量元素や同位体組成による端成分マントルなどの起源物質の特性は本質的属性である。端成分マントルは区分がはっきりしており自然分類になっているが、マグマ自体は端成分の混合したマントルに由来するものなので、その分類が岩石名には適用できない。起源物質の特性も定性的特徴であるため岩石の分類には用いられていない。

化学組成は、岩石の本質的属性を定量的に区分するため有用であるが、その境界は人為的である。その成分の組み合わせを用いるか、どの区分図を用いるかなどによって、岩石の区分が多様になっていく。時には、別の区分図を用いているのに同一名が使われたり、研究者ごとに独自の区分を用いたりされることもある（玄武岩、安山岩の一般的な名称の定義など）。本質的な属性を示す成分を用いて、それに収斂すべきだが、目的に応じていろいろな区分手法が用いられているのが現状である。

ii 変成岩

変成岩は、既存の岩石から固相反応で変化したものなので、既存の岩石の特徴を強く反映している。原岩が堆積岩であれば、その特性を反映した珪質、泥質、砂質、石灰質などの区分ができる。火成岩であれば、その化学的性質から塩基性（珪酸成分が少ない）や酸性（珪酸成分が多い）

の区分がなされる。時には、既存の岩石名に「変成」や「変」をつけて、変成チャート、変玄武岩と呼ばれることもある。これらの区分は、定性的ではあるが、自然分類となる。ただし、既存の岩石名が自然分類されていることが前提となる。

固相反応の他に、圧力、剪断応力によって変形組織が目立つことがある。泥岩を原岩の例とすると、粘板岩、千枚岩、結晶片岩、片麻岩などの変形組織の違いは、変成度の強さによって変わっていくもので、変成条件を反映した自然分類といえる。

温度圧力などの変化に反応しやすい塩基性火成岩や泥岩を元に、変成条件を反映した特徴的な変成鉱物ができる。変成鉱物の形成条件（温度圧力）はほぼ解明されているので、本質的属性による区分になる。変成鉱物の組み合わせによって定義される区分は、変成相と呼ばれている（図5）。変成相は自然分類になる。

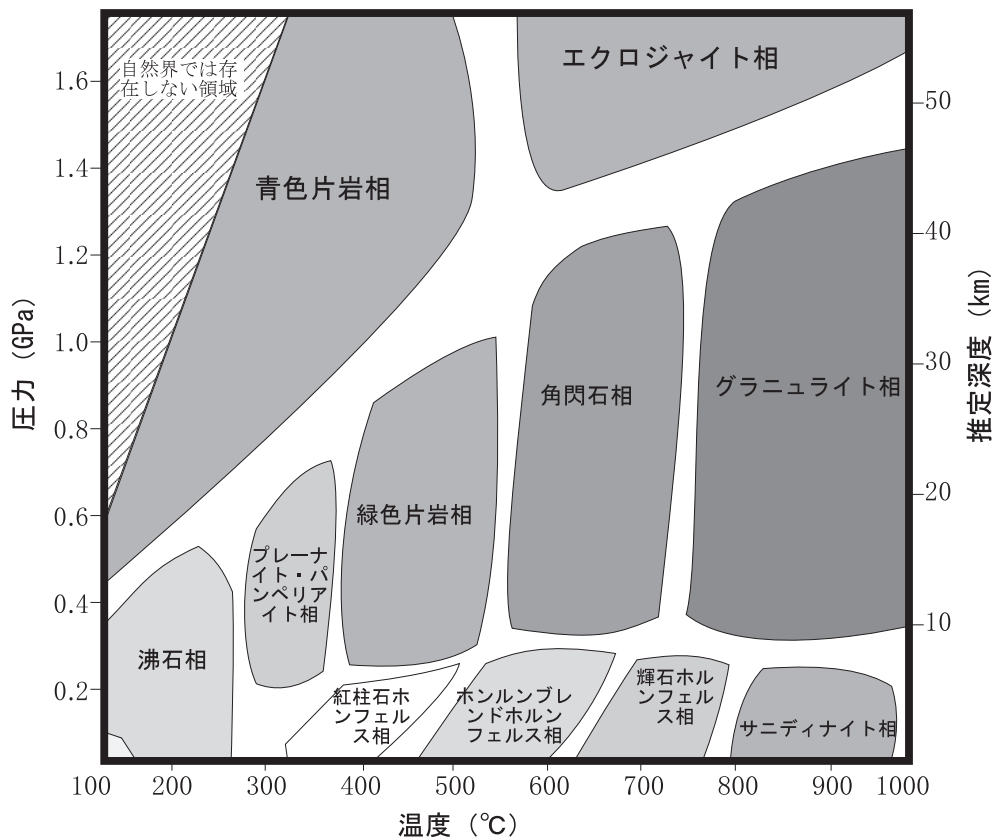


図5 変成相

塩基性岩類の温度-圧力図における変成相の区分の概略を示した。変成作用で出現する特徴的な鉱物によって区分されている。変成岩の区分として変成相は自然分類が適用されている。

iii 堆積岩

堆積岩は、原岩の特徴を反映した構成鉱物による分類として、構成粒子のサイズによる区分が一般におこなわれている。粒子サイズによる並びは分級とよばれ、堆積作用を反映して形成されるもので自然分類となる。大きいものから小さいものへと、礫岩、砂岩、粘土岩、シルト岩に区分され、さらなる細分もなされる。厳密な分類のために境界（粒径）を定義すると、人為分類を導入することになる。

粒子の組成として、構成物を鉱物片、岩片、基質を見分けて区分されることがある。これは、構成物も本質的属性に基づく区分なので、自然分類になる。モード組成を手がかりに基質が大半のもの泥岩、大きな破片が大半を占めるが基質が比較的多いものをワッケ、少ないものをアレナイトと区分する。実用的には、泥岩は基質がモード組成で75%以上で、基質が75%～15%ワッケ、15%以下をアレナイトと区分している。数値による境界は人為分類となる。

5 自然分類の導入の可能性

岩石の3つの成因は自然分類である。細分のために、火成岩では起源物質、溶融条件、結晶分化作用が、変成岩では原岩と変成条件が、堆積岩では原岩と堆積作用が本質的属性が重要となる。これらの属性に基いていくつかの自然分類が導入されているが、さらなる細分には人為分類が必要となる。

火成岩では、初生マグマに由来するマグマ系列やマントル端成分、起源物質の特性などを用いて自然分類が可能となる。マグマ系列として3つ、端成分マントルとして5つ、起源物質の定性的特性が自然分類の対象となった。しかし、いずれも岩石名に直接利用できるものではなかった。

変成岩では、原岩として既存の堆積岩の特性を反映した珪質、泥質、砂質、石灰質の区分、火成岩の塩基性と酸性の区分ができる。変成条件では、変形組織と変成相にもとついた自然分類がなされている。変成岩では自然分類が広く導入されている。

堆積岩では、原岩を反映した構成粒子の組成と堆積作用を反映した粒子サイズによる区分は自然分類であった。両者を組み合わせることも可能となる。その境界、あるいは細分には人為分類が導入されている。

3つの成因を越えた岩石全体に適用できる自然分類は存在しないことが判明した。変成岩と堆積岩では自然分類の導入がなされている。堆積岩では、細分に定義の明瞭な人為分類が導入されている。一方火成岩では、いくつかの上位の区分で自然分類の概念は存在するが、その概念が必ずしも岩石名には適用されていない。火成岩においては、最終的には体系だった人為分類の導入が必要である。

V まとめ

岩石名は、岩石を見分け、記載し、区分するという博物学的な人為分類に端を発する。地質学が進むにつれて、より本質的な岩石成因論が形成され、それに基づく自然分類が導入されてきた。岩石成因論に基づく分類には、顕微鏡での詳細観察や機器分析の化学的データなどの室内実験が必要になる。ところが、地質学とは野外科学でもあるので、野外調査のとき、岩石の区分ができないと困るため、便宜的な野外名が用いられ続けている。野外名も自然分類の体系を意識したもののが推奨されるべきであるが、実態は必ずしもそうはなっていない。岩石は鉱物の集合体で、要素の集合という特性こそが、岩石の自然分類を困難にしているのである。これは、地質学がもっている宿命でもあろう。

今後、自然分類の導入を意識しながら、体系だった人為分類の導入と、古い分類体系の整理、破棄が必要である。

文 献

- Cotta, C. B. von, 1866. *Rocks Classified and Described: A Treatise on Lithology*. Longmans, Green, and Company, 425 p.
- Darwin, C. R., 1859. *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favored races in the struggle for life*. John Murray [1st ed.] London.
- IUGS 1973. Plutonic rocks, classification and subcommission on the systematics of igneous rocks. *Geotimes*, Oct. 26-30.
- 端山好和, 1996. 「岩石」 地学団体研究会編『地学事典』281.
- Johannsen, A., 1931. *A descriptive Petrography of the Igneous Rocks. Volume I Introduction, Textures Classification and Glossary*. Univ. Chicago Press, 318 p.
- Johannsen, A., 1932. *A descriptive Petrography of the Igneous Rocks. Volume II The Quartz-bearing Rocks*. Univ. Chicago Press, 428 p.
- Johannsen, A., 1937. *A descriptive Petrography of the Igneous Rocks. Volume III The Intermediate Rocks*. Univ. Chicago Press, 360 p.
- Johannsen, A., 1938. *A descriptive Petrography of the Igneous Rocks. Volume IV The Feldspathoid Rocks, the Peridotites and Perlinites*. Univ. Chicago Press, 523 p.
- 木田元, 1998. 「西洋哲学」世界大百科事典CD-ROM版 平凡社.
- 小出良幸, 1992. 「マントルの同位体的多様性 – マントル進化へのアプローチ –」『地学雑誌』101, 159-192.
- 小出良幸, 2004. 「GPSと数値地図を用いた野外調査の効率化とデータベースの可視化」札幌学院大学情報科学研究所, 『情報科学』24, 7-20.
- 小出良幸, 2006. 「物質, 時間, 空間の視点からみた地質学的境界」『札幌学院大学人文学会紀要』80, 21-41.
- 小出良幸・新井田秀一, 2007. 「数値標高による地質情報の可視化と地質学への応用について」札幌学院大学社会情報学部紀要『社会情報』16, 2, 19-38.
- 小出良幸, 2010. 「地層の多様性と地球環境」『札幌学院大学人文学会紀要』88, 1-22.
- 小出良幸, 2011. 「自然分類と人為分類について – 生物種と鉱物種を例にして –」『札幌学院大学人文学会紀要』90, 23-45.
- 黒田吉益・諏訪兼位, 1983. 「偏光顕微鏡と岩石鉱物」共立出版 343+25 p.

- 久城育夫, 1998. 「マグマ」世界大百科事典CD-ROM版 平凡社.
- Linne, C. von, 1735. *Systema Naturae, sive regna tria naturae systematice proposita per classes, ordones, genera, & species*. Theodorum Haak, Lyden.
- Luth, William C., Richard H. Jahns, and O. Frank Tuttle., 1964. "The granite system at pressures of 4 to 10 kilobars." *Journal of Geophysical Research* 69, 4, 759-773.
- Mayr, R. M., 1942. *Systematics and the Origin of Species*. Columbia University Press, New York.
- 湊 秀雄, 1998. 「鉱物」世界大百科事典CD-ROM版 平凡社.
- 都城秋穂・久城育夫, 1975. 「岩石学II 岩石の性質と分類」共立全書205. 共立出版, 186 p.
- 日本第四紀学会第四紀露頭集編集委員会, 1996. 「第四紀露頭集－日本のテルラ」第四紀学会 352 p.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター(編), 2012. 「20万分の1日本シームレス地質図データベース(2012年7月3日版)」産業技術総合研究所研究情報公開データベース DB084, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- Streckeisen, A. L., 1967. Classification and nomenclature of igneous rocks (final report of an inquiry). *Neues Jahrbuch fuer Mineralogie Abhandlungen*, 107(2), 144-214.
- Tuttle, O. F. and Bowen, N. L., 1958. Origin of Granite in the Light of Experimental Studies in the System NaAlSi₃O₈-KAlSi₃O₈-SiO₂-H₂O. *Geological Society of America*, 74, 1-153.
- Woods Hole Oceanographic Institution, 2013. History of Alvin. <http://www.whoi.edu/page.do?pid=10737> (2013.07.16閲覧).

The Possibility of the Natural Classification on Rocks

KOIDE Yoshiyuki

Abstract

Various problems in the classification of rocks and systematics of nomenclature are discussed in this paper. Rocks should be ideally categorized by the natural classification based on some essential attributes. It is checked whether the natural classification could be applicable to rocks. The rocks are classified primarily by origins; igneous, metamorphic, and sedimentary rocks. The nomenclature based on the natural classification is attained in the metamorphic and sedimentary rocks. It is necessary to introduce the artificial classification in igneous rocks and subdividing rocks. Defining the artificial classification of the rocks should be applied systematically.

Keywords: Natural classification, Artificial classification, Rocks, Origin, Attribute

(こいで よしゆき 札幌学院大学人文学部教授 こども発達学科)