

「浜坂地域の地質（5 万分の 1 地質図幅）」で用いる火山碎屑岩の区分体系

工藤 崇*

Classification scheme for volcanoclastic rocks used in "Geology of Hamasaka District (Quadrangle Series, 1:50,000)"

KUDO Takashi*

*産業技術総合研究所地質調査総合センター

*AIST, Geological Survey of Japan

Corresponding author: T. Kudo, e-mail: kudo-taka@aist.go.jp

1. はじめに

火山碎屑岩は、礫岩、砂岩、泥岩などの碎屑性堆積岩と比較して区分体系が非常に複雑であり、研究者によってその見解や記載名称が大きく異なっている（例えば、Orton, 1996；伊藤編, 2022）。また、火山碎屑岩の区分体系の多くは欧米で定義されたものに由来するが、それらが日本へ導入される際に、日本独自の区分体系へと改変され、そのまま国内で定着していったものもある。そのような背景により、火山碎屑岩には様々な区分体系が存在する（例えば、Fisher, 1961, 1966；久野, 1965；横山ほか編, 1979；Schmid, 1981；McPhie *et al.*, 1993；Gillespie and Styles, 1999；Le Maitre *ed.*, 2002；White and Houghton, 2006）。さらに、火山碎屑岩の区分体系では、単に粒径のみではなく、多くの場合においてその成因を反映した分類が行われるため、それを専門としない者にとっては非常にわかりにくい場合が多い。また、使用者がそれらの定義や違いを十分に理解しないまま、慣用的に各種用語を使っている場合も多い。そのため、誤解や混乱の元になりやすく、研究者間あるいは論文・報告書間で用語の定義に相違や齟齬が生じる場合も多い。さらに、これらの現状や問題点を日本語で詳しく記した解説書が存在しないため、問題意識が広く共有されず、混乱に拍車がかかっているのが現状である。

このような背景により、このたび産総研地質調査総合センターにおいて「浜坂地域の地質」（5 万分の 1 地質図幅）（羽地ほか、印刷中）（以下、「浜坂図幅」と呼ぶ）を出版するにあたり、既存の火山碎屑岩の区分体系について整理を行うとともに、浜坂図幅で用いる火山碎屑岩の区分体系を明確に示しておく必要が生じた。そこで本報告では、浜坂図幅で用いる火山碎屑岩の区分体系とその根拠を示すとともに、必要な解説を行なう。なお、本報告で述べる内容は、浜坂図幅に記載した方が読者の便には適っているが、浜坂図幅では各地質体の説明に相当な分量が割かれ、ページ数が過多となっているため、紙面の都合上により「GSJ 研究資料集」にて公表するものである。

2. 基礎となる区分

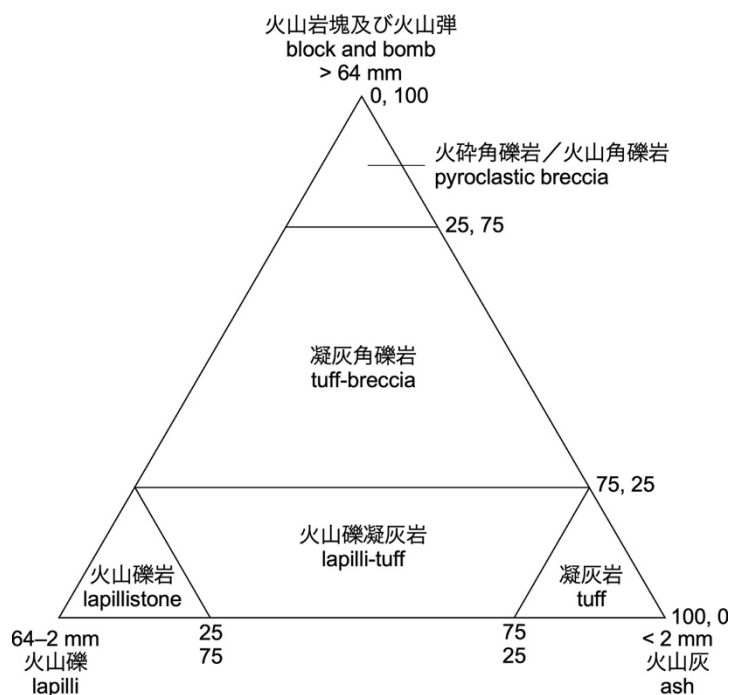
最初に、最も基礎となる火山砕屑岩、火砕岩、初生的火山砕屑岩の3つの区分について、浜坂図幅で採用する定義を記す。なお、未固結な堆積物については、それぞれ「岩 (rock)」の部分「物 (material)」と言い換えて適用する。

火山砕屑岩 (volcaniclastic rock) : 主に火山性の砕屑粒子から構成される岩石を指し、破碎、拡散、運搬作用の違いに左右されない非成因的な記載名称である (Fisher, 1961)。本区分は、具体的な粒子の含有率では定義されない概括的なものであり、以下で述べる「火砕岩」及び「初生的火山砕屑岩」を包含する。

火砕岩 (pyroclastic rock) : 「火砕 (pyroclastic)」は、元々 Wentworth and Williams (1932) により「爆発的噴火もしくは空中投射によって火口から放出された物質によって構成される岩石に一般的に用いられる形容詞」(原文: Pyroclastic is an adjective commonly applied to rocks produced by explosive or aerial ejection of material from a volcanic vent) と定義された言葉である。すなわち、火砕岩の元来の定義は、「爆発的噴火もしくは空中投射によって火口から放出された物質によって構成される岩石」となる。しかしながら、その後現在に至るまでに、火砕岩には様々な定義が提案されている (例えば, Fisher, 1961, 1966; Schmid, 1981; Cas and Wright, 1987; McPhie *et al.*, 1993; Gillespie and Styles, 1999; White and Houghton, 2009)。これらのうち、浜坂図幅では White and Houghton (2009) による火砕岩の定義を採用する。この定義によれば火砕岩は、火山の噴煙・ジェットまたは火砕物密度流により生じた火砕粒子が一次的に定置して形成されたものであり、その堆積は懸濁沈積、トラクション (掃流)、一括停止型堆積またはこれらの組み合わせによって形成される (原文: A pyroclastic deposit forms from volcanic plumes and jets or pyroclastic density currents, as particles first come to rest. Deposition occurs by suspension settling, from traction, by en masse freezing, or any combination of these) (White and Houghton, 2009)。つまり、「火砕岩」とは爆発的噴火によって直接生じた降下火砕堆積物、火砕流堆積物、火砕サージ堆積物などを指す言葉である。また、爆発的噴火によって直接的に形成された堆積物であれば火砕岩となるため、水中で発生した爆発的噴火により生じた噴煙が水と混合し、そのまま水を媒体として運搬され一次堆積して形成された各種堆積物も火砕岩に含まれる。なお、マグマの関与は問わないことから、水蒸気噴火の産物にも使用可能な用語である。

なお、日本ではこれまで伝統的に火山砕屑岩全般が「火砕岩」と表記され、「火砕岩」と「火山砕屑岩」が区分されず混用されてきた経緯があるため十分な注意が必要である。

初生的火山砕屑岩 (primary volcaniclastic rock) : 噴火に伴って生じるあらゆるタイプの破碎現象によって一次的に形成された火山砕屑岩を指す (White and Houghton, 2006)。つまり初生的火山砕屑岩とは、火砕 (pyroclastic)、自破碎 (autoclastic)、水冷破碎 (hyaloclastic)、ペペリティック (peperitic) な破碎で一次的に形成された火山砕屑岩全てを包含する言葉である。本区分は上記の「火砕岩」を包含する。



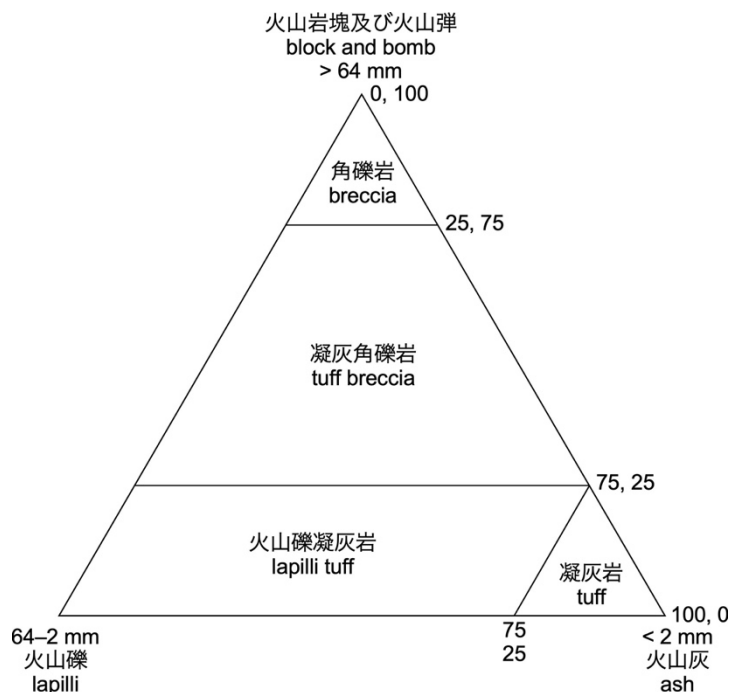
第 1 図 火砕粒子の粒径と比率による火砕岩の分類 (Fisher, 1966 ; Fisher and Schmincke, 1984). 「pyroclastic breccia」の日本語訳には「火山角礫岩」と「火砕角礫岩」の 2 通りがあることに注意. なお, この分類図は Fisher (1966) により初めて示されたが, その時点では境界を定義する数字はまだ示されていない. 境界を定義する数字は後年 Fisher and Schmincke (1984) により示された. そのため, 数字の入っていない分類図と数字の入った分類図の 2 通りが存在することに注意が必要である. また, Fisher (1961), Fisher and Schmincke (1984) では「tuff-breccia」「lapilli-tuff」とハイフンを使った表記がなされているが, ハイフンを用いない表記(「tuff breccia」「lapilli tuff」)も頻繁に使用されている.

3. 火砕岩及び初生的火山碎屑岩の区分体系

火砕岩の区分体系としては, 火山岩塊及び火山弾, 火山礫, 火山灰の 3 成分による火砕粒子の粒径と比率による区分体系 (Fisher, 1966 ; Fisher and Schmincke, 1984) が日本を含め世界的に普及し, 広く用いられている (第 1 図). その一方において, 火砕岩の定義を Wentworth and Williams (1932), Fisher (1961, 1966), Cas and Wright (1987), McPhie *et al.* (1993), White and Houghton (2009) などに従う限り, この区分法は「火砕粒子起源の堆積物」にしか適用できないため, 地質図幅の記載では汎用性が低く実用的ではない側面がある. 具体的な例としては, 溶岩が水冷破碎もしくは自破碎して角礫化したものに対しては「凝灰角礫岩 (tuff-breccia)」「火砕角礫岩／火山角礫岩 (pyroclastic breccia)」等の用語が使えないことが挙げられる. また, 溶岩ドーム崩落型のブロックアンドアッシュフロー堆積物についても, これらを生じた噴火が「火砕噴火」ではないため, 厳密にはこれらの用語が使用できるかどうかについては議論がある (例えば, White and Houghton, 2006). そこで White and Houghton (2006) は, 上記の 3 成分による区分体系を「初生的火山碎屑岩」の範囲へと拡張した区分体系を提案した (第 2 図). この区分体系を用いることで, 噴火に伴って生じるあらゆるタイプの破碎現象によって一次的に形成された火山碎屑岩について, 「凝灰角礫岩」「火山礫凝灰岩」などの統一的な名称での記載が可能となる. そこで浜坂図幅では, 「火砕岩」を含む「初生的火山碎屑岩」全般に対して, White and Houghton (2006) の区分体系を一部改

変して採用する。改変を行なった箇所については、以下に説明を行なう。

なお、日本では長らく「火砕岩」と「火山碎屑岩」の区分が曖昧にされてきた経緯があり、慣例的には「火山碎屑岩」全般に対して火砕岩の3成分分類法が用いられてきた。しかし、このような日本独自の慣用的使用法は、国際的には通用しないことに注意が必要である。

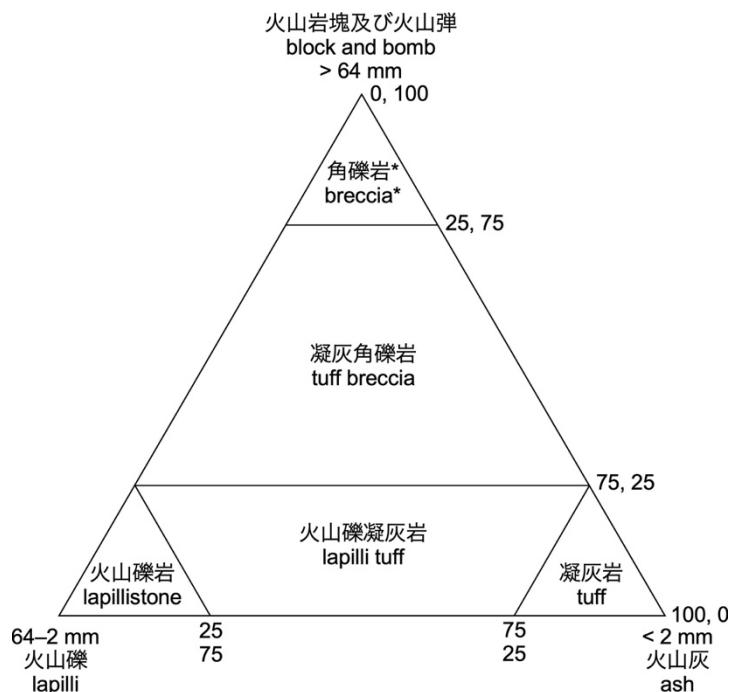


第2図 初生的火山碎屑岩の構成粒子の粒径と比率による分類 (White and Houghton, 2006)。

White and Houghton (2006) による「初生的火山碎屑岩」の区分体系 (第2図) は、火砕粒子の粒径と比率による3成分区分体系 (Fisher, 1966; Fisher and Schmincke, 1984) (第1図) を踏襲・拡張したものであるが、2点において変更が加えられている。1つ目の変更点は「火山礫岩 (lapillistone)」の破棄であり、これに相当する範囲も「火山礫凝灰岩 (lapilli tuff)」とされた (第2図)。その理由は、国際地質科学連合 (IUGS) が推奨する Schmid (1981) の区分体系において、「火山礫岩」が使われていないからとされている。しかしながら、White and Houghton (2006) の区分体系は、そもそも3成分による区分を想定していない Schmid (1981) の区分体系とは異なるものであるため、「火山礫岩」の破棄が合理的かどうかは評価が難しい。実用的には、淘汰の良い火山礫サイズの粒子で構成される岩石名として、「火山礫岩」は有用な区分である。そのため、浜坂図幅ではこの区分を復活させて適用する (第3図)。なお、Schmid (1981) の区分体系については、IUGS が推奨する区分体系ではあるものの、これまで日本語の教科書で紹介されたことがほとんどなく、日本国内では全く普及していないことから、浜坂図幅での採用は見送った。そのため本報告では説明を割愛する。

2つ目の変更点は、従来の「火砕角礫岩／火山角礫岩 (pyroclastic breccia)」に相当する部分が「角礫岩 (breccia)」に改められたことである (第2図)。これについては、本区分体系が「火砕粒子」のみに留まらない区分体系となったための変更であり、妥当なものと言える。ただし、「角礫岩 (breccia)」は「火山碎屑岩ではない碎屑岩」(いわゆる“通常の堆積岩”) でも使用されることがあるため、場合によっては誤解が生じる場合があり得る。それをなるべく回避するため、「角礫岩 (breccia)」については、そのままの表記でも可とはするが、可能な限り破碎作用の形容詞を追加して表記することにしたい。すな

わち，破碎作用の別に応じて「火砕角礫岩（pyroclastic breccia）」「水冷破碎角礫岩（hyaloclastic breccia）」「自破碎角礫岩（autoclastic breccia）」「ペペライト質角礫岩（peperitic breccia）」と表記する（第3図）。このことによって，「火山碎屑岩ではない碎屑岩」との表記上における差別化を図ることとする。なお，「ペペライト質角礫岩」の日本語訳は鈴木（2023）による。



第3図 浜坂図幅で用いる初生的火山碎屑岩の分類。White and Houghton (2006)による分類に火山礫岩の区分を追加したもの。*「角礫岩（breccia）」については，そのままの表記でも可とするが，可能な限り破碎作用の別に応じて「火砕角礫岩（pyroclastic breccia）」「水冷破碎角礫岩（hyaloclastic breccia）」「自破碎角礫岩（autoclastic breccia）」「ペペライト質角礫岩（peperitic breccia）」と表記する。

4. 初生的火山碎屑岩の再堆積物に用いる区分体系

前述したように，浜坂図幅では火山碎屑岩のうち，噴火による一次的な破碎現象で形成された初生的火山碎屑岩については，White and Houghton (2006) の区分体系を用いて分類・記載する（第1表）。White and Houghton (2006) は，「初生的火山碎屑岩ではない火山碎屑岩」，つまり「初生的火山碎屑岩の再堆積物」や「epiclastic な破碎で生じた火山碎屑岩」については，一般的な堆積岩の区分体系（礫岩，砂岩，泥岩）を用いるべきであると主張している。しかしながら，初生的火山碎屑岩が形成された後に，それらが初生的な火山碎屑粒子の形態をほぼ保ったまま再移動して形成された「初生的火山碎屑岩の再堆積物」に対しては，実用的にはそれとわかるような記載区分名があると便利である。

McPhie *et al.* (1993) は，噴火後に再堆積して形成された，もしくは成因不明の火砕物質に富む堆積物に適用する区分として，凝灰質角礫岩（tuffaceous breccia）／凝灰質礫岩（tuffaceous conglomerate），凝灰質砂岩（tuffaceous sandstone），凝灰質泥岩（tuffaceous mudstone）からなる区分体系を示した。浜坂図幅ではこの区分体系を一部改変し，その適用範囲を「火砕物質」から「初生的火山碎屑物質」へと拡張し，初生的火山碎屑岩が再堆積して形成された火山碎屑岩の区分体系として用いる（第1表）。

第1表 浜坂図幅で用いる火山碎屑岩の区分体系一覧

粒径	初生的火山碎屑岩 (primary volcaniclastic rock) の区分 White and Houghton (2006) を一部改変	初生的火山碎屑岩の再堆積物の区分 McPhie <i>et al.</i> (1993) を一部改変	火山碎屑岩の非成因的区分 Fisher (1961)
> 2 mm	「火山岩塊及び火山弾 (> 64 mm)」「火山礫 (61–2 mm)」「火山灰 (< 2mm)」の3成分による比率で区分 (第3図)	凝灰質角礫岩 (tuffaceous breccia) ／凝灰質礫岩 (tuffaceous conglomerate)	火山角礫岩 (volcanic breccia) ／火山性礫岩 (volcanic conglomerate)
2–1/16 mm		凝灰質砂岩 (tuffaceous sandstone)	火山性砂岩 (volcanic sandstone)
< 1/16 mm		凝灰質泥岩 (tuffaceous mudstone)	火山性泥岩 (volcanic mudstone)

5. 火山碎屑岩の非成因的区分体系

火山碎屑岩のうち、「初生的火山碎屑岩」と「初生的火山碎屑岩の再堆積物」に対して用いる区分体系については既に示した通りである (第1表)。大方の「火山碎屑岩」は、原理的にはこの2つの区分体系を用いることで分類が可能となるであろう。しかしながら、露出状態が良くない地層、変質が進んだ地層や時代の古い地層では、火山碎屑岩であるとは認識できるものの、「初生的火山碎屑岩」か「初生的火山碎屑岩の再堆積物」を判別できない場合も多い。また、観察者に火山地質学的な見識が不足して判別できない場合もあるだろう。そのような場合、無理に区分することは誤りの元になり得るため控えるべきである。そのため、実用的な側面からは火山碎屑岩全般に使用できる非成因的な区分体系も必要である。このような区分体系として、浜坂図幅では Fisher (1961) による火山角礫岩 (volcanic breccia) ／火山性礫岩 (volcanic conglomerate)、火山性砂岩 (volcanic sandstone)、火山性泥岩 (volcanic mudstone) からなる非成因的区分体系を用いる (第1表)。なお、Fisher (1961) は泥サイズのものを「volcanic siltstone」と「volcanic claystone」に区分して示したが、本報告ではこれらをまとめたものを「火山性泥岩」と表記する (第1表)。なお、「volcanic conglomerate」の日本語訳については、日本では「火山円礫岩」とする例がこれまでに多く認められるが (例えば、地学団体研究会編, 2024)、Fisher (1961) の定義による「volcanic conglomerate」の構成礫は円礫に限定されるものではないため、鈴木 (2023) に倣って「火山性礫岩」とする。

ここで「火山角礫岩 (volcanic breccia)」の用語について、重要な注意点を記しておく。日本では3成分による火砕岩の区分体系 (Fisher, 1966; Fisher and Schmincke, 1984) (第1図) において、最も粗粒な部分の「pyroclastic breccia」の日本語訳が長らく「火山角礫岩」とされてきた (例、横山ほか編, 1979; 下鶴ほか編, 1995)。そのため、火砕岩の1区分である「火山角礫岩 (pyroclastic breccia)」 (Fisher, 1966; Fisher and Schmincke, 1984) と、火山碎屑岩の非成因的区分である「火山角礫岩 (volcanic breccia)」 (Fisher, 1961) が、日本では同じ和名で並立して存在する。このことは、日本語のみで「火山角礫岩」と表記した場合、それが「pyroclastic breccia」か「volcanic breccia」のどちらなのか判別できないことを意味する。さらに日本では、このことが原因して3成分図による「火山角礫岩 (pyroclastic breccia)」の英語対応語が「volcanic breccia」であると誤解されることが多く、「pyroclastic breccia」と表記されるべき箇所が「volcanic breccia」と誤表記されることも頻繁に認められる。最近になって、「pyroclastic breccia」を「火砕角礫岩・火山角礫岩」と併記して示す教科書が出版されており (例えば、伊藤編, 2022)、地質図の JIS 規格を記した日本規格協会 (2019) においても「pyroclastic breccia」の和訳は「火砕角礫岩」と表記され

ているものの、本件は日本において非常に根深い問題となっている。いずれにしろ、浜坂図幅で用いる「火山角礫岩」は、全て Fisher (1961) の定義による「volcanic breccia」(第 1 表) である。

6. 火山灰及び凝灰岩の粒径区分

火山灰及び凝灰岩の粒径区分としては、Fisher (1961) による細粒 (< 1/16 mm) と粗粒 (1/16–2 mm) の 2 区分法を用いる。この区分法は、泥サイズのことを細粒火山灰／細粒凝灰岩、砂サイズのことを粗粒火山灰／粗粒凝灰岩と区分するものであり、日本では既に広く定着しているものである。

なお、「初生的火山碎屑岩」の区分体系として採用した White and Houghton (2006) では、火山灰や凝灰岩に対しても泥と砂の粒径区分、すなわち泥、極細粒砂、細粒砂、中粒砂、粗粒砂、極粗粒砂の区分が適用され、それぞれ extremely fine ash, very fine ash, fine ash, medium ash, coarse ash, very coarse ash と区分されている。しかしながら、一般的に非火山性の碎屑岩と比較して、火山碎屑物には淘汰がやや悪いものが多く含まれるため、この区分を適用すると記載が煩雑・冗長化する恐れがある（例えば、従来の「粗粒火山灰」を表現すると「極細粒～極粗粒火山灰」となる）。それよりも深刻な問題は、従来「細粒火山灰 (fine ash)」と呼ばれてきた泥サイズの火山灰は、この区分体系では extremely fine ash あるいは very fine ash となり、fine ash ではなくなるため、White and Houghton (2006) を採用すると新旧の報告書間で齟齬が生じてしまうことになる。日本において泥サイズのことを「細粒火山灰」、砂サイズのことを「粗粒火山灰」と呼ぶ区分体系が定着している事実を鑑みると、この区分体系を用いることで要らぬ誤解や混乱が発生することが容易に予想される。そのため、火山灰及び凝灰岩の粒径区分については、従来どおり Fisher (1961) による区分体系を用いる。

7. 日本独自の区分体系に関する取扱い

「軽石凝灰岩 (pumice tuff)」「スコリア凝灰岩 (scoria tuff)」は、日本では伝統的に使用されている区分体系であり、径 4 mm 以上あるいは 2 mm 以上の軽石やスコリアからなる火山碎屑岩として定義される（例えば、久野, 1954, 1965, 1976；横山ほか編, 1979）。これらはおそらく日本発祥の用語であり、少なくとも著者はこれらを定義、あるいは紹介した欧米の文献を確認できていない。日本ではしばしばこの区分体系と、前述した 3 成分による火砕岩の区分体系 (Fisher, 1966；Fisher and Schmincke, 1984) が併用して用いられることがある（例えば、横山ほか編, 1979；下鶴ほか編, 1995）。その結果、粒子が多孔質なものは「軽石凝灰岩」「スコリア凝灰岩」の区分体系、そうでないものは 3 成分による区分体系で区分するという、日本独自の慣例的な区分体系が生じた。言うまでもなく、本来の 3 成分による区分体系では、多孔質な粒子とそうではない粒子で扱いを別にはしていない。また、「軽石」と「スコリア」は本来粒径の概念がない用語である。そのため、Fisher (1966) の区分体系を原則的に適用するならば、「軽石凝灰岩」と「スコリア凝灰岩」は、上記の定義とは異なり主に径 2 mm 以下の軽石あるいはスコリア粒子で構成される凝灰岩になってしまう。そうはならないように、多孔質な粒子からなる火山碎屑岩のみを別の扱いとするのが日本独自の「軽石凝灰岩」「スコリア凝灰岩」の区分体系の肝となる。しかしながら、この区分法は以下のような弊害を生み出している。具体的には、発泡した軽石やスコリアからなる産物のみが 3 成分による区分 (第 1 図) とは別の区分体系で「軽石凝灰岩」「スコリア凝灰岩」と表記されることになるため、本来「火山礫」は粒径のみで定義される火山碎屑物質であるにも関わらず、「火

山礫」＝「緻密な火山礫」であって、「軽石」「スコリア」は「火山礫」には含まれないと誤解する日本人が非常に多く生じている。また、構成物質が発泡しているか否かで適用される区分体系が異なるという点も、混乱の要因になりやすいことが指摘される。

以上のように、「軽石凝灰岩」「スコリア凝灰岩」の区分体系は、国際的には通じないものであり、上記のような弊害や混乱を招く要因にもなっている。そのため、その使用は極力避けるべきである。これらの観点から、浜坂図幅においては「軽石凝灰岩」「スコリア凝灰岩」を使用しない。また、過去の文献で用いられた「軽石凝灰岩」「スコリア凝灰岩」を引用して表記せざるを得ない場合には、これらをそれぞれ「軽石火山礫凝灰岩」「スコリア火山礫凝灰岩」と読み替えて表記するか、“軽石凝灰岩”や“スコリア凝灰岩”と表記する。

謝 辞

「浜坂地域の地質」（5 万分の 1 地質図幅）の共同著者である産総研地質情報研究部門の羽地俊樹氏及び佐藤大介氏には、本報告をまとめるにあたり常日頃から有益な議論や助言をいただいた。同部門の辻野 匠氏、活断層火山研究部門の古川竜太氏には、本報告の粗稿をお読みいただき、原稿を改善する上で有益なコメントをいただいた。関係各位に深く感謝申し上げます。

文 献

- Cas, R. F. and Wright, J. V. (1987) *Volcanic Successions: Modern and Ancient*. Chapman and Hall, 528p.
- 地学団体研究会編（2024）最新 地学事典. 平凡社, 1648p.
- Fisher, R. V. (1961) Proposed classification of volcanoclastic sediments and rocks. *Geological Society of America Bulletin*, **72**, 1409–1414.
- Fisher, R. V. (1966) Rocks composed of volcanic fragments and their classification. *Earth-Science Reviews*, **1**, 287–298.
- Fisher, R. V. and Schmincke, H.-U. (1984) *Pyroclastic Rocks*. Springer-Verlag, Berlin, 472p.
- Gillespie, M. R. and Styles, M. T. (1999) BGS Rock Classification Scheme, Volume 1, Classification of igneous rocks. British Geological Survey Research Report, (2nd edition), RR 99–06.
- 羽地俊樹・工藤 崇・佐藤大介（印刷中）浜坂地域の地質. 地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅），産総研地質調査総合センター.
- 伊藤 慎編（2022）フィールドマニュアル 図説 堆積構造の世界. 朝倉書店, 210p.
- 久野 久（1954）火山及び火山岩. 岩波書店, 255p.
- 久野 久（1965）火山碎屑岩の分類. 火山, **10**, 176–186.
- 久野 久（1976）火山及び火山岩 第 2 版. 岩波書店, 283p.
- Le Maitre, R. W., ed. (2002) *Igneous Rocks, A Classification and Glossary of Terms*. Cambridge University Press, 236p.
- 日本規格協会（2019）JIS A 0204 地質図－記号，色，模様，用語及び凡例表示. 日本規格協会, 126p.
- McPhie, J., Doyle, M. and Allen, R. (1993) *Volcanic Textures: A guide to the interpretation of textures in volcanic rocks*. CODES Key Centre, University of Tasmania, 196 p.

- Orton, G. J. (1996) Volcanic Environments. In Reading, H. G., ed., *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*. Blackwell Science, 485–567.
- Schmid, R. (1981) Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments: Recommendations of the IUGS subcommission on the systematics of igneous rocks. *Geology*, **9**, 41–43.
- 下鶴大輔・荒牧重雄・井田喜明編（1995）火山の事典．朝倉書店，590p.
- 鈴木淑夫（2023）岩石学辞典 新装版．朝倉書店，898p.
- Wentworth, C. K. and Williams, H. (1932) The classification and terminology of the pyroclastic rocks. *Bulletin of the National Research Council*, **89**, 19–53.
- White, J. D. L. and Houghton, B. F. (2006) Primary volcanoclastic rocks. *Geology*, **34**, 677–680.
- 横山 泉・荒牧重雄・中村一明編（1979）岩波講座地球科学，第 7 卷「火山」．岩波書店，294p.