

## 久野久著『火山及び火山岩』の勧め

佐藤博明\*

Recommendation of Kuno (1954) 'Volcanoes and Volcanic Rocks' to younger generations

Hiroaki SATO\*

1954年に出版になった岩波全書の一冊である。この60年間で火山学及び火山岩石学の分野の知識、データの質・量は飛躍的に豊かになり、物理モデルもたいへん精緻なものが得られるようになっていたので、今更という感もある。しかし最近この本を通読してみて、内容の大半が久野先生ご自身の観察・考察に基づいており、精選された観察記載は生きていること、それらの観察・経験が体系づけられていること、多くの重要な問題点や考え方が指摘され現在の研究者にとっても温故知新の内容が多く含まれること、等から世代を超えてこの本を若い人たちが読まれることを勧めたい。現在の地球科学のカリキュラムではある程度野外観察・顕微鏡観察の重要さは意識されているだろうが、一人の若手にとってそれらの観察にそれ程多くの時間を割けるものではなく、「火山及び火山岩」に記述されている火山岩の産状・特徴を体系的に学ぶことは有効だろう。以下、章を追って筆者が現時点で興味深く思った点について記させて頂く。

全体は「第1章 緒論」の後、「第I部 火山の構成物質と構造」として第2-5章、「第II部 火山岩」として第6-8章から構成されている。各章は2-7項からなり、合計28項がたてられている。本文は240頁で平易に書かれており小型版の書籍なので数日で読み通すことができる。第1章の緒論ではまず火山の定義について述べ、目撃された火山活動として Paricutin 火山、昭和新山、磐梯山が取り上げられ要点が簡潔に記載されている。

第2章「火山噴出物」では、火山ガス、溶岩、火山砕屑物、について記載分類学が示されている。P.16には複合溶岩流として網代立岩等が挙げられている。これは上部が斜長石斑晶に富む玄武岩、下部が無斑晶質玄武岩からなり、近くの複合岩脈（中心部が斑晶に富み周囲が無斑晶質）とあわせて観察された。これらは一つのマグマ溜りで結晶沈降により成層した玄武岩マグマが順次噴出

したと理解されているが、そのモデルの当否についてその後より定量的な検討は行われていないようである。2013年12月現在、現地は道が付け替えられているが、新道の立岩トンネルの両端から旧道のトレスを辿り露頭を観察することができる。

火山砕屑物の分類・名称では、Wentworth & Williams (1932) が使われており、横山ほか (1979) 『岩波講座地球科学、火山』や下鶴ほか (2008) 『火山の事典』でも一部修正されて使われているように現在でも有用である。軽石やスコリアと並んで網目状岩滓 (reticulite または thread-lace scoria)、火山豆石 (accretionary lapilli または pisolite)、ペレーの毛 (Pele's hair) やペレーの涙 (Pele's tear) の説明もされている。Mangan & Cashman, (1996) は玄武岩質スコリアや reticulite の発泡組織の記載を行い、スコリアから reticulite を一連の発泡過程の産物と捉え、reticulite は大きな過飽和度で急速な発泡過程で生じるとしている。実際、巨大な溶岩噴泉が生じたキラウエアケアナカコイ噴火初期等で多量のレテイキュライトが見出されている。ただ、実際の溶岩を使って実験的に reticulite を作成した話は聞かない。

第3章「火山の形成と構造」では、まず第7項「火山活動の型式」について記載されている。P.30-32では軽石流、岩滓流についての記述があるが、阿蘇溶岩（火砕流）が1000mの山脈を越えて流下した一方、箱根火山軽石流堆積物の分布から外輪山の低い場所だけを越えて流下したことを指摘しており、大規模火砕流が重力流の特徴を持つことを的確に指摘している。また、P.32には「イグニブライト (ignimbrite) という名が提唱されたが特にこの名を用いる必要は認められない」とある。一単語で大規模火砕流堆積物を表現できるので現在でもイグニブライトという用語は使用されているが、Google Scholarで見ると、ignimbrite (14200件)、pyroclastic flow

\*〒651-2277 神戸市西区美賀多台 6-3-1-2-104  
Mikatadai 6-3-1-2-104, Nishi-ku, Kobe, 651-2277 JAPAN

Corresponding author: Hiroaki Sato  
e-mail: hsato47@gmail.com

deposit (29600 件), pyroclastic density current deposit (15100 件) と、研究者により 3 つの用語が使われている状態が続いているようだ。

溶岩台地の記述の部分では「溶岩台地を作る割れ目噴出と通常のせまい火口からの噴出とはその溶岩の量において著しい差違が認められるし、またマグマの性質に於いても一般に相違している。故に両者は本質的に異なる現象であるように見える」(p. 37) とある。溶岩台地については第 8 項 (p. 48-52) でも取り上げられ、割れ目噴火で生じる場合と中心噴火で生じる場合の区別をしているが、最近、Shatsky rise の Tamu massif がどちらかというところと中心噴火で生じたこととされているのは面白い (Sager *et al.*, 2013)。火星のオリンポス火山等の巨大複成火山も中心噴火である可能性が高い。「台地玄武岩は地下内部に存在する本源マグマ (parental magma) がほぼそのままの成分で地表に噴出したものと考えられている。」とあり結果的には現在の考えに近いのは驚かされる。「軽石流または熱雲堆積物」(p. 38) では「細粉は流下中に軽石片同士の摩擦で生じたものである」という考察があるが、近年になって火道中の破碎の実験的な検討がされている (Dufek *et al.*, 2012)。

第 8 項「火山の形態的並びに構造的分類」ではマールから成層火山、溶岩台地、カルデラ、火山の群集まで具体例を挙げて説明がある。溶岩ドームの成長の記述 (p. 42) で、内生的膨張 (endogenous expansion) として有名なライヤーによる実験と箱根幕山ドームの縞状構造の図が示される (42p)。雲仙岳 1991-1995 年噴火で初期の外生的成長から後期の内生的成長の移行が生じ、その遷移条件として溶岩の粘性と噴出率が重要であることが示唆されている (Nakada *et al.* 1995)。大きな溶岩円頂丘の例として鳥取県大山が取り上げられており「直径約 4 km、高さ 800 m に達する」(P.43) とあるが、久野先生は大山弥山ドームの北壁をご自分で登って 1 枚岩であることを確認したと云っておられた。大山弥山ドームは南の鍵掛峠から見ると緩く東側に傾斜したやや不明瞭な成層構造が認められ、地層として記載した地質図もあるのだが、この漸移的な成層構造の成因については明らかにされていない。

第 9 項「火山活動の原動力」ではマグマ溜りの性質と、その中で揮発性成分の挙動が取り上げられている。特にマグマ溜りでマグマが冷却・結晶化してメルト中に揮発性成分が濃集・飽和して発泡する現象を「第 2 沸騰点, second boiling」として噴火の原動力として考察している。この問題は後に Blake (1984), Tait *et al.* (1989) 等でモデル化されたが、実際の噴火について噴出物からそのような効果の評価がされた例を知らない。一つの複成火山の

長期的な活動経過については、マグマ溜りへの一定供給率でのマグマの供給でその圧力増加⇒噴火のモデルが検討されている (例えば, Miura *et al.*, 2013) が、溜り内部での揮発性成分の飽和の問題は重要ではないものだろうか?最近では熱力学と流体運動を組み合わせたマグマ溜りの進化の計算機シミュレーションも行われるようになっており (例えば, Kuritani, 2009) 今後より見通しが良くなることが期待される。

マグマの発泡の問題については、P.68 で「ガスの析出の一部が何らかの原因でおくれて、マグマの地表流出後にも行われると、熱雲を形成するのではあるまいか。このように考えると、熱雲堆積物が常に多孔質で、熱雲流下中にもたえずガスの放出が続けられた形跡のあることも理解できる」とあるが、Sparks (1978) は粘性の高いマグマでの発泡の遅延について定量的に検討を行い、実際に雲仙岳 1991-1995 年噴火の火砕流 (熱雲) の観察・分析でもそのことが裏付けられた (Kusakabe *et al.*, 1999)。

マグマ溜りの位置について種々の情報を記載した後、P.70 「マグマ溜りの頂部はほとんど常に火山頂上から数 km 乃至 10 km の深さに存在することが判る。」とあるが、近年の測地学、地震学等の知見に照らせてみると結果的にこの推定は良く当たっているように思われる。第 10 項「火山体の破壊」では、きちんと火山体の浸食の問題まで扱っている処がすばらしい。火山体の浸食の問題に限らないが、近年火山地形に赤色立体地図が多く用いられるようになり (千葉, 2011)、久野先生が調べられた箱根火山についても、箱根火山地質図 (日本地質学会, 2009) の表紙の赤色立体地図にあるように、その発達史と地形の浸食状況が良く対応しているのは印象的である。

第 4 章「火山の時代的並びに地理的分布」は、第 11 項「日本及び近隣地域における火山活動の地質時代」、第 12 項「地球上における火山の分布」、第 13 項「日本及び近隣地域における火山の分布」から成る。第 11 項では、福井県のごトランド紀 (現在ではオールドビス紀) の安山岩から始まって、日本列島の主要な各時代の火山岩の産状について纏められている。博物学的ではあるが、地球科学にとっての纏まった一次情報は重要である。火山岩の年代測定はこの本が書かれた頃はまだ殆ど行われていなかったが、最近では K-Ar 法以外にもジルコン U-Pb 年代測定が行われるようになってきている。例えば第三紀下部とされた主に変質火山岩からなる湯ヶ島層群はジルコン U-Pb 年代測定により、より新しい年代であることが判明するようになった (Tani *et al.*, 2011)。久野の主要な業績の一つである鳥弧・沈み込み帯の火山岩化学組成の帯状配列についてはその片鱗が示されている (図 41) ものこの本が書かれた時期にはまだ洞察が及んでいないのは

やむを得ない。沈み込み帯の火山岩化学組成の帯状配列を含めた火成岩の成因の解説は久野 (1971) に記されている。

第5章「地下におけるマグマの活動」は第14項「火山体内部及び直下の貫入岩体」、第15項「一般貫入岩体」とあり、火山の根について多数の実例を含む地質情報が纏められている。火道を代表する岩頸や岩脈の産状について記され、またその下のマグマ溜りを代表すると思われる貫入岩体について分類・記載が行われている。最近では雲仙 1991-1995 年噴火、有珠 2000 年噴火や霧島新燃岳 2011 年噴火等、地球物理学的観測から一つの火山でも複数の溜りが連結したモデルを考えざるを得なくなっているが、それらの溜りがどのような条件で生じ相互作用がどのようにあるものか、まだ火山の地下の状態については解明へは道半ばのように思われる。

第II部「火山岩」、第6章「火山岩の成因」。分類は成因論上重要な規準に基づいて行われるべきであるという考えに従って分類の前に成因の考察を置いている。第16項「マグマから火山岩へ」では「本源マグマ (parental magma)」をすべての火成岩の源となるマグマ、としている。また、斑晶と石基鉱物について、晶出条件として前者は一般に地下深部で高压かつ揮発性成分に富むマグマから晶出したのに対して、石基は1気圧に近い低压で揮発性成分が放出された条件で晶出した違いを指摘している。第17項「火山岩中の主要造岩鉱物」では主要鉱物の結晶化学と安定条件について述べている。

第18項「火成岩成因論概説」では、まず、火成岩成因論の主要問題として、1) 本源マグマの起源並びにその性質、2) 本源マグマから化学成分並びに鉱物組成を異にする各種の火成岩の生成する経路、3) 火成岩が現在の位置を占めるに至るまでの運動様式、4) 火成岩の時間的空間的分布、の4つを挙げている。この本では主に2)と4)について特に火山岩に関するものを取り上げている。マグマの分化作用として、混成作用・同化作用、液相不混和、ソーレー効果、ガスによる物質の運搬、結晶作用を挙げて詳述されている。近年これらの一部については殆ど議論されなくなっているが、例えばガスによる物質の運搬等はまだ解明されていない側面があるように思われる。第19項「珪酸塩溶融体の結晶作用」、第20項「ボーエンの反応原理」はこの本で扱う火成岩成因論の中心的な部分であり詳述されている。記述の中には「結晶の量がある限度以上になると結晶相互の摩擦によってマグマが結晶を運んだままでは流動が出来なくなる。実際に火山岩中の斑晶の容積は岩石全体の50%を超えることは殆どない。」というように、マグマのレオロジーと結晶組織に関する論点も含まれている。最近の火山岩の研究の

多くは、全岩の主成分・微量成分、同位体組成に基づいた議論が多くなされていて、AFCモデル等、得られた結果の解釈で満足する傾向があるように見えるが、個々の分化プロセスの物理過程を追及するような研究はあまり多くはないようだ。Marsh (2013) は岩石学の現状を地球化学的には良くわかってきたが、その物理的な分化過程については‘elusive’とし、明確な定説・モデルが得られていないことを指摘している。

第21項「火山岩における混成作用」として7頁に渡って混成作用について詳述されている。基本的にはBowen (1928) の反応原理に従って、外来物質の混成作用は結晶分化作用を促進することが述べられているが、例えば、灰長石巨晶はアルミナ質岩石の混成作用によるという石川俊夫の考えが引用されている。また、石灰質岩石と玄武岩マグマが反応してある種のアルカリ岩が生じる考えを紹介している。前者に関して、近年の元素分配実験結果からみると、例えば伊豆箱根地方本源マグマ(第14表、CaO=12.25%, Na<sub>2</sub>O=1.21%)からはAn<sub>95</sub>の斜長石は平衡晶出可能だが、天然で認められるAn<sub>96-98</sub>の斜長石の成因は未だ解明されていない。

第22項「最近の火成岩成因論」は本源マグマからどのように他の火山岩が導かれるかという問題について具体的な例を挙げながら久野先生の考え方を纏めている。ピジョン輝石岩系と紫蘇輝石質岩系の関係について、「ピジョン輝石質岩系を生ずるマグマは比較的高温で結晶作用を行なうが、このマグマが珪長質火成岩(または砂岩・頁岩)によって混成されて紫蘇輝石質岩系のマグマを生ずると、この混成部にマグマ中に含まれていた揮発性物質が濃集し、その結果マグマの結晶温度が低下する。」としている。混成作用が重要という判断の元となった一つの要素は汚濁帯を持つ斜長石の成因として混成作用による溶け残り外来結晶と判断されたことにあるが、これは、後にSakuyama (1978)、Tsuchiyama (1985)等によりマグマ混合の証拠として再解釈されることになった。また、2つの岩系の成因について久野先生は1968年の講義ではOsborn (1959)の酸素フェグシテイの違いによる説に影響されておられた。近年ではソレライト系列とカルクアルカリ系列の違いについて、Takahashi *et al.* (2013)は給源物質・本源マグマの違いを示唆している。

第7章「火山岩の分類」は、第23項「火山岩の化学成分とその成因論的意義」、第24項「火山岩の一般的分類法」、第25項「鉄苦土鉱物組合せによる分類法」、第26項「代表的岩型の顕微鏡的性質」、からなる。まだ汎用の化学分析法がない時代、多量の偏光顕微鏡観察に基づく記載岩石学的な分類を提案している。その中で、「火山岩の石基は真の液体マグマの成分を代表するものであ

る。]、「斑晶の量はマグマから晶出したままの量であるとは限らない」と全岩化学組成でマグマ組成を代表させることを戒めている。

第8章「火山岩の時代的並びに地理的分布」は久野先生の1960年代の主要な業績である島弧マグマの帯状配列の萌芽が認められるもの、まだプレート沈み込みの概念もない時代で岩系とブーグ異常との対応から大陸地殻の影響を示唆している。第27項「火山岩の噴出順序」の部分は一つの地域でも火山の噴出順序が生成過程を反映している可能性から検討している。この観点は現在も有効だろう。第28項ではより広域の岩石区の問題を扱っている。

以上は『火山及び火山岩』の第一版に基づいて概述したが、この本は1976年に久城育夫・荒牧重雄両氏による改訂版が出されている。改訂版の序に「本書は故久野久氏御自身の研究を主体にした個性の強いものであり、私達はその特徴を残した方がよいと判断した。そこで改訂を行う際に、私達は主として久野久氏の初版以降の研究を加えることに主眼を置き、その他の改訂は用語以外は必要最小限にとどめることにした。」と記されているように、多くの部分では第一版がそのまま採用されている。ただ、第I部ではカルデラの分類、第II部では火山岩の成因について、23項「玄武岩質マグマの起源」、24項「安山岩質マグマの成因」が書き加えられ、また一部の図表が差し替えられ、考え方が変わった部分の変更されている。

久野先生には、『石の上にも3年』（学生社『地球との対話』）という随想がある（久野，1978）。その冒頭に、「むつかしい問題にぶつかったときでも、じっくり考えさえすれば、遅かれ早かれ何か解決の糸口を見出すことができる」とある。また、同じ随筆集の『アメリカの地質学界』でも、深く考える習慣の重要性、取り組む問題の重要性への反省、他人の講演や論文に対する批評する習慣、等が指摘されている。当方が学生の時授業でもしばしば、より本質的な問題に取り組むことや論文の批判的な読み方の重要性を指摘しておられた。久野先生は若い頃ご自分の調査地域を決める時、富士火山は既に先輩の津屋弘達先生が調査しておられたので箱根火山を調査対象とされたと聞いている。調査の対象・場所が必ずしも重要な訳ではなく、それぞれの具体的な対象から普遍的で重要な問題を考え解決し世界に向けて発信することを実践で示されたように思う。

力不足で不十分な紹介になってしまったが、久野先生の最後の頃の不肖の学生として知人の勧めもあり筆を執らせて頂いた。寅丸敦志「火山」編集委員長と前野深編集委員からは多くの有用なコメントを頂いた。

## 引用文献

- Blake, S. (1984) Volatile oversaturation during the evolution of silicic magma chambers as an eruption trigger. *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, **89**, 8237-8244.
- Bowen, N. L. (1928) *The Evolution of Igneous Rocks*. Princeton Univ. Press, 334p.
- 千葉達朗 (2011) 活火山・活断層 赤色立体地図でみる日本の凹凸. 技術評論社, 150p.
- Dufek, J., Manga, M., Patel, A. (2012) Granular disruption during explosive volcanic eruptions. *Nature Geoscience*, **5**, 561-564.
- 久野 久 (1954) 火山及び火山岩. 岩波書店, 255p.
- 久野 久 (1971) 火山岩成因論. 坪井忠二編「地球の構成」, 岩波書店, 111-144p.
- 久野 久 (1978) 「地球との対話」. 学生社, 1-66.
- Kuritani, T. (2009) The relative roles of boundary layer fractionation and homogeneous fractionation in cooling basaltic magma chambers. *Lithos*, **110**, 247-261.
- Kusakabe, M., Sato, H., Nakada, S., Kitamura, T. (1999) Water contents and hydrogen isotopic ratios of rocks and minerals from the 1991 eruption of Unzen volcano, Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **89**, 197-212.
- Mangan, M. T., Cashman, K. V. (1996) The structure of basaltic scoria and reticulate and inferences for vesiculation, foam formation, and fragmentation in lava fountain. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **73**, 1-18.
- Marsh, B. D. (2013) On some fundamentals of igneous petrology. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **166**, 665-690.
- Miura, D., Arai, K., Toshida, K., Ochiai, T., Tanaka, M.H., Iida, T. (2013) Eruption history, conduit migration, and steady discharge of magma for the past 50,000 yr at Esan volcanic complex, northern Japan. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **125**, 1503-1519.
- Nakada, S., Miyake, Y., Sato, H., Oshima, O., Fujinawa, A. (1995) Endogenous growth of dacite dome at Unzen volcano (Japan), 1993-1994. *Geology*, **23**, 157-160.
- 日本地質学会 (2009) 箱根火山, 国立公園地質リーフレットシリーズ, **1**.
- Osborn, E.F. (1959) Role of oxygen pressure in the crystallization and differentiation of basaltic magma. *Amer. J. Sci.*, **257**, 609-647.
- Sager, W.W., Zhang, J., Korenaga, J., Sano, T., Koppers A.A., Widdowson, M., Mahoney, J.J. (2013) An immense shield volcano within the Shatsky Rise oceanic plateau, northwest Pacific Ocean. *Nature Geoscience*, **6**, 976-981.
- Sakuyama, M. (1978) Evidence of magma mixing: Petrological study of Shirouma-Oike calc-alkaline andesite volcano, Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **5**, 179-208.
- 下鶴大輔ほか (2008) 火山の事典, 第二版, 朝倉書店, 575p.
- Sparks, R.S.J. (1978) The dynamics of bubble formation and growth in magmas: A review and analysis. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **3**, 1-37.
- Tait, S., Jaupart, C., Vergnolle, S. (1989) Pressure, gas content and eruption periodicity of a shallow crystallising

- magma chamber. *Earth Planetary Sci. Lett.*, **92**, 107–123.
- Takahashi, T., Hirahara, Y., Miyazaki, T., Senda, R., Chang, Q., Kimura, J.-I., Tatsumi, Y. (2013) Primary magmas at the volcanic front of the NE Japan arc: Coeval eruption of crustal low-K tholeiitic and mantle-derived medium-K calc-alkaline basalts at Azuma volcano. *J. Petrol.*, **54**, 103–148.
- Tani, K., Fiske, R.S., Dunkley, D.J., Ishizuka, O., Oikawa, T., Isobe, I., Tatsumi, Y. (2011) The Izu Peninsula, Japan: Zircon geochronology reveals a record of intra-oceanic rear-arc magmatism in an accreted block of Izu-Bonin upper crust. *Earth Plan. Sci. Lett.*, **303**, 225–239.
- Tsuchiyama, A. (1985) Dissolution kinetics of plagioclase in the melt of the system diopside-albite-anorthite, and origin of dusty plagioclase in andesites. *Contrib. Mineral. Petrol.* **89**, 1–16.
- 横山 泉・荒牧重雄・中村一明編 (1979) 岩波講座地球科学, 第7巻「火山」, 294 p.
- Wentworth, C.K., Williams, H. (1932) The classification and terminology of pyroclastic rocks. *U.S. Nat. Res. Council, Bull.*, **89**, 19–53.