

西之島の噴火による地形・地質・噴出物の特徴とその変化

前野 深^{1*}、吉本充宏²

Characteristics and change of geomorphology, geology and eruptive materials in the eruption of Nishinoshima volcano, Ogasawara

Fukashi MAENO^{1*} & Mitsuhiro YOSHIMOTO²

1. 東京大学地震研究所 (〒113-0032 東京都文京区弥生 1-1-1)

Earthquake Research Institute, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo, Tokyo 113-0032, Japan.

2. 山梨県富士山科学研究所 (〒403-0005 山梨県富士吉田市上吉田字剣丸尾 5597-1)

Mount Fuji Research Institute, Yamanashi Prefectural Government, 5597-1 Kenmarubi, Kamiyoshida, Fujiyoshida, Yamanashi 403-0005, Japan.

* fmaeno@eri.u-tokyo.ac.jp (author for correspondence)

要旨

2019年9月に小笠原諸島西之島に上陸し、近年の噴火活動により生じた地形や地質、噴出物の調査と試料採取を行った。2017年噴火により島の西側および南西側に流出し、地形を大きく変えた溶岩流は、溶岩膨張割れ目や板状節理の発達など、溶岩の流動と冷却に伴い生じた様々な特徴的な構造や岩相を有する。これらの地質・地形的特徴に加えて、顕微鏡下での岩石学的特徴は2013–2015年噴火の噴出物とよく似ている。化学分析の結果、2017年噴火の噴出物は安山岩であるものの、2013–2015年噴火と全岩化学組成がわずかに異なっていることがわかった。しかしその変化はわずかなものであり、マグマ物性を大きく変えるほどのものではないと考えられる。近年の西之島の噴火活動により、島の地形や地質は大きく変わりつつある。また噴出しているマグマの特徴も活動毎にやや異なる。今後も火山噴出物の特徴とその変化をモニタリングすることにより、噴火現象やマグマ供給系の理解を進めていくことが重要である。

キーワード

安山岩、火山、火山岩、テフラ、溶岩流

1. はじめに

西之島は小笠原諸島の西方約 130 km に位置する火山島である。太平洋プレートがフィリピン海プレート下へ沈み込むことにより形成された伊豆小笠原弧の火山フロントの一部を構成する (図 1)。海面上には陸地がわずかに現れているのみであるが、海底からの比高は 3000 m に達する大型の活火山で、富士山に匹敵する規模の山体を有する。西之島の発見は 1702 年に遡るが、記録に残る噴火は 1970 年代と 2010 年代の噴火のみであり、これ以外に有史に噴火があったかどうかも含めて、火山活動の履歴はよくわかっていない。隔絶された場所にあるため、目撃記録が少ないことや、山体のほとんどは海面下にあるため、海底噴火があったとしても認識されにくいことも火山活動の実態をわかりにくくしている。西之島を構成する火山体の海中部には複数の側火山や側火口が認められ、海面上に現れない活動も繰り返し起こってきたと考えられる。このような背景があり、西之島火山のマグマの特徴や噴火履歴については未知の部分が多かった。そのため、2013 年から始まった近年の噴火活動は、西之島火山のマグマや噴火現象の特徴を知るための貴重な機会を提供しており、一連の活動による噴出物の研究や、火山活動モニタリングの研究が進展しつつある (Maeno *et al.*, 2016; Sano *et al.*, 2016; Shinohara *et al.*, 2017; Tamura *et al.*, 2018; 武尾ほか, 2018; 前野ほか, 2018)。2016 年 9 月には東京大学地震研究所を中心とする研究グループによる上陸調査が行われ、2013–2015 年の活動 (第 1 期と呼ぶ) について多くの火山学的知見が得られたが、その後、2017 年以降の新たな噴火活動 (2017 年噴火を第 2 期、2018 年噴火を第 3 期と呼ぶ) により、西之島の地形や地質は再び大きく変わった (図 2)。我々のグループでは、2019 年 9 月の上陸調査において、未解明である第 2 期以降の火山活動に注目し、新たに噴出した地質、地形、噴出物の特徴とその変化を明らかにすることを目的とした。本論では、2019 年上陸調査およびそれにより得られた結果の概要について述べる。

2. 調査方法・場所

西之島上陸調査は、島西部の A と B の 2 つの地域 (図 1b) において、それぞれ 9 月 3–4 日、9 月 5 日に実施し (図 3)、複数の地点で地質調査および岩石試料の採取を行った (Table 1)。Area A は、西之島の中で最も海浜が発達した場所であり、わずかに残存している旧島、2014–2015 年噴出の溶岩、2017 年噴出の溶岩 (北ローブ群) を含む。Area B は、2017 年以降に新たに発達した砂礫浜とそれを取り巻くように分布する 2017 年噴火による溶岩 (北ローブ群および南西ローブ群)、そしてわずかに残存している 2014 年溶岩を含む。

Area A では、旧島を中心とした地質調査により、第 1 期溶岩と第 2 期溶岩の境界部 (図 4) の把握や、第 2 期溶岩の内部構造の記載、溶岩試料の採取、および旧島上に堆積したテフラ

の記載、試料採取を行った。また、西岸の北部では第1期（2014年11–12月頃）に流出した溶岩の記載と試料採取を行った。この北部地域は、2016年調査の際には海岸に沿ってのアクセスは不可能であったが、第2期活動により海岸地形が大きく変わった結果、徒歩でアクセスが可能になった。また、西岸の南部では第2期溶岩流（北ローブ群）の調査および試料採取を行った。

Area Bは、第2期溶岩北ローブ群と南西ローブ群の中間に位置し、比較的大きい砂礫浜が発達している。ここでは、両ローブ群の代表的な場所で地質調査を行い、溶岩の内部構造や表面形態の観察（図5）、試料採取を行った。また一部の溶岩については、ボートからの直接試料採取および至近距離での溶岩構造の観察を行うことにより、広域で溶岩の特徴を把握することができた（図1b）。

3. 解析・分析結果

3-1. 溶岩の分布・構造の特徴

西之島の地形の特徴として、溶岩流により形成された無数の溶岩ローブ地形が挙げられる。ローブとは、溶岩流先端の舌状・袋状の構造を意味し、粘性をもった溶融体の流動に伴い形成される特徴的な構造である。西之島の第1期活動では、溶岩流の先端や側方で何度も分岐が起き、それぞれの支流の先端でローブが形成され、これを繰り返すことにより起伏に富んだ特徴的な溶岩地形を形成した（図1）。溶岩流は冷却に伴い表面に皮殻が形成され、先端ほど流動しにくくなる。これにより溶岩の内圧が高まり、最終的にローブ表面には亀裂が生じ、パウンドケーキのような割れ目（溶岩膨張割れ目）が形成される。こうした膨張割れ目の発達の様子は2013–2015年噴火の際に観察されていた（Maeno *et al.*, 2016）。2017年の活動の際にも衛星写真の解析により、多くの溶岩流において多数の細かい支流や溶岩ローブが観察されていたが（Kaneko *et al.*, 2019）、溶岩表面や内部構造の特徴の詳細な解析は解像度的に難しかった。上陸調査では、新溶岩の分布を確認するとともに、これらの溶岩ローブを複数の箇所を観察し、表面や内部構造の詳細や膨張割れ目の特徴を観察した。第1期、第2期活動ともに、溶岩表面の大きな亀裂は花卉のように左右に大きく拡がり、よく似た特徴を有していた（図6）。また、海岸付近のいくつかの典型的な溶岩ローブでは、その中心軸から同心円状に板状節理が発達しており、玉ねぎの断面のような構造を形成していることがわかった（図7）。このような節理や構造の特徴は、冷却時の収縮により同心状の亀裂が生じる、あるいは熱い溶岩が外側から冷却・固結して皮殻を形成する一方で、内部はまだ流動性を保ち前進するため、皮殻にせん断応力がはたらき、その結果流動と同じ方向に亀裂を生じる、などのプロセスにより発達した可能性がある。また、溶岩流表面のクリンカー部分も第1期溶岩と同様の特徴を有しており、発泡度が良い塊状のものから、平板状で細かい棘状の突起が表面に発達しているものなど、様々なタイプが観察された（図8）。

溶岩の化学組成は後述するようにほぼ一様であるが、発泡度や気泡形態などの細かい組織は図9のように多様である。とくに板状節理が発達した箇所の溶岩には、亀裂と同方向のフ

オリエンション(面構造)が発達しているようであり、その構造や微細組織は特徴的である。

3-2. 旧島上テフラ

2013年以前から唯一残存している旧島上では、土壌層を基底とし、スコリア質降下テフラが表層に認められた。テフラ層厚は場所によって異なるが、10–30 cm 程度である。堆積物は少なくとも6枚のユニットに区分できる(図10)。下位ユニットは、主に塊状無層理で比較的淘汰の良い粗粒火山灰からなるが、直径1 cm を超える高発泡度のスコリア質火山礫も含まれる(Layer 1–4)。その上位に、数mmの褐色層を挟み、上位は層厚数mmから数cmの薄い細粒火山灰層の積み重なりからなる成層構造を有する。2016年上陸調査の際にも旧島上のテフラの調査が行われており、下位層と同様の堆積物の特徴が記載され、2013–2015年噴火の堆積物と解釈されている(前野ほか、2017)。今回の調査では、これらの堆積物の上位に新たな堆積ユニット(Layer 5, Layer 6)を確認した。この堆積物は、第2期以降の噴火活動による堆積物と考えられるが、2018年の活動は短期間で規模もかなり小さいことから、大部分は2017年の第2期活動およびその後の風成作用により形成された堆積物と考えられる。

3-3. 噴出物の岩石学的特徴

2017年噴出物のうち代表的な溶岩試料について岩石薄片を作成し、偏光顕微鏡観察を行ったところ、斑晶鉱物は斜長石、単斜輝石、直方輝石および不透明鉱物で、その割合は10 vol.%以下と微量であった(図11)。石質部分の結晶度は高く、主に斜長石が晶出している。この特徴は第1期溶岩とよく似ている。また、2017年溶岩12試料を含む、上陸調査で採取した代表的試料の全岩化学組成を、東京大学地震研究所の蛍光X線分析装置により分析した。この結果を踏まえて、これまでの西之島の活動による噴出物の化学組成について整理した結果を図12に示す。なお、用いたデータは、上記の2017年溶岩試料に加えて、第1期2013–2015年噴出物(2016年10月および2019年9月上陸調査時に西之島西岸北部で採取した溶岩およびスコリア)、第2期2017または2018年噴出物(2019年6月にドローン調査時において2018年火口付近から採取したスコリア1試料)である。

化学分析の結果の詳細や解釈については別論文にて述べる予定であるが、今回の分析および従来のデータとの比較の結果、第2期以降の噴出物の全岩化学組成はわずかではあるが、これまでの噴火と異なっていることがわかった。第2期以降の噴出物は、第1期噴出物よりMgOなどにやや富む一方、SiO₂などにやや乏しい。これまで2013–2015年噴出物のみの分析において、化学組成の弱い時系列変化があることは認識されていたが(前野ほか、2016)、2017–2018年における化学組成の変化は、その時系列変化に対応した変動である可能性があり、今後さらに詳しく検討する必要がある。

4. 考察・まとめ

本調査により西之島第2期活動の地形や地質、噴出物の概要を把握することができた。遠

隔からの観測により第2期の溶岩地形の特徴は、第1期の溶岩とよく似ていることが示唆されていたが (Kaneko *et al.*, 2019)、上陸調査による直接の観察によっても、溶岩膨張割れ目や板状クリンカーの発達など、第1期溶岩と極めてよく似た特徴が観察された。この比較結果は、両活動ではマグマ組成が変化していないことを想起させるが、化学分析の結果、第2期活動では全岩化学組成がわずかに異なっていることがわかった。しかしこの化学組成の違いはわずかなものであり、マグマの物性を大きく変えるほどのものではないと考えられる。そのため、上空から観察された溶岩の流動や定置、構造などの巨視的特徴は、第1期と第2期で類似していると考えられる。

これまでの2013–2015年噴出物中の斑晶鉱物の分析から、近年の噴火によるマグマは、浅部低温マグマ溜りと深部高温マグマ溜りに由来し、浅部マグマ溜りは深部マグマの複数回の注入プロセスを受けていることが推定されている (前野ほか、2018)。このマグマ供給系の描像を考慮すると、全岩化学組成の時間変化の特徴は、時間経過とともにより深部に由来する苦鉄質マグマの寄与が大きくなっていることを示唆する。この変化傾向が継続していくかどうかも含め、2019年12月に活動を再開した西之島のマグマの特徴を詳しく調べるのが今後の課題の一つである。

近年の西之島の噴火活動により、島の地形や地質は大きく変わりつつある。また、噴出しているマグマも活動毎にやや異なるという特徴がある。今後も火山噴出物とその変化をモニタリングすることにより、西之島の噴火活動による陸域の変化だけでなく、地下のマグマ供給系の理解も進めていくことが、西之島火山の全体像を明らかにする上で重要であろう。

5. 謝辞

西之島上陸調査およびそれにもとづく本研究は、環境省による令和元年度西之島総合学術調査および東京大学地震研究所所長裁量経費によるサポートを受けて実施された。岩石試料の全岩化学分析に関しては、東京大学地震研究所安田敦准教授、外西奈津美技官の協力頂いた。記して感謝します。

6. 引用文献

- Kaneko T, Maeno F, Yasuda A, Takeo M & Takasaki K (2019) The 2017 Nishinoshima eruption: combined analysis using Himawari-8 and multiple high-resolution satellite images. *Earth, Planets and Space* 71: 140.
- Maeno F, Nakada S & Kaneko T (2016) Morphological evolution of a new volcanic islet sustained by compound lava flows. *Geology* 44: 259–262.
- 前野 深・中野 俊・吉本 充宏・大湊 隆雄・渡邊 篤志・川上 和人・千田 智基・武尾 実 (2017) 新火山島の初上陸調査 西之島 (東京都小笠原村) — (日本の露頭・景観 100 選) . 地学雑誌 126: N1–N13.
- 前野 深・安田 敦・中野 俊・吉本 充宏・大湊 隆雄・渡邊 篤志・金子 隆之・中田 節也・

- 武尾 実 (2018) 噴出物から探る西之島の新火山島形成プロセス. 海洋理工学会誌 24(1): 35–44.
- 小坂 丈予 (1975) 西之島火山の活動とその観測 (続) . 地質ニュース 246: 1–9.
- 小坂 丈予・大平 洋子・湊 一郎 (1974) 西之島付近海底噴火について (その3) . 火山 19: 37–38.
- Sano T, Shirao M, Tani K, Tsutsumi Y, Kiyokawa S & Fujii T (2016) Progressive enrichment of arc magmas caused by the subduction of seamounts under Nishinoshima volcano, Izu-Bonin Arc, Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 319: 52–65.
- Shinohara M, Ichihara M, Sakai S, Yamada T, Takeo M, Sugioka H, Nagaoka Y, Takagi A, Morishita T, Ono T & Nishizawa A (2017) Continuous seismic monitoring of Nishinoshima volcano, Izu-Ogasawara, by using long-term ocean bottom seismometers. *Earth, Planets and Space* 69: 159.
- 武尾 実・大湊 隆雄・前野 深・篠原 雅尚・馬場 聖至・渡邊 篤志・市原 美恵・西田 究・金子 隆之・安田 敦・杉岡 裕子・浜野 洋三・多田 訓子・中野 俊・吉本 充宏・高木 朗充・長岡 優 (2018) 西之島の地球物理観測と上陸調査. 海洋理工学会誌 24(1): 45–56.
- Tamura Y, Ishizuka O, Sato T & Nichols ARL (2018) Nishinoshima volcano in the Ogasawara Arc: new continent from the ocean? *Island Arc* 2019;28:e12285. doi: 10.1111/iar.12285.
- 海野 進・中野 俊 (2007) 『父島列島地域の地質. 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研究センター, 71p.

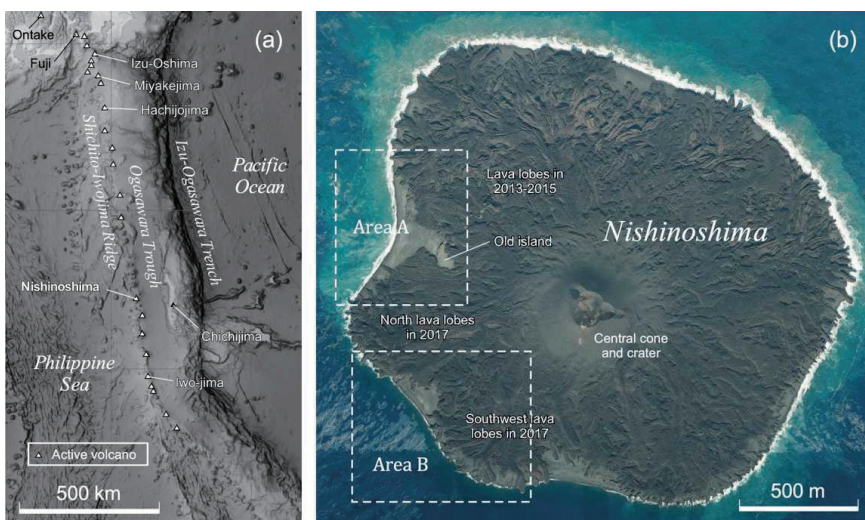


図1 (a) 西之島の位置およびテクトニックセッティング (b) 国土地理院による空中写真 (2018年12月1日撮影)。

Figure 1. (a) Location and tectonic setting of Nishinoshima volcano. (b) Aerial photo of Nishinoshima, taken on 1 December 2018 by Geospatial Information Authority.

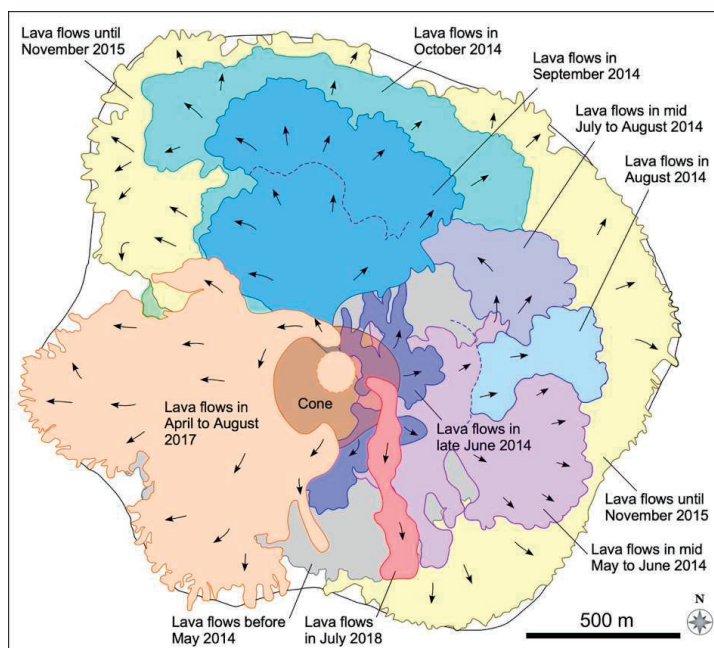


図2. 2019年9月上陸時点での西之島の地質図

Figure 2. Geological map of Nishinoshima at the time of landing survey in September 2019

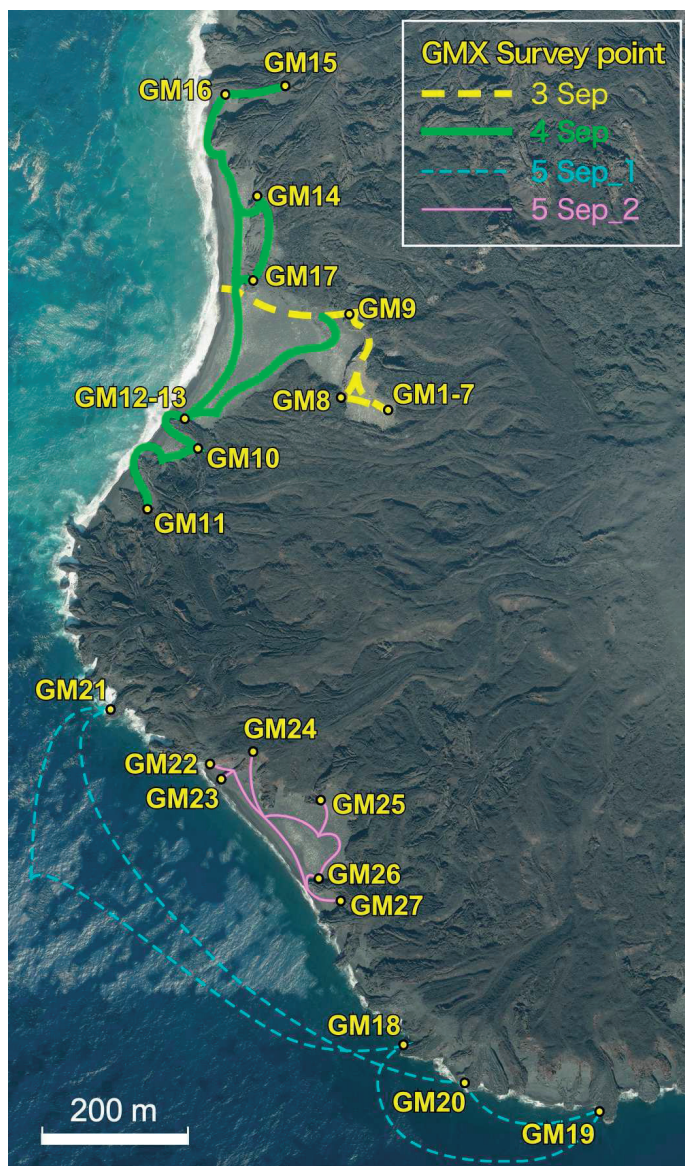


図3. 西之島西部の拡大と西岸および南西岸の調査ルートマップおよび試料採取位置
 Figure 3. Magnification of the western part of Nishinoshima. Route map and sampling locations at the west and southwest coasts of the island.



図 4 旧島上の溶岩の分布の様子 (2014 年と 2017 年溶岩の境界部 GM1-7 付近)
Figure 4. Lava flows on the old Nishinoshima (The boundary between the 2014 and 2017 lava flows, near GM1-7)



図 5. 南西岸 B 地域における 2017 年溶岩の断面 (基底部に板状節理が発達する GM22 付近)
Figure 5. A cross section of the 2017 lava in the southwestern coast (Area B. Platy joints are developing in the basal part of the lava. Near GM22)

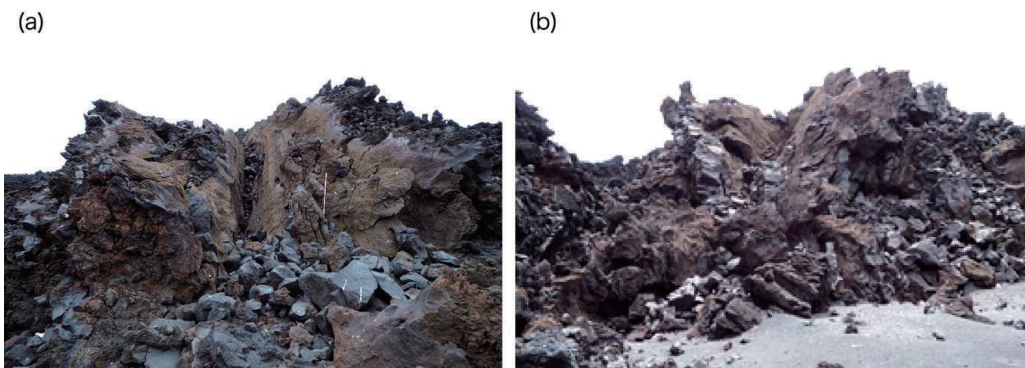


図 6. (a) 2014 年溶岩に発達した溶岩膨張割れ目 (GM15 付近)
 スケールは 1 m。 (b) 2017 年溶岩の溶岩膨張割れ目。 GM10 付近。 溶岩の厚さは約 3 m。
 Figure 6. (a) A lava inflation cleft seen in the 2014 lava (near GM15)
 A scale is 1 m. (b) A lava inflation cleft seen in the 2017 lava (near GM10). The thickness of lava is
 about 3 m.



図 7. 南西海岸に見られる溶岩流の断面
 板状節理が発達し、たまねぎ状構造を呈する。
 Figure 7. A cross section of lava flow seen in the southwestern coast
 Platy joints are developing concentricly, making an onion-like structure.

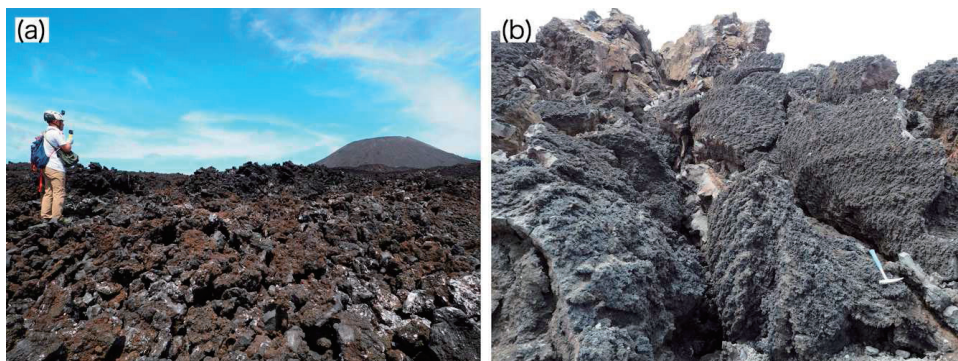


図 8. 2017 年溶岩表層を構成するクリンカー (a) GM24 付近、(b) GM10 付近

Figure 8. Clinker consisting the surface of the 2017 lava, (a) near GM24 and (b) near GM10

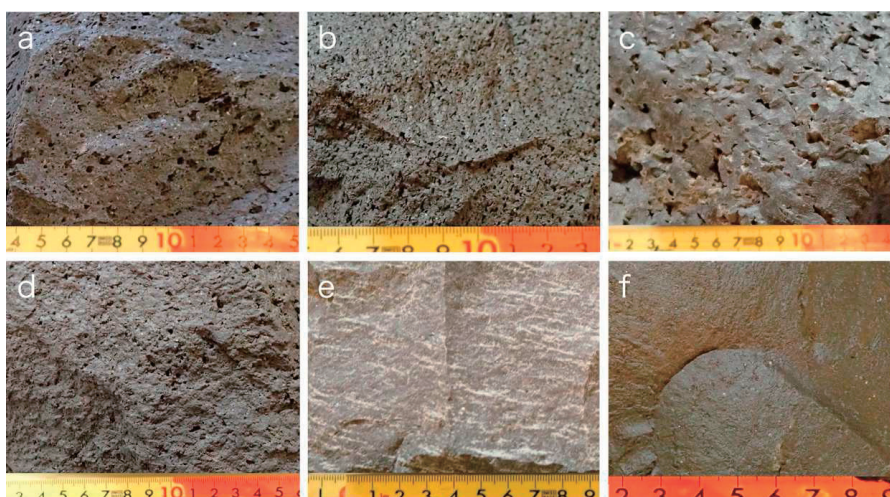


図 9. 様々な岩相を示す西之島溶岩

(a) GM8: 2017 年溶岩のクリンカー部。(b) GM12: 西岸南部における 2017 年溶岩 (北ローブ群) の石質部。(c) GM13: 西岸南部における 2017 年溶岩 (北ローブ群) のガラス質部分。(d) GM15: 西岸北部における 2014 年溶岩の石質部。(e) GM22: 南西岸における 2017 年溶岩 (北ローブ群) の板状節理部分。(f) GM27: 南西岸における 2017 年溶岩 (南西ローブ群) の緻密なガラス質部分。

Figure 9. Various lithofacies of Nishinoshima lava

(a) GM8: A clinker part of the 2017 lava; (b) GM12: A lithified part of the 2017 lava (N-lobes) in the south of the west coast; (c) GM13: A glassy part of the 2017 lava (N-lobes) in the south of the west coast; (d) GM15: A lithified part of the 2014 lava in the north of the west coast; (e) GM22: A platy joint part of the 2017 lava (SW-lobes) in the southwest coast; (f) GM27: A dense glassy part of the 2017 lava (SW-lobes) in the southwest coast.

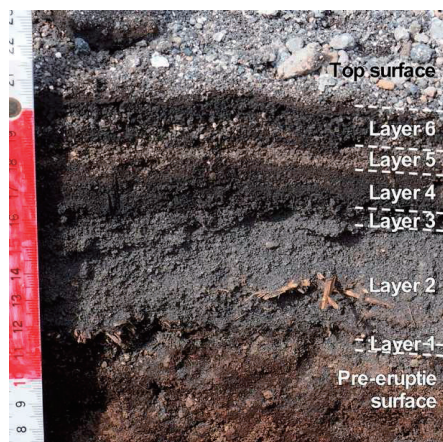


図 10. 西之島旧島上のテフラの様子

Figure 10. Tephra layers consisting the surface of the old Nishinoshima.

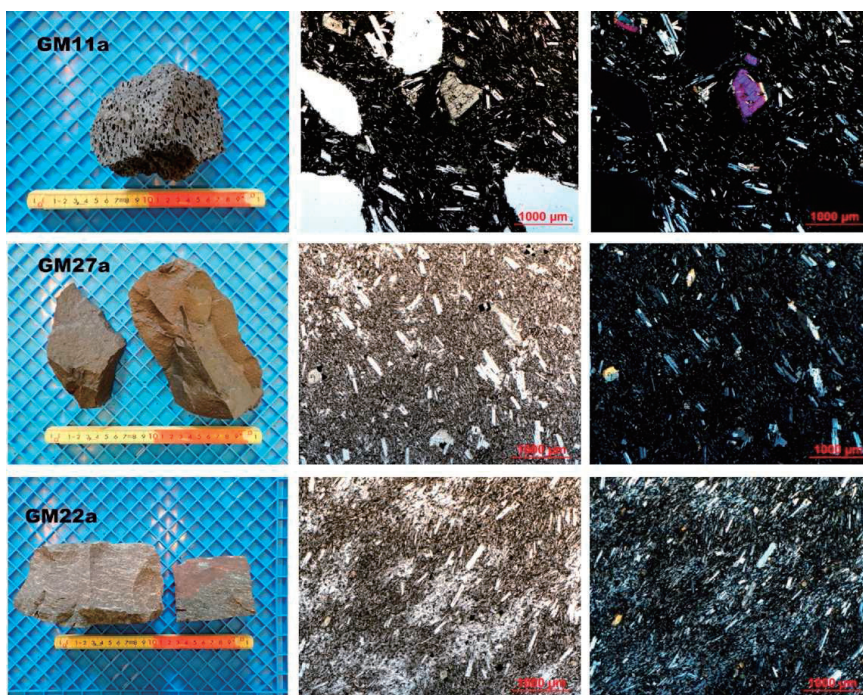


図 11. 西之島溶岩の薄片顕微鏡写真

上から順に GM11、GM27、GM22 の岩石試料。中央はオープンニコル、右はクロスニコルによる撮影。

Figure 11. Microscopic photos of Nishinoshima lavas

GM11, GM27 and GM22 from upper. Center is one nicol, and right is crossed nicol.

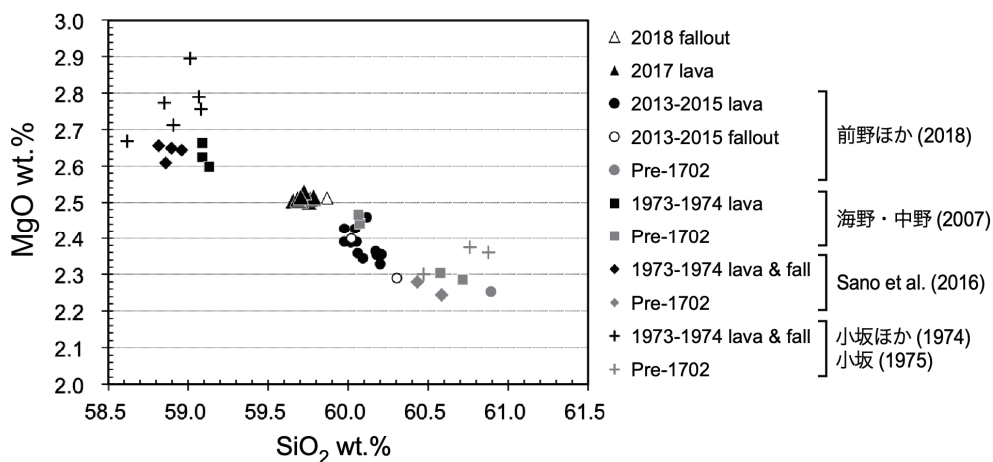


図 12. 西之島噴出物の全岩化学組成

2017–2018 噴出物は、2013–2015 噴出物より MgO にやや富み、化学組成で区別できる。

Figure 12. Whole rock chemical composition of eruptive materials of Nishinoshima.

The 2017–2018 eruptive materials are richer in MgO than the 2013–2015 ones, and can be discriminated from others in chemistry.

表1 2019年西之島上陸調査で採取した代表的岩石試料

Table 1 Representative rock samples collected during the 2019 landing survey at Nishinoshima

Sample No.	Loc. No.	Location	Type	Latitude	Longitude	Eruption time
NSH2019090301	GM01	On old island	Scoria	27°14'45.14"N	140°52'24.37"E	Early 2014
NSH2019090302	GM03	On old island	Scoria	27°14'45.28"N	140°52'23.92"E	Early 2014
NSH2019090303	GM08	On old island	Lava	27°14'44.30"N	140°52'23.96"E	2017/4/17-4/28
NSH2019090304	GM09	Old island	Lava	27°14'49.16"N	140°52'22.46"E	Unknown
NSH2019090401	GM10	South of W coast	Lava	27°14'43.48"N	140°52'15.23"E	2017/4/17-4/28
NSH2019090402	GM11	South of W coast	Lava	27°14'40.67"N	140°52'12.89"E	2017/6/16-7/31
NSH2019090403	GM12	South of W coast	Lava	27°14'44.55"N	140°52'14.73"E	2017/4/17-4/28
NSH2019090405	GM14	On new flat	Lava	27°14'54.31"N	140°52'18.03"E	2014/11/9-12/23
NSH2019090406	GM15	North of W coast	Lava	27°14'59.02"N	140°52'19.17"E	2014/11/9-12/23
NSH2019090407	GM16	North of W coast	Lava	27°14'58.61"N	140°52'16.42"E	2014/11/9-12/23
NSH2019090501	GM18	SW coast	Lava	27°14'17.80"N	140°52'25.46"E	2017/5/1-6/5
NSH2019090502	GM19	SW coast	Lava	27°14'15.00"N	140°52'34.81"E	2017/5/1-6/5
NSH2019090503	GM20	SW coast	Lava	27°14'16.11"N	140°52'28.45"E	2017/5/1-6/5
NSH2019090504	GM21	SW coast	Lava	27°14'31.94"N	140°52'11.05"E	2017/6/6-6/15
NSH2019090505	GM22	SW coast	Lava	27°14'29.68"N	140°52'16.22"E	2017/6/6-6/15
NSH2019090506	GM23	SW coast	Lava	27°14'29.16"N	140°52'16.76"E	2017/6/6-6/15
NSH2019090508	GM25	SW coast	Lava	27°14'28.23"N	140°52'21.13"E	2017/6/6-6/15
NSH2019090509	GM26	SW coast	Lava	27°14'24.72"N	140°52'21.22"E	2017/5/1-6/5
NSH2019090510	GM27	SW coast	Lava	27°14'23.83"N	140°52'22.33"E	2017/5/1-6/5

SUMMARY

Characteristics and change of geomorphology, geology and eruptive materials in
the eruption of Nishinoshima volcano, Ogasawara

Fukashi MAENO^{1*} & Mitsuhiro YOSHIMOTO²

1. Earthquake Research Institute, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo, Tokyo 113-0032, Japan.
2. Mount Fuji Research Institute, Yamanashi Prefectural Government, 5597-1 Kenmarubi, Kamiyoshida, Fujiyoshida, Yamanashi 403-0005, Japan.

* fmaeno@eri.u-tokyo.ac.jp (author for correspondence)

Landing survey at Nishinoshima was carried out in September 2019, and geomorphology, geology and eruptive materials from the recent eruptions at this volcano were investigated. Lava flows that effused to the western and southwestern sides of the island in 2017 have characteristic structures such as lava inflation cleft and platy joints. In addition to these structures, lithofacies and microscopic features are also similar to the 2013–2015 lavas. Petrological observation and geochemical data suggest that the 2017 products are andesite as in the 2013–2015 eruption. Although the whole rock chemical composition of the 2017 products is slightly different from that of 2013–2015, the difference is too little to make a significant change on physical properties of magma. The eruptive activity of Nishinoshima has changed geomorphology and geology drastically, and the magma erupted is also not the same throughout the eruption time. Monitoring eruptive materials and their change will be important in understanding eruptive phenomena and magma supply system of Nishinoshima volcano.

Key words

Andesite, Lava flow, Tephra, Volcano, Volcanic rock