

西之島周辺海域における火山活動に伴う海水組成変化[†]

佐藤 泉^{*1}, 小野智三^{*2}, 森下泰成^{*3}, 濱崎翔五^{*4}, 高橋日登美^{*5},
野上健治^{*6}

Temporal change in chemical composition of seawater around
Nishinoshima volcano according to volcanic activity[†]

Izumi SATO^{*1}, Tomozou ONO^{*2}, Taisei MORISHITA^{*3},
Shogo HAMASAKI^{*4}, Hitomi TAKAHASHI^{*5}, and Kenji NOGAMI^{*6}

Abstract

Nishinoshima volcano on the Izu-Ogasawara volcanic front began intense volcanic activity in November 2013 after approximately 40 years of quiescence. The Japan Coast Guard investigated the chemical compositions of the seawater around Nishinoshima to monitor temporal and spatial variations related to the volcanic activity. Seawater sampling was conducted by the S/V *Shoyo* and the autonomous survey vehicle (ASV) *Manbo II* in June-July 2015 and by S/V *Shoyo* in May 2016.

There were no remarkable azimuthal dependence of variation in pH values and the concentration of F, Cl and SO₄ of the seawater samples collected in 2015 and 2016. Most pH values of the seawater samples collected in 2015 were about 8.0 and significantly lower than the pH of the reference seawater sampled far from Nishinoshima. On the other hand, the pH values of all the seawater samples collected in 2016 were about the same value as that of the reference point. This suggests that the influence by the acidic hydrothermal water emissions from Nishinoshima appeared over a wide area around Nishinoshima in 2015 and that the influence in 2016 was reduced.

[†] Received July 17, 2017; Accepted August 30, 2017

* 1 海洋調査課 海洋防災調査室 Geodesy and Geophysics Office, Hydrographic Surveys Division

* 2 海洋調査課 海洋防災調査室 Geodesy and Geophysics Office, Hydrographic Surveys Division
(現職 海上保安学校 Now at Japan Coast Guard School)

* 3 海洋調査課 海洋防災調査室 Geodesy and Geophysics Office, Hydrographic Surveys Division
(現職 第三管区海上保安本部 海洋情報部 Now at Hydrographic and Oceanographic Department, 3rd
R.C.G. Hqs.)

* 4 海洋調査課 Hydrographic Surveys Division (現職 海上保安大学校 Now at Japan Coast Guard Academy)

* 5 海洋調査課 海洋防災調査室 Geodesy and Geophysics Office, Hydrographic Surveys Division
(現職 技術・国際課 Now at Technology Planning and International Affairs Division)

* 6 東京工業大学理学院火山流体研究センター Volcanic Fluid Research Center, School of Science, Tokyo
Institute of Technology



Fig. 2. Volcanic activity of Nishinoshima volcano. (a) Nov. 20, 2013, (b) Nov. 22, 2013. (c) Aug. 26, 2014, (d) Nov. 17, 2015, (e) Nov. 25, 2016 and (f) May 2, 2017.

図2. 西之島の噴火活動. (a) 2013年11月20日, (b) 2013年11月22日, (c) 2014年8月26日, (d) 2015年11月17日, (e) 2016年11月25日, (f) 2017年5月2日.

3 採水・分析

海上保安庁では、噴火が活発であった2015年6月24日から7月7日までの期間に測量船「昭洋」と特殊搭載艇「マンボウII」により、また、噴火が沈静化していた2016年5月4日から5月6日までの間に測量船「昭洋」で西之島周辺海域の採水調査を行った（本報では以下、それぞれの調査を2015年調査、2016年調査とする）。

2015年調査では、噴火警報に基づく警戒範囲が火口から半径4 km以内であったため、その内側では無人航行する特殊搭載艇「マンボウII」を用いて海岸線から200–875 mの距離において火口を中心に方位角約30度毎に採水作業を行った（Fig. 3）。また、火山活動の影響を受けていない海水の組成との比較を行うため、火口から約30 km離れた点を参照点として、測量船「昭洋」により採水バケツを用いて採水を行った。

2016年調査では、噴火警報に基づく警戒範囲が火口から半径1.5 km以内に狭まったため、西之島の火口から半径1.7 km、方位角45度毎の8点において、測量船「昭洋」により採水バケツを用いて採水した。参照点は、西之島の火口から南東方向に6.8 km離れた1点とした。採水点及び

参照点の位置を Fig. 3 に示す。

pH は、採水後に直ちに船上で計測を行い、pH計測器（HORIBA D-51）を使用して測定した。フッ化物イオン濃度（F⁻濃度）、塩化物イオン濃度（Cl⁻濃度）および硫酸イオン濃度（SO₄²⁻濃度）（本報では以下、イオン価数を省略する）については、下船後に東京工業大学理学院火山流体研究センター草津白根火山観測所にて測定した。フッ化物イオン濃度は、Tsuchiya *et al.* (1985) によるトリメチルシリル化蒸留法によりフッ素を単離後、イオン選択性電極を用いて定量した。塩化物イオン濃度および硫酸イオン濃度は、希釈後、イオンクロマトグラフを用いて定量した。

4 結果及び考察

2015年調査と2016年調査の結果として、pH、F濃度、Cl濃度、SO₄濃度、F/Clモル比、Cl/SO₄モル比と火口からの方位及び距離との関係を Table 1 及び Table 2, Fig. 4, Fig. 5 にとりまとめた。

上記2回の採水調査時の西之島の火山活動状況は大きく異なり、2015年調査時はストロンボリ式噴火が断続的に繰り返され溶岩流が海に流入す

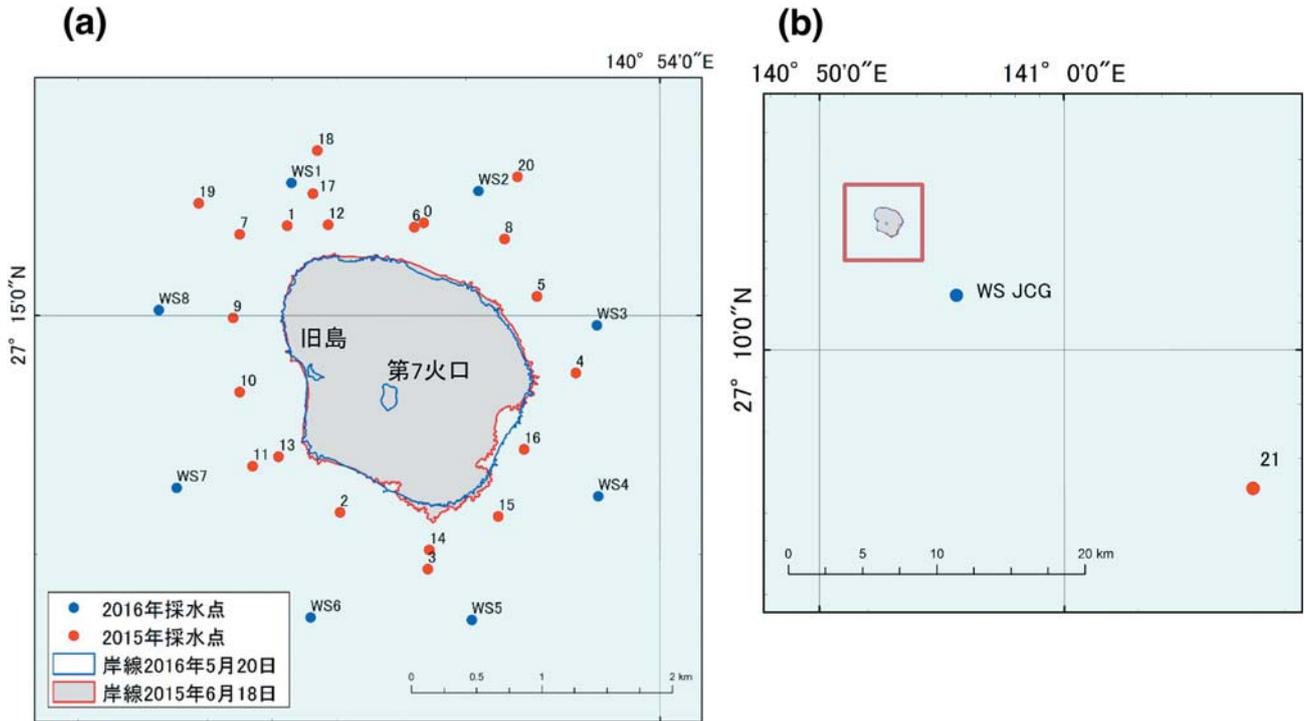


Fig. 3. Positions of sampling points (a) and reference points (b). Red and blue dots correspond to the surveys in 2015 and 2016, respectively.

図3. 採水点 (a) および参照点の位置 (b). 赤点は2015年, 青点は2016年の採水点を示す.

Table 1. Result of seawater sampling in June–July 2015.

表1. 2015年6月–7月採水調査分析結果.

採水点名	採取日	緯度	経度	pH	F [ppm]	Cl [ppm]	SO ₄ [ppm]	F/Cl(10 ⁻⁴ モル比)	Cl/SO ₄ (モル比)
0	2015/6/26	27-15.39N	140-52.90E	7.98	1.39	18900	2600	1.37	19.7
1	2015/6/26	27-15.38N	140-52.27E	8.00	1.57	18400	2630	1.59	18.9
2	2015/6/26	27-14.18N	140-52.52E	7.95	1.13	18900	2620	1.12	19.5
3	2015/6/26	27-13.94N	140-52.92E	7.97	1.38	19200	2620	1.34	19.8
4	2015/6/29	27-14.76N	140-53.61E	8.11	1.37	19100	2630	1.34	19.7
5	2015/6/29	27-15.08N	140-53.43E	8.10	1.39	18900	2630	1.37	19.4
6	2015/6/29	27-15.37N	140-52.86E	8.06	1.37	19600	2650	1.31	20.0
7	2015/6/29	27-15.34N	140-52.05E	8.01	1.35	19200	2560	1.31	20.3
8	2015/6/30	27-15.32N	140-53.28E	7.97	1.39	19600	2620	1.33	20.2
9	2015/6/30	27-14.99N	140-52.02E	8.01	1.35	19800	2620	1.27	20.4
10	2015/6/30	27-14.68N	140-52.05E	8.01	1.35	19800	2630	1.27	20.4
11	2015/6/30	27-14.37N	140-52.11E	8.00	1.34	19700	2630	1.27	20.3
12	2015/7/1	27-15.38N	140-52.46E	7.91	1.34	17400	2600	1.44	18.1
13	2015/7/1	27-14.41N	140-52.23E	8.02	1.35	18300	2610	1.38	19.0
14	2015/7/1	27-14.02N	140-52.93E	8.00	1.27	18300	2600	1.30	19.0
15	2015/7/1	27-14.16N	140-53.25E	8.00	1.35	18300	2610	1.38	19.0
16	2015/7/1	27-14.44N	140-53.37E	7.99	1.25	18400	2580	1.27	19.3
17	2015/7/3	27-15.51N	140-52.39E	8.01	1.27	18400	2620	1.29	19.0
18	2015/7/3	27-15.69N	140-52.41E	8.10	1.27	19100	2620	1.24	19.7
19	2015/7/3	27-15.47N	140-51.86E	8.03	1.39	18200	2610	1.43	18.9
20	2015/7/3	27-15.58N	140-53.34E	8.01	1.27	18900	2580	1.26	19.8
21	2015/6/27	27-04.9N	141-7.7E	8.20	1.39	19900	2580	1.31	20.9

Table 2. Result of seawater sampling in May 2016.

表 2. 2016 年 5 月採水調査分析結果.

採水点名	採取日	緯度	経度	水温[°C]	pH	F [ppm]	Cl [ppm]	SO ₄ [ppm]	F/Cl(10 ⁻⁴ モル比)	Cl/SO ₄ (モル比)
WS1	2016/5/6	27-15.56N	140-52.29E	24.3	8.23	1.43	19500	2710	1.37	19.5
WS2	2016/5/6	27-15.52N	140-53.16E	23.9	8.18	1.66	19700	2690	1.57	19.8
WS3	2016/5/6	27-14.96N	140-53.71E	24.0	8.19	1.68	19400	2720	1.62	19.3
WS4	2016/5/6	27-14.24N	140-53.71E	23.7	8.23	1.68	19700	2700	1.59	19.7
WS5	2016/5/6	27-13.73N	140-53.13E	24.6	8.22	1.56	19800	2720	1.47	19.7
WS6	2016/5/6	27-13.74N	140-52.38E	24.6	8.21	1.54	19800	2720	1.45	19.7
WS7	2016/5/6	27-14.28N	140-51.76E	24.4	8.24	1.57	19900	2720	1.47	19.8
WS8	2016/5/6	27-15.02N	140-51.67E	24.5	8.23	1.56	19900	2720	1.46	19.8
WSJCG	2016/5/6	27-12.02N	140-55.60E	24.3	8.22	1.47	19800	2730	1.39	19.6

るなど活発な噴火活動がみられていた (Fig. 6a) が、2016 年調査時は山頂火口付近に噴気が認められるのみで火山活動は縮退傾向にあった (Fig. 6b). 以下において、得られた分析結果と火山活動の推移との関連性について考察する.

4.1 方位による変化

2015 年調査時、南東、東側海岸で溶岩が海に流れ込んでいたが (Fig. 6a)、pH や塩化物イオン濃度のばらつきは大きいものの海水組成に方位による系統的な偏りは見られなかった. 海水中に流入する溶岩の先端から放出される熱水よりも、島とその周辺の海底全体から放出される熱水が大量に存在し、海水組成を変化させていたことが示唆される.

4.2 距離による変化—変色水域との比較

航空機を用いた目視観測によると、2015 年 6 月 18 日にはごく薄い黄緑色の変色水が海岸線に沿って幅 100–200 m で分布していた (Fig. 7). 一方で、西之島周辺海域の海水の pH や成分濃度は、海岸から約 1 km 離れた点でも参照点の海水に比べて顕著な変化が現れていた (Fig. 4a, 4b). 変色水は、地下から湧出した火山性の酸性溶液が海水と接触・混合して生じたケイ酸、アルミナ、酸化鉄、構造水を主体とした非晶質に近い微細粒子の懸濁によるものである (小坂, 1991) ため、粒子が沈殿することにより分布範囲は限られると考えられるが、変色水域よりも広い範囲に熱水による海水組成の変化が生じていることがわかった.

変色水域の分布状況 (Fig. 7) を見ると、海岸線付近が濃く、海岸線から離れるにしたがって薄くなるため、海岸線付近で熱水が湧出して変色水が生成され風や潮流により広がることが考えられる. しかし、西之島周辺海域で採取された海水組成については、海岸線からの距離に依存した系統的な変化は現れなかった.

4.3 酸性熱水の影響の時間変化

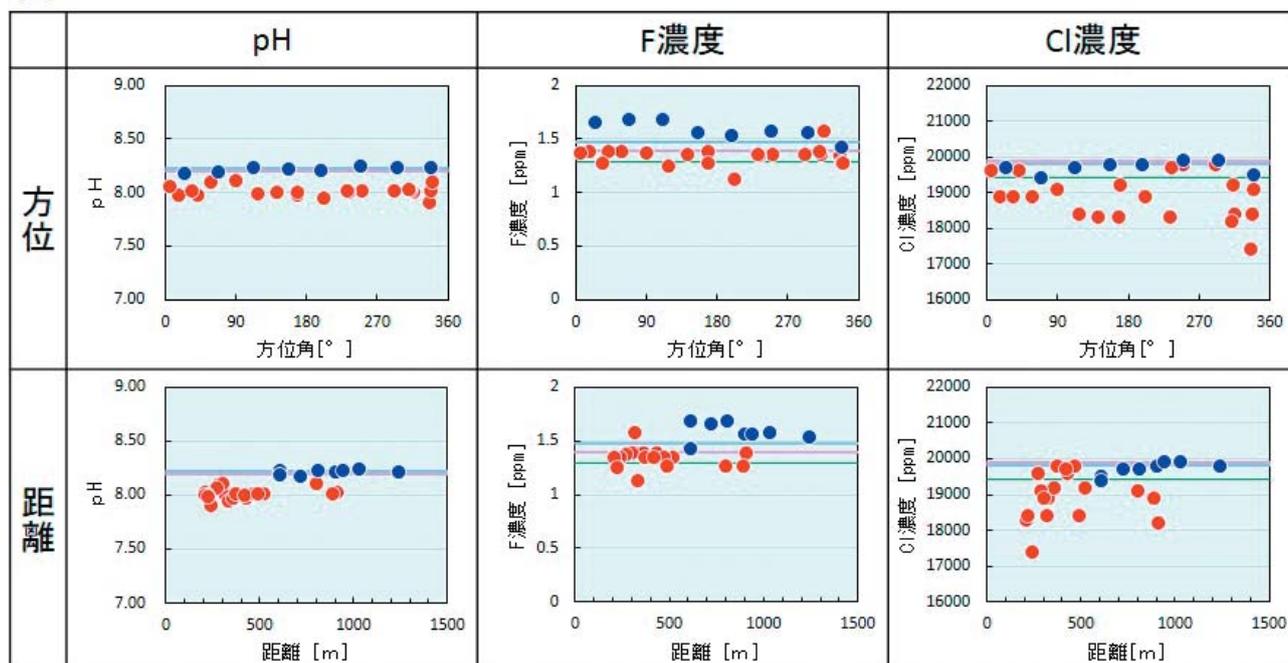
2015 年調査で採水した海水試料の pH は、参照点に比べ酸性側になっていた. 一方、2016 年調査で採水した海水試料の pH は参照点と同程度であった (Fig. 4a). このことから、2015 年調査時には西之島周辺の広範囲に酸性の熱水の影響があったが、2016 年調査時は 2015 年に比べて熱水の影響が小さくなったことが示唆される.

2015 年調査で採水した海水試料は、参照点の海水と比べて F/Cl モル比が高いのに対して、Cl/SO₄ モル比は明らかに低い. これに対して、2016 年調査で採水した試料は、参照点の海水と比べて F/Cl モル比は高いが、Cl/SO₄ モル比はほぼ等しくなっている (Fig. 4b). すなわち、2015 年調査時に西之島から放出されていた熱水は、海水と比べて Cl に対して F に富みかつ SO₄ に非常に富んでいたことから、高温の火山ガスの影響を強く受けていたと考えられ、2016 年調査時になると放出される熱水は高温の火山ガスの影響を強く受けていないものと推察される (Fig. 8).

5 結論

2015 年 6 月 24 日から 7 月 7 日までと、2016 年

(a)



(b)

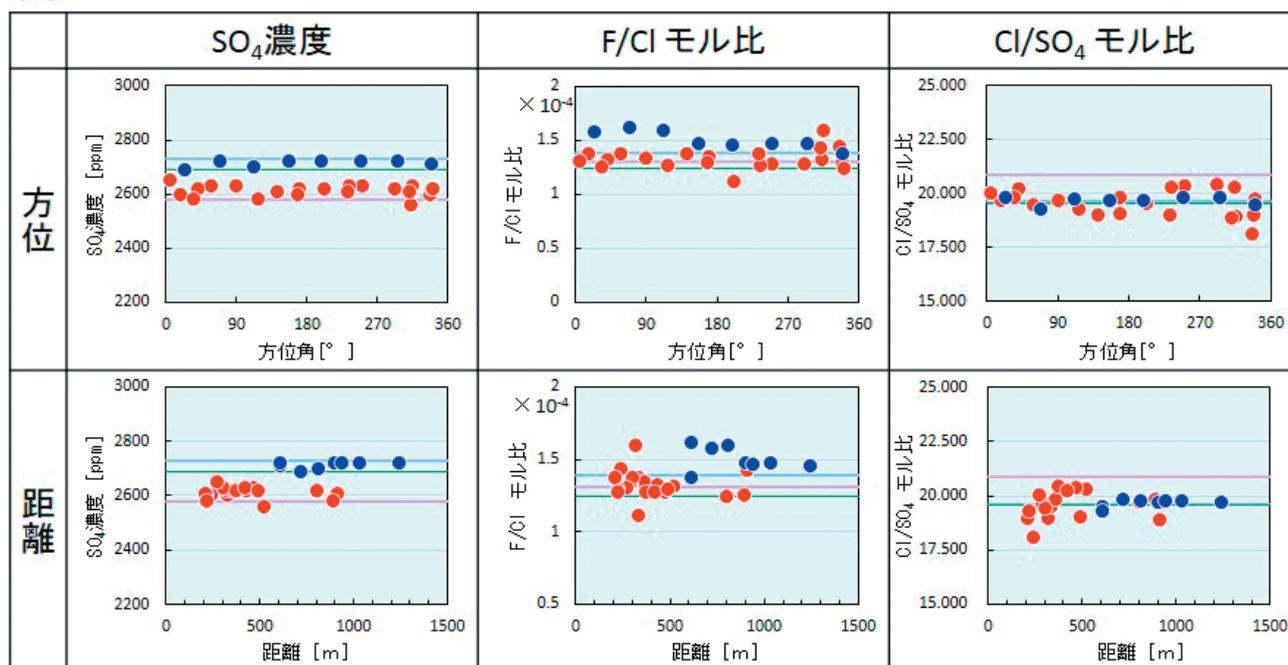


Fig. 4. Seawater composition around Nishinoshima volcano. (a) pH, F concentrations, Cl concentrations, (b) SO₄ concentrations, F/Cl molar ratios, Cl/SO₄ molar ratios. Red and blue dots correspond with analysis results on each sampling point from 2015 and 2016 respectively. Red and blue lines correspond with analysis results on each reference points from 2015 and 2016 respectively. Green line indicates the seawater composition based on *Chronological Scientific Tables*.

図 4. 西之島周辺海域の海水組成。(a) pH, F 濃度, Cl 濃度, (b) SO₄ 濃度, F/Cl モル比, Cl/SO₄ モル比。赤点は 2015 年, 青点は 2016 年の西之島周辺の採水点の分析結果, 赤線は 2015 年, 青線は 2016 年の参照点の分析結果, 緑線は理科年表による海水組成を示す。

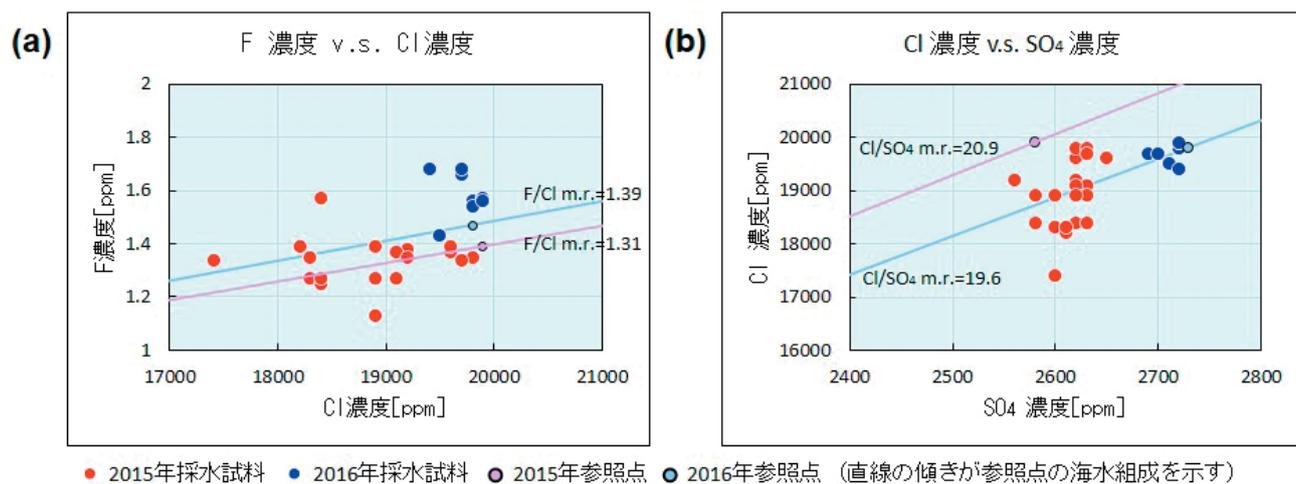


Fig. 5. Seawater composition around Nishinoshima volcano. (a) F/Cl molar ratio, (b) Cl/SO₄ molar ratio. Red and blue dots correspond with analysis results from 2015 and 2016 respectively. Red and blue lines correspond with analysis results on each reference points from 2015 and 2016 respectively.

図 5. 西之島周辺海域の海水組成. (a) F/Cl モル比, (b) Cl/SO₄ モル比. 赤点は 2015 年, 青点は 2016 年の分析結果, 赤線は 2015 年, 青線は 2016 年の参照点の分析結果.

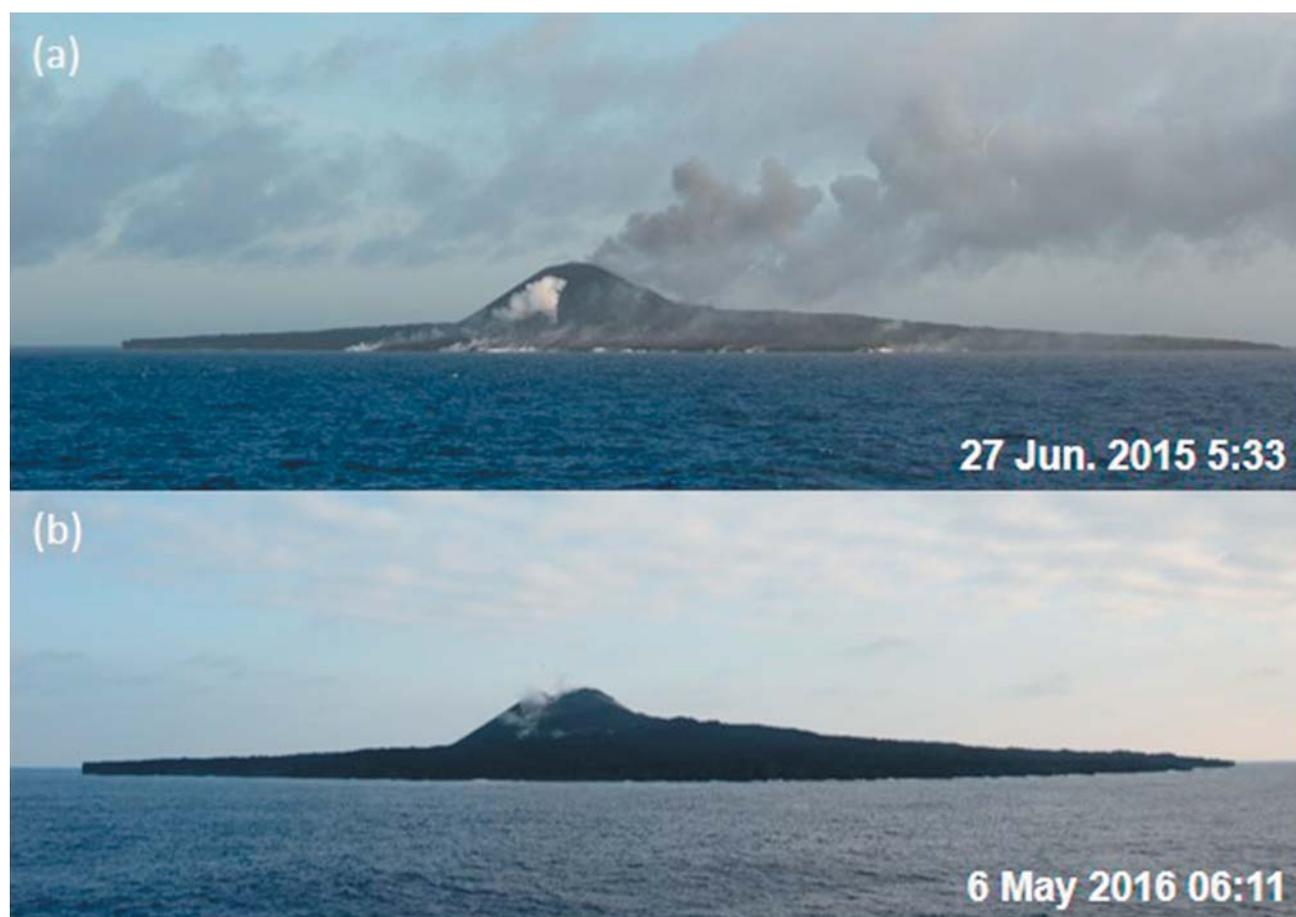


Fig. 6. Volcanic activity of Nishinoshima. (a) June 27, 2015, (b) May 6, 2016.

図 6. 調査時の西之島の活動状況. (a) 2015 年 6 月 27 日, (b) 2016 年 5 月 6 日.

5月4日から5月6日までの期間に西之島火山周辺海域での採水調査を行った。2015年調査時には西之島は活発な噴火活動を繰り返していたが、2016年調査時には火山活動が縮退傾向にあった。採水調査結果から、溶岩流の先端から放出される熱水よりも、島とその周辺の海底全体から放出される大量の熱水により海水組成が変化していることがわかった。また、2015年調査時には酸性の高温火山ガスの影響を強く受けた熱水が大量に放出されていたが、2016年調査時に放出されていた熱水は高温の火山ガスの影響を強く受けておらず、その放出量も著しく減少していたと考えられる。しかし、西之島は2017年4月に再び活発な火山活動を開始し、7月現在においても活動は続いている。今後も、海水組成の変化を注意深く監

視していく必要がある。

謝 辞

本調査にあたり、測量船「昭洋」の船長ほか乗組員の方々には、調査機器の運用を安全に遂行していただいたことに感謝いたします。

文 献

青木斌・小坂丈予 (1974) 海底火山の謎 西之島踏査記, 250pp, 東海大学出版会, 東京都.
 小坂丈予 (1991) 日本近海における海底火山の噴火, 279pp, 東海大学出版会, 東京都.
 海上保安庁海洋情報部, 海域火山データベース (西之島), <http://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/kaiikiDB/kaiyo18-2.htm>.
 国土地理院, 国土地理院における西之島付近の噴火活動関連情報のページ, <http://www.gsi.go.jp/gyoumu/gyoumu41000.html>.
 Kentaro TSUCHIYA, Takashi IMAGAWA, Kazuhisa YAMAYA, and Minoru YOSHIDA (1985) Separation of microamounts of fluoride coexisting with large amounts of aluminum and silica by improved trimethylsilylating distillation, *Analytica Chimica Acta*, 176, 151-159.



Fig. 7. Volcanic activity of Nishinoshima on June 18, 2015.

図7. 2015年6月18日の西之島火山の活動状況。

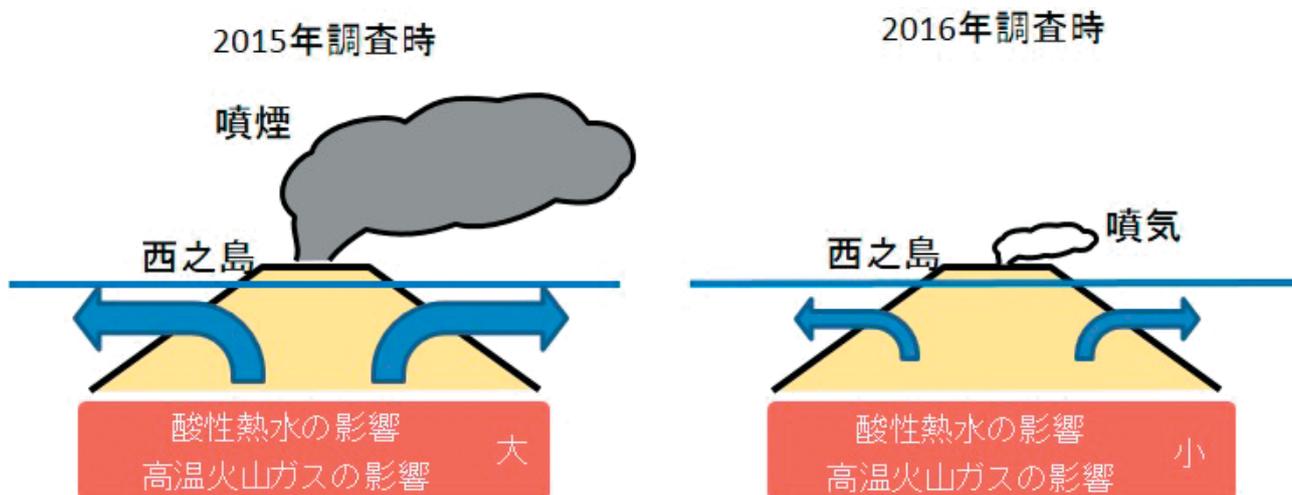


Fig. 8. Schematic image of hydrothermal change in seawater composition.

図8. 西之島火山から放出される熱水組成変化のイメージ。

森下泰成・小野智三・濱崎翔五・高橋日登美・野上健治 (2015) 西之島火山の調査航海結果 (速報), 日本火山学会 2015 年秋季大会講演予稿集, 183.

国立天文台編 (2015) 理科年表 平成 28 年, 1098pp, 丸善出版, 東京都.

要 旨

2013 年 11 月に約 40 年ぶりに活発な火山活動を再開した西之島の周辺海域において, 2015 年 6 - 7 月と 2016 年 5 月に採水調査を実施した. 西之島が活発な噴火活動を繰り返していた 2015 年調査時には, 酸性の高温火山ガスの影響を強く受けた熱水が大量に放出されていた. その後の火山活動が縮退傾向であった 2016 年調査時には, 放出されていた熱水は高温の火山ガスの影響を強く受けておらず, その放出量も著しく減少していたことがわかった.