

2018 年～2019 年口永良部島新岳の噴火活動

Eruptive Activity of the Shindake Volcano on Kuchinoerabu Island, Kyushu, Japan from 2018 to 2019

篠原英一郎¹, 菅井明², 森健彦³, 中村政道²

SHINOHARA Eiichiro¹, SUGAI Akira², MORI Takehiko³, and NAKAMURA Masamichi²

(Received January 4, 2021: Accepted October 7, 2021)

ABSTRACT: The Shindake volcano on Kuchinoerabu island, Kyushu, Japan erupted on August 3, 2014 for the first time in 34 years. An eruption on May 29, 2015 caused pyroclastic flows to reach more than 2 km from the crater. There was a lull in activity from 2016 to 2017, but eruptive activity resumed from October 2018 to February 2019, and the pyroclastic flow reached about 2 km during the eruption on January 17, 2019.

During the eruptive activity from October 2018, variation in the intensity of eruption depended on variation in the blockage of a shallow portion of the volcanic vent. Variation in the precursory phenomenon caused by the difference in the blockage of the volcanic vent was found to be proportional to the explosive force of the eruption.

1 はじめに

口永良部島は、鹿児島県薩摩半島の南方約 90km に位置する安山岩質の火山島である (Fig. 1). 過去 1 万年間の噴火は、主に新期古岳火山と新岳火山 (以下古岳・新岳と記載する) で発生しており、大量の溶岩を流出させる噴火が複数回あったことが知られている (下司・小林, 2006). また、古岳・新岳ともに山頂部は成層した火砕物堆積物に覆われており、ブルカノ式噴火が繰り返し発生していたと考えられている (下司・小林, 2006).

歴史時代には、新岳火口及び火口近傍で、1841 年以降数十年間隔で噴火の記録があり、大きな噴石の飛散や小規模な火砕流を伴っていた (気象庁, 2013). 特に 1933 年の噴火では、多数の赤熱岩塊が火口の東側へ飛散し、直撃を受けた 8 名が死亡するとともに、七釜集落の全 15 戸が全焼する被害が発生した (本間, 1934). このように、高温のマグマ物質が放出されたと考えられる噴火もあるが (下司・小林, 2006), 1945 年や 1980 年には火口近傍に割れ目を形成する水蒸気噴火も発生している (気象庁, 2013).

1991 年に京都大学が定常的な地震観測を開始して

以降、地震活動は比較的低調な期間が長かったが、1999 年に火山性地震の回数が増加し、その後毎年のように活発化がみられるようになった (井口・他, 2007). また、2004 年以降の京都大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所 (以下産総研と記載する) 及び気象庁による GNSS 観測では、長期的に緩やかな山体膨張がみられる中で、短期の急激な膨張が何度か観測されていた (産総研・京都大学, 2014). 2003 年には前年までみられなかった噴気が新岳火口内で確認され、その後噴気量は緩やかながら増加の一途を示した (福岡管区気象台・鹿児島地方気象台, 2004). 2006 年から始まった二酸化硫黄放出量観測では、当初、放出量は数十 ton/day 以下で推移していたが、2008 年や 2011 年には地震活動の活発化に引き続いて、一時的に 200 ton/day 程度まで増加する変化がみられた (福岡管区気象台・鹿児島地方気象台, 2012). 1999 年以降、各種観測データが断続的に火山活動の活発化を示していた中で、2014 年 8 月 3 日に 34 年ぶりとなる噴火が発生した.

2014 年 8 月 3 日の噴火は、短期及び直前の観測データに変化がほとんどみられなかったが、より噴火規模

¹ 福岡管区気象台地域火山監視・警報センター, Regional Volcanic Observation and Warning Center, Fukuoka Regional Headquarters

² 地震火山部火山監視課, Volcanic Observation Division, Seismology and Volcanology Department

³ 気象研究所火山研究部, Volcanology Research Department, Meteorological Research Institute

が大きくなった 2015 年 5 月 29 日の噴火前には、数ヶ月～数日単位での各種データの変化が観測されている。

2014 年の噴火直後より、それまで数十 m であった平均噴煙高は数百 m まで上昇するようになり、二酸化硫黄放出量も数十 ton/day から数百 ton/day へと増加していった。2014 年 12 月になると、二酸化硫黄放出量は 1,000 ton/day 以上に急増し、GNSS 連続観測では新岳火口を挟む基線での伸びが見え始めた (Fig. 2)。このような活動変化がみられる中、噴火の約 4 か月前の 2015 年 1 月 24 日には、新岳火口の西側約 1km の深さ約 5km が震源と推定されるマグニチュード 2.2 の地震が発生し、島内で震度 1 が観測された (Fig. 3)。島付近が震源と推定される地震で震度 1 以上を観測したのは、1999 年の地震活動活発化以降初めてのことであった (福岡管区気象台・鹿児島地方気象台, 2015)。3 月からは火口浅部で発生する低周波地震が増加し、本村西に設置された高感度カメラでは、新岳火口西側に火映が捉えられるようになった (Photo. 1)。多くの観測データがマグマ性流体の浅部への上昇を示す中、5 月 23 日に新岳火口の西側約 1km の深さ約 0km が震源と推定されるマグニチュード 2.3 の地震が発生し、島内で震度 3 を観測した (Fig. 3)。火山活動には、ほぼ全ての観測項目で活発化がみられていたが、この地震発生の数日前から、地熱域の温度低下や二酸化硫黄放出量の数百 ton/day 台への減少など、表面現象の活動低下が起こっていた (福岡管区気象台・鹿児島地方気象台, 2015)。この表面現象の見かけの活動低下とは対照的に、火口浅部の地震活動は噴火の直前まで活発な状態であった。

2015 年の活動では、噴火が 6 月 18 及び 19 日にも発生したが、それ以後、火山活動は低下し、小康状態で推移した。火口浅部の地震は 8 月中旬頃まで多い状態が継続したもののそれ以降次第に減少した。GNSS 基線長は緩やかな山体収縮を示唆する変化となり、噴気温度も低下していった。一方、二酸化硫黄放出量は数百 ton/day 台を維持し、2014 年 8 月以前の状態まで低下しなかった (福岡管区気象台・鹿児島地方気象台, 2015) (Fig. 2)。

火山活動は低下傾向で推移していたが、2018 年 8 月に入ると火山活動に変化が起こった。8 月 11 日に二酸化硫黄放出量が再び 1,000 ton/day を超え、8 月 15 日には 2015 年 1 月とほぼ同じ領域で地震が発生した。その後、2018 年 10 月 21 日に約 3 年ぶりとなる噴火が新岳火口から始まった。本論では、2018 年 10 月～2019 年 2 月の噴火活動に焦点を当て、噴火に至るまでの活動推移、噴火の前後でみられた各種観測データの変化をまとめ、その特徴を明らかにしていく。

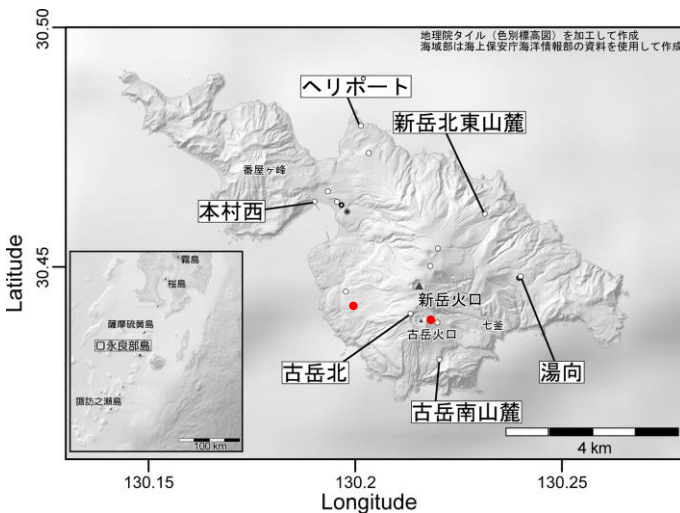


Fig. 1 Map of the volcano on Kuchinoerabu island and the location of observation points.
 (● : Location from where Photo 7 was taken)

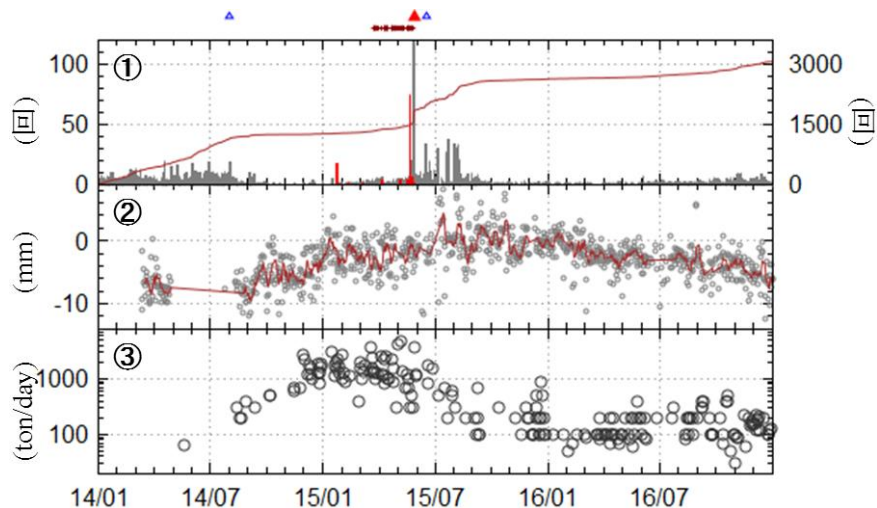


Fig. 2 Graph of a period of volcanic activity on Kuchinoerabu island (January 1, 2014 – December 31, 2016).

(+ : Volcanic glow, Δ : Eruption, ▲ : Explosive eruption)

① Daily number of earthquakes.

(Gray bar: Shallow portion beneath the Shindake crater, Red bar: Western foot of Shindake, Line: Cumulative number of gray bar)

② GNSS baseline (Yumugi to the heliport). (Point: Daily value, Line: Moving average for the previous 7 days)

③ Daily SO₂ emissions.

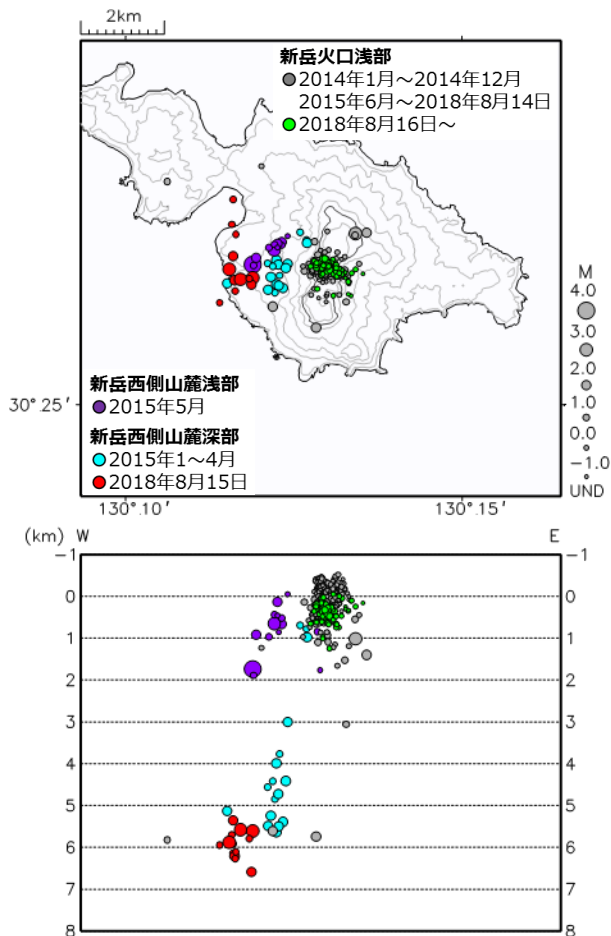


Fig. 3 Distribution of the hypocenter of volcanic earthquakes on Kuchinoerabu island (January 1, 2014 – December 31, 2018).

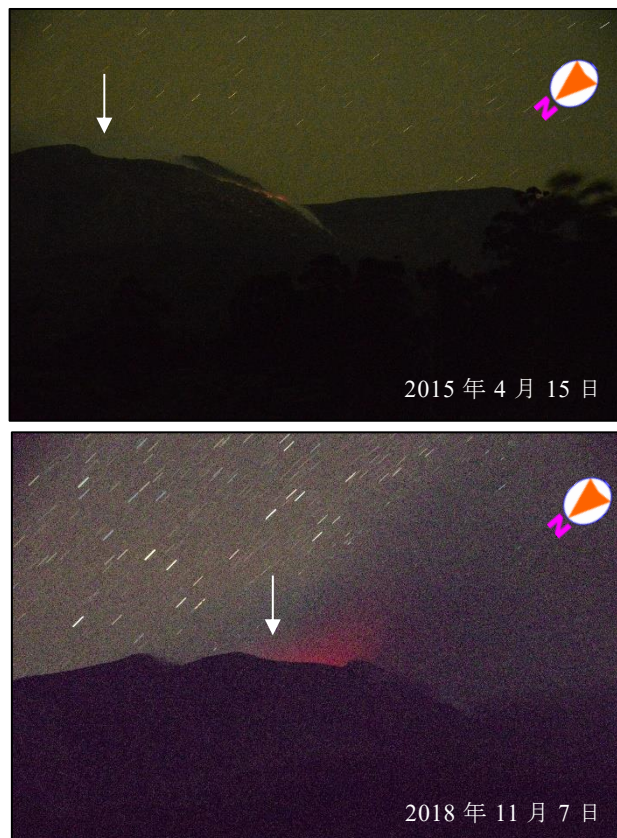


Photo 1 Photograph of the volcanic glow of Shindake taken from Maeda.

(White arrow: Center of the Shindake crater
Shutter speed: Top: 97 seconds,
Bottom 120 seconds).

2 2018 年～2019 年の噴火活動

2.1 2018 年 8 月（噴火活動に先行した現象）

2016 年以降，GNSS 基線長の変化では緩やかな山体収縮がみられていた．この期間，新岳火口浅部を震源とする火山性地震は概ね 5 回/日未満，二酸化硫黄放出量は 500 ton/day 未満で推移していた．しかし，2017 年 11 月頃から地震活動の活発化がみられようになり火山性地震の発生回数が時々 20 回/日を超えていた．また，GNSS 基線長の変化からみられていた緩やかな山体収縮は 2018 年 4 月頃から停滞へ変化した．翌 8 月上旬から二酸化硫黄放出量が 500 ton/day を超え始め，11 日には 1,600 ton/day が観測された．また 8 日と 10 日には火山性地震が 30 回/日を超えるなど，再び複数のデータが 2015 年以来となる活動の活発化を示していた (Fig. 4)．

このように火山活動の高まりがみられる中，8 月 14 日夜から 15 日夜にかけて，新岳火口の西側約 2km の深さ約 5km が震源と推定される地震が繰り返し発生した．特に 15 日 00 時から 05 時にまとまって発生がみられ，地震の規模は最大でマグニチュード 1.9 であった．この領域では地震がほとんど発生しないが，地震波形，走時及び振幅比から 2015 年 1 月 24 日に発生した地震と領域と規模が類似していると推定された (Fig. 3, 5)．これらのことから，福岡管区気象台・鹿児島地方気象台は，2015 年と同クラスの噴火に発展するおそれがあり，かつマグマが浅部へ急速に上昇した場合には噴火までの時間はより短くなると考え，2018 年 8 月 15 日に噴火警戒レベルを 2 (火口周辺規制) から 4 (避難準備) へと引き上げた．その後，8 月 27, 28 日に京都大学，屋久島町及び気象庁が実施した水準測量において，2015 年の噴火前と類似した地盤隆起が認められ，新岳山体直下へのマグマ供給を裏付ける結果となった (京都大学，2018)．

8 月 15 日以降，二酸化硫黄放出量は 500 ton/day 以上の状態が続いていたが，新岳火口付近を震源とする火山性地震は 10 回/日以下へ減少した (Fig. 4)．2015 年噴火前にみられたような GNSS 基線長の伸び，山麓浅部での規模の大きな地震，火口浅部の活発な地震活動，地熱域の広がりや温度の上昇はいずれもみられなかったため，福岡管区気象台・鹿児島地方気象台は規模の大きな噴火が切迫している可能性は下がったと判断し，8 月 29 日に噴火警戒レベルを 4 から 3 (入山規制) へ引き下げた．

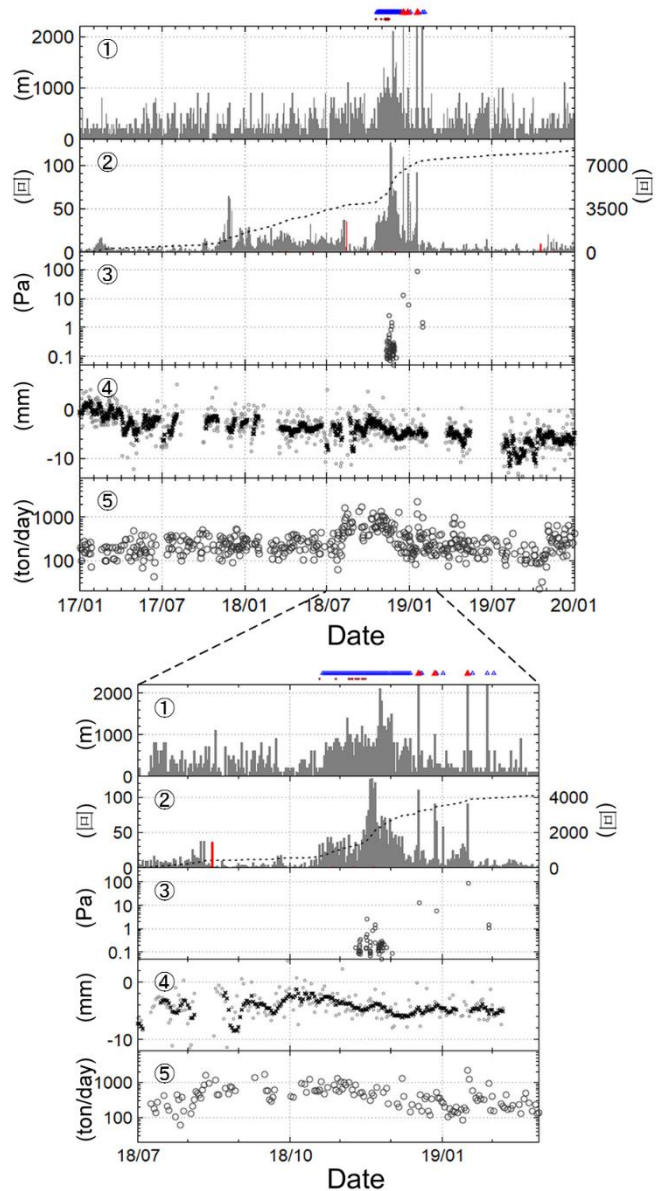


Fig. 4 Graph of a period of volcanic activity on Kuchinoerabu island

(January 1, 2017 – December 31, 2019).

- ① Volcanic plume altitude on the crater edge.
(+ : Volcanic glow, Δ : Eruption, \blacktriangle : Explosive eruption)
- ② Daily number of earthquakes.
(Gray bar: Shallow portion beneath the Shindake crater, Red bar: Western foot of Shindake, Line: Cumulative number of gray bars)
- ③ Maximum amplitude of air shock waves at the Shindakehokutosanroku Observation point.
- ④ GNSS baseline (Yumugi to the heliport).
(\circ : Daily value, \times : Moving average for the previous 7 days)
- ⑤ Daily SO₂ emissions.

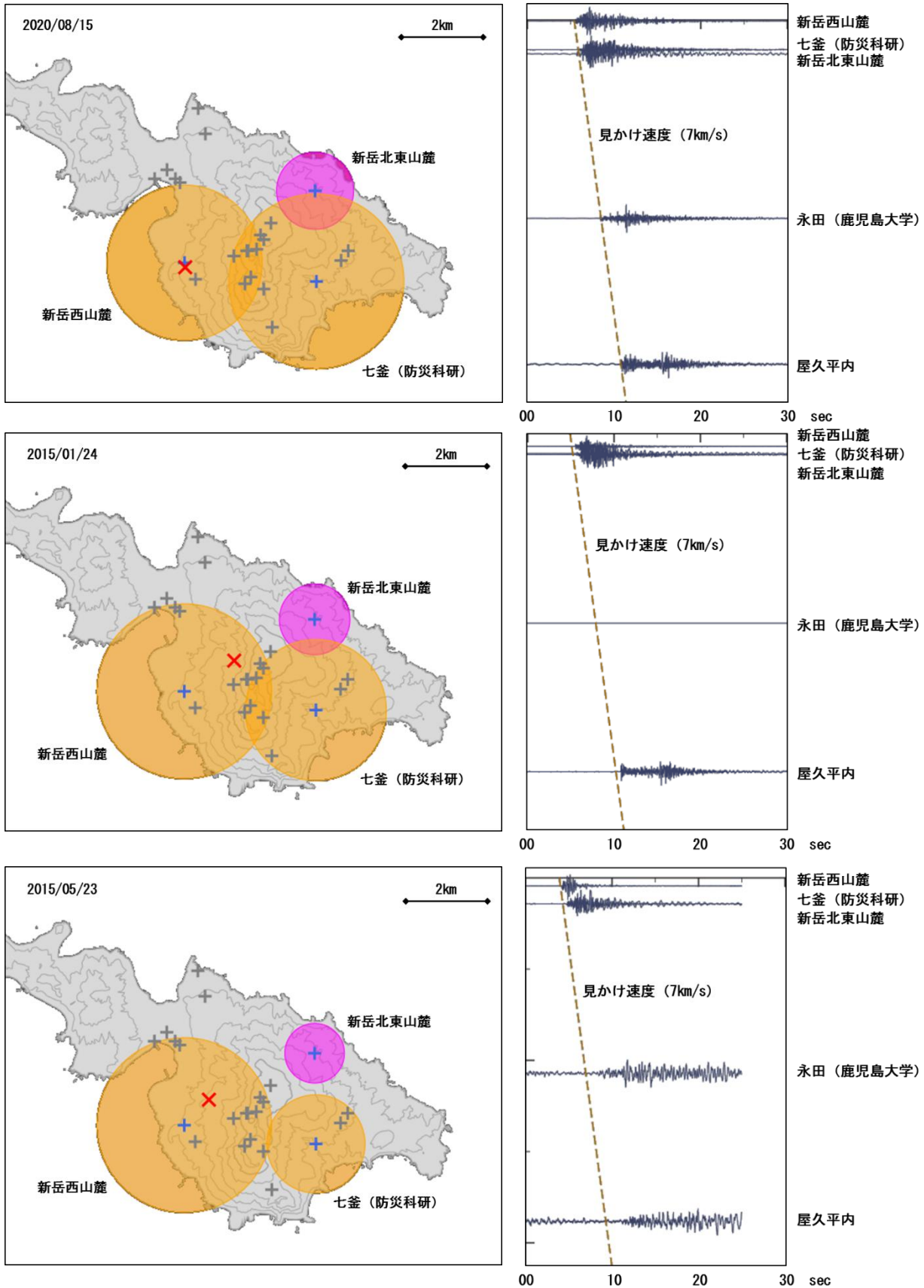


Fig. 5 Amplitude ratio, running time, and waveform of the event at the western foot of Shindake.
 (● : Above ground ● : Buried × : epicenter)

2.2 2018 年 9 月～11 月中旬（噴火直前から噴火活動初期）

9 月以降も引き続き二酸化硫黄放出量の多い状態が続いていたが、火山性地震の発生回数は低下していた。しかし、10 月 19 日に新岳火口付近を震源とする火山性地震が再び 30 回/日を超え、さらに高感度カメラでは 2015 年 5 月 28 日以来となる火映が観測され始めた (Fig. 4)。2015 年の火映は新岳火口西側割れ目でみられていたが、2018 年は新岳火口上で確認された (Photo. 1)。10 月 19 日に観測された地震は、初めに 1～2Hz が卓越する震動が発生し、その後比較的高周波の震動が数十秒間継続するという特徴を持っていた (Fig. 6)。それ以前は、数秒程度で減衰する地震が主体であったが、次第に継続時間が長く火山性微動に近い震動が増加した。

10 月 21 日 18 時 31 分、新岳火口から噴煙を火口縁上 100m まで上げるとごく小規模な噴火が発生した。この噴火以降、12 月 13 日に噴火が停止するまで、数分から数時間間隔で間欠的に噴火が継続した (Photo. 2)。これらの噴火は、大きな噴石の飛散を伴わず、比較的穏やかに火山灰を放出する噴火であった（以下灰噴火と記載する）。灰噴火の活動様式は、地震発生から数十秒遅れて噴煙が上がり次第に弱まりながら数十分継続するというもので、その間欠的な噴火の合間にもわずかな火山灰の放出がみられた (Fig. 7)。

10 月下旬から 11 月中旬にかけての灰噴火前期では、気象庁及び屋久島町が採取した火山灰を産総研が分析したところ、2014 年 8 月 3 日及び 2015 年 5 月 29 日の噴火の火山灰と比較して本質物質の含まれる割合が高く、マグマが関与した可能性が高いとの分析結果が得られた（産総研，2018）。

2.3 2018 年 11 月中旬～12 月上旬（灰噴火後期）

11 月中旬以降、活動に変化が現れはじめた。まず、約 1 ヶ月間断続的に観測されていた火映が 11 月 17 日を最後にみられなくなった。また、二酸化硫黄放出量は 10 月 21 日の噴火開始後も安定して 500 ton/day 以上を保っていたが、徐々に減少し 12 月上旬には 100～400 ton/day 程度に低下した。しかしながら、噴火直後に観測された時には 500 ton/day 以上の値となっており、間欠的な噴火の合間での二酸化硫黄放出量が減少していたと考えられる (Fig. 4)。噴火時の噴出の勢いは、灰噴火前期と比較してわずかに増し、火口付近への小さな噴石の飛散も確認された (Photo. 3)。また、新岳

火口から約 2km に設置している新岳北東山麓観測点において、噴火時に 1 Pa 未満の微弱な空振が観測されるようになった (Fig. 4)。地震観測では 2 つの変化が捉えられている。第一に、常時の振動振幅がわずかずつではあるが日毎に大きくなり、山頂の古岳北観測点において、10 月下旬と 12 月上旬を比較すると平均振幅が数倍に増加した (Fig. 8)。第二に、噴火に伴う地震の発生様式が変化した。11 月上旬以前は、噴出の勢いに比例して徐々に震動が小さくなっていたが、11 月中旬以降は、震動が小さくなる過程で初動の不明瞭な高周波地震がまとまって発生するようになった (Fig. 9-1, 9-2)。

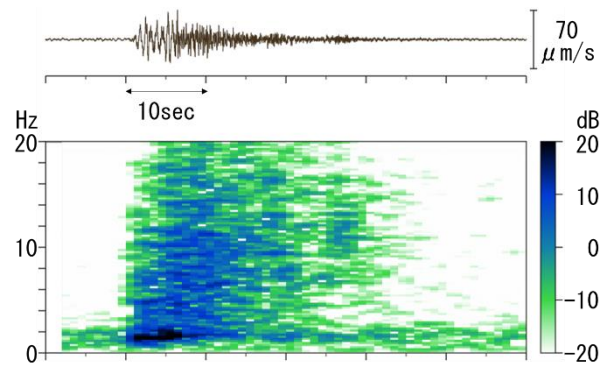


Fig. 6 Sample waveform and frequency of NS at the Furudakekita Observation point on October 19, 2018. (Analysis window: 5.12 seconds, Analysis step: 1.00 second)



Photo 2 Photograph of a typical ash eruption at Shindake taken from Honmura.

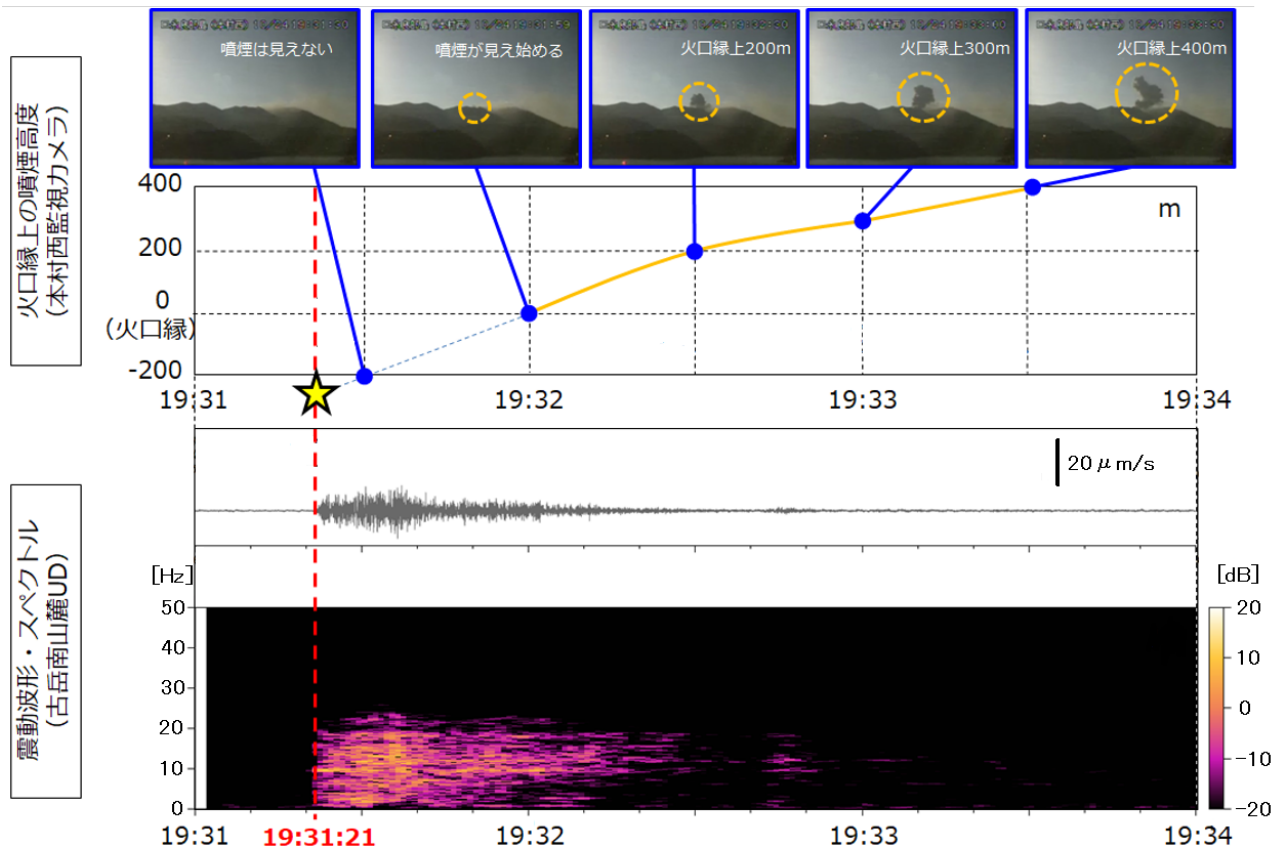


Fig. 7 Features of the eruption (October 21, 2018 – December 13, 2018).

(★ : Elevation of the crushed surface estimated based on the rate of plume rise and the arrival of the seismic wave)



Photo 3 Photograph of an eruption with small volcanic bombs taken from Maeda on November 29, 2018.

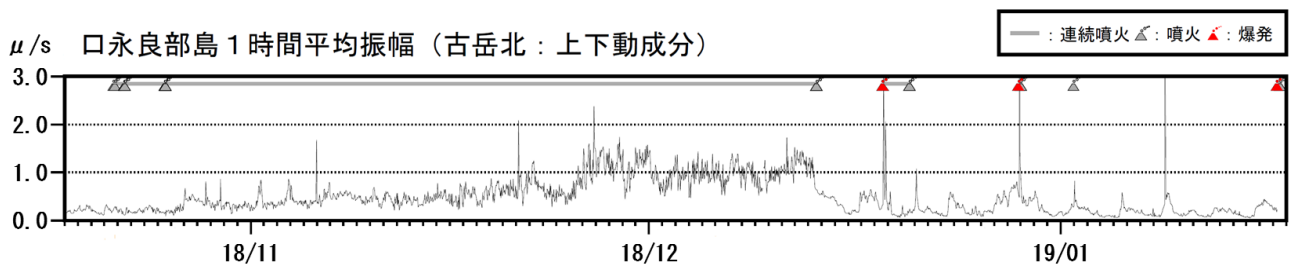


Fig. 8 Average amplitude at the Furudakekita Observation point (UD) (October 18, 2018 – January 17, 2019).

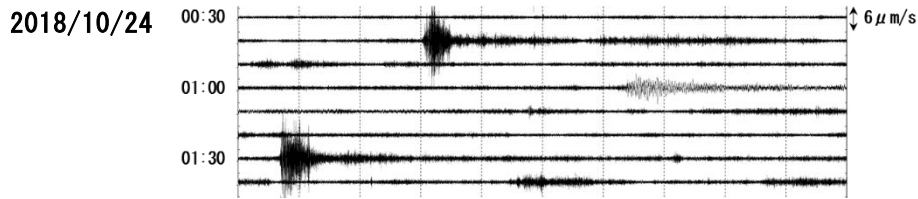


Fig. 9-1 Waveform at the Furudakekita Observation point during the early stage of eruptive activity (UD).

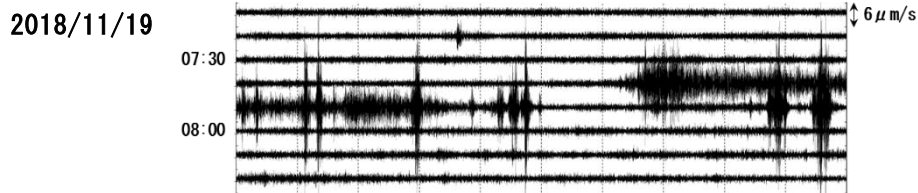


Fig. 9-2 Waveform at the Furudakekita Observation point during the late stage of ash eruption (UD).

2.4 2018年12月13日～2019年1月17日(爆発力の強い噴火活動への移行)

10月21日以降続いていた間欠的噴火は12月13日に停止し、火山灰を含まない白色の噴煙を放出する状態となった。噴火停止前は、噴煙は常に火口縁上数百～千数百mまで上がっていたが、停止後は数十mまでしか上がらない日もあり噴煙量は極端に減少した。また、二酸化硫黄放出量も200 ton/day以下で推移し、常に低下した状態が続いていた (Fig. 4)。12月13～15日の3日間の地震波形からは、いくつかの特徴的な変化が読み取れる。まず、13日午前中は間欠的噴火に伴う振幅の増大が繰り返されるが、噴火が停止した午後にはそのような振幅の変化はなくなっている (Fig. 10-1)。次に、13～15日にかけて常時の振動振幅が徐々に縮小し、15日午後には10月21日の噴火以前と同レベルにまで小さくなっている (Fig. 8)。加えて、間欠的噴火をしている時期にはほとんどみられなかった、初動の明瞭な高周波地震が発生し始めた (Fig. 10-2)。この高周波地震は、16日以降さらに回数が増加するとともに規模も大きくなり、18日16時37分に新岳北東山麓観測点で13Paの空振を伴う噴火が発生した。この噴火により、大きな噴石が新岳火口から約700mまで飛散し、火砕流が約1kmまで流下した (Fig. 11)。今回の活動で初めての爆発力の強い噴火であり、産総研による噴出物の観察では、大部分は変質した粒子で構成され火口浅部の岩体が破壊されたものとされている (産総研, 2019)。

この噴火後一旦噴出の勢いは衰えたものの、19時台から再び活発となり20時55分には赤熱した噴出物が噴き上がる様子が高感度カメラで捉えられた (Photo.

4)。噴出の再活発化に比例して3Hz付近が卓越する火山性微動の振幅が増大した。なお、灰噴火後期に増大していた振動は7Hz付近にエネルギーを持ち、この火山性微動とは明らかに特徴が異なる (Fig. 12)。

噴火は20日まで継続して停止したが、12月28日22時09分に再びパルス状の空振と大きな噴石を伴う噴火が発生した。12月18日と比較して、空振は小さく噴石の飛散距離も短かった。また、噴火前数日間に初動の明瞭な高周波地震は発生していたものの、回数は少なく規模も小さかった。

1月17日09時19分には、活動期間中最大の噴火が発生した。新岳北東山麓観測点の空振計で88Paを観測し、火砕流が北西側と南西側へ約2km、東側へ約1km流下した (産総研, 2019)。また、当日午後の観測では二酸化硫黄放出量が2,200 ton/dayと活動期間中最大の値となり、噴火により火山ガスを効率よく排出できる流路が形成されたと考えられる (Fig. 4)。この噴火前にも12月18日噴火前と同様に、噴煙量・二酸化硫黄放出量が減少する、常時の振動振幅は小さい状態が維持される、初動の明瞭な高周波地震が多発する、等の変化がみられていたが、高周波地震の規模はより大きく発生回数も多かった (Fig. 13)。また、噴火数日前に、特定の周波数にエネルギーを持つ調和型地震、及び震動の減衰が比較的遅い尾長地震が、短期間にまとまって発生したことも特徴の一つである。このような前兆的な活動変化は、1月17日を上回る規模の火砕流が発生した2015年5月29日の噴火、及び火口から約9km地点で小さな噴石の降下が確認された同年6月18日の噴火前にもみられていた (Fig. 13)。

2018/12/13

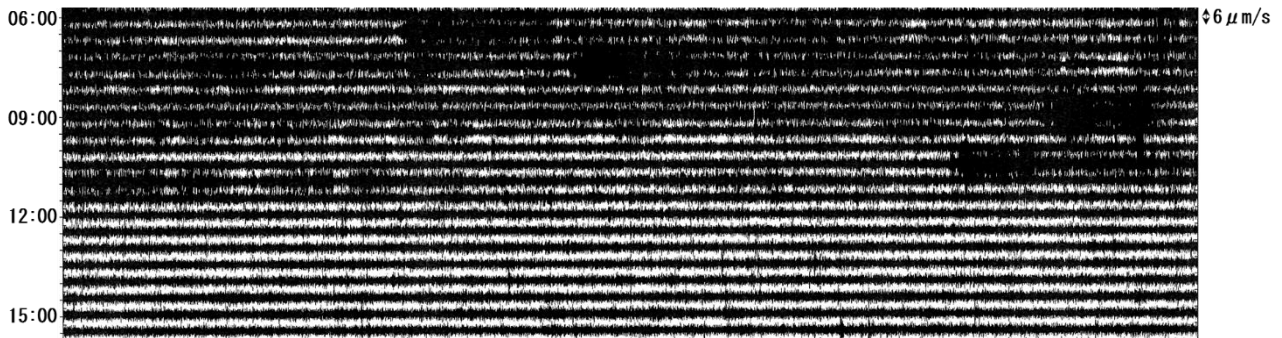


Fig. 10-1 Waveform at the Furudakekita Observation point on the day when the intermittent eruption stopped (UD).

2018/12/15

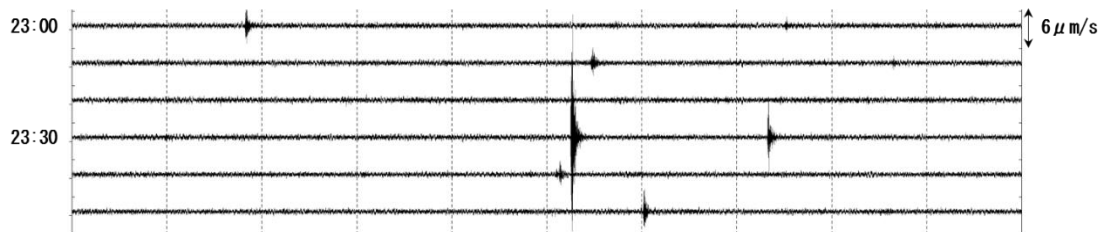


Fig. 10-2 High-frequency waveform at the Furudakekita Observation point while the eruption stopped (UD).

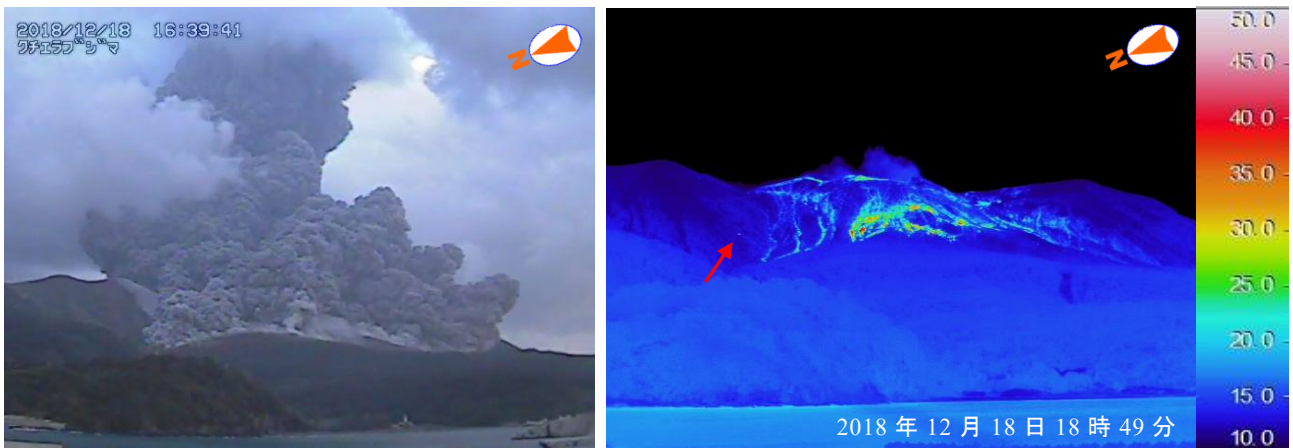


Fig. 11 Status of eruptions (December 18, 2018).
 (Figure on left: Image taken with a visible camera at Honmuranishi,
 Figure on the right: Image taken with an infrared camera at Honmura,
 Red arrow: A volcanic bomb that fell 700 m from the Shindake crater)



Photo 4 Status of eruptions imaged with a visible camera at Honmuranishi (December 18, 2018).

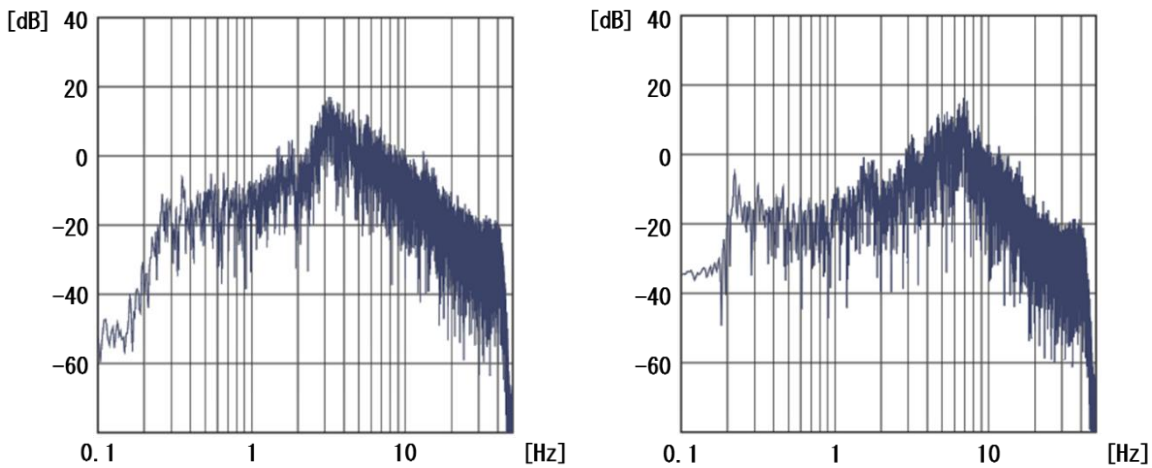


Fig. 12 Power spectrum of UD at the Furudakekita Observation point.
 Left: Time of Photo 4 (2018/12/18 20:55-21:00), Right: Late ash eruption (2018/12/13 07:43-07:47)

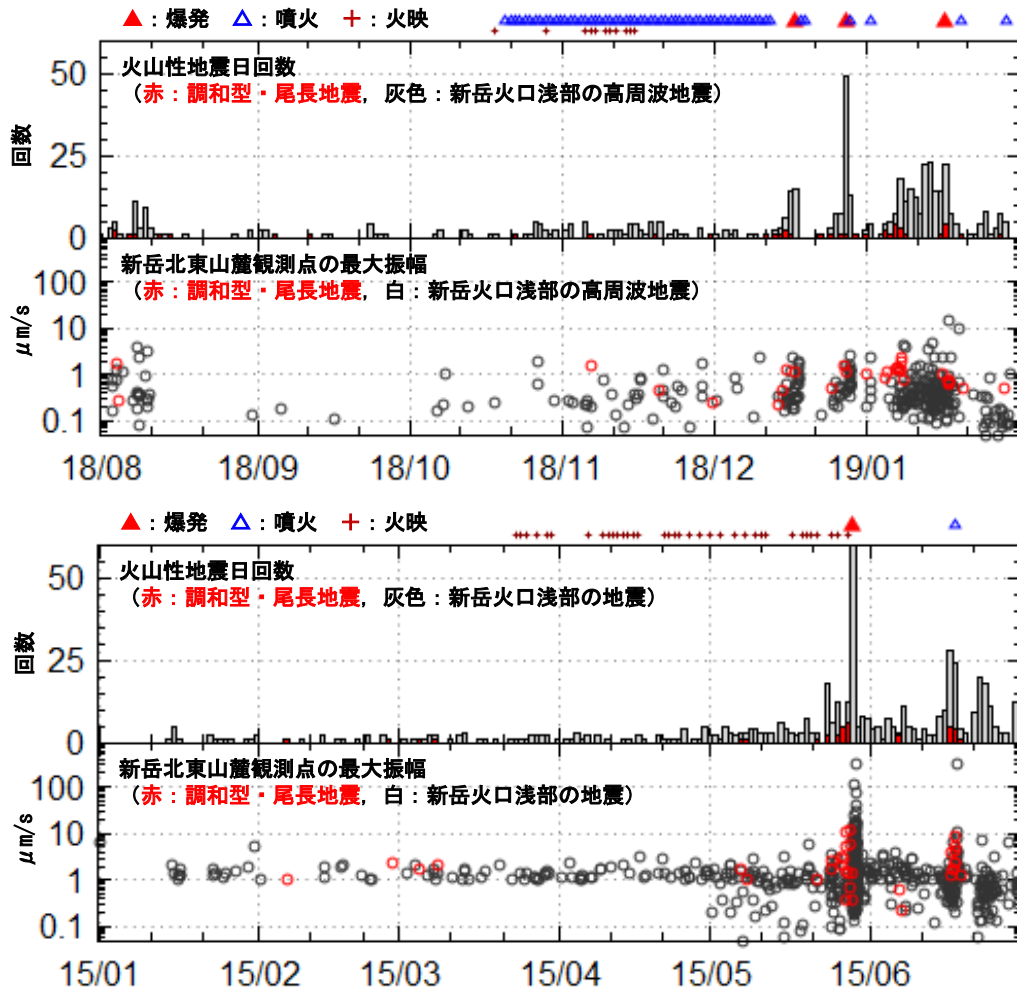


Fig. 13 Graph of a period of volcanic activity on Kuchinoerabu island.
 Daily number of earthquakes and maximum amplitude (Shindakehokutosanroku Observation point UD)
 (Top graph: August 1, 2018 – January 31, 2019, Bottom graph: January 1, 2015 – June 30, 2015).
 (Gray bar and White plot: HF of the shallow portion beneath the Shindake crater,
 Red bar and plot: Harmonic and type T earthquake)
 ※In 2015, the type of earthquake in the shallow crater was not determined due to damage to the observation point.

2.5 2019年1月17日～（噴火活動衰退期）

1月17日の噴火後、二酸化硫黄放出量は極端に減少することなく平均300～400ton/dayを維持し、また高周波地震は少ない状態が続いた。そのような中で、1月29日17時11分に、比較的噴出初速が遅くパルス状の空振を伴わない噴火が発生した。しかしながら、噴煙高度は火口縁上4,000mまで達し、国立研究開発法人防災科学技術研究所（以下防災科研と記載する）の報告によると、噴出量は2018年12月18日と同オーダーと見積もられた（防災科研，2019）。

2月2日にごく小規模な噴火が発生したのを最後に一連の噴火活動は終息した。

2.6 1月17日に発生した火砕流の特徴

一連の噴火活動において、火砕流は2018年12月18日、2019年1月17日、2019年1月29日の3回発生した。いずれも上空に噴き上げられた火砕物が崩れ落ちて発生するスプリュール型の火砕流であった。このうち最も規模が大きく、また筆者（篠原）が現地を確認した1月17日の火砕流について検証を行った。

主な流下方向は新岳火口から北西側、南西側及び東側で、2014年8月3日、2015年5月29日と同様に谷地形に沿って流下したことが伺える（産総研，2019）。北西側と南西側はどちらも火口から約2kmまで到達しているが、流下速度や形状は異なる。北西側へは火口から約1.2kmの谷の狭窄部まで高速で到達したものの、それより下流へは比較的低速で色の薄い火砕流が流下した。一方、南西側へは終端部までスピードが衰えず高速で流下しており、連続撮影画像の解析から流下速度は約140km/hと見積もられた。噴火発生の約1分後には、北西側先端部以外の流下域で鉛直方向に熱対流雲が立ち昇り、流下はほぼ停止した（Photo. 5）。東側は火口から約1kmまで痕跡がみられるが、末端部は観察できていない（産総研，2019）。

火砕流の発生直後から立木が燃える様子が複数みられ、同日夜間に撮影した画像では燃焼が続いている箇所が多数確認できる（Photo. 6）。このうち南西側終端部付近を後日調査したところ、立木には焼け跡が多く見られたものの立木表面積全体に占める割合は少なく、焼け跡の無い部分に変色はみられなかった。一方、古岳山頂付近において同様の調査を実施したところ、ほとんどの立木表面が褐色に変色またはごく薄い炭化層に覆われていたが、燃焼したものは確認できなかった（Photo. 7）。これらの状況から、火砕流内部の

温度は、火口に近い場所では比較的高温だが樹木が自然発火する温度には達しておらず、流下終端部ではそれより低温であったと推定される（秋田，1957；岩河，1984）。流下域の終端部や谷の狭窄部付近で多くの燃焼が見られたことは、高温岩片が集積したことにより、立木と接触して引火したためと考えられる。

2019年1月17日と2015年5月29日の火砕流堆積物分布状況について、噴火から約3時間後に赤外熱映像装置で撮影した画像により比較した（Photo. 8）。火砕流堆積物による高温領域の分布は似ているが、2015年噴火では火口北側により広く分布し、2019年噴火では火口南西側へ噴出物が多量に流下した状況が確認できる。火砕流が高速で流下したに加えて、噴火前後に撮影した写真比較により火口南西側火口縁の一部崩壊が確認できるため（Photo. 9）、これらのことが南西側で多量の堆積物が見られた原因と考えられる。

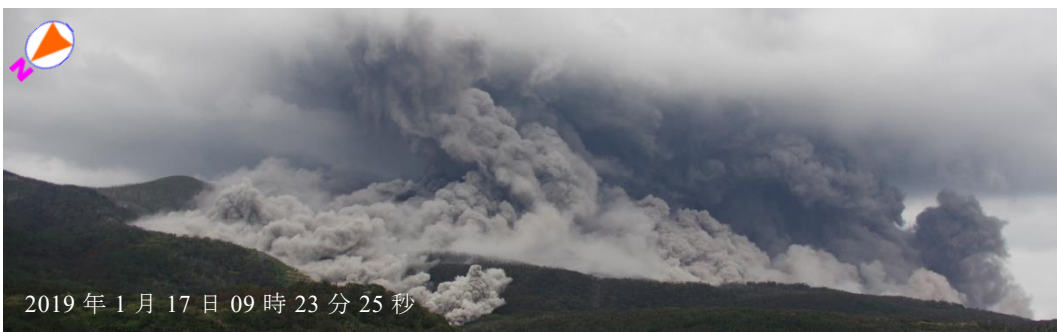
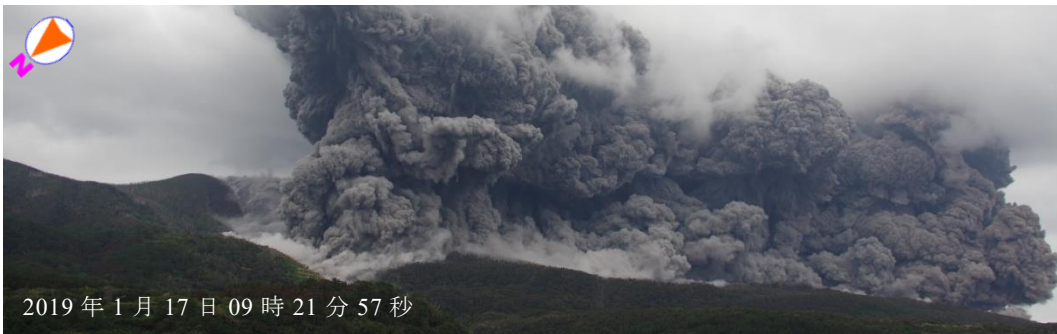
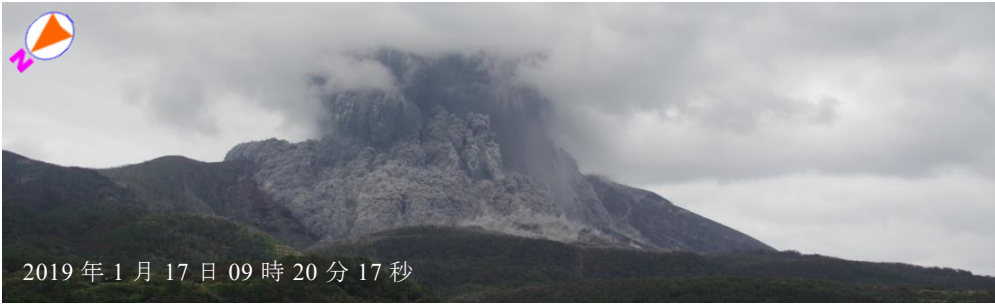


Photo 5 Photograph of the pyroclastic flow of the Shindake volcano taken from Honmura (2019/01/17).

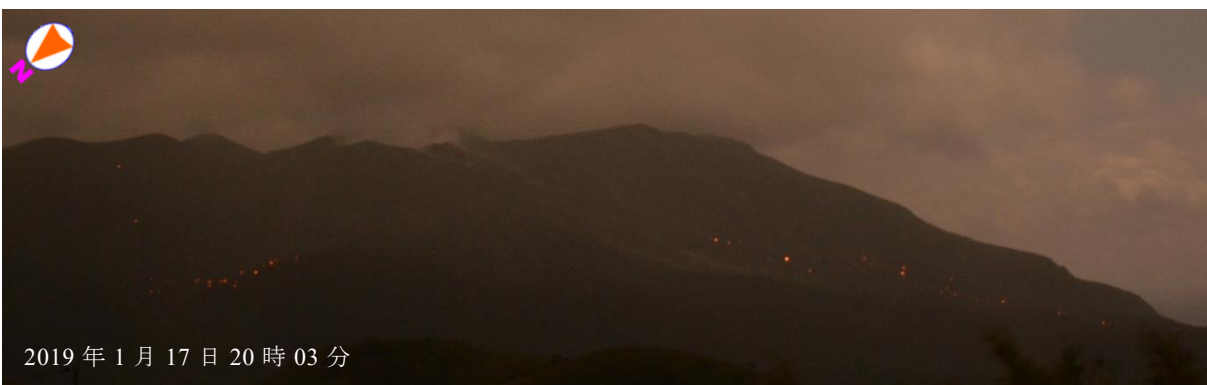


Photo 6 Photograph of fire from the pyroclastic flow taken from Banyagamine (2019/01/17 Shutter speed: 20 seconds).



Photo 7 Traces of the pyroclastic flow (Left: Southwest end of the pyroclastic flow, Right: Near the summit of Furudake).

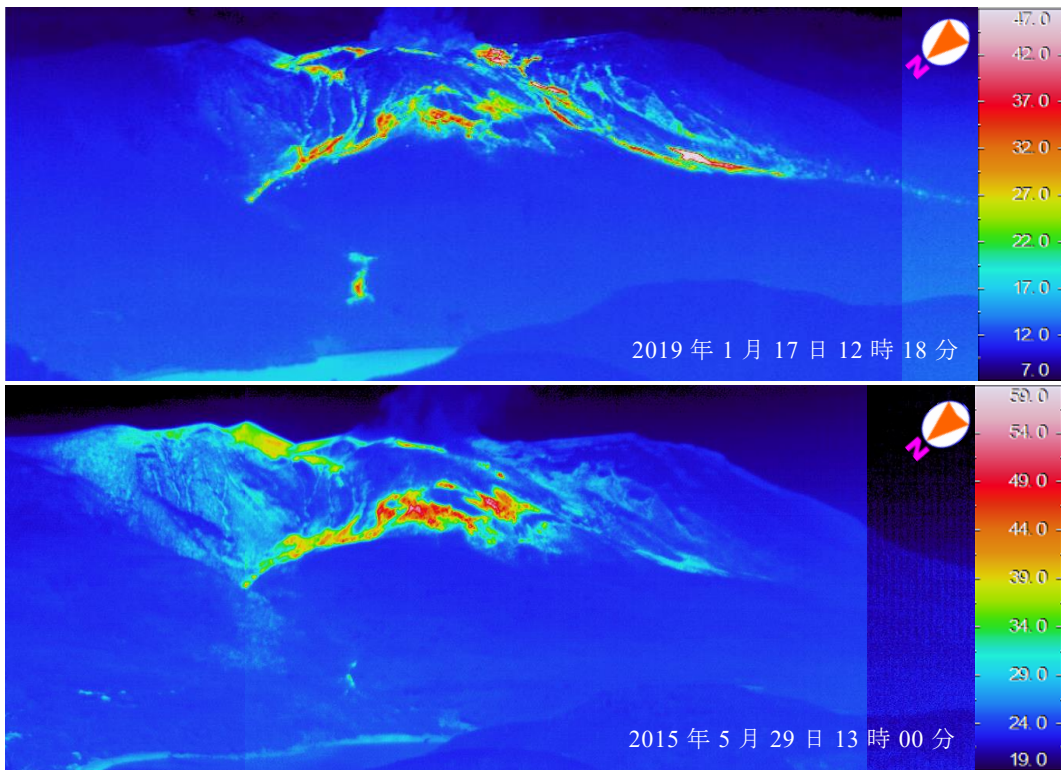


Photo 8 Image of pyroclastic flow deposits taken 3 hours after the eruption by an infrared camera at Banyagamine.



Photo 9 Photograph of the collapse of the crater edge due to the eruption taken from Maeda on January 17, 2019.
(Left: A panoramic view of Shindake before the eruption,
Right: Superimposed images from before and after the eruption)

3 議論

3.1 マグマ関与量

2018 年 8 月 27, 28 日に京都大学, 屋久島町及び気象庁が実施した水準測量では, 2015 年の噴火前と変動量・パターンともに類似した地盤隆起が認められた(京都大学, 2018). 2015 年の体積増加量は, 水平位置を新岳直下に仮定した場合, 深さ 7km で $2.6 \times 10^6 \text{m}^3$ と見積もられているため(山本他, 2017), 2018 年もそれに近い体積増加があったものと考えられる. 一方, 湯向-ヘリポート間の GNSS 基線長では, 2017 年 9 月と 2018 年 8 月を比較した水準測量結果に対応する明瞭な変化は確認できない(Fig. 4). 理由として, ①膨張源がやや深い場合, 水平変位が生じにくい, ②膨張源が新岳直下より南西側の場合, 基線長が伸びにくい, ③基線長変化が誤差以下のため判別できない等が考えられる. しかし, 8 月 15 日の地震増加前後から 10 月 21 日の噴火開始前までわずかな伸びがみられ, その後間欠的な灰噴火が終了する 12 月にかけて緩やかな縮みが確認できる(Fig. 4, 14).

表面現象や地震観測データも考慮すると, 噴火前後にみられた GNSS 基線長変化は浅部へのマグマ性流体の上昇を示す可能性が考えられる. 仮に 8 月から 10 月までに観測された約 4mm の伸びが浅部の膨張に対応すると考えると, 膨張源の標高が 0km の場合, 体積増加量は $1 \times 10^5 \text{m}^3$, -2km の場合 $2 \times 10^5 \text{m}^3$ と見積もられる. また, 9 月から 10 月までには約 6mm 伸びているが, 基線長の日変化が大きく体積変化を表すとは考えにくいいため, 気象誤差の可能性が考えられる(Fig. 4, 14).

3.2 噴火に前駆する現象

今回, 比較的規模の大きな噴火の前には, 噴煙量や二酸化硫黄放出量が減少し, 火口浅部の高周波地震や調和型・尾長地震が増加するなど, 顕著な活動の変化がみられた. 二酸化硫黄放出量と地震の振幅積算値を対比した時系列図からは, 2018 年 8 月 10 日を境に相対的に二酸化硫黄放出量が多い状態となり, 反対に火映が見られなくなった 11 月中旬以降, 振幅積算値が大きいた状態となったことがうかがえる(Fig. 15). また, より大きな空振を伴う噴火の前は, 前駆現象と考えられる高周波地震の発生や二酸化硫黄放出量の減少する期間がより長くなる傾向が見られたため, 高周波地震は火道閉塞に伴う増圧による周辺岩体の破壊現象と推定される(Fig. 4, 13). 特に 1 月 17 日の噴火前は, 山麓の地震計の振幅が山頂と比較して相対的に大

きくなる変化がみられ, 火道内増圧部の体積が増加し, 破壊域がより深くあるいは山麓よりへ拡大したと推測される(Fig. 16).

3.3 火道浅部の状況

2018 年噴火開始時は火映が新岳火口で, 2015 年噴火前には新岳火口西側割れ目でのみ見られていた(Photo. 1). 2018 年は, 火映が見られていた新岳火口で穏やかな灰噴火が始まったが, 2015 年は, 西側割れ目ではなく新岳火口でいきなり爆発力の強い噴火が発生した. これらのことから, 2015 年噴火前は火口底直下の火道が閉塞していたため高温の火山ガスは西側割れ目から漏れ出す形であったが, 2018 年は火口底直下の火道は比較的開放状態であったと考えられる(Fig. 17-①).

10 月 21 日に穏やかな灰噴火で始まった連続的な噴火活動は, 11 月中旬以降は間欠的で噴出力を持つ形態へと変化した. 同時期に火映が見られなくなったこと, 二酸化硫黄放出量が減少したこと等から, 噴火形態の変化はマグマヘッドの固結や火道内狭窄により揮発性成分(火山ガス)の流動が阻害された結果と推定される. 揮発性成分(火山ガス)の生成量自体が減少したと考えられなくもないが, 常時振動振幅が徐々に増大し, その振動は高周波成分が卓越していたため, 流動阻害による流速の上昇が振動を励起した可能性が高いと考えられる(Fig. 8, 12). 間欠的噴火の直後に発生する初動の不明瞭な高周波地震は, 一時的な減圧に伴う固結部の破壊の可能性が考えられる(Fig. 17-②).

2018 年 12 月 18 日と 2019 年 1 月 17 日の噴火前は, 新岳火口付近を震源とする初動の明瞭な高周波地震の多発がみられた(Fig. 3, 13). 二酸化硫黄放出量及び常時振動振幅が低下しきった状態で発生したため, 火道の流動阻害(火道閉塞)に伴う圧力増加に起因して火道周辺岩体の破壊が起きたと考えられる(Fig. 4, 8, 10-2). 産総研による火山灰分析や気象庁による火砕流痕跡調査から, マグマ由来の成分は少ないと推定されるため, 増圧の原因は主に高温の火山ガスが蓄積したことと考えられる. また, 調和型地震・尾長地震が増えたことは, 増圧により, 火道周辺に高温流体で満たされたクラックが発達したためと推察される(Fig. 17-③④).

1 月 29 日の噴火は, 12 月 18 日の噴火と同規模であったにも関わらず, 噴火前の地震活動は低調で二酸化

硫黄放出量も大きく減少しなかった。噴出初速が遅く、地震波到達から噴煙噴出までの時間差が大きかったことから、破碎深度が比較的深く浅部の閉塞は無かったと推定される（菅井・他，2019）。1月17日の噴火で火道径が拡大した可能性が考えられる（Fig. 15，17-⑤）。

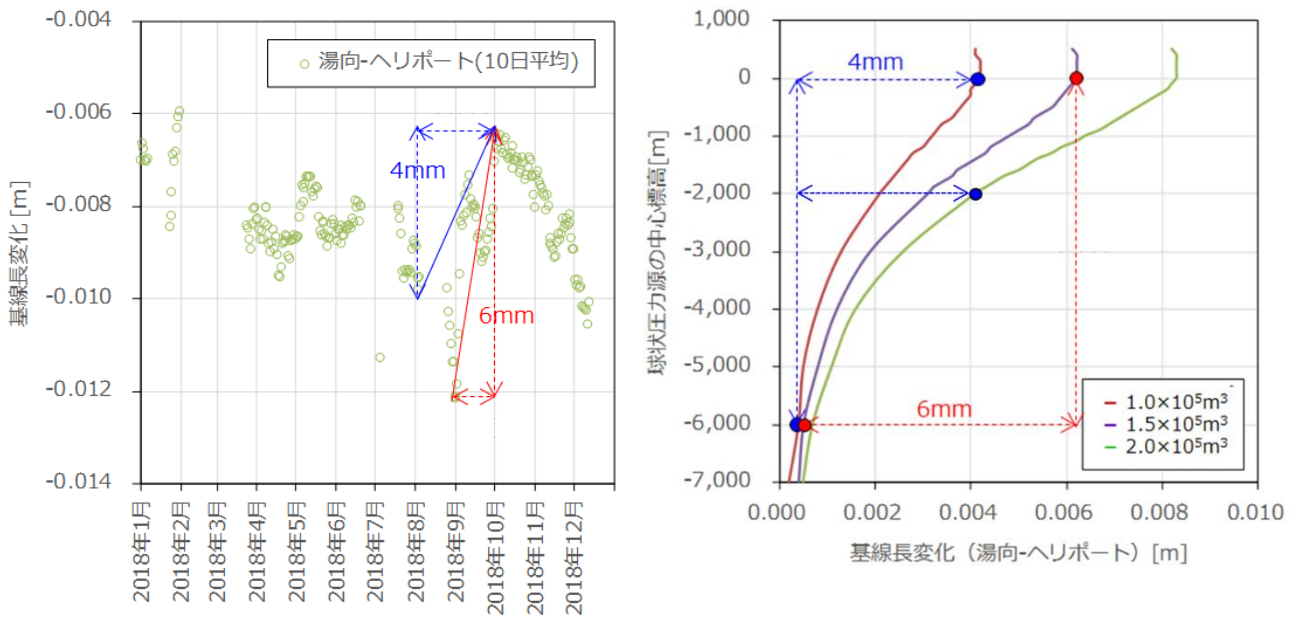


Fig. 14 Change in baseline length and pressure source elevation.
 (Left: Change in baseline length (2018/01/01–2018/12/31)
 Right: Pressure source volume and elevation estimated based on baseline length)

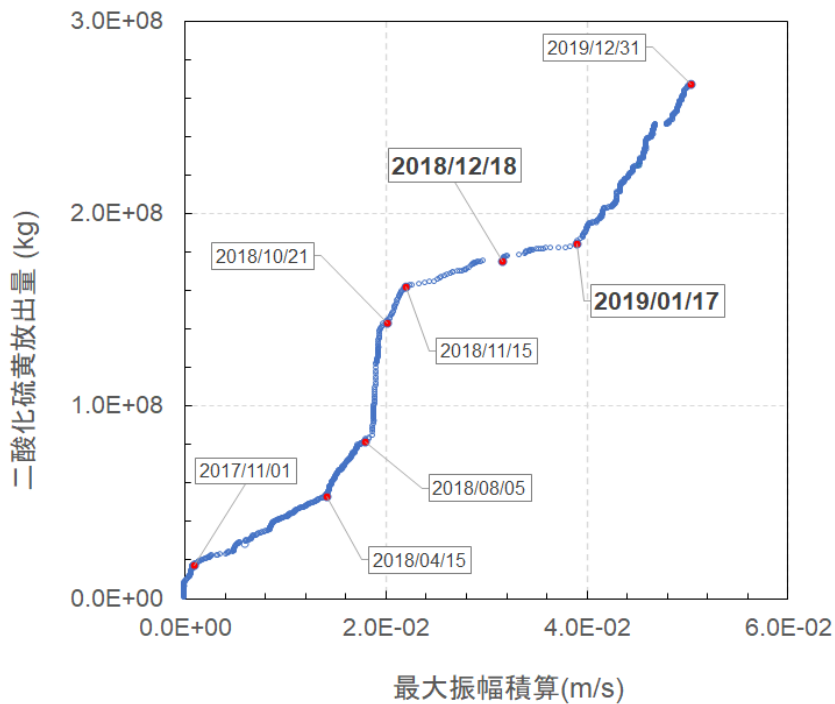


Fig. 15 Amount of SO₂ emissions and amplitude integration.

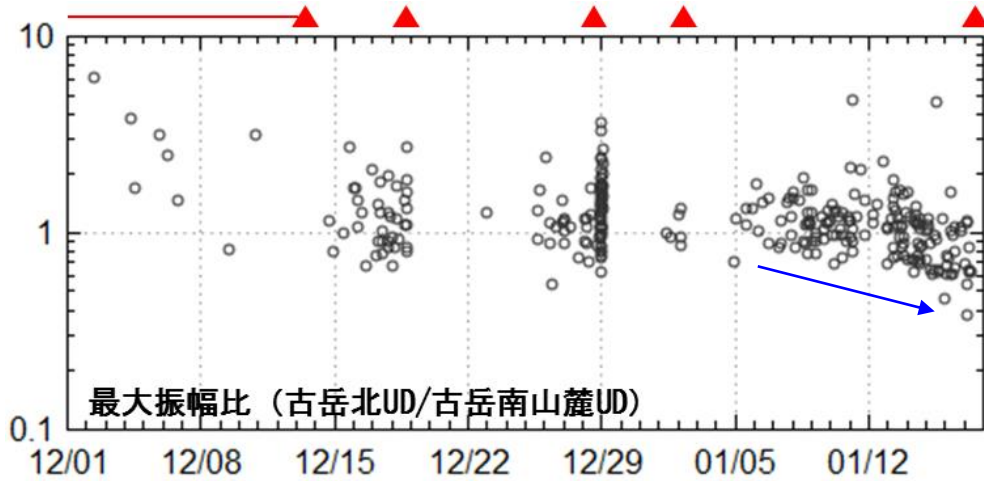


Fig. 16 Maximum amplitude ratio (UD) for high-frequency events (peak/foot).
(Red triangle: Eruption, Red line: Continuous eruption, Blue arrow: Decrease in amplitude ratio).

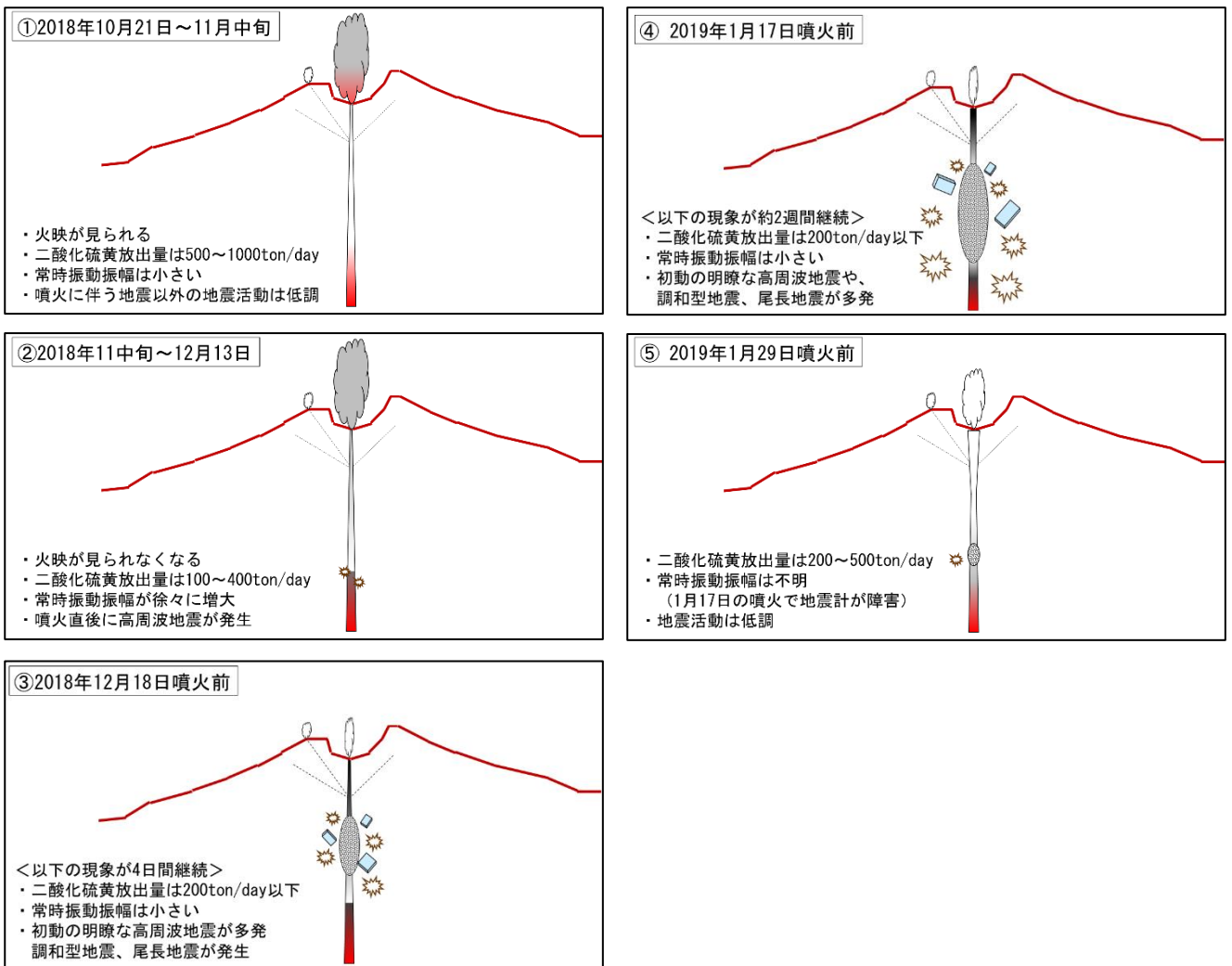


Fig. 17 Schematic diagram of the shallow portion of the Shindake crater.
(☀: High-frequency earthquake ◻: Harmonic earthquake, type T earthquake
⊙: Pressure boost due to blockage of the volcanic vent)

4 まとめ

口永良部島新岳では、2018年10月から2019年2月にかけて噴火活動が継続し、その間徐々に噴火様式が変化した。穏やかで連続的な灰噴火から始まった活動は、次第に間欠的となり、活動終盤は爆発力の強い噴火を繰り返した。1月17日に活動期間中最大規模の噴火が発生し、火砕流が新岳火口から約2kmまで到達したが、2015年5月29日の噴火と比較するとやや規模は小さかった。

爆発力の強い噴火が発生する前には、火道閉塞が原因と推定される火山活動の変化がみられた。その中でも特に顕著であったのが、二酸化硫黄放出量の減少と火口浅部を震源とする高周波地震の増加である。また、爆発力の強さとこれら前駆現象の規模、範囲、期間には比例関係がみられた。1月17日の噴火前には他の噴火前に比べて長期間に渡り二酸化硫黄放出量の減少と高周波地震の発生がみられ、高周波地震の規模も大きく、発生領域もより広範囲であると推定された。

1月17日の噴火では、山腹を中心に多数火災が発生し、後日の調査において火砕流流下域で立木が燃えていたことが判明した。しかし、立木のうち燃えて炭化したのは一部分で、樹皮が変色していないものが多くを占めていた。そのため、火砕流内部は樹木が自然発火する温度には達しておらず、高温岩片と接触した部分のみ燃焼したと推定された。

2019年2月3日の噴火を最後に徐々に活動は低下し、その後低調な状態が続いていたが、10月18日に新岳火口西側のやや深いところを震源とする地震が再び発生し、11月以降二酸化硫黄放出量は500ton/dayを超えるようになった。2020年1月11日には再び噴火が発生し、新たに断続的な噴火活動が開始した。このように、口永良部島新岳における噴火活動の推移を概観すると、噴火に先立ちやや深部から浅部にいたるマグマ性流体の移動が示唆されることが多い。しかしながら個々の噴火についてみると、爆発力の強さは噴出物量では決まらず、火道浅部の状態が大きく影響していると考えられる。火口から居住地域までの距離が比較的近い場合、噴石飛散距離に関わる爆発力の強さを推定することは防災対応上重要である。

Table 1 Observations for each eruption during the 2018-2019 period of eruptive activity.

	2018年					2019年	
	8~10月 (噴火前)	10月下旬~11月中旬 (灰噴火前期)	11月中旬~12月中旬 (灰噴火後期)	12月18日	12月28日	1月17日	1月29日
噴煙高度 (m)	/	・約500~1,000	・1,500超→500以下	・4,500	・1,000	・6,000	・4,000
大噴石飛散距離 (m)	/	—	—	・700	・500	・1,800	・火口周辺
火砕流流下距離 (m)	/	—	—	・約1,000	—	・約2,000	・約500
噴出物※	/	・本質物質多い	・本質物質多い (熱水関与)	・変質岩片多い (熱水関与)	・変質岩片多い (熱水関与)	・変質岩片多い (熱水関与)	・変質岩片多い (熱水関与)
空振振幅 (新岳北東山麓・Pa)	/	—	・1未満	・13	・6	・88	・2
二酸化硫黄放出量 (ton/day)	・約500~1,500	・約500~1,000	・約500→500未満	・噴火前に200以下	・噴火前に 100~400	・噴火前に200以下	・噴火前に 200~500
火映	・10月19日~	・~11月17日	—	—	—	—	—
地震活動	・やや深部多発 ・浅部低調	・噴火に伴う地震	・噴火に伴う地震	・噴火前に 高周波地震増加	・噴火前に 高周波地震発生	・噴火前に 高周波地震増加	・低調
GNSS基線長	/	/	/	/	/	/	/

謝辞

本稿掲載の噴火活動期間中、筆者（篠原）は口永良部島火山防災連絡事務所勤務であったが、当時の用具敏郎所長には多大なるご指導をいただいた。また、勤務応援のため全国気象官署から交代で職員が入島し、高頻度の観測データを得ることができた。産業技術総合研究所の松本恵子氏、下司信夫氏からは、迅速な火山灰試料の分析結果と有用なコメントをいただいた。東京大学の森俊哉氏及び屋久島町には、二酸化硫黄放出量観測に関してご指導・ご協力をいただいた。地震計数と震源決定には、京都大学、防災科学技術研究所及び鹿児島大学の地震観測データを使用させていただいた。札幌管区気象台の奥山哲研究官には、本稿作成段階で議論の内容に関するアドバイスをいただいた。盛岡地方気象台の藤原健治火山防災官には、査読をしていただき貴重なご意見をいただいた。口永良部島民からは火山活動に関わる多くの証言をいただいた。

ここに記して感謝いたします。

文献

秋田一雄 (1957): 木材の着火性, 工業化学雑誌, **60**, 123-127.

井口正人・他 (2007): 2006年口永良部島火山活動の評価, 京都大学防災研究所年報, **50(B)**, 349-357.

岩河信文 (1984): 樹木の発火限界温度について, 造園雑誌, **48**, 91-96.

気象庁 (2013): 日本活火山総覧(第4版), 1399-1420p

京都大学防災研究所・他 (2018): 第142回火山噴火予知連絡会資料(その2)桜島、口永良部島、諏訪之瀬島, 84-88.

下司信夫・小林哲夫 (2006): 鹿児島県口永良部島火山最近約3万年間の噴火活動, 火山, **51**, 1-20.

下司信夫・小林哲夫 (2006): 口永良部島火山の火山地形と地質, 火山, **51**, 103-105.

産業技術総合研究所 (2019): 第143回火山噴火予知連絡会資料(その2)口永良部島、諏訪之瀬島、阿蘇山, 39-45

産業技術総合研究所 (2019): 口永良部島, 2019年1月17日噴出物の写真判読, 火山噴火予知連絡会提出資料

産業技術総合研究所 (2018): 第142回火山噴火予知連絡会資料(その7)追加資料, 7-10

産業技術総合研究所・京都大学 (2014): 口永良部島火山山頂部の噴火前10年間の地盤変動について, 火山噴火予知連絡会会報, **119**, 359-363

菅井明・他 (2019): 口永良部島2018年以降の噴火活動, 日本火山学会講演予稿集, 222.

福岡管区気象台・鹿児島地方気象台 (2018): 口永良部島の火山活動—2015年6月～2015年10月—, 火山噴火予知連絡会会報, **122**, 451-470p

福岡管区気象台・鹿児島地方気象台 (2018): 口永良部島の火山活動—2015年2月～2015年6月—, 火山噴火予知連絡会会報, **121**, 313-350p

福岡管区気象台・鹿児島地方気象台 (2016): 口永良部島の火山活動—2014年10月～2015年2月—, 火山噴火予知連絡会会報, **120**, 261-278p

福岡管区気象台・鹿児島地方気象台 (2012): 平成23年(2011年)の口永良部島の火山活動, 火山活動解説資料, 1-12p

福岡管区気象台・鹿児島地方気象台 (2004): 口永良部島(平成15年(2003年)年報), 火山活動解説資料, 1-9p

防災科学技術研究所 (2019): 口永良部島噴火2018年12月18日・2019年1月17日・29日噴火の降下火砕堆積物の分布, 火山噴火予知連絡会会報, **132**, 427-433

本間不二男 (1934): 昭和八年十二月乃至昭和九年一月の口永良部島新岳の火山活動, 地球, **21**, 243-266.

山本圭吾・他 (2017): 2014年及び2015年口永良部島火山噴火の前後の水準測量結果, 日本火山学会講演予稿集, 171.

(編集担当 鳥巢啓多)