

大涌谷自然研究路内の火山ガス連続 測定データの解析

- 代田寧（調査研究部）
- 十河孝夫（温泉地学研究所）

研究の背景

- 箱根山では、2015年に非常に火山活動が活発化した。
- 群発的に地震が発生し、山体が膨張する地殻変動も観測された。
- 大涌谷では、小規模ではあったものの、水蒸気噴火も発生した。

研究の背景

水蒸気噴火後の大涌谷



温泉地学研究所提供

2015.7.10

研究の背景

- 火山活動の活発化により、5月6日に噴火警戒レベルは2（火口周辺規制）に引き上げられ、大涌谷園地内は立入禁止となった。
- さらに、水蒸気噴火の発生に伴い、6月30日には噴火警戒レベルは3（入山規制）にまで引き上げられた。

研究の背景

- その後、火山活動が低下したことから、11月20日に噴火警戒レベルは1（活火山であることに留意）に引き下げられた。
- しかしながら、火山ガス濃度が高いことなどから、大涌谷園地内の立入規制は継続された。

研究の背景

- 水蒸気噴火の発生から1年以上経過した2016年7月26日に、大涌谷園地は一部開放となった。
- しかし、**自然研究路内は、避難経路の整備不足や避難場所の確保が困難なことなどから、立入規制が継続された。**



自然研究路再開に向けた主な整備

- 2019年5月に、噴石に対応するためのシェルターが7か所、平均約100m間隔で整備された。
- 2020年3月に、土石流により通行不可能となっていた往路が再整備され、往路・復路の一方通行・回遊型でのルートとすることにより、緊急時に避難しやすくなった。

大涌谷自然研究路案内図

Owakudani nature trail information map

大涌谷は、箱根火山の中でも活発な噴気活動を現在も続けている地帯です。この大涌谷自然研究路では、各所に解説板があり、箱根火山の生い立ちや現在の活動の状況を知ることができます。

Owakudani an area of the Hakone volcano that continues to have fumarolic activity, even now.

There are explanations posted in various places along the Owakudani Nature Research Trail, describing the background and current activities of the Hakone volcano.

冠ヶ岳
Mt. Kanmurigatake
1,409m

噴煙地
Fumarole field

展望台
Observatory

たまご蒸し場
Tamago-Mushiba

黒玉子茶屋
kurotamago-Chaya

展望台
Observatory

2号シェルター
Shelter 2

3号シェルター
Shelter 3

5号シェルター
Shelter 5

6号シェルター
Shelter 6

1号シェルター
Shelter 1

往路
Outward path

7号シェルター
Shelter 7

復路
Return path

一方通行
One-way path

一方通行
One-way path

Open
~16:00

Open
~15:00

出口
Exit

玉子運搬用ケーブル
Egg transport cable

噴煙地
Fumarole field

延命地藏尊
Enmei-Jizoson

極楽茶屋
Gokuraku-Chaya

ゆーらんど
You-Land

現在地
You are here

大涌谷駅
Owakudani Station

駐車場
Parking

自然研究路は、たまご蒸し場にある展望台まで、往復約 600m の遊歩道です。急な階段もある山道で、途中にトイレはありません。

The Nature Research Trail is about a 600-meter walk, round-trip, to the Observatory at the Egg Steaming Station and back.

It is a mountain path with steep stairs, and there are no restrooms on the way.

大涌谷園地内の案内図に加筆

QR Translator



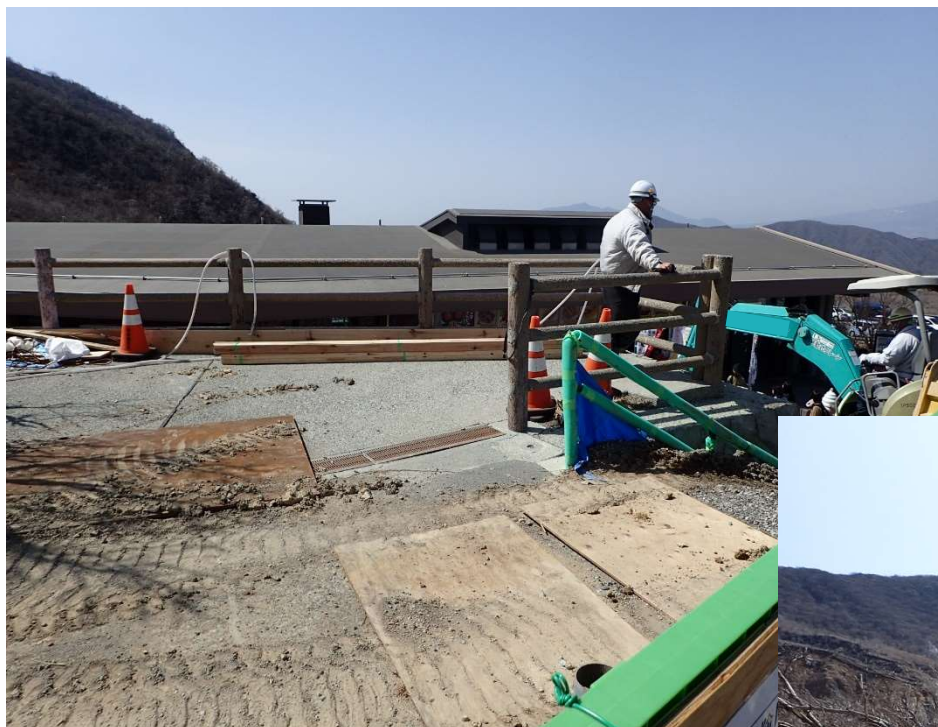
シェルター 1 および 2



シェルター 1

シェルター 2

往路復旧工事の様子



研究の目的

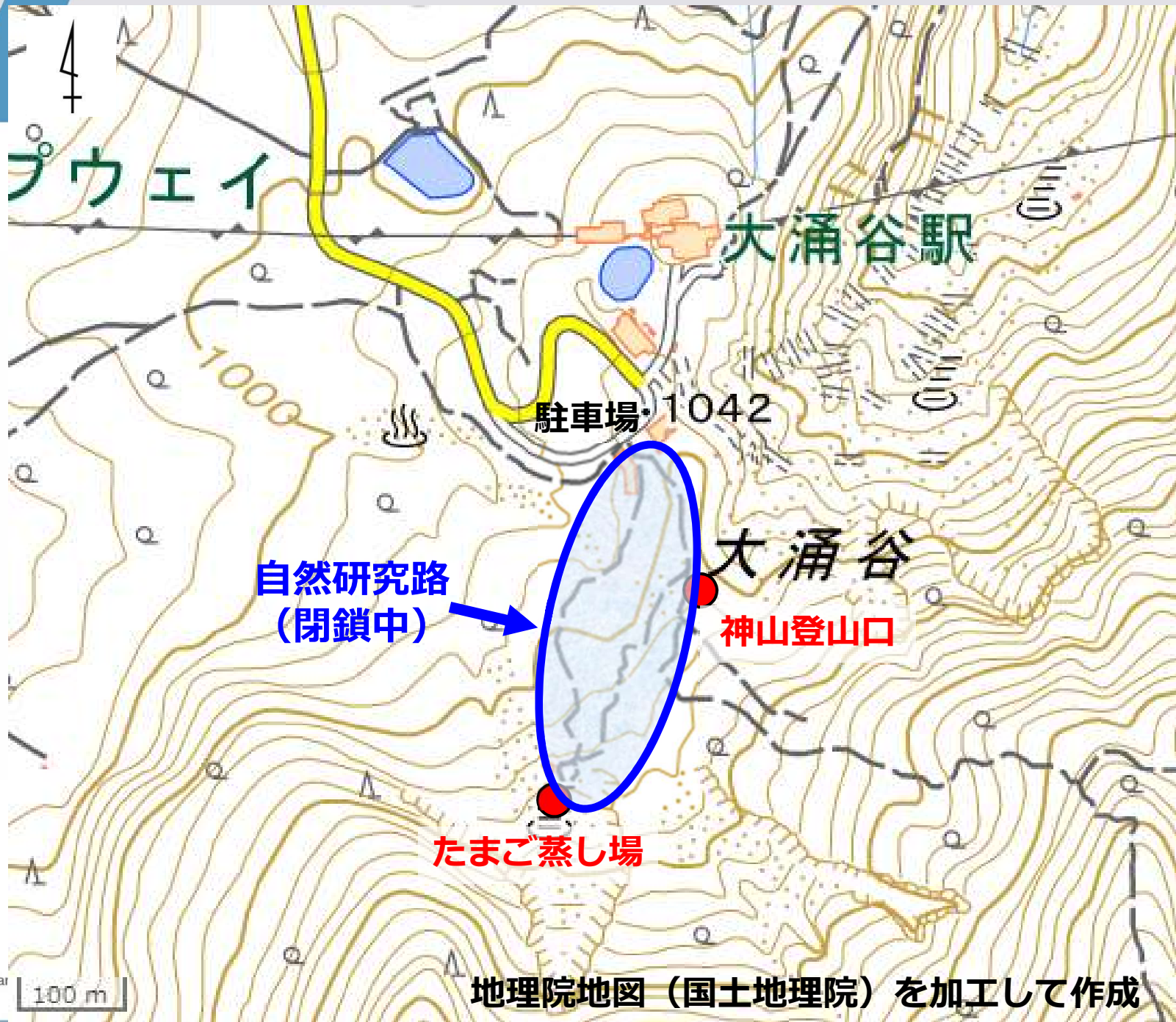
- シェルター等の整備がなされたものの、火山ガスを完全に防ぐことはできないため、火山ガス濃度のモニタリングが大変重要となる。
- 自然研究路内には火山ガスの成分である二酸化硫黄（ SO_2 ）と硫化水素（ H_2S ）の濃度を常にモニタリングするための測定器が設置されている。

研究の目的

- **そこで本研究では、この測定器のデータを解析・整理するとともに、火山活動が静穏な時と活発化した時の比較を行った。**
- **自然研究路内に人が立ち入っている時の状況把握が重要なため、開放時間に着目し、自然研究路内の火山ガス濃度の変動について調べた。**

使用した火山ガスデータ

- 神奈川県自然環境保全センター箱根出張所が自然研究路内に設置している「**神山登山口**」および「**たまご蒸し場**」の2か所の観測点を対象とした。
- それらの観測点において連続測定をしている**SO₂濃度**および**H₂S濃度**を使用した。
- 取得可能な最小データ（20秒毎の最大値）を基本データとし、**1日ごと**に状況を整理した。



大涌谷自然研究路案内図

Owakudani nature trail information map

大涌谷は、箱根火山の中でも活発な噴気活動を現在も続けている地帯です。この大涌谷自然研究路では、各所に解説板があり、箱根火山の生い立ちや現在の活動の状況を知ることができます。

Owakudani an area of the Hakone volcano that continues to have fumarolic activity, even now.

There are explanations posted in various places along the Owakudani Nature Research Trail, describing the background and current activities of the Hakone volcano.

冠ヶ岳
Mt. Kanmurigatake
1,409m

噴煙地
Fumarole field

展望台
Observatory

たまご蒸し場
Tamago-Mushiba

4号シェルター
Shelter 4

たまご蒸し場

展望台
Observatory

神山登山口

往路
Outward path

復路
Return path

一方通行
One-way path

一方通行
One-way path

Open
~16:00

Open
~15:00

玉子運搬用ケーブル
Egg transport cable

噴煙地
Fumarole field

延命地藏尊
Enmei-Jizoson

極楽茶屋
Gokuraku-Chaya

ゆーらんど
You-Land

現在地
You are here

大涌谷駅
Owakudani Station

駐車場
Parking

大涌谷園地内の案内図に加筆

自然研究路は、たまご蒸し場にある展望台まで、往復約 600m の遊歩道です。急な階段もある山道で、途中にトイレはありません。

The Nature Research Trail is about a 600-meter walk, round-trip, to the Observatory at the Egg Steaming Station and back.

It is a mountain path with steep stairs, and there are no restrooms on the way.

QR Translator



使用した火山ガスデータ

- 火山活動**静穏時**の状況として、群発地震の発生や地殻変動が認められなかったことなどから、**2018年**の1年間を対象とした。
- 2019年の箱根山では、群発地震が発生し山体膨張を示す地殻変動も観測されるなど、火山活動が活発化したことから、**活発化時**の状況として**2019年**を対象とした（測定器の故障により**8月末**までのデータを対象としたが、活発な時期はほぼカバーできている）。

解析方法

- 自然研究路は、SO₂濃度およびH₂S濃度により、下表の通り、閉鎖（立入者がいる場合は退避させる）などの対応措置を設定している。

表1 自然研究路の火山ガス濃度基準値と対応措置

区分	SO ₂ 基準値	H ₂ S基準値	措置
注意喚起 ^{※1}	0.2ppm以上	5ppm以上	注意喚起放送
注意喚起(強) ^{※1}	2ppm以上	—	注意喚起放送(強)
注意情報 ^{※2}	5ppm以上	10ppm以上	閉鎖
警戒情報 ^{※2}	10ppm以上	50ppm以上	閉鎖

※1：基準値は5分間の平均値

※2：基準値は瞬間値

解析方法

- そこで、これらの基準値の超過日数を算出し、閉鎖等の措置対応が必要となる日数を調べ、月別に整理した。
- 開放時間を9時から17時とし、開放するか否かは8時30分から9時までのデータにより判断すると想定した。
- 具体的な解析項目は次のスライドに示した。

解析項目

1. 閉鎖基準値の超過日数
2. 開放時間内に基準値に達した日数
3. 開放前（8時30分から9時まで）に基準値に達した日数
4. 開放前（8時30分から9時まで）が基準値未満で、その後17時までに基準値に達した日数
5. 開放時間内を通じて全て基準値未満の日数（特段の対応が必要のない日数）
6. 開放時間に関わらず基準値に達した日数

結果および考察

- 表1の対応措置に基づき、月別に整理した結果を表2に示した（濃度の単位は全て「ppm」）。
- 注意喚起および注意喚起(強)基準については、実際の運用（5分間の平均値）とは異なるため、基準超過の可能性、すなわち何らかの対応が必要となる可能性がある日数を示していることに注意していただきたい。

表2 自然研究路内の火山ガス濃度解析結果

(1) 開放時間内に基準値に達した日数（何らかの対応が必要になる可能性がある日数）

	2018年1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計	8月まで
注意喚起 (SO ₂ ≧0.2、H ₂ S≧5)	21	11	18	14	16	22	18	16	22	24	22	16	220	136
注意喚起(強) (SO ₂ ≧2)	0	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	4	4
注意情報 (SO ₂ ≧5、H ₂ S≧10)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
警戒情報 (SO ₂ ≧10、H ₂ S≧50)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2019年1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計	8月まで
注意喚起 (SO ₂ ≧0.2、H ₂ S≧5)	17	20	16	24	25	23	20	20					165	165
注意喚起(強) (SO ₂ ≧2)	0	0	0	5	2	2	4	10					23	23
注意情報 (SO ₂ ≧5、H ₂ S≧10)	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0
警戒情報 (SO ₂ ≧10、H ₂ S≧50)	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0

(2) 8時30分から9時までに基準値に達した日数（9時の時点で何らかの対応が必要になる可能性がある日数）

	2018年1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計	8月まで
注意喚起 (SO ₂ ≧0.2、H ₂ S≧5)	6	10	12	9	16	15	11	12	18	21	10	4	144	91
注意喚起(強) (SO ₂ ≧2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
注意情報 (SO ₂ ≧5、H ₂ S≧10)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
警戒情報 (SO ₂ ≧10、H ₂ S≧50)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2019年1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計	8月まで
注意喚起 (SO ₂ ≧0.2、H ₂ S≧5)	7	6	5	15	19	19	15	18					104	104
注意喚起(強) (SO ₂ ≧2)	0	0	0	0	0	0	1	0					1	1
注意情報 (SO ₂ ≧5、H ₂ S≧10)	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0
警戒情報 (SO ₂ ≧10、H ₂ S≧50)	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0

表2 自然研究路内の火山ガス濃度解析結果(つづき)

(3) 8時30分から9時まで基準値未満で、その後17時までに基準値に達した日数

	2018年1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計	8月まで
注意喚起 (SO ₂ ≧0.2、H ₂ S≧5)	15	2	9	6	2	6	7	5	4	3	12	12	83	52
注意喚起(強) (SO ₂ ≧2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
注意情報 (SO ₂ ≧5、H ₂ S≧10)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
警戒情報 (SO ₂ ≧10、H ₂ S≧50)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2019年1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計	8月まで
注意喚起 (SO ₂ ≧0.2、H ₂ S≧5)	10	14	12	10	6	4	6	2					64	64
注意喚起(強) (SO ₂ ≧2)	0	0	0	1	0	0	0	1					2	2
注意情報 (SO ₂ ≧5、H ₂ S≧10)	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0
警戒情報 (SO ₂ ≧10、H ₂ S≧50)	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0

(4) 開放時間内を通じて全て基準値未満の日数 (特段の対応が必要のない日数)

	2018年1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計	8月まで
開放時間内全て基準値未満の日数	10	17	13	16	15	8	13	15	8	7	8	14	144	107
	2019年1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計	8月まで
開放時間内全て基準値未満の日数	14	8	13	6	6	7	11	11					76	76

	2018年1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計	8月まで
一日中全て基準値未満の日数	7	5	3	9	3	4	11	8	5	2	2	12	71	50
	2019年1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計	8月まで
一日中全て基準値未満の日数	8	3	7	2	3	3	5	7					38	38

表2 自然研究路内の火山ガス濃度解析結果(つづき)

(5) 開放時間に関わらず基準値に達した日数

	2018年1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計	8月まで
注意喚起 (SO ₂ ≧0.2、H ₂ S≧5)	24	23	28	21	28	26	20	23	25	29	28	18	293	193
注意喚起(強) (SO ₂ ≧2)	1	1	1	4	3	1	2	2	0	0	0	0	15	15
注意情報 (SO ₂ ≧5、H ₂ S≧10)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
警戒情報 (SO ₂ ≧10、H ₂ S≧50)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2019年1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計	8月まで
注意喚起 (SO ₂ ≧0.2、H ₂ S≧5)	23	25	22	28	28	27	26	24					203	203
注意喚起(強) (SO ₂ ≧2)	0	0	2	6	6	4	8	12					38	38
注意情報 (SO ₂ ≧5、H ₂ S≧10)	0	0	0	0	1	0	0	1					2	2
警戒情報 (SO ₂ ≧10、H ₂ S≧50)	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0

静穏時の状況（2018年の結果）

- 2018年の1年間については、開放時間内に閉鎖基準（ $\text{SO}_2 \geq 5$ 、 $\text{H}_2\text{S} \geq 10$ ）に達した日はなかった（表2の(1)）。ただし、開放時間外に H_2S が10ppmとなる日が4月に1日だけあった（表2の(5)）。
- 火山活動が静穏な状況であっても、自然研究路を閉鎖し、退避措置を実施する可能性があることに留意する必要がある。また、 $\text{SO}_2 \geq 5$ となる日はなかった。

静穏時の状況（2018年の結果）

- 開放時間内に注意喚起放送など、何らかの**対応措置が必要となる可能性がある日数は220日**であった（表2の(1)）。これは**年間の約6割**に相当する。
- ただし、そのうち**注意喚起(強) ($\text{SO}_2 \geq 2$) に達したのは4日間**と非常に少なく（表2の(1)）、**対応措置としてはほとんどが注意喚起放送**であった。

静穏時の状況（2018年の結果）

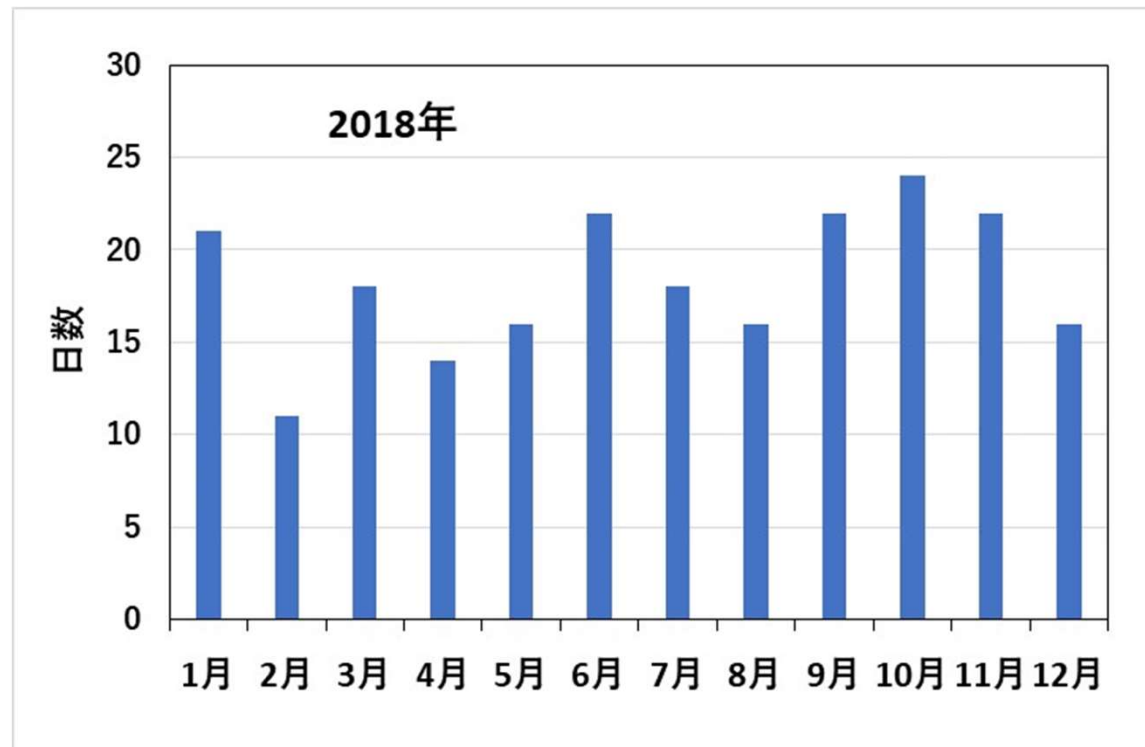


図1 開放時間内に基準値に達した日数（2018年）

2018年（静穏時）において、開放時間内に基準値に達した日数については明瞭な季節的な違いは認められなかった。

静穏時の状況（2018年の結果）

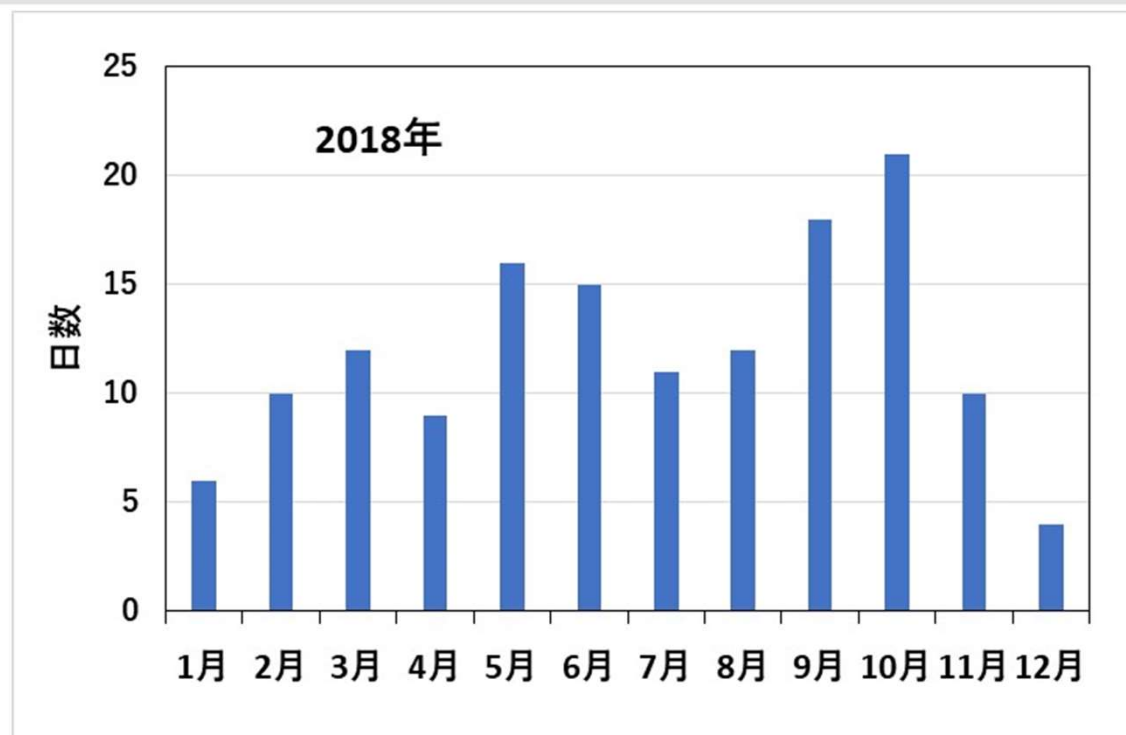


図2 開放前（8時30分から9時まで）に基準値に達した日数（2018年）

一方で、開放前（8時30分から9時まで）に基準値に達した日数では、冬期（1月、11月、12月）に少ない傾向がみられた。

静穏時の状況（2018年の結果）

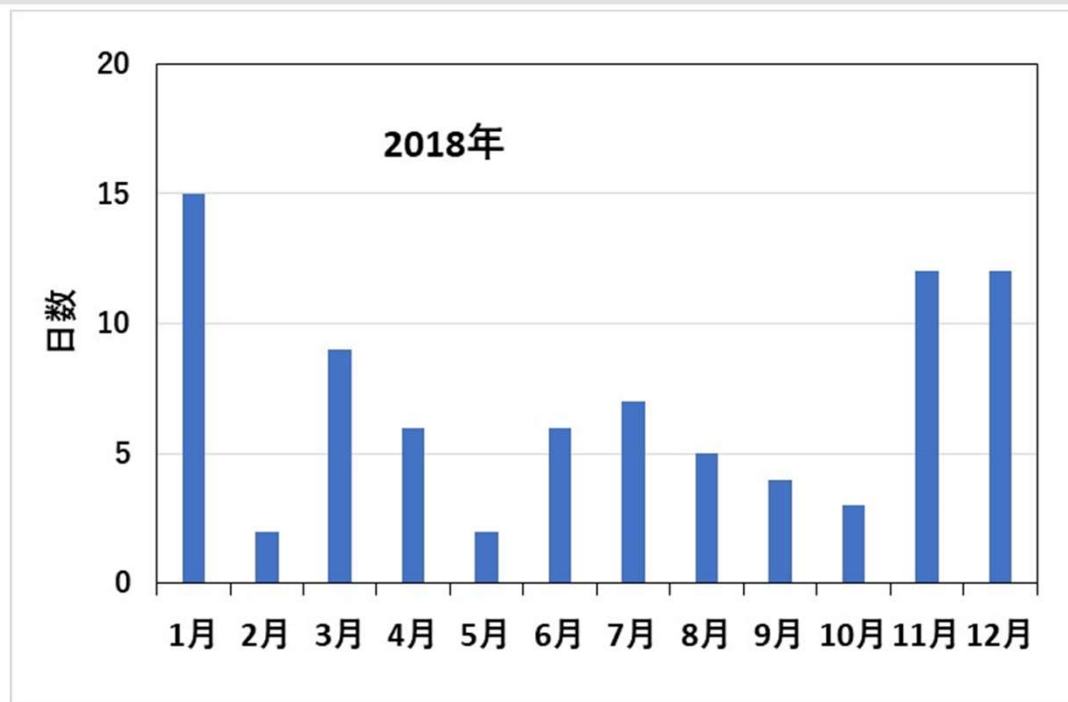


図3 開放前（8時30分から9時まで）が基準値未満で、その後17時までに基準値に達した日数（2018年）

その反面、開放前（8時30分から9時まで）が基準値未満で、その後17時までに基準値に達した日数は冬期に多かった。

静穏時の状況（2018年の結果）

- 冬期においては、朝は火山ガス濃度が低いものの、その後風向きの変化により濃度が上昇する割合が高いことを示しており、自然研究路再開時の運用としては、とくに冬期に注意する必要があるものと考えられる。
- ただし、注意喚起(強)以上（ $\text{SO}_2 \geq 2$ ）の濃度になることはなかった（表2の(3)）。

活発化時の状況（2019年の結果）

- 2019年の箱根山の活動は、火山性地震の発生頻度が高まるとともに、山体の膨張を示す地殻変動が観測され始めた3月中旬頃から始まったと推定される。
- その後、5月には群発地震が発生するなど火山活動が活発化し、噴火警戒レベルが2に引き上げられた。
- 8月末頃には山体の膨張を示す地殻変動が鈍化したことから、火山活動が活発であった時期は3月中旬頃から8月ないしは9月頃と考えられる。

活発化時の状況（2019年の結果）

- 神山登山口のSO₂計のデータが測定器の故障により9月4日以降欠測となったことから、今回は8月末までのデータを対象として解析した。
- 先述したとおり、火山活動が活発であった時期は3月中旬頃から8月ないしは9月頃と考えられることから、火山活動が活発な時期はほぼカバーできていると考えられる。

活発化時の状況（2019年の結果）

- 火山活動が活発であった2019年においても、**開放時間内に閉鎖基準（ $\text{SO}_2 \geq 5$ 、 $\text{H}_2\text{S} \geq 10$ ）に達した日はなかった（表2の(1)）。**
- **開放時間外を含めても、 $\text{SO}_2 \geq 5$ となった日が2日間（5月と8月に1日ずつ）だけであり（表2の(5)）、火山活動が静穏であった2018年と大差はなかった。**

活発化時の状況（2019年の結果）

- **今回**、噴火警戒レベルが2に引き上げられるような活動であっても、**閉鎖基準**に至るまで火山ガス濃度が上昇することは**非常に少ない**という結果であった。
- しかしながら、水蒸気噴火が発生した2015年のように、**非常に活発な活動**においては閉鎖基準を**超過する可能性は十分にある**と考えられる。
- したがって、**日々の訓練などの十分な対策を行うことが重要**であると考えられる。

活発化時の状況（2019年の結果）

- 開放時間内に注意喚起放送など、何らかの対応措置が必要となる可能性がある日数は165日であった（表2の(1)）。2018年の8月まで（136日）と比較すると、約1.2倍に増加していた。
- そのうち、注意喚起(強) ($\text{SO}_2 \geq 2$) に達した日は23日あり（表2の(1)）、2018年（4日）と比較して多く、2019年の方が相対的に濃度が高かった。
- さらに、1～3月には $\text{SO}_2 \geq 2$ の日は全くなく、4月以降に認められていることから（表2の(1)）、火山活動の活発化を反映しているものと考えられる。

活発化時の状況（2019年の結果）

- 火山活動が活発であった4月から8月において、開放時間内を通じて基準値未満の日（特段の対応が必要のない日数）は41日であった（表2の(4)）。
- 4月から8月までの総日数（153日）に対する割合では26.8%となる。
- このことは、1週間のうち5日程度は何らかの措置対応が必要となる可能性があることを示している。

活発化時の状況（2019年の結果）

- 1日のうち1度でも**注意喚起(強) ($\text{SO}_2 \geq 2$)**に達した日数は**38日**であった（表2の(5)）。
- **2018年（15日）**と比較すると**2.5倍**にもなる。
- このことは、火山活動が**活発化した際に相対的に火山ガス濃度が高くなる**ことを示している。
- 今後は、**注意喚起(強) ($\text{SO}_2 \geq 2$) の発生頻度**などに基づいて、火山活動の**活動度評価にも利用できる可能性**があるものと考えられる。

まとめ

- 火山活動**静穏時**として2018年、**活発化時**として2019年について解析した。
- 2018年の解析から、自然研究路再開時の運用としては、とくに**冬期に注意**する必要があるものと考えられた。
- どちらの年も**閉鎖基準に達する日はほとんどなかったが、注意喚起(強)以上 ($\text{SO}_2 \geq 2$) となる日は2019年の方がかなり多く、相対的に濃度が高かった。**
- ただし、火山活動が**静穏な状況**であっても、**閉鎖基準に達する**（自然研究路を閉鎖し、退避措置を実施する）**可能性があることに留意**する必要がある。

まとめ

- 火山活動が活発な状況では、1週間のうち5日程度は何らかの措置対応が必要となる可能性があると考えられた。
- 注意喚起(強) ($\text{SO}_2 \geq 2$) の発生頻度が、火山活動の活発化を反映していたことから、今後は活動度の評価に利用できる可能性もあると考えられた。

※ 本成果は「大涌谷自然研究路内の火山ガス濃度（2018～2019年）」として、今年度の研究報告にまとめてあります。当センターの研究報告については、ホームページから閲覧・ダウンロードできますので、ご興味のある方はご覧ください。