

資料 (Data)

大涌谷自然研究路内の火山ガス濃度 (2018~2019 年)

代田 寧, 十河孝夫*

(調査研究部, *温泉地学研究所)

Concentration of the volcanic gases at Owakudani Nature Trail in Hakone volcano, Japan (2018~2019)

Yasushi DAITA and Takao SOGO*

(Research Division, *Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture)

キーワード: 大涌谷, 自然研究路, 火山ガス濃度, 基準値, 対応措置

1 はじめに

箱根山は、しばしば群発地震が発生する活火山である。2015年には、群発地震の発生および山体が膨張する地殻変動に加え、大涌谷において小規模ながら水蒸気噴火が発生するなど非常に活発化した¹⁾。噴火警戒レベルは5月6日に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、その後も活発な状態は続き、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。その後、地震活動が低下し、地殻変動も停滞したことから、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)に引き下げられたが、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。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、同園地は一部開放となったが、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ままとなった。

2015年の活動で特徴的なのは、温泉造成用の蒸気井が暴噴し、新たな火口や噴気孔が形成されたことである。蒸気井や火口・噴気孔からは、二酸化硫黄(SO₂)、硫化水素(H₂S)、塩化水素(HCl)などの有害ガスを含む火山ガスが現在でも放出され続けている。さらに、2019年にも火山活動が活発化し、群発地震活動や山体膨張を示す地殻変動などが観測されたことから、噴火警戒レベルが2に引き上げられ、大涌谷園地内では高濃度の火山ガスも観測された²⁾。今後も、数年ごとに火山

活動が活発化する可能性があり、自然研究路を含む大涌谷園地内において、火山ガスが高濃度になることが懸念されるため、観光客等の安全性を担保するための対策が必要になるものと考えられる。

現在開放されている自然研究路を除いた大涌谷園地内(駐車場周辺)には、土産物施設などの堅牢な建物があるため、火山ガスが高濃度になった際には屋内退避が可能である。一方、立入規制が継続されている自然研究路では、研究路の再整備(避難経路の確保・拡充)および噴石に対するシェルターの整備などの取り組みが進められているものの、火山ガス濃度が高濃度になった際に直ちに避難できる建物はなく、駐車場周辺とは異なる対応、すなわち、より迅速な対応が必要になってくるものと考えられる。このような中で自然研究路を再開するには、火山ガス対策が今後の重要な課題になると考えられ、自然研究路内の火山ガス濃度の予測、あるいは高濃度になった際に迅速に退避をうながし、立入規制をすることなどが観光客等の安全を確保するために必要となる。

ここでは、現在閉鎖されている自然研究路が開放された際の観光客等の安全確保および行政側の迅速な対応に貢献するため、自然研究路内に2か所設置してある火山ガス自動連続測定装置のデータ(SO₂およびH₂S)を解析し、主として開放時間における自然研究路内の火山ガス濃度の変動について調べ、火山活動の静穏時と活発化時における比較をしたので報告する。

2 方法

2.1 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か所を対象とし、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。測定機器の概要については池貝ら³⁾にまとめられているが、取得可能な最小データである20秒毎の最大値を基本データとして解析を行った。なお、火山ガス濃度の単位は全て「ppm」であり、本文中では記載を省略する。

2.2 解析方法

箱根町、気象庁、県および関係事業者等で構成される箱根山火山防災協議会では、「大涌谷周辺の観光客等の避難誘導マニュアル」を策定し、火山ガス(SO₂およびH₂S)濃度により自然研究路の閉鎖などの対応措置を設定している⁴⁾。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。基準値および対応措置については、表1に示した。今後、単に「基準値」と表現した場合は、注意喚起、注意喚起(強)、閉鎖(注意情報および警戒情報)の全ての基準値のことを示す。なお、自然研究路以外の園地内における対応措置は、注意情報では屋内退避、警戒情報では避難(災害対策基本法に基づく避難指示)となっている。自然研究路内は屋内退避が可能な建物がないため、注意情報の段階で閉鎖し、立入者を迅速に避難誘導する必要がある。

また、本研究は自然研究路が再開された際の観光客等の安全確保が目的であるため、人が立ち入ることができる時間帯を重視している。そこで、自然研究路の開放時間を9時から17時と設定し、9時に開放するか否かは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。具体的な検討項目は以下の通りである。

- (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

2.3 解析の対象期間

2.3.1 静穏時

最近の箱根山では、数年ごとに火山活動が活発化しているが、2018年の1年間は群発地震の発生はなく⁵⁾、山体膨張を示す地殻変動も認められなかった⁶⁾ことなどから、火山活動は静穏であったといえる。そこで、火山活動静穏時の状況を把握する目的で、2018年の1年間を対象として解析した。ただし、機器の故障等により、3月5日10時47分~4月5日13時49分では、神山登山口のH₂Sが欠測となっている。しかしながら、以下の理由により、この期間も解析の対象とした。表1の通り最も低濃度である注意喚起基準値は、H₂Sが5以上なのに対してSO₂は0.2以上と非常に低く、実際に2018年の上記以外の期間では、H₂Sが5以上の場合にはSO₂も0.2以上であったため、SO₂のデータだけで基準超過日数を算出しても問題ないものと考えられる。また、12月7日09時46分~14時55分では、全データが欠測となっており、基準超過の判断ができなため解析から外した。したがって、2018年の解析対象は364日となった。

2.3.2 活発化時

2019年の箱根山では、3月から徐々に火山性地震の発生頻度が高まり、山体の膨張を示す基線長の伸びも観測され始めた²⁾。その後、5月には群発地震の発生などにより、噴火警戒レベルが2に引き上げられたことから、活発化時の状況を把握することを目的として2019年の火山ガス濃度について解析した。なお、神山登山口のSO₂計が故

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

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	2018年2月	2018年3月	2018年4月	2018年5月	2018年6月	2018年7月	2018年8月	2018年9月	2018年10月	2018年11月	2018年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	2019年2月	2019年3月	2019年4月	2019年5月	2019年6月	2019年7月	2019年8月	2019年9月	2019年10月	2019年11月	2019年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	2018年2月	2018年3月	2018年4月	2018年5月	2018年6月	2018年7月	2018年8月	2018年9月	2018年10月	2018年11月	2018年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	2019年2月	2019年3月	2019年4月	2019年5月	2019年6月	2019年7月	2019年8月	2019年9月	2019年10月	2019年11月	2019年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

(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	2018年2月	2018年3月	2018年4月	2018年5月	2018年6月	2018年7月	2018年8月	2018年9月	2018年10月	2018年11月	2018年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	2019年2月	2019年3月	2019年4月	2019年5月	2019年6月	2019年7月	2019年8月	2019年9月	2019年10月	2019年11月	2019年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	2018年2月	2018年3月	2018年4月	2018年5月	2018年6月	2018年7月	2018年8月	2018年9月	2018年10月	2018年11月	2018年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	2019年2月	2019年3月	2019年4月	2019年5月	2019年6月	2019年7月	2019年8月	2019年9月	2019年10月	2019年11月	2019年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	2018年2月	2018年3月	2018年4月	2018年5月	2018年6月	2018年7月	2018年8月	2018年9月	2018年10月	2018年11月	2018年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	2019年2月	2019年3月	2019年4月	2019年5月	2019年6月	2019年7月	2019年8月	2019年9月	2019年10月	2019年11月	2019年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

(5) 開放時間に関わらず基準値に達した日数

	2018年1月	2018年2月	2018年3月	2018年4月	2018年5月	2018年6月	2018年7月	2018年8月	2018年9月	2018年10月	2018年11月	2018年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	2019年2月	2019年3月	2019年4月	2019年5月	2019年6月	2019年7月	2019年8月	2019年9月	2019年10月	2019年11月	2019年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

※ 火山ガス濃度の単位はすべて「ppm」

障し、9月4日以降のデータが欠測となったことから、8月末までのデータを対象とした。さらに、3月11日と15日は欠測時間が長いことから対象外としたため、2019年の解析対象日数は241日となった。そのほか、機器の故障等により、4月6日18時06分～4月22日09時15分ではたまご蒸し場のH₂Sが欠測となっているが、前節で述べたよ

うにSO₂計に欠測がないため基準超過日数には影響しない。また、8月3日、4日、9日の一部の時間帯でたまご蒸し場のSO₂が欠測となっているが、欠測時間が短いこと、また神山登山口に欠測がないことから、基準超過日数にはほとんど影響はないものと考えられ、解析の対象とした。

2019年の活動は、火山性地震の発生頻度が高ま

るとともに、山体の膨張を示す基線長の伸びが観測され始めた3月中旬頃から始まったと推定される。一方、基線長の伸びの変化が8月末頃から鈍化しており⁷⁾、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。このようなことから、今回解析の対象とした期間は8月末までとなったものの、活発な時期はほぼカバーできているものと考えられる。

3 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。表2には、2018年(静穏時)と2019年(活発化時)を比較するため、8月までの合計日数も示した。なお、注意喚起基準($\text{SO}_2 \geq 0.2$, $\text{H}_2\text{S} \geq 5$)および注意喚起(強)基準($\text{SO}_2 \geq 2$)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。

3.1 2018年(静穏時)の状況

3.1.1 閉鎖基準値の超過日数

火山ガス濃度が閉鎖基準($\text{SO}_2 \geq 5$, $\text{H}_2\text{S} \geq 10$)に達した場合、開放時間前であれば立入規制をすればよいが、開放時間中の場合には立入者を退避させる必要があり、対応措置としては最も大変な作業になると考えられる。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日だけあり(表2の(5))、火山活動が静穏な状況であっても、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。

3.1.2 開放時間内に基準値に達した日数

開放時間内(9時から17時まで)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(解析対象とした364日の60.4%)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、対応措置としてはほとんどが注意喚起放送であった。

3.1.3 開放前(8時30分から9時まで)に基準値に達した日数

自然研究路が再開された際には、開放するのかわ立入規制するのかわを毎朝判断する必要がある。そこで、9時から開放するかどうかを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、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を調べた結果、144日であった(表2の(2))。これは年間の約4割(39.6%)に相当する。また、注意喚起(強)以上($\text{SO}_2 \geq 2$)になる日はなかった。

3.1.4 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

自然研究路が再開された際の運用においては、自然研究路内に観光客がいる時に火山ガス濃度が高くなる状況が一番問題になると考えられる。そこで、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を調べた結果、83日となった(表2の(3))。これは年間の2割程度(22.8%)であり、それほど多くはなかった。また、注意喚起(強)以上($\text{SO}_2 \geq 2$)になる日はなかった。

3.1.5 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)

開放時間内において、全て基準値未満の日が144日あった(表2の(4))。これは2018年の1年間では、約4割(39.6%)の日で特段の対応が必要なかったことを示す。また、開放時間外も含めて一日中基準値未満の日数は71日(19.5%)であった(表2の(4))。

3.1.6 開放時間に関わらず基準値に達した日数

開放時間に関わらず、1日のうち一度でも基準値に達した日は293日あり(表2の(5))、年間の約8割(80.5%)に相当する。そのうち注意喚起(強)以上($\text{SO}_2 \geq 2$)の日数は16日(年間の4.4%)であった。

3.2 季節的な影響

自然研究路内の火山ガス濃度は、主に「風向・風速」および「発生源」の2つの要素が関係していると考えられる。風向・風速については、季節による変動が大きい。一方、発生源については温泉造成のための蒸気井および自然噴気孔であり、こ

れらから放出される火山ガスは火山活動の状況により変動する。2018年は年間を通じて静穏であり^{5,6)}、発生源の変動は小さいと推測されることから、季節的な影響を検討するのに適していると考えられる。

2018年において、開放時間内に基準値に達した日数を確認したところ、季節的な違いは明瞭には認められなかった(図1)。一方、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(図2)。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くなっている(図3)。これは、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た。

3.3 2019年(活発化時)の状況および2018年との比較

3.3.1 閉鎖基準値の超過日数

火山活動が活発化した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年と大差なかった。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が、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。ただし、2015年と同じような経過をたどる活動であれば、群発地震の発生および山体膨張を示す地殻変動が先行し、すでに立入規制されている可能性が高いことも想定される。このようなことから、避難等の措置対応を行う可能性は低いことも考えられるが、突発的な活動により急激に火山ガス濃度が上昇する事態もあり得るため、最悪のシナリオを想定し、具体的な対応方法の策定および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。

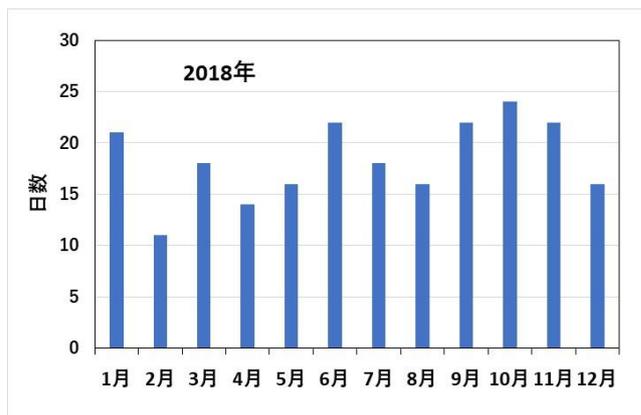


図1 開放時間内に基準値に達した日数(2018年)

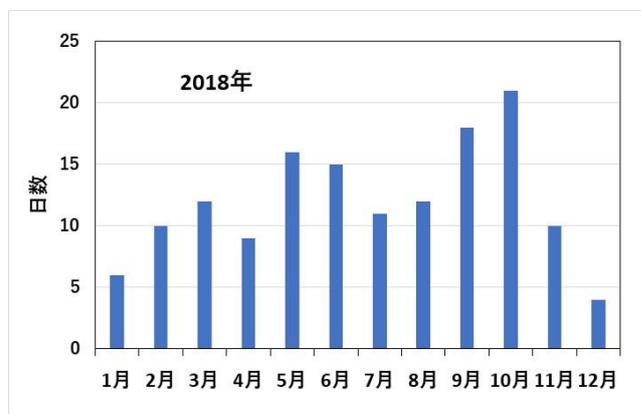


図2 開放前(8時30分から9時まで)に基準値に達した日数(2018年)

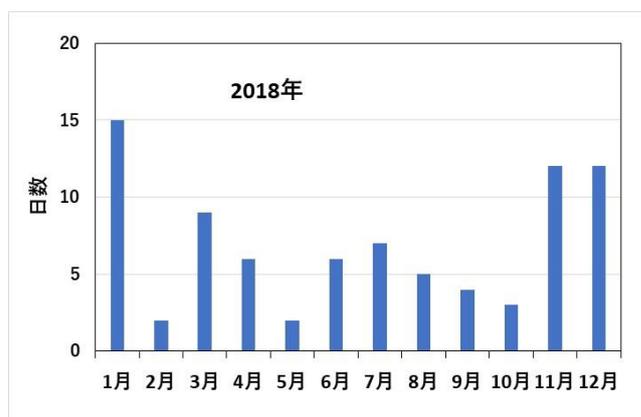


図3 開放前(8時30分から9時まで)が基準値未満で、その後17時までに基準値に達した日数(2018年)

3. 3. 2 開放時間内に基準値に達した日数

2019年1月から8月までの開放時間内に、基準値に達した日数は165日であり(表2の(1))、対象とした日数(241日)に対する割合は約7割(68.5%)であった。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。一方、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年が4日であったのと比較して多い結果であった。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、火山活動の活発化を反映しているものと考えられた。

3. 3. 3 開放前(8時30分から9時まで)に基準値に達した日数

開放前の8時30分から9時までに基準値に達した日数は104日であり(表2の(2))、対象とした日数(241日)に対する割合は43.2%であった。また、2018年(91日)と比較して、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はやや多くなる結果となった。ただし、注意喚起(強)以上($\text{SO}_2 \geq 2$)になった日は1日だけであった。

3. 3. 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

2019年1月から8月まででは64日となり(表2の(3))、対象とした日数(241日)に対する割合は26.6%であった。月別の日数で見ると、火山活動が活発化している5月から8月において少なくなっている。これは、開放前の時点で、すでに注意喚起基準($\text{SO}_2 \geq 0.2$ 、 $\text{H}_2\text{S} \geq 5$)に達している日が多いためである。

また、注意喚起(強)($\text{SO}_2 \geq 2$)に達した日数に目を向けると、開放前(8時30分から9時まで)にすでに達しているのは1日(表2の(2))、開放前が基準値未満($\text{SO}_2 < 0.2$ 、 $\text{H}_2\text{S} < 5$)でその後17時までに達した日は2日だけである(表2の(3))。一方、開放時間内に注意喚起(強)($\text{SO}_2 \geq 2$)に達した日数は23日と多いことから(表2の(1))、開放前の時点ですでに注意喚起基準($\text{SO}_2 \geq 0.2$ 、 $\text{H}_2\text{S} \geq 5$)に達しており、その後火山ガス濃度が上昇して $\text{SO}_2 \geq 2$ になった日が多いと考えられた。

3. 3. 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)

開放時間内において全て基準値未満の日は76日であった(表2の(4))。これは、2019年1月から8月までにおいては、約3割(31.5%)の日で特段の対応が必要なかったことを示し、火山活動が静穏であった2018年(39.6%)よりも少ない結果となった。さらに、火山活動が活発であった4月から8月に限定すると、26.8%(41日/153日:基準値未満の日数/4月から8月までの総日数)となり、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状況であった。

また、開放時間外も含めて一日中基準値未満の日は38日(15.8%)であり、2018年の1月から8月までの50日と比較して少なく、相対的に2019年の方が高濃度であった。

3. 3. 6 開放時間に関わらず基準値に達した日数

開放時間に関わらず、1日のうち一度でも基準値に達した日は203日であった(表2の(5))。対象とした日数(241日)に対する割合は84.2%であり、2018年(80.5%)と比較してそれほど大きな差はなかった。また、1月から8月までの日数で比較しても、2018年は193日であったため、やはり大きな差はない。すなわち、静穏時であっても、風向・風速によっては注意喚起基準($\text{SO}_2 \geq 0.2$ 、 $\text{H}_2\text{S} \geq 5$)に達する可能性はかなり高いものと考えられた。一方で、注意喚起(強)($\text{SO}_2 \geq 2$)に達した日数については、2018年の15日に対して2019年は38日であり、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おり、注意喚起(強)($\text{SO}_2 \geq 2$)の発生頻度などを基にして、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た。

4 おわりに

今後自然研究路が再開され、安全な運用を行うためには、火山ガス対策を欠かすことはできない。そのためには、火山ガス濃度の上昇をいち早くつかむことが重要となる。

池貝ら³⁾により、高濃度になりやすい風向・風速が明らかになっていることから、天気予報サイトなどから、風向・風速の1時間予報などの情報を取得し、高濃度になりやすいかの判断あるいは措置対応の準備に活用していくこともできると考えられる。高濃度になりそうな風向・風速が予

測されている場合の対応方法としては、関係者間で情報を共有する、積極的な声掛けや放送の頻度を上げる、研究路内を巡回し立入者の人数や年齢層などの状況を事前に把握しておく、ことなどが考えられる。

また、火山ガス濃度を直接予測することができれば、より確実に濃度上昇を予測でき、避難行動などの迅速な対応につながるものと期待される。そのためには、機械学習やモデル計算などの手法を活用した火山ガス濃度の予測研究も今後必要であると考えられる。

今回、注意喚起放送や閉鎖等の措置が必要となる日数や割合について、2018年（静穏時）と2019年（活発化時）の比較をしながら整理した。その結果、閉鎖基準に達するほど高濃度になることはほとんどなかったものの、火山活動が活発化した場合には、相対的に濃度が高くなり、何らかの措置対応が必要となる日数が1週間のうち5日程度となる状況であった。本報が、自然研究路が再開された際の運用に少しでも寄与できれば幸いである。

謝辞

火山ガスの測定データについては、自然環境保全センター箱根出張所より提供していただきました。ここに記すとともに深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Mannen, K., Yukutake, Y., Kikugawa, G., Harada, M., Itadera, K. and Takenaka, J.: Chronology of the 2015 eruption of Hakone volcano, Japan – geological background, mechanism of volcanic unrest and disaster mitigation measures during the crisis, *Earth, Planets and Space*, 70:68. doi: 10.1186/s40623-018-0844-2 (2018)
- 2) 瀧沢倫明：2019年の箱根山の火山活動について、神奈川県温泉地学研究所観測だより, 70, 1-6 (2020)
- 3) 池貝隆宏, 十河孝夫, 代田寧, 吉田直哉, 菅野重和: 箱根山大涌谷の火山ガス濃度の推移, 神奈川県環境科学センター研究報告, 40, 1-8(2017)
- 4) 箱根山火山防災協議会: 大涌谷周辺の観光客等の避難誘導マニュアル, 33 (2019)
- 5) 行竹洋平, 本多亮, 安部祐希: 神奈川県およびその周辺における2018(平成30)年の地震活動, 神奈川県温泉地学研究所観測だより, 69, 49-54

(2019)

- 6) 原田昌武, 板寺一洋, 道家涼介: 神奈川県西部地域における2018(平成30)年の地殻変動観測結果, 神奈川県温泉地学研究所観測だより, 69, 39-48 (2019)
- 7) 気象庁地震火山部火山監視・警報センター: 箱根山の火山活動解説資料(令和元年9月), 1-11 (2019)