箱根大涌谷の噴気ガスの特性

著者	高橋 清, 伊藤 司郎, 前田 憲二郎
雑誌名	防災科学技術総合研究報告
号	8
ページ	13-19
発行年	1966-03-31
URL	http://id.nii.ac.jp/1625/00002514/

551.21 (521.26)

箱根大涌谷の噴気ガスの特性

高橋　清・伊藤司郎
地質調査所技術部地球化学課
前田憲二郎
地質調査所技術部化学課

Geochemical Investigation of the Fumarolic Gases at Owakudani, Hakone Volcano

By Kiyoshi Takahashi, Shiro Itoh and Kenjiro Maeda
Geological Survey of Japan, Tokyo

Abstract

It has been generally noticed from chemical studies of fumarolic gases, such as at Showashinzan, that the SO_2/H_2S ratios increase with the increases of temperature and activity of fumarolic gases, whereas the contents of H_2 and HCl decrease with decreasing temperature.

In Owakudani area, there are many fumaroles and boring holes. Almost all fumarolic gases are mainly composed of CO_2 and H_2S, and scarcely contain SO_2 and HCl, except at the fumarole A-2 (boring hole, 70-m depth) where the gas contains not only CO_2 and H_2S, but also considerably high amounts of SO_2 and HCl.

These data show that the fumarolic gases at Owakudani are still in a state of fairly strong activity.

Most of the "CO_2-H_2S" type gases show abnormally high contents of H_2 for their temperatures. It is considered that this enrichment is caused by the contamination of spring water and surface water, and the enrichment of H_2 and N_2 gases in hot spring water is similarly explained.

The seasonal fluctuation of chemical compositions in gases is considerably large. For example, the H_2S/CO_2 ratio becomes higher in rainy season than in dry season; this is contrary to the general fluctuation of the H_2S/CO_2 ratio in some volcanoes.

1. まえがき

火山性地すべりは，いわゆる第三紀地すべりや破砕帯地すべりなどとは異なり，現在さかんに活動している噴気および温泉により変質生成した大規模な粘土帯の存在や複雑な地すべり面の存在などの要因がからみあい，その地すべり発生機構は非常に複雑である．

箱根の大涌谷，早雲山では現在でもさかんに噴気，温泉が活動し，これに伴う岩石の変質，粘土化が行なわれ，規模の大小のちがいこそあれ，降雨あるいは群発地震などの外的な影響により地すべりが頻発している．すなわち最近では昭和28年7月26日早雲山に発生した大地すべりが最もよく知られている．この地すべりは梅雨後数日を経ないで起ったもので，要因としては大規模な変質粘土帯の存在で，これに長期にわたる相当量の降雨のために中立応力の発生や粘土の物性の変化，噴気ガスの異常噴出などが伴って起ったと考えられている．

この研究は上述したように箱根大涌谷，早雲山地域の火山性地すべり発生に密接な関係のある噴気ガスの特性

を明らかにし，また降雨量や温泉湧出量*の変化と噴気ガス組成との関係および地すべりの発生時期との関連性を検討する目的で，主として大涌谷で行なったものである．

それゆえ噴気ガス組成の測定は定期的に行なっている．

2. 大涌谷の噴気の状況

大涌谷地域では一般に東尾根の西斜面に多くの過去の



図—1 噴 気 孔 分 布 図

× 自然噴気 ● 測定噴気

* 降雨量，温泉湧出量の測定は，箱根温泉供給株式会社の手により行なわれ好意的にデータの供与を受けた．

地すべりの跡を残し，山頂部近くでは半月形の滑落崖がみられ，滑落斜面および下部の変質粘土帯に多くの噴気孔群が活動している．この地域の本総合研究での区分に従えば噴気の状況は北部より次の通りである．

D地区：崩積土が厚くかぶり噴気の活動はみられない．

C地区：噴気孔群は主として下部の変質粘土帯に分布しており，また温泉造成のための約10本の試錐孔がある．現在ではいずれも地下水を注ぎこみ温泉造成に利用しているため90～98°Cの湿潤蒸気を噴出している．この地区はかつては最も噴気活動の激しかった地区であるが現在は変質粘土が帽岩となったためか活動中心を漸次南のB地区に移動している．噴気孔および試錐孔には地下水を注ぎこみまた大気の混入も著るしいのでガス試料の採取は困難であった．このため噴気ガスの測定は1ヶ所参考のために行なったにすぎない．

BおよびA地区：過去に最も多くの地すべりをおこした地区で，山頂部近くには大きな滑落崖を残している．噴気孔群は滑落斜面の相当上部から下部に散在し大涌谷の沢底にも盛に活動しており，B地区で特に著るしい．試錐孔はこれらの地区では地すべり防止対策としてガス抜きのために斜面から下部にかけて約100本実施されたが，現在では約10本が孔口温度98～153°Cの噴気ガスを噴出している．これらの地区で定期観測のために数本の試錐孔および噴気孔を選び測定を行なった．

EおよびF地区：A，B，C，D地区の沢の対岸に位置し変質岩礫の崩落地帯で急崖をなし噴気活動は全くみられない．

G地区：冠嶽の南の沢に当り多数の大きな転石の散在する急斜面の中に多数の噴気孔群がみられ，五右衛門地獄などがある．噴気孔群は大部分沢の中に分布し沢水中から"地獄"をなして噴出している．この地区での噴気ガスは，流水あるいは地下水の影響を強く受けている典型として測定した．噴気孔群は下部より次第に上部に移動している．

H地区：比較的平坦な変質粘土帯で過去には噴気活動が行なわれた形跡があるが現在では全く活動していない．

噴気ガスの測定および定期観測を行なった噴気孔および試錐孔の位置を図—1に示す．

3. 試料の採取および分析法

3.1 試料の採取

噴気孔および試錐孔からの噴気ガスの採取は約2mのガラス管の一端を孔口になるべく深く挿入し他端にガス吸収管および100m*l*の2口注射筒を接続して行なった．水蒸気の定量にはガス吸収管を使用せず直接2口注射筒に接続し，またアルカリ溶液に吸収されないガス（水素，窒素，ヘリウムおよびメタン等）を測定するためには苛性ソーダの濃溶液を満したガスビューレット中に噴気ガスを押しこみ，ガスの大部分を占める水蒸気，炭酸ガス，亜硫酸ガスおよび硫化水素をアルカリに吸収させた後，アンプルに導き実験室に運んだ．

噴気ガス凝縮水の採取はガスを捕集瓶に通し，これを水で冷却して種々の成分の分析に供した．

3.2 分析法

水蒸気：2口注射筒により噴気ガスの吸引と排気を繰り返し，ガラス管から注射筒までが100°C近くなり注射筒内の凝縮水を排除した状態で，注射筒ガス排出口を閉じ注射筒を100m*l*の目盛線まで拡げた後，気温まで放冷する．そして注射筒に溜った水の容積を測容ピペットで測定し，注射筒内のガスの容積とから噴気ガス中の水蒸気とガスとの割合を算出した．

アルカリに吸収されるガス，酸素およびその他のガス：気温まで注射筒内で放冷したガスを水銀を満たしたガスビューレット中に一定量導き，これに苛性ソーダ濃溶液を加えて良く振り，その時のガス容積量の減少をアルカリに吸収されるガス（炭酸ガス，亜硫酸ガスおよび硫化水素）とした．

次にピロガロール溶液を加えて良く振り，ガス容積量の減少を酸素とし，残ガスをその他とした．

亜硫酸ガスおよび硫化水素：気温まで注射筒内で放冷したガスを一定容量苛性ソーダ溶液中に通し定容（100m*l*）とし，これより20m*l*分取し塩酸(1：1)を数滴加えて酸性にしN/10沃ド溶液を10m*l*加えた後チオ硫酸ソーダ規定液で滴定し，硫化水素と亜硫酸ガスの合量とする．

ふたたび20m*l*分取し酢酸カドミウム溶液を加えて硫化カドミウムの沈澱を作りこれを塩酸で溶解しつつN/10沃ド溶液10m*l*を加えてチオ硫酸ソーダ規定液で滴定し硫化水素とした．亜硫酸ガスは合量より硫化水素を差引いた量とした．

その他のガス：アンプルを実験室に持ち帰り，ガスクロマトグラフにより，水素，窒素，ヘリウム，メタン等を定量した．

凝縮水の諸成分：常法に従い分析を行なった．

4. 測定の結果

噴気ガスの測定は1964年9月，1965年3月および1965年9月の3回にわたって行なった．第1回の測定はA，

表—1 大涌谷の噴気ガス組成

第1回測定結果（1964年9月）

噴気孔名	B-1	B-3	B-4-1	B-4-2	B-5	A-2	A-3	A-4	G-1	G-2
測定年月日	1964 9.29	1964 9.30	1964 9.30	1964 9.30	1964 9.30	1694 10.1	1964 10.1	1964 10.2	1964 10.3	1964 10.3
温度, °C	95.0	99.2	142.0	93.0	97.5	143.0	97.0	105.0	96.0	96.0
H_2O, vol. %	99.0	99.4	98.8	99.4	99.5	98.5	99.4	98.4	98.8	99.5
Gases 〃	1.0	0.6	1.2	0.6	0.5	1.5	0.6	1.6	1.2	0.5
H_2O 以外の Gas を 100% とした場合の組成										
CO_2, vol. %	72.3	70.5	73.6	70.0	71.4	59.4	70.8	71.0	75.5	69.5
H_2S, 〃	25.9	28.8	25.3	27.6	26.3	24.9	27.6	27.4	19.0	27.4
SO_2, 〃	—	—	—	—	—	14.4	—	—	—	—
その他, 〃	1.8	1.7	1.1	2.4	2.3	1.3	1.6	1.6	5.5	3.1
その他の Gas の組成										
O_2, vol. %			0.00	0.00		0.00			0.00	0.00
N_2, 〃			0.84	1.32		1.05			2.50	0.86
H_2, 〃			0.26	0.18		0.12			2.99	2.23
He, 〃			0.001	0.0005		0.0008			0.002	0.0007
ガス凝縮水の組成										
pH			2.8	3.0		1.0	4.0			
Cl^-, mg/l			10.6	21.3		3019.4	1.8			
SO_4^{2-}			4.9	98.7		31.2	5.7			
free SO_2, 〃			—	—		203.5	—			
free H_2S, 〃			120.1	1.2		2.6	121.0			
HBO_2, 〃			1.4	13.0		35.4	0.4			
H_2SiO_3, 〃			1.3	80.0		1.3	1.3			
Fe^{2+}, 〃			0.3	0.3		0.2	0.3			
Ca^{2+}, 〃			3.1	26.0		1.0	1.0			

〔O_2, N_2, H_2, He はガスクロマトグラフによる，米谷宏分析〕

表—2 大涌谷の噴気ガス組成

第2回測定結果（1465年3月）

噴気孔名	B-1	B-4-1	B-4-2	B-5	A-2
測定年月日	1965 3.23	1965 3.23	1965 3.25	1965 3.25	1965 3.25
温度, °C	95.5	143.0	94.5	98.0	144.5
H_2O, vol. %	99.2	98.6	99.3	99.6	98.4
Gases, 〃	0.8	1.4	0.7	0.4	1.6
H_2O 以外の Gas を 100% とした場合の組成					
CO_2, vol. %	76.7	76.5	74.0	73.8	58.8
H_2S, 〃	21.5	22.1	23.4	23.7	25.9
SO_2, 〃	—	—	—	—	13.8
その他, 〃	1.8	1.4	2.6	2.5	1.5
その他の Gas の組成					
O_2, vol. %		0.00	0.00		0.00
N_2, 〃		1.05	1.40		1.12
H_2, 〃		0.35	1.20		0.38
He, 〃		0.0008	0.0006		0.0007

表—3 大涌谷の噴気ガス組成

第3回測定結果（1965年9月）

噴気孔名	B-1	B-4-1*	B-4-2	B-5	A-2
測定年月日	1965 9.21	1965 9.21	1965 9.22	1965 9.22	1965 9.23
温度, °C	96.0	145.0	96.0	98.0	98.5**
H_2O, vol. %	99.0	99.0	99.4	99.3	99.5
Gases, 〃	1.0	1.0	0.6	0.7	0.5
H_2O 以外の Gas を 100% とした場合の組成					
CO_2, vol. %	70.1	71.8	74.1	73.8	54.9
H_2S, 〃	28.7	26.5	23.0	24.2	19.2
SO_2, 〃	—	—	—	—	24.6
その他, 〃	1.2	1.7	2.9	2.0	1.3
その他の Gas の組成					
O_2, vol. %		0.00	0.00		0.00
N_2, 〃		1.25	1.84		1.05
H_2, 〃		0.45	1.06		0.25
He, 〃		0.001	0.0008		0.0006

* B-4-1 は温泉造成のため測定不能となったため，直上試錐孔を使用．

** A-2 孔は孔内崩壊のためか，噴気圧力および温度の低下がみられた．

B，CおよびG地区全般にわたって行ない，第2，第3回は特定の噴気孔について測定した．測定の月として9月，3月を選定したのは，9月は雨期明けを代表し，3月は乾期を代表するからである．

測定の結果を表—1，2，3に示す．

A-2孔は第1および2回の測定時には表に示すように142～145°C の孔口温度を持ちしかも孔口より析出した硫黄を盛に吹き上げていたが，1965年の梅雨後に内部崩落か硫黄の析出による詰まりかの原因により，孔口温度は98.5°C に下がり噴出圧力も著しく劣えていた．

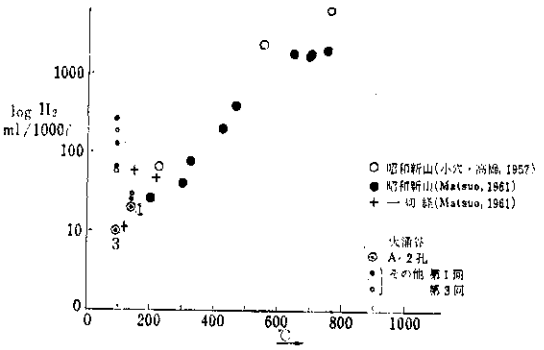
5. 結果の考察

5.1 大涌谷噴気ガスの特性

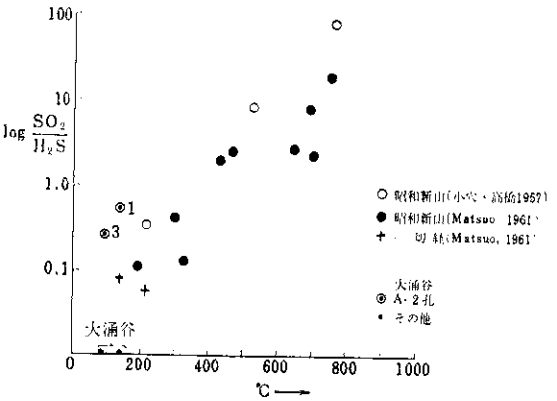
測定結果は一般に大噴谷の噴気ガス組成は，噴気露頭，

試錐孔を含めて，亜硫酸ガスを全く含まない炭酸ガス—硫化水素型を示した．しかし，A地区下部のA-2孔では例外的に炭酸ガス，硫化水素とともに相当量の亜硫酸ガスを含み，しかも凝縮水中には比較的多量の Cl-イオンおよび free SO_2 が認められ大きな特徴となっている．

近年，昭和新山や九州硫黄島などの高温の噴気ガスの地球化学的研究[2][3][4]が進むにつれて，マグマより発散している揮発性成分がどのように分化してゆくかが次第に明らかになってきた．すなわち天水や地下水の混入を受けない高温の噴気ガスでは，水素含量や SO_2/H_2S 比がきわめて高く，また HCl や HF を多量に含み，多くの金属元素がガス中に存在している．これが温度の低下とともに水素含量，SO_2/H_2S 比は小さくなり，HCl や HF 含量も低下する．さらに温度が低下すれば，天水や地下水などの影響を強く受けて，水素含量は異常となり亜硫酸ガスをほとんど含まなくなるために SO_2/H_2S 比はきわめて小さくなる．図—2，図—3は噴気孔口温度と水素含量および SO_2/H_2S 比の関係を示す．例として挙げた昭和新山の場合は，温度と水素含量さらに SO_2/H_2S 比の関係は良い相関を示している[1][2][4]．



図—2　噴気孔温度とガス中の水素含量との関係
（ただし水素含量は全ガス 1,000l 中の水素 ml で示す．）



図—3　噴気孔温度とガス中の SO_2/H_2S との関係

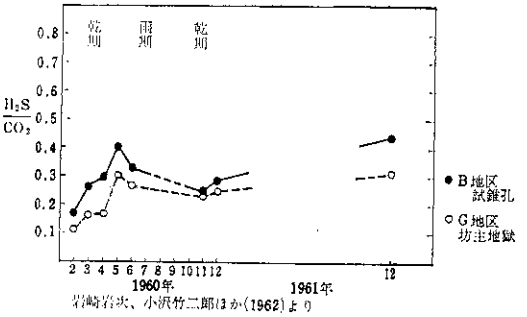
これらの関係と大涌谷の噴気ガス組成を比較すると，A-2孔は相関図の上にのるが，他は何らかの原因のためにこれらの関係から大きく外れている．A-2孔は昭和36年に掘さくされた試錐孔で深度70mであるが，このような活火山性のガスが存在していることは興味深い事実である．

大涌谷の噴気ガスはA-2孔附近の下部より亜硫酸ガスや塩酸ガスを含む活火山性のガスを噴出しているが，他の地区では，これから分化の進んだ炭酸ガス—硫化水素型の噴気ガスを噴出している．

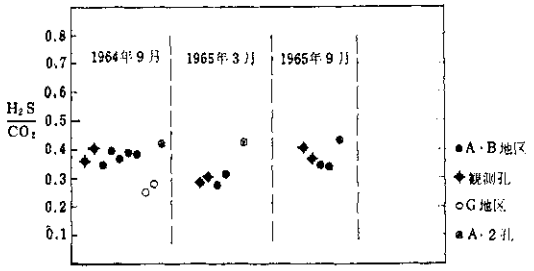
一般に温泉ガスでは噴気ガスにくらべて，窒素や水素含量が高いことが知られており，地下水や天水の混入による他の成分の溶出に伴なって濃縮すると説明されているが，A-2孔以外の噴気ガスもこの例に洩れず，温度に比して水素，窒素の濃縮がみられる．これらの事実はA-2孔附近ではほとんど天水，地下水の影響を受けていないが，他の地区の噴気孔群はいずれもこれらの影響を強く受けたものと考えられよう．

5.2　噴気ガス組成の季節変化

噴気ガス組成は，一般に気象条件すなわち降雨量や気圧の変化に相当大きな影響を受けて変化するといわれている．一般に沸点附近の孔口温度をもつ噴気ガスは乾期には硫化水素量が増し，雨期には減少するという報告が多い．ところが大涌谷の噴気ガスの場合には逆の結果が得られた．すなわち，雨期直後である9月には H_2S/CO_2 比は高く，乾期の3月では低い．岩崎岩次，小沢竹二郎(1962)[1]も大涌谷の噴気ガスの長期観測を行なった結果



図—4　噴気ガス中 H_2S/CO_2 比の月変化



図—5 噴気ガス中の H_2S/CO_2 比の季節変化

この事実を指摘している．これは降雨による水位の上昇に伴ない，変質粘土帯中にすでに生成していた硫黄や黄鉄鉱などが溶解し，ふたたび噴気ガス中に混入しガス中の硫化水素量を上昇させるためと考えられる．

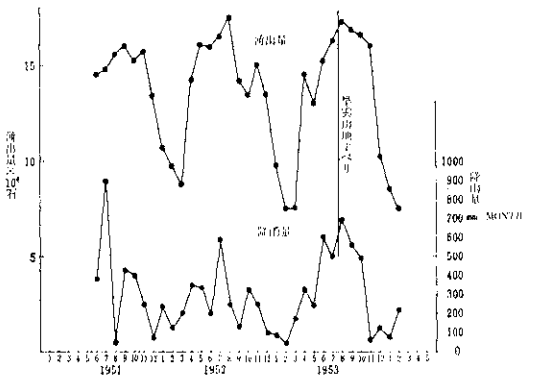
これらの関係図を図—4，図—5に示す．

G地区の噴気ガスはいわゆる"地獄"で水中より噴出する温泉ガス的な性質をもつが，一般の噴気ガスにくらべて H_2S/CO_2 比は小さくなっている．

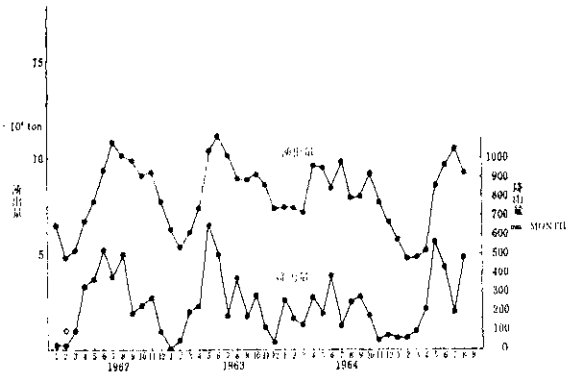
5.3 降雨量と温泉湧出量との関係

大涌谷では，噴気活動に伴う酸性泉が湧出している．それゆえ降雨量が大きくなれば湧出量も増す．箱根（早雲山や大涌谷）でおこる火山性地すべりは，降雨量が増し，温泉の湧出量がいちぢるしくふえる時すなわち水位の上昇が大きい時に発生する場合が多い．例えば1953年の早雲山の地すべりはこの事実をよく示している．図—6は当時の降雨量と温泉湧出量を示した．1953年は6，7，8月に500mm/月以上の降雨量が続き，この点で1951年，1952年と異っている．

参考のために1962年以降の降雨量と温泉湧出量との関係を図—7に示す．1962年雨期に大規模ではないが頻発



図—6 早雲山地すべり当時の温泉湧出量と雨量との関係



図—7 1962年1月～1965年8月の温泉湧出量と雨量との関係

した大涌谷の地すべりは，1963年には減少し，1964年，1965年にはあまり起っていない．

永続的に行なわれている地すべり対策工事（ガス抜き試錐，砂防など）に負うところが多いが，図—7でみられるように，1962年5，6，7，8月の連続350mm/月以上の降雨が1962年の地すべり頻発の要因となり，その後1963年は梅雨時のみであり，1964年はとくに降雨量が少ない年であったためあまり起らなかったのであろう．

6. あとがき

火山性地すべりの発生機構および予知の研究の一環として大涌谷の噴気ガスの特性を検討した．すなわち，

(1) 大涌谷のA-2孔附近の下部より炭酸ガス，硫化水素のほかに相当量の亜硫酸ガスおよび塩酸ガスを含む活火山性のガスを永続的に噴出している．

(2) A-2孔以外の噴気孔群の噴気ガス組成は，いわゆる炭酸ガス—硫化水素型で亜硫酸ガス，塩酸ガスはほとんど含まない．

(3) A-2孔の噴気ガスの水素含量は昭和新山などの活火山性ガスの温度—水素含量の相関図の上にプロットされるが，これ以外の噴気ガスは温度と対比したとき水素の異常濃縮がみられる．

これは温泉ガスの窒素や水素の異常濃縮と類似の機構によるものと思われる．

(4) 噴気ガス組成の季節変化は，H_2S/CO_2 比を例にとると雨期に H_2S/CO_2 比は高くなり乾期には低くなっている．これは一般の噴気ガスの季節変化とは逆の関係を示し異常である．

(5) 箱根の火山性地すべりは気象条件に大きく支配されていると考えられる．雨期の降雨量は350mm/月以上数ヶ月続くと地すべりが頻発し，降雨量の少ない年にはあまりおこっていないのはこれを物語っている．

種々お世話になった箱根温泉供給株式会社の諸氏に厚く感謝する．

参 考 文 献

1) 岩崎岩次，小沢竹二郎，桂　敬，吉田稔，岩崎文嗣 (1962)：箱根火山の火山ガス．地球化学討論会演旨 p. 105–110.

2) Mastuo, S. (1961) : On the chemical nature of fumarolic gases of Volcano Showashinzan, Hokkaido, Japan. Jour. Earth Sci., Nagoya Univ., Vol. 9, p. 80–100.

3) Matsuo, S. (1961) : The behavior of volatiles in magma. Jour. Earth Sci., Nagoya Univ., Vol. 9, p. 101–113.

4) 高橋清，小穴進也 (1957)：昭和新山地熱地帯の地球化学的研究．地質調査所報告，No. 170, p. 115–132.