

2001 年以後に箱根火山大涌谷北側斜面に現れた噴気中のガス組成等の時間変化

代田 寧*・板寺一洋*

Temporal variation in the composition of fumarolic gas that appeared at north side slope of Owakidani geothermal field, Hakone volcano after 2001

by

Yasushi DAITA* and Kazuhiro ITADERA*

1. はじめに

箱根火山では、2001（平成 13）年 6 月中旬から 10 月中旬までの約 4 ヶ月間にわたり、中央火口丘の大涌谷付近を中心に地震が多発するとともに、山体がわずかに膨張するような地殻変動が観測されるなど、非常に活発な状態が続いた（代田ほか、2009）。この群発地震の発生直後から、大涌谷北側斜面の数カ所において新たな噴気が確認され（辻内ほか、2003）標高付近の水の沸点とほぼ同じ約 96 のガスを放出する噴気孔も認められた（図 1 の白丸印）。大場ほか（2007）は、この噴気孔のガスに含まれる二酸化炭素の炭素安定同位体比を測定し、火山起源であることを報告している。また、棚田ほか（2008）は、この噴気ガスに含まれる硫化水素濃度が時間の経過とともに高くなる可能性を指摘し、観測を継続していくことの必要性について示した。さらに、代田・板寺（2009）は、引き続きこの噴気ガスの観測をおこない、予想されたとおり硫化水素濃度が高くなっていることを報告している。

ここでは、大涌谷北側斜面に 2001（平成 13）年以後新たに出現した噴気孔（図 1 の白丸印）について、2005（平成 17）年 6 月から 2010（平成 22）年 7 月までに硫化水素等のガス組成や凝縮水の酸素・水素同位体比を継続的に観測した結果から、それらの時間変化ならびに群発地震との関連について論じる。

2. 噴気ガスの採取・分析方法

2.1. 方法の概要

噴気ガスの採取・分析方法には、Ozawa（1968）の方法が一般に用いられている。これは、採取現場で二口注射器などを用いて、火山ガスをアルカリ溶液に吸収させたり、ヨウ素溶液と反応させたりした後、実験室において湿式分析する方法である。この方法では、硫化水素や

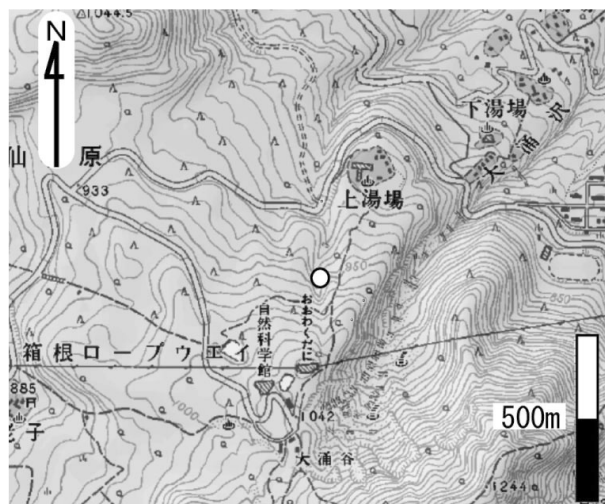


図 1 噴気孔の位置（图中ほぼ中央の白丸印）。

国土地理院発行の 2 万 5 千分の 1 地形図「箱根」を使用した。

二酸化炭素などの酸性ガス成分、窒素や水素などのアルカリ溶液に吸収されないガス成分（R-gas）など、火山ガスに含まれる成分を正確に測定できるが、湿式分析であるため、分析に時間がかかるとともに技術や経験も必要となる。ここでは、非常に簡便で、誰でも測定が可能な気象庁（1994）の火山観測指針（観測編）の方法を参考に噴気ガスの採取・分析をおこなった。この方法は、二口注射器を用いて噴気ガスを採取し、ほぼ気温にまで冷却した後、凝縮水を排除して残ったガスを検知管で測定する方法である。噴気ガス中の組成を正確に測定するのであれば Ozawa（1968）の方法でおこなう必要があるが、継続的に観測をおこない、噴気ガス中の主要成分の変化を調べる目的の場合には、時間と労力がかからない検知管による簡易な測定法が適している。実際には、観測を継続するにしたいが、現場の状況などによって部分的に測定法を改良したため、観測の時期により採取方法

* 神奈川県温泉地学研究所 〒 250-0031 神奈川県小田原市入生田 586
報告，神奈川県温泉地学研究所報告，第 42 巻，49-56，2010

表 1 観測時期による噴気ガス採取方法の違い

No.	観測期間	ガス導入方法	凝縮水の採取方法
方法1	2005/6/6 ~7/6	ガラス製ロート	二口注射器内
方法2	2006/2/9 ~2009/9/17	ガラス製ロート	捕集ビン
方法3	2009/9/17 ~2010/7/6	チタン製パイプ	捕集ビン



写真 1-1 噴気ガス採取方法 (2005年6月6日、7月6日 (方法1))。噴気孔にできるだけ隙間がないようにガラス製のロートをかぶせ、二口注射器で吸引して噴気ガスを採取する。二口注射器をほぼ気温にまで冷却した後、凝縮水を排除し、残ったガス中の硫化水素、二酸化硫黄、二酸化炭素を検知管で測定する。また、二口注射器から排除した凝縮水については、実験室に持ち帰った後、酸素・水素同位体比を測定する。

が若干異なっている (表1)。以下に、その詳細を述べる。

2.2. 方法の詳細 (観測時期による違い)

2005 (平成17)年6月6日と7月6日は、図1に位置する噴気孔 (白丸印) にできるだけ隙間がないようにガラス製ロートをかぶせ、ゴム管で接続した二口注射器で吸引して噴気ガスを採取した (写真1-1)。二口注射器をほぼ気温にまで冷却した後、ガラス製ロートと接続していない方の口から凝縮水を排除し、残ったガス中の硫化水素、二酸化硫黄、二酸化炭素を検知管で測定した。噴気孔は標高約1000mの位置にあり、平地より気圧が低い。そのため、現地で気圧を測定し、検知管で得られた測定値を気圧補正して測定結果とした。また、できる



写真 1-2 噴気ガス採取方法 (2006年2月9日~2009年9月17日 (方法2))。ガラス製のロートと二口注射器の間に氷水で冷却した捕集ビンを取り付け、酸素・水素同位体比を測定するための凝縮水を採取する。そのほかは、方法1と同様である。



写真 1-3 噴気ガス採取方法 (2009年9月17日~2010年7月6日 (方法3))。チタン製のパイプを噴気孔に差し込んでガス採取をおこなう。そのほかは、方法2と同様である。

だけ隙間がないようにガラス製ロートをかぶせてはいるが、本噴気は目視では大涌谷地熱地帯の噴気に比べて勢いが弱く、ガス採取時に空気が混入しやすいと考えられる。そのため、安定した測定値が得られるまで、ガス採取を複数回おこなうことを基本とした。ただし、測定中に雨に降られた場合など、安定した値が得られるまで測定を実施していない場合もある。二口注射器から排除した凝縮水については、実験室に持ち帰った後、板寺 (2002) の方法により酸素・水素同位体比の測定をおこなった。同位体比は SMOW (標準平均海水) に対する千分率偏差 (δ 値 (‰)) として表した。測定誤差は、酸素同位体比が $\pm 0.1\%$ 、水素同位体比が $\pm 3\%$ である。また、デ

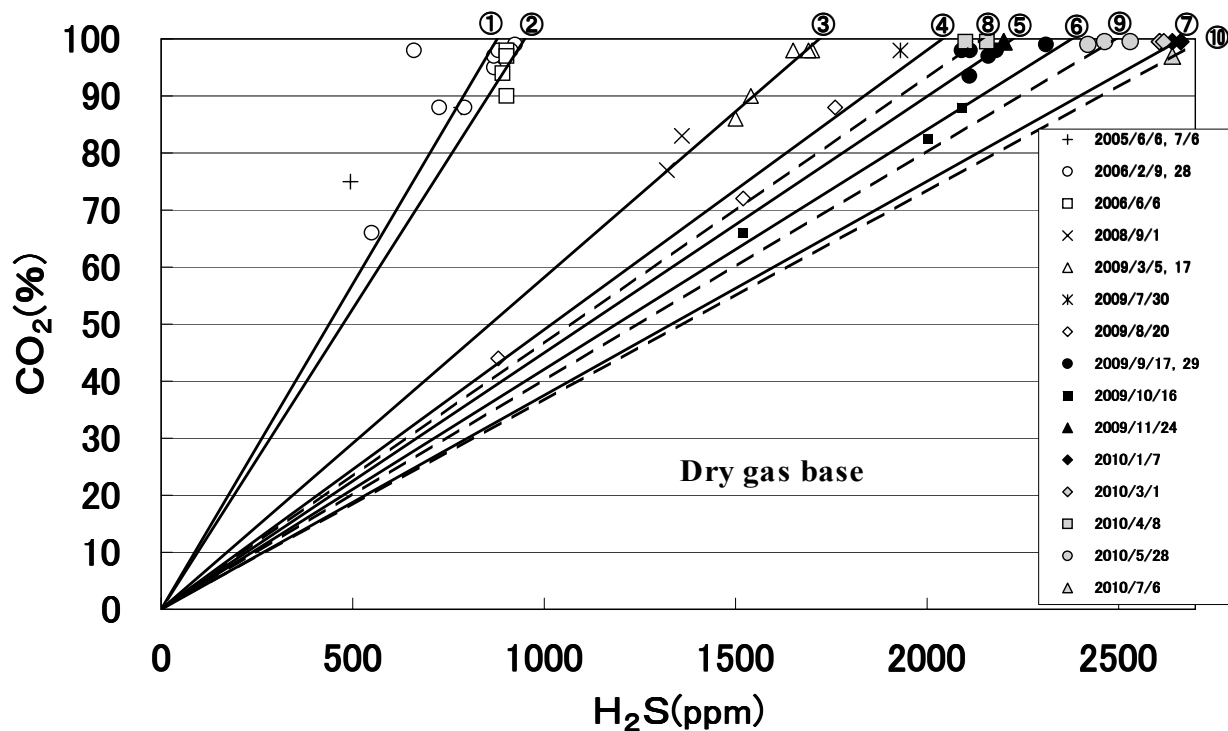


図2 硫化水素濃度と二酸化炭素濃度の関係。それぞれ水分除去後の濃度である。図中の直線は同一測定日（一部は測定日が近くてデータに差がない2日間のセット）のデータの線形近似線を示す。実線は2006/2/9,28の、は2006/6/6の、は2009/3/5,17の、は2009/8/20の、は2009/9/17,29の、は2009/10/16の、は2010/1/7の線形近似線を示す。また、2010/4/8以降は破線で示し、は2010/4/8の、は2010/5/28の、は2010/7/6の線形近似線を示す。

デジタル温度計により噴気温度の測定もおこなった。以下、この方法を「方法1」とする。

2006（平成18）年2月9日から2009（平成21）年9月17日までは、ガラス製のロートと二口注射器の間に氷水で冷却した捕集ビンを取り付け、酸素・水素同位体比を測定するための凝縮水を採取した（写真1-2）。気象庁（1994）の方法は、凝縮水を分析することは想定しておらず、二口注射器の冷却が不十分となる可能性がある。水（ H_2O ）は同位体比の重いものから凝縮するため、ガス採取時の冷却が不十分であると同位体比の軽い水（ H_2O ）は凝縮しきれず、採取された凝縮水の同位体比は重くなる可能性がある。そこで、十分に冷却をするため、氷水で冷却した捕集ビンを取り付けて凝縮水を採取することにした。そのほかの方法は、方法1と同様である。以下、この方法を「方法2」とする。

2009（平成21）年9月17日から2010（平成22）年7月6日までは、ガラス製のロートの代わりにチタン製のパイプを噴気孔に差し込んでガス採取をおこなった（写真1-3）。これは、噴気孔の形状が変化したためにガラス製のロートとの隙間を完全に塞ぐことができず、空

気の混入が非常に多くなり、噴気ガスをほとんど採取できない状況が頻繁に見られるようになったためである。なお、2009（平成21）年9月17日にガラス製のロートとチタン製のパイプでガス採取をおこない、空気の混入がない場合には結果に差がないことを確認している。チタン製のパイプを使用した以外は、方法2と同様である。以下、この方法を「方法3」とする。

3. 結果および考察

3.1. ガス組成の時間変化

今回おこなった噴気ガスの採取・分析方法は、採取時の空気の混入や検知管の誤差が大きいため真の濃度を知ることは難しいと考えられるが、そのことを踏まえて結果の概要を記すと以下のようなものである。水分除去後のガス組成は、全期間を通じて二酸化炭素が主成分であり、98%以上を占めると考えられる。硫化水素の濃度は500～3000ppmの範囲であり、おおよそ時間の経過とともに増加する傾向を示した。また、二酸化硫黄は検出限界（0.5ppm）以下であった。これらのことは、これまで報告されている結果（棚田ほか、2008；代田・板寺、

2009)と同様の特徴であった。二酸化硫黄は水に溶解しやすく、また大涌谷噴気地帯ではもともと濃度が低い(大場ほか、2007)こともあり、上昇過程において容易に除去されてしまうと考えられる。

図2に、硫化水素濃度(ppm)と二酸化炭素濃度(%)の関係を示した。ガス採取を実施した測定日ごとに凡例を変えてある(一部、測定日が近い場合は同一の凡例となっている)。図2から、同じ日に測定した結果でもかなりのバラツキがあり、特にガラス製のロートを使用した方法1と2の場合(2005(平成17)年6月6日から2009(平成21)年8月20日まで)にバラツキが大きいことがわかる。これは、ガス採取時における空気の混入が原因と考えられる。空気中に硫化水素は含まれておらず(0ppm)、二酸化炭素は400ppm(0.04%)程度であるので、図2において空気はほぼ原点に位置する。したがって、噴気ガスと空気が混合した場合には、原点を通る直線上の値となる。図中に示した直線は同一日に測定したデータの線形近似線であり、各データがおおよそ直線上に乗っていることから、空気の混入により希釈されているものといえる。なお、いくつかの近似線は、測定日が近くてデータに差がない2日間をセットにしたものである。また、ガス採取にチタン製のパイプを使用した2009(平成21)年9月以降(方法3)は、2009(平成21)年10月16日(図2の■印)を除いてバラツキが小さくなっており、空気が混入しにくくなったといえる。

今回の方法では測定結果にバラツキがあるため、測定で得られた個々の結果が真の濃度を表しているとは限らない。特に本噴気は勢いが弱いため空気が混入しやすい。しかしながら、図2のように二酸化炭素濃度と硫化水素濃度の関係を図示し、二酸化炭素濃度と硫化水素濃度の比(直線の傾き)を比較することにより、噴気ガス組成の時間変化を把握することができる。図2より、2005(平成17)年6月から2010(平成22)年3月頃まで硫化水素濃度は時間の経過とともに増加している(実線 ~)が、2010(平成22)年4月8日の測定では濃度が低下し(破線)、その後また増加している(破線 、)ことがわかる。この傾向をよりわかりやすくするため、図3に硫化水素濃度の時間変化を示した。同じ日に複数回測定した場合には、最も高い濃度をその日の代表値としてプロットした。なお、2008(平成20)年9月1日(図2の×印)と2009(平成21)年10月16日(図2の■印)は、測定した全てに空気が混入していると思われるため外挿して求めた。図3から、2010(平成22)年3月頃まで(図中の破線まで)は時間の経過とともに硫化水素濃度が増加していることは明らかである。著者

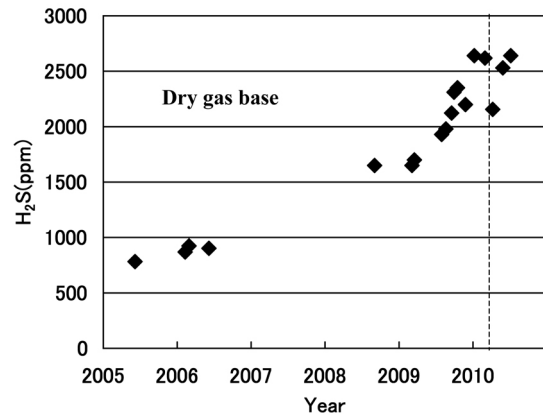
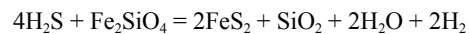


図3 硫化水素濃度の時間変化。水分除去後の濃度であり、同一測定日の最高濃度を代表値として示した。破線は2010(平成22)年3月中旬頃を示す。

らは、この噴気ガスに占める硫化水素の濃度が、大涌谷地熱地帯の自然噴気(大場ほか、2007)と比較してかなり低い点に着目し、その理由として火山ガスが上昇する過程で硫化水素と岩石(鉱物)中の2価鉄が反応することにより、硫化水素が除去されている可能性を指摘した(棚田ほか、2008)。例えば次のような反応である。



この反応がガスの通路で継続して起きていると仮定すると、時間の経過に伴い通路を構成する岩石中の2価鉄が消費されて硫化水素の除去反応が抑制されるため、噴気ガス中の硫化水素濃度が高くなることが予想されるが、今回の観測結果はその仮説を裏付たものとなっている。しかしながら、2010(平成22)年4月8日には硫化水素濃度が低下し(図3の破線後)、これまでの傾向とは異なる観測結果であった。図2より、二酸化炭素濃度は高く、空気の混入によるものではないことから、硫化水素濃度が低いことは明らかであると考えられる。ただし、その後は硫化水素濃度が再び高くなっており、今後もその傾向は続く可能性があるため、観測を継続していくことが重要である。また、2010(平成22)年4月8日に硫化水素濃度が低下した原因としては、火山ガス自体の硫化水素濃度が低下したことや、何らかの理由で上述した硫化水素の除去反応が促進されたことなどが考えられるが、はっきりとしたことはわからない。ただ、凝縮水の酸素・水素同位体比や噴気温度などの他の観測データにおいても、硫化水素濃度と同様に通常とは異なる結果が得られている。この2010(平成22)年4月8日

の現象については、3.3. 節で述べる。

3.2. 凝縮水の酸素・水素同位体比の時間変化

大場ほか(2007)による二酸化炭素の炭素安定同位体比の測定結果から、本噴気ガスが火山起源であることは明らかであるが、凝縮水の酸素・水素同位体比はほぼ天水に近い値を示し、火山起源(深部起源)の流体の寄与は小さい結果となっている(大場ほか、2007; 棚田ほか、2008; 代田・板寺、2009)。著者らはこの原因として、おそらく本噴気ガスは地下水との相互作用が大きく、上昇する過程で噴気ガス中の水分が部分的に凝縮して失われたり、地下水が付加されたりして、天水に近い値を示したものと考えている。地下水の相互作用が大きい原因としては、地下水の量が多いことと、噴気(火山ガス)の量が少ないことの2つが考えられる。本噴気を含めた2001年以後に新たに現れた噴気域が、2001年の火山活動で観測された地殻変動データをもとに代田ほか(2009)によって推定された浅部の開口割れ目の位置とほぼ一致していることから、大涌谷地熱地帯へ上昇している火山ガスが分岐してこの開口割れ目を通じて放出され、新たな噴気域を形成したと考えることもできる(棚田ほか、2005)。このように考えると、分岐した新噴気の火山ガスは、大涌谷地熱地帯へ上昇している火山ガスよりも量的に少ない可能性がある。実際に目視では、大涌谷地熱地帯の噴気と比較して、本噴気の勢いはかなり弱いと感じられる。

地下からのガス供給量が増加し、本噴気ガスが量的に増加した場合、凝縮水の同位体比は高くなる可能性がある。図4に凝縮水の酸素同位体比の時間変化を示したが、2010(平成22)年3月頃まで(図中の破線まで)はわずかに低下しているようにも見えるものの変化は小さい。一方、2010(平成22)年4月8日以降(図4の破線以降)酸素同位体比が低下している。酸素同位体比の測定精度は $\pm 0.1\text{‰}$ であることから、破線前後の同位体比の変化は有意なものであると考えられる。この原因については、次節で考察する。

また、観測開始から破線までの期間においてわずかに低下するような傾向が見られるのは、次のような理由によるものと考えられる。観測開始当初の2005(平成17)年6月6日と7月6日は、二口注射器を大気中で気温まで冷却する方法1であり、冷却が不十分であった可能性が高い。そのため、同位体比の軽い水(H_2O)は凝縮しきれず、採取された凝縮水の同位体比が重くなったと考えられる。氷水で冷却した捕集ビンを用いて凝縮水を採取した2006(平成18)年には、冷却効果が上が

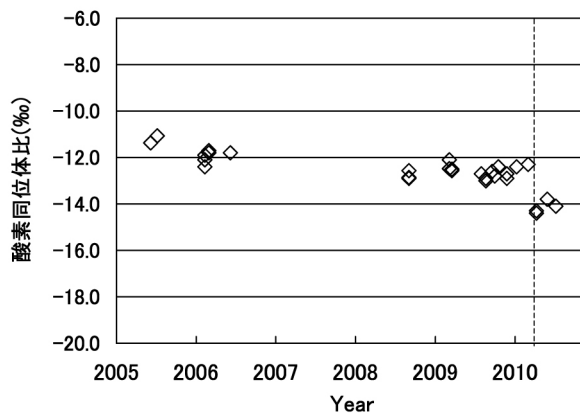


図4 凝縮水の酸素同位体比の時間変化。破線は2010(平成22)年3月中旬頃を示す。

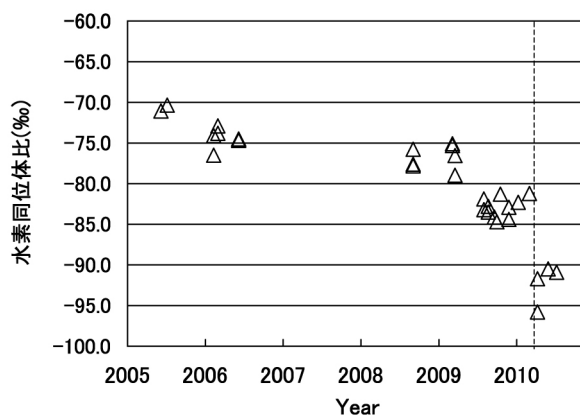


図5 凝縮水の水素同位体比の時間変化。破線は2010(平成22)年3月中旬頃を示す。

り酸素同位体比は低下している。また、2008(平成20)年以降さらに低下しているように見える理由については、凝縮水の採取方法が同様であることから明確にはわからない。ただし、2008(平成20)年から破線までの期間においてはほとんど変化していないため、時間の経過とともに徐々に低下するような傾向があるわけではないと考えられる。図5には水素同位体比の時間変化を示した。2005(平成17)年は先に述べたように、冷却が不十分であったために高い同位体比を示していると考えられる。2006(平成18)年から2009(平成21)年3月まではほぼ変化がなく、酸素同位体比と同様の傾向を示している。2009(平成21)年7月から同位体比が低くなっているが、酸素同位体比にはそのような傾向は認められない。箱根地域の降水については、夏季と冬季とで酸素同位体比と水素同位体比の関係を示す天水線が異なることが報告されており、その原因として、それぞれ

の季節において雨をもたらす気団が異なっていることが挙げられている (Matsuo et al., 1979; 板寺, 2002)。凝縮水の水素同位体比だけが低くなったのは、こうした降水の同位体比の変動が影響しているとみることができる。一方、水素同位体比の測定誤差は $\pm 3\text{‰}$ であるので、2010 (平成 22) 年 4 月 8 日の水素同位体比の低下は、酸素同位体比と同様に有意な変化といえる。

以上のことから、凝縮水の酸素・水素同位体比については、採取方法の違いなどによる影響は見られるもの、2010 (平成 22) 年 4 月 8 日までは特段大きな変化はないものと考えられる。

3.3. 2010 (平成 22) 年 4 月 8 日の変化について

2010 (平成 22) 年 4 月 8 日の観測結果には、噴気ガス中の硫化水素濃度および凝縮水の酸素・水素同位体比の明らかな低下が認められた。この原因について考えてみる。硫化水素濃度は、それ以前の増加傾向であったものが 2010 (平成 22) 年 4 月 8 日に低下し、その後再び増加している (図 3)。あるいは、2010 (平成 22) 年 4 月 8 日だけが低い値を示し、その後の観測結果はもとに戻ったと読み取ることもできる。図 6 に、噴気温度の時間変化を示した。噴気温度はおおよそ 96 で推移しているが、2010 (平成 22) 年 4 月 8 日は明らかに低く、95.4 であった。噴気温度の観測結果からも、この日が他の測定日とは異なることが明らかである。また、その後はほぼ定常的な温度に戻っている。噴気温度が低くなる原因としては、火山ガスの温度低下や、低温の水やガスの混入、噴気孔のごく近傍における冷却の影響などが考えられる。また、噴気温度は沸点に規制されており、気圧が低くなれば噴気温度も低くなると考えられる。観測時に噴気地点において気圧計で測定した結果を図 7 に示した。全期間を通じておおよそ 910 ~ 930hPa の範囲であり、2010 (平成 22) 年 4 月 8 日に特段変化している様子は見られず、気圧の影響ではないと考えられる。

次に、火山ガス自体の温度が低下したことにより、噴気温度が低下した可能性についてであるが、これも可能性は低いと考えられる。なぜなら、噴気温度は沸点に規制されていると考えられ、地下から上昇する火山ガスの温度は沸点よりかなり高いため、噴気温度に影響を与えるほど低下するとは思えないからである。事実、大場ほか (2008) によれば、深部流体に近いと考えられる大涌谷のポーリング孔ガスの温度が、2001 (平成 13) 年 11 月 2 日の観測で 136.0 であったものが、次第に上昇して 2006 (平成 18) 年 7 月 27 日には 157.4 となったのに対して、自然噴気の温度は同じ期間において上昇す

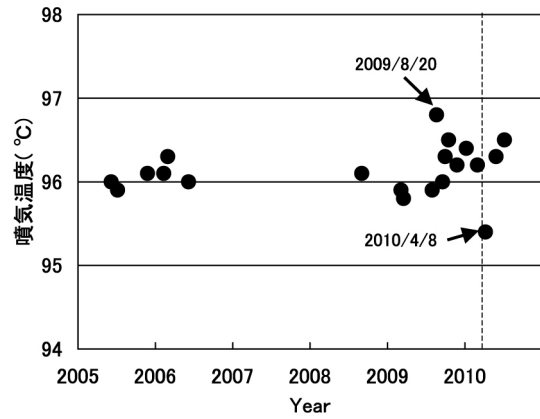


図 6 噴気温度の観測結果。破線は 2010 (平成 22) 年 3 月中旬頃を示す。

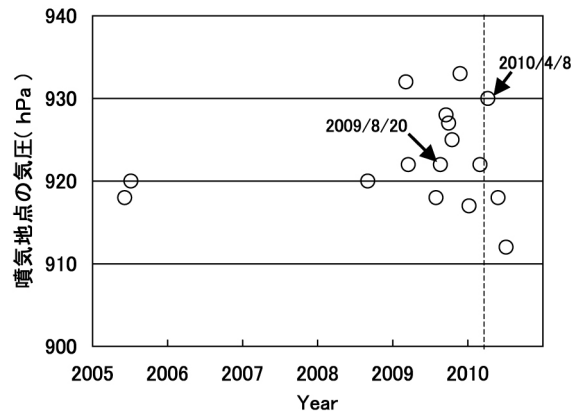


図 7 噴気地点の気圧の観測結果。破線は 2010 (平成 22) 年 3 月中旬頃を示す。

ような傾向はなく、96 前後で推移している。すなわち、地下から上昇する火山ガスの温度変化に対して、自然噴気の温度は影響を受けていないということである。

一方、噴気孔のごく近傍における冷却の影響により、噴気温度が低下した可能性はある。2010 (平成 22) 年 4 月 8 日の 10 日前の 3 月 29 日に、箱根で約 17cm の積雪が記録されている。このことから、噴気孔に近い極浅部に融雪水による冷たい層があり、本噴気ガスが冷却され温度が低下した可能性があるものと考えられる。

また、凝縮水の酸素・水素同位体比が低下していることから、より標高の高い所で降り、低い同位体比を有する雨水の関与が示唆される。大場ほか (2008) によれば、大涌谷の自然噴気の酸素同位体比は -4‰ 前後である。本噴気ガスの酸素同位体比は、大涌谷の自然噴気と比較して低く (-12‰ 前後)、天水の影響が大きいと考えられる。本噴気ガスは、より浅部に位置する天水を起源とした同位体比の低い地下水中を通過し、部分的に噴

気ガス中の水分が凝縮して失われたり、また地下水が付加されたりして、同位体比が低くなっていると考えられる。もし先に述べた融雪水の同位体比が低ければ、この日に採取した凝縮水の同位体比が低い理由を説明できる。また、噴気温度はそれ以後上昇し、定常的な温度に戻っているのに対して、凝縮水の酸素・水素同位体比は低いままである。この理由としては、融雪水による同位体比の低い水が残存していて、温度だけは周囲になじんで暖められた可能性が考えられる。今後観測を継続し、その後同位体比が変化しているのかどうかを調べる必要がある。

3.4. 群発地震との関連について

大場ほか(2008)は、大涌谷付近および湖尻付近で発生する群発地震に関連して、大涌谷の自然噴気ガス中のC/S比(硫化水素と二酸化硫黄の合計濃度に対する二酸化炭素濃度の割合)が増加する可能性を指摘した。具体的には、2006(平成18)年10月9日~18日に大涌谷付近で発生した群発地震と、2008(平成20)年9月9日~15日に湖尻付近で発生した群発地震に関連してC/S比の変化が認められた。本噴気ガスの場合には二酸化硫黄が含まれていないため、C/S比は二酸化炭素濃度と硫化水素濃度の比となる。2006(平成18)年10月9日~18日に関しては、その時期に観測をしていないためデータがない。2008(平成20)年9月9日~15日に関しては、1週間程度前の9月1日に観測をしている。その後の観測が2009(平成21)年3月であり、期間が空きすぎているため議論が難しいが、次のような理由から群発地震に関連した変化が生じている可能性がある。大場ほか(2008)の観測結果は、2001(平成13)年の活発な火山活動で増加したC/S比が、時間とともに低下していき、2006(平成18)年の活動に伴い増加する。その後また低下していき、2008(平成20)年の活動で再び増加している。すなわち階段状の時間変化を示す。C/S比が増加するという事は、二酸化炭素濃度が増加するか、あるいは硫化水素濃度が低下することを意味し、図2では近似線が左にあるほどC/S比が高いということになる。図2を見ると、2008(平成20)年9月1日(×印)と2009(平成21)年3月5,17日(○印)の観測結果がおおよそ同じ近似線上に乗っていることから、C/S比はほぼ同じといえる。本噴気ガスは、ガスの通路において岩石(鉱物)中の2価鉄との反応が起こっていると考えられ、その反応が抑制されることによって時間の経過とともに硫化水素濃度が増加し、結果としてC/S比は低くなる傾向を示す(近似線が右にシフトする)。2008(平

成20)年9月と2009(平成21)年3月では6ヶ月経過しているため、通常であればC/S比は低くなるはずであるが、ほぼ変わらないということはC/S比が高くなる作用が働いているということであり、すなわち群発地震に関連した変化が生じた可能性がある。

2009(平成21)年8月20日の噴気温度は通常よりやや高く、96.8であった(図6)。本多・伊東(2010)によれば、2009(平成21)年8月4日~12日まで湖尻付近を震源とする群発地震が発生している。噴気温度は沸点に規制されていると考えられ、大場ほか(2008)の観測結果からも火山活動と自然噴気の温度との関連は認められないが、2009(平成21)年8月20日は群発地震の直後であり、その影響が全くないとは言いきれないかもしれない。このことを明らかにするためには、観測を継続してデータを蓄積し、同じような現象が起こるのかを検証していくことが必要である。また、湖尻付近で発生した群発地震であるため、C/S比の増加が期待される。群発地震の前夜である2009(平成21)年7月30日と8月20日の観測結果からはほぼ同じC/S比を示している(図2の実線)。これらの期間は3週間程度なので変化は小さいかもしれないが、通常であればC/S比は低くなる(図2では右にシフトする)はずである。8月20日の約1ヶ月後の観測結果(図2の実線)では、8月20日に対してC/S比が低下(右にシフト)しており、約1ヶ月間でこれだけ低下していることを考えると、7月30日と8月20日の間においてC/S比の増加があったと推定できる。すなわち、群発地震に関連した変化が生じた可能性がある。なお、2010(平成22)年9月時点では、2009(平成21)年8月以降群発地震は発生していないことから、2010(平成22)年4月8日の硫化水素濃度の低下は群発地震に関連したものではない。したがって、群発地震が発生しない場合でもC/S比が高くなる可能性があるため、群発地震との関連については今後さらに観測を継続して検証していく必要がある。

4. まとめ

大涌谷北側斜面に2001(平成13)年以後新たに出現した噴気孔について、2005(平成17)年6月から2010(平成22)年7月までに噴気ガス中の硫化水素等のガス組成や凝縮水の酸素・水素同位体比を継続観測した結果、次のようなことがわかった。

(1) 噴気ガス中の水分除去後のガス組成は、全期間を通じて二酸化炭素が主成分で98%以上を占め、硫化水素は500~3000ppmの範囲であった。また、二酸化硫黄は検出限界(0.5ppm)以下であった。これらの結

果は、これまでに報告されている結果と同様の特徴を示す。

- (2) 硫化水素濃度は、時間の経過とともにおおむね増加する傾向を示し、ガスの通路において岩石（鉱物）との反応が起こっていることが推定された。今後、さらに硫化水素濃度が増加することが予測されるので、防災上の観点からも観測を継続していくことが重要である。
- (3) 凝縮水の酸素・水素同位体比の結果から、噴気ガスは地下水との相互作用が大きく、上昇する過程で噴気ガス中の水分が部分的に凝縮して失われたり、地下水が付加されたりしていると考えられる。また、ガス採取方法の違いによる影響は認められるものの、2010（平成22）年4月8日までは大きな変化はないものと考えられる。2010（平成22）年4月8日の変化は融雪水が影響している可能性がある。
- (4) 大場ほか（2008）と同様に、群発地震の発生に関連して噴気ガス中のC/S比が増加する傾向が認められたことから、本噴気ガスをモニタリングすることが箱根火山の活動監視や予測に役立つ可能性がある。ただし、群発地震が発生しない場合でもC/S比が高くなる可能性があるため、群発地震との関連については今後さらに観測を継続して検証していく必要がある。

謝辞

噴気ガスの調査および結果の解釈においては、東海大学理学部教授の大場武氏に大変貴重な意見を賜りました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 代田 寧・棚田俊收・丹保俊哉・伊東 博・原田昌武・萬年一剛（2009）2001年箱根群発地震活動に伴った傾斜変動と圧力源の時間変化，火山，54，223-234．
- 代田 寧・板寺一洋（2009）箱根火山大涌谷北側斜面における噴気ガス組成の時間変化，日本火山学会2009年度秋季大会講演予稿集，146．

本多 亮・伊東 博（2010）神奈川県内およびその周辺における2009（平成21）年の地震活動，温地研観測だより，60，49-54.

板寺一洋（2002）箱根中央火口丘地域における降水の酸素・水素同位体比について，温地研報告，34，9-12.

気象庁（1994）2.3.1 ガス検知器 火山観測指針（観測編），194-197．

Matsuo,S.,Kusakabe,M.,Niwano,M.,Hirano,T. and Oki,Y.（1979）Water Budget in the Hakone Caldera using hydrogen and oxygen isotope ratios,Proceedings of Advisory Group Meeting,1977,IAEA,131-144,1979.

大場武・澤毅・平徳泰・大和田道子・森川徳敏・風早康平（2007）箱根カルデラ中央火口丘熱水系における火山性流体の化学的進化，温地研報告，39,1-42．

大場 武・代田 寧・澤 毅・平 徳泰・攪上勇介（2008）箱根カルデラ中央火口丘大涌谷地熱地帯における火山ガス組成の時間変化，温地研報告，40，1-10.

Ozawa,T.（1968）Chemical analysis of volcanic gases: I. Chemical analysis of volcanic gases containing water vapor ,hydrogen chloride ,sulfur dioxide ,hydrogen sulfide ,carbon dioxide ,etc, Geochem. Int. , 5 ,939-947.

棚田俊收・代田 寧・原田昌武（2005）2001年箱根群発地震活動と箱根大涌谷北側斜面における新たな噴気活動との関係について，日本地震学会2005年度秋季大会講演予稿集，P035．

棚田俊收・代田 寧・板寺一洋（2008）箱根大涌谷から上湯場付近における硫化水素および二酸化硫黄のガス濃度と地温測定結果，温地研報告，40,23-28．

辻内和七郎・鈴木征志・粟谷徹（2003）箱根大涌谷で2001（平成13）年に発生した蒸気井の暴噴事故とその対策，温地研観測だより，53，1-12.