

# 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

棚田俊收\*・代田 寧\*・板寺一洋\*

Observation of SO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S density and a ground surface temperature  
in and around Owakidani- Kamiyuba of Hakone Volcano  
by  
Toshikazu TANADA \*, Yasushi DAITA \* and Kazuhiro ITADERA \*

## 1. はじめに

2001（平成13）年箱根での群発地震が発生した直後から、箱根大涌谷北側斜面で新たな地熱活動が発見された（辻内ほか、2003）。この地熱活動域では、樹木の立ち枯れや根返り状態の倒木などが確認されているほか、地温が高いところでは噴気が立ち上がっている。

この地熱活動域は、2008（平成20）年現在、大涌谷北側斜面から県道までの間に広がり、一部は大涌谷から上湯場までのハイキングコース（2009年1月現在通行止め）も含まれている。

そこで、本論では、地熱活動域から放出される大気中のガス濃度測定や地表付近の変化などの継続調査した結果を報告する。なお、2007（平成19）年9月から2008（平成20）年3月までは（株）地熱が担当し、4月以降は著者らが調査をおこなった。

## 2. 調査地点および項目

調査地点は図1に示した3箇所で、本調査開始以前より噴気があがっているところである（写真1）。第1調査地点は、大涌谷から上湯場へ延びる尾根上で、2001（平成13）年に始まった箱根群発地震当初から地熱活動が確認された場所である。第2地点は、第1地点の西側谷筋に位置している。第3地点は、第2地点の下流部で県道と交差する地点で、2005（平成17）年ごろ地熱活動が確認された。調査間隔は週に1度程度で、3箇所の調査は同日内に実施している。

調査項目は、大気中のガス濃度、地温、地表付近の変化（新たな倒木や地滑りなどの出現）である。測定対象としたガスは大気中の硫化水素と二酸化硫黄で、デジタルガス濃度測定器または検知管を使用し、地表から数十

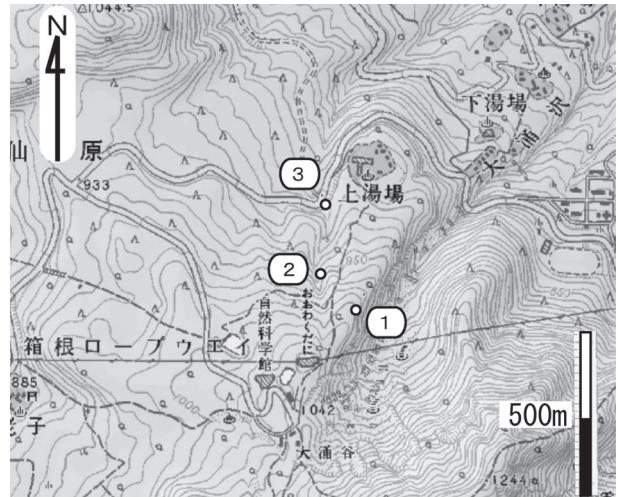


図1 3箇所の調査地点

丸印が調査地点（この地図は国土地理院発行の2万5千分の1地形図「箱根」を用いた）

cm程度の高さにおいて測定した。地温の測定にはデジタル温度計を使用し、センサー部を20cm程度地中に差し込んで測定した。また、補助データとして、濃度測定中における臭いなどの知覚調査の結果や風向などの気象条件も記録した。

なお、第2地点においては、直接噴気孔からガスを採取し、ガス濃度の測定および凝縮水の安定同位体比の測定をおこなった。

## 3. 調査期間中の特記すべき気象

各調査項目は降雨や降雪、気温などの影響を受けやすいので、横浜地方気象台資料をもとに特記すべき事象を記しておく。

\* 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40巻、23-28、2008。



写真 1-1 調査点 1 (2008 年 6 月 19 日撮影)

写真手前の枯れ地で測定を実施した。写真奥は大涌谷。



写真 1-2 調査点 2 (2008 年 6 月 10 日撮影)

写真で白く見えるのが噴気ガス。

調査を開始した 2007 (平成 19) 年 9 月 7 日、台風 9 号が静岡県伊豆半島南部に上陸し、その後神奈川県西部を通過した。そのため、箱根では 651 mm の降水量を観測した。小田原での最大風速は、東南東の風、風速 7 m/s を 7 日 00 時 30 分に観測した (横浜地方気象台, 2007)。なお、箱根のアメダスには風速測定の項目は無い。

2007 (平成 19) 年 10 月 26 日から 27 日、台風第 20 号によって、箱根では 135 mm の降水量を観測した (横浜地方気象台, 2007)。

2008 (平成 20) 年 2 月 3 日には、大雪に関する気象速報が神奈川県内に発表された (横浜地方気象台, 2008)。調査期間中の冬は積雪が多く、調査地点間の山道では膝くらいまで雪が積もった。なお、箱根のアメダスには積雪測定の項目は無い。



写真 1-3 調査点 3 (2008 年 6 月 19 日撮影)

県道から望む噴気域。白く見える堰堤奥に噴気域が広がっている。

#### 4. 調査結果

2007 年 9 月から 2008 年 8 月までの 1 年間に、42 回の調査をおこなった (表 1)。

3 調査地点における大気中の硫化水素と二酸化硫黄ガス濃度の最高値はそれぞれ 3ppm と 0.5ppm であった (表 2)。最小値は 3 地点とも 0ppm であった。これらの値は、箱根町大涌谷園地における大涌谷園地安全対策協議会で定めた警戒濃度 (硫化水素が 30ppm 以上と二酸化硫黄が 2.5ppm 以上) と比べてわかるように、人体に影響を与えるような濃度ではないことがわかった。また、調査期間中、3 箇所の調査地点において硫化水素臭や二酸化硫黄のような刺激臭を感じることは無く、むしろ腐葉土のような臭いを感じることが多かった。なお、表 1 備考欄に記録したように、調査地点 1 では風向によって大涌沢からの火山ガスと考えられる刺激臭を感じた。

噴気があがっている場所は 1 年を通して確認できたが、噴気音はほとんど聞こえない。噴気の色は白色で水蒸気が多く含まれていることを示唆している。そのため、噴気は大気温度や湿度の影響を受け、夏は少なく、冬は多く噴出しているように見えた。

3 箇所の調査地点における地温は、降雨の影響を受けて一時的に低下することはあるが、気温に比べ高温を保っていることがわかった。

地表付近の変化としては、台風 9 号が 2007 (平成 19) 年 9 月 7 日通過後、地熱活動域で多くの樹木が倒れていた。また、小規模な崖崩れも確認できた。

#### 5. 調査期間中の地震活動との関係

調査期間中において、箱根火山および周辺部では

表1 測定結果

調査日時	調査地点1			調査地点2			調査地点3			備考		
	H <sub>2</sub> S ppm	SO <sub>2</sub> ppm	風向 m/s	H <sub>2</sub> S ppm	SO <sub>2</sub> ppm	風向 m/s	地温 °C	天候	気温 °C	地温 °C	大気濃度(ppm)	SO <sub>2</sub>
2007/09/05	0.0	0.0	南東	21.8	74.7	0.0	北北西	弱い	雨	24.6	85.2	
2007/09/11	0.0	0.0	西北西	1.2	24.6	51.2	0.0	0.0	雨	24.7	59.0	9/6台風9号上陸
2007/09/18	0.0	0.0	東南東	2.1	28.6	55.2	0.0	0.0	曇	23.9	62.3	
2007/09/25	0.0	0.0	北北西	1.1	27.8	71.8	3.0	0.0	晴	25.4	67.5	
2007/10/02	0.0	0.0	東南東	1.6	23.4	65.7	0.0	北北西	0.7	95.5	0.0	西北西
2007/10/10	0.0	0.0	南東	1.8	14.5	70.7	0.0	0.0	曇	96.9	0.0	南西
2007/10/18	0.0	0.0	東南東	2.8	14.7	77.9	0.0	0.0	晴	16.5	0.0	北北西
2007/10/26	0.0	0.0	—	無風	18.3	72.4	0.0	0.0	曇	15.8	0.0	北北東
2007/11/02	0.0	0.0	南東	1.8	15.5	67.5	0.0	0.0	晴	96.0	0.0	北北東
2007/11/12	0.0	0.0	西	0.9	15.9	71.8	0.0	0.0	曇	12.2	0.0	北北東
2007/11/20	0.0	0.0	南西	5.0	晴	9.2	71.1	1.0	晴	8.9	0.0	北北東
2007/11/27	0.0	0.0	南東	1.4	12.2	72.6	0.0	0.0	曇	11.8	0.0	北北東
2007/12/05	0.0	0.0	西南西	2.1	晴	8.9	78.6	0.0	無風	5.6	0.0	北北東
2007/12/11	0.0	0.0	西	4.1	雨	6.6	72.2	0.5	無風	7.3	0.0	北北東
2007/12/19	0.0	0.0	東	3.3	曇	5.2	72.2	1.0	微風	3.0	0.0	北北東
2007/12/28	0.0	0.0	東南東	0.7	曇	9.1	69.4	0.0	北北西	0.3	0.0	北北東
2008/01/08	3.0	0.5	南東	0.8	晴	12.0	74.6	0.0	微風	9.4	0.0	—
2008/01/15	0.0	0.0	不定	微風	2.2	65.7	0.0	北北西	微風	1.2	96.0	0.0
2008/01/22	0.0	0.0	東北東	1.1	晴	6.2	68.3	0.0	北西	3.1	0.0	北
2008/01/29	0.0	0.0	不定	微風	5.7	69.9	0.0	北西	微風	2.7	94.9	0.0
2008/02/05	0.0	0.0	南西	2.6	晴	3.8	65.6	0.0	北西	4.4	97.3	0.0
2008/02/12	0.0	0.0	不定	2.6	雪	3.1	68.8	0.0	東南東	雨	96.1	0.0
2008/02/19	0.0	0.0	東	4.3	微風	4.3	69.7	0.0	北北西	微風	4.1	96.8
2008/02/26	0.0	0.0	不定	6.5	雪	3.1	65.6	0.0	北北東	0.7	95.7	0.0
2008/03/04	0.0	0.0	東南東	1.3	曇	7.2	61.6	0.0	北北西	0.7	97.2	0.0
2008/03/11	0.0	0.0	東南東	1.1	晴	16.5	58.4	0.0	北西	0.9	14.3	0.0
2008/03/18	0.0	0.0	東南東	4.0	微風	14.5	63.7	0.0	北北西	0.6	10.2	0.0
2008/03/25	0.0	0.0	東	1.6	曇	14.2	59.4	0.0	北	1.7	95.8	0.0
2008/04/09	0.0	0.0	東	—	晴	16.5	—	0.0	—	—	95.9	0.0
2008/04/14	0.0	0.0	南	—	曇	—	64.8	0.0	—	—	96.5	0.0
2008/04/24	0.0	0.0	南	—	晴	22.0	69.2	0.0	—	—	96.2	0.0
2008/05/01	0.0	0.0	—	—	曇	—	74.6	0.0	—	—	96.2	0.0
2008/05/07	0.0	0.0	—	—	晴	25.3	68.2	0.0	—	—	96.2	0.0
2008/05/14	0.0	0.0	東	—	曇	—	76.5	0.0	—	—	96.6	0.0
2008/06/10	0.0	0.0	—	—	—	22.8	74.8	0.0	—	—	23.9	0.0
2008/06/19	0.0	0.0	—	—	晴	19.4	74.0	0.0	—	—	95.5	0.0
2008/07/03	0.0	0.0	—	—	雨	—	—	0.0	—	—	0.0	—
2008/07/10	0.0	0.0	南	—	曇	—	66.3	0.0	南	—	0.0	—
2008/07/15	0.0	0.0	—	—	—	—	76.5	0.0	—	—	—	—
2008/07/29	0.0	0.0	無風	—	—	—	81.0	0.0	—	—	95.4	0.0
2008/08/08	0.0	0.0	無風	無風	—	—	79.5	0.0	無風	—	95.2	0.0
2008/08/14	0.0	0.0	強南	—	—	—	71.9	0.0	—	—	95.2	0.0

表2 大気中の硫化水素と二酸化硫黄測定最大値

調査地点	硫化水素 最大値(ppm)	出現年月日	二酸化硫黄 最大値(ppm)	出現年月日
1	3.0	2008/01/08	0.5	2008/01/08
2	3.0	2007/09/25	0.0	—
3	0.0	—	0.0	—

2007（平成19）年10月1日前2時21分ごろ、箱根湯本付近においてM4.9（気象庁）の地震が発生した（本多ほか、2008）。また、2008（平成20）年4月4日に箱根駒ヶ岳南西部でやや活発な地震活動が発生した（最大マグニチュード2.4；地震数38個）。しかし、これらの活動に対応するような地熱活動域での調査項目に変化はなかった。

#### 6. 第2地点における噴気ガス濃度および安定同位体比

第2地点の噴気ガスは、この地点の標高における水の沸点とほぼ同じ約96°Cと高く、火山ガスが含まれる可能性がある。そこで、2005（平成17）年6月から2006（平成18）年6月にかけて噴気ガスを採取し、ガス濃度の測定および凝縮水の安定同位体比の測定をおこなった。

ガス採取の方法は写真2に示したとおり、噴気孔にできるだけ隙間がないようにロートをかぶせ、注射器で吸引して噴気ガスを採取した。その際、途中に氷水で冷やした捕集ビンを取り付け、安定同位体比を測定するための凝縮水も採取した。ガス濃度は、水分除去後の注射器内のガスを検知管により測定した。測定項目は、硫化水素、二酸化硫黄、二酸化炭素とした。

水分除去後のガス濃度は二酸化炭素が約98%を占めており、硫化水素は800ppm程度であった。また、二酸化硫黄はほぼ検出限界以下であった。硫化水素が検出されたことから、噴気温度が高い地点では、熱伝導だけではなく、火山ガスが上昇していることも確認された。本噴気では二酸化硫黄の濃度が低いが、これは大涌谷噴気地帯の自然噴気においても同様である。二酸化硫黄は水に溶解しやすく、もともと濃度が低いことも容易に除去されてしまうためと考えられる。

一方、硫化水素濃度は、大涌谷噴気地帯の自然噴気（大場ほか、2007）と比較してかなり低い。今回噴気中の水分量は測定していないが、大場ほか（2007）によると大涌谷噴気地帯でみられる自然噴気は、ほぼ98%以上が水（H<sub>2</sub>O）である。第2地点の噴気ガスの98%が水とすると、噴気ガス中の硫化水素は16ppm程度と低くなり、さらに大気で拡散され環境中の濃度はほぼ0ppmとなっているのであろう。また、現場で硫化水素の臭気を感じることはなかった。



写真2 噴気ガス採取方法

噴気孔にロートをかぶせ、注射器で吸引してガスを採取する。また、途中に氷水で冷やした捕集ビンを取り付け、凝縮水を採取する。注射器に採取されたガス中の硫化水素等を検知管により測定する。

凝縮水の安定同位体比の結果を図2の●で示す。噴気孔付近の湧水も採水し、安定同位体比を測定した。これを調査地域の天水と考え、噴気温度の96°Cで平衡にある水蒸気を△で示した。凝縮水の安定同位体比は、天水と深部流体（火山性蒸気）を結んだ線上にほぼ分布しており、これらの混合系であることを示唆している。ただし、ほぼ天水に近い同位体組成を示すことから、この凝縮水には深部流体の寄与が少なく、ほぼ天水起源であるように見える。なお、同じ噴気孔で測定をおこなった大場ほか（2007）でもほぼ同様の結果が示されている。

一方、大場ほか（2007）では、本噴気ガスに含まれる二酸化炭素の炭素安定同位体比も測定しており、その結果は大涌谷噴気地帯の自然噴気と同様に火山起源であることを示している。大場ほか（2007）によると、大涌谷の火山ガスに関して、含有される二酸化炭素は供給源から放出されて地表に到達する過程で減少も増加もしない「保存成分」と認められる。しかし、水（H<sub>2</sub>O）や硫黄含有ガスは保存成分ではない。水（H<sub>2</sub>O）は、地下水との相互作用により付加されたり、部分的に凝縮して失われたりする。従って、本噴気ガスは上昇過程において地下水との相互作用が大きいため、硫黄含有ガスが除去されたり、凝縮水の安定同位体比が天水に近い値を示しているものの、本来は火山起源であると考えることができる。

また、硫化水素の濃度が大涌谷噴気地帯の自然噴気と比べて低いのは、以下のような鉱物との反応により除

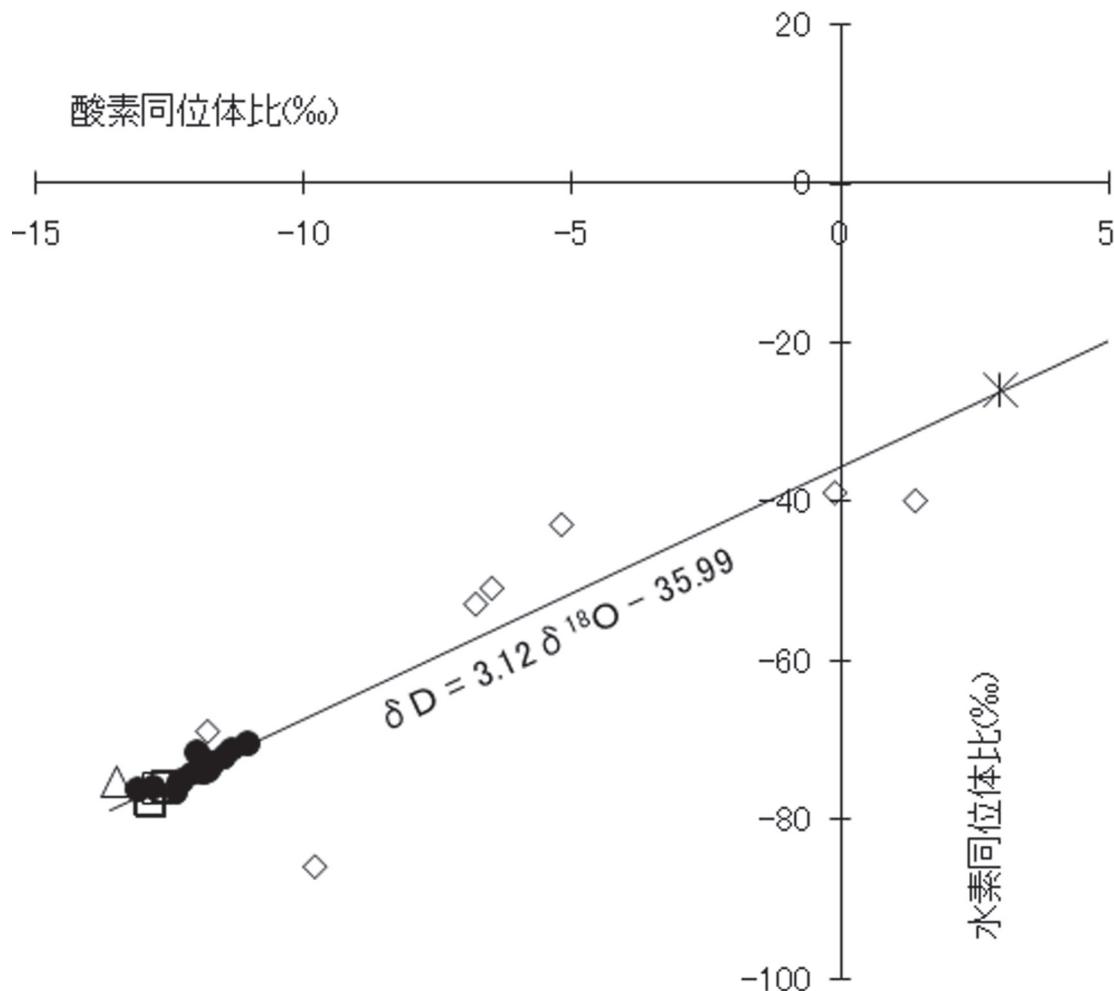
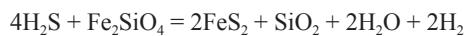


図2 凝縮水の安定同位体比

●が新噴気の測定結果、△は噴気孔付近の湧水（箱根の天水）と96°C（噴気温度）で平衡にある水蒸気、\*はMatsuo *et.al* (1985) が見積もった箱根の深部流体、◇は大場ほか (2007) による大涌谷自然噴気の測定値を示す。実線は、新噴気のデータから最小二乗法によって求めた。

去されている可能性がある。



なお、この反応における  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  は、岩石中に含まれる2価の鉄を代表する意味で用いており、必ずしも Fayalite が存在していることを要求していない。また、この反応では水素 ( $\text{H}_2$ ) が発生するが、大場ほか (2007) によると、本噴気ガスは他の噴気ガスに比べて水素 ( $\text{H}_2$ ) 濃度が高く、観測結果からも支持される。この反応が、ガスの通路で継続して起きているとすると、時間の経過に伴い通路を構成する岩石に含まれる2価鉄は消費される。そのため、硫化鉄の形成が抑制され、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。そこで、2008（平成20）年8月に再度ガス採取をおこない、最近の状況について調査した。その結果、硫化水素の濃度

は約1200ppmであり、2年前と比較してわずかに増加していた。なお、凝縮水の安定同位体比の結果は、2年前の結果とほぼ同様であった（図2の□）。このことは、先に述べた仮説の妥当性を示しており、今後、硫化水素濃度が高くなることが予想されるので、引き続き調査をおこなっていく必要があると考えている。

#### 謝辞

本調査を実施するにあたり、東京神奈川森林管理署、箱根温泉供給株式会社ならびに箱根町防災課には便宜を図って頂きました。また、噴気ガスの調査、結果の解釈においては、東京工業大学・火山流体研究センターの大場武准教授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

- 本多亮・永井悟・伊東博 (2008) 神奈川県内およびその周辺における 2007 (平成 19) 年の地震活動, 温地研観測だより, 58, 49-53.
- Matsuo,S.,Kusakabe,M.,Niwano,M.,Hirano,T. and Oki,Y. (1985) Origin of thermal waters from the Hokone geothermal system,Japan.Geochem.J.,19,27-44.
- 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.
- 辻内和七郎・鈴木征志・栗谷徹 (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.
- 横浜地方気象台 (2007) 平成 19 年 (2007 年) 神奈川県の気象・地震概況, pp31.
- 横浜地方気象台 (2008) 平成 20 年 2 月 3 日の大雪に関する神奈川県気象速報, pp3.