

桜島・黒神における温泉ガス濃度

井口正人*・平林順一**

* 京都大学防災研究所

** 東京工業大学名誉教授

要 旨

2006年6月から再開した桜島の昭和火口における噴火活動は、2009年7月以降爆発回数が増加し、10月以降はさらに活動的となった。これに先行して昭和火口の東3.8kmにある黒神観測井において温泉ガス中の二酸化炭素および水素ガス濃度の増加が検出された。二酸化炭素濃度は南岳火口方向の地盤の隆起が顕著であった2009年3~4月頃から増加を始め、爆発的噴火が頻繁となった7月以降は減少した。水素ガス濃度は、やや遅れた5~6月に増加し始め、7月中旬にピークに達した後減少したが、その後も2009年3月以前より高い濃度レベルにある。CO₂濃度はCO₂貯留層周辺の火山体の変形に関連するのに対し、H₂濃度はマグマ供給量に依存する可能性を指摘できる。

キーワード：桜島、昭和火口噴火、温泉ガス、水素ガス、二酸化炭素

1. はじめに

桜島火山では温泉ガスの化学組成が火山活動に連動して変化することが知られており（例えば、Hirabayashi et al., 1986）、南~東海岸に湧出する温泉水は、マグマ由来の揮発性成分を含む熱流体と天水、海水の混合で説明され、その温度や化学組成も火山活動に連動して変化する（太田・露木, 1977）、太田, 1986）、大場・他, 1999）。桜島東部の黒神観測井では2007年7月ごろから桜島山体の微小な膨張に同期して温泉ガスの水素および二酸化炭素ガス濃度が増加した（平林・他, 2008）。桜島の東から西山麓にかけては局所的に土壌ガス中の二酸化炭素濃度が高い場所が数か所知られており（平林・他, 2008）、火山体内へのマグマの貫入により温泉ガス中の二酸化炭素などのマグマ起源の揮発性成分濃度が増加する可能性は高い。

桜島火山においては2006年6月4日に昭和火口における噴火活動が58年ぶりに再開した。噴火活動は、2008年2月から爆発的となり、2009年7月から爆発回数が増加し、10月以降はさらに爆発の発生頻度が高くなり、2009年中の爆発は578回を数えた。

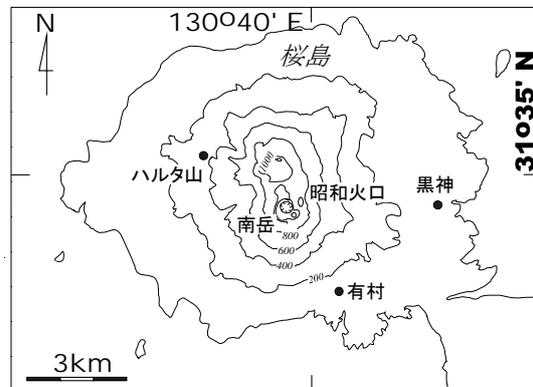


Fig. 1 Location of boreholes for sampling of gas from hot spring

本稿では黒神観測井における温泉ガスの濃度変化と噴火活動の活発化について議論する。

2. 黒神観測井の温泉ガス成分計測

黒神観測井の温泉ガスについては1995年から二酸化炭素および水素ガスの自動計測を行ってきたが、システムが不安定であったため、2008年9月に計測シ

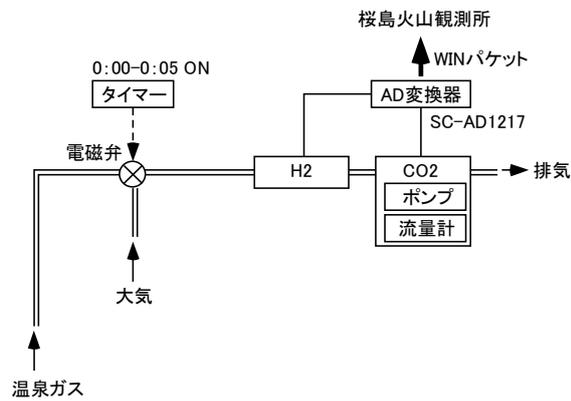


Fig. 2 Diagram for automated measurement for concentration of CO₂ and H₂ gas

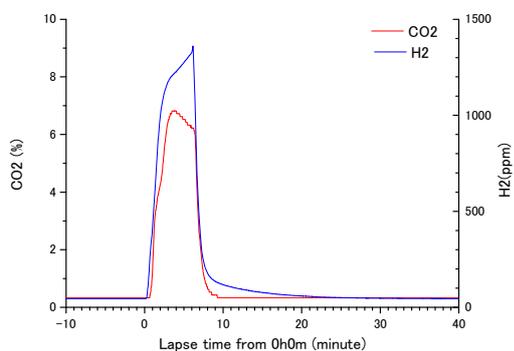


Fig. 3 An example of record of concentration of CO₂ and H₂ gas. Data are plotted every 1 second.

システムを全面的に改良した。従来はポンプを計測時のみタイマーで起動させ、観測井内の温泉ガスを吸引していたが、二酸化炭素計測装置（理研計器社製 RI557型、赤外線吸収方式）に内蔵されているポンプを常時作動させ、通常は大気を吸引し、計測時のみタイマーで電磁弁を切り替えることにより温泉ガスを吸引することとした（Fig. 2）。タイマーの動作時刻は毎日0時0分から5分までとした。水素ガス濃度は温泉ガスを二酸化炭素計測装置へ導入する前に半導体センサー（センサーテック社製、）で計測した。二酸化炭素ガスの測定範囲は0～20%、分解能は0.1%である。また、水素ガスの計測には高濃度レンジ0～10,000ppmを使用した。二酸化炭素および水素ガス計測装置の出力はAD変換装置（SC-AD1217）で1秒ごとに24bitの分解能でサンプリングし、WINフォーマットで桜島火山観測所に伝送している。このことにより、他のデータとファイルの形式上同様の取り扱いが可能となる。

Fig. 3に2010年2月2日の0時付近の記録を示す。CO₂とH₂で温泉ガス吸引後のレスポンスが多少異なるが、この例ではCO₂濃度は約3分後に最大値となった。ま

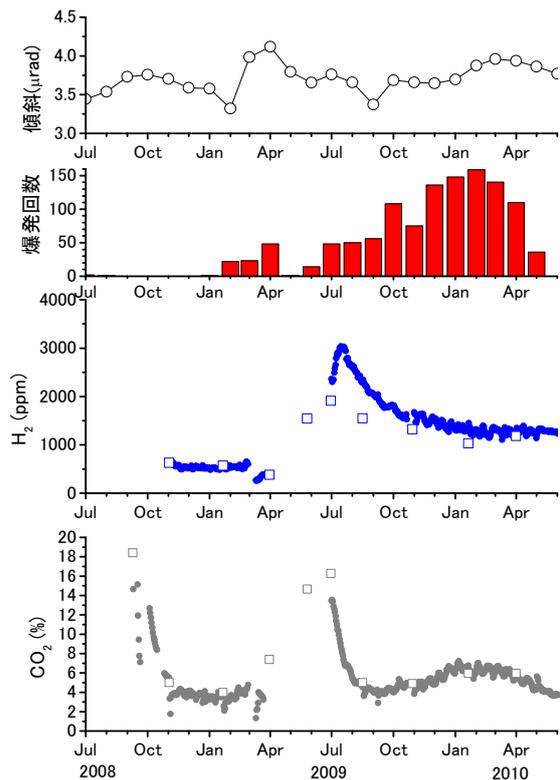


Fig. 4 Temporal changes of concentration of CO₂ and H₂ gas from hot spring in Kurokami borehole. Squares indicate concentrations obtained by manual sampling and analysis. Top is tilt change in radial component. Upward motion indicates upward tilt of crater side. Second is monthly number of explosive eruptions at Showa crater.

た、H₂濃度は吸引開始後2分後まで急速に上昇するが、その後はゆるやかに濃度が増加している。H₂濃度は吸引時間を長くすればさらに濃度が増加する可能性はあるが、低濃度時における温泉ガス供給量を考慮して、吸引時間を5分とした。計測した1秒値を1分ごとに平均し、1分平均値の最大値を日々のガス濃度とした。

ガス濃度の自動測定で最も問題となるのは校正である。本観測では、2～3ヶ月毎に従来と同様に温泉ガスを手動により採取・分析し装置の状態のチェックも行っている。同時に二酸化炭素測定装置については、標準ガスを用いて校正を行っている。水素ガス測定器については、標準ガスによる校正は行っていないが、手動サンプリングによる分析値と比較し、測定値と差のないことで正常に測定されていることを確認している。手動サンプリングは、ボーリング孔の孔底近くまで挿入されたパイプに2口の100ml注射器を接続して温泉ガス採取した。採取したガス量

を読み取った後、注射器に5モルの水酸化カリウム溶液を2~3ml注入し、体積減量をCO₂とした。注射器内に残った気相は、ガラス容器に移して持ち帰り、ガスクロマトグラフ装置で分析した。

Fig.4に黒神観測井の温泉ガス中のCO₂濃度およびH₂濃度の2008年9月以降の日々の計測値を示した。黒神観測井におけるCO₂およびH₂濃度は、昭和火口での噴火活動再開直後は、それぞれ0.5~2%、180~380ppmであったが、2007年5~6月の噴火活動後の7月ごろから増加しはじめ、2008年2月にはCO₂濃度は20%、H₂濃度は700ppmとなった(平林・他, 2008)。Fig. 4に示す2008年9月のCO₂濃度は18%程度で、同年2月以降高い濃度が続いていたものであるが、10月ごろから急激に減少し、11月には4%程度まで低下した。2009年2月~4月から再び増加傾向に転じ、7月には16%まで増加したが、その後再び急激に減少し、9月には4%まで低下した。その後は4~7%で推移している。

一方、H₂濃度は2008年11月から2009年2月までは500 ppm程度で推移していた。2009年4月から6月は計測システムが不調であったため、増加しはじめた時期はあいまいであるが、定期観測による分析では6月には1,500 ppmとなり、7月中旬には最大3,000 ppmに達した。その後はゆるやかに減少し、2010年は1500 ppm程度の濃度が続いている。現在のH₂濃度は、2009年7月の3,000 ppmのピーク値と比べれば、半減しているとはいえ、高い濃度レベルにあるといえる。

4. 議論

2006年6月に58年ぶりに再開した昭和火口における噴火活動は、2007年5月~6月の噴火活動期を経て、2008年2月から爆発的となった。2009年2月~4月には2週間程度の噴火活動が1ヶ月ごとに繰り返された後、7月ごろから頻繁に発生するようになり、10月からはその発生頻度がさらに増した(Fig.4中段)。黒神観測井における温泉ガスのCO₂およびH₂濃度は2009年4~5月ごろから増え始め、7月初めにピークに達した。Fig. 5にCO₂およびH₂ガス濃度の時間変化と南岳下深さ4kmのマグマ溜まりへのマグマの月別供給量の関係を示す。マグマの月別供給量は、有村観測坑道に設置されている水管傾斜計の火口方向の成分の変化(Fig.4上段)から求められる南岳下4kmにある力源の体積変化量と昭和火口からの火山灰放出量から求められるものである(井口, 2010)。Fig.5上段に示したように、マグマ供給量は、2009年3~4月に一時的に20万m³/月に増加した後、5~6月の供給率の低い時期を経て7月から再び増加している。さらに10~12月は30万m³/月、2010年1~3月は50万m³/月まで増加

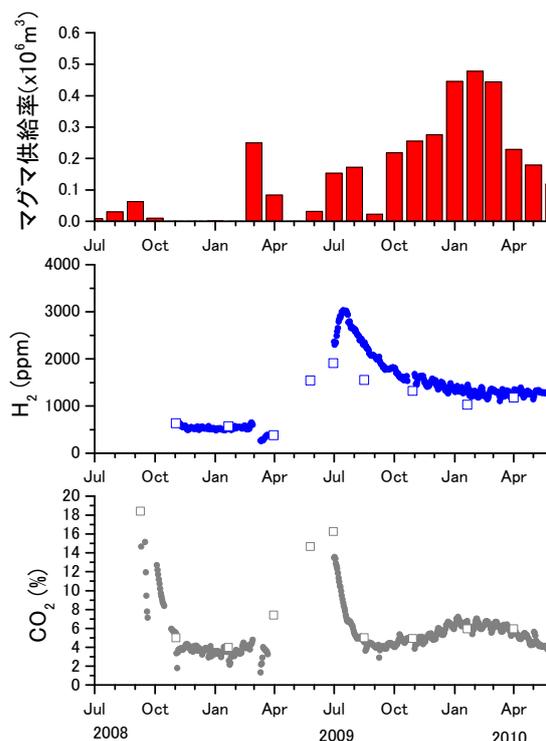


Fig. 5 Relation of increase in concentration of CO₂ and H₂ gas from hot spring in Kurokami borehole and magma flux toward the magma reservoir beneath Minamidake

した。CO₂濃度は2009年3~4月に増え始めており、2009年の最初にマグマ供給率が増加した時期と一致している。この時期は、爆発回数(Fig.4中段)も増えてはいるがそれ以降の時期と比べると特に多いわけではなく、むしろ火口方向隆起を示す傾斜変動が著しい(Fig.4上段)。すなわち、南岳下のマグマ溜りへのマグマ供給量は増加したが、マグマ溜りからマグマが噴出物として火山体外へ放出される量はまだ増加してはいない時期と位置付けられる。2007年7月にもCO₂濃度が0.5%から10%に急増したが、この時期に地盤変動がみられることを平林・他(2008)は指摘している。また同報告では、桜島の西から東山麓には黒神を含め地中ガスのCO₂濃度が高い場所が数ヶ所あること、それらの場所は地下に炭酸を含む温泉水が胚胎することや噴気活動の近傍であることを示している。したがって、黒神地域の地下には温泉水由来のCO₂貯留層が存在することが推定できる。南岳下4kmのマグマ溜まりの膨張はそれよりも浅い領域にも圧力を及ぼし、CO₂貯留層から地表に向けてCO₂のフラックスが増加したのかも知れない。

一方、CO₂濃度が急激に減少した2009年7月以降は、Fig.4に示すように顕著な地盤変動は検知されず、爆発回数が増加した時期である。浅い力源により励起

される傾斜変化は、昭和火口から2.1km離れた有村観測坑道では検出することが困難であり(井口, 2010), 浅い場所での圧力変化を推定することはできないが、このことは、爆発活動の激化は南岳下4kmのマグマ溜りへ供給されたマグマが大きな地盤変動を起こすことなく地表から放出されるようになった結果であると解釈できる。したがって、2009年7月以降のCO₂濃度の急減は、同年3~4月に一時的に上昇した深さ4kmのマグマ溜りより浅い場所の圧力が低下し、CO₂貯留層からのCO₂ガスの供給量が減ったことを示唆しているとも考えられる。

H₂ガス濃度もCO₂と似た傾向で変化しているが、いくつか異なる点が指摘できる。2009年4~6月は自動観測システムが不調であり、日々の値がないが、繰り返し測定の結果では2009年4月にCO₂濃度は増加しているが、H₂濃度は増加しておらず、H₂濃度の増加はCO₂濃度の増加よりも遅れているようにみえる。また、濃度が減少しはじめた時期もCO₂が7月1日ごろであるのに対し、H₂は7月10日ごろからと若干遅れている。しかも濃度低下の度合いも緩やかである。また、2010年のH₂濃度は2009年3月以前の濃度よりも3倍程度高いレベルを保っており、CO₂濃度が2009年7月以降減少し、2009年3月以前のレベルに戻ったのは異なる挙動である。Hirabayashi et al. (1986)は、桜島南西部にある持木観測井のH₂濃度が南岳の爆発回数増加に先行して急激に増加することを指摘し、マグマ中の揮発性成分に含まれるH₂ガスがマグマ本体に先行して上昇した結果と解釈している。昭和火口における爆発回数の増加、すなわち、マグマ供給量の増加が火山体内浅部まで及んだのは7月以降である。黒神観測井温泉ガスのH₂濃度の増加はそれに先行する5~6月ごろから始まっており、この場合もマグマ中のH₂ガスがマグマ本体に先行して上昇したと思われる。2009年7月中旬以降H₂濃度は減少したものの2009年3月以前と比べ依然として高いレベルにあることは、2009年7月以降も爆発が頻発し、マグマが継続的に供給されていることと整合的である。

5. まとめ

桜島東部の黒神観測井における温泉ガス中に含まれるCO₂の濃度は南岳火口方向の地盤の隆起がみられた2009年3~4月から増加し始め、爆発回数が増加した2009年7月以降は減少し、2009年3月以前の濃度に戻った。一方、H₂濃度はやや遅れて2009年5~6月から増加した後、2009年7月以降減少したものの2009

年3月以前よりも3倍程度高い濃度を保っている。CO₂濃度はCO₂貯留層周辺の火山体の変形に関連するのに対し、H₂濃度はマグマ供給量に依存する可能性を指摘できる。

謝辞

有村観測坑道における傾斜データは国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所より受託研究の一環として提供を受けたものである。本研究には地震及び火山噴火予知のための観測研究の一課題である「桜島火山における多項目観測における」(課題番号1809)を使用した。

参考文献

- Hidayati, S., Ishihara, K. and Iguchi, M. (2007): Volcanic-tectonic earthquakes during the stage of magma accumulation at the Aira caldera, Southern Kyushu, Japan, *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, Vol. 52, pp.289-309.
- Hirabayashi, J., Ossaka, J. and Ozawa, T. (1986): Geochemical Study on Volcanic Gases at Sakurajima Volcano, Japan, *J. Geophysical Res.*, Vol. 91, B12, pp.12,167-12,176.
- Hirabayashi, J., Ossaka, J. and Ozawa, T. (1982): Relationship between volcanic activity and chemical composition of volcanic gases — A case study on the Sakurajima Volcano, *Geochem. J.*, Vol. 16, pp.11-21.
- 井口正人 (2010) : 桜島火山の噴火活動—2009年2月~2010年5月—, 本報告書.
- 大場 武・平林順一・野上健治・石原和弘・山本圭吾 (1999) : 桜島火山の地下水・熱水系, 京都大学防災研究所共同研究9P-5報告書「桜島火山の地下水・熱水系に関する研究」, pp.31-47.
- 太田一也・露木利貞 (1977) : 地下水・温泉の観測結果, 第2回桜島火山の集中観測報告書, pp.81-87.
- 太田一也 (1986) : 桜島火山における火山活動に対応した温泉の挙動, 第5回桜島火山の集中観測報告書, pp.103-114.
- 平林順一・野上健治・攪上勇介・井口正人・味喜大介 (2008) : 桜島火山の活動と火山ガス組成および土壌からの二酸化炭素ガスの拡散放出, 第10回桜島火山の集中観測報告書, pp.149-163.

Masato IGUCHI* and Jun-Ichi HIRABAYASHI**

*Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

** Professor Emeritus of Tokyo Institute of Technology

Synopsis

Eruptive activity at Showa crater of Sakurajima volcano resumed in June 2006 after 58 years dormancy of the crater. Number of explosive eruptions gradually increased in July 2009 and rapidly increased in October. The annual number of explosive eruptions at the Showa crater reached 578 in 2009. Concentration of CO₂ and H₂ gases from hot spring in Kurokami, 3.8 km east of the crater increased prior to increase in eruptivity at the Showa crater. Concentration of CO₂ gas began to increase in March-April 2009 when upward tilt of the crater side was significantly detected and it decreased after frequent occurrence of explosions since July 2009. Concentration of CO₂ gas may be related to ground deformation of volcanic body around subsurface CO₂ reservoir. Increase in concentration of H₂ gas initiated a little later in May-June and attained its peak in the middle of July when magma flux toward the magma reservoir beneath the crater increased. The concentration of H₂ gas has kept at a higher level than that before March 2009, associate with constant supply of magma.

Keywords: Sakurajima volcano, eruption of Showa crater, hot spring gas, CO₂, H₂