

箱根火山における活動活発化に連動した噴気組成 (C/S 比) の変化

代田 寧^{*1}・大場 武^{*2}・谷口無我^{*3}

Temporal variation of the fumarolic gas composition (C/S ratio) be connected activity in Hakone volcano

by

Yasushi DAITA^{*1}, Takeshi OHBA^{*2} and Muga YAGUCHI^{*3}

1. はじめに

箱根山は神奈川県西部に位置し、しばしば群発地震が発生する活火山であり、とくに2001年以降は数年おきに活発な群発地震活動が発生している。2001年の活動では、群発地震が発生するとともに、山体がわずかに膨張するような地殻変動も観測された(代田ほか、2009)。また、この活動で特徴的なことは、温泉造成のための蒸気井(深度500m)が地下の圧力上昇により制御不能(暴噴状態)になったほか、群発地震活動の終息後には、それまで噴気活動が認められなかった大涌谷北

側斜面の数カ所において新たな噴気も出現するなど(辻内ほか、2003)、顕著な地表面現象が観測されたことである。その後、2006年、2008年、2009年、2011年、2013年に比較的規模の大きな群発地震活動が起こり、2015年には大涌谷においてごく小規模ながら水蒸気噴火が発生するなど非常に火山活動が活発化した。2015年の活動では、2001年の活動以来となる蒸気井の暴噴現象が発生したほか、新たな火口や噴気孔が形成されるなど、非常に顕著な地表面現象(噴気異常)が観測された(温泉地学研究所、2015)。

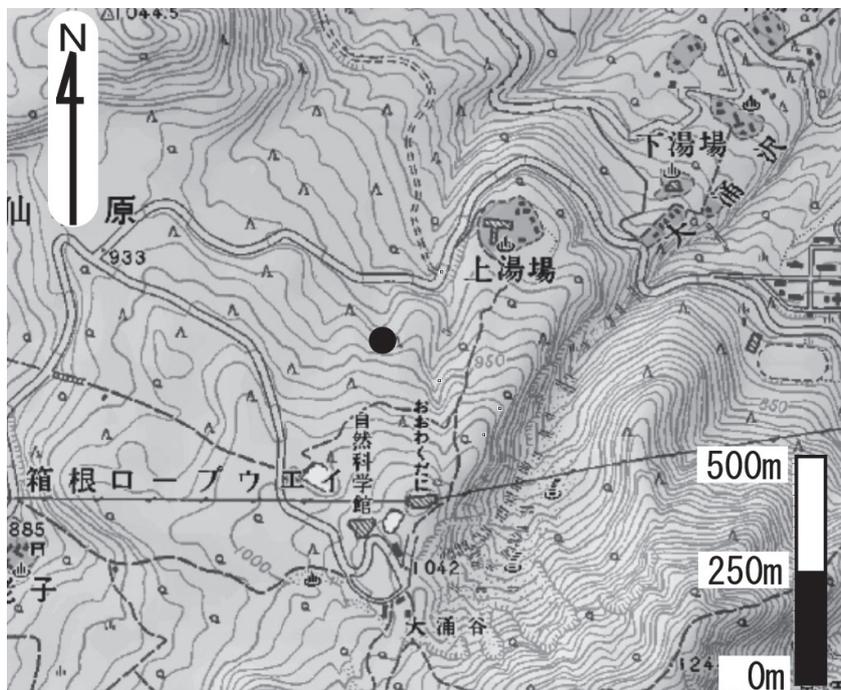


図1 噴気孔の位置(中央付近の●印)。国土地理院発行の2万5千分の1地形図「箱根」を使用した

*1 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、*2 東海大学理学部化学科 〒259-1292 神奈川県平塚市北金目4-1-1、*3 気象庁気象研究所火山研究部 〒305-0052 茨城県つくば市長峰1-1



写真1 火山ガス採取の様子

これまで著者らは、2001年の活動で暴噴した蒸気井およびその蒸気井から200mほど南側に位置する自然噴気孔、ならびに2001年の活動で新たに出現した噴気域（以後、新噴気域と呼ぶ）において継続的に火山ガスの採取・分析をおこない、それらの火山ガス成分の時間変化について検討してきた。その結果、群発地震活動に関連して火山ガス中の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（大場ほか、2008；Ohba *et al.*, 2011；代田・板寺、2010）。さらに、代田（2013）では、2013年の活動時に新噴気域において測定頻度を10日に一回程度に高めることで、これまでより時間分解能の高いデータを得た。その結果、火山ガス組成（C/S比）が、火山性地震の増加（火山活動の活発化）とともに上昇傾向に転じ、地震活動が低調になるとともに低下傾向へと変わる変動が明瞭に観測され、箱根火山における火山活動の予測において、噴気の連続観測が有効な手段となる可能性を示した。

著者らは、2013年の活動以降も継続して新噴気域において火山ガスの採取・分析をおこなっており、2015年の活動においても火山活動の消長に応じて火山ガス組成が明瞭に変化する現象を捉えることができた。ここでは、2015年に観測された火山活動の活発化に連動した

C/S比の変化について報告するとともに、2013年の観測結果と比較することなどにより、箱根火山が活発化した際の活動予測について検討した結果を報告する。

2. 2015年箱根火山活動の概要

2015年箱根火山活動における地震活動や地殻変動の特徴、噴火の推移などについては、原田ほか（2015）や温泉地学研究所（2015）にまとめられているが、ここではその時系列の概要について整理しておく。なお、地震の回数は温泉地学研究所の地震カタログによるものである。

まず、4月初旬頃から山体膨張を示す地殻変動がGPSで観測された。箱根火山では、これまでも群発地震に先行した山体膨張が捉えられている。地震活動については、4月に入るとそれ以前よりもやや多めの状態となったものの、それでも1日に数回程度であったものが、4月25日から明らかに増加し、1日で25回の地震が発生、4月26日には102回の地震が発生した。その後、増減を繰り返しながら5月15日には1日で1,100回を超える地震が発生し、地震数のピークを迎えた。その後は減少傾向にあったが、6月29日の朝に大涌谷付近で再び活発となり、ごく小規模ではあったものの水蒸気噴火に至った。その後地震数は減少し、9月以降は少ない状

態で推移し、11月以降はほぼ活動以前の状況に戻った。また、山体膨張を示す地殻変動は、地震活動がピークを迎えた5月15日以降も継続しており、噴火後の7月上旬頃から停滞したように見える。2015年の活動の特徴は、地震活動が低調となった後に再び活発化して水蒸気噴火に至ったこと、火山性地震の増加に先行して山体が膨張し始め、地震活動がピークを迎えた後も山体膨張が継続していること、噴火後に膨張の変動が停滞したことである。

3. 火山ガスの採取・分析方法

継続的に火山ガスの採取をおこなった噴気孔の位置を図1に示す。代田(2013)においてE領域と呼んでいる2001年の群発地震活動後に形成された新噴気域であるが、2014年10月10日にこれまでガス採取していた噴気孔が埋没していることが確認された。これは大雨により斜面の土砂が崩れたためと思われる。従って、2014年10月15日以降の観測は、それまでとは異なる噴気孔で実施している。以前の噴気孔から3~4m程度離れているが、後述するようにデータの連続性は保持されていると考えられる。火山ガスの採取・分析方法は基本的に代田(2013)と同様に検知管法である。ただし、箱根山の自然噴気においては、二酸化硫黄の硫化水素に対する割合は数十から数百分の1程度と少なく(Ohba *et al.*, 2011)、また本噴気孔には2013年の活動時に二酸化硫黄はほとんど含まれていなかった(代田, 2013)ことから、本報告におけるC/S比は、代田(2013)と同様に二酸化炭素と硫化水素の比とし、観測を簡便化するために二酸化硫黄の測定は実施していない。なお、著者らは、本報告と同じ噴気孔において、2015年の活動においても二酸化硫黄は硫化水素に比べて顕著に少ないことを検証するため、検知管による測定だけでなく、二酸化硫黄と硫化水素の比率を正確に測定する湿式分析法(Ozawa, 1968)による方法も併用して実施している。その結果、2015年の活動中においても、二酸化硫黄はおおむね硫化水素の1/40程度と低く、C/S比を二酸化炭素と硫化水素の比とすることについては問題ないと考えられる。

また、ガス採取はチタン製のロートを噴気孔にかぶせ、隙間を土などで埋めることにより、できるだけ大気が混入しないようにしておこなった(写真1)。大気が混入したとしても、全体的に薄まるだけでC/S比は変わらないため、観測を簡便化するためにガス採取時の大気の混入を確認する酸素の測定は実施していない。観測を実施する間隔は、おおむね10日~1ヶ月程度であり、火

表1 繰り返し観測の結果

観測日	回数	C/S比
2013/11/21	1	29.5
	2	29.4
	3	29.7
2013/11/27	1	27.4
	2	28.2
	3	29.3
2013/12/11	1	29.0
	2	28.5
	3	26.3
2013/12/25	1	27.7
	2	26.6
2014/1/16	1	25.8
	2	25.1
2014/2/3	1	25.4
	2	25.0
2014/2/26	1	26.2
	2	25.0
	3	25.9
2014/3/10	1	24.4
	2	24.7
	3	24.7
2014/3/26	1	25.0
	2	24.8
	3	24.1
2014/4/15	1	24.8
	2	25.3
	3	24.8
2014/4/24	1	24.7
	2	25.0
	3	25.6
2014/5/8	1	24.7
	2	25.1
	3	24.6
2014/5/19	1	23.9
	2	24.6
	3	24.1
2014/6/3	1	24.3
	2	23.4
	3	23.4

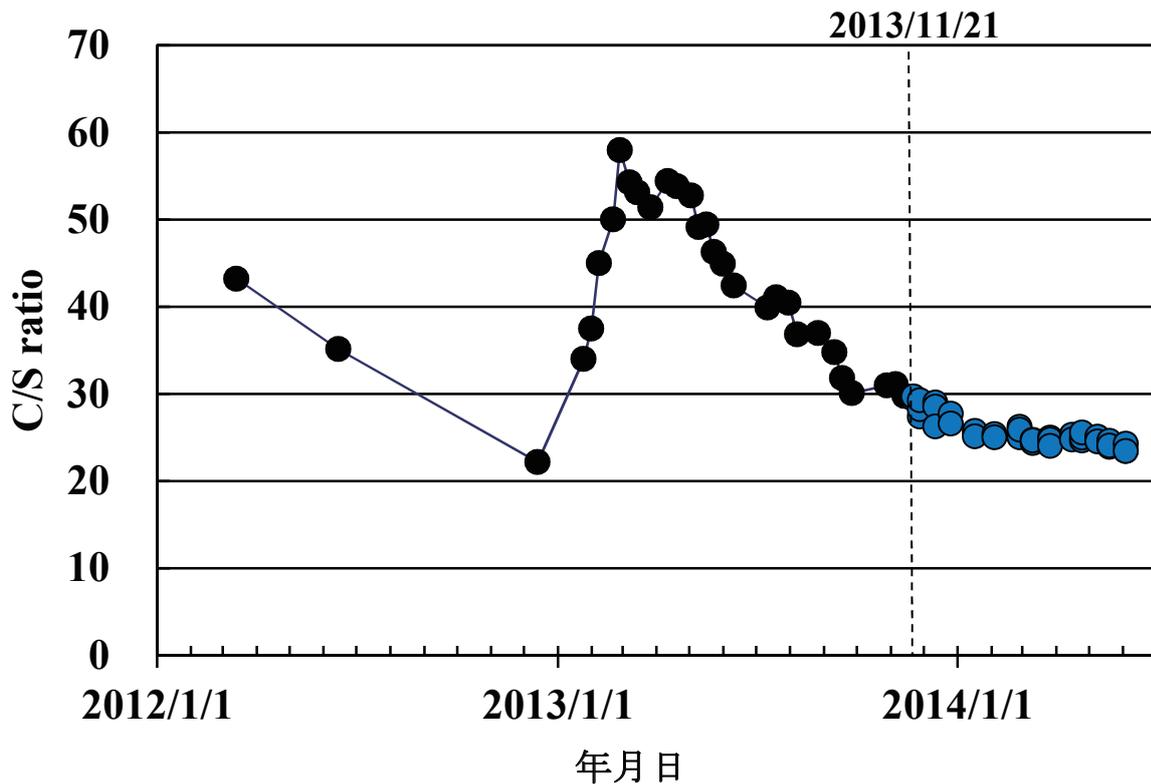


図2 C/S比の繰り返し観測結果。図中の破線（2013/11/21）以降が繰り返し観測による結果を示す。

山活動が活発な時は観測頻度を高めている。

4. 繰り返し観測による測定誤差の検証

代田（2013）により、噴気中のC/S比が簡便な検知管法による測定であっても箱根火山の活動予測に有用である可能性が示されたが、火山活動に伴うC/S比の変化が有意であるかを判断するためには、平常時における測定値のバラツキを検証しておく必要がある。そこで、ガス採取から検知管による測定までの一連の操作を複数回おこない、それらのバラツキを調査した。調査は2013年11月21日から2014年6月3日までの計13日間において実施した（表1）。この調査期間中は、火山活動は比較的落ち着いており、測定結果のバラつきについて検討するのに適していると考えられる。なお、1回の調査においては、基本的に一連の操作を3回ずつおこなっているが、作業中の天候悪化などで2回しか実施できなかった日が3日間あった。

繰り返し観測以前に実施した2013年の活動に伴う変化も含めて結果を図2に示した。図中の2013年11月21日を示す破線以降が繰り返し観測の結果である。図2には観測日ごとの全ての結果を重ねてプロットしているが、全体的に非常にバラツキが小さいことがわかる。同一測定日ごとに、C/S比の平均値、および最大値と最

小値の差を求め、それらの割合（%）をバラツキと考えた場合、調査期間中のバラツキの平均は3.6%であった。これは、C/S比を20とした場合、およそ19.6～20.4の幅を持つということであるが、図2に示すとおり、活発化後の変化はバラツキよりも明らかに大きく、検知管法であっても火山活動の消長を把握するための有用なデータを取得できるものと考えられる。ただし、バラツキが大きい場合もあったため（12月11日が最も高く9.9%）、活発化の初期の段階における変化をより高い確度で評価するためには、繰り返し測定回数や観測頻度を増やすなどの対応が必要であると考えられる。

5. 結果および考察

5.1. 2015年の活動に伴うC/S比の変化

2015年の活動に伴うC/S比の時間変化を図3に、繰り返し観測以降のC/S比の値を表2に、それぞれ示した。図3には、2013年の活動に伴う結果も含めて示してある。図中の破線が、従来の噴気孔が埋没していることを確認した2014年10月10日である。図3より、新しい噴気孔において最初に測定した2014年10月15日（図中のほぼ破線上）の結果はやや高くなっているようにみえるので、破線以降の結果は噴気孔の違いにより全体的にシフトしている可能性もある。しかしながら、破

表2 観測結果 (2014年7月22日～2016年12月7日)

観測日	C/S比	観測日	C/S比	観測日	C/S比
2014/7/22	21.7	2015/6/30	59.0	2016/3/2	28.2
2014/10/15	22.7	2015/7/14	48.1	2016/4/8	28.4
2014/12/19	21.0	2015/7/28	40.7	2016/5/13	26.3
2015/2/16	18.8	2015/8/20	37.0	2016/6/3	23.0
2015/3/31	19.2	2015/9/11	35.3	2016/7/5	23.0
2015/4/24	20.0	2015/10/6	33.0	2016/8/5	25.7
2015/5/8	30.8	2015/11/11	31.0	2016/9/5	21.3
2015/5/11	37.8	2015/12/8	30.0	2016/10/7	22.0
2015/5/19	46.8	2016/1/8	29.2	2016/10/19	20.6
2015/6/2	54.2	2016/1/28	28.8	2016/11/4	22.2
2015/6/16	53.0	2016/2/15	28.8	2016/12/7	20.5

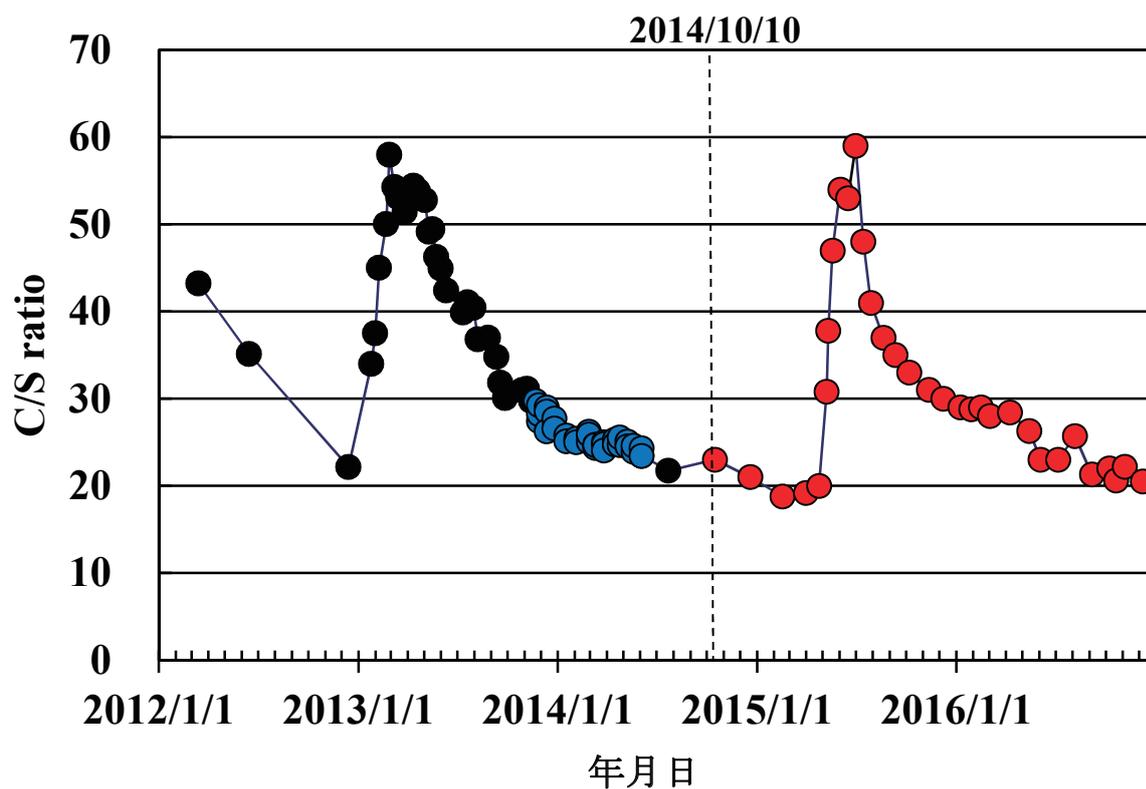


図3 C/S比の時間変化 (2012/3/13から2016/12/7まで)。

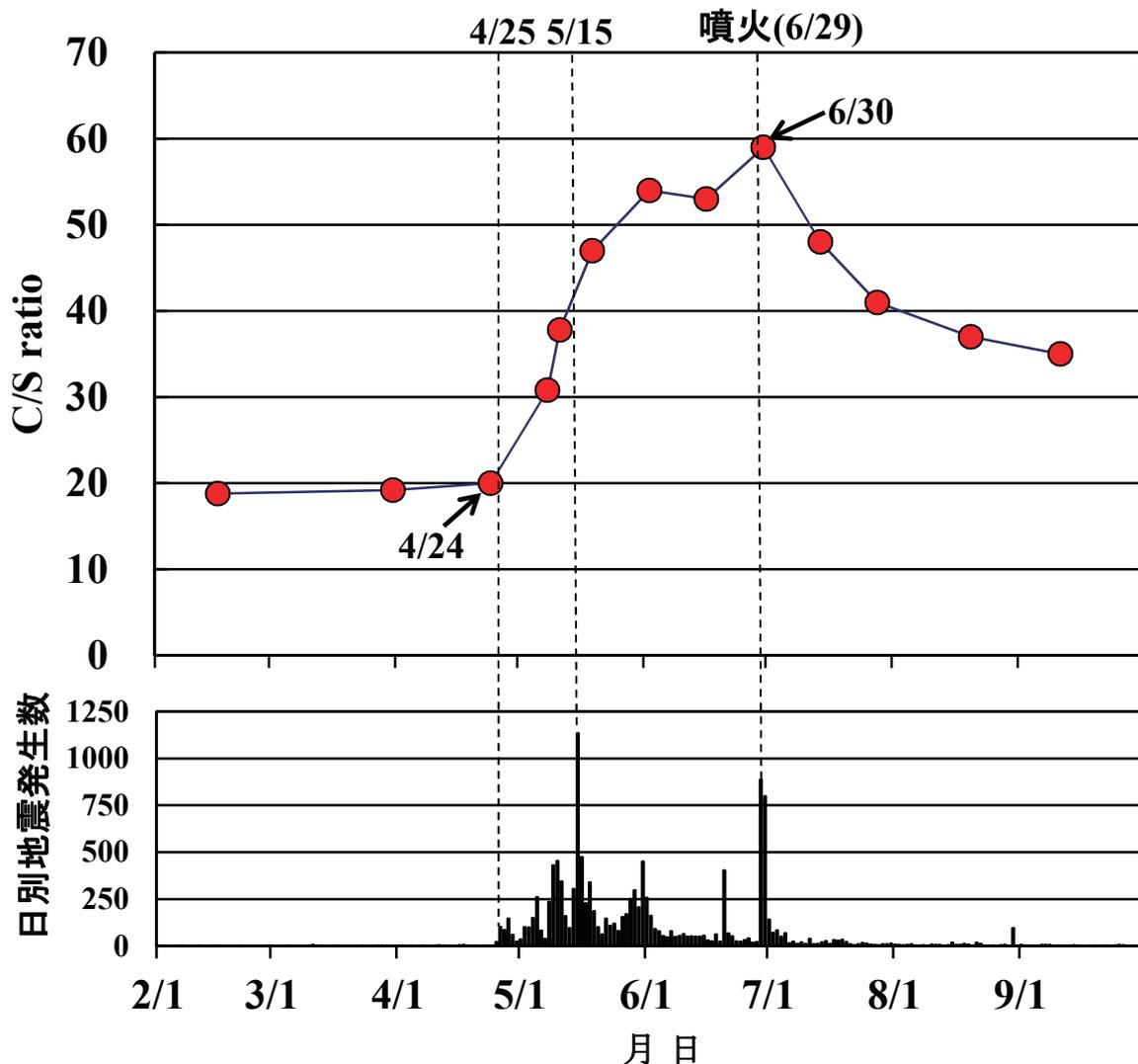


図4 C/S比の時間変化（2015/2/16から2015/9/11まで）と日別地震発生数の推移。図中の破線の4/25は火山性地震が顕著に増加した日を、5/15は地震発生数のピーク日を示す。5/15以降、地震発生数は低下傾向であったが、6/29に再び活発となり水蒸気噴火に至った。

線を境に傾向が大きく異なることはないため、データの連続性は保持されていると考えてよいものと思われる。また、シフトしていたとしてもわずかであるので、火山活動の消長との関連性を議論する上ではほとんど影響はないものと考えられる。

2015年の活動時期にクローズアップしたC/S比の時間変化（2015年2月～9月）を日別地震発生数とともに図4に示した。火山性地震が顕著に増加した4月25日の1日前に観測を実施しているが、その際にはC/S比の有意な増加は認められない。代田（2013）では、1日から数日程度地震活動に先行してC/S比が増加する可能性があることを指摘しているが、今回の観測では先行した変化を検知することはできなかった。地震活動が活発化した後、C/S比は増加傾向を続け、2013年と同様に火山活動に伴う明瞭な変化を捉えることができた。

C/S比は地震活動が低調となった5月中旬以降も増加を続け、小規模噴火の発生とほぼ同時期に最高値となり、その後急速に低下した。また、GPSで観測された山体膨張も、地震活動が低調となった5月中旬以降も継続し、噴火後に停滞しており、C/S比の変化はこれと類似しているように見える。GPSで観測された変化は、地下深部のマグマだまりの膨張を捉えていると考えられており、C/S比の変化が地下深部の活動に対応している可能性がある。こうした観測事実から、C/S比の推移は火山活動そのものの活発化あるいは静穏化の状況を反映していると考えられ、C/S比の観測が、短期的な火山活動予測に対して大変重要な情報を与える可能性があることを示唆している。火山活動の予測をするうえでは、GPS観測と火山ガス観測を併用していくことが肝要と考えられる。

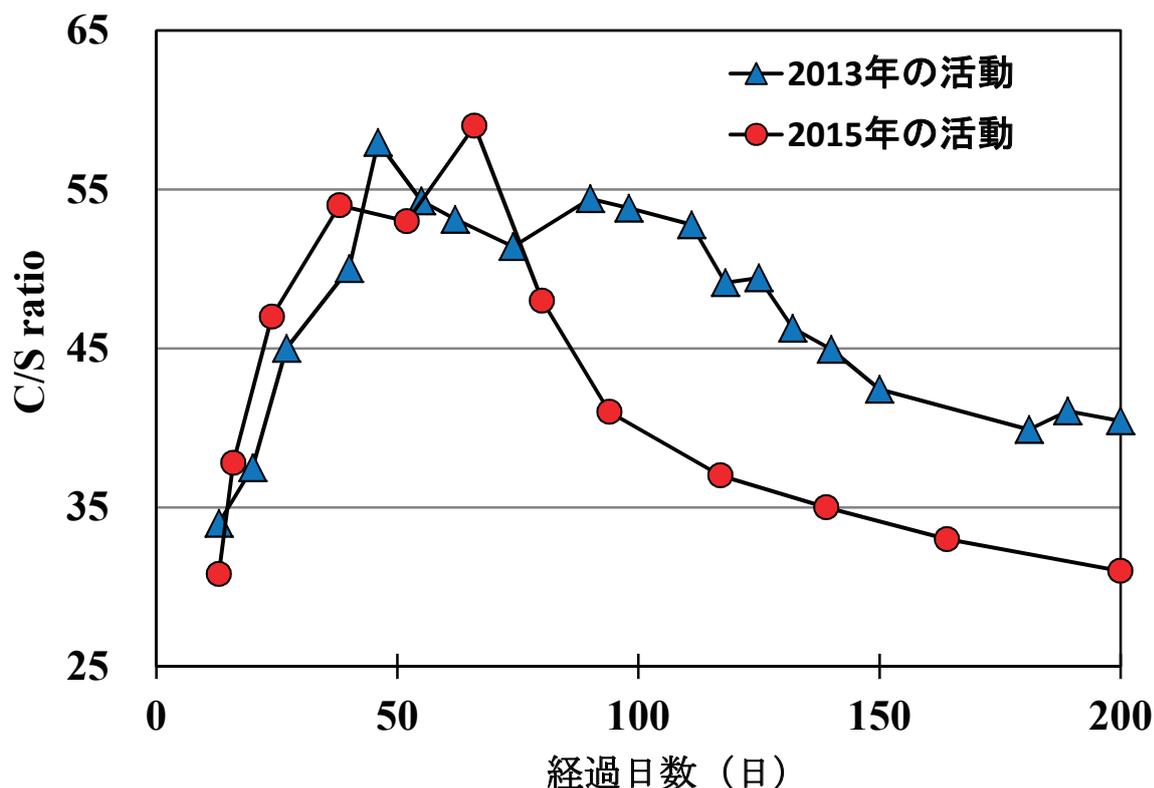


図5 火山性地震が顕著に増加した日を起点としたC/S比の時間変化。2013年の活動では1月11日、2015年の活動では4月25日を起点とした。

5.2. C/S比の変化による火山活動の推移予測の可能性

2013年および2015年の活動における継続的な火山ガス観測から、C/S比の変化が火山活動の消長と非常に良く対応することが明らかとなった。まだ2回の結果だけではあるが、ここではC/S比の変化から火山活動の推移予測が可能かどうか検討してみる。

まず、群発地震活動に先行してC/S比の変化が現れるかどうかだが、2013年の活動では1日ないしは数日程度先行して変化する可能性が指摘されている(代田、2013)。一方、2015年の活動では火山性地震が増加する1日前の観測では変化がなく、C/S比の変化は、ほぼ群発地震活動と同時期に始まると考えた方が良さだろう。厳密にどちらが先に始まるかを明らかにするには、C/S比の連続観測技術の開発(大場ほか、2017)が鍵になる。さらに、大場ほか(2015)によれば、火山ガス中のCO₂/H₂O比やH₂OのδD(水素安定同位体比)に群発地震活動よりも数ヶ月先行して変化が現れており、これらの観測も火山活動活発化の事前予測に有効となる可能性がある。

一方、火山活動が活発化した後の活動予測には、C/S比の観測が大いに役立つ可能性が高いと考えられる。火山活動の活発化に伴う代表的な指標は地震活動である

が、2015年の活動では5月中旬頃から地震活動が低調傾向になった後、再び6月29日に活発となり噴火に至った。それに対して、C/S比の変化は地震活動が低調になった後も増加を続け、噴火後に急速に低下した。このように、C/S比の変化は火山活動の消長と非常によく対応しており、火山活動が活発な状態が続いているのか、それとも終息に向かっているのか、といった今後の活動予測に貢献できるものと考えられる。ただし、C/S比の変化を詳細にみると、2015年6月16日にそれまで増加傾向であったものがわずかに低下し、その後再び上昇に転じた。同様の変化は、2013年の活動でも観測されており、火山活動が静穏になりC/S比が低下傾向に転じた後に再び増加し、その後一時的に火山性地震が多発することがあった。このような観測結果を踏まえ、活発な活動期には観測頻度を高め、高い時間分解能で火山活動の盛衰を監視する必要がある。

図3より、2013年と比較して、2015年の方がC/S比が増加する際の傾きが急であるように見える。そこで、2013年と2015年について活動初期のC/S比の変化を比較するため、火山性地震が顕著に増加した日を起点としたC/S比の時間変化を図5に示した。本来であれば、C/S比が増加し始めた日を起点とすべきであるが、観測

間隔が 10 日から 1 ヶ月程度であり、増加開始時期を明確に特定することが困難であるため、ここでは火山性地震が顕著に増加した日を起点とした。C/S 比の変化は、地震活動の活発化とほぼ同時期と考えられるため、火山性地震が顕著に増加した日を起点とすることにほとんど問題はないと思われる。図 5 から、活動の初期段階において、2015 年の方が C/S 比の増加速度が速いことがわかる。これは、地震活動や地表面現象などの活動規模が、2013 年と比較して 2015 年の方が大きかったことに対応している可能性があり、C/S 比の増加速度（変化率）が活動規模を推測するうえでの指標になるかもしれない、今後のデータの積み重ねが必要である。また図 5 より、2013 年と 2015 年では、C/S 比のピーク後の減少速度にも違いがみられ、2015 年の方が減少速度が速い。すなわち、2013 年に対して 2015 年では、活発化初期の C/S 比の増加速度が速く、ピーク後の減少速度も速いという現象がみられた。2015 年の方が減少速度が速い理由については明確にはわからないが、噴火に伴い火山ガスが急激に放出されたことなどが考えられる。

また、2013 年と 2015 年では活動規模が異なるのに対して、C/S 比の最高値はほぼ同じであった。もし、この値が噴気域（あるいは噴気孔）固有の値であったならば、今後の活動予測に役立ち、活動がピークとなる時期を予測できるかもしれない。また、このことは活動活発化のメカニズムを推定するうえでも重要な知見になるものと考えられる。

以上のように、検知管という大変簡便な方法であっても、火山活動の推移予測に寄与できる可能性があることが示された。また、検知管法にはその場で結果が出るという特長があり、迅速な防災対応にも貢献できるものと思われる。

5.3. 活発化のメカニズムの推定にむけて

火山活動の消長に応じてガス組成が変化することは現象としては捉えられたが、そのメカニズムについてはまだ明確になっていないだろう。本研究では C/S 比の変化について報告したが、2015 年の活動では $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 比や H_2O の δD など他の火山ガス成分にも変化が現れている（大場ほか、2015）。こうした火山ガス成分の変化を説明するモデルとして、シーリングゾーンの形成・発達・破壊という考え方がある（Fournier, 1999）。これは、マグマだまりから放出されているマグマ性ガスの通路が、明礬石や硬石膏などの二次鉱物の成長により自己閉塞（目詰まり）する現象が起こるとの考え方であり、その領域がシーリングゾーンである。マグ

マを取り囲むシーリングゾーンの内側では目詰まりによって次第に圧力が上昇し、限界に達するとシーリングゾーンの一部が破壊されて急激にガスが浅部へ上昇する。その結果、群発地震や水蒸気噴火の発生に至るのではないかと考えられている。シーリングゾーン内の圧力が上昇すると、 CO_2 のマグマに対する溶解度が低いために CO_2 に富んだガス組成となり、 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比や $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 比が増加すると考えられる。大場（2015）によれば、2015 年の活動に伴う火山ガス成分の変化はシーリングゾーンの発達と破壊により説明できる。この考え方では、マグマだまりへのより深部からの CO_2 濃度の高い新たなマグマ注入を必要としない。

箱根火山では、群発地震の発生に先行して、地下深部における膨張の変化がこれまでに何度か観測されている。この地下深部の膨張の原因を探ることが、ガス組成変化のメカニズムを、ひいては火山活動活発化のメカニズムを解明する鍵になると考えられる。シーリングゾーンとは異なる考え方として、箱根火山において地下 10 km ぐらいに推定されているマグマだまりに、より深部から新鮮なマグマが注入されたということも考えられる。新鮮なマグマが注入された場合、マグマに対する溶解度が低い CO_2 が脱ガスし、 CO_2 に富んだガス組成となるため、 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比や $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 比が増加する。または、 CO_2 は地下 60 km 程度の深部から脱ガスするといわれているので（Giggenbach, 1997）、マグマそのものではなく、マグマだまりよりも深部で脱ガスした CO_2 に富んだ流体が注入されたとも考えることもできる。

火山ガスの C/S 比の変化からは、上記のどちらの考え方でも説明が可能である。さらに、両方の現象が起きている可能性ももちろんある。今後は、GPS で観測された地殻変動（山体膨張）などの地球物理観測における結果を考慮した統合的なモデルの構築が必要であると考えられる。

6. まとめ

新噴気域における継続的な火山ガス観測により、2013 年の活動に引き続き 2015 年の活動においても火山活動の消長に応じて火山ガス組成（C/S 比）が変化する現象を捉えることができ、箱根火山における活動予測において火山ガス観測が非常に重要であることがより明瞭となった。本研究の成果をまとめると、以下のとおりである。

(1) 検知管法における測定誤差の検討から、簡便な方法ではあるものの十分に火山活動の状況を把握できると考えられる。また、現地で結果が出るため、迅速

な防災対応にも貢献できるものと思われる。ただし、測定日によってはバラツキが大きい時も見受けられたことから、活発化の初期段階においては観測頻度を高めたり、繰り返し回数を増やすなどの対応が必要である。

- (2) C/S 比は、地震活動が低調となった後も増加傾向が継続しており、火山活動が終息に向かっておらず、活発な状態が続いていることに対応した変化を示した。このことから、火山活動が活発化した後の活動予測、すなわち活発な状態が続いているのか、それとも終息に向かっていているのか、といった今後の推移を予測するうえで非常に有効であると考えられる。
- (3) 2013 年と 2015 年の比較により、C/S 比の増加速度（変化率）が活動規模を推測するうえでの指標になる可能性がある。さらに、C/S 比のピーク値が噴気域（あるいは噴気孔）固有の値であったならば、活動のピークの時期を予測できる可能性もある。

7. おわりに

本報告により、火山ガス組成（C/S 比）の変化が、とくに火山活動が活発化した後の推移予測に大変有効である可能性が示された。火山活動の活発な状態が続いているのか、それとも終息に向かっていているのかを把握できれば、防災対策にも大いに貢献できるものと考えられる。今後は、火山活動の活発化に対応して火山ガス組成が変化するメカニズムを解明することが課題であり、地殻変動などの地球物理観測の結果を考慮した統合的なモデルの構築が必要であると考えられる。

謝辞

本研究の実施のために、以下の研究費を利用しました。ここに記して深く感謝します。災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究（2014～2016 年度、東京大学地震研究所）、地震・火山噴火の解明と予測に関する公募研究（2017 年度、東京大学地震研究所）、科学研究費助成事業「挑戦的萌芽研究 15607310」（2015～2017 年度、日本学術振興会）、次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト「先端的な火山観測技術の開発」（2016～2017 年度、文部科学省）、総合研究機構プロジェクト研究「レーザーによる大気拡散火山ガス観測法の開発と箱根火山モニタリング」（2016～2017 年度、東海大学）

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（2010）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，温地研報告，42，49-56.
- 代田 寧（2013）箱根火山において 2013 年 1 月から発生した群発地震活動に伴う噴気ガス組成の時間変化，温地研報告，45，29-34.
- Fournier R.O. (1999) Hydrothermal processes related to movement of fluid from plastic into brittle rock in the magmatic-epithermal environment, Econ. Geol., 94, 1193-1212.
- Giggenbach W. F. (1997) The origin and evolution of fluids in magmatic-hydrothermal systems, Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, John Wiley and Sons, 737-796.
- 原田昌武・板寺一洋・本多 亮・行竹洋平・道家涼介（2015）2015 年箱根火山活動に伴う地震活動と地殻変動の特徴（速報），温地研報告，47，1-10.
- 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.
- Ohba T., Daita Y., Sawa T., Taira N., Kakuage Y. (2011) Coseismic changes in the chemical composition of volcanic gases from the Owakudani geothermal area on Hakone volcano, Japan, Bull Volcanol, 73, 457-469.
- 大場 武（2015）化学で解き明かす火山噴火のメカニズム—御嶽山，箱根山に見る火山活動の実態—，化学，70(11)，12-16.
- 大場 武・谷口無我・高木健太・左合正和・代田 寧・池谷康祐・角皆 潤（2015）火山ガス組成から読み解く箱根山 2015 年火山活動，日本火山学会 2015 年度秋季大会講演予稿集.
- 大場 武・大庭憲二・山本泰直・森田博義・東出和総（2017）ページ機能付ガスセンサーによる火山ガス連続観測の試み，日本火山学会 2017 年度秋季大会講演予稿集.
- 温泉地学研究所（2015）2015 年箱根山噴火の推移について，<http://www.onken.odawara.kanagawa.jp/files/Hakone2015/Hakone20151214.pdf>（2017 年 12 月現在）

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.

辻内和七郎・鈴木征志・栗屋 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.