

中ノ湯火山ガス観測の自動化システム

The Continuous Measurement and Monitoring System for Volcanic Gas at Nakanoyu

柴田 省三^{*1}

SHIBATA Shozo

浜田 真之^{*2}

HAMADA Masayuki

火山性水蒸気爆発においては、噴出する火山ガスの成分組成の変化を観測することが、地中の現象を早期に捉える一つの手段として知られている。しかし、間欠的に行われるガスの手分析では、急激な成分変化を捉えることが困難であった。

今回、長野県中ノ湯において、この火山ガスの連続測定システムを構築し、継続的な観測を開始した。本システムは、地熱ガスに関する経験と、産業用に培ったガスクロマトグラフの分析技術によって実現したもので、自然災害防災に役立てようとしている事例として紹介する。

In a volcanic phreatic explosion, analyzing and monitoring the composition change of the spouting volcanic gas is known as a means of perceiving subterranean phenomena at an early stage. However, it was difficult to seize a rapid ingredient change in the intermittent manual analysis of gas. Therefore, this time we have developed a continuous measurement system for volcanic gas, which is based on our expertise on geothermal gas and analytical technology of gas chromatograph dedicated for industrial use, and then we have started the continuous monitoring of the volcanic gas at Nakanoyu in Nagano Prefecture.

This paper describes this actual case of Nakanoyu, which is making use of the continuous measurement and monitoring system for natural disaster prevention.

1. はじめに

1995年2月11日長野県安曇村中ノ湯で発生した水蒸気爆発事故は、道路工事中の作業員4名の貴重な人命を奪う大惨事となった。この事故を契機に、現場近くにガス抜き井戸を掘り、爆発のエネルギーを低減させるとともに、観測井から噴出する熱水と蒸気の圧力、温度、流量、熱量が常時モニタリングされている。

しかし、水蒸気爆発は、マグマの移動を伴うマグマ噴火と異なり、水蒸気爆発が発生する際には、温度、圧力が急激に上昇するといわれている。従って、ガス抜き井戸における温度、圧力のモニタリングでは、爆発の直前でないとその予兆が捉えられないため、危険予知としては不十分であった。

一方、噴出ガスの組成は、観測井よりも深い地中における高温での平衡状態によって決定され、その組成を保ったまま観測井に到達する。そのため、深い地中の温度変化が、噴出ガス組成の変化に反映されるといわれてい

る⁽¹⁾。従って、この成分組成の変化を監視することで、地中深くの温度上昇を、より早期に捉えられる可能性がある。なお、この地点の付近には国道158号線が通っており、関係機関のより高い安全対策の面の配慮からも、噴出する火山ガスの組成連続測定への取り組みが取り上げられた。現場の写真を、図1に示す。

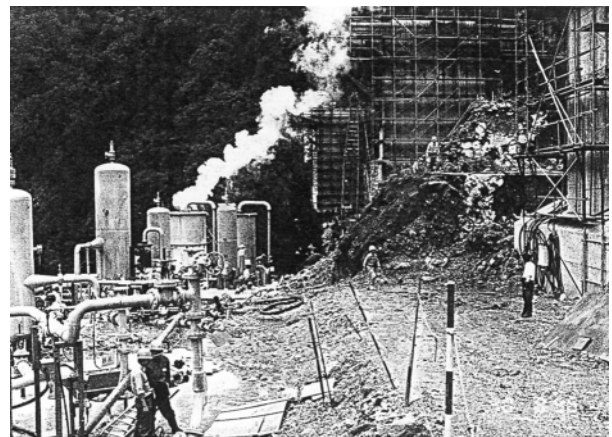


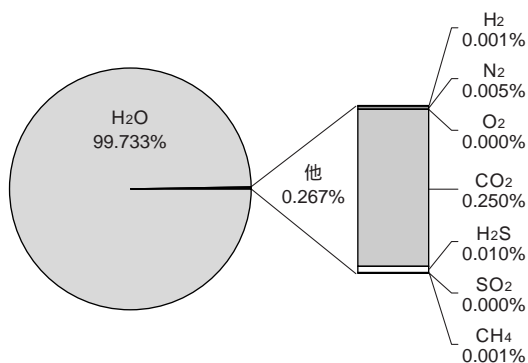
図1 現場

*1 制御プロダクト事業本部 環境機器事業部 技術部

*2 株式会社地熱

表1 火山ガスの分類

タイプ	主成分	ガス組成 (蒸気を除く)	温度
[]	[H ₂ O]	HF, HCl, SO ₂ > H ₂ S, CO ₂ , N ₂ < H ₂	高温
[]	[H ₂ O]	HF, HCl, SO ₂ > H ₂ S, CO ₂ , N ₂ > H ₂	
[]	[H ₂ O]	(HF, HCl) SO ₂ ≧ H ₂ S, CO ₂ , N ₂	
[]	[H ₂ O]	SO ₂ > H ₂ S, CO ₂ , N ₂	
[]	[H ₂ O]	H ₂ S, CO ₂ , N ₂	低温



2. 火山ガスについて

火山ガスは、その組成によって、表1に示す[I]から[V]の5種の分類が提示されている⁽¹⁾。中ノ湯の噴火ガスの分析例を、図2に示す。このガスは、表1によると、比較的低温の[V]に分類される。1995年2月11日の水蒸気爆発直後の中ノ湯の噴気箇所では、H₂Sとともに、SO₂が検知された⁽²⁾。文献⁽¹⁾によると、比較的低温の噴気においては、N₂、CO₂、H₂Sなどが多く含まれているが、その温度の上昇とともにSO₂が混入し始め、さらに温度が上昇するに従って濃度が増えてくるとされている。また、噴火活動を続けている近くの焼岳山頂のガス組成との類似性も指摘されている⁽²⁾。これらのことから、中ノ湯の噴出ガス中のH₂S、SO₂を含む各成分の組成を注意深く監視することが、水蒸気爆発の予知の上で極めて重要であることがわかる。

図2 現地観測井のガス成分例

毎に分析が行われ、成分組成分析値が得られる。その他、噴出蒸気の温度、圧力、流量の測定値、およびこれらから求めた蒸気熱量が、日報および月報の形でデータ収集システムに蓄積される。これらのデータは、NTT回線を通じて遠隔地でも監視できるようになっている。また、各計測値に対して予め設定した限界値を超えた時には、関係連絡先へ通報するシステムとなっている。現場小屋に置かれた測定装置の外観を、図4に示す。中央がガスクロマトグラフ式測定装置であり、右側に置かれているのが、温度制御装置である。

3. 観測システムの構成

観測システムは、現場小屋に置かれた測定装置と、現場より約500 m離れた現場事務所に置かれたデータ収集システム(図3)から構成されている。

観測井より噴出したガスは、温度制御装置によって保温制御された管路を通して、ガスクロマトグラフ式成分測定装置に導入される。ガスクロマトグラフでは、30分

4. ガスクロマトグラフによる火山ガスの測定原理

火山ガスは、図2に示すようにガス組成の99%以上が水であり、H₂Sなど測定対象成分は、ガス組成の1%以下である。サンプル中の水分を凝縮させてしまうと、微量な各成分は、それぞれの水への溶解度(表2)の差により組成が大きく変化してしまい、正しい測定を行うことができない。このため、凝縮した水に含まれる成分とガスに残った成分の両方を計測する

るか、凝縮させずに分析計に投入するといった配慮が必要である。従来から行われてきた手分析による湿式の火山ガス分析法では、現場において、サンプルを凝縮水と、アルカリ性溶液に吸収される酸性ガス、残留ガスに分けて採取し、それぞれの量と、実験室での組成分析により、定量を行っていた⁽³⁾。

一方、本観測システ

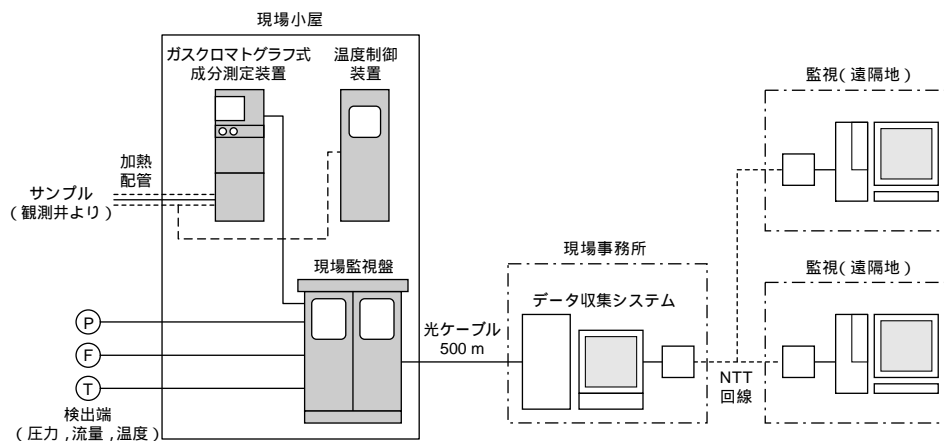


図3 システム構成図

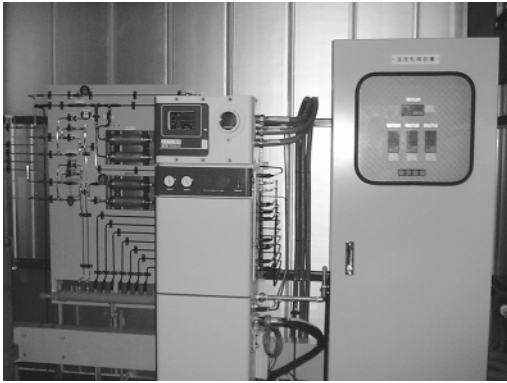


図4 測定装置の外観

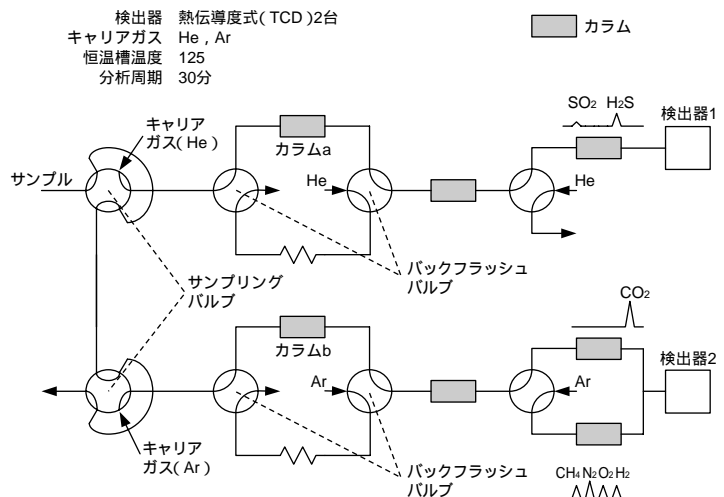


図5 分析部の構成図

ムでは、全て自動で行うため、噴出ガスをそのままの状態
でガスクロマトグラフに導入し、測定する方式を採用し
た。また、安定して測定するために、試料導入経路全てを、
水が凝縮しない温度に保つとともに、サンプルが滞留し
ないよう常時噴出ガスを流通させ、その一部を分析部に
導入する方式とした。分析部には、厳しい自然環境下で連
続的に安定して測定を行わなければならないことから、
工業プロセス用に設計されたプロセスガスクロマトグラ
フ(当社製品名GC8)を用いた。

図5に、分析部の構成を示す。サンプルに含まれるH₂S
とSO₂は、上段のサンプリングバルブで採取され、キャリ
アガスHeによって展開され、検出器1によって測定され
る。その他のガスは、下段のサンプリングバルブによって
採取され、キャリアガスArによって展開され、検出器2
によって検出される。サンプリングで取り込まれた多量

の水分は、カラムa, bによって測定成分と分離され、バッ
クフラッシュバルブを動作させることで、系外へ排出さ
れる。これにより、水分の影響を受けずに長期間安定な測
定ができる。2つの高感度の熱伝導度式検出器(TCD)
によって、数ppm濃度のH₂, N₂, O₂などの無機ガスと、H₂S,
SO₂の測定を同時に可能とした⁽⁴⁾。なお、サンプル中に含
まれるO₂は、空気によるものであると考えられる
ため、キャリアガスにアルゴンを用い、O₂を測定するこ
とで、空気混入分のN₂量の補正を行うようにした。

5. 観測結果

5.1 従来手法との関連確認

火山ガスの湿式法⁽³⁾によると、プロセスガスクロマトグ
ラフ法による測定結果の比較を表3に示す。従来からの手
分析による湿式法と良い相関をもちつつ、微量成分を自
動計測することに成功した。このことは、先に述べた凝縮
水分中での成分溶解の影響を受けていないことを示す。
また、D孔, B孔といった観測井毎の組成の違いを捉えら

表2 気体の溶解度

成分	80 のBunzen吸収係数
H ₂	0.016
N ₂	0.096
O ₂	0.018
CO ₂	0.283
CH ₄	0.018
H ₂ S	0.906
SO ₂	7.221

参考文献⁽⁵⁾より算出
Bunzen吸収係数:水に溶解するガスの体積比(ガスは0 1気圧における体積)

表3 湿式法とガスクロマトグラフ法の測定値比較
(平成10年度実施)

観測井	D 孔		B 孔	
	湿式法	ガスクロマトグラフ	湿式法	ガスクロマトグラフ
測定日	1月5日	1月6日	1月7日	1月8日
H ₂ /N ₂	0.08	0.10	0.22	0.26
H ₂ S/CO ₂	0.03	0.03	0.06	0.06
H ₂ S/N ₂	1.52	1.63	3.58	3.34

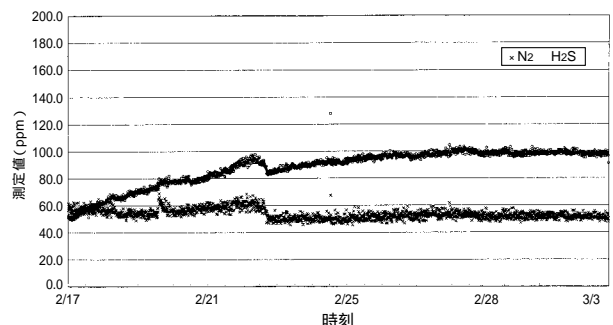


図6 連続測定結果

表4 実測値と測定レンジ (2002年10月22日)

成分	測定結果	測定レンジ
H ₂	3.64 ppm	0 ~ 35 ppm
N ₂	40.4 ppm	0 ~ 300 ppm
O ₂	1.4 ppm	0 ~ 300 ppm
CO ₂	2510 ppm	0 ~ 9999 ppm
CH ₄	11.0 ppm	0 ~ 300 ppm
H ₂ S	94.5 ppm	0 ~ 500 ppm
SO ₂	0.0 ppm	0 ~ 200 ppm

表5 日報(温度・圧力・流量・熱量など測定成分組成)

	PIR101F	PIR102F	TR101F	FIR301F	TR301F	PIR401F	FIR401F	TR401F	QY401F	UCR201F						
	F孔圧力 1次側	F孔圧力 2次側	F孔圧力 温度	F孔熱水 流量	F孔熱水 温度	F孔熱水 圧力	F孔熱水 流量	F孔熱水 温度	熱量	F孔熱水 熱量	圧力	水位				
	MPa	MPa	L/min	L/min	MPa	T/h	MJ	MJ	MJ	mm						
0:00	0.006	0.001	95.7	295	95.3	0.000	3.03	95.0	7053	9095	0					
1:00	0.002	0.002	95.7	291	95.3	0.000	3.04	95.1	6976	8104	0					
2:00	0.000	0.001	95.8	300	95.4	0.000	3.04	95.1	7190	8104	0					
3:00	0.003	0.002	95.8	290	95.4	0.000	3.06	95.1	6950	8173	0					
4:00	0.003	0.001	95.7	295	95.4	0.000	3.02	95.1	7062	8062	0					
5:00	0.004	0.002	95.8	298	95.3	0.000	3.05	95.1	6993	8134	0					
6:00	0.006	0.001	95.7	293	95.5	0.000	3.04	95.1	7038	8111	0					
7:00	0.001	0.002														
8:00	0.004	0.001														
9:00	0.005	0.001														
10:00	0.004	0.002														
11:00	0.005	0.002	0.00	4	45	2	2683	127	0	13	0.000	0.106	0.047	3.380		
12:00	0.004	0.001	1.00	4	44	0	2671	124	0	13	0.000	0.091	0.046	2.818		
13:00	0.005	0.001	2.00	4	43	1	2683	126	0	12	0.000	0.102	0.047	3.207		
14:00	0.004	0.002	3.00	4	45	1	2732	131	0	12	0.000	0.097	0.046	3.173		
15:00	0.005	0.001	4.00	4	45	1	2719	127	0	12	0.000	0.097	0.047	3.076		
16:00	0.001	0.001	5.00	4	43	3	2716	128	0	12	0.000	0.126	0.047	4.018		
17:00	0.000	0.001	6.00	4	43	1	2626	128	0	13	0.000	0.102	0.049	3.258		
18:00	0.004	0.001	7.00	4	43	0	2679	128	0	13	0.000	0.093	0.047	2.930		
19:00	0.005	0.001	8.00	4	42	2	2710	127	0	13	0.000	0.116	0.047	3.674		
20:00	0.002	0.001	9.00	4	44	2	2696	102	0	13	0.000	0.109	0.038	2.789		
21:00	0.003	0.001	10.00	4	43	3	2652	127	0	12	0.000	0.126	0.048	3.987		
22:00	0.004	0.001	11.00	4	43	2	2684	129	0	13	0.000	0.112	0.048	3.627		
23:00	0.005	0.001	12.00	4	45	2	2654	127	0	13	0.000	0.106	0.048	3.380		
最大	0.006	0.002	13.00	4	43	2	2685	128	0	12	0.000	0.112	0.048	3.598		
最小	0.000	0.001	14.00	4	41	2	2615	127	0	12	0.000	0.119	0.049	3.783		
平均	0.003	0.001	15.00	4	43	1	2662	128	0	13	0.000	0.102	0.048	3.259		
合計	0.082	0.032	17.00	3	44	0	2596	102	0	12	0.000	0.092	0.038	2.789		
			18.00	4	44	2	2679	130	0	13	0.000	0.109	0.049	3.555		
			19.00	4	44	0	2654	128	0	12	0.000	0.091	0.048	2.909		
			20.00	4	45	2	2624	128	0	12	0.000	0.106	0.049	3.407		
			21.00	4	43	1	2633	129	0	12	0.000	0.102	0.050	3.284		
			22.00	4	43	2	2631	129	0	12	0.000	0.112	0.049	3.627		
			23.00	4	45	2	2685	129	0	12	0.000	0.106	0.048	3.433		
最大	4	45	3	2732	131	0	13	0.000	0.126	0.050	4.018					
最小	3	41	0	2596	102	0	12	0.000	0.092	0.038	2.789					
平均	4	44	2	2667	127	0	12	0.000	0.105	0.048	3.363					
合計	95	1047	37	63996	3041	0	298	0.000	2.525	1.141	60.848					

れることが確認された。平成10年度に、2週間の検証実験を行った。ここで得られた測定結果の推移を、図6に示す。細かくばらついているが、緩やかな変動を捉えている。

5.2 連続観測

平成14年度からは、測定対象を観測井F孔として連続観測を開始した。測定結果の一例を、表4に示す。得られたクロマトグラムを、図7a, bに示す。また、日報の形で得られた連続測定の結果を、表5に示す。また、観測井ガスに含まれていなかったが、深い地中での温度上昇によって観測が予想されるSO₂については、標準ガスを用いて測定できることを確認した(図7c)。

6. おわりに

従来は、分析者が火山の現場に出かけ手間暇かけて、間歇的にしか分析することができなかった。それに対して、本システムにより、昼夜を問わず連続して高品質な測定

データが得られるようになった。また、計測値の変化を離れた場所からでも常時監視することができ、異常を知らせることも可能となった。これにより、急激に起きる水蒸気爆発の予兆を、より正確に遅延なく、さまざまな場所において把握できるようになった。爆発予知については、それぞれの地域の特性を十分に把握しなければならないが、これまでのガス分析方法に加えて、このような連続測定

の観測手段によるデータの蓄積によって、新たな知見が得られ、防災に役立つことを切に願うものである。謝辞：本実験においては、小坂文予東京工業大学名誉教授、小沢竹二郎埼玉大学名誉教授、吉田稔東京工業大学元教授にご指導頂いた。深くお礼を申し上げたい。また、試験にあたっては、長野県松本建設事務所、国土交通省高山国道工事事務所、日本道路公団 松本管理事務所にご配慮ご協力頂いた。

参考文献

- (1) 小坂文予, 平林順一, 小沢竹二郎, “地球化学的手法による噴火予知”, 火山II, vol. 23, no. 1, 1978, p. 33-40
- (2) 三宅康幸, 小坂文予, “長野県安曇村中ノ湯における1995年2月11月の水蒸気爆発”, 火山, vol. 43, no. 3, 1998, p. 113-121
- (3) 小沢竹二郎, “地球化学におけるガス分析法I - 火山ガス -”, 分析化学, 17, 1968, p. 395-405
- (4) 川村周三他, “プロセスガスクロマトグラフGC8の応用” 横河技報, vol. 31, no. 3, 1987, p. 129 - 134
- (5) 日本化学会編, 化学便覧 改訂3版 基礎編II, 丸善, 1984, p. 159

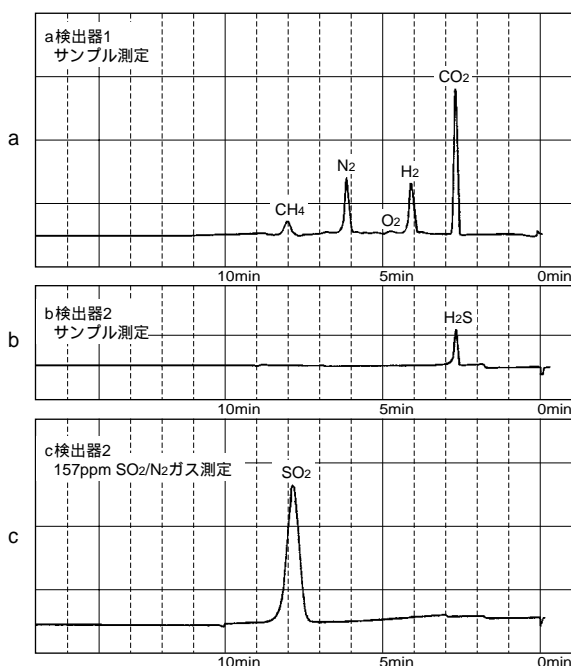


図7 クロマトグラム