

有珠山、三宅島の噴火と地下水・熱水

平林順一¹⁾・野上健治¹⁾・大場 武¹⁾・安孫子 勤²⁾

1) 東京工業大学火山流体研究センター

2) 室蘭工業大学応用化学科

1 はじめに

有珠山は約 1 週間の前兆的地震活動や地盤変動の後、2000 年 3 月 31 日 23 年ぶりに西山中腹で噴火を開始した。翌 4 月 1 日には金比羅山近傍でも噴火が発生し、その後も多くの火口を開口しながら噴火活動が継続した。8 月には貫入したマグマによる西山西部の隆起は沈降に転じ有珠山 2000 年噴火は終息したが、現在でも西山火口と金比羅火口の噴煙活動、西山西部の地熱噴気活動などの随伴現象は続いている。

一方、三宅島の活動は 6 月 26 日島内の群発地震で始まり、翌 27 日の海底噴火で一旦沈静化したが、7 月 8 日雄山山頂の陥没火口の形成以後断続的に噴火が続いた。8 月 18 日の噴火では噴煙が成層圏まで達した。この噴火以降、山頂火口から火山ガスの放出が顕著となり島内で SO₂ 臭が感じられるようになった。8 月 29 日噴火では、火砕流に類似した現象が観察され、9 月中旬頃からは大量の SO₂ 放出が観測されるようになった。

筆者らは、有珠山では噴火直後から活動の様式やその推移を検討するため、放出された火山灰の水溶性性付着成分、地下水の水質・水温、地下水に伴うガス組成、二酸化硫黄放出量、西山火口西部噴気地帯の噴気ガスなど主に地球化学的観測研究を行ってきた。また、三宅島では陥没火口形成以後 9 月中旬までに放出された火山灰に付着した火山ガス成分の分析、SO₂ ガス放出量の測定などを行ってきた。

本報では、地球化学的観測研究から得られた結果から、両火山の活動と地下水・熱水との関連について論じた。

2 有珠山の活動と地下水

有珠山 2000 年噴火は、以下にまとめたように火山灰の水溶性付着成分、自噴した地下水の水質や随伴ガスの化学組成・同位体組成・温度、二酸化硫黄放出量、西山西部の地熱地帯の火山ガス組成などから地下水が強く関係していたことが明らかとなった。

2.1 火山灰の水溶性付着成分

噴火開始以降7月上旬までに放出された火山灰に付着する水溶性 Cl^- 量は $173 \sim 1,632 \text{ mg/kg}$ 、 SO_4^{2-} は $762 \sim 11,700 \text{ mg/kg}$ であり、1977年噴火の火山灰に較べると1桁多く、 Cl/SO_4 モル比は $0.31 \sim 1.15$ で、1977年噴火の火山灰の値よりは若干小さい(松尾・他, 1977)。有珠山2000年噴火火山灰の両成分の付着量は、多くの火山の水蒸気爆発で放出された火山灰と同程度あるものの、 Cl/SO_4 モル比はマグマ噴火で放出された火山灰の値に近く(例えば、小坂・他, 1980; 平林, 1984; 図1)、噴火に関与した火山ガスはマグマ起源の高温タイプの火山ガスであるが、地下水が関与していることを示している。

2.2 自噴した地下水とこれに付随するガスの化学組成、同位体組成

昭和新山北の水位観測井(SHO-N、深度1,271m)では、噴火直後に約80m水位が上昇し、地下水がガスを伴って自噴するようになった。地下水に随伴したガスの組成は、火山性の CO_2 を90%含み、これに高温の火山ガスに特徴的な成分である H_2 、 CO が含まれていた。 H_2 、 CO ガスは4月中旬には検出されなくなり、 CO_2 濃度も減少しはじめた(図2)。一方、自噴した地下水中の Cl^- 濃度は、4月4日の $1,300 \text{ mg/l}$ から5月9日には $2,900 \text{ mg/l}$ と2倍に、同期間の SO_4^{2-} 濃度は0から 390 mg/l に増加した。また、Naなどの陽イオン成分濃度も高くなった(図3)。

これらの結果は、近くの壮瞥温泉水などの影響も無視できないが、水温が 8°C と低いことを考えると、マグマからの火山ガスが地下水に接触し、溶解度の大きい HCl と SO_2 が地下水に溶解し Cl^- 、 SO_4^{2-} となったことと、その結果として地下水に付随したガスは酸性ガス成分としては CO_2 のみで、高温ガス起源の H_2 、 CO が含まれていた。

2.3 二酸化硫黄放出量

今回の噴火では、噴火直後の4月3日には SO_2 の放出は検出されず、4月中旬からその放出が観測されるようになった。しかし、 SO_2 放出量は極めて少なく、4月18日の測定では 2.4 ton/day 、4月30日の測定では 1.6 ton/day (西山火口のみ)であった。 SO_2 放出量は、5月中が 5 ton/day 、6月2日の放出量は 11 ton/day と徐々に増加したが、その後 SO_2 放出量は減少に転じた(図4)。また、1977年噴火後の SO_2 放出量は 120 ton/day が観測されており(Ohta *et al.*, 1988)、これと較べると今回の噴火後の SO_2 放出量は極めて少ない。有珠山2000年噴火後の SO_2 放出量およびその変化は、マグマからの火山ガスと地下水と接触があったことを示している。

また、放熱量は噴火開始直後から減少したのに対して、 SO_2 放出量が増加したことは、活動の継続によって地下水量の減少がマグマからのガス放出量の減少を上回ったことを意味している(平林・他, 2000)。

2.4 西山火口西部噴気地帯のガス組成と地下水の水温

西山火口の西部地区はマグマの貫入で隆起が最も顕著な場所で、地盤隆起に伴って断層が発達している。5月下旬から同地域では断層に沿って火山ガスや熱水の放出を伴う地熱活動が徐々に活発となった。同地域に噴出するガスの温度は100℃前後で、水が主成分である。Dry gasの主成分はCO₂で90%含まれる。これに較べH₂Sは1%以下と極めて少ない。アルカリ溶液に吸収されない残留ガス成分(Rガス)は約8%で、その半分はH₂である。また、RガスにはCOが0.07%含まれている。このガス組成は、上述のSHO-N水位観測井で地下水に付随したガスと類似しており、マグマ起源のガスが地下水と接触したことを示している。全ガスの主成分であるH₂Oは、水素・酸素同位体比から単純な天水とマグマ起源の水との混合ではなく、マグマからのガスと地下水が混合して形成された二相流体が、地下浅部において100℃で気液分離した気相である。尚、マグマ起源の水の混合率は30~40%である。

西山西部の噴気地帯の地下浅所には、洞爺湖温泉街から虻田町に通じる下水道トンネルがあり。噴火後、西山付近に湧出する大量の地下水が同下水道トンネルを通過して流出するようになった。6月23日から下水道トンネル出口から25m奥にセンサーを設置して観測を行っている地下水の水温は、7月初旬まで約11.5℃で変化が認められなかったが、7月3日~7日に約1℃の温度低下が観測された後、徐々に上昇をはじめ2000年12月末には約4℃上昇し、15.5℃となった(図5)。この温度上昇は、現在でもマグマからの火山ガスが西山浅所胚胎する地下水を温めていることを意味している。

3 三宅島の活動と地下水・熱水

3.1 火山灰に付着する火山ガス成分

噴火に伴って放出される火山灰には火山ガス起源の塩化物イオンや硫酸イオンなどが付着しており、付着量は爆発発生場付近の液相の関与、火道の状態、噴火様式などを反映し、両成分の比(Cl/Sモル比)は噴火に関与した火山ガス組成を反映することが知られている(例えば、Hirabayashi *et al.*, 1982; 平林・他, 1992)。爆発の危険性や火山ガス噴出地点などの問題で直接火山ガスを採取することができない場合は、周辺に飛散した火山灰に付着する火山ガス成分を分析することによって噴火に関与した火山ガス組成比を推定することができる。

一般に、マグマ噴火で放出される火山灰には高温タイプの火山ガスが付着し、Cl/S比は大きく、両成分の付着量が少ない。これに較べ水蒸気爆発で放出される火山灰には両成分の付着量は多く、成分比は小さい(例えば、松尾・他, 1977; Hirabayashi *et al.*, 1982; 平林, 1984; 小坂・他, 1984; 平林・他, 1992)ことが知られている。

7月8日の雄山陥没火口形成時に放出された火山灰に付着する塩化物イオンは、0.04~0.08 g/kgと少ないのに較べ、硫酸イオンは16~19 g/kgと多量に付着していた。この傾向は8月18日までの噴火で放出された火山灰も同様で、この間の塩化物イオン付着量は0.04~0.57 g/kg、硫酸イオン付着量は16~52 g/kgである。また、Cl/Sモル比は0.01~0.05と著しく小さい。しかし、8月29日に放出された火山灰の硫酸イオン付着量は

49~56 g/kg と変わらないのに対して、塩化物イオンは 1.9~2.4 g/kg と一桁多く付着しており、Cl/S 比は 0.1~0.14 と大きくなった。このことは火山灰に付着する火山ガス成分が若干変化したことを示唆している。また、9月9日以降の火山灰に付着する塩化物イオン量は 2.7~7.1 g/kg と著しく増加した一方で、硫酸イオン付着量は 11~15 g/kg と減少し、Cl/S 比は 0.5~1.5 と著しく大きくなり、明らかに火山灰に付着する火山ガス組成が大きく変化したことを示している (図 6)。

3.2 噴火と地下水・熱水

火山灰に付着する火山ガス成分およびその変化は、三宅島 2000 年噴火では二層の液相が関与したと考えられる。

すなわち、爆発発生場の上下に地下水などの液層があり、8月18日の噴火まではマグマから上昇してきた火山ガスが、爆発発生場より下に存在する地下水などと接触し、SO₂ に較べて一桁溶解度の大きい HCl の大部分が除去され、ここで水に溶解せずに残った SO₂ は爆発発生場より上部の液相に溶解移行して硫酸イオンを生成し、山体内に蓄積した。これが噴火で火山灰に付着して放出された。

8月29日の火山灰には、それまでの火山灰に較べて Cl⁻ 付着量増加していたこと、9月9日以降の火山灰にはマグマから直接もたらされた高温タイプの火山ガスが付着していたことから、8月18日の噴火で爆発発生場より下部の地下水等が枯渇しはじめたと考えられる。また、8月29日の噴火以降、爆発発生場より下部の液相の関与はなくなり、また爆発発生場より上部の液相の関与も徐々に少なくなり、9月中旬以降はマグマから地表に到達する火山ガスの流路に影響を与える地下水等の関与はなくなった。

このように火山灰に付着する火山ガス成分から考えられた、マグマから地表へ通じる火山ガス通路での地下水相の関与の変化は、8月18日の噴火以降火口から SO₂ 放出が徐々に顕著となり、9月中旬以降大量の SO₂ 放出が続いていることや、9月以降の火口底の温度上昇からも支持される。

参考文献

Hirabayashi, J., Ohsaka J., and Ozawa T., Relation between volcanic activity and chemical composition of volcanic gases - A case study on the Sakurajima volcano, *Geochem. J.*, **16**, 11-21, 1982.

平林順一, 火山ガスの成分変化と火山活動, 東京工業大学学位論, 1-185, 1984.

平林順一・大場 武・吉田 稔・野上健治・小坂丈予・野津憲治・鍵山恒臣, 雲仙岳火山活動と地球化学的観測, 雲仙岳溶岩流出の予知に関する観測研究報告書 (代表: 太田一也), 99-111, 1992.

松尾禎士・日下部 実・千葉 仁・牛木久雄・小坂丈予・平林順一・安孫子 勤・野津健治・小沢竹二郎・荒牧重雄・佐藤和郎・林 保・佐藤 純・藤井直之, 1977 年有珠山噴火後の地下水、温泉水および火山灰の地球化学的研究, *火山*, **22**, 201-220, 1977.

Ohta, K., Matsuo, N., Shimizu, H., and Fukui, K., Emission rates of sulfur dioxide from some volcanoes in Japan, *Proc. Kagoshima International Conference on Volcanoes 1988*, 420-423, 1988.

小坂丈予・平林順一・小沢竹二郎, 草津白根火山近年の活動と地球化学的調査・研究, 火山ガス測定による噴火予測に関する基礎研究報告書 (代表: 小坂丈予), 96-112, 1984.

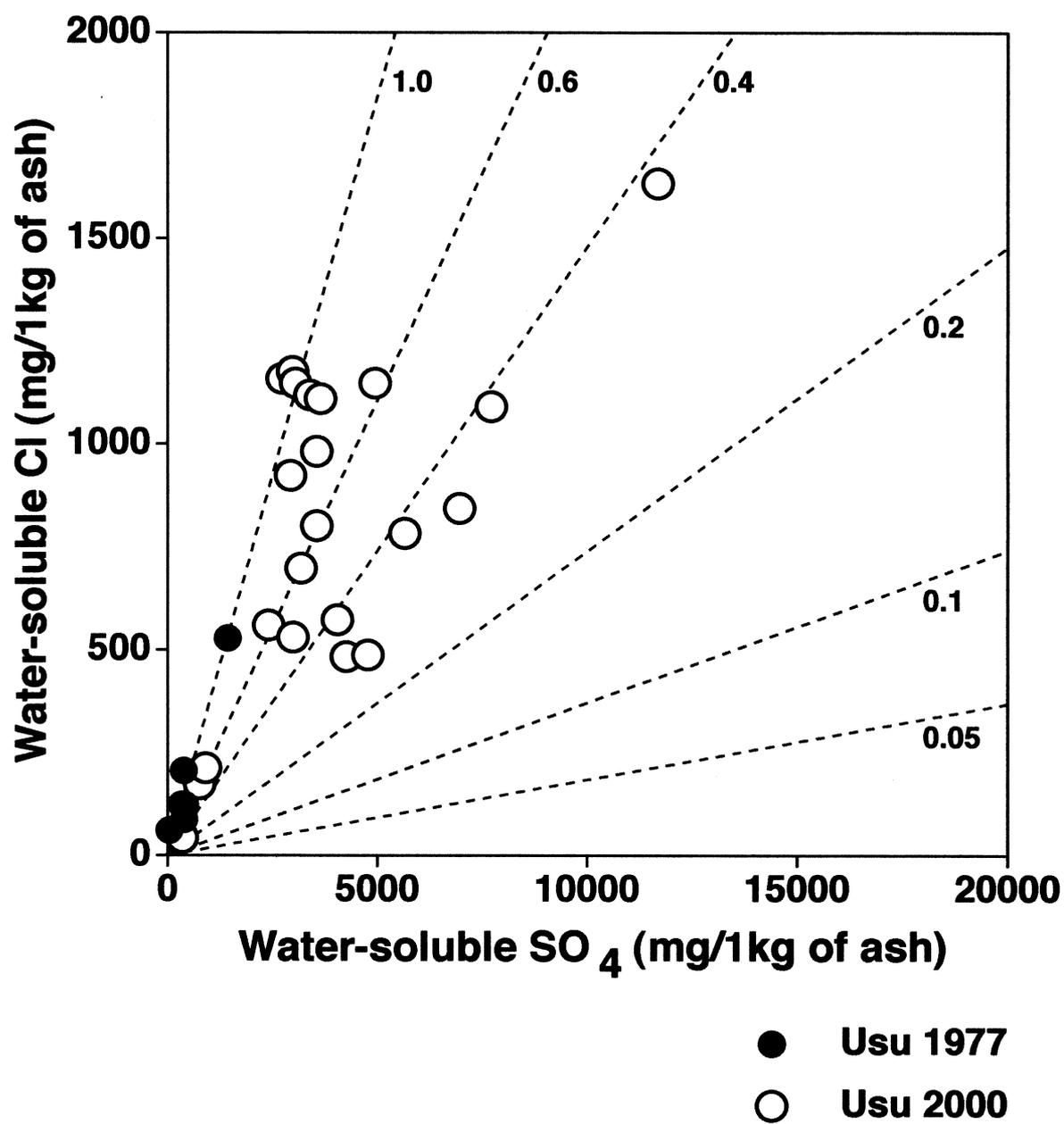


図1: 有珠山2000年噴火で放出された火山灰に付着する水溶性Cl⁻、SO₄²⁻量とCl/Sモル比。

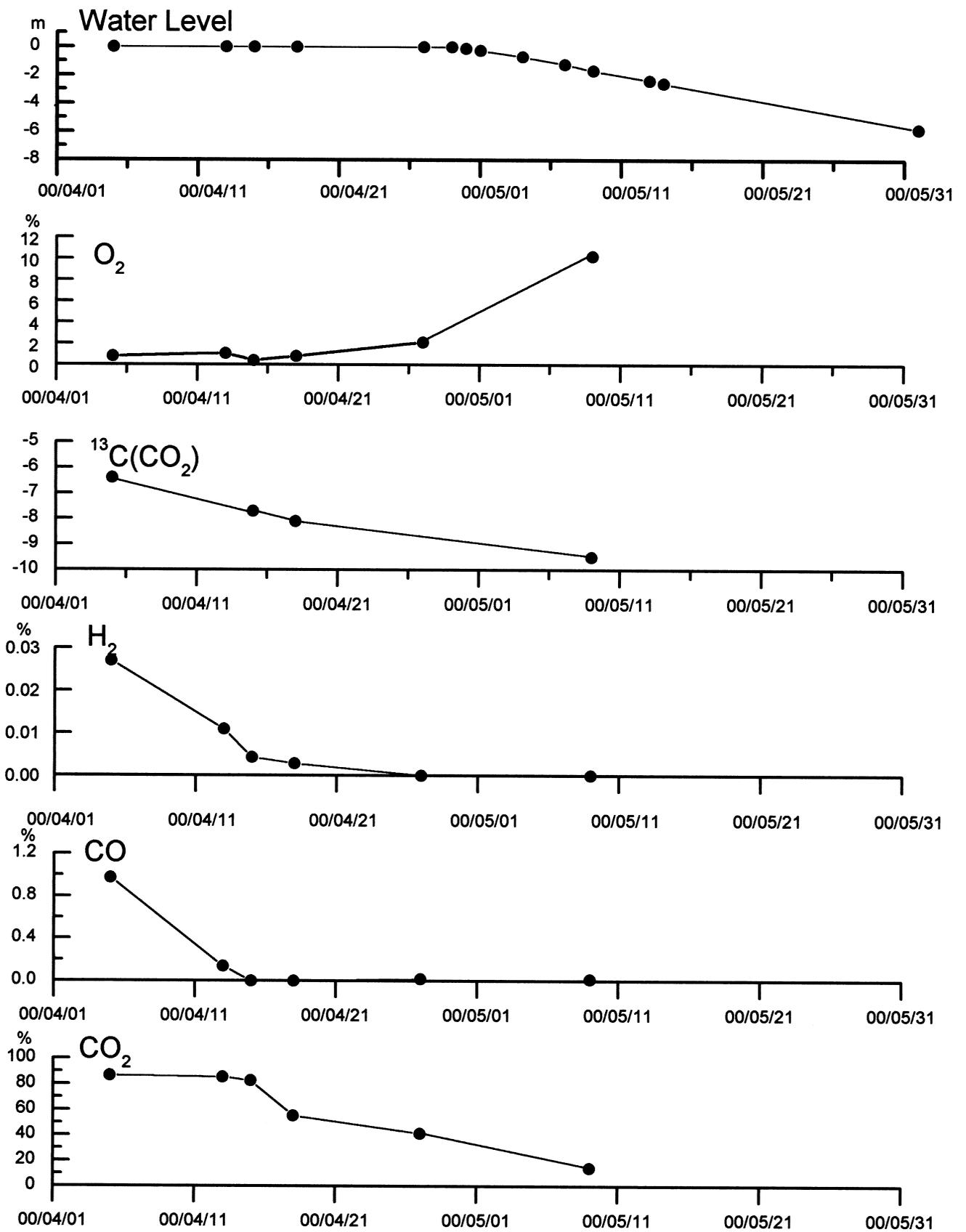


図2: 昭和新山水位観測井(SHO-N)の水位変化と自噴した地下水に付随したガス組成の変化。

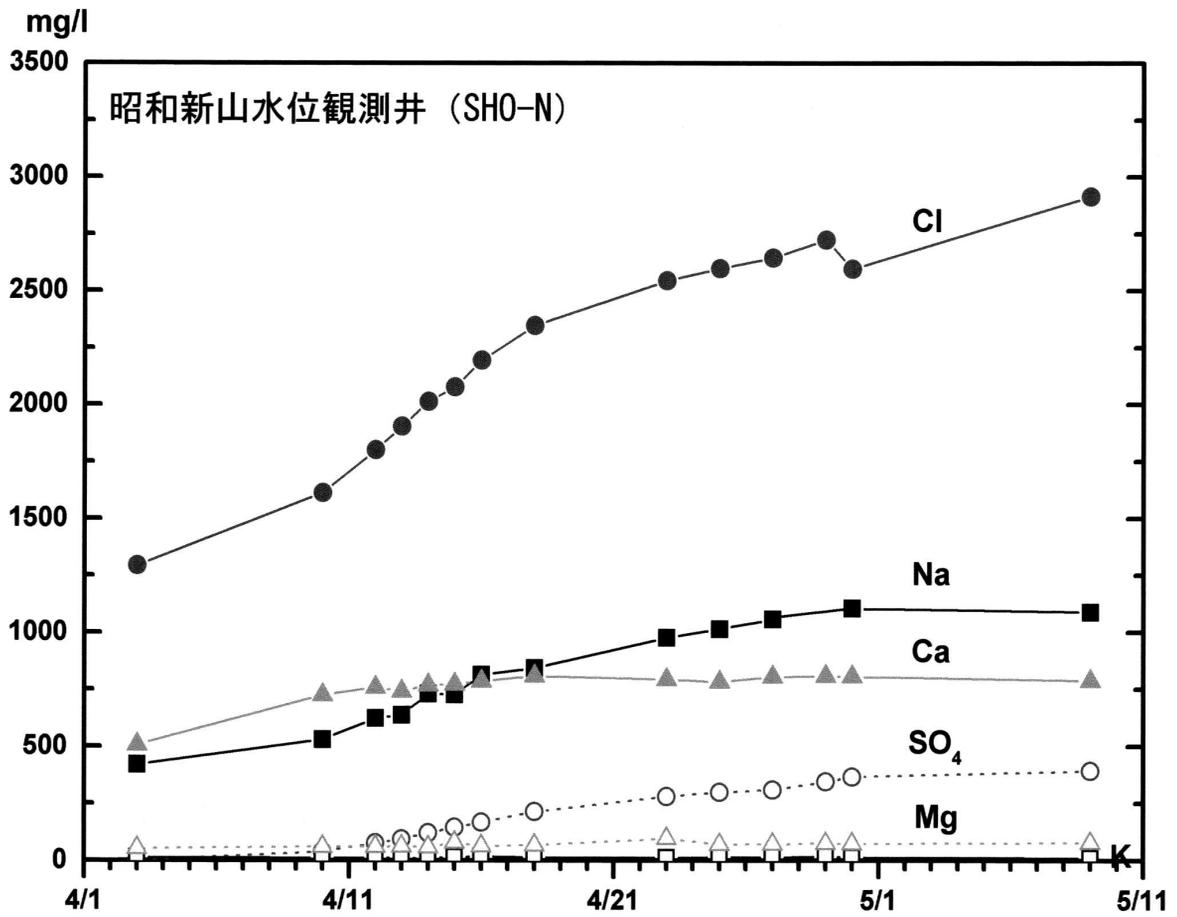


図3: 昭和新山水位観測井(SHO-N) に自噴した地下水の水質。

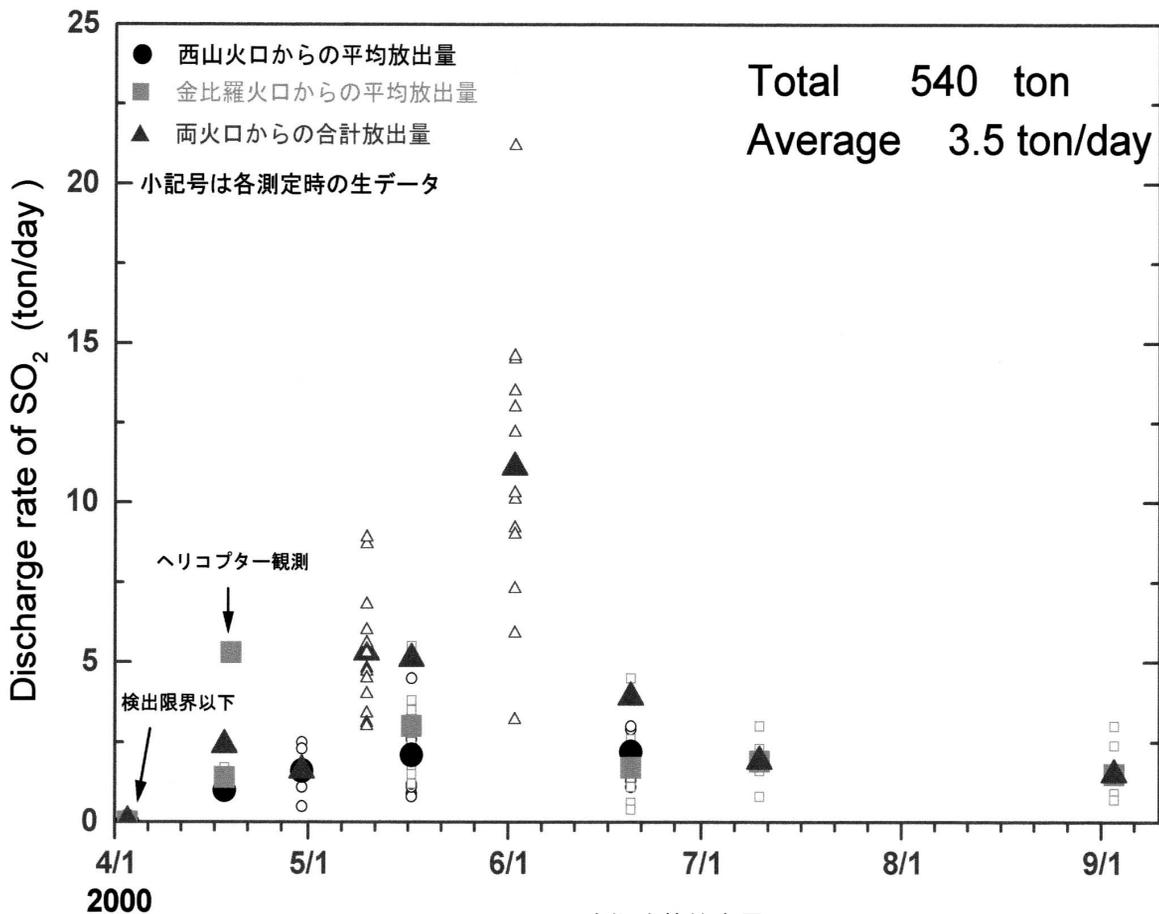


図4: 二酸化硫黄放出量。

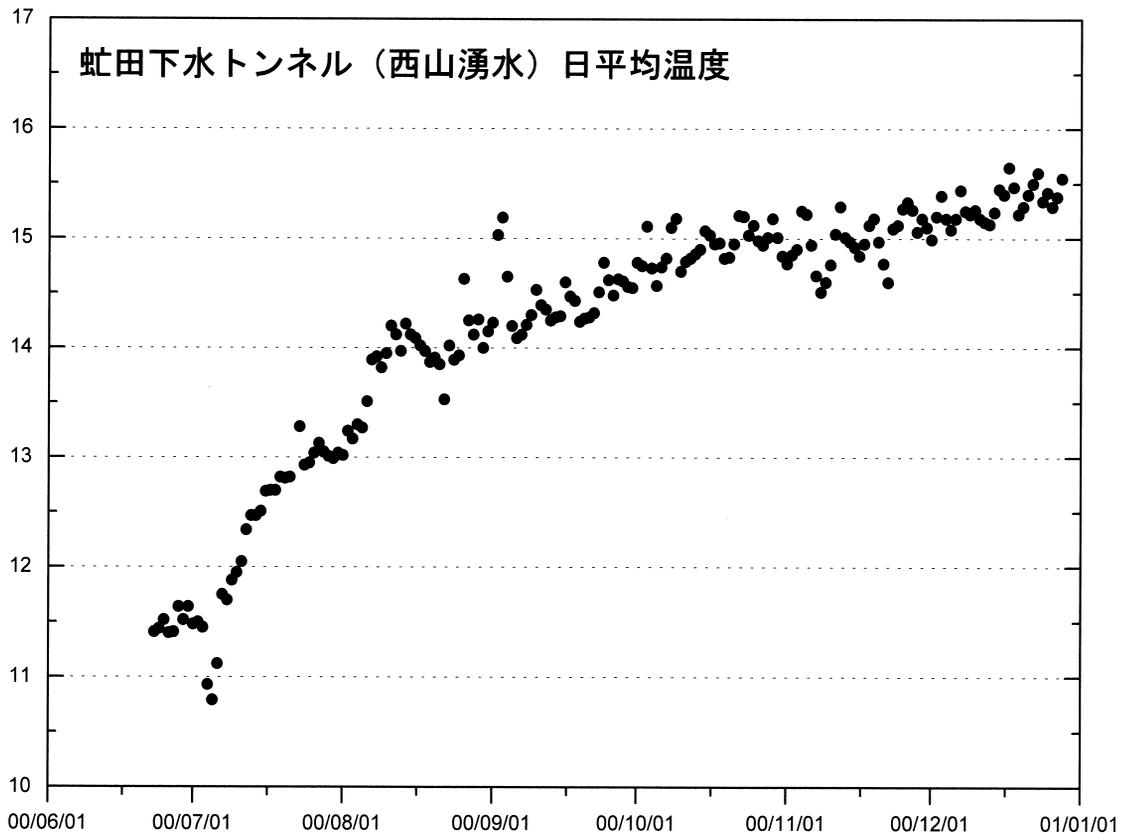


図5: 西山西部に湧出する地下水の温度。

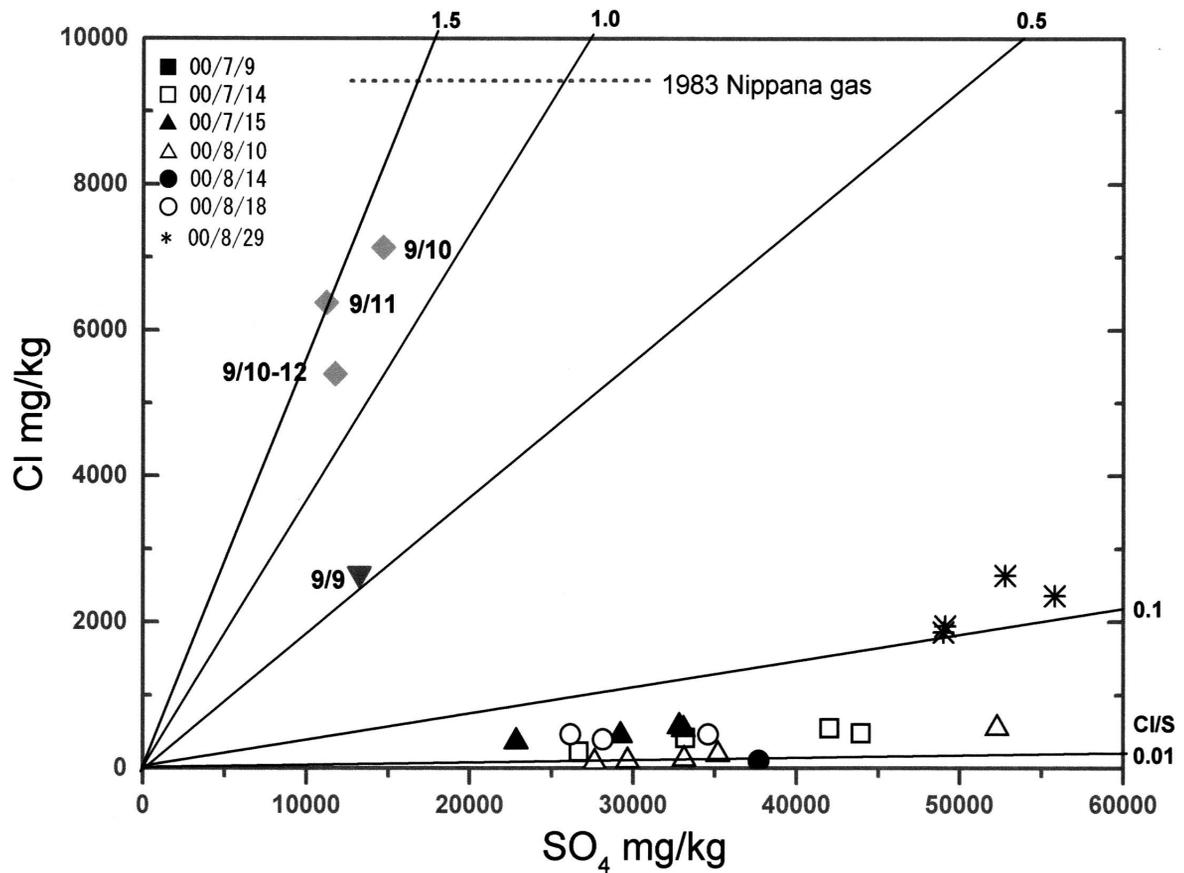


図6: 三宅島2000年噴火で放出された火山灰に付着する水溶性Cl⁻、SO₄²⁻量とCl/S モル比。