

# 有珠火山1977年噴火以後の火山ガス組成\*

東京工業大学・工学部 小坂丈予・平林順一  
埼玉大学・工学部 小沢竹二郎

## 1. まえがき

筆者らは1977年噴火以後、年1~2回定期的に火口原内のI火口、銀沼火口、小有珠などの噴気活動を調査し、火山ガスを採取・分析してきた。本報告では1978年7月~12月の同火山総集中観測までの成果も含め、噴火開始後の活動の推移と火山ガス組成との関係について報告する。

## 2. 調査概要および火山ガス組成

筆者らが噴火開始以後の各調査時に採取した火山ガス組成を、 $H_2O$ 、 $H_2O$ 以外のガス組成の百分率、R-gasの百分率の順に表1にまとめて示した。

1977年11月の調査時にはオガリ山下、小有珠肩および第3火口近くに噴気活動があり、この3ヶ所において火山ガスを採取した。いずれも噴気圧は弱く、また温度も100℃を越えるものはなかった。その火山ガス組成は、 $H_2O$ が99%以上で、酸性ガス成分では $HCl$ 、 $SO_2$ がほとんど含まれず $H_2S$ も0~1.9%と少なく $CO_2$ が主成分であった。またR-gas中には $H_2$ 、 $N_2$ が多く含まれ $CH_4$ も少量含まれていた。なかでも第3火口近くの噴気ガスのR-gas中には $H_2$ が95%と著しく多く含まれていた。

1978年8月3日はまだ銀沼火口での爆発活動が続いていた。I火口の噴気活動は活発で、その一端において232℃の噴気ガスを採取した。このガスには $HCl$ が2%含まれており、R-gas中の $H_2$ は26%であった。

1978年10月8日は銀沼火口での噴火も終り、爆発活動の末期であった。この調査時には1977年11月に調査した小有珠肩およびI火口において火山ガスを調査した。小有珠肩の噴気孔は100℃で前年にくらべ約8℃温度が高く、 $H_2S$ 含有量も若干増加し3.8%であった。またI火口においては367℃と663℃の噴気孔ガスを採取した。I火口のガス組成はそれぞれ $HCl$ が3.4%、1.05%、 $SO_2$ が6.5%、4.4%、 $H_2S$ が19.3%、4.4%でいずれも高温型のガス特有の組成を示している。

1979年9月1日および9月28日には、1978年10月の調査時にやや拡大していた小有珠東斜面の噴気活動が一段と活発になっていた。この調査時には銀沼火口内西側の噴気をも含め、I火口、小有珠東斜

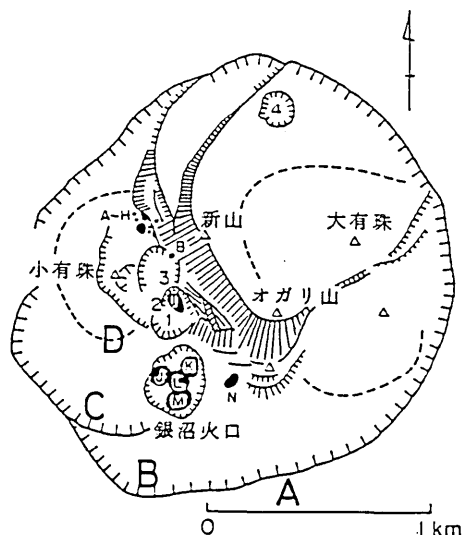


図1 有珠火山山頂火口原の地形略図  
Fig.1 Topographical sketch map of the summit crater of the Usu Volcano

\* Received May. 1, 1984

表1 有珠火山における噴気孔ガス分析値

Table 1 Chemical compositions of volcanic gases from the Usu Volcano

| Sample | Date      | Temp.<br>°C | H <sub>2</sub> O<br>V% | Chemical composition of gaseous<br>components exclusive of water |      |                 |                  |                 |      | Chemical compositions of R-gases |        |        |                 |      |                |
|--------|-----------|-------------|------------------------|------------------------------------------------------------------|------|-----------------|------------------|-----------------|------|----------------------------------|--------|--------|-----------------|------|----------------|
|        |           |             |                        | HF                                                               | HCl  | SO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> S | CO <sub>2</sub> | R    | H <sub>2</sub>                   | He     | Ar     | CH <sub>4</sub> | CO   | N <sub>2</sub> |
| オガリ山下  | '77.11.25 | 91.4        | 91.2                   | —                                                                | tr.  | 0.0             | 0.0              | 83.5            | 16.5 | 5.0                              | —      | —      | 2.0             | —    | 93.0           |
| 小有珠肩   | "         | 99.3        | 99.4                   | —                                                                | 0.0  | 0.3             | 1.9              | 93.7            | 4.1  | 30.7                             | —      | —      | 0.8             | —    | 68.5           |
| "      | "         | "           | 99.6                   | —                                                                | tr.  | tr.             | 0.06             | 96.0            | 3.9  | 33.8                             | —      | —      | 0.7             | —    | 65.5           |
| "      | '78.10.8  | 100         | 99.3                   | —                                                                | 0.0  | 0.06            | 3.74             | 92.1            | 4.1  | 18.1                             | 0.018  | 0.63   | 0.28            | —    | 81.0           |
| "      | "         | "           | "                      | —                                                                | 0.0  | 0.06            | 3.84             | 92.0            | 4.1  | 19.1                             | 0.018  | 0.63   | 0.28            | —    | 81.0           |
| 第3火口   | '77.11.26 | 99.9        | 99.2                   | —                                                                | tr.  | 0.0             | 0.8              | 76.7            | 22.5 | 94.3                             | —      | —      | 0.01            | —    | 5.7            |
| "      | "         | "           | 99.0                   | —                                                                | tr.  | 0.0             | 0.8              | 69.9            | 29.3 | 95.5                             | —      | —      | <0.01           | —    | 6.5            |
| I火口    | '78.8.3   | 232         | 98.34                  | —                                                                | 2.0  | 0.01            | 3.59             | 91.6            | 2.8  | 26.0                             | —      | —      | 0.5             | —    | 73.5           |
| "      | '78.10.8  | 367         | 96.91                  | —                                                                | 10.5 | 6.5             | 19.3             | 61.9            | 1.8  | 31.0                             | 0.022  | 0.068  | 0.21            | —    | 69.0           |
| "      | "         | 663         | 98.07                  | —                                                                | 3.4  | 4.4             | 4.4              | 72.2            | 15.6 | 84.0                             | 0.022  | 0.035  | 0.4             | 0.3  | 15.0           |
| "      | '79.9.1   | 600         | 95.7                   | 0.27                                                             | 0.56 | 6.2             | 14.2             | 70.3            | 8.42 | 80.0                             | 0.0035 | 0.021  | 0.0001          | 1.1  | 18.9           |
| "      | "         | 663         | 96.0                   | 0.83                                                             | 4.0  | 5.6             | 13.5             | 66.0            | 10.0 | 84.3                             | 0.0029 | 0.013  | 0.0001          | 1.2  | 14.5           |
| "      | "         | 277         | 96.8                   | 0.85                                                             | 10.7 | 4.2             | 16.3             | 65.0            | 2.97 | 46.5                             | 0.0110 | 0.054  | 0.0003          | 0.2  | 53.2           |
| 銀沼火口   | "         | 106.3       | 99.3                   | 0.02                                                             | 0.05 | 0.08            | 4.4              | 85.6            | 9.82 | 80.7                             | 0.0031 | 0.081  | 0.35            | 0.04 | 18.8           |
| I火口    | '79.9.28  | 607         | 95.4                   | 0.33                                                             | 0.96 | 6.4             | 15.8             | 66.0            | 10.4 | 85.4                             | 0.0028 | 0.0105 | 0.0005          | 1.07 | 13.5           |
| "      | "         | "           | 96.0                   | 0.52                                                             | 2.63 | (21.6)          |                  | 65.3            | 9.98 | 85.0                             | 0.0029 | 0.0095 | 0.0004          | 1.17 | 13.3           |
| "      | "         | "           | 96.9                   | 1.03                                                             | 2.97 | 5.9             | 15.6             | 64.9            | 9.96 | 84.3                             | 0.0029 | 0.0102 | 0.0006          | 1.15 | 14.0           |
| "      | "         | "           | "                      | 1.36                                                             | 5.75 | (20.7)          |                  | 62.6            | 9.60 | 84.8                             | 0.0029 | 0.0128 | 0.0004          | 1.14 | 14.0           |
| "      | "         | "           | "                      | 1.19                                                             | 3.44 | (21.8)          |                  | 63.9            | 9.68 | 84.9                             | 0.0030 | 0.0107 | 0.0004          | 1.13 | 14.0           |
| "      | "         | "           | 96.3                   | 1.13                                                             | 3.41 | 6.5             | 15.0             | 64.0            | 9.80 | 85.0                             | 0.0029 | 0.0125 | 0.0005          | 1.12 | 13.9           |
| "      | "         | 640         | 97.1                   | 0.66                                                             | 1.49 | 8.7             | 13.0             | 63.0            | 13.1 | 88.5                             | 0.0021 | 0.0131 | 0.0002          | 1.35 | 10.1           |
| "      | "         | 255         | 97.3                   | 1.96                                                             | 7.7  | 4.3             | 19.6             | 64.3            | 2.12 | 37.5                             | 0.0179 | 0.034  | 0.0017          | 0.10 | 62.3           |
| "      | "         | 499         | "                      | 0.86                                                             | 8.1  | 4.3             | 17.0             | 65.4            | 4.36 | 67.0                             | 0.0067 | 0.020  | 0.013           | 0.25 | 32.7           |
| "      | "         | 438         | 96.4                   | 0.19                                                             | 0.89 | 3.6             | 22.6             | 70.0            | 2.72 | 25.7                             | 0.0167 | 0.156  | 0.024           | 0.05 | 74.1           |
| 小有珠    | "         | 155.5       | 97.8                   | 0.05                                                             | 5.27 | 1.71            | 15.3             | 74.3            | 3.40 | 54.5                             | 0.0097 | 0.025  | 0.0034          | 0.19 | 45.3           |
| I火口    | '80.1.28  | 598         | 97.2                   | —                                                                | 5.7  | 7.0             | 12.8             | 60.5            | 14.0 | 72.7                             | —      | —      | <0.001          | 0.81 | 25.2           |
| "      | "         | 633         | 97.0                   | —                                                                | 4.2  | 7.5             | 15.6             | 62.1            | 10.6 | 86.5                             | —      | —      | 0.0018          | 1.0  | 12.5           |
| "      | '80.1.29  | 699         | 97.3                   | —                                                                | 1.8  | 10.6            | 15.4             | 56.3            | 15.9 | 90.4                             | —      | —      | 0.0020          | 1.3  | 8.2            |
| "      | '80.1.28  | 182         | 97.6                   | —                                                                | 11.0 | 2.6             | 20.9             | 63.3            | 2.2  | 37.1                             | —      | —      | 0.0094          | 0.04 | 62.8           |
| "      | "         | 409         | 97.2                   | —                                                                | 9.2  | 3.8             | 19.5             | 64.2            | 3.3  | 56.7                             | —      | —      | 0.024           | 0.16 | 43.1           |
| "      | "         | 102.5       | 97.7                   | —                                                                | 1.3  | 4.0             | 18.3             | 72.6            | 3.8  | 57.7                             | —      | —      | 0.0070          | 0.25 | 42.1           |
| 小有珠    | '80.1.29  | 298         | 97.3                   | —                                                                | 8.4  | 3.9             | 21.0             | 63.9            | 2.8  | 47.5                             | —      | —      | 0.013           | 0.18 | 52.3           |
| I火口    | '81.10.20 | 703         | 98.2                   | —                                                                | 5.2  | 5.3             | 7.2              | 65.5            | 16.8 | 92.9                             | —      | —      | 0.008           | 0.80 | 6.3            |
| "      | "         | 600         | 97.7                   | —                                                                | 4.7  | 3.5             | 8.4              | 73.5            | 9.9  | 80.6                             | —      | —      | 0.035           | 0.71 | 18.7           |
| "      | "         | 360         | 98.6                   | —                                                                | 5.2  | 4.9             | 19.6             | 59.3            | 11.0 | 87.0                             | —      | —      | 0.047           | 0.41 | 12.5           |
| "      | "         | 763         | 98.0                   | —                                                                | 4.4  | 8.0             | 3.0              | 61.1            | 23.4 | 92.9                             | —      | —      | 0.002           | 1.0  | 6.1            |
| "      | "         | 229         | 98.6                   | —                                                                | 2.9  | 3.3             | 12.1             | 60.8            | 20.9 | 19.7                             | —      | —      | 0.007           | 0.12 | 80.2           |
| 小有珠下   | '81.10.21 | 214         | 99.1                   | —                                                                | 1.0  | 0.2             | 29.3             | 64.4            | 4.8  | 62.4                             | —      | —      | 0.45            | 0.04 | 37.1           |
| 断層     | "         | 673         | 98.6                   | —                                                                | 0.6  | 10.7            | 10.7             | 55.3            | 12.1 | 94.6                             | —      | —      | 0.010           | 0.62 | 4.8            |
| 銀沼火口   | "         | 118         | 99.3                   | —                                                                | 0.2  | 0.3             | 16.8             | 68.0            | 14.7 | 86.2                             | —      | —      | 2.1             | 0.12 | 11.6           |
| I火口    | '82.11.13 | 730         | 99.2                   | —                                                                | 1.8  | 9.9             | 2.9              | 45.7            | 41.4 | 99.2                             | —      | —      | 0.0029          | 0.23 | 0.6            |
| 断層     | "         | 604         | 99.2                   | —                                                                | 9.4  | 7.4             | 19.1             | 38.2            | 25.6 | 97.8                             | —      | —      | 0.103           | 0.22 | 1.9            |
| I火口    | "         | 483         | 99.1                   | —                                                                | 8.4  | 8.6             | 24.0             | 36.1            | 22.6 | 97.8                             | —      | —      | 0.144           | 0.19 | 1.9            |
| "      | "         | 266         | 99.4                   | —                                                                | 9.6  | 3.8             | 25.9             | 41.8            | 18.9 | 95.2                             | —      | —      | 0.255           | 0.15 | 4.4            |
| "      | "         | 182.9       | 99.2                   | —                                                                | 5.7  | 4.0             | 34.9             | 40.4            | 14.7 | 94.5                             | —      | —      | 0.23            | 0.14 | 5.1            |
| 銀沼火口   | "         | 99.5        | 99.3                   | —                                                                | 0.06 | 0.2             | 19.6             | 64.5            | 15.7 | 87.8                             | —      | —      | 2.79            | 0    | 9.4            |
| 外輪内斜面  | "         | 99.0        | 99.1                   | —                                                                | 0.02 | 0.3             | 2.3              | 86.1            | 11.3 | 65.2                             | —      | —      | 0.32            | 0    | 34.5           |
| I火口    | '83.10.26 | 719         | 99.2                   | —                                                                | 4.3  | 8.4             | 2.1              | 54.3            | 30.9 | 97.4                             | —      | —      | 0.063           | 0.20 | 2.3            |
| "      | "         | 222         | 99.5                   | —                                                                | 3.8  | 2.4             | 23.7             | 55.4            | 14.7 | 92.3                             | —      | —      | 0.451           | 0    | 7.3            |
| "      | "         | 582         | 99.2                   | —                                                                | 7.9  | 3.3             | 16.2             | 54.1            | 17.9 | 93.5                             | —      | —      | 0.230           | 0.12 | 6.1            |
| "      | "         | 631         | 99.2                   | —                                                                | 9.0  | 6.4             | 11.8             | 47.7            | 25.1 | 96.3                             | —      | —      | 0.141           | 0.14 | 3.4            |
| 断層     | "         | 399         | 99.3                   | —                                                                | 5.4  | 3.7             | 24.7             | 48.4            | 17.8 | 91.8                             | —      | —      | 0.396           | 0.11 | 7.7            |

面において種々の温度の火山ガスを採取した。この時の I 火口の最高温度は 663℃で前年と変化がなかった。銀沼火口以外で採取した火山ガス組成は、 $H_2O$  がやや減少し、酸性ガスは  $HF: 0.3\sim 1.4\%$ ,  $HCl: 0.6\sim 10.7\%$ ,  $SO_2: 1.7\sim 8.7\%$ ,  $H_2S: 13.0\sim 19.6\%$  とその含有量が若干多くなった。一方銀沼火口の噴気孔温度は 106.3℃で  $HF$ ,  $HCl$ ,  $SO_2$ ,  $H_2S$  各成分の含有率は他の噴気ガスに較べて少ないが、R-gas 中の  $H_2$  は 80.7% で 600℃ 以上の I 火口の噴気ガスとほぼ同程度の値であった。

1980 年 1 月の調査時には I 火口の噴気はさらに活動的になり、噴気孔温度は最高 699℃であった。I 火口の火山ガス組成は前年の調査時と特に大きな変化はなかったが、小有珠と I 火口の間で採取した 102.5℃の噴気孔ガスの組成は温度の割には高温型であった。

1981 年 10 月には I 火口内の噴気温度はこれまでの最高の 763℃に達した。また銀沼火口内の噴気も 118℃に上昇していた。火山ガス組成は  $H_2O$  がやや増加し、水を除いた酸性ガスは前年とくらべ大きな変化はなかった。

1982 年 11 月の調査時には小有珠東斜面の噴気活動はさらに活発となり、また外輪山の内側および外側斜面での噴気活動が活発となった。一方 I 火口の温度は低下に転じ、最高 730℃で前年にくらべ約 40℃下った。そのガス組成は、 $H_2O$  の量がさらに増加し酸性ガスでは  $H_2S$  が増加し、 $CO_2$  が減少した。外輪山西内側斜面で採取したガスは 99.0℃で、 $HCl$ ,  $SO_2$  含有率はあまり多くなかったが、R-gas 中の  $H_2$  は 65.2% と多く含まれていた。

1983 年 10 月の調査時には I 火口の温度は前年にくらべ若干低下したが依然として 700℃以上の活発な噴気活動が続いており、火山ガス組成も前年と較べほとんど変化は認められなかった。しかし I 火口全体の噴気量は少なくなったように感じられた。

### 3. 結果とその検討

#### 3-1 時間経過と火山ガス組成変化

表 1 の火山ガス組成のうち主成分である  $H_2O$  含有量の変化を、I 火口は ○ 印（後に I 火口となった第 3 火口および断層地点を含む）で、それ以外のガスの値は ● 印で区別して図 2 に示した。図中の点線は I 火口ガスの  $H_2O$  含有量の上限と下限をそれぞれ結んだものである。1977 年 11 月の第 3 火口のガスの  $H_2O$  は 99% 以上であるが、1978 年 8 月は 98.3% と少なくなり、1979 年 9 月には 95.4~97.3% とさらに少なくなった。その後は 1980 年 1 月に 97.0~99.7%、1981 年 11 月に

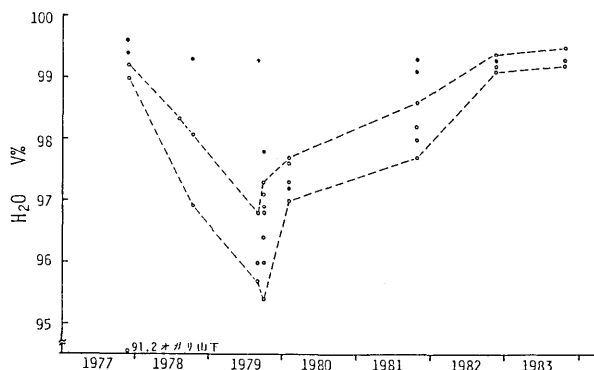


図 2 時間経過と火山ガス中の  $H_2O$  含有率

Fig.2 Variation of  $H_2O$  content in volcanic gases

97.7~98.6% と徐々に  $H_2O$  の割合が増加し、1982 年 11 月、1983 年 10 月にはさらに増え、それぞれ 99.1~99.4%、99.2~99.5% となりほぼ 1977 年 11 月の値に復した。

この I 火口の火山ガス中の  $H_2O$  の割合の変化は、火口原地表下の水の存在量の変化で説明することがで

きる。即ち今回の噴火活動において第1～第4火口を形成した第1期活動期の噴出物中には軽石のほかモンモリロナイトを主体とした粘土物質が含まれていること、また第1期活動終了後の1977年8月20日頃には火口原内の旧銀沼付近の割れ目から粘土流の流出が認められたことなどから、噴火開始以前から火口原の地下には大量の粘土鉱物と多量の水を含む泥漿溜りが存在していた。1978年以後1979年にかけて火山ガス中の $H_2O$ が減少したのは、この泥漿物質が1977年以降の噴火活動で徐々に放出され、またその後のマグマの上昇によって地下に保持されていた水もその通路においては涸渇しはじめたためと考えられる。1980年以後再び $H_2O$ の含有率が増加したのはマグマの上昇速度の鈍化に伴って地表水の地下への浸透量が増加に転じそのバランスが逆転したためと云えよう。1982年3月～4月に新山およびオガリ山の上昇が止まりそれ以後は下降に転じたため、このガス中の水含有率の増加傾向はさらに顕著になり、1982年11月の $H_2O$ 含有率は90%以上となったと考えられる。

### 3-2 $H_2$ 含有率

$H_2$ 含有率と噴気孔出口の温度との関係を図3に示したが、 $H_2$ 含有率は高温のガスでは温度が高いほど多く両者の間には非常に良い相関が認められる。しかし低温のガスでは両者の関係からはずれるものも多い。例えば第3火口、銀沼火口、小有珠、外輪山西内斜面で採取したガスはいずれも温度の割には $H_2$ 含有率が多い。このことは $H_2$ は地下水と接触してもほとんどその影響を受けないため、マグマから分離したガスが上昇途中に地下水によって冷却され、 $R$ ガス以外の成分はその影響を受けて変化しても $H_2$ はそのまま上昇するからと考えられる。

また、1977年11月に第3火口で噴気活動が認められた場所は後にI火口の中心となった所であり、すでにその当時から地下のマグマの上昇中心を $H_2$ 含有量が暗示していたと云えよう。

次に $H_2$ 含有率と時間経過との関係を

図4に示したが、この変化傾向は先に示した $H_2O$ と異なり、変化があまり明瞭ではない。これはI火口の噴気孔の最高温度は1978年にはすでに600℃以上であり、その後徐々に温度が上昇し、1981年10月には763℃となり、それ以後は降下に転じたが現在も700℃以上で冷却速度が非常に遅く、このため $H_2$ 含有率の変化が少ないものと考えられる。

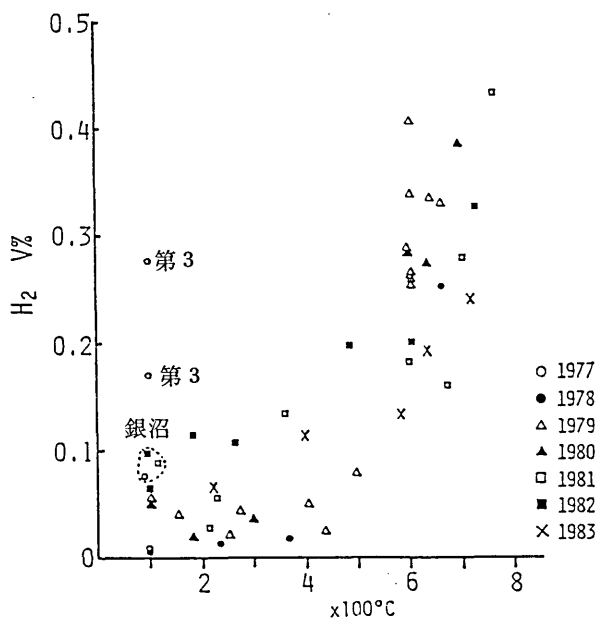


図3 火山ガス中の水素含有率と噴気孔温度

Fig.3 Relationship between  $H_2$  content in volcanic gases and orifice temperature



図4 時間経過と火山ガス中の $H_2$ 含有率

Fig.4 Variation of  $H_2$  content in volcanic gases

### 3-3 各ガス成分の組成比

次に表1の値を使って各成分割合の変化について検討する。 $HC1/(SO_2+H_2S)$ ,  $SO_2/(SO_2+H_2S)$ と温度との関係进行测试した年ごとに記号を変えて図5(a), (b)に示した。一般にこれらの成分比は温度に依存している。 $HC1/(SO_2+H_2S)$ について詳しくみると1980年までは温度との間に明瞭な関連は認められず、それ以後は両者の相関は良くなっている。この理由として $HC1$ が最も水に溶解しやすい成分であることが挙げられる。即ち先にも述べたように活動初期には火口原地表下の滞水層で $HC1$ が容易にガス相から除去されるため $HC1/(SO_2+H_2S)$ の値が低くなったためと考えられる。このことは噴火で放出された固形噴出物に付着した可溶性成分中に $Cl^-$ が多量に存在していた事からも支持される。またその後表面の噴火活動は終了したがさらにマグマが上昇しこれに伴って噴気活動も継続し、火山ガスの通路が徐々に確立され、その周辺が乾燥してきたため、既述

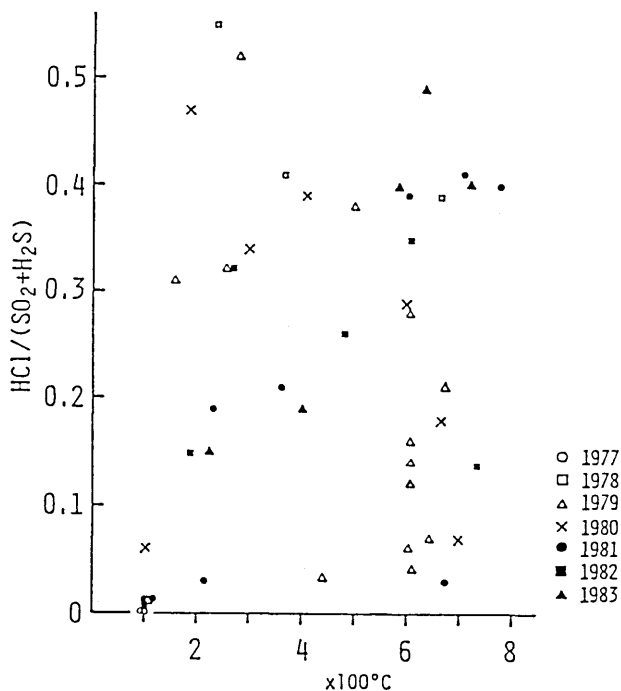
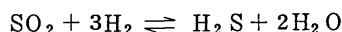


図5(a) 噴気孔ガスの $HC1/(SO_2+H_2S)$ と温度

Fig.5(a) Relationship between  $HC1/(SO_2+H_2S)$  in volcanic gases and orifice temperature

のHC1の除去が少なくなり $HC1/(SO_2 + H_2S)$ 値と温度との関係が正常化したものと思われる。なお先に1981年以後の $H_2O$ 含有率の上昇は地表水の地下への浸透率が増加したためと説明したが、この時期の地表からの浸透水はガス温度が高いため深所には達せず直ちに気化され、下からのガスと一緒に折り返し地表に到達するため、HC1の除去がおこらないものと考えられる。

一方 $SO_2/(SO_2 + H_2S)$ は温度が高いガスほどその値が大きくなり、両者の間には全測定時にわたって比較的良い相関が認められ、硫黄ガス成分は高温においての溶解度がHC1より小さいためHC1ほど地下水の影響を受けないことを示すものと考えられる。また $SO_2/(SO_2 + H_2S)$ と温度との関係は図3に示した $H_2$ 含有率と温度との関係とよく類似しており、



の反応が温度によく依存して起っていることを示すものであろう。

またHFは1979年のDataしかないため図には示さなかったが、HF/HC1も傾向としては温度上昇に伴って大きくなる。

#### 4. まとめ

以上これまで述べてきた有珠火山の1977年噴火以後の火山ガス測定の結果を要約すると、

- 1) 火山ガス成分のうち主成分である $H_2O$ の含有率の変化は噴火活動およびマグマの上昇に伴う火口原地下の水の存在量の変化を反映していることが判明した。
- 2) Rガス中の $H_2$ 含有率は地下水などの影響をほとんど受けず、地下のマグマの上昇中心および地下での冷却などの状況を地表で推定するのに有効な成分であることが明らかとなった。
- 3) 酸性ガス組成比のうち $HC1/(SO_2 + H_2S)$ の値は同火山の今回の活動のように火口原内の滞水層の影響を強く受けるような場合には、その変動が著しく、活動指標として用い難い時もある。しかし $SO_2/(SO_2 + H_2S)$ の値はそれらの地下滞水層による影響はるかに少なく、火山の活動度の推定に充分役立つものと考えられる。
- 4) 最近の火山ガス組成の変化から、今後同火山の噴気活動は急激には衰えることはなく、ゆっくりとした変化になると思われる。

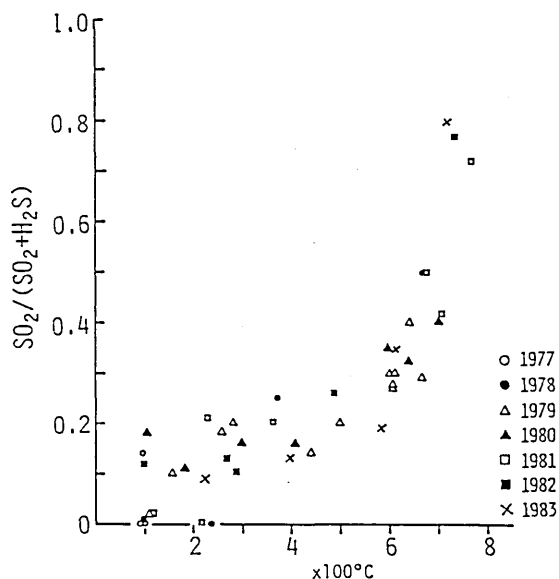


図 5(b) 噴気孔ガスの $SO_2/(SO_2 + H_2S)$ と温度  
Fig.5(b) Relationship between  $SO_2/(SO_2 + H_2S)$  in volcanic gases and orifice temperature

## 参 考 文 献

Katsui, Y., Oba, Y., Onuma, K., Suzuki, T., Kondo, Y., Watanabe, T., Niiba, K., Uda, T., Hagiwara, S., Nagao, T., Nishikawa, J., Yamamoto, M., Ikeda, Y., Katagawa, H., Tsuchiya, N., Shirahase, M., Nemoto, S., Yokoyama S., Soya, T., Fujita, T., Inaba, K. and Koide, K. (1978) : Preliminary report of the 1977 eruption of Usu Volcano, Jour. Fac. Sci. Hokkaido Univ., Ser. IV, **18**, pp385-408.

近堂祐弘・藤谷朋夫・勝井義雄・新井田清信(1979) : 有珠火山1977-1978年火山灰の性質, 火山第2集, **24**, pp385-238.

北海道大学理学部有珠火山観測所(1982) : 有珠山およびその周辺の地殻変動(1982年4月~6月), 火山噴火予知連絡会会報, **25**, pp23-27.

小沢竹二郎・君島克憲・小坂丈予・平林順一・林保・染谷悟(1979) : 有珠火山1977-78年活動における火山ガス組成, 有珠山の集中総合観測, pp52-55.

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・野津憲治・小沢竹二郎・荒牧重雄・佐藤和郎・林保・佐藤純・藤井直之(1977) : 1977年有珠山噴火直後の地下水, 温泉水および火山灰の地球化学的調査研究, 火山 第2集, **22**, pp201-220.

Niida, K., Katsui, Y., Suzuki, T. and Kondo, Y. (1980) : The 1977-1978 Eruption of Usu Volcano, Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., ser. IV, **19**, pp357-394.

Yokoyama, I., Yamashita, H., Watanabe, H. and Okada, H. (1981) : Geophysical characteristics of dacite volcanism-The 1977-1978 Eruption of Usu Volcano, J. Volcanol. Geotherm. Res., **9**, pp335-358.