

# 薩摩硫黄島硫黄岳における火山ガス観測

産業技術総合研究所地質調査総合センター

篠原 宏志・風早 康平

斉藤 元治

東京工業大学火山流体研究センター

平林 順一

## 1. はじめに

薩摩硫黄島火山硫黄岳は、約 6300 年前の竹島火砕流を流出後の鬼界カルデラの北西縁に生成した流紋岩質のドームでありその活動は約 1200 年前まで続いていたと考えられている<sup>1)</sup>。最近の調査では山頂での噴火活動は約 5-600 年前まで継続していたと推定されているが<sup>2)</sup>、少なくとも有史の山頂噴火の記録は残されていない。その反面、硫黄岳山頂における硫黄の採掘および火山ガスの存在は平家物語にも記載があり、古くから存在していたことが推定される。硫黄岳山頂部の調査は 1950 年代後半から始められ、数多くの高温噴気の分布が定量的に記載され、火山ガス組成の調査も行われている<sup>3)</sup>。1990 年以降は山頂部の火山ガスなどの調査が繰り返し行われ、詳細な変化が明らかにされている<sup>4), 5)</sup>。本稿では 2000 年 10 月に実施された硫黄岳山頂部における火山ガス調査の概要を、これまでの経緯を踏まえて報告する。

## 2. 火口内状況

### 2.1. 1990 年以降の変化

硫黄岳山頂部は直径 400m のすり鉢状の火口になっており、1990 年以前には高温噴気は山頂火口の内壁斜面に主に分布しており、山頂火口の底部には存在していなかった。しかし、1990 年に火口底部の縁辺部に高温噴気が見つかり、その後高温部が拡大し、1996 年には火口底部の南部の広い範囲が高温変質を受けていた。変質地域の拡大と同時に、火口底部にクレーター状地形が発達し、1997 年には急峻な斜面を持つ火孔が形成され、火山ガスおよび火山灰の放出を続けるようになった。火口底部に広がっていた高温変質を受けた地域は、火孔の形成後には限られた高温噴気帯を除き消滅した<sup>5)</sup>。図 1 は 1997 年に作成された山頂付近の地形図であるが<sup>6)</sup>、この後も火孔およびガリーの拡大が継続している。

1996 年以降、集落部でしばしば降灰が観測されるようになった。しかし、集落部での降灰量

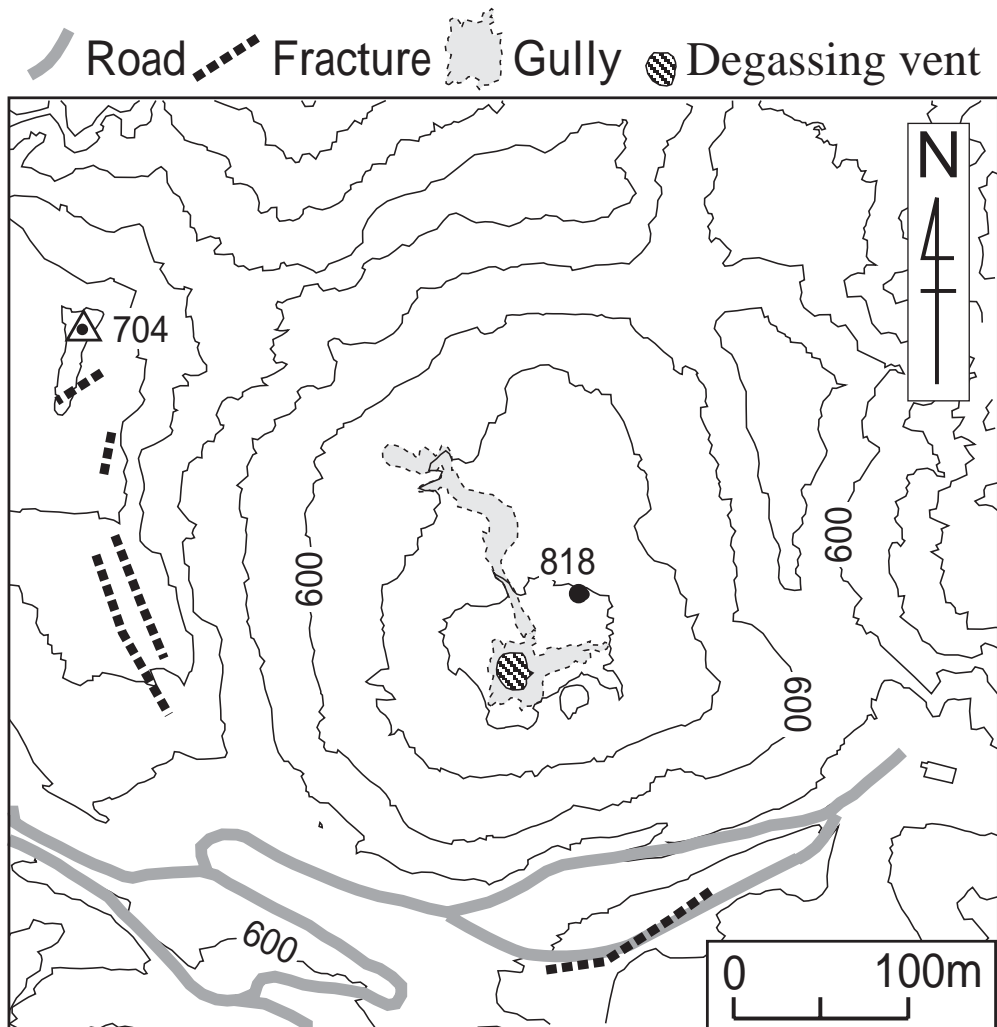


図 1. 薩摩硫黄島硫黄岳山頂部の地形。斉藤(1997)による。黒点は火山ガス採取地点。

は少なく定量的な観測は行われていない。山頂付近でも降灰の堆積が確認されたのは、ごく限られた例を除き、火孔近傍に限られる。火孔近傍での降灰の堆積が最も活発に生じたのは1996-1997の間であり、この間に火孔縁で約2mが堆積したと推定される。しかし、この間には火山灰放出は直接観測されておらず、頻度は小さかったと推定される。その後(1998年以降)山頂調査時に火山灰の放出が観測されるようになり、頻度は増したと考えられる。

火山灰は X 線回折および EPMA で分析されており、主な構成物は石英, cristobalite, ridymaite であり、少量の kaolinite やガラスを含むことはあるが、輝石, 斜長石などは存在しない。ガラスは一見透明で発泡しているように見受けられるものもあるが、周辺部は水和しており新鮮なガラスではない。組成は硫黄岳の噴石・溶岩のマトリックスガラスの組成に類似している。これらのことから、火山灰は山頂火口内に堆積していた硫黄岳形成時の噴出物が変質を受けたものであり、火山灰放出はこの堆積物を粉碎し放出していることが推定されている<sup>5)</sup>。

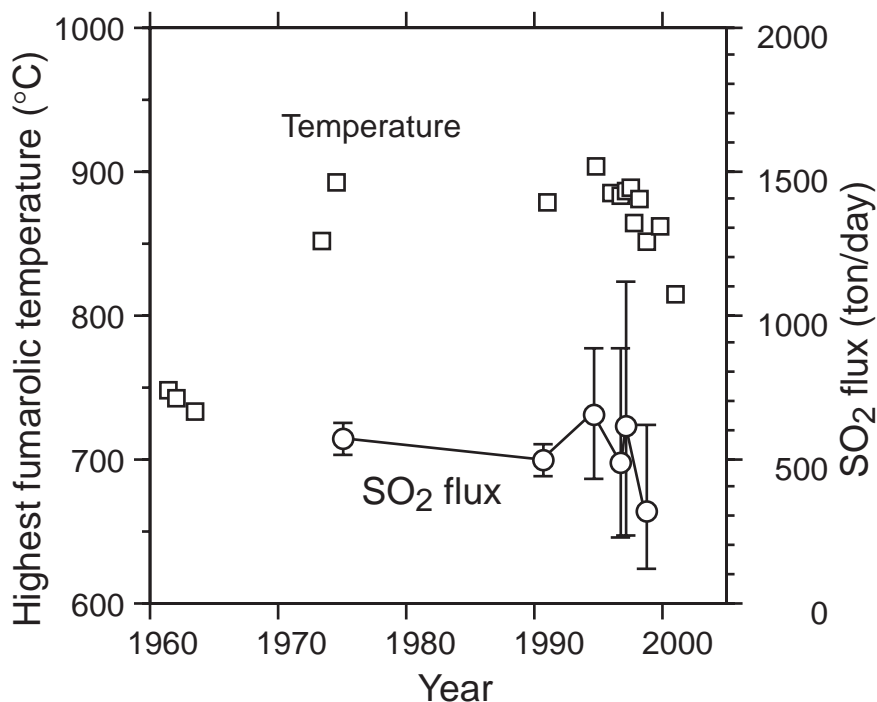


図2. 火山ガスの最高温度および二酸化硫黄放出量の変化

## 2.2. 2000年10月の状況

2000年10月19日および21日に山頂部の調査を行った。火孔の直径は約50m程度に拡大しており、通常は透明～白色の噴煙を連続的に放出している。火山灰放出は10月21日の山頂調査中に一回直接観測された。火山灰放出時には特に大きな音や噴石などは伴わず、単に噴煙の色が濃く(黒色、一部黄色)なり、その放出が数分間継続した。天候がやや不良であったため広範囲の調査は実施できなかったが、火口中央部に位置する高温噴気の調査を行った(図1)。近年ではこの一帯が最高温度の噴気地帯である。最高噴気温度は818であった。最高噴気温度は1990年から1996年に掛けて上昇し、1997年以降次第に低下している。2000年10月もその低下傾向が継続していることが判明した。

## 3. 火山ガス観測

1990年以降2000年10月までの、高温噴気ガスの化学組成を表1に示す。火山ガス採取方法はGiggenbach and Goguel (1989)<sup>7)</sup>に準拠した方法を用いた。硫黄岳の高温火山ガスは、典型的な島弧火山の火山ガス組成を持つが、その中でもCO<sub>2</sub>に乏しくHClに比較的富むと言う特徴を持つ。1990年以降の山頂火口内での噴気の分布の変化、噴気温度の変化、火山灰の放出や火孔の形成などの大きな変化にも関わらず、高温火山ガスの組成は基本的に一定である(表1)。高温火山ガスでこれほど一定の組成を約10年間に渡って示し続けている例はほとんど

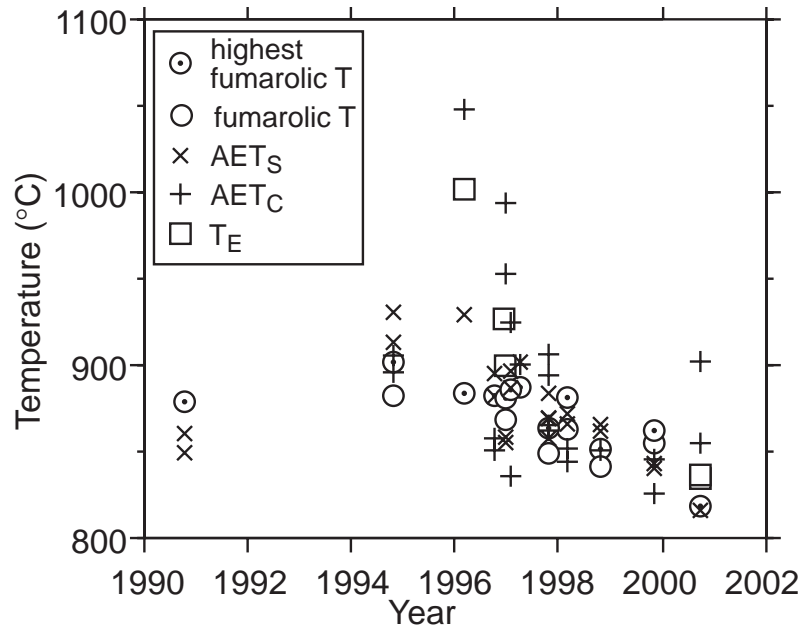


図3. 火山ガスの測定温度および見かけの平衡温度の変化

ない。このことは、硫黄岳の高温噴気ガスの供給システムや脱ガス条件が非常に安定していることを示している。この傾向は、温度の低下が継続しているにも関わらず、現在も続いていることが判明した。

COSPECにより測定されている二酸化硫黄の放出量は、大局的には日放出量約500tonで最近30年間安定していると見なせる。しかし、新火孔の生成に伴い、1990年半ばにはやや増加し、最近では低下傾向にあるように見える(図2)。残念ながら、今回はCOSPEC観測を実施することができなかったが、噴気温度、火山ガス組成観測に加え、二酸化硫黄放出量の今後の変化を注意深く見守る必要がある。

現在放出されている火山ガス組成は、昭和硫黄島噴出物中のメルト包有物中の揮発成分組成を類似しており<sup>8)</sup>、マグマ溜まりに存在する昭和硫黄島マグマと同様の組成のマグマが火山ガスの供給源と推定されている。硫黄岳における長期に渡る大量の火山ガス放出には、火道内マグマ対流により大規模なマグマ溜まりから揮発成分に富むマグマを連続的に供給するが必要であり、硫黄岳直下では流紋岩質マグマであるにも関わらずこの火道内マグマ対流が生じていると推定されている<sup>9)</sup>。火山ガス組成が長期に渡り非常に一定であることも(表1)、安定な脱ガス過程を維持することが容易である火道内マグマ対流が生じていることと整合的である。

高温火山ガス組成は、一見ほぼ一定ではあるが、わずかな変化も検知される。このわずかな変化は、火山ガス温度の低下に伴う、化学反応の進行により生じていると考えられる。火山ガスはマグマから放出された時点ではその温度で化学平衡にあったと考えられているが、地表に至るまでの温度低下に伴い、化学反応も進行し火山ガス組成が変化していく。そのため、火山ガス

組成は火山ガス温度の低下に伴う化学反応の進行の程度も反映していると考えられる。温度低下に伴う化学反応の進行が早い場合には、火山ガス組成はその温度での平衡組成を持つが、進行が遅い場合に平衡組成からずれる。ここで、ある温度を境に、より高温では化学反応の進行が十分早く火山ガスは平衡組成を持つが、より低温では化学反応の進行が事実上停止する(急冷される)という温度を仮想的に考える。このような場合には、観測された火山ガス組成は、その化学反応に関してこの温度(急冷温度)における平衡組成を持つことになる。このように、火山ガス組成がある化学反応に関してある温度で急冷された仮定することにより、火山ガス組成からその化学反応に関する急冷温度を求めることができ、これを見かけの平衡温度(Apparent Equilibrium Temperature: AET)と呼ぶ<sup>10)</sup>。ここでは以下の化学反応について見かけの平衡温度を求めた(表1, 図3)



また、 $\text{AET}_s$ と $\text{AET}_c$ の結果の矛盾を、Ohba et al. (1994)<sup>11)</sup>に基づき、化学反応(2)が急冷(停止)した後も、化学反応(1)が進行したためであると仮定し、その後の化学反応(1)の進行を補正して、両方の化学反応についての見かけの平衡温度( $T_E$ )を求めた(図3)。これらの結果から、火山ガスはほぼ噴気温度において平衡な組成を持っていたことが推定され、これら見かけの平衡温度も、噴気温度同様に次第に低下してきたことが判る。

#### 4. まとめ

薩摩硫黄島では、山頂火口内に生じた火孔からの活発な火山ガスおよび火山灰の放出が続き、火孔の拡大が継続している。しかし、火山ガス調査からは、火山ガスの供給源であるマグマ組成や脱ガス機構や条件に特に顕著な変化は認められてはいない。現在放出されている火山灰は、基本的に山頂火口内に堆積していたものであり、新鮮なマグマ物質の放出は確認されてはいない。しかし、火山ガスが火道内マグマ対流により放出されているならば、マグマは地表近傍まで上昇している可能性は大きい。現在のように連続的に火山ガスが放出している限り、急激に爆発的な噴火が生ずることは考えにくいだが、さらなる火孔の拡大・深化により、火山ガス放出のみならずマグマそのものが地表に放出される可能性は考えられる。そのため、今後も火山灰中に新鮮なマグマ物質が含まれるようになるか注意深く観察を行う必要がある。

#### 参 考 文 献

- 1) 小野晃司・曾屋龍典・細野武男(1972): 薩摩硫黄島地域の地質, 地域地質研究報告, 種子

島(16), 第2号.

- 2) Kawanabe Y. and Saito G. (2002): Volcanic activity of the Satsuma-Iwo Jima Volcano in recent 6300 years, *Earth Planet Space*, 54, 295-301.
- 3) 鎌田政明(1964): 鹿児島県硫黄島の火山と地熱. *地熱*, 3, 1-23.
- 4) Shinohara H., Giggenbach W. F., Kazahaya K., and Hedenquist J. W. (1993): Geochemistry of volcanic gases and hot springs of Satsuma-Iwojima, Japan: Following Matsuo, *Geochem. J.*, 27, 271-285.
- 5) Shinohara H., Kazahaya K., Saito G., Matsushima N. and Kawanabe K. (2002): Degassing activity from Iwodake rhyolitic cone, Satsuma-Iwojima volcano, Japan: Formation of a new degassing vent, 1990-1999. *Earth Planet Space*, 54, 175-185.
- 6) 斉藤英二(1997): 薩摩硫黄島, 硫黄岳火口周辺の地形図, 地質調査所研究資料集 1997-308.
- 7) Giggenbach, W.F. and Goguel R. L. (1989): Collection and analysis of geothermal and volcanic water and gas discharges. Chem. Div. DSIR Rept. CD 2401, p. 81.
- 8) Saito G., Kazahaya K., Shinohara H., Stimac J., and Kawanabe Y. (2001): Variation of volatile concentration in a magma system of Satsuma-Iwojima volcano deduced from melt inclusion analyses. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 108, 11-31.
- 9) Kazahaya K., Shinohara H., and Saito G. (2002): Degassing mechanism and magma system of Satsuma-Iwojima volcano by volatile studies: a summary, *Earth Planet Space*, 54, 327-335.
- 10) 大場武(1997): 高温火山ガスにおける化学平衡. *地球化学*, 31, 99-110.
- 11) Ohba T., Hirabayashi J. and Nogami K. (1994): Equilibrium temperature and redox state of volcanic gas at Unzen volcano, Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 60, 263-272.

(Received on September 27, 2001)

表 1. Composition of highest temperature fumarolic gases at Ohachi-oku, Iwodake cone, Satsuma-Iwojima volcano.

Date	Temp. ( )	H <sub>2</sub> O μ mol/mol	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub> <sup>#</sup>	H <sub>2</sub> S <sup>#</sup>	HCl	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Ar	CO <sup>\$</sup>	dD (‰)	d <sup>18</sup> O (‰)	d <sup>13</sup> C (‰)	AET <sub>S</sub> <sup>&amp;</sup> ( )	AET <sub>C</sub> <sup>&amp;</sup> ( )
96/10/18	818	974 946	3 996	8 031	1 025	7 089	4165	69	0.8	19				815	854
96/10/18	818	977 997	3 315	6 256	1 515	6 093	4166	67	0.8	18				788	901
95/11/20	853	974 981	3 818	8 048	718	6 853	4 468	65	0.8	18	-29	6.3		840	824
95/11/20	853	976 207	3 679	8 504	585	5 963	4 133	64	1.0	17				841	844
94/11/6	840	973 024	3 808	8 756	971	6 783	5 593	92	1.0	23	-28	6.1		863	843
94/11/6	840	974 493	3 972	8 634	1 139	5 025	5 853	96	1.2	26				861	849
94/3/17	860	974 149	3 992	9 661	520	6 289	4 638	83	0.9	21	-31	6.0	-4.9	870	850
94/3/17	860	974 432	3 995	9 587	576	6 047	4 636	76	1.1	20			-4.7	865	842
93/11/1	848	975 649	3 698	8 950	482	6 593	4 549	56	0.6	21	-28	6.4	-4.1	867	892
93/11/1	848	976 815	3 660	8 839	572	5 544	4 493	55	0.5	22			-4.2	857	905
93/11/1	848	974 634	3 706	8 884	489	7 008	4 529	61	0.7	20			-4.0	866	865
93/11/1	848	975 657	3 961	8 933	493	5 733	5 131	67	0.5	24			-3.7	883	861
93/11/1	848	975 085	3 747	8 697	519	7 156	4 681	93	1.2	20			-3.9	866	860
93/4/17	886	972 176	3 803	10 672	479	7 429	5 310	104	1.0	26	-26	6.4	-4.5	899	900
93/2/19	884	974 842	3 837	9 994	337	6 150	4 729	90	1.3	19				896	834
93/2/19	884	974 686	3 870	9 671	467	6 240	4 924	107	1.5	27				884	923
93/1/5	880	976 714	3 356	8 392	442	6 729	4 233	109	1.3	24	-29	6.4	-4.4	858	992
93/1/5	868	975 972	3 714	9 023	564	6 279	4 313	111	1.3	24			-4.5	853	951
92/10/14	882	975 652	3 977	10 088	536	4 600	5 026	96	1.0	23	-28	6.2	-4.3	882	857
92/10/14	882	974 796	4 018	10 124	421	5 552	4 993	72	0.7	22			-4.7	894	850
92/3/9	882	972 574	3 439	11 741	281	6 585	5 224	121	2.2	34	-28	6.1		929	1047
90/10/28	881	974 400	3 879	9 993	272	5 839	5 488	98	1.1	27	-28	8.4	-4.3	930	896
90/10/28	881	974 129	3 804	9 853	341	6 410	5 327	107	1.1	27			-4.6	913	905
86/10/26	877	974 798	3 758	9 181	656	6 767	4 740	82	0.7	11	-23	6.6	-5.0	860	(696)
86/10/26	877	975 130	4 117	9 318	1035	5 185	5 101	90	0.9	12	-26	7.1	-5.0	849	(679)

#: Calculated from total sulfur content and average oxidation states of sulfur species (Giggenbach and Goguel, 1989).

\$: Corrected for CO decrease during sample storage according to Giggenbach and Matsuo (1991), except for samples 22 and 23.

&: Apparent equilibrium temperatures calculated with equations given by Ohba et al. (1994).

+: From Shinohara et al. (1993). Since a mistake in calibration for the CO<sub>2</sub> analyses was found by the author after publication, the results were recalculated considering the new calibration, which causes a 20% increase in CO<sub>2</sub> contents.