

解説

わが国に於ける火山 ガス人身災害の発生 要因とその防止対策

小坂文予*・平林順一**・山本雅弘***・野上健治**

Volcanic gas Disasters in Japan — Principal Factors and Preventive Measures —

Joyo OSAKA*, Jun-ichi HIRABAYASHI**,
Masahiro YAMAMOTO*** and Kenji NOGAMI**

Abstract

Volcanic gas disasters around active volcanoes all over Japan have occurred 27 times and 45 people have been killed since 1950. Configuration of the ground near fumarolic areas and weather conditions are the principal factors in gas accidents.

Making gas-hazard maps, setting of restricted zones and installation of automatic alarm system with continuous monitoring are effective measures to prevent volcanic gas disasters. Knowledge of toxicity of volcanic gases and first aid are also helpful in reducing volcanic gas disasters.

キーワード：火山ガス災害，噴気孔，ガスハザードマップ，自動警報装置

Key words: volcanic gas disasters, fumarole, gas hazard map, automatic alarm system

1. まえがき

1997年は各地で火山ガスによる中毒事故が頻発した年であり，しかもその原因となった火山ガスの成分がそれぞれ異なっていた。7月12日に

は青森県八甲田山の北東山麓の田代平で夜間演習中の陸上自衛隊員が窪地に転落し，うち3名が死亡した。この事故は孔内に滞留していた火山性の二酸化炭素（炭酸ガスCO₂）が原因と考えられて

* 玉川大学学術研究所
Research Institute, Tamagawa University
** 東京工業大学草津白根火山観測所
Kusatsu-Shirane Volcano Observatory Tokyo Institute of Technology

*** 岡山大学理学部地球科学科
Department of Earth Science, Faculty of Science,
Okayama University

本解説に対する討論は平成11年3月末日まで受け付ける。

いる。

これに続いて9月15日には福島県安達太良山中腹の沼ノ平火口で登山者4名が付近に滞留していた硫化水素 (H_2S) ガスの中毒により死亡した。更に11月23日には熊本県阿蘇中岳の山頂火口周辺で観光客2名が付近に滞留していた二酸化硫黄 (SO_2) ガスによって相次いで死亡する事故がおこった。これによりこの1年間に起きた火山ガス中毒による死者は計9名に達し、これまでの公表或いは報道された、わが国の火山ガス中毒事故による年間死者数の最大を数えるにいたった(表1・図1¹⁾)。事故別に見た場合、1件当たりの死者数は1971年の草津白根山の6名が最高であり、その他の事故でも1~3名に止まっている。外国での事故例(カメルーン共和国マヌン湖:37人(1982年), ニオス湖:1,764人(1986年), インドネシア共和国ディエン高原:142人(1979年))に比べればわが国における火山ガス中毒災害は著



図1 わが国でこれまでにガス事故災害発生の報告のあった火山¹⁾

表1 わが国でこれまでに報告されたガス中毒事故

No.	西暦年	邦暦年	月日	火山	発生場所	死者	ガス	事故の状況
1	1951	昭26	11/ 5	箱根	湯の花沢	2	H_2S	男子 2名野天風呂で中毒死
2	1952	昭27	3/27	箱根	湯の花沢	1	H_2S	女子 1名浴室内で死亡
3	1954	昭29	7/21	立山	地獄谷	1	H_2S	男性客(40才)露天風呂で中毒死
4	1958	昭33	7/21	大雪山	御鉢平	2	H_2S	有毒温泉で大学生 2人死亡
5	1961	昭36	4/23	立山	地獄谷	1	H_2S	道に迷い男性(27才)カジャ付近で中毒死
6	1961	昭36	6/18	大雪山	御鉢平	2	H_2S	旧火口で大学生 2人死亡
7	1967	昭42	11/ 4	立山	地獄谷	2	H_2S	男子 2名がキャンプ中に中毒死
8	1969	昭44	8/25	鳴子	鳴子温泉	1	H_2S	自宅浴場で女子 1名死亡
9	1970	昭45	4/30	立山	地獄谷	1	H_2S	温泉源泉で山小屋の作業員死亡
10	1971	昭46	12/27	草津白根	振子沢	6	H_2S	スキー中の 6人死亡
11	1972	昭47	10/ 2	箱根	大涌谷	1	H_2S	8人倒れ うち1人死亡
12	1972	昭47	10/28	那須	湯本	1	H_2S	入浴中 1人死亡
13	1972	昭47	11/25	立山	地獄谷	1	H_2S	温泉源泉で作業員(19才)中毒死
14	1975	昭50	8/12	立山	地獄谷	1	H_2S	男子少年(15才)ガス中毒で失神死
15	1976	昭51	8/ 3	草津白根	白根沢	3	H_2S	集団登山中の36人中 3人死亡
16	1980	昭55	12/20	安達太良	くろね小屋	1	H_2S	大学 2年生 雪洞に転落 死亡
17	1985	昭60	7/22	立山	地獄谷	1	H_2S	湯溜りで 男性 1名 中毒死
18	1986	昭61	5/ 8	秋田焼山	叫沢	1	H_2S	付近の沢で 1人中毒死
19	1989	平 1	2/12	阿蘇	中岳	1	SO_2	火口付近で男性(67才)死亡
20	1989	平 1	8/26	霧島	新湯	2	H_2S	脱衣場で 母娘 2人死亡
21	1990	平 2	3/26	阿蘇	中岳	1	SO_2	火口付近で 観光客 男性(70才)が死亡
22	1990	平 2	4/18	阿蘇	中岳	1	SO_2	火口付近で 観光客 男性(78才)が死亡
23	1990	平 2	10/19	阿蘇	中岳	1	SO_2	火口付近で 観光客 女性(54才)が死亡
24	1994	平 6	5/29	阿蘇	中岳	1	SO_2	観光の女性(69才) 心不全で死亡
25	1997	平 9	7/12	八甲田	田代平	3	CO_2	窪地に転落 自衛隊員 3人死亡
26	1997	平 9	9/15	安達太良	沼の平	4	H_2S	登山中の14人中 4人(女性)死亡
27	1997	平 9	11/23	阿蘇	中岳	2	SO_2	火口付近で観光客 2名 別々に死亡

¹⁾に 筆者らが加筆訂正したもの

しく小規模といえる。しかし、これまでに明らかにされている事例だけでも1951年以降27件・合計45名が死亡しており、この数は決して少ない値とは言えない。未確認の事例も含めれば、その件数と被災者はともに相当な数に登ると考えられる。昨年のこれら一連の火山ガス中毒事故によって火山ガス災害がにわかに注目を浴びることになったが、今後もこの種の事故の発生が予想されることを考えても、この機会にこれまでに起こった火山ガス災害の発生要因やその防止策を再検討しておく必要があるものと考えられる。

本報告では、筆者らがこれまでにに行ったガス事故発生後の現地調査の結果に基づいて、事故発生原因に関係深いと考えられる幾つかの観測事実と、事故発生の防止のために取られた2, 3の対策について述べる。これが今後の事故発生防止の一助になれば幸いである。

2. 火山ガス災害発生の要因

2.1 災害の発生源としての噴気孔ガス

2.1.1 噴気孔

しばしば噴火を繰り返すような活発な火山では、火山ガスの大部分はその活動中の火口から集中的に放出される場合が多い。しかし、火山活動が静穏化するにつれて、活動火口からのガスの放出が衰え、それらが分散して主火口以外の山腹や山麓に新たに生じた噴気孔群からも多量の火山ガスを放出するようになる。

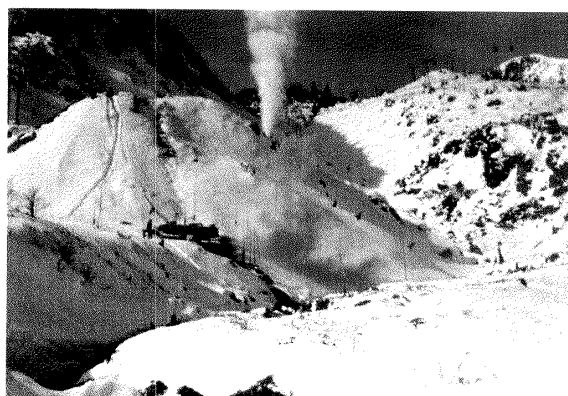
噴気孔の密集した地域は噴気地帯或いは硫気地帯と呼ばれ、放出された火山ガスの作用によりこの地域一帯の植生は失われ、周囲の岩石は変質を受けて粘土化或いは蛋白石化する。また、これに加えて火山昇華物と呼ばれている、噴気ガスから析出した硫黄や火山ガスと岩石が反応して出来た硫化鉄の様な二次生成鉱物のために、地肌は灰白色ないし淡黄色を呈し、いわゆる火山荒廃地を形成している(写真(a))。

2.1.2 火山ガスの化学組成

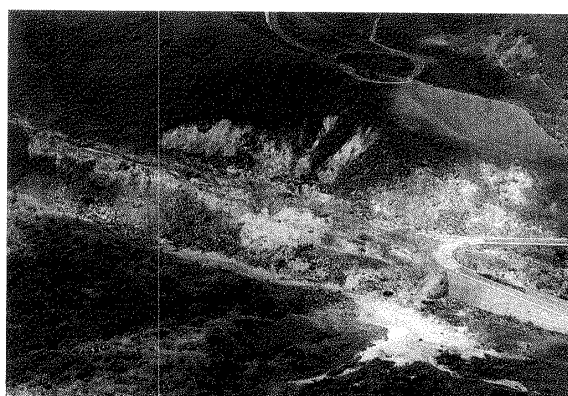
岩崎岩次・小澤竹二郎ら²⁾は本邦各地の火山で噴気ガスを採取し、それらの膨大なデータから火山ガス成分と噴気温度との関係を示す経験則を割



写真(a) 草津白根山西麓万座地区白根沢
1973年ガス中毒事故現場



写真(b) 振子沢ガス滞留実験(赤色発煙燈による)



写真(c) 草津白根山東麓殺生河原上空よりの航空写真

出している。表2にはこれに筆者らの考えを加えて一部加筆したものを示した。火山ガスの化学成分のうち、水蒸気の割合は90%以上を占め、他の成分に比べて圧倒的に高い。水蒸気以外の火山ガス成分の種類や組み合わせ及びその量比は、主として火山ガスの温度に依存している。一般に、高

表2 火山ガスの温度と化学成分

(1)	H ₂ O, HF, HCl, SO ₂ > H ₂ S, CO ₂ , N ₂ < H ₂	高温 ↑ ↓ 低温
(2)	H ₂ O, HF, HCl, SO ₂ > H ₂ S, CO ₂ , N ₂ > H ₂	
(3)	H ₂ O (HF, HCl), SO ₂ ≅ H ₂ S, CO ₂ , N ₂	
(4)	H ₂ O, SO ₂ < H ₂ S, CO ₂ , N ₂	
(5)	(H ₂ O) H ₂ S, CO ₂ , N ₂	
(6)	(H ₂ O) CO ₂ , N ₂	

温の火山ガス中にはフッ化水素 (HF)、塩化水素 (HCl)、二酸化硫黄 (SO₂)、硫化水素 (H₂S)、二酸化炭素 (CO₂)、水素 (H₂)、窒素 (N₂)、ヘリウム (He)、アルゴン (Ar)、メタン (CH₄) など多くの種類の成分が含まれており、SO₂ の割合が H₂S の割合より高く、H₂ の割合も N₂ の割合より高い。噴気の温度が低くなるに従って先ずガス中の HF、HCl が失われ、SO₂ の割合よりも H₂S の割合が高くなり、H₂ の割合よりも N₂ の割合が高くなる。更に温度が低下すれば水蒸気以外の成分としては H₂S、CO₂ 及び N₂ 主体の R-gas になる。噴気温度が常温付近になれば水蒸気も含まれず、CO₂ と N₂ だけになる。

主として火山ガスによる人身災害事故の発生した場所か若しくはそれらと関係深いと思われる火山で採取された火山ガスについて、筆者らがこれまでに行った温度の測定や化学成分の分析の結果の一部を示す²⁾⁻¹³⁾(表3)。噴気温度は 100℃前後から 700℃と非常に広い範囲にわたっている。水蒸気の割合は殆どの試料で 95%以上に達し、それ以外の成分としては硫化水素、二酸化硫黄、二酸化炭素が主である。これらの成分は塩化水素やフッ化水素、R-gas などの成分に比べてその割合は圧倒的に高い。ここで R-gas (残留ガス) というのは火山ガスを採取するとき用いるアルカリ溶液に吸収されないガスの総称で、H₂, N₂, He, Ar, CH₄ などが含まれる。

火山ガス成分のうち、HF、HCl、SO₂、H₂S は人体に対して有毒であるが、その症状はまちまちであり、その対応策もそれぞれ異なっているので、災害を引き起こしたガスの成分を特定することも重要である(後述)。

2.1.3 噴出ガスの変動

噴気孔より放出される火山ガスの温度や成分、

表3 火山ガス災害の発生したり、その可能性がある 2, 3 の火山のガス成分

No.	火山名	採取年月日	温度℃	H ₂ O Vol. %	H ₂ O 以外のガス成分 Vol. %						文献
					HF	HCl	SO ₂	H ₂ S	CO ₂	R*	
1	阿蘇 中岳	1958 7/26	134.	95.4	0.13	4.5	8.7	7.2	78.9	0.6	3)
2	大雪山 朝日岳	1958 8/28	175.	98.4	0.02	9.0	14.0	9.6	64.4	3.0	2)
3	樽前山 E 火口	1960 7/12	94.3	96.8	-	0.9	0.2	5.5	89.1	4.3	4)
4	箱根 大涌谷	1965 12/23	100.4	98.9	-	3.4	9.2	7.2	79.0	1.2	5)
5	草津白根北側噴気孔	1976 3/13	104.0	97.1	-	0.3	0.1	12.9	85.0	1.7	6)
6	吾妻山 一切経山	1978 11/ 4	280.	95.9	-	2.4	9.8	34.0	52.9	0.9	7)
7	那須 茶臼岳	1979 10/17	142.2	99.5	0.004	1.89	3.5	31.8	62.0	0.84	8)
8	有珠山 I 火口	1981 10/20	763.	98.0	-	4.4	8.0	3.0	61.1	23.4	9)
9	木曾御岳第10火口	1982 11/ 2	144.5	99.1	-	0.02	1.8	23.4	74.6	0.2	10)
10	十勝岳 62-1火口	1986 9/20	506.	93.1	0.5	4.0	47.2	31.1	16.7	0.5	11)
11	秋田焼山 叫沢 2	1987 10/ 8	93.6	90.4	-	<0.1	<0.1	21.2	77.1	1.7	12)
12	立山 地獄谷	1988 9/19	121.	94.7	-	0.4	0.1	9.8	88.0	1.7	1)
13	霧島 新湯	1989 6/15	101.	97.8	-	0.0	<0.1	13.3	82.6	4.1	12)
14	雲仙 清七地獄	1990 8/14	120.3	96.3	-	-	6.3	23.4	68.2	2.1	13)

R* : Rガス(残留ガス)詳しい説明は本文(p.5)参照

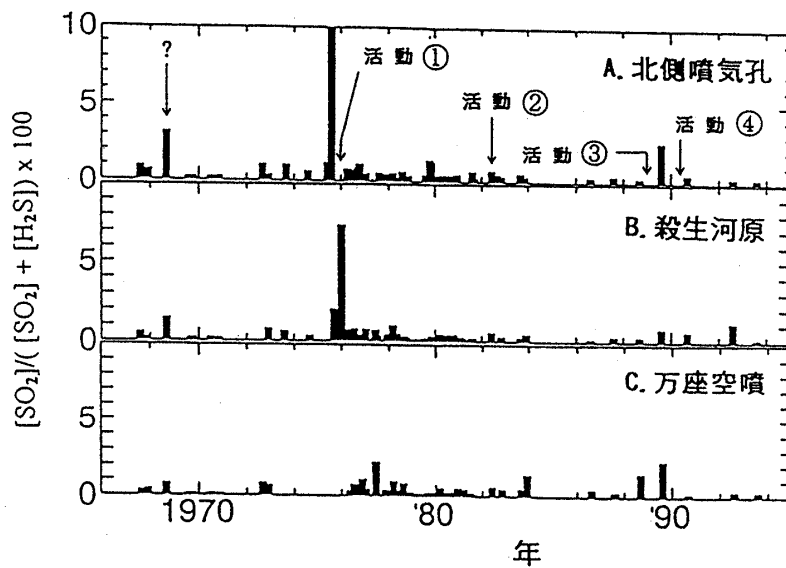


図2 草津白根火山における火山ガス成分の経時変化¹⁴⁾
(概して活動期に入る前に $[\text{SO}_2]/([\text{SO}_2] + [\text{H}_2\text{S}])$ の値が大きくなる)

その噴出量の変動は、その火山によって種々異なるが、全般的に言えば長期的変動は火山の活動の消長によって支配されるものである。火山の活動が活発なときにはより高温型のガス成分の組み合わせを示し、一般にその噴出量も多くなる。逆に活動が沈静化すればガスの噴出量も減少し、その成分もより低温型の特徴を帯びるようになる(図2¹⁴⁾)。

短期的な成分変動は、高温で噴出量の多いガスは概ね小さいが、火山活動の休止期間が長い時は、途中に溜まったガスの残渣が噴出するガスを二次的に汚染するため、その成分変動が大きくなる。例えば那須茶臼岳の無限地獄で噴気ガスを10分毎に測定した結果(図3)では、各成分ともその変動が著しく大きいことが明らかにされている¹⁵⁾。

噴気孔から放出される火山ガスの長期的な成分変動は、火山ガス災害の発生にも影響を与えているように見える。例えば同一火山におけるガス事故は那須火山の1919年と1921年、箱根火山の1951年と1952年、立山火山の1967年、1970年、1972年、1975年、阿蘇火山の1989年、1990年の2件、1994年、1997年と比較的短期間に集中して発生している(表1)。この事実はそれぞれの火山の活発化に伴って、高濃度のガスが大量に発生したためではないかと想像される。池

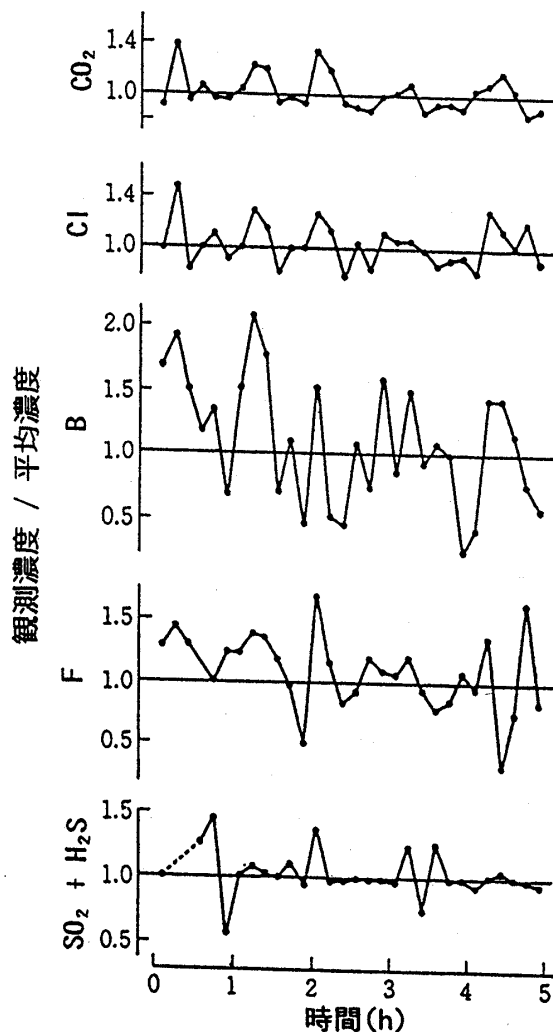


図3 那須茶臼岳の噴気孔ガスの変動¹⁵⁾

辺伸一郎¹⁶⁾も阿蘇火山の活発化とガス事故の発生との因果関係について指摘している。このように、火山ガス災害の原因となる噴気ガスの噴出量や成分は著しく変動する。従って、これまで事故もなく、火山ガスについては比較的安全であると考えられていた火山でも、一変してガスの危険にさらされることもあり得ると考えられ、火口や噴気孔の活動している火山では、常にガスに対する監視と測定を怠ってはならない。

2.2 火山噴気ガスの冷却と低温噴気孔

2.2.1 火山ガスの冷却による成分濃縮

前述したように、天然に噴出する火山ガスは一般に90～95%が水蒸気であり、残りの数%のガスはHF, HCl, SO₂, H₂S, CO₂等の酸性ガス成分と残留ガス成分である。言い換えれば、数%以下であるこれらのガス成分が多量の水蒸気で希釈されていることになる。このようなガスが大気中に放出されるまでの間に常温まで冷却された場合、その過程で含有する水蒸気の殆どが凝縮して水滴と化し、気相から取り除かれる。このため残りのガス成分は相対的に著しく濃縮されることになる。水蒸気の凝縮に伴うガスの成分変化の一例を表4に示す。Aの組成の火山ガスが冷却して水蒸気がすべて凝縮した場合、このほかのガス成分は25倍に濃縮されることになり、空気に対する比重も0.66から1.47に増加する。

このようなガス成分の濃縮は自然に起こるだけでなく、人為的に起こる場合がある。ボーリングによって取り出された高温の火山ガスを温度の低い沢水や地下水に吹き込んでその水温を上昇させ、ガス成分を溶かし込んで温泉が人工的に造られることがある。その際過剰のガスを注入すると造成温泉水に溶解しきれなかったガスが反応槽外に漏出することがある(図4)。しかもこのガスは前述のように水蒸気が凝縮によって取り除かれているためH₂S, CO₂等の成分の濃度は著しく高くなっており、しばしばH₂S中毒事故を引き起こしている。1971年草津白根山振子沢や1989年霧島新湯温泉で起きたガス中毒事故はいずれもこれに類するものであることがその後の調査で明らかに

表4 H₂Oの凝縮にともなう火山ガス成分の変化

	A	B
H ₂ O	96.0 %	0 %
H ₂ S	0.50 ¹⁾	12.6 ²⁾
CO ₂	3.43	85.8
Rガス	0.06	1.6
比重*	0.66	1.47

* 空気を1.00とした時の値

A: ボーリング孔ガス1971.12.30

B: H₂Oが完全に凝縮したと考えた場合のガス成分

1) 5,000ppm, 2) 126,000ppm

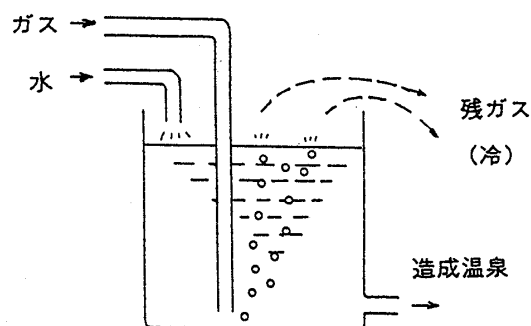


図4 温泉造成槽中の火山ガスの挙動¹⁷⁾

されている。

新湯温泉の調査結果を例にとると、水温が16°Cの沢水にガスを吹き込んで温泉水を造成した結果、水温は58°Cまで上昇している。このためH₂Sの溶解度はH₂O100g当たり0.43gから0.15gに低下し(図5)、これに加えて造成温泉水のpHは3.39まで低下していた。これらの要因がH₂Sの溶解を妨げていたため、大気中に漏出した未溶解の高濃度のH₂Sが事故を引き起こした(後述)。

2.2.2 低温噴気孔

先に述べたような成分の火山ガスが地表に達するまでに地中で何らかの理由で冷却されると、主要成分である水蒸気が凝縮するため、ガス全体の体積は急激に縮小する。それ故、ガスの噴出量も著しく減少し、周辺一帯から音もなく静かに浸出するようになる。このようなガスを放出するもの

を低温噴気孔と言い、水蒸気以外の成分の濃度が著しく高くなっているため特に危険であり、最も注意を要する。

低温噴気孔ガスは高濃度であってもその放出量が少ないため、通常は微風程度の大気のみかな擾乱があれば滅多に大気中のガス濃度が高くなることはないが、大気の静止状態が続けばその濃度は急激に上昇し、容易に危険な状況に達する可能性

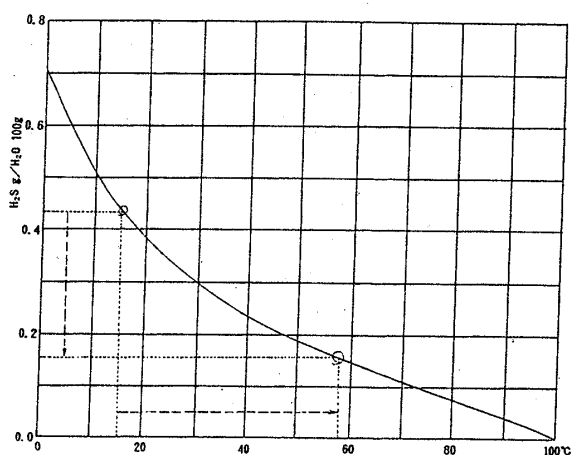


図5 H₂S ガスの溶解度の温度による変化（霧島新湯温泉の例）

があり、嚴重な警戒が必要である。1976年に草津白根山で起こった女子高校生らのガス遭難事故も図6や表5に示したような高濃度の低温噴気孔が多数存在する地域で、一時的な大気の静止期に突然発生したものであった。

2.3 拡散による大気中の火山ガス濃度の低下

2.3.1 噴出したガスの拡散

噴気孔から大気中に噴出した火山ガスは3次元的に拡散し、噴気孔から離れるに従って、その大

表5 万座白根沢の低温噴気孔地帯のH₂O濃度

No	H ₂ S	No	H ₂ S
1	120ppm	11	52ppm
2	30000	12	65
3	45000	13	23
4	4	14	2
5	11000	15	0.5
6	700	16	13
7	5	17	11
8	2	18	25
9	1	19	7
10	1	20	3

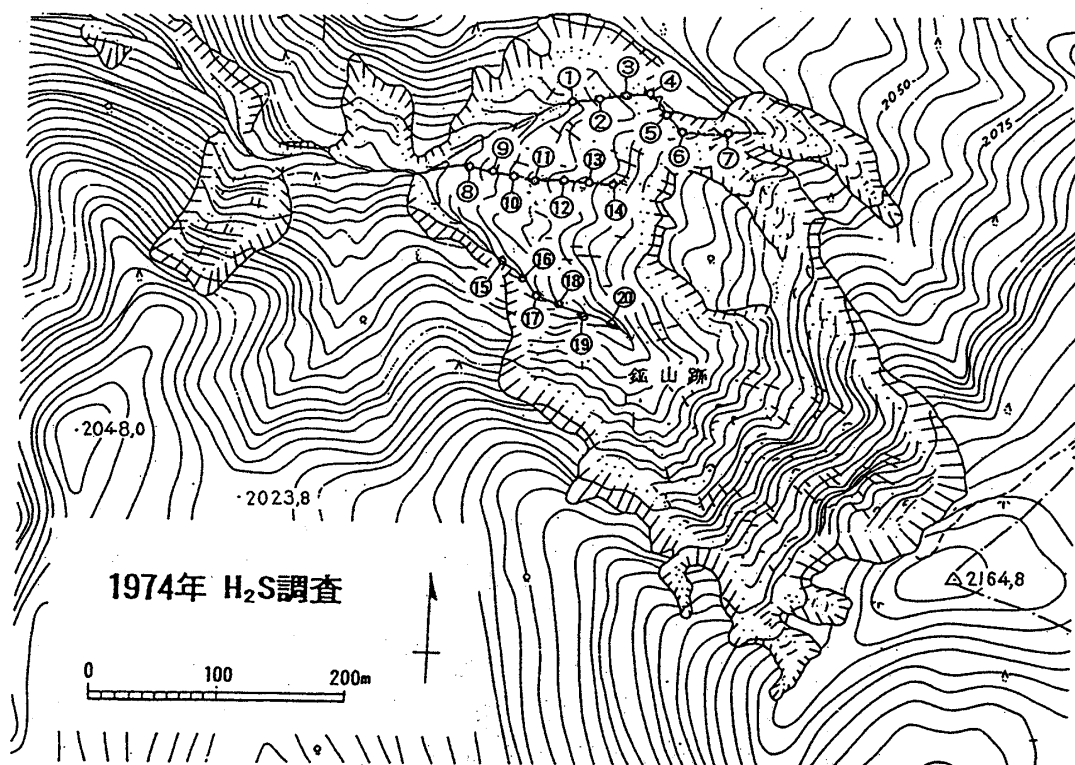


図6 草津白根山西麓万座白根沢付近の低温噴気孔の分布

気中に滞留しているガスの濃度は急激に減少する。草津白根山の殺生河原での実測の結果を図7に示す。測定は平らな地形にある1つの噴気孔を中心、東西方向と南北方向、並びに上方に向かって多点で同時に検知管を用い、その際にはビニール製の風防等を用いて風の影響を出来るだけ軽減して行った。その結果、噴気孔周辺で1,000 ppmあった H_2S は水平にも垂直にも3~4 m離れると10 ppm以下に減少することが分かった(図8)。しかしながら、殺生河原一帯での観測では図9に示す様な結果も得られており、実際の濃度分布は平坦地のものとは異なり、地形や噴気孔の位置、測定

時の風向・風速に影響を受けるため、常に一定ではないことが分かった。

2.3.2 地形とガスの流動状況

火山ガス中に含まれている有毒ガス成分は空気よりもその比重が大きい(表6)。噴気孔より噴出し、拡散して大気中に滞留しているこれらのガスは、風等による擾乱がない限り、より低い地点に向かって移動する。そして谷間や高い壁に囲まれた窪地に集積して、高濃度になっている場合がある。これまでに我が国で発生した火山ガス災害はこの様な凹地形の所で発生している。1971年12月27日に草津白根山東麓の振子沢で発生した硫

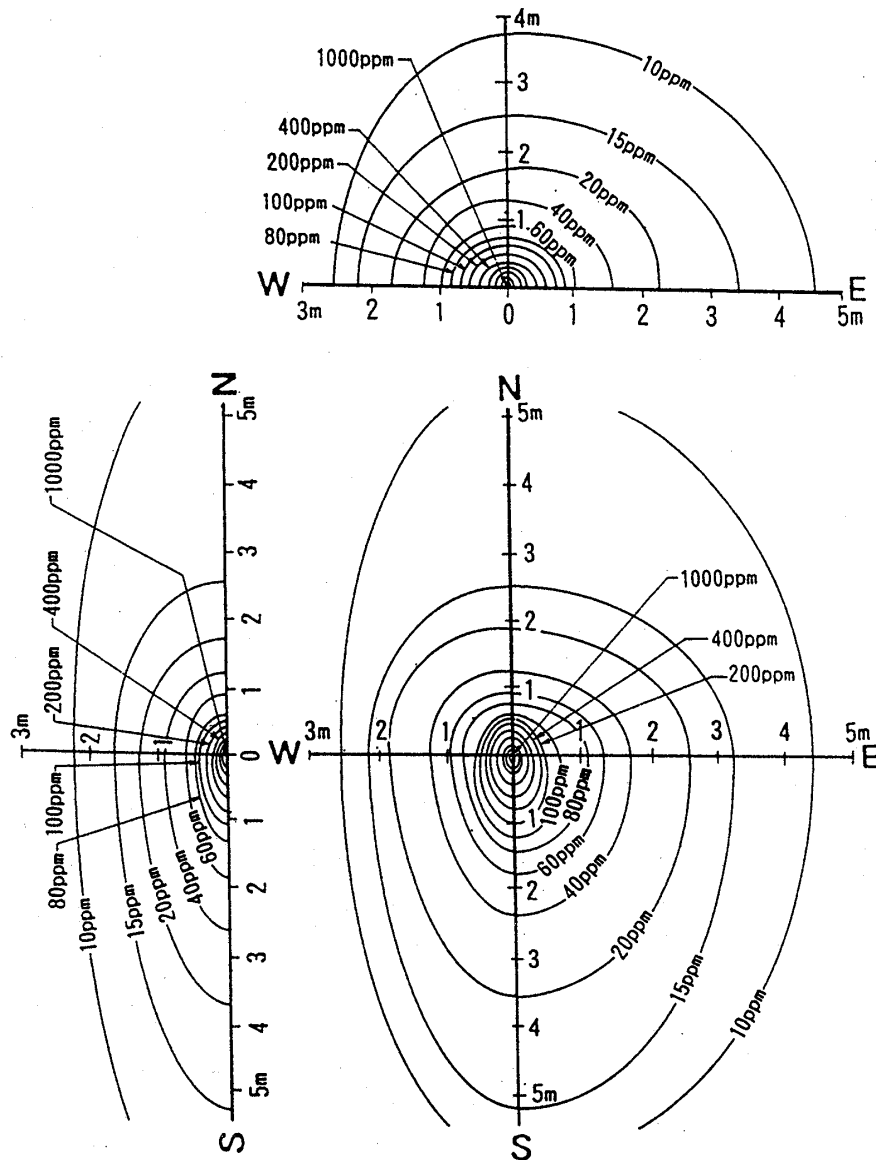


図7 噴気孔付近の大気中の H_2S 濃度分布(平坦地)

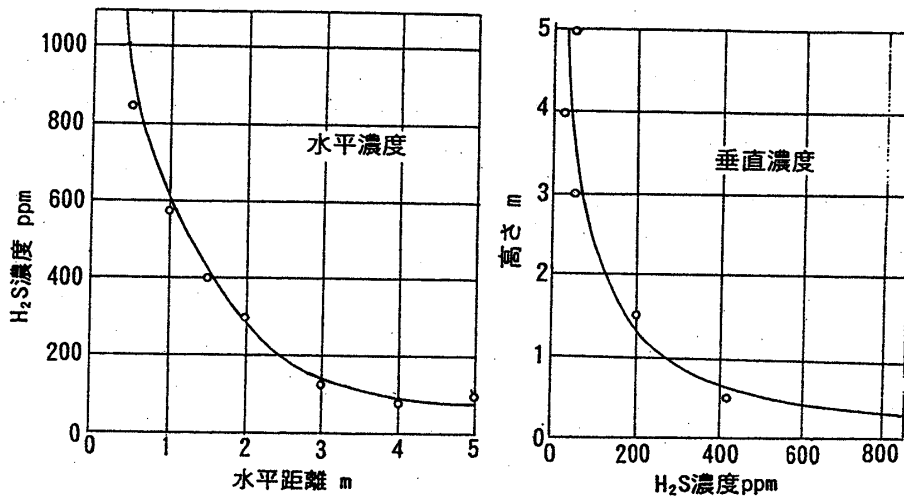


図8 噴気孔からの距離と H₂S ガス濃度の減衰

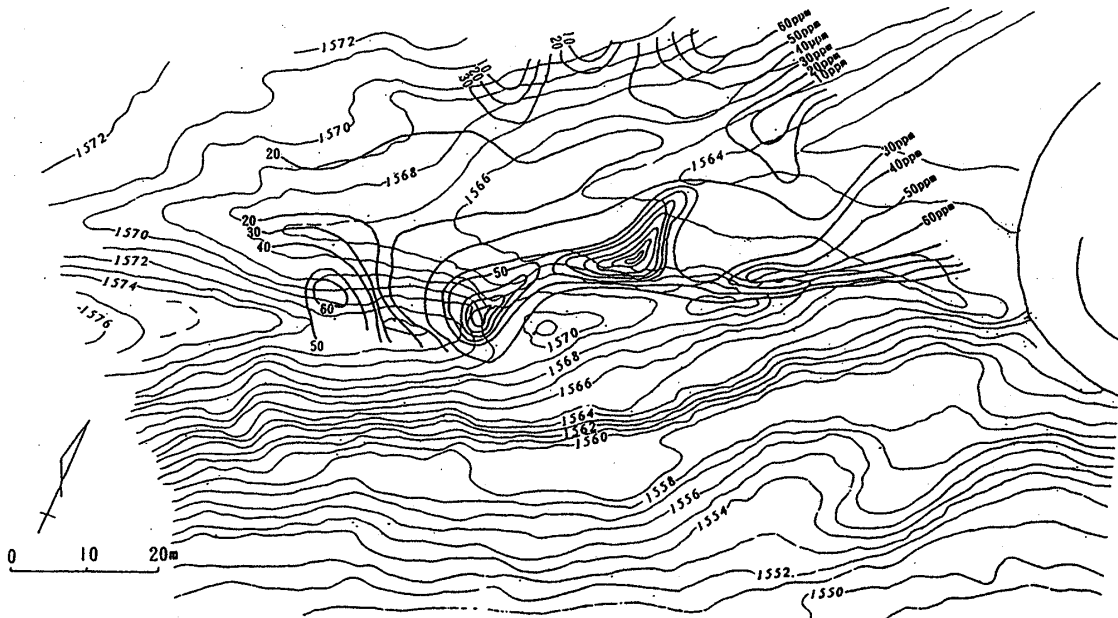


図9 草津白根山東麓殺生河原に於ける H₂S ガス濃度分布

化水素中毒事故はその典型的な例であると言えよう。即ち、事故現場は谷間のやや平坦な所で（図10の②地点）、深い雪におおわれていた。気温も低く、雪雲が低くたれ込めていて、殆ど無風に近い状態であった。そこへ滑り込んできた中高生4人を含む6人のスキーヤーが次々に失神し、倒れて死亡した。筆者らが現地調査を始めたのが事故から3日めの12月30日からであったが、たまたまこの日は事故発生当時とよく似た天候状態であった。この時の事故現場付近の大気中の硫化水素濃度は410~2,960 ppmで（表7）、これらの値は人

表6 2~3の有害火山ガスの比重（空気を1とした時）

ガス成分	比 重(空気=1)
CO ₂	1.52
H ₂ S	1.19
SO ₂	2.21
HCl	1.25

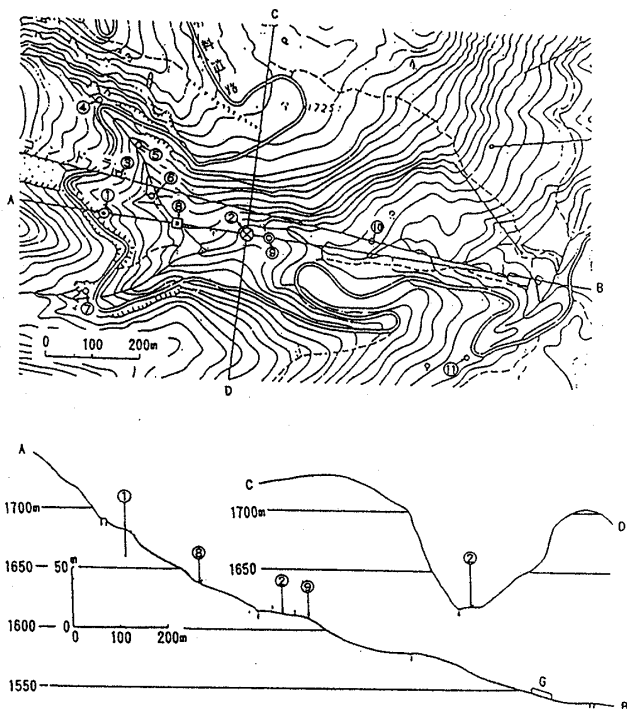


図10 草津白根山東麓振子沢付近の地形（地点番号は表7、表8に示す）

表7 草津振子沢ガス事故後の遭難現場付近大気中のガス濃度

測定日	時刻	場所	硫化水素 H ₂ S	炭酸ガス CO ₂
			ppm	ppm
1	'71-12-30	12:36	2960	12400
2	12-30	12:57	410	650
3	12-30	14:24	480	960
4	12-30	11:30	204	430

を死に至らせるに十分なものである。この様な異常な高濃度を生じた原因の一つに、遭難地点の100 m 上流にあった当時稼働中の温泉造成槽（図10の⑧地点）を挙げることが出来る。この温泉造成槽付近で空気よりもやや重い赤色発煙筒を焚いて実験したところ、写真(b)に示す様に赤い煙が谷間を這い下り、やや平坦な遭難地点付近に長く滞留しているのが確認された。このことから、ここでは造成槽から更に100 m 上流のボーリング孔から誘導した高温の噴気ガスを利用していたが、温泉水に溶けきらなかったガスが大量に漏出し、これが谷底を這うように流れ下り、遭難現場付近に滞留したため高濃度になっていたものと解釈された。

2.3.3 地形による風速の変化

山間部の複雑な地形の所では、風向風速は著しくその影響を受け、同時に測定した風速がそれぞれの位置で様々な値を示すことが知られている。前述の振子沢周辺の10地点において平均風速を測定した結果を表8に示す。この地域の尾根や上空（ロープウェイのゴンドラ上など）では測定時に4~5 m/secの風が吹いていても谷間や低地にある抜気槽付近や遭難現場などでは0.1~0.5 m/sec程度の風しか吹いていなかった。このような状況下では、これらの低地には地形的に有害ガス成分が停滞しやすいばかりでなく、一旦滞留したガスは容易に拡散されないことも理解されよう。

2.3.4 風速と大気中のガス濃度

火山ガス中毒事故対策の一環として、阿蘇中岳山頂第一火口西縁において、大気中のSO₂濃度と風速の同時連続観測が行われた。その相関図を図11に示す。これは同一地点での2月から5月までの3ヶ月間の測定例であるが、それによると各風速毎の大気中の濃度には一定の限界があり、風速とガス濃度の最高値は負の相関がある。また、阿蘇山の場合、風速10 m以上になるとガス（SO₂）濃度は0.02 ppm以上にはならないことが判明し

表8 草津振子沢ガス事故現場遭難現場付近の風速測定結果

測定場所	測定日	時間	風速	風向
1 ボーリング孔	72-1-6	10h50m	2.7m/s	北52°西
2 遭難現場	72-1-6	12h05m	0.4m/s	北2°西
3 ロープウェイ	72-1-6	15h40m	4.5m/s	北65-70°西
4 振子沢1	72-1-7	10h20m	4.6m/s	南50°東
5 振子沢2	72-1-7	10h30m	2.8m/s	南60°東
6 振子沢3	72-1-7	10h50m	0.6m/s	南
7 湯ノ花沢	72-1-7	11h00m	1.7m/s	南60°東
1 ボーリング孔	72-1-7	11h20m	2.3m/s	南80°東
8 造成槽	72-1-7	11h30m	1.0m/s	南60°西
2 遭難現場	72-1-7	11h35m	0.6m/s	南80°東
9 抜気槽付近	72-1-7	11h45m	0.1m/s	東
10 2号塔下	72-1-7	11h55m	0.9m/s	東

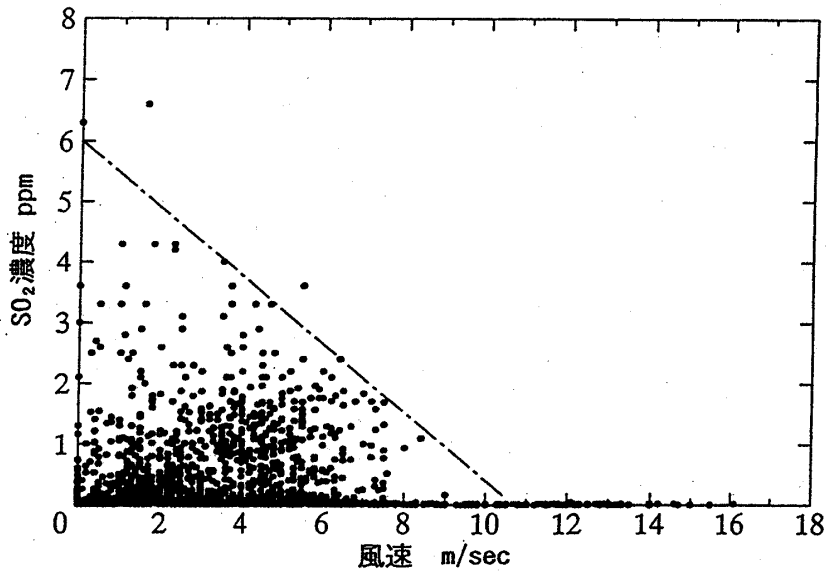


図11 風速とSO₂ガス濃度(阿蘇山・中岳火口付近)

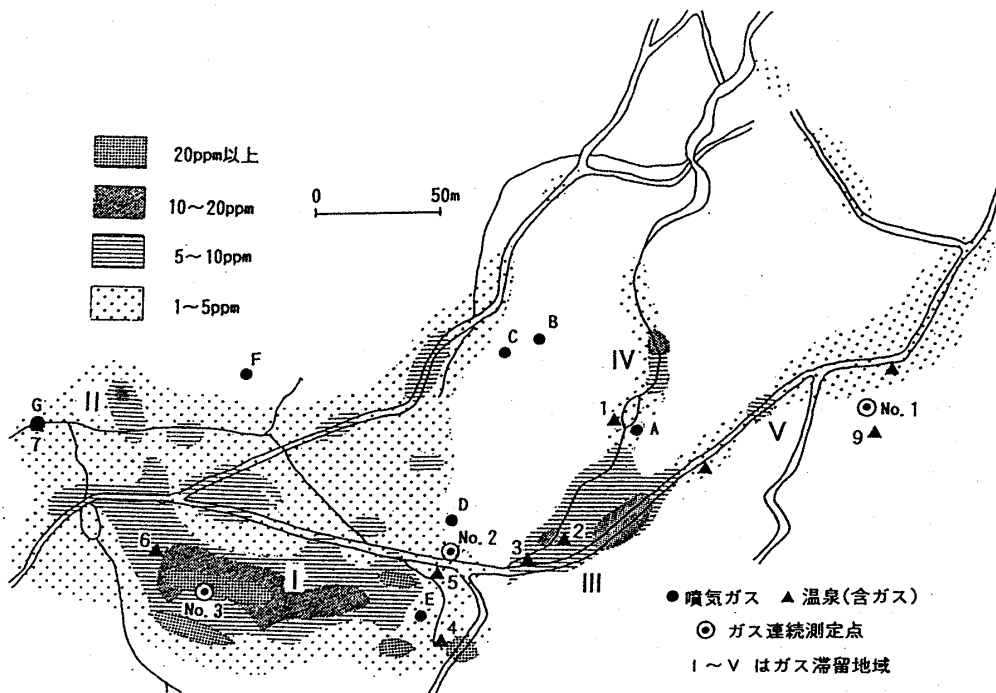


図12 富山県立山地獄谷に於けるH₂Sガス濃度分布

た18)。

以上の事実から言えることは、火山ガスの滞留地域の同一地点においては、一般的に風速が大きくなればなるほど大気中のガス濃度は低くなる。また、ある風速以上では著しく希釈されて測定限界以下の濃度になる。また、ガス濃度は風向によ

ても支配される。例えば、ガス発生源が測定点よりも風上にある場合は風速が5 m/sec程度まではかえってガス濃度が上昇することも明らかになっている。それ故ある地点でのガス濃度の上昇を想定する時は周囲の地形、風向、風速の他、当然の事ながらガスの発生源との位置関係をも考慮に入

れなくてはならない。

2.3.5 気象条件の複合と大気中のガス濃度

富山県立山地獄谷では表1に示しただけでも硫化水素ガス中毒によると考えられる事故で8名の死者を出している。筆者らはそれらの事故発生原因を究明するため、1988年から1994年までの7年間に10回にわたって現地調査を行った。調査・測定は原因の究明に必要なと思われる各種項目について行ったが、被害発生地帯一帯の大気中ガス濃度の分布測定は殆ど毎回実施した。この地域にも他の中毒災害の発生した地域と同様の硫化水素ガスを含む噴気孔は多数存在しているにもかかわらず、100 ppm を越える大気中の硫化水素ガス濃度はほとんど測定されなかった(図12¹²⁾)。これは毎回の測定が2~3日の短期間であり、測定期間中にはガスが高濃度に達するための周囲の環境条件が整わなかったためと考えられる。それ故、短期間の観測以外の時間に、更に高濃度のガスの滞留があればこれを捕捉できるように1990年5月14日から同年10月14日までの154日間にわたり、硫化水素ガスセンサーを用いた連続自記録観測を行った。その結果、この観測期間の末期の10月6日から高濃度の硫化水素が感知され始めた(図13)。特に10月9日16時30分頃から翌10日7時30分頃までの間は濃度が高く、図13の表示ではスケールアウトしている

が、実際にデータロガーに記録された濃度は最高で230 ppm に達している。このときの環境・条件を求めるために、これと同時期に地獄谷の南南東850 mにある富山県自然保護センターで行われていた、環境庁の気象観測データと比較してみた。その結果、風速は0.5 m/sec以下で、風向はNW方向、気温は殆ど0℃以下の時に硫化水素が高濃度になることが明らかとなった。しかも9日はこの年の初雪が降った日でもあった。この様に寒冷、微風、ガス発生源が風上にあたる風向などが高濃度のガスの滞留に寄与することが判明した(図14)。

この例のように大気中の火山ガスの滞留は、僅かな気象条件の変動に伴って容易に影響を受けるので、同一地点でもその濃度は絶えず変動していると考えてよい。その一例として1976年3人が死亡した草津白根山西麓の白根沢(図6)の同一地点で行った硫化水素自記録測定結果を図15に示す。多くの場合、この様に短い期間でも大気中の硫化水素濃度は著しく変動している。噴気孔からのガスの放出も図3に示したように短期間に間欠的であれば、大気中にはガスの塊(気塊)として浮遊移動していると考えられる。それが僅かな風によって吹きちぎられ、さらに小さな気塊となって移動する。同一地点での観測を続ければ、それらの小さな気塊の通過毎にそれがガス濃度のピー

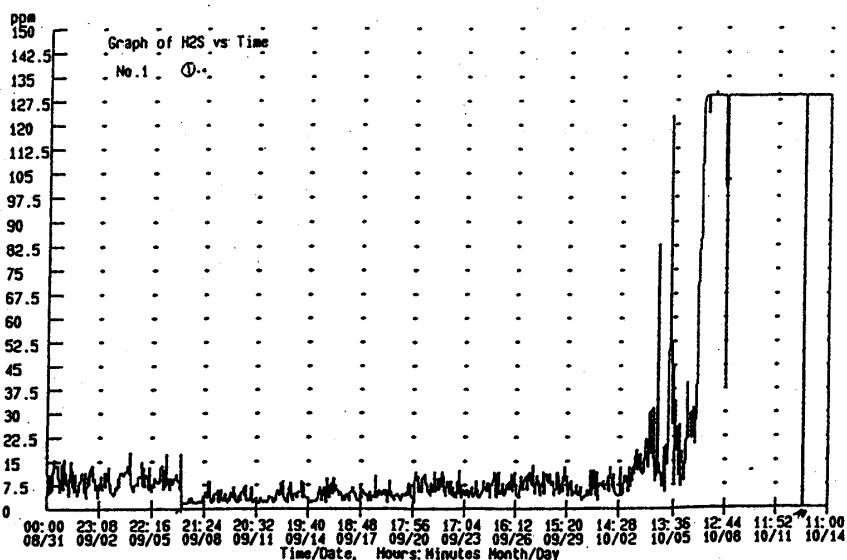


図13 立山地獄谷に於けるH₂Sガス濃度連続測定結果

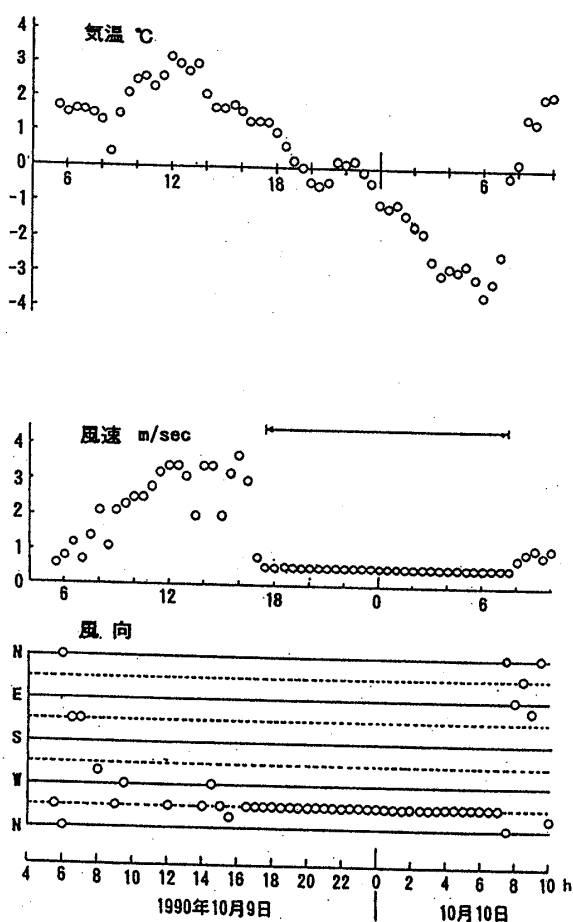


図14 高濃度ガス (H_2S) の滞留と気象状況 (立山地獄谷)

クとして捕らえられることになると考えられる。その間隔は時として数秒ないし数十秒おきになる事も考えられる。これはその取り扱い上大変始末の悪いものであり、目に見えない気塊の移動により、時間的には僅か数秒の差異で、また空間的にも僅か数 m の違いによって被害状況に格段の差が生じることになる。このことは草津白根山で1976年に起きた事故に顕著に現れている。この事故は学生・引率者併せて36人が集団登山し、この危険地帯を33人までは無事通過し、最後尾の3人が倒れて死亡したものであったが、この地域のガス濃度がいかに不均質であったか、またその時間的変動がいかに著しいものであったかが想像されよう。筆者らもこの事故の原因を明らかにするために事故発生翌日、遭難現場を詳細に調査した。しかしこの付近で低温噴気孔の存在は認められたものの、大気中の硫化水素濃度は5~20 ppm程度であり、どこからも死に至らしめるような高濃度のガスの滞留は発見できなかった。その後、10月末までに4回の調査を繰り返したところ、事故当時と似た気象条件になった10月24日11時頃、現場付近一帯にはたちまち図16に示すような高濃度領域が出現した。

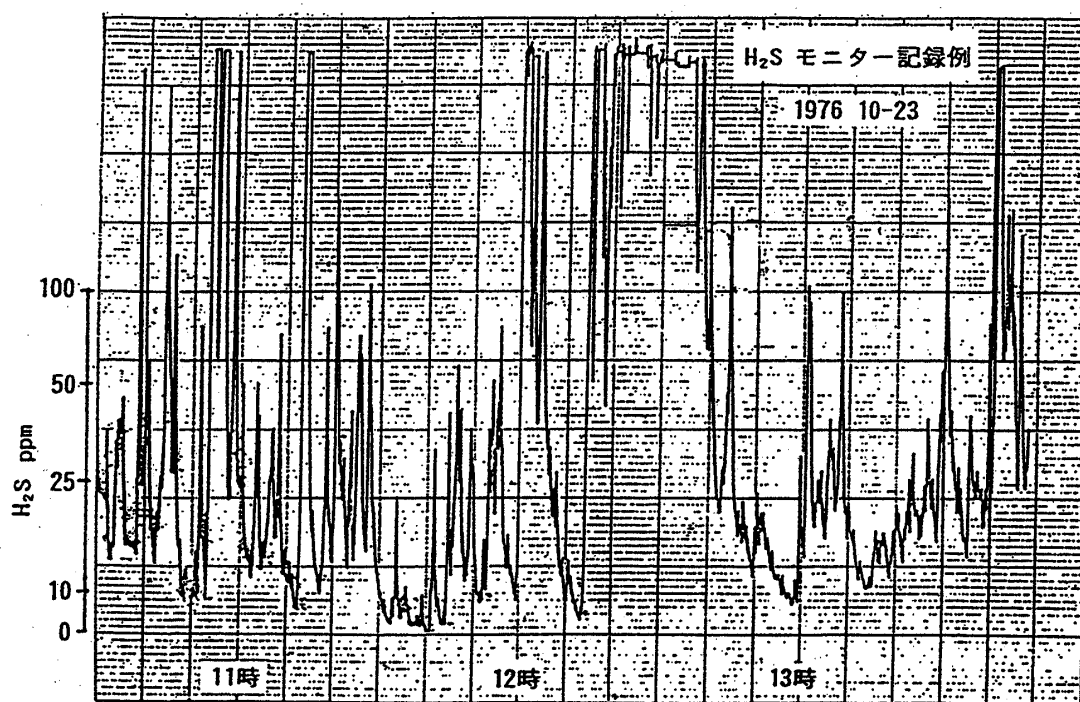


図15 大気中の H_2S 濃度の変化

やその付近一帯で高濃度の硫化水素の滞留を検出することが出来なかった。このため雪洞のあった水無し沢沿いにその上流に向かって測線を延ばしてガス調査を行ったところ、2月の遭難現場より約15m上流の沢底に低温で高濃度のガスを放出している噴気孔を発見した。また、その付近の大気中の硫化水素濃度も著しく高い値を示していることを突き止めた(図18)。これら各時期の調査結果から、冬の積雪期にこの沢に沿って下流まで雪洞が生じ、上流の沢底で噴出した空気より重い硫化水素ガスがこれを伝って下流の遭難現場付近まで搬送され、充満していたものであることが判明した(図17)。

2.4.2 屋内(特に浴場内)に於けるガス中毒事故

表1の1952年の箱根湯之花沢及び1969年の鳴子温泉のガス中毒事故は何れも室内、特に浴場内で死亡したと記されている。筆者らの調査した霧島新湯温泉でも母娘2名がやはり浴場内で死亡している¹⁷⁾。これらのうちのあるものは2.2.1で示したように、温泉造成槽から溢出し、滞留した硫化水素ガスによる中毒がその主原因であると考

えられる。浴槽内への流入や入浴による攪拌効果によって温泉水中から分離発散した硫化水素ガスもこれに加わって、更に被害を拡大したと考えられる。また、屋外からの硫化水素ガスの侵入を防ぐことが出来ない浴室の構造も原因の一つとなった(図19・表10)。いずれにしても家屋内では屋外と異なり、有毒ガスの拡散が妨げられるので、浴室内の換気を十分行う必要がある。このほか、草津・万座温泉などでは、硫化水素溶存量の多い源泉から浴場までの引湯中に湯樋、抜気槽などを設けて溶存ガスを発散させ、浴室内に持ち込まれるガスの量を出来るだけ少なくする努力も払われている。

2.5 有毒火山ガスの人体に対する影響

2.5.1 有毒火山ガス

既に2.1.2でも述べたように、火山ガスには種々の成分が含まれているが、このうち人体に有害なガスは硫化水素(H_2S)、二酸化硫黄(SO_2)、二酸化炭素(CO_2)、塩化水素(HCl)、フッ化水素(HF)などである。これらのガスはその種類によって人体に及ぼす被害の程度も、またその発症状況も著

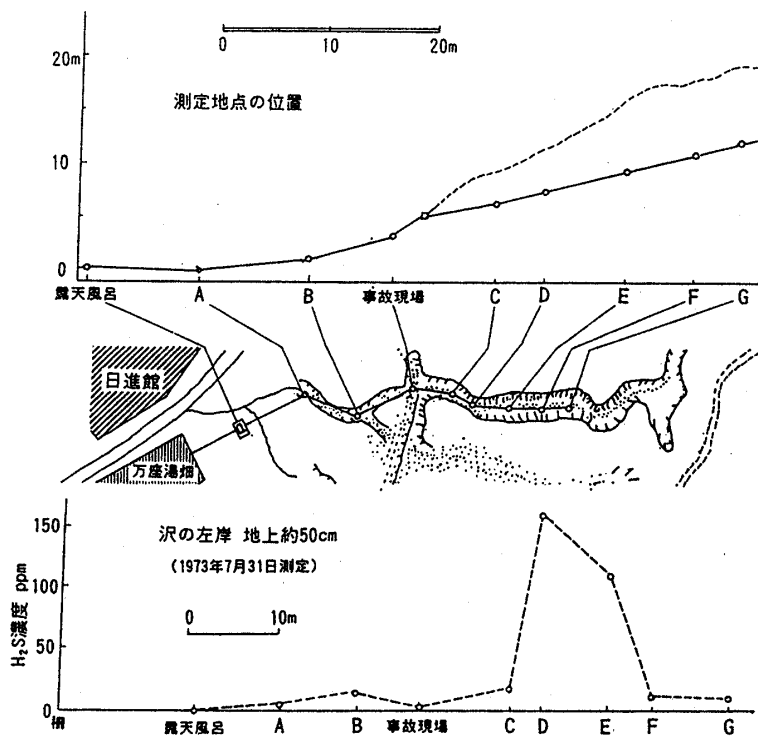
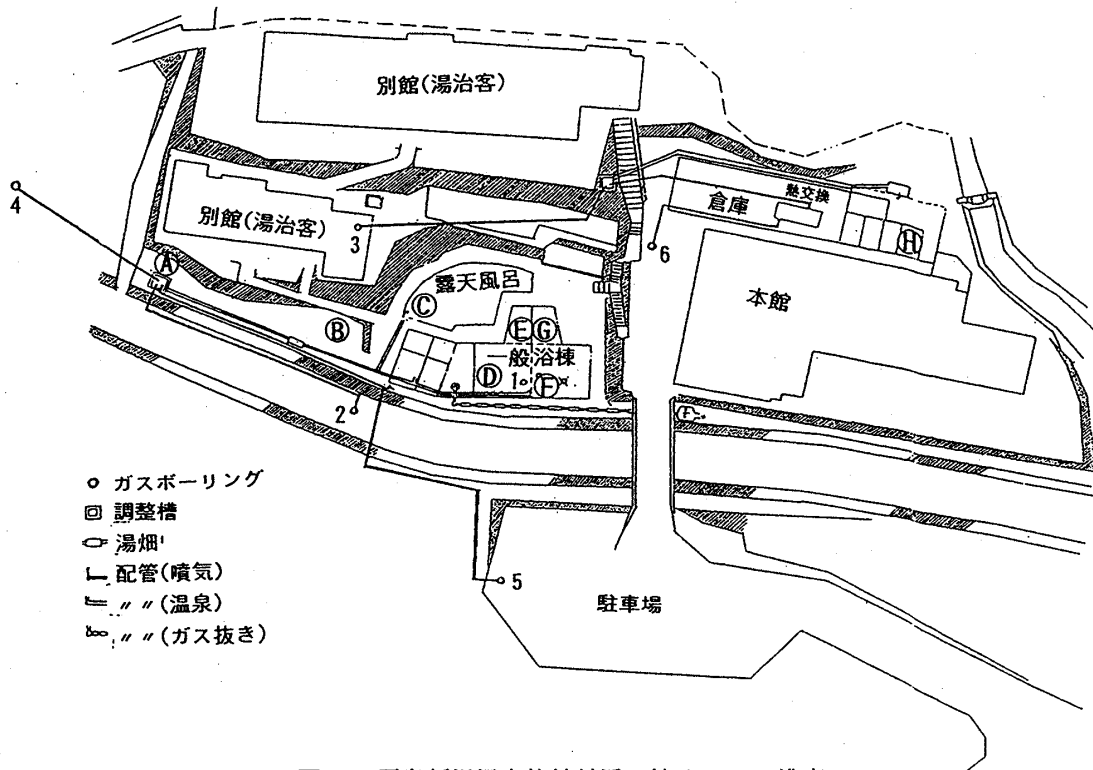


図18 万座湯畑付近の水無し沢沿いの H_2S 濃度

図 19 霧島新湯温泉旅館付近に於ける H₂S 濃度表 10 霧島新湯温泉旅館付近各地点に於ける H₂S 濃度

	1989	3/30	5/20	6/21	7/21
A 温泉調整槽		150	25	—	—
B 湯煙(2号泉楕)		—	8	200	250
C 露天風呂		—	3	7	11
D 女湯(浴槽)		20	6	—	—
E 女湯(脱衣場)		350	9	—	—
F 男湯(浴槽)		40	4	5	2
G 男湯(脱衣場)		1700	2	—	—
H 家族風呂		—	—	5	5

しく異なっている。従って、それらのガスに対する対応策も救護処置もそれぞれ異なったものになる。それ故、ガス災害が起こった場合には出来るだけ早期にそのガスの種類を特定して以後の処置を適切なものに行なければならない。ここではごく最近我が国で火山ガス災害を引き起こした硫化水素、二酸化硫黄、二酸化炭素について述べる(18)~(23)。

2.5.2 硫化水素ガス

硫化水素 (H₂S) ガスは無色で、卵の腐った様な悪臭を呈する。我が国に於いてはもっとも被害件数の多いガスである。比較的活動の衰退しつつある火山から多く発生しており、火口だけでなく、むしろ山腹や山麓の噴気孔や温泉の湧出孔から多く発生している。硫化水素ガスは高濃度(1,000~2,000 ppm)で呼吸中枢を麻痺させ、呼

吸停止による死亡の原因となる。より低い濃度(50~500 ppm)でも刺激作用により結膜炎や角膜上皮に水泡が発生する。また暴露が長引けば肺水腫を引き起こす。また何よりも気を付けなければならないことの一つは、ガス濃度がある程度(150~200 ppm)以上高くなると嗅覚を麻痺させるため悪臭を感じなくなり、臭いを頼りにした警戒ができなくなることである。このためしばしば大事に至った例があり、特に嚴重な注意が必要である。個人差はあるが、一般的なガス濃度と人体に及ぼす影響を表 11 に示す。

2.5.3 二酸化硫黄

二酸化硫黄(SO₂)は亜硫酸ガスとも呼ばれ、無色であるが不快で強い刺激臭がする。我が国では比較的活動が活発な火山の火口付近での中毒事故の発生が多い。阿蘇火山中岳山頂火口付近に於いてこのガスによると思われる事故が近年立て続けに発生している^{17),18)}(表 1)。

このガスは人体の粘膜表面に直接作用して障害を起こさせるので、少量の吸入でも呼吸器に対し強い刺激を与え、上気道収縮による気道抵抗の増大や、気管支の狭窄による呼吸困難を引き起こし、長引けば呼吸停止により死に至る。特に喘息の患者においては、僅か 0.2 ppm でもその発作によりこの症状が起こり得るので特に注意が必要である。1990 年頃から頻発した阿蘇火山中岳山頂での観光客の中毒死事故では、犠牲者の多くが喘息患者か、その潜在的患者であった可能性が高い。表 12 に示した濃度と作用の関係は一般の健常者(非喘息患者)に対するものであり、既述のような呼吸器系に疾患のある人はこの限りではない。

2.5.4 二酸化炭素

二酸化炭素は身近なガスで、現在の大气中の濃度は 360 ppm である。我々はこれを吸気し、3~4%のCO₂を吐き出している。二酸化炭素の毒性は極めて弱く、人体に影響のある濃度は前述の硫化水素や二酸化硫黄に比べて二桁高い。許容濃度(作業環境基準)も硫化水素の 10 ppm、二酸化硫黄の 5 ppm に比べ、5,000 ppm と高い。

高濃度の二酸化炭素を吸うと血液の酸性度が低下し、血管拡張や呼吸中枢刺激による呼吸深大が

起こる。大气中のCO₂濃度が1%(10,000 ppm)では呼吸が速くなり、4%では眼及び上部気道の刺激感、頭痛、めまい、耳鳴りなどの症状がでる。また7~8%では呼吸困難や肺うっ血となり、10%を越えると意識障害、呼吸停止となり死に至ると言われている(表 13)。

大气中のCO₂濃度の増加は酸素濃度の低下を伴う。例えばCO₂濃度が20%の場合、酸素濃度は16%に低下する。一般にこの程度の低酸素濃度では頭痛などの症状はでるものの、死に至ることは

表 11 H₂S ガス濃度と人体に及ぼす影響

ガス濃度	作用
0.025 ppm	臭いで感知し得る限界
0.3	明瞭に感知される
5~10	悪臭を強く感じる
20~50	眼の炎症
50~150	頭痛、めまい、吐き気
150~200	嗅覚の麻痺により臭気を感じなくなる
700~800	臭気を感じずに意識不明、死に到る事もある
1000~2000	失神、痙攣、呼吸停止、死に到る

表 12 SO₂ ガス濃度と人体に及ぼす影響(但し健常者)

SO ₂ ガス濃度	作用
0.5~1 ppm	臭気を感じる
2~3	刺激臭となり不快感を増大する
5	気道抵抗が増す
10	鼻やのどに刺激がありせきが起こる
20	眼に刺激を感じ咳がひどくなる
30~40	呼吸が困難になる
50~100	短時間(0.5~1時間)耐え得る限度
400~500	短時間で生命危険

表 13 CO₂ ガス濃度と人体に及ぼす影響

CO ₂ 濃度	症状
1 %	呼吸深度増加
3	呼吸増大、顔面温感
4	眼・上部気道刺激感、顔面紅潮、頭痛、めまい、耳鳴り、血圧上昇
6	頻呼吸、熱感、皮膚血管拡張、悪心、嘔吐
7~8	肺うっ血、呼吸困難
>10	意識障害、呼吸停止、死

なく、高濃度の CO_2 による障害は低酸素症との複合で起こることが多い。また、突然高濃度の CO_2 、低酸素の環境にさらされた場合は、ショックによる障害もあると思われる。

表 1 に示したように、このガスによる災害は非常に珍しく、八甲田山での事故が唯一のもののように見受けられる。二酸化炭素は無色・無臭のため、測定や分析によって確認されたのはこの一件のみであるが、我が国には炭酸泉も多く存在していることから考えてもこの種の事故はこれまでも起こっていたものと思われる。二酸化炭素の放出による災害は火山活動の最も衰退した地域で発生する可能性が高く、無臭のためあって、その危険個所の発見や事故発生の予測が最も困難なものである。

2.5.5 ガスの複合による災害

これまでのガス中毒事故を調べていくと、必ずしも今まで述べてきたような単独のガスによる被害と言えないような場合も多い。例えば阿蘇山の山頂で起きた事故は SO_2 が主体ではあるが、その殆どに SO_2 の 1/3~1/5 程度の H_2S を伴っている¹⁹⁾。また、表 2、表 3 に示したように SO_2 が噴出しているような高温のガスには HF や HCl もしばしば含まれている。また、草津白根山の場合でも平常時は H_2S が多いが、火山活動が活発化すると SO_2 の割合が増えることが判明している¹⁴⁾。以上のような場合にはそれぞれのガスの人体への影響を加重して考慮しなければならない。例えば硫化水素中毒によって人が失神して倒れると、よりガス濃度の高い地表付近の空気を吸い続ける事になり、更に事態を悪化させることになる。一般に二酸化炭素は硫化水素の数倍の噴出が予想されるため、場合によっては地表付近の大気中にはより比重の大きい二酸化炭素の濃く滞留している可能性もあり、結局酸欠状態に陥ることも考えられる。

3. 火山ガス人身災害の発生防止

3.1 火山ガス災害発生防止の方策

3.1.1 噴気孔の分布と発生ガスの特定

ガス災害の発生源である噴気孔の存在と、その

噴気孔から放出されるガスの種類を特定することが先ず必要である。ガス発生源は噴気孔だけとは限らず、ガスを大量に含む温泉の源泉、湖沼や河川水、地下水等にも注意を払う必要がある。図 20 には草津白根山に於ける噴気孔やガス成分を多量に含む温泉源の分布を示したが、活火山ではその活動の消長によってその位置や数変動する場合があることに注意する必要がある。これらの噴気孔から放出される火山ガスの化学組成を表 3 に示したが、これもまた火山活動の推移に伴って常に変動しているものであり、これらの実態を把握するには 1~2 回の調査では不十分なことが多い。それ故、それらの火山ガス成分の実状を知るためには出来るだけ多くの観測値や最新の分析値を求めることが望ましい。

3.1.2 大気中の火山ガス濃度分布の調査

大気中の火山ガス濃度は、放出されるガスが存在するだけでなく、その地形や気象条件によって大きく左右されることは既に述べた (2.3)。そこで、その付近の地形や気象条件の変化も考慮に入れた、火山ガス危険発生予想図 (ガスハザードマップ) を作成すれば、それも事故防止に有効な手段の一つとなる。図 21 は群馬県の依頼で作成した草津白根山周辺のガスハザードマップであり、東京工業大学と上智大学との合同で 1960 年の基礎調査の開始から 1976 年までかけて作成し、群馬県に報告されたものである。

この図を作成するに当たって、火山ガス中の硫化水素や二酸化硫黄などが植生に与える被害が特に大きいことを利用した。これらのガスの僅かな噴出でも植物はたちどころに枯死する。そのためガスの噴出している所は緑を失って地肌がむき出しになり、岩石・土壌の変質作用によって灰白色或いは黄白色を呈する。この地域の航空写真を見ると、一目でガスの発生の恐れのある地域の見当を付けることが出来、調査地域の選定に大いに有効であった (写真(c))。事前調査と繰り返し現地調査の結果、さらには調査時の気象観測の結果を考慮して、その地点でのガスの最高到達濃度を推定して作成したのがこの図である。この認定に基づいて、危険予想区域を A (極めて危険; H_2S が

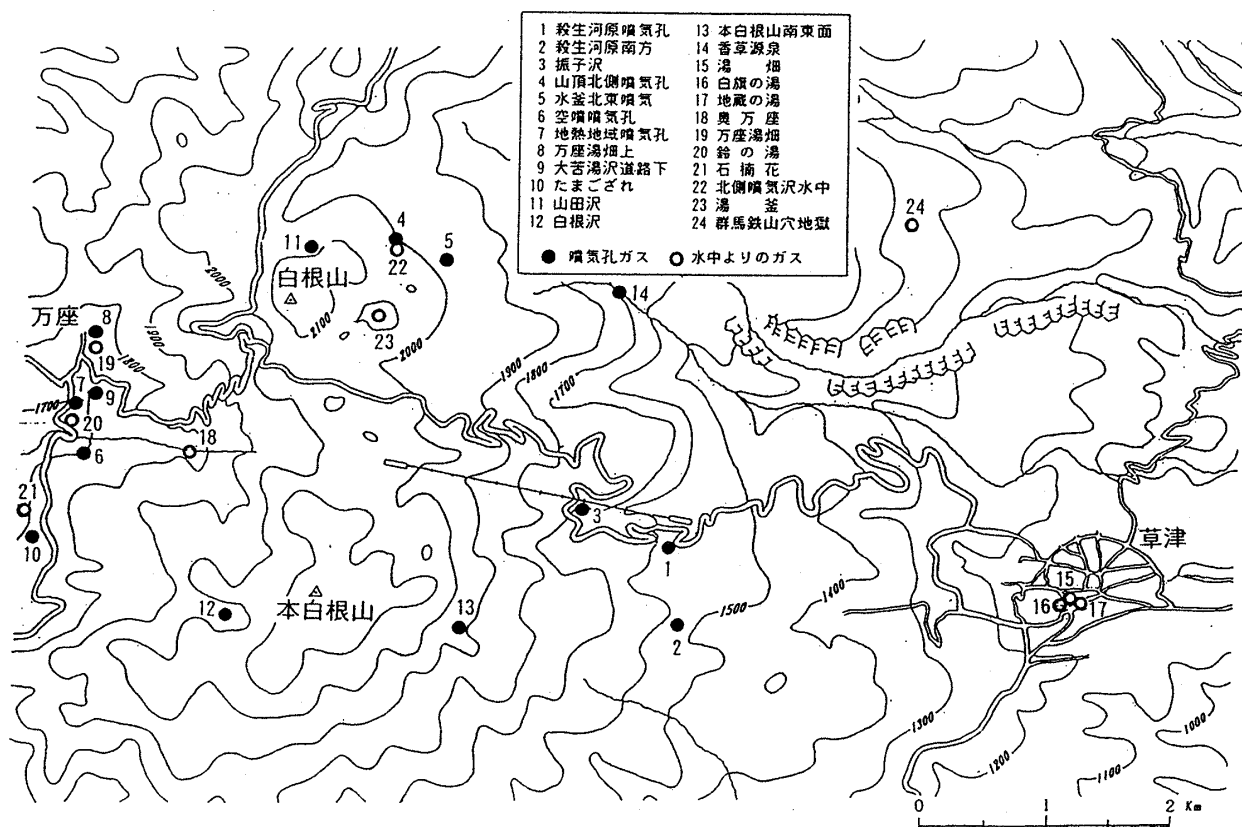


図 20 草津白根山付近 H₂S ガス噴出点

1,000 ppm 以上になる可能性がある), B (危険; 100~1,000 ppm), C (要注意; 10~100 ppm), D (臭気を感じる; 10 ppm 以下) の 4 段階に分けて記載した。この地域周辺では A 級 6 地点, B 級 10 地点, C 級 12 地点, D 級 3 地点の 31 地点を指定した。なお, 報告に示した危険区域及び危険度は調査時に確認されたもののみであり, その後の火山活動の推移や調査の進展によっては適宜改訂されるべきものである旨の注釈が付けられている。

3.1.3 立入禁止区域の設定と告知

この報告を受けた群馬県や草津町当局では, これらの危険予想区域のうち, A, B 級については立入禁止の処置を取ることに決定し, その境界には延々と柵をめぐらすとともに, 毒性ガスのため立ち入りを禁止する旨の立て札を要所に設置した。また, バス停や登山口等の旅行者や登山者の集まりやすい所には, 危険地図を記入した大きな立看板を置き, 注意書きとともに来訪者の注意を喚起するようにした。またそれらの地図や注意書きを

印刷したパンフレットを大量に用意し, 旅行者に配布してその趣旨の周知徹底を図った。

3.1.4 火山ガス自動監視警報装置の設置

以上のほか更に災害防止に完璧を期するため, 自動監視警報装置による災害防止の試みがなされている。草津白根山周辺では特に高濃度のガスの発生の恐れがある草津殺生河原地域の 5ヶ所と万座大苦湯沢地域の 6ヶ所に硫化水素ガス感知センサーを配置した (図 22)。これらのセンサーが 1 つでも規制値を越えるガス濃度を感知すれば直ちにコントローラが作動して, 自動的にその地域内に設置されているスピーカーから警報が流れ, 周辺にいる人々に退去を勧告することになっている。また, 図 23 には 1980~1983 年までの毎月の警報発令回数を示した。以上のような諸設備が整備されてからはそれまで数年に一度はガス事故の発生していた草津町においても 1 件の事故も発生していないとのことである。また, 同様の試みは草津白根山だけではなく長野県御嶽火山, 熊本県阿蘇火山においてもなされつつある。

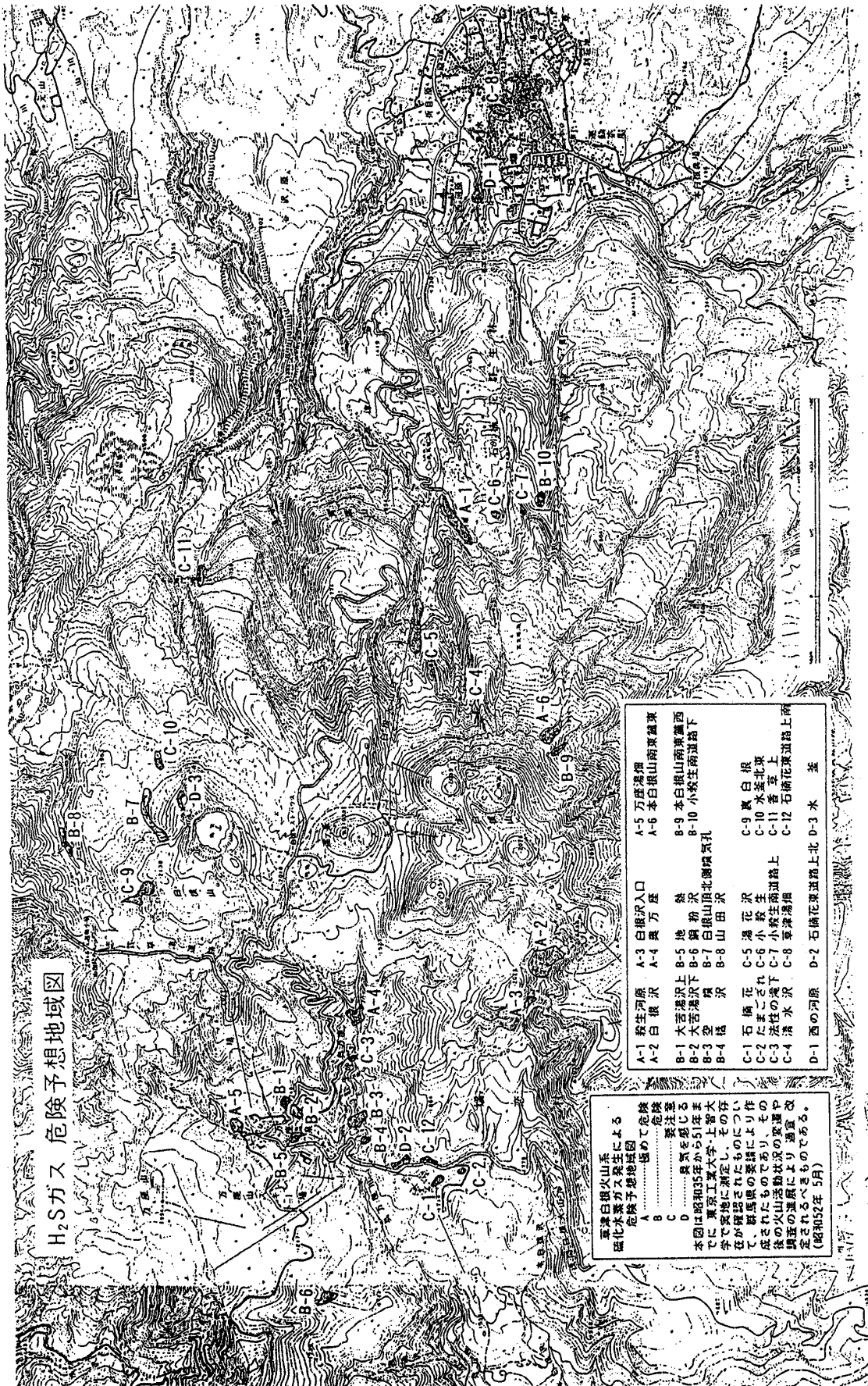


図 21 草津白根山付近 H₂S ガス・ハザード・マップ

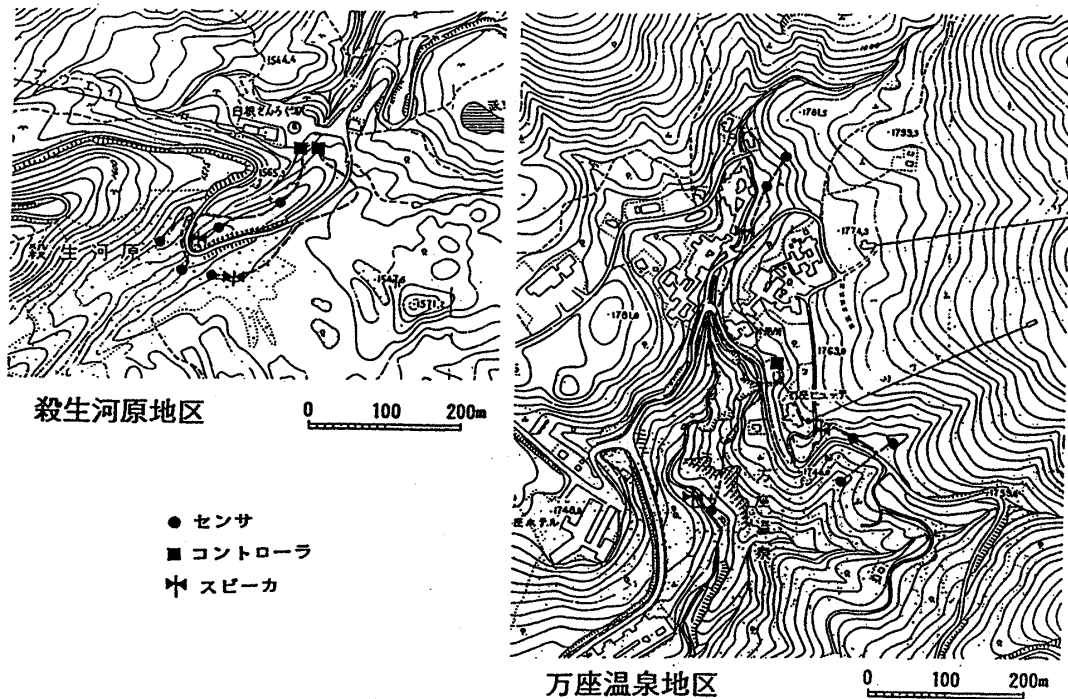


図 22 草津白根沢付近の H₂S ガス自動監視警報システム

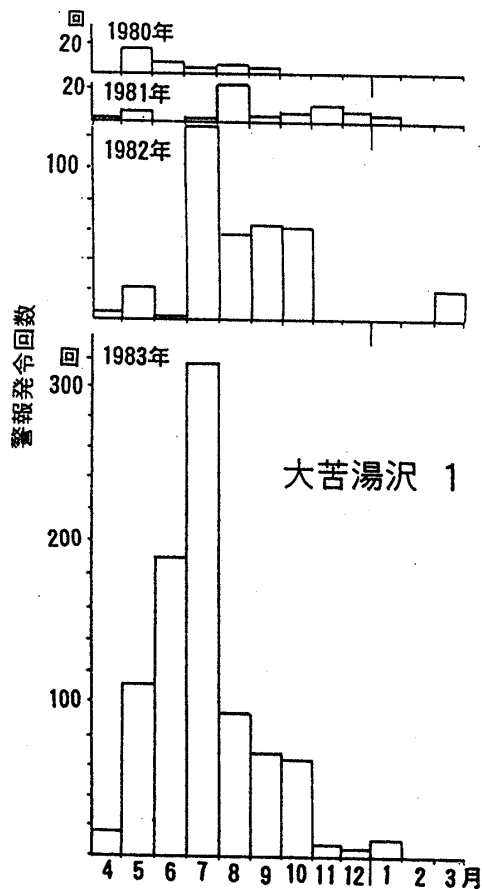


図 23 万座大苦湯沢自動監視警報器発令回数 (1980-1983)

3.1.5 ガス災害発生の予測について

すでに述べたように、ガス災害はガスの発生場所（噴気孔）の位置・地形などに加えて、天候や風向、風速、気温等の気象条件に著しく影響を受ける。それ故、被災地域における高濃度ガスの発生する気象条件を十分に把握しておき、そのような状況に達する可能性が判明すれば火山ガスが高濃度になる予測をある程度行うことが出来るはずである。現にこれまでガスが高濃度になった時の気象条件を詳しく解析し、それをもとにしたガス災害の発生の予報を行う試みが行われており、近く実用段階に入る可能性が出てきている。

3.2 火山ガス被害者の救助と応急処置 (H₂S の場合)

3.2.1 被害者の救出作業

もし万が一火山ガス中毒患者が出た場合にはまず第一には被害者の危険地帯からの救出を行わなければならない。その手順と作業に際しての留意点は次の通りである。

- ① 救出は出来るだけ2人以上で行う事とし、お互いに体をロープ等で繋ぎ合わせておく。これ

とは別に救出用のロープを用意する。

- ② そのうちの一人が救助に向かい、もう一人はガス圏外でロープを確保する。救助者はガスマスク（濾過式）或いは空気ボンベ式のマスクを着用する。もしマスクの用意がなければ応急に水で濡らしたタオル等で鼻と口を覆い、それを通して呼吸を行うようにする。もし万一救助者がガスを吸って倒れたら直ちにロープを手繰って救出する。
- ③ 被害者が倒れているときは、接近して体の一部にロープを縛りつけ（輪にして締めてもよい）、被害者をそのままにしてロープの他端だけをもってガス圏外に出る。この時、決して体を屈めたり低い姿勢で被害者を抱き起こそうとはならない。
- ④ ガス圏外に出たら被害者に結びつけたロープを引いて圏外に引きずり出す。

3.2.2 救出者の応急救護処置

被害者を危険地域から救出したら次には被害者の蘇生を図ることが急務である。

- ① 救出した被害者をガスの来ない清浄な空気の所に寝かせて衣服をゆるめる。
- ② なお意識が回復しない場合は、大声で名前を呼ぶなり、ショックを与えて速やかに意識の回復を図る。この際、体温が低下しないように保温に注意する
- ③ 必要によっては人工呼吸、酸素吸入等を行う。
- ④ 意識が回復したら茶、コーヒー等の飲み物を少量与える。
- ⑤ 目の痛みを訴える場合は洗眼した後、冷湿布をする。
- ⑥ 必要に応じて医師の診断を仰ぐ。

突然のガス中毒事故・緊急事態に遭遇した時、慌てずに以上の順序を踏んで行動することが肝要で、慌てて二重遭難などを引き起こさないように十分注意すべきである。何れにしても地上に倒れた人をそのまま放置することは、地表上に漂う重いガスの最も濃度の高い空気を長時間吸入する事になり、中毒症状をより重態にさせる結果になるであろう。それをいたずらに傍観したり或いはそのままにして救助を求めに走ったりするならば、

助かるはずのものまで見殺しにすることになりかねない。

4. あとがき

4.1 火山ガス事故災害の発生とその防止に関するまとめ

4.1.1 火山ガス中毒事故発生の要因

以上述べてきたように火山ガス事故災害の発生する要因としては、

a) その地域に有毒なガスである HF, HCl, SO₂, H₂S, CO₂ 等を発生する火口、噴気孔等が存在するか或いは H₂S, CO₂ を多量に含む温泉水が湧出するか、湖沼等が存在する。

b) 以上の有毒ガスの殆どは空気より重いため、窪地、谷間、低地、高い壁に囲まれた地形などがあればそれらが滞留しやすく、事故が発生しやすい。屋内、坑内等では特にガスの拡散が妨げられ、発生したガスが濃集しやすい。

c) ガスの溜まりやすい気象条件

1) 風速が非常に小さいか殆ど無風状態であるとき。僅かでも風があればガスは飛散させられるが、ガス発生源が風上にあるときは一定の風速以下ならばガスは吹き寄せられてかえって濃度が高くなることがある。

2) 比較的気温が低く、下降気流の働く可能性の強い時（夜間など）。

3) 雨雲、雪雲、濃霧等に低く覆われ、ガスの拡散が妨げられるような天候であるとき。

4) 深く雪に覆われたり、また積雪内に雪洞が生じたときはその中にガスが濃集しやすい。雪洞などを通じてガスが遠方まで運ばれることがある。

通常、有毒火山ガスが発生しているだけではそれが大気中に拡散し、野外ではそのまま事故につながるとは限らず、以上に述べたような条件が偶然重なって初めて事故に発展するものである。

4.1.2 火山ガス中毒事故災害発生防止対策

このような火山ガス中毒事故災害の発生を未然に防ぐためには次のような対策が考えられる。

a) その地域の噴気孔位置、地形、天候の変化、植生等を考慮し、大気中のガス濃度分布の実地計測を行って火山ガスハザードマップを作成する。

b) 特に危険と考えられる地域は立入禁止とし、柵、立て札、掲示板、パンフレット等により一般に周知させる。

c) 自動監視警報装置を設置し、その地域のガス濃度が一時的に危険濃度に達したとき、無人で自動的に警報が発せられるようにする。

d) 災害時の救出法、救護法を予め検討・規定しておき、現地関係者に習熟させておく。これらの手法は旅行者自身も知っていればなお有効であろう。

e) その地域の微気象の変化をガス濃度とともに自記観測させておき、その両者の因果関係をもとにして現地の気象条件の変化に伴ってガス濃度の上昇を予測できるように努力する。

4.2 今後の問題点

以上わが国に於いてこれまでに発生した火山ガス中毒或いはそれに類する人身事故災害について、筆者らが関与したいくつかの例を挙げ、実体験に基づいて想定される事故発生の要因や災害防止のために取られてきたいくつかの方策について述べてきた。ここでわが国の実情を見ると、近年の野外活動の流行に乘じ、登山愛好家の数も激増し、またその年齢層も著しく拡がっている。一方でわが国に多数存在している活火山（日本活火山総覧²⁴⁾によれば83火山）のうち、火山化学の専門の立場から行われた火山ガスの調査は未だその一部に限られている。更に、国の諸機関及び県や地方自治体などでガス災害の防止策を講じているのは、ほんの一部に過ぎない。この様な状況では今後これらの火山ガス事故の続発は到底防止することは難しいのではないかとと思われる。それ故、登山者は自らの自覚を持って自己の安全を図るよりほかないのではないかと考えられる。そのためには登山者やその指導者は、登山計画を立てるに当たって先ず目的地の情報収集、被害防止のための一般常識、被害発生時の救出方法・応急処置等を身につけて行動するのが現段階では最適の対処法ではないかと思われる。各自のそれらの努力に対して、我々はいかに答えるかが目下の急務ではないかと考える。

4.3 謝辞

本調査結果をまとめるに当たり、われわれのこれまでの調査研究に多くのご教示、ご指導を賜った諸先生、並びに現地調査に行を共にされ、ご協力をいただいた諸先輩、同僚の各氏や学生諸兄、また調査にご便宜、ご協力をいただいた関係機関、県、地方自治体、地元の各位にあつく御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 小坂丈予：火山ガスによる中毒災害，中毒研究，Vol.5, pp.123-132, 1992.
- 2) Iwasaki, I et al. : Differentiation of Magnetic Emanation, Bull. Tokyo Inst. Tech., No.74, pp.1-57, 1966.
- 3) 小坂丈予・平林順一・小澤竹二郎・君島克憲：阿蘇火山の火山ガス成分の測定，阿蘇火山の集中総合観測（第1回1977）報告，pp.64-68, 1978.
- 4) 小坂丈予・平林順一・小澤竹二郎・安孫子 勤：樽前火山1983年の火山ガス組成について，火山ガス測定による噴火予測に関する研究（研究代表者；小坂丈予），文部省科学研究費・自然災害特別研究，pp.124-126, 1984.
- 5) 小坂丈予：酸性条件下における岩石の変質と水質，施工技術，Vol.6, pp.45-51.
- 6) 小坂丈予・平林順一・小澤竹二郎：地球化学的手法による噴火予知，火山第2集，Vol.23, pp.33-40, 1978.
- 7) 小澤竹二郎ほか：吾妻一切経山1977～1979年活動にともなう噴気ガス・温泉水の成分変化，吾妻火山集中総合観測報告，pp.93-103, 1981.
- 8) 小坂丈予・小澤竹二郎：火山噴煙の化学成分分析と解析，レーザーレーダーと赤外計測技術による火山噴煙動態のリモートセンシングの総合的研究（研究代表者；稲場文男），文部省科学研究費総合研究（A），pp.62-64, 1980.
- 9) 小坂丈予・平林順一・小澤竹二郎：火山ガス測定による噴火予測に関する研究（研究代表者；小坂丈予），文部省科学研究費・自然災害特別研究，pp.48-56, 1984.
- 10) 小坂丈予・小澤竹二郎・酒井 均・平林順一：木曾御岳火山1979年噴火後の活動状況と地球化学的研究，火山第2集，Vol.28, pp.59-74, 1983.
- 11) Hirabayashi, J., Yoshida, M. and Ossaka, J. : Chemistry of Volcanic Gases from the 62-I Crater of Mt. Tokachi, Hokkaido, Japan, Bull. Volcanol. Soc.

- Japan Ser.2, Vol.35, pp.205-215, 1990.
- 12) 小坂丈予ほか：我が国における火山ガス災害とその対策, 噴火のメカニズムと災害 (研究代表者; 日下部 実), 文部省科学研究費重点領域研究・自然災害の予測と社会の防災力, pp.137-148, 1993.
 - 13) 小坂丈予ほか：雲仙温泉地域に噴出するガス成分の変化と普賢岳の噴火, 温泉科学, vol.47, No.1, pp.22-28, 1997.
 - 14) 小坂丈予ほか：群馬県草津白根山火口湖“湯釜”の水質変化と火山活動, 地球化学, vol.31, p.119-128, 1997.
 - 15) 松尾禎士：火山ガスの化学, 火山第2集, Vol.20, pp.319-329, 1975.
 - 16) 池部伸一郎：阿蘇山における火山ガスによる事故状況, 阿蘇山上(中岳)火口周辺における有毒火山ガス流動状況調査報告書, (財)自然公園美化管理財団, pp.37-38, 1995.
 - 17) 小坂丈予・坂元隼雄・黒崎 誠・野上健治：霧島新湯温泉で1989年に発生したガス中毒事故について, 第47回日本温泉科学大会講演要旨, p.41, 1994.
 - 18) 環境庁：阿蘇中岳周辺における火山ガス調査, 阿蘇山上(中岳)火口周辺安全対策管理方針検討調査報告書, (財)自然公園美化管理財団, pp.37-68, 1996.
 - 19) 矢野栄二：阿蘇火山における火山ガス事故の事例と人体影響, 阿蘇山上(中岳)火口周辺安全対策管理方針検討調査報告書, (財)自然公園美化管理財団, pp.19-36, 1996.
 - 20) 後藤 稠ほか：産業中毒便覧, 医歯薬出版, pp.66-67, 1997.
 - 21) 光明理化：有毒ガス測定ハンドブック, (株)光明理化工業, pp.21, 187, 1992.
 - 22) 堀口 博：公害と毒・危険物(総論編), 三共出版.
 - 23) 荒木 峻・沼田 眞・和田 攻編：環境科学事典, 東京化学同人, 1985.
 - 24) 気象庁：日本活火山総覧(第2版), 1991.

(原稿受理：平成10年3月18日)