

火山ガス災害

Volcanic Gas Disaster

平林 順一

東京工業大学 火山流体研究センター

Jun-ichi HIRABAYASHI

Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology

Abstract

There are 108 active volcanoes in Japan including those in Northern territories and submarine volcano. Volcanic gas is continuously erupted from 55 volcanoes except volcanoes in Kunashiri and Etorofu islands and submarine volcano. In general, volcanic gas contains mainly water vapor. The dry gas is largely composed of HF, HCl, SO₂, H₂S and CO₂ with small amount of N₂, H₂, Ar, He, CH₄ and CO. HF, HCl, SO₂, H₂S and CO gases have high toxicity. The volcanic gas disaster accounts for approximately 2.5% of all volcanic disaster based on casualty during the recent 100 years. The volcanic gas disasters around twelve volcanoes occurred 29 times and 53 people were killed in 1950 in Japan. Occurrence of volcanic gas disaster is mainly dominated by topography around fumaroles and meteorological conditions such as windless, cloudy and foggy weather. To reduce occurrence of volcanic gas disasters, it is needed to survey emission point of volcanic gas and its dangerous level. Also a previous knowledge of toxicity of volcanic gas and rescue technique are important to defend ourselves.

Key words: Volcanic gas, chemical composition, gas accident

1.はじめに

日本は世界有数の火山国であり、噴火の可能性のある火山(活火山)は北方領土と海底火山を含めて108ある(図1)。これは全世界の活火山の一割以上に当たる。火山活動は、地球の形成過程においても大きく関わり、現在の風光明媚な地形を作ってきた。このため、火山周辺地域は、登山・ハイキングや観光の拠点として多くの人々が訪れる。火山の持つエネルギーは膨大で、その熱は、地熱発電をはじめ、水産業や農業、地域暖房、道路融雪など多岐にわたって利用されている。また、火山周辺には多くの温泉が湧出しており、保養に利用されている。

火山は多くの恵みをわれわれに与えてくれる一方で、ひとたび噴火が発生すると国土・森林・農地などに甚大な被害をもたらすだけでなく、われわれの生命をも奪う。火山噴火による人的被害は、最近の100年の統計をみると年間約900人にのぼる。噴火による人的被害は、高温の火山ガスと微細な岩石の粉末が時速約100 kmで山の斜面を流下する火砕流や、岩なだれ、泥流、溶岩流、降下火砕物(火山灰、火山礫、火山弾)などが主な原因であるが、火山ガスによる人的被害は火山災害の約2.5%で、100年間に約2000名が犠牲となっている。

日本の活火山のうち、周辺住民や観光客に影響を及ぼす火山は、北方領土の火山と海底火山

を除くと 85 火山で、このうち 55 火山から火山 ガスが定常的に噴出している。

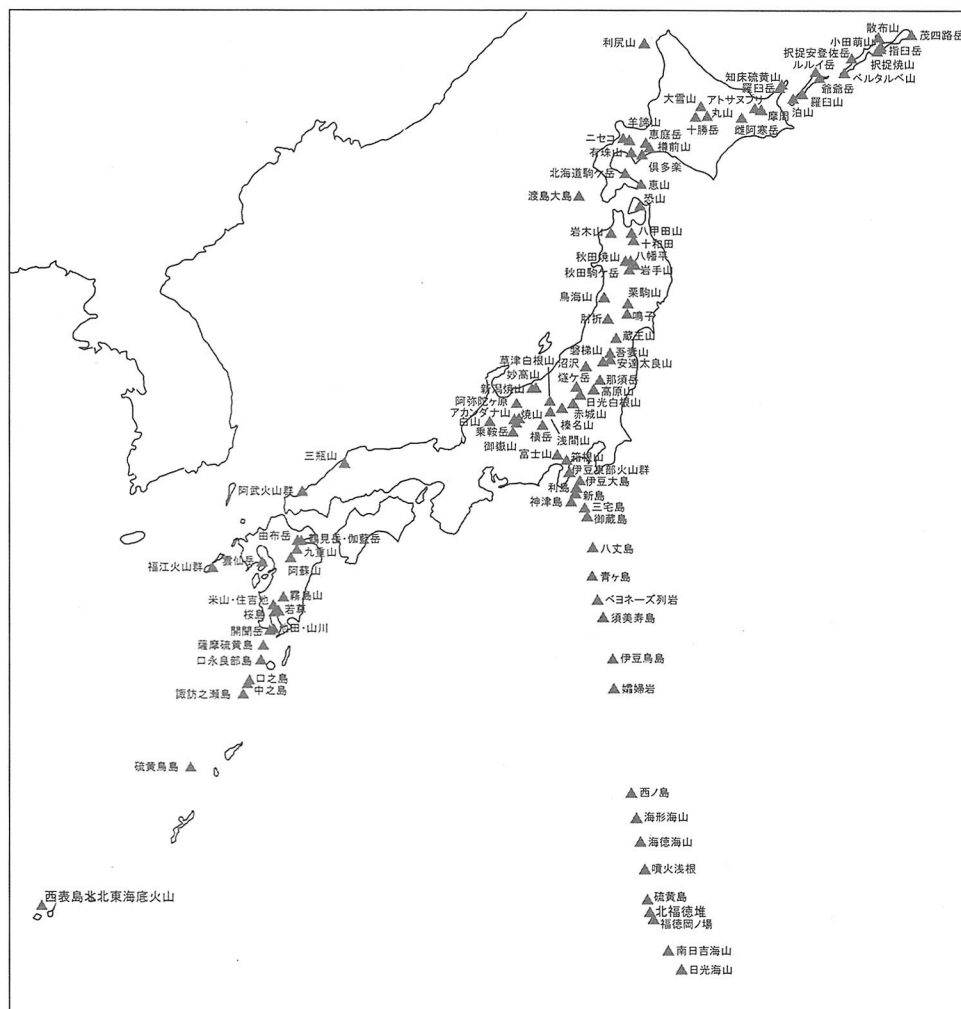


図1 日本の活火山分布

Chemical Composition of Volcanic gases

Volcano	Temp	H ₂ O	HF	HCl	SO ₂	H ₂ S	CO ₂	He	H ₂	O ₂	N ₂	CO
Surtsey	1137	86.2		0.40	3.28		4.79		4.74	0	0.07	0.38
Unzen	810	97.2		0.196	0.498	0.196	1.29		0.586	0.079	0.148	0.126
Satsuma-Iwo	877	97.5	0.033	0.677	0.984		0.316	0.000003	0.474	0.00005	0.0082	0.0011
	740	97.8	0.048	0.00	0.975	0.075	0.561		0.396		0.0352	
Kuju	580	96.9		0.066	0.12	2.34	0.55					
	400	96.9	0.097	0.48	0.69	1.41	0.45		0.10		0.015	0.00024
	350	98.9	0.008	0.20	0.20	0.37	0.29	0.000005	0.0031		0.0044	
	185	99.2		0.0079	0.066	0.202	0.506		0.0149		0.0074	0.000023
Nasu	530	98.0	0.014	0.06	0.178	0.712	0.952					
Kiso-Ontake	110	98.4		0.0003	0.018	0.323	1.254	0.000004	0.00073	0.00018	0.0038	
Kusatsu	95	97.9		0.0	0.0002	0.285	1.779	0.000006	0.000021		0.36	
Kirishima	98	97.4			0.0034	0.660	1.92	0.000003	0.0014	0.00033	0.018	

表1 火山ガスの化学組成

2.火山ガス

火山ガスは、地下のマグマに溶けている酸素(O)、水素(H)、窒素(N)、イオウ(S)、塩素(Cl)、炭素(C)、アルゴン(Ar)、ヘリウム(He)などの揮発性成分がマグマの温度・圧力変化などによって発泡し、水蒸気(H₂O)、塩化水素(HCl)、二酸化イオウ(SO₂)、硫化水素(H₂S)、二酸化炭素(CO₂)、水素(H₂)、ヘリウム、アルゴン、窒素(N₂)、メタン(CH₄)、一酸化炭素(CO)などの気体となって地表に噴出するものである。地表に噴出する火山ガスの温度と化学組成は、マグマに溶存する揮発成分の濃度がマグマの種類によって異なることと、マグマから地表への上昇過程で起こる火山ガス成分相互の反応、地下に堆積しているイオウや有機堆積物との反応、地下水との接触などによって多様なものとなる(表1)。火山ガスはその温度によらず、90%以上が水蒸気で、これに上述したさまざまな成分が含まれる。一般に、水蒸気を除くと、高温の火山ガスにはフッ化水素(HF)、HCl、SO₂、H₂、COなどが多く含まれ、温度の低いガ

スはH₂SとCO₂が主成分である。上昇過程で、地下水との接触などによって水蒸気が除去され、非常に高濃度のH₂SとCO₂を主成分とする火山ガスが噴出している場所がある。これらの場所の多くは、火山ガスによって岩石や土壌が変質し、地表は灰色となっている場合が多い。このような低温の火山ガスの噴出は、目には見えず、その噴出に気がつかない。

火山ガスに含まれる成分のうち、毒性のある成分は、HF、HCl、SO₂、H₂S、CO₂、COの6成分である。HF、HCl、SO₂は高温の火山ガスに多く含まれ、刺激臭が強く、毒性も高い。これらガスの致死濃度は500～1,000 ppmであるが、濃度が10～20 ppmになると、目が刺激を受け、咳きができるなどの症状がでる。H₂Sは、高温から低温のガスに含まれるが、特に温度の低いガスに多く含まれ、前三成分と同様に毒性が強く、致死濃度は500～700 ppmである。また、低温の火山ガスに多く含まれるCO₂の毒性は低く、前四成分に比べれば3桁以上弱い(表2)。COガスも毒性は高いが、火山ガスに含まれる量は極微量である。

ガス成分/濃度	1ppm	10ppm	100ppm	1,000ppm	
フッ化水素* (HF)	3 許容 濃度	50 2時間	250 1時間	600 30分	
塩化水素 (HCl)	1 臭い 検知	5 許容 濃度	10 粘膜 刺激	1,000以上 数分間致命的	
二酸化硫黄 (SO ₂)	0.3～1 臭い 検知	5(2) 許容濃度 上気道刺激	20 目刺激 咳 困難	30～40 呼吸 1時間 耐える	50～100 400～500 生命危険
硫化水素 (H ₂ S)	0.06 臭い 検知	1～5 不快臭	10 許容 濃度	200 眼鼻 灼熱性 疼痛	～400 ～700 中枢麻痺 生命危険 即死
二酸化炭素*** (CO ₂)				5,000 許容 濃度	5% 呼吸間隔 短縮 10% 10～15分 昏睡 40% 死亡
一酸化炭素 (CO)		50 許容 濃度	600 1時間 頭痛・耳鳴 嘔吐	～700 1時間 生命危険	1,500 50～60 血中一酸化炭素ヘモグロビン濃度(%) 10～20 30～40 50～60 70～ 頭痛 頭痛 失神 死亡 めまい 昏睡 嘔吐 呼吸障害 意識障害

* : モルモットに対する吸入致死濃度。

*** : CO₂濃度9%で5分間、10%で1分間で死亡した例がある。10～15%では数呼吸で昏睡状態になるともいわれている。

許容濃度は日本産業衛生学会の基準による、SO₂の2ppmは米国産業衛生専門家会議による基準

表2 火山ガス各成分の毒性

3.火山ガス事故

火山ガスによる人的被害が最も大きかった災害は1986年にアフリカ、カメルーン国で発生した^{1,2}。このガス災害は、火口湖であるニオス湖の湖水中に溶存していたCO₂が気化・噴出したために発生した。湖水に解けていたCO₂ガスの気化・噴出は、湖底での噴火ではなく、湖に流入した冷たい雨水（事故発生時は雨期）によって、CO₂を大量に含んだ深層の湖水が持ち上げられたために、圧力低下がおこりCO₂が気化したことによる。噴出したCO₂ガス量は約1km³と膨大で、谷地形に沿って流下し、周辺の集落の住民1734名が犠牲となった。また、その被害は約15km遠方まで及んだ。カメルーン国では、2年前にもマヌーン湖で同様のガス事故が発生しており、37名が犠牲となっている³。また、インドネシア、ジャワ島中央部のディエン高原では、火口から噴出したCO₂ガスによって142名が死亡している⁴。

日本では、このような一度に大勢の人が犠牲となるガス災害は発生していないが、1950年以降のガス災害は、

少なくとも29件発生し、53名が犠牲となっている（表3⁵）。表は死亡事故のみをまとめたもので、死にいたらない中毒事故は各地で発生している。同表の右列に各事故の原因となったガス成分を示してあるが、日本で発生したガス災害の80%以上はH₂Sが原因で発生している。これは、

年 月 日	場 所	事 故 内 容	原因ガス
1951/11/5	箱根、湯ノ花沢	露天風呂で2名死亡	H ₂ S
1952/3/27	同 上	浴室で1名死亡	H ₂ S
1954/7/21	立山、地獄谷	露天風呂で1名死亡	H ₂ S
1958/7/26	大雪山、御鉢平	2名死亡	H ₂ S
1961/4/23	立山、地獄谷	1名死亡	H ₂ S
1961/6/18	大雪山、御鉢平	2名死亡	H ₂ S
1967/11/4	立山、地獄谷	キャンプ中2名死亡	H ₂ S
1969/8/26	鳴子	浴室で1名死亡	H ₂ S
1970/4/30	立山、地獄谷	温泉作業員1名死亡	H ₂ S
1971/12/27	草津白根山振り子沢	スキーヤー6名死亡	H ₂ S
1972/10/2	箱根、大涌谷	3名中毒、内2名死亡	H ₂ S
1972/10/28	那須岳、湯本	浴室で1名死亡	H ₂ S
1972/11/25	立山、地獄谷	温泉作業員1名死亡	H ₂ S
1975/8/12	立山、地獄谷	1名死亡	H ₂ S
1976/8/4	草津白根山、本白根	登山中3名死亡	H ₂ S
1980/12/20	安達太良山、鉄山	雪洞で1名死亡	H ₂ S
1985/7/22	立山、地獄谷	湯溜まりで1名死亡	H ₂ S
1986/5/8	秋田焼山 叫び沢	谷で1名死亡	H ₂ S
1989/2/12	阿蘇山、中岳	火口縁で観光客1名死亡	SO ₂
1989/8/26	霧島、新湯	浴室で2名死亡	H ₂ S
1989/9/1	那須岳	作業員3名死亡	H ₂ S
1990/3/26	阿蘇山、中岳	火口縁で観光客1名死亡	SO ₂
1990/4/18	阿蘇山、中岳	同 上	SO ₂
1990/10/19	同 上	同 上	SO ₂
1994/5/29	同 上	同 上	SO ₂
1997/7/12	八甲田山、田代平	ガス穴で3名死亡	CO ₂
1997/9/15	安達太良山、沼ノ平	登山中4名死亡	H ₂ S
1997/11/23	阿蘇山、中岳	火口縁で観光客2名死亡	SO ₂
2005/12/29	秋田湯沢泥湯温泉	雪穴で観光客4名死亡	H ₂ S

（小坂ほか、1993を加筆修正）

表3 1950年以降、日本で発生した火山ガス事故

定常的に火山ガスが噴出している55火山の火山ガスにはほとんど H_2S ガスが含まれていること、 H_2S ガスは低濃度の場合いわゆる“卵の腐った臭い、あるいは温泉場の臭い”を感じるが、長時間吸い続けると鼻が麻痺することや、高濃度の H_2S はほとんど臭いがしないなどのために、高濃度の H_2S が滞留している危険地帯に立ち入ってしまうことによる。また、 SO_2 によるガス事故は、表3に明らかなように阿蘇山のみで発生している。阿蘇山の事故は、致死濃度を超える SO_2 ガスや HCl ガスを吸ったために発生したのではなく、犠牲となったのはいずれも喘息や心臓病等の持病のある高感受性の人々である。これらの人々は、一般の人々には影響のない低濃度のガスによって発作を起こし、これが原因で死亡した。二酸化イオウガスは、刺激的で10～20 ppmの濃度では、目が“ちかちか”したり、咳き込みなどの症状がでるため、致死濃度である500 ppmを超えるような高濃度の場所には近づくことができない。

前述したように外国の例では CO_2 ガスによって一度に大勢の人が亡くなるガス事故が発生しているが、1950年以降日本で発生したガス事故のうち CO_2 が原因で発生した事故は1例のみである。この事故は、1997年7月に青森県八甲田山麓の田代平の窪地（開口部18m×12m、深さ8m）で発生した。田代平一帯は、高濃度の CO_2 ガスを含む地下水が流れており、地下水の流路上の地表では CO_2 ガスが拡散放出されている。事故の発生した窪地には地下水から分離した CO_2 ガスが噴出しており、その濃度は15～20%と高濃度で、風のないときには窪地内底部には同程度の濃度の CO_2 が溜まった状態になる。事故当時も窪地内には15%程度の CO_2 が滞留しており、ここに誤って入り込んだ人と助けに入った人が3名亡くなった⁶。同年9月には、安達太良山の沼ノ平火口でハイカーが、濃霧のため登山道を見失い、高濃度の H_2S ガスが滞留している場所に入り込んで4名が死亡する事故が発生

した⁷。また、11月には阿蘇山で2名の観光客が SO_2 ガスで発作をおこし、死亡する事故が発生した。

このように1997年は原因となった火山ガス成分が異なる火山ガス事故が続いたことから、当時の科学技術庁は「火山ガス災害に関する緊急研究」を発足させ、火山ガスの発生機構、噴出する場所の特性、気象条件によるガスの拡散などの研究を行うと同時に、過去の火山ガス災害の事例についてのアンケート調査などを行った。その結果を踏まえ「火山ガスから身を守るには」と題するパンフレットを作成し、自治体の防災関係者などに配布するとともに、火山ガスについての知識や再発防止策などについて普及講演会を開催した。

この効果もあって、その後は火山ガスによる災害は発生していなかったが、残念なことに2005年12月29日に秋田県湯沢市の泥湯温泉で H_2S ガスによる事故が発生し、4名が犠牲となった。泥湯温泉地域には温度が98℃前後の火山ガスが噴出している場所があり、その主成分である水蒸気の濃度は99%である。水蒸気以外の成分は H_2S と CO_2 が主である。また、近くには河原毛地獄と呼ばれる噴気地帯があり、広い地域から火山ガスが放出されている。その化学組成は、泥湯地域に噴出している火山ガスに似ている。

泥湯温泉の事故は、旅館街はずれの駐車場で遊んでいた家族連れが、雪の上に飛んだ遊具を取りに雪上を歩いていた時、高濃度の H_2S が滞留していた雪洞の天井を踏み抜いて発生した。その後の調査で、事故現場の横は、岩

火山ガス成分		比重
塩化水素	HCl	1.27
二酸化イオウ	SO_2	2.22
硫化水素	H_2S	1.18
二酸化炭素	CO_2	1.56
(空気を1としたときの比重)		

表4 毒性のある火山ガス成分の比重

石が火山ガスや酸性の温泉水によって変質した斜面である。その中段からは、泥湯温泉地域や河原毛地獄に噴出しているような火山ガスの主成分である水蒸気が地下水との接触などで除去され、 H_2S と CO_2 を主成分とした気温に近い低温の火山ガス（ガス組成の一例、 H_2S :11.5%=115,000ppm、 CO_2 :84.7%=847,000ppm）が噴出している。積雪期にはこのガスが斜面の地表と降り積もった雪の隙間を流下して、沢水や温泉水を引湯するパイプなどによってできた雪洞内に溜まっていたことが判明した。泥湯地域に限らず、火山周辺にはこのように温度が低く、火山ガスの噴出が見えない場所も多く存在し、泥湯温泉の事故は、積雪期の火山地域での行動に注意を喚起した。

火山ガス事故の発生は、いくつかの条件が重なったときに発生する。すなわち、毒性のある火山ガス成分は空気より重いために（表4）、地表に噴出したガスは低いところに滞留しやすく、火山ガスの噴出している近傍の窪地や谷地形で発生しやすい。また、曇天で風のないときや大気の逆転層ができるときは、噴出した火山ガスが拡散しにくく、地表付近には高濃度の火山ガスが滞留しやすくなる。このため、火山ガス事故は、無風・曇天の時の窪地・谷などで発生する確率が高くなる。

4.火山ガス事故対策

火山ガスによる事故の再発防止にあたって、自治体は、まず管轄内のどこから火山ガスが噴出しているか、それぞれの場所の危険度はどの程度かを的確に把握した上で、過去にガス事故が発生した場所を含め、事故発生の恐れのある場所には、その危険性を知らせる看板や立ち入りを規制する柵等を設置する必要がある。また、必要に応じて火山ガス自動測定・警報装置の設置も検討すべきである。実際に、最近ガス事故が発生した草津白根山、安達太良山沼ノ平火口、

八甲田山田代平地域、立山地獄谷、泥湯温泉地域などでは火山ガスの噴出点や危険度の調査が行われ、危険地帯には注意を喚起する看板や立ち入り禁止の柵が設置されている。

1971年と1976年に H_2S ガスによる火山ガス事故が発生した草津白根山では、自治体は特に危険な場所に11個のガスセンサーを設置してガス濃度の連続観測を行っている。同装置は、大気中の H_2S ガス濃度が一定値を超えるとスピーカーで“ガス濃度が高くなって危険である”旨を自動的にアナウンスする。このほか、これまでガス事故が発生した阿蘇山、富山県の立山地獄谷、箱根の大涌谷や、1979年に噴火し、噴火口から噴出する火山ガスが多くの人を通る登山道に漂う木曾御嶽山でも、自動測定装置が設置されている。また、2000年に噴火した三宅島では、噴火後世界的に見ても類のないほど大量の SO_2 ガスが放出したため、島民は2005年2月に帰島するまで4年半の長期にわたり離島生活を余儀なくされた。帰島にあたって、三宅村は、島内14ヶ所に設置されている SO_2 自動測定装置のデータを一括管理し、ガス濃度を4段階にわけてガスマスクの着用や高濃度地区からの避難などの警報を行政無線や島内の各所に設けられた警告灯で知らせるシステムを運用している。

このような行政が行う火山ガス事故対策は重要であるが、最大のガス事故の再発防止は、火山地帯を行動する人々が、本稿で述べたような火山ガスについての最低限の知識を持ち、行動する地域の危険性を認識して危険箇所には近づかない、また、例えば毒性の強い火山ガスは水に溶けやすいので、近くでガスによって人が倒れた場合には、ハンカチやタオルを水で湿らせ、これを口に当てて救助し、風とおしの良い高い場所へ引きずり出すなどの応急手当などの知識を持っていることである。

参考文献

- 1 Kerr RA: There may be more than one way to make a volcanic lake a Killer, Science 1986; 223: 1257-1258.
- 2 荒牧重雄, 大隅多加志, 金成誠一, 日下部実, 平林順一: カメルーン・ニオス湖1986年8月ガス噴出災害の概要. 火山. 1987; 32, 17-24.
- 3 Sigurdsson, H, Devine, J D, Tchoue, F M, Presser, T S, Pringle, M K W and Evans, W C : Origin of the lethal gas burst from Lake Monoun, Cameroon. JVGR, 1986; 31: 1-16.
- 4 Le Guerun, F, Tazieff, H and Faivre Pierrt, R: An Example of health hazard; People killed by gas during a pheratic eruption; Dieng Plateau(java, Indonesia), February 20th 1979. Bull. Volcanol.1982; 45: 153-156.
- 5 小坂丈予, 吉田稔, 平林順一, 野上健治, 小沢竹二郎, 山本雅弘, 日下部実, 松葉谷治, 坂元隼雄: 我国における火山ガス中毒災害とその対策. 噴火メカニズムと災害報告書(代表日下部実. 1993; 137-148.
- 6 平林順一: 八甲田山麓の火山ガス事故. 地熱 1997; 19: 233.
- 7 平林順一: 安達太良山のガス事故. 地熱 1998; 20: 93.