

## 火山ガス

平林 順一<sup>1)</sup>

1) 東京工業大学 名誉教授

### 1. はじめに

110 の活火山を有する火山国日本では、毎年複数の火山が噴火している。しかし、1955 年以降活発な爆発的噴火を繰り返している桜島を除けば、2000 年の有珠山、三宅島の噴火以後は、異常なほど火山活動が低調であった。

2011 年 1 月 27 日に霧島・新燃岳でサブプリニアン噴火が発生し、2 千万 m<sup>3</sup> の軽石と火山灰を放出した。また、2014 年 9 月 27 日に木曾御嶽山で、63 名の死者・行方不明者を出す噴火が発生したことは記憶に新しい。このほか、各地で火山が噴火し、地震の群発、地熱・熱水活動の活発化なども起こり、日本の火山活動は活発な状態に戻った。しかし、このような状態は必ずしも異常ではなく、火山国日本では驚くべきことではない。

噴火は、マグマにかかる圧力の低下やマグマの結晶化などによって、マグマ中の揮発性物質が発泡し、マグマが上昇することで発生する。また、水蒸気爆発は、マグマからの熱や高温の火山ガスが地下水を一気に気化することで発生する。このように、噴火を引き起こす大きな要因の一つが火山ガスである。

火山ガスは、物質の中で移動性が高く、地下(マグマ)の情報をいち早く地表に伝える媒体である。このため、火山ガスの化学組成や放出量とその変化はマグマやマグマと地表間で起こる様々な現象を知る手がかりとなる。一方で、火山ガスには毒性を有する化学成分が含まれており、火山ガスによる中毒事故がしばしば発生する。

本報では、最近活発となった火山活動と、活動によって発信される噴火警報、火山ガスの特性、放出量、火山ガス研究から得られる知見、火山ガス災害などについて述べた。

### 2. 最近の火山活動と噴火警戒レベル

2011 年霧島新燃岳噴火に続いて、2013 年 11 月 21 日に、小笠原父島の西方約 130km に位置する西ノ島の近くで噴火している新たな島が確認された。新しい島の噴火活動は続き、噴出した溶岩は旧西ノ島と合体し、さらに大きな島へと成長し

ている。現在までに噴出した溶岩量は、約 4 億トンである。西ノ島のように、長期間にわたって溶岩流出を続ける活動は日本では珍しい。

2014 年 8 月 3 日に口永良部島新岳で水蒸気爆発が発生し、噴火警戒レベルが 3 に引き上げられ、半径 2km 以内の立ち入りが規制された。以後、噴火警戒レベル 3 の規制が続いていたが、本年 5 月 29 日に、火砕流が海岸まで到達する大規模なマグマ水蒸気爆発が発生した。このため、気象庁は噴火警戒レベルを 5 に引き上げ、全島民 137 名が島から避難した。現在も島民の避難生活が続いているが、最近、火砕流を伴う大きな噴火発生の懸念が薄れたことから、立ち入り規制範囲がおおむね 2.5km に改められ、年内に帰島するべく準備が進められる。

阿蘇山でも 5 月 27 日に噴火が発生し、噴火警戒レベル 3 の入山規制となった。その後も断続的に活動が続き、中岳第一火口ではストロンボリ式噴火が見られるようになったが、8 月には一旦活動を停止した。9 月 14 日に再び噴火が発生し、再び噴火警戒レベルが 3 に引き上げられた。

また、2000 年以後南岳火口で爆発的噴火の発生が少なくなっていた桜島では、2006 年に昭和火口での噴火活動を再開した。同火口での活動は 2009 年以後一段と活発となり、年間の爆発回数は 1000 回を超える年もあった。このような状況のなか、本年 8 月 15 日に、1 日に 1000 回を超える地震の発生と、約 200 万 m<sup>3</sup> のマグマ貫入による山体膨張が観測され、噴火警戒レベルが 3 から 4 (避難準備) に引き上げられ、火口から 3km 以内の住民は一時避難した。

箱根山では、5 月から地震活動が活発となり、6 月下旬にごく小規模な噴火が発生したため、大涌谷を中心に半径 500m の立ち入りが禁止となった(噴火警戒レベル 2)。7 月 2 日には、局所的な山体膨張や地震の発生状況などから噴火警戒レベルは 3 に引き上げられ、半径約 1km 以内が立ち入り禁止となったが、地震活動の減少、山体膨張の停止などから 9 月 11 に噴火警戒レベルは 3 から 2 に引き下げられた。

表 1 噴火警戒レベル(気象庁)

種類	名称	レベル	キーワード
特別 警報	噴火警報 (居住地域)	5	避難
		4	避難準備
警報	噴火警報 (火口周辺)	3	入山規制
		2	火口周辺規制
予報	噴火予報	1	活火山であることに留意

このほか、草津白根山、霧島硫黄山、蔵王山、阿弥陀ヶ原などでは地震や火山性微動の発生、地熱活動の活発化などから火口周辺に立ち入り規制がとられている。

現在、箱根山をはじめ 6 火山ではレベル 2 が、阿蘇山と桜島ではレベル 3 が、口永良部島にはレベル 5 の警報が出されている(2015 年 10 月 7 日現在)。

気象庁は、47 火山(さらに 3 火山が追加される)で常時監視を行っているが、噴火警戒レベル(2007 年 12 月から運用開始)が導入されている火山は 30 に留まっている。

尚、噴火警戒レベルは、火山ごとに規制の範囲などが異なる。

### 3. 火山ガス

#### 3.1 火山ガスとは

北方領土と海底火山を除く約 7 割以上の火山から常時火山ガスが放出されている。火山ガスは、地下のマグマに溶けている水素(H)、酸素(O)、塩素(Cl)、イオウ(S)、炭素(C)、窒素(N)等の揮発性成分が圧力低下などによって発泡し、水蒸気(H<sub>2</sub>O)、フッ化水素(HF)、塩化水素(HCl)、二酸化硫黄(SO<sub>2</sub>)、硫化水素(H<sub>2</sub>S)、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、水素(H<sub>2</sub>)、窒素(N<sub>2</sub>)、一酸化炭素(CO)、メタン(CH<sub>4</sub>)などとなって地表に放出される。マグマから分離した火山ガスは、地表に到達するまでの間に、地下水との接触、ガス成分相互の反応、地下にたまっているイオウや有機物からの SO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>などの供給など、さまざまな原因で、火山によって、あるいは噴出している場所、温度などによって含まれる成分と濃度が異なる。

一般に、火山ガスの主成分は水蒸気(H<sub>2</sub>O)で 90%以上含まれる。H<sub>2</sub>O 以外の化学組成は、噴出するガスの温度によって異なり、温度の高い火山ガスには HF、HCl、SO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>、CO などが多く含まれ、温度の低い火山ガスでは H<sub>2</sub>S、CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>などが主成分となる。表 2 に温度の違いによる火

山ガス組成の例を示した。

火山ガス組成の違いは、マグマの性質によって、溶解している揮発性成分量が異なることや、温度に依存するだけでなく、マグマから揮発性成分が上昇する過程で、地下に堆積するイオウ、山体内の地下水の有無などを反映した結果である。

すなわち、火山ガス組成の変化に着目すれば、火山の活動状態を把握することができる。例えば、桜島では活動の活発化の前に H<sub>2</sub> ガス濃度の上昇や、HCl/SO<sub>2</sub> 比の増大が観測されている(hirabayashi et al., 1986)。

草津白根山では、1976 年の水釜噴火前に、噴出した水釜火口周辺に SO<sub>2</sub> に富んだ組成を持つ新たな噴気が出現し、また、周辺の火山ガス中の SO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S 比が著しく大きくなるなどの化学的变化が観測され、噴火を予測すること成功している(Ossaka et al., 1980)。

火山ガス成分の溶解度は、圧力に依存するが、成分によって依存度が異なる。この性質を利用して、火山ガスの組成比(例えば、H<sub>2</sub>O と CO<sub>2</sub> の比)から、火山ガスがマグマから分離する深さを推定することができる。

また、火山ガス中の水蒸気の酸素と水素の同位体比を測定することによって、水蒸気がマグマ由来であるか、地表付近の地下水を取り込んでいるかを知ることにもできる。

#### 3.2 火山ガス採取と測定

一般に、火山ガスは、噴気孔にパイプを挿入してアルカリ溶液を入れた注射器や真空ボトルを用いて採取し、化学分析によってその化学組成を求める。しかし、噴火活動中や直接採取することが困難な場合は、無線操縦の飛行機(飛行船、カイトプレーン)を用い、これに装着した真空ビンやテトラバックなどの容器で採取することもある。また、火口から離れた場所にアルカリ溶液を設置しこれに吸収された火山ガスや、火山灰に付着した火山ガス成分の測定によって、ガスの組成比が求められている。

最近では、湿式化学分析を行える分析化学者は限られているため、各種ガスセンサーを組み合わせて、噴気孔直接でなく、火口や噴気孔周辺のガス濃度の測定を行い、ガス組成比を求める方法も用いられている(Shinohara, 2005)。

## 3.3 火山ガス放出量

表 2 火山ガスの温度と化学組成 (V %)

火山	温度	H <sub>2</sub> O	HF	HCl	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CO <sub>2</sub>	He	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	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	1.28		0.586	0.079	0.148	0.1261
Satuma-Iwo	877	97.5	0.033	0.677	0.984		0.316	3E6	0.474	5E5	8.2E3	1.1E3
	740	97.8	0.048	0.00	0.975	0.075	0.561		0.396		0.035	
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	2.4E4
	350	98.9	0.008	0.20	0.20	0.37	0.29	5E6	3.1E3		4.4E3	
	185	99.2		0.0079	0.066	0.202	0.506		0.015		7.4E3	2.3E5
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	4E6	7.3E4	1.8E4	3.8E3	
Kusatsu	95	97.8		0.0	0.2E3	0.285	1.779	6E6	2.1E5		0.36	
Kirishima	98	97.4			3.4E3	0.660	1.92	3E6	1.4E3	3.3E4	0.018	

Surtsey のガス組成は, Sigvaldason, G. E.(1968)

Kuju のガス組成は, Mizutani et al. (1986)

火山の活動状態やマグマからの脱ガス状態などを知るうえで、火山ガスの放出量の観測が重要である。また、爆発的噴火が起こる前に、火口からの火山ガス放出の停止し、あるいは放出量が著しく少なくなる現象がしばしば目撃される。このことは、火口直下浅部で火山ガスが蓄積し、圧力が上昇して爆発的噴火の引き金となることを示している。このため、噴火メカニズムの解明にも、火山ガス放出量の観測は欠かすことができない。火山ガスのうち、直接放出量を測定できる成分はSO<sub>2</sub>のみである。これは、二酸化イオウが特定波長の紫外線を吸収することを利用し、噴煙による太陽からの紫外線の減衰を測定する（最近では、紫外線相関スペクトロメーター（COSPEC）に代わって CCD 分光器を用いた小型の計測器（DOAS）が用いられている）。また、火山ガスの主成分である水蒸気量は、噴煙を Plume rise と見なし、その上昇過程を追うことで求めることができる。

噴気孔からのガスについては、ピトー管と圧力計を用いて流速を求め、これとガスの密度（実際には水蒸気の密度で代用することが多い）、化学組成から放出量を測定することができる。

土壌ガスについては、地中にパイプを打ち込み、一定時間後にパイプ内に溜まった各ガス成分の濃度測定し、その分布などを調べる。また、地表から拡散放出される二酸化炭素量は、チャンバー法

で測定する。

火山から放出される SO<sub>2</sub> 量は、マグマの性質や活動状況によって異なるが、定常的放出量は日量数十～数千トンである。Mori et al. (2013) は 1975 年～2006 年の測定に基づき、22 火山から放出量される SO<sub>2</sub> 量を取りまとめている（表 3）。それによれば、6 火山での放出量は極めて少なかった。

一方、放出量のもっとも多かった火山は、三宅島で、2000 年噴火後の一時的に約 20 万トン/日の SO<sub>2</sub> 放出が観測されている。この値は日本の全ての火山から放出される平均的な放出量 6,000 トン/日の約 30 倍に相当する。この異常な SO<sub>2</sub> 放出量は、地深部から火口直下浅部に大量に注入された玄武岩質マグマに由来する。この大量の火山ガス放出により、噴火後しばらくの間、島の居住地域でも許容濃度（2ppm）をはるかに超える SO<sub>2</sub> 濃度がしばしば観測された。SO<sub>2</sub> 放出量は時間経過にともなって徐々に減少し、噴火 4 年後には 1,000～2,000 トン/日まで少なくなった。これにより、場所は限定されたものの 4 年半ぶりに帰島することが可能となった。噴火から 15 年が経過した現在、三宅島からの SO<sub>2</sub> 放出量は数百トン/日と極めて少量となっている。

表 3 日本の火山からの SO<sub>2</sub> 放出量(1975-2006)

火山	最高放出量	最低放出量	平均放出量
雌阿寒岳	12	2.6	6
アトサヌプリ	n.d.	n.d.	0
十勝岳	210	140	175
樽前山	24	4.6	15
倶多楽	n.d.	n.d.	0
有珠山	169	n.d.	8
岩手山	0.1	0.1	0
吾妻山	n.d.	n.d.	6
那須岳	n.d.	n.d.	0
浅間山	4,600	25	360
箱根山	n.d.	n.d.	0
伊豆大島	520	30	30
三宅島	199,000	1,100	2,190
九重山	260	3	27
阿蘇山	3,750	19	410
雲仙岳	230	0.1	14
霧島山	20	n.d.	8
桜島	5,480	110	1,641
薩摩硫黄島	1,760	260	574
口永良部島	48	43	1
中之島	40	40	40
諏訪瀬島	1,130	300	579
合計			6,013

Mori et al. (2013) Table 1 より編集 (ton/day)

\* : Time-averaged SO<sub>2</sub> flux of six-monthly data for 1975-2006

前述したように、測定した 22 火山からの平均 SO<sub>2</sub> 放出量は、6,000 トン/日であるが、地熱活動活発化した箱根山、吾妻山などでの放出量増加や口永良部島の最近の SO<sub>2</sub> 放出量が 2,000 トン/日、9 月に噴火した阿蘇山の放出量 1,700 トン/日であること、十分な測定が行われていない火山などを考慮しても日本の火山からの平均的な SO<sub>2</sub> 放出量は 6,000 トン/日程度と考えると差し支えない。火山ガスの平均的な SO<sub>2</sub> ガスの含有量は、水蒸気含有量の 0.01 程度と考えられる。表 3 に示されている火山は SO<sub>2</sub> が測定できる放出量を持つ火山で、これら火山を含め日本の陸上で定常的に火山ガスを放出している火山は約 60 火山あるこ

とも考慮すると、放出される火山ガス放出量は、日量 200,000 ~ 300,000 トン程度と考えられる(但し、地熱井からの放出量は除く)。

また、大噴火が発生した場合には、大量に放出された火山ガスは火山灰など微粒子と共に成層圏まで到達し、世界的な気温の低下が起こる。たとえば、アイスランド Laki 火山 1888 年噴火時には H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> に換算して 3×10<sup>7</sup> トンの硫黄化合物が放出され、世界の平均気温が約 1 度低下した (Sigurdsson, 1989)。

#### 4. 火山ガスの毒性とガス中毒事故

火山ガスに含まれる成分のうち、HF、HCl、SO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S、CO<sub>2</sub>、CO は毒性を有し、これまで火山周辺でたびたび中毒事故を引き起こしてきた。

世界で最も大きな火山ガス災害は、1986 年 8 月に発生したアフリカ・カメルーン国 Nyos 湖の事故で、約 1,700 名が犠牲となった。Nyos 湖は長径約 2km、短径約 1km、水深 200m のバケツ状の地形で、深部湖水には湖底から定常的に CO<sub>2</sub> が供給されている。このため、事故の起こる前の深部湖水は CO<sub>2</sub> ガスが飽和に近い濃度であった。事故当時の Nyos 湖周辺は雨期であり、冷たい地表水の流入などで深部湖水が上昇し、溶存していた CO<sub>2</sub> が発泡したために、短時間に湖水中に溶存していた CO<sub>2</sub> 約 1Km<sup>3</sup> が湖面から放出されと考えられている。

Nyos 湖の災害ほど大規模ではないが、1979 年にインドネシア ディエン高原でも CO<sub>2</sub> ガスによって 142 名の死者がでるガス災害が発生した (Le Guern, 1982)。この事故は、火口から放出された 100% 近い高濃度の CO<sub>2</sub> ガスが山体に沿って流下している場所に、噴火から避難してきた多くの人が入り込んだために発生した。

日本でも、量は少ないものの湖底から CO<sub>2</sub> が供給されている湖もあるが、日本には四季があるために少なくとも年に 1 回は湖水が循環し、湖水中に大量の CO<sub>2</sub> が蓄積されることはない。

日本では一度に大勢の犠牲者は出ていないが、火山ガスによる事故が 1950 年以降 13 の火山で発生し、平均して毎年約 1 人が亡くなっている。表 4 に 1950 年以降、日本で発生した火山ガス中毒事故をまとめた。また、表 5 には、毒性を持つ火山ガス成分の臭気を感じ始める濃度、致死濃度、許容濃度を示した。

表 4 1950 年以降, 日本で発生した火山ガス事故

年 月 日	場 所	事故内容	死者	ガス
1951/11/5	箱根湯の花沢	露天風呂,	2	H <sub>2</sub> S
1952/3/27	同上	浴室,	1	H <sub>2</sub> S
1954/7/21	立山 地獄谷	露天風呂,	1	H <sub>2</sub> S
1958/7/26	大雪山 御鉢平		2	H <sub>2</sub> S
1961/4/23	立山 地獄谷		1	H <sub>2</sub> S
1961/6/18	大雪山 御鉢平		2	H <sub>2</sub> S
1967/11/4	立山 地獄谷	キャンプ	2	H <sub>2</sub> S
1969/8/26	鳴子	浴室	1	H <sub>2</sub> S
1970/4/30	立山 地獄谷	温泉作業	1	H <sub>2</sub> S
1971/12/27	草津白根山	スキー	6	H <sub>2</sub> S
1972/10/2	箱根 大涌谷		2	H <sub>2</sub> S
1972/12/28	那須岳 湯本	浴室	2	H <sub>2</sub> S
1972/11/25	立山 地獄谷	温泉作業	1	H <sub>2</sub> S
1975/8/12	立山 地獄谷		1	H <sub>2</sub> S
1976/8/4	草津白根山	登山	3	H <sub>2</sub> S
1980/12/20	安達太良山	雪洞	1	H <sub>2</sub> S
1985/7/22	立山 地獄谷	湯だまり	1	H <sub>2</sub> S
1986/5/8	秋田焼山	谷	1	H <sub>2</sub> S
1989/2/12	阿蘇 中岳	火口縁	1	SO <sub>2</sub>
1989/8/26	霧島 新湯	浴室	2	H <sub>2</sub> S
1989/9/1	那須岳	作業中	3	H <sub>2</sub> S
1990/3/26	阿蘇 中岳	火口縁	1	SO <sub>2</sub>
1940/4/18	阿蘇 中岳	同 上	1	SO <sub>2</sub>
1990/10/19	阿蘇 中岳	同 上	1	SO <sub>2</sub>
1994/5/29	阿蘇 中岳	同 上	1	SO <sub>2</sub>
1997/7/12	八甲田 沼の平	ガス穴	3	CO <sub>2</sub>
1997/9/15	安達太良	登山	4	H <sub>2</sub> S
1997/11/23	阿蘇 中岳	火口縁	2	SO <sub>2</sub>
2005/12/29	湯沢 泥湯温泉	雪洞	4	H <sub>2</sub> S
2010/6/20	八甲田 酸ヶ湯	山菜取り	3	H <sub>2</sub> S?
2015/3/18	秋田 乳頭温泉	温泉作業	3	H <sub>2</sub> S

小坂ほか, 1998 を加筆・修正

表 4 から明らかなように火山ガス中毒事故の原因の 80% 以上は, H<sub>2</sub>S ガスである。次いで SO<sub>2</sub> による事故が多いが, SO<sub>2</sub> によるガス事故は, 阿蘇山のみで発生している。CO<sub>2</sub> ガスによる事故は, 1997 年八甲田山麓沼の平の 1 件のみである(平

林, 1997)。

日本で H<sub>2</sub>S による事故が多い原因は, 定常的に火山ガスを放出している火山の多くは観光地であり, 観光客や登山者が火山ガスの発生場所周辺に容易に立ちることができること, ほとんどの火山の火山ガス中に H<sub>2</sub>S が比較的多く含まれること, 極めて低濃度でも臭気を感じるが, 時間経過に伴って徐々に臭気を感じられなくなること, 高濃度の H<sub>2</sub>S ガスはあまり臭気がないことなどの理由で, 死に至る高濃度(約 700ppm 以上)の H<sub>2</sub>S が滞留している場所に容易に近づくことができるためである。

表 5 火山ガス成分の毒性

ガス成分	臭気感じる濃度	致死濃度	許容濃度
HF	?	600 ppm*1	3 ppm
HCl*2	1 ppm	1,000 ppm	5 ppm
SO <sub>2</sub> *3	0.3~1 ppm	500 ppm	2 ppm
H <sub>2</sub> S	0.06 ppm	700 ppm	10 ppm
CO <sub>2</sub> *4	臭気無	40 %	5,000 ppm
CO*5	臭気無	1,500ppm	50 ppm

\*1: モルモットによる吸入致死濃度

\*2: 10 ppm で粘膜が刺激される。

\*3: 30~40 ppm で呼吸困難となる。

\*4: 9%で5分, 10%で1分間でも死亡した例もある。

10~15%では数呼吸で昏睡状態になるとも言われている。

\*5: 1,500 ppm の環境下に1時間滞在で生命危険となる。

これに対して, H<sub>2</sub>S とともに SO<sub>2</sub> ガスを噴出している火山も多いが, SO<sub>2</sub> ガスは刺激的であり, 20ppm 程度の濃度で咳き込みや目に刺激を感じ, 死に至る高濃度の SO<sub>2</sub> が滞留している場所には近づくことはできない。このため, 直接高濃度の SO<sub>2</sub> ガスを吸引しての事故は起こりにくい。SO<sub>2</sub> による死亡事故が発生している阿蘇山では, 火口底近くに SO<sub>2</sub> に富んだ火山ガスが放出されているが, 火口縁まで上昇してくる間に希釈され致死濃度にはならない。しかし, 数 ppm の低濃度の SO<sub>2</sub> ガスでも喘息などの持病のある高感受性のある人は発作を起し, これが原因で死に至ったと考えられている。

日本で唯一発生した八甲田山麓の CO<sub>2</sub> ガス災害は, 夜間訓練中の自衛隊員 3 名が高濃度(15~20%)の CO<sub>2</sub> ガスが滞留していた深さ約 8m の穴に入り込んだために発生した。CO<sub>2</sub> ガスは, 死に至る高濃度でも無色・無臭のためにその存在に気が付かない。

参考のために、図 1 に北方領土と海底火山を除き、定常的に火山ガスが噴出している火山と、そのうち火山ガス災害が発生した火山の分布を示した。



図 1 定常的に火山ガスが出ている火山と、火山ガス災害が発生した火山の分布（除く、北方領土の火山と海底火山）

### 5. 火山ガス事故の防止にむけて

草津白根山では、ボーリングにより噴出させた火山ガスを、沢水を貯めた水槽に導入して温泉造成を行っていた。初めは冷たかった水槽の水は火山ガスを導入することによって温度が上昇し、水に溶解できなくなった  $H_2S$ ,  $CO_2$  が水槽から溢れ出し、谷地形のスキーコースに高濃度で滞留していたために 6 名が犠牲となった(1971 年)。また、1976 年には低温の噴気地帯の近接する登山道で  $H_2S$  により 3 名が亡くなった。これを受けて地元自治体は再発防止に向けて、草津白根山一帯の火山ガス噴出点とそれぞれの危険度の調査を実施した。これを基に、危険度別の  $H_2S$  ガス災害マップを作り、特に多くの観光客が集まる場所に注意を喚起する案内板を設置すると共に、立ち入りが容易でガス事後の再発が危惧される場所に自動測定・警報システムの設置を行った。これによって、以後草津白根山では  $H_2S$  によるガス災害は発生していない。

1997 年には、原因となったガス成分が異なるガス事故が八甲田山、安達太良山、阿蘇山で立て続

けに発生した。一連のガス事故を受けて、当時の科学技術庁は、「火山ガス災害に関する緊急研究」を立ち上げ、研究成果を立ち入り規制の見直し、登山道・自然公園計画等の見直し、火山ガス監視体制の強化等に活用するために、1) 火山ガスが地下のマグマから大気中に放出されるまでの過程、2) 火山ガスが大気中に放出された後の研究を行った。また、得られた研究成果を基に、火山ガス災害の特性や再発防止にむけ、一般市民への啓発活動も併せて実施した。

また、自治体等は危険地域の把握、危険地帯への立ち入り規制などの措置を取ったなどの理由で、しばらくは火山ガスによる人的被害は発生しなかった。

このような再発防止に向けた努力によってガス事故の発生頻度は少なくなったものの、2005 年には秋田県湯沢の泥湯温泉で 4 名が、2010 年には青森県酸ヶ湯温泉近くで 3 名、2015 年には秋田県乳頭温泉で 3 名が死亡する事故が発生している。

火山ガスによる人身事故を起こさないために、各自治体による火山ガス噴出地点とその危険度の調査、その結果に基づいた危険を喚起する案内板や規制柵の設置、必要があれば自動測定・警報装置の設置などの措置を講じることが重要である。一方、火山地帯を立ち入る人は、一人ひとりが、火山や火山ガスに対する最低限の知識を持つこと、立ち入る場所について自治体が設置した危険を知らせる案内を確認することが重要である。以下に火山ガス災害から自分を守るために知ってほしいことを纏めた。

- 1) 立ち入る地域に火山ガス噴出している場所があるかの確認。
- 2) 毒性のある火山ガス成分は、 $CO$  を除き、いずれも空気より重く、窪地や谷地形などの低い場所に滞留する。
- 3) 登山道から外れたり、規制柵などを乗り越え、火山ガス噴出地域やガスが滞留している場所に近づかない。
- 4)  $H_2S$  などの臭気を感じたり、気分が悪くなった場合は、風上の高い場所の避難する。
- 5) また、火山ガスは水に溶けやすい為、濡れタオルなどで口を覆い呼吸する。

などに知識と行動によって、火山ガス災害をある程度防ぐことができる。万が一、近くの人が高濃度の  $H_2S$  などを吸引し、倒れた場合には、ガスが滞留して場所から風通しの良い高い場所に引き出すことで生命は確保できる。

## 参考文献

- 1) 科学技術庁 (1998): 平成9年度科学振興調査「火山ガス災害に関する緊急研究」の成果報告書.
- 2) Osaka, J., Ozawa, T., Nomura, T., Osaka, T., Hirabayashi, J., Takaesu, T. and Hayashi, T. (1980): Variation of chemical compositions in volcanic gases and waters at Kusatsu-Shirane volcano and its activity in 1976. *Bull., Volcanol.*, 43, 207-216.
- 3) 小坂丈予・平林順一・野上健二・山元雅弘 (1998): わが国における火山ガス人身災害の発生要因とその災害防止対策. *自然災害学*, 17-2, 131-153.
- 3) Mizutani, Y., Hayashi, S. and Sugisaki, T. (1986): Chemical and isotopic compositions of fumarolic gases from KUJU-Iwoyama, Kyushu, Japan. *J. Geochem. J.*, 20, 273-285.
- 4) Mori, T., Shinohara, H., Kazahaya, K., Hirabayashi, J., Matsushima, T., Mori, T., Ohwada, M., Odai, M., Iino, H. and Miyashita, M. (2013), Time-averaged SO<sub>2</sub> fluxes of subduction-zone: Example of a 32-year exhaustive for Japanese volcanoes. *JGR*, 118, 8662-8674.
- 5) Sigvaldason, G. E. and Elisson, G. (1968): Collection and analysis of volcanic gases at Surtsey, Iceland. *Geochim. Et Cosmochimi. Acta*, 32, pp.797-805.
- 6) Sigurdsson, H. (1989): Assessment of the atmospheric impact of volcanic eruptions, *Proceedings of the Conference on Global Catastrophes in Earth History*,
- 7) Shinohara, H. (2005): A New Technique to Estimate Volcanic Gas Composition; Plume Measurements with a Portable Multi-Sensor System. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 143, pp.319-333.
- 8) Hirabayashi, J., Osaka, J. and Ozawa, T. (1986): Chemical Study on volcanic gases at Sakurajima volcano, Japan. *JGR.*, 91, 12167-12176.
- 9) 平林順一 (1997): 八甲田山山麓の火山ガス災害. *地熱*, 19, 233.
- 10) Le Guern, F., Tazieff, H. and Faivre Pierrt, R. (1982), An example of health hazard: People killed by gas during a phreatic eruption: Dieng Plateau (Java, Indonesia), February 20th 1979. *Bull. Volcanol.*, 45, 153-156