

火山ガスから身を守るには

平成9年度科学技術振興調整費
「火山ガス災害に関する緊急研究」の成果



写真:安達太良山沼ノ平火口(撮影:藤森凌一氏)

科学技術庁

研究推進委員長の言葉



近年は娯楽や休養を野外に求める傾向が高まり、休日ともなれば多くの人々が山野を訪れて自然を愛好する風潮が盛んになってきたことは真に喜ばしいことでもあります。しかしその反面、高度の知識や技術を必要とする難しい山の登山などに、それらの

訓練の行き届かない一般客などが多数参加され、このため山岳事故も増加しつつあることも事実であります。しかもその一部に、日本には多い火山地域の登山や観光に際して、火山ガスによる事故が発生している事は余り知られておりませんでした。

ところが昨年の1997年には7月12日に八甲田山で3人、9月15日には安達太良山で4人、11月23日には阿蘇山で2人の計9人がそれぞれことなった火山ガスが原因と考えられる事故で、相次いで死亡されました。そのためこれら火山ガスによる事故についての世間の関心が、これまでに高く高まって参りました。

この時にあたり科学技術庁では、急遽科学技術振興調整費による「火山ガス災害に関する緊急研究」を企画・立案され、早速実行にうつされたことは、真に時宜を得たものと言えましょう。

研究の陣容は各省庁にまたがる5つの国の試験研究機関が合同もしくは協力して、火山ガスの発生・放出機構から空中での蔓延状況、或いはその罹災状況の測定や把握など、火山ガス並びに火山ガス災害全般にわたるもので、これまで目に見えない、とらえどころの少ない火山ガスであっただけに、なおざりにされてきた“見えざる脅威”にたいする画期的な取り組みと言えると思います。

これまで多くの研究者の協力で進められてきたこの緊急研究の成果を、一般の方々にも出来るだけわかり易くお伝えしたいと思い、その概要を以下にお示しました。これらの貴重な研究結果が、今後の火山ガス災害の発生の防止や、被害の軽減に少しでも役立てられる事を、切に願って止みません。

最近の火山ガス災害

平成9年は、様々な火山ガス事故が発生し、9名が死亡しています。国内の火山ガス中毒事故による年間死亡者としては最も多く、しかもそれぞれ別な種類の火山ガスが原因となっています。

- 日時:7月12日
- 場所:青森県八甲田山の田代平の窪地
- 死亡者:自衛隊員3名
- 原因:二酸化炭素
- 状況:夜間演習中の陸上自衛隊員23人の内、負傷で離れた隊員の1人が過って急斜面の凹地に落ち込んだ。これを助けようとした隊員が次々と呼吸困難から意識不明となって18名が倒れ、3名が死亡した。

- 日時:9月15日早朝
- 場所:福島県安達太良山の沼ノ平
- 死亡者:登山者4名
- 原因:硫化水素
- 状況:14人のパーティの一行が、沼ノ平付近で霧のためにルートを見失い、有毒ガスが滞留していた沢に足を踏み入れ、4名が死亡した。事故当時、山頂付近はほとんど無風状態であった。

- 日時:11月23日
- 場所:熊本県阿蘇山中岳第一火口周辺
- 死亡者:観光客2名
- 原因:二酸化硫黄
- 状況:午前9時半頃、51歳の男性が火の国橋付近で倒れ、病院に搬送されたが死亡した。この男性は喘息の持病を有していた。午前10時40分前後62歳の男性が同じ火の国橋付近で倒れ死亡した。当日は5m/秒程度の北風が吹いていた。



八甲田山 田代平の災害現場 (写真提供:青森県)

研究の特徴

●本緊急研究は、5つの国の試験研究機関（地質調査所、防災科学技術研究所、資源環境技術総合研究所、国土地理院、気象研究所）の共同研究として行われました。

●大きく2つの領域の研究から構成されています。

★ガスが地下のマグマから大気中に放出されるまでの研究
「火山ガス発生・放出機構の解明」

（火山ガスはどのように発生し、どこから噴出するか？）

★ガスが大気中に放出された後の研究

「火山ガスの拡散現象の解明」

（どんな場所が危険いか、ガスの濃度はどのくらいか？）

●火山ガス研究以外の領域からの研究者の参画により、新たな切り口での研究が行われています。

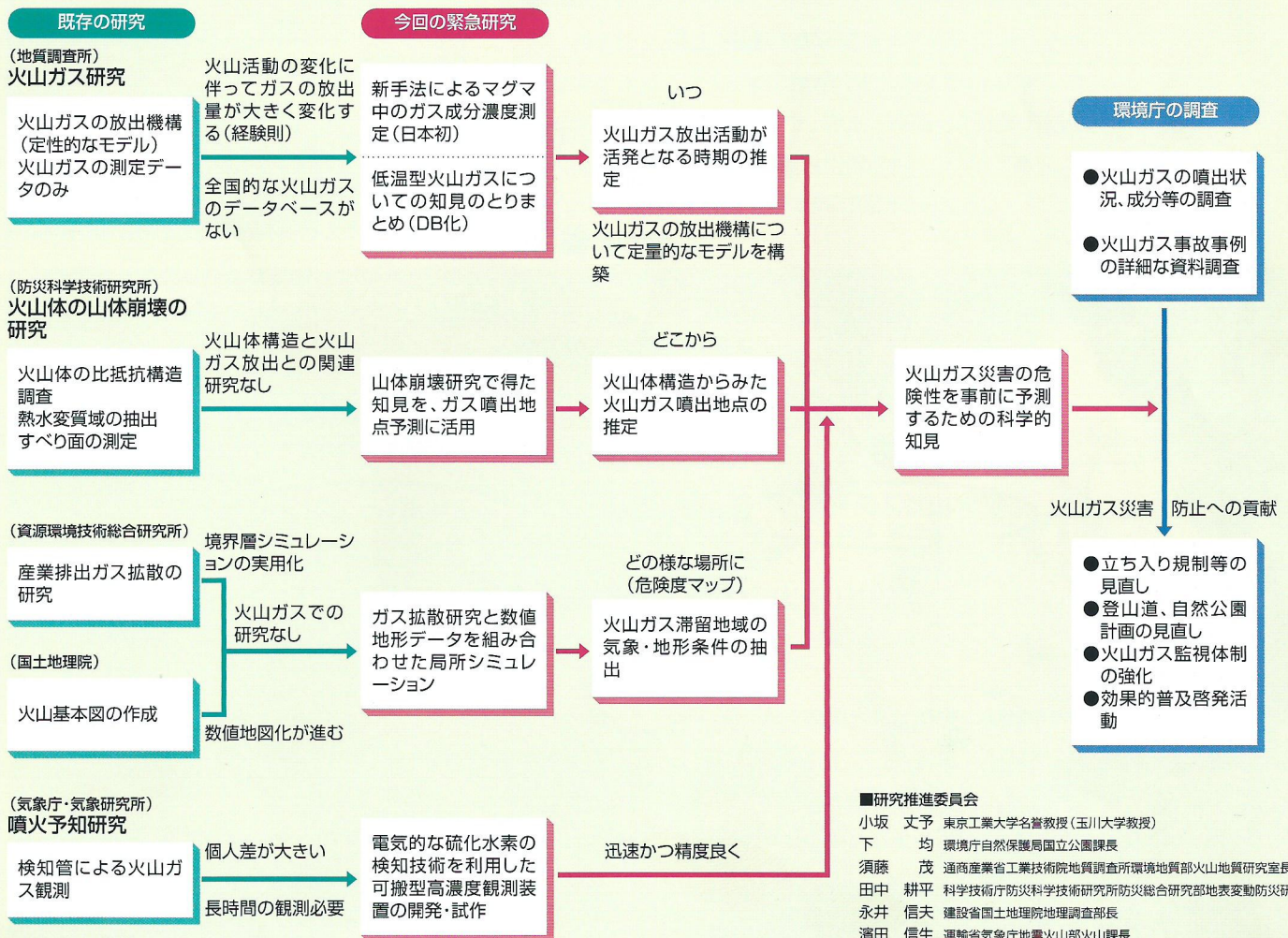
★火山体の崩壊研究（火山体比抵抗構造調査）で得られた知見を、火山ガス放出地点の推定に活用

★工場からの大気汚染ガスシミュレーション研究と数値地形データを組み合わせて、火山ガス拡散研究へ適用

●環境庁が行った火山ガス災害の実態調査（火山ガスの噴出状況・成分調査、火山ガス事故事例の資料調査）との連携を図っています。

●研究成果は、立ち入り規制等の見直し、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されます。

火山ガス研究の現状と本緊急研究のねらい



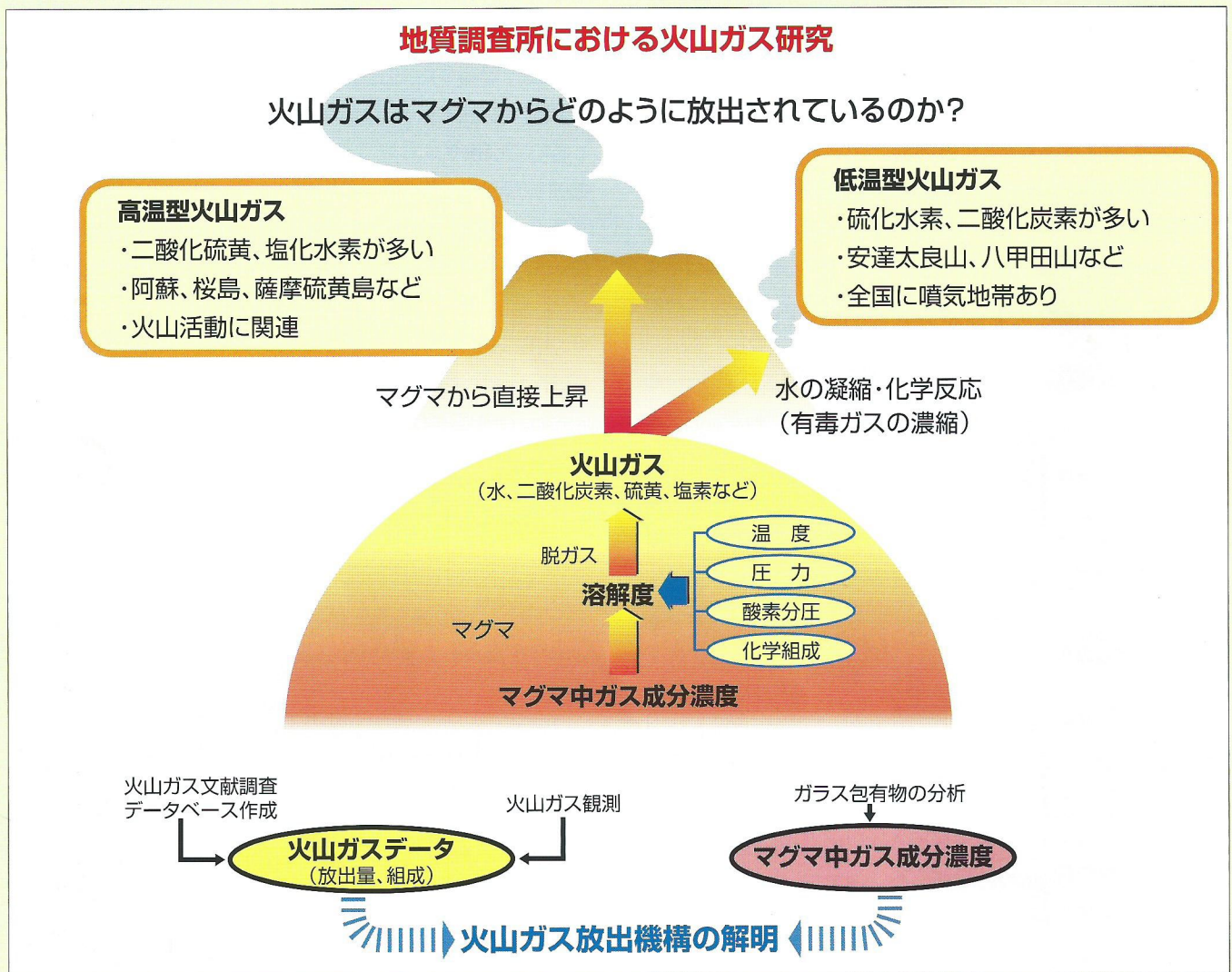
火山ガスはいつ・どこから発生するのか？

火山ガス源と放出機構に関する研究

実施機関 通商産業省工業技術院地質調査所

研究概要

高温型火山ガスを放出している阿蘇山について、火山ガス放出量の観測およびマグマ中のガス成分濃度の測定を行いました。また、各火山の火山ガスに関する文献を収集・整理し、緊急時にも迅速に利用できるような文献データベースを作成しました。



火山ガスとマグマの関係は、炭酸ガスと炭酸飲料水の関係に似ています。マグマの条件(温度、圧力、化学組成など)が変化し、マグマ中に溶け込むことのできる揮発性成分(主に、水、二酸化炭素、硫黄、塩素など)の量が少なくなると、これらはガスとして放出(脱ガス)されます。

私たちが目にする火山ガスには、高温型と低温型火山ガスの2つのタイプがあります。高温型はマグマ起源のガスがほぼ直接的に地表に放出されたもので、二酸化硫黄が比較的多く含まれます。低温型はガスが地中を上昇中に水の凝縮、ガス

成分同士の反応などによる変質が進んだもので、二酸化炭素や硫化水素が比較的多く含まれます。

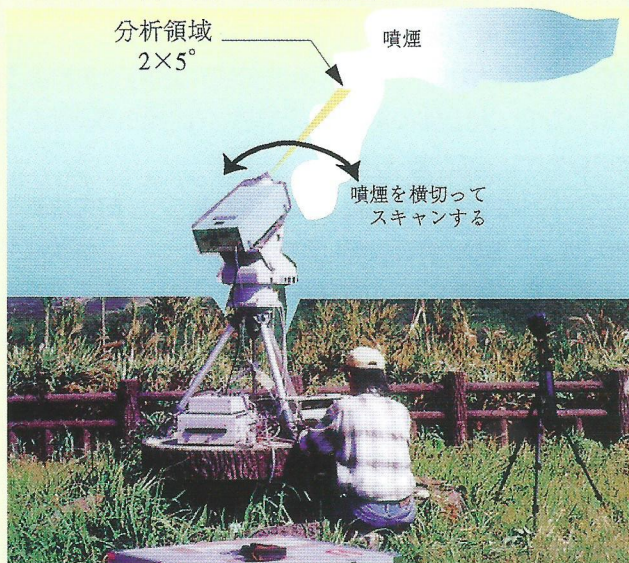
高温型火山ガスの組成や放出量はマグマの脱ガス過程や火山活動に関係していますから、ガス源(マグマ)からの発生及び放出機構を詳しく知ることが、事故防止につながります。また低温型の噴気は小規模ですが、数が多いため注意が必要です。噴気地帯の場所やその組成に関する情報の普及が事故防止に役立ちます。

火山ガス観測



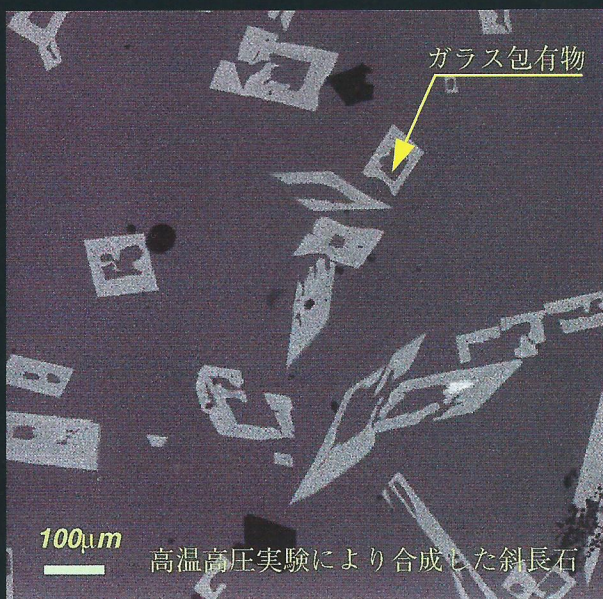
火山ガスを直接採取し分析する

COSPEC等を用いた遠隔測定



紫外線相関スペクトロメーター (COSPEC) は、火山ガス中の二酸化硫黄によって紫外線が吸収される度合いから、その濃度を遠隔観測する装置です。平成10年3月の観測の結果、現在の阿蘇火山の二酸化硫黄放出量は91トン/日であり、阿蘇火山の静穏な活動期の典型的な値を示しました。

ガラス包有物はマグマからの手紙



高温高圧実験により合成した斜長石



阿蘇山 acp-1 軽石中の斜長石

ガラス包有物は、鉱物内に包有されたマグマ(珪酸塩メルト)がガラス化したものです。直径百分の一ミリ程度しかありませんが、脱ガス前の揮発性成分濃度を記録している「マグマからの手紙」です。この分析結果から、阿蘇火山のマグマ中の水の濃度は3-5重量%、二酸化硫黄は最大1600ppm、塩化水素は最大800ppmであることが予想されています。

火山ガスはどこから出てくるのか？

火山体構造からみた火山ガス噴出地点推定に関する研究

実施機関 科学技術庁防災科学技術研究所

研究概要

八甲田山における自衛隊員の死亡事故など、一見したところ噴気孔とは分からない場所で火山ガス事故が発生しています。このため、ガス噴出地点を事前に知り防災に活用できるよう、ガス噴出地点が火山体の構造から見た場合どのような場所であるかを、火山体の電気の流れ易さ(比抵抗構造)の視点から解明しました。

調査方法

火山ガスや温泉水が地下深部から岩石の割れ目を通して上昇する際、周辺の岩石を変質させます。このような場所は、一般に電気を通しやすいので、MT法(ある場所での磁力と地面に流れる電流を測り、地下の電気抵抗を推定する方法)を用いて、噴気地帯が明らかな霧島山で約3.5kmにわたる測線を計測し(図1)、ガスの噴出地点を推定することを試みました。

研究成果

噴気地帯では電気の流れやすい部分が地表まで達して、その両側では電気を通しにくい(高比抵抗)新鮮な溶岩が分布しています(図2)。他の火山でも、この様に電気の流れやすい部分が地表にまで達してる場所に、噴気孔や温泉があることが多いことが知られています。

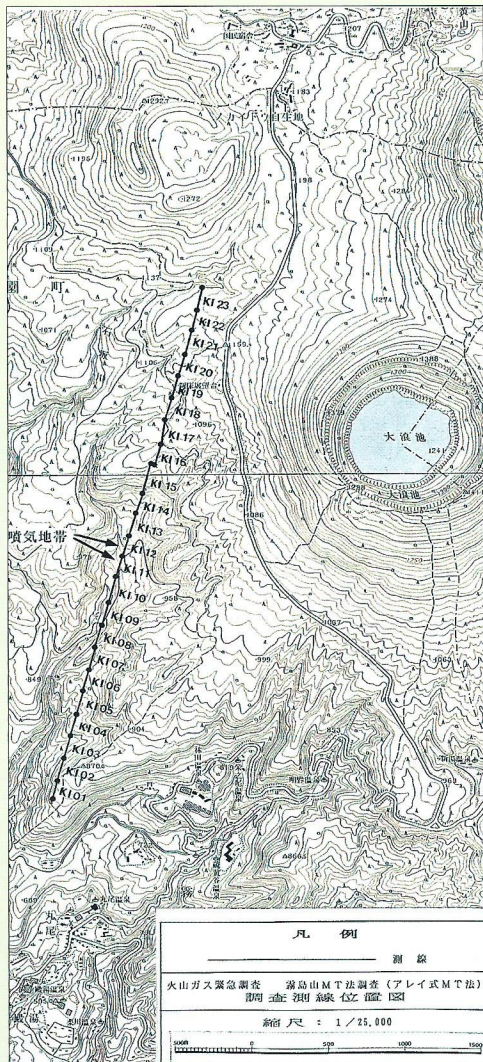


図1 測定位置図

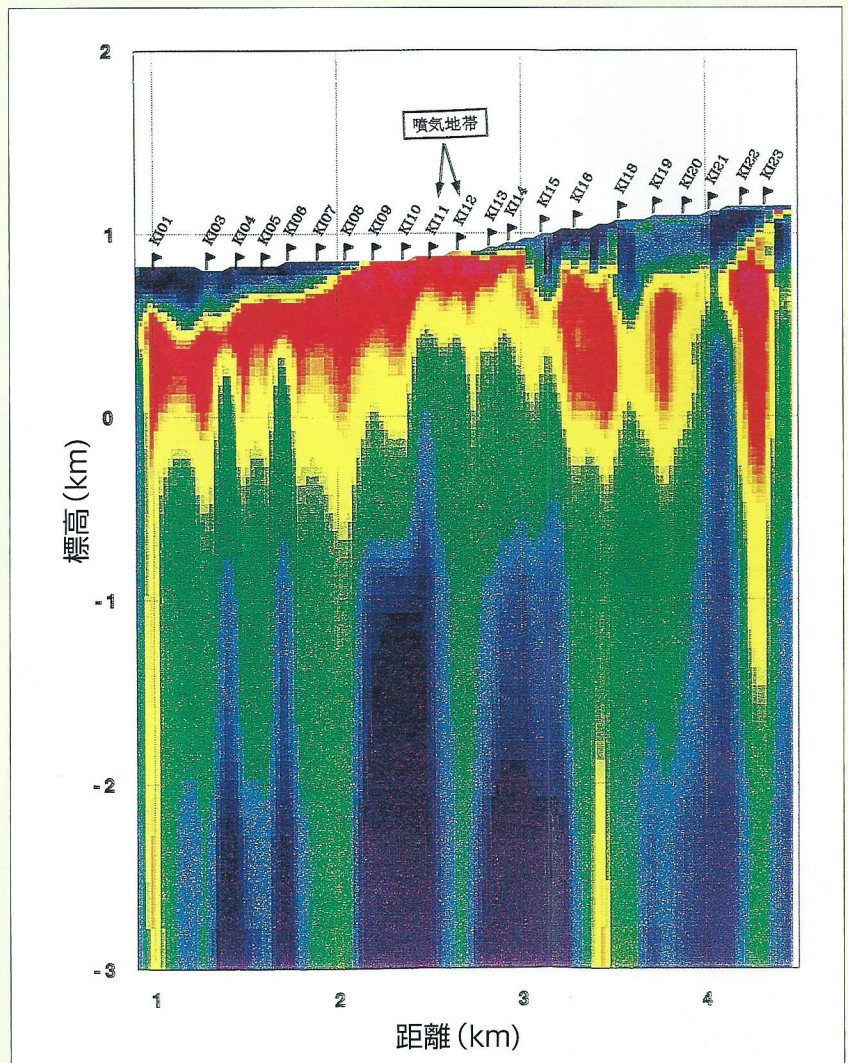


図2 比抵抗断面図 赤い部分が電気が流れやすい場所

トピックス

火山ガスの特徴

●二酸化硫黄(亜硫酸ガス) SO₂

- ・無色であるが不快で強い刺激臭がある。
- ・比較的火山活動が活発な火山の火口やその周辺の温度の高い噴気孔から放出される。一般に、温度の高い火山ガスに多く含まれている。(浅間山、三原山、阿蘇山、桜島、など)
- ・呼吸器の粘膜に直接作用し、呼吸困難をもたらす。
- ・喘息患者では、健康者と比べて極めてわずかな濃度(0.2ppm)でも発作を起こし、死に至ることがある。(本人が自覚していない、潜在的喘息持ちが4%存在する。)
- ・非常に水に溶けやすいので、濡れティッシュ等で鼻や口を覆うだけでも有効。

●硫化水素 H₂S

- ・無色で、卵の腐ったような悪臭を放つ。
- ・高濃度(150~200ppm)になると、臭覚が麻痺していつのまにか悪臭を感じなくなるので十分注意。
- ・比較的火山活動が穏やかな火山の火口、山腹や山麓の噴気ガス(低温型ガス)中に多く含まれる。これら火山周辺の温泉水からも、分離発生する。

- ・目で見えない形でじわじわ出ているため危険なガスである。→火山ガス事故の大部分を占める。
- ・非常に毒性の強い神経性のガスで、呼吸中枢を麻痺して呼吸困難をもたらす。
- ・水に溶けやすいので、濡れタオル等で鼻や口を覆うとある程度有効。
- ・空気より重いので、低い地形にたまりやすい。

●二酸化炭素(炭酸ガス) CO₂

- ・無色無臭で、噴出箇所周辺の植生にも変化がないので、気づきにくい。
- ・火山活動の最も衰退した地域で発生する可能性が高い(低温型ガス)
→危険箇所の発見や事故発生の予測が最も困難。
- ・死亡の原因は、高濃度の二酸化炭素による酸欠。
- ・カメルーンのニオス湖の事例のように一度に多くの人が死亡する事故がある。
(湖水中に溶けていた二酸化炭素が火山活動で気化噴出→麓の盆地の村を襲い、約1700人が死亡)
- ・空気より重いので、低い地形にたまりやすい。



阿蘇山 中岳 第一火口(撮影:須藤 茂氏)



草津白根 白根沢(撮影:小坂丈予氏)
昭和51年8月 集団登山中の3人が死亡した現場

火山ガスの濃度と人体影響(H₂SとSO₂) 小坂(1992):中毒研究Vol.5より作成

	0.01	0.1	1	10	100	1000ppm
二酸化硫黄 (ppm)		▲環境基準 (1日平均値)	▲環境基準 (1時間値)	●感知 ▲作業環境許容濃度	●喉嚨刺激 ●眼刺激のどのせきこみ	●短時間(0.5時間)耐える最高濃度
硫化水素 (ppm)			●感知	●不快臭 ●眼炎症 ▲作業環境許容濃度	●粘膜疼痛 30分耐える	●亜急性中毒 (意識不明) ●30分で生命危険 ●急性中毒 (即死)

症状と濃度の関係は一般成人のものだが、個人差がある

どんな時にどんな場所が危ないのか？

火山ガスの局所拡散シミュレーションによる火山ガス災害の気象・地形

研究概要

阿蘇山と安達太良山について、風洞実験、水理実験及び数値シミュレーションを実施し、地上に放出された火山ガスが気象・地形条件によってどのように拡散するかを明らかにしました。

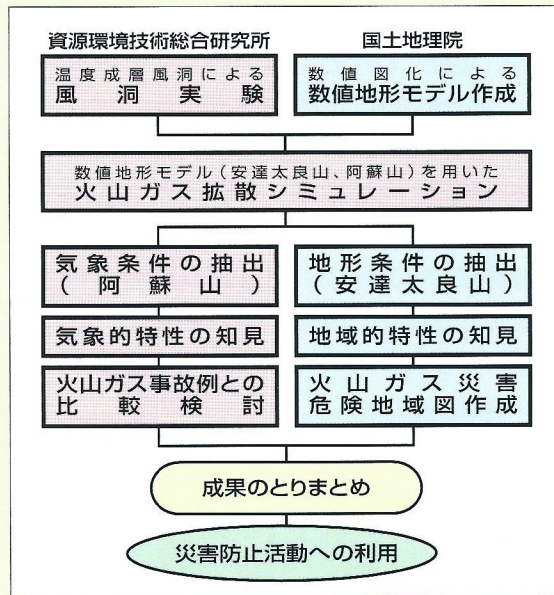


図1 研究フロー

阿蘇山の火山ガス拡散シミュレーション

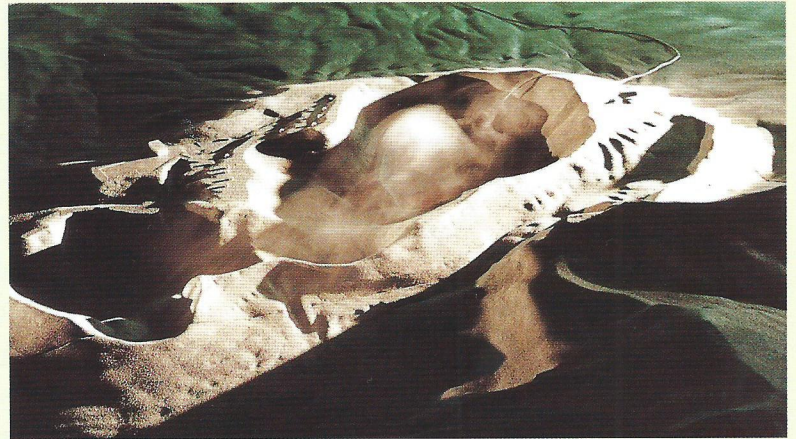


図2 阿蘇山の風洞実験の様子
風洞風速 0.2m/秒
(実風速 8.8m/秒)

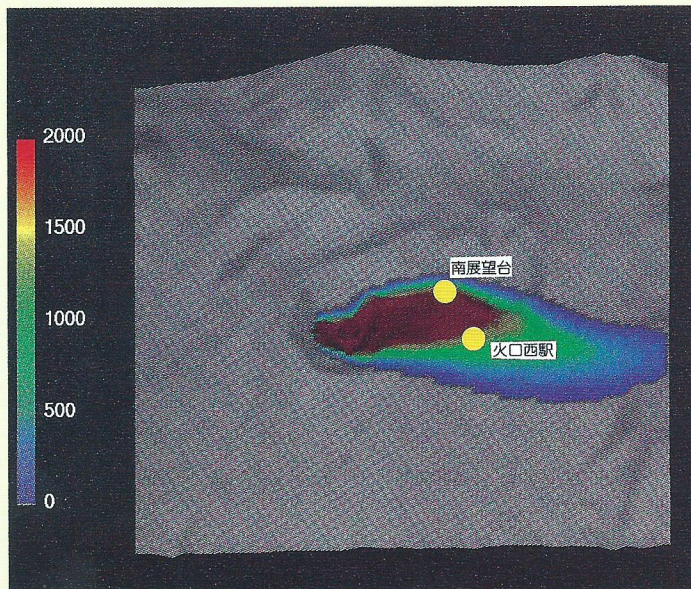


図3 数値シミュレーションによる地上の二酸化硫黄濃度

1997年11月23日午前10時ころの設定。

単位はppb(0.001ppm)で、草千里方面から高岳方向を見た図

二酸化硫黄、硫化水素、二酸化炭素などの火山ガスは有毒であり、空気より重いので気象条件によっては窪地にたまったり、温度が高ければ上昇したりするなど、気象や地形によって挙動が大きく変化します。

通産省工業技術院資源環境技術総合研究所では、風洞(図2)を用いて地形の作り出す拡散パラメータを調べ、これを従来大気汚染の分野で用いられてきた気象と拡散の数値シミュレーションに導入して阿蘇山の噴火口からの二酸化硫黄の拡散と気象条件の関係を調べました。

阿蘇山の場合の有毒火山ガスは、二酸化硫黄が主であり、高温で噴出します。火口内の噴気口から出たガスは、一旦火口内で一部風上側にも広がりますが、多くは風下側から火口の外側に流れ出てきます。ガスの多くは上昇していきますが、北よりの風の時には2ppm以上の高濃度が火口西駅から南展望台にかけて現れます(図3)。これらの実験とシミュレーションにより、阿蘇山の場合の二酸化硫黄の拡散は、地形よりも風向きなどの気象条件に大きく左右されることがわかりました。このことは、現地での観光の安全にとって重要な情報となります。

安達太良山の火山ガス拡散シミュレーション



模型を冷やした場合



模型を暖めた場合

図4 安達太良山の水理模型実験の様子

火山ガスは地表面温度の違いによってもその挙動が大きく変わってきます。

安達太良山では、沼ノ平から硫化水素ガスが噴出しています。図4は水理模型を用いてガスの拡散状況を調べたものです。左の写真は、模型を冷やした場合であり、染料は高いところから低いところへ地形に沿って流れます。これは、夜間や日射のない状況に対応します。実験では黄色い染料を向こう側の3点、青い染料を手前の1点から出しています。右の写真は、模型を暖めた場合ですが、染料は山の方へ上昇していきます。模型を暖めた場合は昼間、日射が当たる条件に対応します。したがって、夜間や日射がなく、風もない日には低い地形のところのガスの濃度がきわめて高くなっている場合があり、このようなところには入らないよう注意することが必要です。図5は、地質調査所の調査に基づいて噴気口を入れて沼ノ平周辺での硫化水素濃度を計算した結果です。濃度は噴気口のすぐ近くが最も高いですが、一部は谷筋を上がっていく様子が見られます。この場合、谷での濃度はそれほど高くなりません。

図6は、谷や凹地のように周囲に比べて低い地形や、火口壁付近のように傾斜が急激に変化する場所など、火山ガスが溜まりやすく、拡散しにくい条件の地形を抽出したものです。火山ガスがこうした地域の中や近くで噴出している場合は、大変危険な箇所になります。

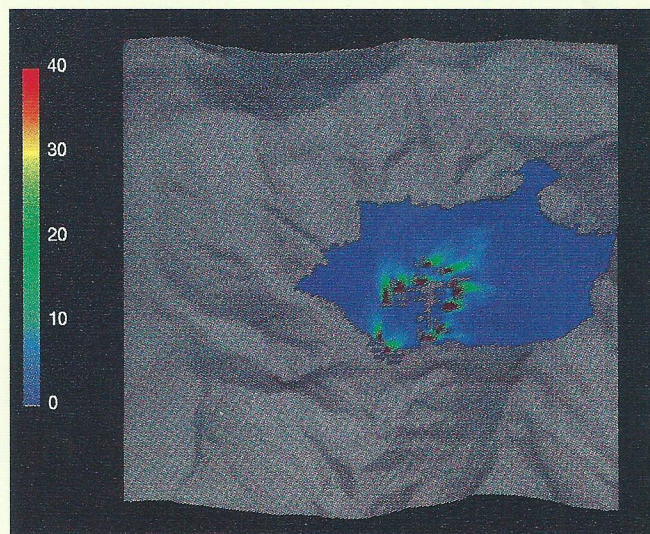


図5 数値シミュレーションによる地上の硫化水素濃度 (単位:ppm)

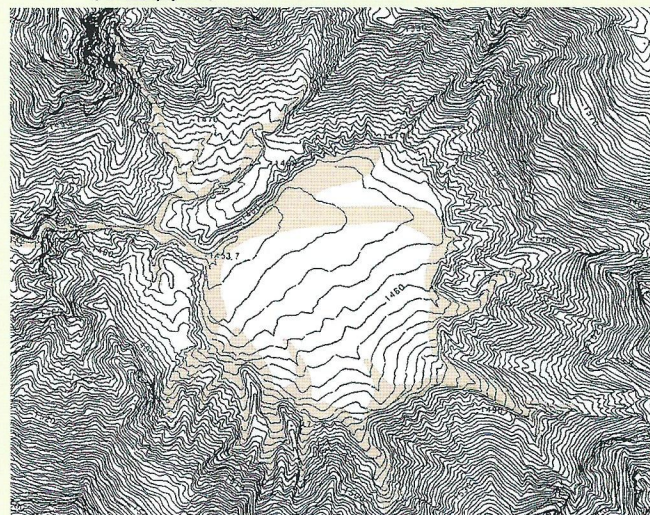


図6 地形条件による「沼ノ平」の火山ガス滞留予想地域 (縮尺1:10,000)

火山ガスの観測を迅速・安全かつ精度良く！

火山ガスの現地観測技術の高度化に関する研究

実施機関 運輸省気象庁気象研究所

研究概要

高濃度の硫化水素ガスを短時間に精密に測定できる可搬型高濃度火山ガス観測装置を試作・開発しました。この装置を用いると、多くの噴気地帯で効率的に火山ガスの観測ができるようになり、火山ガス災害の軽減や火山活動監視のために役立つことが期待されます。

気象庁は火山活動の把握のために種々の観測を行っています。噴気地帯などにおける火山ガスの観測もその一つで、これまで検知管方式と呼ばれる方法で行ってきました。この方法には次のような問題点がありました。

検知管による火山ガス観測の問題点

- ・ 測定に個人差が入りやすく精度が悪くなる
- ・ 測定に時間がかかり危険を伴う

このため、最近のセンサー技術の進展を踏まえ、高濃度の硫化水素ガスを迅速に高精度で測定できる可搬型高濃度火山ガス観測装置を試作・開発することとしました。

開発のポイント

- ・ 対象ガス:0~100%の硫化水素
- ・ 迅速、高精度に測定できる
- ・ 小型で携帯可能である
- ・ 乾電池で作動する

感部には定電位電解式というガスセンサーを用いました。

定電位電解式ガスセンサーの特徴

- ・ 小型、軽量で消費電力が小さい
- ・ ガスに対する応答が速く短時間で測定可能
- ・ 出力がガス濃度に比例し測定精度が良い
- ・ 湿度の影響を受けず湿ったガスの濃度を測定するのに有利

実験室および火山ガスが噴出している現場で試作器の評価試験を行い、火山ガス観測に用いるために十分な精度で、短時間に測定できることを確かめました。

試作器の主な仕様

重さ	1.4 kg
大きさ	200×160×100 mm
連続使用時間	単三乾電池4本で10時間

今後多くの噴気地帯で効率的に精度良く火山ガス観測を行うことができるようになり、火山ガス災害の軽減や火山活動の監視に役立つ貴重なデータを提供できると期待されます。



試作器外観

試作器による現場試験結果

試験日	1998/3/24	1998/3/25	1998/3/28	
試験場所	阿蘇地獄温泉	九重硫黄山	那須ヶ首	
気圧	936hPa	840hPa	829hPa	
気温	4℃	0℃	19℃	
試作器	指示値	3.4%	45%	12.2%
	気圧補正後	3.7%	54.3%	14.9%
	温度補正後	4.2%	66.8%	(自動補償済)
検知管	指示値	3.75%	60%	12.5%
	気圧補正後	4.1%	72.4%	15.3%
精密分析	—	70%	14.8%	

研究成果をどう活かすか

火山ガスの事故には、次の3つの条件が関係しています。

- 1.火山ガスの存在(発生)
 - 2.比重の重いガスがたまりやすい地形(窪地や谷)
 - 3.その溜まったガスが拡散しないような気象条件(無風状態)
- このような視点から、本緊急研究の成果を見てみましょう。

◎高温型火山ガス(二酸化硫黄)について分かったこと

- 高温型火山ガスの組成や放出量は、火山活動に関係して変化します。そのため、マグマからの火山ガスの放出過程を研究することにより、二酸化硫黄の放出が活発になるのはどのような時期かを知ることが、火山ガス防災上重要です。
- 二酸化硫黄はごくわずかな濃度でも喘息の発作を引き起こします。二酸化硫黄の濃度は低濃度の場合風向や風速により大きく変化します。阿蘇山を対象にしたシミュレーションの結果、実測された火山ガスの濃度や分布が有効に再現できました。様々な気象条件でシミュレーションすることにより、現場での立ち入り規制の必要性の有無や規制の範囲設定等を有効に判断できる材料を提供することが期待されます。

◎低温型火山ガス(硫化水素、二酸化炭素)について分かったこと

- 火山ガスの噴出地点は、電気抵抗が小さい(電気が流れやすい)場所であることがわかりました。この火山体の電気抵抗を測る方法は、ガス噴出地点の推定に有効と考えられます。中でも、二酸化炭素は無味・無臭で、周辺での植物の枯死が無いなど、これまでは噴出地点の推定が困難なガスでしたが、この手法の適用により噴出地点の推定が期待されます。
- 千ppm以上の高濃度の硫化水素を計測できる小型可搬の火山ガス観測装置を開発・試作しました。これによって、噴気地帯で迅速かつ精度良く火山ガス観測を行うことが出来ます。
- 安達太良山沼ノ平のシミュレーションの結果では、地表面温度が低い場合は硫化水素は低い地形に移動するが、火口底の地温が高い場合は、沢に沿って硫化水素の気塊が上昇する傾向があることが判明しました。

火山ガスから身を守るために(こんな地形が危ない)

- 低温型の火山ガスは、目に見えない形でじわじわと噴出している場所もありますので、ガスが拡散しにくい無風状態の気象条件の時には、ガスが溜まりやすい地形に近づかないことが重要です。火山ガスは空気より重いという性質により、地形的に低いところに集まり、移動が妨げられたり、速度が鈍らされる地点では滞留します。こうした場所ではガスの層が周りより厚くなり危険が増します。

①凹地

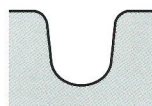
穴のように壁が急傾斜で小さな凹地は、ガスが一旦入り込むとそこから出にくく、長い時間滞留します。

②谷地形

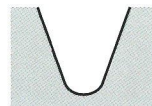
上流でガスが噴出している谷は、下流でガスが集積しやすく、狭くて深い谷底ではガスの層が厚くなるので、広い場所から谷に入る場合は注意が必要です。また、谷はガスが拡散するときの通り道になり、谷が狭められたり屈曲する地点、谷底の傾斜が緩くなる地点などでは、ガスの移動速度が遅くなるので滞留が起こります。

③平坦な地形

地表面が冷やされていると、低温の火山ガスは水のように低いところに向かって移動します。平らに見える地形であっても、わずかでも低い場所はガスの層が厚くなっていることが考えられます。また、平らな地形が崖や急斜面で遮られる場所は、谷底の地形に似ておりガスが集まりやすい地形です。



①凹地



②谷地形



③平坦な地形

火山ガスの噴出している火山・地域

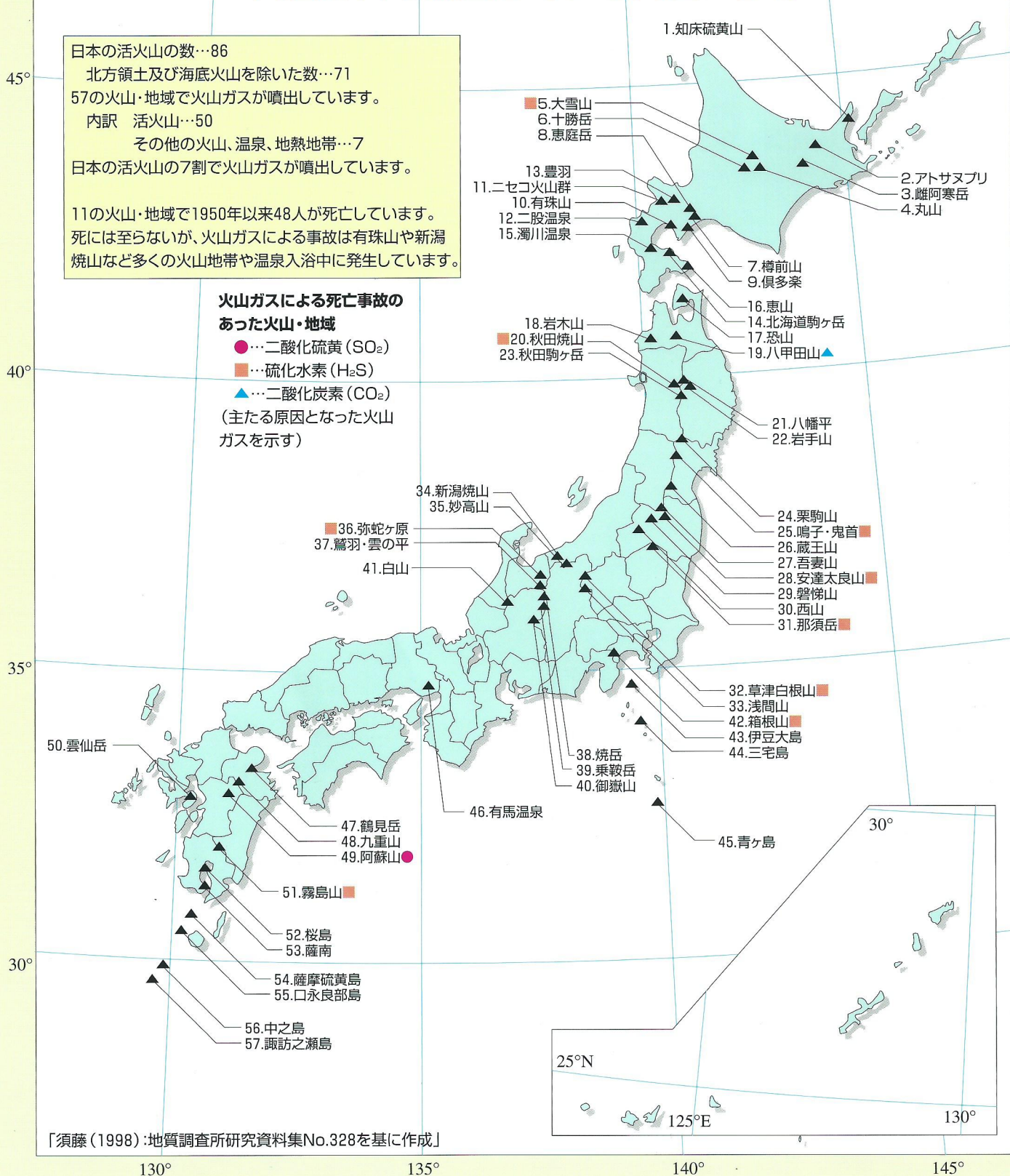
日本の活火山の数…86
 北方領土及び海底火山を除いた数…71
 57の火山・地域で火山ガスが噴出しています。
 内訳 活火山…50
 その他の火山、温泉、地熱地帯…7
 日本の活火山の7割で火山ガスが噴出しています。

11の火山・地域で1950年以来48人が死亡しています。
 死には至らないが、火山ガスによる事故は有珠山や新潟
 焼山など多くの火山地帯や温泉入浴中に発生しています。

**火山ガスによる死亡事故の
 あった火山・地域**

- …二酸化硫黄 (SO₂)
- …硫化水素 (H₂S)
- ▲…二酸化炭素 (CO₂)

(主たる原因となった火山
 ガスを示す)



「須藤 (1998) :地質調査所研究資料集No.328を基に作成」