

火山ガス災害危険個所の地形条件

Landform Condition of Areas with Potential Volcanic Gas Disaster

地理調査部 菱山剛秀
Geographic Department Takehide HISHIYAMA

地理地殻活動研究センター 政春尋志[※]
Geography and Crustal Dynamics Reserch Center Hiroshi MASA HARU

要旨

昨（1997）年4人の登山者が死亡した福島県安達太良山を対象に、火山ガス拡散に関する水理模型実験及び数値シミュレーションを実施し、火山ガスが拡散する過程で、集積・滞留しやすい地形の特徴を整理し、地形と事故発生との関係を明らかにすることとした。

無風状態の場合、空気より重い火山ガスは、気温に比べ地表面温度が低ければ重力流となって流下するが、地表面温度が高い場合は、四方へ拡散し、標高の高い部分へも這い上がることが明らかになった。また、ガスが流下・拡散する過程で、滞留しやすい場所や複数の噴出口から拡散したガスが集積しやすい場所が出現することも明らかになった。こうした火山ガスの性質と拡散の状況から、ガスが流下・拡散する過程で、滞留しやすい地形は、通路が狭められたり通路の傾斜や方向が急に変化するなど、移動速度が鈍らされたり、周りを囲まれ移動方向を失う場所であり、集積しやすい地形は、周囲を斜面で囲まれた谷や窪地などの低い場所であると推論した。

水理模型実験の結果をもとに、火山ガス拡散の数値シミュレーションを行った結果、ガスの濃度が最も高いのは、ガスが噴出している地点であり、噴出地点から遠ざかるにつれて濃度は低くなり、安達太良山の火口底で噴出したガスが火口壁では数十分の1程度になることが明らかになった。

これらの結果から、安達太良山沼ノ平を対象に、火山ガスの集積・滞留しやすい条件の地形を抽出し、1997（平成9）年9月15日の事故発生地点の地形を検証したところ、事故が発生した地点では、高濃度の火山ガスが噴出していたと考えられ、地形的にも危険な個所であることが明らかになった。

1 はじめに

昨（1997）年は、全国で火山ガスによる事故が3件発生し、9名が命を失った。

そこで、科学技術庁は、事故の再発を防止するため、火山ガスの発生・放出機構の解明と地上に放出された火山ガスの拡散状況の解明をテーマに緊急研究を実施した。

本稿は、この研究課題の一つである「火山ガスの局所

シミュレーションによる火山ガス災害の気象・地形条件に関する研究」のうち地形条件についてまとめたものである。

昨年発生した3件の事故のうち、福島県安達太良山では、9月15日に4人の登山者が死亡しており、この事故の発生には、地形条件が大きく影響していると考えられる。このため、国土地理院は、通産省工業技術院資源環境技術総合研究所と共同で、安達太良山を対象に、火山ガスの拡散過程と地形との関係を明らかにするための研究を実施することとした。

本研究の分担は、資源環境技術総合研究所が水理模型実験と数値シミュレーションを担当し、国土地理院はこれに必要な地形データを作成するとともに、実験やシミュレーションの結果を基に、火山ガスが集積・滞留しやすい地形の特徴を整理し、地形と事故発生との関係を明らかにすることとした。

2 研究概要

2.1 安達太良山地形データの作成

国土地理院は、安達太良山沼ノ平地区12km²について、縮尺3万分の1空中写真から解析図化機を用いて数値図化を行い、2m間隔の等高線による地形図データと5mメッシュの数値標高モデル（DEM: Digital Elevation Model）を作成した。また、沼ノ平については、微地形を把握するため、1m間隔の等高線とし、リルや泥水噴出口といった微細な地形についても可能な限り取得した。これらのデータから、沼ノ平地区中心部1km²について縮尺2千分の1の地形図（図-1）を作成するとともに、データ作成地域全域について縮尺5千分の1の等高線図（図-2）を作成した。

2.2 水理模型実験

資源環境技術総合研究所は、無風時の火山ガスの拡散状況を把握するため、沼ノ平を中心とする半径450mについて、縮尺2千分の1の地形模型を作成し、水槽内で5つの噴気口から染料を流出させ、条件によって染料がどのように拡散するか実験を行った。設定した条件は、地表面温度が気温と等しい場合、気温より低い場合、気温より高い場合の3ケースである。

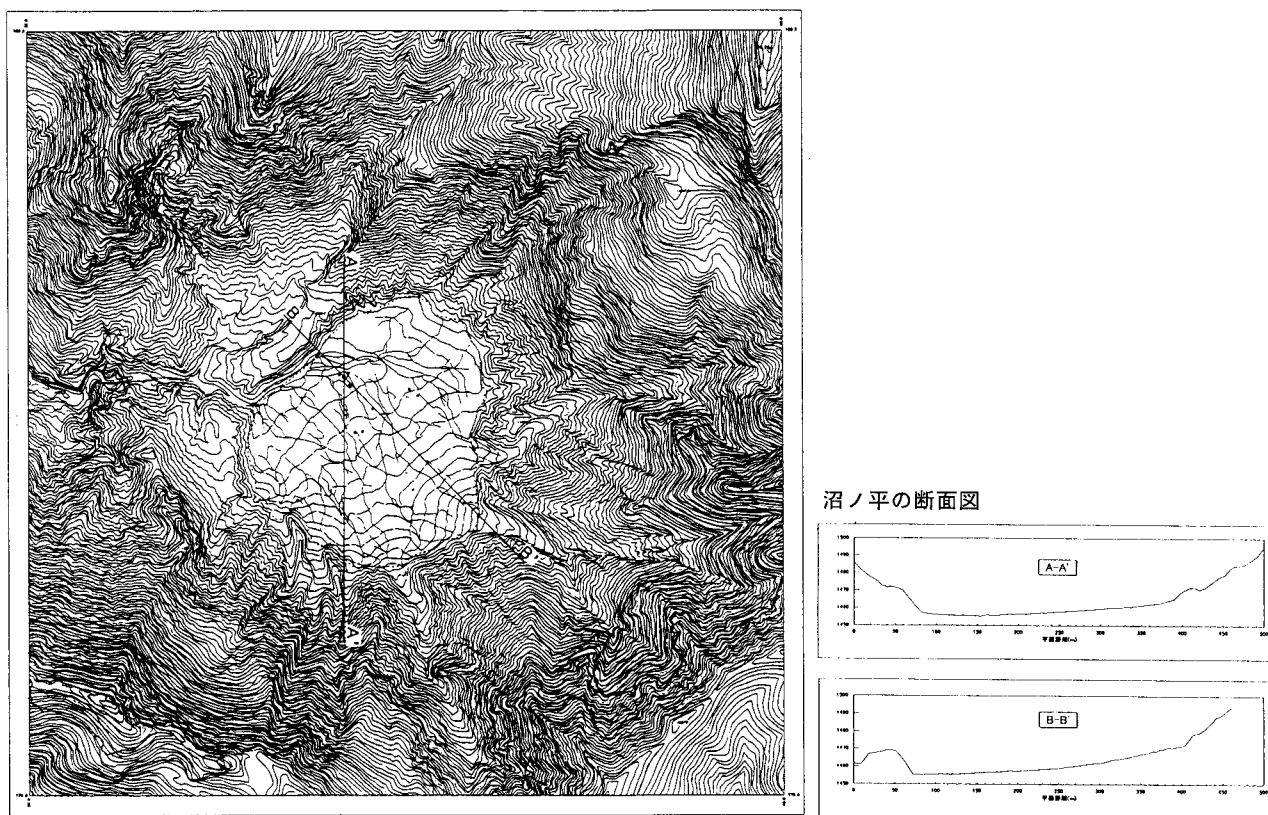


図-1 安達太良山沼ノ平地地形図
(1 : 2000を20%に縮小)

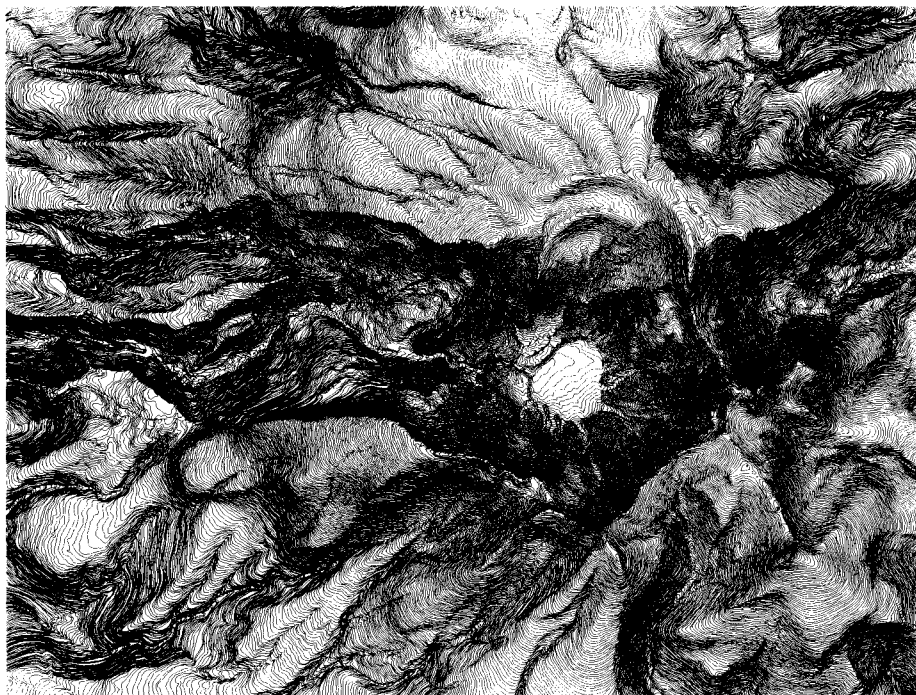


図-2 安達太良山沼ノ平地区等高線図
(1 : 5000を15%に縮小)

2.3 数値シミュレーション

資源環境技術総合研究所は、水理模型実験の結果を定量的に把握するため、10m格子点の標高データを用い、水理模型実験と同様、地表面温度を気温と等しくした場合、気温より低くした場合、部分的に高くした場合の3ケースについて数値シミュレーションを実施した。

2.4 火山ガス災害危険地域図作成

国土地理院は、沼ノ平を中心とする地域について、既存の調査資料から噴気口の位置、地表面温度の分布状況を5千分の1地形図上に整理し、水理模型実験と数値シミュレーションで明らかになった火山ガスの拡散状況をもとに、火山ガス災害が起こりやすい地形条件を整理した。また、安達太良山沼ノ平について、こうした地形条件に当てはまる地域を5千分の1地形図上に図示した「火山ガスの集積・滞留が予想される地域図」を作成し、昨年発生した事故地点の地形との関係を検討した。さらに、火山ガス災害が予想される地形抽出を一般化するため、DEMを用いて火山ガスの集積しやすい地形の自動抽出を試みた。

3 火山ガスの拡散と地形条件

3.1 火山ガスの性質

火山ガスの成分には、水蒸気 (H_2O) や二酸化炭素 (CO_2) のほか、塩化水素 (HCl)、二酸化硫黄 (SO_2)、硫化水素 (H_2S) などの有毒・有害なガスが含まれている。

火山ガスによる事故の多くは、こうした有毒・有害ガスを吸い込むことで、急性中毒や発作を起こし、死に至るものである。火山ガスの成分の割合は、噴気口によって異なるが、噴気活動が活発な火山から放出される高温のガスほど二酸化硫黄が多く、噴気活動が弱い火山から放出される低温のガスほど硫化水素の割合が高い。また、

高温の火山ガスは、成分の大部分を水蒸気が占めるため、希釈されて有毒ガスの濃度は低くなるが、低温ガスは、水蒸気が凝結してしまうため、有毒ガスの濃度が高くなることなどが知られている。

また、火山ガスを構成する主なガスのほとんどが空気に対して比重が重いという特徴を有している(表-1)

3.2 火山ガスの拡散と地表面温度

資源環境技術総合研究所が行った火山ガス拡散に関する水理模型実験と数値シミュレーションの結果、静かにガスが噴出していて風の影響が無い場合、地表面温度によって火山ガスの拡散過程が異なることが明らかになった。

気温と地表面温度が同じならば、空気より重い低温の火山ガスは、自重で押し潰されるように噴出地点から周囲に広がるが、地表に傾斜があれば、重力の影響を受けて地形的に低い方へ移動する。

地表面温度が気温より低い場合、地表に接する空気は冷やされて重くなり、低い方へ移動する流れが生ずる。同様に放出されたガスが地表付近で冷やされると、さらに重くなり重力の影響をより強く受けることになるため、周囲に広く拡散せず、あたかも水が流れるように高い所から低い所へ流下する(図-3上)。

一方、日射などにより、全体的に地表面温度が気温より高い場合は、地表に接した空気が膨張し、軽くなって

地表全体が冷やされている場合



地表全体が暖められた場合



地表の一部が暖められた場合

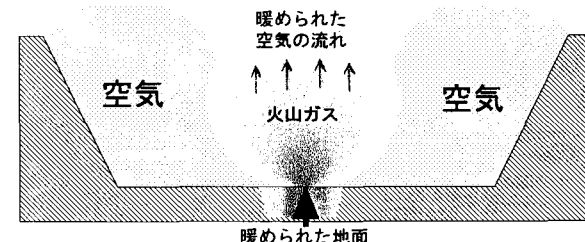


図-3 火山ガス拡散の模試図

表-1 火山ガス成分の比重
(理科年表により作成)

成分		空気に対する比重	健康障害防止指標
水(水蒸気)	H_2O		
二酸化炭素	CO_2	1.529	5,000ppm
塩化水素	HCl	1.268	5ppm
二酸化硫黄	SO_2	2.264	5ppm
硫化水素	H_2S	1.190	10ppm
Rガス	ヘリウム	He	0.138
	水素	H_2	0.0695
	酸素	O_2	1.105
	窒素	N_2	0.967
	メタン	CH_4	0.555
	アルゴン	Ar	1.380

地形に沿いながら拡散する。地表に放出されたガスは、地表付近の空気の流れに乗って拡散するため、標高が高くなる方向であっても地形に沿って谷間などを這い上がる（図-3中）。ただし、地下に熱源があり、地表面温度が部分的に高い場合は、そこで上昇気流が発生して水平方向への拡散は大きくなる（図-3下）。

以上のことから、火山ガスの拡散において、2つの流れがあることが明らかになった。1つは火山ガスが空気より重いことにより、高い所から低い所へ移動する流れ（重力流）であり、もう一つは重力の影響をあまり受けず、地表付近で暖められた空気の流れに従って周囲に広く拡散する流れ（拡散流）で、標高が高い方に向かう場合もある。

3.3 火山ガスの拡散過程における地形の影響

火山ガスは、拡散の過程で地形の影響を受け、移動速度が鈍化、停止させられる地点で滞留する。また、ガスの通路となる地形では集積し、ガス層の厚みを増すことが予想される。

重力流により拡散する場合、ガスは高い所から低いところへ流下するため、通路となる谷で谷幅が狭められたり屈曲する地点の高位側や急傾斜から緩傾斜に移行した地点で滞留が起こると考えられる（図-4）。また、拡散流が谷を這い上がる場合、ガスは低い所から高い所へ移動するため、隘路となる部分の低位側や急傾斜になる地点の手前で滞留が起こると考えられる。

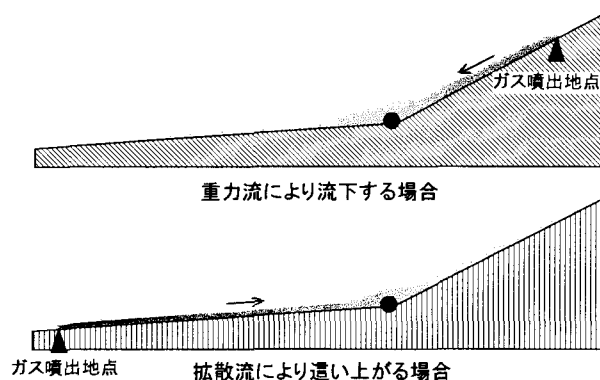


図-4 傾斜変化により火山ガスの滞留が想定される地形

また、空気より重いガスが拡散する過程で、集積するのは、周囲より低くなっている谷型の地形である。平坦に見える地形であっても、周囲に比べてわずかも高低差があれば、ガスの厚みが増えることが予想される。

谷の流域に複数のガス噴出口があり、そこから、低温のガスが噴出している場合は、重力流となってガスが谷底に集積し、谷底では高濃度のガスが厚くなると考えられる（図-5）。拡散流の場合も、ガスは地形に沿って移動するが、重力流とは異なり微地形による影響は少ない。一方、拡散流の場合は、上空から見た平面の地形も影響する。ガスが拡散する方向に対して、平面の形がV

字型やU字型に開いた地形はガスが集積しやすい地形といえる。

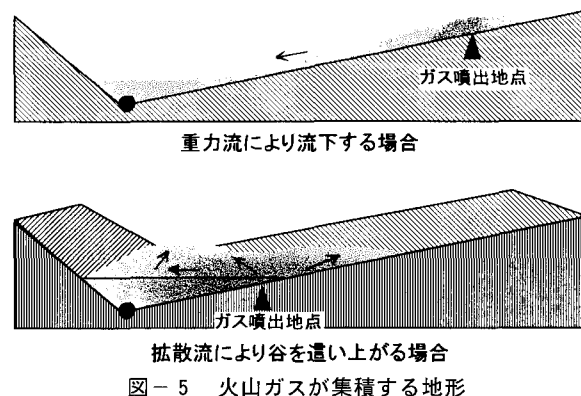


図-5 火山ガスが集積する地形

地形ごとに火山ガス拡散の特徴を整理する。

凹地は、一旦空気より重いガスが入り込むと、自力で移動できなくなる。特に、直径が数十m程度で深さ数m程度と小規模で壁面が急斜面の凹地は、風による拡散も妨げられる。

谷底は、周囲に比べ最も低い位置にあり、ガスが移動するときの通路となるため、谷の中に多くの噴出口がある場合は、これらのガスが集積する場所となる。特に、重力流のガスは、谷幅が狭いほど集積しやすく、谷底の傾斜が緩やかなほど流下速度が遅くなる。また、谷口が広く、谷奥が急傾斜となる谷は、谷を這い上がる拡散流のガスが滞留しやすい地形である。

広く平坦な地形は、ガスが一様に広がり、拡散しやすい地形といえる。しかし、重力流として流下するガスは、わずかな高低にも影響され、より低いところに集積する。また、平坦な地形が崖や急斜面など接する傾斜の変換線上では、ガスの行く手が遮られ、ガスが滞留しやすくなる。

4 安達太良山の地形と火山ガス災害

4.1 安達太良山の地形

安達太良山は、山頂の北西に大きく開いた火口を有する。火口は、直径1.5km、標高1650～1700mの鉄山、矢筈森、船明神山などからなる外輪山に囲まれ、東側が高く西側が低い（図-6）。なお、これまで安達太良山の山体で最も標高の高いのは鉄山の三角点部分で1709.8mとされていたが、詳細な地形図を作成したところ、この三角点の北側に1.2mほど高いピークがあることが分かった。

外輪山は、火口の西側で切れ、火口底から硫黄川の狭い谷が西に伸びる。外輪山に囲まれた中央には、直径300～350m、標高1450mの平坦な「沼ノ平」と呼ばれる火口底がある。火口壁は浸食による浅い谷で刻まれ、この谷から流出した土砂が平坦な火口底に小さな複合扇状地を形成している。これらの谷は、火口底に近い部分では傾斜が緩やかだが、谷口から50～100m奥に入ると急激

に斜度を増す。また谷の途中で急激に向きを変えたり部分的に幅を狭めるものもある。火口底の西側と南西部には、火口底と火口壁との間に比高6～10mの低い尾根状の地形があり、尾根と尾根の間は緩やかな谷底の浅い谷となっている

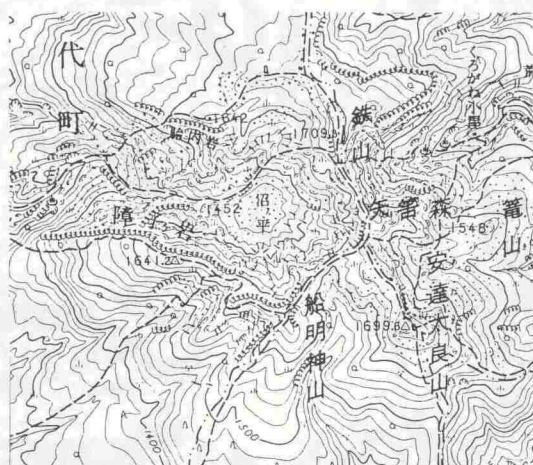


図-6 安達太良山山頂付近の地形概要
1 : 50,000地形図「二本松」

4.2 沼ノ平における火山ガス噴出地点

安達太良山火口付近の空中写真を見ると、火口内部で硫化水素を含む火山ガスが噴出しているのが読みとれる。硫化水素は、毒性が強く植物を枯らしたり岩石を白く変質させる性質があることが知られている。沼ノ平一帯は、火口底から火口壁の中腹まで岩石が白く変質しており、植物が見られない。このような地域は、現在も硫化水素を含む火山ガスが噴出しているか、過去に噴出していた地域である。また、植物が枯れている地域は外輪山の外側にまで及んでおり、火山ガスが火口の外にまで拡散しているのがわかる(写真-1)。特に東西方向に植物の枯れている地域が広がっているが、これはこの地域での風の主方向と西側火口壁が切れていることによる



写真-1 安達太良山山頂付近の空中写真

ものと考えられる。

地質調査所および気象庁の調査によれば、現在、沼ノ平で火山ガスが噴出している場所は、沼ノ平の西部から南部の火口底と火口壁の境に多く分布している。また、火口底中央部では南北方向に火口底を二分するように噴気地帯が連なり、これらの噴気地帯からは、摂氏100度前後のガスが噴出している。特に西側火口壁部分は噴気活動が特に活発であり、火口底中央北部でも泥水の噴出を伴った噴気が見られるという。なお、福島県が実施した沼ノ平における硫化水素の濃度分布調査によれば、昨年事故のあった火口底南西部の沢には、火口底噴気地帯の数倍の高濃度値を示す地点が存在するので、この地点からは低温の火山ガスが噴出しているものと思われる(図-7)。

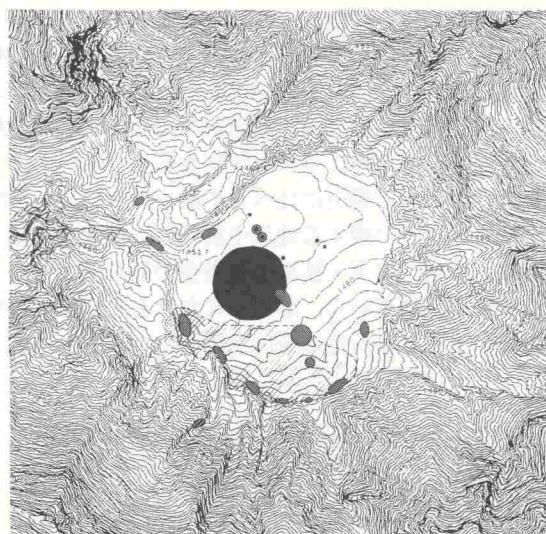


図-7 火山ガス噴出地帯の分布
縮尺 1 : 10,000

4.3 沼ノ平の地表面温度

平成9年5月から8月の気象庁の放射温度計による沼ノ平の地表面温度の観測によると、沼ノ平では噴気活動が活発な火口底南西部で最も高く、火口底中央でも高い値を示している。また、観測点が少なく正確ではないが、泥水噴出地点や西側北壁付近の地表面温度も高くなっていると思われる。東壁及び北壁については、観測データがないので不明だが、噴気地帯が認められていないことから地表面温度は高くないと思われる。

4.4 沼ノ平における火山ガス集積・滞留予想地域

沼ノ平では、火口底を形成する複数の扇状地と扇状地が接する地域、あるいは扇状地の端と火口壁が交わる地域などが扇中央に比べやや低くなっている。また、火口底を取り囲む湾曲した火口壁が、火口底に向かって開いた

地形となっており、この火口壁には浸食による谷が刻まれている。

火口壁を刻む谷の中には、谷の途中で岩などにより谷幅が狭くなったり、谷の方向を急に変えるものがある。さらに、どの谷も谷の奥では傾斜が急激に変化している。

風がなく地表面が冷やされ、火口壁の谷の奥のやや高い地点で低温ガスが噴出している場合、ガスは地表に接して冷やされ重力流となって谷の急斜面を下るが、谷の途中で傾斜が急に緩くなり、その地点で移動速度が鈍り滞留する。さらに、ゆっくりと谷を下るが、谷が途中で急に方向を変えたり、谷幅を変えると、ガスはさらに移動速度を鈍らされ、その手前に滞留する。

また、日射などにより、地表面温度が気温より高い状態で、火口底からガスが噴出している場合は、噴出したガスは、地形に沿って四方に拡散する。火口底と火口壁の接する部分では、移動方向が遮られるため、ガスはより緩やかな斜面を求めて火口壁に沿って移動し、火口壁を刻む谷に入り、その谷を這い上がる。この場合も、谷の途中の隘路となる地点や、傾斜が急になる地点では移動速度が遅くなるため、ガスが滞留する。

なお、沼ノ平内で扇央に比べやや低くなっている扇状地の末端と火口壁の接する地点や扇状地と扇状地の接する地点は、ガスが流下・拡散する場合の通り道となる。

以上のような観点から、沼ノ平における火山ガスの集積、滞留が予想される地域を地形図上に抽出した(図-8)。

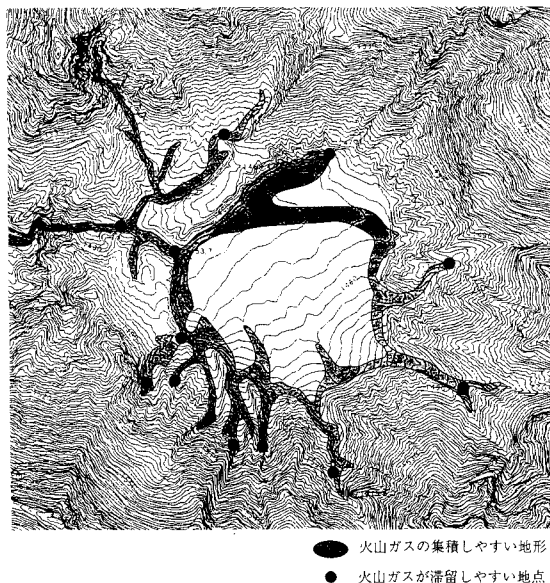


図-8 火山ガスの集積、滞留が予想される地域
(1 : 10,000)

また、今回作成したDEMを用いて、接峰面データを作成し、元のDEMとの差から谷地形を自動抽出することを試みた(図-9)。現時点では、谷型地形であることだけを条件に実施したが、今後、地表面温度やガスの

噴出地点からの距離等の条件を加えることにより、火山ガス災害危険地域の自動抽出に利用できると考えられる。



図-9 DEMを用いた谷地形の抽出
(1 : 10,000)

4.5 地形と事故との関係

平成9年9月15日の安達太良山の火山ガスの事故は、沼ノ平と呼ばれる安達太良火山の火口底の南西部にある谷で発生した。

この谷は、南西火口壁に位置し、火口底の谷の入り口から南に100mほど伸びたところで向きを南西に変え、その地点から上流側で傾斜が急になっている。事故が発生した場所は、谷が折れ曲がり、傾斜が急激に変化する地点であり、ガスが滞留しやすい地形条件を備えている。また、この谷の入り口付近で高温のガスの噴気があることや地表面温度が高いことなどから、水理模型実験結果から、当初は谷の入り口付近で発生したガスが谷を上り、曲がった谷の奥に滞留したものと考えた。

しかし、福島県の硫化水素濃度の分布調査でこの地点の濃度が他の高温の火山ガス噴出地域に比べ非常に高いこと、数値シミュレーションの結果、拡散流によるガスは、噴出している地点から離れるにしたがい濃度が下がり、この付近では噴出地点の数十分の一程度であったことなどから、火口底で噴出したガスが拡散して谷の奥で

滞留したものではなく、この付近で高濃度の低温ガスが噴出していると考えられる。

なお、この付近では同様な谷が数本見られる。福島県の調査では、事故が発生した谷以外は調査結果がないのでわからないが、他の谷の奥でも同様のガスが噴出している可能性は否定できない。

いずれにしても、事故が発生した地点は、地形的に火山ガスが集積、滞留しやすい地形であり、谷の中や近くでガスが発生している場合、こうした地点が危険であることに変わりはない。

5 まとめ

数値シミュレーションの結果から、一般的にガスの濃度が最も高いのはガスの噴出地点であり、拡散や移動により噴出地点から遠ざかるにつれて濃度は低くなることが明らかになった。

特に、地表面温度が低くガスが拡散しにくい気象条件の下で、狭い谷で高濃度の低温ガスが発生している場合は、ガスの噴出地点はもとより、比重の重いガスが集積

しやすい狭い谷底や移動速度が鈍らされる傾斜変換点などで、高濃度のガスの層が厚みを増し、危険度が高くなることが予想される。

これらのことから、火山地帯への登山等で火山ガスによる事故を防止するためには、あらかじめ空中写真や、地元の情報から火山ガスが発生している可能性のある地域を確認しておき、火山ガスが滞留しやすい地形には足を踏み入れないように注意すべきである。

6 おわりに

本研究は、平成9年度科学技術振興調整費「火山ガスに関する緊急研究」により実施したものである。本研究の実施にあたり、研究推進委員長であられた東京工業大学の小坂丈予名誉教授に多くの助言をいただいたほか、本研究の共同実施者である資源環境技術総合研究所の近藤裕昭氏ほか、地質調査所、気象庁、環境庁、福島県及び本研究の研究推進委員の方々からも資料を提供していただきました。厚く感謝いたします。

参 考 文 献

福島県（1998）：安達太良山火山性ガス噴出状況調査結果報告書

小坂丈予・平林順一・山本雅弘・野上健治（1988）：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，自然災害科学，17-2，131-154.