

## 有珠山 2000 年噴火時の防災に関する技術的な取り組み

## Disaster prevention technologies on Usu volcano in 2000

塩 野 康 浩<sup>\*1</sup>

Yasuhiro SHIONO

小 林 浩<sup>\*2</sup>

Hiroshi KOBAYASHI

## 1. はじめに

2000 年 3 月 31 日, 23 年ぶりに有珠山が噴火し, 約 7 年が経過した。この噴火を受けて山麓周辺では砂防施設が順次施工され, 2007 年度には整備が完了する予定である。噴火が起こると周辺住民は避難生活を強いられ, 日常生活や経済活動の停止を余儀なくされる。また, 泥流, 土石流など 2 次災害の危険性が生じるため, 被災地の状況の把握と災害シナリオの予測, 被害を最小にするための対策工事を安全かつ迅速に行う必要が生じる。避難指示解除後は, 降灰や地殻変動などの被害を調査し, 日常生活が営めるよう復興する必要がある。このように噴火に際しては様々な非日常的事態が発生し, さまざまな角度からその対策が行なわれる。いつどこで起こるか予測が難しい火山噴火では事前の砂防施設の整備とともに, 噴火前後の減災のための対応が非常に重要である。

本稿では, 2000 年の有珠山噴火や有珠山における防災対策等に関連する著書, 論文および報告等を収集し, 噴火災害軽減に資する技術について紹介する。

## 2. 有珠山 2000 年噴火の経緯

1977~1978 年の噴火の後, 静穏な状態が続いていた有珠山で, 2000 年 3 月 27 日微小な地震活動が, 30 日から地表の亀裂・断層の発生など前兆現象が始まり, 31 日 13 時 07 分, 有珠山は西部の西山西麓から噴火を開始した。

その後西山西麓と金比羅山付近で多数の火口を形成しながら断続的に噴火は続いた。4 月下旬以降は, 活動火口が一定し西山西麓火口群の 3 つの火口 (N-A, N-B 及び N-C 火口) と金比羅山火口群の 2 つの火口 (K-A 火口及び K-B 火口) で水蒸気爆発が繰り返された。そのうち, N-A 火口と N-C 火口の噴火活動はまもな

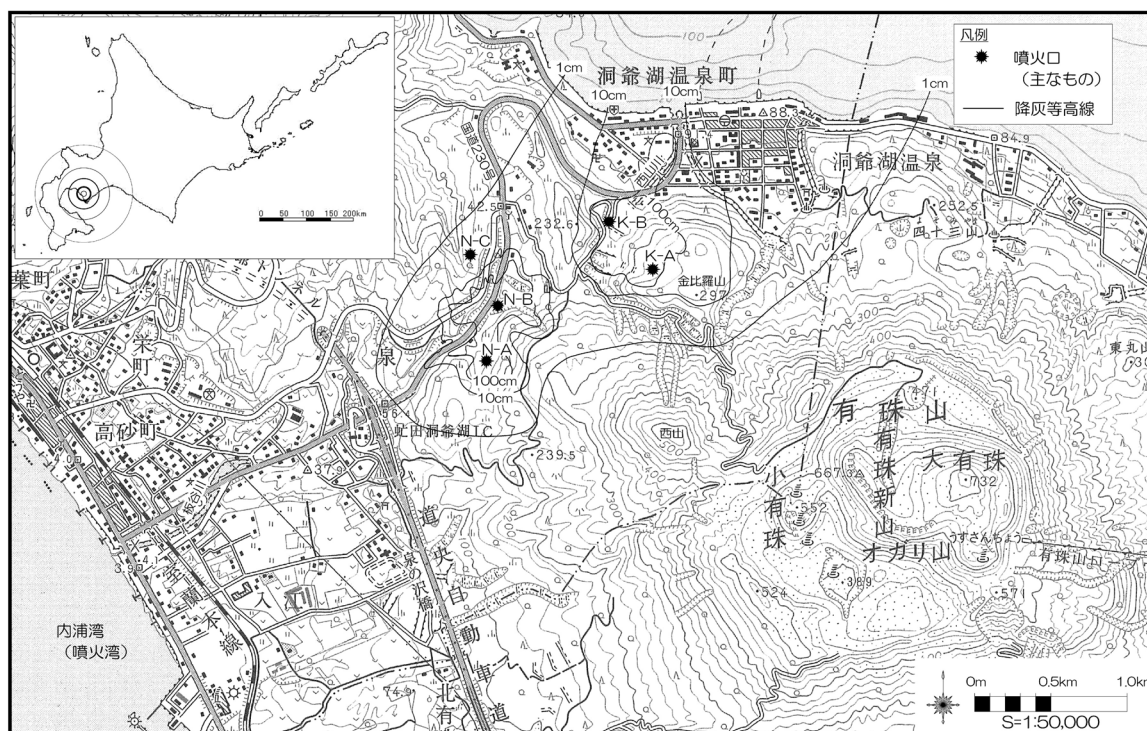


図-1 有珠山平面図 (国土地理院発行 5 万分の 1 地形図 (虻田))

Fig.1 Plane view of Usu volcano (1/50,000 contour map (Abuta), issued by Geographical Survey Institute)

噴火口は宇井ら (2002). 降灰等高線は北海道室蘭土木現業所 (2000)

\*1 正会員 国土防災技術北海道株式会社 Member, Japan Conservation Engineers of Hokkaido (shiono@jce.co.jp) \*2 国土防災技術北海道株式会社 Japan Conservation Engineers of Hokkaido

表-1 有珠山の活動史  
Table 1 Volcanic history of Usu

噴火西暦年	前兆地震期間	噴火場所	噴火様式、形成物	災害・活動内容
1663	3 日	山頂	プリニー式、火砕サージ 小有珠溶岩円頂丘（1769 年説も）	降灰により家屋埋積・焼失 死者 5
1769	?	山頂	プリニー式、火砕流（熱雲）	熱雲により南東麓で家屋火災
1822	3 日	山頂	プリニー式、火砕流（熱雲） オガリ山潜在円頂丘	熱雲により南西麓で 1 村全焼 死者 59, 負傷者多数
1853	10 日	山頂	プリニー式、火砕流（熱雲） 大有珠溶岩円頂丘	
1910	4.8 日	北麓	水蒸気爆発 明治新山潜在円頂丘	降灰・泥流 死者 1
1943～1945	6 ヶ月	東麓	プリニー式、(マグマ) 水蒸気爆発 昭和新山溶岩円頂丘	降灰・地殻変動 死者 1
1977～1978	32 時間前	山頂	プリニー式、(マグマ) 水蒸気爆発 有珠新山潜在円頂丘	降灰・地殻変動 泥流で死者・不明 3
2000～2001	4 日	北西麓	(マグマ) 水蒸気爆発 虻田新山潜在円頂丘	降灰・地殻変動

勝井（1979）、曾屋（1981）、勝井（2002）

く衰退し、N-B 火口と K-A 及び K-B 火口の活動が 5 月以降も続いた。噴火活動は、いずれの火口においても水を多く含む間欠的噴出から噴泥や噴石を花火のように周期的に飛散する「炸裂型噴火」へ移行し、火口からの泥流の湧出も見られた。また、西山西麓を中心とする顕著な地殻変動が観測され、過去の有珠山の噴火でも見られた潜在ドームが形成された。

活発な噴火活動を続けた西山西麓及び金比羅山火口群の活動も 5 月以降次第に低下の兆しが認められるようになり、7 月 11 日の火山噴火予知連絡会は「マグマ活動は終息しつつある」との見解をまとめ、8 月 14 日、政府は現地対策本部の廃止を決定した。その後も、金比羅山火口群では、炸裂型噴火が続いたが、その規模は次第に低下していった。火山噴火予知連絡会は、翌年 2001 年 5 月 28 日「マグマの供給は停止した」と発表した。最後まで噴石や噴泥の噴出を繰り返した K-B 火口も 2001 年 9 月には噴出活動が停止した。（気象庁 2000）

### 3. 過去の噴火活動

有珠山は過去に幾度も噴火を繰り返しており、周辺地域ではその都度、地震被害や火砕流による被害を受けていることが古くから記録されている。1663 年以降 2001 年までの活動史を表-1 にまとめた。20 年から長くともおよそ 60 年の間隔で繰り返し噴火し、噴火様式や噴火場所が異なることから、有珠周辺では近い将来に生じるであろう噴火に対し、平常時からの砂防施設の整備とともに、噴火前後に被害を最小限にとどめるための対策とその準備が非常に重要である。

### 4. リモートセンシング

噴火活動では地下のマグマの活動に伴う地表面の隆起

・沈降、断層の発生などの変動が生じる。地表変動の把握は、噴火機構の解明、不安定土砂量・土砂移動現象の把握、避難経路や範囲避難区域の想定に欠かせないものである。しかし噴火活動時は安全上の問題から人の立ち入りが制限され、調査に制約が生じる場合が多い。そこで有珠山噴火に際してはヘリコプターによるビデオ撮影、遠隔地からの定点観測、GPS、レーザープロファイラーや SAR などリモートセンシング技術を用いた地表変動の把握が行われた。特にリモートセンシング技術は広域的な地形地質構造の概要の把握が可能であるため有珠山 2000 年噴火時の調査では積極的に用いられている。

仲野ら（2001）は、噴火直前の 3 月 31 日と噴火約 1 ヶ月後の 4 月 26 日にヘリコプターに搭載したレーザープロファイラ計測データにより噴火前後の地形変化を調査し、西山の北西約 1 km 付近の西山西麓火口群を中心に最大 65 m の隆起とグラベン状断層の形成を確認している。また石井ら（2002）は火山活動がほぼ沈静化した 6 月 22 日に航空機を使用したレーザープロファイラによる計測を行い、噴火前の 3 月 30 日に航空写真測量で作成した地形図との比較を行い、仲野らと同様な地形の変動を確認している。

レーザープロファイラで得られた DEM は数値シミュレーションや、GIS への活用が容易であり、有珠山噴火時にも泥流の氾濫シミュレーションによる遊砂地の検討や緊急対策の工事用ルートの検討に用いられ、早期復旧に重要な役割を果たしている。また現在では国土技術政策総合研究所でリアルタイム・ハザードマップの整備が進められており（国土交通省砂防部 2007）。今後さらに活用が進むと考えられる。

SAR（合成開口レーダー）は通常マイクロ波（もしくはミリ波）を対象物に照射し、反射してきた電磁波を分

析し、対象物の解析を行なうもので、雲や霧を透過するため天候に左右されずに対象物の解析ができるという長所がある。

村上ら(2000, 2001)はRADARSATのほぼ同時期に異なる方向から観測されたSARの画像マッチング結果を3次元化処理することにより、航空写真測量やレーザープロファイラではとらえられない上下・南北・東西方向の変動(西山火口群の4月3日に対する4月27日の変動量)を観測している。それによると隆起量は最大約22m, 北方向への変動最大約12m, 南方向約7m, 東西方向は数mであった。また地球資源衛星(JERS-1)の干渉SAR解析により、2000年噴火前の1992年10月15日から1998年5月1日の間に有珠山山頂部東側を中心に40cm以上沈下方向に変動していることを指摘している。

人工衛星にはレーダーのほかに光学センサを搭載しているものもある。光学センサは可視・近赤外・遠赤外のいわゆる光の領域を観測するものである。菅野ら(2000)は近赤外線反射輝度を解析することで、森林被害状況を激害、中害、無に分類し、地形図・林班図と共にGIS化を行うことで、森林被害のエリアや面積を定量的に把握している。

このようなリモートセンシング技術を用いると、災害区域に立ち入ることなく、早期に地形変動の様子を様々な角度から知ることが出来る。有珠山噴火の観測事例により示された。解像度の異なる手法がいくつかあるため、得たいデータに応じて広域的観測に適した手法、局所的に精度の高い観測が可能な手法などを適切に選択し、これらを組み合わせることで、噴火後の荒廃状況の把握、土石流泥流流下方向の予測などの災害予測の精度の向上に寄与すると考えられる。

## 5. 噴火活動により生じた現象・災害

### 5.1 熱泥流

2000年有珠山噴火時に発生した土砂移動現象のうち特異なものとして熱泥流がある。熱泥流は、噴火口からマグマ水蒸気爆発に伴って熱い泥水が流出することによって発生するものとされている。

有珠山土砂災害対策専門家チーム(2000 以下専門家チーム)によると3月31日の噴火開始以降、4月4日から4月6日の間に西山川において泥流を3回確認しており、いずれも熱泥流の流出によるものであったと報告している。その後4月8日には国道橋「木の実橋」付近で流路工からの土砂溢流を確認し、4月9日から4月10日にかけて土砂が市街地にも広く氾濫堆積し、10日時点で流路工に架かっていた町道橋「こんぴら橋」と国道橋「木の実橋」の流出を確認している。

石田ら(2001))が専門家チームにより撮影されたVTRを解析したところ泥流の流速は4m/s, 流速係数(流速と摩擦速度の比 $v/u$ )は6~11となり(専門家チームに

よる速報では流速2~3m/s, 流速係数は4.5~6.7)、石礫型土石流の典型である焼岳上々堀沢で発生する土石流の流速係数より大きく、泥流型土石流として知られる桜島矢尻川や中国雲南省蔣家溝で発生する土石流の観測結果とほぼ同じであるとしている。また西山川で発生した泥流堆積物の先端部の勾配は40°であったことと、泥流本体堆積後に泥水が分離して流下した形跡は無いことから泥流の降伏応力は非常に高いことを推測している。水垣ら(2001)は泥流堆積物の粒度組成は非常に微細な成分( $d_{50}=0.41$ mm)が多く、きわめて粘性が高い流動体であったと指摘し、このような性状から木の実橋とこんぴら橋が流下し、こんぴら橋の橋桁が国道橋「みずうみ橋」にひっかかって流路工が閉塞したために、泥流が市街地へ氾濫したと推測している。また石田ら(2001)は泥流が木の実橋全体を越流した時に、橋桁に生じる浮力が桁重量を上回り、この上向きに働く力が木の実橋の流出の原因であったと推察している。

このように、今回の橋の流出を引き起こした泥流は、微細分が多く、きわめて粘性が高い流動体である熱泥流であったと考えられる。一概に泥流災害といっても、泥流の生成原因や構成物により泥流性状が異なるため、被害状況や範囲も異なると推察される。過去の観測から発生が予想される泥流性状を整理し、異なる性状の泥流に対して土砂災害を最小限にするための対策を立案することが重要である。

### 5.2 降灰

2000年噴火による噴出物の降下・堆積、泥流、地殻変動などによる森林被害の面積は民有林で36ha(北海道発表)、国有林で35ha(山岡ら, 2002)と見積もられている。寺澤ら(2001)が2000年8月に実施した現地調査によると、被害地域の森林のほとんどは若齢の広葉樹二次林で、火口群が形成された場所とその直近は壊滅的な被害を受けている一方、火口から距離が離れるとほとんど被害が見られなかった。

噴火による植生への影響は、噴石などが直接あたることによる折れや、地殻変動による傾倒など物理的破壊のほかに、通気性の悪い2次泥流が堆積することで樹木根系の呼吸を抑制し、根系の吸水作用が正常に作用しなくなり枯死に至ることが考えられる(富永ら, 2002)。

荒廃した箇所でも翌年からは徐々に植生が回復している。館崎ら(2005)は2004年に金比羅火口群、西山火口群で標準地を設け、毎木調査と土壌分析を実施した結果、噴火翌年の2001年から金比羅火口群ではドロノキが、風上側山腹斜面にドロノキの親木が無い西山火口群ではヤナギを中心とした植生の侵入定着を確認した。噴火跡地での初期の植生回復は土壌の養分特性よりも樹種の違いや種子の散布量、土壌の理化学特性の違いが大きな要素であることも指摘している。

降灰の化学組成による被害も生じる。加藤ら(2001)は3月31日から4月4日までの降灰の理化学分析およ

び農耕地土壌の今後の物理化学的变化の推定を行い、降灰は硫黄分が高く、畑条件では酸化による土壌の酸性化を引き起こす一方、水田では還元されて硫化水素害を生じる恐れがあることを指摘した。また八幡ら（2001）によると降灰の一部から「土壌の環境基準」を超える As（砒素）の溶出が確認された。砒素は火山ガス起源 As が水分を多く含んだ微細な火山灰粒子（粘土粒子）に付着して降灰したものと考察している。噴火時にも砒素の溶出が懸念されたため、除去された火山灰や砂防工事による残土は地下水および河川水の及ばない箇所へ搬出された。地下水の砒素汚染は、世界各地で多くの健康被害を発生させ、国内においては 1993 年に砒素に係る地下水質評価基準値が 0.01 mg/l（地下水質環境基準と同じ値）に強化されている。

このように降灰では硫化水素発生や As 溶出などの物理化学的反応による被害も予測されるため、降灰地の化学的分析による監視や、溶出 As の迅速な吸着除去技術の開発も必要と考えられる。

噴火による噴出量は 3 月 31 日の噴火で 220,000～240,000 トン（宝田ほか，2002；大野ほか，2002），4 月 1 日～2 日，4 月 2 日，4 月 4 日の噴火でそれぞれ 21,000 トン，450 トン，49,000 トンと見積もられている（宝田ほか，2001）。このように大量に生産される火山性堆積物の処理は環境への影響もあり適切な処分が望まれる。有珠山火山灰の多くは粘土化が著しくスメクタイト含有量が多く細粒であり骨材や建設材料への適用は困難（山中ら，2003）であるが、砂防事業では、掘削土（2000 年噴火による降下堆積物以前の礫混り火山灰質砂）と高炉セメントを混合した砂防ソイルセメントを既設砂防えん堤の補強や、鋼矢板式ダムの天端被覆材料などとして活用している。

### 5.3 2 次泥流

一般に噴火による降下堆積物が堆積した斜面では、地表面の浸透能の低下に伴い、ガリー侵食や 2 次泥流の要因となると考えられている。有珠山でも 1977～1978 年の噴火後の降雨時には 2 次泥流が発生し大きな被害が生じているが、2000 年の噴火では小規模なものにとどまっている。寺嶋ら（2001）は 2000 年噴火堆積物が堆積した斜面の初期段階の土砂移動現象の解明に取り組み、ガリー侵食ではなく、地下水の浸出、表層すべりであったことを明らかにした。降下堆積物の物理・水理試験の結果、有珠山 2000 年降下堆積物の飽和透水係数は  $10^{-5}$  m/sec オーダーで、2 次泥流が発生した 1978 年の第二期噴火降下堆積物の  $10^{-7}$  m/sec（山本・今川，1983）と比べても高く、このため地表水が速やかに地中に浸透したとしている。

野村ら（2003）は浸透能の経時変化に着目した火山灰の散水試験とレオロジー特性に着目した攪拌抵抗試験を三宅島、有珠山（小有珠右の川河口付近）、桜島の火山灰に対して実施している。その結果、有珠山火山灰の飽

和透水係数は一般の林地土壌に比べると低く、散水試験では積算雨量が約 10 mm を超えると急激な浸透能低下も見られることから、豪雨時にはホートン型地表流の発生が予測されるとしている。しかし、攪拌試験結果では三宅島や桜島に比べ粘性が高く、非常に大きな降伏トルク運動トルクを持つことから、地表流による侵食を受けにくいこと、雨水を含んでも流動化が比較のおきにくいこと、一旦流動化が起きても、より多くの水分が供給されない限り比較的高い運動トルクを保持し続けることから、大きな泥流への発達はしにくいと推察している。

このように火山によって火山灰の特性は異なり、発生する 2 次泥流の性状が異なる。また、同じ火山においても、表-1 のように噴火形態がいくつかあることから、生成する火山灰も毎回、異なることが予測される。予測される被害に適した予防策をたてるためには、噴火後の火山灰の土質試験を基に、各種の土砂移動現象の発生可能性、被害予測を迅速に行うことが重要と考えられる。

## 6. 無人化施工技術

無人化施工技術は、雲仙普賢岳の復旧工事から試験的に採用され、基礎技術はすでに完成していた。雲仙と有珠山の違いは遠隔操作を行う基地局と無人化施工箇所の距離が最大 1.2 km と離れており、障害物により見通しも利かないことであった。この距離は雲仙で実績のある特定小電力無線と簡易無線を組み合わせた中継方式の導入が困難であるため、有珠山では郵政省（現総務省）の免許が必要である建設無線を北海道が取得し操作系 8 局（420 MHz 帯）と映像系 8 局（2.4 GHz 帯）を使用した（青野，2003）。

無人化施工が実施されたのは、2 次泥流の市街地への氾濫が想定された板谷川および西山川で、板谷川では主に排土、掘削による遊砂地造成、西山川ではコンクリートブロック・土のうによる導流堤の施工、ブレーカーとカッターを使用した構造物（流出したこんびら橋）の撤去である。

北海道室蘭土木現業所によると有珠山方式における無人化施工の施工効率はある施工の 80% 程度と高い効率であった。その理由として、1) 走行路と施工箇所が分かれており安定した走行が図られ、機械の故障が少なかった、2) 無線システムが安定しておりトラブルが少なかった、3) 作業指示者およびオペレーターの経験が豊富であったことなどがあげられている。逆に施工効率が上がらない原因としては、1) 搭乗時と同じ視点の映像が見えず、視点を任意に変えたり細部の確認が出来ない、2) カメラを通すことによる解像度の悪さ、立体感の無さ、映像のタイムラグによる影響、3) オペレーターの疲労、があげられている（村上，2001）。

有珠山の無人化施工で使用された重機は、油圧ショベル、クローラダンプ、ブルドーザーであるが、現在ではラフテレンクレーンなど機動性のある移動式クレーンの無

人化も開発されている。今後は工事の安全管理の観点からも活用する機械が増えると考えられる。

噴火の状況把握のための調査にも無人化技術が使用されている。北海道開発局では有珠山噴火を契機に無人災害調査車を整備している。無人のバックホウ（3tクラス）をベースとした調査車、中継車と有人の移動調査車からなり、調査車・中継車にはCCDカメラつきの伸縮ポール、バケット、赤外放射温度計、地盤硬度計、サンプリング用の把持装置などを備えている（片野ら，2001）。

また国土交通省では立ち入り制限期間での板谷川上流域の調査のため、ヤマハ発動機と共同で、GPSを搭載した自律型ラジコンヘリコプターを使用した（仲野ら，2001）。従来のラジコンヘリコプターでは目視操作の限界が150 m程度であったが、GPSを搭載した自律型ラジコンヘリコプターでは自ら機位を保持するため、数kmの遠隔操作が可能である。気象庁でも火口状況の観測や噴煙内の火山ガスの採取を目的に、プログラムされたコースを自動飛行する無人飛行機（カイトプレーン）を使用している。

## 7. ハザードマップ（火山防災マップ）

2000年有珠山噴火は、ハザードマップが事前避難に本格的に活用された日本で初めてのケースといわれている。

有珠山ハザードマップの考え方が最初に提示されたのは北海道防災会議の報告書であるが、1977年噴火が起こっても当時の復興優先の地域情勢から受け入れられないものであった（岡田ら，2005）。その後、1991年雲仙普賢岳噴火、1988年十勝岳噴火、1993年奥尻島津波災害などを契機にその必要性がクローズアップされ、有珠山の最初のハザードマップが1995年9月に完成し、周辺の5つの自治体で全戸配布されている。ハザードマップが整備された後、2000年噴火までの5年間には地域や学校などで噴火や減災に関する取り組みが行われ、このような周知啓発活動が2000年噴火の3日前から始まった群発地震発生への報告に対する迅速な行政や消防の対応、住民の避難行動へとつながったと考えられる。

実際の噴火時のハザードマップの使われ方は以下のような状況であった（宇井，2003）。

臨時火山情報が発令された翌日3月29日の毎日新聞朝刊に火山防災マップの内容及び過去の噴火シナリオを解説した記事が掲載され、同日避難勧告が避難指示に切り替えられた。このときの避難指示区域は、地震の震源域が山体の北西部に偏っていたため、マップの火砕流の危険区域をさらに北西側に拡大した形でその外側にある道路・行政区画境界・河川・鉄道など住民に判りやすいものを使って設定された。31日、避難指示区域の中でも西に偏り、指示対象外の虻田町中心部に近い山山西麓で噴火が始まった。そのため、JR室蘭本線よりも有珠山側の虻田町市街全域に避難指示区域が拡大された。噴

火開始後日時が経過して噴火の状況に変化が少なくなると、万一を考えて広めに取られていた避難区域を縮小する動きが始まった。そのきっかけは農業・漁業関係者が生活問題を現地対策本部に訴えかけたことや交通網の広範囲な規制がもたらした種々の混乱であった。経済的な損失と防災のトレードオフを判断する素材はマップには含まれておらず、その時点で想定される火砕流・火山サージの到達予測図を作成し、判断材料とした。その後7月28日までに16回小刻みに避難区域の縮小が行われた。

このように噴火時には噴火活動に伴い避難区域の拡大とともに、縮小の検討も重要である。現在整備が進められているリアルタイムハザードマップは、噴火時の災害予測図の事前準備（プレアナリシス）と、噴火後のレーザープロファイラーなどのデータにより地殻変動や火口位置を修正した予測図（リアルタイムアナリシス）を作成するもので、警戒避難活動などの噴火時の減災とともに、避難区域の縮小など経済損失の縮小にも効果を発揮すると考えられる。

また火山の専門家ではない行政関係者、住民に、火山防災マップに引かれた線の意味、予想される噴火のシナリオ、マップに盛り込まれた情報が実際の噴火時には変わりうるあいまいさをもつことなどを啓蒙する活動を行うことも重要である。

噴火前に予知でき、安全に非難が行なえればよいが、実際は噴火直前や噴火後の危険の中を周辺住民は避難しなければならない。また危険性の非常に低い区域では避難解除が早いほど経済活動の損害は小さくなる。火山防災マップをひとつのツールとし、住民への火山噴火に対する防災意識の啓発と、噴火前からの噴火シナリオの推定とリアルタイムハザードマップの整備などの取り組みが、噴火時の減災とともに噴火が終息してきた際に迅速かつ安全に経済活動を再開することも可能にすると考えられる。

## 8. 復興（エコミュージアム構想）

エコミュージアム構想は1960年代にフランスで提唱、展開された農山漁村地域の振興策で、地域を丸ごと「博物館」と見立て、自然、農場・山林・漁場や集落、遺跡などを展示室とみなし、住民参加型でつくり上げるタイプの野外博物館である。

有珠山周辺・昭和新山・有珠湾周辺は「火山の恵み（遺構）」エリアとして火山災害の爪跡を保存し、登山学習会などのイベントを通して地域住民や観光客に火山と共生してきた地域の歴史を伝承するとともに火山に対する防災意識を啓発している。

また砂防施設周辺では工事跡の裸地に、周辺植生から種を採集し育てた苗の植栽を住民参加により継続的に行っており、同時に砂防施設の勉強会などを開催し、地域に密着した防災教育の環境整備を実施している。このような火山災害に対する防災意識の啓発が将来の減災につ

ながると考えられる。

## 9. まとめ

本稿では有珠山噴火に関する文献を整理し、噴火の経緯、地表変動の観測手法と地下のマグマの規模や動き、噴火に伴う熱泥流、降灰、2 次泥流などの災害生成メカニズム、無人化施工の試み、ハザードマップの有用性、災害復興などについて紹介した。

近年の測定技術の向上、データ入手の容易化によりリモートセンシング技術の砂防分野への応用が可能となり、これらを解析することで被害予測の精度も向上した。現在ではこれらのデータを活用したリアルタイムハザードマップシステムの整備が進められている。無人施工技術の導入では、雲仙普賢岳や今回の試みを通して、無人化施工の有用性が示され、これをきっかけとして、噴火に限らず平常時でも工事中の安全管理の観点でも、活用する機会が増えると考えられる。

熱泥流、降灰、2 次泥流の発生機構の詳細な検討も行なわれ、火山噴出物の性状により被害状況が異なることが示された。噴火後に入手した試料を迅速に分析し、被害予測を行なえば、予測精度が向上し、それをベースとしてきめ細かい対策を行なうことでコスト削減、被害低減が期待できる。また降灰に伴い硫化水素等の有毒ガス発生や As 溶出などの問題は環境に短期的にも長期的にも影響を及ぼすため、このような特異な状況での環境対策も確立しておく必要がある。

2000 年有珠山噴火時には事前に作成されたハザードマップが日本で初めて本格的に活用された。噴火の際に最も危険にさらされるのは避難を誘導する者と住民である。ハザードマップの活用で適切な避難が可能となるため、常日頃から住民にマップをよく理解してもらうことの重要性が示された。また、リアルタイムハザードマップなどの整備により、噴火時の減災とともに迅速かつ安全に日常生活に戻ることも可能になると考えられ、経済損失を低減できるため、今後の改善により人への被害を大幅に減らすことが出来ると期待される。

日本はユーラシアプレートの東縁部に位置する世界有数の火山国であり、火山活動による被害を受けていると共に、温泉や風光明媚な景観などの恩恵を受けている。有珠山はまさに火山と住民の生活が一体となっている地域で、2000 年噴火を契機にさらに火山を生かした街づくりが進められている。しかし概ね 30 年周期で噴火している有珠山では、噴火への備えは必要不可欠である。有珠山噴火に対する研究、観測、防災、被害対策は必ずおこる次の噴火での被害低減効果をもたらす、噴火のたびにその有用性および問題点の確認を行うことで、ますます高効率化されることが期待される。このような防災技術の開発は、国内のみならず噴火頻度の高い活火山地域でも広く活用できると考えられる。

## 引用文献

- 青野隆 (2003)：無人化施工の現状と展望 災害復旧工事対応事例 有珠山噴火災害復旧工事における無人化施工 市街地かつ長距離からの遠隔施工、建設機械、Vol. 39, No. 3, p. 20-25
- 石井邦宙, 中村三友, 稲葉千秋, 永田直己 (2002)：上空からのデジタル地形計測 有珠山での地盤変動計測例, 応用地質, Vol. 42, No. 6, p. 380-385
- 石田哲也, 桜井亘 (2001)：2000 年有珠山噴火に伴う西山川での泥流による被害とその流動特性について, 国土交通省国土技術研究会報告, 平成 13 年度, p. 5-8
- 宇井忠英 (2003)：ハザードマップの整備と活用—有珠山 2000 年噴火から得た教訓—, 火山, Vol. 48, No. 1, p. 177-181
- 宇井忠雄, 中川光弘, 稲葉千秋, 吉本充宏, 総合観測班地質グループ (2002)：有珠山 2000 年噴火の推移, 火山, Vol. 47, No. 3, p. 107
- 有珠山土砂災害対策専門家チーム (2000)：有珠山噴火速報, 砂防と治水, Vol. 133, No. 1, p. 27-31
- 大野希一, 国片まり, 鈴木正章, 西村裕一, 長井大輔, 遠藤邦彦, 千葉達朗, 諸星真帆 (2002)：有珠山 2000 年噴火でもたらされた火砕物の層序, 火山 Vol. 47, p. 619-643
- 岡田弘, 勝井義雄, 宇井忠英 (2005)：役立った有珠山の最初のハザードマップ, 月刊地球, Vol. 27, No. 4
- 片野浩司, 熊井敬明, 吉住年行 (2001)：災害対策・復旧作業に向けた無人災害調査車, 建設機械, Vol. 37, No. 12, p. 40-45
- 勝井義雄 (2002)：北海道新聞社編 2000 年有珠山噴火, p. 75
- 勝井義雄 (1979)：横山泉・荒牧重雄・中村一明編 岩波講座地球科学「火山」, Vol. 7, p. 278-282
- 加藤邦彦, 竹中真, 杉戸智子, 笠原賢明, 吉田光二 (2001)：有珠山噴火降灰の 2, 3 の性質, 日本土壤肥料学会講演要旨集, Vol. 47, p. 291
- 菅野正人, 加藤正人 (2000)：衛星データによる有珠山噴火の降灰分布と森林被害, 林業技術研究発表論文集, Vol. 2000, p. 58-59
- 気象庁 (2000)：地震火山月報 (防災編), p. 61-62
- 国土交通省砂防部 (2007)：火山噴火緊急減災対策砂防計画策定ガイドライン, p. 34-35
- 宝田晋治, 吉本充宏, 北川淳一, 平賀正人, 山元孝広, 川辺禎久, 高打亮, 中野俊, 星住英夫, 宮城磯路, 西村裕一, 三浦大助, 廣瀬亘, 石丸聡, 垣原康之, 遠藤祐司, 八幡正弘, 野呂田晋, 新井田清信, 石塚吉浩, 工藤崇, 相沢幸浩, 本間宏樹, 江草匡倫, 石井英一, 高橋良 (2001)：有珠山 2000 年噴火の降灰と火口近傍の状況, 地質調査所研究報告, Vol. 52, p. 167-179
- 宝田晋治, 星住英夫, 宮城磯路, 西村裕一, 宮縁育夫, 三浦大助, 川辺禎久 (2002)：有珠山 2000 年噴火の火口近傍堆積物, 火山, Vol. 47, p. 645-661
- 館崎圭, 石渡智, 桑原宜裕, 鈴木貴洋, 春木雅寛 (2005)：有珠山 2000 年 3 月噴火口周辺の植生回復と土壌養分特性, 日本森林学会北海道支部論文集, No. 53, p. 98-100
- 寺沢和彦, 佐藤創 (2001)：2000 年有珠山噴火による森林・樹木の被害の形態, 光珠内季報, No. 194, p. 1-5
- 寺嶋智巳, 田中永晴, 中井裕一郎, 北村兼三, 鈴木覚, 白井知樹 (2001)：有珠山 2000 年噴火の噴出物が堆積した斜面における初期の地形変化, 地形, Vol. 22, No. 5, p. 857-872
- 富永梢子, 菊池俊一 (2002)：有珠山 2000 年噴火降下物の流出・堆積が樹木に与える影響, 日本林学会大会学術講演集, Vol. 113 th, p. 717
- 仲野公章, 清水孝一, 山越隆雄, 葛西勝栄, 中村剛, 秋山幸

- 秀, 高貫潤一 (2001): 2000 年有珠山噴火時におけるヘリコプター搭載レーザー
- 仲野公章, 山越隆雄, 杉浦信男, 葛西勝栄 (2001): 噴火に伴う有珠山土砂災害緊急対応について, 土木技術資料, Vol. 43, No. 2, p. 34-39
- 野村康裕, 小杉賢一朗, 水山高久 (2003): 三宅島・有珠山・桜島の火山灰の物理特性の比較検討—火山灰の物理特性が泥流発生に与える影響に関する一考察—, 砂防学会誌, Vol. 55, No. 6, p. 3-12
- 北海道室蘭土木現業所 (2000): 有珠山土砂災害対策検討委員会資料作成業務報告書, (財) 砂防・地すべり技術センター, p. 3-15
- 曾屋龍典 (1981): 有珠火山の形成史, 地質調査助月報, Vol. 33, No. 4, p. 209-210 キャンーによる地形変化測定, 砂防学会誌, Vol. 53, No. 6, p. 88-94
- 水垣滋, 三島啓雄, 菊池俊一, 新谷融 (2001): 有珠山 2000 年噴火による流域荒廃と泥流, 砂防学会誌, Vol. 54, No. 3, p. 47-53
- 村上亮, 飛田幹男, 矢来博司, 小沢慎三郎, 西村卓也, 中川弘之, 藤原智 (2000): 合成開口レーダーを利用した地殻変動の検出とその地震・火山研究への応用, 地学雑誌, Vol. 109, No. 6, p. 944-956
- 村上亮, 飛田幹男, 矢来博司, 中川弘之, 小沢慎三郎, 西村卓也, 長谷川裕之, 小荒井衛, 藤原智 (2001): 最新技術を用いた地殻変動観測による火山監視 GPS と合成開口レーダー (SAR), 地質と調査, Vol. 2001, No. 1, p. 18-26
- 村上清志 (2001): 二次災害防止のための緊急対策—西山川, 板谷川の無人化施工—, 河川, Vol. 655, p. 10-19, 2001
- 山岡世志郎, 柴田義人, 宍戸謙吾 (2002): 有珠山噴火の対応と治山事業の効果, 治山技術研究発表会論文集, No. 41, p. 143-147
- 八幡正弘, 荻野激, 亀海泰子 (2001): 2000 年有珠山火山噴出物からのひ素の溶出, 北海道立地質研究所報告, No. 72, p. 155-163
- 山中稔, 後藤恵之輔 (2003): 火山性堆積物の建設材料への活用—雲仙普賢岳をはじめとして—, 日本応用地質学会研究発表会講演論文集, Vol. 2003, p. 283-284

(Received 18 May 2007 ; Accepted 4 April 2008)