

# 地質調査

2016

# 第1号

(通巻145号)

## Japan Geotechnical Consultants Association

編集／一般社団法人全国地質調査業協会連合会

### 巻頭言

「御嶽山噴火を踏まえた今後の火山  
防災対策の推進について(報告)」  
および「活動火山対策特別措置法」の概要

内閣府政策統括官(防災担当)付参事官  
(調査・企画担当)付参事官補佐 小竹 利明

### 総論

わが国の火山災害と対策

山梨県富士山科学研究所所長／東京大学名誉教授／  
火山噴火予知連絡会会長／環境防災総合政策機構専務理事 藤井 敏嗣

### 小特集 火山災害

- ≫ 2014年御嶽山噴火 …… 及川 輝樹
- ≫ 口永良部島2014年・2015年噴火の  
特徴:地質調査によって明らかにされた  
過去の噴火特性との比較  
…………… 下司 信夫
- ≫ 箱根火山の観測・研究と2015年噴火  
…………… 萬年 一剛
- ≫ 活火山の監視観測体制が抱える課題  
…………… 宇井 忠英
- ≫ 火山地域の土砂災害対策  
…………… 安養寺 信夫
- ≫ 日本火山学会における火山防災への  
取り組み  
…………… 吉本 充宏

### 教養読本

- ≫ 原子力施設の火山影響評価に対する問題  
…………… 石原 和弘

### やさしい知識

- ≫ 噴火警戒レベル …… 山里 平

### 基礎技術講座

- ≫ 土壌・地下水汚染調査における試料採取(その2)  
…………… 高木 一成



巻頭言	>> 「御嶽山噴火を踏まえた今後の火山防災対策の推進について (報告)」および「活動火山対策特別措置法」の概要 <small>内閣府政策統括官(防災担当) 付参事官(調査・企画担当)付参事官補佐</small> 小竹 利明 ……1
総論	>> わが国の火山災害と対策 <small>山梨県富士山科学研究所所長/東京大学名誉教授/ 火山噴火予知連絡会会長/環境防災総合政策機構専務理事</small> 藤井 敏嗣 ……5
小特集	<b>■ 火山災害</b> >> 2014年御嶽山噴火 及川 輝樹 ……12 >> 口永良部島2014年・2015年噴火の特徴：地質調査に よって明らかにされた過去の噴火特性との比較 下司 信夫 ……18 >> 箱根火山の観測・研究と2015年噴火 萬年 一剛 ……26 >> 活火山の監視観測体制が抱える課題 宇井 忠英 ……32 >> 火山地域の土砂災害対策 安養寺 信夫 ……38 >> 日本火山学会における火山防災への 取り組み 吉本 充宏 ……44 >> 原子力施設の火山影響評価に対する問題 石原 和弘 ……49 >> 噴火警戒レベル 山里 平 ……54 >> 土壌・地下水汚染調査における試料採取 (その2) 高木 一成 ……58 >> 河川堤防の統合物理探査 橋本 裕司 ……64 >> 三重県津市 三重県総合博物館 (MieMu) 奥村 建夫 ……68 >> 九州の炭田・炭鉱 牧野 隆吾 ……70 >> 「松島」の景観をささえる地質 (宮城県) 橋本 修一 ……72 >> 防災科学技術研究所における火山活動の 観測予測研究への取り組み 棚田 俊收 ……74 >> 土地の成り立ちを知り土砂災害から身を守る 脇坂 安彦 ……78
教養読本	
やさしい知識	
基礎技術講座	
私の経験した現場	
各地の博物館巡り	
大地の恵み	
各地の残すべき地形・地質	
研究所からの報告	
書評	
	「東日本大震災の復旧、復興への二つの提言」－提言内容への対応状況報告－ <small>一般社団法人全国地質調査業協会連合会 会長</small> 成田 賢 ……80
会告	>> 国土交通省 民間資格登録制度に全地連資格制度を登録 【地質調査技士・応用地形判読士】 ……84 >> 国土地理院 測量技術者の認定資格制度に 応用地形判読士資格を登録 ……84 >> 平成27年度 応用地形判読士資格検定試験 二次試験合格者18名が決定 ……85 >> 平成28年度 全地連資格検定試験の実施概要 【地質調査技士・地質情報管理士・応用地形判読士(一次)】 ……85 >> 平成28年度 道路防災点検技術講習会 開催案内 ……86 >> 全地連「技術フォーラム2016」の開催について ……86 >> 平成28年度研修「地質調査」 開催案内 ……87

# 地質調査 '16 第2号 (通巻146号) 内容 (予定) 平成28年8月発行

## 特定テーマ

## 山の日

「山の日」制定の道のりと意義

高尾山を楽しむ

安全に山を楽しむ

白神山地周辺の森と水の恵み

北アルプスの生い立ち

山岳の自然環境保護の必要性とその活動

立山カルデラと砂防

荒獅子の舞うふるさとの山

\*上記のタイトルは仮称です。執筆者により変更することがあります。

# 「御嶽山噴火を踏まえた今後の火山防災対策の推進について（報告）」および「活動火山対策特別措置法」の概要

こたけ としあき  
小竹 利明\*

**K**  
Key Word

火山防災，火山防災対策推進ワーキンググループ，活火山法，火山防災協議会，活火山法基本指針，火山災害警戒地域，火山噴火

## 1. はじめに

平成 26 年 9 月 27 日に発生した御嶽山の噴火は、死者・行方不明者 63 名を出す戦後最悪の火山災害となった。お亡くなりになられた方々とそのご遺族の皆様に、謹んで哀悼の意を表しますとともに、災害に合われた皆様に心よりお見舞いを申し上げます。

本噴火災害からは、火山防災対策を推進するためのしくみにはじまり、火山監視・観測体制、火山防災情報の伝達、火山研究体制の強化など、改めて火山防災対策に関する様々な課題が見出された。

このため、我が国の今後の火山防災対策の一層の推進を図ることを目的に、中央防災会議 防災対策実行会議に「火山防災対策推進ワーキンググループ」（主査：藤井敏嗣 東京大学名誉教授）が設置された。本ワーキンググループでは、全 4 回にわたる検討を経て、平成 27 年 3 月 26 日に、「御嶽山噴火を踏まえた今後の火山防災対策の推進について（報告）」をまとめ、今般の御嶽山噴火及び我が国の火山防災対策に関する現状と課題を整理するとともに、火山防災対策推進に向けて今後取り組むべき事項について提言がなされた。

さらに、このワーキンググループ報告の提言のうち、法制化すべき点について措置するために、「活動火山対策特別措置法」が改正され平成 27 年 12 月 10 日に施行された。これにより、ハード・ソフト両面から活動火山対策を推進する体制が整えられた。

本稿では、「御嶽山噴火を踏まえた今後の火山防災対策の推進について（報告）」（以下、「ワーキンググループ報告」という。）および「活動火山対策

特別措置法」（以下、「改正活火山法」という。）の概要について紹介する。

## 2. 「御嶽山噴火を踏まえた今後の火山防災対策の推進について（報告）」の概要

火山災害は発生頻度が低いため、行政機関においては火山防災専門の職員を配置することが難しく、また、社会一般においては火山に関する知識や理解が必ずしも十分でないという実態がある。また、噴火に伴う現象の種類や噴火の規模は多様であることから、火山防災対策を推進するためには、火山ごとに詳細な調査・研究に基づいた検討を行う必要があるが、火山研究者の人数は十分でなく、火山防災に資する研究は必ずしも進んでいないといった実態もある。これらのことは火山防災対策を推進していく上で、短期的には解決することができない根幹的な課題となっていると考えられ、「火山防災対策推進ワーキンググループ」においては、これらの認識に基づいて議論が行われ、具体的な提言がとりまとめられた。

以下に、具体的な提言について、項目ごとに述べる。

### （1）火山防災対策を推進するためのしくみ

本項目では、今後の火山防災対策を推進していくための体制や仕組みについて述べられており、具体的には、国による火山防災対策の基本指針を策定すべきことや、火山ごとの火山防災協議会の設置と、協議会における避難計画等作成について、法令的に明確化すべきことが提言されている。こ

\*内閣府政策統括官（防災担当）付参事官（調査・企画担当）付参事官補佐

これらの提言を基に、改正活火山法の検討が行われ、本稿の3.に記載するとおり、法律の中核的な内容となっている。

また、国は、火山防災対策の立案とそれに資する監視観測・調査研究体制をより強化するため、まずは複数の関係機関どうしの連携強化を図り、そのうえで、より一体的に火山防災を推進する体制を整備すべきとされ、これらの取組を確実に実行するため、内閣府に「火山防災対策推進検討会議」を設置し、具体的な方策の検討を継続すべきと提言された。

## (2) 火山監視・観測体制

御嶽山の噴火は、比較的規模の小さい水蒸気噴火であったが、水蒸気噴火は、マグマ噴火に比べて噴火発生予測が難しく、また、火口付近に登山者や旅行者がいるような場合は、規模の小さい噴火であっても多大な犠牲をもたらす得ることが改めて明らかとなった。

本項目では、これらの課題を踏まえ、火山監視・観測体制の強化として、常時観測47火山に八甲田山、十和田、弥陀ヶ原を追加して50火山とすることや、水蒸気噴火の兆候をより早期に把握するための、火口付近の観測施設の緊急整備や、兆候をより早期に把握するための技術開発について、また、日頃山を見ている人から情報収集するネットワーク強化などについても提言された。

## (3) 火山防災情報の伝達

御嶽山の噴火は、噴火に至る確実な予兆をとらえてレベルを引上げることは難しい事例であったものの、火山防災情報の発表や伝達について多くの課題が明らかとなった。このため、本項目については、ワーキンググループにおいても多くの時間が割かれて議論が行われた。

まず、分かりやすい情報提供のために、噴火警戒レベルの運用について議論がなされ、噴火警戒レベルの引上げや引下げの基準の精査および公表、レベル引上げの基準に至らなくとも火山活動が活発化した場合における臨時の解説情報の発信と緊急現地観測の実施、噴火発生の情報（噴火速報）の迅速な提供等について提言がなされた。さらに、これまでの噴火警戒レベル1のキーワード「平常」では、噴火の危険がない「安全」であるとの誤解を与えてしまう恐れがあることから、キーワードを「活火山であることに留意」に変更すべきと提言された。

また、火山の山頂や山道においては、情報を伝

達するためのインフラ整備が困難であることから、情報伝達手段は必ずしも充実してない。この問題に対しては、防災行政無線、サイレン、緊急速報メール、山小屋等を介した情報伝達等、情報伝達手段の多様化を図ること、特に、携帯端末を活用した情報伝達の充実のため、緊急速報メールの活用や電波通信状況の改善、エリアマップの登山者等にわかりやすい公表を行うこと、また、旅行者に対する情報伝達について観光施設等を通じた情報伝達を行うことなどが提言された。

## (4) 火山噴火からの適切な避難方策等

御嶽山では噴石から身を守るためのシェルターは整備されていなかったものの、火口周辺の山小屋等に退避する行動が身を守るうえで有効であった。また、山小屋に配備されていたヘルメット等の装備品が、登山者が下山する際の安全確保に役立てられた。

これらのことから、シェルターの整備のあり方について検討し、効果や設置に関する考え方、設計における留意点等について整理した手引き等を作成すべきことや、山小屋や山岳ガイド等との連携により情報収集・伝達体制の整備や避難・救助対策の検討を行うべきことが提言された。また、御嶽山における救助・捜索活動においては、登山届を提出していない登山者が多かったこともあり、行方不明者の特定に時間がかかったことから、火山防災協議会で必要性を勘案し、必要に応じて登山届制度を導入すべきことについても提言された。

## (5) 火山防災教育や火山に関する知識の普及

御嶽山の噴火当日は、多数の登山者が登山していたが、活火山であることを知らずに登山していた方も多かったと考えられる。登山者や旅行者が自ら活火山に関する知識を深め、必要な情報の取得や状況に応じた装備の確保に取り組むとともに、登山者・旅行者への情報提供を充実させていく必要がある。

このことから、火山防災に関する学校教育の充実や、登山者、旅行者、住民等への啓発について具体的な提言がなされた。

## (6) 火山研究体制の強化と火山研究者の育成

火山災害については、科学的知見に基づいた防災対応が不可欠であるが、火山監視及び火山防災対策に火山研究者をはじめとする火山専門家の知見が必ずしも十分に活用されているとは言えず、将来的には火山研究者の減少も懸念される。これ

らの課題に対しては、

- ① 火山監視・評価体制の強化のため、火山研究者の知見の活用、および火山活動評価を行う職員の技術力を向上させるための技術研修の実施
  - ② 火山防災対策の強化のため、火山専門家の火山防災協議会への積極参加を推進や、協議会への各種支援策の検討
  - ③ 火山研究体制の強化のため、プロジェクト研究を通じた若手研究者の育成・確保、火山研究分野全体の活性化
- について提言され、これらについて一体的に取り組んでいくべきことが提言された。

### 3. 「活動火山対策特別措置法」の概要

平成 27 年 12 月 10 日に施行された改正活火山法は、ワーキンググループ報告の提言のうち、法制化すべき点を措置したものである。

具体的には、

- ① 目的規定をはじめ、活動火山対策の対象として登山者を明記すること
  - ② 火山現象の変化や予警報の伝達、住民や登山者がとるべき避難行動など、警戒避難体制の整備に関する事項を地域防災計画に位置付けること
  - ③ この際、専門的知見を取り入れた検討を行うため、国、関係する地方公共団体、火山専門家が参画した火山防災協議会の意見聴取を経ること
  - ④ 登山者等が集まる集客施設の管理者等は、避難確保計画を作成すること
- などの措置が講じられた。

加えて、火山研究機関相互の連携の強化や火山専門家の育成・確保、自治体による登山者等の情報の把握、登山者自身が火山情報の収集などの自らの身を守る手段を講じることについての努力義務規定が新たに設けられた（図 1 参照）。

#### (1) 「活動火山対策の総合的な推進に関する基本的な指針」の策定および「火山災害警戒地域」の指定

改正活火山法では、国は、「活動火山対策の総合的な推進に関する基本的な指針」（以下、「基本指針」という。）を定めることとされた。基本指針は、法改正により、従来講じられていた避難施設の整備等のハード対策に加え、警戒避難体制の整備等のソフト対策の充実が図られ、より総合的に火山防災を進める法律となったことから、火山防災に関する基本的な考え方を示すために策定するもので

ある。

基本指針は、

- ① 活動火山対策の推進に関する基本的な事項
- ② 火山災害警戒地域等の指定について指針となるべき事項
- ③ 火山災害警戒地域における警戒避難体制の整備
- ④ 避難施設緊急整備計画等の作成について指針となるべき事項
- ⑤ その他活動火山対策の推進に関し必要な事項の項目で構成されている。

また、改正活火山法では、国は、「基本指針」（上記②）に基づき、「火山災害警戒地域」（以下、「警戒地域」という）を指定し、警戒地域に指定された都道府県および市町村には、火山防災協議会の設置や、地域防災計画への必要事項の記載等が義務付けられた。

警戒地域には、硫黄島を除く 49 の「常時観測火山」（図 2 参照）について、噴火に伴う火山現象による影響範囲にかかる、23 都道府県および 140 市町村が指定された。

#### (2) 「火山防災協議会」

改正活火山法では、火山災害に対する警戒避難体制に係る具体的かつ詳細な事項を、都道府県や市町村の地域防災計画に定めることとされ、その際にはあらかじめ「火山防災協議会」の意見を聴くこととされている。

「火山防災協議会」については、これまでも各火山地域の防災対策推進の中心的な役割を担ってきたが、改正活火山法により、都道府県及び市町村に対してその設置が義務付けられ、さらにその構成員についても、設置主体である都道府県及び市町村の他、気象台や地方整備局等（砂防部局）、陸上自衛隊、警察、消防、火山専門家の参画が必須とされた。

火山災害は広域にわたり影響を及ぼすことから、住民や登山者等の円滑な避難のために、関係する国の機関及び地方公共団体が整合のとれた対応をとる必要があり、さらに、各火山において、監視観測・調査研究体制を充実させ、様々な学術的分野にわたる科学的知見に基づいた防災対応をとることが必要不可欠である。こうした火山災害の特徴に応じた警戒避難体制を整備するためには、火山専門家を含む様々な者が参画し、「火山単位」で検討することが必要であり、これらの関係者が、平常時から「顔の見える関係」を築き、噴火時の「防災対応のイメージ」を共有した上で、必要な防災対応を共同で検討することが必要である。

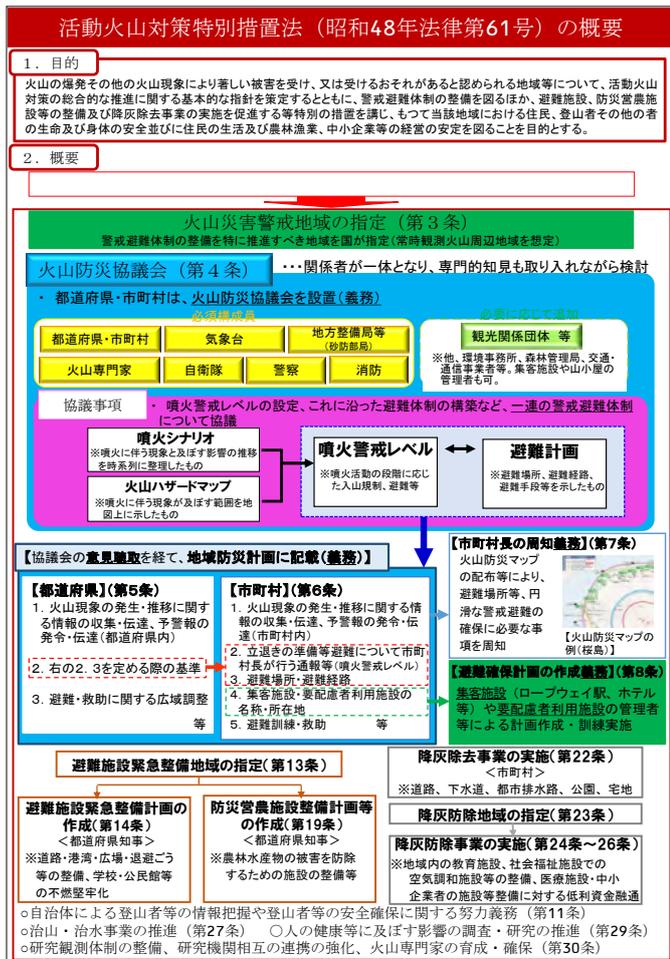


図1 活動火山対策特別措置法の概要

今回の改正活火山法により「火山防災協議会」の位置づけや役割がより明確になったと言え、各火山地域の防災対策について、主体的かつ継続的な取り組みが求められる。

#### 4. おわりに

御嶽山の噴火の後も、口永良部島においては、噴火警戒レベルが導入されて以降、全国初となるレベル5が発令され全島避難を余儀なくされたり、箱根山においては、噴火警戒レベル3の発令により大涌谷周辺への立入が規制されたりするなど、改めて日本が火山国であることを認識させられるような火山活動が相次いで発生している。

こうした状況の中で、関係省庁や各火山地域の地方公共団体、その他関係機関は、より一層火山防災対策の充実を図って行く必要があります。ワーキンググループ報告はそのための基本的な方向を示すものということができ、また、改正活火山法はそれを実行していくための基本的な枠組みということができる。今後、関係機関どうし連携を強化しながら、一日も早いワーキンググループ報告の提言の実現や、改正法の目的の達成に向けて取り組んで行く必要がある。

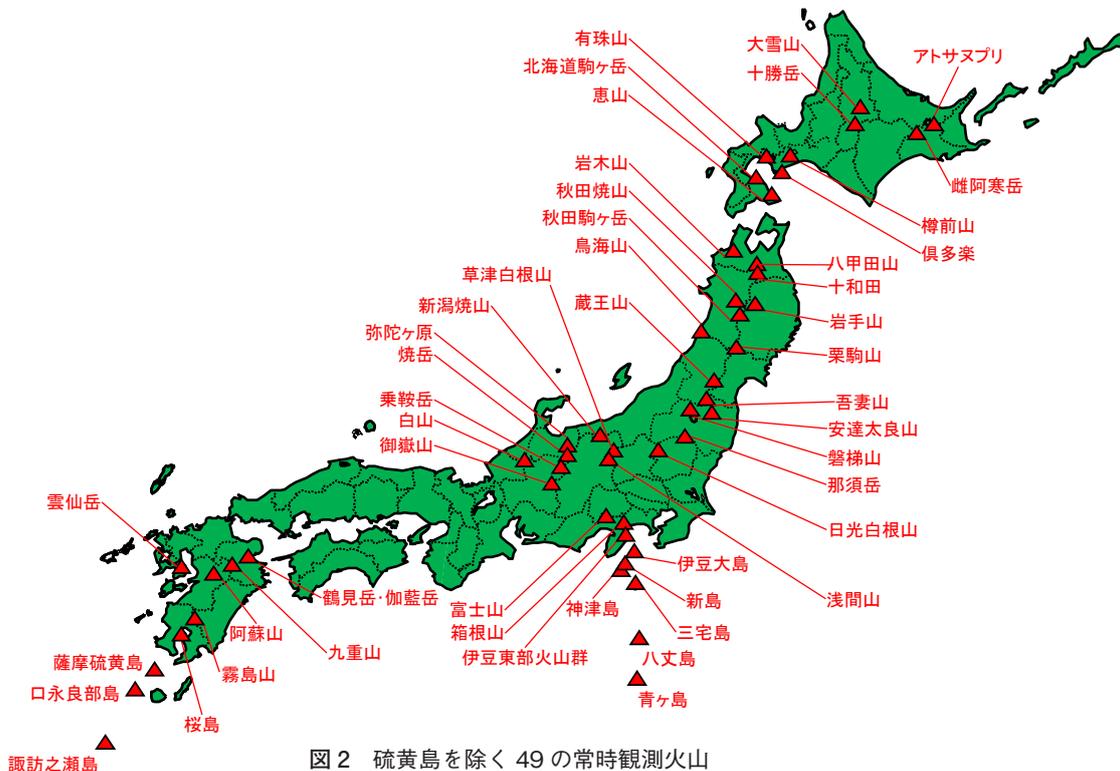


図2 硫黄島を除く49の常時観測火山

# わが国の火山災害と対策

ふじい としつぐ  
藤井 敏嗣\*

**K**ey Word 火山噴火, 火山災害, 噴火予知, 推移予測, 火山防災

## ▼1 はじめに

わが国には110の活火山がある。そのうちには北方領土の火山、海底火山が含まれており、噴火が発生して日本国民の直接的な被害が予想されるのは約80火山である。110火山の中にはカルデラ火山は含まれない。カルデラ噴火を想定すると甚大な災害が確実であるが、ここではカルデラ噴火については触れない。

わが国は多くの火山災害に見舞われてきた。幸いにして1914年の桜島大正噴火以来、火山爆発指数5以上の噴火を100年以上経験していない。このような広域災害をもたらす可能性のある大規模噴火を経験することがなかったことは幸いであったが、逆に火山噴火が発生しても大した被害をもたらすことはないという誤った安心感をもたらした可能性がある。19世紀までは大規模噴火による被害が毎世紀、複数回発生していたにもかかわらず、最近100年間は大規模な噴火が生じていないことから、今後の数十年間にはかなりの規模の火山災害が発生することを想定すべきで、それに備える必要がある。

## ▼2 火山噴火とは

火山災害をもたらす火山噴火の原因となるのはマグマである。マグマは地球内部の岩石の温度が融点を超える場合に生じるが、通常は地球深部の高温の岩石がその浮力のため上昇して、比較的浅い場所(数十～100km程度の深さ)に達して低圧下での融点を超えるか、我が国のような沈み込み帯でのマグマ生成に見られるように、水の存在下で岩石の融点が下がる場合である。

マグマは、通常、周囲の岩石より密度が小さく、

軽いので、地表に向かって上昇を始めるが、途中で周囲の岩石と密度が釣り合い、停滞する。このようなマグマがある深さで停滞してつくる溜りのことを「マグマ溜り」と呼ぶ。マグマ溜りにある程度蓄積したマグマは、結晶化が進むなどして揮発性成分が析出する。これらの成分がマグマから分離せずにマグマ中に留まるとマグマは再び浮力を得て、地表に向かって移動して火山噴火を起こすことになる。

### ①火山噴火の種別

噴火によってマグマが地表にもたらされるとマグマ噴火となるが、マグマが地表に現れない噴火もある。火山によっては地下水がマグマそのものの熱やマグマから分離した高温の気体成分などに熱せられてできた熱水溜りを地下浅部に持つものがある。通常はわずかに漏れ出した熱水が噴気となって火口周辺から立ち上るだけで、有毒な火山ガスなどに注意は必要だが、噴火に至らないことの方が多い。しかし、急激な減圧や加熱によってこの熱水溜りの熱バランスが崩れると、一挙に水蒸気となって体積膨張を起こして爆発するため、周囲の岩石を破砕して噴火を起こすことがあり、これを水蒸気噴火と呼ぶ。その規模は箱根2015年噴火のように100トン以下の噴出物を発生するものから、御嶽山2014年噴火のように100万トン程度の噴出物を放出するものなど、さまざまである。

なお、マグマが地下水や海水などと直接接触した場合、マグマの熱によって一挙に水蒸気になる際にマグマを破砕して噴火を起こすことがあり、この場合はマグマ水蒸気噴火と呼ばれる。水蒸気噴火と異なり、マグマ水蒸気噴火の場合は噴出物中にマグマの破片を含む。

\*山梨県富士山科学研究所所長／東京大学名誉教授／火山噴火予知連絡会会長／環境防災総合政策機構専務理事

## ②噴火の様式とマグマ

直接的にマグマが地表に達する火山噴火には、火山灰やマグマ片などが上空まで噴き上げられるような爆発的なものの他、マグマが溶岩流として流下するもの、粘性の大きなマグマが火口周辺に盛り上がって溶岩ドームを形成するものなど様々である。このような噴火の様式の違いは、主にマグマの化学組成と温度によって変化するマグマの粘性と、マグマに含まれる水などの揮発性成分の量によって決まる。なお、噴火直前のマグマの揮発性成分量はマグマの上昇速度と大きな相関がある。

粘性の低い玄武岩マグマでは、地表に近づくにつれてマグマの圧力が下がって、マグマの中に含まれていた揮発性成分が気泡として析出しても、マグマの粘性が小さいためマグマ中を浮き上がって、すぐにマグマから逃げ去る。そのため激しい爆発も起こさず、穏やかに溶岩を流すことが多い。一方、安山岩やデイサイトなどシリカに富むマグマの場合、粘性が高いため、マグマ中の気泡はなかなか逃げられずに高圧のガスを保ったまま地表に近づく。地表近くでこの高圧ガスを含む気泡が膨れ上がろうとして破裂しマグマを粉碎して、爆発的な噴火を起こしやすい。シリカに富むマグマであっても、何らかの要因でマグマ中のガスが上昇の過程で抜けてしまうと、爆発的噴火をせずに、溶岩ドームをつくることもある。

しかし、マグマが地下水と接触するか、浅い海底で噴火する場合には、マグマ水蒸気噴火を引き起こし、マグマの性質に関係なく爆発的噴火となる。

## ③爆発的噴火と噴煙

爆発的噴火の場合、放出される噴出物量と噴煙の高さには相関がある。噴煙は噴出物の熱によって温められた大気の浮力によって上昇するので、規模の大きな噴火の場合は大きな浮力を得て、噴煙は成層圏にまで到達する。このように上空まで達した噴煙は、まわりの大気と密度が釣り合うと上昇を続けられなくなり、水平に広がって傘状の噴煙となる。

日本のように北半球の中緯度地域では、成層圏では西風が卓越するために、傘雲自体が東方にながされ、地表に降り積もる火山灰は噴火地点より東側の地域に、火口から広がる扇型に分布する。噴煙の高さが低い時には地表付近の風に噴煙が流されるが、風向きは季節によって変化するため、長い期間を通してみると火山の周囲に均等に降り積もることになる。

## 3 火山災害の種類

火山噴火により発生する現象は様々であり、それによって引き起こされる災害も多岐にわたる。

火山噴火とは火口からマグマあるいは固形物が放出されることをいうが、噴火にともなって放出されるものには火山灰、火山レキなどの固形噴出物（火砕物）、マグマが火山の斜面を流下する溶岩流のほかに、気体として放出される火山ガスがある。これらの放出・堆積によって災害が生じるほか、噴火に伴って地表に堆積した火砕物が降雨などによって土石流を発生し、二次災害を引き起こすこともある。

表1にはわが国における主な火山災害の例を示したが、さまざまな災害要因があることがわかる。以下に、災害要因ごとに火山災害について述べる。

### ①降下火砕物による災害

火口から放出される噴出物はマグマ由来か外来物質に関わらず、そのサイズによって、火山灰（直径2mm以下）、火山レキ（直径2mm～64mm）、火山岩塊（直径64mm以上）に区分される。火口からマグマが放出された時点で熔融状態を保っていたために移動中に変形・発泡などが生じて内部構造を有する火砕物は特に火山弾として区分されることもある。発泡度の著しい火砕物は軽石と呼び、そのうち玄武岩ないし安山岩マグマに由来する暗黒色のものを特にスコリアとして区分することが多い。

しかし、このような学術的な分類とは別に、気象庁発表では「火山灰」と「噴石」という2区分が用いられるため、火山防災上混乱を招くことがある。気象庁が火山情報を発信する唯一の公的機関であるため、マスコミでも頻繁に使用され、この区分もすでに市民権を得た防災用語とみなすべきであろう。

噴石の中でも直径数十cmを超えるようなものはあまり空気の抵抗を受けず、火口から弾道を描いて飛行する。このような弾道を描いて飛行する噴石（火山岩塊）の飛行距離は放出の速度と放出された角度によるが、通常は数km程度以内である。このような大きな噴石の速度は場合によっては数百m/s程度に達することもある。御嶽山2014年噴火で登山者を直撃した噴石については、その分布域を再現するシミュレーションから100-200m/sの速度であったことが推定されている。直撃されれば間違いなく命を落とすエネルギーである。

サイズの小さい噴石は空気抵抗のため弾道距離は短い、噴煙とともに上空まで運ばれたのち、風に流され遠くまで到達することがある。軽石などの密度の小さいものは、直径が10cm程度の噴石でも10km以上も風に運ばれて落下することがあるので、

噴火の際の風下側では、火山灰だけでなく、このような噴石にも注意する必要がある。

このため、気象庁では噴石を「風に流されて遠くまで到達する小さな噴石」と「火口から弾道を描いて飛来する大きな噴石」とに区分して公表するが、マスコミでは形容句を省いて「噴石」とのみ記述することが多く、このことが更なる混乱を招いている。

このような火砕物による被害は、爆発的噴火では多くの場合発生する。有珠山2000年噴火では、アパートや民家の屋根に火山灰が降り積もり、更に噴石の落下によって天井を破壊されたものもある。また、道路にも多くの噴石が散乱した。このような火砕物が飛来する中で避難しようとする、命にかかわることになるが、噴火前に住民全員が避難を完了したため、犠牲者は皆無であった。

火山灰、火山レキは火口から噴煙として噴き上げられた後、風によって運ばれるが、サイズが大きく、重いものほど火口の近くに降下し、サイズの小さいものや軽いものは遠くに降下・堆積する。石質のものでは終端速度は直径5cmのもので50m/sに達することから衝撃も無視できない。火山灰が作物に積もると枯死するなどの被害を受け、積もった火山灰の重みで電線が切れ、停電を引き起こすこともある。また、大量に屋根に積もるとその重みで屋根がつぶれることもある。特に火山灰が降雨によって水を含むと非常に重くなる。日本家屋の場合、水を含んだ場合には30cm程度の積灰で梁が損傷すると言われている。

火山灰が航空機に及ぼす影響については2010年のアイスランド、エイヤフィヤトラヨークトル火山の噴火により、ヨーロッパのほぼ全域で航空機の運航が停止したことでよく知られている。空中を飛散する火山灰をジェットエンジンが吸い込むと、エンジン内で再融解し、エンジン出口でガラスとしてエンジンシャフトに固着してエンジン停止などのトラブルを起こすのである。

火山灰は陸上の交通にも大きな影響を及ぼす。傾斜のある道路では4輪駆動でない場合、数mmの火山灰でスリップを起こすことが知られており、数cmを超えると走行不能に陥る。

また、鉄道についても重大な影響を及ぼすことが懸念されている。通常、JR各社のレールには微弱な電気が流れており、車輪が触れることでどこを走行しているか運行指令所で把握できる仕組みになっている。ところが火山灰がレールに数mm積もると、電気が流れないため位置把握ができなくなり、結果として運行不能となる。鹿児島では、桜島の少量の火山灰による障害のため、鉄道が運休した例もある。

また、火山灰が鉄道レールのポイントに入り込むと、ポイント切り替えができないため、火山灰を除去するまで運行できなくなり、大規模な交通障害も予想される。

## ②溶岩流による災害

溶岩流は、火口から流出したマグマが火山の斜面を流下するもので、水と同じように低い所に向かって移動する。マグマは通常900℃から1,200℃の温度なので、この範囲に山林や住居があれば焼失し、時には集落が埋没する。森林部を流下する溶岩流は溶岩樹形を残すことも多い。富士山山腹では、樹齢数百年の森林がたびたび溶岩流に襲われ、多くの溶岩樹形が残されているが、このような古木の場合、人が通過できるような比較的大きな空間をのこすため、御胎内とよばれて信仰の対象となってきた。玄武岩質溶岩の場合、溶岩トンネル利用して、遠方まで流れることも多く、富士山周辺でもコウモリ穴や風穴などと呼ばれる空間が残されている。

日本では、1983年の三宅島噴火で小・中学校を含む阿古の集落が溶岩流に埋没した。伊豆大島1950-51年噴火の際、溶岩流を阻止するために、外輪山の一部にコンクリートブロックを積み上げて堤防をつくったこともあるが、結局、溶岩流が到達しなかったため効果は不明である。しかし、ブロックの密度は溶岩に比べて小さいために溶岩流によって持ち上げられ阻止できないであろう。一方、冷却・固化した溶岩は溶岩流よりも高密度になるため堤防の役目を果たす。わが国でも、1983年の三宅島噴火や1986年の伊豆大島噴火で放水による溶岩流冷却の試みが行われた。ただし、いずれも溶岩流がほぼ停止する時期だったため、効果のほどはわかっていない。

海外では、アイスランドのハイマエイ島で、海水の放水により溶岩から港湾を守った例が有名である。イタリアのエトナ火山では溶岩流が頻繁に流下し、住宅地などを埋積してきたが、1980年代には導流路を掘削して溶岩の流路を変更する試みを行い、成果を上げた。

## ③火砕流・火砕サージによる災害

火砕流は、溶岩片などを含む高温の粉体が固気混相流として火山の斜面を高速で流れ下る現象をいい、多くの場合、内部温度は数百℃以上に達し、その流下速度は時速100kmを超えることが普通である。火砕サージは、火砕流の先端や周囲に発生する比較的低密度の部分で、いわば高温の砂あらしであり、その温度や速度は火砕流本体とほとんど変わらず

ない。従って、火砕流や火砕サージの通り道にあたった所では、すべてのものが焼き払われてしまい、生存者はほとんど期待できない。

1990年11月に始まった雲仙普賢岳噴火では、1991年5月末からは山頂に現れた溶岩ドームの一部が崩壊して発生する火砕流が頻発し始めた。同年6月3日には、比較的規模の大きな火砕流・火砕サージによって43名の死者・行方不明者が発生した。

国外では、カリブ海のマルチニーク島で、火砕サージにより首都サンピエールを一瞬で壊滅させ、2万8,000人の犠牲者を出したモンプレアの噴火（1902年）が有名である。また、1991年のフィリピン・ピナツポ噴火では、6月に山頂部にカルデラを形成する大噴火が発生し、ほぼ全方向の谷沿いに山頂から約10kmにわたって火砕流が流下した。

水蒸気噴火でも火砕流が発生することがあるが、多くの場合、数百℃以下の温度で、樹木を焦がしたり、発火させることがない。このような火砕流を低温火砕流と呼び、500℃以上に達する通常の火砕流と区別する場合がある。

三宅島2000年噴火の際にも低温火砕流が発生し、全島避難の引き金となった。

最近では気象庁や国土交通省が設置した火口カメラや土石流監視カメラによって、火口近傍数km以内の噴火現象がリアルタイムで観察される機会が増えたこともあって、水蒸気噴火に伴って低温火砕流が発生する様子が比較的頻繁に目撃されるようになった。口之永良部島2015年噴火では山頂の火口付近から流下する低温火砕流が海岸に到達する様子が逐一記録され、平均時速120kmであることが分かる。この場合も、樹木は若干変色しているものの、焦げた様子もなく、比較的低温の火砕流であった。

#### ④山体崩壊による災害

火山体の崩壊は大量の土砂移動を伴うため、大規模な災害となることが多い。火山体は一般に、火山噴出物などが降り積もってできたルーズな地形であり、また火山活動に伴う火山ガスなどによって変質が進んだ場所も存在するなど崩壊しやすい。このため、噴火や地震に伴って大規模に崩壊が起こり、岩屑なだれを引き起こし、さらに河川への流入、せき止め、決壊により土石流などを発生し、大きな災害につながる可能性がある。

日本では1888年7月の磐梯山の水蒸気噴火に伴う大規模な山体崩壊が有名である。このときには、発生した岩屑なだれがふもとの村々を埋没させると同時に、崩壊した土砂が川をせき止め、桧原湖や秋元湖、五色沼など、いくつもの湖をつくった。近年

では、1984年9月の長野県西部地震による御嶽山の崩壊がある。この例にみられるように、山体崩壊のきっかけは火山噴火とは限らない。2900年前に富士山の山体東部が崩壊し、御殿場泥流を堆積させたが、この時に噴火が生じた証拠はなく、富士川河口断層での地震がきっかけで崩壊したと考えられている。

海に崩壊土砂が流れ込むと津波を発生させ、さらに被害を増大することもある。1741年の渡島大島の噴火や1792年の雲仙岳噴火と直下の地震に伴う眉山の崩壊などがこの例である。

海外では、1980年5月のアメリカ合衆国のセントヘレンズ火山の噴火の例が有名である。地下からのマグマの貫入により不安定になっていた火山体の一部が崩壊し、岩屑なだれとブラストと呼ばれる爆風を発生し、広範な地域の山林が破壊された。さらに川に流れ込んだ土砂は土石流となって、下流域を襲い、広範な地域が被害を受けた。なお、この山体崩壊は地表に近づいていたマグマの重しを一挙に取り除いたために、巨大噴火を引き起こし、セントヘレンズ山の東方域は大量の火山灰被害を被った。

#### ⑤土石流（火山泥流、ラハール）による災害

火山噴火で降り積もった火山灰などの噴出物により、雨水の浸透性が低下し、降水を集めて一挙に大量の流水となり、これが噴出物とともに流れ出して土石流が発生する。積雪が噴出物の熱で溶かされて大量の流水が発生し、噴出物とともに流れ出して泥流（土石流）が発生することもあり、これは特に「融雪型火山泥流」と呼ばれる。最近では外国での呼び方になって、噴火時、噴火後を問わず、火山地域で発生する土石流を「ラハール」と呼ぶことも多い。

土石流の速度は時には時速数十km以上に達することもあり、火砕流とともに大規模な被害につながりやすい。1955年以来、爆発的噴火を繰り返している桜島では、降り積もった火山灰によって土石流が頻発したため、各種の砂防ダムがつくられるとともに、導流溝により、発生した土石流を海岸に導いている。

水蒸気噴火やマグマ水蒸気噴火の際には特に細粒の火山灰が放出されることが多いが、このような場合には降雨の浸透性が特に悪いために、比較的少量の降雨でも土石流が発生することがある。2000年の三宅島噴火では7月から8月にかけてのマグマ水蒸気噴火で山体が極細粒の火山灰で覆われたため、時間雨量4mmで土石流が発生した。いったん土石流が発生して浸食谷がつくられると、過去の噴火堆積物を浸食して土石流が続発するようになったた

め、三宅島では多くの砂防ダムの建設が行われた。

1990年から1995年まで続いた雲仙普賢岳噴火では、1991年の初期に山腹や谷筋に堆積した初期の水蒸気噴火堆積物を材料とする土石流が発生したが、後に火砕流が頻発するようになるとこの堆積物を材料として多数の土石流が発生し、安中地区を中心に家屋の破壊と埋積が行われた。

融雪型火山泥流としては、国内では1926年5月の十勝岳噴火によって残雪が融け、泥流が流下して、144人の犠牲者を出した例がある。日本では、中部以北の火山で積雪時に噴火した場合、融雪型火山泥流が発生する可能性がある。

海外では、1985年11月のコロンビアのネバド・デル・ルイス火山の噴火で山頂の火口から流出した火砕流によって氷河の一部がとけ、土石流が発生してアルメロ市をはじめとする麓を襲い、2万5,000人の死者を出した例が有名である。この災害の調査から、日本で本格的に火山ハザードマップが導入されることになった。

#### ⑥火山ガスによる災害

火山活動に伴って放出される火山ガスの大部分は水蒸気であるが、二酸化炭素、二酸化硫黄、硫化水素などの有害ガスも放出される。これらの有害ガスは大気よりも重いために、谷筋などに沿って流下したり、くぼ地に集積して被害をもたらすことがある。日本では、草津白根山や安達太良山などで、硫化水素による犠牲者が出た例があるほか、2000年の三宅島噴火では8月以降火口から二酸化硫黄を多く含む火山ガスの噴出が始まり、9月には日量10万トンを超えるなど、大量噴出が数年以上にわたって継続した。

住民は火山噴火の活発化を懸念して全島避難したのであるが、目立った噴火はほとんど発生しなかったにも関わらず、火山ガスに阻まれ住民が帰島できるまで4年5か月を要した。帰島後も日量数千トンの二酸化硫黄の放出が続いたため、一部の地域では2014年まで、居住不適となっていた。

海外では、1986年にアフリカのカメルーンにある火口湖、ニオス湖から二酸化炭素が大量噴出し、谷筋を流下して1,700人の住民と家畜が酸欠で窒息死した例がよく知られている。

#### ▼4 火山災害への対策

火山噴火のエネルギーは非常に大きく、噴火を制御することは不可能である。したがって、噴火を事前に察知し、噴火による影響範囲を認識して、身体

の安全を確保することのできる領域へ避難することが減災の王道である。このためには火山噴火の発生場所、時期、規模、推移を予測することが重要であり、わが国においては1974年以来、火山噴火予知計画として追究されてきた。このような努力の結果、桜島のように繰り返し噴火が起こっており、かつ十分な観測体制がとられている火山で、同様の噴火が発生する場合には、噴火の前兆現象を捉えて、いつ頃噴火するのかについてはある程度把握できるようにはなった。

しかし、正確に噴火の日時を特定することは困難である。また現状での火山噴火予知は経験則に依っているために、観測機器が整備されて以降噴火したことがない火山においては次の噴火の発生時期を確実に予知できるとは限らない。さらに、通常の噴火については予知できる火山であっても、通常の噴火とは非常に異なる様式の噴火に変化する場合には、それまでの経験が通用するとは限らないことにも留意する必要がある。

噴火発生の際の正確な予測はできなくとも、噴火はある程度継続し、様式や規模も時間とともに変化することも珍しくないため、噴火開始後に十分な観測体制を展開し、その後の噴火の推移を把握することが減災につながる。また、噴火に伴う警戒区域の設定や解除に際しても、噴火開始後の観測体制の充実が大きな意味合いを持つ。火山噴火は地震とは異なり、発生時期の予測よりも、その後の展開の予測がむしろ重要である。

しかしながら、わが国においては噴火時期を機器観測により特定するということが重視されたため、火山噴火予知研究も気象庁による火山監視業務も物理観測に偏り、物質科学的アプローチがやや軽視されてきた傾向があったことは否めない。推移予測のためには火山地質の経験者がもっと活用されるべきであろう。

#### ▼5 火山防災と地質業

火山防災の基盤となる被害想定において、地質業の果たす役割は重要である。特にハザードマップの作成については過去の噴火履歴の解明や噴出物分布、噴出物量の推定が基本になることから地質調査が不可欠である。しかし、噴火の短期予測においても地質業の果たすべき役割は多い。

火山噴火では人間のタイムスケールに比べて休止期間が長いことが一般的で、地震計などを使用した物理観測が可能になって100年程度しか経過していないため、物理観測によって異常が観測されても、

その異常に対応する現象が自明ではないことも多い。そのため、推移予測のためには地質調査により解読された噴火履歴や噴火推移を参照することが重要となる。特に噴火の様式や規模の予測については、火山噴火の物理モデルが実現できていない現在、物理観測結果のみに基づく予測は一般に困難であり、諸外国における類似火山における観測事例がない場合には、地質調査から復元された過去事例を参照することになる。

噴火の規模や様式を物理観測によって予測することは現時点では困難であるが、それぞれの火山は多くの場合、同じような噴火を繰り返すので、過去の噴火の様式をよく調べておけば、ある程度の予想を行うことも可能である。しかし、2000年三宅島噴火のように、それまで規則正しく、ほぼ20年おきに繰り返してきた噴火とは全く異なる、数千年に1回程度しか生じないタイプの噴火を突然起こすこともあるので、最近の噴火事例にとらわれすぎてはいけない。

このような反省から、我が国でも噴火系統樹（イベントツリー）の作成が重要視されるようになった。火山現象の異常が捉えられた場合、どのような現象に展開する可能性があるかをあらかじめリストアップするためでもある。噴火事象の分岐確率については現在のところ、過去事例の解析に基づく頻度で表現されるため、地質調査の役割は重要である。

また、よほど規則的に噴火を繰り返しているような火山か、地下でのマグマの蓄積状況を地殻変動観測などによって連続的に把握できている火山でない限り、次の噴火がいつ頃起こるかについて、数年ないし数十年スケールの予測を行うことは困難である。別の表現をすると、今、全く異常現象の見られない火山であっても、数年先に突然地震活動や噴火活動が活発になって、噴火に至るという可能性も十分に考えられるのである。

このように中・長期予測も現時点では困難であるが、それぞれの火山について、ボーリングやトレンチ調査などを活用した詳細な地質調査によって、数百年から数千年スケールでの噴火履歴や噴火様式の変遷などについての知識が得られていれば、地殻変動観測によるマグマ蓄積量の推定と合わせて、ある程度中期的な予測を行うことも可能になるかもしれない。

火山防災のためには、一旦噴火が発生した場合、どのような現象が生じているかを見極めることが推移を予測する上で重要である。このような現状認識には地質調査で培われた想像力が有効である。過去の噴火噴出物の調査では、噴出物の堆積状況や分布

から、噴火時の様子を再現することを繰り返し訓練されることになる。このような訓練を受けた者が噴火現象に直面した際には、どのような現象が生じているのかを的確に把握することが可能になる。

わが国では火山の監視は気象庁を中心に行われ、また、大学における火山観測所も地下のマグマを把握するための物理観測に特化してきたという背景もあり、個々の噴火での現象把握が着実に行われてきたわけではない。噴火時には大学の地質研究者や産総研の活断層・火山研究部の研究者が出動するものの、日常的に物理観測グループと連携しているわけではないため、噴火現象の包括的な把握に成功しているとは言い難い。

## ▼6 おわりに

わが国においては、火山防災の最大の手法は地下のマグマの動きを捉え、火山噴火を予知することであるとされ、物理観測が重要視されてきた。このため、大学の火山観測所も、気象庁による観測も物理観測に重点がおかれ、火山ガス観測や地質調査による噴火履歴解析、噴出物を活用した噴火メカニズムの研究が遅れてきた感がある。

諸外国における火山観測所・機関には、地球物理学、地球化学、地質学、岩石学の専門家が共存し、幅広い角度から火山観測研究・監視を行っている。グローバルスタンダードに習うことが良いというわけではないが、火山の理解には広範な領域の知識と研究が不可欠である。この意味では我が国の火山防災の体制も世界の標準を見習った改革が望まれる。

表1 我が国における主な火山災害（内閣府 HP による）

<http://www.bousai.go.jp/kazan/taisaku/k3.html>（2016年3月1日現在）

年月日	火山名	被害の概要
1410(応永17).3.5	那須岳	噴石や埋没により死者約180
1640(寛永17).7.31	北海道駒ヶ岳	津波により死者約700
1741(寛保元).8.29	渡島大島	津波により死者1475
1779(安永8).11.8、9	桜島	溶岩流、噴石により死者153
1781(天明元).4.11	桜島	海底噴火。津波により死者8、行方不明7
1783(天明3).8.4	浅間山	火砕流、溶岩流、火山泥流。吾妻川、利根川に洪水。死者1151
1785(天明5).4.18	青ヶ島	死者130~140。八丈島に避難し50年余り無人島に。
1792(寛政4).5.21	雲仙岳	眉山崩壊とそれに伴う津波により死者約15,000
1822(文政5).3.23	有珠山	熱雲により旧虻田部落全滅。死者50
1856(安政3).9.25	北海道駒ヶ岳	1村落焼失。軽石流により死者約20
1888(明治21).7.15	磐梯山	大泥流により山麓の村落が埋没。死者461
1900(明治33).7.17	安達太良山	火口の硫黄鉱山施設、山林耕地施設に被害。死者72
1902(明治35).8.7	伊豆鳥島	中央火口丘爆砕。全島民125名死亡
1914(大正3).1.12	桜島	溶岩流出、村落埋没、焼失。地震鳴動顕著。死者58
1926(大正15).5.24	十勝岳	大泥流発生。2ヶ村村落埋没。死者144
1940(昭和15).7.12	三宅島	火山弾、溶岩流出。死者11
1947(昭和22).8.14	浅間山	噴石により死者11
1952(昭和27).9.24	ベヨネーズ列岩	海底噴火。観測船第5海洋丸の避難により全員(31名)死亡
1958(昭和33).6.24	阿蘇山	噴石により死者12名
1962(昭和37).6.29	十勝岳	死者4、行方不明1
1974(昭和49).6.17、8.9	桜島	土石流で死者8
1974(昭和49).7.28	新潟焼山	噴石により死者3
1977(昭和52).8~1978(昭和53).10	有珠山	泥流、降灰砂、地盤変動。死者3。有珠新山生成
1979(昭和54).6~7	阿蘇山	死者3、負傷者11
1983(昭和58).10.3	三宅島	溶岩流出、阿古地区家屋焼失・埋没394棟
1986(昭和61).11.15~12.18	伊豆大島	12年ぶりに噴火。全島民等約1万人が島外避難
1990(平成2).11.17~	雲仙岳	火砕流により死者41、行方不明3
2000(平成12).3.31~2001(平成13).6.28	有珠山	爆発により火口群形成
2000(平成12).6.25~2005(平成17).3.31	三宅島	噴石。火砕流を伴う噴火。大量の火山ガス。全島避難

注：ここでいう噴石とは火口から弾道を描いて飛来する大きな噴石のこと。



# 2014年御嶽山噴火

おいかわ てるき  
及川 輝樹\*

**K**  
ey Word

水蒸気噴火, 噴火推移, 火砕流, 火口溢流型泥流, 御嶽火山, 木曾御岳山

## 1 はじめに

2014年9月27日に、御嶽山（最高峰 剣ヶ峰：3067m）で発生した水蒸気噴火は、63名もの死者・行方不明者を出す噴火となった。新聞等の報道によると2015年8月の時点で確認された死者58名の死因は、56名の方が飛来した火山礫・火山岩塊（以下、噴石とまとめる）による損傷死、1名の方が気道熱傷、1名が不明である。

御嶽山は、山頂部に噴気活動が古くから認められる<sup>1)</sup>ことから、活火山とは認識されていた。しかし有史以来はじめての噴火といわれる1979年の噴火以前は、噴火の可能性は低いと考えられていたため、その噴火を契機に全国の活火山の見直しが進んだ。2014年噴火で多数の死傷者が出たことから、その後、国の火山防災体制の見直しが進んでいる。残念なことに、近年の御嶽山の噴火は予知の限界を知らしめる噴火となってしまった。

本論は、水蒸気噴火の発生メカニズムとその性質などを紹介し、このような災害に至った2014年噴火の推移、その教訓などについて論ずる。

## 2 水蒸気噴火

### 2.1 水蒸気噴火の発生メカニズム

水蒸気噴火は、封圧下で100℃以上の温度となった液体の水（過熱水）が減圧され、急激に水蒸気（フラッシュ蒸気）となることで発生する噴火である。フラッシュ蒸気の噴出や急激な膨張に伴う爆発によって発生する。過熱水は、マグマそのものか、それから分離した火山ガスの熱などによって加熱された岩盤中につくられる。そのため、活火山に限らず熱水活動が活発な地熱地帯でも水蒸気噴火は発生し

うる。たとえば、1995年長野県中ノ湯（死者2名）<sup>2)</sup>、1997年秋田県澄川温泉<sup>3)</sup>、2010年鬼首地熱発電所（死者1名）などは、活火山の火口から離れた地熱地帯で発生した。

水蒸気噴火の原因となるフラッシュ蒸気の発生に必要な急激な減圧は、熱水溜まりの周囲の壁岩の破壊によって引き起こされる。壁岩の破壊は、1) 火山ガスや熱水流体の注入や加熱による圧力上昇の結果による破壊、2) 熱水溜まりから放出されていたガスや水蒸気の通路がふさがれて内圧が上昇した結果による破壊、3) 地震活動やマグマの貫入による地殻変動による破壊や応力変化、4) 地すべりなどの土砂の斜面移動による破壊など多岐の要因によって引き起こされる。

### 2.2 水蒸気噴火で発生する現象

水蒸気噴火で発生する噴火現象は、火口から弾道を描いて飛来する火山礫・火山岩塊（噴石）の放出、火口から立ち昇った噴煙から降下する降灰や火山礫。その他、一種の火砕流や、直接火口から水（お湯）が溢れて発生するラハール（火口溢流型泥流）なども発生する。また、山体崩壊や地すべりも伴うこともある。これら現象のうち、火砕流や火口溢流型泥流は火口から離れた地点においても被害を及ぼすため、防災上注意すべき現象である。火口溢流型泥流はしばしば火山体から離れた河川の増水などを引き起こすことが知られている。また、水蒸気噴火で発生する火砕流は、マグマ噴火のように本質物を含まないが、放出された噴出物が重力に引きずられて斜面を流れ下る、一種の火砕流（火砕物重力流または火砕物密度流）である。本質物を含まないため比較的低温であるが、火傷を負う程度の温度に達するこ

\*国立研究開発法人 産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門

ともある（例えば安達太良山1900年噴火<sup>4)</sup>）。水蒸気噴火に伴う火砕流の発生は数少ないが、それほど珍しいわけではない。最近100年程度の間に日本でも5件（磐梯山1888年、安達太良山1900年、焼岳1915年、御嶽山1979年、2014年）知られている。

### 2.3 水蒸気噴火の頻度、規模、継続期間

日本国内で1900～2006年の間に発生した水蒸気噴火は、145件にものぼる<sup>5)</sup>。つまり水蒸気噴火の発生頻度は高くポピュラーな噴火といえるが、その理解は十分とはいえない。水蒸気噴火が発生すると「水蒸気噴火だから規模が小さい」ないし「短期間で終息する」といったコメントがよせられることがあるが、それは必ずしも正しくない。

水蒸気噴火による噴出物の総量は、10～1億 $m^3$ の間であり、100万 $m^3$ オーダーのものが最も多い<sup>6)</sup>。噴出物量を基に単純にVEI（Volcanic Explosivity Index：火山爆発指数）へ変換すると1～3となり、最頻値がVEI：2となる。このように小規模な噴火が多いのは確かだが、中規模なマグマ噴火に匹敵するもの（VEI：3）も発生しているため、水蒸気噴火だから小規模であるとはいえない。

1回の水蒸気噴火の継続時間は、数時間から1日程度である。それが複数回頻発する場合でも、最初の噴火が最大規模で、長くても数ヶ月以内に終息す

ることが多い。しかし、数～数十年間程度、複数回の噴火が断続的に頻発する例（吾妻山1893～96年噴火、焼岳1907～39年噴火など）も認められる。さらに、マグマ噴火に移行し長期化する例（雲仙普賢岳1990～95年噴火など）もある。ただし、先に紹介した日本での水蒸気噴火145件の内、マグマ噴火への移行ないしマグマの強い関与が想定される噴火は12件であった。他の研究例<sup>7)</sup>を参考にしても、マグマ噴火に移行する割合はおよそ10%前後である。いずれにしても、水蒸気噴火だから規模も小さく活動が長期化しないというわけではない。

### 3 御嶽山の噴火史

御嶽火山は、約78万年前から活動を開始し、途中40～10万年前の休止期を境に、古期と新期の活動にわけられる成層火山である。最近1万年にも複数のマグマ噴火と水蒸気噴火を行っており、その頻度は日本の平均的な活山と同程度あることが地質調査から判明している<sup>8)</sup>。記録に残る噴火は1979年噴火が最初であるが、少なくとも江戸時代後半から山頂南の地獄谷において弱い噴気活動が継続していた<sup>1)</sup>。1979年噴火の後、1990年と2007年に微噴火、2014年に噴火が発生しており、いずれも水蒸気噴火であった<sup>8)</sup>。総噴出物量は1979年と2014年噴火が約100万 $m^3$ 、1990年と2007年噴火が100万 $m^3$ 以下である<sup>9,10)</sup>。比較的規模の大きい1979、2014年噴火とも水蒸気噴火としては標準的な規模の噴火である。

### 4 2014年噴火

2014年噴火は、9月27日11時52分30秒頃に大きな爆発音もなく始まった<sup>11)12)</sup>。この噴火は、噴火開始と同時に比較的低温の火砕流が発生したこと、著しい噴石被害が発生したことが特徴である（図1, 2）。総噴出物量は、1979年噴火と同じ約100万 $m^3$ であり、噴火の規模は同じであったが、死者・行方不明の数は極端に異なる。今回の噴火で死者・行方不明が多かった原因は、①事前に火口周辺の立ち入り規制がかけられなかったこと、②登山の際に多くの人々が留まる山頂付近に火口が開いたこと、③噴火発生時がお昼時で、多数の人が山頂付近にいたことと、④噴火のクライマックスが開始直後であり逃げる間が無かったこと、⑤火砕流に覆われ視界の悪い中、多数の噴石が降ってきたため逃げるに逃げられなかったことなどが考えられる<sup>13)</sup>。なお、噴火当時、剣ヶ峰山頂付近だけでも少なくとも130名

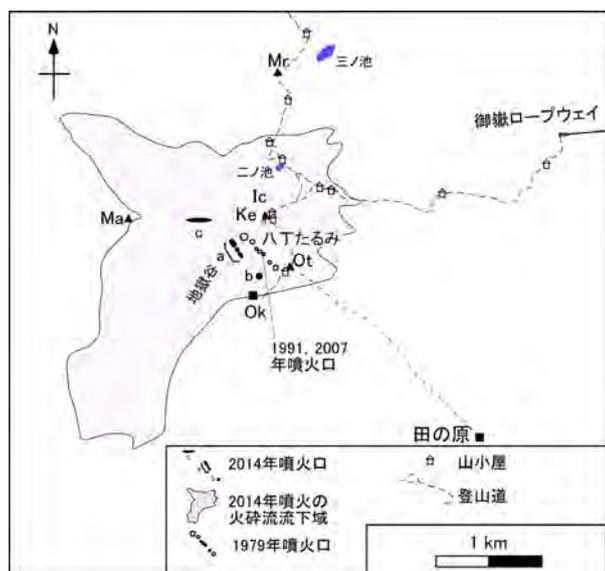


図1 御嶽山2014年噴火の火口位置と比較的低温な火砕流の広がり。

9月28日のヘリからの観察および写真判読と噴火時にとられた映像の解析に基づく。

Ke: 剣ヶ峰, Ok: 奥の院, Ot: 王滝頂上, Ma: 継母岳, Mr: 摩利支天岳

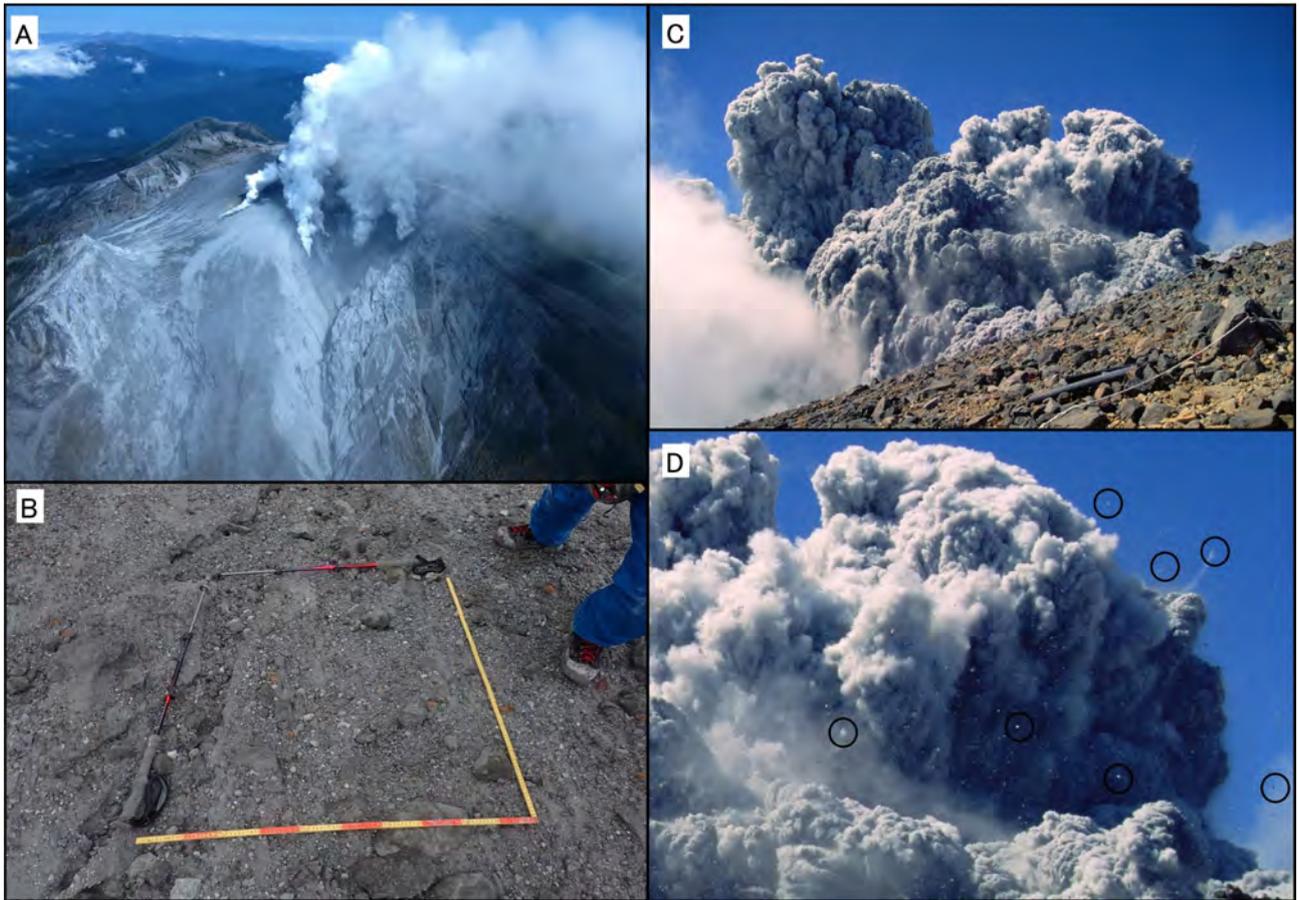


図1 御嶽山 2014 年噴火の写真。

A：南方から望む空撮写真。中日新聞社のヘリコプターから 2014 年 9 月 28 日及川撮影。激しく噴煙をあげる火口群が 2014 年の噴火口。手前に伸びる谷が地獄谷。白～灰色の火砕物で厚く覆われた部分は火砕流が到達した地域。火砕流は地獄谷に沿って約 2.5 km，左側のシン谷沿いに約 2 km 流れた。

B：降下した多数の火山岩塊。剣ヶ峰山頂付近にて 2015 年 8 月 20 日撮影。火山噴火予知連御嶽山山頂調査隊提供。

C：2014 年 9 月 27 日噴火開始直後（推定 11 時 52 分 40 秒前後）の噴煙・火砕流・噴石。八丁たるみから西側の地獄谷内の火口方向を望む。垣外富士夫氏撮影。

D：C の写真の一部拡大。丸で囲んだものに代表される飛来する多数の噴石が写っている。垣外富士夫氏撮影。

ほどの登山者がいたことが聞き取り調査等から判明している。

この 2014 年噴火では、水蒸気噴火で発生する事象のうち山体崩壊以外のすべてが発生した。では、その噴火はどのように進展していったのか？ 私達は、噴火直後からヘリ観察や降灰調査を行い、計 3 回（2014 年 11 月，2015 年 6，8 月）の山頂調査、噴火体験者への聞き取り調査などを行い噴火の推移を明らかにしつつある<sup>8), 9), 10), 11), 13)</sup>。それら成果をもとに噴火の推移をのべる。以下、4 章において特に断らないかぎり、それら研究の成果を基にしている。

#### 4.1 前兆

今回の噴火につながる異常は、9 月 10 日頃から顕著にあらわれ始めた。山頂直下の火山性地震が日

に 50 回を超え、火山活動の活発化が認められたため、気象庁は 9 月 11 日に「火山の状況に関する解説情報」を発表し注意を喚起した。解説情報を受け、地元の本曾町、王滝村は山頂部の山小屋に地震の増加を伝え注意を促すとともに、異常の有無を確認したが、特に異常の報告はなかったそうである。私達の研究グループも、御嶽山をよく知る地元山岳ガイドや山小屋関係者に直接聞き取りを行ったが、噴火前に噴気の増大や異常な火山ガス臭などの異変には気付かなかったとの証言を得ている。「火山の状況に関する解説情報」は、地震の回数が減ってきたことから、9 月 16 日を最後に噴火発生後まで発表されなかった。

#### 4.2 噴火の推移

2014 年噴火は、1979 年火口列の南側に新たに形

成された火口列（図1,2）から発生した。火口列は、西から東に、剣ヶ峰・継母岳間（図1のc）、地獄谷内（図1のa）、奥ノ院下（図1のb）の大きく三つの領域に分けられる。地獄谷内の火口（a）が、最初に活動を開始し、その後奥ノ院下の火口（b）が11:53頃に開口した。剣ヶ峰・継母岳間の火口（c）はその後活動したが、正確な活動開始時間は不明である。

2014年噴火は、大きく3つのフェーズ、11:52から12:15頃までのフェーズ1（火砕流発生期）、12:15から16:00頃までのフェーズ2（泥雨まじりの降灰期）、16:00以降のフェーズ3（火口溢流型泥流発生期）にわけられる（図3）。以下そのフェーズごとに噴火の推移を記す。

フェーズ1（11:52から12:15頃まで）：比較的低温で本質物を含まない火砕流の発生と、多量な噴石の降下で特徴づけられる。火砕流は、いったん標高3500mほどの高度まで上昇した噴煙が崩壊することで発生し、火口から四方に広がった。発生期間は、フェーズ1の間に限られ、その間に複数回発生したことが、映像や聞き取り調査から確認できている。火砕流は多くの犠牲者がでた八丁たるみや剣ヶ峰山頂部にも到達したが、特に火口南側の地獄谷沿いに約2.5km、北西方向にも約2kmと特に長く流れ下った（図1,2）。火砕流流域のハイマツなどの樹木は噴火直後の上空からの観察でも焼け焦げていないため、火砕流は比較的低温であったと考えられる。聞き取り調査や映像等に基づく、山頂付近に到達した火砕流の温度は、部分的に100℃を超えた可能性はあるが、概ね30～100℃程度と推定され、水滴などの液体の水を含まない乾燥した流れであった。その速度は、およそ10～20m/sである。

これら火砕流の到達とほぼ同時に、山頂部を多数の噴石が襲った。火口から弾道を描いて飛来する噴石の発生は、噴火開始直後から発生したことが写真等から判っている（図2）。噴石の到達時刻は、八丁たるみでは火砕流の到達とほぼ同時の噴火開始後数十秒以内であったが、剣ヶ峰山頂付近では噴火開始から1分程の間があった。山頂部に降りそそいだ噴石は、建物の屋根や壁、神社の石造物を破壊し、直径5cm程度の鉄パイプを破断するほどの威力があった。噴石は、山頂付近では12時50分ごろまで降っていたが、多量に降ったのは火砕流の発生と同じくフェーズ1の間であり、その後は量が少なくなった。

火砕流が到達しなかった地点には主に火砕流の灰神楽起源の降下火山灰が降ったが、それはフェーズ1の時点では水滴が混じっておらず乾燥していた。

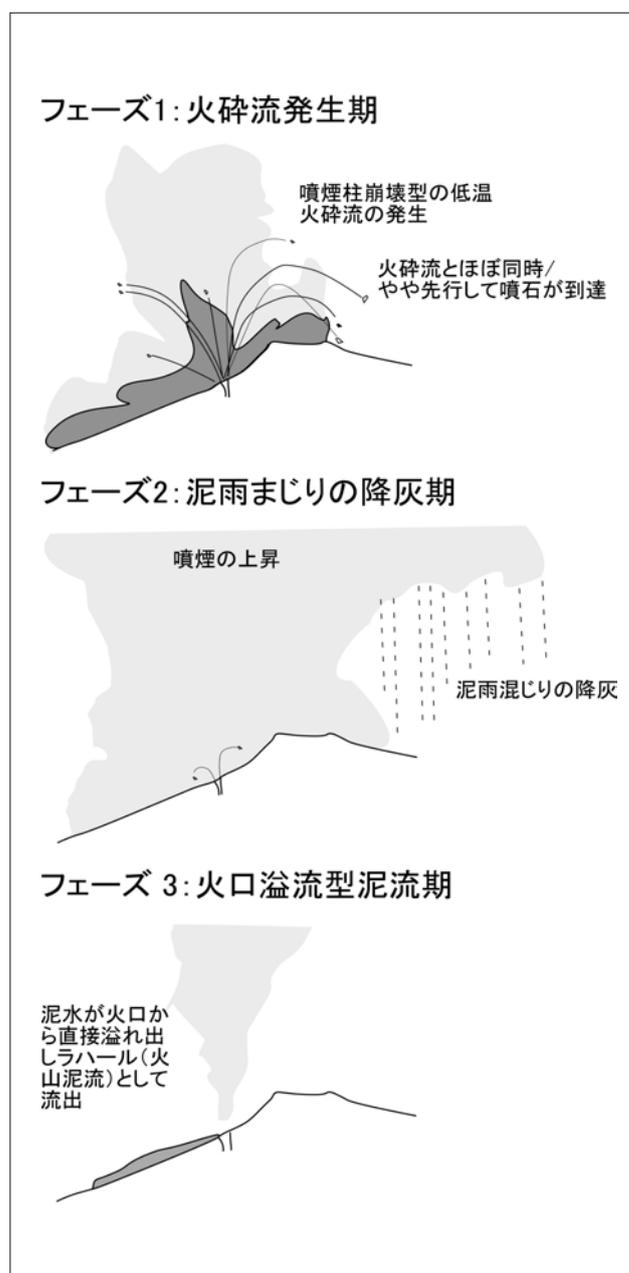


図3 御嶽山2014年噴火の噴火推移

フェーズ2（12:15から16:00頃）：泥雨まじりの降下火山灰の降下で特徴づけられる。山頂部で泥雨が降り始めた時刻は12:15前後と火砕流の発生が終わった後である。噴煙高度は、火砕流の発生が終了し、多数の噴石を山頂付近に降り注いだ後の12:20頃に最大高度（火口上7.8km）に達した<sup>15)</sup>。泥雨まじりの降下火山灰はちょうど噴煙高度が最大になった時と一致する。

高く上昇した噴煙は風に流され、東京都の西部まで降灰が認められた<sup>16)</sup>。降灰軸は、火口からほぼ東北東である<sup>17)</sup>。

フェーズ3（およそ16:00以降）：およそ16:00ごろ以降、地獄谷内の火口から熱水が溢れ出しはじ

めたことが報道等の写真から読み取れる。流れ出た熱水は粘土を含み、下流の河川水を濁らせた。この熱水の流出は2016年7月頃まで続いた。気象レーダーのエコー像から17:40以降は、噴煙高度は火口上2km以下となった<sup>15)</sup>。

なお、一連の噴火で、地獄谷内の火口周辺には小型の火砕丘が形成された。しかし、10月上旬に相次いで接近した台風18、19号に伴う降雨のため、浸食され失われてしまった。火口溢流型泥流以外の噴出物の主な放出は27日のみである。噴火は開始期が一番大きく、その後、勢いをだんだん減じて終了したと考えられる。

### 4.3 推移から推定される噴火のメカニズム

噴火推移は、1) 新たな火口が開口し噴火が開始。2) 噴火開始とほぼ同時に30～100℃ほどの温度を持つ火砕流が発生し、同時に多量の噴石も火口から放出。これら火砕流や降下火山灰には水滴などの液体の水が含まれず乾燥していた。3) 火砕流の発生が終了した後、噴煙が上昇して最高高度に到達。そのころから泥雨まじり降下火山灰が降下。4) 火口から熱水が溢れ出し火口溢流型泥流として地獄谷を流下と進展した。

このような推移から、噴火メカニズムは次のように考えられる。①新たな火口の開裂のため過熱水が減圧され、フラッシュ蒸気が多量に発生し噴火。②新たに火口を形成したため固体の噴出物を多量に含む重たい噴煙が形成され、それが崩壊して火砕流が発生。③火砕流として固体噴出物を落としたため、軽くなった噴煙が上昇。上昇による断熱膨張により含まれていた水蒸気が飽和し、水滴となり降下火山灰と共に泥雨として降下。④最後に蒸気になりきれなかった熱水が火口から溢流して火口溢流型泥流として流下。つまり、2014年噴火は、過熱水の急激な減圧によって発生する噴火、水蒸気噴火としては必然的な噴火推移をたどったと考えられる。また、噴石により多数の死傷者が出たのは、火口からおよそ1km以内の範囲であり、水蒸気噴火で飛散する噴石の範囲としては特に広いわけではない。2014年噴火の規模、発生事象、噴火推移などは、水蒸気噴火としてはごく標準的である。

### 5 おわりにー 地質学的調査と情報伝達の重要性

現在の火山噴火観測技術は、噴火前に異常をつかむことは可能になりつつあるが、事前にその噴火の規模や噴火後の推移を予測することは困難である。

そのため、地質学的な調査に基づいて、その火山でどのような規模のどのような噴火が発生したのかを整理し、それを基に発生しうる噴火の規模やその様式を想定しシナリオ（噴火シナリオ）化しておくことが、予測を行ううえで必要かつ重要である。また噴火開始後に罹災範囲や噴火の状況の把握を行うためにも、地質学的な調査は大変役に立つ。言うまでもなく、罹災範囲や噴火の状況の迅速な把握は、避難や救助などの活動をするうえで大変重要な情報である。4章でのべてきた2014年噴火の推移の復元は、過去に何がどのように起きたかを復元する地質学的手法を用いて行った研究である。このような噴火推移の把握も、事前に想定した噴火シナリオの妥当性や修正を行う上で重要であるため、避難・救助に役立つ情報と言えよう。

しかし2014年噴火では、噴火が開始した9月27日の段階においては、噴火の状況を把握し、その情報を避難・救助に伝え役立てることはできなかった。地元自治体への聞き取り調査によると、噴火が発生した27日は、「噴火警報(9月27日12時36分発表)」の情報(レベル3に引き上げ、南側に噴煙が流れ下った、4km以内は噴石に注意)<sup>18)</sup>以上のものは伝えられなかった。火口位置や火砕流の具体的な罹災範囲(どの沢をどこまで流れ下ったのか)などの避難や救助に必要な情報は届かなかった。

一方、噴火は好天下で起こったことと、近年のインターネット環境の整備が進んだことから、噴火直後から多数の映像をまじえた報道や現地から直接被災者が発信する情報がSNS等へもたらされた。そのため27日の段階で、個々の研究者ないし研究グループのレベルでは、ある程度の罹災範囲や噴火の状況が把握はできていた。しかし、それら情報を避難の指示を出す地元行政や救助対応者に届ける体制がつけられていなかった。

今後発生しうる住居が巻き込まれるような大きな噴火災害を考えると、2014年噴火のような事態に陥ると、避難指示や救助などが適切に行えずに被害が拡大する恐れがある。そのため、噴火発生後に速やかに状況を把握し、安全を確保しながら火山地質専門家による調査が行えるような準備や制度の整備を行う必要がある。さらに、それを集約し避難や救助を指揮する部署に迅速に届ける体制の構築も重要である。それには、火山地質の専門家の協力と知恵が必要であろう。御嶽山2014年噴火を踏まえて、国において火山防災体制の見直し行われており<sup>19)</sup>、指摘したことを含めて様々な努力が進んでいると考えられるが、ここであらためて強調したい。

## 〈参考文献〉

- 1) 及川輝樹：「御岳火山の歴史噴火記録の再検討と噴気活動の歴史記録 - 存在しなかった774, 1892年噴火 - 」「地質調査研究報告」Vol. 59, pp.203-210. 2008
- 2) 三宅康幸, 小坂丈予：「長野県安曇村中ノ湯における1995年2月11日の水蒸気爆発」『火山』vol. 43, pp.113-121. 1998.
- 3) 塚本 斉「秋田県澄川温泉における地すべりと水蒸気爆発に伴う土砂災害の発生プロセス」『地質ニュース』, No. 515, pp.53-67 .1997
- 4) 藤縄明彦, 鴨志田毅, 棚瀬充史, 谷本一樹, 中村洋一, 紺谷和生「安達太良火山, 1900年爆発的噴火の再検討」. 火山, Vol. 51, pp.311-332. 2006
- 5) 産総研地質調査総合センター：1万年噴火イベントデータ集 (ver. 2.2)  
<https://gbank.gsj.jp/volcano/eruption/index.html>  
(2016年2月18日現在)
- 6) 奥野 充：「降下テフラからみた水蒸気噴火の規模・頻度」『金沢大文学部地理学報告』, No. 7, pp.1-23. 1995.
- 7) Barberi, F., Bertagnini, A., Landi, A., Principe, C.: 「A review on phreatic eruptions and their precursors.」『Journal of Volcanology and Geothermal Research』Vol. 52, pp.231-246. 1992
- 8) 及川輝樹, 鈴木雄介, 千葉達朗：「御嶽山の噴火—その歴史と2014年噴火」『科学』Vol.84, pp.1218-1225. 2014
- 9) Oikawa, T., Yoshimoto, M., Nakada, S., Fukashi Maeno, F., Komori, J., Shimano, T., Takeshita, Y., Yoshihiro Ishizuka, Y., Ishimine, Y.: 「Eruption sequence of the 2014 Ontake Volcano (Ontake-san) eruption reconstructed from recorded images and interviews.」『Earth, Planet, Space』(submitted)
- 10) Maeno, F., Nakada, S., Oikawa, T., Yoshimoto, M., Komori, J., Ishizuka, Y., Takeshita, Y., Shimano, T., Kaneko, T., Nagai, M.: 「Reconstruction of a phreatic eruption on 27 September 2014, at Ontake volcano, Central Japan, based on proximal PDC and fallout deposits.」『Earth, Planet, Space』(submitted)
- 11) 及川輝樹, 山岡耕春, 吉本充宏, 中田節也, 竹下欣宏, 前野 深, 石塚吉浩, 小森次郎, 嶋野岳人, 中野 俊：「御嶽山2014年噴火.」『火山』, Vol. 60, pp.411-415. 2015
- 12) Maeda, Y., Kato, A., Terakawa, T., Yamanaka, Y., Horikawa, S., Matsuhiro, K., and Okuda, T.: 「Source mechanism of a VLP event immediately before the 2014 eruption of Mt. Ontake.」『Earth, Planet, Space』DOI: 10.1186/s40623-015-0358-0. 2015
- 13) 及川輝樹：「御嶽山2014年噴火.」『日本の科学者』Vol. 50, pp.230-235. 2015
- 14) 中野 俊, 及川輝樹, 山崎誠子, 川辺禎久：「御嶽山, 2014年9月の噴火 (速報) — 上空観察および報道映像から見る火口周辺の状況と火砕流の分布 —」『GSJ地質ニュース』Vol. 3, pp.289-292. 2014
- 15) 佐藤英一, 新堀敏基, 福井敬一, 石井憲介, 高木朗充：「気象レーダーで観測された2014年9月27日御嶽山噴火に伴う噴煙エコー.」『火山噴火予知連絡会会報』, No.119, (印刷中). 2016
- 16) 株式会社ウエザーニュース：Wx Files Vol.28, 2014年9月27日御嶽山の噴火について  
<http://weathernews.com/ja/nc/press/2014/pdf/20140929.pdf> (2016年2月18日確認)
- 17) 御嶽山降灰合同調査班：「御嶽山2014年9月27日噴火による降灰分布.」『火山噴火予知連絡会会報』No.119, (印刷中). 2016
- 18) 気象庁：噴火警報 (火口周辺) (御嶽山) 平成26年9月27日12時36分  
[http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/volinfo/VJ20140927123647\\_312.html](http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/volinfo/VJ20140927123647_312.html)  
(2016年2月18日確認)
- 19) 中央防災会議火山対策推進ワーキンググループ：御嶽山噴火を踏まえた今後の火山防災対策の推進について (報告)  
[http://www.bousai.go.jp/kazan/suishinworking/pdf/20150326\\_hokoku.pdf](http://www.bousai.go.jp/kazan/suishinworking/pdf/20150326_hokoku.pdf) (2016年2月18日確認)

# 口永良部島 2014年・2015年 噴火の特徴：地質調査によって明らかに された過去の噴火特性との比較

げし のぶお\*  
下司 信夫\*

**K**ey Word 噴火, 災害, 離島火山, 長期予測

## 1 はじめに

2014年8月3日、鹿児島県の口永良部島火山が約34年ぶりに噴火した。とくに、2015年5月29日の爆発的噴火では人家のすぐそばまで火砕流が到達したため、全島民が隣接する屋久島などに避難を余儀なくされた。噴火自体は6月中旬以降発生しなかったが、噴火により火口周辺の観測機器が全滅し火山の活動状況の把握が極めて困難になったこと、加えて噴火直後から梅雨入りしたため、悪天候のため屋久島からの渡航や火山の目視による監視が困難になったことなど悪条件が重なり、住民の全面帰島は年末になりようやく実現した。

わが国には、口永良部島をはじめ多くの離島火山が存在する。離島火山の多くは小規模な島嶼であることが多く、島内に十分な避難場所を確保することが難しいこと、あるいは島外への避難が天候や海況に大きく影響を受ける船舶に限られることなど、離島特有の防災上の困難さがある。離島火山に限らず、効果的な火山防災計画のためには、噴火活動に対する短期的な対応、すなわち緊急避難計画のみならず、火山活動の特性を理解した長期的な対応、すなわち適切な土地利用計画の実施が欠かせない。そのためには、地震活動や地盤変動といった現在の火山活動の状況を把握する地球物理学的な観測に加え、過去にさかのぼって長期的な火山活動の特性やその傾向を把握するための地質学的な解析を行うことが必要である。

著者らは、地質学的手法により口永良部島火山の長期的な火山活動の特徴を明らかにし、短期的な観測によって明らかにされる現在の火山活動の状況が長期的な火山活動の中でどのような位置づけにあるのかを理解することを目指している。噴出物の地質

学的解析や、江戸時代末期以降の噴火記録の解析を通して得られた口永良部島火山の活動特性や、それに基づく今後の活動の推移予測について述べる。

## 2 口永良部島の火山活動

### 2.1 口永良部島の概要

口永良部島は九州の南にある薩南諸島に属する火山島である。口永良部島は北西部の番屋ヶ峰と、中央部の新岳・古岳を中心とする山体が接合した、細長いひょうたん形をしている〔図1〕。北西—南東方向の長さ約13km、最大幅5.8km、面積38km<sup>2</sup>で、鹿児島県の火山島の中では最も大きな島である。行政上は鹿児島県熊毛郡屋久島町に所属する。

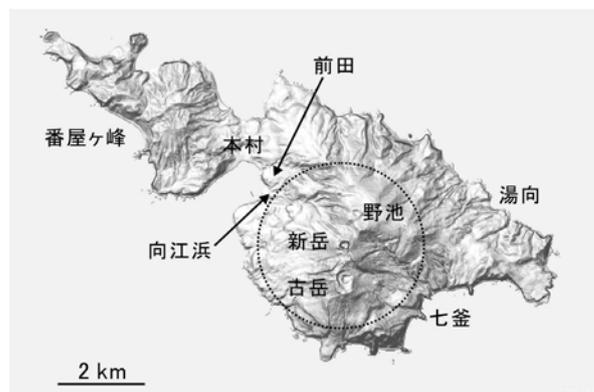


図1 口永良部島の地形図(斜度図)。主要な地名を示す。点線円は新岳火口を中心とする半径2kmの範囲を示す。

口永良部島火山は、記録の残る19世紀半ば以降数10年間隔で噴火の頻発する活動期と静穏期を繰り返している。江戸時代末期の天保年間には複数回

\*国立研究開発法人 産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門

の噴火が発生し、山麓の集落が被災したとされるがその詳細は明らかではない。1930年代には爆発的噴火が繰り返し発生し、火山岩塊の落下により山麓部の集落が全焼し死傷者が発生するなど大きな噴火災害が発生した。また二次的な火山泥流により西麓の集落が壊滅的な被害を受けたことが記録されている。また、1966年に発生した爆発噴火では、火山岩塊・火山礫が広い範囲に降下し、負傷者が発生した。その後1970年代に数回の小規模な爆発噴火を繰り返した。1980年の小規模な水蒸気噴火以降、2014年8月3日の噴火までは噴火は発生していない。これら歴史記録の残る噴火はすべて新岳山頂部で発生している。

口永良部島の人口は約150名で、そのほとんどがひょうたん型をしている島のくびれ部分に位置する本村地区に居住している。定期船が着岸する港湾施設、役場出張所や小中学校といった施設のほとんどはこの本村地区に集中している。その他、本村の東に位置する前田地区や、島の東部の湯向地区などに住居が点在している。

## 2.2 過去の噴火記録から見る口永良部島の活動

歴史記録からその推移が復元できる活動は、1930年代の活動と、1966 - 80年の活動である。

1931年から34年にかけて噴火が繰り返された。主な爆発的噴火は、1931年4月2日、5月15日、6月6日、1933年12月24日、12月31日、1934年1月11日に発生したとされる<sup>1)</sup>。噴火当時、新岳および古岳山頂部では硫黄の採掘がおこなわれており、東側および西側山麓の新岳火口から2km以内の地域には、硫黄精錬施設とそれに付随する集落があった。1931年4月2日噴火では、火口から約1.8km離れた西麓の向江浜集落に直径50cmほどの岩塊が落下した。また1933年12月24日の噴火では火口から1.7km離れた東麓の七釜集落に高温の火山礫が多数降下した。この噴火により、七釜集落では集落13戸が全焼し、死者8名、重軽傷27名を出している。この噴火以降、被災した七釜集落は放棄された。夜間の噴火では赤熱岩塊の投出が目撃され、また広範囲に森林火災が発生するなど、高温のマグマ物質が放出されたことが推測される。規模の大きな噴火時には、しばしば屋久島まで降灰が達したと記録されている。

また新岳から北西に流下する向江浜川にはたびたび二次的な土石流が発生した。1931年4月15日に向江浜川で発生した大規模な土石流によって人家8戸が全半壊した。1935年4月4日には再び向江浜川で大規模な土石流が発生し、流失家屋17棟、全

壊家屋5棟、半壊家屋9棟、死者5名の被害を生じた。

その後、1930年代後半から1960年代前半にかけては比較的火山活動は低調であった。1945年に小規模な水蒸気噴火の記録があるが、その詳細は不明である。再び噴火活動が活発化するのは1966年～1980年にかけてである。1966年11月22日には新岳山頂火口から爆発的噴火が発生した<sup>2)</sup>。新岳から北側の山腹から山麓の広い範囲に多量の岩塊が飛散し、一部の岩塊は新岳火口から約3.5km北方に離れた寝待温泉の海上にまで到達したらしい。岩塊の落下により、本村 - 湯向間の道路が寸断された。また北側山麓を中心に広範囲で山林火災が発生した。噴煙高度は5500mに達し、降灰は屋久島・種子島まで到達した<sup>2)</sup>。また小規模な火砕流が発生し、新岳中腹まで流下したことが目撃されている<sup>3)</sup>。この噴火により、山腹で作業をしていた3名が重軽傷を負ったほか、落下した岩塊の直撃により牛1頭が死亡したと記録されている。

この1966年噴火以降、新岳の噴火活動は活発化し1970年代にかけて断続的に小噴火が発生した。記録に残る主な噴火は、1968年12月～1969年3月、1972年9月2日、1973年11月5～19日、1974年6月3日、1976年4月2日などである。これらの噴火では新岳火口周辺に投出岩塊が飛散したほか山麓に少量の降灰をもたらしたが、顕著な被害は記録されていない。1980年9月28日には新岳山頂の東側を南北に走る既存の割れ目火口から噴火し、火口列近傍に火山礫が飛散したほか南西方向に粘土質の火山灰が降下した。特に被害は発生しなかった。

## 2.3 地質調査から復元された過去の噴火活動

口永良部島の噴火記録は19世紀半ば以降しか残されていないため、より長期的な火山活動の推移を把握するためには地層として残された噴出物の解析に頼るしかない。著者らは、2002年以降口永良部島火山の調査を実施し、噴火推移等活動履歴をまとめた「口永良部島火山地質図」を作成した<sup>4)</sup>。この調査により、口永良部島の長期的な噴火特性が明らかにされた。

「口永良部島火山地質図」によると、口永良部島は複数の成層火山体の集合からなるが、過去1万年程度の期間に活動したのは島の中央部にある新岳、古岳及び野池火山である。約1万5千年前ごろには野池火山から大規模な軽石噴火が発生し、多量の降下軽石や火砕流が噴出した。その後、約1万年前ごろ現在の古岳の位置でやや苦鉄質な安山岩の活動が開始し、スコリアを多量に噴出する噴火により急速な火山体の成長が起こった（古期古岳火山の成長）。

古期古岳火山はその後南側に崩壊し、その跡地に現在の古岳（新期古岳火山）が成長を開始した。1000年前ごろ、新規古岳火山の北部が西に向かって崩壊し、その跡地に新岳が活動を開始した。

噴出物の地質学的解析から過去約1万年間の古岳、新岳火山の活動は、主に安山岩溶岩流を噴出する溢流的な活動と、発泡の悪い岩塊を飛散させるブルカノ式～マグマ水蒸気式噴火、あるいは変質物質を主に噴出する水蒸気噴火を繰り返していることが明らかになった。一方、安山岩質の火山にしばしばみられる、2011年霧島新燃岳噴火のような多量の軽石を噴出するプリニー式噴火あるいは準プリニー式噴火は過去1万年間には発生していないことが明らかになった。また、古岳および新岳の中腹には緻密な火山岩塊と細粒の火山灰や火山砂が混合した堆積物が広く認められる〔図2〕。その地層の特徴から、ブロックアンドアッシュフローと呼ばれるタイプの火砕流による堆積物であると解釈される<sup>4)</sup>。このような火砕流堆積物は、ブルカノ式～マグマ水蒸気式噴火噴出物に密接に関係して分布していることから、新岳あるいは古岳山頂火口においてブルカノ式～マグマ水蒸気式噴火が発生した場合には、山腹にはこのようなブロックアンドアッシュフロー型の火砕流が頻繁に流下していたことが推測された。

このような噴出物に残された噴火と歴史時代に発生した噴火を比較すると、19世紀以降記録に残されている噴火活動はブルカノ式～マグマ水蒸気式噴火（1930年代および1966年～76年）と、水蒸気噴火（1980年など）であり、古岳および新岳で過去1万年間にわたって繰り返された噴火とほぼ同じ活動であることが明らかになった。従って、現在の口永良部島の活動は約1万年前から開始した活動の延長にあり、噴火履歴の中では比較的小規模な爆発噴火が記録に残されていることが判った。



図2 新岳中腹に見られる過去のブロックアンドアッシュフロー堆積物。8ないし11世紀とされる新岳溶岩を覆って分布する。

## 3 2014年および2015年の噴火

### 3.1 噴火の概要

2014年8月3日の噴火は、1980年9月28日の水蒸気噴火以来約34年ぶりの噴火であった。口永良部島火山は1980年9月噴火以降、比較的静穏な状況であったが、1999年ごろ、口永良部島東方沖での群発地震やその後の新岳を中心とする広域的な地盤隆起・膨張、火山性地震の活動化など、活動の活発化が認められた<sup>5)</sup>。その後、地震活動は消長を繰り返しながらも比較的活発な状況で推移し、地震活動の活発な時期には、新岳火口を中心とする局所的な膨張が繰り返し観測された<sup>6)</sup>。2008年9月ごろからは新岳火口の南壁から活発な噴気活動が開始した。

2014年噴火は、8月3日12時35分ごろに発生した。噴火は新岳山頂火口を南北に横断する割れ目および火口中央部から西側に開いた割れ目から発生した。噴火そのものは比較的短時間に終息したらしい。噴火発生とほぼ同時に、火口から西側山腹の広い範囲に火砕流が流下するのが目撃された。火口から上昇した噴煙や、山麓に流下した火砕流から上昇した噴煙は南風に流され、島の北部に降灰した。

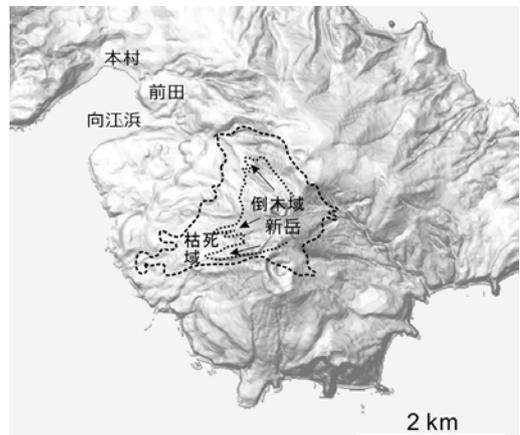


図3 航空写真判読による2014年8月3日噴火の火砕流による被害範囲図。地形図は国土地理院電子国土を使用。

後の上空からの観察によれば、火砕流に覆われたと考えられる領域は新岳火口から北西方向に約1.5km、南西方向に約2.2kmの範囲で、樹木の葉が褐色に枯れるなどの様子が観察された〔図3〕。さらに山麓に近い領域では、樹木の枝が折れ、あるいは樹木が根こそぎ倒伏している領域が認められた。このような領域でも、上空からの観察では堆積物の厚さ

はごく薄く、比較的細粒の火山灰が10cm以下の厚さで堆積していると判断された。火砕流に覆われた領域では森林火災や樹木の炭化は認められなかったことから、火砕流堆積物の温度は樹木の発火点である300～400℃には達しなかったと考えられる。しかし、火砕流に覆われた地域の植生はその後速やかに枯死したため、比較的低温であっても熱の影響を被ったことが推測される。噴火当時、植生の被害については火砕流の熱による影響か、あるいは変質鉱物を多く含む酸性の火山灰や水分による化学的な影響であるのかが議論になったが、植物が枯死した領域は火砕流の流下範囲に限られ、火砕流や火口から立ち上った噴煙からの降下火山灰に覆われた領域ではそのような植生被害がほとんど見られなかったことから、植生の破壊には火砕流の熱的な影響が強かったと推測される。

2014年8月3日噴火以降噴火は発生しなかったが、新岳山頂からの火山ガスの放出量が激増した。2015年に入ってからは、微弱な火映がみられるなど活動の活発な状態が継続した。5月23日には島内の地震回数が増加し8時00分には有感地震が発生した。29日9時59分、新岳山頂火口から爆発的噴火が発生した<sup>7)</sup>。噴煙は火口上約9000mまで上昇し、多量の岩塊が火口付近に飛散した。噴火と同時に火砕流がほぼ全方向に流下し、新岳の西側では約2km離れた海岸線を越えて広がった。火砕流の一部は、火口から北西方向の向江浜側に沿って流下し、火口から約2.5km離れた前田の集落の直前まで到達した。噴煙は西風に吹送され、屋久島西部～南部にかけての地域に多量の降灰をもたらした。

後の上空からの観察によれば、火砕流は火口から主に北西方向の向江浜沢、南西方向および東側の七釜沢に沿って流下したことがあきらかになった。火砕流の流下範囲は2014年8月3日のものよりもはるかに広く、新岳の北西から南西にかけての山麓の広い範囲では植生が壊滅した〔図4〕。より新岳に近い火砕流の中心部では、樹木は完全に倒伏しており〔図5〕、そこから外側に向けて枝葉が折れている領域、葉が部分的に飛ばされている領域、葉が変色している領域が認められた。このような高速の火砕流による樹木の損傷範囲は大筋では谷地形に沿って分布しているが、詳細にその分布をみると谷筋を完全には追っておらず、谷の側面に乗り上げるような分布をしているところがある。このことから、高速で密度の低い流れが流下したことが推測される。沢筋に沿った火砕流の中軸部には、厚さ数m程度の堆積物が分布しているのが認められる〔図6〕が、大部分の領域では堆積物の厚さはごく薄く、10

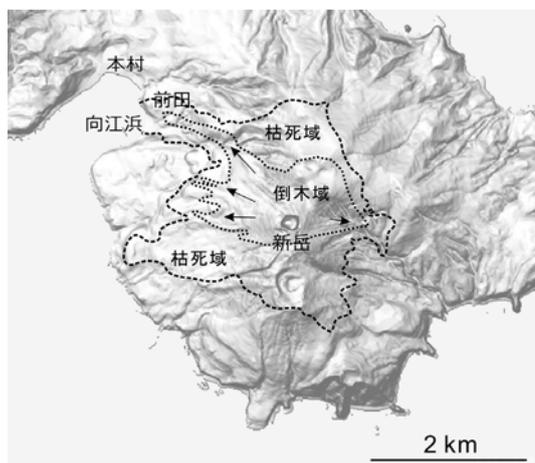


図4 航空写真判読による2015年5月29日噴火による被害分布図。地形図は国土地理院電子国土を使用。

cmかそれ以下の厚さの火山灰の堆積がみとめられる〔図5〕。

この噴火は爆発力が強く、噴火の瞬間には火口から放射状に火山灰混じりのジェットが噴出し、また火口から直接投出した岩塊が約2km離れた地域にまで着弾する様子がテレビカメラの映像等から確認された。多数の火山弾が着地した野池付近では、小規模な山林火災によるとみられる白煙が上がるのがみられている。また、本村と湯向を結ぶ町道沿いでは、高温の火山弾によって下草が発火しているのが目撃されたらしい。噴火の継続時間は数分かそれ以下であった<sup>7)</sup>。前田集落付近で1名の住民が火砕流縁部に巻き込まれ火傷を負ったほかは目立った人的被害は生じず、29日中に住民は屋久島に避難を完了した<sup>7)</sup>。



図5 2015年5月29日噴火の火砕流により倒伏した樹林。新岳北西約1kmの向江浜沢中流域。2015年5月30日、読売新聞社ヘリより下司撮影。



図6 新岳西側山腹にみられる、比較的厚い火砕流堆積物。2015年5月30日、読売新聞社ヘリより下司撮影。

その後、6月18日にも噴火が発生し、新岳から約9km離れた口永良部島と屋久島の間を航行中の海上保安庁巡視船に火山礫が落下したほか、屋久島北端部から種子島にかけて火山灰が降下した。噴火は雨天下で発生したため、噴煙の状況や火砕流の発生の有無は不明であるが、後の上空からの観察では、5月29日噴火による火砕流の被災範囲を超えて火砕流が流下した形跡は認められなかった。

5月29日噴火の直後から口永良部島地域は梅雨入りした。多量の降雨により、噴出物は火山泥流となって山麓の河川を流下した。特に、北西の向江浜沢や東麓の七釜沢では土石流が繰り返し発生したらしい。

### 3.2 過去の噴火履歴から見た2014年噴火・2015年噴火の特徴

2014年・2015年噴火は、さまざまな地球物理学的観測や、多数のライブカメラ等によって記録された口永良部島では初めての噴火である。一方、地層に残された過去の噴出物と今回の一連の噴出物を比較した場合、多くの共通点が認められる。過去の爆発的噴火によって生産されたと考えられる火山灰層は、島の東部を中心に広く分布している。これらの火山灰は、発泡の悪い溶岩片を多く含み、またさまざまな程度に変質した岩片も多く含まれる。こうした特徴は、2014年・2015年噴出物ときわめてよく似ている。従って、今回の噴火は口永良部島では過去何度も繰り返されてきた典型的な活動であると考えられる。また、2015年5月29日に噴火で新岳の山麓に広がった厚い火砕流堆積物は、上空観察からは粗粒な岩塊と火山灰からなると推測されることから、いわゆるブロックアンドアッシュフロー堆積物であると推測される。その分布は、地質調査によって明らかにされた過去のブロックアンドアッシュ

ロー堆積物の分布範囲にほぼ一致している。このことから、今回のような火砕流は新岳の爆発的噴火ではしばしば発生していたことがうかがえる。また、今回の噴火では火口から最大2km付近まで岩塊が飛散している。この範囲には、過去の噴火によると考えられる岩塊が多数見いだされることから、今回の噴火は過去に発生した爆発的噴火のなかでは標準的なものであったと考えられる。

### 3.3 過去の噴火履歴から見た今後の活動推移の可能性

2014年・2015年の噴火活動は、爆発的な噴火が数か月程度の休止期を置いて繰り返したこと、噴火以前に長期間にわたって噴気活動などの活動の高まりが認められていたことなどから、歴史記録に残る1931～34年の活動や、1966年～1976年の活動ときわめて類似している〔図7〕。1930年代の噴火では、1914年ごろからの噴気活動の活発化とそれに伴う硫黄の採取事業の隆盛が記録されていることから、噴火に先立つ10数年前から活動が活発化していたことが推測される。1966年噴火でも、噴火前に硫黄鉱山が稼働していたこと、新岳の噴気についての記録が残ることなどから、噴火に先立ち長期間にわたり噴煙活動が活発化していたことなどが推測される。

今回の活動では、1999年ごろからの地震活動や地盤変動の活発化、2008年からの噴気活動の顕在化など、噴火に先立つ数年～10数年間の活動の活発化が認められることから、歴史記録に残る1931～34年の活動や、1966年～1976年の活動と類似した経緯をたどっている。また、噴火そのものも単発的な爆発を繰り返すこと、高温の岩塊の飛散がみられること、噴出物の大部分は類質岩片であり、雑多な種類の岩片を放出することなど、過去の噴出物ときわめて類似している。過去の噴火では顕著な火砕流の発生は記録されていない（1966年には小規模な「火砕流」が記録されている）が、新岳山腹に分布するブロックアンドアッシュフロー堆積物はこのような火砕流が過去繰り返し発生していたことを示している。

今回の活動が過去2回の活動期と同様の推移をたどるとすれば、2014年8月噴火以降数年～10年程度の期間にわたり散発的に爆発的な噴火を繰り返す可能性がある。今回の噴火を駆動しているマグマや熱水系のメカニズムについては、より詳しい解析を行う必要があるが、浅部に貫入したマグマが冷却・固化する過程で、マグマからの脱ガスや周囲の熱水等との反応により（マグマ）水蒸気爆発を繰り返す

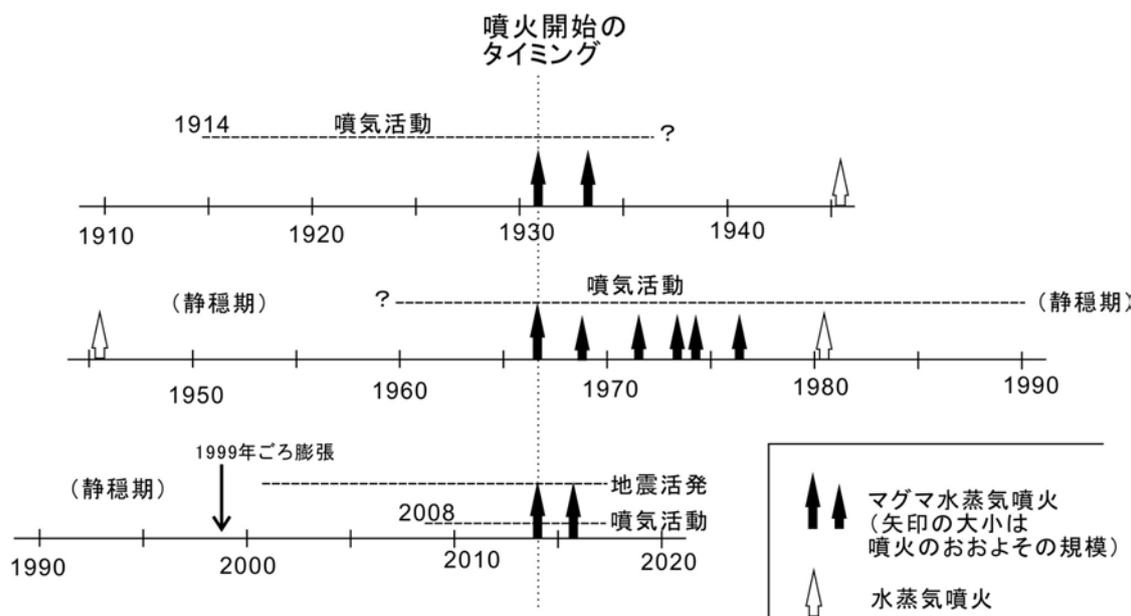


図7 1930年代、1960-70年代の噴火長期推移と、2014年・15年噴火の比較。活動期の最初の噴火のタイミングを縦点線に揃えている。1930年代の噴気活動については、硫黄採掘が盛んにおこなわれていたとされる時期を当てている。

可能性が指摘できよう。1966 - 76年噴火は新鮮なマグマ物質～山体を構成する既存の溶岩など様々な物質が混然となって噴出しているが、その後1980年には熱水変質物のみを噴出したらしい水蒸気噴火が発生し、一連の活動が終息した。1930年代の活動の後、戦争中の記録が不完全な時期を挟み1945年の水蒸気噴火で活動が終息したとみなすことが可能である。もしそのような活動を今回も繰り返すならば、2014年・2015年噴火同様、新鮮なマグマ物質～山体を構成する既存の溶岩など様々な物質が噴出するいわゆるマグマ水蒸気噴火を数年程度繰り返したのち、熱水系の活動が顕著になり水蒸気噴火が発生するフェーズを経て、沈静化に向かうというシナリオが考えられる。

歴史記録が残っていない明治時代以前の活動推移についても、噴出物の地質調査によってその推移を復元して火山全体の活動推移傾向をとらえることができる。過去約1万年間の噴出物の解析に基づく口永良部島火山の活動シナリオ案を[図8]に示す。マグマの上昇量やマグマと地下熱水との反応によって、水蒸気噴火から溶岩流出までの噴火バリエーションがありうることやマグマの上昇量の変化に応じて活動が変わりうることを示している。この図でもわかる通り、今回の活動は比較的少量のマグマが

地下で定置し、固結しつつあるマグマからの熱や火山ガスの放出が熱水系を活性化させた結果発生したマグマ水蒸気噴火であると考えられ、1930年代や60年代の活動と似た推移をたどっていることがわかる。また、より大量のマグマの上昇があった場合には、高温の火砕流の噴出や溶岩流の流下もありうる。過去に噴出物の解析からは読み取ることができる。

#### 4 地質学的立場から見た口永良部島火山の噴火とその災害特性

2014年・2015年噴火は、地質調査から明らかにされた過去の口永良部島の爆発的噴火の中ではごく典型的な活動の一つと考えられる。従って、今後も口永良部島ではこのようなタイプの噴火が繰り返されると考えるのが妥当であろう。口永良部島の過去の噴火記録はわずか100年程度の期間しか残されておらず、またその間の噴火回数もそれほど多くはない。そのため、長期間の防災を考えるうえでは、綿密な地質調査に基づく過去の噴火特性の解明とそれに基づく土地利用計画・避難計画が欠かせない。また、ひとたび噴火が発生した場合、各種の地球物理学的な観測に加えて、過去の噴火との比較検討を行

うためには噴出物の物質科学的・地質学的解析を速やかに実施する必要がある。その上で、得られる様々な情報を総合し、火山の状態や噴火の実態を正しく把握する努力が必要である。

一方、噴出物の地質学的な解析にも解決すべき問題点がある。今回の噴火を経験して顕在化したことは、ブロックアンドアッシュフロー堆積物の周辺には、薄い堆積物しか残さないが広範囲に広がるいわゆる火砕サージの領域が広く取り巻いているということである。これは、雲仙普賢岳の火砕流などこれまでも様々な事例で認識されているが、今回の火砕流では特にこの希薄なサージの領域が広く広がっていることが特徴的である。2015年5月29日噴火の火砕流では、ブロックアンドアッシュフロー堆積物は新岳火口から約1km付近まで分布しているが、火砕サージはそれを超えて火口から2.5km～3kmの海上まで到達したことが、映像やその後の上空からの

植生被害状況などから明らかになった。従って、過去のブロックアンドアッシュフロー堆積物を残した火砕流でも、希薄な火砕サージはさらに広範囲に広がっていたことが推測される。火砕サージの堆積物はごく薄く、かつ細粒であるため直後の降雨等ですみやかに侵食され消滅する。従って地質調査による過去の噴出物の調査のみからでは、こうした火砕流縁辺部の影響を評価するのは困難である。しかし、このような火砕流縁辺部であっても、巻き込まれた場合には危険性がある。2015年5月29日噴火では、火砕流縁辺部のサージ領域で巻き込まれた人が火傷を負った。また、火砕サージの領域では樹木が倒伏している領域もあり、このようなサージが居住地域に到達した場合、高速のサージによる建物被害や人的な被害も予想される。地質調査によって火砕流堆積物を識別した場合、その外縁に広がるこのようなサージ領域の存在についても併せて認識することが

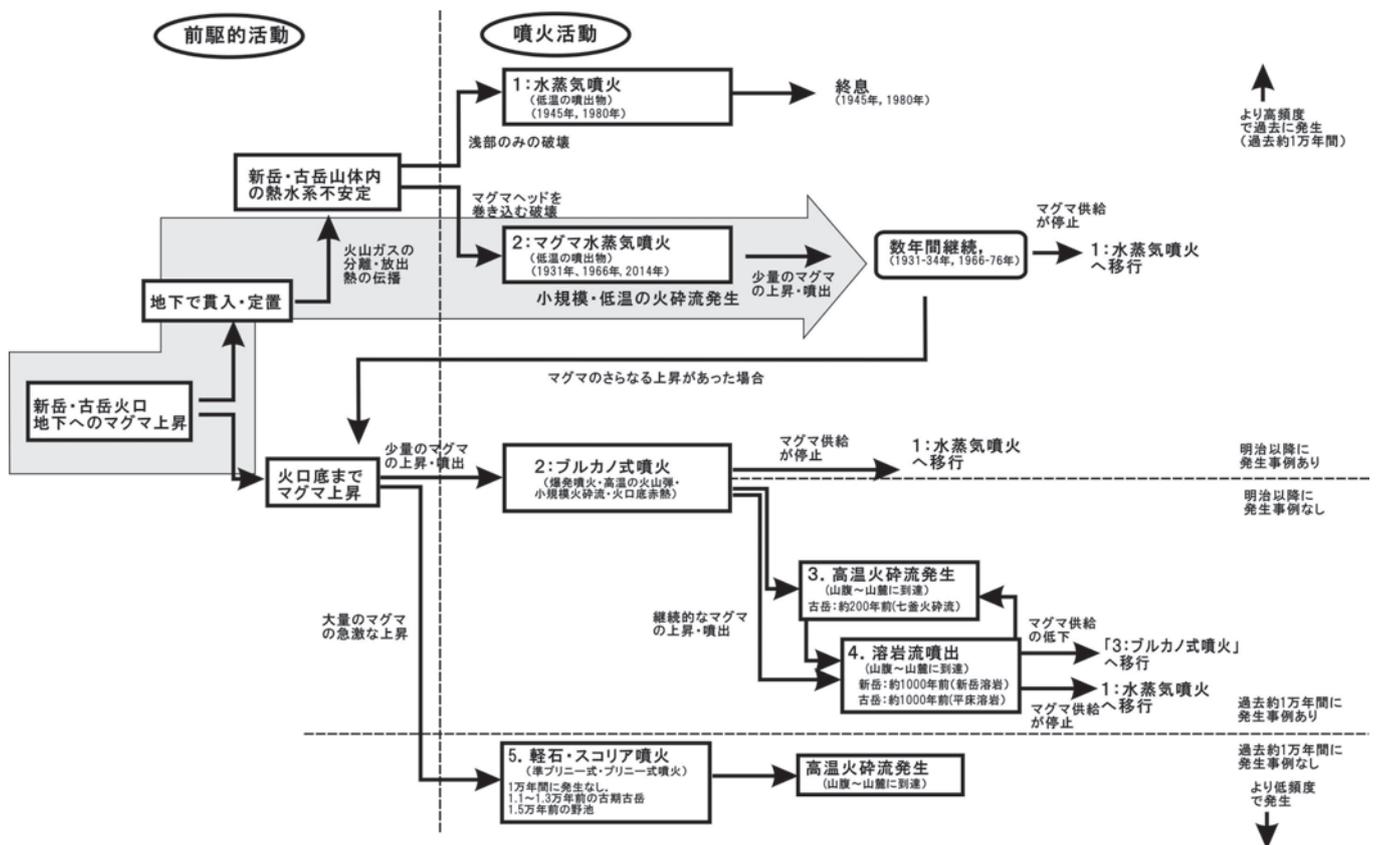


図8 過去の噴火履歴を総合して作成した口永良部島火山の活動シナリオ図。  
灰色の大きな矢印は、2015年噴火に至る今回の活動がたどっている推移を示す。

防災上は重要になる。

また、当然のことながら、地盤変動や噴気活動の変化などの現象は、噴出物としては記録されない。従って、地質調査による成果と、実際の噴火事例の物質科学的・地球物理学的観察との組み合わせによって、地層記録から認識できた現象から地層記録に残りにくい部分を補完して噴火現象全体の復元を行うことが欠かせない。特に、離島火山は火口と居住地域が隣接している場合が多く、また有効に利用できる土地が限られていることが多い。そのため、火山の特性を十分理解し、より適切な土地利用や防災計画のためにも、地質学的調査に基づく噴火履歴や被災履歴の解明が極めて重要である。

## 5 おわりに

口永良部島は離島火山であり、いざ災害が発生した場合の島外への避難は主に海路に限定されるため、天候や海況によっては適切な避難が困難になることも予想される。そのため、できるだけ島内で安全を確保できる避難計画が必要であり、そのためには過去の噴火実績も含め火山の噴火特性を十分に考慮した避難計画・防災計画が必要である。離島火山に限らず多くの活火山の噴火履歴情報は、火山全体の活動史に比較してごく最近のものに限られる場合が多い。まして近代的な火山観測データが完備しているのは、せいぜい過去数10年に過ぎない。そのため、火山活動の全体を把握し、火山活動の現状を正しく判断するためには、口永良部島で行ったような噴出物の地質学的解析と、その結果を現在の活動モニタリングの結果と総合することが不可欠である。そのためには、噴火に際して噴出物の地質学的な観察とそれに基づく解析を行い、過去の事例と比較しつつ噴火現象を評価してゆくことが必要である。

### 〈参考文献〉

- 1) 田中館秀三：口永良部島新岳噴火と火口の形態および向江浜の山津波。火山, 4, 339-354. 1934.
- 2) 鹿児島地方気象台・屋久島測候所：昭和41年11月22日の口永良部島新岳の爆発報告。福岡管区気象台要報, 22, 79-98. 1967.
- 3) 荒牧重雄：口永良部島地質調査報告。火山, 14, 127-132. 1968.
- 4) 下司信夫・小林哲夫：口永良部島火山地質図。火山地質図14, 産業技術総合研究所地質調査総合センター。2007.
- 5) 井口正人：2006年口永良部島火山活動の概要。口永良部島の水蒸気爆発発生とその後の推移の予測のための実践的研究。京都大学防災研究所編。9-16. 2007.
- 6) 斎藤英二他：口永良部島火山におけるGPS連続観測による気象要素を加味した3次元変位検出。火山, 51, 21-30. 2006.
- 7) 宇平幸一・通山尚史：口永良部島2015年5月29日の噴火に遭遇して。火山, 60, 487-490. 2016.

# 箱根火山の観測・研究と 2015年噴火

まんねん かずたか  
万年 一剛\*

K  
ey Word

箱根火山, 大涌谷, 水蒸気噴火, 火山観測, ホームドクター

## 1 はじめに

箱根火山は、有史以来噴火の記録がないにもかかわらず、地元神奈川県が設置した温泉地学研究所が約50年にわたって独自に観測、研究を積み重ねてきた稀有な火山である。昨年、箱根火山はごく小規模な噴火をしたが、事態は想定した範囲内で推移し、スムーズな防災対応がとられた。本稿では、温泉地学研究所が、これまでどのような研究を積み重ねて、箱根火山をどのようにみてきたのか、また、噴火はどのようなもので、地元の人々がどのような反応をしたのかを紹介する。

## 2 箱根火山とは？

箱根火山がいつ噴火をはじめたか、正確なことはわかっていないが<sup>1)</sup>、山体表面に露出する溶岩の年代は40万年前頃のものが最古である。40年以上に及ぶ箱根火山の噴火史は、山体の形成時期に着目すると5つの時期に区分するのが一般的だが<sup>2)</sup>、噴火の爆発性に着目すると3つの時期に区分できる。

第1期は13万年前頃以前で、比較的穏やかな噴火により、複数の成層火山から成る火山群が形成された。この時期に形成されたのが、現在の外輪山主要部である。

第2期は13万年前頃から3.7万年前頃の時期で、大規模火砕流や、爆発的なプリニー式噴火を繰り返してカルデラを形成した。この時期、外輪山北西および南東斜面上で単成火山群が形成されたが、石材として有名な小松石はこの時期の溶岩である。また、カルデラ内では前期中央火口丘群が形成された。この時期の代表的な噴出物である箱根東京軽石（約6万年前）は、降下軽石が東京区部で広く見つかるこ

とからその名がついた。箱根東京軽石に伴って出た軽石流は、横浜市西縁近くまで到達しており、噴出量は約10km<sup>3</sup>と見積もられている。

第3期は現在を含む3.7万年前以降の時期である。この時期にはカルデラ内中央部で、安山岩質の溶岩流および溶岩ドームの噴出によって、後期中央火口丘群が形成された。噴火はブロックアンドアッシュフロー型火砕流（溶岩ドームが崩れて生じるタイプの火砕流で、近年では雲仙火山1990 - 1995年噴火で多数発生した）を伴うが、軽石を噴出する爆発的な噴火は記録されていない。

箱根火山の最新のマグマ噴火は約3000年前の冠ヶ岳の噴出で、これに伴う山体崩壊により神山の北部が崩れて、カルデラ内を流れる早川がせき止められ、芦ノ湖が現在の形となった（写真1）。この



写真1 長尾峠から見た中央火口丘  
手前のゴルフ場のある地形面が3000年前の山体崩壊で生じた岩屑なだれ堆積物。  
右側に芦ノ湖が見える。

\*神奈川県温泉地学研究所

噴火以降、水蒸気噴火による堆積物が5つ認識されており、約3000年前と約2000年前に1回ずつ、12世紀後半から13世紀にかけて3回発生したと考えられている<sup>3)</sup>。これらの年代は炭素同位体年代法による推定で、歴史文書に箱根の噴火記録はない。

### 3 地質学的に見た火山防災の視程

火山防災計画の立案にあたっては、過去の噴火実績を参考に想定する噴火現象を決め、その噴火に至るシナリオを作成する必要がある。長く複雑な噴火史をもつ箱根火山において、噴火現象はどこまで想定すれば良いのであろうか。考え方のひとつは、箱根火山の噴火史上最大級の噴火である箱根東京軽石とその軽石流を想定するというものである。これは究極的な防災対策として、最終的には検討すべきかもしれないが、箱根の噴気活動が異常に活発であるとか、地下浅部にマグマだまりがあるなどといった、巨大噴火が差し迫っている事を示す兆候はない。

したがって、将来のマグマ噴火としては、より蓋然性の高い第3期の噴火、すなわち、溶岩流や溶岩ドームの噴出とそれにとまなうブロックアンドアッシュフロー型火砕流、山体崩壊などが、当面想定すべき噴火であると言える。こうしたタイプの噴火は地質調査によって第3期中に12回認められているので<sup>4,5)</sup>、その頻度は少なくとも約3000年に1回程度と見積もることができる。

マグマ噴火より頻度の高い噴火現象として、水蒸気噴火があげられる。露頭が限られているため、得られる情報は限定的であるが、約2000年前の水蒸気噴火堆積物であるHk-Ow2を例にとると、降灰厚さ5cmの範囲は半径約1kmの円形で、噴出量は10-20万m<sup>3</sup>程度と推定される。降下火山灰は基本的に温泉余土を主体としたシルト質のもので、噴石は給源のごく近傍の露頭でしか確認出来ない。水蒸気噴火は過去約3000年間に5回あることから、その頻度は少なくとも約600年に1回程度と見積もることができる。

これらの噴火現象やおよその頻度については、後述する「箱根町火山防災マップ」で言及し、町民への周知が図られている。

### 4 群発地震

箱根火山は噴火の文献記録が存在しないが、頻繁に群発地震が発生してきたことが知られている。最古の記録は、天明六(1786)年のものである。この記録は、解体新書の著者として有名な杉田玄白の随

筆集「後見草」の中にある。詳しい地震の推移はよくわからないが、二月二十三日から二十四日(グレゴリオ暦の3月22日から23日)にかけて地震が激しく、山崩れがあり、街中に野生生物が走り出てきて通行人にかみつくなどの被害が出たという。ここまでの激しさはないが、その後1917年、1920年、1933-35年、1943年、1944年、1952年、1959-60年にやや規模の大きい群発地震活動があった<sup>6)</sup>。

群発地震に際して噴気を観察した記録は多いが、噴気活動が活発化したかどうかは明瞭でない。なぜならば、普段の様子を把握していないからである。目に見える噴気量は普段でも気温や風の強さによって大きく変わるので、群発地震を契機に噴気を見た程度では、活発化したかどうかはわからない。しかし、1933-35年の群発地震ではそれまで噴気活動がなかった所に噴気が生じるなど、明らかな異常が複数記録されている。とくに、1934年2月22日には、駒ヶ岳北西の神山との鞍部で噴気が発生し、噴気の高さが200mに及んだという記録がある。これは、噴火には認定されていない<sup>7)</sup>。

### 5 火山観測態勢

箱根火山で発生する地震の地震計による観測は、1917年の群発地震活動で大森房吉が宮ノ下の富士屋ホテルで2月3日から13日に実施したのがはじめてである。地震計による観測は、その後も群発地震発生時に臨時的に実施されてきたが、地震回数や大体の震央が明らかにされた程度で、メカニズムに関する研究までには到らなかった<sup>6)</sup>。

恒常的な地震観測は、1960年から神奈川県が土木部の事業として「神奈川県箱根地震観測所」を開設したのが始まりである<sup>8)</sup>。神奈川県が火山性地震の観測を実施することに決めたのは、1959-60年の群発地震による社会的な影響が大きかった一方、国による箱根火山の監視が見送られたためである。このとき構築された地震観測網は、箱根火山最大の噴気地帯である大涌谷を中心とした半径約1kmの範囲に配置された5観測点からなる。これが、1968年に温泉地学研究所の前身である温泉研究所へ引き継がれた。

その後、1989年の地震観測地点の変更と増強、傾斜計、地下水位計の新設、データ処理システムの構築、1991-93年の地震、傾斜、地下水位観測施設の増強と、光波測距、GPS測量による地殻変動観測の導入など大きい整備のほか、小規模な整備が小刻みに行われてきた<sup>9)</sup>。2015年度には、これまでなかった長周期地震計や火山ガス連続観測装置、監視

カメラ等が導入された。

## 6 2001年の火山活動活発化とその後の防災対応

2001年の活動は、温泉地学研究所が観測を開始以来、はじめての単に「群発地震」だけで片づけられない火山活動の活発化であった。この活動では観測史上はじめて、地殻変動が観測され、大涌谷の蒸気井のひとつで暴噴が発生した<sup>10)</sup>。大涌谷の蒸気井は、蒸気と水を混ぜ合わせて温泉を作るために掘削されているが、通常は造成塔内で水をかけると蒸気は即座に凝結する。暴噴とは、蒸気の勢いが激しすぎて、造成塔や井戸を破壊したり、注水を吹き飛ばしてしまうため制御できなくなる現象を言う。

2001年の活動を経験したことで、箱根町は火山防災の必要性を認識し、2002年度当初から作業を始めて、2003年度末に「箱根町火山防災マップ」を完成、町内全戸に配布した<sup>11) 12)</sup>。

気象庁が2007年に導入した噴火警戒レベルは、箱根山では2009年3月31日に運用開始となった<sup>13)</sup>。噴火警戒レベルは地元自治体の防災体制とリンクしているため、運用開始時期は火山防災体制の進捗状況により火山ごとに異なる。国内に110ある活火山のうち、噴火警戒レベルが運用されている火山が2007年の導入当初で16火山、執筆時点でも33火

山に留まっていることを考えると、箱根火山の運用開始は非常に早い。温泉地学研究所が火山活動に関する知見を積み重ねていたことと、「箱根火山防災マップ」が作成されていたことが大きい。

その後、2014年の御嶽山の噴火を教訓に、レベル2に上がる前でも、箱根火山の活動状況に応じた措置がとれるよう、「箱根山の噴火を想定した大涌谷周辺の見学客等の避難誘導マニュアル」が2015年3月に策定された<sup>14)</sup>。また、後述する2015年の噴火を受けて、レベル4、5発令時の避難方法を取り決めた「箱根山（大涌谷）火山避難計画」が2015年8月にとりまとめられた<sup>15)</sup>。

## 7 箱根火山のモデル

1980年代まで、箱根火山の群発地震は概ね大涌谷・早雲山両噴気地帯の直下、標高0km付近を中心にクラスター状に発生していると考えられてきた。また、1966年の群発地震後に強羅地域の温泉温度が大幅に上昇したことから、地下深部から熱水が上昇することにより群発地震が発生すると考えられていた<sup>16)</sup>。しかし、1989年に地震観測地点の変更と増強が行われると、震源は必ずしも大涌谷・早雲山両噴気地帯直下だけに集中しているのではなく、カルデラを南北に縦断する範囲で発生していることが明らかになってきた<sup>17)</sup>。その後、2009年の群発地震

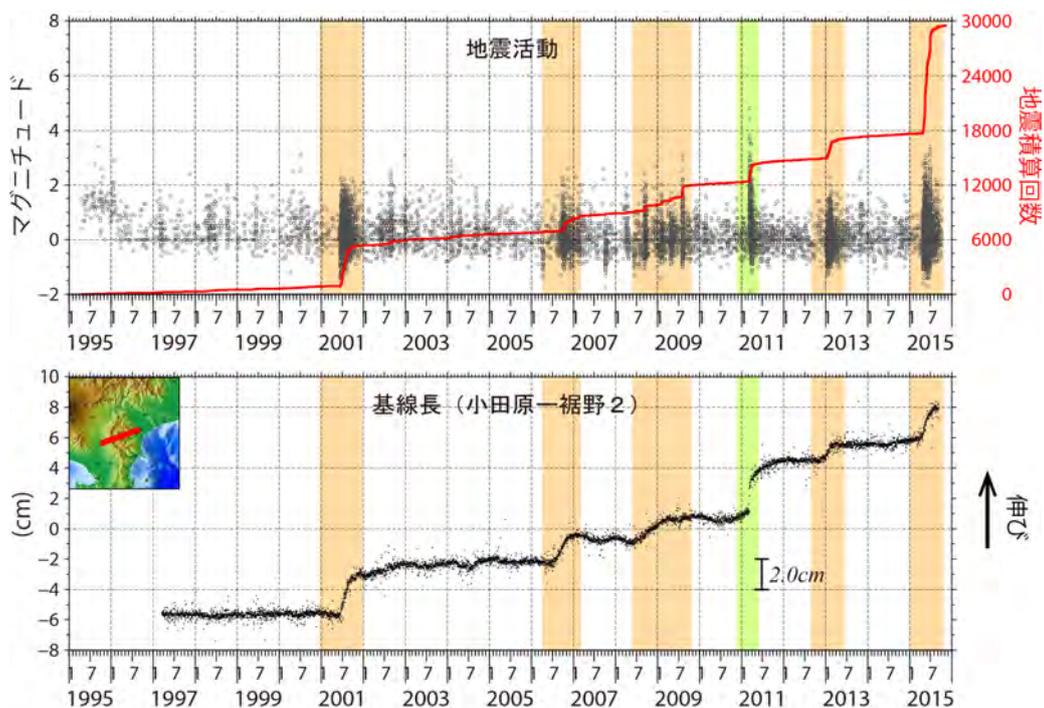


図1 箱根火山の地震活動（上段）と箱根火山を挟む基線長（下段）の時間変化<sup>23)</sup>

上段の線は地震の積算回数、点はマグニチュードを示す。

基線長が伸びる時期に、地震活動が活発化することがわかる。

の精密な震源解析から、地震は複数の既存の断層破碎帯内で発生していることと、断層破碎帯内での流体の移動が地震のトリガーになっていることが示唆された<sup>18)</sup>。

傾斜計による地殻変動解析では2001年の火山活動発化の際に、箱根火山には海面下7km付近に等方的な膨張源が、標高0km付近に2枚の岩脈状のクラックが生じたことがわかった<sup>19)</sup>。一方、地震波トモグラフィによって箱根火山直下の地震波速度構造が明らかになり、その結果から、場所によって下限が異なるが、海面下3-10km以浅に熱水だまりが、それ以深にマグマだまりが存在することが示唆された<sup>20)</sup>。熱水だまりおよび、マグマだまりはそれぞれ、2001年に観測されたクラックおよび等方的膨張源に相当すると考えられる。

このうち、マグマだまりに相当する深部の膨張はGPSによって、数年おきに発生する群発地震のたびに観測されていることがわかり(図1)<sup>21) 22)</sup>、マグマだまりへマグマの供給が行われていることが示唆された。これらの観測・研究により、老齢でマグマ活動が不活発(=ことによると将来の噴火はないかも知れない)という従来の箱根火山の見方は大きく転換した。

## 8 2015年噴火<sup>23)</sup>

### 8.1. 噴火前

箱根火山では2015年4月上旬から山体を挟むGPSの基線長に伸びの傾向が認められるようになった。また、同時に深部低周波地震の発生も認められた<sup>24)</sup>。大涌谷にある箱根温泉供給(株)第39号蒸気井は蒸気量が少ない井戸であったが、4月16日頃から蒸気量が増えた。4月26日からは地震が頻発し、群発地震の状況となった。地震の発生に伴って震源近傍の傾斜計の動きが増した。5月3日朝、第39号蒸気井は轟音とともに蒸気を吹き上げるようになり、暴噴状態となった。3日午後には箱根火山防災協議会構成機関による臨時の会議が開催され、4日朝から大涌谷自然研究路と周辺のハイキングコースの閉鎖が実施された。

5月5日は大涌谷の直下で地震が多発し、6日に気象庁は箱根山に噴火警戒レベル2を発表し、大涌谷へ通じる国道734号線の大涌谷三叉路から大涌谷の間が閉鎖された。翌7日には、JAXAの陸域観測衛星「だいち2号」に登載された合成開口レーダー(SAR)の緊急観測により、暴噴している第39号蒸気井周辺の半径約100mの範囲が、前年10月14日にくらべ衛星方向へ最大6cm近づく変位(=隆起)

をしていることが観測された。この観測により、第39号井付近で火口が開く懸念が認識され、5月8日には大涌谷内への作業員の立入が禁止された。

その後、地震活動は5月15日をピークとして徐々に低下していったが、SARによって第39号蒸気井付近の隆起が進行していることが観測されたほか、GPSの解析から山体の膨張傾向が継続していることが示唆された。



写真2 タイムラプスカメラが捉えた火口と噴気孔(6月29日18時54分撮影)

右奥が15-9火口(その後崩壊)、右手前が15-3噴気孔、中央手前が15-4噴気孔で、いずれも噴火はじめて開口した。

### 8.2. 噴火

噴火が起きた6月29日から7月1日にかけては天気が悪く、標高の高い大涌谷では霧が出て視程が悪かった。このため噴火の推移には不明なことも多いが、おおむね以下のようにまとめられる。

6月29日12時30分頃から、大涌谷の周辺で火山灰らしきものの降下が認められた。これは乾いた粒子として落ちてきた場所もあったようであるが、多くは水滴に混じって泥の雨のような状態で観測された。14時頃から大涌谷に現地調査に入った。谷底からはいつもにも増して大量の噴気がもうもうと上がっていたが、視界がなく、火口が生じたのか、あるいは新たな蒸気井の暴噴が起きたのか、判断とできなかった。一方、大涌谷から流れ出る大涌沢では、熱泥流らしきものが流下しているのを確認できた。流量は波があったが、目視により平均して毎秒100ℓ前後と見積もられた。

29日は18時頃まで観察したが、火口は認められず、噴火が起きているか否かの判断は見送った。しかし30日午前大涌谷に再び入ったところ、噴気の合間から猛烈な勢いで噴気を噴き出す火口が確認できた。また、大涌谷に設置していたタイムラプス

カメラからデータを回収した結果、29日19時頃の画像で火口が確認できた（写真2）。これらのことから、遡って29日12時30分ごろには噴火が始まったものと判断された。

一方、箱根温泉供給（株）の給湯量が29日10時頃に大幅に減少したことから、大涌谷の中の主要な給水管または給湯管がこの頃破断した可能性がある。実際、浸食により大涌沢の支流がえぐれて、沢を渡る給水管が破損した様子が噴火後の空撮で確認できた。したがって29日10時頃には、熱泥流などが発生して給水管を破断した可能性がある。また、29日7時32分頃から、広帯域地震計で周期1分以上の非常に長い変動が観測されており、この時期に割れ目の形成と熱水の上昇が起きたことが疑われる。以上のことから、29日午前中に既に何らかの噴出現象があった可能性は否定できない。なお、29日は朝から地震が多発していたため、一部で許可されていた大涌谷での作業に対し、中止が指示された。

降灰は6月30日夕方までに確認できなくなったが、火山性微動は続いたほか、火山性微動や空振は7月1日未明にもっとも強く観測された。現在も噴気を上げる最大の火口である15-1火口は、タイムラプスカメラの解析によれば1日午前にはじめて確認された。これらの事実から降灰は伴わなかったものの、7月1日未明に、15-1火口で何らかの噴出現象が発生した可能性がある。噴出総量はおおよそ100トン程度と見積もられている<sup>25)</sup>。

### 8.3. 噴火後

第39号井周辺の半径約100mの範囲で続いていた隆起は、噴火後のSAR観測では停止または若干の沈降に転じたことが確認された。この噴火では複数の噴火口・噴気孔が形成されたが、これらはSARで確認された隆起域かその近傍に形成された。今回の噴火では、SARによる観測で、噴火場所を予測できたと言えるかも知れない。

最も大きい火口（15-1火口）の中には灰色の泥湯をたたえた直径数メートルの湯溜まりが出来た。湯溜まりは激しく沸騰しており、秋頃までは時折、湯溜まりの泥が火口縁より高く吹き上がっているのが見えたが、最近では沸騰も穏やかになってきた。

地殻変動は8月頃にはほとんど観測されなくなり、地震活動も10月頃にはほぼ群発地震発生前に戻った。こうした火山活動の低下に伴い、噴火警戒レベルは9月11日にレベル2に、11月20日にレベル1になった。しかし、今回形成された噴気孔の噴気温度は130℃を超えており、高温で安定な二酸化硫黄が放出されている。このガスは、ぜんそくの

発作を引き起こすことがある。現在も大涌谷周辺は二酸化硫黄ガスの濃度が時折高くなるため、一般の立入が禁止されている。

## 9 変わる観光地

箱根山で2015年5月にレベル2が発表されたことに対して、当初、地元観光業者から強い不満の声があがった。おもな不満の内容は、「箱根の群発地震は良くあること」、「2001年の時は気象庁がなんの警戒も呼びかけなかった」、「大涌谷周辺への立入禁止は観光に打撃が大きすぎる」、などであった。来客の減少に対して、観光業者は、立入禁止の範囲が小さいことや、箱根では群発地震が珍しくないことなどを懸命にアピールしようとしたが、ネットを中心に人命軽視というような批判を浴びた。

これにショックを受けて、地元観光業者は情報発信のあり方について、研究をはじめた。中心となったのは、若手経営者達を中心とする「誘客宣伝委員会」であった。検討の結果、観光は不要不急で楽しむために行くものなので、火山活動の活発な時期には安全性を訴えてもほとんど意味がないと結論した。その上で、あえて観光地に出かける気分になるのは、食や風景などの「評判」と、観光事業者が火山の状況を認識し、万一の場合の対策も十分検討していることによる「安心」があるからだという結論に至った。

誘客宣伝委員会は町役場や自治会などと協力して、記者会見の定例化、箱根火山の現状について学ぶ講演会の開催、さらに火山活動が進展した際の避難計画立案などに次々と取り組んだ。

この過程で、箱根が活火山であることや、7節で述べたような温泉地学研究所の研究も広まり、今後数年に1度程度の活発化はあり得るという認識が、地元にも共有されるようになった。このことが、箱根と他の火山観光地がネットワークを構築して、火山災害に対する課題を共有化し、話し合いをすすめるようという動きにつながり、2016年3月2日から3日に箱根町湯本のホテルで開催された「第1回火山山観光サミット2016 in 箱根」に結びついた。

箱根町と町観光協会が主催したこのサミットには急な企画であるにもかかわらず、日本全国および海外からのべ700人の観光業者、学者、行政関係者、報道関係者、ジオガイドなどが参加した。最終日には、山口昇士箱根町長が、安心して楽しめる観光地作りを進める上で、国民と火山との共生、観測態勢の充実、リスク回避への取り組みの3点を基本姿勢とする「箱根宣言」<sup>26)</sup>を読み上げた。

## 10 おわりに

本稿では、箱根火山の2015年噴火と、それに至るまでの研究史、防災体制の構築、噴火を期に変わりはじめた地元の様子を紹介した。振り返ると、火山が何らかの異常を示したときに、火山から学びとること、また、この学びを蓄積することの重要性にあらためて気づかされる。

箱根火山の場合、1959 - 60年の群発地震を契機に観測所が作られ、1966年の群発地震とその後の温泉温度上昇で地震と温泉活動の関連性が確信された。箱根火山はその後穏やかな状況が続いたが、そうした中でも観測機能は増強され、2001年に発生した火山活動の活発化を契機に、箱根火山の見方を大きく変える研究が相次いだ。研究が活気を帯び、研究成果が防災計画に次々と反映される中、2015年の噴火を迎えられ、適切な対応ができたのは、不幸中の幸いであった。

近年、火山を長年見続けている火山学者、いわゆるホームドクターの重要性が認識されているが、研究者としての寿命を考えると、噴火はおろか、活発化に遭遇するの運としか言いようが無い。やはり永続的な組織を作り、継続的に投資をしないと、学び取れるものも学び取れないのが火山学であり、火山防災だと思われる。

火山には火山ごとに特性があり、地域の事情もそれぞれである。火山防災には地元との連携が欠かせないことを考えると、筆者がそういう立場に慣れ親しんでいるせいもあるかも知れないが、火山の観測研究を担うのは地方自治体が適切なようにも思える。神奈川県温泉地学研究所の事例が、火山と向き合おうと考えている自治体や関係者の参考になれば幸いである。

### (参考文献)

- 1) 萬年一剛：「箱根火山はいつ生まれたか」, 「神奈川県温泉地学研究所観測だより」64, pp.3-8, 2014
- 2) 萬年一剛：「箱根火山群、強羅付近の後カルデラ地質発達史」, 「地質学雑誌」120 (4), pp.117-136, 2014
- 3) 小林 淳・萬年一剛・奥野 充・中村俊夫・袴田和夫：「箱根火山大涌谷テフラ群—最新マグマ噴火後の水蒸気爆発堆積物」, 「火山」51 (4), 245-256, 2006
- 4) 小林 淳：「箱根火山中央火口丘群の噴火史とカルデラ内の地形発達史」, 「神奈川県立博物館調査研究報告 (自然)」13, 43-60, 2008
- 5) 笠間友博・山下浩之・萬年一剛・奥野充・中村俊夫：「複数回の噴火で形成された箱根火山二子山溶岩ドーム」, 「地質学雑誌」, 116 (4), 229-232, 2010
- 6) 萬年一剛：「文献による箱根群発地震活動の再検討 (1917 ~ 1960) ; 箱根群発地震活動の地学的意義」, 「火山」48 (6), 425-443, 2003
- 7) 気象庁：「活火山総覧第4版」, 863-882, 2013

- 8) 神奈川県温泉地学研究所：「30年のあゆみ」, 「神奈川県温泉地学研究所報告」23, 1-316, 1992
- 9) 神奈川県温泉地学研究所：「神奈川県温泉地学研究所50年のあゆみ」, 「神奈川県温泉地学研究所観測だより (特別号)」, 52-75, 2013
- 10) 辻内和七郎・鈴木征志・粟屋 徹：「箱根大涌谷で2001 (平成13)年に発生した蒸気井の暴噴事故とその対策」, 「神奈川県温泉地学研究所観測だより」, 1-12, 2003
- 11) 萬年一剛・小林 淳・杉原英和：「箱根火山の最近の活動と火山防災」, 「月刊地球」, 31 (2), 85-92, 2009
- 12) 箱根町火山防災マップ：  
[https://www.town.hakone.kanagawa.jp/hakone\\_j/kurashi/iza/kazanmapindex.html](https://www.town.hakone.kanagawa.jp/hakone_j/kurashi/iza/kazanmapindex.html) (2016年3月7日現在)
- 13) 箱根山の噴火警戒レベル：  
<http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/level/Hakoneyama.pdf> (2016年3月7日現在)
- 14) 箱根山の噴火を想定した大涌谷周辺の観光客等の避難誘導マニュアル：  
<http://www.pref.kanagawa.jp/uploaded/attachment/760267.pdf> (2016年3月7日現在)
- 15) 箱根山 (大涌谷) 火山避難計画：  
<http://www.pref.kanagawa.jp/uploaded/attachment/784400.pdf> (2016年3月7日現在)
- 16) Oki, Y., Hirano, T.: "The geothermal system of the Hakone volcano", "Geothermics Special Issue 2", 1157-1166
- 17) 本多 亮・伊東 博・行竹洋平・原田昌武・吉田明夫：「S-P時間を用いた再解析によって明らかになった1970年代の箱根群発震源域の特徴—最近の群発震源域との比較」, 「火山」, 56 (1), 1-17, 2011
- 18) Yukutake, Y., Ito, H., Honda, R., Harada, M., Tanada, T. and Yoshida, A.: "Fluid-induced swarm earthquake sequence revealed by precisely determined hypocenters and focal mechanisms in the 2009 activity at Hakone volcano, Japan", "Journal of Geophysical Research", 116, B04308
- 19) 代田寧・棚田俊收・丹保俊哉・伊東博・原田昌武・萬年一剛：「2001年箱根群発地震活動に伴った傾斜変動と圧力源の時間変化」, 「火山」, 54(5), 223-234, 2009
- 20) Yukutake, Y., Honda, R., Harada, M., Arai, R. and Matsubara, M.: "A magma-hydrothermal system beneath Hakone volcano, central Japan, revealed by highly resolved velocity structures", "Journal of Geophysical Research", 10.1002/2014JB011856, 2015
- 21) 原田昌武・細野耕司・小林昭夫・行竹洋平・吉田明夫：「富士山周辺及び箱根カルデラの膨張歪と低周波地震活動」, 「火山」55, 193-199, 2010
- 22) 原田昌武：「箱根における火山活動の観測と最近の状況」, 「温泉」, 83 (4), 24-25, 2015
- 23) 2015年箱根山の噴火の推移について：  
<http://www.onken.odawara.kanagawa.jp/files/Hakone2015/Hakone20151214.pdf> (2016年3月7日現在)
- 24) 棚田俊收：「箱根山における深部低周波地震と火山活動との関係」:「日本火山学会講演予稿集2015年秋季大会」P92
- 25) 古川竜太ほか9名：「箱根火山2015年噴火の降灰分布」:「日本火山学会講演予稿集2015年秋季大会」P93
- 26) 箱根宣言：  
[https://www.town.hakone.kanagawa.jp/hakone\\_j/content/000034061.pdf](https://www.town.hakone.kanagawa.jp/hakone_j/content/000034061.pdf) (2016年3月7日現在)

# 活火山の監視観測体制が抱える課題

う い ただひで\*  
宇井 忠英\*

K  
ey Word

活火山, 噴火警戒レベル, 気象庁, 火山観測, 火山監視・観測センター,  
alert level

## ▼1 はじめに

活火山で噴火の前兆を伺わせる異常が観測された時や、噴火が起こった時、噴火警戒レベルを含む火山情報が発表される。

63名の死者・行方不明者を出した御嶽山2014年噴火を受けて、火山の監視観測体制と情報の発信に様々な課題があることが顕在化しつつある<sup>1, 2, 3)</sup>。この報告では気象庁による活火山の指定と噴火警戒レベル、そして活火山の監視観測体制が抱える課題にテーマを絞って、現状を分析しどう改善するのが望ましいのか私見を述べる。

## ▼2 活火山の指定

活火山の認定は、IAVCEI（国際火山学地球内部化学協会）の前身であるIAVによる活火山カタログの刊行にさかのぼる。久野久東京大学教授が編纂した第11巻の日本・台湾・マリアナ諸島編は1962年に出版された。活火山としての収録対象は“噴火記録がある火山と噴気活動が活発な火山”と定義され、御嶽山を含む64火山が収録されていた。気象庁はIAVの定義に準じて、1975年に刊行した日本活火山要覧に北方領土を含む77火山を収録した。その後定義の見直しを繰り返して、現在は国際基準に合わせた“概ね過去1万年以内に噴火した火山及び現在活発な噴気活動のある火山”を対象に110の活火山が指定されている<sup>4)</sup>。最新の噴出物の絶対年代測定ができていないために、未指定となっている火山が若干残っている。また、原子力関連施設への火山影響評価に関わりがある、巨大火砕流噴火を引き起こすカルデラ火山は活火山の指定対象となっていない<sup>5)</sup>。

気象庁は活火山を指定する際に地元と協議を行っている。八丈島には八丈西山と八丈東山という地下のマグマ溜まりが独立した2つの活火山がある。気象庁は地元の要望を入れて一括した“八丈島”という活火山名で指定した。将来ここで火山活動が始まった際には、いずれが噴火するのか混乱が起こりかねない。自然現象である活火山の認定に地元自治体の意向を持ちこむ姿勢には違和感がある。

## ▼3 観測施設の展開

気象庁は1962年に19火山を常時観測火山に指定し、1965年からは各測候所で臨時火山情報を発信するようになった<sup>6)</sup>。その後常時観測の対象火山と観測計器や人員は次第に増加していった。しかし、1990年代に入って気象観測の高度化に伴い各地の測候所が廃止され、人員が气象台に集約され始めた。火山観測業務を担う測候所も例外ではなかった。その結果、測候所の職員が火山の地元に常駐して現地での状況を把握し、人脈を築き、観測計器には捉えきれない火山の異常を把握するという機会が失われていった。

現在気象庁は主要な50の活火山とその周辺に観測計器を設置して常時監視観測に当たっている。

設置されている観測計器は地震計・傾斜計・空振計・GPS・監視カメラなどである。国土地理院・防災科学技術研究所・国土交通省の各地方整備局・国立大学・地方自治体が設置した観測機器からも観測データの配信を受けている。火山ガスや火口温度などは定期的に現地で観測を実施している。

これらの観測データは、東京・札幌・仙台・福岡にある火山監視・情報センターと鹿児島地方气象台

\*北海道大学名誉教授・環境防災総合政策研究機構理事



種類	名称	対象範囲	レベル	火山活動の状況	居住者の行動及び登山者への注意事項の状況	想定される現象等
特別警報	噴火警報(居住地域と噴火警戒レベル)	居住地域及びそれより火口側	5 (避難)	原住地域に重大な被害を及ぼす噴火が起る、あるいは起る可能性がある状態にある。	避難が必要な居住地域の避難等が必要。 【状況に応じて対象地域や方法等を判断】	● 人命を脅かすような大きな噴石が1km程度飛散し、居住地に重大な被害を及ぼす噴火が発生、あるいは起る可能性がある。 【状況に応じて対象地域や方法等を判断】 ● 200m程度の噴石が500m程度飛散し、居住地域に被害を及ぼす噴火が発生、あるいは起る可能性がある。 【状況に応じて対象地域や方法等を判断】
			4 (避難準備)	居住地域に重大な被害を及ぼす噴火が発生すると予想される(可能性が高まっている)。	警戒が必要な居住地域での避難の準備、要配慮者の避難等が必要。 【状況に応じて対象地域や方法等を判断】	● 地震活動の活発化、火山性地震の発生、地熱域の拡大、噴気活動活発化、遠部の地殻変動等により、噴火が発生する可能性が高まっている。 【状況に応じて対象地域や方法等を判断】
			3 (入山規制)	居住地域の近くまで噴火の影響を及ぼす(この範囲に入った場合には事前に避難が必要)噴火が発生すると予想される。	住居は通常の生活、必要に応じて避難準備等が必要。 【状況に応じて対象地域や方法等を判断】	【レベル3の警戒について】 レベル3は、火山活動が高まっていく段階では発生せず、レベル2からレベル3への変遷は注意して監視する。
			2 (火口周辺規制)	火口周辺に影響を及ぼす(この範囲に入った場合には事前に避難が必要)噴火が発生すると予想される。	住居は通常の生活、必要に応じて避難準備等が必要。 【状況に応じて対象地域や方法等を判断】	● 噴火の発生、火山性地震等が発生し、噴火が発生する可能性がわずかに認められる。 【状況に応じて対象地域や方法等を判断】
			1 (平常)	火山活動は静穏。火山活動の状態によって、火口周辺域内で噴水活動が認められる(この範囲に入った場合には事前に避難が必要)噴火が発生すると予想される。	住居は通常の生活、必要に応じて避難準備等が必要。 【状況に応じて対象地域や方法等を判断】	● 火口想定域内の局所的な熱水活動。 ● 噴火の発生、火山性地震等が発生し、噴火が発生する可能性がわずかに認められる。 【状況に応じて対象地域や方法等を判断】

図1 倶多楽の噴火警戒レベル解説リーフレット<sup>8)</sup>

の現業室で昼夜3交代体制を組んで常時監視し、火山活動の評価を行い、異常と判断されれば噴火警報等を発信する体制を取っている<sup>7)</sup>。

## 4 噴火警戒レベル

### 4.1 導入された噴火警戒レベル

気象庁は2007年12月から噴火警戒レベルを付けた火山警報を出す仕組みを順次導入し始めた。噴火警戒レベルはレベル1(“平常”という表現から2015年に“活火山であることに留意”に変更)、レベル2(火口周辺規制)、レベル3(入山規制)、レベル4(避難準備)、レベル5(避難)までの5段階である。

火山毎に作成された噴火警戒レベルの周知リーフレットにはハザードマップを参考にした入山規制や避難の適用範囲が示されており、“噴火警戒レベルは地元自治体と調整して作成したものです”等の断り書きが示されている(図1)<sup>8)</sup>。リーフレットの裏面にはレベルごとの火山活動の状況、住民等の行動及び登山者・入山者への対応、想定される現象等の表が掲載されている。

### 4.2 火口は山頂ばかりではない

噴火警戒レベルは成層火山であることを想定し、山麓に人々が居住することを前提としている。2000

年の有珠山噴火では火山活動活発化を受けて火山情報が発信され、住民と観光客の避難は噴火の開始前に完了し、死傷者を出さずに済んだ<sup>9)</sup>。有珠山の想定火口域は山頂のみならず山麓にも及び、洞爺湖温泉街はその中にある。有珠山でもレベル2(火口周辺規制)とレベル3(入山規制)が設定されており、リーフレットに記載された想定事象はレベル3の方が2よりも活発であると読み取れる。しかし、有珠山のように山麓にも想定火口がある火山では、前兆現象が観測され始めた段階で火口の位置を絞り込むことは不可能である。レベル2と3を人々の行動を規制する表現にするのは誤解を生みかねない。レベル2は“平常とは異なる異変が発生”、レベル3は“噴火に注意”など火山活動の現況のみを示す表現に変更することが望ましい。

### 4.3 倶多楽に見られる懸念材料

北海道南部の登別温泉は道内最大の温泉観光地で年間100万人を越える宿泊客が訪れる。倶多楽湖は小型のカルデラ火山の中にあり、山麓の登別温泉街に隣接して地獄谷・大湯沼・日和山など地熱活動や噴気活動と温泉の湧出が活発な場所がある。最近1万年以内は水蒸気噴火を繰り返しており、最新の噴火は1663年以降の江戸時代であるがその歴史記録はない。ホテル街から僅か200mの距離から江戸時代の火口群がある。活火山の名称は“登別”ではな

く“倶多楽”になっており、噴火のリスクがどこにあるのか観光客や住民に誤解を与える可能性がある。観光協会などのホームページには活火山であることを示す文言さえ見当たらない。

2015年10月に導入された倶多楽の噴火警戒レベルのリーフレット(図1)には、火山活動が高まっていく段階ではレベル3は使用しないと明記されている。倶多楽での常時観測は2007年に開始された。各レベルで想定される事象が詳細に記述されているが、火山活動の過去事例として2007～2011年に大正地獄での温泉湧出が活発化したことが示されている。2016年2月4日には火山性地震が発生したが、レベルは引き上げられず、火山情報は何も発信されなかった。火山性地震の発生は毎月発表される火山活動解説資料に掲載されたただけであった<sup>10)</sup>。

リーフレットに各レベルに対応した道路規制や避難区域が地図に明記されており、噴火警戒レベルが立ち入りや道路通行規制にまでリンクしているのは理解しがたい(図1)。火山活動が活発化した際には混乱が発生するであろうことを懸念する。

#### 4.4 先進的な役割を果たした米国の手法

噴火警戒レベル導入のきっかけとなったのは米国が先進的な役割を務め、開発途上国も採用し始めている volcano alert level である。火山活動がバックグラウンドレベルにある NORMAL, バックグラウンドから外れた異常が検出される ADVISORY, 火山活動が高まり噴火の可能性があるか、噴火中だが災害は限定的である WATCH, 災害をもたらす噴火が差し迫っているか噴火中である WARNING の4段階で表示される(図2)<sup>11)</sup>。加えて火山上空を飛行する航空機を対象とした4段階の aviation

color code がある。Volcano alert level は火山活動の現況のみで判断され、リスクがある範囲には言及するが、具体的な規制や避難には触れていない。米国内務省地質調査所(U.S. Geological Survey)は5カ所の火山観測所で分担して活火山の現況を観測機器による連続観測と地質学者による現地調査を行い、volcano alert level が付いた daily update を発信している。

噴火のリスクがあると見られる時に住民や観光客の立ち入り規制や避難指示、道路の閉鎖を決定するのは、火山観測所とは別の州政府の下部組織である郡の市民防衛局(Civil Defense Agency)だ。2008年4月8日にはハワイ島北方に低気圧が接近したため日常的な北東貿易風が止まった。その結果、風上で安全なはずのキラウエア火山国立公園のビジターセンター周辺に火口から放出された二酸化硫黄ガスが、環境基準を越える濃度で立ち込めた<sup>12)</sup>。ハワイ火山観測所が daily update に発表した alert level は watch のままで変更はなかった<sup>13)</sup>(図3)。火山そのものの活動状況が変わったわけではないからだ。市民防衛局は気象情報も踏まえて国立公園の閉鎖を決定し、国立公園への来訪者と公園施設の従業員約2000名に避難指示を出した。ハワイ火山観測所の職員は現場に留まり平常通り観測と情報発信を継続した。2日後には気象条件が平常に戻ると規制が解除された。

#### 4.5 フィリピンの事例

フィリピンでは国立火山地震研究所(PHIVOLCS)が地震・津波・火山噴火の監視・観測に当たっている。主要な6火山で静穏な状態を表す0から災害をもたらす噴火が進行中の5まで6段階の alert level

Volcano Alert Levels Used by USGS Volcano Observatories	
Alert Levels are intended to inform people on the ground about a volcano's status and are issued in conjunction with the Aviation Color Code. Notifications are issued for both increasing and decreasing volcanic activity and are accompanied by text with details (as known) about the nature of the unrest or eruption and about potential or current hazards and likely outcomes.	
Term	Description
<b>NORMAL</b>	Volcano is in typical background, noneruptive state or, after a change from a higher level, volcanic activity has ceased and volcano has returned to noneruptive background state.
<b>ADVISORY</b>	Volcano is exhibiting signs of elevated unrest above known background level or, after a change from a higher level, volcanic activity has decreased significantly but continues to be closely monitored for possible renewed increase.
<b>WATCH</b>	Volcano is exhibiting heightened or escalating unrest with increased potential of eruption, timeframe uncertain, <b>OR</b> eruption is underway but poses limited hazards.
<b>WARNING</b>	Hazardous eruption is imminent, underway, or suspected.

図2 米国の Volcano Alert Level<sup>11)</sup>

HAWAIIAN VOLCANO OBSERVATORY DAILY UPDATE Wednesday, April 9, 2008 09:12 HST (Wednesday, April 9, 2008 19:12 UTC)	
<p><b>KILAUEA VOLCANO (CAVW#1302-01)</b> 19.42°N 155.29°W, Summit Elevation 4091 ft (1247 m) Volcano Alert Level: <b>WATCH</b> Aviation Color Code: <b>ORANGE</b></p> <p>This report, in addition to maps, photos, and webcam images (available using the menu bar above), was prepared by the Hawaiian Volcano Observatory (HVO).</p> <p><b>Activity Summary for last 24 hours:</b> Kilauea Volcano is active at two locations. At the summit, ash production and elevated sulfur dioxide emissions continued from the Halema'uma'u vent (both assumed from Monday's measurements). Seismic tremor levels continued elevated to several times background levels. At the coast, lava continued to flow from the east rift zone through tubes into the ocean at the Waikupanaha and Ki ocean entries.</p> <p><b>Hazard Summary:</b> see previous updates.</p> <p><b>TEB lava flows at the coast as of yesterday evening</b> (from combined HVO and NPS eruption crew reports): Three Waikupanaha and one Ki ocean entries (total of 4) were active yesterday. The change in weather brought the steam plumes onshore. The only active surface flow noted was about 50 yards inland of the Ki entry.</p> <p><b>Last 24 hours in the area of the east rift zone that includes Pu'u 'O'o and the TEB vent:</b> Lava continued to degas at shallow levels beneath Pu'u 'O'o before entering the lava tube system under the TEB vent and the rootless shield complex and flowing southwest to the ocean. The lack of surface flow activity along the tube indicates that it continues to be stable.</p> <p>Weak incandescence was observed during the day but not overnight from the small skylight adjacent to the TEB vent; no other incandescent vents or active surface flows were seen. The Kalialua flow appeared inactive yesterday morning. No incandescence was observed overnight in south Pu'u 'O'o crater by webcam. The Pu'u 'O'o tiltmeter recorded daily oscillations with a possible response from a DI tilt event yesterday but the signal was overwritten by a response to rain overnight. GPS receivers on opposite sides of the crater have recorded no extension or contraction above error since March 27. Seismic tremor levels remained at low values but also responded to the DI event by dropping slightly during the deflation phase and returning to previous levels during the inflation phase; episodic seismic tremor bursts continued. The SO<sub>2</sub> emission rate was about 1,760 tonnes/day when last measured on April 8.</p> <p><b>Last 24 hours at Kilauea summit:</b> Our data suggest that molten lava may reside at shallow depth within the new vent.</p> <p>Eruption of ash in a white plume continued; weak winds allowed the plume to ascend straight up when seen this morning. Over the past several days, the plume contained decreasing amounts of ash. This morning, the collectors, placed southwest of the vent, yielded no ash due to the southerly winds but did collect rain water. Overnight, the base of the plume glowed brightly between rain showers.</p> <p>Seismic tremor levels continued to be elevated to several times background values. The summit tiltmeter network recorded a DI tilt event starting deflation at 10:43 am and inflation at 9:56 pm, mimicked by variations in summit tremor. GPS receivers on opposite sides of the summit caldera recorded slowed contraction since late March. Four earthquakes were located beneath the summit caldera, two beneath adjacent areas, and one beneath the upper east rift zone.</p> <p>Wind speeds were not sufficient yesterday morning to get an SO<sub>2</sub> emission rate; the most recent measurement was 800 tonnes/day on April 7, compared to a background rate of between 150-200 tonnes/day. Shifting winds yesterday included HVO in the plume; SO<sub>2</sub> levels peaked at over 1.5 ppm around 2 pm.</p> <p><b>Definitions of terms used in the update:</b></p> <p><b>TEB:</b> Thanksgiving Eve Breakout, the lava flows that started with a breakout on November 21, 2007.</p> <p><b>DI tilt event:</b> DI is an abbreviation for 'deflation-inflation' and describes a volcanic event of uncertain significance. DI events are recorded by tiltmeters at Kilauea summit as an abrupt deflation of up to a few microradians in magnitude lasting several hours to 2-3 days followed by an abrupt inflation of approximately equal magnitude. The DI events are usually accompanied by an increase in summit tremor during the deflation phase. A careful analysis of these events suggests that they may be related to changes in magma supply to a storage reservoir at less than 1 km depth, just east of Halema'uma'u crater. Usually, though not always, these changes propagate through the magma conduit from the summit to the eruption site, as many of the DI events at Kilauea summit are also recorded at a tiltmeter at Pu'u 'O'o, delayed by 1-2 hours. DI events often correlate with pulses and/or pauses in the eruption at the Pu'u 'O'o/July 21/TEB vents.</p>	

図3 ハワイ火山観測所が2008年4月9日午前9時に発表したdaily update<sup>13)</sup>

を運用している<sup>14)</sup>。火山ごとの固有の状況を反映させて alert level の表現に若干の違いがあるが、その定義やいかなるリスクがあるかの簡単な解説が公表されている(図4)。何日経過したらレベルを引き下げるか明示されている火山もある。

#### 4.6 レベル引き上げ・引き下げのタイミング

住民の居住区域と観光客が集まる施設がどこにあるかは火山毎に異なる。山頂に火口があり、山麓に住民が居住し、山頂に向かって登山道があることを前提として気象庁が噴火警戒レベルを設定し避難の範囲までリンクしているのは無理があると言わざるを得ない。

過去わずか2例の観測事例に拘束されてレベル1のままで噴火が発生し大勢の犠牲者を出してからレベル3に引き上げられた御嶽山2014年噴火、レベル3にはなっていて避難訓練などを重ねていたが、そのまま噴火して火砕サーージが集落近くまで到達した2015年の口永良部島噴火など、レベル

Mayon Volcano Alert Levels		
Alert Level	Main Criteria	Interpretation/ Recommendations
0 No Alert	<b>Quiet.</b> All monitored parameters within background levels.	<b>No eruption in foreseeable future.</b> Entry in the 6-km radius Permanent Danger Zone (PDZ) is not advised because phreatic explosions and ash puffs may occur without precursors.
1 Abnormal	<b>Low level unrest.</b> Slight increase in seismicity. Slight increase in SO <sub>2</sub> gas output above the background level. Very faint glow of the crater may occur but no conclusive evidence of magma ascent. Phreatic explosion or ash puffs may occur.	<b>No eruption imminent.</b> Activity may be hydrothermal, magmatic or tectonic in origin. No entry in the 6-km radius PDZ.
2 Increasing Unrest	<b>Moderate unrest.</b> Low to moderate level of seismic activity. Increasing SO <sub>2</sub> flux. Faint/intermittent crater glow. Swelling of edifice may be detected. Confirmed reports of decrease in flow of wells and springs during rainy season.	<b>Unrest probably of magmatic origin; could eventually lead to eruption.</b> 6-km radius Danger Zone may be extended to 7 km in the sector where the crater rim is low.
3 Increased Tendency Towards Eruption	<b>Relatively high unrest.</b> Volcanic quakes and tremor may become more frequent. Further increase in SO <sub>2</sub> flux. Occurrence of rockfalls in summit area. Vigorous steaming / sustained crater glow. Persistent swelling of edifice.	<b>Magma is close to the crater.</b> If trend is one of increasing unrest, <b>eruption is possible within weeks.</b> Extension of Danger Zone in the sector where the crater rim is low will be considered.
4 Hazardous Eruption Imminent	<b>Intense unrest.</b> Persistent tremor, many "low frequency"-type earthquakes. SO <sub>2</sub> emission level may show sustained increase or abrupt decrease. Intense crater glow, incandescent lava dome, lava fountains, lava flow in the summit area.	<b>Hazardous eruption is possible within days.</b> Extension of Danger zone to 6 km or more in the sector where the crater rim is low will be recommended.
5 Hazardous Eruption	<b>Hazardous eruption ongoing.</b> Occurrence of pyroclastic flows, tall eruption columns and extensive ashfall.	Pyroclastic flows may sweep down along gullies and channels, especially along those fronting the low part(s) of the crater rim. Additional danger areas may be identified as eruption progresses. Danger to aircraft, by way of ash cloud encounter, depending on height of eruption column and/or wind drift.

Revised 15 August 2014

図4 フィリピン マヨン火山の Volcano Alert Level<sup>14)</sup>

の変更を伴う噴火警報の発信は進行中の噴火現象を追認するケースが多い。

噴火警戒レベルの設定と具体的な避難範囲とが連動しているため、風評被害の発生を懸念してレベル変更の判断にぶれが生じる可能性もある。レベル1を「活火山であることに留意」と表現するのであれば、それは何も異常現象が見られない場合に限るべきだ。バックグラウンドレベルとは異なる何らかの異常が観測されたら速やかにレベル2に引き上げるべきであろう。不意打ちを避ける対応が肝心である。地元の経済的な損失を最小限に留めるためには、異常が継続しなければ直ちにレベル1に戻す対応も必要だ。

毎日新聞が全国の火山研究者に行ったアンケート調査<sup>15)</sup>では、約4割が噴火警戒レベルは防災対策として有効に機能しておらず、5段階のレベル評価には限界があると答えている。

#### 5 読みにくいホームページ

火山噴火の情報がテレビニュースで流れると、関心を持った市民がより詳しい情報を求めて気象庁のホームページにアクセスするだろう。トップページの目立つところにある「噴火警報発表中」をクリックするといきなり2007年12月以来発表された噴火

警報のリストが出てくるが、ここは更新が遅く最新情報は見当たらない。更に“過去に発表した噴火警報・予報”をクリックしないと最新情報にはたどり着けない。

気象庁のホームページにアクセスし、火山の多様な情報にリンクが貼られている“各火山の活動状況”の頁<sup>6)</sup>を見つけるのは初心者には困難だ。この頁も膨大な情報の目次に過ぎず、速報性がある重要な情報がどこにあるのか見当が付かないだろう。火山のトップ頁には、今伝えるべき情報と共に活火山の分布地図を置き、火山名に各火山の種々の情報が見られる頁へのリンクを張ると使い勝手がよくなるであろう。

最近は多くの活火山の監視カメラ画像が公開されるようになった。しかし、数分おきに更新される監視カメラの画像は直近の20画面しか見られず、発生したばかりの噴火を立ち上がりまでさかのぼってその推移を閲覧することは不可能だ。

## 6 火山監視・観測体制が抱える課題

### 6.1 火山専門職の技量向上に向けて

1950年に火山係1名だけであった気象庁の火山監視・観測業務は次第に拡充してきた。2016年度の概算要求が認められると、機動観測班を含めて200名を越える火山担当の技術者を擁することになる。活動度が比較的高いと判断している50の活火山を対象に観測計器を設置して、札幌・仙台・東京・福岡の火山監視・観測センターで24時間3交代体制での監視を継続している(写真1)。しかし、地震や火山噴火などに関わる職員は必ずしも地震火山の専門教育を受けていないのが現状だ。気象庁に採用されることが前提で気象大学の入学試験が行われる。気象大学のカリキュラムは理学部気象学科に相当する充実した内容であるが、地震関係の科目は少しだけ、火山関係は概論が1科目あるだけだ。気象の専門技術者として育成された人材が定期人事異動に伴っていきなり火山監視・情報センターに配属されることさえある。火山活動に伴って観測されるデータは多様である。当直の担当者がルーチンワークで判定し、噴火警戒レベルの発信につなげられるものではない。

以前は主要な活火山の地元には気象庁の測候所があり、技術職員が長く勤務していた。地元の自治体や住民との間に顔の見える関係が構築され、噴火の前兆かも知れない局所的な地温の上昇・噴気ガスの異常・地割れなど、観測計器には捉えられないシグナルの発生も把握できた。測候所が廃止されてから



写真1 多数のモニターを常時監視中の火山監視・観測センター技術職員

観測には引っかけられない異常現象の情報がセンターに届きにくくなってしまった。これを補う措置として2008年度から、浅間山・伊豆大島・三宅島・阿蘇山などの地元自治体に火山防災連絡事務所を設置して火山監視・情報センターの職員2名を派遣する体制を取っている。

活火山の監視・観測に当たる技術職員は火山に関する多様な経験と豊富な知識に裏付けられた判断能力が求められる。しかし、現状では通常の公務員制度の技術職の枠組みの中で勤務しているので、学会に出席し研究発表を通じて火山研究者と交流するなど研鑽を積むためには年休を取らざるを得ない。ましてや大学院に社会人入学する道はあり得ないようだ。

火山の監視観測能力の向上を図るには、地震や火山噴火など地球内部で発生する現象を研究する分野の大学院修了者を積極的に採用する仕組み作りが望まれる。また職務の一環として関連学会への出席や研究発表を奨励し、大学への内地留学の機会を作るなどの抜本的な改善が必要だ。

気象庁長官の諮問組織として国立大学の火山研究観測部門の研究者も参画した火山噴火予知連絡会があり、観測データを持ち寄って年3回の定例会議で火山活動の現況を検討する体制となっている。しかし、急速に展開してゆく噴火現象に際して、知識と経験が豊富な外部の火山研究者を参集することは困難であり、多角的な視野での意見交換を行い、迅速かつ適切な判断を下して、火山防災情報を発信することは望めない。

### 6.2 火山監視・観測組織の一元化

日本では明治以来の行政組織の枠組みを受け継いで、火山の監視・観測に関わる業務を行っている機

関が、気象庁以外に地震観測網を持つ防災科学技術研究所・火山地質の研究者が集まる産業技術総合研究所・人工衛星を使った地殻変動観測網を展開している国土地理院・海底火山の監視を担う海上保安庁等に分散している。

4.5で紹介した米国の内務省地質調査所はその中に多数の第一線の地震や火山研究者を擁する研究部門と火山情報を発信する火山観測所を持つ国家機関である。インドネシア・フィリピン・ニュージーランド・メキシコ・グアテマラ・エクアドル・コロンビアなどの火山国でも地震や火山の監視観測とそれを支える基礎研究は一元化している。例えば4.5で紹介したPHIVOLCSの本部はフィリピン大学の広大なキャンパスの一角にあり、地質科学教室の研究者との間で絶えず交流がある。

日本でも噴火災害が大きな話題となるたびに、“地震や火山噴火など地球内部に起因する自然災害事象を監視・観測し、情報発信をする火山庁あるいは地震火山庁を創設すべきだ”という抜本的改善策の提言が、大学人や言論人により繰り返されてきた。しかし、官僚機構の壁が厚く実現する兆しはない。

## 7 おわりに

活火山の定義を国際基準に合わせ、米国などに見習って噴火警戒レベルを付加した噴火警報・噴火予報を発信するようになって間もなく10年になる。2014年以降に繰り返された噴火を経験して活火山の監視観測体制に多くの課題が見えてきた。

噴火は地中でのマグマの動きに起因するので適切な観測網があれば何らかの前兆が把握できる。しかし、噴火に繋がる前兆を的確に識別できるわけではないし、前兆かも知れないシグナルが観測されても噴火に至らないこともある。噴火が始まってその後終息までの過程は多様で、同じことをいつも繰り返す訳ではない。他の火山の観測事例は参考になるが、そのまま当てはまる訳でもない。VEIが4以上の噴火が久しく起こっていないが今世紀には繰り返されるに違いないという指摘もある<sup>16)</sup>。火山噴火の対応は一筋縄では行かない。火山災害の軽減に向けて、やればできるはずの改善から実行されることが望まれる。

## 〈参考文献〉

- 1) 宇井忠英：情報発信体制強化を判断能力の向上必要 河北新報2014.9.28朝刊（共同通信社が配信した“識者評論”記事、同日以降地方紙各社が掲載）
- 2) 岡田弘：レベル2に上げるべきだった 現地主義で観測を 室蘭民報2014.9.30
- 3) 信濃毎日新聞社：検証御嶽山噴火、2015.9
- 4) 宇井忠英：火山噴火と原発の立地 木庭元晴編著 東日本大震災と災害周辺科学 110-115 古今書院
- 5) 気象庁編：日本活火山総覧（第4版）2013.3
- 6) 気象庁：各火山の活動状況  
<http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/volcano.html>  
(2016年2月10日現在)
- 7) 気象庁：リーフレット「噴火警報と噴火警戒レベル」  
<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/funka/index.html>  
(2016年2月10日現在)
- 8) 気象庁：倶多楽の火山活動解説資料（平成28年1月）  
[http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly\\_v-act\\_doc/sapporo/16m01/111\\_16m01.pdf](http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly_v-act_doc/sapporo/16m01/111_16m01.pdf)
- 9) 岡田弘：有珠山 火の山と共に、北海道新聞社 2008.10
- 10) 気象庁：火山噴火予知連絡会20年のあゆみ 1995.3
- 11) U.S. Geological Survey : U.S. Geological Survey's Alert Notification System for Volcanic Activity  
<http://pubs.usgs.gov/fs/2006/3139/fs2006-3139.pdf>  
(2016年2月10日現在)
- 12) 宇井忠英・伊藤晋：キラウエア火山2008年活動への対応—火山災害地域における観光資源と防災広報の事例調査—、環境防災総合政策研究機構、2008.4
- 13) U.S.G.S. Hawaii Volcano Observatory: : Recent Kilauea Status Repts, Updates, and Information Releases  
<http://hvo.wr.usgs.gov/activity/kilaueastatus.php>  
(2016年2月10日現在)
- 14) Philippine Institute of Volcanology and Seismology : Volcano Alert Levels/Signals  
<http://www.phivolcs.dost.gov.ph/>  
(2016年2月10日現在)
- 15) 千葉紀和・久野華代：火山研究者調査 気象庁判断に不信感 噴火警戒レベル 研究者「機能せず」41% 2015年10月18日毎日新聞朝刊
- 16) 藤井敏嗣：正しく恐れよ！富士山大噴火 徳間書店

# 火山地域の土砂災害対策

あんようじ のぶお\*  
安養寺 信夫\*

K  
ey Word

火山砂防地域、土石流、噴火対応火山砂防計画、火山噴火緊急減災対策砂防、  
火山砂防ハザードマップ、ハード対策、ソフト対策

## 1 はじめに

火山噴火はさまざまな災害をもたらす。噴火活動に直接起因する噴石、溶岩流、火砕流などの現象は火山山麓を中心に噴火規模に応じて影響範囲が拡大する。いっぽう、火山体そのものは噴火の繰り返しによって溶岩や未固結の火砕物などが不規則に累重しており、豪雨や地震などによって土石流や崩壊などの土砂移動を引き起こしやすい。さらに、広域テフラの分布域では基盤が火山でない山地でも表層の火山灰層の移動が土砂災害をもたらすこともある。日本列島は東アジアモンスーン気候が卓越しており、大雨は毎年のように生起している。そのため、土砂災害が年間 1000 件以上発生しているが、後述するように火山の影響を受けた地域でも豪雨に伴う土砂災害は顕著である。

火山地域を火山地とその山麓と定義するとわが国の山地・丘陵地の約 22% を占める（国土庁土地分類基本調査による山地 230,331km<sup>2</sup>、丘陵地 44,337km<sup>2</sup> の合計面積 274,668km<sup>2</sup> に対する火山砂防地域 59,542km<sup>2</sup> の割合）。さらに広域テフラの分布域はほぼ全域にわたっており<sup>1)</sup>、日本列島は何らかのかたちで火山噴火の影響を受けていると考えられる。

このように火山地域ではさまざまな形態で土砂移動現象が発生し、土砂災害の原因となっている。ここで土砂移動現象を固体そのものか固体と液体あるいは気体の混合物が流動する現象と定義する。したがって風に流されるテフラや火山ガスは含まない。

本論では主として火山地域において二次移動として発生する土砂災害の防災上の特徴とその対策について概説する。

## 2 火山地域の土砂災害の特徴

火山地域の土砂移動現象は素因として火山の地質・地形と、誘因として降雨や地震のほかに噴火活動が関与して発生することが大きな特徴である。

噴火活動に伴う土砂移動現象は、火砕流、溶岩流、火山泥流、山体崩壊・岩屑なだれなど火山体の地表近くを移動する現象が多い。空中に放出される火山灰や軽石は風に運ばれるが、重力作用によって地表面に定置する。これらの二次移動も土砂移動現象である。火山泥流は火砕物が積雪を急速に融かして発生するか、火口湖の決壊や溢流によって生じるため、降雨による土石流・泥流より大規模になることが多く防災上の観点からこれらとは区別している。

火山噴火に伴う土砂移動現象は相対的に降雨に起因する土砂移動現象よりも規模が大きく、現象の到達範囲も遠い。土砂移動現象ごとの運動特性による相違もあるが、防災上は規模と危険度は増加関数的にとらえられる。生命に対する危険度 vulnerability は土砂移動現象の速度や温度、流動体の密度などで異なる。図 1 は概念的にとらえた土砂移動現象ごとの危険度と影響範囲との関係を示している。噴石や火山灰は火口から離れると急速に危険度が減少する。火山灰は時に数 100～数 1000km も移動するが、生命に対する直接的な危険度はほとんどなくなる。溶岩流や火山泥流、火砕流は火口から離れても危険度の低減は少なく、とくに火砕流は高温であることから最終到達地点付近まで危険度が高い状態と考える。

火山噴火に伴う土砂移動現象のもう一つの特徴として、移動速度が速いことが挙げられる。溶岩流は比較的遅く避難行動の制約が少ないため、避難によって危険を回避できる。土石流・火山泥流はおお

\*一般財団法人 砂防・地すべり技術センター

むね 10～60km/h、火砕流・火砕サージは 100km/h 近くになることが知られており、避難行動のタイミングが防災上の課題である。

土砂移動規模に関しては、降雨に起因する現象が  $10^1 \sim 10^6 \text{m}^3$  の範囲が多いのに対し、噴火による現象は  $10^7 \sim 10^8 \text{m}^3$  から最大で  $10^9 \text{m}^3$  以上になることもある。

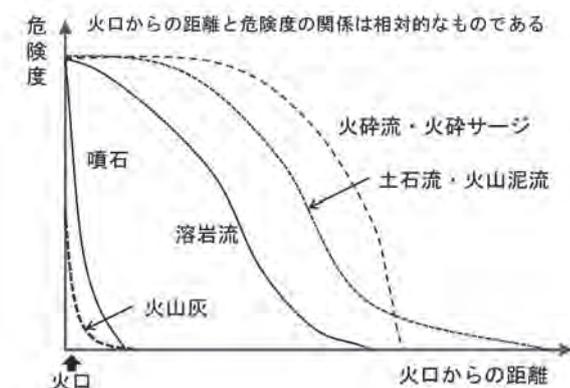


図1 現象ごとの噴火災害危険度と距離の関係

噴火活動により山体や周辺山地に堆積した大量の火山灰は斜面表面の雨水浸透能を低下させ、少量の降雨でも土石流が発生しやすくなることが知られている。1955年以降の桜島、1997年の有珠山噴火、1991～1996年の雲仙普賢岳、2000年の三宅島などでは、土石流・泥流が短期間に繰り返し発生して、下流域に著しい被害を与えた。

一連の噴火活動で放出された火砕物の量が多いと、気象条件にもよるが土石流・泥流の流出が長期化する傾向がある。火砕物の粒径や密度などがその要因となることは理解されているが、噴出物量と影響期間との定量的な関係は未解明である。桜島における火山灰と浸透能の調査では中央粒径が 0.25mm より細かいと浸透能が急激に低下して表面流が発生しやすくなり、土砂移動現象の発生につながるとされている<sup>2)</sup>。2011年の霧島新燃岳噴火では 4～5 千万  $\text{m}^3$  の火山灰と軽石がおもに東から南東側の山地斜面に降下・堆積した。それに対し、下流域に到達して人家や施設に被害を与えるような土石流の発生は確認されていない。これは、軽石の粒径が 5～10mm と大きく、表層浸透能の極端な低下がみられなかったことが一因と考えられている<sup>3)</sup>。

火山地域で移動材料や地形条件、水理・水文条件などが整えば、噴火に直接起因しない土砂移動現象

が発生する。とくに降雨は頻度の高い誘因である。

土木学会の報告<sup>4)</sup>によると、火山地域の豪雨災害として代表的な 6 事例を比較検討した結果、共通する課題として以下の要因を挙げている。

- ・地形：不明瞭な集水地形、遷急線の存在
- ・地質：降下火砕物が主体で、斜面に沿った透水性の異なる地層が互層に分布
- ・土砂発生形態：表層崩壊あるいは根系層崩壊、パイピングホール存在
- ・土砂流送形態：高速で流下し土石流化、大量の流木を含む

岩手・宮城内陸地震のように直下型地震の強震動を受けた場合には深い崩壊が発生しやすくなるのに対し、豪雨型の崩壊は表層タイプが多いようである。

降雨に起因する表層崩壊の事例は数多くあるが、近年では広島県庄原災害 2010、阿蘇山カルデラ内の土砂災害 1990 と 2012、伊豆大島 2014 のように複数斜面や連坦する斜面で多数の崩壊が発生し、一か所当たりの土砂量は小さくても崩土が流動化して渓流内で合流することにより規模を大きくして下流被害を増加させている例が多いようにみえる。以上のように火山地域の土砂移動は周辺地域のみならず広域にも多大な影響を与えており、土砂災害対策の実施が重要といえる。

### 3 火山防災対策と火山砂防事業

#### (1) 火山防災・火山砂防の制度

わが国の災害対策は「災害対策基本法」に定められており、国の防災基本計画に基づく都道府県の対策、市町村ごとの具体的な対応策に分化している。さらに対策実施時期に区分して災害予防、災害応急対策、災害復旧・復興のステージごとの具体的な対応が定められる。とくに火山防災の主眼は住民等生命の保護であり、その目的を達成するために災害情報や避難方法・手段や避難場所の確保や復旧方策などが地域防災計画に定められる。いっぽうで火山観測・監視や警報の発令などの気象業務、農地や森林の降灰対策などの農林水産業務、交通路確保や洪水・土砂災害対策などの道路・治水等業務についてはそれぞれの所管官庁で防災業務計画が立てられ、所掌事務に応じた対策が検討されている。その中でも土砂災害対策は、噴火に影響した土砂移動現象の頻度が高いことや被害が大きいことなどから主要な施策と位置付けられる。

国土交通省では、平成元年に火山砂防事業を創設して、火山砂防地域（火山地・火山山麓地または火山現象により著しい被害を受ける恐れがある地域、

全国で約6万km<sup>2</sup>)において体系的な土砂災害対策に取り組むこととした。それまでも桜島において降灰に伴う土石流対策や有珠山1977年噴火後の泥流対策を実施していたが、1985年にコロンビアで発生した火山泥流災害や1983年三宅島・1986年伊豆大島溶岩流災害を受けて、1987年に「特定火山周辺総合泥流対策事業」を、1988年に「総合溶岩流対策事業」を創設してハード・ソフト対策の両面からなる総合的な火山砂防対策を進めていた<sup>5)</sup>。

火山砂防事業は火山砂防地域において、砂防堰堤や遊砂地、導流工の建設などの火山砂防設備等を整備することにより、土石流、泥流、溶岩流等の災害現象に対して国土の保全と民生の安定に資することを目的としている。

このための基礎資料として火山砂防ハザードマップを作成し、ハード対策の具体的な検討を進めるとともに、地方公共団体等へ情報提供を行い、さらに土砂移動現象の観測や監視のための機器整備などからなるソフト対策を併せて整備することとした。ソフト対策の事業制度である「火山噴火警戒避難対策事業」は1993年に制定されたが、活火山の土砂移動監視機器や情報伝達装置の整備などに要する費用の国庫補助を規定したものである。

このように砂防部局では早くから火山地域の土砂災害対策に取り組んできていたが、砂防法の範疇での対応を余儀なくされており、火山防災の主務は都道府県や市町村の防災部局が執り行っていた。1990～95年の雲仙普賢岳噴火災害に加え、2000年の有珠山と三宅島噴火災害は火山防災対策のさらなる必要性を問いかける契機になったが、総合的な火山防災対策の展開には至らなかった。砂防部局ではこの間に、火山砂防計画に基づく施設等の整備途上で噴火活動が開始した場合に備えて土砂災害の影響をできるだけ軽減するため、火山噴火緊急減災対策砂防計画の検討を始めた。

その後2011年の新燃岳噴火や東日本大震災を経験し、日本列島の地質構造の活発化が指摘されるようになり、総合的な火山防災対策の検討が進められていた。2014年の御嶽山噴火では多くの登山者が犠牲となり、それまでの火山山麓の住民やその生活確保を想定した直接的な対応に対する課題が浮かび上がってきた。そして2015年7月に活動火山特別措置法(活火山法)の一部が改正され、活動火山対策の基本指針の制定、火山災害警戒地域の指定、火山防災協議会設置の義務化が定められた。火山防災協議会では国と道府県の砂防部局の火山防災対策における位置づけが明確となった。火山ごとに組織される火山防災協議会の構成員として砂防部局は火

山噴火に伴う土砂災害(火山泥流・土石流等)防止の観点から、火山ハザードマップの検討とともに、一連の警戒避難体制の検討に参画することとなった。

2016年2月に活火山法改正に基づく「活動火山対策の総合的な推進に関する基本的な方針」が示された。火山砂防に関しては、噴火時や噴火に備えた施設等の整備が示され、平時における治山治水事業の総合的・計画的な推進と、噴火時の新規火山噴出物堆積域からの土石流発生を想定して、資機材の調達、緊急工事、避難に必要な情報の提供など、従来から火山砂防事業を中心に砂防部局で計画・実施してきた内容が位置づけられた。

## (2) 火山砂防計画<sup>6)</sup>

火山砂防計画は火山砂防事業等を計画的に進めるために策定される。

火山地域においては噴火活動が静穏な状況でも降雨等に起因する土砂移動現象が生じて下流域に被害を与える。しかし、噴火活動が始まると火砕流や溶岩流などの噴火現象による被害のみならず、降灰等の影響によって少量の降雨でも土石流等が発生しやすくなり土砂被害を拡大させる。

火山砂防計画は降雨対応と噴火対応に区分され、それぞれ火山砂防設備による土砂処理を行うハード対策と監視体制や警戒避難のための情報提供などを行うソフト対策で構成される。さらに想定される現象や土砂量に対して計画的に整備を進める基本対策と火山活動状況などに応じて緊急的に実施する緊急対策(後の緊急減災対策)に区分される(図2)。

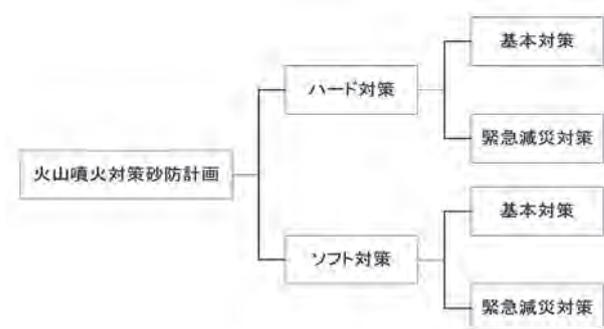


図2 火山砂防計画の構成

平成元年に火山砂防事業が創設された初期段階では対象は29火山であったが、平成27年以降は気象庁が常時観測火山として追加した火山を加え、火山災害警戒地域が設定されない硫黄島を除く49火山

が本事業の対象である（表1）。

表1 火山砂防事業等が実施されている火山

火山名	位置	事業区分
雌阿寒岳	北海道	北海道
十勝岳	北海道	直轄・北海道
樽前山	北海道	直轄
有珠山	北海道	北海道
北海道駒ヶ岳	北海道	北海道
岩木山	青森	青森県
秋田焼山	秋田	秋田県
岩手山	岩手	直轄
秋田駒ヶ岳	秋田・岩手	直轄
鳥海山	秋田・山形	秋田・山形
蔵王山	山形・宮城	山形・宮城
吾妻山	福島	直轄
安達太良山	福島	福島県
磐梯山	福島	福島県
那須岳	栃木・福島	栃木県
日光白根山	栃木・群馬	直轄
草津白根山	群馬・長野	直轄
浅間山	群馬・長野	直轄・長野・群馬
伊豆大島	東京	東京都
三宅島	東京	東京都
新潟焼山	新潟・長野	新潟県
焼岳	長野・岐阜	直轄
御嶽山	長野・岐阜	長野・岐阜
富士山	山梨・静岡	直轄・山梨
鶴見岳・伽藍岳	大分	大分県
九重山	大分	大分県
阿蘇山	熊本	熊本県
雲仙岳	長崎	直轄
霧島山	宮崎・鹿児島	直轄・宮崎・鹿児島
桜島	鹿児島	直轄・鹿児島

（平成27年末現在）

### ① 噴火対応火山砂防計画の検討手順

火山砂防計画を策定するにあたり、対象火山の噴火特性と想定影響地域の自然・社会環境調査が行われる。噴火特性では主要な噴火活動の時期、噴火現象の種類、規模と概略の影響範囲、さらに災害が生じた場合はそれらの概要を調査する。これらの結果と周辺地域の自然・社会状況を組み合わせて火山砂防計画の規模を設定する。設定にあたって過去の噴火災害の総噴出物量が用いられる事が多い。さらに火山砂防計画で対応する現象として、対象火山において実績のある噴火現象を主体に設定するが、融雪型火山泥流のように発生履歴が明確でなくとも積雪地帯で火砕物噴火が生じれば発生するおそれのある現象を追加することもある。以上の調査・検討結果に基づき想定土砂移動現象ごとに数値シミュレーションを実施して、火山砂防ハザードマップを作成する。得られた各現象の影響範囲が集落や市街地、重要施設等に及ぼす影響度を把握する。そしてそれ

らの影響（被害）を軽減するために必要な砂防施設の工種・工法や配置などからなるハード対策を検討する。また、土砂移動監視機器配置や情報伝達手段、さらにそれらの情報を提供して地域の警戒避難体制を支援するソフト対策を検討する（図3）。

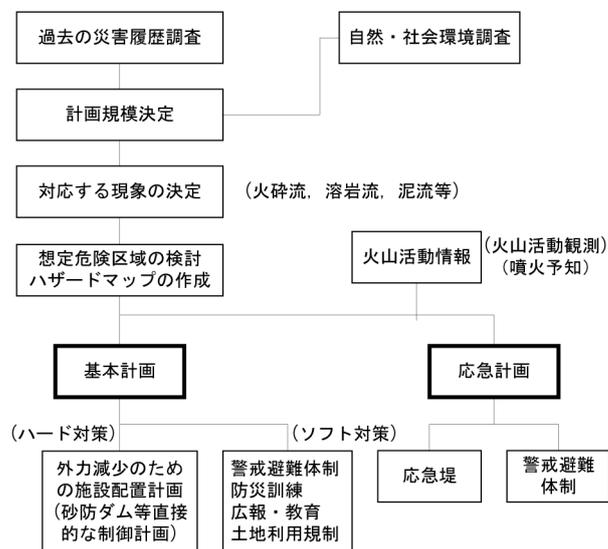


図3 火山砂防計画策定のながれ<sup>5)</sup>

噴火対応火山砂防施設配置計画の一例として火山泥流対策のイメージを示す（図4）。

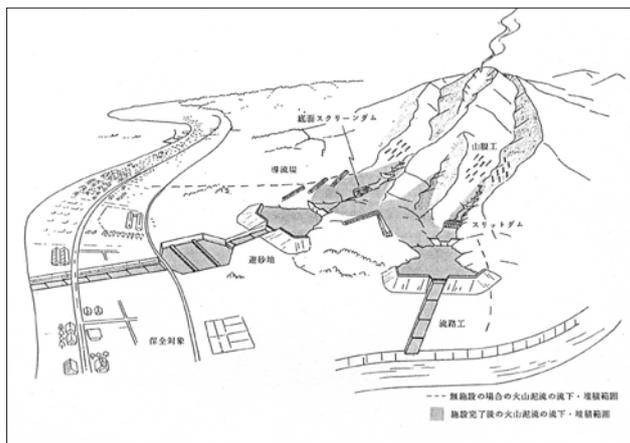


図4 火山泥流対策施設配置のイメージ

火山砂防計画のハード対策で対象とする現象とソフト対策で対象とする現象は必ずしも一致しない。ハード対策で検討された火山砂防設備の整備には土地利用や財政的な制約が付随し、さらに土木構造物による制御が困難な大規模土砂移動現象には限られた施設効果しか得られないなどの限界がある。そのためハード対策で対象とする（言い換えれば現実的

な土砂コントロールが可能な)土砂移動現象とその規模は限定されるが、土砂監視や警戒避難情報などのソフト対策は対象火山で想定される殆どの現象を設定することが多い。

## ②火山噴火緊急減災対策<sup>7)</sup>

火山噴火緊急減災対策は、ハード・ソフト対策の整備を進めている途上で噴火が始まった場合に想定される被害を軽減するために火山砂防施設や土砂移動監視機器などの緊急整備を行うため、平常時からその準備を進めておく対策事業である。図5に緊急減災対策の概念を示す。

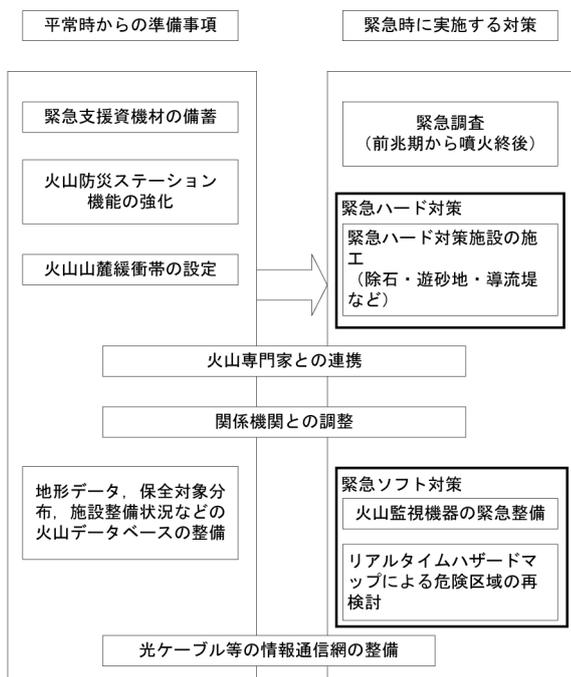


図5 火山噴火緊急減災対策の主要メニュー

緊急ハード対策においては、整備済みの砂防えん堤や泥流捕捉工などの堆砂地土砂の掘削（除石工）や、コンクリートブロックなどの応急資材を用いたえん堤や導流工（泥流などを安全に流下させる）の建設が展開される。砂防設備の建設に当たって、事前にダムサイトや土地条件を考慮した施設構造や施工法、資機材の調達方法などを検討しておく。噴火が始まってからこれらの検討を開始するのであれば、数週間以上の期間を要し、その間に土石流等によって被害が生じないようにするためである。

緊急ソフト対策では、未整備であった火山・土砂移動監視機器、情報伝達システム等の緊急配置とそれらの情報を防災部局へ提供する。また噴火活動によって地形変動が生じ、土石流などの流下方向や経路に変化が生じた場合などは、最新の地形データ

を用いた数値シミュレーションを実施してリアルタイムハザードマップを作成して対策に活用するメニューも含まれる。

なお、緊急ハード対策では、火山砂防計画で想定した土砂移動現象と同じ規模ではなく、1～2年以内に生起すると想定される土砂量を検討する。降灰後の土石流対策では概ね数年超過確率より少ない雨で生じる土砂量とする。これは恒久対策（計画規模）への過渡的な緊急措置であることによる。

火山噴火緊急減災対策砂防の実施にあたっては、防災部局や関係機関と密接な連携を図ることが重要である。図6は噴火活動のステージに合わせて実施される火山噴火緊急減災対策砂防と防災関係機関の主たる対応行動の推移をイメージ化したものである。

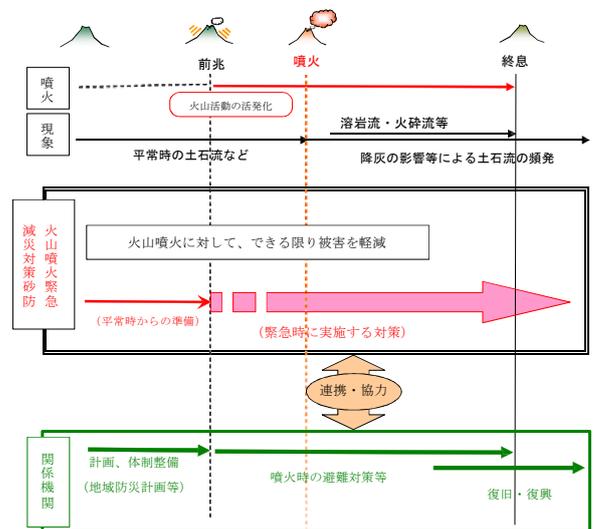


図6 火山噴火緊急減災対策実施のながれ

## 4 火山砂防の今後の展開

「活動火山対策特別措置法」の一部改正により、国や都道府県の砂防部局が「火山防災協議会」の構成員となり、噴火に伴う火山泥流や土石流などの土砂災害対策を進めるために、「火山砂防ハザードマップ」と「火山噴火緊急減災対策砂防計画」をさらに推進する。

地方公共団体等で公表されている「火山防災マップ」には、噴火災害実績に基づくハザードマップに防災情報を掲載したものと、数値シミュレーションによって予測したハザードエリアに基づいたものがある。後者のほとんどは砂防部局が検討した成果の提供を受けて作成されており、様々な条件を想定した噴火シナリオに対応が容易である。これらが未整備の火山において砂防部局が中心となって整備を進める。

火山噴火緊急減災対策砂防計画は噴火の前兆現象が確認されたり、噴火活動が開始したりした場合に速やかに対策に着手できるよう事前に対策手法等を検討しておく計画である。しかしながら噴火に伴う土砂災害は降雨を起因とする平常時の土砂災害と比較して、土砂量が多く土砂移動発生頻度も高くなるなどの理由で、緊急時の対応のみでは不十分であることから、平常時からの準備が重要である。とくに土砂移動の監視システムや緊急対策砂防施設の材料備蓄など従来の制度では対応が困難であった項目について、予算化することにより着実な整備を図ろうとしている。

2010年に土砂災害防止法が改正されて、火山噴火や河道閉塞などの大規模土砂災害時に国土交通省が緊急調査を実施して、都道府県や関係市町村に土砂災害警戒情報を伝えることになった。実際に2011年の新燃岳噴火、2015年の口永良部島新岳噴火でヘリコプターや現地調査が繰り返し実施され、土砂災害の危険箇所等の情報が提供された。

噴火活動では大量の火砕物の降下堆積により地形条件が変化する。また地殻変動により陥没や隆起が生じる。その結果、山腹斜面の傾斜が変わったり、流域の争奪が生じたりして、火山砂防ハザードマップで想定していた泥流や土石流の流下方向や氾らん範囲に相違が生じ、これに基づいて検討された避難計画などに影響を与える。このような地形変動を迅速かつ一定の精度をもって取得することが必要である。航空レーザー測量技術は近年大きな進歩を遂げており、有効な手段として活用されている。また人工衛星搭載の合成開口レーダー SAR の利用も実用化が検討されている。

このように得られた数値地形データである DEM を用いて数値計算を行い、最新の噴火活動の影響を加味した火山砂防ハザードマップの作成システムが構築されている。平常時は対象火山の時点最新 DEM や数値計算情報などを準備しておき、噴火活動によって変化が生じたら新しいデータを得て計算を実行する。その成果の提供方法や活用方法については現在検討が進められている。

最近、無人航空機ドローンが様々な場面で活用されている。とくにカメラを搭載して自動航行できるシステムを備えたドローンは、噴火直後に人が立ち入ることが難しいエリアの定性的な情報を取得するのに有効である。また、地震計などの機動観測機器の設置や地形測量において対空標識となる装置の投下などへの活用が試行されている。

以上に加えて火山砂防として重要な課題を挙げる。一つは緊急ハード対策を効率よく実施するため

の、資機材の開発と施工法の改良による新工法開発である。緊急ハード対策ではコンクリートブロックや大型耐候性土のう、鋼矢板など市場性の高い資材を用いることを検討しているが、土石流のように衝撃力が強く、流体力も大きな現象に適合した資材が少ない。また、アクセスの困難な山地溪流への運搬手段も限定されている。砂防工事の現場特性に合わせて寸法や重量などの諸元を簡単に変更できるような資材があれば、作業効率も向上して早期の安全確保につながる。

無人化施工技術は、雲仙普賢岳の噴火災害を契機にそれまでの無線操縦建設機械の改良と GPS を利用した出来高管理などの施工技術が進歩した。その後、国内の大規模土砂災害の現場で活躍しているが、建設機械が高価なことやオペレーション技術者の育成などの課題を抱えている。最近の乗用車に搭載されている自動停止装置や運転装置の適用により、自動運転と遠隔操作を使い分けるシステムなど、無人化施工技術の高度化が望まれる。

## ▼ 5 おわりに

本稿ではおもに火山砂防による土砂災害対策の考え方を述べた。この技術を活用し、新しい制度によって火山防災対策を効果的なものとする取り組みが重要である。また、関係分野との協力を得て地形・地質情報取得方法の改良やデータ精度の向上などを図り、防災対策の効果を上げることが求められる。とくに噴火直後の火砕物の粒度分布や密度、透水性などの地質や土質に関する現地データは数値シミュレーションの前提条件となる重要なファクターである。関係の皆さまのご協力をお願いして本稿のまとめとする。

### 〈参考文献〉

- 1) 町田洋・新井房夫：新編火山灰アトラス，東京大学出版会，2011
- 2) 寺本・下川・地頭菌：テフラの粒径の違いが斜面の浸透能，粗度および土砂流出に及ぼす影響，鹿児島大学演習林研究報告，31，1-5，2004
- 3) 清水収・地頭菌隆：突発的な火山噴火に対する降灰や土石流が社会資本に与える影響と対策に関する調査研究，(公社)土木学会・地盤工学委員会・火山工学研究小委員会：2011
- 4) 稲垣秀揮：全国の火山地域の分布特性とそこでの土砂災害の特徴，脆弱な火山国日本での土砂災害の発生メカニズムの究明と法制度も考慮した総合的防災・減災対策に関する研究，(公社)土木学会・地盤工学委員会・火山工学研究小委員会・斜面工学研究小委員会，2015
- 5) 松林正義編著・鹿島出版会：火山と砂防，1991
- 6) 建設省河川局砂防部：火山砂防計画策定指針（案），1992
- 7) 国土交通省砂防部：火山噴火緊急減災対策砂防計画砂防計画策定ガイドライン，2007



# 日本火山学会における 火山防災への取り組み

よしもと みつひろ\*  
吉本 充宏\*

Key Word

日本火山学会, 火山防災委員会, 火山災害, 噴火, 普及啓発

## ▼1 はじめに

日本では1991年の雲仙普賢岳の火砕流災害、2000年の有珠山や三宅島の噴火災害を契機に、火山防災への意識が高まり、地域防災計画やハザードマップの整備が急速に進んだ。また、気象庁では火山活動の状況が容易にわかるように2003年に「火山活動度レベル」を導入、2007年から新たに「噴火警戒レベル」を導入し、噴火警報・予報を発表する等、噴火時等に適切な防災対応を取るための火山情報の提供がなされている。このような中、日本火山学会では、火山学による火山災害の軽減を目的として2004年に臨時委員会として火山防災委員会を設置し、2013年に常設委員会とし、防災に関連する活動を行っている。また、2013年には、原子力発電所の再稼働に際し、巨大噴火による影響が懸念される中、臨時委員会として原子力問題対応委員会を設置し、巨大噴火の予測や監視の現状と研究者のあり方に関する検討がおこなわれ、「巨大噴火の予測と監視に関する提言」（平成26年11月2日）を提出している。ここでは、主に火山防災委員会の活動について紹介する。

## ▼2 火山防災委員会の目的と活動

火山防災委員会は、「①火山災害の予防・軽減に関わる基本的な問題点を評価し、その解決に適切な施策・方法について検討した上で、その推進を社会に向けて提言する。②官民を問わず火山防災に関する助言、啓発活動のための情報発信を進める。」を目的として2013年に常設委員会として設置された。臨時委員会として設置した2004年当初は、これら2つの目的以外に、「啓発活動のための講師派遣」

や「火山防災の教育・啓発活動のための人材、教材、教育活動の開発推進の事業」についても盛り込まれていた<sup>1)</sup>。その後、東日本大震災などをうけ、それまでの活動を精査し委員会の目的を整理した上で常設委員会として活動している。

ここでの主な活動は、シンポジウム形式での火山防災に関する研究会である。シンポジウムは春に開催される地球惑星連合大会と秋に開催される日本火山学会の年2回実施している。シンポジウムの主なテーマは、活火山の監視・観測体制、噴火警報・警戒レベルなどの火山情報について、ハザードマップ、噴火シナリオ、災害リスク評価など災害予測について、各地域の火山防災の取り組みや大規模噴火時の広域火山防災など防災体制についてなど、幅広くとりあげられている。臨時委員会で取り上げられた話題については中村ほか(2013)<sup>1)</sup>に詳しく述べられている。特にハザードマップに関しては、2004年に研究会「火山ハザードマップの方法論（東京大学地震研究所、2004）」を開催し、これをとりまとめて「日本の火山ハザードマップ（上、下）」として出版している<sup>2) 3)</sup>。さらに、2006年当時までに公表された火山ハザードマップ（防災マップ）とそれらに関係する資料等を収録したデータベースを構築し、それらの資料を「日本の火山ハザードマップ集（DVD添付）」<sup>4)</sup>として発行した。さらに2013年にはこれらを改訂して、「日本の火山ハザードマップ集第2版」<sup>5)</sup>を発行している。これらのデータベースは防災科学技術研究所の火山防災に関連するホームページ（<http://vivaweb2.bosai.go.jp/v-hazard/index.html>）で一般公開されている。

秋季に実施するシンポジウムは、火山学会秋季大会にあわせて、公開シンポジウムとして実施され、

\*山梨県富士山科学研究所 火山防災研究部 主任研究員

各地域の火山の現況や噴火履歴、災害履歴を紹介すると共に、地域住民、自治体や防災機関の関係者との意見交換を行っている。これまでに岩手山、箱根山、浅間山、磐梯山等で8回実施されている(表1)。また、火山学会では、火山の普及啓発を目的として1994年より公開講座を実施しており、火山防災シンポジウムが開始されるまでは、火山防災関連の公開講座を実施してきた(表2)。2009年以降は、子供向けの講座として継続されている。最近の公開シンポジウムの要旨や公開講座のテキストについて

は、日本火山学会ホームページに公開されている。

常設委員会になってからの2014年以降の活動については主に御嶽山の噴火災害に関連することについて活動を実施してきたので次節以降で解説する。

### ▼3 御嶽山2014年噴火災害以降の取り組み

御嶽山の2014年9月27日の噴火は、近年では国内最大の火山災害となった。この噴火災害に際しては、火山観測やその後の遭難者捜索への情報提供、

表1 火山学会が実施した火山防災シンポジウム

開催日	テーマ	会場
2008年10月10日	「日本のあらたな火山防災の仕組み -噴火警報・噴火警報レベルと噴火時避難体制」	岩手大学工学部
2009年10月9日	「あすの火山防災を考える」	神奈川県立生命の星・地球博物館
2010年10月8日	「活火山の監視観測体制と火山情報のあり方を考える」	京都大学宇治キャンパス
2011年10月1日	「北海道の火山ととも」	旭川市大雪クリスタルホール
2012年10月13日	「浅間山と火山防災」・「火山と考古学」	エコールみやた あつもりホール
2013年9月28日	「福島県の活火山と防災」	猪苗代町体験交流館
2014年11月1日	「九州の火山活動と災害」	福岡大学七隈キャンパス
	緊急シンポジウム「火山研究者として今後どのように火山災害の軽減に貢献していくのか」	
2015年9月27日	「御嶽山噴火から1年～イザに備えた火山学入門～」	富山大学理学部

表2 火山学会が実施した公開講座

回数	開催日	テーマ	開催地
第1回	1994年10月19日	火山と地震を学ぼう	東京都新宿区(明治生命ホール)
第2回	1995年8月28日	火山噴火のしくみ 火山学が青少年に期待するもの	東京都文京区(文京シビックホール)
第3回	1996年11月4日	伊豆大島の火山研究と防災	東京都大島町(伊豆大島火山博物館)
第4回	1997年9月20日	信州の火山と地震-世界の中で捉えてみよう-	長野県松本市(松本市中央公民館)
第5回	1998年10月3日	もっと知ろう-世界の火山 山形の火山	山形県山形市(山形市遊学館)
第6回	1999年10月8日	地球のいとなみと災害-火山学・地震学は何ができるか-	兵庫県神戸市(神戸市文化小ホール)
第7回	2000年10月8日	有珠山2000年噴火報告-火山との共存の道を探る-	北海道札幌市(北海道大学学術交流会館)
第8回	2001年9月30日	桜島の火山活動と防災	鹿児島県鹿児島市(鹿児島市山下分庁舎)
第9回	2002年10月25日	福島の火山と防災	福島県福島市(福島県文化センター)
第10回	2003年8月9日	浅間山の火山活動と防災 -わが国有数の活火山の近況-	長野県小諸市(ベルウインこもろ)
第11回	2004年10月24日	最新科学がさぐる富士山の火山防災	静岡県静岡市(グランシップ)
第12回	2005年10月8日	有珠山噴火の謎にせまる	北海道虻田郡虻田町(洞爺湖温泉文化センター)
第13回	2006年10月22日	火山学Q & A in 火山学者に直接聞いてみよう	熊本県熊本市(熊本大学工学部)
第14回	2007年11月23日	火山学Q&A in 島原-世界の火山学者に直接聞いてみよう	長崎県島原市(島原復興アリーナ)
第15回	2008年10月13日	火山Q&A in 盛岡-火山学者に直接聞いてみよう-	岩手県盛岡市(岩手大学)
第16回	2009年10月10日・11日	火山学者と火山を作ろう! in 箱根・小田原	神奈川県小田原市(神奈川県温泉地学研究所)
第17回	2010年10月9日・10日	火山学者と火山を作ろう! in 京都	京都府左京区(京都大学)
第18回	2011年10月1日	火山学者と火山を作ろう! マグマのおもしろ実験教室 in 旭川	北海道旭川市(大雪クリスタルホール・旭川市博物館)
第19回	2012年10月13日・14日	火山学者と火山を作ろう at 浅間	長野県御代田町(エコール御代田)
	2012年12月8日・9日		宮崎県小林市(小林市中央公民館) 鹿児島県霧島市(鹿児島県霧島自然ふれあいセンター)
第20回	2013年9月28日	火山学者と火山を作ろう 姿をかえる磐梯山の秘密	福島県耶麻郡猪苗代町(体験交流館学びいな)
	2013年12月14日		長崎県島原市(雲仙災害記念館)
第21回	2014年11月1日	九州の火山と地熱エネルギーを知ろう	福岡市城南区(福岡大学中央図書館多目的ホール/18号館)
第22回	2015年9月27日	親子で噴火実験-「噴火から身を守ろう」	富山県富山市(富山大学五福キャンパス)

噴火の実態を明らかにする研究調査などに多くの学会員が参画した。学会としては、火山防災委員会を中心となって2014年11月に福岡大学で開催された秋季大会において、通常の公開シンポジウムとは別に緊急防災シンポジウムおよび緊急夜間集會を開催した。翌年の2015年5月に開催したシンポジウムおよび9月に富山大学で開催された火山防災シンポジウムにおいても御嶽山に関連する話題を中心に取り扱ってきた。また後述する火山防災パンフレットの発行や災害関連機関との連携強化に取り組んでいる。

2014年11月に開催された緊急防災シンポジウムでは「2014年噴火の推移と災害、登山者向けの防災体制」、「2014御嶽山噴火時の観測体制と情報伝達」、「災害担当部局への情報伝達～御嶽山噴火における医療救護チーム関連の情報の流れ～」について、の話題提供をもとに、「水蒸気噴火災害の軽減のために何をすべきか」について議論し、緊急夜間集會では、シンポジウムで挙げられた課題について議論を重ねた。ここでは、噴火予測手法や情報伝達の迅速化などの重要性が指摘されたのと同時に、噴火に気づいていても迅速に避難行動をとらなかったケースや、噴火の写真を撮影していたケースが多く見受けられたことから、活火山を登山する人々の噴火に関する知識が十分でなかったことも災害を拡大させた要因の一つであるとの意見が出された。そしてその解決策として、活火山を利用する人々への普及啓発として火山防災パンフレットを発行することが提案された。また、御嶽山2014年噴火では、山小屋に逃げ込んだ登山者らに死者が出なかったことから退避壕の有用性についての議論も行われた。この中では退避壕には一定の効果があるが万能でないことを十分に周知する必要があること、既存施設の強化や活用方法を検討する必要があること、弾道を描いて飛散する噴石のエネルギーなどの挙動を解明することなど課題が挙げられた。これらのことは、内閣府の防災担当で2015年12月にとりまとめられた「活火山における退避壕等の充実に向けた手引き」の作成において、手引きの検討ワーキンググループに火山防災委員会のメンバーが参加し、シンポジウムでの議論を踏まえて手引きの作成に貢献した。

#### 4 火山防災パンフレット

2014年の秋季大会の緊急防災シンポジウム等での議論を踏まえ、火山防災委員会および火山学会員有志によって、火山に関する普及啓発をより推進するためのパンフレットのあり方についての検討が行

われ、火山防災パンフレット「安全に火山を楽しむために」(図1)を作成、災害発生後1年の2015年9月27日に発行した<sup>6)</sup>。火山学会ではこれまで公開講座や公開シンポジウムに等に合わせてパンフレット等を作成してきたが、一般普及向けに個別にパンフレットを作成したのは初めてである。

このパンフレットは、登山者が知っておくべき火山学の基礎知識を紹介することを目的として作成されている。表面には、火山噴火の基礎知識として、「噴火の大きさ」、「噴火の種類」を簡単に解説し、「日本の活火山」として、日本百名山のうち32座が活火山であることや観測態勢、最新の噴火についての紹介が行われている。裏面には、登山をする上での注意に関する解説として「噴火の予知」、「噴火警戒レベル」、「火山ガスに注意する」、「活火山の登山のまえに」、「もしもの時には」、「噴火に備えて」についての解説が行われている。パンフレットは、一目で内容を見渡すこともできるアコーディオン折りの形態を採用し、展開時A2、折りたたみ時に縦21cm×横10cmとなるように作成されている。また、掲載内容の利用を促進するために著作権表示としてクリエイティブ・コモンズ・ライセンス(CC)を採用している。「表示」-「改変禁止」を表示し、原作者を表示し、かつ元の作品を改変しないことを条件に、営利目的での利用が行えるように設定している。さらに、パンフレットのPDF(高解像度版と低解像度版)を火山学会のホームページ(<http://www.kazan-g.sakura.ne.jp/J/index.html>)で公開している。

#### 5 災害関連機関との連携

御嶽山をはじめとして火山噴火対応を実施していく中で、噴火発生時に災害を軽減するには、火山専門家と防災関係機関との連携が欠かせない。そのため火山防災委員会では関係機関との連携強化に取り組んでいる。

内閣府および火山防災に関連する関係省庁の防災担当とは、火山防災に関する勉強会を実施し、情報交換に取り組んでいる。年2回程度実施し、これまで6回実施した。この勉強会では、各省庁での火山防災への取り組みの紹介や大規模噴火災害対策について、また御嶽山2014年噴火や新燃岳2011年噴火で各機関での取り組みとその課題等が議論された。特に御嶽山2014年噴火については、噴火時の情報共有について課題が挙げられたことから各機関についての情報の連携についての話題や活火山における退避壕の整備等に関する手引きについての議論等も行われた。また、内閣府防災担当が主催する「火山防

災協議会等連絡・連携会議」にも火山防災委員会として委員を派遣している。この連絡会議は、各火山防災協議会の構成機関等が他の火山地域や関連機関、火山学や火山防災の専門家と火山防災対策に係る事項についての課題解決に向けての連携を強化するために実施されている。火山防災委員会の委員は、火山の専門家として、火山防災に関するグループ討論に参加し、防災行政従事者との情報の共有や火山知識の提供をおこない、連携を深めるようにしている。

さらに、近年では東日本大震災を契機に、自然災害に関連する学会が連携を深めるため会の設置が相次いでおり、これらに参加することによって、自然災害に関連する学会間の連携についても積極的に行っている。たとえば、日本地球惑星連合では、環境及び災害に関係する諸問題に対応するための連携促進を目的として設置された「環境災害対応委員会」に参加している。また、工学系の学会が多数参加している「防災学術連携体」にも参画している。「防災学術連携体」は、防災減災・災害復興の推進のために日本学術会議と連携して平常時から学会間の連携を深めることを目的として2016年1月に発足し、2016年3月時点で47学会が参加している。

## 6 今後の活動

1900年代以降の噴火災害件数の増減からみると火山活動に関する情報提供によって、居住地域での噴火災害は減っている。一方で、火口近傍や危険区域内での災害は減っていない。しかし、御嶽山のような突発的な噴火に関しては、噴火の予測が難しいのが現状である。その突発的な噴火からの災害を減らすために、火山防災パンフレット以外に火山学会として取り組むべき対策を早急に検討していく必要があると考えている。

また、活動火山特別措置法が2015年7月改正され、火山研究者が火山防災協議会の委員として参加することを要求されている。しかし、火山学者のほとんどは、理学系学部出身者であり、火山防災の重要性を感じていてもどのように対処すれば良いか分からずにいる研究者も多いと考えられる。今後はこのような火山防災協議会に携わる研究者のネットワークを構築し、火山研究者が火山防災協議会の良き相談役となれるように支援することも防災委員会として責務と考えている。

以上のことと共に引き続き、火山防災の方法論の議論、普及啓発、防災関係機関や学術団体との連携強化に務めていく必要がある。

## 〈引用文献〉

- 1) 中村洋一・藤田英輔・荒牧重雄(2013)日本火山学会火山防災委員会の活動からみたわが国の火山防災. 防災科学技術研究所研究資料 第380号, 69-74.
- 2) 月刊「地球」(2005):日本の火山ハザードマップ(上) 27-4, 247-330.
- 3) 月刊「地球」(2005):日本の火山ハザードマップ(下) 27-5, 331-380.
- 4) 中村洋一・荒巻重雄・佐藤照子・堀田弥生・鶴川元雄(2006)日本の火山ハザードマップ集. 防災科学技術研究所研究資料. 第292号, 20pp(DVD付).
- 5) 防災科学技術研究所(2013)日本の火山ハザードマップ集 第2版:(研)防災科学技術研究所研究資料第380号. 88p
- 6) 萬年一剛・瀧尚子・吉本充宏・及川輝樹(2016)日本火山学会による登山者向けパンフレット「安全に火山を楽しむために」の発行について. 火山



# 原子力施設の火山影響評価に対する問題

いしはら かずひろ\*  
石原 和弘\*



原子力施設, 火山影響評価, 巨大噴火, 火山モニタリング, 原子力規制委員会

## 1. はじめに

東日本大震災および福島第一原子力発電所の事故発生、さらに全国の原子力発電所の再稼働の判断にあたり、様々な角度から自然災害による原子力施設への影響評価を行うことが求められた。

これまで取り上げられなかった火山活動による影響評価についても必要性が認識され、2013年4月に原子力規制委員会から「原子力発電所の火山影響評価ガイド(案)」(以下では、「火山影響評価ガイド」とする)が公表された<sup>1)</sup>。

多くの火山研究者が、火山影響評価ガイドに示された火山学に対する過大な評価と火山モニタリングによる巨大噴火の兆候把握の可能性についての楽観的な見通しに衝撃を受けた。今後、日本火

山学会の相当数の会員が、直接あるいは間接的に原子力発電所など原子力施設への火山影響評価に係ることが予想されることから、学会としても、火山影響評価ガイドの内容や問題点を把握しておく必要があると認識した。そこで、火山影響評価ガイドに関わる問題を学術的な視点から意見交換・情報共有を行う場として、2013年9月に臨時に原子力問題対応委員会を設けた。同委員会は、2014年4月から3回の会合を開き、検討結果を「巨大噴火の予測と監視に関する提言」として2014年11月3日の日本火山学会総会で報告し、HPでも公表した<sup>2)</sup>。表1に示した提言の公表に至る経過とその後の動きの概要を紹介する。

表1 原子力問題対応委員会に関わる事項の経過

<b>2013年</b>	
4月	原子力規制委員会：「原子力発電所の火山影響評価ガイド(案)」公表
5月16日	内閣府・消防庁・国土交通省砂防部・気象庁：「大規模噴火災害への提言」公表
5月19日	日本火山学会国際委員会で、ラクイラ地震裁判、原子力規制委員会「ガイド」、内閣府「提言」について意見交換
6月19日	原子力規制委員会：「原子力発電所の火山影響評価ガイド」制定
9月	日本火山学会：「原子力問題対応委員会」設置
<b>2014年</b>	
4月29日	原子力問題対応委員会：第1回会合
7月16日	原子力問題対応委員会：第2回会合
8月25日	原子力規制委員会：「原子力施設における火山活動のモニタリングに関する検討チーム」発足
11月2日	原子力問題対応委員会：第3回会合(提言とりまとめ)
11月3日	日本火山学会秋季大会で「提言」報告、火山学会HPで公表
<b>2015年</b>	
8月26日	原子力規制委員会：「原子力施設における火山活動のモニタリングに関する検討チーム提言とりまとめについて」公表

\*火山噴火予知連絡会副会長、火山学会原子力問題対応委員会委員長、京都大学名誉教授

## 2. 日本火山学会原子力問題対応委員会

日本火山学会理事会が定めた原子力問題対応委員会の設置目的は、「東日本大震災により発生した、東京電力福島第一原子力発電所の事故を契機に、原子力施設への立地・保全に対する火山影響評価を行うことが要求されている。このため、学術的な立場から意見交換・情報共有を行うとともに、日本火山学会としての倫理綱領を作成することを目的とする」である。

委員会は7名の会員で構成され、その内5名は職務上、あるいは学識経験者として何らかの形で原子力関連施設に係ってきた経験がある。また、7名のうち5名が火山地質学分野、2名が観測を主とする火山物理学分野の研究者である。最大の焦点は火山活動のモニタリングによる巨大噴火予測の可能性に係ることから、火山の観測・研究、火山監視及び火山活動評価に関わった4名の会員にオブザーバーとして、議論への参加を求めた。

## 3. 火山影響評価ガイドをめぐる主な論点

原子力問題対応委員会で議論した火山評価ガイドに係るおもな論点は以下のとおりである。

### (1) 火山学の水準を過大に評価

冒頭の総則で、「近年、火山学は基本的記述科学から、以前は不可能であった火山システムの観察と複雑な火山プロセスの数値モデルの使用に依存する定量的科学へと発展しており、これらの知見を基に、原子力発電所への火山影響を適切に評価するため、本評価ガイドを作成した」と述べている。これは、国際原子力機関が2012年に出した原子力施設の立地評価における火山ハザードに関する安全基準 (IAEA: Safety Standards “Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations” No.SSG-21, 2012) に倣った表現である。

確かに、火砕流や溶岩流などの火山ハザードについては、適切な条件が設定されれば数値モデルにより結果を予想できる。しかし、現実の噴火予知では、火山ハザードの影響範囲の定量的予測に不可欠な噴火の規模、様式及び活動の推移の予測は極めて困難であるというのが、火山活動のモニタリングに係ってきた研究者の共通認識である。

前掲の安全基準作成には国際的に著名な火山研究者が関わっているが、火山モニタリングの専門家は関与していない。潜在的に噴火能力のある火山にモニタリング体制を導入することが推奨されているものの、具体的なモニタリング手法やその実施体制についての言及はない。

### (2) 火山活動のモニタリングに係る過大な事業者の責務

火山影響評価ガイドは、「設計対応不可能な火山事象が原子力発電所に到達する可能性が十分小さいと評価できない場合は、原子力発電所の立地は不適とする。十分小さいと評価できる場合には、過去の最大規模の噴火により設計対応不可能な火山事象が原子力発電所に到達したと考えられる火山については、モニタリング対象とし、5章に従い火山活動のモニタリングを実施し、運用稼働中に火山活動の継続的な評価を行う」としている。

モニタリングの実施については、「監視は事業者が自ら実施するものとするが、公的機関が火山活動を監視している場合においては、そのモニタリング結果を活用してもよい」としている。更に、事業者には、「火山活動状況のモニタリング結果の評価は、第三者の助言を得る方針とすること。モニタリングにより、火山活動の兆候を把握した場合の設計対応が不可能な規模の可能性を示唆する予兆が捉えられた場合に対して、適切な対処方針が確立されていること」を定めている。

電気事業者に対して、火山監視の実施と、火山活動の兆候が認められた時に原子力発電所に火砕流等が到達する可能性の評価を行うことを求めている。公的機関のモニタリング結果として、気象庁の噴火警報や火山噴火予知連絡会の評価が例示されているが、これらは火山周辺の自治体、住民向けの現状の火山活動評価と短期的な活動予測の情報であって、数年以上要するとされる核燃料の搬出等に役立つ情報ではない。

### (3) 火山防災関係省庁との協議の欠如

原子力規制委員会は火山影響評価ガイド作成に当たり、気象庁、内閣府 (防災担当)、消防庁など火山の監視と防災に係る政府機関との協議を行なわなかった。気象業務法第23条では、気象庁以外の者による火山現象の警報を禁止している。原子力発電所の稼働に関して安全を優先する事業者は、気象庁よりも慎重な火山活動評価と火山活動に備えて早めの対処をとる必要がある。原子力発電所での動きや評価は自ずと地域社会の知るところとなり、気象庁と異なる評価が流れれば、社会の混乱を招きかねない。

内閣府、消防庁、国土交通省及び気象庁を事務局として開催された「広域的な火山防災対策に係る検討会」の報告書では、カルデラを形成するような「巨大噴火に関する知見は非常に限られ、噴火予知や対応策について研究を進める体制は整っていない」と

現状分析をしている<sup>3)</sup>。火山影響評価ガイドに示された内容と、火山監視と防災に係る省庁及び火山研究者の認識との間には大きな隔りがある。

火山影響ガイドでは、電気事業者に火山活動の兆候を把握した場合の対処方針を定めることを求めているが、巨大噴火は多数の国民にとっても重大な脅威であり、巨大噴火への対処方針の策定は、原子力規制委員会と関係省庁を含む協議の場を設け、政府として取り組むべきである。

#### 4. 巨大噴火の予知の可能性

噴火の規模を表す示標としては火山爆発指数 (Volcanic Explosivity Index: VEI) が国際的に広く用いられている。マグマ噴出量  $10^4\text{m}^3$  未満を VEI0,  $10^4 \sim 10^6\text{m}^3$  を VEI1,  $10^6 \sim 10^7\text{m}^3$  を VEI2 とし、噴出物量が1桁大きくなると VEI は1ずつ加算される。VEI6 は噴出物量  $10^{10} \sim 10^{11}\text{m}^3$ 、即ち  $10 \sim 100\text{km}^3$  の噴火であり、マグマ噴出量が VEI 6 以上の噴火は巨大噴火やカルデラ噴火と呼ばれ、噴火発生場所にカルデラと呼ばれる巨大な陥没地形を生じることが多い。特に、VEI7 以上の巨大噴火を「破局噴火」と呼ぶ研究者もいる。

我が国では過去 10 数万年間に少なくとも 12 個の巨大噴火が発生した。直近の「破局噴火」は、7300 年前に屋久島北西沖の鬼界カルデラで発生し、九州南部は火砕流により埋没した。

巨大噴火の観察・観測例は少ない。19 世紀から 20 世紀に発生した 3 つの巨大噴火では、約 2 ヶ月～3 年前に地震活動や噴火が始まっているが、主噴火の直接的な兆候としての地震や噴火活動の高まりが認められたのは前日～2 週間前である (表 2)。

1991 年のフィリッピン島のピナツボ火山では米国地質調査所は、2 ヶ月前の前駆噴火開始後にフィリッピン火山地震研究所への観測協力を開始し、主噴火 (VEI 6) の 2 日前、山頂から 20 数 km はなれた空軍クラーク基地から米軍が撤退する判断に係った。

ピナツボ火山の事例のように、ある火山で噴火が始まった時、政府レベルで巨大噴火へ発展する可能性を念頭に置いた態勢をしき、直前避難を呼びかけることにより国民の安全確保を実現できる可能性はある。しかし、巨大噴火に關与する多量のマグマが蓄積していると推定される地下 10km 付近より深い場所のマグマの挙動把握は未解決の問題である。現時点では、火山学的根拠に裏付けられた、数年前といった早期の巨大噴火の予知は困難である<sup>3)</sup>。雲仙普賢岳では、1990 年 11 月の水蒸気噴火開始後に深部からのマグマ上昇率が加速し、翌年 5 月から本格的なマグマ噴火に移行した<sup>4)</sup>。表 2 に示した巨大噴火の場合も前駆噴火開始後にマグマ上昇が加速した可能性があり、その場合、前もって巨大噴火の可能性を認知することは容易ではない。

#### 5. 原子力問題対応委員会での確認事項と提言

委員会では、火山影響評価ガイドに係る論点と巨大噴火に関する知見の乏しさを踏まえて、以下のことを確認した。

- (1) 火山のモニタリングの立場から、噴火予測の可能性、限界や曖昧さなどを公開の場で説明する必要がある。
- (2) 巨大噴火の監視体制や必要となる調査研究とモニタリング等について、関係省庁を含む形の検討の場を設けることが必要である。
- (3) 原子力関連施設を含めライフライン等に対する火山影響評価に関する研究は乏しく、リスク評価手法について研究者の間で一致したコンセンサスを得るに至っていない。
- (4) これらを踏まえて、巨大噴火とモニタリングに関する提言をまとめる必要がある。

提言では、巨大噴火の予測や監視に係る現在の状況と、今後の取り組みのあり方や方向性を簡潔にまとめ、火山学会会員、並びに、広く社会に周知・

表 2 19 世紀以降に発生した主な巨大噴火とその兆候

火山名 (国名)	主噴火開始	主噴火発生までの期間			直前の現象等
	爆発指数	地震活動	地殻変動	初噴火	
タンボラ (インドネシア)	1815/4/10 VEI:7	—	—	3 年	5 日前にプリニー式噴火 (VEI:5)
クラカタウ (インドネシア)	1883/8/27 VEI:6	110 日	—	99 日	前日から爆発規模増大
ピナツボ (フィリッピン)	1991/6/12 VEI:6	68 日	—	71 日	約 2 週間前から地震、噴火活発化

理解され、共有されることを期待して、学会 HP で公表することとした（図 1）。

## 6. 原子力施設における火山活動のモニタリングに関する検討チーム

原子力規制委員会は、火山影響評価ガイドを制定した 14 ヶ月後の平成 26 年 8 月 25 日に「原子力施設における火山活動のモニタリングに関する検討チーム」を設置し、火山監視に係る機関、火山活動モニタリングを実施している研究所や大学等の委員から、火山活動モニタリングの考え方、巨大噴火の予測可能性、モニタリングの方法、データの品質、火山監視等に関する知見と課題などを聴取し、いくつかの論点について討議を行った。討議には、原子力規制庁関係者、大学や研究機関の火山専門家に加えて、わが国の火山監視と情報発表に深く係る気象庁、海上保安庁及び国土地理院も参加した。

原子力規制委員会は、討議結果を「原子力施設における火山活動のモニタリングに関する検討チーム提言とりまとめ」として、2015 年 8 月 26 日に公表した<sup>5)</sup>。提言の本文は 13 頁であり、(1) 設置の趣旨、(2) 火山監視と火山防災の現状、(3) 検討チームにおける議論及び (4) 今後の課題に関する提言の 4 つの章で構成されている。添付資料として、日本火山学会の提言、原子力規制委員会に設ける助言組織のイメージ（案）が付け加えられている。

検討チームにおける論点と合意事項は、図 2 に示した「原子力施設に係る巨大噴火を対象とした火山活動のモニタリングに関する基本的考え方」に要約されている。

(1) 気象庁は噴火警報・予報を行っているが噴火の時期や規模の的確な予測は困難であり、未経験の巨大噴火に対応した監視・観測体制はできていない、(2) 巨大噴火には何らかの短期的前駆現象が発生し、モニタリングで異常現象が捉えられても、巨大噴火に至るかどうかが識別できない怖れがある、(3) 当面は、何らかの異常が検知された場合には、空振りも覚悟のうえで、巨大噴火に発展する可能性を考慮した処置を講ずることが必要であり、原子力規制委員会・原子力規制庁がその判断を、責任を持って行う、(4) 巨大噴火を対象としたモニタリング、可能性の目安などについては多くの課題、検討事項があり引き続き検討することが必要である、などである。これを踏まえて、より具体的な「今後の検討事項」が掲載されている。

最も重要な点は、火山観測データが多少でも巨大噴火の兆候を示した時、どのような組織・仕組みで火山活動を評価して、誰が噴火予測の限界や曖昧さも踏まえて、予想される巨大噴火に対応する避難や原子炉の停止などの措置を指示するかである。この点については、提言の最後に、「巨大噴火の影響は原子力施設にとどまるものではなく、国全体に係る問題であるという認識に立って、そ

### 巨大噴火の予測と監視に関する提言

巨大噴火の予測や火山の監視は、内閣府の大規模噴火災害への提言（平成 25 年 5 月 16 日）や、原子力発電所の火山影響評価ガイド（平成 25 年 6 月 19 日）等により、重要な社会的問題となっている。

#### ・巨大噴火（ $\geq$ VEI6）の監視体制や噴火予測のあり方について

- ▶ 日本火山学会として取り組むべき重要な課題の一つと考えられる。
- ▶ 巨大噴火については、国（全体）としての対策を講じる必要があるため、関係省庁を含めた協議の場が設けられるべきである。
- ▶ 協議の結果については、原子力施設の安全対策の向上等において活用されることが望ましい。

#### ・巨大噴火の予測に必要な調査・研究について

- ▶ 応用と基礎の両面から推進することが重要である。
- ▶ 成果は、噴火警報に関わる判断基準の見直しや、精度の向上に活用されることが重要である。

#### ・火山の監視態勢や噴火警報等の全般に関して

- ▶ 近年の噴火事例において表出した課題や、火山の調査・観測研究の将来（技術・人材育成）を鑑み、国として組織的に検討し、維持・発展させることが重要である。
- ▶ 噴火警報を有効に機能させるためには、噴火予測の可能性、限界、曖昧さの理解が不可欠である。火山影響評価ガイド等の規格・基準類においては、このような噴火予測の特性を十分に考慮し、慎重に検討すべきである。

日本火山学会原子力問題対応委員会 平成 26 年 11 月 2 日（日）

図 1 日本火山学会原子力問題対応委員会の提言

原子力施設に係る巨大噴火を対象とした火山活動のモニタリングに関する基本的考え方  
平成27年7月31日  
原子力施設における火山活動のモニタリングに関する検討チーム

原子力規制委員会は、九州電力株式会社川内原子力発電所の原子炉設置変更申請について火山影響に係る審査を行った結果、運用期間中にVEI7※以上の巨大噴火活動の可能性は十分低いと判断した。また、原子力施設設置者による巨大噴火を対象とした火山活動のモニタリング（既存観測網等による地殻変動及び地震活動等の観測データ、公的機関による情報の収集・分析等）実施に関し、「モニタリングによって、万が一異常な状況が認められた場合、原子力規制委員会としては、安全側に判断し、原子炉の停止を求めるなどの対応を行うこととしている。」との考え方を示している。

国内の通常の火山活動については、気象庁が防災の観点から110の活火山について「噴火警報・予報」を発表することになっているが、噴火がいつ・どのような規模で起きるかといった的確な予測は困難な状況にある。また、未知の巨大噴火に対応した監視・観測体制は設けられていない。

VEI6以上の巨大噴火に関しては発生が低頻度であり、モニタリング観測例がほとんど無く、中・長期的な噴火予測の手法は確立していない。しかし、巨大噴火には何らかの短期的前駆現象が発生することが予想され、モニタリングによって異常現象として捉えられる可能性は高い。ただし、モニタリングで異常が認められたとしても、いつ・どの程度の規模の噴火にいたるのか、或いは定常状態からの「ゆらぎ」の範囲なのかを識別できないおそれがある。

このような状況を受け、また原子力施設における対応には期間を要するものもあることも踏まえれば、原子力規制委員会の対応としては、予測の困難性や前駆現象を広めにとらえる必要があることから、何らかの異常が検知された場合には、モニタリングによる検知の限界も考慮して、“空振りも覚悟のうえ”で巨大噴火に発展する可能性を考慮した処置を講ずることも必要である。また、その判断は、原子力規制委員会・原子力規制庁が責任を持って行うべきである。

なお、国として巨大噴火の可能性を考慮した処置を講ずるためには、国は関係行政機関や防災組織及び関連研究者等と連携して、住民の避難・移住計画や経済損失の取り扱い等に係る対応策などを策定するべく、調査・研究を推進していくべきであると考えられる。

巨大噴火の可能性を考慮した処置を原子力施設に対して講ずる判断の目安及びその設定・改定の考え方、モニタリング方法の具体化及び精度の向上、モニタリング（観測・監視・評価）の体制や取り組み方、巨大噴火に関連した火山活動に関する火山学上の知見の整理（地質学的・岩石学的・地球化学的・地球物理学的・測地学的）等については、原子力規制委員会をはじめとする国の行政機関及び大学等研究機関が協力して調査・研究を推進しつつ、引き続き検討することが必要である。

※ VEI：火山爆発指数 VEI 0～8の大きさがある。

図2 原子力施設における火山活動のモニタリングに関する検討チームで合意された基本的考え方

の兆候が多少でも現れた時の対応方針等は、関係省庁等の間で今後認識を共有すべきである。」と述べるにとどまった。

## 7. おわりに

「原子力施設における火山活動のモニタリングに関する検討チーム」の場で、原子力規制委員会と火山監視・情報発表を任務とする国の行政機関と討議を行い、火山監視体制と噴火予測の現状、巨大噴火の予測と監視体制の課題などについての認識が共有されたことは評価できる。

検討チームの合意事項を踏まえて、できるだけ早く、多くの国民が納得できる、巨大噴火の可能性を考慮した処置を原子力施設に講ずる判断の基準や考え方などを、火山監視機関及び関係省庁と協議のうえ示すことを期待している。

### 〈参考文献〉

- 1) 原子力規制委員会：原子力発電所の火山影響評価ガイド（案）  
<https://www.nsr.go.jp/data/000050376.pdf>  
（平成25年5月16日）
- 2) 日本火山学会：原子力問題対応委員会「巨大噴火の予測と監視に関する提言」  
<http://www.kazan.or.jp/doc/kazan2014/images/ieigen.pdf>  
（2016年3月6日現在）
- 3) 内閣府防災情報のページ：広域的な火山防災対策に係る検討会「大規模火山災害対策への提言」（平成25年5月16日）  
<http://www.bousai.go.jp/kazan/kouikibousai/index.html>  
（2016年3月6日現在）
- 4) 石原和弘：地盤変動からみた雲仙普賢岳のマグマ供給システム、雲仙普賢岳の噴火—新溶岩ドームの誕生と火砕流災害—、月刊地球号外、No.15、pp.26 - 30。
- 5) 原子力規制委員会：「原子力施設における火山活動のモニタリングに関する検討チーム提言とりまとめについて」  
<http://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/kisei/00000060.html>（2016年3月6日現在）。



気象庁、噴火警報、噴火予報、火山情報、火山防災協議会、  
火山の状況に関する解説情報、御嶽山

## 1. はじめに

火山災害を軽減するためには、あらかじめそれぞれの火山の災害特性を考慮したハザードマップを作成し、防災計画を策定した上で、火山の活動を監視し、その情報をもとに適時的確な防災対応をとることが大切である。わが国では、火山活動の監視と防災情報の発表は、気象庁が担っている。本稿では、気象庁の火山防災情報の仕組み、特に「噴火警戒レベル」について解説する。

## 2. 噴火警戒レベルの導入の経緯

気象庁は、1965年から火山情報の公式発表を開始したが、気象庁の火山監視体制や防災情報は、時代の要請を受けて、幾度かの変遷をしてきた<sup>1)</sup>。2007年に気象業務法が改正され、同年12月より、噴火警報、噴火予報の発表が新たに始まった<sup>2)</sup>。噴火警報及び予報の開始は、それまでの火山情報のうち防災上重要な情報を法規上明確に位置づけるものであるが、その基軸をなすのが「噴火警戒レベル」である。

火山活動を数値や色（カラーコードなどと呼ばれる）で表現することは、諸外国でも一般に用いられている。気象庁も、火山噴火予知連絡会の提言を受けて、2003年から「火山活動度レベル」を一部の火山に導入、運用を開始していた<sup>3)</sup>。火山活動度レベルは、火山活動の活発さを0～5の6段階に区分けしたもので、一部の火山では登山規制等に活用された。しかしながら、火山活動度レベルは、噴火規模でそのレベルを表現するいわゆる理科的情報であり、例えば、避難等の判断にそのまま利用できるといったものではなかった。

一方、2000年の富士山での深部低周波地震の多

発を受けて富士山の火山ハザードマップの作成の機運が盛り上がり、富士山ハザードマップ検討委員会が設置されるなどの対策が進んだ。一連の検討の中で、いざという時の防災対策について、気象庁の火山情報をトリガーとするという考え方がまとめられた<sup>4)</sup>。その考え方は、その後の「火山情報等に対応した火山防災対策検討会」において議論され、全国の火山に対象を広げた「噴火時等の避難に係る火山防災体制の指針」として明文化された<sup>5)</sup>。すなわち、各火山で過去の噴火履歴などから想定される火山活動の推移（噴火シナリオ）と危険区域（火山ハザードマップ）をもとに、関係機関が、災害の及ぶ範囲のイメージを共有して、避難や登山規制などの防災対応の開始時期を表す基準を共同で決定、そして現在がどのような火山活動の段階にあるかを24時間体制で火山監視を行っている気象庁が「噴火警戒レベル」で公表するというスキームである。この考え方は、後に国の防災基本計画にも反映されている。

## 3. 噴火警戒レベルの仕組み

噴火警戒レベルは、それまでの火山活動度レベルと違い、防災行動を基準にレベルが設定されている。噴火警戒レベルは、火山活動の状況を噴火時等の「警戒が必要な範囲」や「とるべき防災対応」を踏まえて、1～5の5段階に区分している。特段の防災対応が必要でない段階をレベル1、居住地に危険は及ばないが登山規制等が必要な段階をレベル2～3、居住地に危険が及び始める段階でレベル4～5とするのが基本である（表1）。

レベル2と3は、登山規制等が必要な範囲に応じて使い分けられ、その定義は、後述する火山防

\*気象庁気象研究所火山研究部長

表1 噴火警報・予報と噴火警戒レベル

種別	名称	対象範囲	レベルとキーワード		説明		
					火山活動の状況	住民等の行動	登山者・入山者への対応
特別警報	噴火警報 (居住地域) 又は 噴火警報	居住地域 及び それより 火口側	レベル5 避難		居住地域に重大な被害を及ぼす噴火が発生、あるいは切迫している状態にある。	危険な居住地域からの避難等が必要(状況に応じて対象地域や方法を判断)。	
					居住地域に重大な被害を及ぼす噴火が発生すると予想される(可能性が高まってきている)。	警戒が必要な居住地域での避難の準備、災害時要援護者の避難等が必要(状況に応じて対象地域を判断)。	
警報	噴火警報 (火口周辺) 又は 火口周辺警報	火口から 居住地域 近くまで  火口周辺	レベル3 入山規制		居住地域の近くまで重大な影響を及ぼす(この範囲に入った場合には生命に危険が及ぶ)噴火が発生、あるいは発生すると予想される。	通常の生活(今後の火山活動の推移に注意。入山規制)。状況に応じて災害時要援護者の避難準備等。	登山禁止・入山規制等、危険な地域への立入規制等(状況に応じて規制範囲を判断)。
					火口周辺に影響を及ぼす(この範囲に入った場合には生命に危険が及ぶ)噴火が発生、あるいは発生すると予想される。	通常の生活。	火口周辺への立入規制等(状況に応じて火口周辺の規制範囲を判断)。
予報	噴火予報	火口内等	レベル1 活火山であることに留意		火山活動は静穏。火山活動の状態によって、火口内で火山灰の噴出等が見られる(この範囲に入った場合には生命に危険が及ぶ)。	通常の生活。	特になし(状況に応じて火口内への立入規制等)。

災協議会等の場で地元関係機関による協議で事前に決定される。例えば、レベル2では登山道のうち火口に近いところだけを規制し、レベル3において全面的に登山道を閉鎖するといった対応がとられることが多い。レベル4においては、一般住民は避難準備行動、災害時要援護者は避難行動をとる段階、レベル5は、一般住民も含めた避難が必要な段階である。噴火警戒レベルには、住民や登山者・入山者等に必要な防災対応が分かりやすいように、各レベルに、それぞれ「避難」「避難準備」「入山規制」「火口周辺規制」「活火山であることに留意」のキーワードがつけられる。

注意すべきは、レベルとその段階で想定する噴火規模との関係が社会的な要因によって火山ごとに大きく違ってくることである。居住地が火口から遠い火山の場合、かなりの規模の噴火でもレベル3にとどまるのに対して、居住地が火口に近接している火山の場合、小規模な噴火であってもレベル4～5となることもある。そのため、表1で示したような一般的な解説とは別に、各火山についてそれぞれのレベルにおいて想定される現象や過去事例を示した表が用意されており、具体的な防災対応も含めリーフレットとして公表されており、気象庁ホームページ (<http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/keikailevel.html>) にも

掲載されている。

噴火警戒レベルは、地元関係機関による共同検討を進めて、噴火警戒レベルに応じた「警戒が必要な範囲」と「とるべき防災対応」が地元自治体の地域防災計画等に定められた火山で、順次運用が開始(導入)されており、2015年末現在、32火山で運用されている。

噴火警戒レベルが運用されている火山では、噴火警戒レベルが変更あるいは切り替えられる(防災対応をとるべき「警戒が必要な範囲」が変更される)際に、レベルを付した噴火警報・噴火予報が発表される。レベル2～3においては、「噴火警報(火口周辺)」(略称は火口周辺警報)、レベル4～5においては、「噴火警報(居住地域)」(略称は噴火警報)として発表される。レベル1の段階では噴火予報が発表される。噴火警報は「警戒が必要な範囲」を明示して発表され、「避難」「避難準備」等が必要な地方自治体がどこであるかがわかるようになっている。

噴火警戒レベルが導入されていない火山においても「警戒が必要な範囲」が火口周辺に限られ居住地域まで及ばない場合は火口周辺警報、「警戒が必要な範囲」が居住地域まで及ぶ場合は噴火警報が発表されることになっている。しかし、具体的な防災対応が明確になっていないと、気象庁の噴

火警報が防災に活かされないことになるため、そういった火山についても、後述する火山防災協議会において噴火警戒レベルを順次導入する準備を進めている。なお、海底火山の噴火警報は、「噴火警報（周辺海域）」として発表される。

噴火警報・予報は、オンラインシステムで、関係都道府県をはじめとする関係機関に即時に伝達され、市町村、報道機関やホームページを通じて住民等に伝達される。噴火警戒レベルが運用開始された2007年12月以降でレベル2以上になったことがある火山は、レベル運用火山32火山中14火山である（2015年末現在）。

#### 4. 警戒が必要な範囲

ところで、しばしば誤解されることであるが、前節で述べた「警戒が必要な範囲」とは、この範囲に入ると生命に危険が及ぶという意味であり、関係機関に対してその範囲の入域規制や避難等を促すことを目的としていることに注意する必要がある。噴火に伴う現象は非常に多様である。「警戒が必要な範囲」を決定する上で対象としているのは、そのうち、噴火に伴って発生し生命に危険を及ぼす火山現象、すなわち、大きな噴石（弾道を描いて飛散する噴石）、火砕流、融雪型火山泥流等、発生から短時間で火口周辺や居住地域に到達し、避難までの時間的猶予がほとんどない現象である。一方、火山灰や小さな噴石（火山れき）は、風に乗って運ばれ、気象条件によっては遠くまで到達する。例えば、活発な噴火活動が続く桜島では、噴火警戒レベル3（警戒が必要な範囲は火口から2km）となっていることが多いが、警戒が必要な範囲の外側の山麓や市街地で火山灰がしばしば降り、交通障害なども起きている。しかし、それ自体が生命に係わることはほとんどなく、地元自治体も避難や規制等の対応は行っていない。火山灰や小さな噴石については、噴火警報とは別のスキームである降灰予報が発表されており<sup>6)</sup>、それが活用されている。火山ガスについても火山ガス予報が発表される仕組みがある。また、降雨による土石流については、噴火警報・予報や噴火警戒レベルとは別に土砂災害防止法等に基づくスキームがある<sup>7)</sup>。

このように、警戒が必要な範囲外についても、噴火警戒レベルだけでなく、各種情報が関係機関から提供されていることを認識しておくことが必要である。

#### 5. 火山防災協議会

噴火警戒レベルは、各火山の地元の都道府県等が設置する火山防災協議会（都道府県、市町村、気象台、砂防部局、火山専門家等、地元の関係機関で構成される）において、避難計画（いつ・どこから誰が・どこへ・どのように避難するか）の共同検討を通じて、設定や改善を関係機関が共同で進めることになっている。こうして地元の避難計画と一体的に噴火警戒レベル（いつ・どこから誰が避難するか）は設定される。

重要なのは、噴火警戒レベルを発表するのは、気象庁（気象台）であるが、具体的なレベルの区分け、防災対応を決めるのは、火山防災協議会における共同検討によるという点である。噴火時に噴火警戒レベルが地域の防災体制と一体となって機能するように、平常時から地域の関係機関や火山専門家が、火山防災協議会における避難計画等の共同検討を通じて、関係者間で「顔の見える関係」と「防災対応のイメージ共有」（噴火警戒レベルに応じた具体的な防災対応に係る認識の共有）を確立しておくことが大切である。

#### 6. 御嶽山噴火を受けた議論

2014年9月27日、御嶽山が約7年ぶりに噴火した。この噴火は、死者行方不明者63名という大きな災害となった。この噴火は比較的小規模な水蒸気噴火であったが、折しも行楽シーズンであったため、火口近くに多くの観光客がいたことで、噴火規模の割に大きな災害となった。また、もし噴火前に時間的余裕をもって噴火警戒レベルが2以上に引き上げられておれば地元自治体等により一定の登山規制が敷かれていたはずであったが、この噴火は、噴火警戒レベル1で発生した。噴火警戒レベルが引き上げられたのは噴火後であった。

今回の噴火は、前兆現象に乏しい水蒸気噴火であったが、噴火の2週間前に一時的に火山性地震がやや増加する先駆現象があった。この地震増加に際して、気象庁は、「火山の状況に関する解説情報」を発表し、火山活動の推移に注意するよう呼びかけたが、噴火警戒レベルを引き上げるに至らなかった。

この噴火災害を受けて、火山噴火予知連絡会や中央防災会議で様々な議論が行われた<sup>8,9,10)</sup>。議論の詳細は、各会議の報告書を参照されたい。噴火警戒レベルやその他の気象庁の火山防災情報については、火山噴火予知連絡会の火山情報の提供に関する検討会<sup>9)</sup>によって以下の提言がなされ、改善が進められている。

### (1) 噴火警報の発表基準の公表

どのような場合に噴火警報を発表するか登山者等が認識できるよう、噴火警戒レベルの引上げや引下げの基準等、噴火警報の発表基準を公表することとされた。そのため、現在、火山ごとの活動の特徴を改めて整理し、水蒸気噴火の可能性も踏まえた噴火警報の発表基準の精査作業を進めている。

### (2) 火山活動の変化を観測した段階での情報

今回の御嶽山噴火の前に発生した火山性地震の増加のような噴火警報を発表するに至らない火山活動の変化があった場合、火山の周辺に立ち入る際には、火山活動のリスクの高まりを認識し、火山活動の推移に留意することが望ましい。このため、気象庁は、そういった場合に発表する「火山の状況に関する解説情報」には「臨時」のフラグを付加して発表することとなった。また、そういった場合には、火山活動の状況とともに気象庁の対応状況等（臨時の火山機動観測に出動する等）についても記載し地元関係機関等と情報共有するほか、現地ですばやく丁寧な解説を行うことになった。噴火警戒レベルは未導入であるが、霧島山のえびの高原周辺では、火山性地震の増加や火山性微動の発生等のたびに臨時の火山の状況に関する解説情報を発表し、現地調査を実施、地元自治体や観光施設等へ情報提供を行っている。

### (3) 噴火警戒レベル1のキーワード見直し

噴火警戒レベル1におけるキーワードは、従来「平常」という表現であった。この表現について検討会において改善すべきである意見があり、活火山であることを一般の人々が適切に理解できる「活火山であることに留意」との表現に改めた。

### (4) 噴火速報の発表

噴火警報は事象が発生してから発表されるまでに時間を要するため、一定期間噴火が発生していない火山において噴火発生や噴火初期の変動を観測した場合や継続的に噴火が発生している火山であってもより大きな規模の噴火発生や噴火初期の変動を観測した場合に、その旨を登山者等火山に立ち入っている人々に迅速、端的かつ的確に伝えて、命を守るための行動を取れるよう、「噴火速報」を新たに発表することとなった。2015年9月14日、当時噴火警戒レベル2であった阿蘇山でやや大きな噴火が発生した際に、初めて発表された。その後、噴火警戒レベルを3に引き上げる噴火警報が発表されている。

以上の他、火山情報の伝達手段の強化、平素からの火山防災協議会等との情報共有、山岳ガイド等の関係団体、登山者等に対する周知啓発なども提言には盛り込まれている。2014年10月からは気象庁ホームページに登山者向けの情報提供ページを新たに設けたが、火山性地震の発生状況や地殻変動の状況等の毎日の火山活動の状況をわかりやすく提供するページを設ける等の検討を現在続けている。

## 7. おわりに

2014年の御嶽山噴火では、多くの尊い人命を失った。現在の火山に関する知見、火山噴火予知の科学的水準では、確実に噴火を予測することは容易ではない。しかし、技術的な限界はあるものの、火山監視観測による火山防災情報は火山災害の軽減に役立つものであり、これまでも一定の役割を果たしてきた。御嶽山噴火を受けて、火山監視観測体制の強化も進められている。火山噴火予知連絡会等の提言を受けて予知技術と評価・判断能力の向上に努め、国民に対して火山に関する一層の周知啓発、情報発信の改善を図っていく必要がある。

#### 〈参考文献〉

- 1) 山里 平：火山活動に関する防災情報、「火山の事典（第2版）」、朝倉書店、pp.420-421、2008
- 2) 山里 平・舟崎 淳・高木康伸：気象庁の火山防災業務、「日本の火山ハザードマップ集 第2版」、(研)防災科学技術研究所 研究資料第380号、pp.9-15、2013
- 3) 山里 平・大賀昌一・大工 豊・舟崎 淳・松島正哉・内藤宏人・菅野智之：気象庁による火山活動度レベルの公表、「火山」、49巻、pp.217-222、2004
- 4) 宮下 誠・中禮正明・宇平幸一・林 豊・瀧山弘明・藤井敏嗣・村上 亮・鶴川元雄・白土正明・山里 平・横田 崇：富士山の火山活動の監視—宝永噴火シナリオと火山情報—、「富士山」、山梨県環境科学研究所、pp.441-449、2007
- 5) 藤山秀章・徳元真一・河内清高・新原俊樹：内閣府における火山防災の取組、「日本の火山ハザードマップ集 第2版」、(研)防災科学技術研究所 研究資料第380号、pp.3-8、2013
- 6) 菅井 明・黒木英州・林 洋介・新堀敏基：新しい降灰予報について、「日本火山学会2015年秋季大会予稿集」、pp.155-155、2015
- 7) 山口真司：火山砂防の取り組み、「日本の火山ハザードマップ集 第2版」、(研)防災科学技術研究所 研究資料第380号、pp.29-32、2013
- 8) 火山噴火予知連絡会火山観測体制等に関する検討会：御嶽山の噴火災害を踏まえた活火山の観測体制の強化に関する報告、pp.1-9、2015
- 9) 火山噴火予知連絡会火山情報の提供に関する検討会：火山情報の提供に関する報告、pp.1-9、2015
- 10) 中央防災会議防災対策実行会議火山防災対策推進ワーキンググループ：御嶽山噴火を踏まえた今後の火山防災対策の推進について（報告）、pp.1-34、2015

## 土壌・地下水汚染調査における 試料採取（その2）

たかぎ かずしげ\*  
高木 一成\*

**K**ey Word 土壌汚染対策法, 土壌汚染状況調査, 試料採取, 土壌ガス調査, 土壌調査, ボーリング

### 1. はじめに

これまで2回にわたり「土壌・地下水汚染調査における地歴調査」, 「土壌・地下水汚染調査における試料採取（その1）」と題して土壌汚染状況調査について解説をしました。今回は地歴調査結果に基づいて試料の採取をおこなう地点の選定をするところまで説明をしましたので、本稿では、実際に土壌ガスや土壌を採取する際のポイントについて述べたいと思います。なお、過去2回と同様、調査の内容や方法については、「土壌汚染対策法に基づく調査及び措置に関するガイドライン（改訂第2版）」（以下、ガイドライン）に従って説明をします。

土壌汚染状況調査では、調査対象物質が第一種特定有害物質の場合には土壌ガス調査を実施し、土壌ガス調査で対象物質が検出された場合にはボーリングにより土壌溶出量調査をおこないます。

これに対して、調査対象物質が第二種・第三種特定有害物質の場合には土壌調査（深さ50cmまでの土壌の採取・分析）をおこなって汚染状況を評価します。第二種・第三種特定有害物質を対象とした調査では原則としてボーリング調査は求められていません。

以下、第一種特定有害物質を対象とした土壌ガス調査とボーリング調査、第二種特定有害物質を対象とした土壌調査の順に試料採取の方法を解説します。また後半では、試料採取時における全般的な注意点と、試料採取に先立って行うことが望ましい埋設物探査について説明します。

### 2. 土壌ガス調査

第一種特定有害物質を対象とした調査では土壌ガスを採取します。土壌ガス調査の方法は「土壌ガス調査に係る採取及び測定の方法を定める件」として平成15年環境省告示第16号に示されており、ガイドラインのAppendix 5に添付されています。

なお、土壌ガスは雨天時や地上に水たまりのある状態の場合にはおこなうことができません。また、沿岸部などで地下水位が浅く土壌ガスの採取が困難な場合は地下水を採取・分析します。この場合は、公定法分析をおこなう必要があります。

以下に土壌ガス調査の手順ごとに方法とポイントを記します。

#### ①採取孔の削孔

土壌ガスの採取孔は直径15～30mm程度、深さ0.8～1.0mとし、ドリルやボーリングバー等で削孔します。

#### ②保護管の設置

保護管はステンレスやアルミなど調査対象物質を吸着しない材質で、底面または側面に開口部があり、上部50cm以上は無孔管、管頭をゴム栓等で密栓できるものを使います。保護管設置の際には採取孔（の地表部）と保護管の間を気体が通過しないように密閉するように設置します。このため保護管の上部周囲にゴム製のパッカー等のシーリング材を装着したものもあります。図-1にガス採取保護管の例を示します。

#### ③土壌ガスの採取

保護管を設置後、土壌ガスの採取をおこないま

\*地盤環境エンジニアリング株式会社



図-1 ガス採取保護管の例

すが、採取は30分以上放置した後におこない、放置時間は地点ごとのばらつきをできる限り小さくします。保護管や採取地点の近くにタグや養生テープ等を貼り、設置時間や地点名を記入しておけば、採取時間や採取地点の確認や管理をすることができます。

土壌ガスの採取法は減圧捕集瓶法・減圧捕集瓶を用いた食塩水置換法・捕集バッグ法・捕集濃縮管法の4種類がガイドラインに示されていますが、採取に使用する器具や手順が比較的シンプルな捕集バッグ法が一般的です<sup>2)</sup>。

捕集バッグ法では、保護管の中に採取管を差し込み、気密容器に入れた捕集バッグと導管で接続します。ポンプ等により機密容器を減圧することで捕集バッグに土壌ガスを採取します（図-2）。

採取管・導管はふっ素樹脂、捕集バッグは1L～3Lの容量のふっ素樹脂や合成樹脂などを使用します。

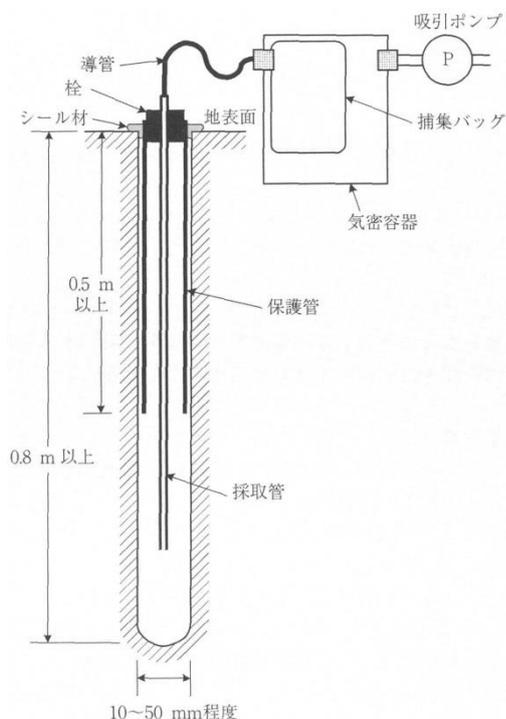


図-2 捕集バッグ法<sup>3)</sup>に一部修正

土壌ガス採取の際は、採取管内の空気の影響を除去するため、採取管の容量の約3倍の土壌ガスをあらかじめ吸引した後に試料の採取をおこないます。これには「とも洗い」の容量でガスを採取して一旦放出する手順を2～3回ほど繰り返してから分析用の試料を採取する方法などがあります。図-3に捕集バッグ法によるガス採取状況の例を示します。



図-3 捕集バッグ法によるガス採取状況の例

#### ④土壌ガスの分析

土壌ガスの分析作業は専門の技術者あるいは分析業者がおこないますが、分析には大きく分けて現地分析と現地以外の分析室で行う分析があります。現地で分析をおこなう場合は採取から24時間以内に、現地以外の分析室で分析をおこなう場合には48時間以内に分析をおこなう必要があります。

第一種特定有害物質は揮発性が高く、運搬や保管中に濃度が減少する可能性があります。このため、採取から分析まで時間を要する現地以外の分析室で分析をおこなう場合には濃度の減少の程度を評価して、20%以上の差がある場合は分析結果を補正する必要があります。その方法は以下の通りです。

- 既知の濃度の標準ガスを用意し、現地で土壌ガスと同様の方法で捕集バッグに採取したテスト用試料を2検体作成する
- テスト用試料を分析試料と同じ状態で運搬・保管する
- テスト用試料を分析して標準ガス濃度と比較する

したがって、現地分析をおこなわない場合でも標準ガスボンベの用意が必要になります。

### 3. ボーリングによる土壌溶出量調査

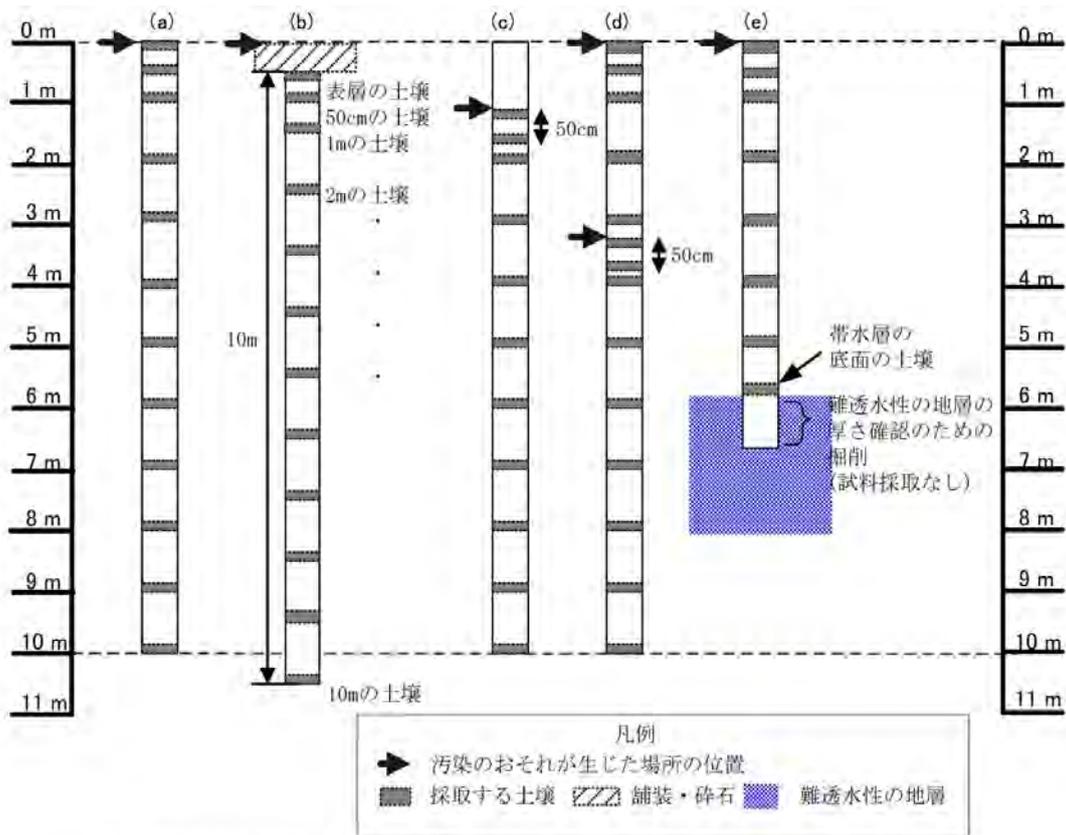
土壌ガス調査で調査対象物質が検出された場合はボーリングにより土壌を採取し、土壌溶出量調査をおこないます。土壌汚染対策法では、ボーリングの調査対象物質は土壌ガスで検出された物質だけをおこなえばよいことになっていますが、土壌ガス調査で例えばテトラクロロエチレンのみ、あるいはシス-1,2-ジクロロエチレンのみが検出された場合でも、土壌の深層部や地下水には親物質と分解生成物の両方や、1,1-ジクロロエチレンなど他の分解生成物が検出される可能性もあることから、ガイドラインではこのような場合、地歴調査で特定された親物質とその分解生成物のすべてを対象として調査することが望ましいとしています。

ボーリング調査地点は土壌ガス調査の結果、隣接するすべての単位区画と比較して高い濃度のガスが検出された地点を選ぶこととなっています。

すなわちガスが検出された一定の範囲ごとに相対的高濃度部でボーリングをおこなうこととなります。ガス濃度の相対的高濃度部は対象物質ごとに異なるため、調査対象物質ごとにガス濃度の分布図を作成し、ボーリング地点を選定する必要があります。

図-4 にボーリング深度ならびに試料採取深度の例を示します。ボーリングの深度は原則として地表から10mです。ただし、地表がコンクリートやアスファルト、碎石等で被覆されている場合はこれらを除去した面を地表とみなします。したがって地表から50cmまでアスファルトや碎石がある場合にはボーリング深度はGL-10.5mまでとなります。

分析をおこなう試料の採取は原則として、表層、深度0.5m、深度1.0m、以降は1mごとに採取します。ただし、汚染のおそれが生じた場所の位置が地表面よりも深いところにあったり、複数あったりす



- (a) 汚染のおそれが生じた場所の位置が地表と同じ又は明らかでない場合の試料採取例
- (b) (a)の場合で地表面が舗装されているときの試料採取例
- (c) 汚染のおそれが生じた場所の位置が地表より深い場合の試料採取例
- (d) 汚染のおそれが生じた場所の位置が複数ある場合の試料採取例
- (e) 帯水層の底面が深さ10m以内にある場合の試料採取例

図-4 ボーリング調査の試料採取深度例<sup>1)</sup>

る場合はその深度とそこから50cmの深度の試料も採取します。

なお、汚染物質の濃度は汚染源から一様に低くなりながら広がるのではなく、地中に浸透する過程で地下水面や粘土・シルト層の上部などで停滞して濃度が高くなっている場合があります。したがって、このような地層が確認された場合や、臭気により高濃度の汚染物質の存在が予想される場合には1mごとの試料採取にこだわらず、適宜追加の採取をおこなうことが汚染状況を的確に把握するためには重要であり、ガイドラインでも追加の試料採取をおこなうことが望ましいとしています。

ボーリングの方法については一般の地質調査に用いるロータリー式ボーリングマシンやサンプラーを使用することも認められていますが、汚染調査用の振動式・打撃式等のボーリングマシンやツールは回転摩擦熱による試料の変質を防いだり、土壌試料が孔内の土壌や地下水と接触しないようにしてコアの二次汚染を防いだりといった工夫がされていますので、可能な限り汚染調査用のマシンやサンプラーを使用することが望ましいです。

#### 4. 土壌調査

第二種・第三種特定有害物質の調査を対象とした土壌調査では、汚染のおそれが生じた場所の位置に応じてそれぞれの深さで試料採取をおこなう必要があることを前回説明しました。図-5に土壌調査の試料採取深度の例を示します。

試料採取をおこなう単位区画において、汚染の

おそれが生じた場所の位置が地表面（または不明）の場合は表層の土壌（深さ0～5cm）と5～50cmまでの土壌を別々に採取して、重量が均等になるように混合してから分析をおこないます。地表面がアスファルト・コンクリートで被覆されている場合は、舗装や砕石を除去した土壌表面を採取深度の基準とします。

また、汚染のおそれが生じた場所の位置が地表面より深い場合は、その深度から50cm区間の土壌を採取します。したがって、深度2m程度までならば手掘でも対応できますが、それ以上の深度ではボーリングマシン等の機械による掘削が必要なおともあります。

対象区画の表層の土壌（0～5cm）と5～50cmの土壌を均等に混合する作業や、一部対象区画における5地点均等混合法の5試料を混合する作業はラボでおこないますので、現地で土壌を混ぜないように注意してください。したがって、5地点均等混合法による分析が1検体の場合も、最大で容器10個の試料を採取してラボに送ることとなります。

分析に必要な土壌試料の量は、ガイドラインのAppendix 11に目安として記載されています。土壌溶出量調査では1項目につき50～100g、第二種全項目で200g、第三種全項目で100g、土壌含有量調査では1項目につき6～10gとされています。ただし、土壌試料はラボで風乾した上、礫や草根など2mm以上の粒子を除去して分析をおこないますので、現地で採取した土壌のうち実際に分析に使用できる土壌は大幅に減量される可能性もあります。また、5地点均等混合法による分析で基準を

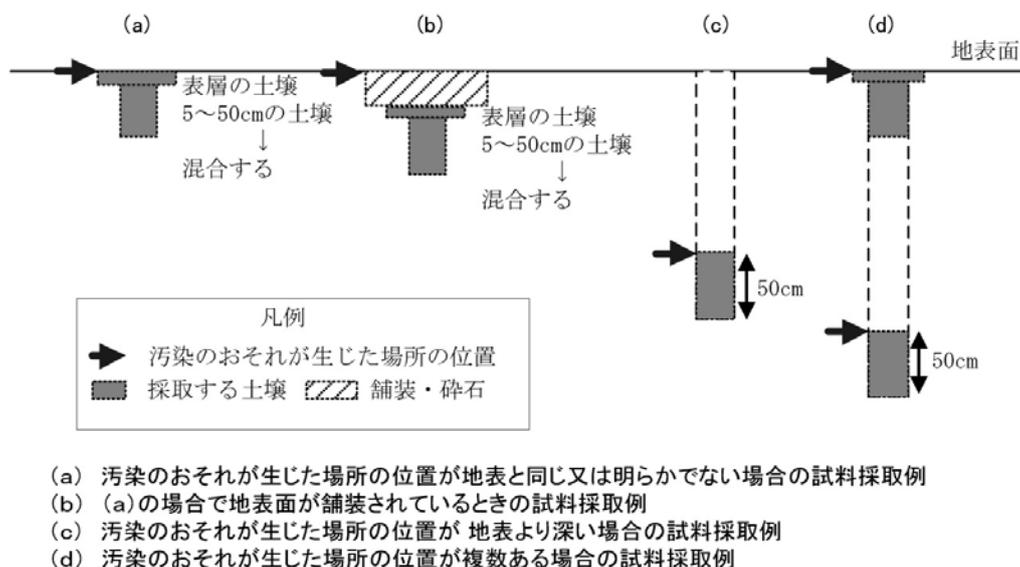


図-5 土壌調査の試料採取深度例<sup>1)</sup>

超過した試料は、引き続き地点ごとに個別分析をおこなうこととなりますので、その分も見込んで十分な量の試料を採取しておく必要があります。

冒頭でも述べましたが、第二種・第三種特定有害物質については土壤調査の結果をもって汚染の濃度と平面的な範囲（基準を超過した単位区画）が特定されますので、土壤汚染対策法の「基本となる調査」では深度分布を把握するためのボーリング調査は求められていません。ただし自然由来の汚染のおそれがある場合など特例の調査や、措置（浄化対策）をおこなうための詳細調査ではボーリング調査をおこないます。また、自治体によっては条例で第二種・第三種特定有害物質についての深度方向の調査を義務付けている場合もあります。

この際の調査深度や試料採取深度の考え方は基本的に図-5に示した第一種特定有害物質を対象としたボーリング調査と同様です。ただし、汚染のおそれが生じた場所の位置が地表よりも深い場合、第一種特定有害物質を対象とした調査では、その深度とそこから50cmの深度の2深度で試料を採取しますが、第二種特定有害物質を対象とした場合は汚染のおそれが生じた場所から50cm区間の土壤を均等に採取して1試料としますので注意してください。

## 5. 試料採取時の注意点

土壤汚染対策法の目的の一つに、「適時適切に土壤汚染の状況を把握すること」があります。したがって土壤汚染状況調査では、汚染が存在する場合はこれを見逃すことなく確実に捉えることが大切です。また、試料の二次汚染により本来ないはずのものを汚染と判断したり、調査により汚染を拡散したりすることは防がねばなりません。

汚染物質の濃度の評価には0.1ppm、0.01mg/Lなどの値が用いられますが、これらは1000万分の1や1億分の1の量を表すものであり、非常にわずかな量です。このため、採取した試料の取り扱いによっては汚染物質の量に変化して、汚染の有無の判断に大きく影響することもあり得ますので注意が必要です。

### 5.1 第一種特定有害物質を対象とした試料採取の注意点

第一種特定有害物質はテトラクロロエチレン、トリクロロエチレン、ベンゼンなど揮発性の高い物質です。このため高温や日照により容易に試料から揮発してしまいます。ボーリングにより採取

した土壤コアはサンプラーから取り出したらただちに分析用の試料を採取するようにします。これはコア箱に何メートル分もコアが並んだ状態でいっぺんに土壤試料を採取することで、隣り合う、深度として1m（またはそれ以上）離れた土壤が飛散して二次汚染を引き起こすことを予防する意味でも重要です。

土壤ガスは結露しないよう暗所で、土壤・地下水試料は冷暗所で保管し、出来る限り迅速に分析することが望ましいです。

特に土壤・地下水は採取後すぐにガラス容器等に隙間なく（地下水の場合は満水まで）採取・密封し、水や保冷剤を入れたクーラーボックス等の0～4℃の冷暗所で保管・運搬します。最近では保冷状態で配送する宅配便のサービスがありますので、ラボに送る際は利用するとよいでしょう。

高濃度の汚染が存在する場合には二次汚染のリスクもより高くなります。したがって、ガス採取器具、ボーリングのツールス、試料を容器に詰めるスプーン等は交換したり、よく洗浄したりする必要があります。また、試料を扱う際はホームセンター等で購入できる使い捨ての手袋を使用して、地点や深度ごとに交換することをお勧めします。

なお、対象物質がベンゼンである場合は、我々が調査現場に持ち込むことの多い、発電機等の燃料のガソリンに対象物質が含まれていることがありますので、二次汚染に特に注意が必要です。現場でガソリンをこぼしたなどというのはもってのほかですが、ガス採取をしている傍で給油をおこなったり、油の付いた手で土壤やサンプリングの道具に触れたりしただけで試料が汚染される可能性があります。

### 5.2 第二種・第三種特定有害物質を対象とした試料採取の注意点

第二種・第三種特定有害物質は鉛や砒素などの重金属類やPCBなど化学的に安定した物質であり、第一種特定有害物質ほど試料の保管に神経質にならなくてもよいという面があります。しかしながら、器具の洗浄や使い捨て手袋の使用など二次汚染に対する注意は第一種特定有害物質と同様に必要です。

また、六価クロムや砒素など例外もありますが、第二種・第三種特定有害物質は地表付近など汚染が発生した土壤に吸着し、とどまりやすい性質があるとされています。このため、土壤調査の試料採取などで、深度方向に掘り進める時に、地表付近から孔底に崩れた土をそのまま採取すると分析

結果に影響を与えてしまう可能性があります。試料採取の際はスコップやコアチューブ等で採取した土の塊から、地表から崩れた土やスコップに触れていた部分を除去して、正しい深度の土のみを採取するようにします。

## 6. 埋設物の調査

土壌ガス調査や土壌調査では地面に穴をあけて地中からガスや土壌などの試料を採取することになります。土壌汚染状況調査では、工場などの事業場やその跡地において、プラントや配管など汚染のおそれが多い場所の近くで試料採取をおこなう場合も多く、試料採取の作業によって地中の配管やタンクなどの埋設物を損傷しないように注意する必要があります。

埋設物の損傷は、その補修に費用や時間を要するばかりでなく、新たな汚染を生じることにもなりかねず、絶対に避けたいものです。

埋設物の破損を防ぐためには事前に配管図面等を収集したり、試料採取地点の周囲にマンホールやコンクリートの補修跡など配管の存在を予想させるサインが無いかどうかを注意深く観察したりすることが重要です。また、ボーリングの際、埋設物の存在が予想される深度まで手掘りで確認することは一般的におこなわれていると思います。

しかしながら、土壌ガス調査などでは試掘自体が難しく、土間コンクリート内など手掘りによる確認ができない部分もあります。そこで、深度1m程度までの試料採取に際しては、コンクリート等表層の被覆内および被覆直下をRCレーダー（**図-6**）やケーブルロケーター等の物理探査手法によって埋設物探査をおこなうことが有効な場合もあります。**図-7**に探査結果の例を示します。



図-6 RCレーダー

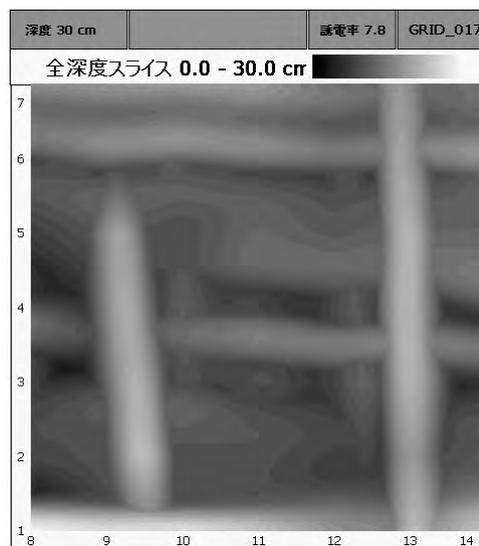


図-7 埋設物探査結果の例  
(画像にあるのは土間コンクリート内の鉄筋)

## 7. おわりに

土壌汚染対策法では、調査の内容や手法が細かく規定されており、ガイドライン通りに進めていくことで、調査実施者による評価のばらつきを抑制するようになってきています。ただし、汚染のおそれが多い地点の選択等、技術者の判断にゆだねられる部分もあります。そのため、法あるいは条例に基づく調査では、対象物質の特定や調査地点の選定について、計画段階より行政の担当者と調査内容について合意を形成するための協議をおこなうことをお勧めします。

なお、ガイドラインで調査手法が細かく決められているとは言っても、汚染物質は100m<sup>2</sup>や深度1m刻みの四角形や直方体で存在するわけではありません。したがって、技術者の皆さんの地質や地下水に関する知識や経験を活かし、現場において土壌の色調や臭気に気を配るなど、感覚を研ぎ澄まして調査にあたることで、「適時適切に土壌汚染の状況を把握」し、汚染が存在する場合に適切な対策を立案するために最も重要だと考えます。

### 〈参考文献〉

- 1) 環境省 水・大気環境局 土壌環境課：土壌汚染対策法に基づく調査及び措置に関するガイドライン（改訂第2版），2012
- 2) 全国地質調査業協会連合会・地質情報整備活用機構・地盤環境技術研究センター：土壌汚染調査技術管理者試験完全対策（第2版），オーム社，2013
- 3) 公益社団法人地盤工学会：地盤調査の方法と解説 - 二分冊の2，丸善出版，2013

# 河川堤防の統合物理探査

はしもと ゆうじ  
橋本 裕司\*

**K**  
ey Word

平成 23 年東北地方太平洋沖地震, 河川堤防, 統合物理探査,  
ランドストリーマー方式表面波探査, 牽引式電気探査

## 1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した「平成 23 年東北地方太平洋沖地震」は東日本一帯に大な被害をもたらし、関東地方の堤防も茨城県・千葉県を中心に多くの被害を受けた。

これら堤防に対しては緊急ならびに本復旧が進められたが、これほど大きな地震災害においては、堤防の切り返しなどを含む復旧区間を除き、目視で被害を受けていないように見える箇所でも何らかの影響を受けている可能性を否定できないため、はん濫注意水位や水防団待機水位の基準水位を引き下げるなどの対応が取られていた。

このため、堤防の内部状況を把握し、地震発生前の堤防と同等の機能を有しているかどうかを検討することを目的として統合物理探査を実施した。具体的には、地震により緩んだと思われる箇所を絞り込むため、緩い砂質土に着目した統合物理探査を実施した。次に、絞り込んだ箇所の緩みが地

震による影響を受けた結果であるかどうかを確認するために、代表箇所においてボーリング等の詳細調査を実施して、その結果をもとに最終的な安全性評価を行った。

このうち、私が担当したのは図 1 に示す利根川左岸と小貝川左右岸で、その測線延長は小段での測定も併せて計 38km となった。

本稿では、統合物理探査の概要とその結果から堤防の安全性評価を行った一連の流れについて述べる。

## 2. 統合物理探査とは

統合物理探査とは、2 種類以上の物理探査手法を適用することで地盤の複数の物理量を把握し、これに既存調査結果などを加味して地盤状況を把握する手法である。

河川堤防を対象とする場合、N 値と相関性が認められる S 波速度分布を把握する表面波探査、地盤の



図 1 統合物理探査実施区間<sup>1)</sup>

提供：国土交通省利根川下流河川事務所

\*応用地質株式会社 関西支社 技術部 グループリーダー

粒度特性と相関が認められ大まかな土質区分の指標となる比抵抗分布を把握する電気探査が適用されることが多く、本調査でもこれら手法を実施した。いずれの調査手法も牽引式とすることで、測定効率を大幅に向上させることが可能となり（写真1、写真2）、本調査の場合38kmの測定を約1.5ヶ月で完了することが出来た。



写真1 ランドストリーマー方式表面波探査



写真2 牽引式電気探査

提供：国土交通省利根川下流河川事務所

### 3. 安全性評価の考え方

本調査における安全性評価とは、浸透に対して堤防が地震発生前の機能を有しているか否かを確認し、仮に機能低下の可能性が懸念される場合には、その箇所において現状での安全性を浸透流解析・安定計算を用いて把握することを意味する。

図2に安全性評価の流れの概要を示す。

ここでは、地震により緩みが発生・進行した可能性がある砂質土を物理探査で抽出し、その代表

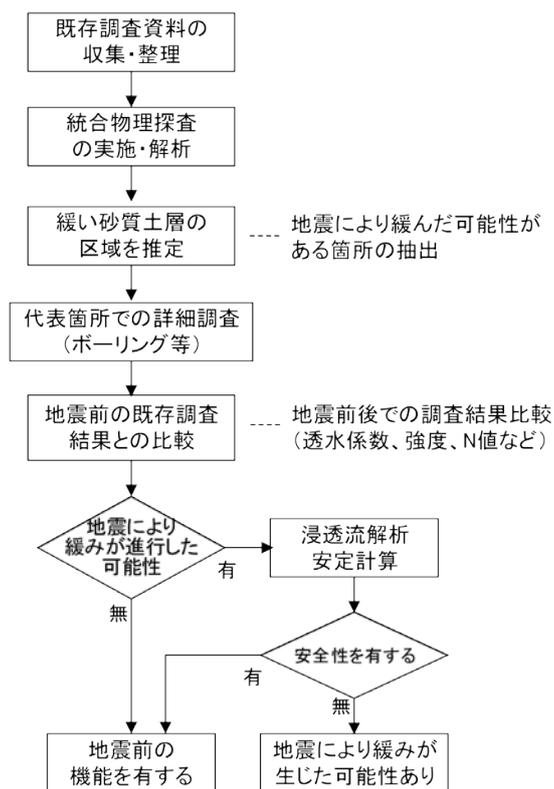


図2 安全性評価の流れ（概要）

箇所にて実施する詳細調査結果と、地震発生前の既存調査結果を比較検討することで安全性を確認することとしている。

## 4. 評価基準の決定と安全性評価結果

### 4.1 緩みの評価基準

本調査で問題となるのは、地震前の堤防の性状（緩み）をどう評価するか、ということである。地震前は基本的には粗い間隔でのボーリング調査が成されているだけで、堤防縦断方向に連続した調査は成されておらず、地震後の統合物理探査結果と一対一で比較することができない。

そこで、地震前の堤防の緩み度合いの指標を得るために、調査対象区間の既存調査のN値の頻度分布を整理した結果、その最頻値はN=3であった。このことから、地震後N=3以上を示す箇所については、地震前の堤防と同程度の安全性を有するものと判断した。これは、N=3を超えてN値が低下した箇所（地震前N=5、地震後N=2など）を地震の影響で緩みが発生・進行した箇所として抽出できるように、安全性評価の基準をN=3としたこと

になる。この考え方では、地震前から  $N=1, 2$  であった箇所も全て地震により緩みが生じた可能性のある箇所として抽出されるが、これは評価としては安全側になることから許容している。

次に、 $N$  値を基準に地震後の表面波探査結果と比較するためには、前述の評価基準  $N=3$  を  $S$  波速度に変換する必要がある。 $N$  値と  $S$  波速度の相関式は複数提案されているが、本調査では「河川堤防の統合物理探査」<sup>2)</sup>にて示されている以下の稲崎(2005)<sup>3)</sup>式を採用した。

$$N = 1.6 \times 10^{-6} \times V_s^{2.9}$$

$V_s$  :  $S$  波速度 (m/s)

この式により評価の基準とした  $N=3$  は  $S$  波速度  $145\text{m/s}$  程度となる。なお、本調査では緩み領域をさらに絞り込むために  $N=2$  ( $V_s=125\text{m/s}$ ) も評価基準の1つとして加えている。

#### 4.2 土質区分の評価基準

調査対象区域の概略の土質区分を行い、砂質土を抽出するのに、電気探査で得られた比抵抗値を利用した。比抵抗値は細粒分が多い地盤ほど値が小さく、砂分・礫分が多いと値が大きくなる傾向を有している。このことから、既存ボーリングの

土質区分と、地震後の電気探査で得られた比抵抗値を比較し、粘性土と砂質土の境界（粘性土区分の上限値）を比抵抗値  $200 \Omega \cdot \text{m}$  と設定した。また、緩んだ砂質土としてさらに絞り込むための基準値として  $400 \Omega \cdot \text{m}$  も設定している。

#### 4.3 安全性評価結果

設定した  $S$  波速度・比抵抗値の評価基準と、探査結果を基に、図3に示すとおり低速度・高比抵抗領域を地震により緩んだ可能性がある砂質土として絞りこんだ。結果の例を図4に示す。

なお、実際の評価基準は堤体、基盤それぞれに対して設定した上で、評価を行っている。

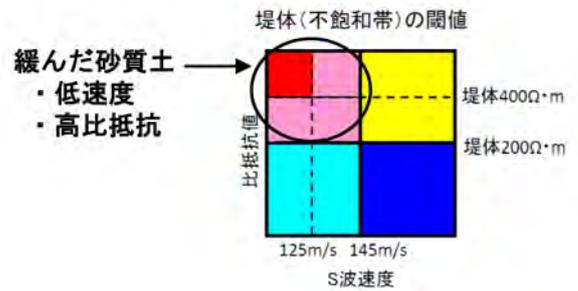


図3 緩んだ砂質土を抽出するために設定した  $S$  波速度・比抵抗の評価基準<sup>1)</sup>

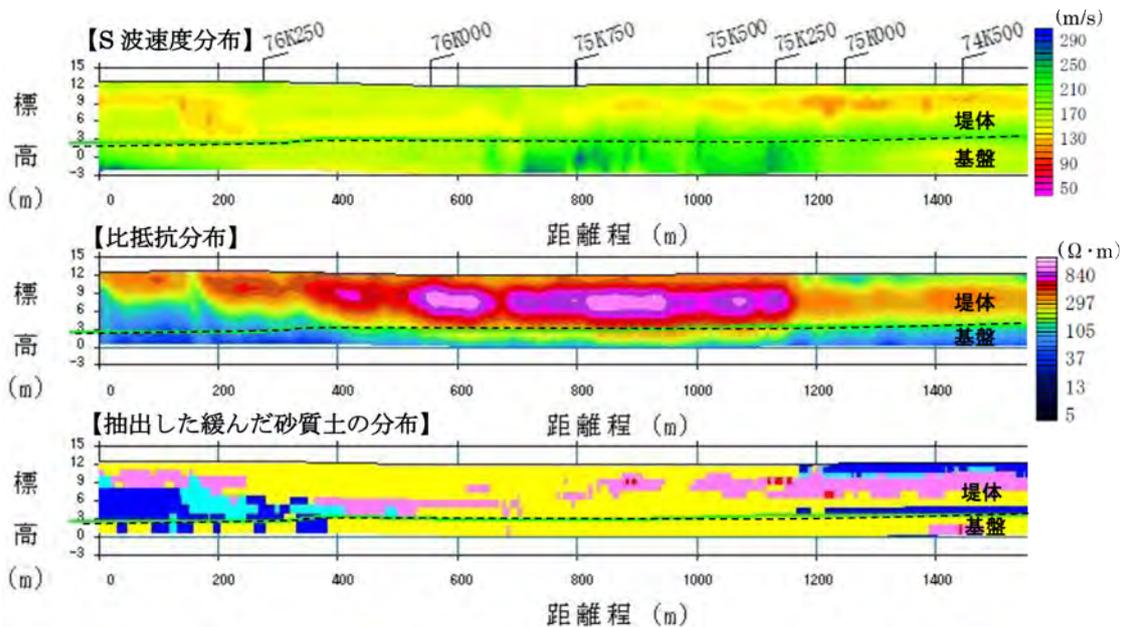


図4 表面波探査及び電気探査結果と抽出した緩んだ砂質土分布の例<sup>1)</sup>

図3,4 提供：国土交通省利根川下流河川事務所

これらの結果から、地震により緩んだ可能性がある砂質土として抽出した箇所を中心に詳細調査としてボーリング調査・サウンディング・室内試験を実施し、地盤性状を確認した。その際、地震発生前の状況との比較が可能となる様に、近傍に既存ボーリング結果等が存在する箇所を調査地点として選定している。

その結果、今回の詳細調査結果と既存調査結果は概ね同程度の値を示すことが確認され、地震の影響による緩みが進行したものではないと判断した。なお、1地点についてはN値が系統的に1～2低下している状況が確認されたため、浸透流解析・安定計算を行い、所定の安全性を確保していることを確認した。

以上の結果を持って、本調査地においては、浸透に対して地震発生前の堤防の機能を有していると判断され、はん濫注意水位や水防団待機水位の基準水位は地震前の基準に戻されることとなった。

## 5. おわりに

本稿で紹介した物理探査手法は、調査対象となる地盤を連続的に、かつ効率的に把握することが出来るという他の調査手法にない大きなメリットを有している。そのため、今回のように延長が長大な河川堤防に対しては、現状ではボーリング結果等の限定された情報から設定されている細分区間の見直しに活用するなど、今後堤防の維持管理を計画していく上で大きく貢献できる手法であると、私は考えている。

ただし、非破壊であるが故に、直接対象地盤を確認できるボーリング調査等に比べ、その分解能や精度に限界があることも事実である。

このような物理探査が持つ長所と限界を正しく認識した上で、他の調査手法の長所と組み合わせ、最も効果的な適用方法をより明確にしていくこと、そしてその結果を多くの方に理解してもらうことで物理探査が今まで以上に社会に貢献できるようまとめていくこと、それが今の私の目標の1つとなっている。

最後に、本稿をまとめるに当たり、国土交通省関東地方整備局利根川下流河川事務所により、業務を通じて得られた成果の利用を承諾頂きました。ここに謹んで感謝致します。

### 〈参考文献〉

- 1) 国土交通省関東地方整備局利根川下流河川事務所：H23 利根川下流左岸堤防物理探査業務報告書，2012.12
- 2) 土木研究所・物理探査学会編：「河川堤防の統合物理探査－安全性評価への適用の手引き－」，愛智出版，2013
- 3) 稲崎富士：「沖積層堆積物のS波速度と土質特性の関係について」，物理探査学会第113回学術講演会論文集，pp.217-220，2005.10
- 4) 国土交通省関東地方整備局：統合物理探査の今後の河川堤防調査に資する知見  
[http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr\\_content/content/000075195.pdf](http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000075195.pdf)  
 (2016年2月2日現在)

# 各地の博物館巡り

三重県津市

## 三重県総合博物館 (MieMu)



三重県総合博物館正面外観

### はじめに

三重県立博物館は、昭和28(1953)年に開館され60年以上の歴史を経た後、平成26(2014)年4月に三重県総合博物館(MieMu)として生まれ変わりました。

MieMuは、「ともに考え、活動し、成長する博物館」を理念として、3つの使命(三重の資産の保全・継承、人づくりへの貢献、地域づくりへの貢献)を達成するための交流創造エリア、展示エリア、ミュージアムフィールドという3つのエリアからなる総合博物館です。

### エリア紹介

館内は次のようなエリアとなっています。

#### ■ エントランスエリア 2F

エントランスホール、飲食・休憩スペース、ミュージアムショップ

#### ■ 交流創造エリア 2F, 3F

学習交流スペース、こども体験展示室、三重の実物図鑑、レファレンスカウンター、レクチャールーム、実習室、資料閲覧室、交流活動室、オオサンショウウオ飼育水槽、飲食、休憩スペース

#### ■ 展示エリア 2F, 3F

基本展示室、企画展示室、交流展示室

していたミエゾウの全身復元骨格が展示されています。この他にも学習交流スペース、こども体験展示室、三重の実物図鑑など、三重の自然と歴史・文化に関する利用者の多様な興味や関心、目的に応える活動を展開する開放的な空間となっています。



写真1 ミエゾウ全身復元骨格



写真2 来館者が活動の場として利用できる学習交流スペース

### 交流創造エリア

交流創造エリアでは、430万～300万年前に生息

## 展示エリア

展示エリアは基本展示室と企画展示室があり、両方を連携させて大規模な全国巡回展や自主企画展、県民との協創交流展などの組み合わせで、多様な三重の魅力を紹介しています。

基本展示は、大杉谷・大台ヶ原、鈴鹿山脈、伊勢湾、熊野灘に代表される三重の特徴的な自然環境を配置し、その中で育まれた人・モノ・文化の交流史を見ることができます。また、その間には山、盆地、平野、磯の4つの視点から人の暮らしと自然の関わりをさまざまな形で展示して、三重の自然と歴史・文化を総合的に表現したものとなっています。

企画展示では、基本展示を発展させ、三重の豊かな自然と歴史・文化を多角的・多面的に、または全国的な視野から紹介するために、複数のテーマによる大小さまざまな展示をフレキシブルに組み合わせ紹介しています。



写真3 鳥羽市砥谷海岸のメランジュの模型 (基本展示室)



写真4 さまざまな展示を行う企画展示室(平成27年秋には、F1と鈴鹿サーキットをテーマにした展示を開催)

## ミュージアムフィールド

建物の周りには、「交流の広場」、「野外学習スペース」、「観察の森」などのミュージアムフィールドが



写真5 「交流の広場」と「観察の森」

あり、敷地内に残る緑を活かした自然環境を感じることができます。また、建物とその周辺も自然環境に配慮して太陽光発電や雨水利用、樹木の再利用などさまざまな環境への負荷を軽減する技術が導入されています。その中でも総延長5,450mの熱交換井による地中熱利用空調熱源システムの導入により、CO<sub>2</sub>の削減や省エネルギーを実現するとともに、室外機の騒音を無くすことにより、周辺地域の環境に配慮した施設となっています。

## ご案内

### ●住所・電話番号

- 三重県津市一身田上津部田 3060
- TEL : 059-228-2283 ●FAX : 059-229-8310

### ●アクセス

- 津駅西口から総合文化センター行きバス「総合文化センター」下車すぐ
- 伊勢自動車道「津IC」から約10分

### ●開館時間

- 交流創造エリア 午前9時～午後7時
- 展示エリア 平日：午前9時～午後5時  
土・日・祝：午前9時～午後7時  
(最終入場は、閉場30分前まで)

### ●休館日

- 月曜日 (祝日の場合は翌日)、年末年始 (12/29～1/3)

### ●料金

- 基本展示室 一般510円(400円) 学生300円(240円)  
高校生以下無料 ※ ( ) 内は団体料金
- 企画展示 展覧会ごとに別途料金を定めます。

### ●ホームページ

- <http://www.bunka.pref.mie.lg.jp/MieMu/>

[中部地質調査業協会 東邦地水株 奥村 建夫]

# 大地の恵み

## 九州の炭田・炭鉱

### 1. はじめに

日本の産業革命をささえ、土木地質学・応用地質学の原点ともいえる、まさに「大地の恵み」である石炭の話をしようと思います。

### 2. 九州の炭田

炭田とは、地学事典（地学団体研究会）によれば、炭量・炭質ともに経済価値のある炭層が豊富に産する地域と定義されます。九州に存在する主要な炭田は、福岡、佐賀、長崎および熊本の4県にわたり、かつて国内第一の石炭産地でした。

これらの挟炭層は、いずれも新生代古第三系に属し、その分布は東西約140km、南方約200kmにわたります。福岡県では筑豊炭田を中心とし、これを廻って小倉・宗像・糟屋・福岡および朝倉の小炭田があります。九州の北西部では、佐賀県の唐津炭田、長崎県の佐世保（北松）炭田、崎戸松島炭田（西彼杵炭田）、世界産業遺産の一つに認定された軍艦島（端島）で有名となった、高島炭田（西彼杵炭田）があります。また、福岡県、熊本県の県境に三池炭田、熊本県南西部に天草炭田があります（図-1）。

さて、北部九州における石炭採掘は、15世紀にはすでに始まっていたと考えられています。19世紀に入ると、本格的に採炭が行われ、産業として成り立っており、1830年代には当時の各藩で組織的に展開されていました。1885年には約700坑が稼行しており、大手炭鉱ではすでに坑内排水設備を備え、大規模に採掘を行っていました。

かつて国内最大の産炭地域であった筑豊炭田で、記録に残る132の炭鉱についてみると、最も古いものは1874年（明治7年）に開山した飯塚市の目尾（しゃかのお）炭鉱でした。一方最後まで稼行した炭鉱は鞍手郡宮田町の貝島炭鉱で、1976年（昭和51年）に閉山しました。

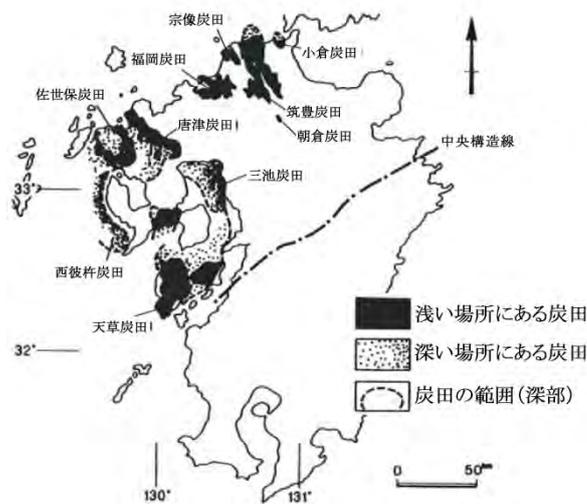


図-1 九州の炭田<sup>1)</sup>

これらの炭鉱の稼行期間（石炭採掘の操業を稼行といいます）は鉱区の規模や地質構造、賦存する炭層の枚数などに規制され、平均的な稼行期間は20年程度でした。短いものは1年で閉山しましたが、最も長いものは北九州市八幡西区の大辻炭鉱で、89年間続きました。

九州北西部に位置する崎戸松島炭田、高島炭田や三池炭田では、立坑や斜坑により地下深くの炭層に至り、数km<sup>2</sup>以上に達する海底炭鉱として稼行され、崎戸松島炭田の池島炭鉱が九州最後の炭鉱として、2001年（平成13年）に閉山しました。

### 3. 石炭開発と地質技術

平成27年、高島炭鉱の端島（軍艦島）は他の構成資産とともに、「明治日本の産業革命遺産」として世界産業遺産に認定されました。高島炭鉱や松島炭鉱は、小さな島にあった炭層露頭からその開発が始まったと言われています。高島炭鉱ではイギリス人のグラバーが立坑を掘り、蒸気ポンプで

坑内の水をくみ出し、石炭採掘をはじめました。また、明治政府がアメリカから呼んだお雇い外国人技師のライマンは、日本に実用的な地質学を伝え、当時の石炭地質技術者は、傾斜した炭層露頭から海底へ続く石炭層を想像し、地質調査・採掘計画を立てました。石炭開発では、探査に基づく予測が必ず掘って確かめられるのが常識であり、当時の石炭や鉱山地質技術者は社会的に高い評価・恩恵をうけていました。図-2に、軍艦島(端島)の、総合事務所・二坑口棧橋付近の、現在の様子を示します。



図-2 軍艦島(端島)の現在のようす

図-3に、筑豊炭田の田川地区における、各炭鉱で出現する炭層を柱状図として対比した図面を示します。このように、産炭地域では、地質技術者の努力によって詳細な地質データや採掘データが残されており、インフラ整備や、採掘跡空洞(いわゆる古洞)を素因とする浅所陥没現象の対策に必要な地質調査を行う上で、非常に重要で貴重な地質資料となっています。正に、地質データは石炭技術の歴史を物語る技術遺産といえます。

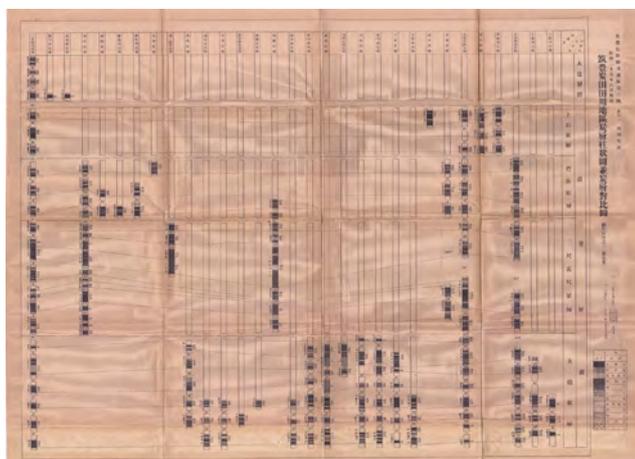


図-3 筑豊炭田田川地区における炭層対比図<sup>2)</sup>

#### 4. 石炭開発が残したもの

石炭の採掘方法は大きく、地下深部で行われる短壁式・長壁式採掘と、地下浅部で行われる残柱式・柱房式採掘に分類されます。短壁式・長壁式採掘は面的にほとんどの石炭層を採掘することから、いわゆる盆状沈下と呼ばれる沈下現象が発生し、石炭採掘後数年で沈下の進行が終息します。浅い採掘では、地表に影響を及ぼさないよう一般に残柱式・柱房式採掘が行われます。この採掘方法では、長壁式採掘と異なり採掘後も空洞が崩落せずに残るため、多数の「古洞」が残存し、この直上で浅所陥没が発生しています(図-4)。



図-4 柱房式採掘箇所の陥没事例

採掘跡空洞は人為によるものであり、その採掘された時代の採掘技術、経済的社会的背景を考えることが重要です。空洞の対策については、工法の長所や欠点を熟慮するとともに、事業の計画段階から古洞の問題を認識し、採掘や陥没の履歴調査を十分に行い、最小の対策数量とする合理的な調査、設計が望まれます<sup>3)</sup>。

石炭開発において培われてきた地質技術・成果を再度見直し、地質技術の基礎として継承していくことが必要と思います。

[日鉄鉱コンサルタント(株)福岡支店 技術本部長 牧野 隆吾]

#### 〈参考文献〉

- 1) 日本応用地質学会九州支部 1999;九州の大地とともに,pp.143,築地書館. に一部加筆.
- 2) 九州石炭技術連盟 1957;筑豊炭田田川地区炭層柱状図並炭層対比図.
- 3) 牧野隆吾・Ibrahim DJAMALUDDIN・江崎哲郎 2010;石炭採掘跡の陥没現象の解明およびその調査・対策に関する研究.応用地質,第51巻,第2号,p73-84.

# 各地の残すべき

## 地形・地質

### 「松島」の景観をささえる地質（宮城県）

#### 1. はじめに

宮城県中部にある日本三景・松島（図-1）は、平安時代から歌に詠まれ、江戸・文政年間にはビュースポットとして富山からの「麗観」など「松島四大観」も紹介され、著名な観光地として現在に至っている。

一方、人々を魅了する多島海の特異な景観は不変ではない。島々の形は元来自然の営力で刻々と変化しており、また、最近では人間活動による影響も見逃せない。

しい成層構造が随所に見られる（写真-1）。



写真-1 松島四大観のうち多聞山からの「偉観」。島の基盤は整然と南東傾斜する砂質凝灰岩からなる。

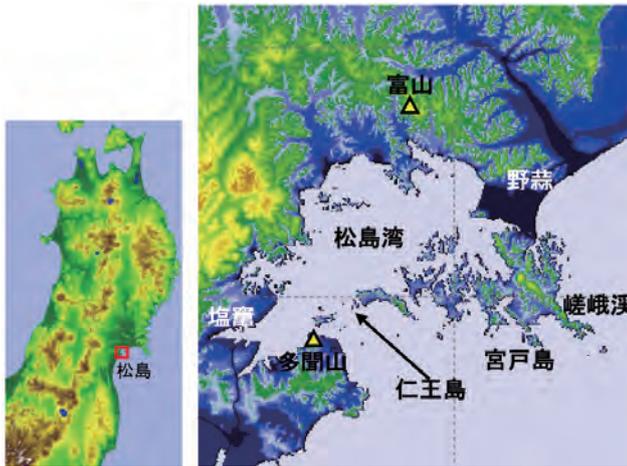


図-1 位置図（カシミール 3D による）

一般の観光ルートから離れるが、多量のシルト岩巨礫の乱堆積や層内断層の発達といった、特徴的な層相・構造を大露頭で観察できる島もあり、地質学的にも大いに興味を引かれる（写真-2）。



写真-2 宮戸島南東端の露頭（ほんの一例）

#### 2. 松島の地形と地質

宮城県北部から松島にかけて丘陵が連なり、さらに南方海域には、波浪侵食によって沈水した岩礁群が連続している。基盤岩は、新第三系中新統の水中堆積した酸性凝灰岩類や火山噴出物、海成のシルト岩砂岩互層などからなる松島湾層群である。これらは概ね NNW-SSE 方向の軸を有するゆるやかな褶曲構造を示すため、湾内の島々では美

### 3. 変わりゆく松島

島々の基盤岩の岩質は、火山噴出岩を除けば軟質であるが、細粒・緻密なシルト岩等は侵食に強く、粗粒で膠結度の弱い砂質岩は選択的に侵食が進む傾向にある。また、地質によって節理や小断層の発達程度に差も見られる。こうした素材があって、島の形は海食、冬期間の凍結による侵食を主にして、地震、台風、高潮などによる岩盤崩落を加え、さまざまな形に変化していく。

「仁王島」の変容は著しい。同島は砂岩シルト岩互層を頭部に、侵食抵抗性の弱い軽石凝灰岩を首部に、凝灰角礫岩を肩から胴部に見立てた観光の目玉である。しかし、大正時代には怒り肩で巖つい顔だったものが、今ではなで肩で柔和に、首は50年間で半分程度の細さになったとされる。このため、昭和40年代からこれまでに複数回、保全対策工事・補修工事が施され、現在に至っている(写真-3)。初期の工事で用いた鉄筋が侵食でむき出しになり、鉄さびが血の流れにも見え痛々しかったが、至近の工法では、より原岩に近い材料を用いて景観保全する努力が払われている。同島は2011年3.11大地震による揺れと津波にも耐え残り「仁王様」の威厳を保っている。



図-3 「仁王島」の現状。首部の保全対策工により頭部は安定化している(2005年応用地質学会東北支部現地見学会資料より)

宮戸島は外洋に面しているので、内湾以上に波浪侵食の影響が大きい。特に3.11大地震により、既存の節理・断層などの分離面に沿った崩壊が顕在化している(写真-4)。ここでは露頭下部の軽石凝灰岩では疎に分布する小断層に沿って海食洞が形成されているが、上部の細粒層では地震により縦節理沿いに細かく崩落し、乱杭歯状に残存している。

同島・嵯峨溪の「ミサゴ島」は、薄層理を示す軽石凝灰岩からなるが、共役性の層内断層の下部が海食洞になって、上部岩が翼を広げているミサゴに見立てて命名されたとされる。地震後にはアーチ部が層内断層に沿って滑落し、島は二つに分断

された。残された面はまるでナイフで切ったように平滑な断層面が露出している(写真-5)。



写真-4 巨大地震後の宮戸島の崩壊例(2014年11月撮影)



写真-5 巨大地震前後の「ミサゴ島」  
上(2006年9月撮影)下(2014年11月撮影)

### 4. おわりに

上述のような自然現象による変化に加え、人為的な堆積物の量・質・移動経路の変化も景観に大きな影響を与えている。明治の野蒜築港の失敗と海岸漂砂の影響とが複合し、宮戸島が陸繋島化したことや、河川改修などによる湾内の泥の堆積、富栄養化など、海面下も含めた周辺環境は大きく変化している。こうした自然・人為も含めて大きな景観変化のプロセスを理解した上で、景観保全のあり方、対策やその限界を考えていきたいものである。

[(株)東北開発コンサルタント 橋本 修一]

# 防災科学技術研究所における 火山活動の観測予測研究への取り組み

たなだ としかず  
棚田 俊收\*

# K

Key Word 火山観測, V-net, データ流通, データ公開, 地震活動, 地殻変動,  
火口域の温度分布, マグマ

## 1. はじめに

防災科学技術研究所における火山観測研究は、1968年硫黄島での調査で始まり、その後、伊豆大島や富士山、三宅島等へと展開してきた。これらの火山における観測網整備に合わせ、1990年には火山噴火予知に関する研究プロジェクトが立ち上がり、2001年の独立行政法人化以降は中期計画に基づいて火山研究が進められた<sup>1)</sup>。

第1期中期計画では、「火山噴火予知に関する研究」という課題のもと連続観測方式の強化とリモートセンシング技術の導入が図られた。第2期中期計画「火山噴火予知と火山防災に関する研究」では、地震・地殻変動データの異常検出の自動検出やリモートセンシングの高度化、溶岩流などのシミュレーションによる火山防災への導入がおこなわれた<sup>2)</sup>。

2011年4月から始まり、2016年3月で完了する第3期中期計画「火山活動の観測予測技術開発」においては、火山観測網の増設や火山活動評価手法の開発、さらには火山活動とその災害統合評価に関する技術開発に取り組んできた<sup>3)</sup>。

以下では、第2期から第3期中期計画における観測網の強化とデータ公開、最近の火山活動に対する取り組みなどを紹介する。

## 2. 火山観測網 (V-net) の誕生

2001年以前に観測研究の対象としてきた火山は伊豆諸島や関東近辺の硫黄島や伊豆大島、富士山、三宅島、那須岳の5火山が主であった。2008年には、将来に向けた火山観測研究体制のあり方が、科学技術・学術審議会測地学分科会火山部会において

議論された。結果、防災科学技術研究所は火山観測網の強化及び火山噴火の可能性の高い地域におけるモニタリングの重点的強化の役割を担うこととなった。

火山観測網の強化として、従来の5火山に加え、北海道地域では十勝岳、有珠山、北海道駒ヶ岳、樽前山の4火山、東北・関東地域では岩手山、草津白根山、浅間山の3火山、九州地域では阿蘇山、霧島山、雲仙岳、口永良部島の4火山の計16火山において観測施設の整備をおこなってきた。

モニタリングの重点的強化として、マグマの動きに関わる地震活動や火山性微動、低周波地震を捉えるために短周期地震計や広帯域地震計を、マグマ蓄積や放出に伴う山体の膨張・収縮や傾きを観測するためにGNSS (GPS) や傾斜計を1セット(図1)として、ひとつの火山に複数箇所整備した<sup>4)</sup>。

このような機器を有した観測施設を「基盤的火山観測点」、従来の5火山のように埋設型地震・傾斜計を有するがGNSS (GPS) や広帯域地震計が敷設されていない観測点を「準基盤的火山観測点」として扱うこととし、これらの火山観測網全体を「V-net」と称することとした。現在は16火山55箇所観測を維持している。

なお、基盤的火山観測点では、埋設型の短周期地震計と傾斜計を設置するために深度200mまでの掘削をおこなっている。この掘削時には、岩石試料として全コアが採取されており、その地質学的な分析から火山噴火史構築に役立てている。<sup>5) 6)</sup>

## 3. V-net データの流通および公開

観測されたデータは、観測小屋内でAD変換さ

\*国立研究開発法人 防災科学技術研究所 観測・予測研究領域 地震・火山防災研究ユニット

れ地震・火山分野で用いる特殊フォーマットでパッケージ化され、専用の IP-VPN 通信網を通して防災科学技術研究所へリアルタイムで伝送されている。

伝送されてきたデータは所内のデータセンターで連続蓄積されるだけでなく、気象庁や大学へリアルタイムで送られ、監視・研究業務に活用される。また、地方自治体や一般の方々が利用できるような仕組みも整っている。<sup>7)</sup>

防災科学技術研究所の火山観測管理室ではオペレータによってデータ品質が精査され、震源決定や異常地殻変動等の自動・再観測処理がなされる。<sup>8)</sup> 処理された過去の震源分布や連続波形画像はホームページの火山活動連続観測網 (VIVA)<sup>9)</sup> や基盤的火山観測網 (V-net)<sup>10)</sup> の web ページにおいて表示されている。

火山活動連続観測網 (VIVA) の web ページにおいては、詳細な連続波形画像や短周期地震の 1 分間の平均振幅変化、傾斜計変化のグラフが公開されている。基盤的火山観測網 (V-net)<sup>10)</sup> の web

ページにおいては、その趣旨や方法を理解した上で、必要な期間と観測点のデータをダウンロードできる。

#### 4. 最近の火山活動への主な取り組み

ここ 10 年間の火山活動への主な取り組みを記す。

2011 年霧島山新燃岳噴火においては、2010 年 4 月より新たに観測を開始した V-net 観測点 2 箇所間の距離変化から山体の膨張と噴火に伴う収縮、さらには膨張の再発と停止という観測結果が得られ、マグマ蓄積モデルや噴火過程を明らかにすることができた。<sup>11) 12) 13)</sup> また、衛星搭載型合成開口レーダ (SAR) を活用することで、新燃岳火口内溶岩の噴出過程やその後の変化を検出することに成功した。<sup>14) 15)</sup>

富士山においては、東北地方太平洋沖地震の誘発地震のひとつと考えられる静岡県東部地震 (M JAM = 6.4) が 2011 年 3 月 15 日に南麓で発生

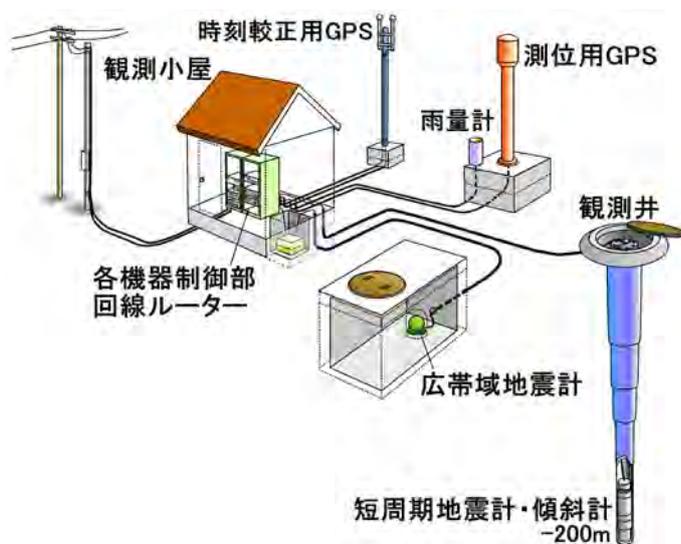


図1 火山観測施設のイメージ図と浅間山高峰観測点の写真



図2 降灰分布の調査



ほぼ同アングルの写真

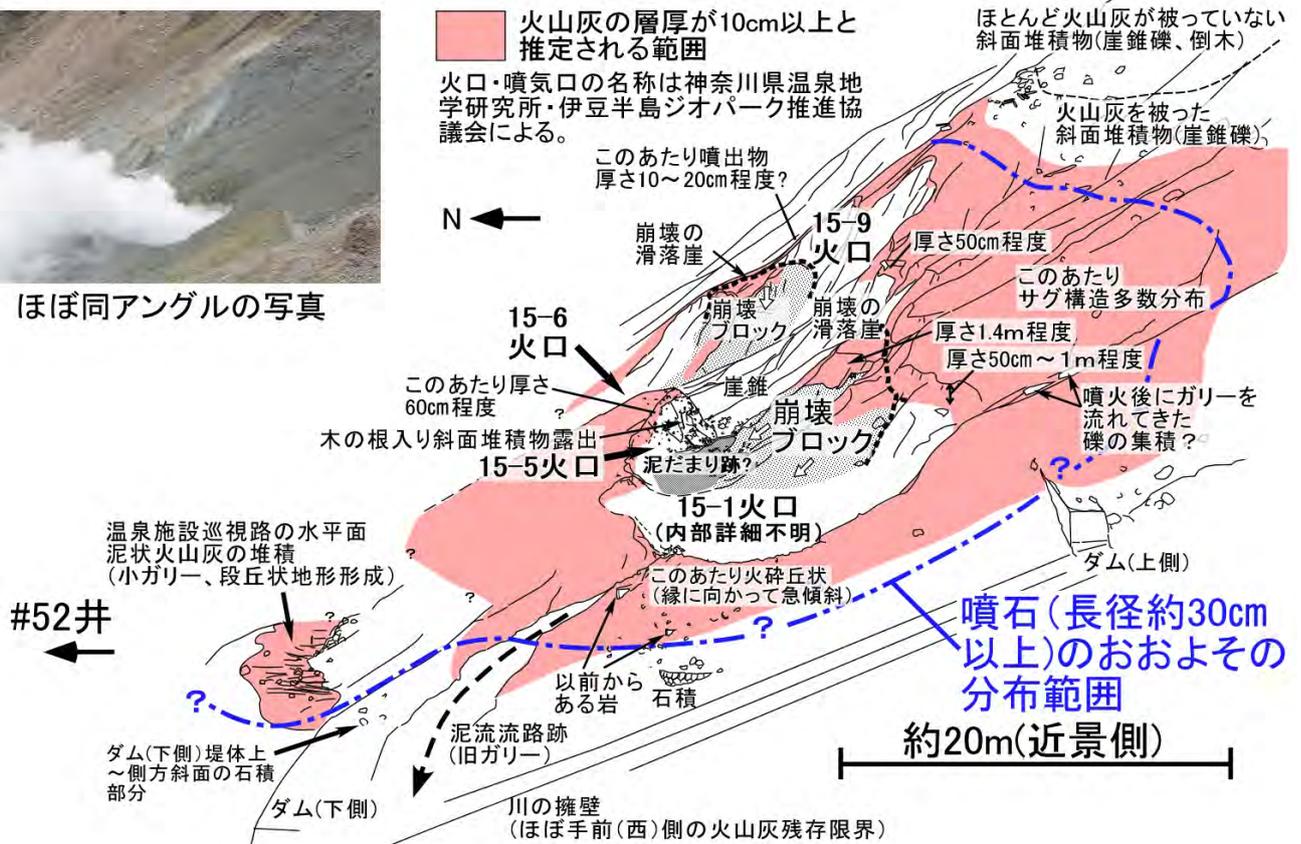


図3 箱根山火口周辺のスケッチ

した。GNSS データ等の地殻変動データより断層モデルを構築するとともに、この断層パラメータをもとに、有限要素法を用いてマグマ溜まりへの影響評価として応力場の計算がなされた。<sup>16)</sup>

航空機を用いた火口内の温度分布調査は、1990年より火山専用空中赤外映像装置(VAM-90A)による観測が続き、雲仙岳を初めとして15火山において42回の観測をおこなった。その後、VAM-90Aの後継機種として航空機搭載型ハイパースペクトルスキャナ(ARTS)が2006年に完成し、2008~2011年の間に、浅間山3回、阿蘇山2回、桜島3回、霧島山新燃岳2回、三宅島1回の観測をおこない、火口域の温度分布およびその時間的な変化を把握し、活動評価の指標のひとつとして解析結果を提出してきた。<sup>17) 18)</sup>

2014年から2015年にかけては、御嶽山、口永良部島、箱根山、阿蘇山等で噴火が起こった。これらの火山に対し、噴火前後におけるV-netやSARデータの変化から噴火の前兆や火山灰調査をおこなった。

例えば、2014年の御嶽山や口永良部島噴火では、

現地調査をおこない降灰分布(図2)や火山灰の化学的分析からマグマ性噴火か水蒸気噴火等の噴火タイプを推定した。2015年の阿蘇山噴火では、V-netとSARデータを組み合わせ、噴火推移を説明した。さらに、箱根山の小規模噴火では、火口周辺の詳細なスケッチ図(図3)を作成し、火山噴火予知連絡会<sup>19)</sup>に報告した。

最後に、NPO法人日本火山学会火山防災委員会の協力を得て「日本の火山ハザードマップ集」の初版を2006年に、第2版を2013年に出版した。<sup>20) 21)</sup> 第2版には、1983年から2012年に至るまでに日本で公表された活火山のハザードマップや防災マップが網羅されている。併せて、火山ハザードマップデータベース<sup>22)</sup>においても、その内容を公開し、利便性を図ってきた。

## 5. おわりに

中期計画の火山防災研究に基づき、新しい火山観測点の増設やデータ共有化システムの運用をおこなってきた。突発的な噴火に対して、V-net観測

データに加え、リモートセンシング技術やシミュレーション解析をおこない火山活動の評価を火山噴火予知連絡会に随時報告し、火山活動とその災害統合評価に関する技術開発に取り組んできた。

今後の防災科学技術研究所における役割は、5火山から16火山の観測研究や活動評価だけではなく、国内全体の火山研究や教育の向上の一翼を担いながら火山防災・減災に貢献していく予定である。

#### 〈参考文献〉

- 1) 防災科学技術研究所:「防災科学技術研究所45年の歩み」,「防災科学技術研究所資料」,No327, pp72-77, 2009.3
- 2) 鶴川元雄:「火山噴火予知と新しい「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」」,「防災科研ニュース“夏”」,No168, pp12,2009.7
- 3) 棚田俊收:「火山活動の観測予測技術開発」,「防災科研ニュース“春”」,No176, pp8-9,2012.3
- 4) 鶴川元雄, 上田英樹, 藤田英輔, 小澤拓, 山本英二, 松本拓己, 實測哲也, 長井雅史, 小園誠史, 河野裕希, 棚田俊收:「防災科学技術研究所による基盤的火山観測網の整備」,「日本火山学会講演予稿集2010年度秋季大会」,p08, 2010.9
- 5) 長井雅史, 中田節也, 高橋正樹, 安井真也, 鶴川元雄, 小園誠史, 金丸龍夫, 金子隆之, 武尾実:「浅間山鬼押出火山観測井コア試料の岩相と層序」,「防災科学技術研究所研究資料」,No357, pp1-32, 2011.2
- 6) 長井雅史, 中田節也, 小林哲夫, 藤田英輔, 小園誠史, 武尾実:「霧島山万膳および夷守台火山観測井コア試料の岩相記載」,「防災科学技術研究所研究資料」,No374, pp1-49, 2013.3
- 7) 棚田俊收, 上田英樹, 河野裕希, 藤田英輔, 小園誠史, 長井雅史, 小澤拓, 實測哲也, 鶴川元雄:「防災科学技術研究所基盤的火山観測網(V-net)データの流通および公開について」,「日本火山学会講演予稿集2011年度秋季大会」,p39, 2011.10
- 8) 上田英樹, 藤田英輔, 鶴川元雄, 山本英二:「リアルタイム傾斜データを用いた火山性異常地殻変動の自動検出と暫定変動源モデル自動推定手法の開発」,「防災科学技術研究所研究報告」,No76, pp21-32, 2010.2
- 9) 防災科学技術研究所:火山活動連続観測網VIVA ver.2, [http://vivaweb2.bosai.go.jp/viva/v\\_index.html](http://vivaweb2.bosai.go.jp/viva/v_index.html) (2016年2月14日現在)
- 10) 防災科学技術研究所:基盤的火山観測網火V-net, <http://www.vnet.bosai.go.jp/> (2016年2月14日現在)
- 11) 上田英樹, 棚田俊收, 河野裕希, 藤田英輔, 小園誠史, 長井雅史:「霧島山(新燃岳)の地震活動・地殻変動」,「火山噴火予知連絡会会報」,113, pp175-178, 2014.1
- 12) Ueda,H., Kozono,T., Fujita,E., Kohno,Y., Nagai,M., Miyagi,Y., and Tanada,T.:「Crustal deformation associated with the 2011 Shinmoe-dake eruption as observed by tiltmeters and GPS」,「Earth, Planets and Space」,65, pp517-525, 2013.3
- 13) Kozono, T., Ueda, H., Ozawa, T., Koyaguchi, T., Fujita, E., Tomiya, A., and Suzuki, Y.J.:「Magma discharge variations during the 2011 eruptions of Shinmoe-dake volcano, Japan, revealed by geodetic and satellite observations」,「Bulletin of Volcanology」,75:695. doi:10.1007/s00445-013-0695-4, 2013.3
- 14) Ozawa, T. and Kozono, T.:「Temporal variation of the Shinmoe-dake crater in the 2011 eruption revealed by spaceborne SAR observations」,「Earth, Planets and Space」,65, pp27-537, 2013.5
- 15) 宮城洋介, 小澤拓, 棚田俊收, 島田政信:「霧島山・新燃岳に対する TerraSAR-X/InSAR 解析の結果」,「火山噴火予知連絡会会報」,113, pp179-181, 2014.1
- 16) Fujita, E., Kozono, T., Ueda, H., Kohno, Y., Yoshioka, S., Toda, N., Kikuchi, A., and Ida, Y.:「Stress field change around the Mount Fuji volcano magma system caused by the Tohoku megathrust earthquake, Japan」,「Bulletin of Volcanology」,75:679, 2013.1
- 17) 實測哲也:「ARTSにより計測した浅間山の火口内温度分布-(2007年4月から2010年3月)-」,「防災科学技術研究所研究資料」,No355, pp1-28, 2011.1
- 18) 實測哲也:「航空機搭載型光学スキャナーによる火山災害の観測」,「光学」,43(2), pp66-72, 2014.
- 19) 防災科学技術研究所, 産業技術総合研究所, 山梨県富士山科学研究所, 神奈川県温泉地学研究所, 伊豆半島ジオパーク推進協議会:「箱根山大涌谷2015年噴火火口の遠望観察」,第133回火山噴火予知連絡会資料, 2015.10
- 20) 中村洋一, 荒牧重雄, 佐藤照子, 堀田弥生, 鶴川元雄:「日本の火山ハザードマップ集」,「防災科学技術研究所研究資料」,No292, pp1-20, 2006.3
- 21) 中村洋一・棚田俊收・荒牧重雄・堀田弥生:「日本の火山ハザードマップ集 第2版」,「防災科学技術研究所研究資料」,No380, pp1-186, 2013.7
- 22) 防災科学技術研究所:火山ハザードマップデータベース <http://vivaweb2.bosai.go.jp/v-hazard/> (2016年2月14日現在)

## 土地の成り立ちを知り 土砂災害から身を守る

一般社団法人日本応用地質学会 広島大規模土砂災害調査団  
中国四国支部 災害地質研究部会



2014年8月20日の未明に広島市安佐南区、安佐北区において発生した土砂災害では多数の犠牲者が出るなど、豪雨に起因する甚大な災害であったことは記憶に新しいところである。マスコミでは多数の地質・地盤関係の専門家の方々による災害の地質的な素因について、花崗岩の風化であるというような一般論をはじめ様々な意見が述べられており、果たして真実はどのようなのだろうかと考えさせられた。これもまたマスコミ報道を通して得た情報ではあるが、被災地は過去の土石流によって形成されたと思われる扇状地の斜面であり、なぜこのような地域に宅地開発がなされたのだろうかという疑問を持った。このような疑問は、多くの地質・地盤関係者が抱いたであろうことは想像に難くない。

日本応用地質学会では、このような疑問も含めて災害状況を明らかにするために、災害後、直ちに千木良雅弘京都大学防災研究所教授を団長とする調査団を結成し、主に中国四国支部の会員および災害地質研究部会の委員を団員として、複数回に及ぶ現地調査が行われた。本書はその現地調査の結果などをとりまとめたものである。なお、本報告書が刊行されたのは、2015年12月であるが、これに先立ち2015年2月21日に広島市にて調査報告会（主催：日本応用地質学会，協賛：中国地質調査業協会）が開催されている。

本書は、鈴木隆介中央大学名誉教授による特別寄稿「2014年の広島土石流災害に関する地形学的所見」、第一部「広島大規模土砂災害についてとも

に学び考える」および第二部「広島大規模土砂災害の現地調査報告」から構成されている。

第一部は次の6論文からなっているが、2月に開催された報告会でのアンケート結果を基に、各講演者にわかりやすい記述を依頼したとのことで、今回の災害も含めて広島市の災害特性について述べられている。

- 山津波（土石流）の実像に迫る（横山俊治）
- 八木地区に残る土砂災害伝説（小笠原洋）
- 広島市の都市開発の歴史と災害リスクの変遷をたどる（加藤弘徳）
- 広島市の地形の成り立ちと土砂災害のリスク（小林浩）
- 災害の原因としての都市計画と法規制運用上の問題点（釜井俊孝）
- 広島土砂災害調査団報告会「平成26年広島土砂災害に学ぶ」開催報告（広島災害調査団報告会 実行委員会）

第二部は次の8論文から構成され、今回の災害について様々な観点から報告されている。

- 2014年広島豪雨による土砂災害の地質規制（千木良雅弘・松四雄騎）
- 雨の降り方と土砂災害の発生との関係について（中井真司）
- 地質の違いから見た土石流の個性と被災状況（曾我部淳・宮本新平）
- ホルンフェルスと花崗岩：土石流に違いはあったか？（田近淳）
- 平成26年8月広島土砂災害の沖積錐の地形・地質学的特徴（稲垣秀輝）
- 広島安佐南区の土石流視察報告（田村浩行）
- 2014年8月広島災害と水文地質状況（栢木智明ほか）
- 改正土砂災害防止法の課題（長谷川修一・野々村敦子）

これらの論文のなかから、土石流発生の地質的要因に関する部分のみ紹介すると次のようである。粗粒花崗岩の分布域で多くの崩壊が発生したが、崩壊面は、マサ土ではなく、マサで発生した。しかし、マサで発生した崩壊の多くは、土石流化していない。細粒花崗岩を被覆している岩屑堆積物の中で崩壊が発生し、土石流化した（以上、横山論文）。花崗岩地域の崩壊にはマイクロシーティ

ングの発達した中粒-粗粒花崗岩の表層に形成された土層の崩壊が多い。他方、ホルンフェルス地域の崩壊には、噴出孔型の崩壊が非常に多かった。八木3丁目の沢では、シーティングと高角度節理で分離された大岩塊がゆるんでおり、それが土石流に巻き込まれ、大きな破壊力を持った（以上、千木良・松四論文）。

以上のような土石流発生の地質的素因に言及した論文のほかにも、被災地の八木地区に残る土砂災害伝説、都市開発と災害リスクの変遷、都市計画法・建築基準法・土砂災害防止法・改正土砂災害防止法の問題点など、通常の地質関係の災害報告書にはみられない論文も含まれ、崩壊・土石流災害の全容を知るには格好の書籍である。ぜひ、災害・防災地質関係者はじめ、多くの地質・地盤関係者にご一読をお勧めしたい。

（一般財団法人ダム技術センター 脇坂 安彦）

# 「東日本大震災の復旧、復興への二つの提言」 — 提言内容への対応状況報告 —

(一社) 全国地質調査業協会連合会は、平成 23 年 6 月に「東日本大震災の復旧、復興への二つの提言」を公表して活動を展開してまいりました。

大震災の発生から 5 年目を迎えた今、提言内容への対応状況について報告します。

平成 28 年 3 月  
一般社団法人全国地質調査業協会連合会  
会長 成田 賢

## 〈提言の概要 (平成 23 年 6 月)〉

この未曾有の大震災からの復旧・復興とこれを契機とした災害に強く地球環境にやさしい日本国土の形成は全国民が望む課題であります。これこそが世界に責任ある国としての国土再生への取組みと捉えるものであります。そのためには、まだ十分とはいえない日本における地盤情報の活用促進と地盤性状を十分把握した持続可能な都市防災への対策促進は重要な課題と考えます。

ここに、東日本大震災の復旧・復興事業のベースとなる、2つの事業の実施を提案するものであります。

## 提言 1 地盤情報の活用促進

提言内容 電子化した地盤情報の利活用の促進

状況報告

1. 総務省のユビキタス事業の一環として以下の事業を実施した。
  - ① 「ICT を活用した地盤情報の利活用 —テーマ：防災—」 事業
  - ② 「国や地方自治体の保有する地盤情報の整備活用 —オープンデータという観点から」 事業
2. 地方自治体にコンタクトし、地盤情報の提供を促す活動を行った。
3. 前記の活動を展開するためのPR資料として以下の2つのガイドブックを作成し、当連合会の地区協会組織を動員してPR活動を展開した。
  - ・地盤情報の電子納品ガイドブック
  - ・CIM 対応ガイドブック—地質調査版—

## 提言 2 都市地盤災害への備え

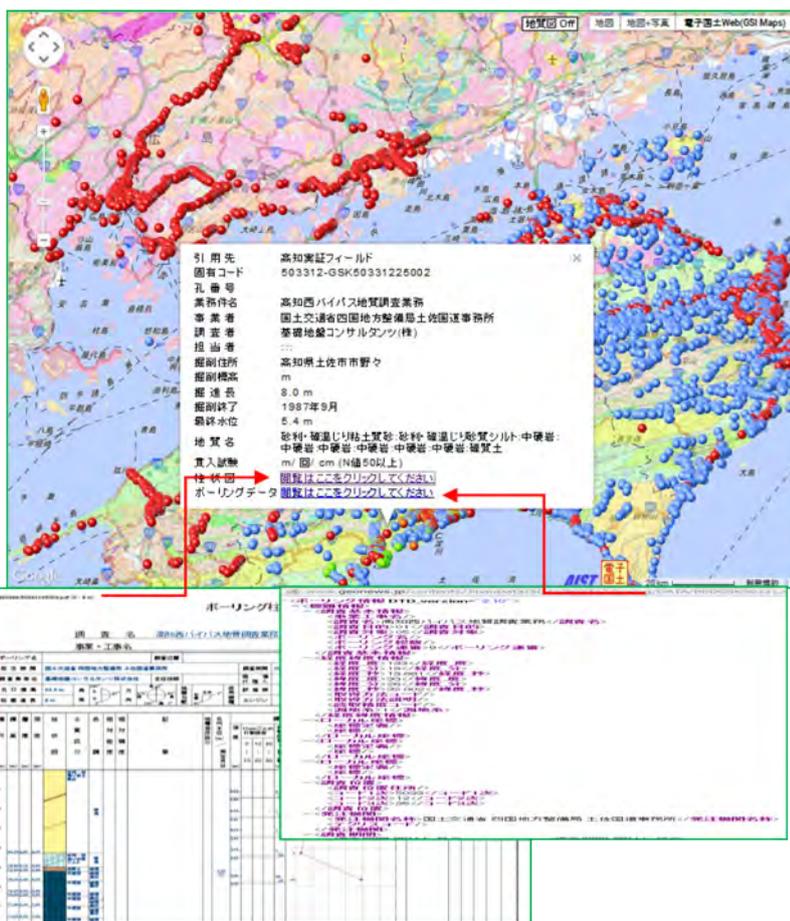
提言内容 都市地盤災害に関する広報活動と地盤災害の被害軽減のための取組み

状況報告

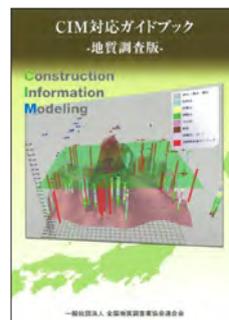
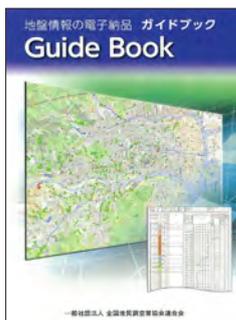
1. 広報用冊子「日本ってどんな国」を作成し広報活動を展開した。
2. 地盤情報の有効活用が防災に繋がるという理解を得て、横浜市から4年計画の斜面災害防止の事業を受託した。
3. 全地連「新マーケット創出・提案型事業」による機器開発を支援した。

## 状況報告：提言1 地盤情報の活用促進

1. 総務省のユビキタス事業の一環として以下の事業を実施した。
  - ① 「ICT を活用した地盤情報の利活用 —テーマ：防災—」 事業  
南海地震を想定して高知市を中心とするエリアをモデル地域として、地盤情報や防災情報など他分野の情報を組み合わせて「こうち地盤情報公開サイト（高知地盤情報利用連絡会）」を構築した。
  - ② 「国や地方自治体の保有する地盤情報の整備活用 —オープンデータという観点から」 事業



2. 地方自治体にコンタクトし、地盤情報の提供を促す活動を行った。
3. 前記の活動を展開するためのPR資料として以下の2つのガイドブックを作成し、当連合会の地区協会組織を動員してPR活動を展開した。
  - ・地盤情報の電子納品ガイドブック
  - ・CIM 対応ガイドブック—地質調査版—



## 状況報告：提言2 都市地盤災害への備え

1. 広報用冊子「日本ってどんな国」シリーズ（全9冊）を作成し広報活動を展開した。



2. 地盤情報の有効活用が防災に繋がるという理解を得て、横浜市から4年計画の斜面災害防止の業務を受託した。業務では、「地質の専門家」として地質リスクのマネジメントを行っている。



3. 全地連「新マーケット創出・提案型事業」による機器開発を支援した。間隙水圧を測定する動的貫入試験の実証と普及（参加企業が打撃貫入時の間隙水圧を打撃数 (Nd:N 値相当値) と合わせて測定して、測定値だけで液状化抵抗値 (R) を推定できるサウンディング機器 (Piezo Drive Corn:PDC) を開発した。)

## 今後の展開

1. 「地盤情報活用検討会」を設立し、下記の研究を開始した。
  - ・ボーリングデータ等の効率的な収集方法と管理に関する研究
  - ・地盤情報の情報提供に関する研究
  - ・地盤情報の2次利用（各種ハザードマップ等）に関する研究

＜検討会構成メンバー＞

委員長：大西 有三（京都大学 名誉教授）

委員：以下の機関から派遣

国土交通省，総務省，国土地理院，国土交通省国土技術政策総合研究所  
 国立研究開発法人土木研究所，国立研究開発法人港湾空港技術研究所  
 地方自治体，一般財団法人日本建設情報総合センター

事務局：一般社団法人全国地質調査業協会連合会

2. 上記の活動を通じて、以下の事業を実施する。
  - (1) (国人) 土木研究所が管理・運営する「国土地盤情報検索サイト -Kunijiban-」に地方自治体が所有する地盤情報を統合し、全国版のサイトを構築する。
  - (2) 「(仮称) 地盤情報データベースセンター」を設立する。  
 全国の地盤情報を一括して扱うセンターを設立し、地盤情報の品質確保と利用促進に繋がる環境を整備する。

全国ボーリング所在情報公開サイト  
総務省：情報流通連携基盤の地盤情報における実証事務局

▶ ホーム ▶ 全国地盤情報(制限公開) ▶ サイトの使い方 ▶ このサイトについて ▶ 利用規約

制限付き公開の全国ボーリングデータ所在情報の概要と閲覧について

**制限付き公開対象のボーリング所在情報**

▶ **ボーリングデータのメタデータ**

★公開対象のメタデータ  
 ・緯度・経度、・地ジョコード変換による住所、・掘削当時の発注者  
 ・調査名称、・掘削当時の調査業者名、・調査対象、・調査目的  
 ※提供された所在情報には、記載されていない情報があります。事務局では、未記載分について確度等は行っていません。

★一部を除き、ボーリングデータへのリンクは設定していません。所在情報を確認後、それぞれの公開サイトにアクセスし、当該ボーリングデータを手当て下さい。

▶ **利用規約**

★本ウェブサイトの利用規約は[ここをクリック](#)してください。

★各公開サイトの利用規約  
 ・下表の備考欄に、所在情報を提供していただいた各団体の利用規約へのリンクを設定しています。

**制限付き公開のボーリング所在情報**

地区	公開主体	公開本数	備 考	国土交通省
北海道(札幌市他)	地盤工学会北海道支部	12,827本	制限付き公開	2,987本
北海道(札幌市他)	北海道地質調査業協会	3,353本	制限付き公開	—
青森県				2,244本
岩手県				1,586本

# 会 告

## 国土交通省 民間資格登録制度に全地連資格制度を登録 【地質調査技士・応用地形判読士】

国土交通省は平成28年2月、平成26年度に創設した民間資格の登録制度において、新たに111の資格を追加登録しました。このうち、全地連の資格制度は、下記の5資格が登録されました。

### 国土交通省における全地連資格制度の登録資格一覧

(国土交通省 公共工事に関する調査及び設計等の品質確保に資する技術者資格登録)

登録番号	資格名称	資格の対象とする区分		
		施設分野	業務	知識・技術を求める者
第100号	地質調査技士資格 (現場調査部門)	地質・土質	調査	管理技術者または主任技術者
第101号	〃 (現場技術・管理部門)	〃	〃	〃
第102号	〃 (土壌・地下水汚染部門)	〃	〃	〃
第103号	応用地形判読士資格 (応用地形判読士)	〃	〃	〃
第104号	〃 (応用地形判読士補)	〃	〃	〃

国土交通省 HP 技術者資格登録

▶▶▶ [http://www.mlit.go.jp/tec/tec\\_tk\\_000098.html](http://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000098.html)

この民間資格の登録制度は、国土交通省が平成26年度に維持管理分野における民間資格の登録を開始し、また、平成27年度には新設分野(計画・調査・設計業務)を追加しました。

全地連は、国土交通省との協議を重ねた上、平成27年度に追加した新設分野「地質・土質」の区分に登録応募し、今回の登録に至った次第です。

なお、国土交通省では、平成28年度以降の業務発注において、今回登録した登録資格保有者の加点評価を行うなど積極的な活用を進めていく予定です。

新設分野(計画・調査・設計業務)における登録区分の一覧および登録資格数

登録区分(施設名等)	登録資格数
地質・土質	9
建設環境	2
電気施設等	1
建設機械	1
土木機械設備	1
都市計画及び地方計画	1
都市公園等	2
河川・ダム	2
下水道	1
砂防	2
地すべり対策	2
急傾斜地崩壊等対策	3
海岸	12
道路	3
橋梁	3
トンネル	2
港湾	14
空港	1
計	62

## 国土地理院 測量技術者の認定資格制度に 応用地形判読士資格を登録

国土地理院は平成27年12月、「請負測量業務の競争入札のための測量技術者の認定資格登録」制度における測量技術者の認定資格として、応用地形判読士資格制度の「応用地形判読士」および「応用地形判読士補」の2つを表のとおり追加登録しました。

登録した応用地形判読士資格の業務種別及び区分等

業務種別	区分	測量技術者資格
地理調査	A	応用地形判読士
	B	応用地形判読士補

この認定資格制度は、国土地理院が平成 22 年度に創設したものであり、今回登録された 2 つの応用地形判読士制度を含めて現在、34 資格が登録されています。全地連は、発注機関からのご推薦もあり、この認定資格制度に応募し、認定に至りました。

認定資格制度で登録された資格は、総合評価落札方式等の配置予定技術者（資格保有者）に対する加点評価として活用されており、応用地形判読士の場合、「地理調査」業務の単独発注、あるいは、「地理調査」、「写真測量」などによる複合発注の際の加点評価対象になります。

なお、今回の認定対象となった業務種別「地理調査」は、治水地形分類図や都市圏活断層図、土地条件図の作成など、地形の特徴を通じて防災に役立てる事を目的とした測量業務です。その点、応用地形判読士資格は、地形の特徴から地域の地盤特性を読み取り、それを防災や維持管理などの業務に役立てる地質技術者資格といえます。その技術力や資格制度の目的は、測量分野においても評価され、今回の認定につながったものと考えております。

国土地理院 HP 登録資格 ▶▶▶ <http://www.gsi.go.jp/gijyutukanri/gijyutukanri40008.html>

(参考)登録申請の受付区分一覧

業務種別	区分	測量技術者資格の概要
基準点測量	A	測量計画の立案や工程管理等を適切に行える能力を有し、かつ測量技術に関して高度な知見を有する者を認定
写真測量	B	測量計画の立案、工程管理、品質管理等を総合的に適切に行える能力を有する者を認定
地図調製		
地理調査	C	測量計画や作業工程に沿って適切に作業を行える等、実務作業の総合的な能力を有する者を認定

## 平成 27 年度 応用地形判読士資格検定試験 二次試験合格者 18 名が決定

全地連理事会は平成 28 年 2 月、4 回目となる本検定試験（二次試験）の合格者 18 名を決定しました。

合格者は資格登録手続きを経て「応用地形判読士」の称号が付与され、合格者全員の登録手続きが完了しますと、「応用地形判読士」の全登録者数は 69 名になります。

平成 27 年度 応用地形判読士資格検定試験 二次試験合格者（受験番号）				
9122031	9124005	9124013	9125017	9126025
9128017	9131041	9131087	9131131	9144012
9152004	9152005	9154002	9154011	9154017
9154023	9155008	9156001		

## 平成 28 年度 全地連資格検定試験の実施概要 【地質調査技士・地質情報管理士・応用地形判読士（一次）】

全地連の資格検定試験（地質調査技士、地質情報管理士、応用地形判読士）は、平成 28 年 7 月に全国 10 会場で実施します。受験資格や申込方法などに関する詳細は、4 月 8 日（金）に全地連のホームページに掲載します受験の手引きをご覧ください。

○資格検定試験 実施概要（3 つの資格検定試験は、同日程・同会場で実施いたします）

試験日：平成 28 年 7 月 9 日（土）

申込期間：平成 28 年 4 月 8 日（金）～ 5 月 10 日（火）

試験会場：全国 10 会場

（予定）札幌、仙台、新潟、東京、名古屋、大阪、広島、高松、福岡、沖縄

申込方法：受験手引きや受験願書は、全地連のホームページからダウンロードし入手してください。

# 平成 28 年度 道路防災点検技術講習会 開催案内

平成 28 年度「道路防災点検技術講習会」を下記のとおり開催します。

本講習会は、最近の災害事例を紹介するとともに、①『点検要領(平成 18 年 9 月 29 日付け事務連絡資料)』の改訂点、②点検箇所抽出方法、③具体的な着目点などをわかりやすく解説することを目的としております。

講習会の詳細や申込方法につきましては、全地連のホームページをご覧ください。

▶▶▶ <http://www.zenchiren.or.jp/> (全地連ホームページ)

## 【道路防災点検技術講習会 開催概要】

### ■開催日／開催場所：

東京 1：平成 28 年 7 月 8 日（金） 連合会館 大会議室  
高 知：平成 28 年 9 月 16 日（金） 高知市文化プラザ かるぼーと 小ホール  
大 阪：平成 28 年 10 月 7 日（金） 天満研修センター ホール  
東京 2：平成 28 年 11 月 11 日（金） 連合会館 大会議室

■主 催：一般社団法人 全国地質調査業協会連合会

■後 援：国立研究開発法人 土木研究所

■参加費（テキスト代、税込み）

会員 7,200 円 ※会員対象：全地連会員企業の職員、地質調査技士、地質情報管理士、  
応用地形判読士・判読士補・マスター、官公庁の職員

一般 8,200 円

\*本講習会は、ジオ・スクーリングネットを運営する“土質・地質技術者生涯学習協議会”が開催を確認しており、CPD の加点対象となっております（加点ポイント：6）。

# 全地連「技術フォーラム 2016」の開催について

毎年、多くの方々にご参加を頂いています全地連技術フォーラムにつきまして、平成 28 年度は下記のとおり開催いたします。

## 【全地連「技術フォーラム 2016」熊本 開催概要】

■主 催：一般社団法人 全国地質調査業協会連合会

■協 力：九州地質調査業協会

■後 援：国土交通省九州地方整備局、農林水産省九州農政局、熊本県、熊本市

■協 賛：国立研究開発法人 土木研究所、日本情報地質学会、NPO 地質情報整備活用機構、  
地質リスク学会

■開催日程：平成 28 年 9 月 8 日（木）～9 月 9 日（金） 2 日間

■開催場所：KKR ホテル熊本（熊本市中央区千葉城町 3-31）

■メインテーマ：「新マーケット創出に向けて」

技術フォーラムの開催に関する詳細や一般参加者募集につきましては、7 月にホームページ等を通じてご案内する予定です。なお、技術発表会の原稿募集受付は、4 月上旬で終了しました。多数のご応募をいただき、ありがとうございました。

# 平成 28 年度研修「地質調査」 開催案内

毎年、多くの発注機関の方や地質技術者にご参加を頂いております本研修につきまして、平成 28 年度は下記のとおり開催します。

本研修では、地質調査の手法や解析、評価手法のほか、調査計画や積算手法などについて、専門家の講義により最新の知識、技術の修得を図ることを目的としています。

特に、「地質リスクマネジメント」の講義では、地質にかかわる事業リスクについて事例を交えて解説するほか、「地質調査業務発注のポイント」の講義では、積算手法の解説をはじめ、業者選定や資格制度の活用など業務発注の段階で参考となる内容を紹介します。

なお、本研修は、発注機関の方の参加が全体の 1 / 3 前後を占めており、参加者からは産官の相互交流、情報交換の貴重な機会としても大変好評をいただいております。

皆様のご参加をお待ちしております。

## 平成 28 年度研修 「地質調査」実施要領 —地盤に関わる諸問題解決の知識と留意点について—

共 催 一般財団法人 全国建設研修センター  
一般社団法人 全国地質調査業協会連合会  
後 援 国土交通省  
全国知事会・全国市長会・全国町村会

1. 目的：地盤、地下水、基礎構造物などの検討に必要な地質調査に係わる計画、調査手法において、環境、防災、リスク管理の視点を採り入れながら、建設事業のトータルコストを下げる地質調査についての最新の知識、技術を短期間で体系的に修得する。  
また、共同生活による相互啓発、相互交流、情報交換を通じて職場における業務の推進に資するものとする。
2. 対象職員：国、地方公共団体及び民間企業等において建設事業に携わる者
3. 募集人数：40 名
4. 研修期間：平成 28 年 5 月 18 日（水）～平成 28 年 5 月 20 日（金） 3 日間
5. 教科目：（時間割を参照）
6. 研修場所：一般財団法人 全国建設研修センター 研修会館  
〒187-8540 東京都小平市喜平町 2-1-2 TEL：042-324-5315
7. 申込先及び問い合わせ先：  
一般財団法人 全国建設研修センター 研修局 担当：荷出・菊池  
〒187-8540 東京都小平市喜平町 2-1-2  
※申込みはインターネット、郵送、FAX、メールいずれでも受け付けています。  
▶▶▶ ホームページアドレス <http://www.jctc.jp/>
8. 研修経費及び納入先：研修経費（1 人当たり、消費税含）
  - ① 研修会費：69,000 円
  - ② 宿泊費：5,800 円（2 泊分）※前日宿泊の場合、1 泊分（2,900 円）追加となります。
  - ③ 合計：74,800 円
9. 申込締切日：平成 28 年 5 月 11 日（水）

## 平成 28 年度研修「地質調査」時間割

－地盤に関わる諸問題解決の知識と留意点について－

月日	時 間	講義 時間	教 科 目	講 師	
				所 属	氏 名
5/18 (水)	8:30～ 8:45 8:45～ 9:30		受 付 開講の挨拶・オリエンテーション		
	9:30～12:00	2.5	地質調査の意義と 地盤工学的問題解決のポイント －グループ討議を含む－	株式会社 地域環境研究所 技師長	中 村 裕 昭
	13:00～16:00	3.0		日本大学 文理学部 地球システム科学科 非常勤講師 地盤品質判定士協議会 事務局長	
	16:10～17:10	1.0	地質調査発注のポイント	一般社団法人 全国地質調査業協会連合会 積算委員会 委員	調整中
5/19 (木)	9:00～12:00	3.0	地質調査の必要性と方法	株式会社 ダイアコンサルタント ジオエンジニアリング事業本部 顧問	松 浦 一 樹
	13:00～15:30	2.5	地質調査の計画 －グループ演習を含む－	応用地質株式会社 エンジニアリング本部 技師長室 室長	利 藤 房 男
	15:40～17:10	1.5	地質調査を活用した技術 －構造物の維持管理に 必要な地質調査など－		
5/20 (金)	9:00～12:00	3.0	地質リスクマネジメント	基礎地盤コンサルタンツ株式会社 技術本部 技術推進部 部長	仲 井 勇 夫
	13:00～15:00	2.0	事例紹介 －道路防災と点検における 留意点について－	国立研究開発法人 土木研究所 地質・地盤研究グループ 地質チーム 上席研究員	佐々木 靖 人
	15:00～15:10		閉講式		

※教科目及び講師については変更することがあります。

合計 18.5h

日本列島は110もの活火山がある世界有数の火山国であり、これらの火山活動によって、わが国は度々大きな人的・物的被害を受けてきました。

2014年から2015年には、御嶽山での突然の水蒸気噴火の発生によって、63名の死者・行方不明者を出す災害になり、口之永良部島の噴火では、気象庁による噴火警戒レベル導入後初となるレベル5発令によって全島避難となりました。箱根山でも約800年ぶりと言われる水蒸気爆発の発生に伴って、火口周辺の避難指示が出される事態となったことは記憶に新しいところです。また、2011年東北地方太平洋沖地震以降、多くの火山で地震活動の活発化等の情報が報告されており、これらの火山では今後の活動の推移が特に注目されています。

一方、これまで注目されてこなかった、わが国で約1万年間に1度の頻度で発生してきた低頻度大規模噴

火（カルデラ噴火等）に対する取り組みについても国レベルでの検討が始められています。

このように、防災上、社会資本の保全上の観点から、火山活動・災害に対する情報に多くの国民が注目するところとなっており、火山の地質調査に携わる地質調査業に対しては、今後求められる多様な役割に対する貢献が期待されています。

本号では、最近の火山噴火（御嶽山、口之永良部島、箱根山）の概要と、火山災害に携わる各機関の諸取り組みについて情報提供を頂くほか、今後の火山の地質調査に求められる課題についてご意見を頂きました。

最後になりましたが、年度末のお忙しい中にも関わらず、快く執筆を受け入れて頂きました執筆者の方々には、心から感謝の意を表します。

(2016年3月 細野記)

機関誌「地質と調査」編集委員会

一般社団法人全国地質調査業協会連合会

委員長 鹿野 浩司

委員 佐久間 春之、細野 高康、細矢 卓志、三木 茂、結城 則行、利藤 房男、土屋 彰義、山本 聡、池田 俊雄、高橋 暁、中川 直、各地区地質調査業協会

委員 北海道：鈴木 孝雄 東北：昆 孝広 北陸：津嶋 春秋 関東：丹下 良樹 中部：河本 光司  
関西：東原 純 中国：向井 雅司 四国：大岡 和俊 九州：金田 良則 沖縄県：長堂 嘉光

一般社団法人全国地質調査業協会連合会

〒101-0047 東京都千代田区内神田 1-5-13 内神田 TK ビル 3 階 TEL. (03) 3518-8873 FAX. (03) 3518-8876

北海道地質調査業協会	〒060-0003	北海道札幌市中央区北 3 条西 2 丁目 1 (カミヤマビル)	TEL. (011) 251-5766
東北地質調査業協会	〒983-0852	宮城県仙台市宮城野区榴岡 4-1-8 (パルシティ仙台 1 階)	TEL. (022) 299-9470
北陸地質調査業協会	〒951-8051	新潟県新潟市中央区新島町通 1 ノ町 1977 番地 2 (ロイヤル礎 406)	TEL. (025) 225-8360
関東地質調査業協会	〒101-0047	東京都千代田区内神田 2-6-8 (内神田クレストビル)	TEL. (03) 3252-2961
中部地質調査業協会	〒461-0004	愛知県名古屋市中区葵 3-25-20 (ニューコーポ千種橋 403)	TEL. (052) 937-4606
関西地質調査業協会	〒550-0004	大阪府大阪市西区靱本町 1-14-15 (本町クィーパービル)	TEL. (06) 6441-0056
中国地質調査業協会	〒730-0017	広島県広島市中区鉄砲町 1-18 (佐々木ビル)	TEL. (082) 221-2666
四国地質調査業協会	〒760-0067	香川県高松市松福町 2-15-24 (香川県土木建設会館)	TEL. (087) 821-4367
九州地質調査業協会	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東 2-4-30 (いわきビル)	TEL. (092) 471-0059
沖縄県地質調査業協会	〒903-0128	沖縄県中頭郡西原町森川 143-2 (森川 106)	TEL. (098) 988-8350

機関誌 「地質と調査」 '16年1号 No.145

平成 28 年 4 月 15 日 印刷

平成 28 年 4 月 20 日 発行

編集 一般社団法人全国地質調査業協会連合会

〒101-0047 東京都千代田区内神田 1-5-13 内神田 TK ビル 3 階

発行所 株式会社ジェイスパーク

〒102-0082 東京都千代田区一番町 9-8 ノザワビル 7 階 TEL. (03) 3264-7781 FAX. (03) 3264-7782

株式会社ワコー

〒102-0072 東京都千代田区飯田橋 3-11-7 TEL. (03) 3295-8011 FAX. (03) 3230-2511

印刷所 株式会社 高山

無断転載厳禁

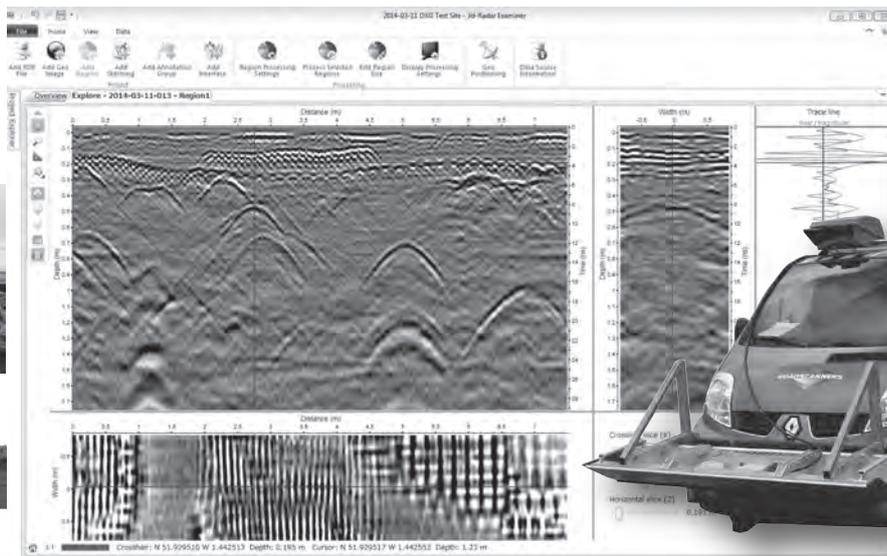
印刷物・Web 上等に本誌記事を掲載する場合は、一般社団法人全国地質調査業協会連合会に許可を受けてください。

## 新開発の高性能 DXG アンテナ (グラントカップル型) より鮮明に・より深くを実現!

3d-RADAR は、多素子の超高帯域アンテナを 200MHz~3GHz の正弦波周波数を段階的に上げながら送信し、得られた周波数スペクトルデータをリアルタイムでフーリエ逆変換し、時間領域の地中レーダ波形を生成する革新的な 3次元 GPR です。

- ・新開発の DXG アンテナにより、表層から鮮明に・より深い探査深度を実現
- ・アンテナは 90cm (8 成分) から 240cm (28 線分) まで、多様なサイズを用意
- ・1 回の走行で多断面を同時に取得、空洞や埋設管の広がり・方向を容易に推定

実機によるデモ、レンタル及び現場計測業務も対応可能ですので、お気軽にお問い合わせ下さい。



## Road Doctor 道路管理用地中レーダ処理ソフト

Road Doctor は、道路の維持管理に特化したソフトです。  
目的・用途に応じて、多様なモジュールが用意されています。

- ・測定項目に応じた地中レーダ専用の Road Doctor GPR
- ・GPR とカメラ画像を合わせた Road Doctor Cam-Link
- ・たわみ試験、道路性状等を全て統合して表示できる Road Doctor Pro
- ・GSSI、3D RADAR、IDS、MALA 等、各社 GPR データに対応可能



株式会社 ジオファイブ

URL <http://www.geo5.co.jp/>

〒336-0931 埼玉県さいたま市緑区原山 1-12-1  
TEL 048-871-3511 FAX 048-871-3512  
Email sales@geo5.co.jp

### ■業務内容■

- 計測機器販売 : 地質調査機器・土木計測機器・工業計測機器
- 計測機器レンタル : 地質調査機器及びその他計測機器レンタル
- 計測業務 : 現場計測業務・測定機器設置・3D 計測業務
- 計測機器設計製作 : 各種地盤計測機器の設計製作



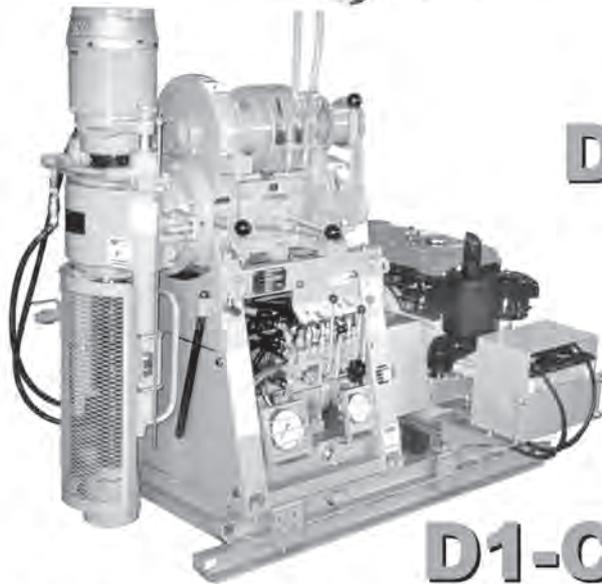
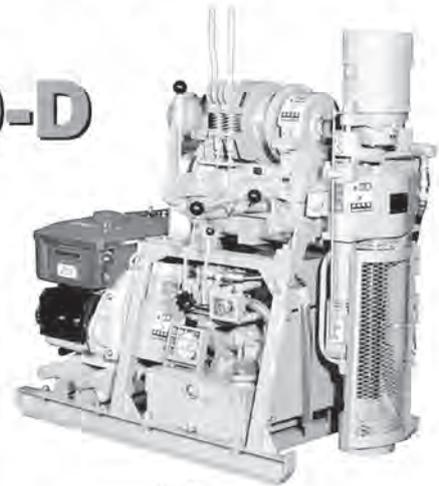
**TOHO**  
DRILLING EQUIPMENT

# 小型ボーリングマシン

**DM-03**

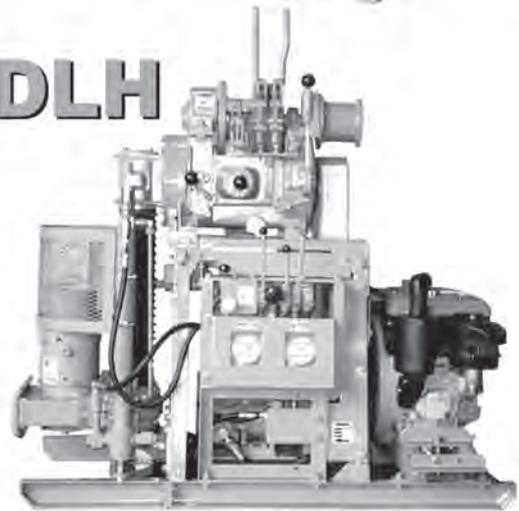


**D0-D**



**D1-C**

**D0-DLH**



試錐機には小型ボーリングポンプが内蔵できます。(DM-03を除く)

機種名		DM-03	D0-D	D0-DLH	D1-C
穿孔能力	m	30	100	100	280
回転数	min <sup>-1</sup>	65,125,370	(A)60,170,330	(A)60,170,330	(A)65,130,170,370
			(B)110,320,625※	(B)110,320,625※	(B)90,170,320,490※
スピンドル内径	mm	47	43	43	48,58
ストローク	mm	300	400,500※	500	500
巻上げ力	kN(kgf)	3.9(400)	5.9(600)	5.9(600)	10.8(1100)
スライド	mm		油圧式300※	油圧式300※	油圧式300
動力	kW/HP	3.7/5	3.7/5	3.7/5	5.5/8
質量	kg	180	315	475	550
寸法	H×W×L mm	960×550×1115	1200×660×1180	1440×890×1415	1390×735×1580

右操作、左操作をご用意しております。 ※はオプションです。



**東邦地下工機株式会社**

東京都品川区東品川 4-4-7 TEL 03 (3474) 4141  
 福岡市博多区西月隈 5-19-53 TEL 092 (581) 3031  
 URL: <http://www.tohochikakoki.co.jp>

福岡 ☎ 092(581)3031  
 東京 ☎ 03(3474)4141  
 札幌 ☎ 011(376)1156  
 仙台 ☎ 022(235)0821  
 新潟 ☎ 025(284)5164  
 金沢 ☎ 076(235)3235

名古屋 ☎ 052(798)6667  
 大阪 ☎ 072(924)5022  
 松山 ☎ 089(953)2301  
 広島 ☎ 082(533)7377  
 山口 ☎ 083(973)0161  
 熊本 ☎ 096(232)4763

# 地質調査

通巻145号

●発行所

株式会社ジェイスパーク／株式会社ワコー