

2. 2 火山災害対策のための情報ツールの開発

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

課題 D 火山災害対策技術の開発

サブテーマ 3 火山災害対策のための情報ツールの開発

(b) 担当者

所属機関	役職	役職	氏名
国立研究開発法人 防災科学 技術研究所 火山研究推進セ ンター	課題責任機関	センター長	中田節也
		研究統括	宮城洋介
		研究員	棚田俊收
		客員研究員	宮村正光
		客員研究員	中村洋一
株式会社大林組 技術本部 技術研究所	参加機関	上級主席技師	野畠有秀
		上級主席技師	大塚清敏
		主任研究員	諏訪仁
山梨県富士山科学研究所	参加機関	主幹研究員	吉本充宏
		主幹研究員	石峯康浩
		主任研究員	本多亮
		研究員	久保智弘
東京大学大学院情報学環 総合防災情報研究センター	参加機関	特任教授	田中 淳

(c) 業務の目的

本業務では、火山災害に関する自治体の防災担当者らが、災害発生時に適切な初動対応及び防災活動を行うことを支援するための「火山災害対策のための情報ツール（以下、「情報ツール」という。）」を開発することを目的とする。情報ツールとは火山災害対策のために必要となる情報を出力する各種コンテンツからなり、本業務ではこれらコンテンツの開発を中心に行う。開発するコンテンツは、専門家が自治体の防災担当者に対して情報を伝える際に使用されるコンテンツや、降灰による都市部の施設やインフラの被害を予測するコンテンツ等である。この情報ツールは、本事業の課題 A（各種観測データの一元化）で開発される一元化共有システムのデータベースに保存される他の課題及びサブテーマで得られる解析結果等の研究成果を活用し、火山防災協議会において火山専門家が地方自治体等へ助言する際にも利用される。開発に当たっては初期段階からユーザーである自治体や火山防災協議会に参加している火山専門家等と連携して取り組む。

(d) 10か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成 28 年度：

- ・ 過去の火山災害及び降下火山灰に関する文献調査、情報収集を行った。
- ・ 常時観測火山におけるハザードマップのデジタル化を行った。
- ・ 自治体を対象とした火山対策の現状を調査した。
- ・ 都市部の施設に対する降灰影響評価実験の実験計画を作成した。

2) 平成 29 年度：

- ・ 過去の火山災害と降灰についての文献調査、情報収集結果の整理と分析を行った。
- ・ 常時観測火山におけるハザードマップのデジタル化を行った。
- ・ 自治体を対象とした火山対策の現状調査と結果の比較・分析を行った。
- ・ 都市部の施設に対する降灰影響評価実験を行った。
- ・ 登山者動向把握実験へ参加した。

3) 平成 30 年度：

- ・ 周知啓発教育用コンテンツの基盤となる火山災害に関する調査や情報収集を行った。
- ・ 常時観測火山におけるハザードマップのデジタル化を行った。
- ・ 自治体を対象とした火山対策の比較・分析を行った。
- ・ 都市部の施設に対する降灰影響評価実験として、冷却塔を対象とする降灰実験を行った。
- ・ 平成 29、30 年度に実施された降灰影響評価実験の結果を受け、都市部の施設における建築設備の損傷度評価法の開発に着手した。

- ・登山者動向把握実験へ参加し、得られた登山者動態データの火山防災対策への利用に関する検討した。

4) 平成 31 年度 :

- ・常時観測火山 5 火山におけるハザードマップのデジタル化を行った。
- ・周知啓発教育用コンテンツの試作版として火山防災ポータルサイトを開設した。
- ・前年度までに実施した降灰影響評価実験結果の妥当性を確認し、降灰被害予測コンテンツの試作版を開発した。
- ・降灰量に対する木造建築物の屋根の安全性について評価した。
- ・文献調査を行い、火山現象が社会活動に及ぼす影響を整理した。
- ・避難・救助支援コンテンツの試作版（登山者動態データの可視化ツール）を開発した。
- ・登山者動向把握実験に参加し、避難・救助支援コンテンツ試作版のインプットデータを取得し、本コンテンツ試作版の活用について検討した。
- ・国内外の学会におけるブース展示、論文で研究成果を特集、プロジェクトの紹介動画とパンフレット・リーフレット（英語版）を作成、英語版の紹介用ホームページを開設するなど、次世代火山研究推進事業の周知広報活動を行った。

5) 令和 2 年度 :

- ・周知啓発教育用コンテンツの試作版について、前年度開発した試作版について自治体防災担当者にヒアリングやアンケート調査を行い、課題を把握するとともに、新たなニーズを把握し、その結果を基に高度化を実施した。
- ・降灰被害予測コンテンツの試作版の高度化に關し、都市部の施設に対する降灰影響評価のため、エアフィルタを対象とする降灰実験を行った。
- ・降灰被害予測コンテンツの試作版について、防災担当者を対象とした火山灰対策の勉強会を行い、降灰対策に必要な情報の把握と降灰被害予測コンテンツへのニーズを把握した。
- ・避難・救助支援コンテンツの試作版の高度化に關して、那須岳における登山者の動向把握を行い、可視化した動態データを周辺自治体の防災担当者らと共有した。
- ・避難・救助支援において重要となる避難施設の耐衝撃性について、既存の建物への耐衝撃性を向上させるための実験を行い、補強方法の提案に資する結果を得た。

6) 令和 3 年度 :

- ・周知啓発教育用コンテンツを利用したアウトドア活動等を踏まえ、動画学習コンテンツを充実させるなどコンテンツの高度化を図り、防災担当者が避難確保計画策定に活用できるよう整備する。
- ・3 コンテンツによる情報発信の在り方を検討するために、前年度の調査データを詳細に分析するとともに、ヒアリングおよび研究者を集めた研究会等を実施する。

- ・ 降灰被害予測コンテンツを利用した実証実験の結果を踏まえ、コンテンツの高度化を図る。これまで実験結果をまとめ、建物機能被害の損傷曲線の提案し、都市部への降灰被害予測コンテンツを改善する。
- ・ 避難・救助支援コンテンツを利用した実証実験の結果を踏まえ、コンテンツの高度化を図る。これまでに開発した可視化ツールの改修を行う。
- ・ 退避壕等の耐衝撃実験を実施し、建物の耐衝撃性能の補強方法について検討を行う。

7) 令和 4 年度 :

- ・ 周知啓発教育用コンテンツを利用したアウトリーチ活動等を踏まえ、コンテンツの高度化を図る。
- ・ 降灰被害予測コンテンツを利用した実証実験の結果を踏まえ、コンテンツの高度化を図る。
- ・ 避難・救助支援コンテンツを利用した実証実験の結果を踏まえ、コンテンツの高度化を図る。

8) 令和 5 年度 :

- ・ 各種コンテンツの汎用化に着手する。

9) 令和 6 年度 :

- ・ 各種コンテンツの汎用化を進める。

10) 令和 7 年度 :

- ・ 周知啓発教育用コンテンツの社会実装として、テキストを作成する。
- ・ 降灰被害予測コンテンツの社会実装として、自治体に対するアクションプランを提案する。
- ・ 避難・救助支援コンテンツの社会実装として、自治体の避難計画への反映を行う。

(e) 令和2年度業務目的

1) 周知啓発教育用コンテンツ試作版の高度化

前年度までに開発した周知啓発教育用コンテンツ試作版を高度化する。現試作版は自治体防災担当者を対象としたヒアリング調査やアンケート調査から得られたニーズや課題に対応するべく開発されたが、今年度は実際に試作版を試用した上での潜在的なニーズや課題に対応するべく開発を進め、高度化を図る。具体的には、試作版として開発したポータルサイトに含まれる情報コンテンツや機能をニーズに応じて増やす。また本コンテンツでアクセスが可能な自治体防災担当者向けの研修プログラムについてパッケージ化し、実際にそのプログラムを使った研修を実施する。

2) 降灰被害予測コンテンツ試作版の高度化

前年度までに開発した降灰被害予測コンテンツ試作版を高度化する。現試作版は平成29年度及び平成30年度に実施した建築設備を対象とした降灰影響評価実験の成果を基に、降灰による建築物の損傷・被害に関する降灰深の閾値を設定し地図上で他の情報と重ねて表示できるようにしたものだが、今年度はさらに建物に対する影響を評価するうえで重要となる換気用エアフィルタを対象にした降灰影響評価実験を実施する。

また、本コンテンツによる情報発信の在り方を検討するために、一般住民（登山者など）を対象として、ネットを利用した大規模降灰に関するアンケート調査を実施する。

3) 避難・救助支援コンテンツ試作版の高度化

前年度までに開発した避難・救助支援コンテンツ試作版を高度化する。現試作版は平成29、30年度及び令和元年度に実施された富士山及び御嶽山における登山者動向把握実験で得られた登山者の動態データを地図上で可視化しハザードシミュレーションの結果と組み合わせることで人的被害推定を行えるものであった。今年度は栃木県那須岳において同様のシステムを利用した登山者動向把握実験を実施する。得られた登山者の動態データを本コンテンツ試作版で可視化し、那須岳周辺自治体の防災担当者らに試用してもらい、データの防災利用について検討を進め、検討結果を開発に反映させることでコンテンツの高度化を図る。

さらに、避難計画の作成や避難・救助活動において重要な施設である退避壕（シェルター）等の耐久性を評価することを目的として、模擬火山岩塊を使用した衝突実験をまずは試験実験から実施する。

(2) 令和2年度の成果

(a) 業務の要約

このサブテーマ課題では、3つのコンテンツからなる情報ツールの開発を行った。①「周知啓発教育用コンテンツ試作版の高度化」においては、自治体防災担当者を対象としたヒアリング調査やアンケート調査から得られたニーズや課題に対応するべく試作版を試用した上で潜在的なニーズや課題に対応するべく開発を進め、高度化を図った。②「降灰被害予測コンテンツ試作版の高度化」においては、建物に対する影響を評価するうえで重要となる換気用エアフィルタを対象にした降灰影響評価実験と、大規模降灰による建築屋根への降灰影響評価を行った。加えて、パソコンへの降灰影響評価実験を実施した。また、情報発信の在り方を検討するため一般住民（登山者など）を対象として、ネットを利用した大規模降灰に関するアンケート調査を実施した。③「避難・救助支援コンテンツ試作版の高度化」については、那須岳において登山者動向把握実験を実施し、可視化した動態データを周辺自治体の防災担当者らと共有した。また、登山者のための退避壕等の耐久性を評価するために、模擬火山岩塊を使用した衝突実験を実施した。今年度情報ツールを利用（※試行を含む）した自治体を表1に示す。

表1 情報ツールを利用（試行を含む）した自治体

自治体名	コンテンツ	対象火山	備考
山梨県	周知啓発教育用コンテンツ	富士山	試行
函館市	周知啓発教育用コンテンツ	北海道駒ヶ岳	試行
鹿部町	周知啓発教育用コンテンツ	北海道駒ヶ岳	試行
七飯町	周知啓発教育用コンテンツ	北海道駒ヶ岳	試行
森町	周知啓発教育用コンテンツ	北海道駒ヶ岳	試行
伊達市	周知啓発教育用コンテンツ	有珠山	試行
壮瞥町	周知啓発教育用コンテンツ	有珠山	試行
那須町	周知啓発教育用コンテンツ	那須岳	試行
北海道	周知啓発教育用コンテンツ	道内火山	試行
岐阜県	周知啓発教育用コンテンツ	県内火山	試行
神奈川県	周知啓発教育用コンテンツ	県内火山	試行
群馬県	周知啓発教育用コンテンツ	県内火山	試行
富山県	周知啓発教育用コンテンツ	県内火山	試行
大分県	周知啓発教育用コンテンツ	県内火山	試行

(b) 業務の成果

1) 周知啓発教育用コンテンツ試作版の高度化

a) 周知啓発教育コンテンツ

前年度開発した周知啓発教育用コンテンツ試作版について、高度化を行うために北海道駒ヶ岳周辺の自治体(森町、鹿部町、七飯町、函館市)、有珠山周辺の自治体(伊達市、壮瞥町)、及び栃木県那須岳周辺の自治体(那須町)の防災担当者に周知啓発教育用コンテンツ試作版を使用してもらい、利便性や防災担当者自身が火山防災を学ぶ際や住民に周知するために必要なコンテンツ、昨年度作成したテキストのニーズ、防災担当者用イベントカレンダー、観測情報へのニーズについてアンケート調査及びヒアリング調査を行った(写真1)。



写真1 2020年10月に実施したヒアリングの様子(左: 北海道駒ヶ岳周辺、右: 壮瞥町)

それぞれのヒアリング項目から得られた結果を以下に示す。

周知啓発用コンテンツについて

- ✓ 自分の火山から探すので、情報も火山ごとに整理してほしい。
- ✓ 災害の体験談も火山ごとにわかるとよい。
- ✓ 火山ごとの年表の情報(噴火史など)があるとよい。
- ✓ 避難確保計画の策定にあたり、似たような火山を探して、その計画をまねたりする。そのため、火山の特徴を火山との距離や都市構造などを基にグルーピングした情報があるとよい。
- ✓ 降灰が起こると住んでいる街がどうなるか伝えるためのコンテンツが欲しい。例えば2011年新燃岳噴火で長井雅史氏が撮影した動画やAR/VRを活用したものなど。
- ✓ 住民に火山の危険を伝えるための効果的なシミュレーション動画のような資料が欲しい。例えば、津波であれば、浸水シミュレーションの動画があるように火山でもあるとよい。火山灰が広がる様子の動画があるとよい。
- ✓ 検索した結果で、画像と資料の違いがわからない(同じものを掲載しているのであれば、どちらかでいいのでは)。
- ✓ 火山の啓発動画や各地域の動画素材などがあるとよい。→動画を充実してほしい。
- ✓ 鹿児島市のYouTubeチャンネルが参考になった。
- ✓ 法律については、活火山法があってそこから避難確保計画のように階層化して表示してほしい。
- ✓ 画像を小さくしてもいいからリンクがわかりやすいようにしてほしい。

- ✓ 各協議会で避難確保計画について話し合っていると思うが、そこでどういった話になったかの概要がわかるとよい。
- ✓ 用語集があるといい
- ✓ スマホやタブレットでも利用できるとよい。

テキストについて

- ✓ 動画でのレクチャーがあるとよい。時間は長くとも30分くらい、可能であれば15～20分程度。机の上で座りながら見て学ぶことができる。
- ✓ 専門家のおすすめテキストや資料などは難しい。用語集や見て学べるビデオ学習のようなコンテンツが良い。
- ✓ 大きい噴石と小さい噴石のサイズの違いについてはわからない。
- ✓ 火山ごとに起こりうる現象が整理されているとよい。また、火山ごとのまとめサイトのようになっているとよい。
- ✓ 火山性地震と火山性微動の違いが判らないので、そういうことも学べるサイトがいい。また、火山性微動のほうが危険なことがわかるがそういうことが一連の動画のような形でわかる資料が欲しい。
- ✓ 火山ごとに火口と都市、宿泊施設、医療施設、介護施設などの距離について、グループピングされている情報があるとよい。また、そのグループごとの市町村の地域防災計画などもあるとよい。
- ✓ 内容は中学2年生くらいでわかるものにしてほしい。
- ✓ 火山灰が降るとどうなるかの情報があまりないので、欲しい。
- ✓ 各現象について、説明だけとイメージだけに分けてもよい。イメージ・動画を充実させてほしい。
- ✓ 現在PPTファイルが分割されているが、一括でダウンロードしたい。PPTファイルについては、住民向け講座で使用したい。
- ✓ 桜島で行った訓練やHUGについても情報があるとよい。

防災担当者用イベントカレンダーについて

- ✓ ぜひ使ってみたい。
- ✓ Q&Aのようなサイトがあるとよい。例えば、防災担当者同士でわからないことや不明なことを掲示板に書くとその回答がほかの担当者や専門家から回答がもらえるもので、関係者のみが閲覧するサイト。防災担当者間での交流サイトのようなもの
- ✓ アクセスができない。EDGEのためタイムアウトしてしまう。
- ✓ 利用方法がスマホの場合多いため、スマホでも利用できるとよい。

観測情報について

- ✓ カメラ情報があるとよい。北海道整備局のものは更新やメンテをしてもらえないので、使えなくなっているので、カメラ情報があるとよい。
- ✓ 地震波形や地殻変動などはわからない。日々の地震の回数などの情報が良い。
- ✓ 火山防災情報表示システム(大島・他、2017)は火山カメラや波形が写らなくなつたので、気象情報のみ表示している。
- ✓ 協議会WEBは見ない。気象台からくる定期情報のみ。

これらヒアリングから得られた結果を整理し、各項目について以下のニーズと課題を把握することができた。

周知啓発用コンテンツについて

- ✓ 情報を山毎に整理する。
- ✓ 避難確保計画を支援するために、火山の特徴を火山との距離や都市構造などを基にグループピングした情報を作成。
- ✓ 降灰をイメージさせる AR/VR のようなコンテンツや動画コンテンツの充実が必要。
- ✓ 情報の階層化をきちんとする(特に法律など)。

テキストについて

- ✓ レクチャー動画(15 分程度のもの)
- ✓ 火山ごとに起こりうる現象を整理したもの。
- ✓ 他火山で行っている訓練についての具体的な情報。
- ✓ 内容は中学 2 年生くらいが理解できるもの。

防災担当者用イベントカレンダーについて

- ✓ ブラウザーや端末によらず利用できるようにする。
- ✓ Q&A サイトのように困っていることと回答が共有できるサイトがほしい。

観測情報について

- ✓ カメラ情報を重視している。
- ✓ 地震の回数や増えている事、減っていることが一目でわかるもの。

これらヒアリングの結果を受けて、周知啓発教育用コンテンツ試作版の高度化を行った。高度化への改修では、火山ごとに容易にアクセスできるようにトップページの改修と動画コンテンツの充実を図った(図 1, 2)。防砂担当者用イベントカレンダーについてもブラウザによらずスマートでも利用できるようにした。観測情報については、Python により定期的に気象庁の火山カメラ映像を取得するスクリプトを作成し、現在富士山研の内部で試験運用し、最新 2 時間のカメラ映像を動画にして、閲覧できるようにした(図 3)。



図1 周知啓発教育用コンテンツ試作版の高度化のために改修したページ(左)と火山防災を学ぶための動画コンテンツ(右)

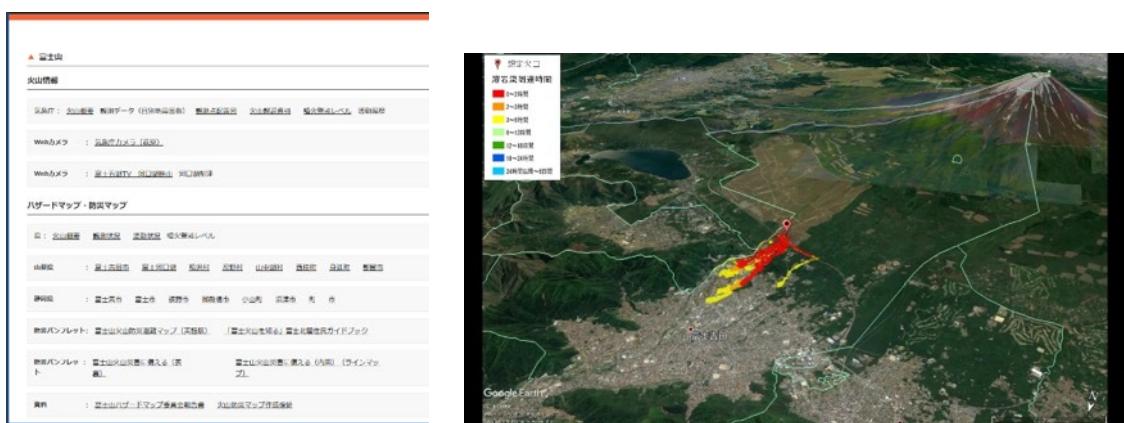


図2 周知啓発教育用コンテンツ試作版の高度化のために火山ごとに情報を整理した例(左)。2020年3月に公表された富士山噴火による小規模溶岩流のシミュレーション動画(右)。



図3 Pythonで作成した気象庁の火山カメラの情報を利用した閲覧ページ

さらに今年度は火山研究人材育成コンソーシアム構築事業とも連携し、2020年10月20日に実施された火山防災特別セミナーに参加し、6道県（北海道、岐阜県、神奈川県、岐阜県、富山県、大分県）の防災担当者を対象に演習を行い、本研究課題で昨年作成したテキスト課題を把握した。演習では、都道府県の防災担当者が担当する火山で突発的な噴火が発生し、その際に知事へ現状などのレクをA4紙5枚程度で行うことを想定し、約20分程度の中での資料作成を通じて必要な情報がそろっているか、どういった情報が必要かといった点を主に検討した（写真2）。



写真2 テキストを活用した演習の様子

演習実施後、アンケートを実施し、参加した都道府県の防災担当者7名からの結果を以下の図4、5に示す。



図4 テキストを活用して時間内に知事レク資料の準備ができたか？

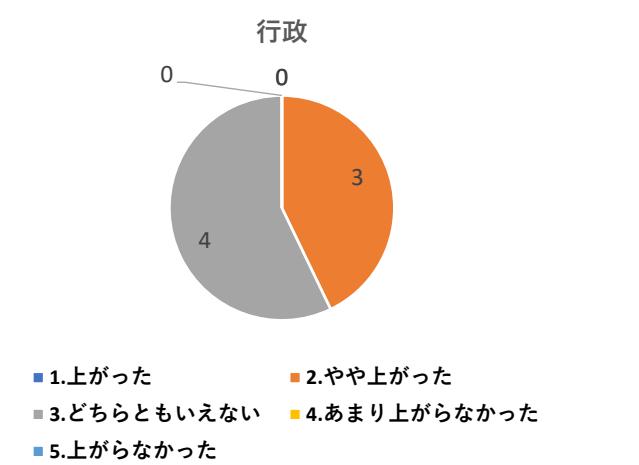


図5 演習前に比べて災害時対応（知事レク資料作成）に関する理解度が上がったか？

図4、5から、今回行った演習では知事レクを行うために想定などが十分ではなかったことを確認した。また、今回の演習で使用したテキストについて、不足している点確認したところ、以下のコメントをもらった。

- ✓ 担当者用の資料としては、非常に有意義であると思う。知事プレゼン用としては、あまりに抽象的すぎるので、不足している点は、水蒸気噴火。

- ✓ 各機関により、必要な資料の作り方に違いがある。そのため、アレンジしやすい、素材的な利用がし易いものだと活用しやすいと思いました。
- ✓ 知事に渡す資料としては、もっと要点を絞った単純な資料が求められるので、そうしたものがあると、そのまま使いやすい。（今回の資料は手持ちに良いが、そのままで出しづらい）。
- ✓ 資料が整いすぎているかもしれない。実際には情報が断片的にしか伝わってこないと思う。
- ✓ 知事レク資料ではなく、勉強のための資料としては参考になると思います。
- ✓ 降灰など現象ごとの住民等への注意などの呼びかけ例があると、とても役立つと思います。

今回の演習から、作成したテキストは当初自らで火山防災を学ぶことを中心としていたが、もう少しブラッシュアップすることで、災害対応において知事や上司への説明する際の資料として利用できる可能性があることが確認できた。

また、今後の演習に関する要望についても伺い、以下の回答が得られた。

- ✓ 住民用を想定して同じような演習を実施してほしい。
- ✓ 災害対策本部会議用の資料作成。
- ✓ 適切に情報伝達する注意点など。時間があれば図上訓練。
- ✓ 今回の演習は非常に参考になった。想定を詳細にすれば、市町村の火山担当へのワーキングなどにも活用できると思った。ぜひブラッシュアップして、各都道府県にも提供してほしい。
- ✓ 「こんな資料があったらいいな」を持ちよる。

これらの回答から、図上訓練や災害発生時に必要となる対応を具体的にした訓練などを要望していることが分かった。今後このような訓練が実施できるようなコンテンツも用意していく必要があると考えられる。

さらに自治体防災担当者の研修パッケージ化については、2021年1月21日に「ドリルマップに基づく具体的な防災対応検討」として、新型コロナウィルス感染防止対策をとり、図上訓練を実施した。この図上訓練では、今後訓練を実施するうえでは、新型コロナウィルス感染防止対策が重要となることから、新型コロナウィルス感染防止策を考慮して70名程度入れる会場に市町村担当者のテーブルを適切な距離だけ離し、さらに各市町の状況が県のテーブルで閲覧できるようにZoomとiPadなどのICT技術を活用して、実施した。また、こういった火山防災協議会単位の訓練では火山専門家も通常は参加するが、新型コロナウィルス感染防止のため、東京の専門家などの現地での参加が難しいことから、専門家ともZoomを使い、状況を確認できる環境を用意して実施した。



写真3 新型コロナウィルス感染防止を講じた図上訓練について。(左上：市町村のテーブル、右上：県のテーブル、左下：専門家との接続、右下：県のテーブルでの市町村の様子)

今回の訓練では、Zoomのアカウントを2つ使用し、一つでは専門家と会場を自由に撮影して配信できるようにiPadを活用して、専門家からの要望に応じながら各テーブルの状況などを撮影できるようにした。もう一つのアカウントでは、市町村と県とを実際の際外対応のようにZoomで接続して使用した。各市町のテーブルにはスタンドに設置したiPadにより各市町のテーブルの様子を撮影し、県にはノートPCを置くことで、各市町の状況も把握できるようにした。今回は広いホールで実施したが、この方法であれば、離れた複数の会議室を使った訓練も実施することができ、三密を回避するとともにより実際の災害対応に近い形での訓練とすることができます。このように、これまで6回実施してきた内容を基に今年度研修パッケージを作成した。今後作成したパッケージを周知啓発用コンテンツにアップするとともにブラッシュアップしていく必要がある。

b) 常時観測火山におけるハザードマップのデジタル化

前年度までに引き続き、国内常時観測火山の内5火山（アトサヌプリ、雌阿寒岳、十和田、日光白根山、弥陀ヶ原）のハザードマップをデジタル化（GIS版のハザードマップを作成）し、GISソフトで閲覧や空間解析が可能となった（図6）。

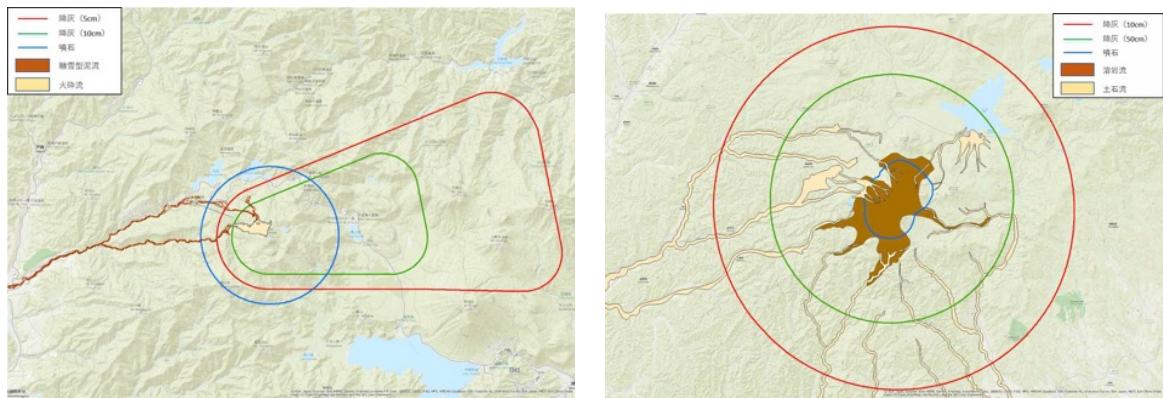


図6 デジタル化した雌阿寒岳（左）及び日光白根山（右）のGIS版ハザードマップ。

GIS版ハザードマップデータは、他の社会基盤情報（交通インフラや建物、行政区域他）と重ね合わせることで、簡易的な曝露評価及び被害評価を行うことができる。本事業ではこれまで国内40火山におけるGIS版ハザードマップを作成しており、全国の常時観測火山における網羅的な曝露評価が可能となった（河野・他、2020）。

また、2021年1月27日付けで内閣府防災担当から全国の火山防災協議会事務局に向けて、火山ハザードマップのオープンデータ化を依頼する事務連絡が発出された。これに伴い、GIS版ハザードマップに関する問い合わせが2件あり、その内東京都に対して三宅島及び伊豆大島のGIS版ハザードマップデータの一部を提供した。

2) 降灰被害予測コンテンツ試作版の高度化

a) エアフィルタの降灰影響実験

本年度は、エアフィルタの降灰実験を行い、降灰深に対するフィルタの損傷の確認を行った。

i) 実験の目的と実験装置

建物屋内環境の維持には、空調と合わせて換気が重要である。外気が建物内に直接取り入れられるため、降灰時には火山灰の室内への侵入が起こりうる。換気吸気口にはエアフィルタが設けられることが多く、火山灰の捕集によるフィルタの通風抵抗の増加（圧力損失の増加）による換気量不足がおこりうる。フィルタ交換がなしに使用し続けると、送風ファン圧によってエアフィルタの破損の可能性があり、火山灰が室内に侵入する。ここでは、火山灰の供給量とフィルタの圧力損失の関係、フィルタ破損時の圧力損失レベル、フィルタによる火山灰の捕集量あるいはフィルタを透過する割合などに着目した。

図7、図8に空調換気システムの例を示す。図7では、排気口に送風ファンが設置しており、室内の空気が強制的に屋外に排気され、それによる室内の圧力低下を補うよう吸気口から外気が自然に取り込まれる。吸気口には多くの場合、微細な塵などを除去するためのエアフィルタが取り付けてある。図8では、外気がファンにより強制的に取り入れられ、空調機を通過した空気は室内を通り、天井の還気口から吸引され天井内のダクトを通って屋外に排出される。ここでは、空調機と送風ファンの直前に間にエアフィルタが設置される。

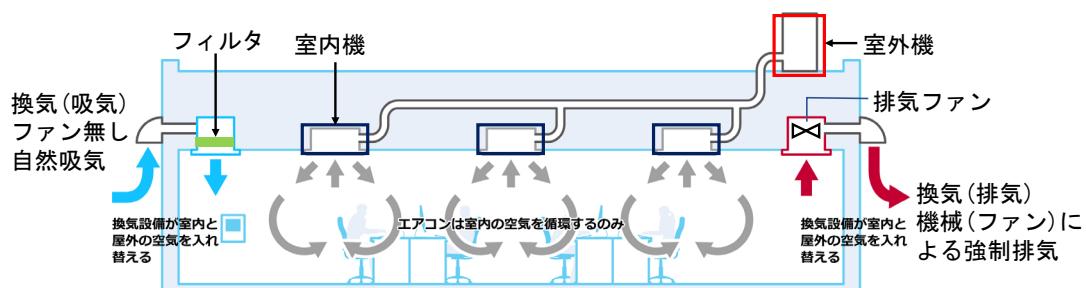


図7 建物空調・換気の例（第3種空調）強制排気と自然吸気

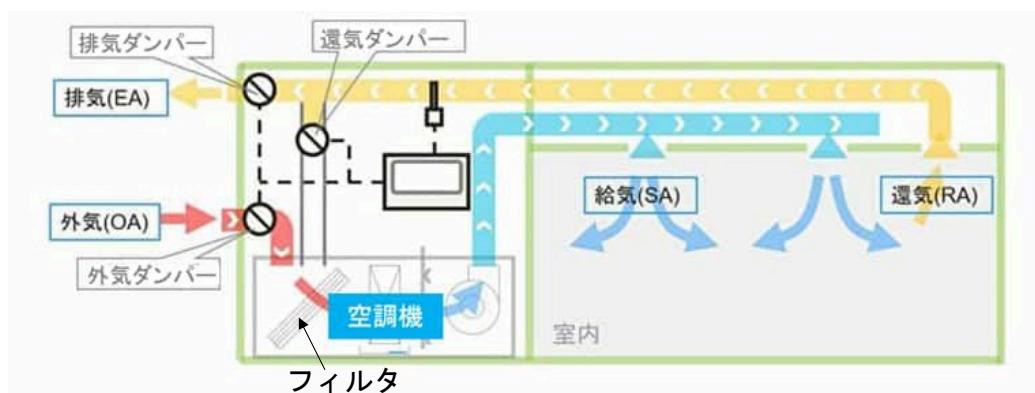


図8 空調・換気の例：換気と空調が同一の系統

ii) これまでの実験

エアフィルタへの火山灰影響については、火力発電所のガスタービン吸気口のエアフィルタに対する実験がある（山元・他、2016）。そこでは、プレ（粗）、中性能、高性能の3種類フィルタが扱われ、それぞれの単体、プレ+中性能、および、プレ+中性能+高性能の組合せについて、フィルタ要交換圧力損失に至るまでの火山灰供給量、時間、フィルタ火山灰保持量を求めており、流量不足とフィルタ破損の関係についても述べられている。山元・他では、屋外側からプレ、中性能、高性能フィルタの順で実験され、火山灰は殆どプレと中性能フィルタの直列設置によってほぼ除去されることを示した。

ここでは、プレフィルタと中性能フィルタを直列的に組み合わせたものののみを対象とすることにした。表2に用いたフィルタを示す。実際の建物では、いざれかのフィルタが単体で用いられる事はない。また、山元・他では粒径 $125\text{ }\mu\text{m}$ 以下の火山灰を用いたが、桜島の火山灰を用い、粒径 ($<250\text{ }\mu\text{m}$) は山元・他よりも粗い。この火山灰はこれまで空調機実験に用いたものであり、その粒度分布を図9に示した。

表2 実験に用いたエアフィルター

	プレフィルタ	中性能フィルタ
製品グレード	質量法85%グレード品	比色法90%グレード品
製品名、型番	ディアマットG85 (ガラス繊維フィルタ)	ミラセルMCS-S9-EF2Z/A
フィルタ寸法	$610 \times 610 \times 50\text{ mm}$	$594 \times 594 \times 292\text{ mm}$
定格風量	$56\text{ m}^3/\text{min}$	$56\text{ m}^3/\text{min}$
フィルタ圧力損失	44～147Pa	155～294Pa

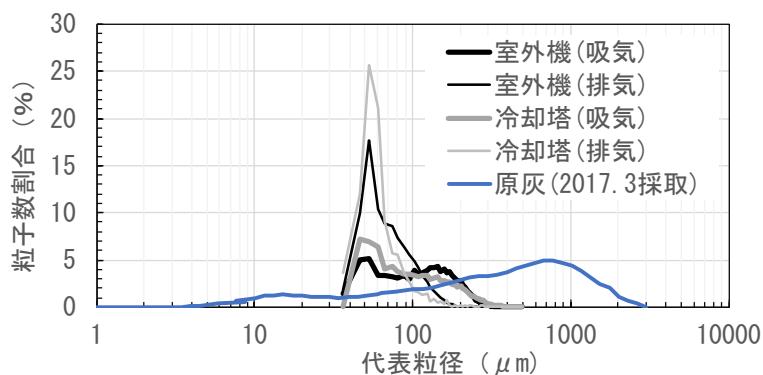


図9 実験に用いた火山灰の粒径頻度分布。図中で「原灰」とあるもの。

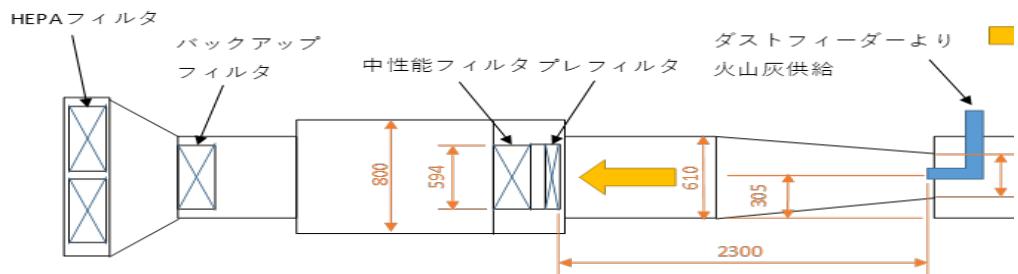
室外機・冷却塔実験において計測された飛散粒子径も併記。

iii) 実験方法と装置

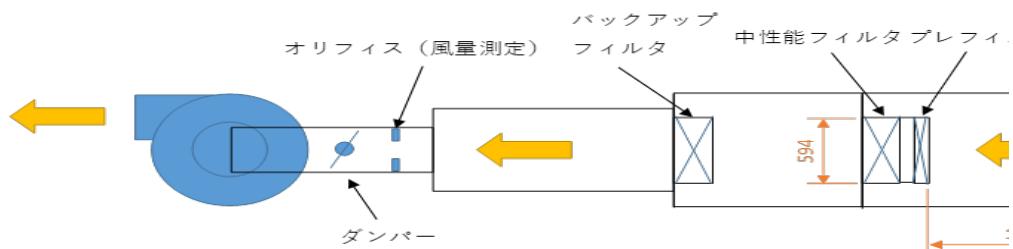
日本産業規格 JIS B 9908「換気用エアフィルタユニット・換気用電気集じん器の性能試験方法」に準拠した試験ダクトにフィルタを取り付けて、火山灰を供給し、フィルタの性能変化（圧力損失、粉じん保持量）を調べた。また、降雨時を想定した水分ミストと火

山灰を同時に供給しフィルタの性能変化を調べた（図 10）。フィルタ破損による圧力損失に到達するまで火山灰を供給し、破損に至った時間と火山灰供給量を調べた。

火山灰の乾燥は、大林組東日本ロボティクスセンター（所在地：埼玉県川越市）において乾燥炉で行った。



【屋内試験装置】



【屋外試験装置】

図 10 実験装置の概要

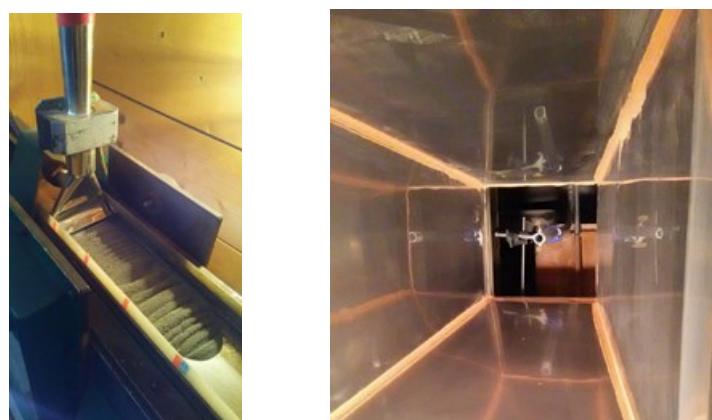


写真 4 ダストフィーダー。火山灰の吸い込み（左）、風路内への噴出口

実験は 2020 年 11 月 16～12 月 2 日の期間に、日本エアフィルタ株式会社内進和テック株式会社研究棟（神奈川県平塚市）で実施した。屋内装置を用いる実験 1～5（後述）では、風路にフィルタを設置し、ダストフィーダーから所定の時間供給量で火山灰を供給した。フィルタは上流側にプレフィルタ、下流側に中性能フィルタを配置。風洞の下流端部

付近には、実験室内への粉塵の飛散を回避するためにバックアップフィルタおよびHEPAフィルタが取り付けてある。

装置は、風路内の火山灰濃度 (kg/m³) が所与の値になるように供給量を調整できる仕様となっている。風量は定格の 56m³/min (風洞内風速は約 2.5m/s) とし、インバータ制御で一定に保たれた。圧力損失はフィルタ前後の圧力計測から求めた。ダストフィーダーには、AFI フィーダ (トレイ式) を用いた。火山灰は、写真 4 に示すように、ベルトコンベア上から吸気と共に吸い上げ、チャンバー内で拡散させた後にノズルによって風洞内で気流に平行に下流に向かって噴出させた。

屋外実験装置も吸い込み型の風洞である。水噴霧を使う湿潤実験や火山灰の量が多くなる破損実験では屋外の装置を用いた。火山灰の供給は屋内実験と同じダストフィーダーを用いた。風量の制御は、新品フィルタの定格風量時の初期圧損に合わせて風量を設定し、オリフィス板の差圧値が一定になるようにダンパー開度を調整した。

試料火山灰は粒度平均落下速度 U が 2m/s 程度、堆積状態の見かけの密度 $\rho = 1600 \text{ kg/m}^3$ 程度である。時間降灰深 F (mm/h) と空間濃度 C (kg/m³) との関係は、

$$F = C \times U / \rho \times 10^3 / 3600$$

で示される。落下速度 2m/s は、図 8 の「原灰」の粒径分布に対して、Dare (2015)に基づく粒子の抗力係数による終端速度の加重平均から求めた。試料の違いから単純な比較は難しいが、山元・他の実験では空間濃度 70、700、7000mg/m³ すなわち時間降灰深 0.34、3.4、34mm/h を用いたが、本研究では、空間濃度を 70、420、1005mg/m³ すなわち降灰強度 0.34、2.0、5.0mm/h とした。それぞれ、フィルタ試験の参照濃度、遠位領域の代表濃度、遠位領域での強めの濃度に相当する。実験は表 3 に示すように、全 7 ケースである。このうち 6 ケースは乾燥状態、1 ケースは湿潤状態である。ダクト内の送風量は、56m³/min (面風速 2.5m/s、流れの断面 $0.61\text{m} \times 0.61\text{m} = 0.373\text{m}^2$ 程度)とした。面風速は流量を流れの断面積で除した値である。

表 3 実験ケース

番号	圧力損失 条件	火山灰 条件	火山灰 濃度 mg/m ³	時間降 灰深 mm/h
実験1	最終	乾燥	70	0.34
実験2	最終	乾燥	420	2
実験3	最終	乾燥	1005	4.8
実験4	最終 1/3	乾燥	1005	4.8
実験5	最終 2/3	乾燥	1005	4.8
実験6	最終	湿潤	420	2
実験7	破壊	湿潤	1005	4.8

実験 1～3 は、フィルタ交換が必要となる圧力損失（最終圧力損失）に至るまでの火山灰供給量等を空間濃度別に見るもので、3 段階の空間濃度（70、420、1005kg/m³）を設けた。今回用いる実験装置は空間濃度によって供給量を制御する仕様になっている。

実験 4、5 では、実験 2 で得られたフィルタ要交換圧力損失値を参照し、実験 2 の要交換圧力損失値の 1/3、2/3 到達まで火山灰を連続的に供給した。これにより、通過抵抗の時間変化の直線性の有無などを調べる。実験 6 の湿潤状態では、火山灰への付着が起きやすい弱い降雨 (Wilson et al.) を想定した。火山灰供給は、フィルタの要交換の圧力損失まで行うこととした。目詰まりによりフィルタの圧力損失が増加すると、換気ファンの送風圧（静圧）により、フィルタの歪みや固定枠からのはずれ、ろ材の破れといった破損が生じる恐れがある。そのため実験 7 では、フィルタの破損までの火山灰供給量等を調べた。

iv) 実験結果

実験結果をまとめたものを表 4 に示す。

表 4 エアフィルター降灰影響実験結果のまとめ

番号	圧力損失 条件	火山灰 条件	火山灰 濃度 mg/m ³	時間降 灰深 mm/h	初期圧損 Pa		試験終了 圧損Pa		試験 時間 min	火山灰 供給量 g	火山灰 保持量 g	
					プレ	中性能	プレ	中性能			プレ	中性能
実験1	最終	乾燥	70	0.34	52	166	62	294	1360	5331.3	261.1	4257.4
実験2	最終	乾燥	420	2	55	164	64	296	225	5292.0	259.9	4198.9
実験3	最終	乾燥	1005	4.8	52	168	60	296	96	5402.9	248.0	4233.2
実験4	最終 1/3	乾燥	1005	4.8	50	168	66	210	60	3376.8	169.2	2635.1
実験5	最終 2/3	乾燥	1005	4.8	50	168	68	258	90	5065.2	262.8	3933.6
実験6	最終	湿潤	420	2	55	165	75	294	160	3763.2	104.2	3516.0
実験7	破壊	湿潤	1005	4.8	53	155	66	3200	530	29828.4	225.0	26950.5

図 11 に実験 7 を除く 6 ケースについて、プレ及び中性能フィルタの初期状態と火山灰供給終了時のフィルタの圧力損失を示した。初期圧損（圧力損失）と実験終了圧損の差が火山灰の捕集による圧力損失増加分を表している。中性能フィルタの実験 1、2、3 および 6 は最終圧損（要交換圧損）到達時で、圧損の増加分はおよそ 140Pa 程度である。実験 4、5 は初期から要交換までの圧力損失増加分の 1/3、2/3 時点で実験を終了したものであるが、ほぼ設定どおり行われていることが確認できる。プレフィルタは、中性能フィルタに比べ初期状態からの圧力損失の増加がかなり小さい。図 12 に、実験 1～6 における、火山灰供給量、プレ及び中性能フィルタによる火山灰保持量を示す。いずれのケースでもプレフィルタは中性能フィルタに比べ火山灰保持量は圧倒的に少ない。今回使用した程度の粒径範囲の火山灰では、中性能フィルタによって大部分が補足されることがわかる。

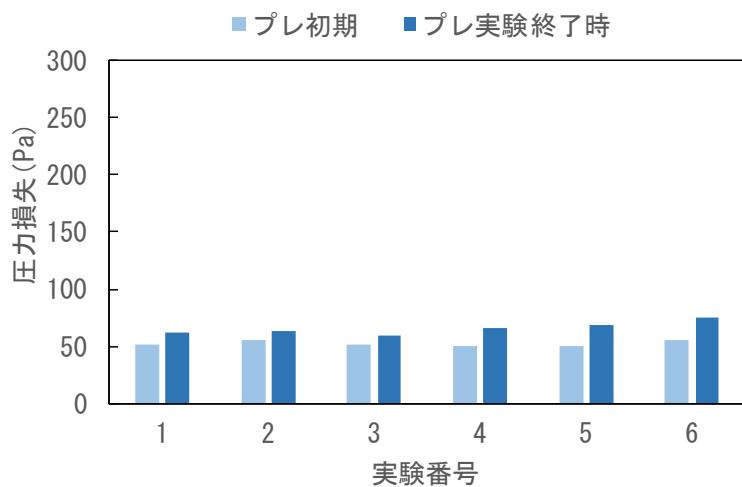


図 11a プレフィルタの初期圧力損失と実験終了時の圧力損失（実験 1～6）

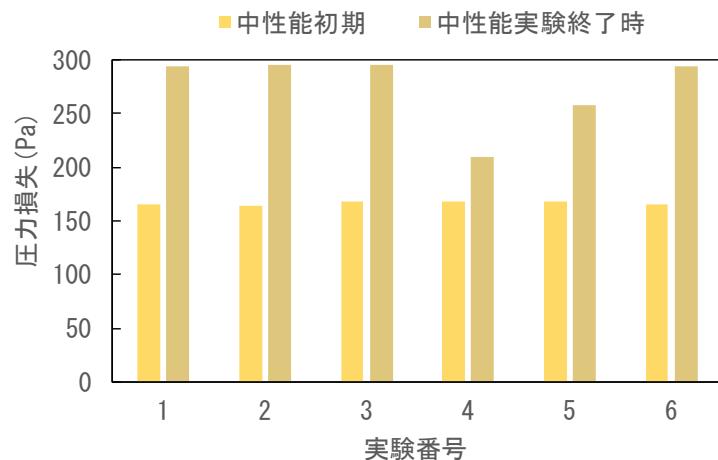


図 11b 中性能フィルタの初期圧力損失と実験終了時の圧力損失（実験 1～6）

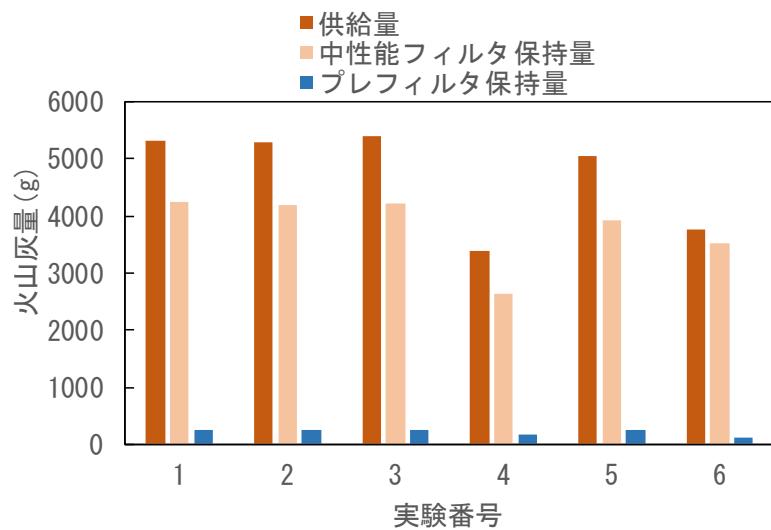


図 12 火山灰供給量と最終圧損時のフィルタによる火山灰保持量

v) 火山灰供給濃度による違い（実験 1、2、3）

実験 1～3において、実験終了圧力損失（メーカー推奨のフィルタ交換圧損）に至った時点での火山灰保持量は、プレフィルタで 248.0～261.1g、中性能フィルタで 4198.1～4257.4g であった（表 4）。一方、プレフィルタは、火山灰の多くが通過してしまい、圧力損失の上昇は小さかった。

圧力損失の時間経過を図 13 に示す。いずれも時間経過とともに圧損の増加率が次第に増す傾向にある。また、表 4 に示すように、要交換状態に達するまでの時間は、空間密度の増加とともに短くなっている。濃度と最終圧損到達までの時間は、フィルタの面風速が一定の場合、図 14 に示すようにほぼ反比例の関係にある。実験装置では、圧力損失の増加があっても流量（面風速）を維持するよう制御されている。

実験終了時のプレフィルタおよび中性能フィルタの外観をそれぞれ写真 5、6 に示す。

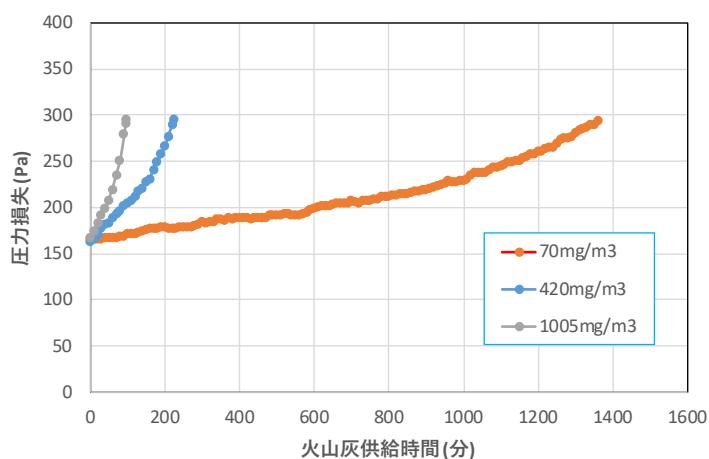


図 13 火山灰供給時間と圧力損失の関係（火山灰濃度による比較）

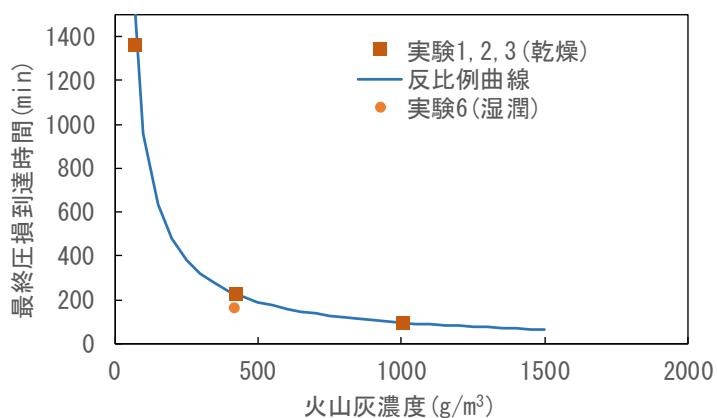


図 14 火山灰濃度と最終圧損（中性能フィルタ要交換圧損）までの所要時間（分）との関係



写真 5 試験終了後のプレフィルタ



写真 6 試験終了後の中性能フィルタ

vi) 試験終了時圧損 (実験 3、4、5)

フィルタ要交換圧損までの圧損増加分と火山灰保持量との関係をみるため、実験 3、4、5 におけるフィルタの火山灰保持量を比較した。ここでも、火山灰保持の大部分を占める中性能フィルタのみを示す。表 4 に示した火山灰供給濃度 $1005\text{mg}/\text{m}^3$ における実験終了圧力損失(実験 3)、およびその 1/3(実験 4)、2/3 (実験 5) に至った段階での火山灰保持量に関しては、フィルタの火山灰保持量を計量するにはフィルタをダクトから取り外して行う必要があり、計量後にフィルタを再設置して実験が不可能である。そのため、同一のフィルタによる経過を見たものではないことを注記しておく。圧力損失増分と火山灰保持量との関係を図 15 に示す。

図 16 には実験 3、4(最終圧損の 1/3)、5(最終圧損の 2/3)における圧力損失の時間変化を示す。実験 4(1/3)、実験 5(2/3)曲線は、第 1 義的には実験 3 曲線にある程度乗っているが、供給開始 60 分以降で実験 5 での圧損増加が実験 3 と比べやや遅くなっている。実験 5 で火山灰の保持量が、実験 3、4、5 間の圧力損失増分の割合から予想されるものよりも多いことから、フィルタろ材からの火山灰の脱落が実験 3、4 より多かった可能性がその理由として考えられる。

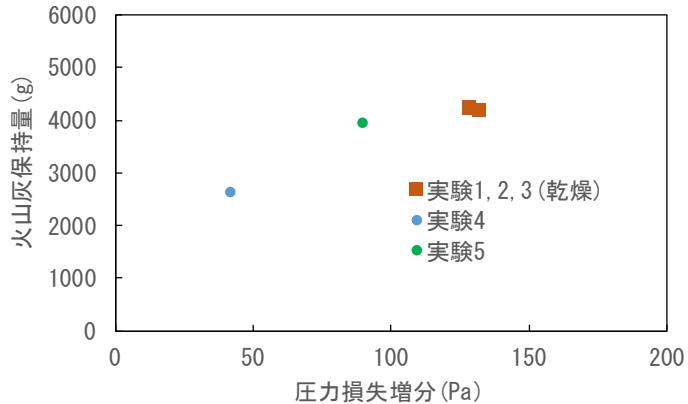


図 15 火山灰保持量と圧力損失增加分

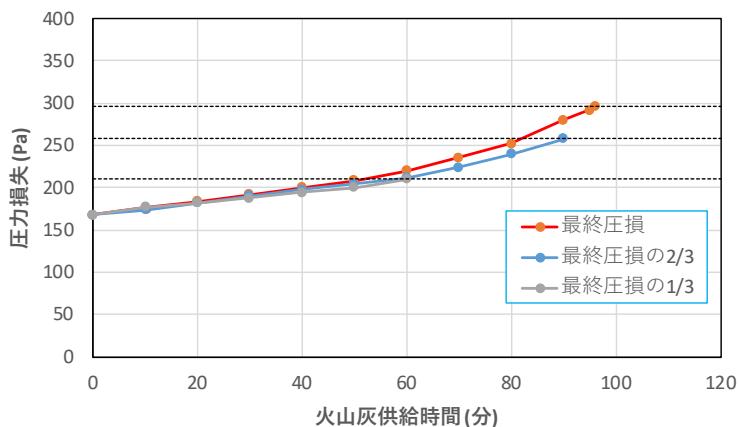


図 16 火山灰供給時間と圧力損失の関係（火山灰濃度による比較）

vii) 乾燥灰と湿潤灰の違い(実験 6)

火山灰供給濃度 $420\text{mg}/\text{m}^3$ に対し、湿潤火山灰と乾燥状態、それぞれによる火山灰保持量、圧力損失の増加過程の比較を行った。写真 7、8 にそれぞれ、屋外実験装置および火山灰と水分の供給状況を示す。湿潤灰は火山灰供給量約 $1410\text{g}/\text{h}$ に対して送水量約 $600\text{g}/\text{h}$ であり、供給源における火山灰に対する水分の割合は含水率換算で約 30% であった。フィルタ到達時の含水の割合の正確な把握は難しいが、H28 年度に行った室外機実験における湿潤灰との外見上の比較から、30% よりはかなり低い割合であったと推測される。

中性能フィルタの圧力損失の経時変化を図 17 に示す。中性能フィルタの要交換圧損段階での保持量は、乾燥火山灰（実験 2）の 4198g に対し、湿潤火山灰で 3516g と、乾燥状態の約 8 割程度となった（表 5）。プレフィルタについては、実験終了段階で乾燥火山灰の 4 割程度であった。圧力損失の時間変化（図 17）については、明らかに湿潤実験の方が上昇の進行が速い。また、乾燥、湿潤のいずれも圧力損失の時間変化曲線は途中から勾配が大きくなるが、いずれにおいても $220\sim230\text{Pa}$ 辺りに変曲点が認められる。先の実験 3、4、5 の比較のところでも触れたように、フィルタ内ではろ材への付着と（フィルタ枠内への）一部落下が同時に起こっているとみられる。変曲点における圧力損失値に乾

燥・湿潤で大きな差がないことから、湿潤火山灰では水分によってろ材への粘着性が増す結果、脱落する火山灰が相対的に少なくなり、結果的に少ない供給火山灰量でもフィルタの目詰まりが促進され、乾燥灰に対して圧損の上昇を早めた可能性が考えられる。

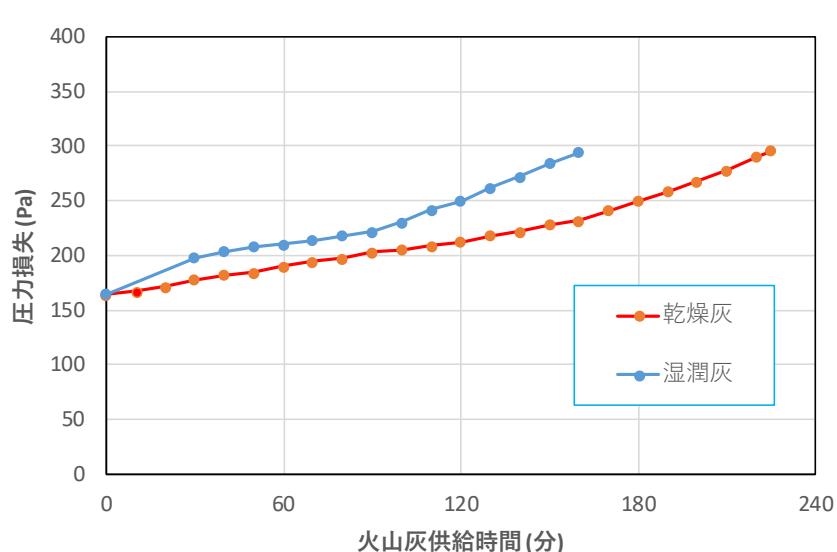


図17 火山灰供給時間と圧力損失の関係 (火山灰の状態による比較)

表5 湿潤・乾燥火山灰比較実験 (表4からの抜粋)

番号	圧力損失	火山灰 条件	火山灰濃度 mg/m ³	初期圧損 Pa		試験終了圧損		試験時間 min	火山灰 供給量 g	火山灰保持量 g	
	条件			プレ	中性能	プレ	中性能			プレ	中性能
試験2	最終	乾燥	420	55	164	64	296	225	5292.0	259.9	4198.9
試験6	最終	湿潤	420	55	165	75	294	160	3763.2	104.2	3516.0

火山灰はダストフィーダーから青色のホースを介して風洞内噴出され、水分は予め加圧した水タンクにミスト噴霧用のノズルを付けそこから、できるだけ火山灰と混合するよう噴出させた。

viii) 破壊実験(実験7)

実験7での破損時の保持量は26950.5gで、実験3での保持量4233.2gの約6.4倍であった(表4)。圧力損失の時間変化を図17に示す。破損時の圧力損失は3200Paであり、実験3におけるメーカー設定の最終圧力損失値約290Pa(フィルタ要交換、表2参照)の10倍以上である。圧力損失の時間変化の状況についてみると、圧力損失300Pa辺りまでは実験3、実験7と同様にほぼ同じ経過をたどっている。実験7ではその後の時間経過とともに圧力損失の増加速度(増加率)が次第に大きくなり、ろ材上部に隙間ができた段階で通気がよくなり圧力損失値が横ばいとなる。後者の時点を破損発生とした。

写真9、10に示すように、破損は、ろ材上部の隙間発生、ろ材折り部の目開き発生が原因である。

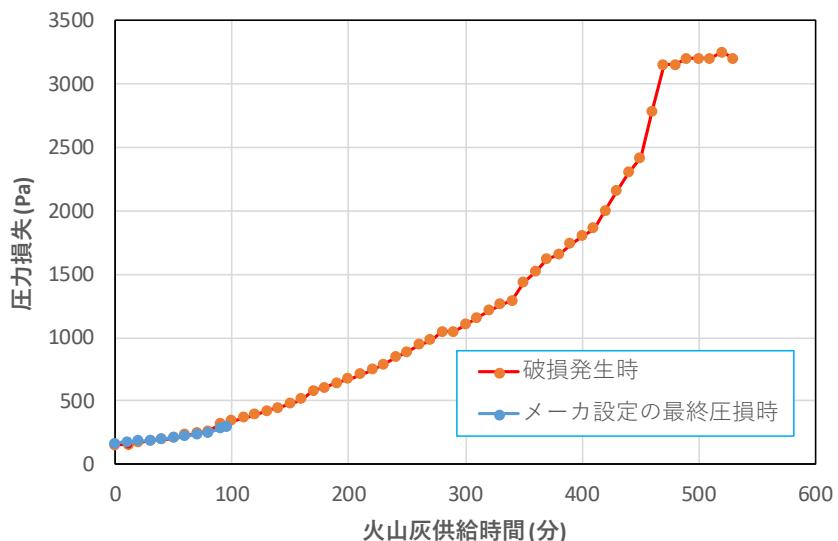


図18 火山灰供給時間と圧力損失の関係(破壊実験時)

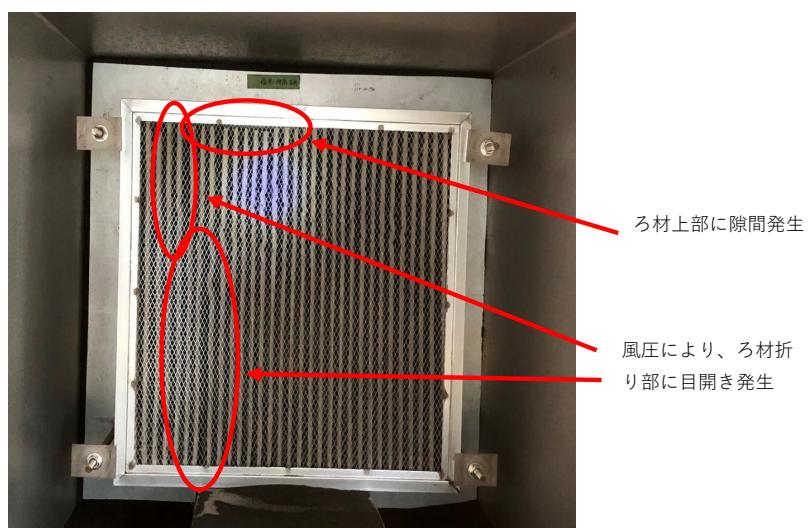
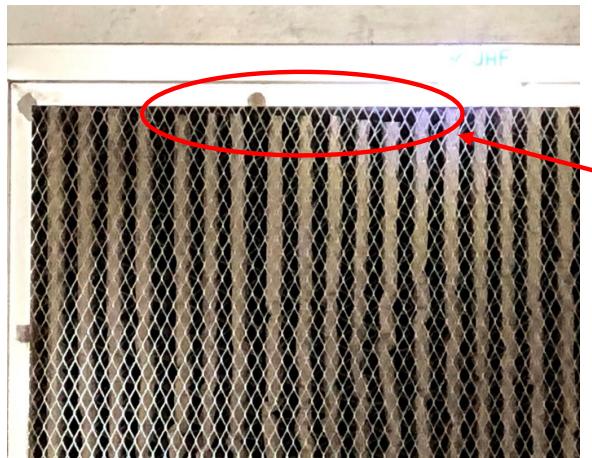


写真9 破壊実験時の中性能フィルタ破損箇所



ろ材上部に隙間が発生し、圧損上昇が横ばいとなった

写真 10 破壊実験時の中性能フィルタ破損箇所（拡大）

ix) 火山灰の質量収支・通過率

実験における火山灰の質量収支を表6に示す。表の中で落下火山灰とあるのは、風洞の床に落下した量であり、床から回収して計量された質量である。このうち「プレ前」は、風洞内でプレフィルタに達する前に落下した量である。「中性能後」は中性能フィルタを通過した量を表している。「不明分」は、火山灰供給量からフィルタによる火山灰保持量と落下火山灰の和を差し引いた残差であり、回収できなかった量である。

ダストフィーダーから供給された火山灰がプレフィルタに到達する前に風洞の床に落下する割合を「フィルタ非到達率」としている。落下火山灰のうち、中性能後のものはフィルタ系を通過した火山灰の量である。フィルタに到達しないものも含めて、供給火山灰量全体に対する中性能後の割合を「バルク透過率」、供給火山灰量からプレフィルタに到達しなかった落下火山灰（プレ前）を差し引いた量は実質的にフィルタに流入した火山灰量であるが、これに対する落下火山灰（中性能後）はフィルタの透過率であり「フィルタ透過率」とする。また、火山灰供給量に対する「不明分」の割合を「不明率」とした（表7）。

表6 実験における火山灰の質量収支

番号	圧力損失 条件	火山灰 条件	火山灰 濃度	試験風量	試験時間	火山灰 供給量	火山灰保持量 g			落下火山灰 g		不明分 g
			mg/m ³	m ³ /min	min	g	プレ	中性能	合計	プレ前	中性能後	
実験1	最終	乾燥	70	56	1360	5331.3	261.1	4257.4	4518.5	794.8	1.9	16.1
実験2	最終	乾燥	420	56	225	5292.0	259.9	4198.9	4458.8	802.6	0.7	29.9
実験3	最終	乾燥	1005	56	96	5402.9	248.0	4233.2	4481.2	883.7	2.2	35.8
実験4	最終 1/3	乾燥	1005	56	60	3376.8	169.2	2635.1	2804.3	542.6	5.5	24.4
実験5	最終 2/3	乾燥	1005	56	90	5065.2	262.8	3933.6	4196.4	834.2	3.2	31.4
実験6	最終	湿潤	420	56	160	3763.2	104.2	3516.0	3620.2	148.2	0	-5.2
実験7	破壊	乾燥	1005	56	530	29828.4	225.0	26950.5	27175.5	2346.0	483.5	-176.6

表7 火山灰のフィルタ透過率

番号	フィルタ 非到達率	バルク 通過率	フィルタ 透過率	不明割合
	(%)	(%)	(%)	(%)
実験1	14.908	0.036	0.042	0.302
実験2	15.166	0.013	0.016	0.565
実験3	16.356	0.041	0.049	0.663
実験4	16.068	0.163	0.194	0.723
実験5	16.469	0.063	0.076	0.620
実験6	3.938	0.000	0.000	-0.138
実験7	7.865	1.621	1.759	-0.592

フィルタ非到達率については、ダストフィーダー噴出口から供試体までの距離が、室内実験装置が 2.3m、屋外装置が 1.2m であるため、実験 1～5 と実験 6、7 間の差はこうした距離の差によると見られる。さらに、実験 6、7 の差は湿潤、乾燥の違いに起因していると考えられる。実験 1～6 では、透過率いずれのケースでも 1%を大きく下回っており、特に湿潤実験ではほぼ 0 である。火山灰のほとんどが中性能フィルタによって捕集されることがわかる。この結果は山元・他の実験結果と整合的である。実験 7 では、透過率が 1%を大きく超えている。フィルタのろ材上部での隙間の発生や、ろ材折り部の目開きなどによる火山灰の漏洩が起こり、火山灰が急激に侵入し始めたことによると推察される。

x) 考察

先行実験結果との相違

山元・他の実験と比較すると、実験条件は異なるものの、プレフィルタと中性能フィルタの組合せによって、フィルタを通過しようとする火山灰の大部分を捕捉できるという共通の結果が得られた。しかしながら、保持量と要交換までの所要時間に有意な差があり、全体として、本研究における方が要交換になるまで長時間を要し、フィルタ内の保持量も多い。その要因としては、フィルタによる塵埃の捕集の仕組み、使用した火山灰の違いが考えられる。山元・他の実験では、火山灰として入戸火碎流堆積物を人工的に粉碎したもののが使用され、本研究では天然の桜島火山灰が使用されている。粒径の範囲や、粒子の形状が異なるなどしてフィルタのろ材への付着の特性に違いがあり、それらが、結果が相互に異なる部分の要因となった可能性はある。

実際の降灰と実験結果

表4によると、フィルタ要交換圧力損失になるまでの時間が、実験 2 では 225 分であるので、比較的短時間でフィルタの濾過性能の健全性が維持されなくなる可能性がある。要交換圧損未満の状態では中性能フィルタで火山灰のほぼ全ては除去できていたが、圧力損失が大きくなるとろ材に付着した火山灰の再飛散により、室内への火山灰の侵入が徐々に増えて行くことが考えられる。数字の上では時間降灰深 2 mm/h が半日続いたとする（積算降灰深 24mm）、数字の上ではフィルタ交換が 2～3 回必要ということになる。しかしながら、降灰中はフィルタの交換は円滑に行えず、仮に、フィルタを使い続けると実験 7 に示したようにいずれ破損に至る。

表8に各実験ケースにおける、火山灰濃度、実験時間、時間降灰深、積算降灰深を示す。実験1～3から、降灰の強度に関係なくおよそ積算降灰深8mm程度で中性能フィルタの要交換レベルに達することがわかる。湿润時はやや小さい5～6mm程度である。フィルタの破損の積算降灰深は約44mmである。これは、時間降灰深が1～2mm/hの状況では22～44時間（1から2日）である。積算降灰深が40～50mm程度までは、中性能フィルタが破損に至る可能性は低いといえる。

表8 各実験ケースにおける積算降灰深等

番号	圧力損失 条件	火山灰 条件	火山灰 濃度	時間降 灰深	試験 時間	積算降灰深
			mg/m ³	mm/h	min	mm
実験1	最終	乾燥	70	0.34	1360	7.71
実験2	最終	乾燥	420	2	225	7.50
実験3	最終	乾燥	1005	5	96	8.00
実験4	最終 1/3	乾燥	1005	5	60	5.00
実験5	最終 2/3	乾燥	1005	5	90	7.50
実験6	最終	湿润	420	2	160	5.33
実験7	破壊	乾燥	1005	5	530	44.17

b) 降灰荷重による建物屋根への検討

富士山の宝永噴火のように首都圏に影響のある大規模降灰に関して、木造建物などへの影響が検討され始めている。ここでは、積雪荷重の短期許容応力度に対する余裕率と大雪の屋根被害における積雪荷重に対する安全率を用いて、建物屋根の限界降灰深を評価して被害確率関数を作成した。つぎに、構造種別ごとの被害確率関数を計算し、大規模降灰に対する建物屋根の損傷確率を評価した。

積雪荷重の短期許容応力度の余裕率と大雪の屋根被害における積雪荷重の安全率を考慮して、構造種別が木造建物、RC造建物、S造建物ならびにS造建物（折板屋根）に対応した被害確率関数を作成した。

次に、富士山噴火による降灰シミュレーション結果（中央防災会議防災対策実行会議 大規模噴火時の広域降灰対策検討ワーキンググループ、2020による）における6地点（御殿場市、秦野市、小田原市、横浜市、相模原市、新宿区）を対象に、火山灰が乾燥状態と湿润状態について構造種別に応じた建物屋根の損傷確率を評価した。建物屋根の損傷確率は風向により大きく異なり、ケース1（西風卓越）では御殿場市と秦野市における建物屋根の損傷確率が高くなっている。一方、ケース2（西南西風卓越）では相模原市における建物屋根の損傷確率が最も高く、新宿区においても木造建物とS造建物（折板屋根）の損傷確率が高くなることを示した。

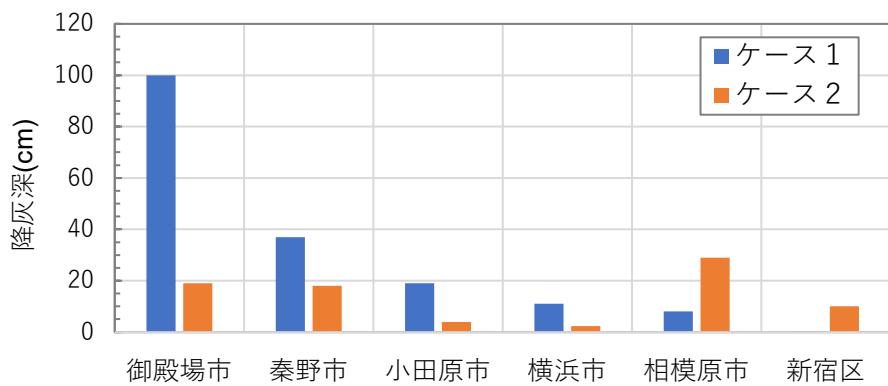


図 19 2 ケースにおける 6 地点における降灰深（中央防災会議防災対策実行会議 大規模噴火時の広域降灰対策検討ワーキンググループ、2020 による）

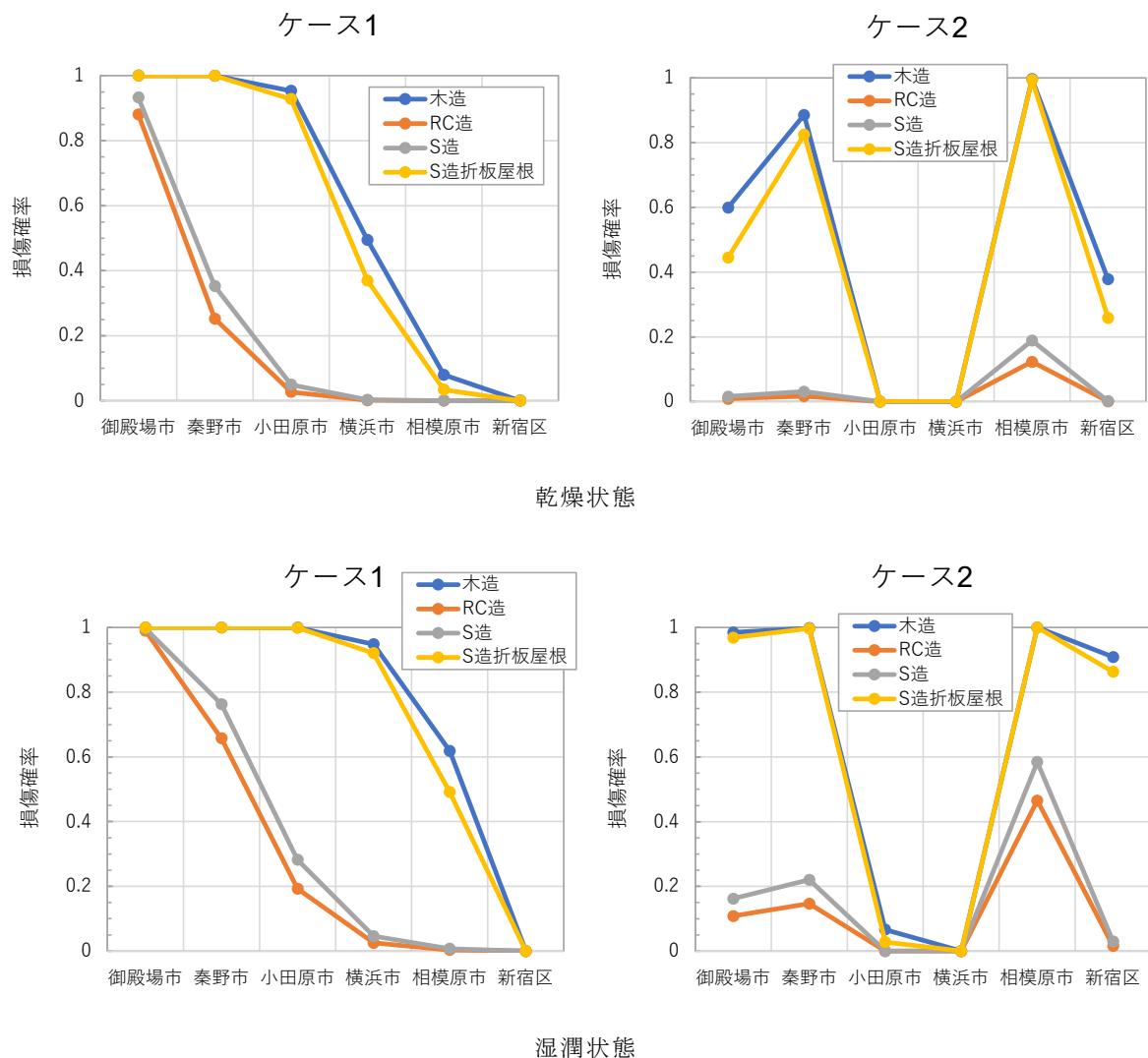


図 20 建物屋根の損傷確率

c) パソコン機器への降灰影響実験

今年度は火山灰によるパソコン機器への影響についても実験を行った。これまでに電子機器を対象に火山灰による影響の実験は行われていたが、鹿児島市でのヒアリング調査などからは、それほど影響がないことがうかがえた。一方、新型コロナウィルス感染拡大の影響を受けて、新しい生活様式では、ICTを活用した生活や業務の重要性が増し、ICTが社会の中でより重要なインフラとなり、IT機器がなくては生活ができないといつても過言ではない状況になってきている。そのため、これまでの降灰実験で余った桜島の火山灰を使い、簡易な実験装置を作成し、予備実験を行った。今回行った予備実験は火山灰が降り注ぐ中パソコンを使用する状況は非現実的であることから、遠方で且つ建物内で使用しているときに火山灰が室内に入ってくる状況を想定した(図21)。このため、使用した火山灰は $250\text{ }\mu\text{m}$ にふるい、乾燥したものを使用した。

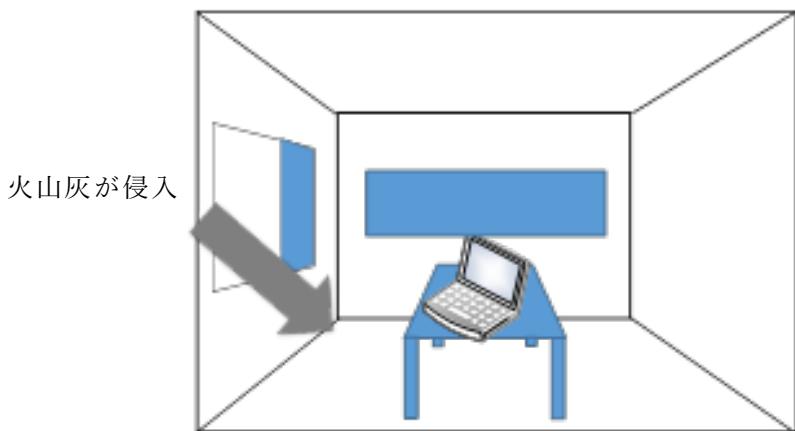


図 21 予備実験の想定図

先行研究のGordon et al. (2005)では、PC機器への実験を行う際、密閉した空間に灰を降らせて、実験を行っている。今回の予備実験では、その方法を参考に写真11に示すように密閉した容器に試験体を入れて、さらに容器内で火山灰と空気が循環するようにサーモキューレータを用いて循環させ、さらに落ちた火山灰が舞い散るように容器内(38.5cm×64cm×41cm)にファンを設置し、実験を行った。ここでは、予備実験のため、試験体が故障するかどうかについてのみ着目し、故障は起動不良とした。また、平時のPC利用を想定して、予備実験では、PCを1日約8時間程度起動させ、起動中は無限ループで常時HDDに書き込みするプログラムを起動し、常にCPUとHDDが起動する状態とした。今回実験に使用したPCはOSの更新に伴い、不要となった中古のPCを使用し、今回はノートPC(NEC製)、デスクトップPC(HP製)を各1台使用した。このため、実験に使用するPCはすでに数年使用されたものである。また、Gordon et al. (2005)ではキーボードの裏に火山灰は侵入することによる影響があったとしたが、キーボードなどの入力装置は外部接続が可能なため、ここでは、影響は検討しない。



写真11 実験装置

このような条件の下で予備実験を行い、その結果、ノートPCは12日間、デスクトップPCは19日間実験を行い、ノートPCで5日後から6時間起動すると電源が落ちる症状があらわれたが、その後起動できたことから、起動不良となることはなかった。一方、デスクトップPCでは電源が落ちるといったことや起動不良は見られなかった。また、2つのPCともにUSBを利用することができた。

次に実験終了後のノートPCとデスクトップPCの外部と内部の様子を写真12、13に示す。それぞれの内部で灰の侵入は見られたが、ファンやHDD、CPU等には影響がみられなかった。これは、最近のパーツは気密性が高いためと考えられる。同様に容器内で攪拌用に使用していたファンにも影響はなかった。



写真12 ノートPCの外部(上段)と内部(下段)の様子



写真13 デスクトップPCの外部(上段)と内部(下段)の様子

今回の予備実験では起動不良となることはなかったが、使用した火山灰は新鮮なものでないため、火山灰が持つ化学的特徴による基盤への影響は別途検討する必要がある。

d)防災担当者の降灰対策調査

平成30年度までのヒアリング調査やアンケート調査の結果、噴火ハザードの内、特に首都圏を含む都市部において最も広範囲に影響を及ぼす「降灰」に関して、多くの自治体で対応経験もなく十分な対策がとられていないことが明らかになった。また、防災担当者へのヒアリングからも降灰について土砂災害や道路被害など災害対応につながる情報のため、必要とするニーズが得られた。このため、前年度は降灰による都市部への被害予測を地図情報として提供する降灰被害予測コンテンツ試作版を開発した。今年度は、本コンテンツ試作版の高度化を行うために、自治体の防災担当者がどのような降灰対策についてどのような対策を用意しているかや、降灰が日常的となっている鹿児島市での対策について、防災担当者間で情報共有が行えるように勉強会を実施した(写真14)。この勉強会では、富士北麓地域の防災担当者と鹿児島市の防災担当者をオンラインでつなぎ、鹿児島市の現状の対策、山梨県から火山防災強化推進都道県連盟が作成している降灰対応マニュアルについて、降灰被害調査について、本コンテンツの試作版について話題提供を行い、降灰対策で必要な情報や今後の研究に関する要望などの議論を行った。



写真 14 第 1 回火山灰対策の勉強会

勉強会での議論の結果、以下のコメントを得た。

降灰被害予測コンテンツについて

- ✓ 現在 1 km メッシュの降灰被害であるが、もう少し解像度の高い情報が欲しい。
- ✓ リアルタイム性がある情報が欲しい。
- ✓ 県の防災システムにこういった情報は入らないのか。
- ✓ 現在宝永噴火を基に首都圏対象だが、他地域や様々な気象条件での影響が知りたい。

研究への要望について

- ✓ 降灰時における車両走行実験
- ✓ 降灰時の避難方法を考える際に必要となる降灰による建物被害について研究していただきたい。
- ✓ 農作物への被害について

今回実施した勉強会で得られた自治体防災担当者からのニーズを基に必要な情報を収集することや実験などによって検証を行い、降灰被害予測コンテンツを高度化させていく必要があることが分かった。

e) 大規模降灰に関するアンケート調査

降灰被害予測コンテンツによる情報発信の在り方を検討するために、一般住民（登山者など）を対象として、インターネットを利用した大規模降灰に関するアンケート調査を実施し、分析を行った。

i) 調査概要

人々の噴火時の降灰に対する意識を明らかにするため、2つのアンケート調査を実施した。その概要が表9である。

一つ目の調査は、首都圏に在住する住民の富士山噴火に対する意識を明らかにすることを目的として実施した。対象は、東京都または神奈川県に在住するWEBモニターである。ここでは、東京都と神奈川県それぞれについて、20～60代の男女で均等割付を行い（1セル250サンプル）、5,000サンプルを回収した。

二つ目の調査は、首都圏に限らず、全国の登山者に対して火山噴火に対する意識を明らかにすることを目的として実施した。ここでの「登山者」の定義は容易ではないため、便宜上、深田久弥の著書『日本百名山』に紹介された山に登山した経験がある人、とした。この百名山は登山者にとっては有名であり、登山が好きな人であれば一度は登ったことがある山と考えられるからである。さらに本調査では、火山噴火に対する意識を明らかにするため、さらに条件を絞り、この百名山の中でも噴火警戒レベルが運用されている山に、2015年以降に登山したことがある人を調査対象とした。この2015年は9月に御嶽山が噴火し、多くの登山者が犠牲になった年である。ここを一つの区切りとした。つまり、調査対象者は火山に登山経験があるため、東京都や神奈川県に在住するような、火山が身近ではない一般住民と比較しても知識があると考えられる人である。こちらの調査は、サンプル数を確保するために、割付などは一切行なわず、2,000サンプルを回収した。なお、百名山で噴火警戒レベルが運用されている山の一覧は表10である。

表9 調査実施の概要

調査実施の概要	
調査方法	WEB調査
調査対象	東京都または神奈川在住の20～60代の男女 (楽天インサイトのWEBモニター)
調査期間	2021年3月23日～25日
有効回答	5,000サンプル (東京都・神奈川県それぞれ、20～60代の男女で均等割付)
調査実施の概要	
調査方法	WEB調査
調査対象	百名山で噴火警戒レベルが運用されている山に2015年（御嶽山噴火）以降に登山したことのある全国の15～99歳の男女（=「登山者」）

	(楽天インサイトの WEB モニター)
調査期間	2021 年 3 月 19 日～23 日
有効回答	2,000 サンプル (割付等はなし)

表 10 百名山かつ噴火警戒レベルが運用されている山の一覧

	山名 (最寄りレベル運用火山)		山名 (最寄りレベル運用火山)		山名 (最寄りレベル運用火山)
1	阿寒岳 (雌阿寒岳)	11	磐梯山 (磐梯山)	21	穂高岳 (焼岳)
2	大雪山 (大雪山)	12	那須岳 (那須岳)	22	焼岳 (焼岳)
3	十勝岳 (十勝岳)	13	雨飾山 (新潟焼山)	23	乗鞍岳 (乗鞍岳)
4	岩木山 (岩木山)	14	妙高山 (新潟焼山)	24	御嶽山 (御嶽山)
5	八甲田山 (八甲田山)	15	火打山 (新潟焼山)	35	富士山 (富士山)
6	岩手山 (岩手山)	16	奥白根山 (日光白根山)	26	白山 (白山)
7	鳥海山 (鳥海山)	17	草津白根山 (草津白根山)	27	九重山 (九重山)
8	蔵王山 (蔵王山)	18	浅間山 (浅間山)	28	阿蘇山 (阿蘇山)
9	吾妻山 (吾妻山)	19	劍岳 (弥陀ヶ原)	29	霧島山 (霧島山)
10	安達太良山 (安達太良山)	20	立山 (弥陀ヶ原)		

ii) 調査結果

登山者の概況（調査 2 より）

まず、調査 2 の対象者が、2015 年以降に登った山について複数回答で問うた結果が図 21 である。35.51% の人が富士山に登山した経験があり、阿蘇山、立山と続く。最も少ないのは火打山で全体の 1.6% の人であった。

また、年間に平均して登山する回数について問うた結果が図 22 である。本調査対象者の約半数の 52.0% は 1 回未満と答えており、残り 48.0% の人が平均して年に 1 回以上登山している。

デモグラフィック要因としての性別、年代はそれぞれ図 23、24 の通りである。

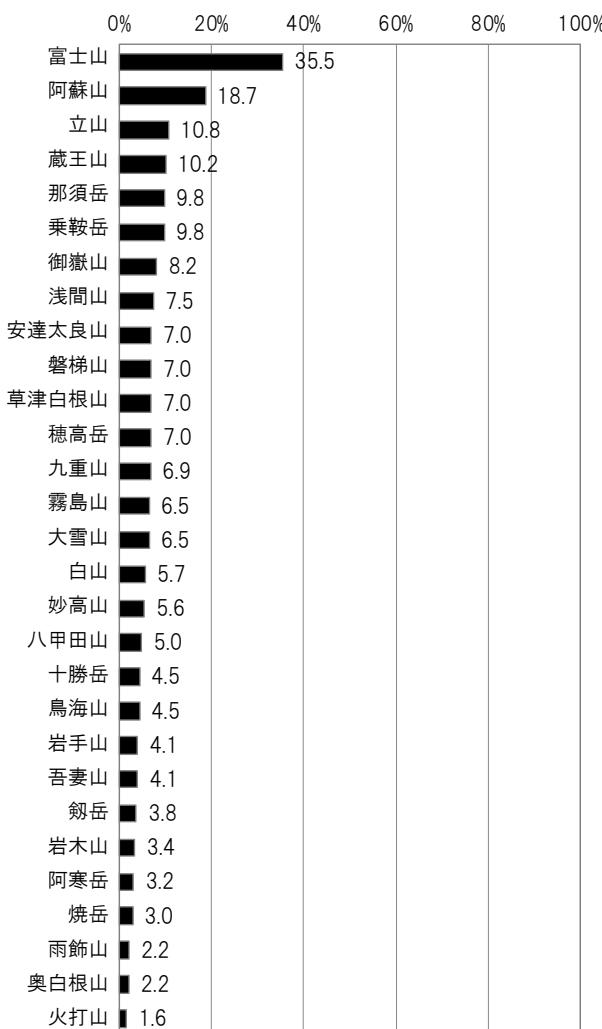


図 22 調査対象者が 2015 年以降に登った山

(複数回答、n=2,000)

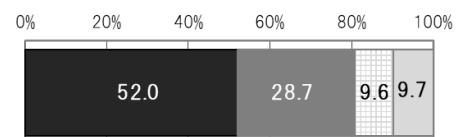


図 23 1 年間の登山回数 (n=2,000)

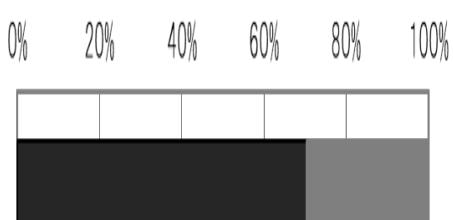


図 24 調査対象者の性別 (n=2,000)



図 25 調査対象者の年代分布

(n=2,000)

一般住民と「登山者」の知識

では、一般住民と「登山者」の間で、火山に関する知識の差はあるのか。そこでまず、調査1、調査2のいずれにおいても火山に関する情報について「あなたは、次のことを知っていますか」と問うた。その結果が図26である。ほとんどの項目で「登山者」の方が「聞いたことがあるし、意味も知っている」割合が多かった。火山の近所に居住しているなければあまり馴染みのない、噴火警報や噴火警戒レベルなどに関して、一般住民は約4割前後が「聞いたことがあるし、意味も知っている」と答えており、「登山者」は6割以上が「聞いたことがあるし、意味も知っている」と答えている。なお、「ハザードマップ」に関してのみ、両者の間でほとんど差はみられなかった。

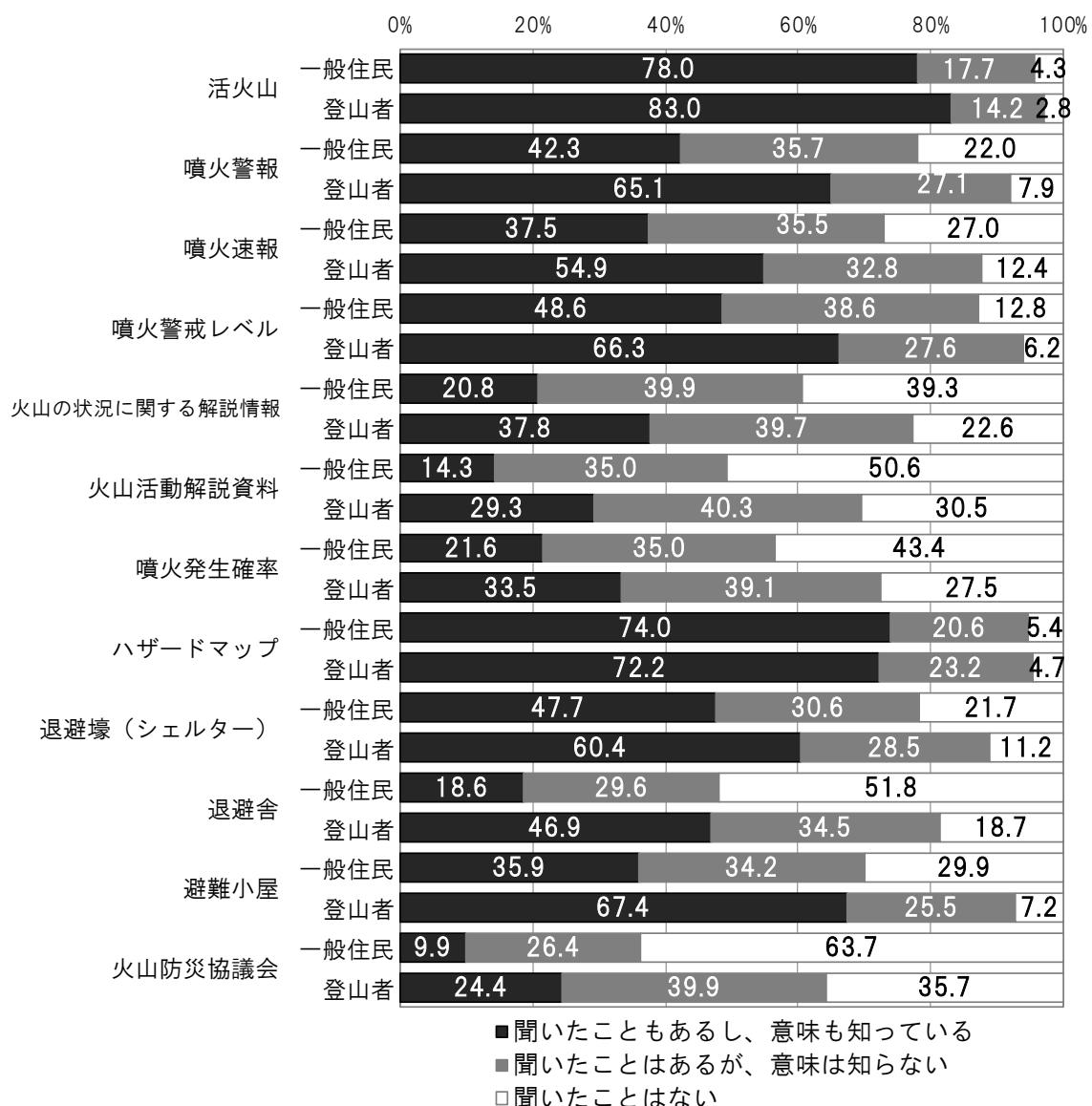


図26 調査対象者の情報認知（一般住民 n=5,000、登山者 n=2,000）

次に、調査1、調査2のいずれにおいても火山に関する用語について「あなたは、次のことを知っていますか」と問うた。その結果が図27である。「噴石」「溶岩流」「火

「山灰」などは一般住民、「登山者」のいずれにおいても「知っている」割合は変わらないが、それ以外の項目では「登山者」の方が「知っている」割合が多い。

これらの結果から、「登山者」が一般住民よりも火山に関して知識があると考えられる。もちろん、この結果は単純な認知を問うたにすぎず、かつ用語を「知っている」と答える人でもその知識が正しいかどうかはこの結果からはわからない。だが、火山に登ることがある「登山者」の方が、東京都や神奈川県の住民という、日常生活において火山と接する機会の少ない人びとと比較したときに、認知が高いことは自明であろう。当然、「登山者」は火山に登る前に準備として、コースや山について調べる。その過程で、火山に関して認知があがると考えられる。

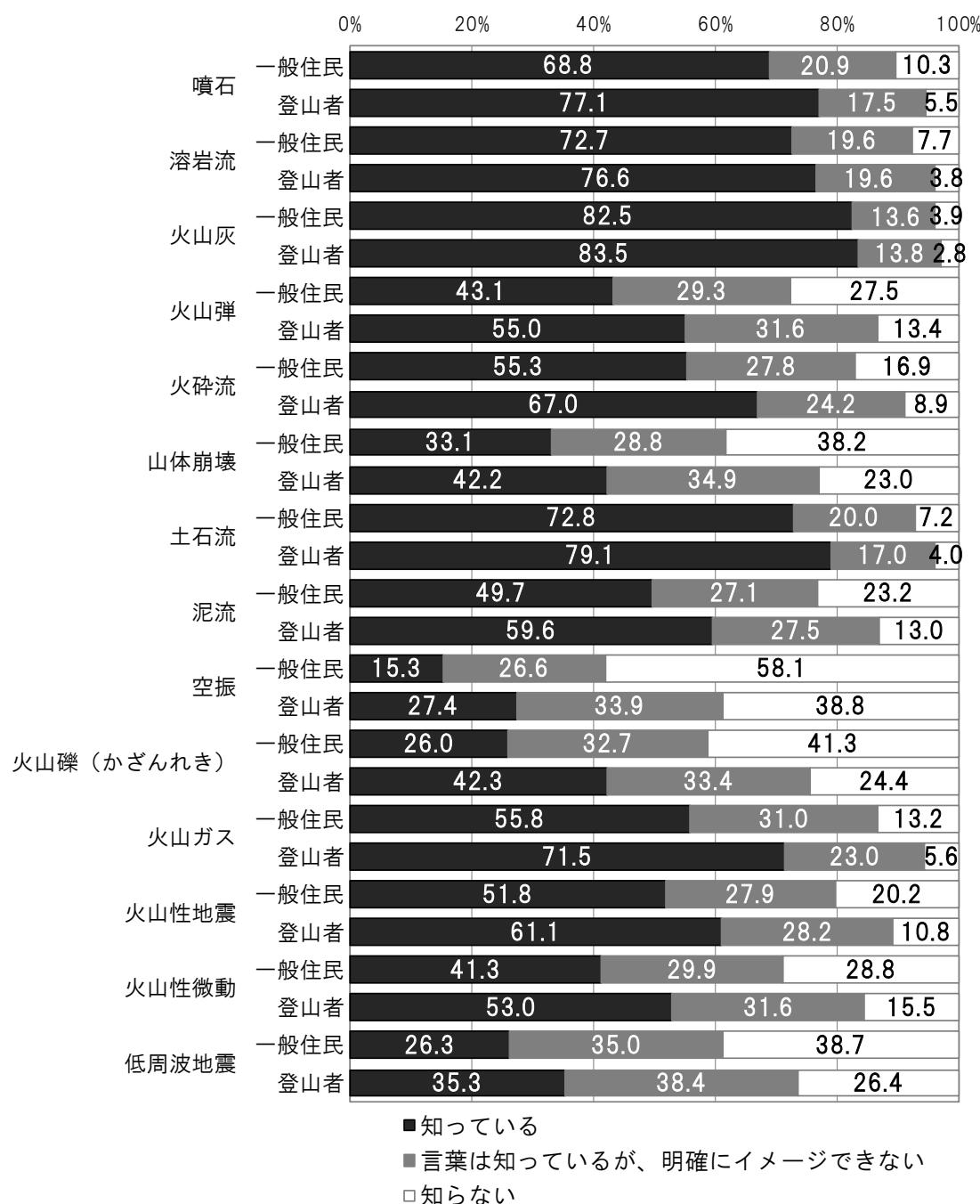


図 27 調査対象者の用語認知（一般住民 n=5,000、登山者 n=2,000）

一般住民と「登山者」の富士山噴火に対するイメージ

では、これら的一般住民と「登山者」の間で、富士山噴火に対してどのようなイメージがあるのか。「富士山が大規模噴火するとどういう状況になると思いますか」と富士山周辺域と首都圏でどのような状況になるかを自由記述で回答してもらった。その結果について、テキスト分析ソフトである、KH Coder を用いて分析を行った。本稿ではそこでの頻出語から傾向を明らかにする。なお、データクリーニングの段階で「分からぬ」という回答が多かったため、強制抽出する語として「分からぬ」「わからぬ」「わかりません」「分かりません」「わからん」「分からん」（以上、全て表記の揺れとして「わからぬ」で吸収）を指定し、抽出を行った。

まず、富士山が大規模噴火した時の、その周辺域の状況のイメージについてである。東京都や神奈川県の住民の自由記述における頻出語上位 30 語が表 11 である（5,000 段落、5,726 文、使用総抽出数：21,004、使用異なり語数：1,662）。一方、「登山者」の自由記述における頻出語上位 30 語が表 12 である（2,000 段落、2,172 文、使用総抽出数：7,690、使用異なり語数：1,069）。

いずれにも共通していることとして、出現回数をふまえて約 5 人に 1 人は「火山灰」もしくは「溶岩」に言及している。また、「火碎流」に言及している人も多く、火山噴火のイメージとして、1991 年に発生した雲仙普賢岳の噴火による被害のような状況を富士山周辺域の状況としてイメージされていると考えられる。こうした現象以外にも「避難」「火事」への言及、さらには「住める」つまり、住むことが出来なくなる、と考えている人が多い。その一方で「わからぬ」と回答している人も多く、これは知識があると考えられる登山者でも一般住民でも同程度の頻度であった。

また、一般住民では「マグマ」への言及が、「登山者」では「噴石」「土石流」「ガス」への言及が比較して多かった。

つぎに、富士山が大規模噴火した時の、首都圏の状況のイメージについてである。東京都や神奈川県の住民の自由記述における頻出語上位 30 語が表 13 である（5,000 段落、5,539 文、使用総抽出数：21,268、使用異なり語数：1,860）。一方、「登山者」の自由記述における頻出語上位 30 語が表 14 である（2,000 段落、2,146 文、使用総抽出数：7,361、使用異なり語数：1,020）。

こちらは多少の出現順位に大小はあるが、ほとんど共通している。「火山灰」が最も多く、火山灰が降ること、積もることは多くの人がイメージしている。そして、それに基づく交通障害や停電などのインフラの停止、パニックなどの発生などが考えられている。また、地震が首都圏でも発生すると考えられている。そして、こちらでも「わからぬ」と答える人は一定程度存在し、これは先と同様に知識があると考えられる登山者でも一般住民でも同程度の頻度であった。

以上のように、火山に関して知識があるといえる「登山者」であってもそこまで一般住民と差はないことが明らかになった。また、首都圏で大規模な富士山噴火が発生したとしても、火山灰が降ることは多くの人がイメージできている。だが、それによってどのような影響が出るのかはあまり考えられておらず、せいぜい、東日本大震災時の東京での移動者が混乱しているといった程度のイメージで考えられている。経験したことがないため、過去の災害のイメージに引っ張られてしまっている。

表 11 一般住民の富士山噴火時の周辺域に対するイメージの頻出語上位 30 語

抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数
1 火山灰	1062	11 流れる	242	21 噴火	175
2 溶岩	943	12 思う	240	22 状態	170
3 被害	723	13 住める	233	23 火山	160
4 壊滅	578	14 マグマ	215	24 灰	151
5 火砕流	468	15 生活	205	25 周辺	145
6 避難	366	16 噴石	197	26 災害	144
7 火災	293	17 人	196	27 影響	140
8 出る	286	18 地震	191	28 大変	130
9 わからない	267	19 火事	188	29 土石流	130
10 発生	262	20 降る	179	30 状況	129

表 12 「登山者」の富士山噴火時の周辺域に対するイメージの頻出語上位 30 語

抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数
1 溶岩	399	11 火災	89	21 降る	53
2 火山灰	395	12 出る	88	22 大変	53
3 被害	254	13 流れる	81	23 住める	51
4 壊滅	212	14 土石流	80	24 状態	49
5 火砕流	210	15 周辺	66	25 人	48
6 発生	133	16 地震	66	26 影響	46
7 火山	127	17 噴火	60	27 ガス	44
8 噴石	123	18 火事	56	28 思う	43
9 わからない	115	19 覆う	56	29 甚大	40
10 避難	102	20 生活	54	30 全滅	40

表 13 一般住民の富士山噴火時の首都圏に対するイメージの頻出語上位 30 語

抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数
1 火山灰	2255	11 機能	250	21 噴煙	141
2 被害	523	12 思う	245	22 インフラ	133
3 降る	518	13 飛ぶ	240	23 パニック	133
4 影響	511	14 機関	207	24 降り積もる	130
5 交通	454	15 地震	197	25 噴火	125
6 灰	439	16 混乱	183	26 交通網	122
7 麻痺	363	17 積もる	183	27 停止	113
8 わからない	299	18 降り注ぐ	152	28 停電	108
9 出る	291	19 降灰	149	29 壊滅	102
10 生活	261	20 首都	141	30 発生	101

表 14 「登山者」の富士山噴火時の首都圏に対するイメージの頻出語上位 30 語

抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数
1 火山灰	945	11 地震	74	21 インフラ	52
2 麻痺	179	12 出る	66	22 降り積もる	51
3 交通	165	13 機関	64	23 パニック	50
4 被害	165	14 生活	62	24 交通網	49
5 降る	162	15 飛ぶ	62	25 降灰	49
6 影響	133	16 降り注ぐ	59	26 都市	49
7 機能	131	17 停止	56	27 覆う	48
8 わからない	103	18 壊滅	55	28 停電	42
9 首都	86	19 積もる	55	29 噴煙	42
10 灰	76	20 混乱	54	30 思う	41

一般住民の富士山噴火時の対応

最後に一般住民の富士山噴火時の対応について聞いた。調査にあたっては、下記条件を提示した上で、「富士山が大規模噴火したとき、あなたはどうしますか」とたずねた。

- ・富士山が大規模噴火して広域で降灰があった場合、首都圏では短時間で死者・負傷者が発生する可能性は低いと考えられます。しかし、以下のような影響は長期間（数週間～数か月）続くおそれがあります。
- ・大規模噴火後 1～3 時間程度で、首都圏全域が降灰で視界不良となり、自動車の運転困難、鉄道の運行停止、飛行機の運行停止（羽田空港・成田空港まで降灰が到達した場合は飛行機が運行しない）により、移動が困難になる。
- ・その後 1 日～数日間の降灰で自動車の通行が困難となり、食料等の物流が停止する地域がある。
- ・降り積もった火山灰と雨により、電柱の器機がショートし各地で停電が発生する地域がある。
- ・停電の発生等により、通信の途絶、断水、下水道の停止等ライフラインにも影響が発生する地域がある。
- ・降灰 30cm 以上（降雨時）の場合には重みにより木造家屋が倒壊する地域がある。

その結果、東京都と神奈川県のいずれの約 3 割が「避難する」と答えた（図 28）。避難先としては、「避難する」と答えた人のうち半数以上が「自分の住んでいる都県以外に避難したい」と答えており（図 29）、さらに、詳細に避難先を問うと「祖父母、父母、子どもなどの家」など直系親族を頼って避難すると言っている人が多い（図 30）。つまり、広域避難先は全国様々な地域におよぶ。そして、その際利用するといっている交通手段は、公共交通機関の他に自家用車が多い（図 31）。公共交通機関を使って自らが居住する都県以外に避難する、と答えた人はアンケートに回答した人の約 10%、自家用車を使う、と答えた人は全体の約 5%であり、交通網が混乱することが目に見えている。

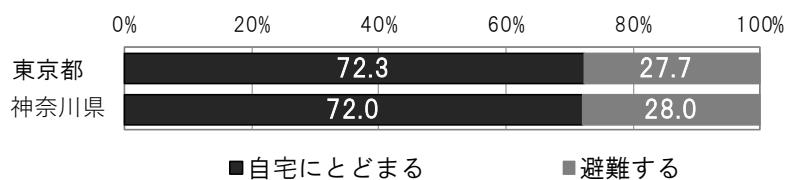


図 28 富士山噴火時の避難の有無（東京都、神奈川県それぞれ n=2,500）

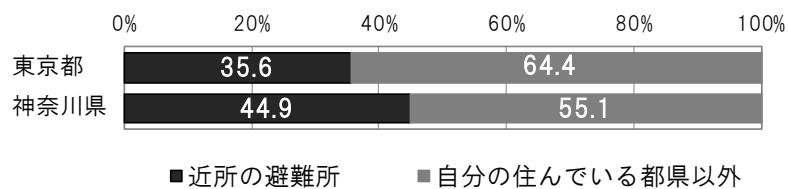


図 29 避難先が同一都県か否か（東京都 n=693、神奈川県 n=699）

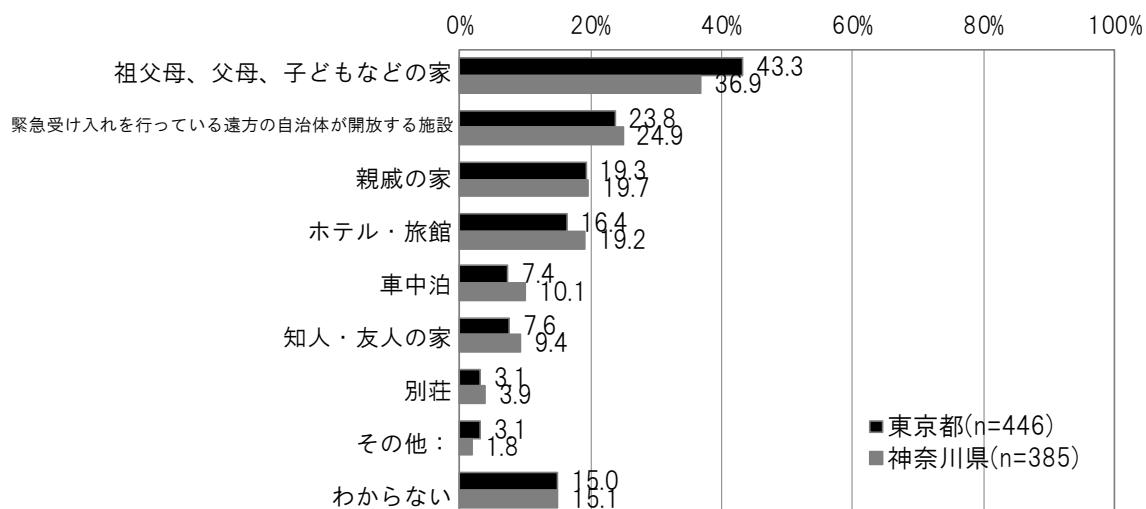


図 30 具体的な避難先（東京都 n=446、神奈川県 n=385）

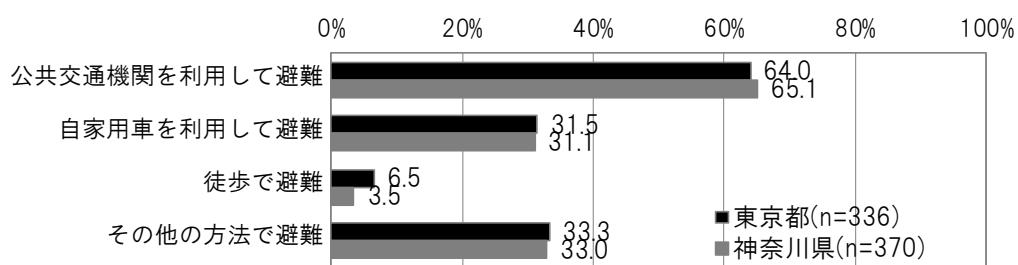


図 31 具体的な避難手段（東京都 n=336、神奈川県 n=370）

3) 避難・救助支援コンテンツ試作版の高度化

a) 那須岳における登山者動向把握実験

本コンテンツ開発のための基礎データとしてこれまで富士山と御嶽山で取得してきた登山者データについて、今年度は2020年10月3日（土）、4日（日）の二日間、那須岳において登山者データ取得のための登山者動向把握実験を実施した（写真15）。この時期は紅葉も始まり、天候に恵まれた週末には1年間で最も多くの登山客・観光客（以下登山者とする）が那須岳を訪れる時期である。



写真15 ビーコン配布・回収作業の様子。

本実験の手法は、登山者に小型（5cm四方程度）のビーコン（写真16）を配布し、それを持って登山をしてもらう。そして、あらかじめ登山道にある道標等（図32）に設置したレシーバー（写真17）でビーコンを持った登山者の動きを検知するものである。



写真16 登山者に配布するビーコン



写真17 登山道等に設置するレシーバー
(スマートフォン、バッテリー、ケース)

実験対象となる登山道は①峠の茶屋～峰の茶屋～茶臼岳山頂ルート、②峠の茶屋～峰の茶屋～朝日岳山頂ルート、③那須ロープウェイ山麓駅～山頂駅～茶臼岳山頂ルートの3つを

設定し、ロープウェイ山麓駅と山頂駅を含めて全 15 か所にレシーバーを設置した（図 33）。

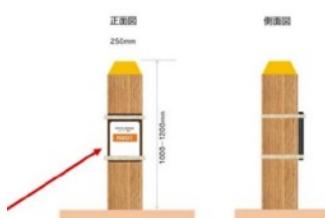


図 32 道標へレシーバーを設置



図 32 レシーバー設置位置図

本実験では二日間で延べ 2000 名の登山者の動態データを取得し、リアルタイムで登山者の移動速度や混雑状況に関する情報を得ることができ、那須岳登山者の行動パターンの一部が明らかになった。また噴火を想定した場合のビーコンを配布した登山者の動向（大まかな数とおおよその位置の）把握に要する時間を調査した。その結果、1 時間でビーコンを配布した登山者全体の 75%、2 時間で約 90% の動向を把握することができた。

取得した登山者データとシェープファイル形式に変換した那須岳ハザードマップを GIS 上で重ねることで、噴火を想定した場合の登山者の曝露情報（ある時間に発生した噴火によって何人くらいの登山者が噴火ハザードに曝されているか）が得られ、登山者に関する簡易的な曝露評価を行った（図 33）。

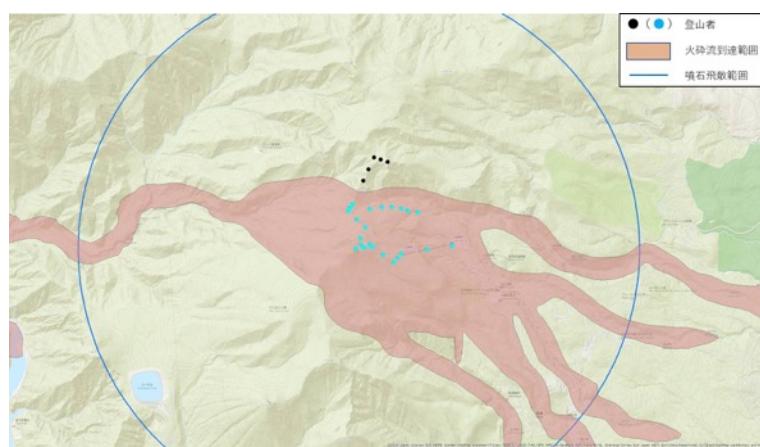


図 33 2020 年 10 月 3 日 12 時 00 分時点の登山者情報を示した図。黒丸（と青丸）は登山者 539 名のおおよその位置を示す。ここでは、那須岳ハザードマップで推定されている火碎流本体と重なる登山者（300/539）を青丸で示す。

実験の結果及び曝露評価の結果は那須岳火山防災協議会及び自治体（栃木県、那須町）と共有し、データの防災利用（例えば、登山者の避難を想定した訓練シナリオへの利用や避難計画の見直しにおける人的被害推定の把握など）について検討を始めた。なお、実験の実施にあたって栃木県や那須町の職員にも協力していただき、那須町及び那須岳火山防災協議会の後援を受けて実施された。

b) 登山避難施設の耐衝撃性について

また、今年度は避難・救助支援において重要な避難施設の耐衝撃性について、既存の建物への耐衝撃性を向上せるための実験を行った。実験は、2021年3月11日に防衛大学校で実施した。今回は試験実験のため、山田・他(2019)と同様に図34及び、写真18に示す衝突実験装置を使用して、山小屋の屋根を模した杉材製試験体（基本構造、図35）に軽石（スーパーソルL1、ガラス発泡資材事業協同組合）を土嚢袋に入れて前面に配置し、噴石に見立てた飛翔体（砥石：重量2.66kg、密度2421kg/m³）を使い、射出速度を変化させて、実験を行った。

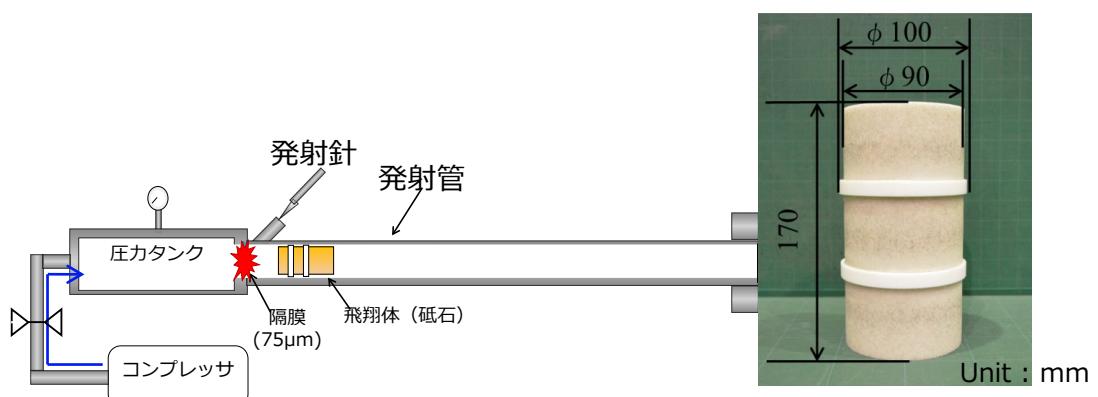


図34: 実験装置概要と飛翔体

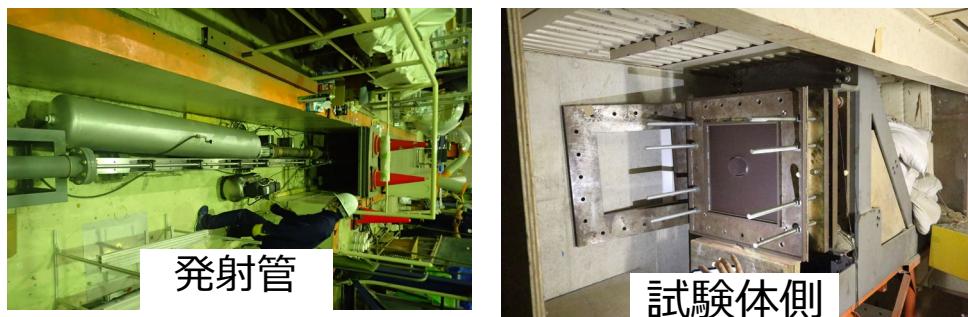


写真18 高速投射型衝撃破壊試験装置

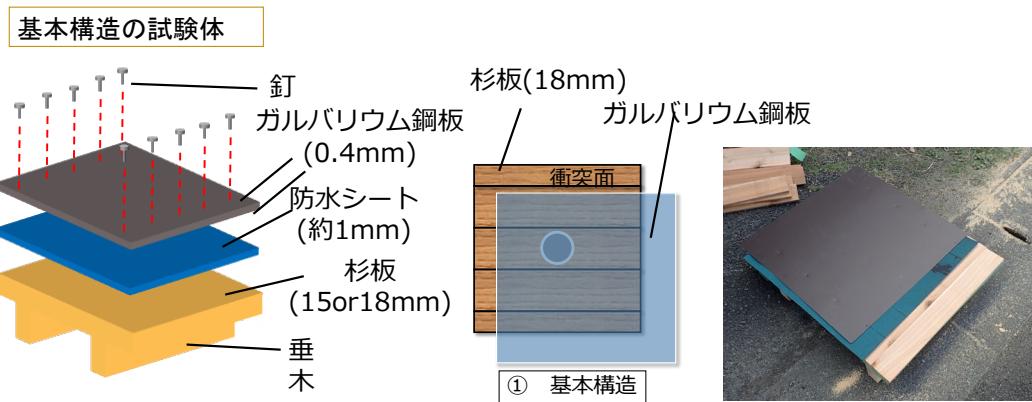


図 35 試験体の基本構造

実験の結果、写真 19、20、表 15 に示すように試験体の前面に 12cm 厚さの軽石を配置することによって、配置しない場合に比べて約 1200J、重量 2.66kg の飛翔体の場合約 10m/s に相当する耐衝撃性が向上することが分かった。



写真 19 軽石を置いた実験の前(左)と実験後(右)



写真 20 軽石を置いた実験後の試験体 TK05 (左:正面、右:裏面)

表 15 模擬噴石衝突実験の結果の例

ケース番号	TK01	TK02	TK03	TK04	TK05	TK06
杉板厚	18mm	18mm	18mm	18mm	18mm	18mm
構造	基本構造*	基本構造*	基本構造*	基本構造+ 120mm 軽石	基本構造+ 120mm 軽石	基本構造+ 120mm 軽石
速度 [m/s]	14.7	32.3	31.6	37.7	43.97	47.3
衝突エネルギー [J]	288	1386	1329	1890.3	2571.4	2975.6
貫通の有無	変形	突き刺さる	貫通	変形	変形	貫通

* 基本構造の結果は山田・他 (2019) から引用

(c) 結論ならびに今後の課題

令和 2 年度の当初目標である以下の 3 コンテンツ試作版の高度化については、ほぼ達成できた。

i) 周知啓発教育用コンテンツ試作版の高度化

前年度までに開発した周知啓発教育用コンテンツ試作版を高度化した。現試作版は自治体防災担当者を対象としたヒアリング調査やアンケート調査から得られたニーズや課題に対応するべく開発されたが、今年度は実際に試作版を試用した上での潜在的なニーズや課題に対応するべく開発を進め、高度化を図った。具体的には、試作版として開発したポータルサイトに含まれる情報コンテンツや機能をニーズに応じて増やした。また本コンテンツでアクセスが可能な自治体防災担当者向けの研修プログラムについてパッケージ化し、実際にそのプログラムを使った研修を実施した。同じく本コンテンツからアクセスが可能な常時観測火山のハザードマップについて、2 火山（日光白根山、弥陀ヶ原）を対象に含まれるハザード情報をデジタイズし、GIS 等で直接利用できる形にした。これらデジタル化したハザードマップはアウトリーチ活動等で利用される他、下記降灰被害予測コンテンツ内でも活用された。今後は、より多くの自治体防災担当者に実際に試用してもらい、収集された感想や要望等を反映させる形でコンテンツの高度化を図る。

ii) 降灰被害予測コンテンツ試作版の高度化

前年度までに開発した降灰被害予測コンテンツ試作版を高度化した。現試作版は平成 29 年度及び平成 30 年度に実施した建築設備を対象とした降灰影響評価実験の成果を基に、降灰による建築物の損傷・被害に関する降灰深の閾値を設定し地図上で他の情報と重ねて表示できるようにしたものだが、今年度はさらに建物に対する影響を評価するうえで重要となる換気用エアフィルタを対象にした降灰影響評価実験を実施した。本実験では既往の研究を補完すべく条件を決め、フィルタに対する降灰の影響を調査した。その結果、フィルタに物理的な損傷が発生するのは、最終圧損となる降灰深に対して裕度があることが分かった。さらに、降灰による建物屋根への影響を評価するため、鉄筋コンクリート造、鉄骨造と木造構造物の屋根について、積灰に対する安全性の比較を行い、シミュレーションによる降灰分布に対する損傷確率を示した。今後は、実際の建物例を対象に検討して安全性評価の事例を具体的に示す。

また、噴火対応経験のある自治体（鹿児島市）を含む複数の自治体による、火山灰対策に関するオンラインでの実務者勉強会を実施し、火山灰対応や対策に必要な情報、研究者へのニーズを把握した。さらに、本コンテンツによる情報発信の在り方を検討するために、一般住民（登山者）を対象として、ネットを利用した火山現象の認知度や大規模降灰に関するアンケート調査を実施した。その結果、一般住民も登山者も、富士山噴火による降灰をある程度意識しているもののその影響や対応をイメージしていないなど、本プロジェクトからの情報発信において考慮すべき課題が見られる。今後、これらの結果を踏まえた情報発信のあり方を検討していくために、関係者での意見交換や勉強会の開催が必要である。

iii) 避難・救助支援コンテンツ試作版の高度化

前年度までに開発した避難・救助支援コンテンツ試作版を高度化した。現試作版は平成 29、30 年度及び令和元年度に実施された富士山及び御嶽山における登山者動向把握実験で得られた登山者の動態データを地図上で可視化しハザードシミュレーションの結果と組み合わせることで人的被害推定を行えるものであった。今年度は栃木県那須岳において同様のシステムを利用した登山者動向把握実験を実施し、得られた登山者の動態データを本コンテンツ試作版で可視化し、那須岳周辺自治体の防災担当者らに試用してもらい、データの防災利用（地域防災計画や避難計画の作成、避難施設や避難指示看板の設置、避難経路の指定等）について検討を進め、検討結果を開発に反映させることでコンテンツの高度化を図ることができた。次年度は、過年度までに取得した富士山及び御嶽山における登山者データと併せて、3 つの火山周辺自治体及び火山防災協議会に対してこれら結果の防災利用（登山者の避難を想定した訓練シナリオへの利用や避難計画の見直しにおける人的被害推定の把握など）について提案し、活用に向けた検討を行う。

さらに、避難計画の作成や避難・救助活動において重要な施設である退避壕（シェルター）等の耐久性を評価することを目的として、模擬火山岩塊を使用した衝突実験を実施した。今年度はまず試験実験から実施した。

開発中の上記 3 コンテンツ試作版を試用してもらう自治体を増やし、より多くの意見や要望等を収集しそれを反映させる形で各コンテンツの高度化を図っていく。

(d) 引用文献

- 1) 中央防災会議防災対策実行会議大規模噴火時の広域降灰対策検討ワーキンググループ, 2020. 大規模噴火時の広域降灰対策について-首都圏における降灰の影響と対策-、～富士山噴火をモデルケースに～（報告）. 降灰シミュレーションのパラメータと計算結果. 令和 2 年 4 月.
- 2) Dare, R. A., 2015. Sedimentation of volcanic ash in the HYSPLIT dispersion model. CAWCR Technical Report, No. 079, 26pp.
- 3) Gordon, K. D., et al., 2005. Effects of volcanic ash on computers and electronic equipment. Natural Hazards, vol. 34, pp. 231-262.
- 4) 河野裕希・他, 2020. 火山ハザードマップを用いた曝露評価(要旨). 火山学会 2020 秋季大会, ポスター発表.
- 5) 大島弘光・他, 2017. 準リアルタイム火山防災情報表示システムの開発(要旨). 日本火山学会秋季大会, P-130, ポスター発表.
- 6) 山田浩之・他, 2019. 噴石衝突に対する木造建築物屋根の簡易構造補強. 火山, vol. 64, pp. 243-251.
- 7) 山元孝弘・他, 2016. 吸気フィルタの火山灰目詰試験. 地質調査総合センター研究資料集、No. 629.

- 8) Wilson T. M. et.al., 2012. Volcanic ash impacts on critical infrastructure. Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C, vol. 45, pp. 5-23.

(e) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準などへの策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 令和3年度業務計画案

(a) 周知啓発教育用コンテンツ試作版の高度化

引き続き開発した周知啓発教育用コンテンツ試作版を高度化する。今年度までに行ったヒアリング調査やアンケート調査から得られたニーズや課題に対応し、本コンテンツの高度化を図るとともに、本コンテンツを使ったアウトリーチ活動に向けた準備を行う。

具体的には、今年度のヒアリング調査やアンケート調査から把握した動画コンテンツの充実や防災担当者の初任者などを対象とした動画学習コンテンツを充実させる。また、火山ごとに情報を整理して、対象とする火山の情報を容易に調べができるようにするとともに、防災担当者が課題としている避難確保計画策定に資する形に整備する。一方、本コンテンツを広く日本国内の防災担当者に周知するためのアウトリーチ活動を行い、本コンテンツのさらなるニーズや課題をアンケート調査などから把握する。

また、本業務で開発する3つのコンテンツによる情報発信の在り方を検討するために、今年度の調査データを詳細に分析するとともに、ヒアリングおよび研究者を集めた研究会等を実施する。

(b) 降灰被害予測コンテンツ試作版の高度化

これまでに開発してきた降灰被害予測コンテンツ試作版を高度化する。現試作版は平成29年度及び平成30年度に実施した建築設備を対象とした降灰影響評価実験の成果を基に、降灰による建築物の損傷・被害に関する降灰深の閾値を設定し地図上で他の情報と重ねて表示できるようにしたものである。本年度は建物のフィルタを対象とした降灰実験を実施し、被害に関する閾値を検

討した。

来年度は降灰による屋根への影響をより分かりやすい形で提供すべく、実際の建物例をもとに検討し安全性評価を具体的に示す。また都市部における積灰評価に資するため、数値シミュレーションにより建物が降灰や積灰分布にどのような影響を及ぼすかの基礎的な検討を行い、都市への降灰シミュレーションへの展開を検討する。さらに、これまで実験による建物空調設備およびフィルター被害の結果をまとめ、建物機能被害の損傷曲線を提案するとともに、過去の被害事例に基づく都市機能被害の損傷曲線と組み合わせることで、機能被害を明示し都市部への降灰被害予測コンテンツを改善する。

また、将来の噴火が予想される伊豆大島火山を対象に、過去1500年間の主要噴火の降灰データをもとに、伊豆大島島内の主要拠点施設や道路での降灰ハザード曲線を作成し、上記の損傷曲線を考慮しながら、避難対策に役立つ情報コンテンツを検討する。

(c) 避難・救助支援コンテンツ試作版の高度化

来年度は、富士山、御嶽山、那須岳で実施した登山者動向把握実験で昨年度までに得られた登山者データを、令和元年度に開発した、GIS上で他の地図情報と併せて登山者の簡易的な曝露評価を行うための可視化ツールを改修する。この、改修版の可視化ツールを使い、3火山周辺の自治体及び火山防災協議会と実験の結果を共有し、結果の防災利用（訓練シナリオへの利用、避難計画等の見直しにおける被害想定の把握など）について検討を行う。

また、富士山、御嶽山、那須岳において取得した登山者データから、仮想的な場所と時間帯における噴火を想定した場合に、より効率的で迅速な避難や救助法が数値解析シミュレーションで可能かどうかを検討する。

さらに、今年度に引き続き、避難計画の作成や避難・救助活動において重要な施設である退避壕（シェルター）等の耐衝撃性を評価するために、模擬火山岩塊を使用した衝突実験を実施する。今年度は建築物への衝撃力緩和を目的とした耐衝撃性能の補強方法について検討を行う。

なお、研究期間中に国内の火山で、噴火の予兆が把握された場合もしくは噴火が発生した場合において、次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトのプロジェクト・リーダーが緊急観測の実施を決定した際は、(a)～(c)で実施する調査及び情報収集について、その一部もしくはその全てに代えて緊急観測を実施することを可能とする。