火山噴火緊急減災対策砂防計画
策定ガイドライン

令和５年３月

国土交通省 砂防部

目　次

１．ガイドラインの目的 2
２．ガイドラインの内容 3
３．ガイドラインの適用 4
第 1 節　総　　説 5
第 2 節　火山噴火緊急減災対策砂防計画策定ガイドラインの基本的事項 7
2.1 火山噴火緊急減災対策砂防計画の目的 7
2.2 火山噴火緊急減災対策砂防計画の策定方針 9
2.3 火山噴火緊急減災対策砂防計画の検討の流れ 11
2.4 計画の構成 13
2.5 検討体制 15
2.6 計画の見直し 18
第 3 節　対策方針に関する事項の検討 20
3.1 土砂移動シナリオの作成 20
3.2 火山砂防ハザードマップの作成及び被害概要の把握 20
3.3 対策を検討する土砂移動シナリオのケースの設定 20
3.4 対策方針の検討 23
3.4.1 基本事項の整理 23
3.4.2 対策の制約条件の整理 25
3.4.3 対策方針の設定 28
第 4 節　緊急対策実行計画に関する事項 32
4.1 緊急対策実行計画の基本事項 32
4.2 緊急ハード対策に関する事項 33
4.2.1 緊急ハード対策に関する事項の検討方針 33
4.2.2 対策工の配置の検討 35
4.2.3 実施する工種・工法の検討 36
4.2.4 対策工の構造の検討 38
4.2.5 施工のための仮設工などの検討 40
4.2.6 施工に要する時間の検討 41
4.2.7 施工優先度の検討 42
4.2.8 対策の効果の確認 42
4.3 緊急ソフト対策に関する事項 43
4.3.1 緊急ソフト対策に関する事項の検討方針 43
4.3.2 緊急時に実施する調査 44
4.3.3 監視観測機器の緊急的な整備 45

4.3.4 工事などの安全管理..... 46
4.3.5 リアルタイムハザードマップ..... 48
4.3.6 情報通信設備の整備..... 51
第5節　平常時からの準備事項の検討..... 52
5.1 平常時からの準備事項の方針..... 52
5.2 緊急対策に必要となる諸手続きの検討..... 53
5.3 緊急対策資機材の備蓄・調達方法の検討..... 54
5.4 情報通信網の整備..... 55
5.5 火山データベースの整備..... 56
5.6 関係機関との協議調整等による実行性の向上..... 57
5.7 緊急減災対策実行訓練の実施..... 57

【別冊】

火山噴火時に立入困難となる区域を調査するための技術手法に関するマニュアル

（実事例および計画検討編）

（技術資料編）

はじめに

国土交通省や都道府県の砂防部局では、火山砂防事業や火山噴火緊急減災対策事業等により降雨及び火山噴火等に起因して発生する土砂災害（以下「火山噴火等に起因する土砂災害」という。）を防止・軽減するための対策を行っています。しかし、砂防堰堤等の整備により、火山噴火等に起因する土砂災害を皆無にすることは非現実的です。そこで国土交通省砂防部では、いつどこで起こるか予測が難しい火山噴火等に起因する土砂災害に対して、緊急対策を迅速かつ効果的に実施し、被害をできる限り軽減（減災）するために、火山噴火緊急減災対策砂防計画を策定することとし、「火山噴火緊急減災対策に関する検討会」における議論を踏まえ、計画策定の手引きとなる「火山噴火緊急減災対策砂防計画策定ガイドライン」（平成 19 年）を作成しました。

当初、火山活動が活発で火山活動による社会的影響の大きい全国 29 火山を対象として火山噴火緊急減災対策砂防計画の策定を進めていましたが、平成 27 年に活動火山対策特別措置法が改正され、全国 49 火山において火山災害警戒地域が指定されたことから、国土交通省砂防部ではこれら 49 火山を対象として火山噴火緊急減災対策砂防計画を策定することとしました。

「火山噴火緊急減災対策砂防計画策定ガイドライン」が策定された平成 19 年以降では、関連する法令等では平成 23 年に土砂災害防止法*1が一部改正され、平成 26 年 9 月の御嶽山噴火災害が契機となり平成 27 年に活動火山対策特別措置法が改正され、平成 31 年に河川砂防技術基準の基本計画編、令和 3 年に同施設配置等計画編、令和 5 年に火山砂防計画策定指針がそれぞれ改定されました。

また、平成 19 年以降には複数回の火山噴火が発生しており、火山噴火等に起因する土砂災害への対応実績等による緊急減災対策の科学的知見等が蓄積されました。

以上のことから、最新の情報を反映することで、より実行性の高い計画を策定できるよう、本ガイドラインの改定を行いました。

なお、UAV 等の新技術活用により、従来では実施困難であった立入規制範囲での作業や、作業員の安全を確保した作業が部分的に可能になるなど、作業内容の充実、作業効率の向上が図られていることを踏まえ、引き続き、新技術の活用に関して調査、研究を進めて、より実行性の高い緊急減災対策計画を検討していくものとする。

＊1：土砂災害防止法＝土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律

〇平成 19 年 4 月 策定
〇令和 5 年 3 月 改定

総　　則

１．ガイドラインの目的

火山噴火緊急減災対策砂防計画策定ガイドラインは、突発的で規模の大きい火山噴火の場合でも迅速かつ効果的に対処するために、緊急的なハード対策とソフト対策から様々な対策を実施し、被害を軽減する方策として検討する火山噴火緊急減災対策砂防計画の策定に関する基本的な検討項目及び留意点を示したものである。

＜解説＞

火山噴火時の防災対策においては、地域及び地域住民の安全・安心を確保するために、整備局、都道県、地元市町村等関係する多くの機関がハード対策及びソフト対策を総合的に実施する必要がある。これらの対策のうち、火山噴火緊急減災対策砂防計画策定ガイドライン（以下、「本ガイドライン」という。）は、突発的な火山噴火災害の被害を軽減する方策として、国及び都道県の砂防部局が実施する火山噴火緊急減災対策（以下、「緊急減災対策」という。）を迅速かつ効果的に実施するための計画を策定するにあたって検討すべき事項をとりまとめたものである。

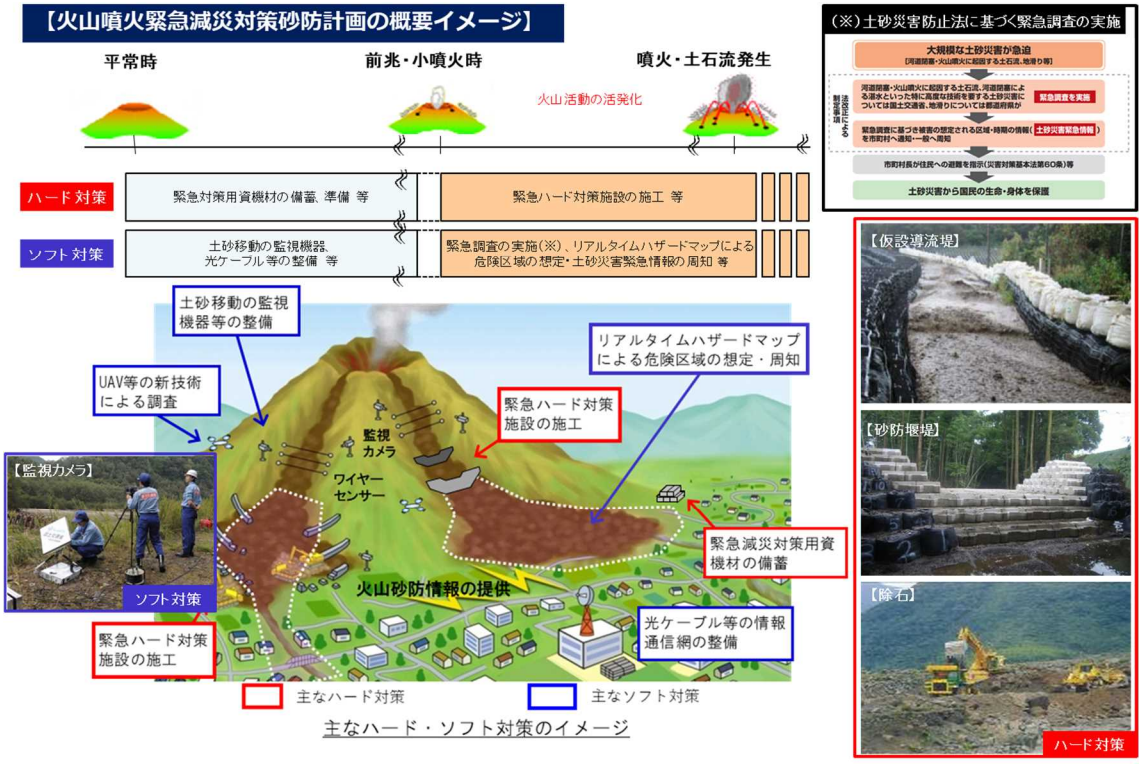
本ガイドラインに基づいて、各火山において緊急時に実施する対策（緊急ハード対策、緊急ソフト対策）、平常時からの準備事項、市町村や関係機関との連携体制を内容とする計画を策定する。また、平常時から噴火時に備えた対策を進めておくことにより、国及び都道県の砂防部局が中心となって実施する噴火時の緊急的な対応の円滑化を図り、突発的な火山噴火に伴い発生する土砂災害の被害の軽減を目指すものである。

２．ガイドラインの内容

本ガイドラインは、火山砂防計画のうち、火山噴火緊急減災対策砂防計画の策定に関する基本的な検討項目と留意点を示したものである。

＜解説＞

火山砂防計画については、「火山砂防計画策定指針」において技術的事項についての標準を示している。本ガイドラインは、第１節、第２節において火山噴火緊急減災対策砂防計画（以下、「緊急減災対策計画」という）の基本的な考え方を概説し、第 3 節では対策方針、第 4 節では緊急減災対策の実行計画の検討事項、第 5 節では平常時からの準備事項について示している。



３．ガイドラインの適用

本ガイドラインは、緊急減災対策計画の立案に適用するものであるが、対応事例が少なく科学的知見が不足しているものもあるため、所期の目的を十分に達成する、より適切な手法が存在する場合はその採用を妨げるものではない。

第1節　総　　説

火山噴火緊急減災対策砂防計画（以下「緊急減災対策計画」という。）は、火山噴火に起因する土砂移動に対応する噴火対応火山砂防計画のうち、突発的な火山噴火の場合でも迅速かつ効果的に対処するために、土砂災害への被害をできる限り軽減（減災）する方策として、緊急減災対策実行計画（緊急ハード・ソフト対策）及びこれに関連する平常時からの準備事項を策定する。

＜解説＞

火山砂防計画は、火山噴火に起因する土砂移動に対応する噴火対応火山砂防計画と、それ以外の降雨等による通常の土砂移動に対応する通常対応火山砂防計画からなる。噴火対応火山砂防計画は、当該地域で発生する可能性の高い噴火現象に伴う土砂移動現象による被害の防止・軽減を目的として計画的に実施する基本対策計画と、突発的な火山噴火災害の被害を軽減する方策としての緊急減災対策計画からなる（図 1)。

火山噴火に伴い発生する土砂移動現象は多様かつ広域に及び、なおかつ規模が大きい場合が多いという特徴があることから、基本対策計画に基づく砂防施設の整備の完了には長い時間と費用を要する。さらに、火山噴火はいつどこで起こるか予測が難しく、基本対策計画による砂防施設の整備が完了する前に噴火する可能性もある。そのため、突発的な火山噴火災害の被害を軽減する方策として、緊急減災対策計画を策定する（図 2)。また、基本対策計画は発生する可能性の高い噴火現象を対象とするが、より規模の大きい噴火現象が発生する可能性もある。そのため、緊急減災対策計画では、想定よりも大きい火山噴火の場合でも迅速かつ効果的に対処できるよう策定する必要がある。

緊急減災対策計画は、火山噴火に伴い発生する土砂災害に対して、緊急ハード対策と緊急ソフト対策を迅速かつ効果的に実施し、火山防災協議会の構成員（機関）が実施する各種火山防災対策と連携を図り、限られた資源を有効に活用し、被害をできる限り軽減（減災）することを目的とし、安心で安全な地域づくりに寄与するものとする。緊急減災対策は即時対応が求められることから、現場における運用の容易さや関係者への情報共有のしやすさを考慮する必要がある。そのため、緊急減災対策計画は、緊急ハード対策と緊急ソフト対策の具体的な位置・構造・対策に必要な手続き等を示した緊急減災対策実行計画（緊急ハード対策と緊急ソフト対策）を検討してとりまとめるものとする。また、緊急減災対策を迅速に実施するためには平常時からの準備や調整が不可欠であることから、緊急減災対策計画は平常時からの準備事項を含めて検討するものとする。

なお、緊急ソフト対策には、火山噴火により一定の降灰が確認された場合に実施する土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律（以下、「土砂災害防止法」という）に基づく緊急調査、並びに被害の想定される区域・時期の情報（土砂災害緊急情報）の市町村への通知・一般への周知を含むものとする。

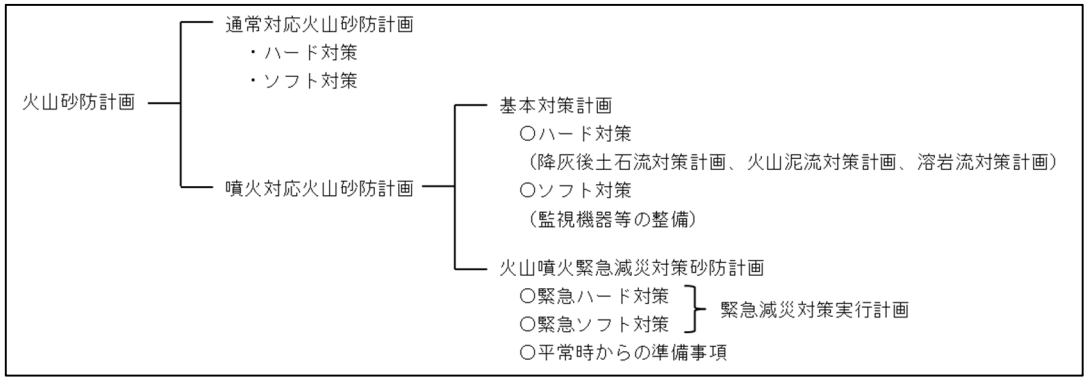


図 1　火山砂防計画の構成

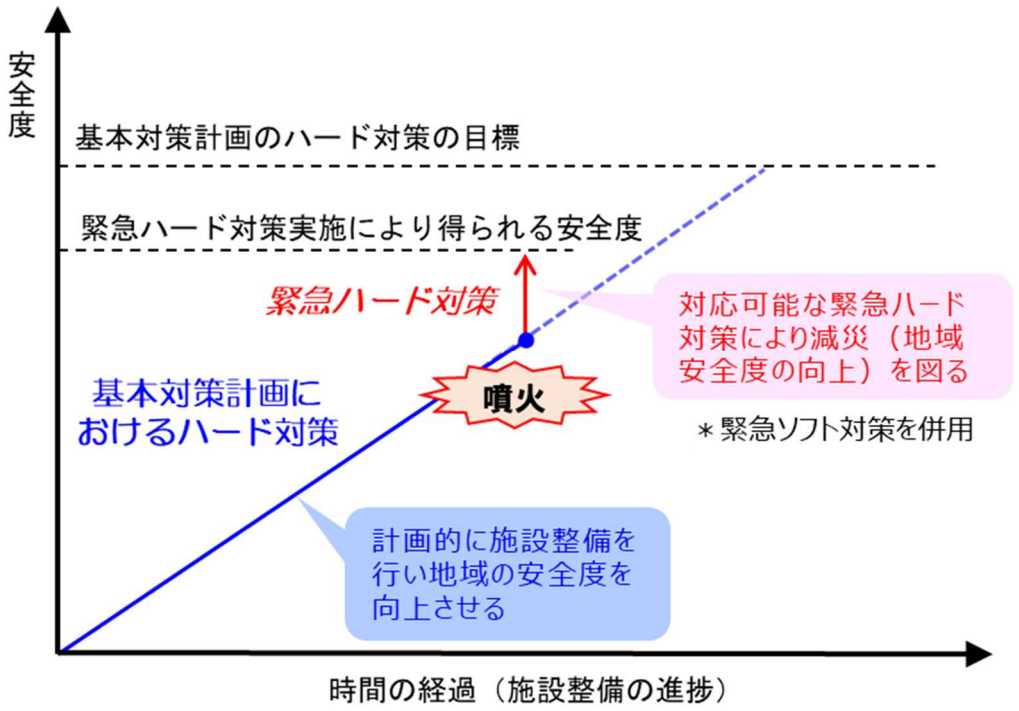


図 2　基本対策計画と緊急減災対策計画の関係のイメージ

第2節　火山噴火緊急減災対策砂防計画策定ガイドラインの基本的事項

2.1 火山噴火緊急減災対策砂防計画の目的

緊急減災対策計画は、突発的な火山噴火の場合でも迅速かつ効果的に対処するために、緊急的なハード対策とソフト対策からからなる緊急減災対策を迅速かつ効果的に実施し、限られた資源を有効に活用して被害をできる限り軽減（減災）することを目的とし、安全・安心な地域づくりに寄与するものである。

＜解説＞

火山噴火は、噴石、降灰、火砕流、溶岩流、火山泥流、土石流、岩屑なだれなど発生する現象が多様で、なおかつ規模が大きい場合が多いという特徴がある。そのため噴火災害は甚大な被害をもたらすことがあり、特に、大規模な火山泥流や降灰を原因として発生する土石流などは、その影響が広域かつ長期間に亘ることからその被害は顕著である。このため、火山砂防計画に基づき、基本対策計画を計画的に実施することが重要であるが、基本対策計画による施設の整備には長い期間と多大な費用を要する。また、基本対策計画や避難計画等における想定よりも規模の大きい火山噴火が発生した場合でも、迅速かつ効果的に対処できるように備えることが必要である。

このため、緊急ハード対策と緊急ソフト対策の具体的な内容、対策の時系列等をとりまとめた実行計画を策定し、これに基づき平常時からの準備を行い、噴火時の対応を迅速かつ効果的に実施し、被害をできる限り軽減するための緊急減災対策を実施することが重要である。この際、国、都道県、市町村やその他機関との連携をとる必要がある。

ただし、火山噴火時における緊急ハード対策には、すべての土砂移動を抑制、制御することが非現実的であること、施工期間や施工場所等の施工条件に関する制約があることから、砂防施設によって被害を完全に防ぐことは困難であるとの共通認識のもと、緊急ソフト対策による対応について、火山防災協議会を構成する市町村や関係機関、砂防及び火山の学識経験者等との緊密な連携をすることが重要となる。

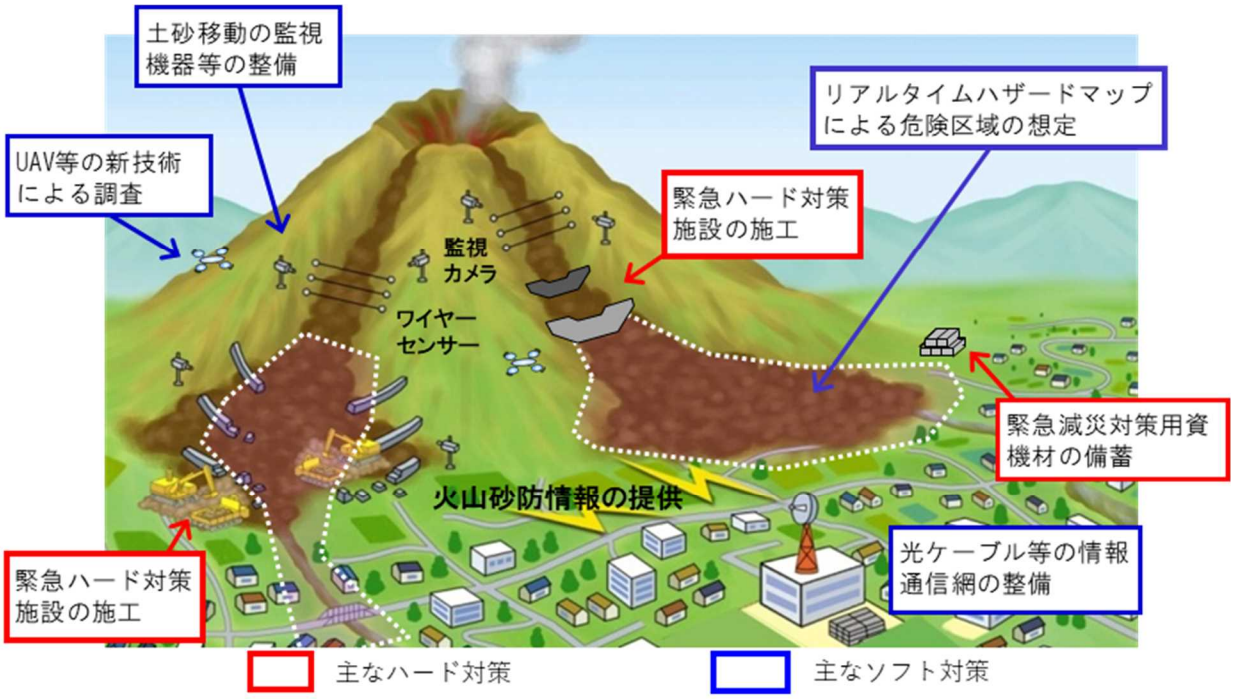


図 3　火山噴火緊急減災対策の主な内容

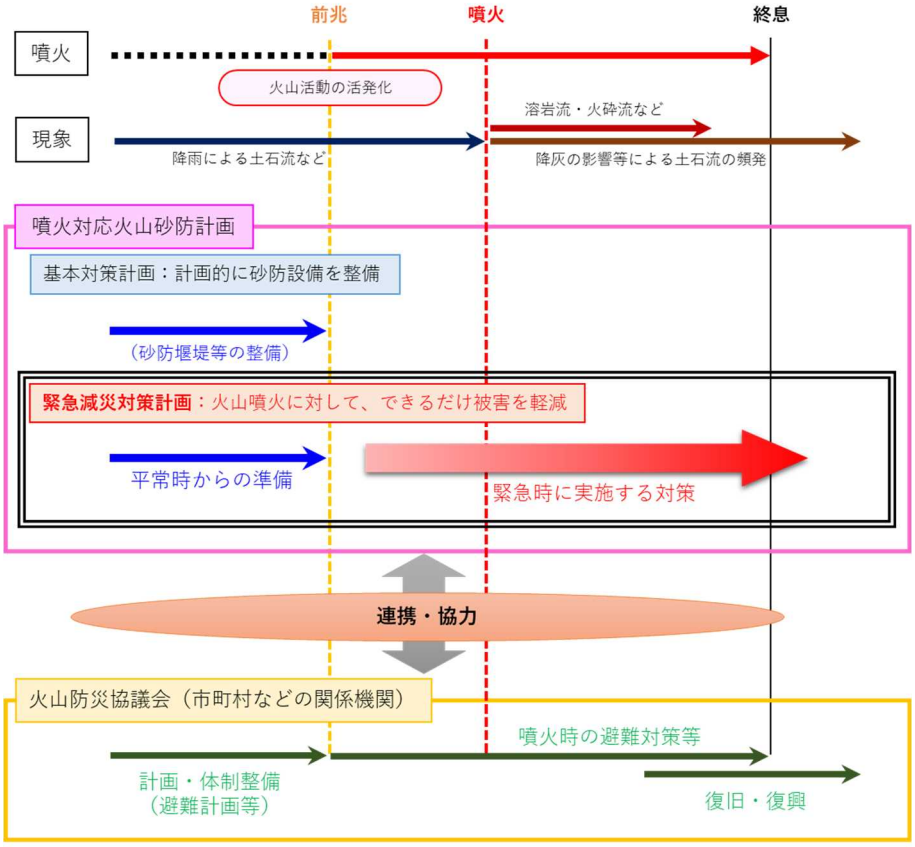


図 4　火山噴火の推移と火山噴火緊急減災対策等の関連

2.2 火山噴火緊急減災対策砂防計画の策定方針

緊急減災対策計画では、緊急時に迅速かつ効果的な対策を実施するために、「土砂移動シナリオ」に基づく「緊急減災対策実行計画」を作成し、これに関連する平常時からの準備事項などをとりまとめる。

＜解説＞

緊急減災対策計画においては、緊急的な除石や遊砂地などの緊急ハード対策や、火山活動に伴う土砂移動現象の監視体制や情報共有などの緊急ソフト対策について、時系列を考慮してとりまとめた緊急減災対策実行計画を作成し、関係機関との連携事項についてとりまとめる。また、緊急時の対策を円滑に行うために平常時から実施しておくべき事項について検討する。

なお、噴火シナリオ、火山ハザードマップ、噴火警戒レベル、具体的な避難計画については、各火山防災協議会において協議される事項である。緊急減災対策の検討及び実施に際しては、これらの事項について火山防災協議会と連携を図ることに留意する。

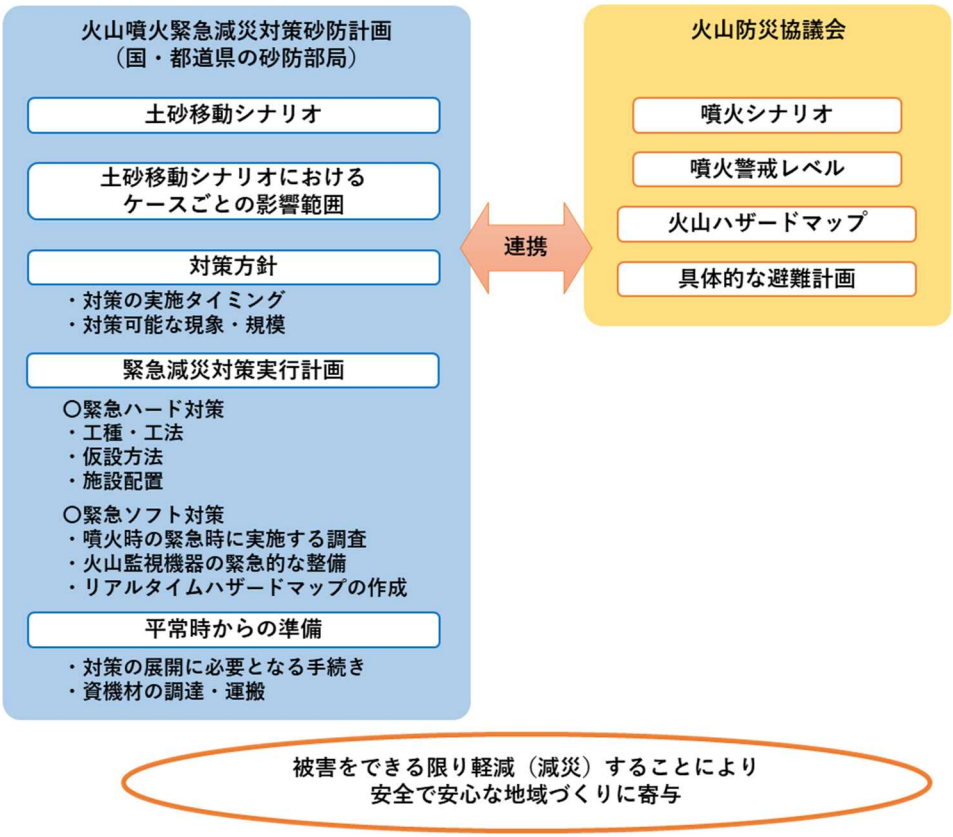


図 5　緊急減災対策計画と火山防災協議会との連携

コラム　**火山防災協議会での砂防部局の役割等**

日本においては、火山噴火やその他の火山現象により著しい被害を受ける、又は受けるおそれがあると認められる地域等について、当該地域における住民等の生命を保護することなどを目的に活動火山対策特別措置法（活火山法）において、火山防災対策等が規定されている。

平成 26 年 9 月の御嶽山の噴火を受けて改正された活火山法及び平成 28 年 2 月に公表された「活動火山対策の総合的な推進に関する基本的な指針」では、気象庁が 24 時間体制で観測・監視を行う常時観測火山のうち、周辺に住民や登山者等が存在する火山については、火山災害警戒地域を定め、都府県・市町村が「火山防災協議会」を設置することが義務化された。

火山防災協議会では、「噴火シナリオ」・「火山ハザードマップ」・「噴火警戒レベル」・「避難計画」などの一連の警戒避難体制について協議を行うこととされている。

地方整備局等は火山防災協議会の必須構成員とされており、役割として、“噴火に伴う土砂災害（火山泥流・土石流等）の観点から、「火山ハザードマップ」の検討を行うとともに一連の警戒避難体制の検討に参画する。”とされている。

「噴火シナリオ」は噴火に伴う現象とその影響の推移を時系列で示したものであり、影響が及ぶおそれのある範囲を地図上に示し、避難等の防災対応をとるべき危険な範囲を視覚的にわかりやすく描画した「火山ハザードマップ」の検討と並行的に進めることとされている。

火山ハザードマップで描画するケースは、噴火シナリオと整合を図るものとし、気象条件等の噴火シナリオでは明記されていない条件については、どれを採用するかは火山防災協議会において協議されたものになっている。火山ハザードマップで採用されなかったものも含む様々な条件で計算された「火山砂防ハザードマップ」は、データベースとして格納しておくことで、（プレアナリシス型）リアルタイムハザードマップとして活用することもできる。（詳細は火山砂防計画策定指針 4.2.3 に記載）

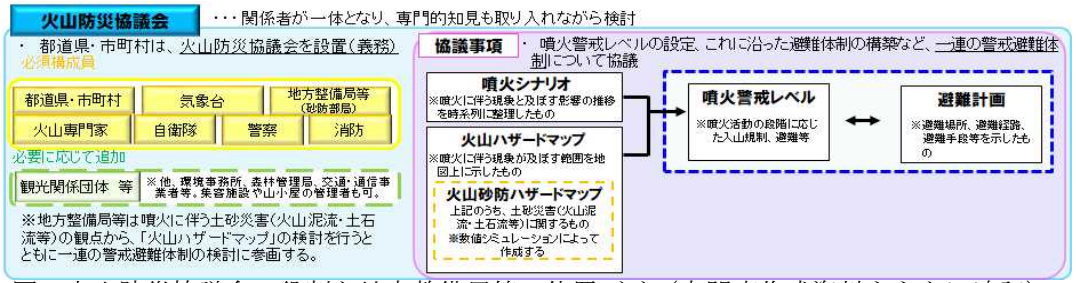


図　火山防災協議会の役割と地方整備局等の位置づけ（内閣府作成資料をもとに追記）

2.3 火山噴火緊急減災対策砂防計画の検討の流れ

緊急減災対策計画は、想定される土砂移動シナリオから対策の対象とするケースを抽出し、緊急ハード対策と緊急ソフト対策により対応可能な現象や規模等を設定したうえで、緊急対策実行計画と平常時からの準備事項を検討する。

＜解説＞

緊急減災対策計画は、噴火現象に関連して発生する土砂移動現象の推移を時系列的にまとまめた土砂移動シナリオのケースごとの影響範囲及び被害の概略把握を踏まえて、土砂移動シナリオの中から緊急減災対策を検討する適当なケースを必要に応じて複数ケース抽出した上で、緊急減災対策実行計画と平常時からの準備事項を検討する。なお、土砂移動シナリオは、「火山砂防計画策定指針」に基づき検討する。

対策方針の検討に際しては、現状の把握を行うとともに対策の制約条件を整理し、それらを踏まえて緊急ハード対策と緊急ソフト対策のそれぞれの対象とする現象と規模、土砂処理方針等を検討する。ここで、計画の対象とする土砂移動シナリオに対し、想定される土砂移動の規模が大きく緊急減災対策による減災効果が全く期待できないなどの場合は、対象規模または対策を検討する土砂移動シナリオのケースの変更を検討する。

なお、緊急減災対策による減災効果は、緊急減災対策実行計画の具体的な内容（位置、施設規模、効果検証など）を検討しなければ把握できないことから、緊急減災対策計画の対象とする現象と規模、及び緊急ハード対策の対象規模については、緊急減災対策実行計画を検討しながら試行錯誤により検討する必要がある。

対策方針に基づき具体的な緊急減災対策実行計画を検討し、平常時からの準備事項を検討する。

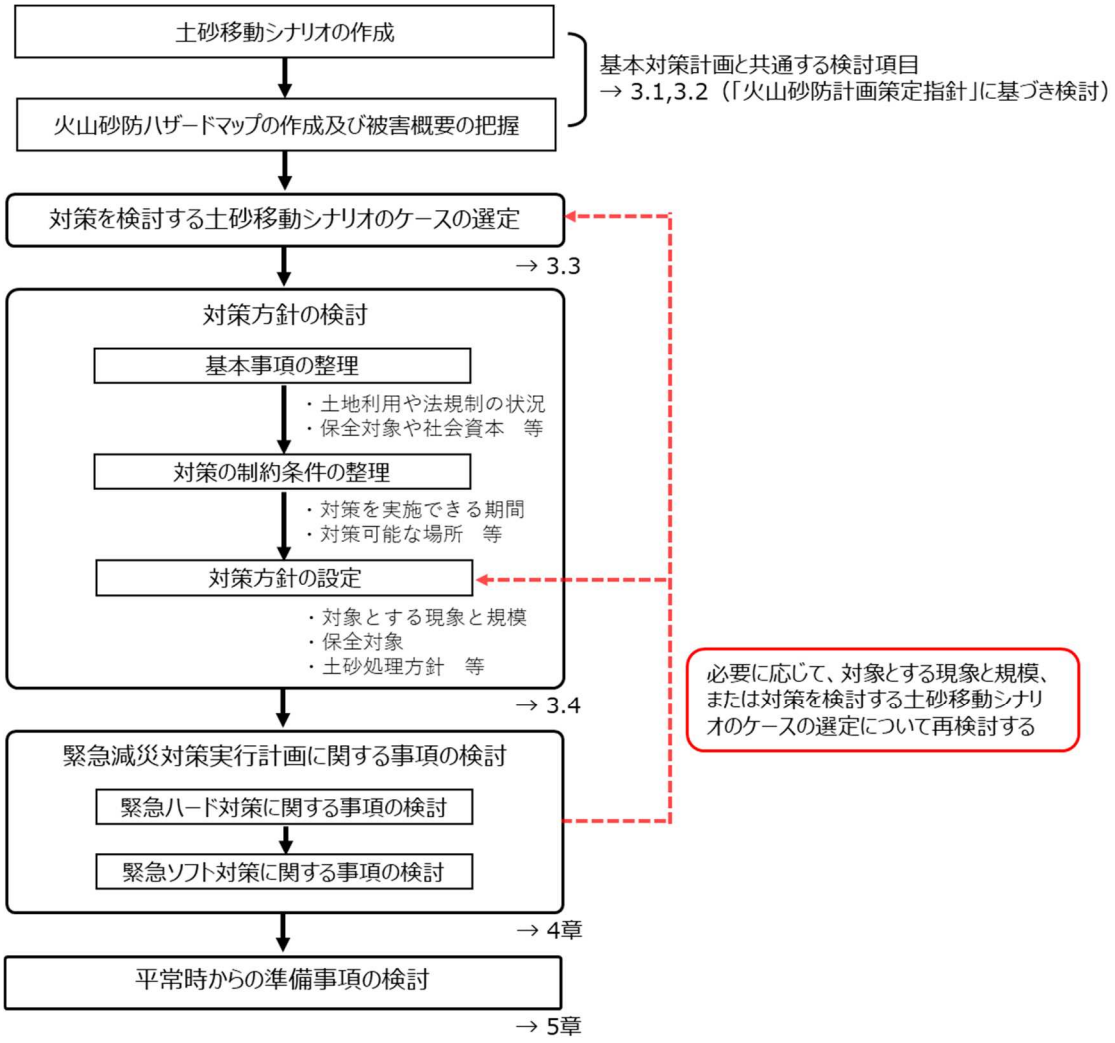


図 6　火山噴火緊急減災対策砂防計画の検討の流れ

2.4 計画の構成

緊急減災対策計画は、以下の内容を基本として構成する。

1. 対策方針
2. 緊急減災対策実行計画（緊急ハード対策、緊急ソフト対策）
3. 平常時からの準備事項

＜解説＞

緊急減災対策計画は、対策方針、緊急減災対策実行計画（緊急ハード対策に関する事項、緊急ソフト対策に関する事項）、平常時からの準備事項を基本として構成する（図 7）。

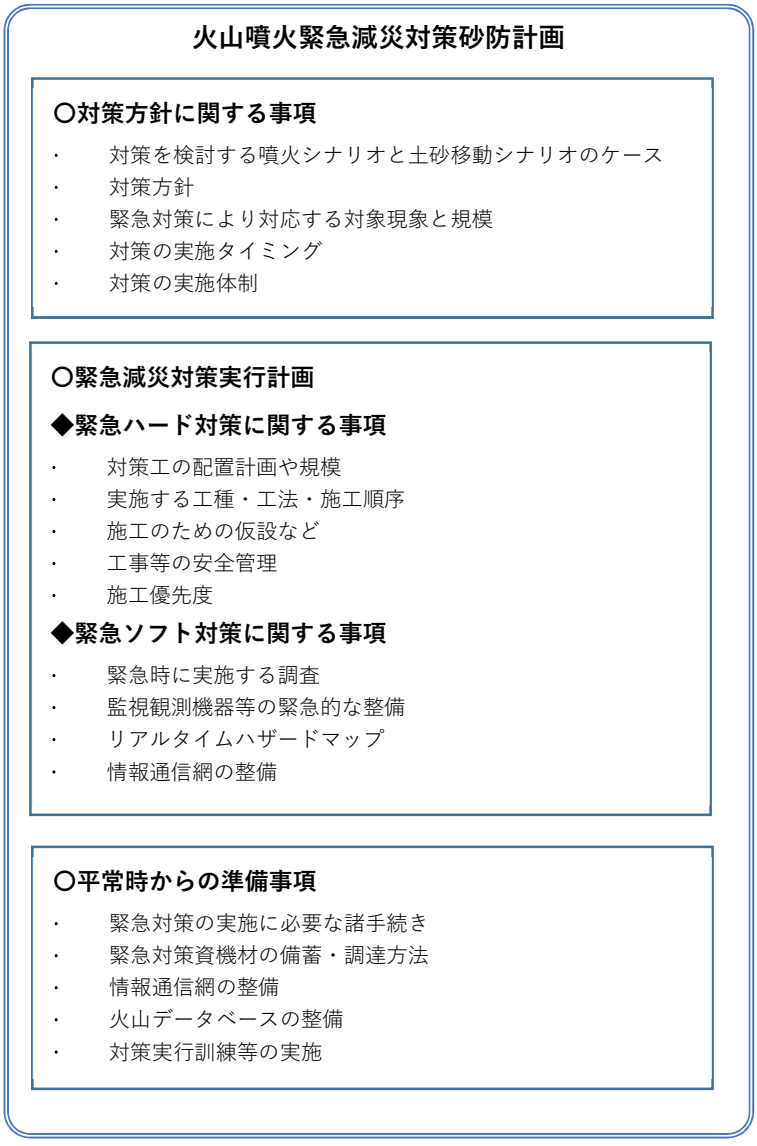


図 7　火山噴火緊急減災対策砂防計画の構成

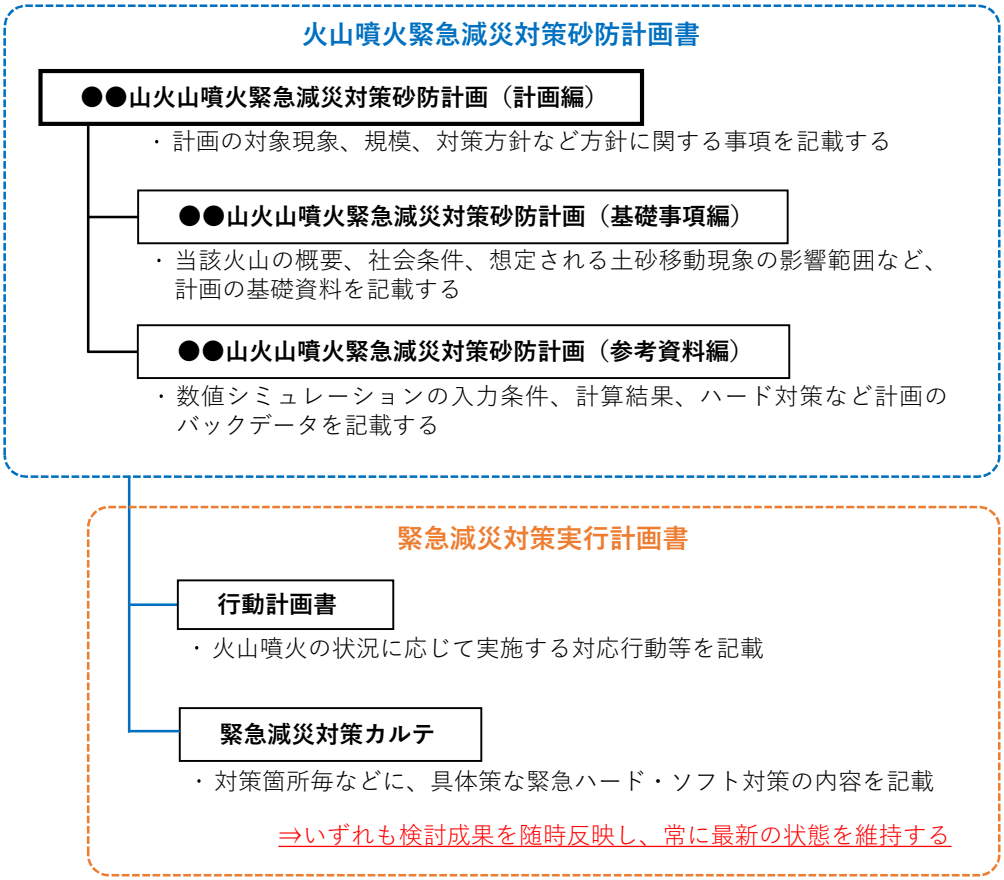
コラム

緊急減災対策計画に関連する計画の作成事例

緊急減災対策計画に関連する情報は多岐にわたること、計画の策定後も詳細検討や関係機関との調整等を踏まえて随時充実が図られるべき性質のものであることなどを考慮し、計画書を分冊で作成している火山もある。また、火山噴火時に迅速な対応がとれるよう、緊急減災対策計画に基づいた具体的な行動内容（火山噴火時の各種調査、緊急ハード対策の準備・開始・中止、関係機関との情報共有のタイミングなど）を示した行動計画書等を作成している火山もあり、実行性の向上等に有効な手段と考えられる。

特に、緊急ハード対策と緊急ソフト対策は詳細検討を行い、対策の実行性を向上させるとともに、火山噴火時に最新の検討成果に基づいて迅速な対応をとれるよう準備しておく必要がある。そのため、緊急ハード・ソフト対策をとりまとめた緊急減災対策実行計画書等を作成し、それを年次更新するなどの対応も有効と考えられる。

ただし、行動計画書等を作成する場合は、緊急減災対策計画との関係性や位置づけを明確化して計画書に記載し、情報が散逸しないよう留意が必要である。



2.5 検討体制

緊急減災対策計画は、火山ごとに国及び都道県の砂防部局が策定する。

計画の検討にあたっては、火山ごとに学識経験者並びに、関係する市町村、都道県及び関係機関等により構成される検討会等を設置する。

この検討会等は、計画策定後も、平常時からの緊急減災対策に係る情報交換を行う場として、引き続き活用することが望ましい。

＜解説＞

緊急減災対策計画の策定にあたっては、土砂移動シナリオや地域特性に基づく制約条件、優先度等の計画策定に必要な検討・調整事項があることから、以下の関係機関等からなる検討会等により検討することを基本とする。

また、緊急減災対策計画の策定後も、緊急減災対策実行計画の詳細を検討するとともに関係機関との情報共有や具体的な調整など、対策の実行性を向上させる対応が必要となることから、この検討会等は平常時からの緊急減災対策に係る情報交換や調整を行う場（ワーキンググループ等）として位置づけ、引き続き活用する。

なお、噴火シナリオ、火山ハザードマップ、噴火警戒レベル、具体的な避難計画については、各火山防災協議会の所掌事項であることから、緊急減災対策計画の検討会においては、緊急減災対策計画の主要事項（対象とする土砂移動シナリオ、対策方針、緊急減災対策実行計画の概略、平常時からの準備事項）について議論するものとする（図 7）。

- 国及び都道県の砂防部局、国土技術政策総合研究所並びに（国研）土木研究所等
- 気象庁（火山監視・警報センター及び地方気象台）【火山監視・火山情報】
- 砂防専門家（砂防学の学識経験者）　【砂防学】
- 火山専門家（対象火山に詳しい学識経験者）　【火山学】
- 都道県の防災部局　【防災対策全般】
- 関係市町村及び地域防災に関する協議会等　【防災対策全般】
- 防衛省・自衛隊　【災害時の支援（火山活動の監視、避難救援の支援など）、演習場の管理】
- 環境省〔自然保護事務所等〕　【国立公園の管理】
- 林野庁〔森林管理局・森林管理署〕、都道県林務部局　【国有林等の管理等】

など

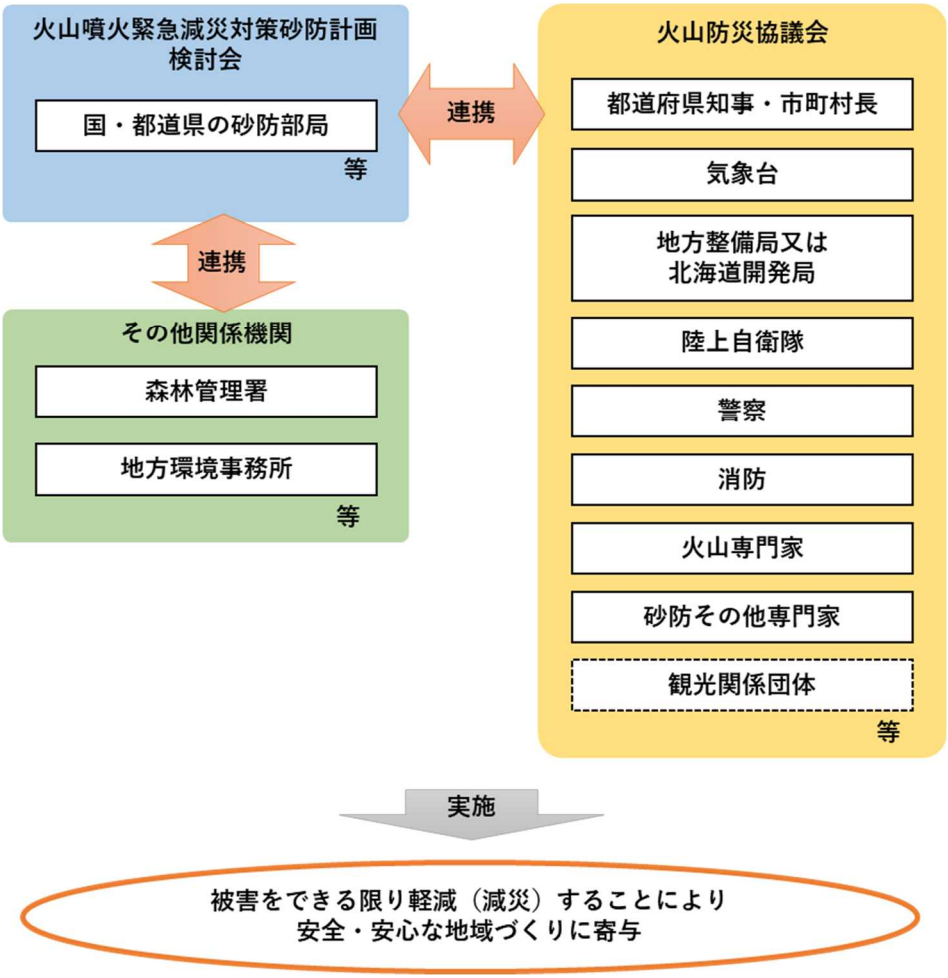


図 8　緊急減災対策計画と火山防災協議会との連携

コラム　**ワーキンググループでの検討事項**

緊急減災対策計画は、計画の策定後も対策の実行性を向上させる対応が必要となる。実行性の向上には、緊急減災対策実行計画の詳細を検討するとともに関係機関との情報共有や具体的な調整などが必要となることから、平常時から緊急減災対策に係る情報交換や調整を行う場としてワーキンググループ等を設置し、協議・検討を行っている火山も多い。

ワーキンググループにおける検討事項には、以下のようなものがある。検討成果については、個別の計画や基準としてとりまとめる場合（安全管理基準など）や、計画書の一部に追記するなどの対応がとられている。

＜ワーキンググループ等における検討事項の一例＞
・緊急ハード対策開始・中止のタイミングや基準
・緊急ハード対策工事における安全管理基準
・緊急ハード対策の優先順位
・住民避難等を考慮した施工タイミングや施工計画
・関係機関の所掌事項を踏まえた役割分担の整理
・関係市町村や他部局との用地調整・協定・緊急時の調整事項の確認

なお、計画の対象現象、規模、対策方針など方針に関する事項を見直す際には必要に応じて検討会等に諮るが、緊急ハード・ソフト対策の詳細や、計画のバックデータ等についてはワーキンググループ等を通じて適宜拡充や更新を図るべきものである。

2.6 計画の見直し

緊急減災対策計画は、その実行性を向上させるため継続的な更新を行うとともに、砂防施設の整備状況や、社会環境などの変化を踏まえ、必要に応じて見直しを行うものとする。

＜解説＞

緊急減災対策計画は、計画策定時点の砂防施設の整備状況や、社会環境などを踏まえて、可能な限り被害を軽減するために実施可能なハード・ソフト対策からなる緊急減災対策をとりまとめたものであるが、それらの条件は時間の経過と共に変化するものである。さらに、対象とする火山に関わらず、火山噴火が発生した場合は新たな知見の蓄積や、経験に基づく改善点などが見いだされる可能性がある。

また、緊急減災対策計画は、噴火時に対策が円滑かつ効果的に実施できるようにその実行性を高めることが重要である。実行性の向上には、施工計画等の詳細検討を行うとともに、ワーキンググループ等を通じた協議・調整や防災訓練等により緊急時の対応の確認や課題抽出など、PDCA サイクルによりスパイラルアップを図ることが望ましい。

以上を踏まえ、緊急減災対策計画は、詳細検討成果や訓練成果の反映、砂防設備の整備状況や社会条件等の時点更新などの更新を適宜行い、継続的に実行性の向上を図るものとする。対象とする現象や対策方針などに係る事項など、計画の見直しが必要と判断される変化が生じた場合は、必要に応じて検討会を設置し、学識経験者等からの助言や関係機関における調整を行うものとする。

コラム　**計画書等の更新**

緊急減災対策計画書は、計画の対象現象や対策方針などに係る事項以外については、計画策定時あるいは前回の更新時点から以下のような変化があり、計画の更新が必要と判断される場合は適宜更新を行うことが望ましい。

◆施設整備状況

新規砂防施設の整備、関係機関による新規防災施設の整備　など

◆社会条件

法規制範囲や規制内容の変化、立入規制や通行止め範囲の変更、保全対象の変化　など

◆検討の進捗

緊急減災対策の位置、工種・工法、必要資機材数　など

特に、緊急減災対策計画に基づく計画として「実行計画書」や「行動計画書」等を位置づけている場合は、詳細検討の成果を随時（年度ごとなど）反映し、常に最新の情報を共有できる体制を維持することにより、効率的かつ実行性の高い対応が可能になると考えられる。

なお、緊急減災対策計画書の見直しを行った場合は、必要に応じてワーキンググループ等を通じて関係機関と情報共有することに留意する。

第3節　対策方針に関する事項の検討

3.1 土砂移動シナリオの作成

噴火対応火山砂防計画で対象とする火山の噴火に起因する土砂移動現象と規模及びそれらの推移を時系列的にまとめた土砂移動シナリオを作成する。

＜解説＞

土砂移動シナリオは、「火山砂防計画策定指針」（4.2.2.土砂移動シナリオの作成）に基づき検討する。

3.2 火山砂防ハザードマップの作成及び被害概要の把握

噴火対応火山砂防計画のハード・ソフト対策計画の資料とするため、土砂移動シナリオで検討したケースごとに影響の範囲と影響の程度を示す火山砂防ハザードマップを作成し、保全対象に対する概略被害を把握する。

＜解説＞

火山砂防ハザードマップの作成及び被害概要の把握は、「火山砂防計画策定指針」（4.2.3.火山砂防ハザードマップの作成及び被害概要の把握）に基づき検討する。

3.3 対策を検討する土砂移動シナリオのケースの設定

想定される土砂移動シナリオのうち、緊急減災対策計画の対象とするケースについて、想定される影響の程度、保全対象の重要度、火山防災協議会等の避難計画等における想定等を総合的に勘案して設定する。

＜解説＞

緊急減災対策計画で対策を検討する土砂移動シナリオのケースは、想定される土砂移動現象の規模や影響範囲、火山防災協議会等の避難計画等で想定されている噴火シナリオ等を総合的に勘案して、必要に応じて複数ケースを選定する。当該火山において基本対策計画が策定されている場合は、基本対策計画において対象とする土砂移動シナリオとは必ずしも整合しなくてよいが、基本対策計画の対象規模よりも大きい規模の火山噴火あるいは土砂移動現象についても考慮する。ただし、被害がほとんど生じない微小噴火に伴う土砂移動シナリオのケースや、土砂移動現象の規模が極端に大きく緊急的な対策による効果が全く期待できないようなケースは本計画の対象としない。

土砂移動シナリオにおいては、火山噴出物の堆積により流域が荒廃するなどし、火山噴火の終息後も土石流が発生しやすい状況となることも考慮する。また、火山噴火の終息後は基本対策計画による恒久対策施設の整備が想定されるが、基本対策計画の策定あるいは見直し、恒久対策施設の整備に時間を要する場合があること、緊急減災対策は噴火発生前の対策を基本としているが、前兆現象から噴火までの時間が短く、噴火前の対策が困難な場合などがある。そのため、緊急減災対策では、恒久対策を開始するまでの間の安全確保を目的として、火山噴火の終息後に発生する土石流に対する対策も実施するものとする。

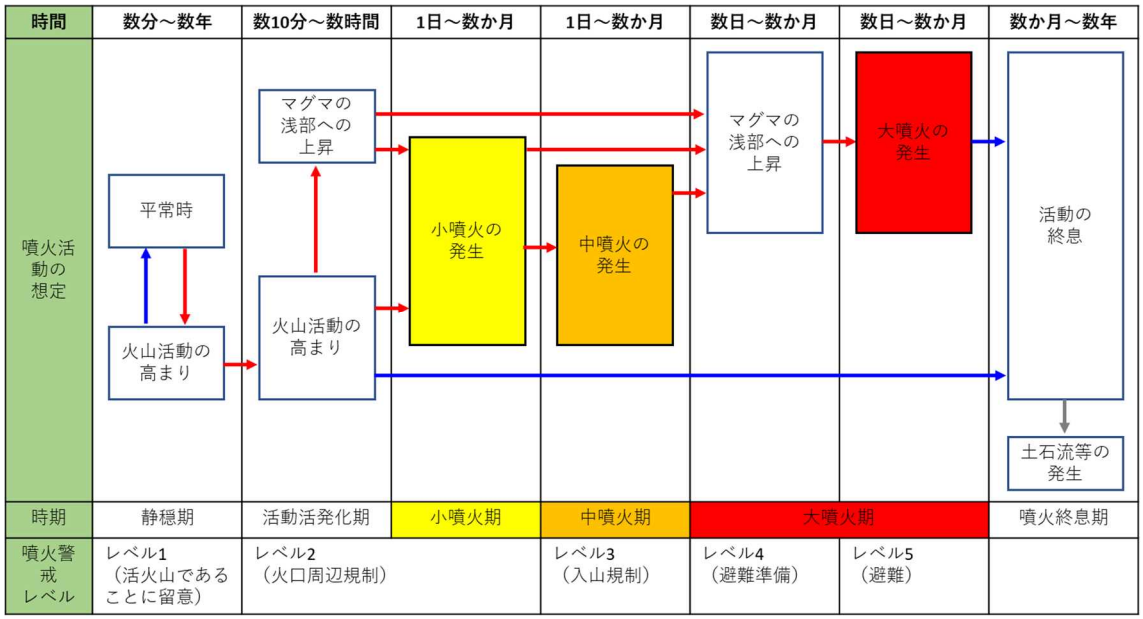


図 9　噴火シナリオのイメージ

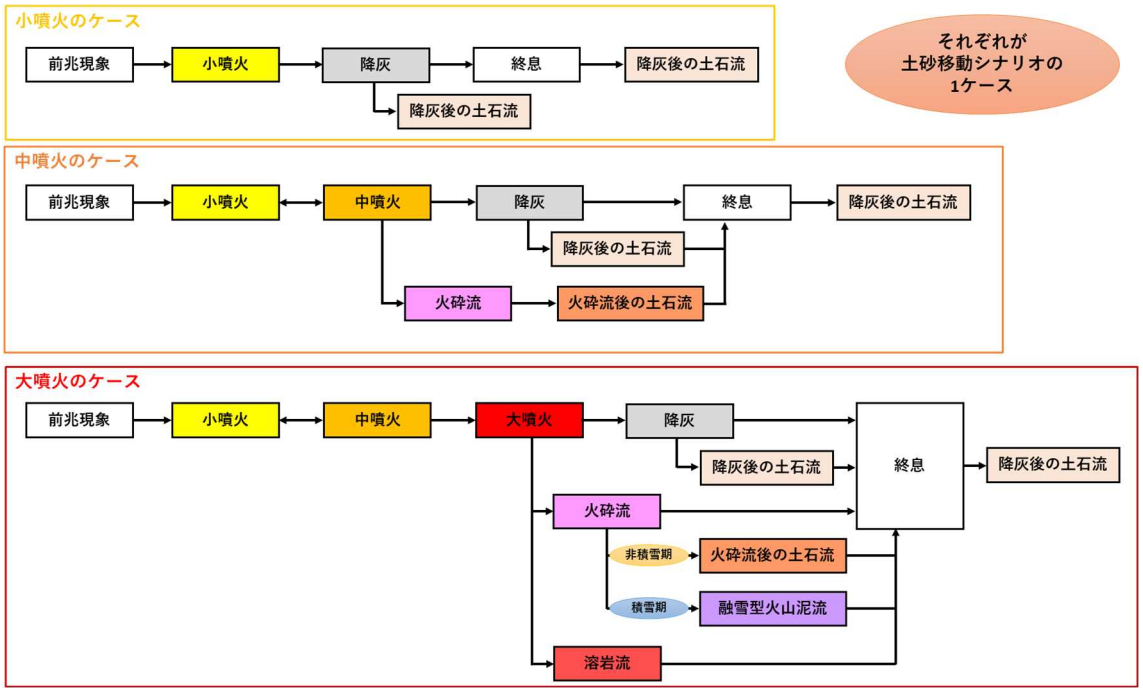


図 10　土砂移動シナリオとケースのイメージ

3.4 対策方針の検討

3.4.1 基本事項の整理

計画の策定にあたって、次の項目について現状を把握する。
① 土地利用や法規制の状況
② 保全対象となる社会資本などの状況
③ 防災対策の状況 （火山の監視・観測体制、情報の伝達・共有の状況、警戒避難体制、対策施設の整備状況）

＜解説＞

緊急減災対策計画の検討にあたっては、火山防災対策全般にわたる計画検討時点の進捗状況や現地の社会的条件などを把握する必要がある。計画策定の基本事項として、主に、次に示す事項についての現状を把握する。

①土地利用や法規制の状況
- 山麓域及び周辺地域の土地利用状況
- 山麓域及び周辺地域に指定されている各種の法規制の状況　など

②保全対象となる社会資本などの状況
- 被害が想定される地域の保全対象の種類・数と分布
- 被害が想定される地域の公共施設の種類・数と分布
- 避難計画における緊急避難路の指定状況　など

③防災対策の状況

1）火山活動の監視・観測体制、火山情報などの発表体制
- 火山監視機器の配置状況、監視・観測している内容及び観測頻度
- 現状の監視・観測によって推定できる火山現象の種類と規模
- 噴火警戒レベルに対応する火山活動状況と住民等の対応及びその範囲
- 噴火警戒レベルの判定基準　など

2）防災計画等の記載内容
- 火山防災計画、地域防災計画等の記載内容
- 火山ハザードマップ、防災マップ等の作成状況　など

3）火山噴火に伴う土砂移動現象の監視・観測体制、土砂災害緊急情報の発表体制

- 土砂移動現象の監視観測機器の配置状況
- 土砂災害緊急情報が発表される時期。特に、調査の実施主体と調査対象となり得る渓流の分布　など

4）情報伝達・共有の状況

- 情報伝達の方法（情報伝達経路、情報システムの状況など）
- 伝達される情報の内容　など

5）警戒避難体制

- 災害対策本部の運用方針（設置時期など）
- 避難指示の発令基準、警戒区域・避難区域の設定方法
- 関係する地方整備局等、都道県、市町村を跨ぐ広域連携体制
- 緊急時の道路通行規制　など

6）対策施設の整備状況

- 砂防事業や治山事業などによる施設の整備状況とその諸元、効果量　など

3.4.2 対策の制約条件の整理

緊急減災対策計画の対策方針を検討するための前提条件として、各火山地域の自然的・社会的特性を考慮し、緊急減災対策を実施できる期間、実施可能な場所などの制約条件を整理する。

＜解説＞

緊急減災対策計画は、火山活動状況と地域の社会条件などに基づいて、被害を軽減するための対策を検討するものであり、時間的・空間的な制約などの状況を把握した上で、実施可能な対策を検討することが必要である。そのため、対象火山地域において緊急時の対策を実施する際に制約となる条件を整理しておく。

対策の実施にあたって制約となる事項は、主に、①対策を実施できる期間、②対策が可能な場所、③対策実施のための体制などであり、現実的に実施可能な対策の配置や規模などを具体的に検討するために、これらの制約条件について整理する。

(1) 対策を実施できる期間

対策を実施できる期間は、火山活動状況に応じた影響範囲や立入規制範囲、避難計画等に基づく避難指示エリアや通行規制範囲等が拡大されるタイミングを考慮し、緊急減災対策を実施する場所へ立ち入りができる期間として整理する。また、豪雪地域においては積雪の影響など、気象条件による制約も考慮する。

緊急減災対策は工事従事者等の安全確保のため、無人化施工等を実施する場合を除き、立入規制や避難指示エリアなど危険が想定される範囲の外で実施する。それらの規制範囲等は火山活動状況に応じて変動することから、緊急減災対策を実施する場所との位置関係により火山活動の活発化に伴い対策が実施できなくなることが想定されるため、時間的制約条件として整理する。規制範囲やその内容は噴火警戒レベルに応じて設定されることが多いことから、対策を実施できる期間も噴火警戒レベルに対応することが想定される。

なお、対策を実施できる期間は、当該火山における過去の噴火の観測情報が十分にある場合などは、噴火につながる前兆現象を検知してから、噴火が開始して、火山泥流や溶岩流などの災害現象が保全対象に到達するまでの時間として想定することもできる。その場合は、前兆現象を検知して災害現象が保全対象に到達するまでの時間から、緊急ハード・ソフト対策の施工準備に要する日数を考慮することが必要である。ただし、この対策を実施できる期間は、緊急減災対策計画を検討するための制約条件として、被害が発生し始めるまでの時間を便宜的に設定するものである。実際の噴火時の対応では、想定よりも短期間での対策完了が必要となる場合や、被害が発生した後も、被害の拡大を防ぐための対応を引き続き実施する場合などが予想されるため、計画上で設定する期間にとらわれることなく、臨機応変の対応に努めることが必要である。

(2) 対策が可能な場所

保全対象の位置、地形条件、土地利用状況・法規制などから、緊急減災対策が実施可能な場所を整理する。

緊急ハード対策を実施する箇所は、保全対象の上流側で土砂捕捉容量を確保できる地形条件（勾配、土地の広さ等)、工事用道路の確保などの施工性（アクセス性）などの条件から抽出する必要がある。

また、噴火時には安全管理上、実施可能箇所が限定される場合があり、土地利用状況や各種の法規制により、対策工事等の実施が困難な場合もあるため、周辺の土地利用状況や自然公園法などの法規制、噴火時の警戒区域の設定方法などの点にも留意して実施可能な範囲を抽出する。緊急ソフト対策についても同様に、実施項目ごとの技術的な適地と法規制などの社会的条件を考慮して、実施可能な範囲を抽出する。

なお、抽出にあたって、社会的な条件などから平常時には対応が困難な場合でも、緊急時において実施が可能となるような状況についても検討する。対象とする保全対象についても緊急時の状況を想定して、保全すべき対象の重要度などを考慮し、実施箇所の範囲を検討する。

実施箇所に関しては、法規制に関する事前の調整、地権者の了解、無人化施工などの工事や作業の安全管理の配慮などの対応を行うことが前提であることから、中・長期的な対応として、これらの制約となる条件をできる限り改善していくことが必要である。

(3) 対策実施体制

計画検討時点において、噴火災害時に動員できる人員、調達可能な資機材などの実施体制について、状況を調査し整理する。

緊急時に実施する対策は、前述の（1）～（2）に示した制約条件に加え、緊急的に調達できる資機材の種類と量、運搬経路の制約、施工業者との協定・契約、担当機関の計画・工事監督、契約などの事務処理などを実施する体制にも影響を受ける。そのため、これに関する現状や災害時の支援体制などについて、整理しておく。

なお、これらの条件を改善するために、平常時からの対策として、緊急減災対策のための資機材の備蓄や調達手続きの整理、災害時の協定（法規制、施工体制）などの検討を行い、事前に制約となる条件をできる限り改善しておくことが必要である。

(4) その他

各火山地域の自然的・社会的条件による制約について、各火山地域の特性を考慮して検討する。

前述の各事項のほか、対策に要する費用は制約条件となりうるものであるが、計画検討の段階では制約条件として扱わず、緊急減災対策実行計画ごとに概算費用と対策効果を算出し、実施の際の判断材料として整理しておく。

また、景観や生態系などの自然環境への影響は、緊急時に実施する対策施設の配置を検討する段階においては制約条件とはせず、緊急対策施設などが自然環境や景観に与える影響や対策終了後の復旧の可能性とその方法などについての検討を行い、影響の程度と緊急減災対策の効果とを比較して対応の適否などの判断を行うことが必要である。

その他、対象火山において制約となる事項がある場合には、各地域の状況にあわせて制約となる条件などを検討しておく。

3.4.3 対策方針の設定

緊急ハード・ソフト対策により対応する対象現象とその規模、緊急ハード・ソフト対策の方針や、それぞれの実施内容等について、保全対象の重要度や土地利用状況などの社会的な制約条件を踏まえて、土砂移動シナリオに対応した緊急減災対策計画の対策方針を設定する。

＜解説＞

緊急減災対策を検討する土砂移動シナリオのケースごとに想定される被害に対して、保全対象の位置とその重要度、周辺の自然環境や土地利用等の制約条件を踏まえ、緊急ハード対策、緊急ソフト対策の基本的な考え方を対策方針として設定する。

緊急減災対策は必ずしも土砂災害による被害の防止を目標とはせず、軽減を目指すものである。緊急ハード対策と緊急ソフト対策により対処できる現象・規模には時間・場所・体制的な制約による限界があることから、緊急ハード対策では被害軽減対応が非現実的な土砂移動シナリオのケースもある。そのようなケースについては、火山防災協議会の構成員（機関）が実施する対策等との調整を図ったうえで、緊急ソフト対策で対応することを基本とする。

以上の視点から、ここでは土砂移動シナリオの中から選定したケースに対して、緊急ハード・ソフト対策で対応する現象とその規模、緊急ハード対策の実施タイミングや実施箇所など、基本的な方針を土砂移動シナリオと関連づけて整理する。

(1) 計画で対応する現象と規模

土砂移動シナリオのケースごとに想定されている土砂移動現象とその規模をもとに、緊急減災対策により対応する現象とその規模を整理する。

緊急ハード対策により対応が可能な現象とその規模には時間的・空間的制約により限界があることから、土砂移動シナリオで設定されている噴火規模（噴出量）、発生する現象の特性、被害発生までの時間などの内容をもとに、対応可能な現象・規模についての考え方を整理する。緊急ソフト対策についても同様に、実施項目と対応可能な現象・規模についての考え方を整理する。

なお、緊急減災対策により対応する現象とその規模は、緊急ハード対策とソフト対策の具体的な配置や構造等の検討と並行して検討する。検討の手順としては、第 4 節に示す緊急減災対策実行計画に関する事項の検討を含めて把握する。想定する影響範囲が広域に及び、緊急ハード対策の効果検証に際して減災効果が確認されないなど、緊急減災対策による対応が非現実的と考えられる場合などは、対策を検討する土砂移動シナリオのケースを再選定する。

(2) 保全対象

計画で対象とする現象と規模に応じた影響範囲を踏まえて、保全対象を設定する。

火山砂防計画の保全対象は、人命、人家、公共施設、田畑、インフラ等である。緊急減災対策計画においては、これらへの被害の軽減を図るほか、緊急的に実施する対策であることを鑑み、住民等の生命を守るための避難に必要な避難所及び避難路等の被害の防止あるいは軽減を図る必要があることに留意する。

(3) 土砂処理方針

対象とする土砂移動現象及び保全対象の分布等の地域特性を考慮し、合理的かつ効果的な土砂処理方針を設定する。緊急減災対策計画における土砂処理方針は、火山噴火が予測される状況下において土砂移動の発生源に立ち入ることは困難と考えられることから、降灰後等の土石流や火山泥流等の捕捉及び導流・堆積、流向制御を基本とする。

また、基本対策計画や通常対応火山砂防計画に基づく施設整備を行っている火山においては、これらの計画による施設と緊急ハード対策による対策効果を効率的に発揮できるよう、土砂処理方針について整合を図る。

ただし、緊急減災対策計画は、火山噴火に伴う地形条件の変化等に応じて土砂処理方針や対策位置を変更するなど、臨機の対応が必要となることに留意が必要である。

(4) 対策の実施タイミング

対策の実施タイミングは、対策が可能な期間を考慮しつつ、準備等の開始のタイミングと工事の開始・中止のタイミング等を設定する。特に、時間的な制約が大きく影響するため、対策開始のタイミングの判断が重要となる。対策開始のタイミングについては、噴火シナリオをもとに、噴火につながる明らかな現象などを基に設定する。

ただし、緊急ハード対策工事の実施に際しては、工事車両の通行等により住民の避難行動や関係機関の対応行動に影響が及ぶ可能性があることから、対策の実施タイミングの詳細については、ワーキンググループ等を通じて関係機関と調整を図る必要があることに留意する。

また、これらの着手判断には気象台や火山専門家などからの詳細な情報の入手、火山活動の状況やその見込みについての綿密な情報交換が必要である。ここでは、気象台や火山専門家などから必要な情報が入手できる体制を構築することを前提として対策開始のタイミングの設定を行うため、実施にあたってはこれに関わる情報伝達などの体制を整備しておく必要がある。

(5) 対策実施範囲

対策の制約条件、計画で対応する現象と規模、保全対象等を考慮し、緊急ハード対策と緊急ソフト対策を実施する範囲を設定する。なお、対策実施範囲は、便宜的に緊急減災対策を

実施する流域や渓流の一覧としても整理する。

コラム　緊急減災対策計画により対応する規模（土砂量）の考え方

緊急減災対策計画は、土砂災害による被害を可能な限り軽減（減災）することを目指す計画である。つまり、必ずしも土砂災害による被害の防止を目標とはしない。そのため、緊急減災対策計画では、通常の砂防計画のように“計画対象土砂量（要整備土砂量）”を予め設定するものではない。その代わりに、緊急ハード対策と緊急ソフト対策により対応する規模として、現実的に実施可能な対策を踏まえた“整備目標”などを示すことが考えられる。

＜緊急ハード対策＞

緊急ハード対策の“整備目標”は、以下のような表現方法が考えられる。

①緊急ハード対策の施設効果量として示す方法

②緊急ハード対策による減災効果として示す方法

①は、緊急ハード対策を検討したうえで、その施設効果量の合計として示す方法である（効果量 5000m³など）。砂防堰堤等の捕捉工には適しているが、導流堤や輪中堤のような対策は施設効果量の評価には適していないことに留意が必要である。

②は、対象とする土砂移動シナリオのケースの土砂移動現象の規模に対して、数値シミュレーション等による施設効果評価を実施し、緊急ハード対策により期待される減災効果

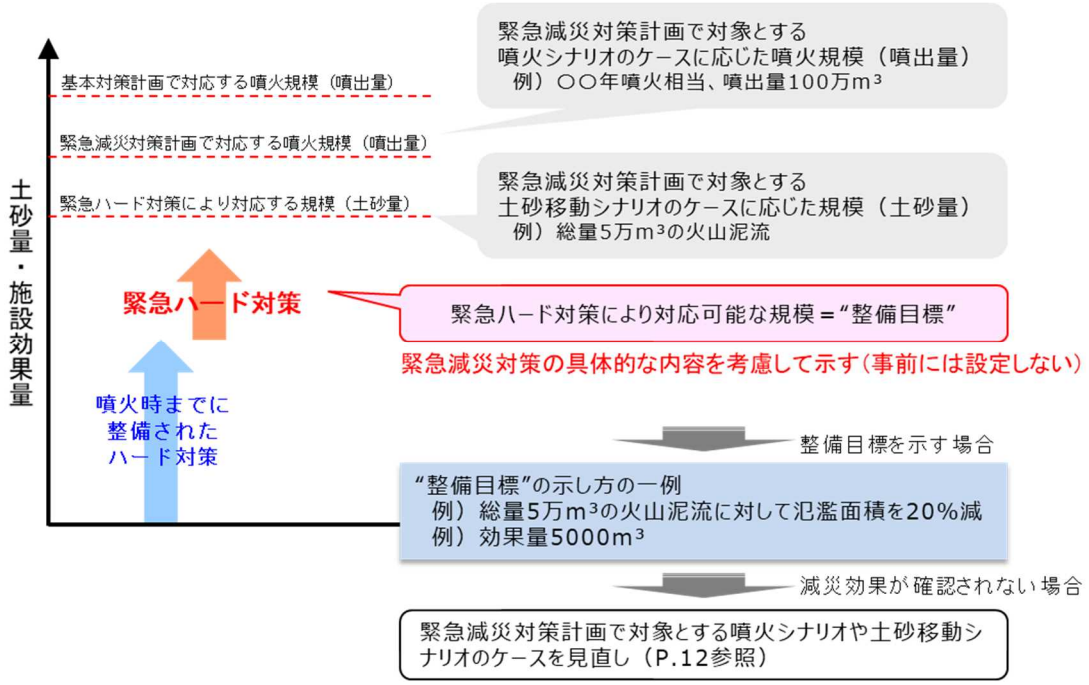


図　緊急ハード対策の整備目標のイメージ

として示す方法である（氾濫面積の 30%減少など）。対策効果の評価指標には以下のような事項が考えられる。

【対策効果の評価指標の一例】

・影響範囲（流下面積）の減少

・防災拠点や重要施設等における最大流動深の低下

・影響が及ぶ人家戸数の減少

＜緊急ソフト対策＞

監視カメラや土砂移動検知センサーなどの監視観測機器、及び火山ハザードマップ等の緊急ソフト対策は、土砂移動現象の規模（土砂量）によらずその効果を発揮する。また、緊急ソフト対策は人的被害の軽減に資することを目的としており、ソフト対策の種類によりその効果も異なる。そのため、緊急ソフト対策の“整備目標”として土砂量などでの統一的な評価は適さないと考えられる。

そこで、緊急ソフト対策の“整備目標”は、具体的な対策内容そのものとして示す（土砂移動検知センサー2 基の新設、など）として示す方法が考えられる。

第 4 節　緊急減災対策実行計画に関する事項

4.1 緊急減災対策実行計画の基本事項

緊急減災対策実行計画は、対象とする土砂移動シナリオのケースごとに、対策方針に基づいて、緊急ハード対策及び緊急ソフト対策の具体的な実施内容について、時系列でとりまとめたものである。

＜解説＞

緊急減災対策実行計画は、対象とする土砂移動シナリオのケースごとに、対策の方針に基づいて、対策工の配置や規模、対策工の工種・工法、基本的な構造、施工のための仮設・資機材、工事の安全管理など、緊急ハード対策及び緊急ソフト対策の具体的な実施内容を、時系列でとりまとめたものである。緊急減災対策実行計画は、現場における運用、及び工事関係者や関係機関等との情報共有の観点から、「緊急減災対策実行計画書」などとしてとりまとめる。

火山噴火時における防災対応は即時対応が求められるが、実際の噴火時には噴火シナリオの想定どおりには推移しないこともあることから、緊急減災対策の実施に際しては火山活動状況や関係機関の対応状況など、様々な状況変化に応じて臨機応変な判断が求められる。そのため、緊急減災対策の具体的な内容については、迅速な対応に資するよう対策箇所ごとなどでとりまとめておくとともに、火山噴火等の状況にあわせて柔軟に変更・修正して対応する必要がある。

また、緊急減災対策の実施の可否は火山活動状況等によるため、どこでどのような対策を実施するかは実際の状況に応じて判断する必要がある。そのため、複数の緊急ハード対策とそれに応じた緊急ソフト対策を検討しておき、火山活動状況等に応じて実施可能な対策を執るような対応が求められる。ただし、検討箇所が膨大となるため、対策効果の大きい箇所、土砂移動現象が発生、流下する確実性が高い箇所、対策が実施できる可能性が高い箇所等から詳細を検討し、実行できる緊急ハード対策の候補を順次増やしていく対応が好ましい。

なお、実施する緊急ハード対策の選定に際しては火山活動状況や関係機関の対応状況などを考慮した判断が必要となることから、平常時から防災対応訓練等を実施し、対応能力の向上を図ることが重要である。

4.2 緊急ハード対策に関する事項

4.2.1 緊急ハード対策に関する事項の検討方針

緊急ハード対策に関しては、対策工の配置、対策工の工種・工法、基本的な構造、施工のための仮設・資機材、工事の安全管理、施工に要する時間、対策の効果などについて検討し、緊急減災対策実行計画（緊急ハード対策）としてとりまとめる。

＜解説＞

緊急減災対策実行計画（緊急ハード対策）は、対策の方針に基づいて、対象とする土砂移動シナリオのケースごとに、迅速に対応可能な緊急ハード対策の実施内容を時系列にまとめたものである。対象とするケースが複数想定されている場合は、それぞれのケースで緊急減災対策実行計画（緊急ハード対策）を作成する。

想定される現象の規模から、緊急ハード対策では、すべての土砂移動を抑制、制御することが非現実であること、対策可能な時間、施工体制の確保、資機材の調達、土砂の仮置き場の確保などの諸条件から対応が非現実的なことなどが想定される。この場合には、緊急ハード対策での対応の限界などを示し、それを超過する規模については、緊急ソフト対策などの対応によることについて明確にしておく。

緊急ハード対策の検討方針には、対策効果から検討する考え方と、対策可能時間から検討する考え方がある。前者は、ある保全対象に対し、対象とする規模の現象に対して被害を防止する規模・構造の緊急ハード対策を検討し、緊急時にはその可能な限りの施工を図るものである。被害の防止を期待するため施設規模等が大きくなり、施工に時間を要する場合があるが、施工途中でも一定の効果を発揮する構造や施工手順を検討することで、減災効果を期待するものである。

後者は、一般的に火山噴火の前兆から噴火までの余裕時間が短いことを考慮し、対策可能な時間を例えば 1 ヶ月と想定するなど、短期間で実施可能な対策という観点から緊急ハード対策の位置や構造を検討するものである。短期間で実施可能な緊急ハード対策は複数案を検討しておくことや、施設機能の強化を考慮した構造とすることで、火山噴火の状況に応じて柔軟な対応を可能にするものである。ただし、施工性の観点から検討するため、効果検証により減災効果を把握しておくことが肝要である。

緊急ハード対策の検討方針はどちらかに限定する必要はなく、複数の緊急減災対策実行計画（緊急ハード対策）を検討しておき、火山噴火時の状況に応じて適切な対策を選定できる体制を構築することが重要である。

コラム　**短期間で実施可能な対策の検討**

一般的に火山噴火の前兆から噴火までの余裕時間が短いことを考慮すると、火山山麓周辺で保全対象を有する渓流を対象に、効果的な減災を目的として、短期間で実施可能な緊急ハード対策、緊急ソフト対策を検討することが有効である。短期間で実施可能な対策は、過去の火山噴火における対応を鑑みると、現状の施設整備状況および資機材の備蓄状況等を踏まえつつ、最大で１ヶ月程度での工事完了が目安となる。

短期間で実施可能な対策の検討は、緊急減災対策計画で想定されているシナリオとは異なる土砂移動現象への対策にも資すると考えられる。

＜考え方及び検討手順の一例＞

- 最大で１ヶ月程度という条件のもと、対策位置、工種・工法、対策期間等を検討する。検討する対策期間は複数期間（例えば、5 日、15 日、30 日、等）を想定する。
- 渓流ごとに保全対象の数等を整理し、噴火の状況に応じて、優先的に対策を実施すべき渓流を判断できるようにする。なお、噴火の状況に応じて立入規制範囲が拡大する点に留意し、安全に施工できる箇所を選定する。
- 対策位置は、関係機関との協議事項が少ない箇所から、①砂防指定地内、②河川敷地内、国有林内、③国道、県道、④その他の公有地（市・町有地）、⑤民有地の順で検討する。
- 迅速に施工が実施できるように、アクセスが容易な箇所を抽出する。
- 対策期間に応じた施設規模や工種・工法等を検討して、概算工事費を算出する。
- これら対策で得られる対策効果を把握しておく。評価にあたっては、以下に示す指標を参考に、各火山の地域特性や避難計画を考慮の上、適正な評価指標を選定する。

  A)　施設効果量（捕捉可能な降雨規模等）

  B)　想定される被災人家戸数、被災人口および要配慮者数

  C)　想定氾濫の面積、想定氾濫区域内の避難関連施設数、公共施設等の重要施設数

  D)　避難路の保全（避難路が寸断されることにより孤立する箇所等）

  E)　避難時間の増加　　など

4.2.2 対策工の配置の検討

緊急ハード対策は、対策方針に基づいて、降灰後の土石流や火山泥流等の捕捉・導流などの効果を最大限発揮でき、また迅速に施工が可能な対策工の位置を検討する。

＜解説＞

緊急ハード対策で対象とする現象とその規模での影響範囲に対して、緊急ハード対策の適切な配置を検討する。

配置検討に際しては、周辺の制約条件を踏まえたうえで、施設効果が適切に発揮でき、さらに迅速に施工が可能な対策位置とすることに留意する。

また、火山噴火時における対応としては、火山噴火に伴い地形条件などが変化することがあるため、リアルタイムアナリシス型リアルタイムハザードマップにより被害が想定される範囲を再検討して、適宜、緊急ハード対策位置を修正して対応することが必要である。

4.2.3 実施する工種・工法の検討

緊急ハード対策で実施する工種・工法の選定にあたっては、対策箇所ごとの諸条件を考慮して、迅速に実施可能な方法を選定する。また、対策場所までの現象到達時間が非常に短い場所での対策などについては、工事従事者の安全に十分配慮した施工法を採用する。

＜解説＞

具体的な工種・工法の種類については、対策箇所ごとの制約条件を考慮して選定するが、想定される火山現象ごとに、対象現象の捕捉、導流などの土砂処理方針を検討し、これに適した工種・工法を選定する。

また、緊急時に実施する対策であることに鑑み、既設施設の除石や簡易で作業効率が高い施工方法を選択することを基本とする。

その他、火砕流の到達、噴石の到達などの作業員の退避が困難な状況が想定される地域での施工、土石流や火山泥流の発生・流下域などでの施工については、無人化施工などにより作業員の安全を確保する。

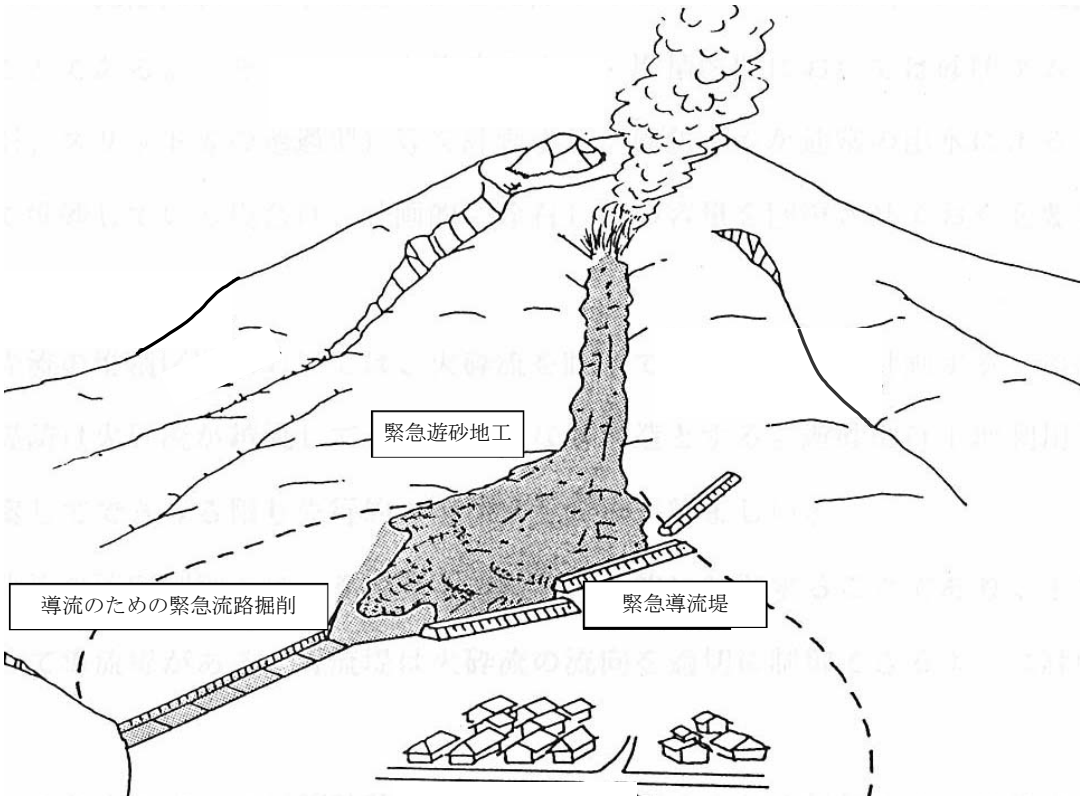


図 11　緊急ハード対策の工種・工法

＜捕捉を目的とした工種・工法の一例＞

■既設堰堤の除石

既設の砂防堰堤の堆砂域や河道を掘削することにより、土砂や泥水の捕捉容量を確保する。

（写真：九州地方整備局 宮崎河川国道事務所 管内）

■コンクリートブロック積み堰堤の整備

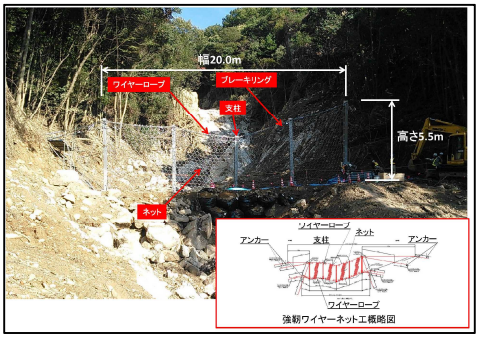
コンクリートブロックの積層により、仮設の砂防堰堤を整備する。既設堰堤の嵩上げ利用する方法も考えられる。

（写真：中部地方整備局 多治見砂防国道事務所 管内）

■スリット堰堤等の透過部の閉塞

スリット堰堤等の透過部を横ビームやコンクリートブロックで閉塞させることにより、火山泥流等の捕捉容量を確保する。

（写真：北海道開発局 旭川河川事務所 管内）



■柔構造物工法による対策施設の整備

リング状の鋼材をつなぎ合わせるなどしたネットタイプの柵を設置し、土石流を捕捉する。

（写真：中国地方整備局 太田川河川事務所 管内）

＜導流を目的とした工種・工法の一例＞

■導流堤の整備

大型土のうやコンクリートブロックの積層等により、導流堤を整備する。

（写真：東京都 三宅島）

図 12　緊急ハード対策の工種・工法等

4.2.4 対策工の構造の検討

緊急ハード対策施設は、対象とする現象及び規模に対して効果を発揮できる構造とする。また、緊急的に実施する対策であることから、構造は迅速な設置・施工ができることを優先し、仮設的な構造を基本とする。

＜解説＞

緊急ハード対策施設は、短期間に完成させること、また、場合によっては、噴火終息後に原形復旧することもあり得ることなどを考慮して、迅速な施工が可能な応急仮設的な構造を基本とする。構造の検討にあたっては、短期間に施工できることのほか、現地の施工条件や資材などの調達が容易であることなども考慮する。

噴火時に発生する現象はその時々の火山活動状況によって、流下する現象の規模・流下方向などが変化することがあることも考慮して状況の変化に対応できるように嵩上げなどによる機能の強化が可能な構造としておくことも検討する。また、溶岩流と火山泥流など複数の現象に対応する必要があるものについては、同一の施設でそれぞれの現象に対して一定の効果が発揮できるよう、構造の決定にあたって留意する。

なお、緊急的ハード対策の噴火終息後の扱い（恒久的な施設への改築や撤去など）は、噴火後に火山砂防計画を見直す中で検討する。

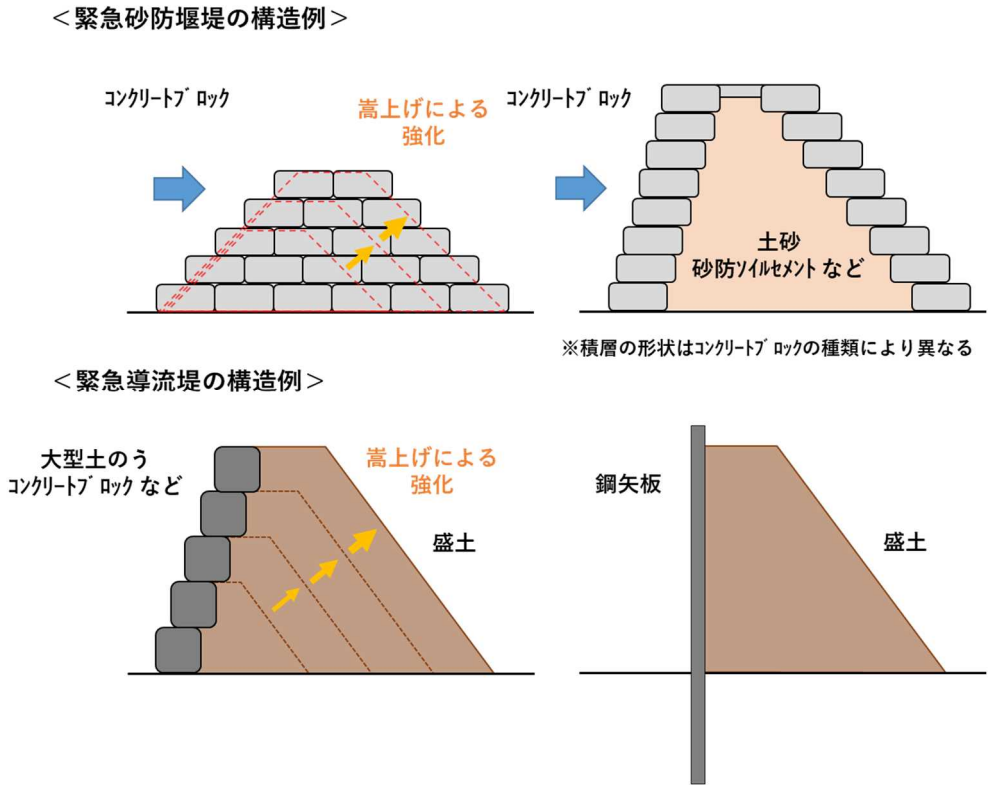


図 13　緊急ハード対策の構造例（イメージ）

コラム　**溶岩流に対する緊急ハード対策事例**

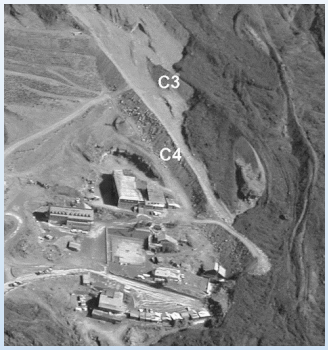
溶岩流に対する緊急ハード対策の事例は以下のようなものがあるが、溶岩流の流向制御あるいは流下時間の遅延（時間稼ぎ）が主な対策効果である。

（1）導流堤

盛土等による提の設置、あるいは掘削によって流路を形成して流れを逸らし、溶岩流を速やかに流下させるための状況を作る方法である。1960 年のマウナロア山（アメリカ）、2001 年のエトナ山（イタリア）等で実施された。

溶岩流の流下を遅らせる効果や流向制御の効果が認められるが、最終的に埋没し、保全対象保護の目的は達成されない場合もある。また、流路を変更することに対し、土地所有者等の理解が必要であるあることに留意が必要である。

写真：エトナ山（出典 1）



（2）土堤

現場の土砂をブルドーザ等で固めることにより簡易的な堤防を設置する方法である（導流堤も場合もある）。1995 年のキラウェア火山（アメリカ）や 2001 年のエトナ山（イタリア）で実施された。

溶岩流に直行する土堤（ダム）は時間稼ぎとして効果が認められたが、最終的には後続の溶岩流によって埋没している。

写真：エトナ山（出典 2）

（3）注水

多量の水を溶岩流に放水し、溶岩流の流下を阻止する方法である。1973 年のヘイマエイ島（アイスランド）の噴火、1960 年のキラウェア山（アメリカ）の噴火、及び 2000 年の三宅島や 1986 年の伊豆大島で実施された。

溶岩流の輻射熱による保全対象の延焼防止に対しても効果が認められるが、大量の水が必要なために、実施場所が海や湖の付近に限られる欠点がある。

写真：伊豆大島（出典 3）

（4）爆破

爆破等により流下方向を変える方法である。1991 年のエトナ山（イタリア）の噴火に際し、流路に大量の岩石を落とし、さらに爆薬により溶岩チューブの側壁を破壊して流れを人工流路導くことにより、全体の約 3/4 の溶岩流を逸らすことに成功した。ただし、日本国内では実績はない。

写真：エトナ山（出典 3）

出典 1：　Earthen barriers to control lava flows in the 2001 eruption of Mt. Etna, Journal of Volcanology and Geothermal Research 123 (2003) 231-243
出典 2：　More about Etna, Volcano World, Oregon State University
出典 3：　溶岩流国際シンポジウム 2004（H16）「溶流の制御と防災」報告書）

4.2.5 施工のための仮設工などの検討

工事用道路の検討など仮設工の実施施工方法、資機材の調達・運搬などについても、具体的に検討する。また、これらの実施に関連する調整事項を確認し調整方法を検討する。

＜解説＞

緊急ハード対策の施工のための仮設工などについては、対策工の配置計画に基づき、必要な資機材の数量、調達・搬入方法、残土の処分方法、仮設工事用道路の配置などとこれらに関連する手続きについて検討する。

対策実施時には、検討や手続きなどの時間を短縮して迅速に着手することが求められるため、あらかじめこれらの事項についても対応に要する時間や事前の手続きなどを把握しておき、迅速な対応が行えるよう平常時からの準備事項として整理しておく。

なお、噴火時には、避難者の移動や立入規制など平常時と異なる条件が加わる点にも留意する。

検討すべき事項の例は以下の通りであるが、このほかにも、各火山で必要となる事項がある場合、適宜検討項目を追加する。

① 本体施工のための工事用道路の配置
② 対策位置及び工事用道路の土地所有者、管理者の確認
③ 掘削などにより発生する土砂の量及び処分場所・処分方法
④ 工事にかかる資材・機材の種類・数量、調達の方法及び手続き
⑤ 既存道路の道路網図の作成
⑥ 周辺の道路の災害時通行可否（通行できるルート、障害となる橋梁などの状況、通行できる車両の規格（重量や高さの制限）、特車許可手続きなど）
⑦ 資機材運搬及び発生土砂などの運搬ルート
⑧ 無人化施工の場合の機器配置や無線通信の方法及び許可などの手続き
⑨ ヘリコプター等を使用した運搬及び設置

4.2.6 施工に要する時間の検討

緊急ハード対策の配置や工種・工法、構造および仮設工等を踏まえて、施工に要する時間を検討する。

＜解説＞

緊急ハード対策の配置や工種・工法、構造、および仮設工等を踏まえて、施工に要する時間を検討する。施工に要する時間は、法規制手続き、資機材調達、仮設道路、本体工などの単位で整理する。

なお、火山噴火は想定どおりに事態が推移しない場合もあり、対策の変更やそれに伴う必要時間を迅速に算出するなど柔軟な対応が求められることから、当該火山あるいは地域において基本とする施工効率等についてあらかじめ検討し、整理しておく。

コラム　既往火山噴火対策における施工効率

施工効率は対策位置周辺の地形条件や地域性により異なるため、当該地域における実績をもとに設定することが望ましい。ここでは参考として、近年の火山噴火において実施された緊急ハード対策の施工効率を示す。

（1）仮設堤（コンクリートブロック積堰堤）

仮設堤工は、浅間山（平成 27 年）、御嶽山（平成 26 年）、新燃岳（平成 23 年）の噴火に際して施工実績がある。準備工（床掘・基面補正等）からブロックの運搬・据付、盛土等までを含めた施工実績は 23~47 個/日で、平均は 33 個/日であった。

（2）除石工

除石工は、新燃岳（平成 23 年）の噴火に際して施工実績がある。除石は 8 箇所 11 回実施されており、日施工量は 190～600m^{3}で、平均値は 450m^3/日となる。なお、施工におけるパーティー数は不明であり、上記の数字は施工日数のみで除したものである。

（3）導流堤工(大型土のう)

浅間山（平成 27 年）、新燃岳（平成 23 年）の噴火に際して施工実績がある。浅間山では、大型土のう製作で 90 個/日、設置で 70 個/日、新燃岳では、全工程で 127 個/日であった。

なお、いずれの事例も施工における正確なパーティー数が不明であるため、上記の数字は施工日数のみで除したものである。また施工日数に工事用道路の敷設は含めていないことに留意する。

4.2.7 施工優先度の検討

複数の施工箇所に対してすべての対策を実施することができない場合や、噴火が想定よりも短時間で推移した場合などを考慮して、実施箇所の施工優先度について検討しておく。

＜解説＞

火山によっては、想定される被害の範囲が山麓の広範囲に及び、噴火前に溶岩流などの流下方向を特定することが困難な場合がある。また、時間的・場所的な制約条件の中で、全ての箇所に均等に対策を実施することが困難な場合も想定される。そのため、以下に示す項目を考慮して、対策箇所の施工優先度を設定しておき、優先的に対策を実施すべき渓流を判断できるようにする。

なお、噴火の推移に応じて発生する現象や影響範囲が変化することから、緊急減災対策実行計画で設定した優先度は、実施にあたって、その時の噴火状況などを考慮して、随時見直しを行いながら対応する。

① 想定される土砂移動現象・規模の発生頻度
② 対策実施による被害の軽減効果
③ 保全される対象の重要度
④ 対策実施に要する時間

4.2.8 対策の効果の確認

緊急ハード対策による効果を数値シミュレーション等により確認し、適切に評価する。

＜解説＞

緊急ハード対策による効果は、対象現象の規模に対する数値シミュレーションや模型実験によって確認する。施設効果は、影響範囲の減少や流動深の低下など、複数の指標で適切に評価する。これらの結果は、緊急ハード対策施設の配置前後の影響範囲の変化を地図上に図示して整理する。

また、突発的で規模の大きい噴火現象に対応することも考慮し、緊急ハード対策の目標規模のみではなく、目標規模より規模の大きい噴火現象に対する対策効果ついても検証する。

4.3 緊急ソフト対策に関する事項

4.3.1 緊急ソフト対策に関する事項の検討方針

緊急ソフト対策に関しては、緊急時に実施する調査、監視観測機器の緊急的な整備、リアルタイムハザードマップ作成など、工事現場の安全確保や火山噴火に伴う土砂災害に対する避難対策を支援するために必要な情報提供に関する事項を検討し、緊急減災対策実行計画（緊急ソフト対策）としてとりまとめる。

＜解説＞

緊急減災対策実行計画（緊急ソフト対策）は、火山噴火時に際して緊急ハード対策の設置位置や規模などを検討・決定するための情報収集、工事現場の安全確保のための情報収集、火山噴火に伴う土砂災害に対する避難支援のための情報提供などを目的として、土砂移動シナリオに対応した時系列的に実施する各種の対策（監視観測機器の設置、リアルタイムハザードマップ作成、土砂災害に関する情報提供と情報配信システムの整備など）を整理したものである。

なお、緊急ソフト対策では、実施項目とその目的、対応できる現象・規模についての考え方を明確にしておく。

4.3.2 緊急時に実施する調査

火山噴火時の緊急時に実施する調査は、緊急減災対策を実施するか否かを判断するための火山噴火時の初動調査、リアルタイムハザードマップ作成に関する緊急的な調査、土砂災害防止法に基づく緊急調査、及び緊急減災対策の実施のために緊急的に実施する調査である。

火山噴火による降灰が確認され、降灰量等が一定の基準を超えた場合には、土砂災害防止法に基づき、国が降灰後の土石流に関する緊急調査を実施する。

なお、調査にあたっては、必要に応じて、国の機関と都道府県が連携して実施する。

＜解説＞

緊急時に実施する調査は、「河川砂防技術基準（調査編）」、「河川砂防技術基準（計画編）」及び「土砂災害防止法に基づく緊急調査の手引き（噴火による降灰等の堆積後の降水を発生原因とする土石流対策編）」に準じて実施する。

火山噴火時の初動調査は、火山噴火時にその状況を把握し、緊急的に対応すべき現象を特定し、緊急減災対策を実施するか否かを判断するために行う。

リアルタイムハザードマップ作成に関する緊急的な調査は、火山噴火時の初動調査の結果、対応すべきと判断された現象による災害が発生するおそれのある範囲を推定するために行うものとし、リアルタイムハザードマップ作成に関する調査と、リアルタイムハザードマップ更新に関する調査から成る。

土砂災害防止法に基づく緊急調査は、降灰等が一定の基準を超えた場合に国が実施する調査で、降灰後の土石流による重大な土砂災害が想定される土地の区域の想定、及び時期の設定を行う調査である。

緊急減災対策の実施のために緊急的に実施する調査は、緊急ハード対策及び緊急ソフト対策の工事を実施するために必要となる調査である。

火山活動の活発化を受けて緊急的に実施する調査の内容・方法について、的確な危機管理対応に資するよう検討する。なお、調査にあたっては、必要に応じて、国の機関と都道府県が連携して実施する。

緊急時には噴火警戒レベル引上げに伴う警戒区域の拡大により、人が立ち入っての降灰調査が不可能となることも考えられる。その際に立入困難区域の降灰厚を調査する手法として、例えば降灰マーカー・ゲージを設置し、UAV やカメラで画像を取得するものがある。各火山によっては実施が困難なものもあるので、平常時から適した手法や機器の設置場所等の検討を実施しておく。（別冊火山噴火時に立入困難となる区域を調査するための技術手法に関するマニュアル 実事例および計画検討編参照）

4.3.3 監視観測機器の緊急的な整備

緊急減災対策を実施するための施工計画の立案や、緊急対策工事の安全確保などのために、火山活動の観測や土砂移動現象の状況を監視・観測する機器の緊急的な整備について検討する。

＜解説＞

緊急減災対策を実施するための施工計画の立案や、緊急対策工事の安全確保などのために、監視観測機器の緊急的な整備について検討する。火山活動についての監視は気象庁の所掌事務であることから、砂防部局では火山活動に伴う土砂移動現象の状況の監視・観測を実施する。

火山噴火は降雨等と比べてその発生頻度が低いことから、噴火時に必要な監視観測機器のすべてを平常時から設置することは非効率となる。このため、火山噴火の可能性が高まった時に、監視観測機器の緊急的な整備が速やかに実施できるよう、あらかじめ既存の監視観測機器では不十分になる観測項目や場所等を検討する。

観測監視機器の種類は、火山活動の特徴や監視・観測項目の目的に応じた観測精度とともに、緊急時の調達性、設置の手間、設置作業者の安全性、通信手段や電源の確保等も考慮して決定する。設置の必要性が高いが調達に時間を要する監視観測機器については、他火山等からの移設も検討する。

現状の情報通信システムによって監視観測機器の設置が困難な部分がある場合には、緊急的な情報配信や収集のための機器整備方法（情報コンセント等の配置間隔など）を検討するとともに、特に重要性の高い監視観測機器に必要な情報通信システムは事前の計画的な整備にも検討する。

4.3.4 工事などの安全管理

噴火による危険性が高いと考えられる範囲内で対策施設や監視・観測機器の配置などが必要な場合は、工事従事者の安全管理について、土砂移動シナリオと関連づけて検討する。

＜解説＞

噴火時の緊急減災対策では、噴火に伴い発生する噴石や降灰、溶岩流など、危険性が高い場合があり、工事従事者の安全管理について検討を行っておく。

工事などの安全管理では、土砂移動シナリオをもとに、噴石や火砕流などの現象がただちに人命に関わるおそれがある場合、施工箇所に土石流などが流下するおそれのある場合など、その範囲と到達時間について把握し、対応方法を検討しておく。

特に危険性の高い区域において対策を実施する場合には、無人化施工など作業員の安全に配慮した施工法を採用することを基本とし、緊急ハード対策実行計画では、その範囲、または判断方法などついて、土砂移動シナリオと関連づけて検討する。

有人施工を実施する場合は、作業者の退避に要する時間をもとに、作業区域の状況に応じて監視観測項目と退避基準を決定するなど、十分な安全管理を行う必要がある。

安全管理の検討には、主に次のような項目がある。

① 想定される現象とその危険度の評価
② 火山活動状況を観測するための機器の種類と配置
③ 監視・観測により得られる情報の内容
④ 監視・観測により情報が得られる時期
⑤ 得られた情報の伝達方法
⑥ 工事従事者の避難場所・避難路
⑦ 工事従事者の避難基準
⑧ 無人化施工の場合の運用方法（操作室や通信機材の設置方法・場所など）

また、無人化施工については、特殊な施工方法であることから機材やオペレーターの調達・配置について、機材の所在場所の把握、迅速に運搬する方法の検討、緊急時に調達するための契約などの手続きなど、無人化施工を実施する際に必要となる諸手続について検討するとともに、対象地域において試験的に運用するなどの対応により、運用上の課題を把握しておくことが望ましい。

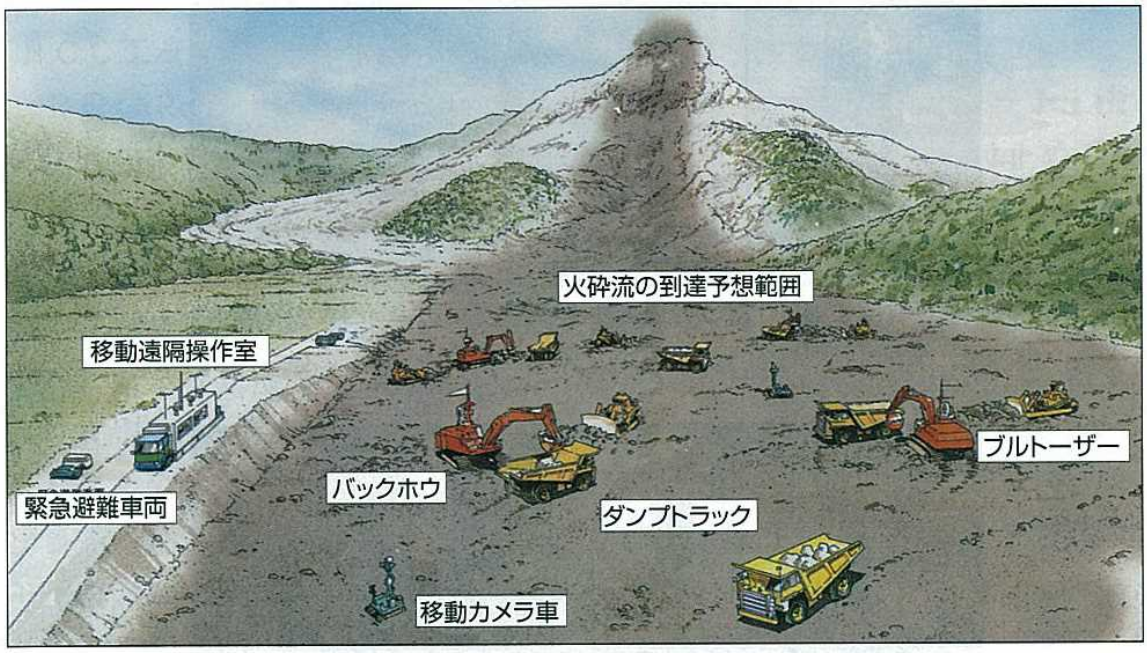


図 14　無人化施工概念図

4.3.5 リアルタイムハザードマップ

緊急ハード対策の検討や地方公共団体が行う避難範囲の検討を支援するため、当該噴火の火山活動の進行状況にあわせて、土砂移動現象の影響範囲、堆積深等を想定したリアルタイムハザードマップを作成し、必要に応じて火山防災協議会に情報提供する。

＜解説＞

リアルタイムハザードマップは、火山砂防ハザードマップの一種で、平常時もしくは噴火の前兆期以降に、火山活動状況にあわせて土砂移動現象の影響範囲、堆積深などを想定するものであり、プレアナリシス型リアルタイムハザードマップとリアルタイムアナリシス型ハザードマップからなる。

プレアナリシス型リアルタイムハザードマップは、想定しうる噴火現象や土砂移動現象の影響範囲等を予め複数パターン作成しておき、実際の噴火活動により近い条件の影響範囲等を抽出して、目的に応じて活用するハザードマップである。

リアルタイムアナリシス型ハザードマップは、噴火現象や土砂移動現象の発生が予測されたとき、その時の火口位置や地形変化などの条件に応じてシミュレーション計算により影響範囲等を想定し、目的に応じて活用するハザードマップである。

緊急ソフト対策においては、主要な数値シミュレーション結果等を集約した「プレアナリシス型リアルタイムハザードマップ集」を取りまとめることを基本とするが、想定しない噴火現象に対しても、臨機応変に被害想定等が行えるよう、リアルタイムアナリシス型ハザードマップの作成が可能な環境が整っている場合は、その活用を図ることが重要である。リアルタイムアナリシス型ハザードマップの使用については、あらかじめ土砂移動シナリオのケースごとに、被害想定を行うことが必要な現象、数値シミュレーションに入力するパラメータ等の設定方法、パラメータ設定に必要となる噴火時のデータの入手方法などについて検討する。

なお、リアルタイムハザードマップの主な活用方法は、緊急ハード対策の検討や効果確認、避難範囲の検討等の避難支援である。避難支援のための関係機関への情報提供については、その活用目的に応じた提供方法や提供内容を事前に協議しておく必要がある。

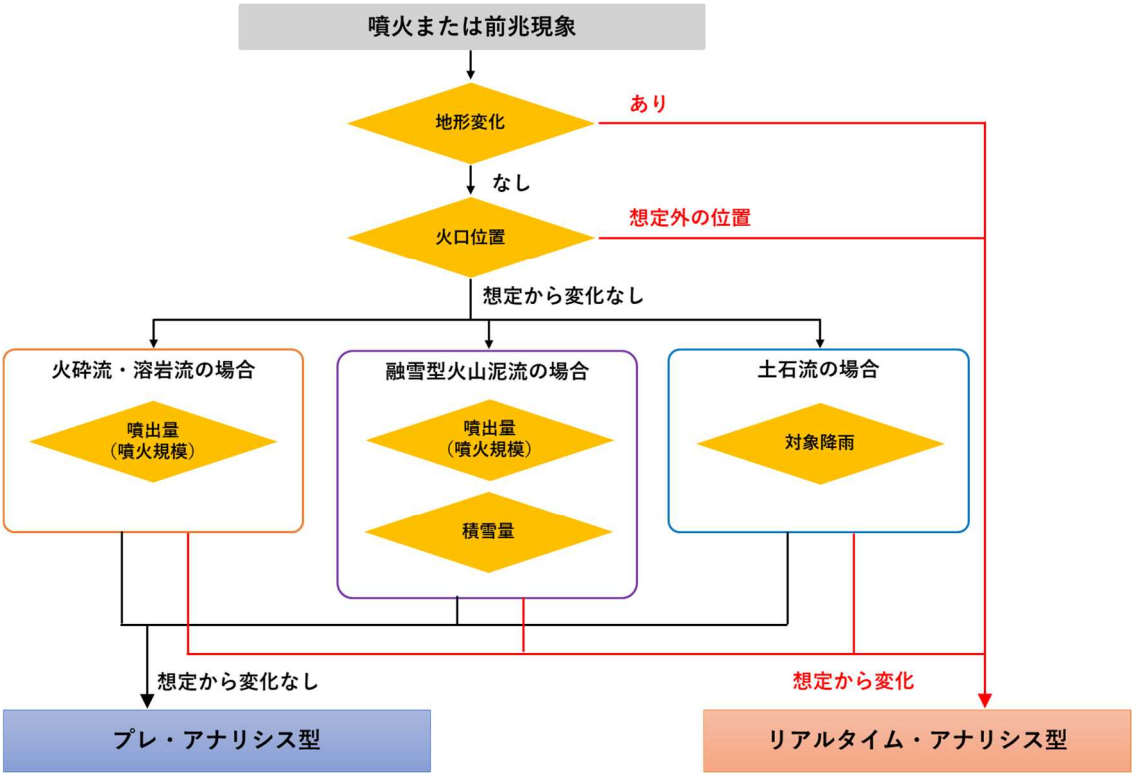


図 15　リアルタイムハザードマップの選定イメージ

コラム　**火山噴火リアルタイムハザードマップシステム**

リアルタイム・アナリシス型リアルタイムハザードマップは、火山ハザードマップあるいはプレアナリシス型リアルタイムハザードマップの基となる数値シミュレーションの想定条件から、火口位置、地形変化、噴出量、対象降雨等が変化した場合に、それらの状況に応じた数値シミュレーションを実施して作成するものである。そのため、リアルタイムアナリシス型ハザードマップの作成には、数値シミュレーションが実施できる環境整備が必要となる。

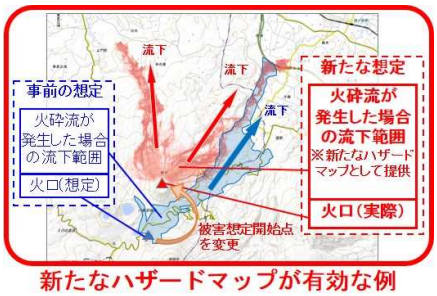
そこで、国土交通省では、様々な噴火現象に臨機応変に対応するため、噴火後の土砂災害の範囲を緊急的に計算する「火山噴火リアルタイムハザードマップシステム」（以下「システム」という）を開発した。このシステムでは、溶岩流、火砕流、火山泥流、降灰後土石流を対象とした数値シミュレーションが可能である。また、システムはインターネットを介して、各火山の砂防工事に関する調査を所掌する国土交通省事務所などから利用することができる。そのため、プレアナリシス型リアルタイムハザードマップが存在しない火山において新規に数値シミュレーションを実施することや、火山噴火が発生し、プレアナリシス型リアルタイムハザードマップにおいて想定した条件にあてはまらない噴火イベントと判断される場合に、事前に登録したデータセットから計算条件を変更して数値シミュレーションを実施してリアルタイム・アナリシス型リアルタイムハザードマップを作成することが可能である。

システムで作成するリアルタイムハザードマップは、火山関係の防災機関で構成される火山防災協議会等を通じて市町村等に提供され、住民の迅速な避難誘導等に活用することを想定したものである。

■ 提供時期　火山活動の状況により必要に応じて提供

■ 対象とする土砂災害の種類　降灰後の土石流、火山泥流、溶岩流、火砕流

■ 提供先　火山ごとに設置されている火山防災協議会等



新たなハザードマップが有効な例

4.3.6 情報通信設備の整備

火山噴火等の緊急時に火山防災協議会を構成する各機関との情報伝達の経路、伝達共有すべき情報の内容及び現状の情報通信網を確認し、関係機関の適切な役割分担のもと、情報通信設備の緊急整備の方針及び方法について検討する。

＜解説＞

火山噴火時に関係機関の情報共有を円滑に実施するため、火山噴火時の緊急時に関係機関で共有する情報の内容等から、既存の情報通信設備による処理能力を踏まえて、火山噴火時に緊急的な整備が必要な情報通信設備について、整備の方針や方法等を検討する。

緊急減災対策実行計画においては、噴火シナリオごとに、入手・配信すべき情報、入手・配信先、現状での入手・配信の状況と方法について整理する。現状の情報システムによって対応が困難な部分がある場合には、緊急的な情報配信や収集のための機器整備方法（情報コンセント等の配置間隔など）の検討あるいは事前の計画的な整備について検討する。

なお、非常時の通信確保の容易性、安定性、安全性等を考慮したうえで、民間の通信サービスの利用についても検討する。

第5節　平常時からの準備事項の検討

5.1 平常時からの準備事項の方針

緊急減災対策実行計画に示した対策を実施可能なものとするために、対策を実施する際に必要となる手続きや調整事項など、平常時から準備が必要となる事項をとりまとめる。

また、平常時から準備することにより緊急時の実行性が高まる事項についても、その内容を整理する。

＜解説＞

緊急減災対策を迅速に実施するため、平常時からの準備が必要な事項について検討する。

噴火時に各種の防災対策を迅速に実施するためには、緊急時の対応事項に加えて、これに関連する平常時からの準備が必要である。平常時からの準備には、各種対策を実施する際に必要となる諸手続、資機材の調達・運搬などがあり、これらの時間的制約となる事項（対策用地の使用に関する調整など）を事前に調整することにより、緊急減災対策の実行性の向上を図る。

また、緊急減災対策の実行性の向上のため、立入規制範囲での迅速かつ着実な作業の実施や、作業員の確実な安全確保をできるように、新技術を活用した新たな手法について、引き続き、調査、研究を進めるものとする。

5.2 緊急対策に必要となる諸手続きの検討

緊急減災対策実行計画で検討した砂防施設の施工等にあたって必要となる手続きなどを検討し、実施事項とその内容をまとめる。

＜解説＞

緊急減災対策施設の本体施工、仮設、進入路の確保、資機材の運搬及び監視観測機器の設置などに関しては、手続きなどに要する時間の短縮のために必要な準備事項（申請・協定・契約などの手順・方法）について検討する。

なお、災害時には、避難誘導などの行動を優先するために通行や立入規制などが行われる場合もあり、これらの対応についても関係都道府県・市町村などと連携し、調整を行っておくことが必要である。

ここでは標準的に必要となると想定される主な事項を掲げる。このほかにも、各火山の社会的な条件などにより制約となる事項がある場合は、各火山の特性にあわせて必要な事項を検討し、事前の調整・準備を行っておく。

① 土地の権利取得、使用・許認可等の手続き
② 工事用資機材の運搬搬入に関する手続き（道路使用、特車許可など）
③ 工事用資機材の調達に関する手続き（資機材に関する災害時応援協定、緊急的な手配のための契約などの手続きなど）
④ 工事契約に関する手続き（緊急随意契約に関する検討整理、災害時応援協定など）
⑤ 土砂処分などの廃棄物に関する手続き
⑥ 無人化施工のための無線許可などの手続き など

5.3 緊急対策資機材の備蓄・調達方法の検討

緊急減災対策の施工に必要となる資機材について、緊急施工が迅速に実施できるように、資機材の数量・保有場所などをデータベースなどに整理することやあらかじめ備蓄しておくことなど、緊急時の調達と平常時からの備蓄の両面から検討する。

＜解説＞

緊急減災対策に利用する資機材の備蓄などの検討は、緊急ハード対策施設の施工及び緊急ソフト対策の監視観測機器の設置を迅速かつ効果的に実施するために、必要な資機材の調達方法について検討するものである。

資機材の調達方法には、国及び都道府県が地方整備局の保有する一般的な災害対策用備蓄資機材の使用、火山防災ステーションなどを活用した当該火山の噴火等に備えた資機材の備蓄のほか、周辺の施設からの移設、施工業者などとの協定に基づく資機材、流通在庫などがあり、各火山の状況にあわせて、これらを組み合わせて対応方法を検討する。

また、資機材の調達時間、現場周辺での備蓄可能量、運搬経路、仮置き場などを検討し、前述の各手法の中から対象火山において適切な手法を組み合わせて、調達スケジュールや具体的な調達方法などを確認するとともに、必要となる事前及び緊急時の契約・協定などの手続きを検討する。

以上の検討を踏まえ、緊急時の調達・確保の計画、平常時からの緊急支援資機材の備蓄の計画、これらの対応を支援するデータベースの整備を行う。

なお、火山防災ステーションは、緊急減災対策が円滑に実施できるよう、緊急対応に必要な資機材の備蓄及び火山噴火時の臨時調査の支援業者や緊急ハード対策の施工業者等との連絡窓口となる施設である。

5.4 情報通信網の整備

火山噴火に対応する各機関との情報共有体制及び情報の項目を検討し、火山噴火時に監視観測機器の情報を施工現場や市町村などの必要な関係機関に提供するため、さらに緊急ハード対策の無人化施工機械をより安全な遠隔地から操作できるよう、光ケーブル網などによる情報通信網の整備について検討する。

＜解説＞

監視観測機器から得られた情報は、緊急ハード対策の工事などの安全確保に資するように情報を提供するが、さらに、これらの情報を関係機関などに随時提供できるしくみを検討する。

また、対策実施の判断などに必要となる情報入手についても併せて検討し、必要な機関との間に情報共有を図ることができる情報システムを検討する。

情報通信網の検討にあたっては、噴火シナリオごとに、入手・配信すべき情報、入手・配信先、現状での入手・配信状況とその方法について整理し、緊急時の対応が困難な部分などについて、平常時から設置しておくべき機器などの配置及び機能について検討する。

また、緊急ハード対策の無人化施工機械は、光ファイバーケーブルや5G無線回線等の高速通信網の活用によって、数十㎞離れた地点からでも円滑に操作が可能となっており、作業員の安全管理及び作業環境の改善のため、通信網の整備が重要である。

また、噴火現象による通信経路の異常などが生じるおそれを想定して、通信経路の冗長化に努める。

5.5 火山データベースの整備

緊急減災対策計画の検討の基礎資料とするため、対象火山及びその周辺地域に関する火山データベースを構築し、情報の管理、共有などに活用する方法について検討する。

＜解説＞

火山データベースは、平常時には砂防計画の基礎資料として、また、緊急時には対象火山に関する対応策の基礎資料として利用することを想定し、標準的には以下の項目に関する情報を格納する。

① 火山活動履歴（年代、噴火様式とその時系列、規模、被害、またこれらに関する調査研究資料、文献など）
② 地形データ（航空レーザ測量等による DEM とし、数値シミュレーションにおいて施設等の表現が可能なメッシュサイズとすることに留意する）
③ 既設砂防施設、治山施設、道路など公共土木施設などの位置、規模など
④ 被害想定などの数値シミュレーション結果（無施設及び施設配置後《緊急ハード対策実行計画の検討結果を含む》）
⑤ 関係機関の砂防計画、調査資料
⑥ 関係する各機関の防災計画書など
⑦ 資機材などの備蓄・調達に関する資料
⑧ 対策工法の設計・計画手法に関する資料（緊急減災対策実行計画検討時の根拠資料など）
⑨ 用地に関する資料
⑩ その他火山砂防計画、事業実施に必要な資料

※ これらのデータベースは、これを管理する砂防部局（直轄事務所や都道府県）で利用するだけでなく、緊急時に関係機関が基礎的な情報を共有できるようにオンライン化するなど、平常時からの利活用方法と併せて利用目的と手法を明確化しておく。また、データの更新も適宜実施する。

5.6 関係機関との協議調整等による実行性の向上

緊急減災対策実行計画の内容については定期的に関係機関と情報共有、協議・調整を行うなど、噴火時に緊急減災対策が円滑かつ効果的に実施できるようにその実行性の確保に努める。

＜解説＞

緊急減災対策実行計画の実施にあたっては、関係する各機関の理解と協力が欠かせない。そのため、緊急減災対策実行計画の内容については、定期的に関係機関と情報共有、協議・調整を行うなど、噴火時に緊急減災対策が円滑かつ効果的に実施できるようにその実行性の確保に努める。

関係機関との情報共有、協議・調整に際しては、2.5 検討体制や 2.6 計画の更新で示したように、ワーキンググループ等を設置・開催するなどして定期的な情報共有等の場を設けることが有効である。

5.7 緊急減災対策の実行訓練の実施

緊急減災対策を実行する際の課題の把握や実行性の検証を目的とした防災訓練を実施する。

＜解説＞

緊急減災対策の実施に際しては、情報伝達、実施の判断、対策場所の優先度や実施内容の判断、工事の安全確保など多くの実施事項があり、これらの運用について日頃から確認を行っておくことが必要である。

このため、緊急減災対策を実行するために不足している事項などの課題を把握し、計画及び実行体制を改善するために、防災訓練などによって緊急減災対策実行計画の実行性を検証する。

防災訓練については、各機関の訓練のほかに、各地域における合同の避難訓練や総合的な防災訓練なども踏まえ、火山防災対策全体の枠組みにおける対策の実施体制について、計画の見直しも含めて定期的に検証することが重要である。

火山噴火時に立入困難となる区域を調査するための技術手法に関するマニュアル

（実事例および計画検討編）

目次

1. 既往噴火時の対応事例 2
1.1 2000 年有珠山噴火 3
1.2 浅間山 2009 年噴火 4
1.3 霧島山新燃岳 2011 年噴火 5
1.4 御嶽山 2014 年噴火 7
1.5 口永良部島 2015 年噴火 10
1.6 本白根山 2018 年噴火 11
1.7 浅間山 2019 年噴火 12
2. 具体的な調査計画の検討 14
2.1 調査計画検討の流れ 14
2.1.1 調査計画の構成 15
2.2 現状の把握 17
2.2.1 基礎データの収集 17
2.2.2 新技術活用に資する調査平面図の作成 18
2.2.3 適地一覧表の作成 20
2.3 調査手法適用性の検討 23
2.3.1 特性分類フローによる分類 23
2.3.2 調査手法選択フローの作成 31
2.4 具体化の検討 39
2.4.1 調査工程表の作成 39
2.5 計画検討時の留意事項 42
2.5.1 計画立案上、想定する立入規制区域について 42
2.5.2 想定火口が山頂のみではなく広域とされている火山について 42
2.5.3 機器の破損や中～大規模噴火に対する対応について 42
3. 計画策定後の留意事項 43
3.1.1 計画の更新について 43
3.1.2 実証試験および訓練の実施 43
3.1.3 必要資機材備蓄について 44

巻末資料

ケーススタディ火山における調査計画（案）　（6 火山）

計画検討において使用する電子データ

1. 既往噴火時の対応事例

●既往噴火時の対応事例

・調査計画検討にあたっての参考資料として、近年発生した火山噴火時の降灰厚分布調査に関する対応について整理した。

≪事例整理対象火山≫

事例整理の対象とした火山噴火は以下の通りである。

表 1-1：近年発生した噴火イベントと対応事例（緊急調査関連）

噴火年	火山	対応の概要
2000 年	有珠山	3 月 31 日に発生した噴火を受けた直後から調査に着手している。土砂災害防止法改正の前の事例ではあるが、開発局によりヘリ調査等を基に定期的に二次泥流発生予測に関する情報を発表している。
2009 年	浅間山	2 月 2 日 1 時 51 分に発生した小規模な噴火を受けて、同日 12 時からヘリ調査を実施し、火山灰の堆積範囲を確認した。その結果から降灰範囲と保全対象への影響の有無、火砕サージ発生の有無等について発表した。
2011 年	霧島山新燃岳	1 月 26 日に発生した爆発的噴火を受けて、1 月 27 日から緊急調査に着手し、2 月 4 日には緊急調査の結果を関係市町村および県等へ共有している。
2014 年	御嶽山	9 月 26 日に発生した爆発的噴火を受けて、緊急調査に着手し、6 日後には緊急調査の結果を関係市町村および県等へ共有している。
2015 年	口永良部島	5 月 29 日に発生した噴火を受けて、同日から防災ヘリにより被災状況把握ならびに緊急調査着手判断のための調査に着手した。以後継続的にヘリ調査等を行い、降灰範囲の発表、一時入島の支援等を行った。
2018 年	本白根山	1 月 23 日に発生した爆発的噴火を受けて、1 月 23 日から緊急調査の着手を判断するための調査に着手した。降灰範囲の確認にはヘリ調査、UAV 調査が行われた。
2019 年	浅間山	8 月 7 日に発生した小規模噴火を受けて、8 月 8 日から緊急調査の着手を判断するための調査に着手した。降灰範囲は同日中に発表された。

1.1 2000 年有珠山噴火

有珠山 2000 年噴火では、3 月 31 日に発生した噴火を受けた直後から調査に着手している。土砂災害防止法改正の前の事例ではあるが、開発局によりヘリ調査等を基に定期的に二次泥流発生予測に関する情報を発表している。

表 1-2：有珠山平成 12 年噴火時の調査の流れ

日時	調査	内容
2000 年 3 月 31 日	降灰パトロール	国道の降灰状況確認のパトロールを実施
2000 年 4 月 2 日	ヘリ調査	降砂防部砂防課火山・土石流対策官を現地派遣。 有珠山土石流災害対策チーム：ヘリコプターにより有珠山周辺の泥流を監視。5 月 20 まで午前、午後の一日 2 フライト。
2000 年 4 月 5 日	二次泥流発生の予想に関する発表	有珠山土砂災害対策専門家チーム、「二次泥流（土石流）発生の予想について」を発表。 以降、定期的に降雨後の土砂流出状況などを発表。

図 1-1：洞爺湖温泉街の降灰状況（2000 年 4 月 18 日）

1.2 浅間山 2009 年噴火

浅間山 2009 年噴火では、2 月 2 日 1 時 51 分に発生した小規模な噴火を受けて、同日 12 時からヘリ調査を 2 回実施し、火山灰の堆積範囲を確認した。この時の調査のながれを表 1-3 に示す。

表 1-3：浅間山 2009 年噴火時の調査の流れ

日時	調査	内容
2009 年 2 月 2 日 12 時、15 時ごろ	降灰調査 降灰調査結果（速報版）の発表	ヘリコプターによる上空からの調査により降灰範囲を確認した。調査結果の速報（降灰範囲と保全対象への影響の有無に関する見解）は同日中に公表した。 （図 1-2）
2009 年 2 月 3 日	降灰調査結果（詳細版）の発表	ヘリコプター調査により入手した情報を基に、火砕サージの発生の有無や、噴火規模についての見解を報告している。

浅間山火口を北西方向から望む（15：30 時点で濃白色の噴煙がほぼ東方向に流れている。）

浅間山南南東斜面の火山灰堆積状況
完全に火山灰で覆われている範囲は火口縁から数百 m 程度の範囲のみ。その他は火山灰が疎に残っている状況である。
降灰後、風により飛散し、斜面上の凹んだ箇所にのみ火山灰残存しているものと考えられる。

図 1-2：ヘリ調査結果(浅間山 2009 年噴火)

1.3 霧島山新燃岳 2011 年噴火

新燃岳2011年噴火では、1月26日に発生した爆発的噴火を受けて、1月27日から緊急調査に着手し、2月4日には緊急調査の結果を関係市町村および県等へ共有している。この時の緊急調査の流れを表 1-4に示す。

表 1-4：新燃岳 2011 年噴火時の緊急調査の流れ

日時	調査	内容
2011 年 1 月 27 日～29 日	降灰調査	ヘリコプターによる上空からの調査により降灰範囲を確認し、地上調査により 128 地点で降灰状況を調査し、1 月 29 日時点での降灰分布と降灰量を把握する。 （図 1-3 ）
2011 年 1 月 30 日	降灰により土石流による被害のおそれが高まっている土石流危険渓流の抽出	降灰調査による降灰分布に基づき、噴火により、土石流危険渓流の流域のおおむね 5 割以上の面積で、火山灰が 1cm 以上の厚さで堆積していると推計される土石流危険渓流を抽出する。 （図 1-4 ）
2011 年 1 月 31 日～2 月 3 日	降灰により土石流による被害のおそれが高まっている土石流危険渓流の想定氾濫区域の解析	抽出された土石流による被害のおそれが高まっている土石流危険渓流において、数値氾濫シミュレーションにより土石流の氾濫によって被害がおこるおそれのある区域の解析を行う。
2011 年 2 月 4 日～7 月 1 日	避難のための参考となる雨量基準	噴火後に土石流を発生させた過去の降雨データを参考に、避難勧告等を発令する際の参考となる基準雨量を設定。基準雨量は雨量データの観測を長期的に実施し、観測データと土石流発生の有無により適宜見直しを行う。

図 1-3：降灰調査結果(新燃岳 2011 年噴火)

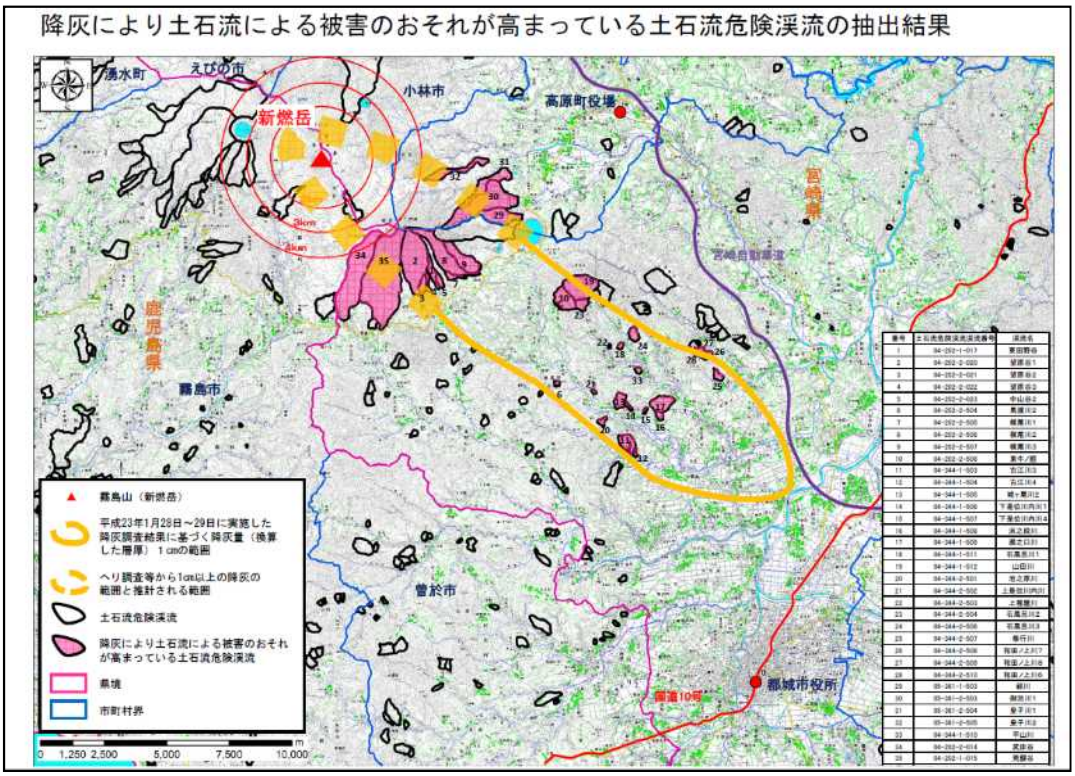


図 1-4：渓流抽出結果(新燃岳 2011 年噴火)

1.4 御嶽山 2014 年噴火

御嶽山2014年噴火では、9月26日に発生した爆発的噴火を受けて、緊急調査に着手し、6日後には緊急調査の結果を関係市町村および県等へ共有している。この時の緊急調査の流れを表 1-5 に示す。なおこの時は、降灰状況調査や現地応急復旧対策を実施する作業員の安全を確保するため、ワイヤーセンサーや監視カメラなどのソフト面での緊急対応がなされた。また、砂防堰堤が設置されていない渓流に対して緊急的な砂防堰堤(コンクリートブロック積み砂防堰堤)が新設されるなどハード面での緊急対応も実施された。

表 1-5：御嶽山 2014 年噴火時の緊急調査の流れ

日時	調査	内容
2014 年 9 月 27 日～29 日	降灰調査	ヘリコプターおよび UAV による上空からの調査により降灰範囲を確認し、地上調査により降灰状況を調査し、9 月 29 日時点での降灰分布と降灰量を把握する。 (図 1-5、図 1-6、図 1-7)
2014 年 9 月 28 日～10 月 3 日	降灰により土石流による被害のおそれが高まっている土石流危険渓流の想定氾濫区域の解析	抽出された土石流による被害のおそれが高まっている土石流危険渓流において、数値氾濫シミュレーションにより土石流の氾濫によって被害がおこるおそれのある区域の解析を行う。 解析結果は、住民の警戒避難等に活用できるよう関係自治体へ共有する。

図 1-5：ヘリ調査結果(御嶽山 2014 年噴火)

図 1-6：ヘリ調査概要(御嶽山 2014 年噴火)

図 1-7：地上降灰量調査結果(御嶽山 2014 年噴火)

1.5 口永良部島 2015 年噴火

口永良部島 2015 年噴火では、5 月 29 日に発生した噴火を受けて、同日から防災ヘリにより被災状況把握ならびに緊急調査着手判断のための調査に着手した。その後ヘリ調査は継続的に実施されている。また、5 月 30 日から屋久島に口永良部島を監視するカメラを設置している。

表 1-6：口永良部島 2015 年噴火時の緊急調査の流れ

日時	調査	内容
2015 年 5 月 29 日	降灰調査	ヘリコプターによる上空調査により降灰範囲を確認し、同日中に調査結果を公表する。 以後、6 月 2 日まで継続的にヘリ調査を実施する。 ()
2015 年 5 月 30 日	監視カメラの設置	口永良部島の火山活動状況を監視するために、屋久島から口永良部島を監視できる位置に監視カメラを設置した。
2015 年 6 月 2 日以降	降灰調査	ヘリコプターによる上空調査を随時実施し、土砂災害の発生状況、被害状況に関する情報を提供する。また、6 月 12 日には一時入島時の支援として上空監視を実施した。
2015 年 6 月 18、20、21 日	降灰調査	再噴火の発生に伴い降灰範囲および被害状況についてヘリコプターによる上空調査を実施した。

図 1-8：ヘリ調査（5 月 29 日実施）結果（口永良部島 2015 年噴火）

1.6 本白根山 2018 年噴火

草津白根山 2018 年噴火では、1 月 23 日に発生した爆発的噴火を受けて、1 月 23 日から緊急調査の着手を判断するための調査に着手した。この時の緊急調査の流れを表 1-7 に示す。なおこの時は、降雪に見舞われ、ヘリコプターによる降灰状況の確認ができなくなってしまった（実施日 1 月 23 日、24 日、28 日）。ヘリコプターによる調査のほか、UAV による調査と緊急的にカメラの設置を実施した（図 1-9）。

本噴火は想定火口ではない本白根山からの噴火であったため、湯釜を想定火口としていたハザードマップや緊急減災計画が十分に機能しなかった。これを踏まえ、「本白根火山噴火緊急減災対策砂防計画検討委員会」が開催され、本白根山火山噴火緊急減災対策砂防計画の検討が開始された。さらに想定外火口が発表された他火山に対しても監視強化体制の策定が進められている。また本噴火は冬季であったため、新たに高温の噴出物が積雪を融かし、融雪泥流が発生する危険性が考えられた。このため、冬季の融雪泥流に対する対応について、土砂災害防止法に規定されておらず、調査の体制・役割分担や実施のタイミング等の検討の必要性が再認識された。

表 1-7：本白根山 2018 年噴火時の緊急調査の流れ

日時	調査	内容
2018 年 1 月 23 日	ヘリ調査 監視カメラの設置	ヘリコプターによる上空からの調査により、降灰状況等の確認をする。監視カメラを 2 台設置する。
2018 年 1 月 24 日	ヘリ調査	ヘリコプターによる上空からの調査を試みたが、天候不良のため飛行中止。
2018 年 1 月 28 日	ヘリ調査 UAV 調査	天候が回復したため、ヘリ調査により降灰状況等の確認を行う。また、UAV 調査を行い、状況変化を随時確認する。
2018 年 1 月 31 日、2 月 6 日	監視カメラの設置	監視カメラを設置する。

図 1-9：ライブカメラ配置位置図

1.7 浅間山 2019 年噴火

浅間山 2019 年噴火では、8 月 7 日に発生した小規模噴火を受けて、8 月 8 日から緊急調査の着手を判断するための調査に着手した。この時の対応の流れを表 1-8 に示す。

表 1-8：浅間山令和元年噴火時の緊急調査の流れ

日時	調査	内容
2019年8月7日 22時08分		浅間山で小規模な噴火が発生。
同 22時30分		（気象庁）噴火警戒レベルを3に引き上げる。
2019年8月7日 7時	ヘリ調査	国交省防災ヘリによる降灰状況調査を実施。 明瞭な降灰の堆積は火口周辺に限定されていることを確認。
同 10時30分	降灰量調査 （地上調査）	浅間山周辺の降灰状況把握のため地上調査を実施（図 1-10）。 降灰量現地調査の結果、降灰は少量しか確認できなかった。

図 1-10：ヘリ調査及び降灰量調査結果（2019 年浅間山噴火）

表 1-9：既往の緊急調査実施事例

法改正	土砂意災害防止法改正以前（平成23年5月1日以前）に実施				土砂災害防止法改正後（平成23年5月1日以降）に実施							
経過日数	日付	【対象火山】有珠山	日付	【対象火山】霧島山新燃岳	日付	【対象火山】御嶽山	日付	【対象火山】口永良部島	日付	【対象火山】本白根山	日付	【対象火山】浅間山
0	平成12年3月31日	13:07 噴火 19:00 降灰パトロール	平成23年1月26日	噴火(レベル3)	平成26年9月27日	11:52 噴火(レベル3) 15:20 ヘリ調査	平成27年5月29日	9:59 噴火（レベル5） 11:06 ヘリ調査 調査結果発表**（降灰範囲あり）**	平成30年1月23日	10:02 噴火（レベル2） --:-- ヘリ調査	令和元年8月7日	22:08 噴火
1	平成12年4月1日		平成23年1月27日	降灰量調査開始 （ヘリ、地上）	平成26年9月28日	6:00～ ヘリ調査 9:00～ 地上調査	平成27年5月30日	ヘリ調査	平成30年1月24日	9:00 ヘリ調査 11:50 調査結果発表（※1,2） **（降灰箇所あり）**	令和元年8月8日	7:00 ヘリ調査 10:30 地上調査 調査結果発表**（降灰範囲あり）**
2	平成12年4月2日	ヘリ調査 （以後1日2回継続実施）	平成23年1月28日	↓	平成26年9月29日	9:00 UAV調査 --:-- ヘリ調査、地上調査 調査結果**発表(降灰範囲あり)**	平成27年5月31日	ヘリ調査	平成30年1月25日			
3	平成12年4月3日		平成23年1月29日	↓	平成26年9月30日		平成27年6月1日	ヘリ調査 土砂移動に関する 調査結果公表**（降灰範囲あり）**	平成30年1月26日			
4	平成12年4月4日		平成23年1月30日	調査対象渓流抽出	平成26年10月1日	随時情報（既往噴火時の降雨と土砂移動実績に関して）	平成27年6月2日	以降随時ヘリ調査実施	平成30年1月27日			
5	平成12年4月5日	15:00 二次泥流発生の 予想に関する発表	平成23年1月31日	氾濫解析	平成26年10月2日		平成27年6月3日	↓	平成30年1月28日	10:00 UAV調査 --:-- ヘリ調査		
6	平成12年4月6日		平成23年2月1日	↓	平成26年10月3日	**降灰状況、 想定氾濫区域発表**	平成27年6月4日	↓	平成30年1月29日	16:00 UAV動画公開		
7	平成12年4月7日		平成23年2月2日	↓	平成26年10月4日		平成27年6月5日	↓	平成30年1月30日			
8	平成12年4月8日		平成23年2月3日	↓	平成26年10月5日			….	平成30年1月31日			
9	平成12年4月9日		平成23年2月4日	想定氾濫区域 雨量基準発表 （土砂災害緊急情報）	平成26年10月6日		平成27年6月29日	約1ヶ月後 住民に調査結果説明	平成30年2月1日			
手法	ヘリ調査		ヘリ、地上調査		ヘリ、地上、UAV調査		ヘリ調査		ヘリ調査		ヘリ調査	
調査時間	2日程度		4日		2日		1日程度		1日程度		1日程度	
アウトプット精度	不明		降灰範囲 （1cm程度）		降灰範囲 （厚い等、定性的情報）		降灰状況 （厚さ情報なし）		降灰状況 （厚さ情報なし）		降灰状況 （厚さ情報なし）	

2. 具体的な調査計画の検討

2.1 調査計画検討の流れ

・調査計画は、各火山における「現状の把握」、「調査手法適用性の検討」、「具体化」の 3 つの段階を経て検討するものである。

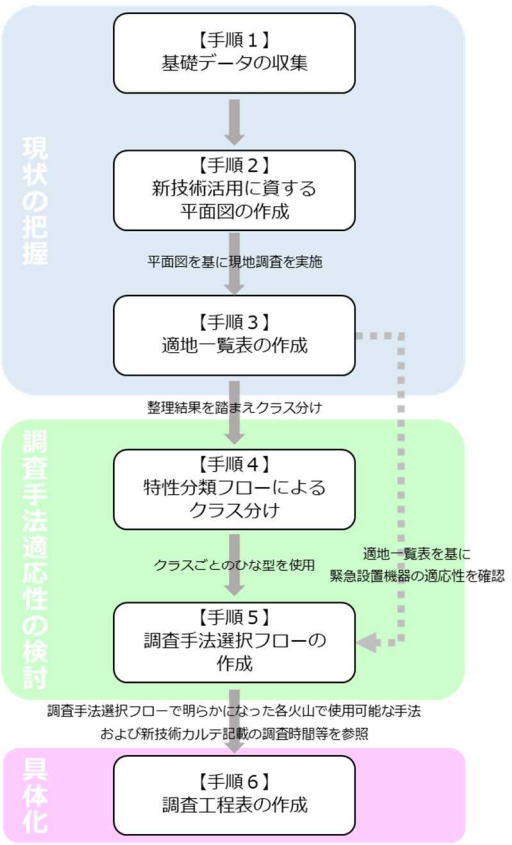
【解説】

・「現状の把握」では各火山における既存監視機器の整備状況や、既往計画の有無、備蓄資機材の状況など、実施可能な調査手法を検討するための基礎的な事項について整理した上で、新技術を用いる場合の機器設置適地ならびに UAV 利活用時の離着陸箇所およびそれらの地形的、社会的条件を整理した調査平面図ならびに適地一覧表を作成する。

・「調査手法適用性の検討」では、前段の火山ごとの現状を踏まえ、2 種類のフローチャートにより火山を分類し、どの調査手法が適用可能か（あるいは適用可能性があるか）を検討する。

・「具体化」では、これまでの検討内容および新技術カルテに記載される各調査技術の概要（実施までに必要な作業、所要時間、得られる情報並びに精度）を踏まえ、降灰 1cm 以上の範囲を把握するための作業内容、想定必要期間を示した調査工程表を作成する。

表 2-1：調査計画検討の流れ



手順	内容
1	調査計画の検討に当たり該当する火山を所管する地方整備局が実施可能な(あるいは実現性の高い)調査手法を検討するための基礎的な資料として、以下の事項について確認する。 ・保有ヘリの諸元（航行距離、ヘリポート位置など） ・保有(協定業者含む)UAVの諸元（航行距離、ペイロードなど） ・監視カメラの諸元（画角、首振り機能の有無） ・そのほか監視機器の整備状況（他機関含む） ・自動降灰量計の備蓄状況 ・既往緊急調査計画の検討状況　など
2	降灰スケールや降灰厚調査ユニットなどの機器が設置可能な箇所および機器設置時のUAV離着陸箇所について、既存オルソ画像や地形データなどを参照して、机上検討を行う。
3	机上検討結果をもとに、現地にて以下の項目について確認し、機器設置箇所、UAV離着陸箇所を抽出する。抽出した各候補地点について一覧表（「適地一覧表」）に整理する。 ・電波状況(携帯、LPWA)　・用地状況 ・地表面状況（礫、植生の状況　など ・機器設置箇所とUAV離着陸箇所の見通し
4	上記結果を基に特性分類フローにより当該火山のクラス分類を行う。
5	特性分類フローによるクラス分け結果ならびに「適地一覧表」を基に、調査手法選択フローを作成する。 作成した調査手法選択フローを基に、現在実施可能な調査項目を把握するほか、調査精度の向上に向けて必要な準備事項を確認し、火山噴火に備えた平常時準備の基本資料とする。
6	調査手法選択フローにより選定された各種手法を用いて実際に調査を行う場合の作業手順および結果得られるアウトプットを整理した調査工程表を作成する

2.1.1 調査計画の構成

・調査計画は以下の構成で作成するものとする。
（Ⅰ）調査計画の適用箇所一覧： 調査計画の適用が予想される既往計画を整理した一覧表
（Ⅱ）調査平面図　： 新技術適用にあたり機器設置候補地点、UAV 離着陸箇所等を示した図面
（Ⅲ）適地一覧表　： 機器設置候補地点、UAV 離着陸箇所の詳細を整理した一覧表
（Ⅳ）各種フロー　： 当該火山で実施可能な調査手法を検討するためのフロー
（特性分類フロー、調査手法選択フロー）

【解説】

本マニュアルで作成する調査計画は、火山ごとに検討されている既往調査計画（火山噴火緊急減災対策砂防計画およびそれに紐づく各種計画）の補足資料として位置づけられており、それら調査計画における主に「降灰厚 1cm 以上の範囲を把握する」ための手法について、最新技術を活用した場合の取得方法案を示したものである。したがって本調査計画の構成は表 2-2 に示す通り、既往計画との対応関係が明記された資料（調査計画適用箇所一覧（表 2-3））、および新技術適用可能性を取りまとめた各種資料（調査平面図、適地一覧表、各種フロー）とする。

表 2-2：調査計画の構成

項目	内容
調査計画適用箇所一覧	既往調査計画と本調査計画の対応関係を整理した一覧表であり、本調査計画が既往計画のどの部分に補足として付随するかを示す。
調査平面図	当該火山の立入規制箇所や地形条件、既往機器整備状況、交通網整備状況などの新技術の適用性を検討するにあたり必要となる基礎的な情報のほか、新技術活用にあたっての機器設置候補地点、UAV 離着陸箇所等を示した図面を作成する。
適地一覧表	UAV 離着陸箇所の諸元（法規制（地権者、調整先）、使用タイミング）および、新技術活用にあたっての機器設置候補地点の諸元（UAV 離着陸箇所との位置関係（距離、比高、見通し縦断図）、地形条件（凹凸の有無、斜度）、電波条件（携帯電波、LPWA）、法規制（地権者、調整先））を整理した一覧表を作成する。
特性分類フロー 調査手法選択フロー	火山のインフラ整備状況や対象渓流分布、立ち入り規制を踏まえ、緊急調査の方針を決定するために特性分類フローによるクラス分けを行う。さらに当該火山において適用可能（あるいは適用可能性がある）調査手法を整理した調査手法選択フローを作成する。

表 2-3：調査計画適用箇所一覧（イメージ）

計画名称 （策定機関）	策定年月	更新年月	調査計画適用箇所
○○火山危機管理計画 （□□地方整備局□□事務所）	2014 年 3 月	－	第 X 章　P△△
○○火山大規模土砂災害総合危機管理計画 （□□地方整備局□□事務所）	2015 年 3 月	－	調査計画編　第 X 章　P△△
○○火山噴火緊急減災対策砂防計画 （□□地方整備局□□事務所、◇◇県砂防課）	2013 年 3 月	2018 年 3 月	計画編　第 X 章　P△△
Etc…			

2.2 現状の把握

2.2.1 基礎データの収集

・各火山における地形条件に関する情報、各手法規制に関する情報のほか、既存監視機器の整備状況や、既往計画の有無、備蓄資機材の状況など、実施可能な調査手法を検討するための基礎的な事項について整理する。

【解説】

調査計画を検討する火山で、どのような調査手法が活用可能であるか、また、既往計画のどの部分に新技術活用の余地があるのかを検討するためには、既存の監視観測機器の整備状況や、各地方整備局、事務所の保有する資機材、既往の調査計画の検討状況、地形データ、対象渓流分布（土砂災害防止法に基づく緊急調査、緊急減災対策砂防計画）道路網、噴火警戒レベルによる立入規制区域、地元自治体による立入規制地点に関するデータなど、各火山固有の基礎的なデータの収集が必要となる。収集が望ましいデータを表 2-4 に示す。なお、表 2-4 に示した情報以外にも各火山の特徴を踏まえ必要に応じて収集する。

表 2-4：収集が必要な基礎データ

項目	内容
地形条件に関する情報	・数値標高データ ・最新のオルソフォト画像 ・対象渓流分布 （対象：土砂災害防止法に基づく緊急調査、緊急減災対策砂防計画）
各種規制に関する情報	・噴火警戒レベルによる規制箇所（範囲、道路） ・自治体による立入規制箇所 ・冬季道路閉鎖など一時的な立入・通行規制 ・自然公園法、森林法など法規制範囲
インフラ整備状況に関する情報	・道路網データ ・携帯電話の通信可能エリア ・監視カメラの整備状況および諸元（画角、首振り機能の有無を含む） ・そのほか監視機器の整備状況（他機関含む） （機関例：気象庁、大学、国土地理院、防災科研、産総研、県） ・砂防（治山）施設整備状況
実施体制に関する情報	・保有ヘリの諸元（航行距離、積載機器諸元、ヘリポート位置） ・保有(協定業者含む)UAV の諸元（航行距離、カメラ性能、ペイロード、耐環境性能） ・自動降灰量計の備蓄状況 ・既往緊急調査計画の検討状況（有人調査、UAV 調査、ヘリ調査など）

※上記以外にも各火山の特徴を踏まえ必要に応じて収集する。

2.2.2 新技術活用に資する調査平面図の作成

・収集整理した基礎データを基に、新技術を用いる場合の機器設置適地ならびに UAV 利活用時の離着陸箇所を抽出し、それら情報を記載した調査平面図を作成する。

【解説】

収集した地形データやオルソ画像、道路網、既存の監視機器の分布、対象渓流の分布等の情報を基に、新技術を用いる場合の機器設置候補箇所およびUAV離着陸候補箇所を机上検討により抽出する。抽出時の条件を表 2-5 に示す。なお、緊急時には、航空法による規制事項に該当する場合であっても、十分な安全対策を講じた上で飛行を行うことで飛行が可能となるため、本検討においては航空法に関わる制約条件についてはあくまで補助的なものと位置付けている。

抽出結果および前述の基礎情報を合わせて図化し、調査平面図を作成する。

表 2-5：機器設置適地および UAV 離着陸箇所選定条件

項目	内容
機器設置適地の選定条件	・裸地かつ上空開度が高い ・機器設置に耐えうる緩傾斜（斜度 10° 以下） ・人口構造物設置箇所（例：登山道、展望台、駐車場、既存観測機器設置箇所、砂防・治山施設施工箇所など）
UAV 離着陸箇所の選定条件	【飛行環境に関する条件】 ・作業場所、駐車場所が確保できる （離着陸、資機材セッティングに十分な空間が確保できるか） ・上空開度が高い（木、電線等による遮りの程度が低い） ・地上風速が比較的安定している （谷間や海沿いなど局所的に地上風速が早くなる箇所ではない） 【安全管理に関する条件】 ・火口の様子が確認できる ・噴火が発生した際に速やかに避難が可能 （駐車場所から作業場所までが近い、道路にすぐアクセス可能） ・墜落時に重大な被害が発生する恐れのある建造物（高圧電線など）が周辺にない 【航空法に関する条件（補助的な制約条件）】 ・航空法で定める飛行禁止区域（空港周辺、DID 地区）外 ・建物、車両、人からの離隔が十分（30m 以上）確保できる ・飛行中の機体が視認可能

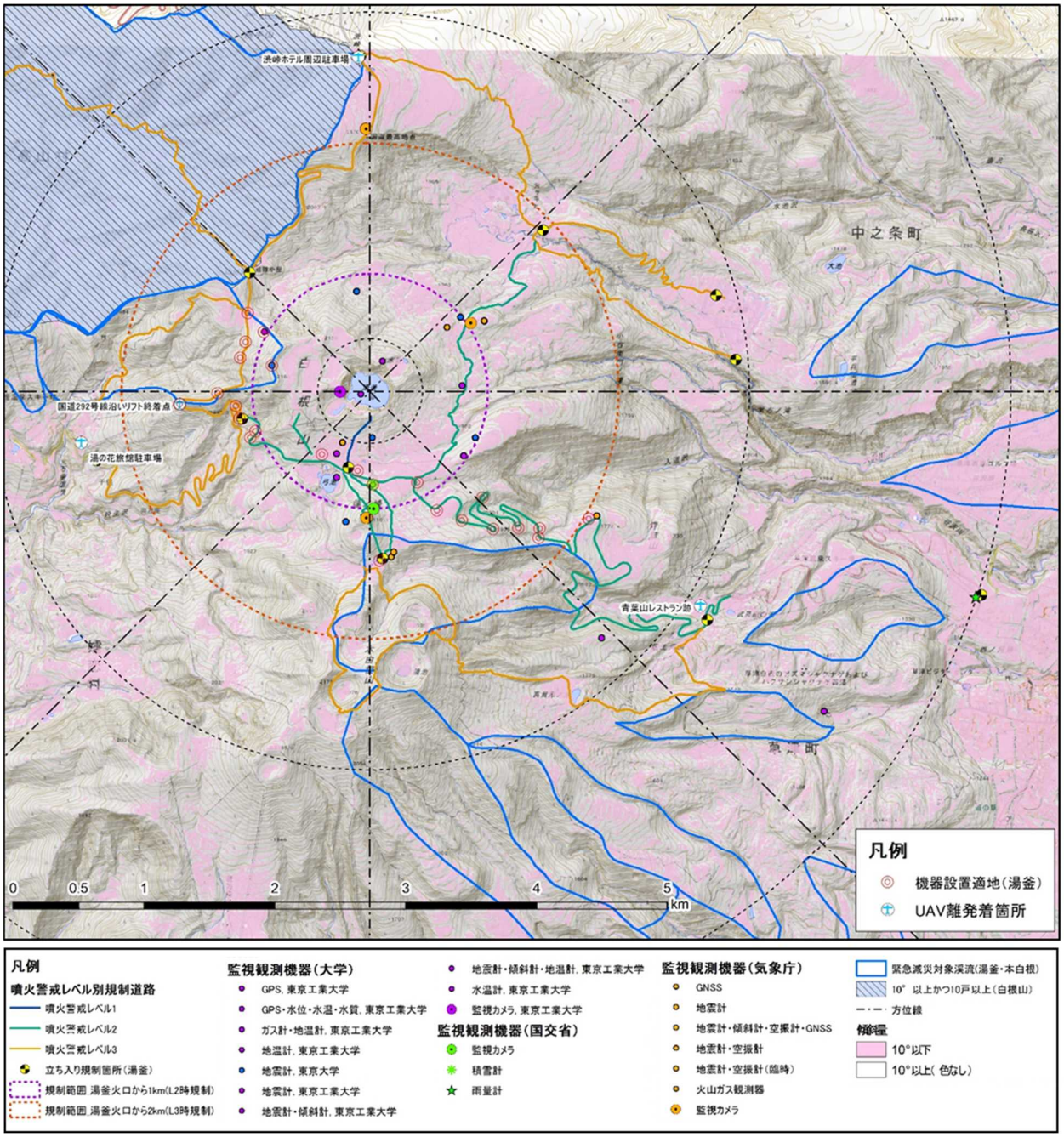


図 2-1：調査平面図（イメージ）

2.2.3 適地一覧表の作成

・UAV 離着陸箇所の諸元（法規制（地権者、調整先）、使用タイミング）および、新技術活用にあたっての機器設置候補地点の諸元（UAV 離着陸箇所との位置関係（距離、比高、見通し縦断図）、地形条件（凹凸の有無、斜度）、電波条件（携帯電波、LPWA）、法規制（地権者、調整先））を整理した一覧表を作成する。

【解説】

2.2.2 項における机上検討結果をもとに、現地にて電波状況（携帯電波、LPWA）、地表面状況（礫、植生の状況）、用地状況、機器設置箇所と UAV 離着陸箇所の見通しについて確認する。確認結果を踏まえ、実際に使用可能な機器設置箇所、UAV 離着陸箇所を精査した上で機器設置箇所と UAV 離着陸箇所の対応関係も整理する。精査、整理した各候補地点について、表 2-6 に示す諸元をとりまとめた適地一覧表を作成する（表 2-7）。

表 2-6：適地一覧表記入項目

項目	記載項目			内容
UAV離発着地点	地点名			UAV離発着地点の名称
	標高(m)			UAV離発着地点の標高
	地権者、調整先			土地の所有者あるいは使用に当たっての調整先
	使用タイミング			当該地点を使用する噴火警戒レベル
機器設置適地	地点位置情報	地点名		機器設置候補地点の名称
		標高(m)		機器設置候補地点の標高
		2点間距離(m)		対応するUAV離発着地点との水平距離
		2点間比高差(m)		対応するUAV離発着地点との標高の比高差
		縦断見通し		対応するUAV離発着地点との地形的見通し （縦断図から地形的見通し、フレネルゾーンを確認し、遮蔽物が無ければ〇、ある場合は×を記入する）
		対象渓流		当該地点に機器を設置することで源頭部付近の降灰状況が把握できる渓流の名称
	UAV利活用判定	回転翼	空撮	回転翼型UAVによる空撮実施の可否 （当該地点とUAV離発着地点の水平距離と、回転翼型UAVの想定飛行距離を比較し、想定飛行距離の方が長ければ〇（空撮実施可）、短ければ×（空撮不可）を記入する）
			機器設置	回転翼型UAVによる機器設置作業実施の可否 （当該地点とUAV離発着地点の水平距離と、回転翼型UAVの機材運搬時の想定飛行距離を比較し、想定飛行距離の方が長ければ〇（機器設置可）、短ければ×（機器設置不可）を記入する）
		固定翼	空撮	固定翼型UAVによる空撮実施の可否 （当該地点とUAV離発着地点の水平距離と、固定翼型UAVの想定飛行距離を比較し、想定飛行距離の方が長ければ〇（空撮実施可）、短ければ×（空撮不可）を記入する）
	機器設置適地条件	地表面状況	斜度	当該地点における傾斜の状況 （地形データ等から当該地点の傾斜を確認する。降灰ユニットなどは可能な限り水平な面での使用が望ましいことから閾値を10°と設定し、斜度が10°以下の場合は〇、10°以上の場合は×とする（※閾値はあくまで目安であり今度の技術開発により更新されることに留意する））
			状況	当該地点における地表面の凹凸（礫・植生）の状況 （航空写真や現地調査により当該地点の地表面状況を確認する。機器設置が可能な場合は〇、機器設置が困難なほど凹凸がある場合は×とする（※機器設置が可能な凹凸の程度は今度の技術開発により更新されることに留意する））
		携帯電話通信状況		当該地点の携帯電波通信の状況 （机上や現地で確認し通信可なら〇、不可なら×を記入する）
		LPWA通信環境		当該地点のLPWA通信の状況 （現地電波試験で確認し通信可なら〇、不可なら×を記入する）
		用地状況	地権者	土地の所有者あるいは使用に当たっての調整先
			調整状況	土地の使用に関する調整の実施状況 （実施済みならば〇、未実施なら×を記入する）

表 2-7：適地一覧表（イメージ）

火山名	草津白根山（湯釜）

UAVタイプ別想定スペック			
固定翼機	空撮限界距離(m)	260,000	※1
回転翼機	空撮限界距離(m)	5,000	※2
	機器設置限界距離(m)	1,500	※3

（A）UAV離発着地点				（B）機器設置適地															
				地点位置情報						UAV活用判定			機器設置適地条件						
										回転翼		固定翼	地表面状況		携帯電話	LPWA通信	用地状況		
地点名	標高(m)	地権者	使用タイミング	地点名	標高(m)	A-B距離(m)	B-A比高(m)	縦断見通し（フレネルゾーン）	対象渓流	空撮	機器設置	空撮	斜度(°)	状況	通信状況	環境	地権者	調整状況
										○：空撮可	○：設置可	○：空撮可	○：10°以下	○：凹凸なし	○：通信可	○：通信可		○：調整済み
										×：空撮不可	×：設置不可	×：空撮不可	×：10°以上	×：凹凸あり	×：通信不可	×：通信不可		×：未調整
国道292号線沿いリフト終着点	2,010	※群馬県	噴火警戒レベル2	レストハウス駐車場1	2,019	1155	9	※○	渓流A	○	○	○	※○	※○	○	※○	※国交省	※○
				レストハウス駐車場2	2,007	1454	-3	※○	渓流A	○	○	○	※○	※○	○	※○	※国交省	※○
				国土交通省積雪計	2,016	1600	6	※×	渓流A	○	×	○	※○	※○	○	※×	※国交省	※○
				国道292号線沿いスペース6	1,990	1913	-20	※×	渓流A	○	×	○	※○	※×	○	※×	※国交省	※○
渋峠ホテル周辺駐車場	2,153	現地にて確認（※＝記入例）	噴火警戒レベル3	国道292号線沿い駐車場1	2,070	1,646	-83	縦断図を作成して確認（※＝記入例）	渓流B	○	×	○	現地にて確認（※＝記入例）		○	現地電波試験を実施して確認（※＝記入例）		現地にて確認（※＝記入例）
				山体西_東工大地震計・傾斜計	2,094	1,704	-59		渓流B	○	×	○			○			
				山体西_東大地震計	2,158	1,912	5		渓流B	○	×	○			○			
				国道292号線沿いスペース1	2,060	1,839	-93		渓流C	○	×	○			○			
				国道292号線沿いスペース2	2,060	1,965	-93		渓流C	○	×	○			○			
湯の花旅館駐車場	1,763		噴火警戒レベル3	国道292号線沿い待避所1	2,031	1,011	268		渓流C	○	○	○			○			
				国道292号線沿いリフト終着点	2,010	808	247		渓流C	○	○	○			○			
				国道292号線沿いスペース3	1,978	1,216	215		渓流C	○	○	○			○			
				国道292号線沿いスペース4	1,966	1,226	203		渓流C	○	○	○			○			
				国道292号線沿い工事業者詰め所	1,982	1,337	219		渓流D	○	○	○			○			
				国道292号線沿いスペース5	1,982	1,294	219		渓流D	○	○	○			○			
				レストハウス駐車場1	2,019	1,846	256		渓流D	○	×	○			○			
				レストハウス駐車場2	2,007	2,128	244		渓流D	○	×	○			○			
				国土交通省積雪計	2,016	2,255	253		渓流D	○	×	○			○			
青葉山レストラン跡	1,543		噴火警戒レベル2 噴火警戒レベル3	国道292号線沿いスペース6	1,990	2,362	447		渓流D	○	×	○			○			
				国道292号線沿いスペース7	1,974	2,143	431		渓流E	○	×	○			○			
				国道292号線沿い待避所2	1,958	1,938	415		渓流E	○	×	○			○			
				国道292号線沿い待避所3	1,939	1,691	396		渓流F	○	×	○			○			
				国道292号線沿い待避所4	1,912	1,862	369		渓流F	○	×	○			○			
				国道292号線沿い展望スペース	1,881	1,515	338		渓流F	○	×	○			○			
				国道292号線沿いスペース8	1,828	1,365	285		渓流F	○	○	○			○			
				国道292号線沿いスペース9	1,826	1,343	283		渓流G	○	○	○			○			
				国道292号線沿い見晴らし台	1,779	1,085	236		渓流G	○	○	○			○			
				白根火山ロープウェイ山頂駅跡	2,022	2,476	479		渓流G	○	×	○			○			

※1：令和元年度本省業務成果より　　※2：火山地域における回転翼UAVの飛行実績より設定　　※3：H31年度九州技術事務所成果に記載の値(3km)を参考し、安全側を考慮して設定

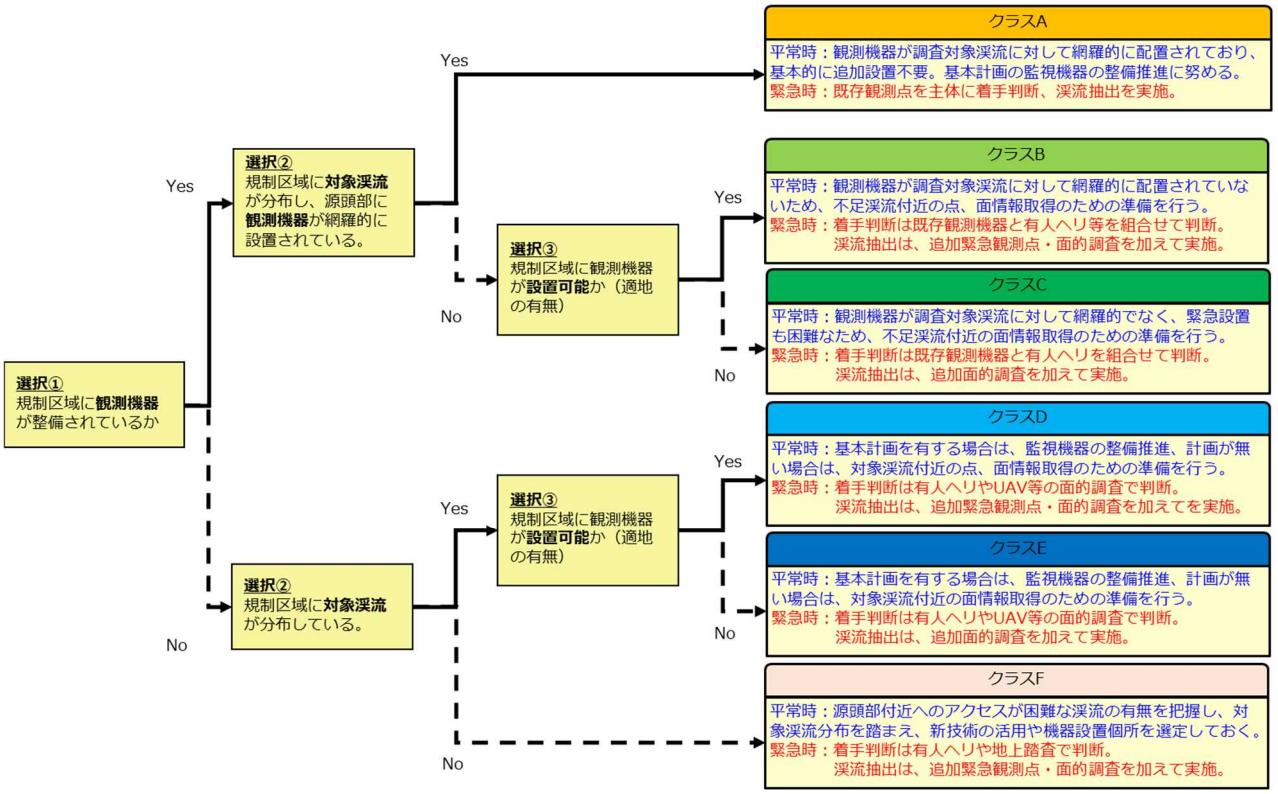
2.3 調査手法適用性の検討

2.3.1 特性分類フローによる分類

・前段の整理内容を踏まえ、火山ごとに調査方針の概要を決定するために特性分類フローによるクラス分けを行う。

【解説】

特性分類フローによる分類の目的は、対象火山で最新技術活用を検討する際に、地形や整備レベルなどの特性を踏まえてクラス分けすることで実施する調査方針を確認することである。



特性分類フローによる分類手順を以下に示す。

(1) 選択①

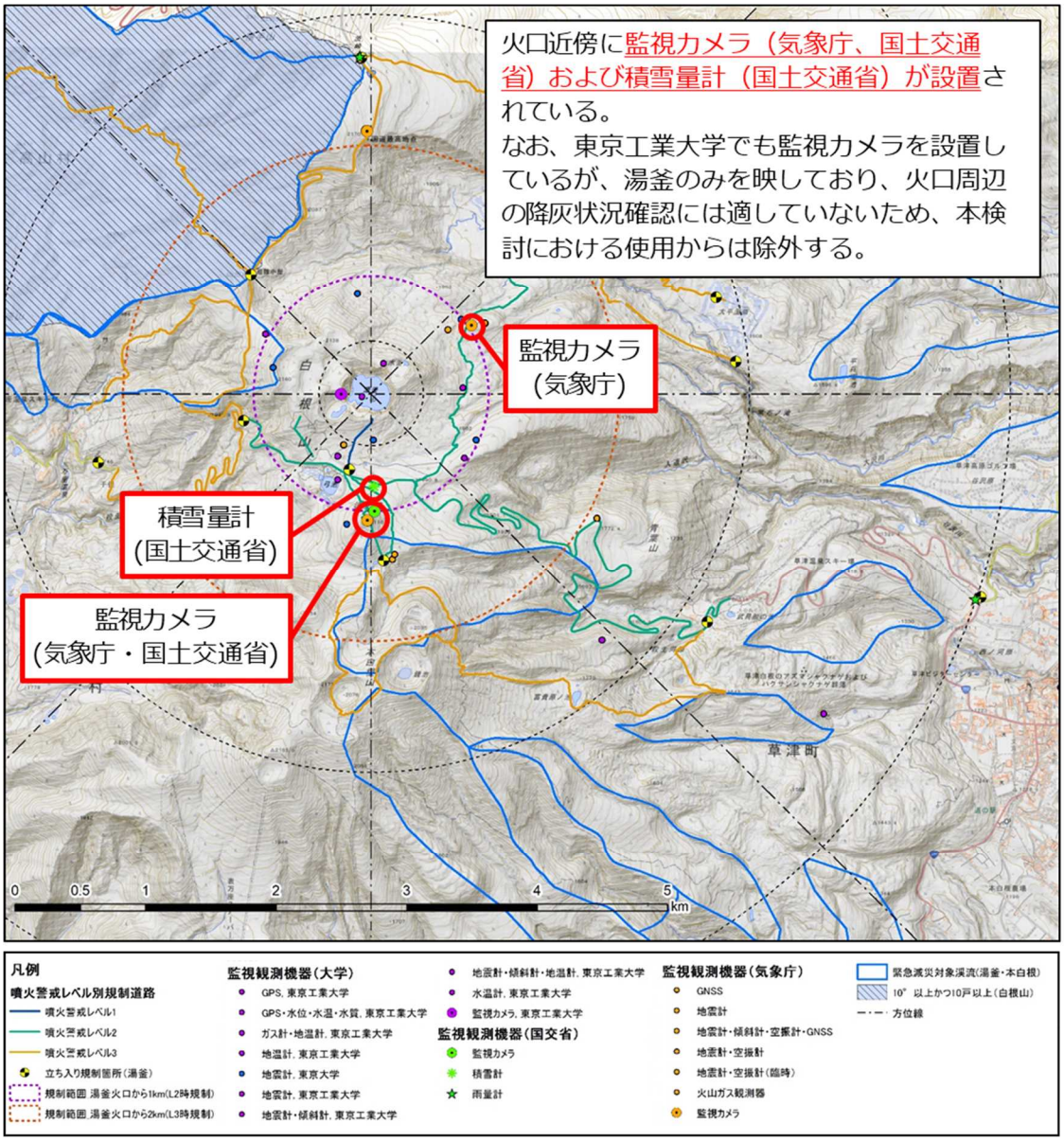
選択①では、対象火山の既存監視機器の整備状況、立入規制版を確認し、立入規制範囲内に上記既設観測機器がある場合は「Yes」、無い場合は「No」へ分岐する。

本項における観測機器は積雪量計や自動降灰量計、監視カメラなど、降灰の厚さを把握することが可能な監視機器を指す（表 2-8）。なお、監視カメラが設置されている場合でも想定火口内のみを撮影しているなど火口周辺の降灰状況の把握には適していない場合は、本検討における分岐の判断材料からは除外する。

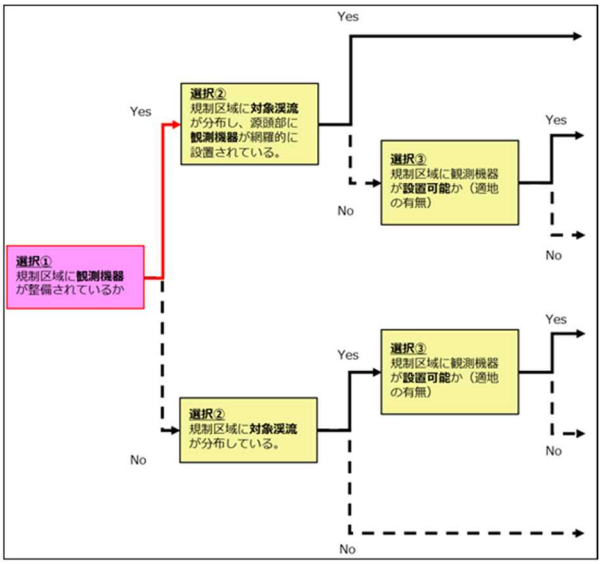
表 2-8：降灰厚把握に向けた既存観測機器の活用方法

手法名 （使用機器）	概要	精度 実施時間	既存機器が活用可能と判断するポイント	備考
接触型機器による計測 （**自動降灰量計**）	自動降灰量計により降灰の自動採取、自動計測を行う	最小1mm程度 最大20cm 事前設置済みであれば即時的にデータ取得可能	ー	■ 桜島や新燃岳で運用実績あり ■ 事前設置には地権者や各種規制、法令の確認調整が必要であり調整に時間を要する ■ 機器が機能停止しない限り降灰状況を継続的に取得可能
非接触型機器による計測 （**積雪量計**）	既存監視機器のセンサーを用いて火山灰の厚さを計測する	1～数cm程度 事前設置済みであれば即時的にデータ取得可能	■ 光波タイプ、超音波タイプの非接触型積雪量計であること	■ 北海道駒ケ岳で実績あり ■ 事前設置には地権者や各種規制、法令の確認調整が必要であり調整に時間を要する ■ 積雪や植生等が挟まれた場合は正確性が損なわれる ■ 機器が機能停止しない限り降灰状況を継続的に取得可能
監視カメラによる計測 （**既存監視カメラ**＋標尺）	既存監視カメラの画角内に降灰厚が計測可能な標尺を設置し、読み取ることで降灰厚さを把握する	数cm程度 事前設置済みであれば即時的にデータ取得可能	■ カメラ画角が変更可能であること ■ カメラ画角内に対象渓流源頭部付近の地表面の様子が含まれること	■ 他官庁のカメラを使用する場合は調整が必要 ■ 標尺の事前設置には地権者や各種規制、法令の確認調整が必要であり調整に時間を要する ■ 標尺の設置のみの場合は安価に実施可能 ■ カメラが機能停止しない限り降灰状況を継続的に取得可能

【選択①参考事例：草津白根山（湯釜付近）のケーススタディより】



【草津白根山(湯釜)における判定】
噴火警戒レベル２における立ち入り規制範囲（図中紫破線および緑実線）内に積雪量計及び監視カメラが整備されているため「Yes」を選択。



(2) 選択②（選択①で「Yes」へ分岐した場合）

選択②では、対象とする火山の規制区域内の対象渓流の分布状況と既存観測機器の分布状況を確認し、対象渓流の分布に対し観測機器が網羅的に設置されている場合は「Yes」（＝クラス A）、無い場合は「No」へ分岐する。

網羅的に機器が配置されているかの確認は、想定火口を中心として 8 方位にエリアを分け、対象渓流が分布する各方位に対して観測機器がそれら対象渓流源頭部付近に設置されているかによる判断する（図 2-2）。

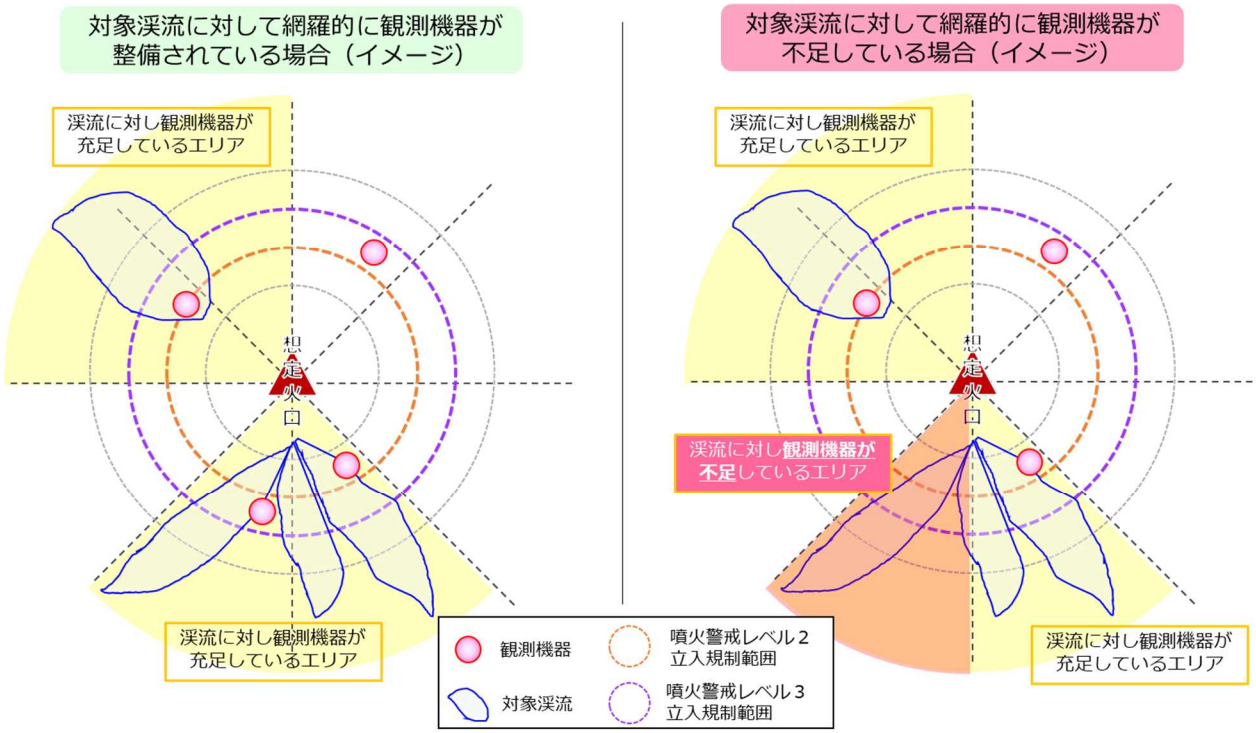
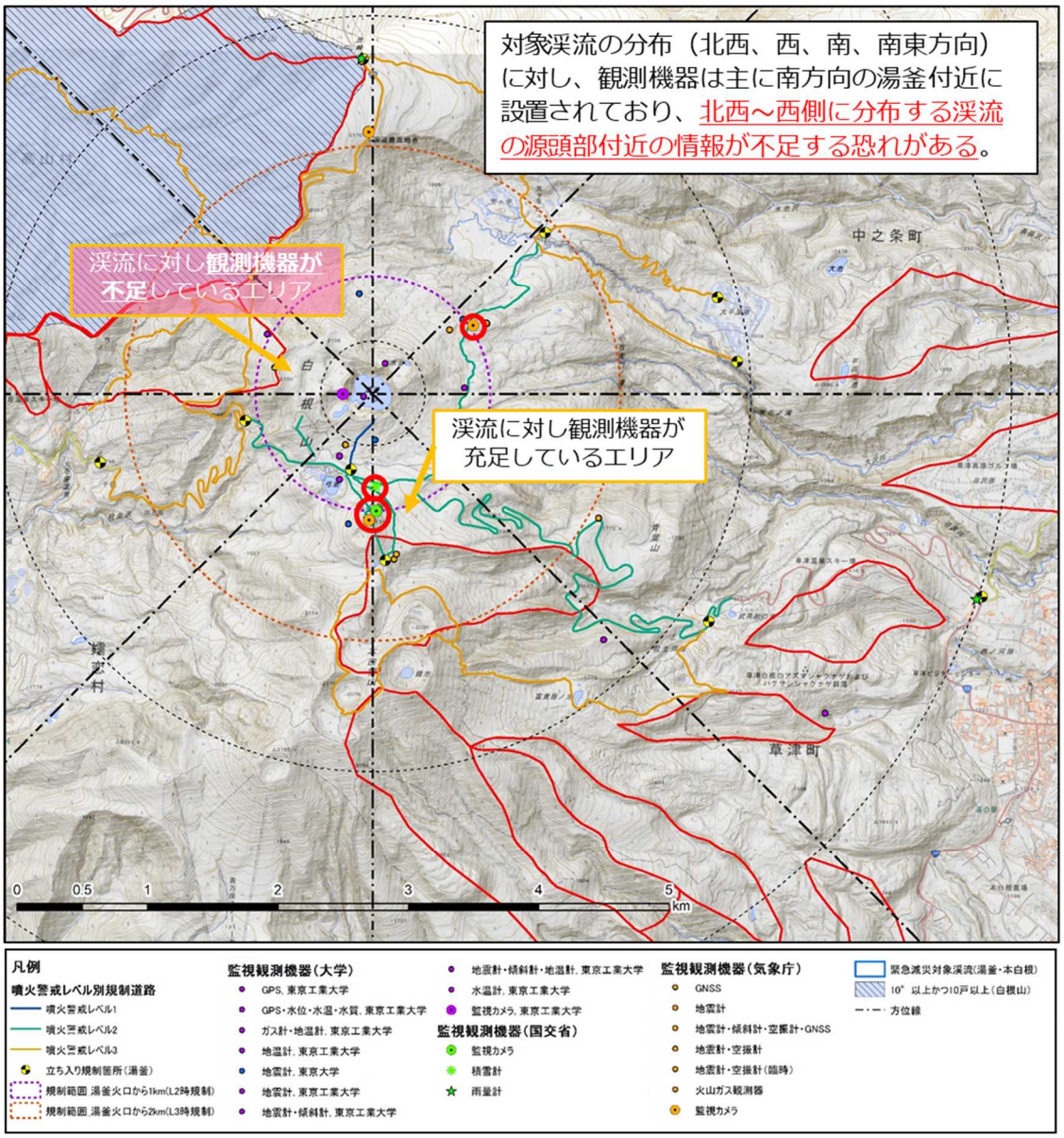


図 2-2：対象渓流に対する網羅的な機器配置の考え方

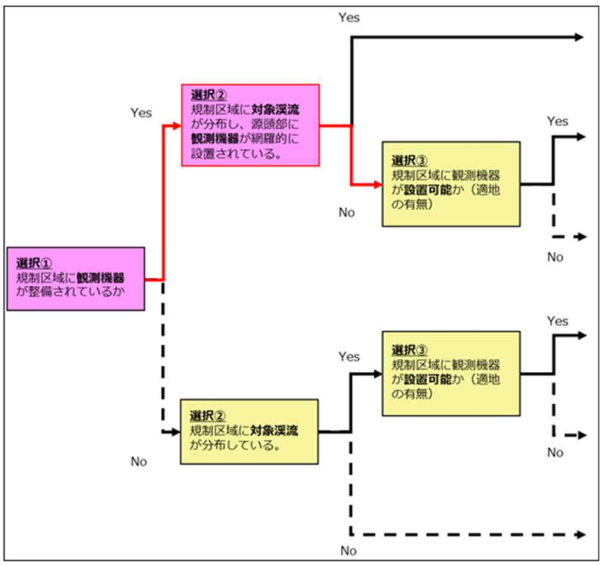
(3) 選択②（選択①で「No」へ分岐した場合）

対象とする火山の規制区域内における対象渓流の分布状況を確認し、規制区域内に対象渓流が分布する場合は「Yes」、無い場合は「No」（＝クラス F）へ分岐する。

【選択②参考事例：草津白根山（湯釜付近）のケーススタディより】



草津白根山(湯釜)における判定】
噴火警戒レベル２における立ち入り規制範囲（図中紫破線および緑実線）内に対象渓流が分布しているが、観測機器（積雪量計、監視カメラ）は、その分布を網羅的に満たすように配備されていないため、「No」を選択。



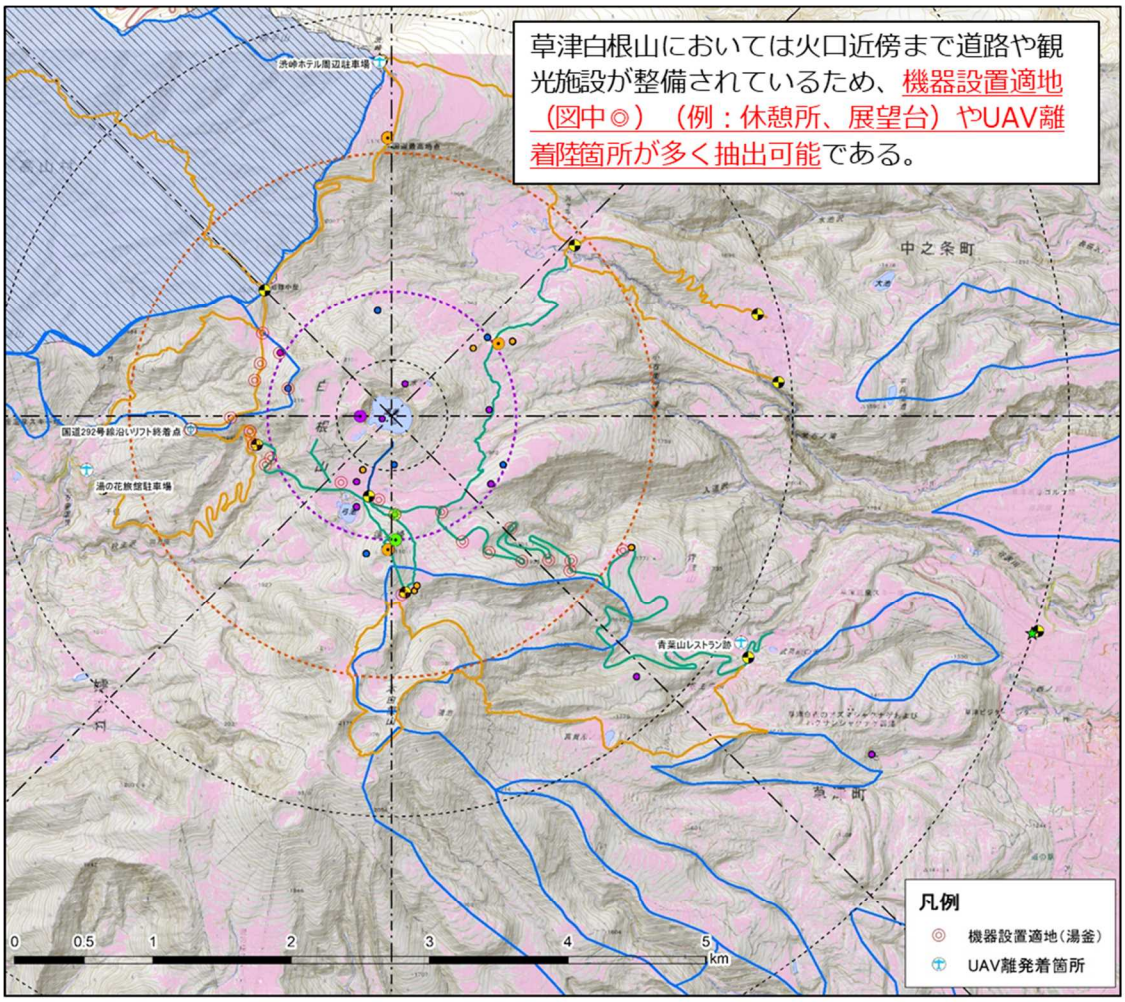
(4)選択③（選択①「Yes」→選択②「No」へ分岐した場合）

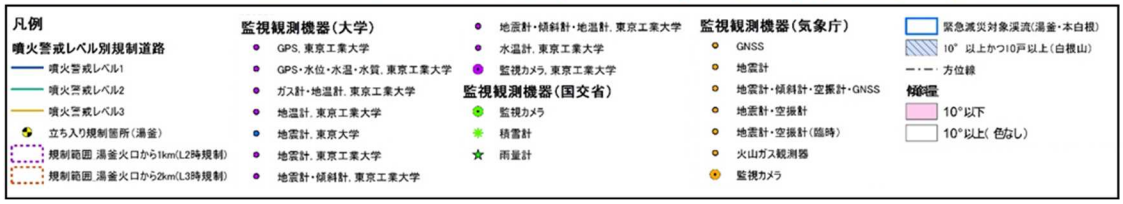
選択③では、前段で整理した調査平面図および適地一覧表を確認し、立入規制範囲内に緊急的な観測機器の設置が可能な場合は「Yes」（＝クラス B)、機器の設置ができない場合は「No」（＝クラス C）へ分岐する。

(5)選択③（選択①「No」→選択②「Yes」へ分岐した場合）

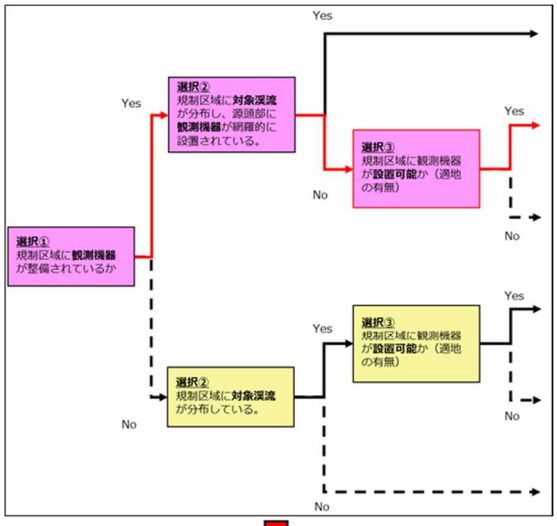
選択③では、前段で整理した調査平面図および適地一覧表を確認し、立入規制範囲内に緊急的な観測機器の設置が可能な場合は「Yes」（＝クラス D)、機器の設置ができない場合は「No」（＝クラス E）へ分岐する。

【選択③参考事例：草津白根山（湯釜付近）のケーススタディより】





【草津白根山(湯釜)における判定】
噴火警戒レベル２、３における立ち入り規制範囲内に観測機器が設置可能な適地があるため、「Yes」を選択。



【草津白根山における分類結果】
クラス"B"へ分類

(6) クラスごとの特徴と調査方針

上記の特性分類フローにより分けられるクラス A～F の特徴を踏まえ、クラスごとの緊急時の調査（および調査に向けた平常時からの準備）方針は以下のように設定される。

表 2-9：クラスごとの特徴と緊急時/平常時の対応方針

クラス	特徴	方針	
A	対象渓流について既存の監視機器にて降灰状況を把握できるクラス。	平常時	観測機器が調査対象渓流に対して網羅的に配置されており、基本的に追加設置不要。基本計画の監視機器の整備推進に努める。
		緊急時	既存観測点を主体に着手判断、渓流抽出を実施。
B	既存の観測機器及び緊急時の機器設置による調査が可能なクラス。緊急時は面的情報取得と既存監視機器および緊急設置機器を活用して降灰情報を取得する。	平常時	観測機器が調査対象渓流に対して網羅的に配置されていないため、不足渓流付近の点、面情報取得のための準備を行う。
		緊急時	着手判断は既存観測機器と有人ヘリ等を組合せて判断。渓流抽出は、追加緊急観測点・面的調査を加えて実施。
C	既存の観測機器による調査が可能なクラス。緊急時の機器設置は実施できないため、主に面的情報と既存監視機器を活用して降灰情報を取得する。	平常時	観測機器が調査対象渓流に対して網羅的でなく、緊急設置も困難なため、不足渓流付近の面情報取得のための準備を行う。
		緊急時	着手判断は既存観測機器と有人ヘリを組合せて判断。渓流抽出は、追加面的調査を加えて実施。
D	既存の監視機器がないが、緊急時の機器設置による調査が可能なクラス。緊急時は面的情報取得と緊急設置機器を活用して降灰情報を取得する。	平常時	基本計画を有する場合は、監視機器の整備推進、計画が無い場合は、対象渓流付近の点、面情報取得のための準備を行う。
		緊急時	着手判断は有人ヘリや UAV 等の面的調査で判断。渓流抽出は、追加緊急観測点・面的調査を加えて実施。
E	既存の監視機器がなく、さらに緊急時の機器設置も困難なクラス。緊急時には面的情報を活用して降灰情報を取得する。	平常時	基本計画を有する場合は、監視機器の整備推進、計画が無い場合は、対象渓流付近の面情報取得のための準備を行う。
		緊急時	着手判断は有人ヘリや UAV 等の面的調査で判断。渓流抽出は、追加面的調査を加えて実施。
F	立入規制区域内に調査対象渓流が分布しないクラス。但し、アクセスが困難な渓流が分布する場合はクラス D,E に準じた検討を実施する。	平常時	源頭部付近へのアクセスが困難な渓流の有無を把握し、対象渓流分布を踏まえ、新技術の活用や機器設置個所を選定しておく。
		緊急時	着手判断は有人ヘリや地上踏査で判断。 渓流抽出は、追加緊急観測点・面的調査を加えて実施。

2.3.2 調査手法選択フローの作成

・特性分類フローによるクラス分けに基づき、該当クラスの調査選択フローのひな型を使用し、各火山の状況を踏まえたフローを作成する。

【解説】

調査手法選択フローは、各火山で使用可能な調査手法を整理し、各手法の準備項目や優先度を設定するものであり、以下の手順に従って作成する（**図 2-3**）。各作業の詳細は P38～42 に示す。

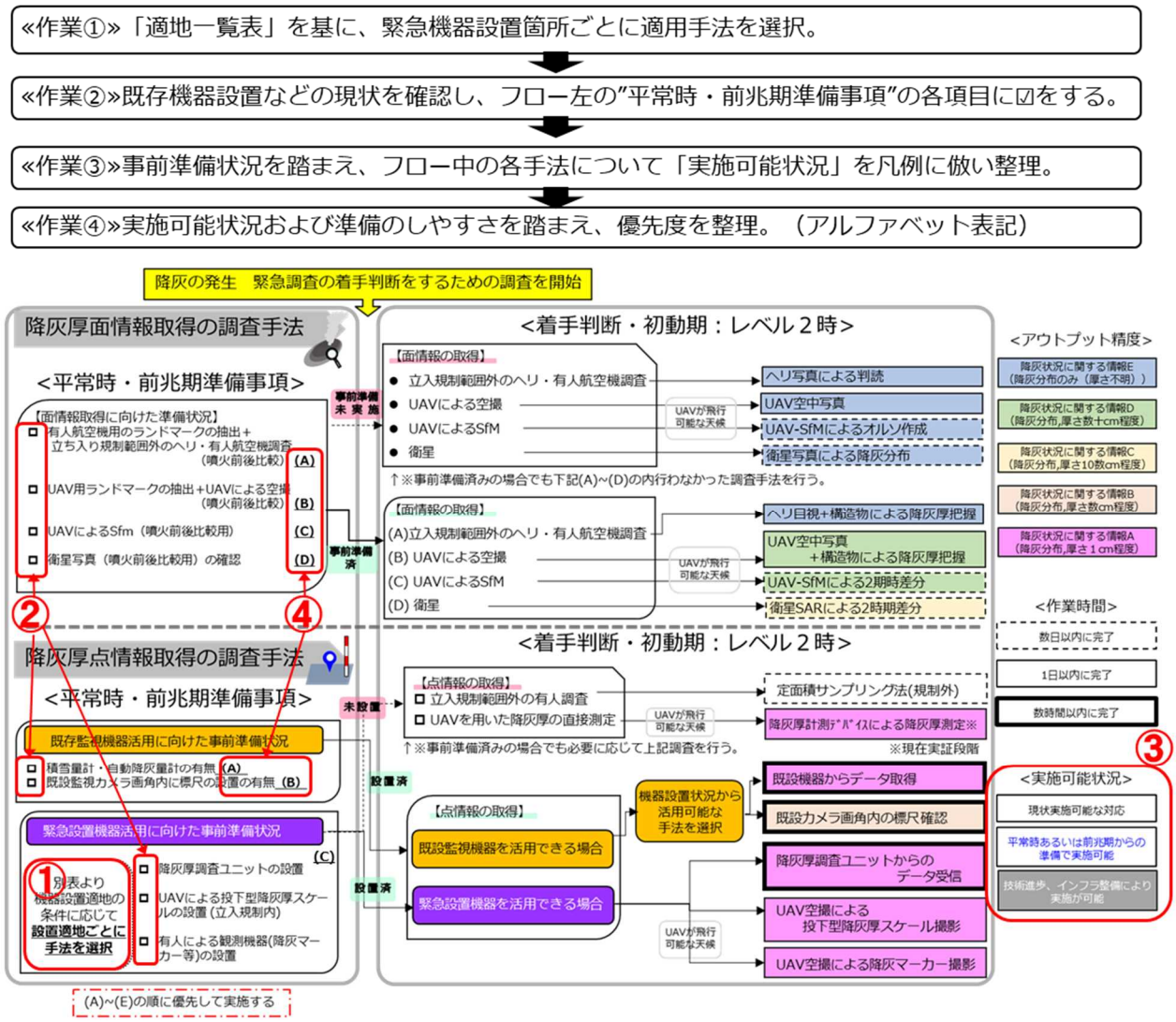


図 2-3：調査手法選択フローの作成手順

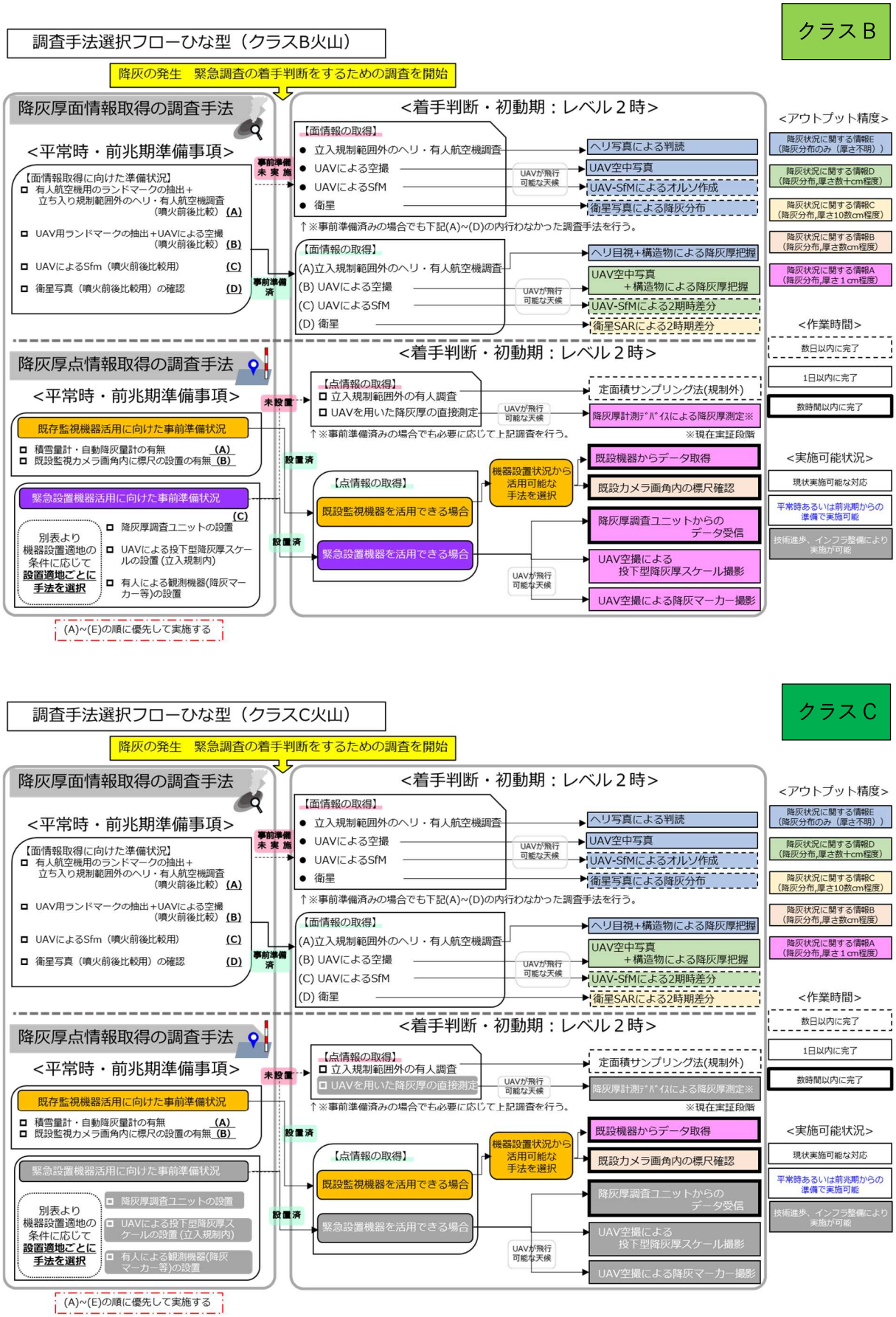


図 2-4：調査手法選択フローのひな形（クラス B,C）

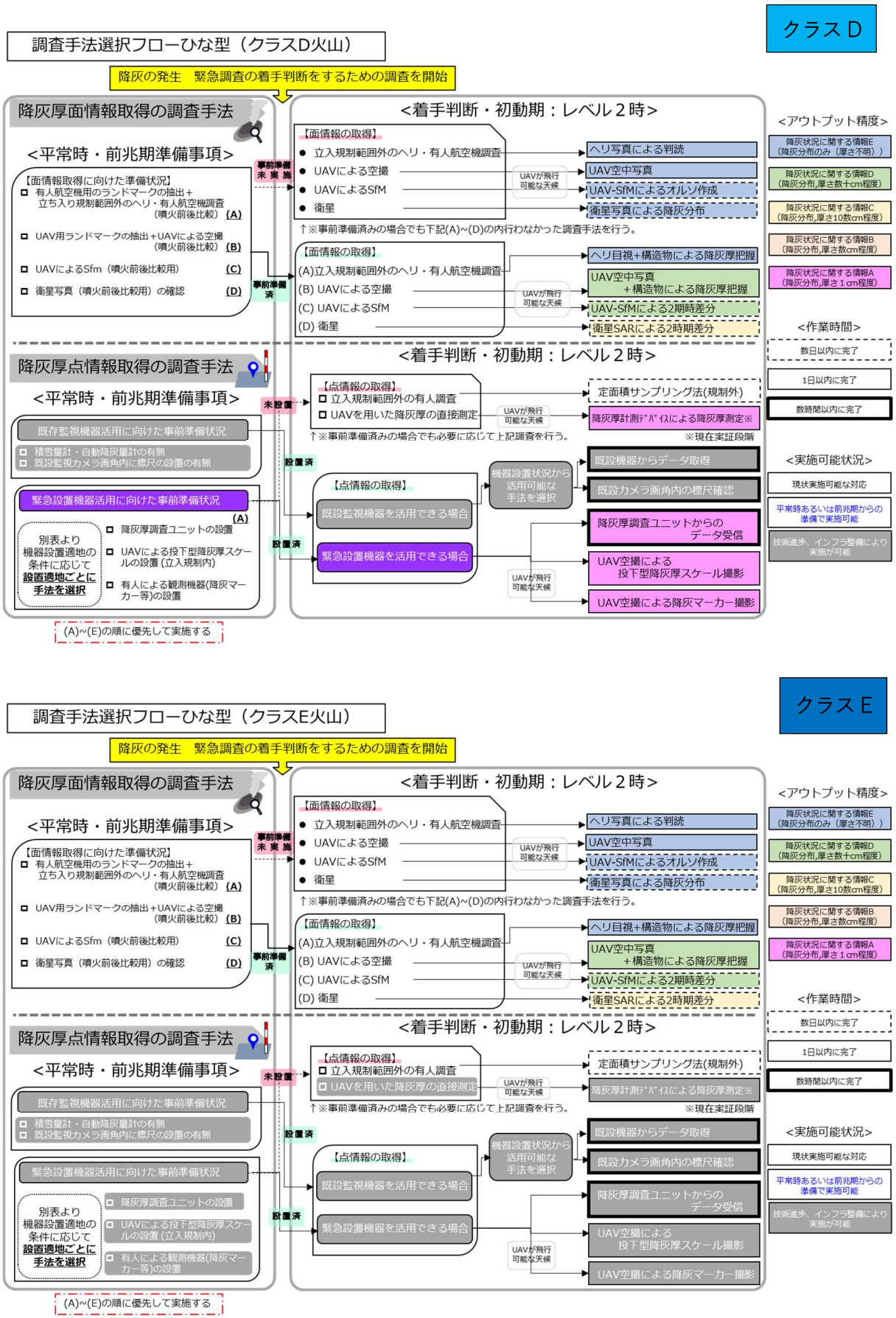


図 2-5：調査手法選択フローのひな形（クラス D,E）

≪作業①≫

「適地一覧表」を基に、各機器設置箇所の条件を踏まえ、緊急設置機器（降灰ユニット、降灰スケール、降灰マーカー）を選定する（図 2-6）。各緊急設置機器の選定基準については、機器の使用方法、性能、適用範囲に関する検証結果を踏まえて設定した（図 2-7）。なお、この基準は機器の技術開発の進捗に伴い適宜見直す必要があることに留意する。

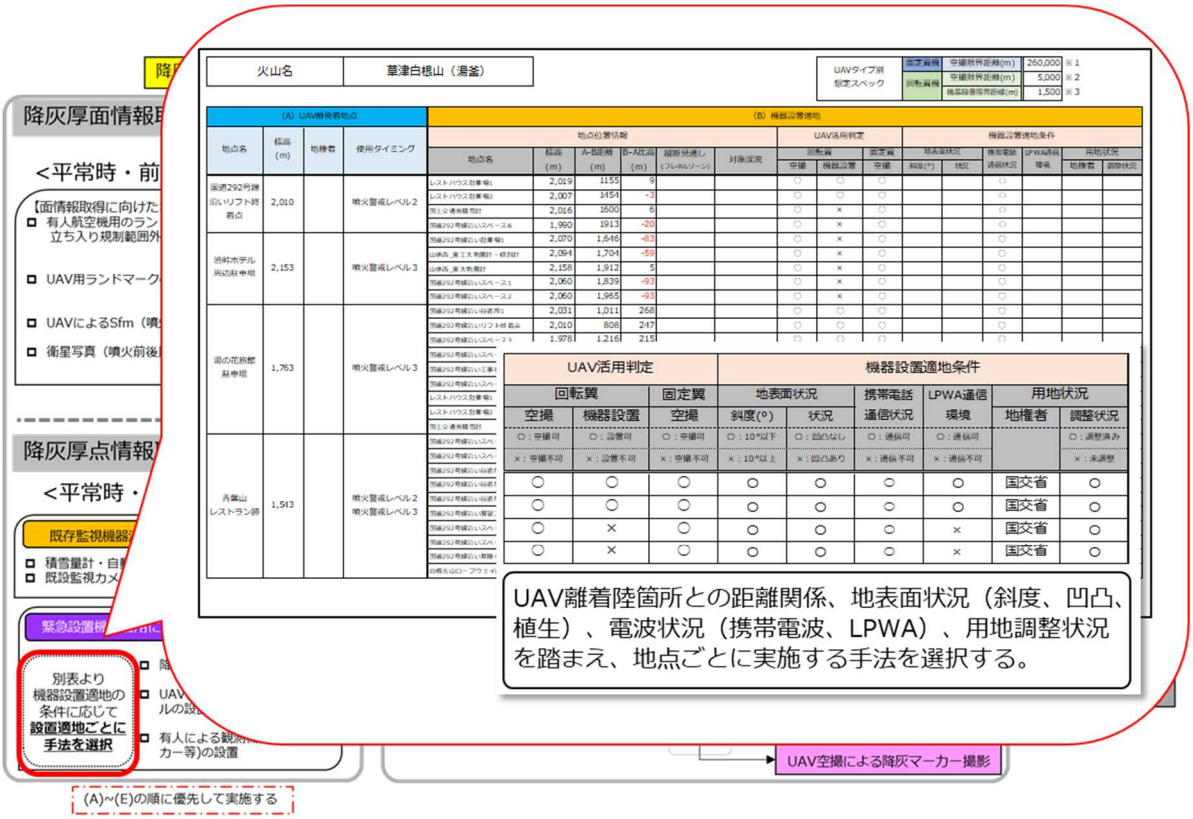


図 2-6：調査手法選択フローにおける作業①該当箇所

表.条件別使用機器一覧

UAV活用	機器設置適地条件				使用機器
回転翼	地表面状況		携帯電話	LPWA	
機器設置	斜度(°)	状況	通信状況	通信環境	
○：機器設置可 ×：機器設置不可	○：10°以下 ×：10°以上	○：凹凸なし ×：凹凸あり	○：通信可 ×：通信不可	○：通信可 ×：通信不可	
○	○	○	○	○	降灰ユニット（インターバルカメラ）
○	○	○	○	×	降灰スケール
○	○	○	×	×	
○	○	×	×	×	
○	×	×	×	×	
×	○	○	○	○	降灰マーカー（簡易降灰量計）
×	○	○	○	×	
×	○	○	×	×	降灰マーカー
×	○	×	×	×	
×	×	×	×	×	

【降灰ユニット適用条件】
- UAVによる機器の運搬設置が可能な地点
- 斜度10°以内かつ礫などによる凹凸がない
- LPWAによる通信電波が届く（見通し可能）

※インターバルカメラの場合は30分に1回程度の画像配信となるが、周辺の降灰状況の把握が可能

【降灰スケール適用条件】
- UAVによる機器の運搬設置が可能な地点
- 水平面でなくても設置可
- 礫などによる凹凸があっても設置可
- 通信環境は必要なし

【降灰マーカー適用条件】
- UAVによる機器の運搬設置が不可能な地点に平常時に有人で設置する
- 水平面への設置が望ましいが、傾斜や礫などによる凹凸があっても有人設置のため、設置時に地ならしを行うことでどこでも設置可能
- 通信環境は必要なし

※簡易降灰量計の場合は30分に1回程度の画像配信が可能となり、堆積構造も把握できる

図 2-7：適地条件ごとの機器選定基準

≪作業②≫

各手法を実施するために平常時から必要な準備事項の状況（面情報ならばその事前取得状況、点情報ならば機器の設置状況など）を確認し、準備が実施済みならばフロー左側の「平常時・前兆期準備事項」の各項目にチェック（☑）をつける（図 2-8）。

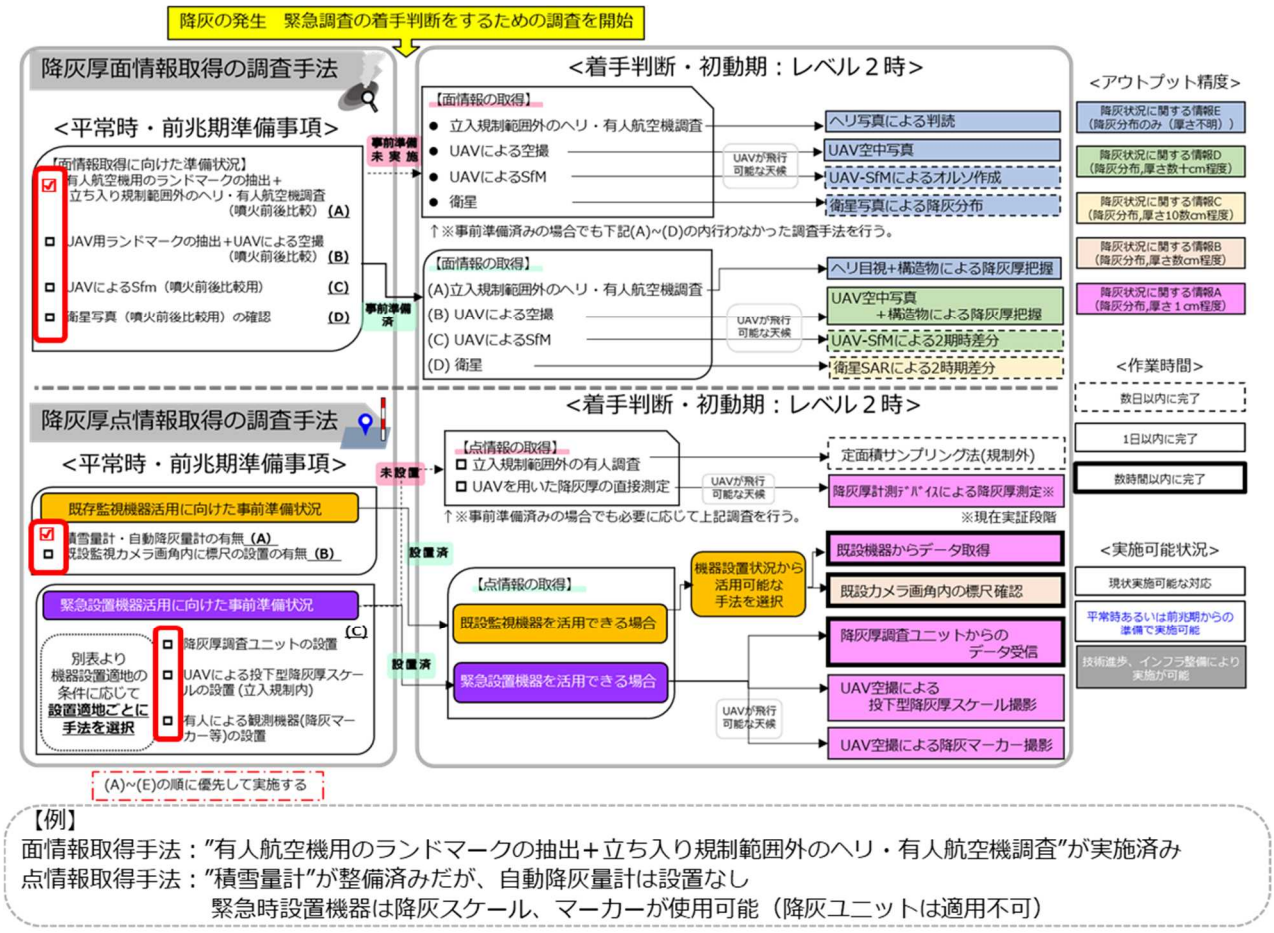


図 2-8：調査手法選択フローにおける作業②該当箇所

≪作業③≫

作業②で整理した事前準備の状況を踏まえ、各調査手法が“現状実施可能”、“平常時あるいは前兆期からの準備で実施可能”、“技術進捗やインフラ整備により実施可能”のいずれに該当するか確認した上で、各手法のフォントを着色する（図 2-9）。実施可能状況とフォント表記の対応関係は表 2-10 の通りである。

なお、ここでいう技術進捗の例として、UAV 航行距離の長距離化、UAV ペイロード上限の改良などが挙げられる。また、インフラ整備の例として監視カメラ、自動降灰量計、積雪量計の新設などが挙げられる。本項目については、技術の進捗ならびに対象火山周辺の簡易観測機器の整備状況の進捗を踏まえ適宜見直す必要があることに留意する。

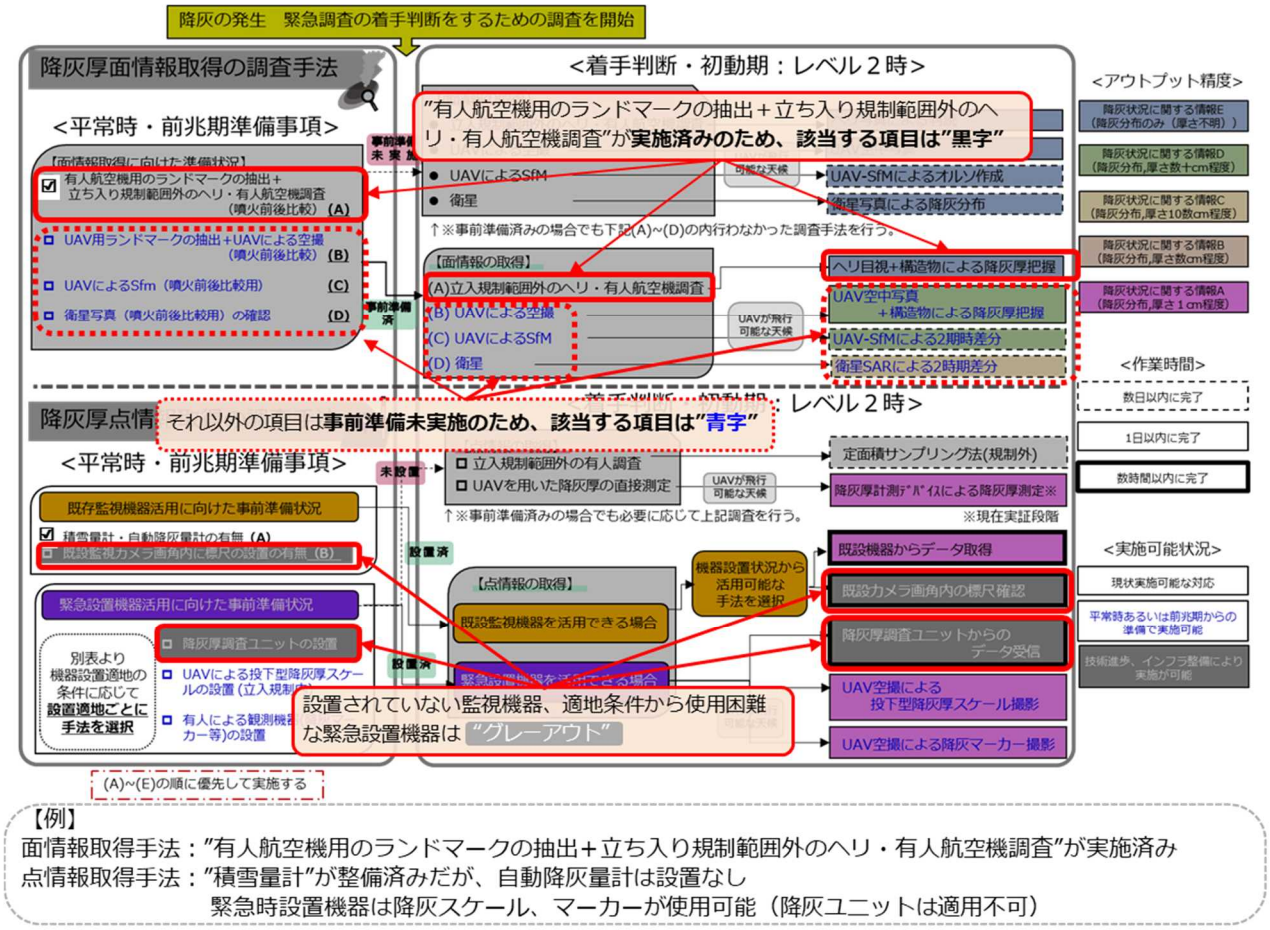


図 2-9：調査手法選択フローにおける作業③該当箇所および作業イメージ

表 2-10：実施可能状況とフォントカラーの対応関係

実施可能状況	フォントカラー
現状実施可能	黒
平常時あるいは前兆期からの準備で実施可能	青
技術進捗やインフラ整備により実施可能	白＋グレー塗りつぶし

≪作業④≫

実施可能状況および、事前準備の容易さ、調査に要する時間と精度から総合的に判断し、各手法の準備及び実施の優先度を設定する。優先度はアルファベットによって振り分け、優先度の高い順から”A”、”B”…と振り分ける（図 2-10）。なお、点情報取得の段について、「平常時から設置していない機器あるいは作業①により緊急時の設置が困難となっている機器（＝作業③で“技術進捗やインフラ整備により実施可能”とした手法）」については優先順位付けから除外する。

基本的に優先順位は表 2-11 に示す考えに則り設定するが、表 2-11 の考えを完全に踏襲する必要はなく、各火山の特性、状況を考慮した上で柔軟に設定していく事が重要である。

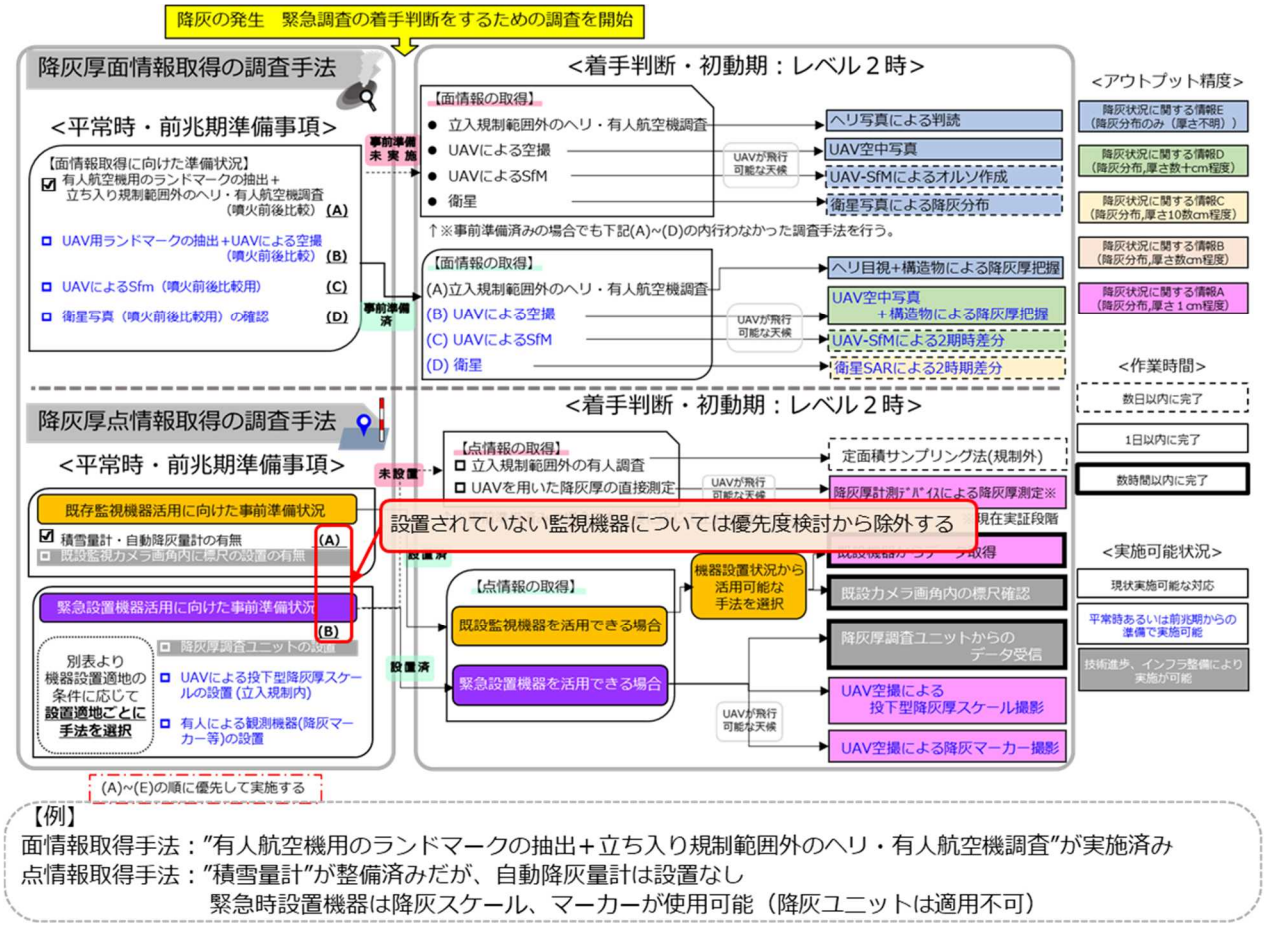


図 2-10：調査手法選択フローにおける作業④該当箇所および作業イメージ

表 2-11：優先度設定における基本的な考え方

区分	優先度に関する考え方
共通	■ 事前準備が完了しているものから順に優先度を設定する。
面情報取得の調査手法	■ 「ヘリ・有人航空機による調査」、「UAV による空撮」は 1 日以内に調査が完了するため優先度は高いと考える。また、調査結果を得るまでの作業時間が数日以内である「UAV による Sfm」、「衛星」の優先度は低いと考える。 ■ 「ヘリ・有人航空機による調査」はこれまでの噴火事例においても多数の実施実績があり、実効性の上でその信頼性は高い。従って、「ヘリ・有人航空機による調査」は「UAV による空撮」よりも優先度を高く設定する。ただしヘリ・有人航空機による調査の事前準備が未実施で UAV 空撮の事前準備が完了している場合はこの限りではない。
点情報取得の調査手法	■ 既存監視機器を活用する場合と緊急設置機器を活用する場合については、基本的に既存監視機器を活用する場合の方が、事前準備が容易であるため、既存監視機器を活用する場合の手法（積雪量計・自動降灰量計の活用、既設カメラ画角内の標尺確認）の優先度を高く設定する。ただし、緊急設置機器が事前に設置済みである場合はこの限りではない。 ■ 既存監視機器を活用する場合、「既設カメラ画角内の標尺確認」では既存のカメラ画角内に標尺を設置する必要がある。一方で「積雪量計・自動降灰量計の活用」は既存の監視機器の観測データを確認するのみであり事前準備に手間がかからないため、既設カメラ画角内の標尺確認」よりも「積雪量計・自動降灰量計の活用」の優先度は高いと考える。

2.4 具体化の検討

2.4.1 調査工程表の作成

・調査手法選択フローにより実施可能とされた手法について調査工程表を作成することで、調査計画を具体化する。

【解説】

調査工程表は、調査手法選択フローにより各火山が現状で使用できる調査方法について、調査に必要な時間と精度を視覚的にわかり易くまとめたものである。

緊急時に参照することで具体的な調査内容を把握する。また、現状実施可能な対応のみで作成した工程表と、事前準備により実施可能となる調査手法を加えた工程表を比較することで、新技術を適用した場合の効果を検証することが可能であり、平常時に噴火発生時の情報取得に向けた事前準備の優先順位を検討する上での補助的な資料としても活用できる。

なお、既存調査計画において時系列で調査の流れが整理されている場合は、必ずしも本工程表を作成する必要はなく、既存資料に新技術を使用した手法を追加するなどして、既往計画を更新することとする。

以下に調査工程表の作成手順を示す。

- 調査手法選択フローにより選択された各種手法を用いて実際に調査を行う場合の作業手順を整理した調査工程表を作成する（①）。
- 各調査手法実施に当たり必要な手順、所要時間は本検討成果を基に作成するマニュアルの技術資料編を参照する（②）。

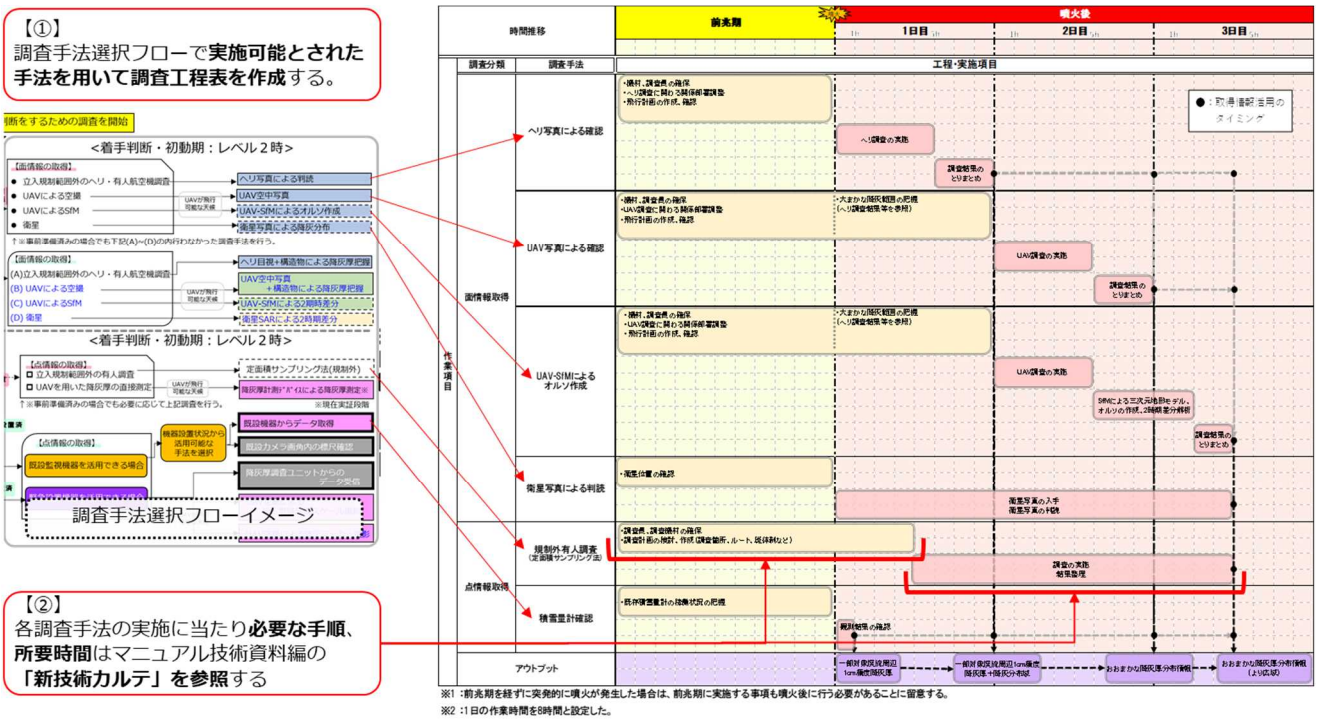
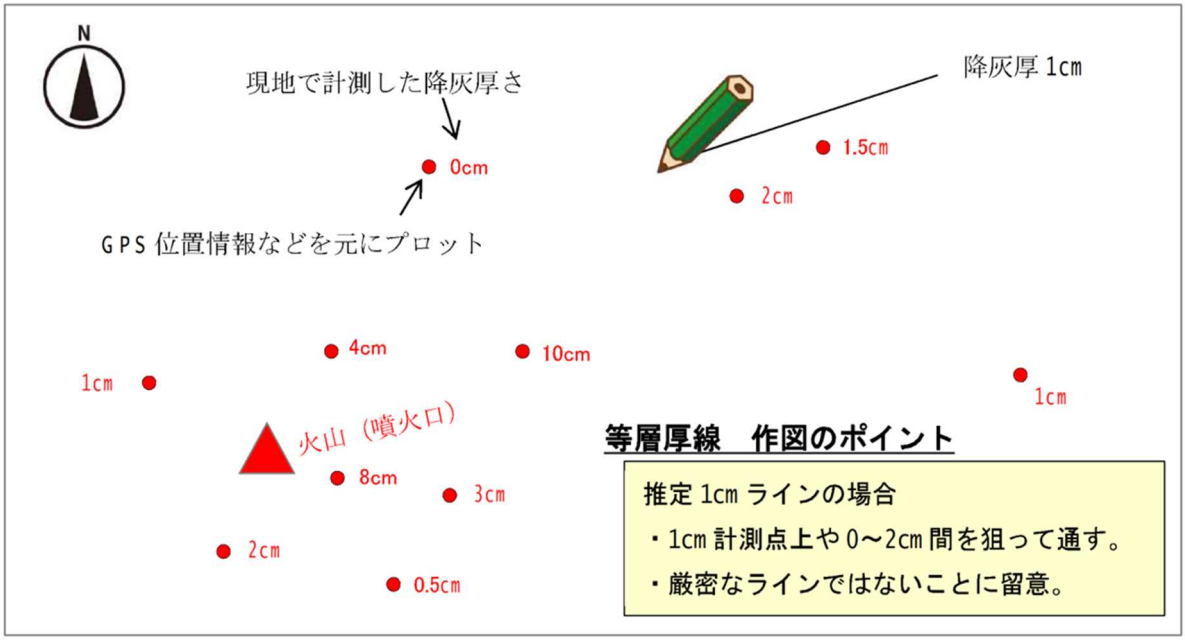


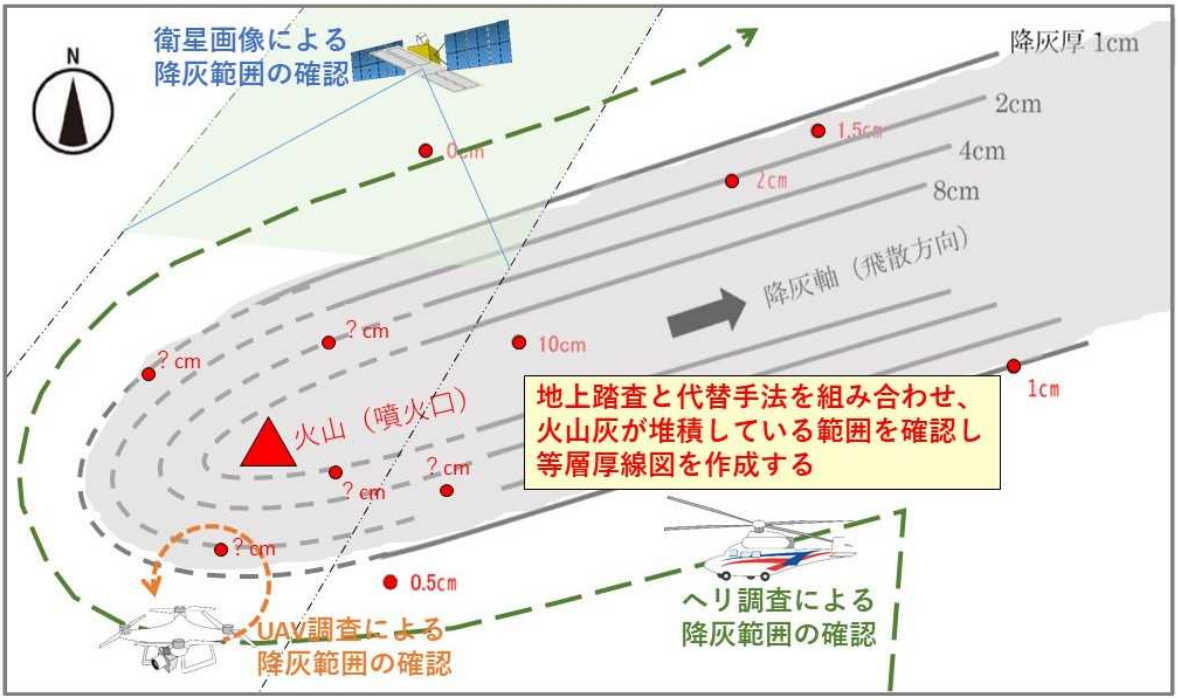
図 2-11：調査工程表の作成手順

【参考：降灰分布の推定方法①】

≪机上作業による等層厚線の作成方法≫

地上調査やヘリ調査・UAV 調査・衛星画像等、複合的に調査を実施し、その結果得られた降灰厚さ情報を図面上に整理することで、調査地点以外における堆積厚さを推定することができ 1cm 以上の火山灰が堆積する分布範囲を求めることができる。等層厚線図の作成については日頃より訓練等を実施し、その作成について慣れておくことが望ましい。





【参考：降灰分布の推定方法②】

≪推定式による降灰厚分布の推定方法≫

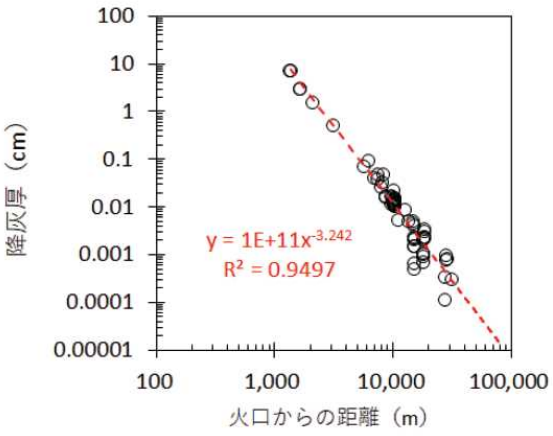
火山灰の堆積厚さは火口からの距離を用いて指数関数やべき乗関数で近似されるという既往成果（Gonzalez-Mellado and Cruz-Renya, 2010）を活用することで、火口から任意の距離における降灰厚を推定する（(1)式）。

$$T(x) = T_0 \cdot X - B \quad \cdots \quad (1)式$$

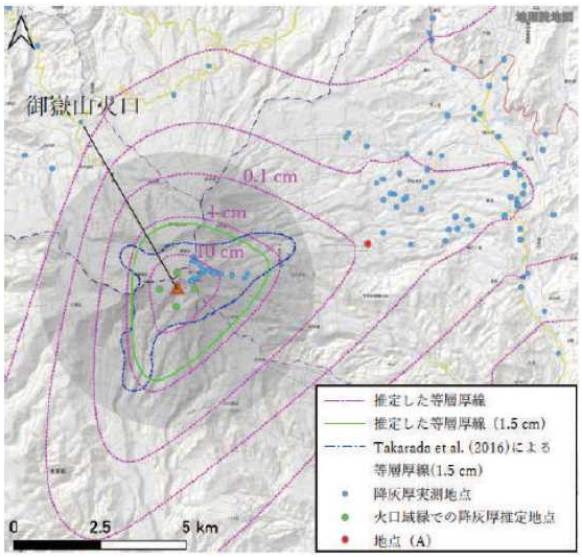
ここで T(x)は火口から距離 X(m)地点における降灰厚さ（単位は cm）、T_0 は定数、B はべき指数を表す。

B は同じ噴火形態事例から得られた値の平均値を用いる。T_0 は、火口から任意の距離における実測の降灰厚さを(1)式に代入して設定する。

石井による報告（令和元年度土木研究所講演会）によると、御嶽山 2014 年噴火の際の火口近傍の降灰厚を推定し等層厚線の作成を試みている（下図 図-1,2）。その結果、精度に課題は残るものの火口近傍の降灰厚を計測できない状況においても、火口から離れた場所で計測された降灰厚データから等層厚線図を作成することが可能であり、おおよその降灰厚や降灰分布範囲の把握に活用可能と考えられる。



図－1　2014 年御嶽山噴火を事例とした
火口からの距離と降灰厚の関係
（べき乗近似）



図－2　御嶽山 2014 年噴火の推定等層厚線図，
地理院地図に加筆

（参照：石井靖雄，「火山噴火後の土石流発生に対する警戒避難のための新しい取り組み」，令和元年度土木研究所講演会講演集, P33-38, 2019.10）

※降灰厚分布の把握手法について、最新の知見を適宜確認し、マニュアルへ反映していくことが望ましい。

2.5 計画検討時の留意事項

2.5.1 計画立案上、想定する立入規制区域について

UAV離着陸箇所は、規制範囲が拡大し使用不可になる場合を考慮してL2、L3時の規制範囲を踏まえて検討した。しかし、近年の噴火（例：浅間2019年など）ではごく小規模な噴火であるが、噴火発生により警戒レベルがＬ３まで引き上げられることもあるため、各山で調査計画を検討する際は、その山の警戒レベル上げ下げの特徴（過去の実績等）を参照して調査計画を検討する必要がある。クラスF等の火山を設定する際にはレベル３の規制範囲にも留意する。

2.5.2 想定火口が山頂のみではなく広域とされている火山について

噴火発生場所に応じて UAV 離着陸箇所や機器設置適地が柔軟に変化するため、立入規制範囲よりも広域に UAV 離着陸箇所、機器設置適地の候補地点を抽出する。また、UAV 離着陸箇所と機器設置適地との関係は、想定火口を方位等で分割したエリアごとに整理する。

図 2-12：有珠山で想定される立入規制区域

（出典：気象庁有珠山噴火警戒レベルリーフレット）

2.5.3 機器の破損や中～大規模噴火に対する対応について

火山活動は多様で予測が難しい現象であり、既存及び緊急設置した観測機器が噴石や火砕流により破損する可能性があることに留意して計画を検討することが望ましい。本マニュアル内では調査対象渓流に対する観測機器の配置を想定しているが、ハザードマップ等の火砕流分布範囲等に観測機器を設置する場合は、必要に応じて火砕流が流下しない方位にも機器設置適地を設定する等の対応も有効である。また、規模の大きい噴火が発生し降灰厚が数十cmを超えることが想定される場合は、より大きい堆積厚を把握できるインターバルカメラ等の設置を検討することも有効である。

3. 計画策定後の留意事項

3.1.1 計画の更新について

本計画で取り扱う技術は加速度的に開発が進められていることから、本マニュアル自体の更新及び、本マニュアルを参照して作成した計画は定期的に見直しを行うことが望まれる。特にロボットや各種センサー、UAV の性能、UAV を活用した Sfm やレーザー測量に代表される計測技術は、最新の技術動向を把握することで既存計画では対応できなかった調査手法が活用できるようになる等、計画の改善が期待される。

3.1.2 実証試験および訓練の実施

火山地域は様々な環境条件が想定されるため、多様な技術に対し、並列的に実証および訓練を行っていくことが望まれる。定期的な実証試験や訓練は、技術の信頼性を向上させるだけでなく、本マニュアルの記載事項の理解を深め、緊急時の調査実施判断ができる人材の育成にもつながると期待される。訓練の具体的な内容としては以下が挙げられる。

(1) 作業体制の構築

新技術は、UAV を用いた調査が主体となるため、国土交通省各地方整備局、及び民間業者の UAV リソースを把握したうえで、各調査手法について国土交通省直営で対応するか、災害協定業者に委託するか作業体制を整理する。また、災害協定業者に試験飛行や訓練に対する参加要請を行い、平常時から調査内容を共有しておくことが望ましい。

(2) 試験飛行の実施

実際に UAV による空撮を実施し、噴火後の取得データと比較可能な基礎データ（オルソフォト、3 次元地形データ）を作成する。試験飛行を踏まえて、天候変化や火山活動活発化を想定した中止基準を検討したうえで、対応計画を立案する。試験飛行また、実際の飛行することで飛行計画の実効性の検証を行い、課題を抽出して計画の改善を行う。

(3) センサー設置、データ伝送訓練

Web カメラや降灰厚計測ユニットは現地に設置して観測データを伝送することを想定しているため、事前に伝送試験を実施する必要がある。また、各種観測機器について、使用方法や UAV 運搬手法の訓練を実施しておくことが重要となる。なお、火山地域は様々な環境条件が想定されるため、多様な技術に対し、並列的に実証および訓練を行っていくことが望まれる。

(4) 緊急調査全体の机上訓練

本業務にて作成した技術選択フローに従い円滑に調査を実施するため、各火山の噴火シナリオ等を基に訓練シナリオを作成し、机上訓練を行う。訓練手法は各調査局面で規制区域や降灰の有無を付与条件として与えて、UAV 飛行計画等を基に調査実施の判断や課題を抽出する DIG 等を実施などが挙げられる。

3.1.3 必要資機材備蓄について

事前準備として、資機材（降灰ユニット、降灰スケール、降灰マーカー等）の備蓄は事務所単位ではなく、地方整備局単位で行うことも想定される。各山の調査計画は事務所レベルで検討した上で、その結果から整理された必要最低限の資機材数を地整単位でとりまとめて備蓄・共有するような流動的な運用を検討することも重要である（図 3-1）。

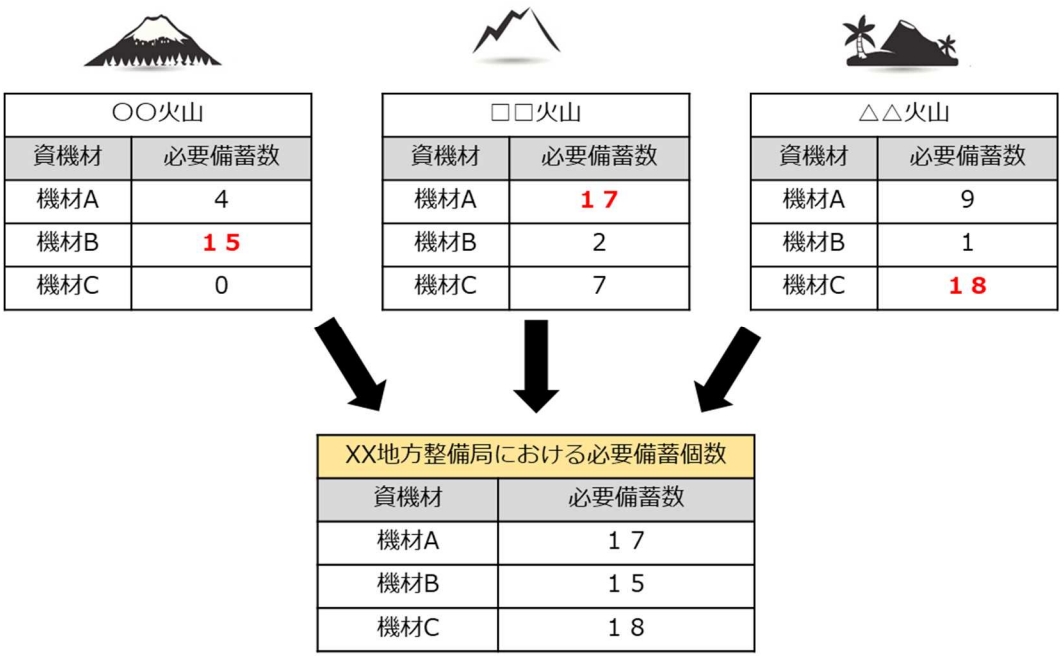


図 3-1：資機材備蓄の考え方

新技術を活用した降灰等調査計画
（ケーススタディ（令和3年3月実施））

対象火山

【有珠山】

■作成に当たっての前提条件

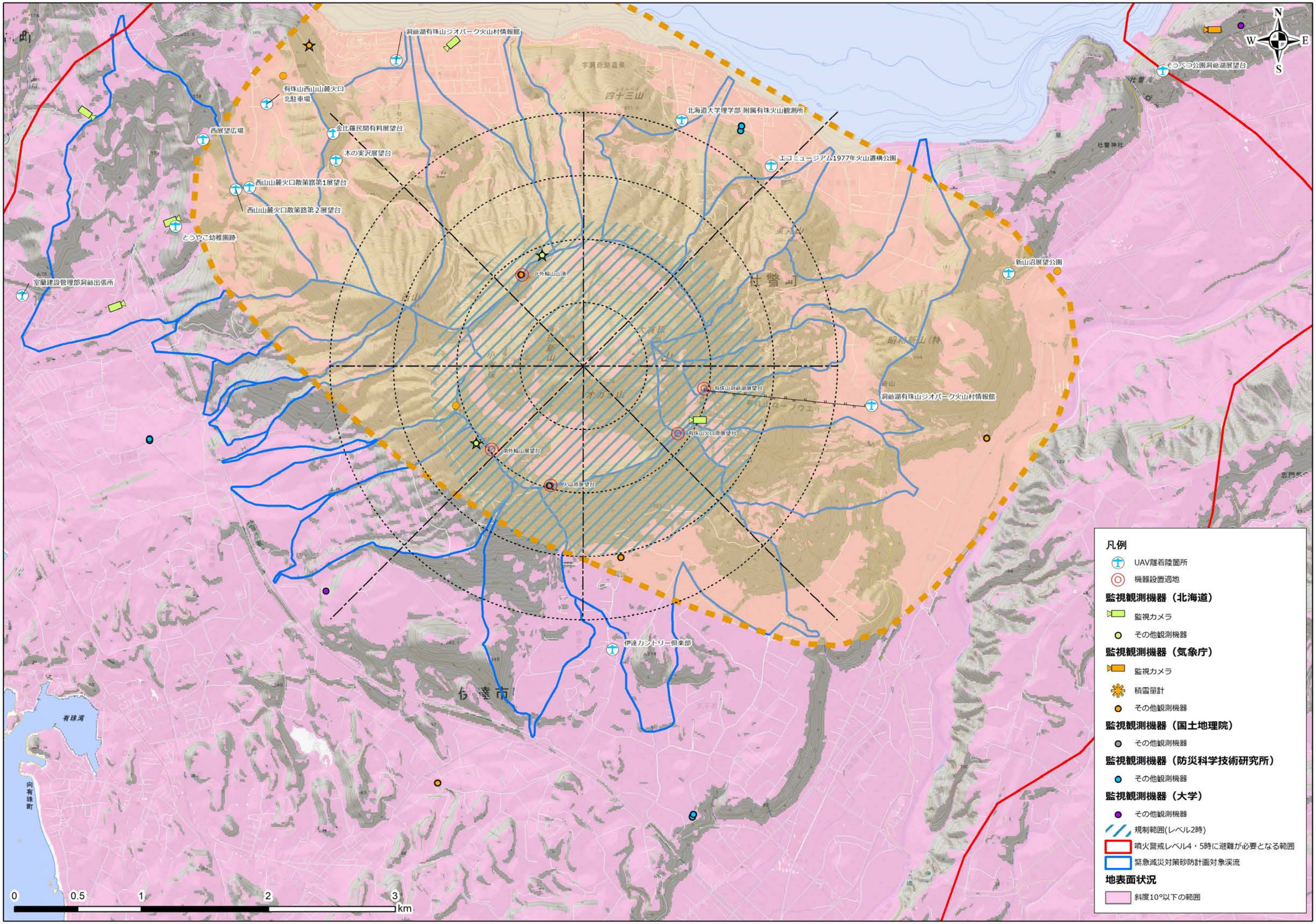
対象とした噴火警戒レベル	噴火警戒レベル2
対象とした火口	山頂
作成に当たっての留意事項	有珠山は山頂噴火の他、山麓噴火も想定されている。山頂噴火を想定した適地一覧は、山麓噴火の際、立入規制区域となることが考えられるため、想定火口を区分し、それぞれで適地一覧（UAV離発着地点）を検討する必要がある。

■添付資料

No	資料	No	資料
1	調査平面図		
2	適地一覧表		
3	特性分類フロー		
4	調査手法選択フロー		

■調査計画検討履歴

検討履歴	年月	検討履歴	年月
初版作成		第4回更新	
第1回更新		第5回更新	
第2回更新		第6回更新	
第3回更新		第7回更新	



洞爺湖有珠山ジオパーク火山村情報館
有珠山西山山麓火口
北駐車場
西展望広場
金比羅民間有料展望台
木の実沢展望台
西山山麓火口散策路第1展望台
西山山麓火口散策路第２展望台
とうやこ幼稚園跡
室蘭建設管理部洞爺出張所
北海道大学理学部 附属有珠火山観測所
エコミュージアム1977年火山遺構公園
そうべつ公園洞爺湖展望台
四十三山
壮瞥山
昭和新山
オガリ山
新山沼展望公園
洞爺湖有珠山ジオパーク火山村情報館
北外輪山山頂
有珠山洞爺湖展望台
有珠山火口原展望台
南外輪山展望台
火口原展望台
伊達カントリー倶楽部
伊達市
有珠湾
向有珠町
壮瞥神社
N
W
E
S
0
0.5
1
2
3
km
凡例
UAV離着陸箇所
機器設置適地
監視観測機器（北海道）
監視カメラ
その他観測機器
監視観測機器（気象庁）
監視カメラ
積雪量計
その他観測機器
監視観測機器（国土地理院）
その他観測機器
監視観測機器（防災科学技術研究所）
その他観測機器
監視観測機器（大学）
その他観測機器
規制範囲(レベル2時)
噴火警戒レベル4・5時に避難が必要となる範囲
緊急減災対策砂防計画対象渓流
地表面状況
斜度10°以下の範囲

火山名	有珠山（山頂噴火の場合）

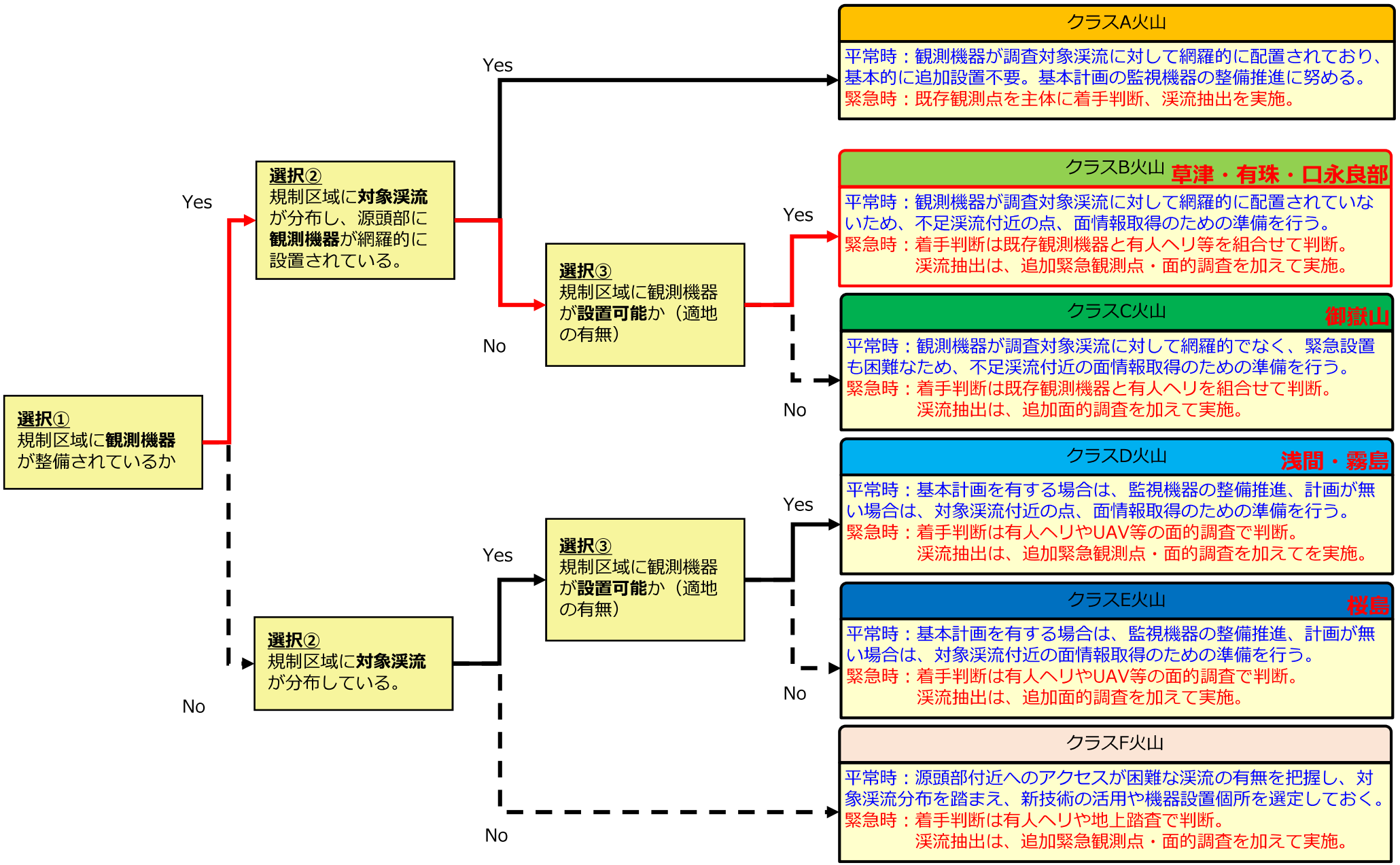
UAVタイプ別想定スペック				
	固定翼機	空撮限界距離(m)	260,000	※１
	回転翼機	空撮限界距離(m)	5,000	※２
		機器設置限界距離(m)	1,500	※３

（A）UAV離発着地点				（B）機器設置適地														
				地点位置情報						UAV活用判定			機器設置適地条件					
										回転翼		固定翼	地表面状況		携帯電話通信状況	LPWA通信環境	用地状況	
地点名	標高(m)	地権者	使用タイミング	地点名	標高(m)	A-B距離(m)	B-A比高(m)	縦断見通し（フレネルゾーン）	対象渓流	空撮	機器設置	空撮	斜度(°)	状況			地権者	調整状況
										○：空撮可	○：設置可	○：空撮可	○：10°以下	○：凹凸なし	○：通信可	○：通信可		○：調整済み
										×：空撮不可	×：設置不可	×：空撮不可	×：10°以上	×：凹凸あり	×：通信不可	×：通信不可		×：未調整
木の実沢展望台	188	※洞爺湖町	噴火警戒レベル２	北外輪山山頂	534	1787	346	※○	対象渓流A	○	×	○	※×	※○	○	※○	環境省	※×
				南外輪山展望台	525	2588	338	※○	対象渓流B	○	×	○	※○	※○	○	※○	国交省	※○
北海道大学理学部 附属有珠火山観測所	136	現地にて確認（※＝記入例）	噴火警戒レベル２	北外輪山山頂	534	1,530	398	縦断図を作成して確認（※＝記入	対象渓流A	○	×	○	現地にて確認（※＝記入例）		○	現地電波試験を実施して確認（※＝記入例）	現地にて確認（※＝記入例）	
エコミュージアム1977年火山遺構公園	131		噴火警戒レベル２	有珠山洞爺湖展望台	540	1,829	409		対象渓流C	○	×	○			○			
伊達カントリー倶楽部	166		噴火警戒レベル２	南外輪山展望台	525	1,842	359		対象渓流B	○	×	○			○			
				火口原展望台	467	1,382	301		対象渓流D	○	○	○			○			
				有珠山火口原展望台	569	1,779	403		対象渓流E	○	×	○			○			
⋮																		
洞爺湖有珠山ジオパーク火山村情報館	96		噴火警戒レベル２	有珠山洞爺湖展望台	540	1,328	445		対象渓流C	○	○	○			○			
				有珠山火口原展望台	569	1,543	473		対象渓流E	○	×	○			○			

※１：令和元年度本省業務成果より　　※２：火山地域における回転翼UAVの飛行実績より設定　　※３：H31年度九州技術事務所成果に記載の値(3km)を参考し、安全側を考慮して設定

※想定火口が広域に設定されている火山については、噴火発生場所に応じてUAV離着陸箇所や機器設置適地が柔軟に変化する噴火発生場所を想定火口を方位等で分割したエリアごとに整理する。

特性分類フロー（有珠山）


選択①
規制区域に観測機器が整備されているか
Yes
No
選択②
規制区域に対象渓流が分布し、源頭部に観測機器が網羅的に設置されている。
Yes
No
選択③
規制区域に観測機器が設置可能か（適地の有無）
Yes
No
選択②
規制区域に対象渓流が分布している。
Yes
No
選択③
規制区域に観測機器が設置可能か（適地の有無）
Yes
No
クラスA火山
平常時：観測機器が調査対象渓流に対して網羅的に配置されており、基本的に追加設置不要。基本計画の監視機器の整備推進に努める。
緊急時：既存観測点を主体に着手判断、渓流抽出を実施。
クラスB火山 草津・有珠・口永良部
平常時：観測機器が調査対象渓流に対して網羅的に配置されていないため、不足渓流付近の点、面情報取得のための準備を行う。
緊急時：着手判断は既存観測機器と有人ヘリ等を組合せて判断。
渓流抽出は、追加緊急観測点・面的調査を加えて実施。
クラスC火山 御嶽山
平常時：観測機器が調査対象渓流に対して網羅的でなく、緊急設置も困難なため、不足渓流付近の面情報取得のための準備を行う。
緊急時：着手判断は既存観測機器と有人ヘリを組合せて判断。
渓流抽出は、追加面的調査を加えて実施。
クラスD火山 浅間・霧島
平常時：基本計画を有する場合は、監視機器の整備推進、計画が無い場合は、対象渓流付近の点、面情報取得のための準備を行う。
緊急時：着手判断は有人ヘリやUAV等の面的調査で判断。
渓流抽出は、追加緊急観測点・面的調査を加えてを実施。
クラスE火山 桜島
平常時：基本計画を有する場合は、監視機器の整備推進、計画が無い場合は、対象渓流付近の面情報取得のための準備を行う。
緊急時：着手判断は有人ヘリやUAV等の面的調査で判断。
渓流抽出は、追加面的調査を加えて実施。
クラスF火山
平常時：源頭部付近へのアクセスが困難な渓流の有無を把握し、対象渓流分布を踏まえ、新技術の活用や機器設置個所を選定しておく。
緊急時：着手判断は有人ヘリや地上踏査で判断。
渓流抽出は、追加緊急観測点・面的調査を加えて実施。

調査手法選択フロー(有珠)

降灰の発生　緊急調査の着手判断をするための調査を開始

降灰厚面情報取得の調査手法

＜平常時・前兆期準備事項＞

【面情報取得に向けた準備状況】
- 有人航空機用のランドマークの抽出＋立ち入り規制範囲外のヘリ・有人航空機調査（噴火前後比較） (A)
- UAV用ランドマークの抽出＋UAVによる空撮（噴火前後比較） (B)
- UAVによるSfm（噴火前後比較用） (C)
- 衛星写真（噴火前後比較用）の確認 (D)

事前準備未実施

【面情報の取得】
- 立入規制範囲外のヘリ・有人航空機調査 → ヘリ写真による判読
- UAVによる空撮 → UAV空中写真
- UAVによるSfM → UAV-SfMによるオルソ作成
- 衛星 → 衛星写真による降灰分布

（UAVが飛行可能な天候）

↑※事前準備済みの場合でも下記(A)~(D)の内行わなかった調査手法を行う。

事前準備済

【面情報の取得】
- (A)立入規制範囲外のヘリ・有人航空機調査 → ヘリ目視+構造物による降灰厚把握
- (B) UAVによる空撮 → UAV空中写真＋構造物による降灰厚把握
- (C) UAVによるSfM → UAV-SfMによる2期時差分
- (D) 衛星 → 衛星SARによる2時期差分

（UAVが飛行可能な天候）

＜着手判断・初動期：レベル２時＞

降灰厚点情報取得の調査手法

＜平常時・前兆期準備事項＞

未設置

【点情報の取得】
- 立入規制範囲外の有人調査 → 定面積サンプリング法(規制外)
- UAVを用いた降灰厚の直接測定 → 降灰厚計測ﾃﾞﾊﾞｲｽによる降灰厚測定※

（UAVが飛行可能な天候）

↑※事前準備済みの場合でも必要に応じて上記調査を行う。

※現在実証段階

設置済

既存監視機器活用に向けた事前準備状況
- 積雪量計・自動降灰量計の有無 (A)
- 既設監視カメラ画角内に標尺の設置の有無 (B)

設置済

緊急設置機器活用に向けた事前準備状況 (C)

別表より機器設置適地の条件に応じて**設置適地ごとに手法を選択**
- 降灰厚調査ユニットの設置
- UAVによる投下型降灰厚スケールの設置 (立入規制内)
- 有人による観測機器(降灰マーカー等)の設置

【点情報の取得】

機器設置状況から活用可能な手法を選択
- 既設監視機器を活用できる場合 → 既設機器からデータ取得
- 既設監視機器を活用できる場合 → 既設カメラ画角内の標尺確認
- 緊急設置機器を活用できる場合 → 降灰厚調査ユニットからのデータ受信
- 緊急設置機器を活用できる場合 → UAV空撮による投下型降灰厚スケール撮影
- 緊急設置機器を活用できる場合 → UAV空撮による降灰マーカー撮影

（UAVが飛行可能な天候）

＜着手判断・初動期：レベル２時＞

(A)~(D)の順に優先して実施する

＜アウトプット精度＞

- 降灰状況に関する情報E（降灰分布のみ（厚さ不明））
- 降灰状況に関する情報D（降灰分布,厚さ数十cm程度）
- 降灰状況に関する情報C（降灰分布,厚さ10数cm程度）
- 降灰状況に関する情報B（降灰分布,厚さ数cm程度）
- 降灰状況に関する情報A（降灰分布,厚さ１cm程度）

＜作業時間＞

- 数日以内に完了
- 1日以内に完了
- 数時間以内に完了

＜実施可能状況＞

- 現状実施可能な対応
- 平常時あるいは前兆期からの準備で実施可能
- 技術進歩、インフラ整備により実施が可能

新技術を活用した降灰等調査計画
（ケーススタディ（令和3年3月実施））

対象火山

【草津白根山】

■作成に当たっての前提条件

対象とした噴火警戒レベル	噴火警戒レベル2
対象とした火口	湯釜
作成に当たっての留意事項	草津白根山では湯釜周辺で噴火が発生した場合と本白根山で噴火が発生した場合それぞれで、噴火警戒レベルが設定されている。従って、湯釜付近および本白根山それぞれで適地一覧（UAV離発着地点）を検討する必要がある。

■添付資料

No	資料	No	資料
1	調査平面図		
2	適地一覧表		
3	特性分類フロー		
4	調査手法選択フロー		

■調査計画検討履歴

検討履歴	年月	検討履歴	年月
初版作成		第4回更新	
第1回更新		第5回更新	
第2回更新		第6回更新	
第3回更新		第7回更新	

渋峠ホテル周辺駐車場
国道292号線沿い駐車場1
国道292号線沿いスペース1
山体西_東工大地震計・傾斜計
国道292号線沿いスペース2
国道292号線沿い待避所1
山体西__東大地震計
国道292号線沿いリフト終着点
湯釜
国道292号線沿いリフト終着点
国道292号線沿い工事業者詰め所
国道292号線沿いスペース6
国道292号線沿いスペース3
国道292号線沿い待避所4
湯の花旅館駐車場
国道292号線沿いスペース4
国道292号線沿い展望スペース
国道292号線沿いスペース5
国道292号線沿いスペース8
弓池
レストハウス駐車場1
レストハウス駐車場2
国道292号線沿い見晴らし台
国土交通省積雪計
国道292号線沿いスペース9
国道292号線沿い待避所3
白根火山ロープウェイ山頂駅跡
国道292号線沿い待避所2
青葉山レストラン跡
国道292号線沿いスペース7
中之条町
大池
N
W
E
S
0
0.5
1
2
3
km

凡例

UAV離発着箇所
機器設置適地

監視観測機器（国土交通省）

監視カメラ
積雪量計
その他観測機器

監視観測機器（気象庁）

監視カメラ
その他観測機器

監視観測機器（大学）

監視カメラ
その他観測機器
規制範囲 湯釜火口から500m(レベル1時)
規制範囲 湯釜火口から1km(レベル2時)
規制範囲 湯釜火口から2km(レベル3時)
道路規制(レベル1時)
道路規制(レベル2時)
道路規制(レベル3時)
立ち入り規制箇所
緊急減災対策砂防計画対象渓流
緊急調査対象渓流

地表面状況

斜度10°以下の範囲

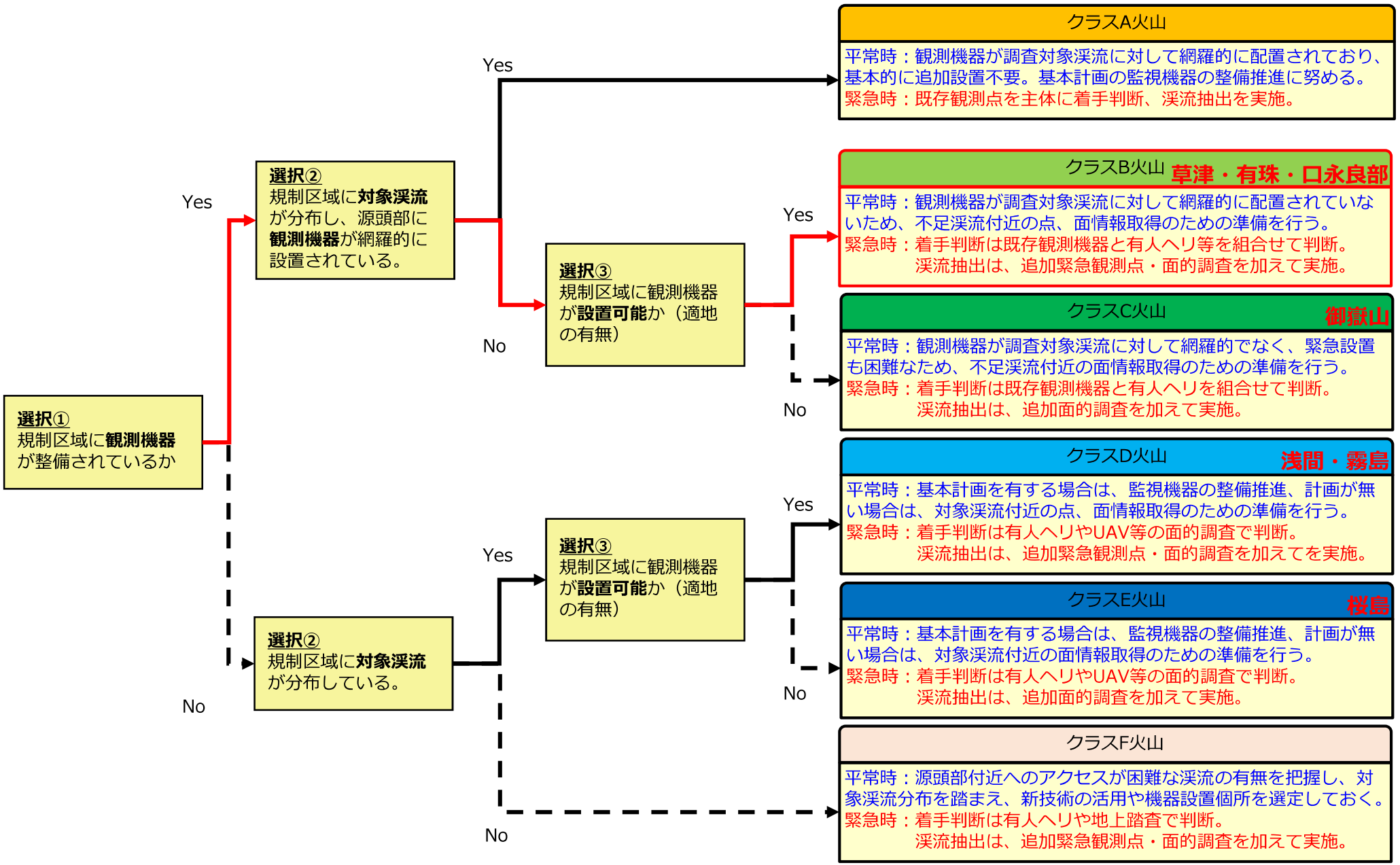
火山名	草津白根山（湯釜）

UAVタイプ別想定スペック			
固定翼機	空撮限界距離(m)	260,000	※1
回転翼機	空撮限界距離(m)	5,000	※2
	機器設置限界距離(m)	1,500	※3

（A）UAV離発着地点				（B）機器設置適地														
				地点位置情報						UAV活用判定			機器設置適地条件					
										回転翼		固定翼	地表面状況		携帯電話	LPWA通信	用地状況	
地点名	標高(m)	地権者	使用タイミング	地点名	標高(m)	A-B距離(m)	B-A比高(m)	縦断見通し（フレネルゾーン）	対象渓流	空撮	機器設置	空撮	斜度(°)	状況	通信状況	環境	地権者	調整状況
										○：空撮可	○：設置可	○：空撮可	○：10°以下	○：凹凸なし	○：通信可	○：通信可		○：調整済み
										×：空撮不可	×：設置不可	×：空撮不可	×：10°以上	×：凹凸あり	×：通信不可	×：通信不可		×：未調整
国道292号線沿いリフト終着点	2,010	※群馬県	噴火警戒レベル２	レストハウス駐車場1	2,019	1155	9	※○	渓流A	○	○	○	○	○	○	○	国交省	○
				レストハウス駐車場2	2,007	1454	-3	※○	渓流A	○	○	○	○	○	○	○	国交省	○
				国土交通省積雪計	2,016	1600	6	※×	渓流A	○	×	○	○	○	○	×	国交省	○
				国道292号線沿いスペース6	1,990	1913	-20	※×	渓流A	○	×	○	○	○	○	×	国交省	○
渋峠ホテル周辺駐車場 湯の花旅館駐車場	2,153 1,763	現地にて確認（※＝記入例）	噴火警戒レベル３	国道292号線沿い駐車場1	2,070	1,646	-83	縦断図を作成して確認（※＝記入例）	渓流B	○	×	○	現地にて確認（※＝記入例）		○	現地電波試験を実施して確認（※＝記入例）	現地にて確認（※＝記入例）	
				山体西_東工大地震計・傾斜計	2,094	1,704	-59		渓流B	○	×	○			○			
				山体西_東大地震計	2,158	1,912	5		渓流B	○	×	○			○			
				国道292号線沿いスペース1	2,060	1,839	-93		渓流C	○	×	○			○			
				国道292号線沿いスペース2	2,060	1,965	-93		渓流C	○	×	○			○			
				国道292号線沿い待避所1	2,031	1,011	268		渓流C	○	○	○			○			
				国道292号線沿いリフト終着点	2,010	808	247		渓流C	○	○	○			○			
				国道292号線沿いスペース3	1,978	1,216	215		渓流C	○	○	○			○			
				国道292号線沿いスペース4	1,966	1,226	203		渓流C	○	○	○			○			
				国道292号線沿い工事業者詰め所	1,982	1,337	219		渓流D	○	○	○			○			
				国道292号線沿いスペース5	1,982	1,294	219		渓流D	○	○	○			○			
				レストハウス駐車場1	2,019	1,846	256		渓流D	○	×	○			○			
				レストハウス駐車場2	2,007	2,128	244		渓流D	○	×	○			○			
				国土交通省積雪計	2,016	2,255	253		渓流D	○	×	○			○			
青葉山レストラン跡	1,543		噴火警戒レベル２ 噴火警戒レベル３	国道292号線沿いスペース6	1,990	2,362	447		渓流D	○	×	○			○			
				国道292号線沿いスペース7	1,974	2,143	431		渓流E	○	×	○			○			
				国道292号線沿い待避所2	1,958	1,938	415		渓流E	○	×	○			○			
				国道292号線沿い待避所3	1,939	1,691	396		渓流F	○	×	○			○			
				国道292号線沿い待避所4	1,912	1,862	369		渓流F	○	×	○			○			
				国道292号線沿い展望スペース	1,881	1,515	338		渓流F	○	×	○			○			
				国道292号線沿いスペース8	1,828	1,365	285		渓流F	○	○	○			○			
				国道292号線沿いスペース9	1,826	1,343	283		渓流G	○	○	○			○			
				国道292号線沿い見晴らし台	1,779	1,085	236		渓流G	○	○	○			○			
				白根火山ロープウェイ山頂駅跡	2,022	2,476	479		渓流G	○	×	○			○			

※1：令和元年度本省業務成果より　　※2：火山地域における回転翼UAVの飛行実績より設定　　※3：H31年度九州技術事務所成果に記載の値(3km)を参考し、安全側を考慮して設定

特性分類フロー（草津白根山）



調査手法選択フロー(草津白根山)

降灰の発生　緊急調査の着手判断をするための調査を開始

降灰厚面情報取得の調査手法

＜平常時・前兆期準備事項＞

【面情報取得に向けた準備状況】
- □ 有人航空機用のランドマークの抽出＋立ち入り規制範囲外のヘリ・有人航空機調査（噴火前後比較） (A)
- □ UAV用ランドマークの抽出＋UAVによる空撮（噴火前後比較） (B)
- □ UAVによるSfm（噴火前後比較用） (C)
- □ 衛星写真（噴火前後比較用）の確認 (D)

事前準備未実施

＜着手判断・初動期：レベル２時＞

【面情報の取得】
- ● 立入規制範囲外のヘリ・有人航空機調査 → ヘリ写真による判読
- ● UAVによる空撮 → UAV空中写真
- ● UAVによるSfM → UAV-SfMによるオルソ作成
- ● 衛星 → 衛星写真による降灰分布

UAVが飛行可能な天候

↑※事前準備済みの場合でも下記(A)~(D)の内行わなかった調査手法を行う。

事前準備済

【面情報の取得】
- (A)立入規制範囲外のヘリ・有人航空機調査 → ヘリ目視+構造物による降灰厚把握
- (B) UAVによる空撮 → UAV空中写真＋構造物による降灰厚把握
- (C) UAVによるSfM → UAV-SfMによる2期時差分
- (D) 衛星 → 衛星SARによる2時期差分

UAVが飛行可能な天候

降灰厚点情報取得の調査手法

＜平常時・前兆期準備事項＞

未設置

【点情報の取得】
- □ 立入規制範囲外の有人調査 → 定面積サンプリング法(規制外)
- □ UAVを用いた降灰厚の直接測定 → 降灰厚計測ﾃﾞﾊﾞｲｽによる降灰厚測定※

UAVが飛行可能な天候

↑※事前準備済みの場合でも必要に応じて上記調査を行う。

※現在実証段階

＜着手判断・初動期：レベル２時＞

既存監視機器活用に向けた事前準備状況
- ☑ 積雪量計・~~自動降灰量計~~の有無 (A)
- □ 既設監視カメラ画角内に標尺の設置の有無 (B)

設置済

緊急設置機器活用に向けた事前準備状況 (C)

別表より機器設置適地の条件に応じて**設置適地ごとに手法を選択**
- □ 降灰厚調査ユニットの設置
- □ UAVによる投下型降灰厚スケールの設置 (立入規制内)
- □ 有人による観測機器(降灰マーカー等)の設置

設置済

【点情報の取得】
- 既設監視機器を活用できる場合
- 緊急設置機器を活用できる場合

機器設置状況から活用可能な手法を選択
- → 既設機器からデータ取得
- → 既設カメラ画角内の標尺確認
- → 降灰厚調査ユニットからのデータ受信
- → UAV空撮による投下型降灰厚スケール撮影
- → UAV空撮による降灰マーカー撮影

UAVが飛行可能な天候

(A)~(D)の順に優先して実施する

＜アウトプット精度＞
- 降灰状況に関する情報E（降灰分布のみ（厚さ不明））
- 降灰状況に関する情報D（降灰分布,厚さ数十cm程度）
- 降灰状況に関する情報C（降灰分布,厚さ10数cm程度）
- 降灰状況に関する情報B（降灰分布,厚さ数cm程度）
- 降灰状況に関する情報A（降灰分布,厚さ１cm程度）

＜作業時間＞
- 数日以内に完了
- 1日以内に完了
- 数時間以内に完了

＜実施可能状況＞
- 現状実施可能な対応
- 平常時あるいは前兆期からの準備で実施可能
- 技術進歩、インフラ整備により実施が可能

新技術を活用した降灰等調査計画
（ケーススタディ（令和3年3月実施））

対象火山

【浅間山】

■作成に当たっての前提条件

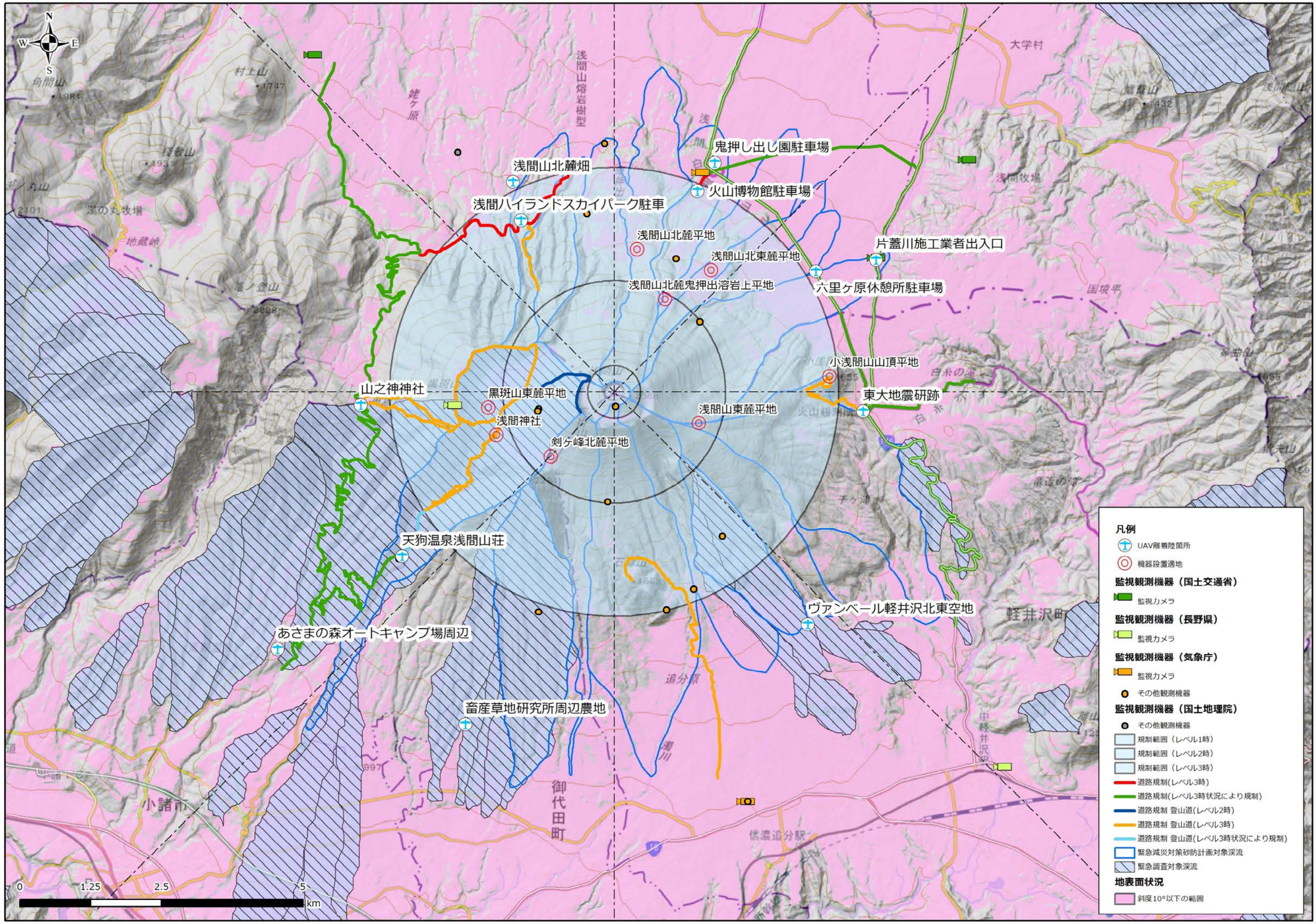
対象とした噴火警戒レベル	噴火警戒レベル2
対象とした火口	山頂
作成に当たっての留意事項	

■添付資料

No	資料	No	資料
1	調査平面図		
2	適地一覧表		
3	特性分類フロー		
4	調査手法選択フロー		

■調査計画検討履歴

検討履歴	年月	検討履歴	年月
初版作成		第4回更新	
第1回更新		第5回更新	
第2回更新		第6回更新	
第3回更新		第7回更新	


N
W
E
S
浅間山北麓畑
浅間ハイランドスカイパーク駐車
鬼押し出し園駐車場
火山博物館駐車場
浅間山北麓平地
浅間山北東麓平地
浅間山北麓鬼押出溶岩上平地
片蓋川施工業者出入口
六里ケ原休憩所駐車場
小浅間山山頂平地
東大地震研跡
山之神神社
黒斑山東麓平地
浅間神社
剣ケ峰北麓平地
浅間山東麓平地
天狗温泉浅間山荘
あさまの森オートキャンプ場周辺
畜産草地研究所周辺農地
ヴァンベール軽井沢北東空地
凡例
UAV離着陸箇所
機器設置適地
監視観測機器（国土交通省）
監視カメラ
監視観測機器（長野県）
監視カメラ
監視観測機器（気象庁）
監視カメラ
その他観測機器
監視観測機器（国土地理院）
その他観測機器
規制範囲（レベル1時）
規制範囲（レベル2時）
規制範囲（レベル3時）
道路規制(レベル3時)
道路規制(レベル3時状況により規制)
道路規制 登山道(レベル2時)
道路規制 登山道(レベル3時)
道路規制 登山道(レベル3時状況により規制)
緊急減災対策砂防計画対象渓流
緊急調査対象渓流
地表面状況
斜度10°以下の範囲
0
1.25
2.5
5
km

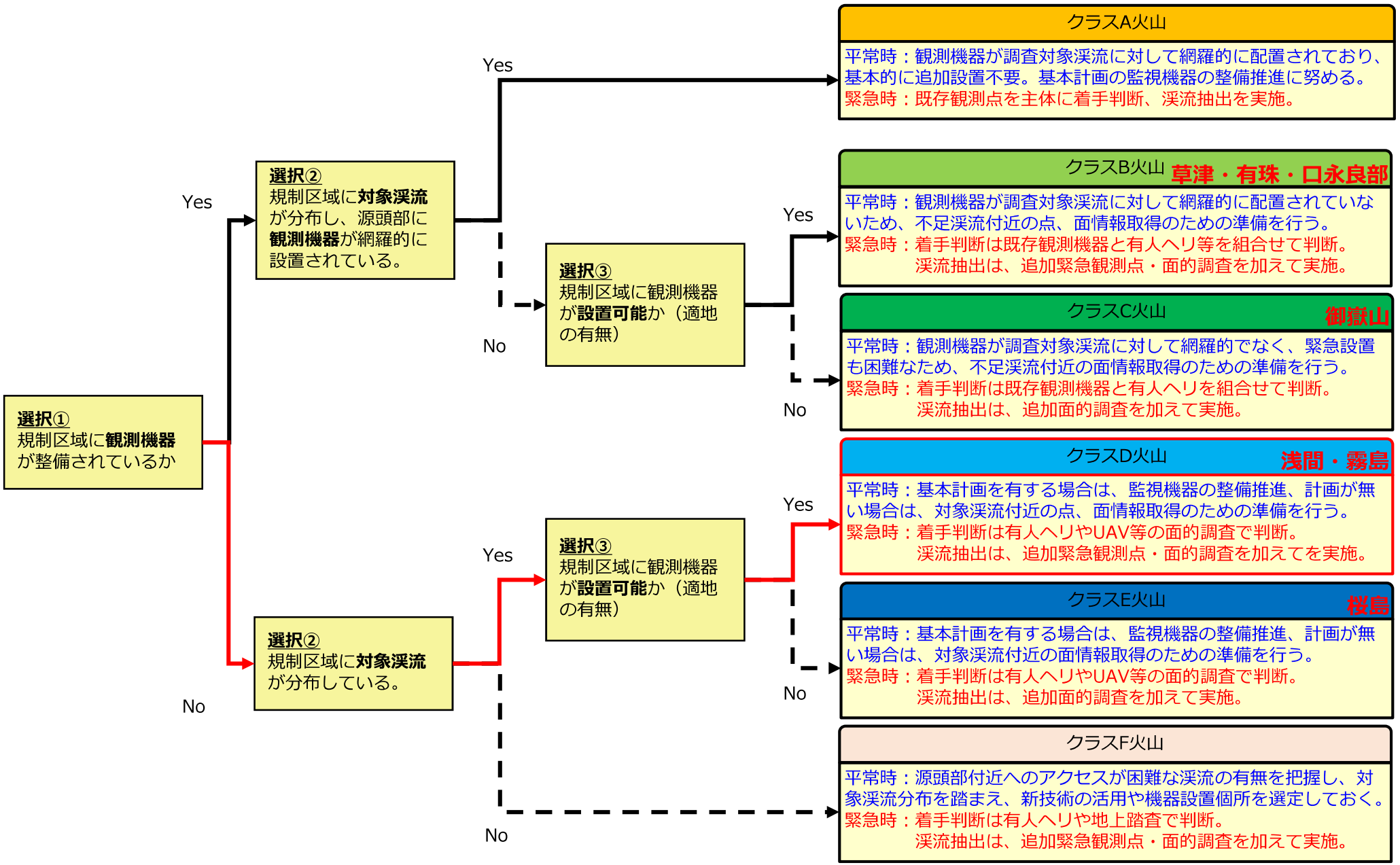
火山名	浅間山

UAVタイプ別想定スペック				
	固定翼機	空撮限界距離(m)	260,000	※1
	回転翼機	空撮限界距離(m)	5,000	※2
		機器設置限界距離(m)	1,500	※3

（A）UAV離発着地点				（B）機器設置適地														
				地点位置情報						UAV活用判定			機器設置適地条件					
										回転翼		固定翼	地表面状況		携帯電話	LPWA通信	用地状況	
地点名	標高(m)	地権者	使用タイミング	地点名	標高(m)	A-B距離(m)	B-A比高(m)	縦断見通し(フレネルゾーン)	対象渓流	空撮	機器設置	空撮	斜度(°)	状況	通信状況	環境	地権者	調整状況
										○：空撮可	○：設置可	○：空撮可	○：10°以下	○：凹凸なし	○：通信可	○：通信可		○：調整済み
										×：空撮不可	×：設置不可	×：空撮不可	×：10°以上	×：凹凸あり	×：通信不可	×：通信不可		×：未調整
火山博物館駐車場	1,375	※長野原町	噴火警戒レベル２（L3時も状況により使用可）	浅間山北麓鬼押出溶岩上平地	1,795	1991	420	※○	渓流A	○	×	○	※○	※○	○	※○	※長野原町	○
				浅間山北東麓平地	1,602	1415.8	227	※○	渓流B	○	○	○	※○	※○	○	※○	※長野原町	○
				浅間山北麓平地	1,615	1477.3	240	※×	渓流C	○	○	○	※○	※○	○	※×	※長野原町	○
天狗温泉浅間山荘	1,407	現地にて確認（※＝記入例）	噴火警戒レベル２（L3時も状況により使用可）	浅間神社	1,995	2,714	589	縦断図を作成して確認（※＝記入例）	渓流D	○	×	○	現地にて確認（※＝記入例）		△(NTT×)	現地電波試験を実施して確認（※＝記入例）	現地にて確認（※＝記入例）	
				黒斑山東麓平地	2,035	3,040	628		渓流E	○	×	○			△(NTT×)			
				剣ヶ峰北麓平地	2,089	3,165	682		渓流F	○	×	○			△(NTT×)			
あさまの森オートキャンプ場周辺	1,110		噴火警戒レベル２・３	浅間神社	1,995	5,407	886		渓流D	×	×	○			△(NTT×)			
				黒斑山東麓平地	2,035	5,665	925		渓流E	×	×	○			△(NTT×)			
				剣ヶ峰北麓平地	2,089	5,905	979		渓流F	×	×	○			△(NTT×)			
畜産草地研究所周辺農地	1,109		噴火警戒レベル２・３	剣ヶ峰北麓平地	2,089	4,958	980		渓流F	○	×	○			△(NTT×)			
ヴァンペール	1,190		噴火警戒レベル２・３	浅間山東麓平地	2,155	4,042	965		渓流G	○	×	○			△(NTT×)			
東大地震研跡	1,407		噴火警戒レベル２（L3時も状況により使用可）	浅間山東麓平地	2,155	2,912	747		渓流G	○	×	○			△(NTT×)			
				小浅間山山頂平地	1,655	851	248		渓流H	○	○	○			○			
片蓋川施工業者出入口	1,321		噴火警戒レベル２（L3時も状況により使用可）	小浅間山山頂平地	1,655	2,217	334		渓流H	○	×	○			○			
				浅間山北麓鬼押出溶岩上平地	1,795	3,795	474		渓流A	○	×	○			○			
				浅間山北東麓平地	1,602	2,918	281		渓流B	○	×	○			○			
六里ヶ原休憩所駐車場	1,396		噴火警戒レベル２（L3時も状況により使用可）	小浅間山山頂平地	1,655	1,875	259		渓流H	○	×	○			○			
				浅間山北麓鬼押出溶岩上平地	1,795	2,711	399		渓流A	○	×	○			○			
				浅間山北東麓平地	1,602	1,847	206		渓流B	○	×	○			○			
鬼押し出し園駐車場	1,325		噴火警戒レベル２（L3時も状況により使用可）	浅間山北麓鬼押出溶岩上平地	1,795	2,563	470		渓流A	○	×	○			○			
				浅間山北東麓平地	1,602	1,898	277		渓流B	○	×	○			○			
				浅間山北麓平地	1,615	2,049	289		渓流C	○	×	○			○			
山之神神社	1,981		噴火警戒レベル２	浅間神社	1,995	2,463	14		渓流D	○	×	○			△(NTT×)			
				黒斑山東麓平地	2,035	2,261	53		渓流E	○	×	○			△(NTT×)			
				剣ヶ峰北麓平地	2,089	3,484	107		渓流F	○	×	○			△(NTT×)			
浅間ﾊｲﾗﾝﾄﾞｽｶｲﾊﾟｰｸ駐車場	1,525		噴火警戒レベル２	浅間山北麓平地	1,615	2,114	90		渓流C	○	×	○			○			
浅間山北麓農地	1,414		噴火警戒レベル２・３	浅間山北麓平地	1,615	2,490	201		渓流C	○	×	○			○			

※1：令和元年度本省業務成果より　　※2：火山地域における回転翼UAVの飛行実績より設定　　※3：H31年度九州技術事務所成果に記載の値(3km)を参考し、安全側を考慮して設定

特性分類フロー（浅間）


選択①
規制区域に観測機器が整備されているか
Yes
No
選択②
規制区域に対象渓流が分布し、源頭部に観測機器が網羅的に設置されている。
選択②
規制区域に対象渓流が分布している。
Yes
No
選択③
規制区域に観測機器が設置可能か（適地の有無）
選択③
規制区域に観測機器が設置可能か（適地の有無）
Yes
No
Yes
No
クラスA火山
平常時：観測機器が調査対象渓流に対して網羅的に配置されており、基本的に追加設置不要。基本計画の監視機器の整備推進に努める。
緊急時：既存観測点を主体に着手判断、渓流抽出を実施。
クラスB火山 草津・有珠・口永良部
平常時：観測機器が調査対象渓流に対して網羅的に配置されていないため、不足渓流付近の点、面情報取得のための準備を行う。
緊急時：着手判断は既存観測機器と有人ヘリ等を組合せて判断。
渓流抽出は、追加緊急観測点・面的調査を加えて実施。
クラスC火山 御嶽山
平常時：観測機器が調査対象渓流に対して網羅的でなく、緊急設置も困難なため、不足渓流付近の面情報取得のための準備を行う。
緊急時：着手判断は既存観測機器と有人ヘリを組合せて判断。
渓流抽出は、追加面的調査を加えて実施。
クラスD火山 浅間・霧島
平常時：基本計画を有する場合は、監視機器の整備推進、計画が無い場合は、対象渓流付近の点、面情報取得のための準備を行う。
緊急時：着手判断は有人ヘリやUAV等の面的調査で判断。
渓流抽出は、追加緊急観測点・面的調査を加えてを実施。
クラスE火山 桜島
平常時：基本計画を有する場合は、監視機器の整備推進、計画が無い場合は、対象渓流付近の面情報取得のための準備を行う。
緊急時：着手判断は有人ヘリやUAV等の面的調査で判断。
渓流抽出は、追加面的調査を加えて実施。
クラスF火山
平常時：源頭部付近へのアクセスが困難な渓流の有無を把握し、対象渓流分布を踏まえ、新技術の活用や機器設置個所を選定しておく。
緊急時：着手判断は有人ヘリや地上踏査で判断。
渓流抽出は、追加緊急観測点・面的調査を加えて実施。

調査手法選択フローひな型（クラスD）

降灰の発生　緊急調査の着手判断をするための調査を開始

降灰厚面情報取得の調査手法

＜平常時・前兆期準備事項＞

【面情報取得に向けた準備状況】
- 有人航空機用のランドマークの抽出＋立ち入り規制範囲外のヘリ・有人航空機調査（噴火前後比較） (A)
- UAV用ランドマークの抽出＋UAVによる空撮（噴火前後比較） (B)
- UAVによるSfm（噴火前後比較用） (C)
- 衛星写真（噴火前後比較用）の確認 (D)

事前準備未実施

【面情報の取得】
- 立入規制範囲外のヘリ・有人航空機調査 → ヘリ写真による判読
- UAVによる空撮 → UAV空中写真
- UAVによるSfM → UAV-SfMによるオルソ作成
- 衛星 → 衛星写真による降灰分布

（UAVが飛行可能な天候）

↑※事前準備済みの場合でも下記(A)~(D)の内行わなかった調査手法を行う。

事前準備済

【面情報の取得】
- (A)立入規制範囲外のヘリ・有人航空機調査 → ヘリ目視+構造物による降灰厚把握
- (B) UAVによる空撮 → UAV空中写真＋構造物による降灰厚把握
- (C) UAVによるSfM → UAV-SfMによる2期時差分
- (D) 衛星 → 衛星SARによる2時期差分

（UAVが飛行可能な天候）

＜着手判断・初動期：レベル２時＞

降灰厚点情報取得の調査手法

＜平常時・前兆期準備事項＞

未設置

【点情報の取得】
- 立入規制範囲外の有人調査 → 定面積サンプリング法(規制外)
- UAVを用いた降灰厚の直接測定 → 降灰厚計測ﾃﾞﾊﾞｲｽによる降灰厚測定※

（UAVが飛行可能な天候）

↑※事前準備済みの場合でも必要に応じて上記調査を行う。

※現在実証段階

設置済

既存監視機器活用に向けた事前準備状況
- 積雪量計・自動降灰量計の有無
- 既設監視カメラ画角内に標尺の設置の有無

設置済

緊急設置機器活用に向けた事前準備状況 (A)

別表より機器設置適地の条件に応じて**設置適地ごとに手法を選択**
- 降灰厚調査ユニットの設置
- UAVによる投下型降灰厚スケールの設置 (立入規制内)
- 有人による観測機器(降灰マーカー等)の設置

【点情報の取得】

機器設置状況から活用可能な手法を選択
- 既設監視機器を活用できる場合 → 既設機器からデータ取得
- 既設監視機器を活用できる場合 → 既設カメラ画角内の標尺確認
- 緊急設置機器を活用できる場合 → 降灰厚調査ユニットからのデータ受信
- 緊急設置機器を活用できる場合 → UAV空撮による投下型降灰厚スケール撮影
- 緊急設置機器を活用できる場合 → UAV空撮による降灰マーカー撮影

（UAVが飛行可能な天候）

＜着手判断・初動期：レベル２時＞

(A)~(E)の順に優先して実施する

＜アウトプット精度＞

- 降灰状況に関する情報E（降灰分布のみ（厚さ不明））
- 降灰状況に関する情報D（降灰分布,厚さ数十cm程度）
- 降灰状況に関する情報C（降灰分布,厚さ10数cm程度）
- 降灰状況に関する情報B（降灰分布,厚さ数cm程度）
- 降灰状況に関する情報A（降灰分布,厚さ１cm程度）

＜作業時間＞

- 数日以内に完了
- 1日以内に完了
- 数時間以内に完了

＜実施可能状況＞

- 現状実施可能な対応
- 平常時あるいは前兆期からの準備で実施可能
- 技術進歩、インフラ整備により実施が可能

新技術を活用した降灰等調査計画
（ケーススタディ（令和3年3月実施））

対象火山

【御嶽山】

■作成に当たっての前提条件

対象とした噴火警戒レベル	噴火警戒レベル2
対象とした火口	79-7火口*
作成に当たっての留意事項	

*1977年の噴火で発生した火口のうち、現在も噴気活動が継続している火口

■添付資料

No	資料	No	資料
1	調査平面図		
2	適地一覧表		
3	特性分類フロー		
4	調査手法選択フロー		

■調査計画検討履歴

検討履歴	年月	検討履歴	年月
初版作成		第4回更新	
第1回更新		第5回更新	
第2回更新		第6回更新	
第3回更新		第7回更新	

チャオ御嶽マウントリゾート駐車場
御嶽パノラマグラウンド
濁河温泉市営露天風呂駐車場
飛騨頂上
開田高原マイアスキー場
飯森高原駅
鹿ノ瀬駅
八海山神社前転回スペース
油木美林遊歩道駐車場
田の原駐車場
おんたけ2240スキー場
4km
3km
2km
1km
下呂市
木曽郡
0
1.25
2.5
5
7.5
10
km

凡例

UAV離着陸箇所

監視観測機器（国土交通省）

監視カメラ
その他観測機器

監視観測機器（岐阜県）

積雪量計
その他観測機器

監視観測機器（長野県）

積雪量計
その他観測機器

監視観測機器（気象庁）

監視カメラ
積雪量計
その他観測機器

監視観測機器（国土地理院）

その他観測機器

監視観測機器（防災科学技術研究所）

その他観測機器

監視観測機器（水資源機構）

その他観測機器

監視観測機器（大学）

積雪量計
その他観測機器

地元自治体による現在の立入規制範囲
道路規制（レベル2時 火口から概ね1kmまで）
道路規制（レベル3時 火口から概ね2kmまで）
道路規制（レベル3時 火口から概ね3kmまで）
道路規制（レベル3時 火口から居住地域近くまで）
緊急減災対策砂防計画対象渓流
緊急調査対象渓流

地表面状況

斜度10°以下の範囲

火山名	御嶽山

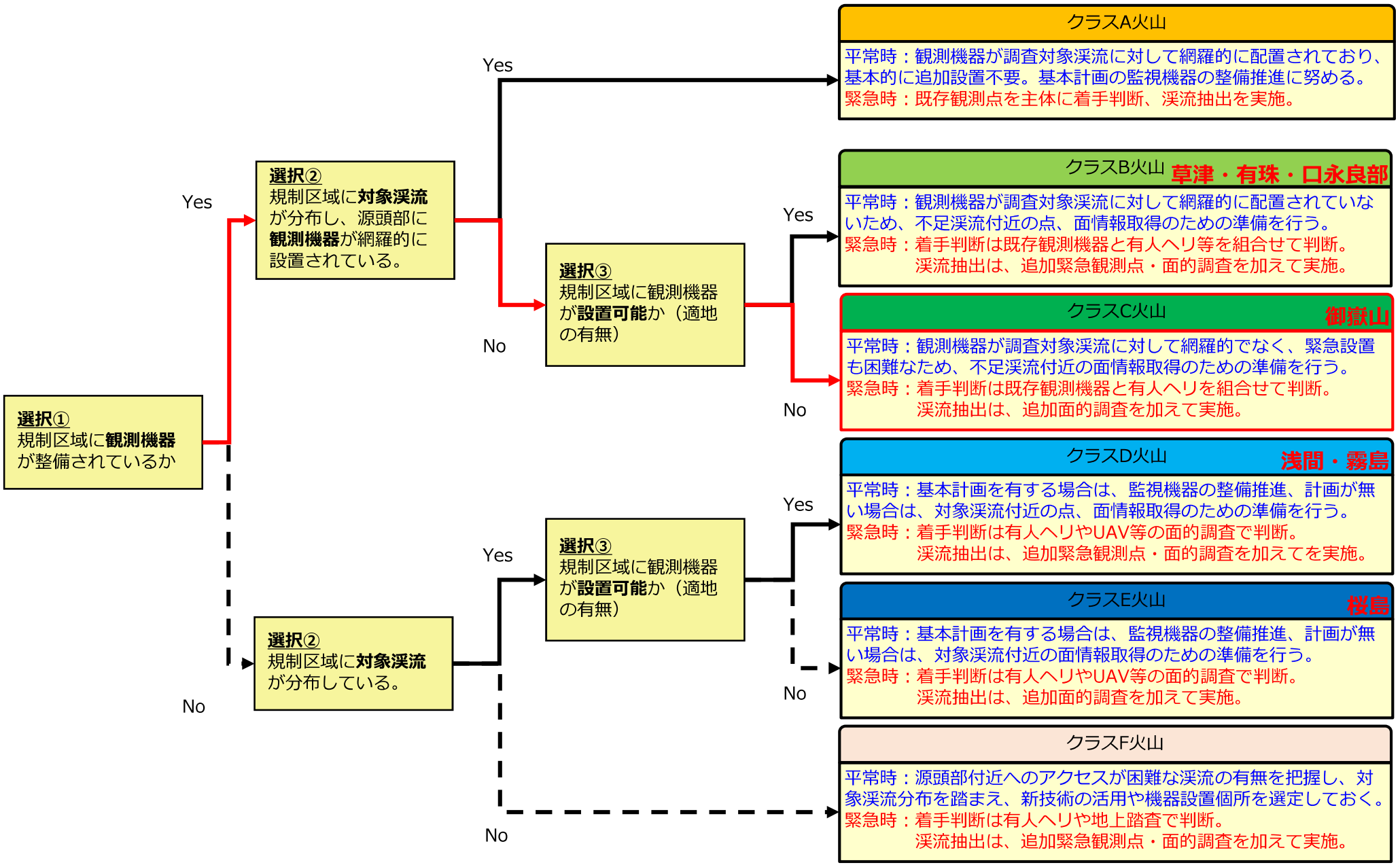
UAVタイプ別想定スペック			
固定翼機	空撮限界距離(m)	260,000	※1
回転翼機	空撮限界距離(m)	5,000	※2
	機器設置限界距離(m)	1,500	※3

（A）UAV離発着地点				（B）機器設置適地														
				地点位置情報						UAV活用判定			機器設置適地条件					
										回転翼		固定翼	地表面状況		携帯電話通信状況	LPWA通信環境	用地状況	
地点名	標高(m)	地権者	使用タイミング	地点名	標高(m)	A-B距離(m)	B-A比高(m)	縦断見通し（フレネルゾーン）	対象渓流	空撮	機器設置	空撮	斜度(°)	状況			地権者	調整状況
										○：空撮可	○：設置可	○：空撮可	○：10°以下	○：凹凸なし	○：通信可	○：通信可		○：調整済み
										×：空撮不可	×：設置不可	×：空撮不可	×：10°以上	×：凹凸あり	×：通信不可	×：通信不可		×：未調整
チャオ御岳マウントリゾート駐車場	1,792	飛騨森林都市企画株式会社	噴火警戒レベル２・３	適地なし						－	－	－	－	－	－	－	－	－
開田高原マイアスキー場	1,545		噴火警戒レベル２・３	適地なし						－	－	－	－	－	－	－	－	－
御嶽パノラマグラウンド	1,632		噴火警戒レベル２・３	適地なし						－	－	－	－	－	－	－	－	－
濁河温泉 市営露天風呂駐車場	1,731		噴火警戒レベル２・３	適地なし						－	－	－	－	－	－	－	－	－
鹿ノ瀬駅	1,567		噴火警戒レベル２・３	適地なし						－	－	－	－	－	－	－	－	－
飛騨頂上	2,801		噴火警戒レベル２・３	適地なし						－	－	－	－	－	－	－	－	－
飯森高原駅	2,132		噴火警戒レベル２・３	適地なし						－	－	－	－	－	－	－	－	－
八海山神社前転回スペース	1,481		噴火警戒レベル２・３	適地なし						－	－	－	－	－	－	－	－	－
田の原駐車場	2,196		噴火警戒レベル２・３	適地なし						－	－	－	－	－	－	－	－	－
油木美林遊歩道 駐車場	1,186		噴火警戒レベル２・３	適地なし						－	－	－	－	－	－	－	－	－
⋮																		
おんたけ2240スキー場	1,678		噴火警戒レベル２・３	適地なし						－	－	－	－	－	－	－	－	－

現地にて確認（※＝記入）

※１：令和元年度本省業務成果より　　※２：火山地域における回転翼UAVの飛行実績より設定　　※３：H31年度九州技術事務所成果に記載の値(3km)を参考し、安全側を考慮して設定

特性分類フロー（御嶽山）


選択①
規制区域に観測機器が整備されているか
Yes
No
選択②
規制区域に対象渓流が分布し、源頭部に観測機器が網羅的に設置されている。
Yes
No
選択③
規制区域に観測機器が設置可能か（適地の有無）
Yes
No
クラスA火山
平常時：観測機器が調査対象渓流に対して網羅的に配置されており、基本的に追加設置不要。基本計画の監視機器の整備推進に努める。
緊急時：既存観測点を主体に着手判断、渓流抽出を実施。
クラスB火山 草津・有珠・口永良部
平常時：観測機器が調査対象渓流に対して網羅的に配置されていないため、不足渓流付近の点、面情報取得のための準備を行う。
緊急時：着手判断は既存観測機器と有人ヘリ等を組合せて判断。
渓流抽出は、追加緊急観測点・面的調査を加えて実施。
クラスC火山 御嶽山
平常時：観測機器が調査対象渓流に対して網羅的でなく、緊急設置も困難なため、不足渓流付近の面情報取得のための準備を行う。
緊急時：着手判断は既存観測機器と有人ヘリを組合せて判断。
渓流抽出は、追加面的調査を加えて実施。
選択②
規制区域に対象渓流が分布している。
No
選択③
規制区域に観測機器が設置可能か（適地の有無）
Yes
No
クラスD火山 浅間・霧島
平常時：基本計画を有する場合は、監視機器の整備推進、計画が無い場合は、対象渓流付近の点、面情報取得のための準備を行う。
緊急時：着手判断は有人ヘリやUAV等の面的調査で判断。
渓流抽出は、追加緊急観測点・面的調査を加えてを実施。
クラスE火山 桜島
平常時：基本計画を有する場合は、監視機器の整備推進、計画が無い場合は、対象渓流付近の面情報取得のための準備を行う。
緊急時：着手判断は有人ヘリやUAV等の面的調査で判断。
渓流抽出は、追加面的調査を加えて実施。
クラスF火山
平常時：源頭部付近へのアクセスが困難な渓流の有無を把握し、対象渓流分布を踏まえ、新技術の活用や機器設置個所を選定しておく。
緊急時：着手判断は有人ヘリや地上踏査で判断。
渓流抽出は、追加緊急観測点・面的調査を加えて実施。

調査手法選択フローひな型（御嶽山）

降灰の発生　緊急調査の着手判断をするための調査を開始

降灰厚面情報取得の調査手法

＜平常時・前兆期準備事項＞

【面情報取得に向けた準備状況】
- 有人航空機用のランドマークの抽出＋立ち入り規制範囲外のヘリ・有人航空機調査（噴火前後比較） (A)
- UAV用ランドマークの抽出＋UAVによる空撮（噴火前後比較） (B)
- UAVによるSfm（噴火前後比較用） (C)
- 衛星写真（噴火前後比較用）の確認 (D)

事前準備未実施

【面情報の取得】
- 立入規制範囲外のヘリ・有人航空機調査 → ヘリ写真による判読
- UAVによる空撮 → UAV空中写真
- UAVによるSfM → UAV-SfMによるオルソ作成
- 衛星 → 衛星写真による降灰分布

（UAVが飛行可能な天候）

↑※事前準備済みの場合でも下記(A)~(D)の内行わなかった調査手法を行う。

事前準備済

【面情報の取得】
- (A)立入規制範囲外のヘリ・有人航空機調査 → ヘリ目視+構造物による降灰厚把握
- (B) UAVによる空撮 → UAV空中写真＋構造物による降灰厚把握
- (C) UAVによるSfM → UAV-SfMによる2期時差分
- (D) 衛星 → 衛星SARによる2時期差分

（UAVが飛行可能な天候）

＜着手判断・初動期：レベル２時＞

降灰厚点情報取得の調査手法

＜平常時・前兆期準備事項＞

未設置

【点情報の取得】
- 立入規制範囲外の有人調査 → 定面積サンプリング法(規制外)
- UAVを用いた降灰厚の直接測定 → 降灰厚計測ﾃﾞﾊﾞｲｽによる降灰厚測定※

（UAVが飛行可能な天候）

↑※事前準備済みの場合でも必要に応じて上記調査を行う。

※現在実証段階

設置済

既存監視機器活用に向けた事前準備状況
- 積雪量計・自動降灰量計の有無 (A)
- 既設監視カメラ画角内に標尺の設置の有無 (B)

設置済

緊急設置機器活用に向けた事前準備状況

別表より機器設置適地の条件に応じて**設置適地ごとに手法を選択**
- 降灰厚調査ユニットの設置
- UAVによる投下型降灰厚スケールの設置（立入規制内）
- 有人による観測機器(降灰マーカー等)の設置

【点情報の取得】

機器設置状況から活用可能な手法を選択

- 既設監視機器を活用できる場合 → 既設機器からデータ取得
- 既設監視機器を活用できる場合 → 既設カメラ画角内の標尺確認
- 緊急設置機器を活用できる場合 → 降灰厚調査ユニットからのデータ受信
- 緊急設置機器を活用できる場合 → UAV空撮による投下型降灰厚スケール撮影
- 緊急設置機器を活用できる場合 → UAV空撮による降灰マーカー撮影

（UAVが飛行可能な天候）

(A)~(E)の順に優先して実施する

＜着手判断・初動期：レベル２時＞

＜アウトプット精度＞

- 降灰状況に関する情報E（降灰分布のみ（厚さ不明））
- 降灰状況に関する情報D（降灰分布,厚さ数十cm程度）
- 降灰状況に関する情報C（降灰分布,厚さ10数cm程度）
- 降灰状況に関する情報B（降灰分布,厚さ数cm程度）
- 降灰状況に関する情報A（降灰分布,厚さ１cm程度）

＜作業時間＞

- 数日以内に完了
- 1日以内に完了
- 数時間以内に完了

＜実施可能状況＞

- 現状実施可能な対応
- 平常時あるいは前兆期からの準備で実施可能
- 技術進歩、インフラ整備により実施が可能

新技術を活用した降灰等調査計画
（ケーススタディ（令和3年3月実施））

対象火山

【霧島山】

■作成に当たっての前提条件

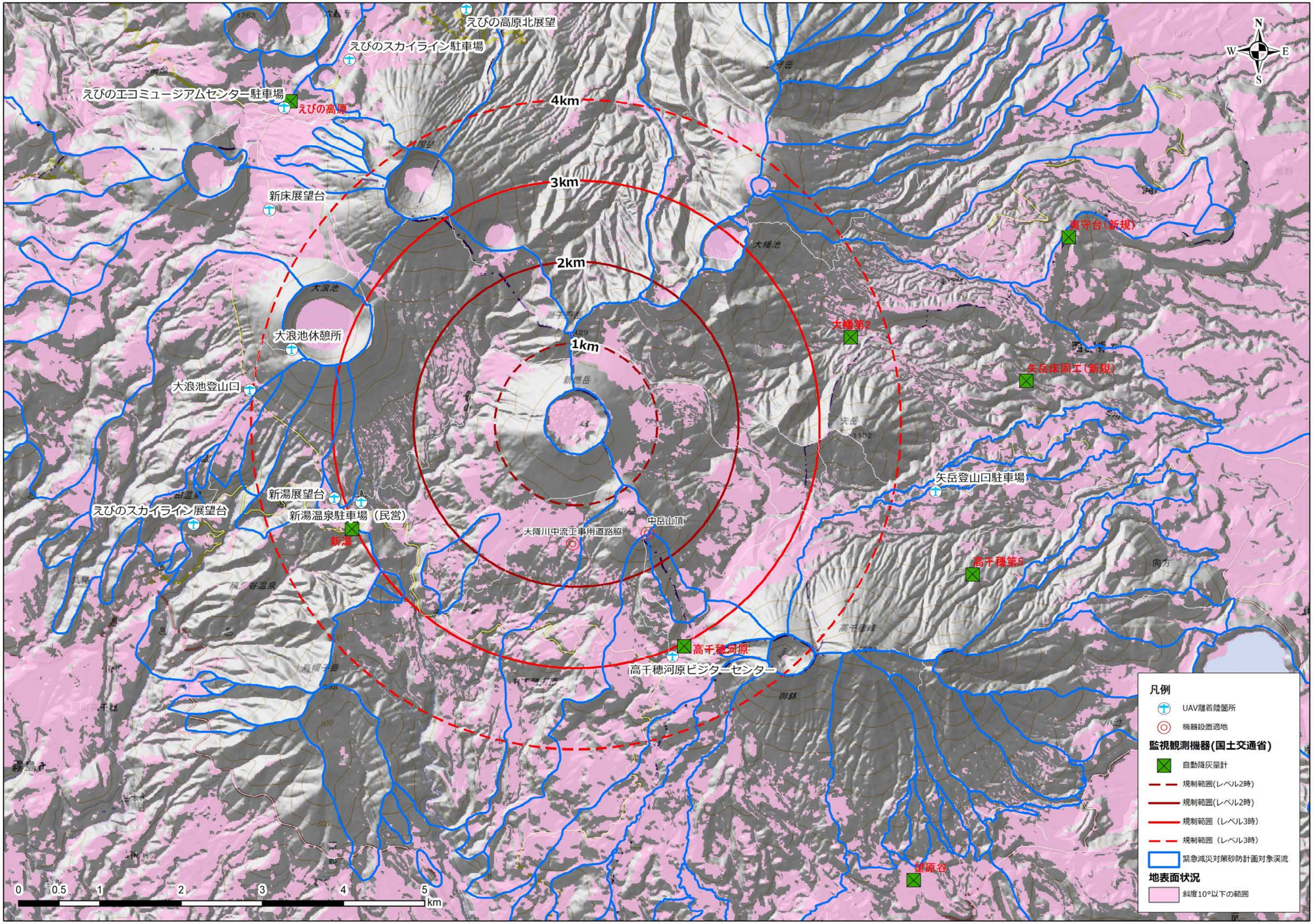
対象とした噴火警戒レベル	噴火警戒レベル2
対象とした火口	新燃岳
作成に当たっての留意事項	霧島山の想定火口は新燃岳の他、御鉢、大幡池、えびの高原周辺も想定されている。新燃岳を想定した適地一覧は、その他の火口から噴火した際に、立入規制区域となることが考えられるため、想定火口を区分し、それぞれで適地一覧（UAV離発着地点）を検討する必要がある。

■添付資料

No	資料	No	資料
1	調査平面図		
2	適地一覧表		
3	特性分類フロー		
4	調査手法選択フロー		

■調査計画検討履歴

検討履歴	年月	検討履歴	年月
初版作成		第4回更新	
第1回更新		第5回更新	
第2回更新		第6回更新	
第3回更新		第7回更新	


えびの高原北展望
えびのスカイライン駐車場
えびのエコミュージアムセンター駐車場
えびの高原
4km
3km
2km
1km
新床展望台
大浪池
大浪池休憩所
大浪池登山口
新湯展望台
新湯温泉駐車場（民営）
新湯
えびのスカイライン展望台
天降川中流工事用道路脇
中岳山頂
高千穂河原
高千穂河原ビジターセンター
大幅池
夷守台（新規）
大幡第2
矢岳床固工（新規）
矢岳登山口駐車場
高千穂第5
望原谷
N
W
E
S
凡例
UAV離着陸箇所
機器設置適地
監視観測機器(国土交通省)
自動降灰量計
規制範囲(レベル2時)
規制範囲(レベル2時)
規制範囲（レベル3時）
規制範囲（レベル3時）
緊急減災対策砂防計画対象渓流
地表面状況
斜度10°以下の範囲
0
0.5
1
2
3
4
5
km

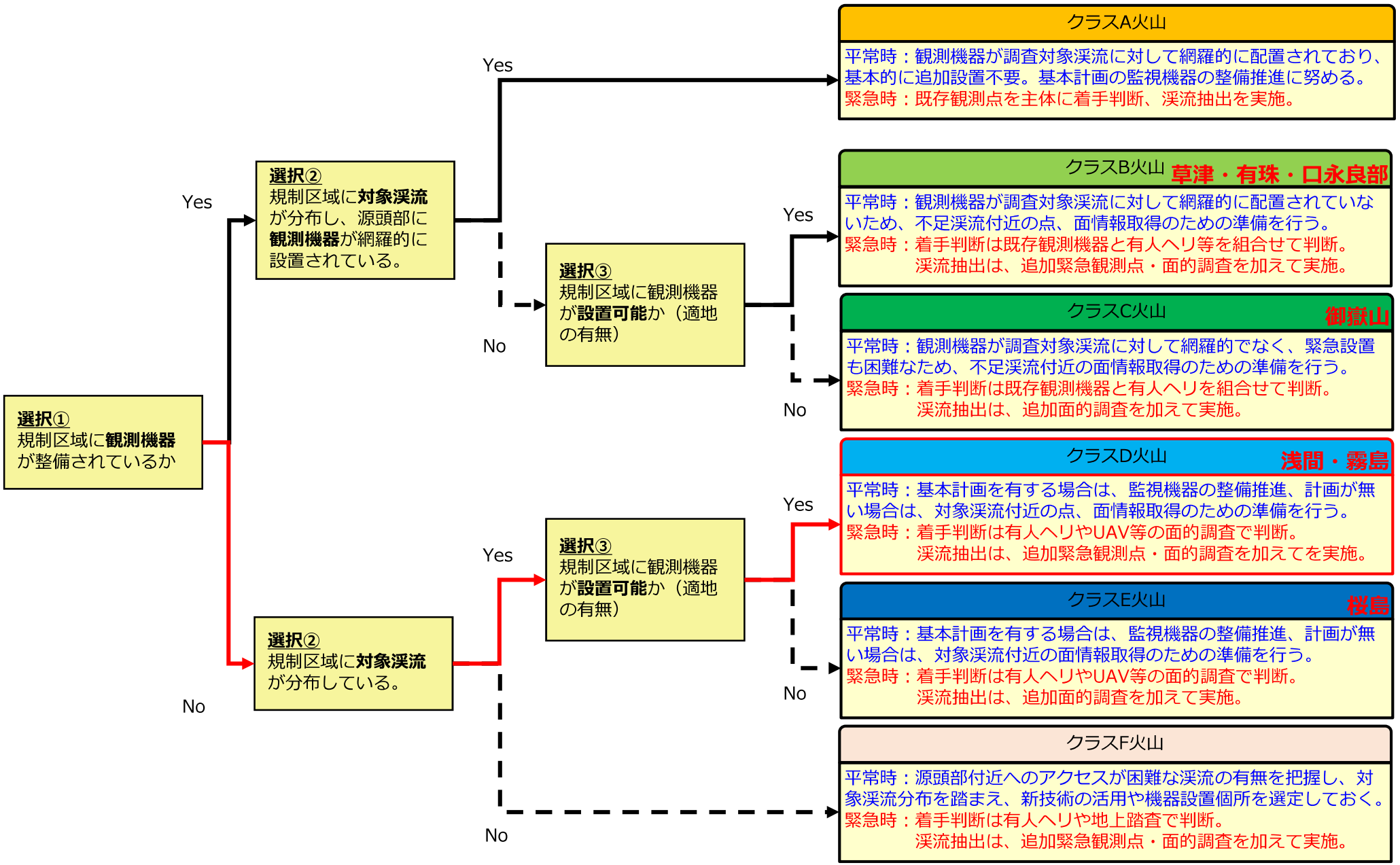
火山名	霧島山（新燃岳）

UAVタイプ別想定スペック				
	固定翼機	空撮限界距離(m)	260,000	※１
	回転翼機	空撮限界距離(m)	5,000	※２
		機器設置限界距離(m)	1,500	※３

（A）UAV離発着地点				（B）機器設置適地														
				地点位置情報						UAV活用判定			機器設置適地条件					
										回転翼		固定翼	地表面状況		携帯電話	LPWA通信	用地状況	
地点名	標高(m)	地権者	使用タイミング	地点名	標高(m)	A-B距離(m)	B-A比高(m)	縦断見通し（フレネルゾーン）	対象渓流	空撮	機器設置	空撮	斜度(°)	状況	通信状況	環境	地権者	調整状況
										○：空撮可	○：設置可	○：空撮可	○：10°以下	○：凹凸なし	○：通信可	○：通信可		○：調整済み
										×：空撮不可	×：設置不可	×：空撮不可	×：10°以上	×：凹凸あり	×：通信不可	×：通信不可		×：未調整
新湯温泉駐車場（民営）	916	新湯温泉	噴火警戒レベル２・３	中岳山頂	1,335	3542	419	※○	対象渓流A	○	×	○	※○	※×	○	※○	環境省	※○
				天降川中流工事用道路脇	1,115	2651	199	※×	対象渓流B	○	×	○	※○	○	○	※×	国交通	※○
新湯展望台	962	現地にて確認（※＝記入例）	噴火警戒レベル２・３	中岳山頂	1,335	3,877	373	縦断図を作成して確認（※＝記入例）	対象渓流A	○	×	○	現地にて確認（※＝記入例）			現地電波試験を実施して確認（※＝記入例）	現地にて確認（※＝記入例）	
				天降川中流工事用道路脇	1,115	2,986	153		対象渓流B	○	×	○						
矢岳登山口駐車場	766		噴火警戒レベル２・３	中岳山頂	1,335	3,583	569		対象渓流A	○	×	○						
				天降川中流工事用道路脇	1,115	4,512	348		対象渓流B	○	×	○						
えびのスカイライン展望台	753		噴火警戒レベル２・３	中岳山頂	1,335	5,589	582		対象渓流A	×	×	○						
				天降川中流工事用道路脇	1,115	4,674	362		対象渓流B	○	×	○						
⋮																		
高千穂河原ビジターセンター	965		噴火警戒レベル２・３	中岳山頂	1,335	1,548	370		対象渓流A	○	×	○						
				天降川中流工事用道路脇	1,115	1,851	149		対象渓流B	○	×	○						

※１：令和元年度本省業務成果より　　※２：火山地域における回転翼UAVの飛行実績より設定　　※３：H31年度九州技術事務所成果に記載の値(3km)を参考し、安全側を考慮して設定

特性分類フロー（霧島-新燃岳-）



調査手法選択フローひな型（霧島-新燃岳- ）

降灰の発生　緊急調査の着手判断をするための調査を開始

降灰厚面情報取得の調査手法

＜平常時・前兆期準備事項＞

【面情報取得に向けた準備状況】
- 有人航空機用のランドマークの抽出＋立ち入り規制範囲外のヘリ・有人航空機調査（噴火前後比較） (A)
- UAV用ランドマークの抽出＋UAVによる空撮（噴火前後比較） (B)
- UAVによるSfm（噴火前後比較用） (C)
- 衛星写真（噴火前後比較用）の確認 (D)

事前準備未実施

【面情報の取得】
- 立入規制範囲外のヘリ・有人航空機調査 → ヘリ写真による判読
- UAVによる空撮 → UAV空中写真
- UAVによるSfM → UAV-SfMによるオルソ作成
- 衛星 → 衛星写真による降灰分布

（UAVが飛行可能な天候）

↑※事前準備済みの場合でも下記(A)~(D)の内行わなかった調査手法を行う。

事前準備済

【面情報の取得】
- (A)立入規制範囲外のヘリ・有人航空機調査 → ヘリ目視+構造物による降灰厚把握
- (B) UAVによる空撮 → UAV空中写真＋構造物による降灰厚把握
- (C) UAVによるSfM → UAV-SfMによる2期時差分
- (D) 衛星 → 衛星SARによる2時期差分

（UAVが飛行可能な天候）

＜着手判断・初動期：レベル２時＞

降灰厚点情報取得の調査手法

＜平常時・前兆期準備事項＞

未設置

【点情報の取得】
- 立入規制範囲外の有人調査 → 定面積サンプリング法(規制外)
- UAVを用いた降灰厚の直接測定 → 降灰厚計測ﾃﾞﾊﾞｲｽによる降灰厚測定※

（UAVが飛行可能な天候）

↑※事前準備済みの場合でも必要に応じて上記調査を行う。

※現在実証段階

設置済

既存監視機器活用に向けた事前準備状況
- 積雪量計・自動降灰量計の有無
- 既設監視カメラ画角内に標尺の設置の有無

設置済

緊急設置機器活用に向けた事前準備状況 (A)

別表より機器設置適地の条件に応じて**設置適地ごとに手法を選択**
- 降灰厚調査ユニットの設置
- UAVによる投下型降灰厚スケールの設置 (立入規制内)
- 有人による観測機器(降灰マーカー等)の設置

【点情報の取得】

機器設置状況から活用可能な手法を選択
- 既設監視機器を活用できる場合 → 既設機器からデータ取得
- 既設監視機器を活用できる場合 → 既設カメラ画角内の標尺確認
- 緊急設置機器を活用できる場合 → 降灰厚調査ユニットからのデータ受信
- 緊急設置機器を活用できる場合 → UAV空撮による投下型降灰厚スケール撮影
- 緊急設置機器を活用できる場合 → UAV空撮による降灰マーカー撮影

（UAVが飛行可能な天候）

(A)~(E)の順に優先して実施する

＜着手判断・初動期：レベル２時＞

＜アウトプット精度＞
- 降灰状況に関する情報E（降灰分布のみ（厚さ不明））
- 降灰状況に関する情報D（降灰分布,厚さ数十cm程度）
- 降灰状況に関する情報C（降灰分布,厚さ10数cm程度）
- 降灰状況に関する情報B（降灰分布,厚さ数cm程度）
- 降灰状況に関する情報A（降灰分布,厚さ１cm程度）

＜作業時間＞
- 数日以内に完了
- 1日以内に完了
- 数時間以内に完了

＜実施可能状況＞
- 現状実施可能な対応
- 平常時あるいは前兆期からの準備で実施可能
- 技術進歩、インフラ整備により実施が可能

新技術を活用した降灰等調査計画
（ケーススタディ（令和3年3月実施））

対象火山

【口永良部島】

■作成に当たっての前提条件

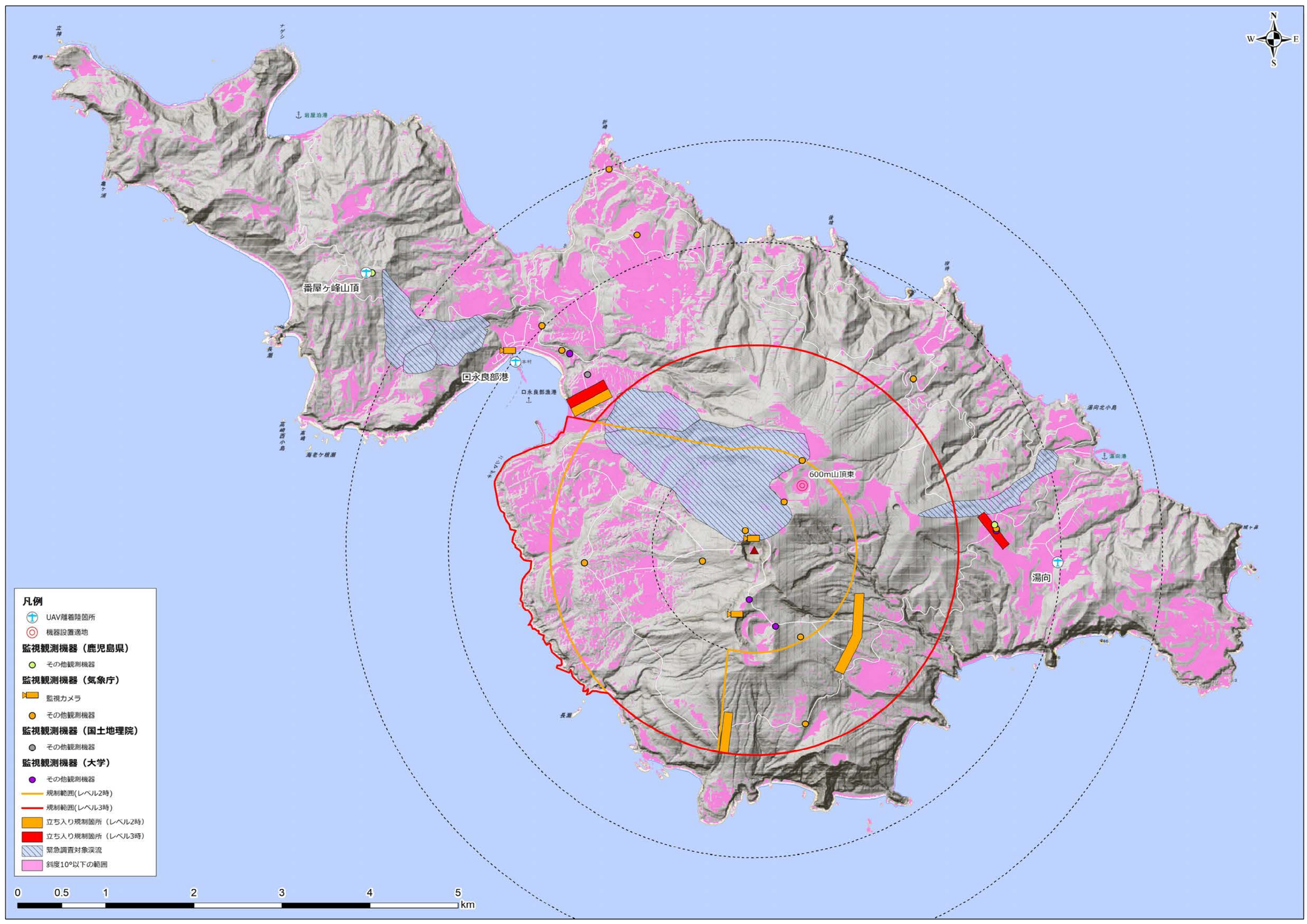
対象とした噴火警戒レベル	噴火警戒レベル2
対象とした火口	新岳山頂
作成に当たっての留意事項	古岳山頂の監視カメラ（気象庁）は令和3年3月時点において障害中であるが、本検討においては便宜的に機能しているものとして取り扱っていることに留意する。

■添付資料

No	資料	No	資料
1	調査平面図		
2	適地一覧表		
3	特性分類フロー		
4	調査手法選択フロー		

■調査計画検討履歴

検討履歴	年月	検討履歴	年月
初版作成		第4回更新	
第1回更新		第5回更新	
第2回更新		第6回更新	
第3回更新		第7回更新	


N
W
E
S
番屋ケ峰山頂
口永良部港
口永良部漁港
600m山頂東
湯向
湯向港
岩屋泊港
凡例
UAV離着陸箇所
機器設置適地
監視観測機器（鹿児島県）
その他観測機器
監視観測機器（気象庁）
監視カメラ
その他観測機器
監視観測機器（国土地理院）
その他観測機器
監視観測機器（大学）
その他観測機器
規制範囲(レベル2時)
規制範囲(レベル3時)
立ち入り規制箇所（レベル2時）
立ち入り規制箇所（レベル3時）
緊急調査対象渓流
斜度10°以下の範囲
0
0.5
1
2
3
4
5
km

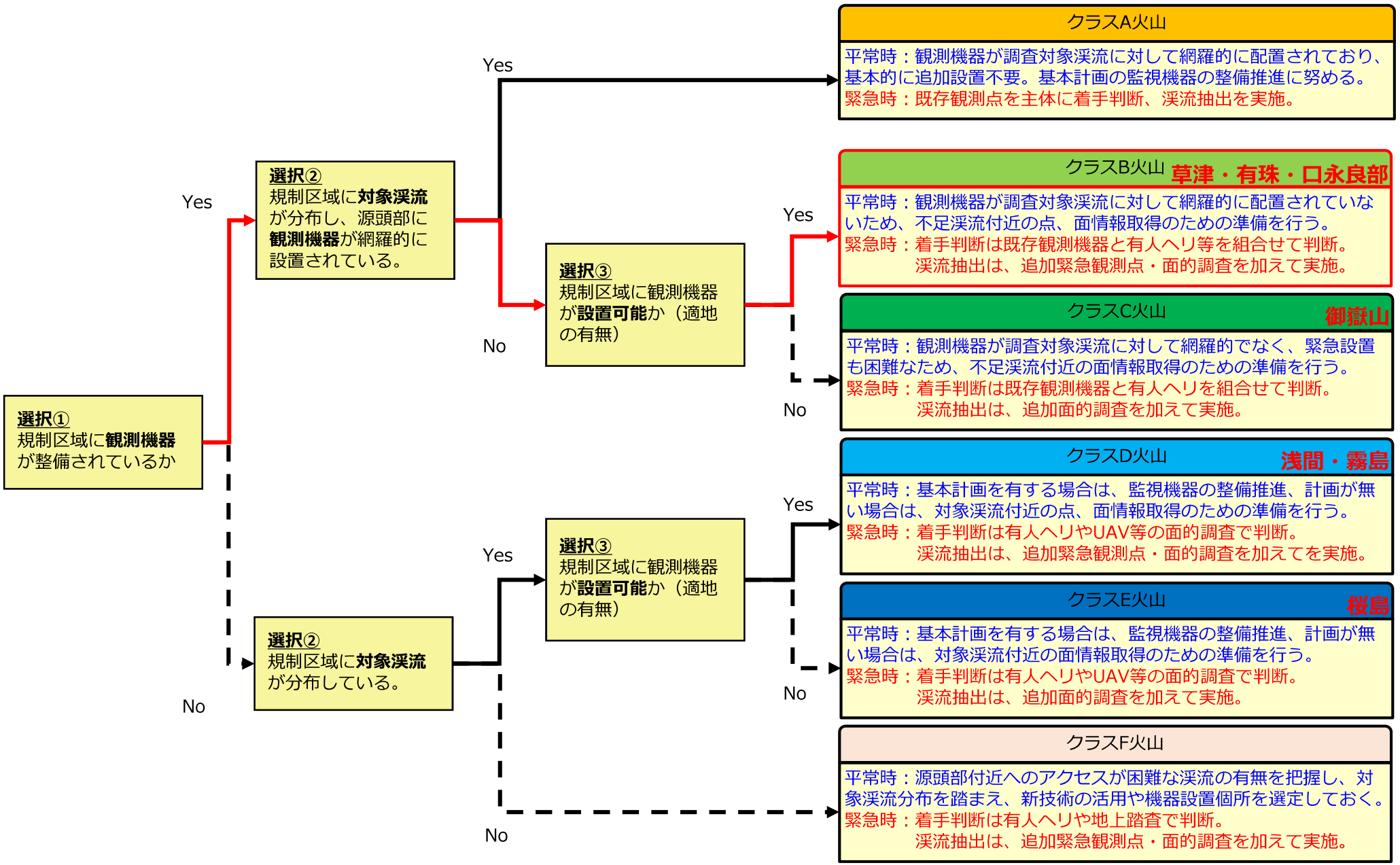
火山名	口永良部

UAVタイプ別 想定スペック			
固定翼機	空撮限界距離(m)	260,000	※１
回転翼機	空撮限界距離(m)	5,000	※２
	機器設置限界距離(m)	1,500	※３

（A）UAV離発着地点				（B）機器設置適地														
				地点位置情報						UAV活用判定			機器設置適地条件					
										回転翼		固定翼	地表面状況		携帯電話	LPWA通信	用地状況	
地点名	標高 (m)	地権者	使用タイミング	地点名	標高 (m)	A-B距離 (m)	B-A比高 (m)	縦断見通し （フレネルゾーン）	対象渓流	空撮	機器設置	空撮	斜度(°)	状況	通信状況	環境	地権者	調整状況
										○：空撮可	○：設置可	○：空撮可	○：10°以下	○：凹凸なし	○：通信可	○：通信可		○：調整済み
										×：空撮不可	×：設置不可	×：空撮不可	×：10°以上	×：凹凸あり	×：通信不可	×：通信不可		×：未調整
口永良部港	2		噴火警戒レベル２・３	600m山頂東	560	3000	558	※○	対象渓流A	○	×	○	※○	※×	△(au×)	※○	環境省	※○
番屋ヶ峰山頂	274	現地にて確認（※＝記入例）	噴火警戒レベル２・３	600m山頂東	560	4,700	286	縦断図を作成して確認（※＝記入例）	対象渓流A	○	×	○	現地にて確認（※＝記入例）		△(au×)	現地電波試験を実施して確認（※＝記入例）	現地にて確認（※＝記入例）	
⋮																		
湯向	170		噴火警戒レベル２・３	600m山頂東	560	3,060	390		対象渓流A	○	×	○			△(au×)			

※１：令和元年度本省業務成果より　　※２：火山地域における回転翼UAVの飛行実績より設定　　※３：H31年度九州技術事務所成果に記載の値(3km)を参考し、安全側を考慮して設定

特性分類フロー（口永良部）



調査手法選択フロー(口永良部)

降灰の発生　緊急調査の着手判断をするための調査を開始

降灰厚面情報取得の調査手法

＜平常時・前兆期準備事項＞

【面情報取得に向けた準備状況】
- 有人航空機用のランドマークの抽出＋立ち入り規制範囲外のヘリ・有人航空機調査（噴火前後比較） (A)
- UAV用ランドマークの抽出＋UAVによる空撮（噴火前後比較） (B)
- UAVによるSfm（噴火前後比較用） (C)
- 衛星写真（噴火前後比較用）の確認 (D)

事前準備未実施

【面情報の取得】
- 立入規制範囲外のヘリ・有人航空機調査 → ヘリ写真による判読
- UAVによる空撮 → UAV空中写真
- UAVによるSfM → UAV-SfMによるオルソ作成
- 衛星 → 衛星写真による降灰分布

（UAVが飛行可能な天候）

↑※事前準備済みの場合でも下記(A)~(D)の内行わなかった調査手法を行う。

事前準備済

【面情報の取得】
- (A)立入規制範囲外のヘリ・有人航空機調査 → ヘリ目視+構造物による降灰厚把握
- (B) UAVによる空撮 → UAV空中写真＋構造物による降灰厚把握
- (C) UAVによるSfM → UAV-SfMによる2期時差分
- (D) 衛星 → 衛星SARによる2時期差分

（UAVが飛行可能な天候）

＜着手判断・初動期：レベル２時＞

降灰厚点情報取得の調査手法

＜平常時・前兆期準備事項＞

未設置

【点情報の取得】
- 立入規制範囲外の有人調査 → 定面積サンプリング法(規制外)
- UAVを用いた降灰厚の直接測定 → 降灰厚計測ﾃﾞﾊﾞｲｽによる降灰厚測定※（UAVが飛行可能な天候）

↑※事前準備済みの場合でも必要に応じて上記調査を行う。

※現在実証段階

設置済

既存監視機器活用に向けた事前準備状況
- 積雪量計・自動降灰量計の有無 (A)
- 既設監視カメラ画角内に標尺の設置の有無 (B)

設置済

緊急設置機器活用に向けた事前準備状況 (C)

別表より機器設置適地の条件に応じて**設置適地ごとに手法を選択**
- 降灰厚調査ユニットの設置
- UAVによる投下型降灰厚スケールの設置 (立入規制内)
- 有人による観測機器(降灰マーカー等)の設置

【点情報の取得】
- 既設監視機器を活用できる場合
- 緊急設置機器を活用できる場合

機器設置状況から活用可能な手法を選択
- 既設機器からデータ取得
- 既設カメラ画角内の標尺確認
- 降灰厚調査ユニットからのデータ受信
- UAV空撮による投下型降灰厚スケール撮影
- UAV空撮による降灰マーカー撮影

（UAVが飛行可能な天候）

(A)~(D)の順に優先して実施する

＜着手判断・初動期：レベル２時＞

＜アウトプット精度＞
- 降灰状況に関する情報E（降灰分布のみ（厚さ不明））
- 降灰状況に関する情報D（降灰分布,厚さ数十cm程度）
- 降灰状況に関する情報C（降灰分布,厚さ10数cm程度）
- 降灰状況に関する情報B（降灰分布,厚さ数cm程度）
- 降灰状況に関する情報A（降灰分布,厚さ１cm程度）

＜作業時間＞
- 数日以内に完了
- 1日以内に完了
- 数時間以内に完了

＜実施可能状況＞
- 現状実施可能な対応
- 平常時あるいは前兆期からの準備で実施可能
- 技術進歩、インフラ整備により実施が可能

火山噴火時に立入困難となる区域を調査するための技術手法に関するマニュアル

（技術資料編）

目次

1. マニュアル内で選定・参考とした技術概要 2
2. 降灰の質に関する情報を取得するための技術概要 13
3. UAVの性能概要 17
巻末資料
・技術カルテ
・参考文献

1. マニュアル内で選定・参考とした技術概要

ロボット（センサー）、UAV、通信技術の３つの要素技術について、各分野における最新の知見を網羅的に整理した上で、火山地域における制約条件から求められる要件を踏まえ、本マニュアルの目的に則した使用が期待できる技術を選定している。さらに選定した技術を「降灰厚計測技術」、「降灰厚面的計測技術」、「新技術活用のための補助技術」、「浸透能や試料採取のための技術」の4つに区分し、最終的に降灰状況調査に使用する技術として「降灰厚計測技術」、「降灰厚面的計測技術」を選定している。

以下の技術に関しては、技術カルテ、参考文献を巻末資料に格納した。また、「浸透能や試料採取のための技術」に関連した整理は、2章にて示す。

技術名	出典
降灰厚計測技術（表 1-1～表 1-3）	
①人力計測（地上踏査）	緊急調査実施マニュアル（案） 国土交通省九州技術事務所
②接触型機器による計測	土砂災害防止法に基づく緊急調査実施の手引き実務マニュアル（噴火による降灰等の堆積後の降水を発生原因とする土石流対策編） 国土交通省九州技術事務所
③非接触型機器による計測	
④降灰マーカー	火山噴火時の浸透能調査手法検討業務 国土交通省九州技術事務所
⑤簡易降灰量計	2020年度砂防学会研究発表会概要集　瀬戸他
⑥投下型降灰厚スケール	火山防災に求められるロボット技術 ロボット学会誌　2020年　38巻　3号　p. 249-252
⑦無人機械（UAV等）による 降灰厚調査ユニットの設置・計測	火山噴火時の危険区域における調査手法検討業務 国土交通省九州技術事務所
⑧UAVによるカメラやスケール設置・計測	
⑨降灰厚計測デバイス	令和元年度火山噴火時を想定した規制区域内の降灰厚分布調査システムの開発報告書　河川砂防技術研究開発

降灰厚面的計測技術（表 1-4）	
①航空機やヘリによる撮影	-
②光学衛星や衛星SARによる一定厚以上の降灰厚分布把握	衛星による火山灰分布把握手法検討業 国土交通省九州技術事務所
③UAVによるLP計測、SfM計測	2015年箱根山・大涌谷噴火におけるUAVを用いた無人調査について　小松澤他（2019）他

：既存の調査手法

：マニュアル検討時の選定技術

新技術活用のための補助技術（表 1-5、表 1-8）	
①UAVによる小型地上移動ロボット運搬手法	土石流予測を目的としたセンシング技術とリアルタイム災害データベースの開発　東北大他
②機器設置適地選定プログラム	飛行ロボットで運搬する観測カメラの設置点計画と設置試験　永谷他、2019
③UAV用ウィンチ	岡谷鋼機株式会社　カタログ
④PPK-GNSS測位	2020年度砂防学会研究発表会概要集　松芳他

浸透能計測や試料採取のための技術（表 1-6、表 1-7）	
①UAVを用いた浸透能概略把握手法	火山噴火時の浸透能調査手法検討業務 国土交通省九州技術事務所
②表面流確認デバイス	土石流予測を目的としたセンシング技術とリアルタイム災害データベースの開発　東北大他
③無人機械（UAV等）による浸透状況調査ユニットの設置・計測	火山噴火時の危険区域における調査手法検討業務 国土交通省九州技術事務所
④サンプリングデバイス	マルチローター機搭載型火山砕屑物採取装置の採取性能評価（谷島・久利・永谷，2017）
⑤バケット式サンプラー、ボール式サンプラー	R1年有珠山土砂災害シンポジウム資料　日本工営
⑥雨滴センサー	2020年度砂防学会研究発表会概要集　金井他

：既存の調査手法

：過年度選定技技術

表 1-1：新技術性能比較表（降灰厚計測１）

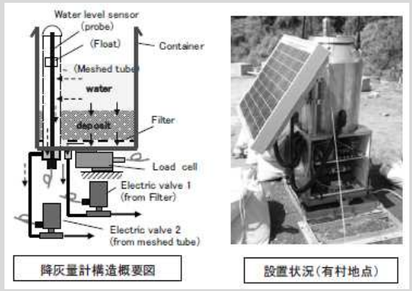
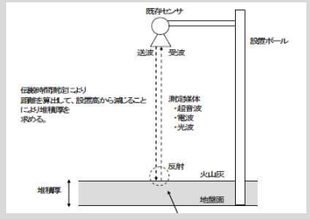
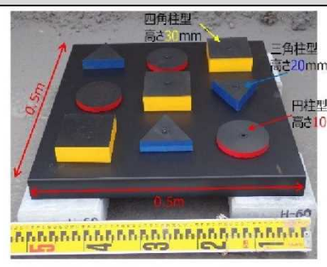
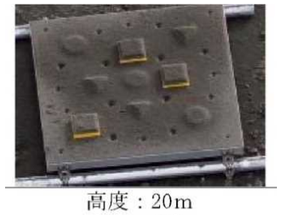
技術名	技術の特徴	調査精度	実施時間 UAV対応	調査頻度	評価と現地適用に際しての留意点
①人力計測（地上踏査） 直接降灰厚さを定規により計測する方法や、一定の面積あたりに降灰している火山灰等の重量と堆積密度から、高さ換算することによって降灰厚さを計測する方法。		◎ ±0.5cm程度 （重量計測は±1g）	○～× 踏査のため、計測範囲の広さに応じる （新燃岳では128地点を6班（1班3名）体制で2日間で実施）	△ 定期に人力計測	・**立入規制区域外**での観測事例は多数。 **・噴火後以降には危険範囲内への立入困難** ・測定方法の事前の実地研修が必要 ・簡易降灰収集器の配置場所は、火山灰以外の土砂の混染がない場所や、噴石の影響が少ない場所等を選ぶ必要有
②接触型機器による計測 主に降灰捕捉用の容器と荷重計などから構成される降灰量計等を使用する方法。自動で計測し、データを送付する自動降灰量計の開発実施されており、新燃岳や桜島での計測実績がある。		◎ ±1mm程度 （公称精度） 最大20㎝	◎～× 事前設置済みであれば、即時にデータ化が可能	○ リアルタイム （事前設置済みであれば、精度、迅速性とも確保されるため全ての局面で適する）	・桜島や新燃岳で運用実績がある。 ・事前の設置には、環境省等の許可が必要であり、その折衝にも時間を要すことが想定される他、搬入車両が必要。 ・寒冷地型では外部電源が必要。 ・高価（通常型470万、寒冷地型550万　程度） ・軽石、スコリア交じりの場合の密度設定が必要 ・立入規制範囲に設置する場合は維持管理が困難となる
③非接触型機器による計測 主に積雪計などで用いられる地上とセンサー間の距離を計測するレーザー距離計を活用した手法が試みられている。積雪地帯で少数実施されているが事例は少ない。		◎ （１～数cmがわかる）			・北海道駒ヶ岳で実績がある。 ・事前の設置には、環境省等の許可が必要であり、その折衝にも時間を要すことが想定される ・積雪や植生等が挟まれた場合は正確性が損なわれる。 ・音波や光波などのセンサーの種類は複数あるが、光波が最も精度が良い。 ・立入規制範囲に設置する場合は維持管理が困難となる
④降灰マーカー（凸型、凹型） 降灰厚を計測するスケールを現場に事前設置して降灰後にUAVで降灰厚を計測する （実証実験実績：新燃岳等）	 凸型マーカー 凹型マーカー	○ 1cm～10cm	△ 事前設置できればUAV計測は数時間程度 マーカー自体の設置は人力	△ 定期にUAV計測	**・精度、実施時間で要求性能を満たすため選定する** **・降灰前にスケールを設置**する必要がある。 （人力での設置を想定しているため、 平常時に設置する必要がある）  高度：20m 仰角＝45°

表 1-2：新技術性能比較表（降灰厚計測２）

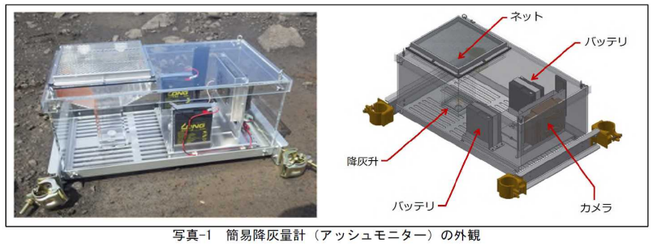
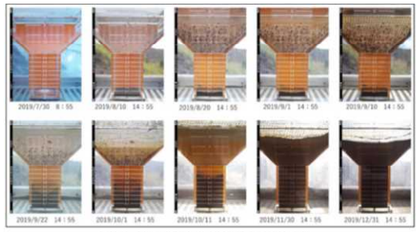
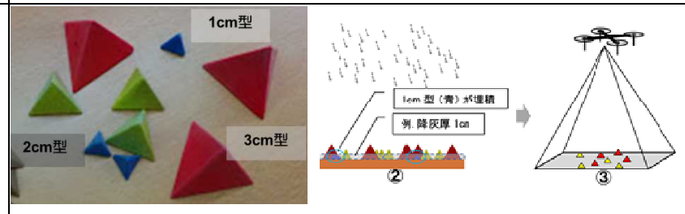
技術名	技術の特徴	調査精度	実施時間 UAV対応	調査頻度	評価と現地適用に際しての留意点
⑤簡易降灰量計 簡易降灰量計は，1 辺20cm の正方形の開口部から火山灰を採取し，開口部の大きさに対応した降灰厚さの目盛がついたアクリル樹脂製降灰升を，ケースに固定したカメラで撮影する	 写真-1　簡易降灰量計（アッシュモニター）の外観	○ 1cm～5cm	○ マーカー自体の設置は人力	○ リアルタイム （携帯通信）	**・精度、実施時間で要求性能を満たすため選定する** **・継続的な撮影データを取得することで粒度や堆積構造の把握も可能。** ・**降灰前設置**する必要がある。 （人力での設置を想定しているため、立入規制区域内は規制が設定される前に設置する必要がある）  写真-2　転送された画像データの事例（降灰採取状況）
⑥投下型降灰厚スケール 降灰厚を計測するスケールを現場に設置（UAVでの設置も可能）して降灰後にUAVで降灰厚を計測する （実証実験実績：新燃岳等）	 	○ 1cm～ 10cm	○ 事前設置できればUAV計測は数時間程度	△ 定期にUAV計測	**・精度、実施時間で要求性能を満たすため選定する** **・降灰前にスケールを設置**する必要がある。 ・事前の設置計画が必要。

表 1-3：新技術性能比較表（降灰厚計測２）

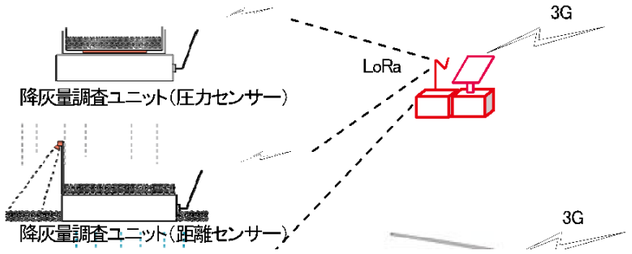
技術名	技術の特徴	調査精度	実施時間 UAV対応	調査頻度	評価と現地適用に際しての留意点
⑦無人機械（UAV等）による 降灰厚調査ユニットの設置・計測 距離センサーや荷重センサーを搭載したユニットを緊急時にUAVで現場に設置して継続的に降灰厚を計測する ユニットの重量は200ｇ程度。 （計測実績：新燃岳）		○ 圧力センサ 5㎜ 距離センサ 数㎜	○ UAVで設置は数時間程度（事前計画必要）	○ リアルタイム ・携帯通信やLPWA ・乾電池 （1ヵ月程度）	**・精度、実施時間で要求性能を満たすため選定する** **・降灰前にセンサーを設置する必要**がある ・電源は1ヵ月程度。 ・センサーが正常に設置されたかを確認する手法に課題。 ・事前の設置通信計画（設置場所の選定、通信試験）が必要。
⑧UAVによるインターバルカメラやスケール設置計測 SIMカードを搭載したカメラを緊急時にUAVで現場に設置し、スケール等を継続的に撮影する。重量はカメラ0.4kg、三脚1.6kg（計測実績：新燃岳）		○ 1cm～ 堆積構造の把握等も可能	○ UAVで設置は数時間程度（事前計画必要）	○ リアルタイム ・データ伝送携帯通信 ・電源乾電池	**・精度、実施時間で要求性能を満たすため選定する** **・継続的な撮影データを確認することで周辺の降灰状況や降灰流出状況も把握可能** **・降灰前にカメラやスケールを設置する必要**がある。 ・事前の設置通信計画（設置場所の選定、通信試験）が必要。 ・30分に1枚程度の画像送信頻度(夜間除く)で2ヶ月程度稼働。
⑨降灰厚計測デバイス 噴火後の火口周辺にUAVで運搬・設置し、表層の火山灰を除去することにより降灰厚を直接計測する。 （実証実験実績：小浅間山、片蓋川）		2㎝程度	○ UAVで設置は数時間程度（事前計画必要）	△ UAV飛行後搭載されているカメラで確認	**・精度、実施時間で要求性能を満たすため選定する** **（但し開発中の技術のため適用には引き続き検証が必要）** **・降灰後の設置で、降灰厚を計測**することができる。 ・事前の観測地点選定（傾斜、凹凸、植生部分では計測が困難）が必要。

表 1-4：技術性能比較表（降灰厚面的計測技術）

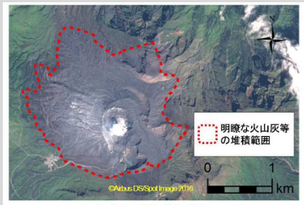
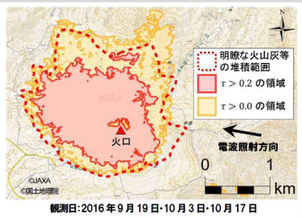
技術名	技術の特徴	調査精度	実施時間	調査頻度	評価と現地適用に際しての留意点
①航空機やヘリによる撮影 航空機やヘリによる上空からの撮影で降灰状況や範囲を確認する手法。	 	△ （降灰の有無がわかる）	○ 航空機、ヘリの準備次第 実績は 即日～1日程度	規制区域内 （規制外からの斜め撮影）	・**立入規制区域外**での観測事例は多数。 ・**噴火後以降には危険範囲内への進入が困難** ・LPデータは斜め計測や高高度計測に事例がある。 ・計測に際し天候の制約を受ける ・ＬＰデータ解析を実施する場合は時間を要する ・差分を取る場合は比較する降灰前のデータが必要である
②光学衛星や衛星SARによる一定厚以上の降灰厚分布把握 SARデータ（3時期コヒーレンス解析）を用いて、噴火前後の差分から、降灰範囲を想定する。 （計測実績：御嶽山、阿蘇山）	 撮影日：2016 年 10 月 10 日 図－1　光学画像から判読した「明瞭な火山灰等の堆積範囲」（阿蘇山）  観測日：2016 年 9 月 19 日-10 月 3 日-10 月 17 日 図－2　3 時期コヒーレンス解析結果の一例（阿蘇山）	△ （数10cm程度の誤差、但し、SAR画像では2、3cm程度の降灰分布がわかる可能性がある）	△ 衛星回帰日数に依存 数日程度	△ 衛星回帰日数に依存 数日程度	・**精度、実施時間が要求性能を満たさないが面的計測手法として活用できるため補助的な手法として選定する** ・精度が点データ計測に比べて劣る ・計測に際し衛星回帰日数の制約を受ける ・データの解析に時間を要する ・差分を取る場合は比較する降灰前のデータが必要である
③UAVによるLP計測、SfM計測 LPデータ計測、もしくは連続的な空中写真からオルソフォト、DSM、DEMを作成し、降灰前のデータと比較する（計測実績：箱根等）	 箱根火山噴火時の撮影事例	△ （数10㎝程度の精度） ※	△ 計測面積や対地高度による （0.5㎢/日程度） SfM処理2日 LP処理4日	△ 定期にUAV計測	・**精度、実施時間が要求性能を満たさないが面的計測手法として活用できるため補助的な手法として選定する** ・精度が点データ計測に比べて劣る ・計測精度は対地高度や機体のGPSの精度に依存 ・計測に際し雲や噴煙の制約を受ける ・データの解析に時間を要する（1日～数日程度） ・比較する降灰前の地形データが必要である ※積雪の差分冬期UAV計測の現地検証調査　新井他（2019）

表 1-5：新技術性能比較表（新技術活用のための補助技術）

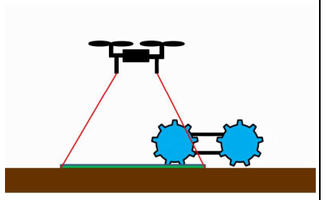
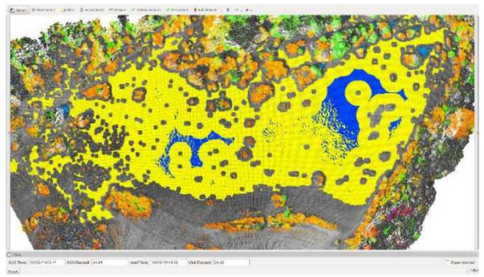
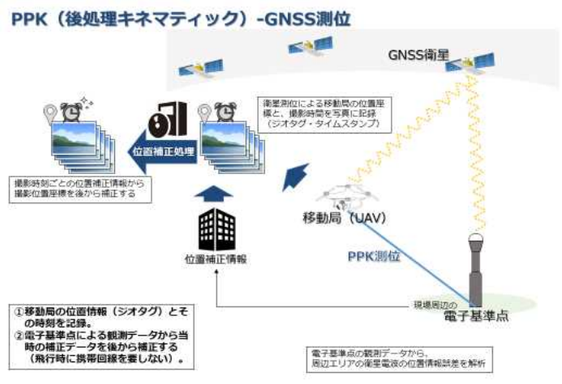
技術名	技術の特徴	調査精度	実施時間	調査頻度	活用方法、留意点
①UAVによる小型地上移動ロボット運搬手法 カメラ等を搭載したUGVをUAVで運搬して現地設置。調査期間終了後UAVにて回収。機体は50×40×20㎝、重量は5kg程度。（実証実験実績：雲仙岳）		◎ 1㎝～ 堆積構造の把握等も可能	○ UAV作業は1日程度	○ リアルタイム ・データ転送 携帯通信 LPWA　等 ・電源：リチウムイオン電池	・降灰厚調査ユニットやカメラを搭載して運用すれば堆積厚と堆積構造をリアルタイムに把握できる。 ・設置後に移動できることや回収してセンサー切り替えが可能であることから、適切な観測箇所や画角へ調整や調査目的の変更（降灰厚調査→雨量計）可能。 ・事前の設置通信計画（設置場所の選定、通信試験）が必要。 ・1台200万
②機器設置適地選定プログラム SfMにより作成された点群データや色彩データを用いて、勾配や凹凸や植生の有無を評価し、観測機器やロボットをUAVで運搬する際に適切な場所を選定するプログラム。	 左図：オルソフォト右図：設置地点評価解析図　青色：設置可能領域　黄色　障害物（植生、凹凸）5m以内				・UAVで監視機器を運搬した場合に安全に設置できる場所を評価できる ・勾配情報に加えて、㎝単位の点群データや色彩データを使用することで機器設置の障害となる凹凸や植生も評価することが可能 ・解析時間は対象面積による。
③UAV用ウィンチ ペイロード３～10kgクラスのUAVと組合せてホバリング状態からカメラ等の昇降を可能としたツール。 重量は630ｇ。		-	-	-	・電動リールを活用したUAV用の運搬、設置ツール。 ・カメラや降灰厚調査ユニットを運搬して安全な速度で機器を設置可能 ・ウィンチ情報（糸長、装置の温度等）をリアルタイムで確認可能
④PPK-GNSS測位 移動局の位置情報（ジオタグ）とその時刻（ジオスタンプ）を記録し、電子基準点による観測データから当時の補正データを後から補正する（飛行時に携帯回線を要しない）。		水平精度 2cm程度	○ ＵＡＶ計測は1日程度 位置補正情報提供までに3時間程度	固定局や位置情報サービス事業と通信する必要がなく、精度の良いオルソ写真や3次元点群データ等を作成できる。 位置補正情報提供までに3時間程度	位置補正は時間を基準に行うので、撮影時刻を正確に抑える必要ある。 情報提供会社から、位置補正情報を購入する。

表 1-6：新技術性能比較表（浸透能計測や試料採取のための技術１）

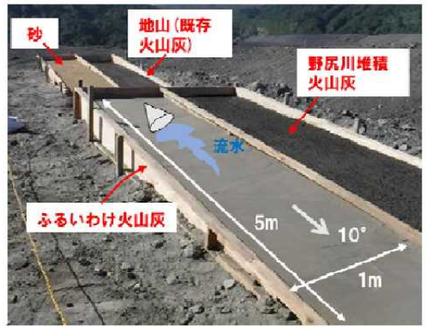
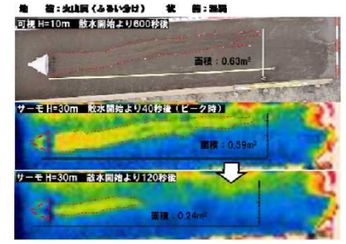
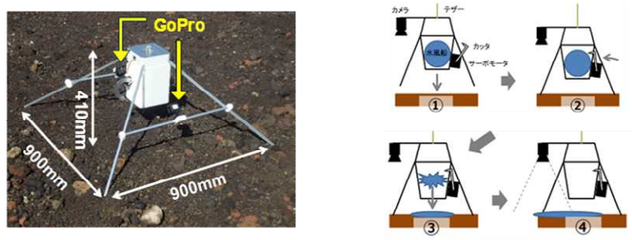
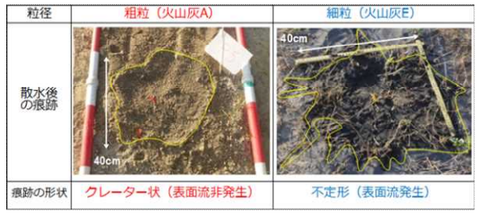
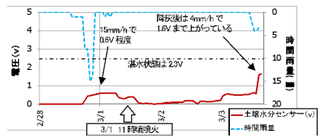
技術名	技術の特徴	調査精度	実施時間	調査頻度	現地適用に際しての課題
①UAVを用いた浸透能概略把握手法 UAVを用いて火山灰が堆積した斜面に水を供給し，地表面における浸透状況・表面流発生状況をカメラで記録して，浸透能を概略的に把握する手法 （実証実験実績：桜島）		表面流の面積で浸透状況を概略把握	○ UAV計測は 1日程度	△ 定期にUAV計測	・可視カメラは火山灰の色により識別が困難。サーモカメラは表面流の範囲が広い場合に地面との温度差が無くなり範囲の確認が困難。 ・調査地点の選定が必要  図 3.2 可視画像とサーモ画像の比較
②表面流確認デバイス UAVを用いて運搬し、テザーが着陸時に緩んだことを感知して、カッターが格納した水風船を割り、散水した画像を撮影（実証実験実績：雲仙岳等）		表面流浸透状況を概略把握	○ UAV計測は 1日程度	△ 定期にUAV計測	・定性的な浸透状況の把握に留まる。 ・調査地点の選定が必要  粒径 粗粒（火山灰A） 細粒（火山灰E） 散水後の痕跡 40cm 40cm 痕跡の形状 クレーター状（表面流非発生） 不定形（表面流発生）
③無人機械（UAV等）による浸透状況調査ユニットの設置・計測 土壌水分センサーを搭載したユニットを緊急時にUAVで現場に設置して継続的に地表面の含水率を計測する （計測実績：新燃岳）		表面流の発生を含水率変化で把握	○ UAVで設置は数時間程度(事前計画必要)	○ リアルタイム ・データ転送 携帯通信 LPWA ・電源：乾電池 （1ヵ月程度）	・降灰前にセンサーを設置する必要があるが電源は1ヵ月程度。 ・センサーが正常に設置されたかを確認する手法に課題。 ・事前の設置通信計画（設置場所の選定、通信試験）が必要。 

表 1-7：新技術性能比較表（浸透能計測や試料採取のための技術２）

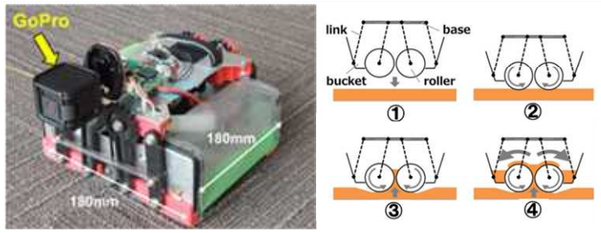
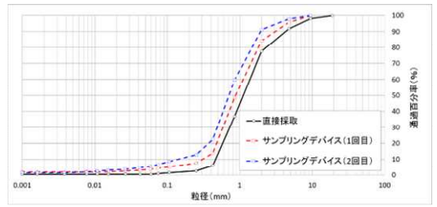
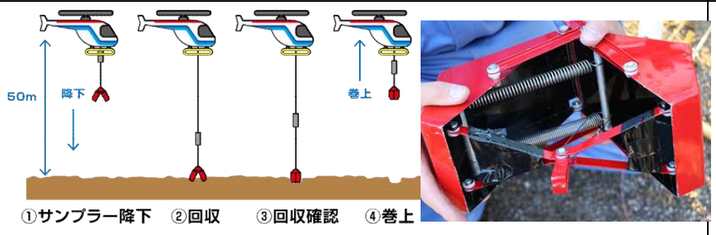
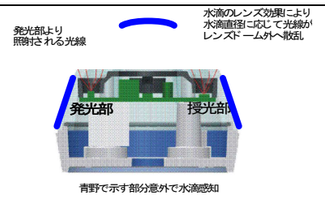
技術名	技術の特徴	調査精度	実施時間	調査頻度	現地適用に際しての課題
④サンプリングデバイス （粒径から透水性概略把握） UAVにて吊下げたデバイスを地表に接地させてローラーにて土砂を採取後、帰還する。 （実証実験実績：雲仙岳）		100 g 程度の 土砂を採取可能	○ UAV作業は 1日程度	△ 定期にUAVで サンプリング	・粒径からの間接的な透水係数把握となる。 ・調査地点の選定が必要。 
⑤バケット式サンプラー、ボール式サンプラー（粒径から透水性概略把握） UAVにて吊下げたバケットを地表に設置させて、バケットを閉じて火山灰を採取後、帰還する。 （実証実験実績：有珠山）	 	細粒火山灰を 採取可能	○ UAV作業は 1日程度	△ 定期にUAVで サンプリング	・粒径からの間接的な 透水係数把握となる。 ・調査地点の選定が必要
⑥UAVによる簡易的な雨量計の運搬手法 UAVにて小型の関雨センサーを運搬・設置し、立入規制区域内の雨量を計測する手	 	0.5mm程度 （観測雨量の分解能、精度については検証が必要）	○ 設置作業は数時間	計測頻度は通常 1時間程度 ・データ転送 携帯通信 リチウム電池で 稼働	・UAV運搬により規制範囲にも設置可能 ・データ転送がリアルタイムでできる環境（ドコモ通話圏内）が噴火等により壊れない限り、即時性は保たれる ・事前にUAV飛行計画やセンサーを設置する場所の選定が必要 ・転倒升型雨量計との計測値の整合は未検証 ・降灰の影響は検証が必要

表 1-8：新技術性能比較表（UAV 計測技術）

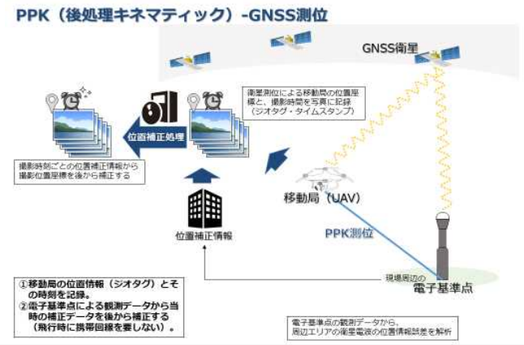
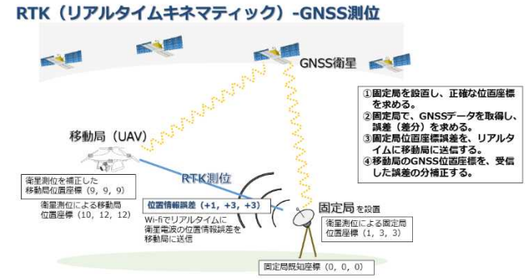
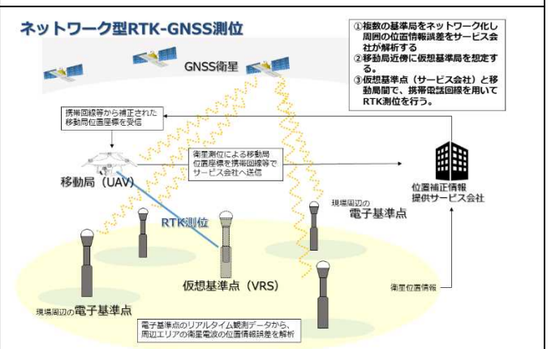
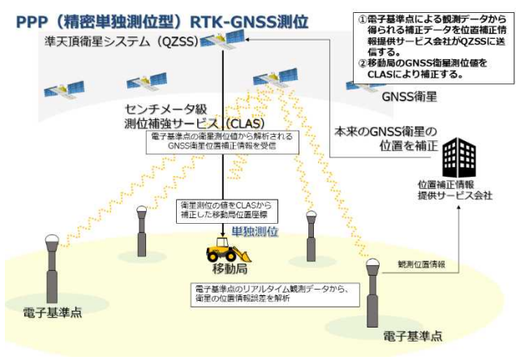
技術名	技術の特徴	調査精度 調査頻度	実施時間 UAV対応	評価	原理概要
PPK-GNSS測位	①移動局の位置情報（ジオタグ）とその時刻（ジオスタンプ）を記録。 ②電子基準点による観測データから当時の補正データを後から補正する（飛行時に携帯回線を要しない）。 位置補正は時間を基準に行うので、撮影時刻を正確に抑える必要ある。 情報提供会社から、位置補正情報を購入する。	水平精度 2cm程度	○ UAV計測は 1日程度 位置補正情報提供までに3時間程度	○ UAV飛行時には正確な位置情報が把握できないものの、固定局や位置情報サービス事業と通信する必要がなく、精度の良いオルソ写真や3次元点群データ等を作成することができる。 位置補正情報提供までに3時間程度かかる。	
RTK-GNSS測位	①固定局を設置し、正確な位置座標を求める。 ②固定局で、GNSSデータを取得し、誤差（差分）を求める。 ③固定局位置座標誤差を、リアルタイムに移動局と通信する。 ④移動局のGNSS位置座標を、受信した誤差の分補正する。	水平精度 20cm程度	△ UAV計測は 1日程度 固定局の設置 が必要 位置補正情報はリアルタイム取得	△ 測位精度が良いが、固定局と移動局で通信する必要があるため、火山地域での長距離運用では困難な場合が想定される。	
ネットワーク型RTK-GNSS測位	①複数の基準局をネットワーク化し周囲の位置情報誤差をサービス 　会社が解析する ②移動局近傍に仮想基準局を想定する。 ③仮想基準点（サービス会社）と移動局間で、携帯電話回線を用いて 　RTK測位を行う。 情報提供会社との契約と、通信回線が必要となる。	水平精度 20cm程度	△ UAV計測は 1日程度 空撮中に位置補正情報提供サービス会社と通信する必要がある。 位置補正情報はリアルタイム取得	△ RTK-GNSS測位に比べて精度が落ち、移動局は位置情報サービス事業者と通信する必要があるため、通信環境の不安定な火山地域での運用は困難な場合が想定される。 しかし、固定局を設置する必要がない。	
PPP（精密単独測位型）	①電子基準点による観測データから得られる補正データを位置補正情報提供サービス会社がQZSSに送信する。 ②移動局のGNSS衛星測位値をCLASにより補正する。	水平精度 5～20cm	× 現在CLAS受信モジュールは大型 CLASは5～30秒ごとに取得	△ RTK-GNSS測位やネットワーク型RTK-GNSS測位に比べて精度が落ちるが、携帯通信圏外でもリアルタイムに位置情報を補正できる。 現在はUAVに搭載できるモジュールは無い。	

表 1-9：参考文献一覧

	対象技術	著者等	発行年	タイトル	掲載紙等
1	降灰マーカー UAVによる概略浸透能把握	堤宏徳・山田將喜・山本陽子・手塚咲子・田方智・木佐洋志	2018年5月	UAV を用いた火山灰堆積状況および浸透能の概略把握の試み	平成30年度砂防学会研究発表会概要集，V-125
2	降灰マーカー UAVによる概略浸透能把握	堤宏徳・岡崎敏、山本陽子、上條孝徳、田方智、関本あすみ	2019年5月	UAVを用いた火山灰堆積状況および浸透能の概略把握の試み（その２）	令和元年度砂防学会研究発表会概要集，P-165
3	簡易降灰量計	瀬戸秀治・ワンチャオウェン・金子涼磨	2019年5月	簡易降灰量計の開発について	令和元年度砂防学会研究発表会概要集，P-171
4	簡易降灰量計	瀬戸秀治・ワンチャオウェン・松田慎恩・国居祐介	2020年5月	簡易降灰量計の開発について	令和２年度砂防学会研究発表会概要集，P-165
5	降灰厚スケール サンプリングデバイス 表面流確認デバイス	金崎裕之・森山裕二・島田徹・手東宗弘・永田直己・皆川淳・金井啓通・永谷圭司・谷島諒丞・伊豆智幸	2017年5月	火山噴火時における土石流発生区域に関する無人調査手法の開発 －降灰後土石流の発生予測を目的とした調査デバイス－	平成29年度砂防学会研究発表会概要集，R4-15
6	降灰厚スケール サンプリングデバイス 表面流確認デバイス UGV運搬手法	金崎裕之・森山裕二・島田徹・永田直己・皆川淳・永谷圭司・久利美和・桐林星河・谷島諒丞・菊地泰洋・中川範晃	2018年5月	火山噴火時における土石流発生区域に関する無人調査手法の開発 その２－ドローン搭載用調査デバイスによる土石流発生リスクの評価手法の提案と実証試験－	平成30年度砂防学会研究発表会概要集，V-125
7	UAVによるSfm サンプリングデバイス 雨滴センサー	国立研究開発法人新エネルギー・作業技術総合開発機構、国立大学法人東北大学、国際航業株式会社、株式会社エンルート	2016年3月	土石流予測を目的としたセンシング技術とリアルタイム災害データベースの開発　成果報告書	_
8	降灰厚スケール サンプリングデバイス 表面流確認デバイス UGV運搬手法	国際航業株式会社、株式会社エンルート	2018年3月	土石流予測を目的としたセンシング技術ならびに高精度土石流シミュレーションシステムの開発　技術開発報告書	_
9	サンプリングデバイス	谷島諒丞・久利美和・永谷圭司	2018年	マルチローター機搭載型火山砕屑物採取装置の採取性能評価	火山第63巻(2018)第1号1-11頁
10	降灰厚調査ユニット 浸透状況調査ユニット UAVによるカメラ設置	堤 宏徳,山田將喜,山本 陽子・家田泰弘,佐渡耕一郎,荒木強,高橋信一,潮見礼也,相澤明宏,河野元	2018年5月	火山噴火時立入困難地域の状況把握のための遠隔調査ユニットならびにUAV を用いた運搬手法の開発への取り組み	平成30年度砂防学会研究発表会概要集，P-204
11	降灰厚調査ユニット 浸透状況調査ユニット UAVによるカメラ設置	堤宏徳,・梅本武史・家田泰弘，鴨志田毅,池上浩二，片嶋啓介,潮見礼也,河野元	2019年5月	火山噴火時立入困難地域の状況把握のための遠隔調査ユニットならびにUAV を用いた運搬手法の開発への取り組み（その２）	令和元年度砂防学会研究発表会概要集，R1-001
12	降灰厚調査ユニット 浸透状況調査ユニット UAVによるカメラ設置	堤宏徳,・梅本武史・家田泰弘，鴨志田毅,池上浩二，片嶋啓介,潮見礼也,河野元	2020年5月	火山噴火時立入困難地域の状況把握のための遠隔調査ユニットならびにUAV を用いた運搬手法の開発への取り組み（その３）	令和元年度砂防学会研究発表会概要集，R1-001
13	UAVによるカメラ運搬 機器設置選定プログラム	永谷圭司・清水寛子・銭谷彰・金崎裕之・島田徹・皆川淳・森山裕二・田村圭司・杵淵新一・篠原幸夫・高橋忍・杤木敏仁・小林拓也・金井啓通	2019年10月	飛行ロボットで運搬する観測カメラの設置点計画と設置試験	第19回建設ロボットシンポジウム，P-14
14	降灰厚計測デバイス 機器設置選定プログラム	東京大学	2020年2月	火山噴火時を想定した規制区域内の降灰厚分布調査システムの開発	ー
15	衛星SAR	堤宏徳・岡崎敏・水野正樹・柴山卓史・平田育士・杉本惇・本田健	2019年5月	火山噴火時に衛星 SAR データ用いて一定厚以上の降灰分布形状を把握する手法の検討	令和元年度砂防学会研究発表会概要集，P-163
16	UAVによる計測	酒井義尚・酒井良・小松澤展・田中秀基・村松悦由・樽林哲也・唐木理富・金井啓通・江川真史・島田徹	2016年5月	2015年箱根山・大渡谷噴火におけるUAVを用いた無人調査について	平成28年度砂防学会研究発表会概要集，R6-03
17	UAVによる計測	鳥田英司・小段應司・宇城輝	2014年5月	火山源頭部におけるUAVによる地形計測と変動状況解析について	平成26年度砂防学会研究発表会概要集P1-57
18	UAV用ウィンチ	岡谷鋼機株式会社	-	ドローン用ウインチ	カタログ
19	UAVによるSfM計測 PPK－GNSS	松芳・宇佐美・鴨志田・池上・内柴・河野	2020年5月	PPK を利用したUAV - SfM による積雪深計測の検証	令和２年度砂防学会研究発表会概要集，R12-023
20	バケット式サンプラー 等	早川智也	2019年11月	土石流・泥流発生限界危険度評価	有珠山　土砂災害減災シンポジウム　資料
21	雨滴センサー	金井・杤木・永田・杵淵・後藤	2020年5月	立入規制下の火山地域における降灰および気象観測情報の面的な把握手法	令和２年度砂防学会研究発表会概要集，R12-014

2. 降灰の質に関する情報を取得するための技術概要

降灰後の土石流発生の素因となる火山灰物性は、これまでの研究事例等から浸透能低下に影響を及ぼす「層厚」、「粒径」、「孔隙・空隙」、「固化成分」が考えられ、また地形については流域面積や斜面勾配などが上げられる。誘因については、時間雨量や累積雨量などの降雨特性がある。

これら火山灰物性（層厚、粒径、空隙・孔隙、固化状況）は、それぞれが複雑に関与している（下図）。粒径、孔隙、固化については、マグマ組成（粘性）や水が大きく関係している。そしてこのような粒子や固化成分が集合することにより、空隙や層厚が変化する。

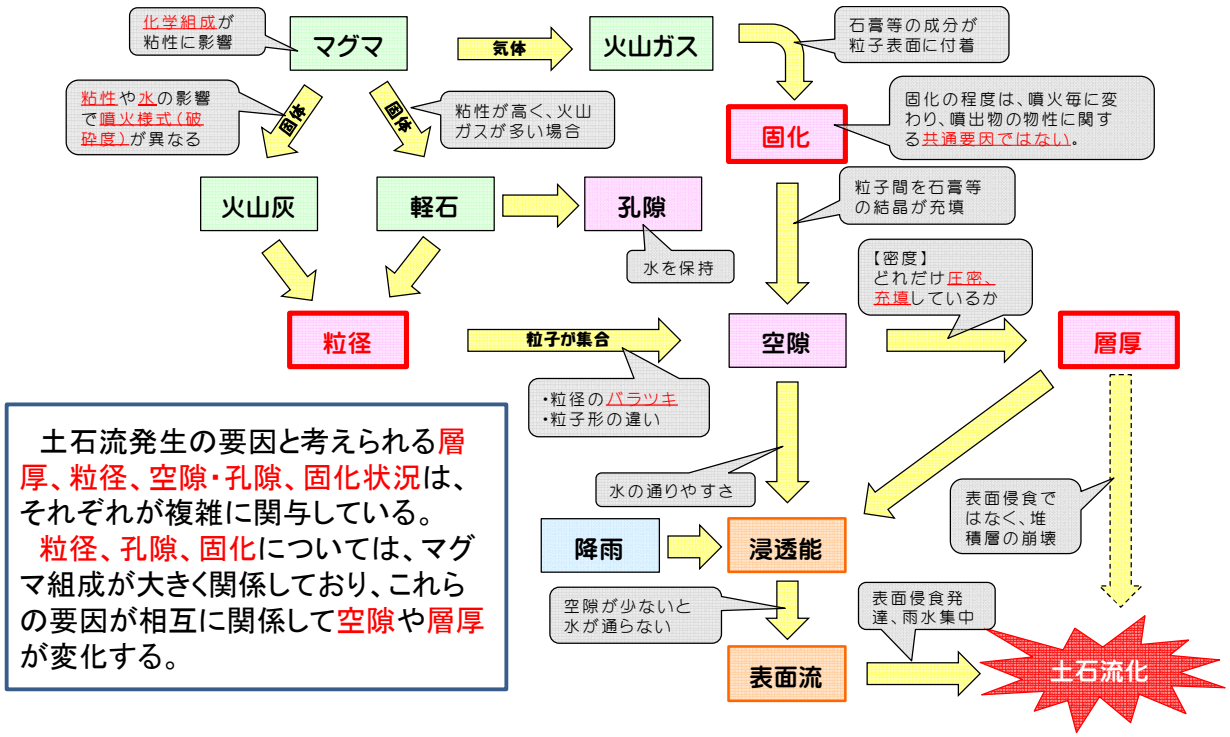


図 2-1：浸透能低下に影響を及ぼす火山灰特性（土石流発生の要因）の関係性
（出典：火山噴火時の土砂災害緊急情報等の高度化検討業務報告書，H30年3月，
一財）砂防地すべり技術センター）

概略的な粒径や浸透能等、降灰の質については、緊急調査実施の判断のために必要な情報ではないが、緊急調査実施の手引きにおいて「細粒成分に着目し、浸透能の低下の状況についても確認するよう努める」との記載があることから、立入規制区域内に対しても「浸透能や試料採取のための技術」を用いて継続調査期に取得するように努める。

そのため、前章にて抽出した技術について、土石流発生リスク評価に必要な火山灰に関する情報取得の適用性について、精度、調査時間等の観点で整理した。緊急調査への適用性を整理した。

表 2-1：抽出技術の適用性の整理①

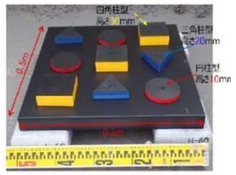
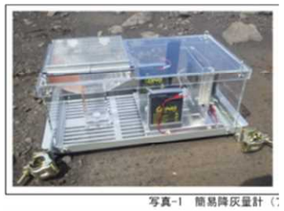
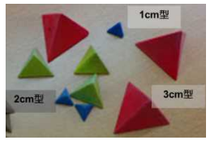
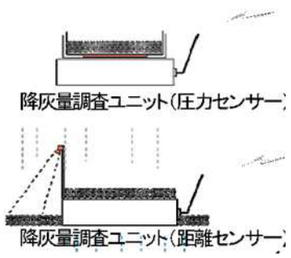
技術名	概要	降灰厚 調査精度	実施時間	調査頻度	土石流発生リスクを評価する要因（定量評価可能◎　定性評価可能○　評価困難-）					
					粒径	空隙・孔隙	固化	浸透能	堆積構造	雨量強度
降灰マーカー（凸型、凹型） 　降灰厚を計測するスケールを現場に事前設置して降灰後にUAVで降灰厚を計測する		○ 1cm～ 10cm	△ 事前設置できればUAV計測は数時間程度	△ 定期にUAV計測	-	-	-	-	-	-
簡易降灰量計 　簡易降灰量計は，1 辺20cm の正方形の開口部から火山灰を採取し，開口部の大きさに対応した降灰厚さの目盛がついたアクリル樹脂製降灰升を，ケースに固定したカメラで撮影する		○ 1cm～5cm	○ マーカー自体の設置は人力	○ リアルタイム（携帯通信）	◯ カメラ画像から推定	-	◯ カメラ画像から推定	-	◯ カメラ画像から推定	◯ カメラ画像から推定
投下型降灰厚スケール 　降灰厚を計測するスケールを現場に設置（UAVでの設置も可能）して降灰後にUAVで降灰厚を計測する		○ 1cm～ 10cm	○ 事前設置できればUAV計測は数時間程度	△ 定期にUAV計測	-	-	-	-	-	-
無人機械（UAV等）による 降灰厚調査ユニットの設置・計測 　距離センサーや荷重センサーを搭載したユニットを緊急時にUAVで現場に設置して継続的に降灰厚を計測する 　ユニットの重量は200ｇ程度。		○ 圧力センサ 5㎜ 距離センサ 数㎜	○ UAVで設置は数時間程度（事前計画必要）	○ リアルタイム ・携帯通信やLPWA ・乾電池 （1ヵ月程度）	-	-	-	-	-	-
UAVによるインターバルカメラや 　スケール設置計測 SIMカードを搭載したカメラを緊急時にUAVで現場に設置し、スケール等を継続的に撮影する。重量はカメラ0.4kg、三脚1.6kg		○ 1cm～ 堆積構造の把握等も可能	○ UAVで設置は数時間程度（事前計画必要）	○ リアルタイム ・データ伝送携帯通信 ・電源乾電池	◯ カメラ画像から推定	-	◯ カメラ画像から推定	-	◯ カメラ画像から推定	◯ カメラ画像から推定

表 2-2：抽出技術の適用性の整理②

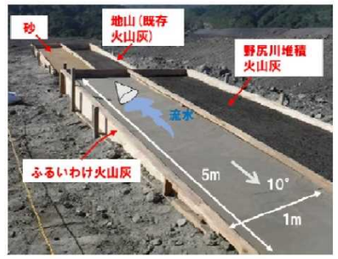
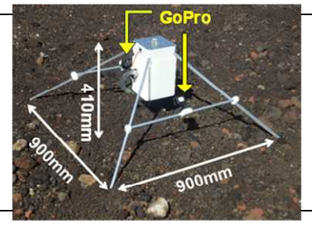
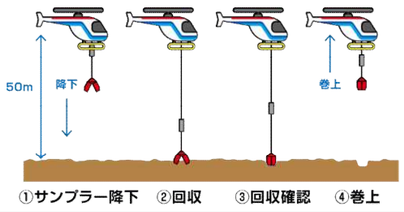
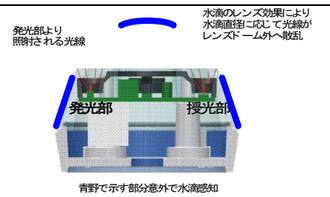
技術名	概要	調査精度	実施時間	調査頻度	土石流発生リスクを評価する要因（定量評価可能◎　定性評価可能○　評価困難-）					
					粒径	空隙・孔隙	固化	浸透能	堆積構造	雨量強度
降灰厚計測デバイス 　噴火後の火口周辺にUAVで運搬・設置し、表層の火山灰を除去することにより降灰厚を直接計測する。 　デバイスには全周囲カメラなど搭載可能。		2cm程度の降灰厚計測可能	○ UAVで設置は数時間程度（事前計画必要）	△ UAV飛行後搭載されているカメラで確認	○ カメラ画像から推定	-	○ カメラ画像から推定	-	-	-
UAVを用いた浸透能概略把握手法 　UAVを用いて火山灰が堆積した斜面に水を供給し，地表面における浸透状況・表面流発生状況をカメラで記録して，浸透能を概略的に把握する手法		表面流の面積で浸透状況を概略把握	○ UAV計測は1日程度	△ 定期にUAV計測	-	-	-	○ カメラ画像から推定	-	-
表面流確認デバイス 　UAVを用いて運搬し、テザーが着陸時に緩んだことを感知して、カッターが格納した水風船を割り、散水した画像を撮影		表面流浸透状況を概略把握	○ UAV計測は1日程度	△ 定期にUAV計測	△ カメラ画像から推定	-	○ カメラ画像から推定	○ カメラ画像から推定	-	-
無人機械（UAV等）による浸透状況調査ユニットの設置・計測 　土壌水分センサーを搭載したユニットを緊急時にUAVで現場に設置して継続的に地表面の含水率を計測する		表面流の発生を含水率変化で把握	○ UAVで設置は数時間程度（事前計画必要）	○ リアルタイム・データ転送 携帯通信 LPWA ・電源：乾電池 （1ヵ月程度）	-	-	-	○ 含水率計測結果から推定	-	○ 含水率計測結果から降雨の有無を把握
④サンプリングデバイス （粒径から透水性概略把握） 　UAVにて吊下げたデバイスを地表に接地させてローラーにて土砂を採取後、帰還する。 （実証実験実績：雲仙岳）		100 g 程度の土砂を採取可能	○ UAV作業は1日程度	△ 定期にUAVでサンプリング	◎ 採取した試料を粒度試験で分析可能	-	○ カメラ画像から推定	○ 粒度分析から間接的に把握	-	-

表 2-3：抽出技術の適用性の整理③

技術名	概要	降灰厚 調査精度	実施時間	調査頻度	土石流発生リスクを評価する要因（定量評価可能◎　定性評価可能○　評価困難-）					
					粒径	空隙・孔隙	固化	浸透能	堆積構造	雨量強度
バケット式サンプラー、ボール式サンプラー　UAVにて吊下げたバケットを地表に設置させて、バケットを閉じて火山灰を採取後、帰還する。			○ UAV作業は1日程度	△ 定期にUAVでサンプリング	◎ 採取した試料を粒度試験で分析可能	-	○ カメラ画像から推定	○ 粒度分析から間接的に把握	-	-
UAVによる簡易的な雨量計の運搬手法 　ドーム状の外周に雨滴が発生することでレーザーが散乱して減衰することで雨量強度を計測。軽量のためUAVで運搬可能。			○ 設置作業は数時間	計測頻度は通常1時間程度 ・データ転送携帯通信 リチウム電池で稼働	-	-	-	-	-	○ 0.5㎜の分解能

3. UAVの性能概要

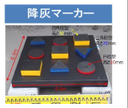
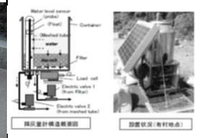
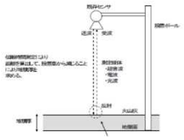
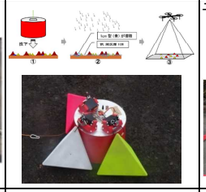
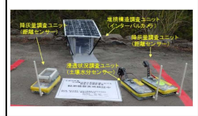
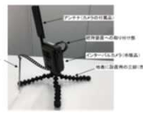
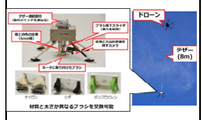
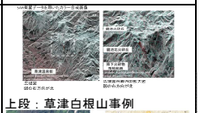
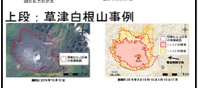
UAVは「固定翼機」と「回転翼機」に大別される。国内で普及率が高いのは、「回転翼機」のうち「マルチローター機」と呼ばれる4枚～8枚程度の回転翼をもつ機体である。「マルチローター機」の中でも操縦も簡易的で価格も比較的安価である機体は「ホビー機」と呼ばれる機体の利用が大幅に増える一方で、近年における災害時の過酷な飛行条件に応じて高い性能が要求されるため、「サーベイ機」と呼ばれる機体の開発や実績が増加しているのが現状である。

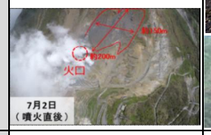
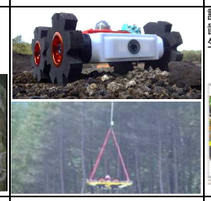
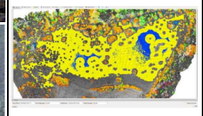
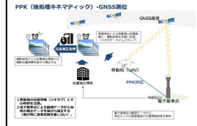
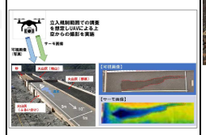
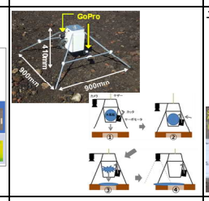
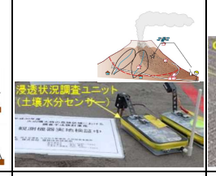
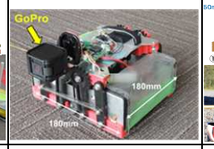
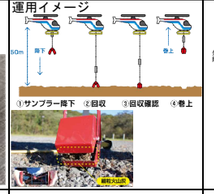
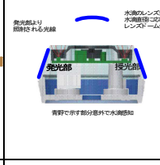
一方、「固定翼機」、「シングルローター（無人ヘリ）」は、ガソリンエンジンで機体重量も重いため墜落時の火災や人身事故のリスクが大きく、価格も高いことから、離島や原発調査等の長距離飛行が必須となるケースや、農薬散布等の比較的ペイロードが必要なる作業等の限定的な活用に留まっている。

UAV技術の発展は日進月歩であるため、ペイロードや運用距離など、技術の進歩に合わせて、次表を更新し、最適な機材を選択していくことが望ましい。

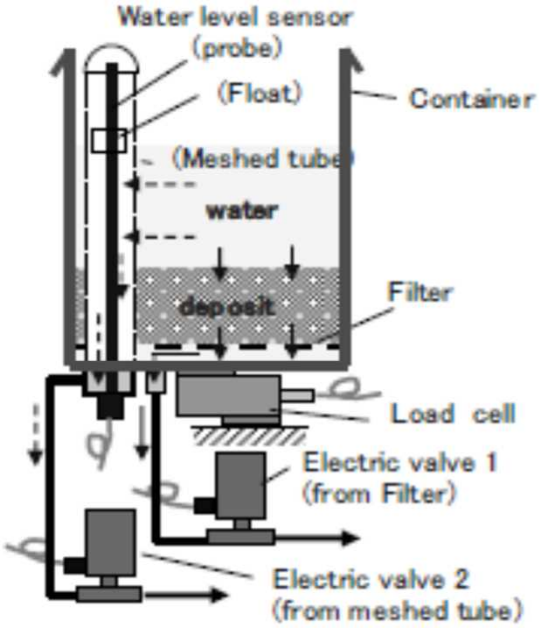
表 3-1：UAV 性能比較表（R1～R2 年度時点　メーカーヒアリング結果）

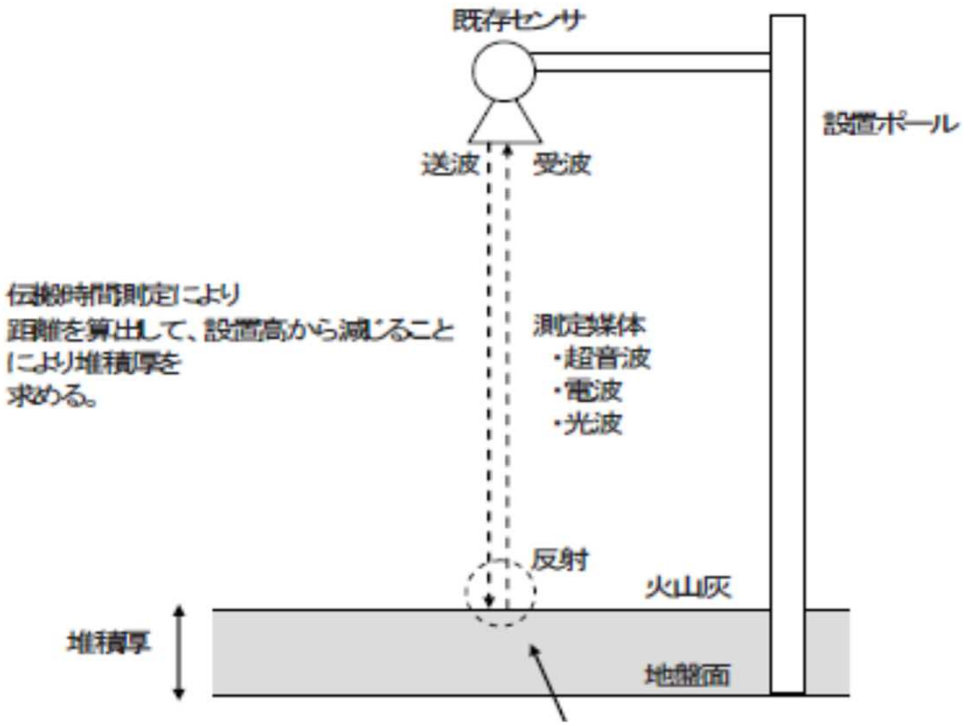
機種	固定翼機	シングルローター機(無人ヘリ)	マルチローター機①；サーベイ機	マルチローター機②；ホビー機
機体外観				
メーカー事例	フジ・インバック株式会社　等	ヤマハ発動機株式会社　等	株式会社イームズラボ　等多数	DJI（中国）等多数
価格	3000万円～1億円（自衛隊に販売）	機体3000万円＋通信局1500万円（+税）	100～250万円程度	20万円程度
機体寸法 (全長×全幅×全高)	2.8 m×3.2 m×1.1 m	3.7 m×0.8 m×1.1 m	1.0×1.0×0.5 m	0.3×0.3×0.2 m
重量	30 kg　×　（墜落時のリスク大）	79.5 kg　×　（墜落時のリスク大）	5.4 kg（バッテリー等含む）	1.4 kg（バッテリー等含む）
ペイロード	5 kg（機器の地上設置は困難）	25 kg~35kg（燃料6 L時）	6 kg	1kg程度　運搬不可の機体も有
燃料	オイル混合レギュラーガソリン　(89オクタン以上)／10L　（墜落時のリスク大）	レギュラーガソリン／12 L （墜落時のリスク大）	リチウムポリマーバッテリー×2～3 ／118 Wh	リチウムポリマーバッテリー ／5870 mAh
運用距離	260 km（実績；西之島）	30km ※衛星通信使用	4km（片道）	2km（片道）
最大航続距離	1000 km（調整次第）	90km ※衛星通信使用	8km（往復）	4km（往復）
航続時間	4～5 時間	100 分	30～40分	25～30分
巡航速度	100-120km/h	10~20 m/s（36~72 km/h）	15～27 m/s（60～100 km/h）	14～20 m/s（50～72 km/h）
限界飛行高度/ 対地高度	6000m（限界飛行高度）	2800m（限界飛行高度）	3000m/ 150m～650m程度	5000m/ 150～500m程度（設定制限あり）
耐風速	風速 10 m/s	風速 10 m/s	風速 10 m/s	風速 10 m/s
耐温度	－20（南極）～50℃（アフリカ）	－20℃（草津白根）	－10℃～60℃程度	0～40℃程度　（バッテリーへのケア必要）
通信方法	衛星通信システム （データ送信のみ，オプション）	無線電波（離着陸操縦） 衛星通信システム（映像送信）	無線電波	無線電波
使用周波数	1 GHz帯（L-バンド）	73 MHz帯 10 ch（産業ラジコン用規格） 1 GHz帯（インマルサット通信衛星サービス）	2.4 GHz帯（プロポ） 920MHz LoRa方式（フライトコントローラ）	日本国内：2.4 GHz帯（プロポ）
最大伝送距離	衛星補足可能範囲内	衛星補足可能範囲内	10km程度	日本国内：4 km
撮影画像／映像	カメラ別売	カメラ別売	カメラ別売	最大画像サイズ:：2,000万画素 ／4K動画（4096×2160）
実績	福島第一原発（不明，2011） 西之島観測（国土地理院，2014）	桜島、新燃岳、三宅島、伊豆大島、 口永良部島 地震計の設置・回収等	桜島、雲仙岳　等	草津白根山（2018年1月）　等
その他の機能	オートパイロット機能を搭載 滑走自動離着陸可能	機体との通信途絶時に自動帰還･着陸する機能を搭載	フェールセーフ機能	フェールセーフ機能（RTH）

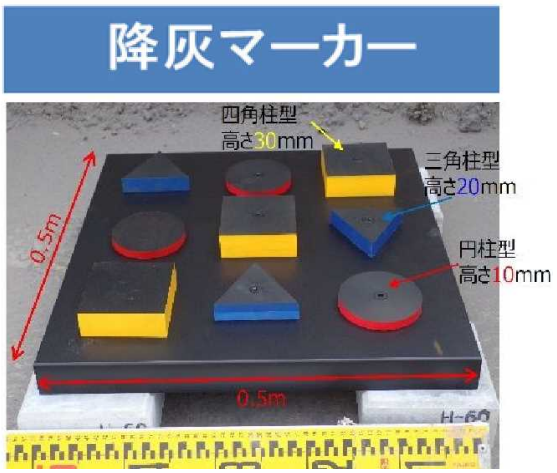
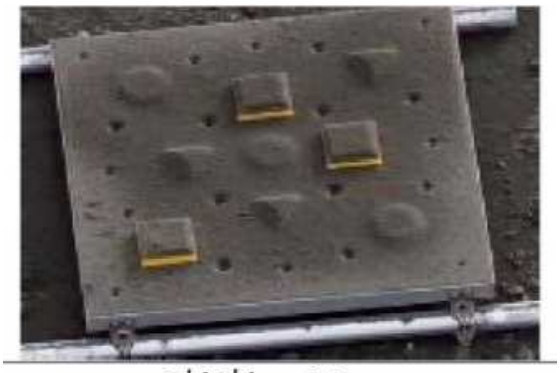
技術名	人力計測（地上踏査）	自動降灰量計	非接触型機器による計測	降灰マーカー（凸型）	簡易降灰量計	降灰厚スケール	無人機械（UAV等）による降灰厚調査ユニットの設置・計測	UAVによるカメラやスケール設置・計測	降灰厚計測デバイス	航空機やヘリによる撮影	光学衛星や衛星SARによる一定厚以上の降灰厚分布把握
技術の特徴	調査職員が現地にて、ある面積に堆積している火山灰を採取し、採取した火山灰の質量と密度から、火山灰の堆積している厚さを計算して求める手法。	火山灰と雨水の合計重量をステンレス製容器で測定し火山灰の密度から降灰厚を算定	光波や超音波等を使用した既存の積雪等を計測する距離センサーを活用して降灰厚を計測	高さごとに色・形状を変えたマーカーを設置し、噴火後にUAV等でマーカーへの火山灰の堆積状況を確認し降灰厚を把握する。 降灰マーカー 	簡易降灰量計は，1 辺20cm の正方形の開口部から火山灰を採取し，開口部の大きさに対応した降灰厚さの目盛がついたアクリル樹脂製降灰升を，ケースに固定したカメラで撮影する	降灰厚を計測するスケールを現場に設置（UAVでの設置も可能）してUAVで降灰厚を計測する	距離センサーや荷重センサーを搭載したユニットを緊急時にUAVで現場に設置して継続的に降灰厚を計測する ユニットの重量は200ｇ程度。	SIMカードを搭載したカメラを緊急時にUAVで現場に設置し、スケール等を継続的に撮影する。 重量の事例としては、カメラ0.4kg、三脚1.6kg（下図左上）	噴火後の火口周辺にUAVで運搬・設置し、表層の火山灰を除去することにより降灰厚を直接計測する	航空機やヘリによる上空からの撮影で降灰状況や範囲を確認する手法	SARデータ（3時期コヒーレンス解析）を用いて、噴火前後の差分から、降灰範囲を想定する。
技術イメージ 模式図等				UAV等により降灰後のマーカー被覆状況を確認する 全てのマーカーが判読可能であれば1cm以下 黄色と青のマーカーが判読可能であれ1cm～2cm 黄色のみ判読可能であれば2cm～3cm UAVによる計測の場合は対地高度20m程度で斜めから撮影したほうが判読しやすい			ユニット設置、UAV運用イメージ 				 上段：草津白根山事例  下段：御嶽山事例
作業手順	平常時①地上踏査による降灰量調査地点を検討 緊急時③原則的に立入規制区域外での地上踏査による定面積サンプリング法による降灰厚計測	平常時①設置地点の検討 平常時②適地に設置（人力にて設置） 緊急時③データの受信	平常時①設置地点の検討 平常時②適地に設置（人力にて設置） 緊急時③データの受信	平常時①UAVの計測計画も踏まえて降灰マーカーの設置地点を検討 平常時②現地に降灰マーカーを設置（原則的に立入規制区域設置前に人力にて設置） 緊急時③降灰発生を確認後、UAVにて撮影した画像から各マーカーの判読を実施	平常時①設置地点を検討 平常時or緊急時②現地に調査ユニットを設置（人力にて設置） 緊急時③降灰発生を確認後、観測の実施（観測値の確認、データの蓄積）	平常時①UAVの計測計画も踏まえて降灰スケールの設置地点を検討 平常時or緊急時②現地に降灰スケールを設置（立入規制区域内にはUAVにて設置） 緊急時③降灰発生を確認後、UAVにて撮影した画像から各スケールの判読を実施	平常時①UAVの計測計画も踏まえて調査ユニットの設置地点を検討 平常時or緊急時②現地に調査ユニットを設置（立入規制区域内にはUAVにて設置） 緊急時③降灰発生を確認後、観測の実施（観測値の確認、データの蓄積）	平常時①UAVの飛行計画も踏まえてカメラの設置地点を検討 平常時or緊急時②現地にカメラを設置（立入規制区域内にはUAVにて設置） 緊急時③降灰発生を確認後、観測の実施（カメラ画像の確認、データの蓄積）	平常時①設置地点の検討 緊急時②降灰発生を確認後、UAVにて運搬・設置しリアルセンスカメラにて計測	平常時①飛行計画の検討 緊急時②搭乗し降灰状況の確認	平常時①運用中の衛星データ、入手先を確認 緊急時②降灰確認後、観測をオーダー、撮影を実施 緊急時③取得データの解析を実施
調査精度	◎　数mm程度	◎　1mm程度～最大20cm	◎　数cm程度	◎　1cm～10cm	◎　1cm～最大5cm	◎ 1cm～10cm	◎ 圧力センサー 5mm　距離センサー 数mm	◎ 1cm～堆積構造の把握等も可能	◎　2cm程度	△　降灰の有無がわかる	△（数10cm程度の誤差、但し、SAR画像では2、3cm程度の降灰分布がわかる可能性がある）
実施時間	△　1地点30分程度 　降灰範囲の面的把握には地点数にもよるが2、3日程度を要する。	◎　事前設置済の場合は即時	◎　事前設置済の場合は即時	△　事前設置できればUAV計測は数時間程度 　マーカー自体の設置は人力	○事前設置済の場合は撮影後即時 ６ヶ月間（日あたり4回撮影）程度稼働可能 ※カメラの設定に依存	○ 事前設置できればUAV計測は数時間程度	○ UAVで設置は数時間程度（事前計画必要）	○ UAVで設置（事前計画必要）	○UAVで設置は数時間程度（事前計画必要）	○　航空機、ヘリの準備次第実績は即日～1日程度	△　撮影は衛星回帰日数に依存通常数日～2週間程度 　解析は通常1～2日程度。
調査頻度	△　噴火に応じて実施	◎リアルタイム取得	◎リアルタイム取得	△　定期にUAV計測	○日あたり4回	△ 定期にUAV計測	○ リアルタイム ・携帯通信やLPWA ・乾電池（1ヵ月程度）	○ リアルタイム ・データ伝送携帯通信 ・電源乾電池	△ 定期にUAV計測	△ 定期に飛行・確認	△　衛星回帰日数に依存　通常数日～2週間程度
必要人員	1班2～3名で実施	―	―	準備に1名　設置に2名、UAVによる計測に3名	準備に1名　設置に2名、	準備に1名　設置に3名（必要に応じUAV使用）、UAVによる計測に3名	準備に1名　UAVによる設置に3名、観測に1名	準備に1名　設置に3名（必要に応じUAV使用）、観測に1名	準備に1名　UAVによる計測に3名	1、2名　判読担当 1名以上　撮影担当 1名　連絡担当	解析に2名×2日（計測範囲に依存）
概算費用	―	機材費 通常型470万、寒冷型550万	機材費 数十万～百万前後	50～100万程度（人件費のみ、マーカー代は含まない、事前設置計画は含まない）	―	50～100万程度（人件費のみ、スケール代は含まない、事前設置計画は含まない）	50～100万程度（人件費のみ、ユニット代は含まない、事前設置計画は含まない）	50～100万程度（人件費のみ、ユニット代は含まない、事前設置計画は含まない）	50～100万程度（人件費のみ、デバイス代は含まない、事前設置計画は含まない）	―	○万程度（人件費のみ、撮影代は含まない）
使用が想定される調査局面	初動期	全て 事前設置し被災しなければ精度・迅速性ともに適する	全て 事前設置し被災しなければ精度・迅速性ともに適する	準備（設置）：平常時、着手判断期	準備（設置）：着手判断期、初動期	準備（設置）：着手判断期、初動期	準備（設置）：着手判断期、初動期、継続期	準備（設置）：着手判断期、初動期	着手判断期、初動期	着手判断期	初動期、継続期
現地適用に関する留意点	・平常時より降灰量調査地点を選定する必要がある。 ・調査道具を事前に整備しておく必要がある。	・事前の設置には、環境省等の許可が必要であり、その折衝にも時間を要することが想定される ・寒冷地型では外部電源が必要。 ・軽石、スコリア交じりの場合の密度設定が必要 ・規制範囲内設置の場合は維持管理が困難となる ・搬入車両が必要	・事前の設置には、環境省等の許可が必要であり、その折衝にも時間を要することが想定される ・規制範囲内設置の場合は維持管理が困難となる ・積雪や植生等が挟まれた場合は正確性が損なわれる。 ・音波や光波などのセンサーの種類は複数あるが、光波が最も精度が良い。	・降灰前にスケールを設置する必要がある。 （人力での設置が想定されるため、平常時に設置する必要がある） ・UAV調査計画（飛行可能ルート、到達可能範囲）を踏まえた設置地点検討が必要。 ・埋設後の繰返しの計測に対する対応（降灰除去もしくは新規設置）が必要。	・事前の設置には、環境省等の許可が必要であり、その折衝にも時間を要することが想定される ・人力での設置を想定しているため、前兆現象期に設置する必要がある ・バッテリー稼働のため調査継続時間には制限がある	・降灰前にスケールを設置する必要がある。 ・UAV調査計画（飛行可能ルート、到達可能範囲）を踏まえた設置地点検討が必要。	・降灰前にセンサーを設置する必要があるが電源は1ヵ月程度。 ・センサーが正常に設置されたかを確認する必要がある。 ・UAV調査計画（飛行可能ルート、到達可能範囲）、電波通信状況を踏まえた設置地点検討が必要。	・降灰前にカメラやスケールを設置する必要がある。 ・事前の設置通信計画（設置場所の選定、通信試験）が必要。 ・UAV調査計画（飛行可能ルート、到達可能範囲）、電波通信状況を踏まえた設置地点検討が必要。	・現在実証実験段階 ・UAV調査計画（飛行可能ルート、到達可能範囲）を踏まえた設置地点検討が必要。	・噴火後以降には危険範囲内への進入が困難 ・LPデータは斜め計測や高高度計測に事例がある。 ・計測に際し天候の制約を受ける ・ＬＰデータ解析を実施する場合は時間を要する ・差分を取る場合は比較する降灰前のデータが必要である	・精度が点データ計測に比べて劣る ・計測に際し衛星回帰日数の制約を受ける ・データの解析に時間を要する ・差分を取る場合は比較する降灰前のデータが必要である
実績	立入規制区域外での観測事例は多数	桜島や新燃岳で運用実績	北海道駒ケ岳で実績	新燃岳等で現地検証を実施	桜島で実証実験実績	新燃岳等	新燃岳	新燃岳	小浅間山、片蓋川で実証実験実績	立入規制区域外での観測事例は多数	霧島、御嶽山、草津白根山等
連絡先 関係マニュアル	国土交通省九州技術事務所火山防災減災課　0942-32-8245 「降灰量調査手順書（案）」H26.11 「緊急調査実施の手引き実務マニュアル」H31.3	国土交通省九州技術事務所火山防災減災課　0942-32-8245 「緊急調査実施の手引き実務マニュアル」H31.4	国土交通省土木研究所土砂管理研究G火山・土石流チーム 「火山灰堆積調査法に関する共同研究報告書」H21.1	国土交通省九州技術事務所火山防災減災課　0942-32-8245 「緊急調査実施の手引き実務マニュアル」H31.3 UAVを用いた火山灰堆積状況および浸透能の概略把握の試み（その２），令和元年度砂防学会研究発表会概要集，P-165	簡易降灰量計の開発について，2020年度砂防学会研究発表会概要集，R12-003，p.583	土石流予測を目的としたセンシング技術ならびに高精度土石流シミュレーションシステムの開発　技術開発報告書　東北大、国際航業（株）他 火山噴火時における土石流発生区域に関する無人調査手法の開発 その２，平成30年度砂防学会研究発表会概要集，V-125	国土交通省九州技術事務所火山防災減災課　0942-32-8245 「緊急調査実施の手引き実務マニュアル」H31.3 火山地域における無人航空機運搬用簡易調査ユニットマニュアル　H31.2 火山噴火時立入困難地域の状況把握のための遠隔調査ユニットならびにUAV を用いた運搬手法の開発への取り組み，平成30年度砂防学会研究発表会概要集，P-204	国土交通省九州技術事務所火山防災減災課　0942-32-8245 「緊急調査実施の手引き実務マニュアル」H31.3 火山地域における無人航空機運搬用簡易調査ユニットマニュアル　H31.2 火山噴火時立入困難地域の状況把握のための遠隔調査ユニットならびにUAV を用いた運搬手法の開発への取り組み，平成30年度砂防学会研究発表会概要集，P-204	令和元年度火山噴火時を想定した規制区域内の降灰厚分布調査システムの開発報告書　河川砂防技術研究開発	国土交通省九州技術事務所火山防災減災課　0942-32-8245 「緊急調査実施の手引き実務マニュアル」H31.5	対応可能な災害協定会社を事前に確認 「緊急調査実施の手引き実務マニュアル」H31.3、SAR衛星を活用した火山災害調査手順書（案）　H28.1 火山噴火時に衛星 SAR データ用いて一定厚以上の降灰分布形状を把握する手法の検討，令和元年度砂防学会研究発表会概要集，R1-001

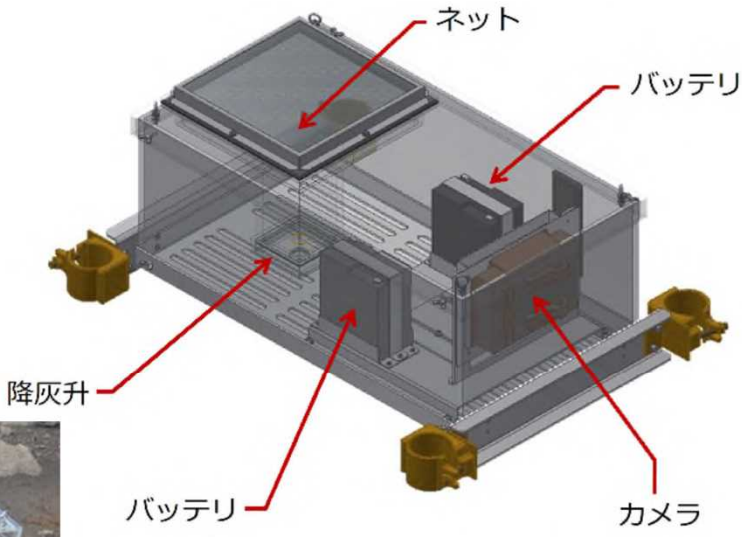
技術名	UAVによるLP計測、Sfm計測	UAVによるUGV運搬手法	機器設置適地選定プログラム	ドローン用ウィンチ	PPK-GNSS測位	UAVを用いた浸透能概略把握手法	表面流確認デバイス	無人機械（UAV等）による浸透状況調査ユニットの設置・計測	サンプリングデバイス（粒径から透水性概略把握）	バケット式サンプラー、ボール式サンプラー（粒径から透水性概略把握）	雨滴センサー
技術の特徴	LPデータ計測、もしくは連続的な空中写真からオルソフォト、DSM、DEMを作成し、降灰前のデータと比較する。撮影からデータ処理は、一般的にLP計測に比べてSfM処理の方が短い時間で実施可能である。	カメラ等を搭載したUGVをUAVで運搬して現地設置。調査期間終了後UAVにて回収。機体は50×40×20cm、重量は5kg程度。降灰厚調査ユニットの運搬や降灰マーカー撮影などにも活用可能と考えられる。	Sfmにより作成された点群データや色彩データを用いて、勾配や凹凸や植生の有無を評価し、観測機器やロボットをUAVで運搬して観測をする際に適切な場所を選定するプログラム。	ペイロード３～10kgクラスのドローンと組合せてホバリング状態からカメラ等の昇降を可能としたツール。重量は630ｇ。	①移動局の位置情報（ジオタグ）とその時刻（ジオスタンプ）を記録。 ②電子基準点による観測データから当時の補正データを後から補正する（飛行時に携帯回線を要しない）。 位置補正は時間を基準に行うので、撮影時刻を正確に抑える必要ある。 情報提供会社から、位置補正情報を購入する。	UAV を用いて火山灰が堆積した斜面に水を供給し、地表面における浸透状況・表面流発生状況をカメラで記録して、浸透能を概略的に把握する手法	UAVを用いて運搬し、テザーが着陸時に緩んだことを感知して、カッターが格納した水風船を割り、散水した画像を撮影	土壌水分センサーを搭載したユニットを緊急時にUAVで現場に設置して継続的に地表面の含水率を計測する	UAVにて吊下げたデバイスを地表に接地させてローラーにて土砂を採取後、帰還する。	UAVにて吊下げたバケットを地表に設置させて、バケットを閉じて火山灰を採取後、帰還する。	発光部により照射される光線を、授光部で検知する簡易雨滴センサー 水滴が付着することによる水滴のレンズ効果により、水滴の直径に応じて光線がレンズドーム外へ散乱することにより授光部での授光量が減少することにより雨滴を検知する
技術イメージ 模式図等	箱根火山噴火時の撮影事例 		設置地点評価解析図　青色：設置可能領域　黄色　障害物（植生、凹凸）5m以内 					ユニット設置、UAV運用イメージ 		運用イメージ 	
作業手順	平常時①UAVの飛行計画を検討 緊急時②降灰発生を確認後、UAVによる計測を実施（Lpor空撮） 緊急時③取得データの解析処理を実施	平常時①UAVの飛行計画も踏まえてUGVに搭載するセンサーや設置地点を検討 平常時or緊急時②現地にUGVをUAVにて運搬、設置 緊急時③観測の実施（カメラ画像、観測値の確認、データの蓄積）	平常時or緊急時①UAV等で地形データを取得しプログラム用のデータを作成 緊急時②プログラムにより観測機器を設置する適地を選定	平常時①ウィンチを使用できるUAVを選定 緊急時②ウィンチを使用してセンサー等をドローンで運搬	平常時①飛行計画の検討 緊急時②UAV飛行	平常時①UAVの計測計画も踏まえて浸透能調査地点を検討 緊急時②降灰発生を確認後、UAVにて調査地点に散水、画像撮影 緊急時③撮影した画像から概略浸透能を把握	平常時①UAVの計測計画も踏まえて浸透能調査地点を検討 緊急時②降灰発生を確認後、UAVにて調査地点に散水、画像撮影 緊急時③撮影した画像から概略浸透能を把握	平常時①UAVの計測計画も踏まえて調査ユニットの設置地点を検討 平常時or緊急時②現地に調査ユニットを設置（立入規制区域内にはUAVにて設置） 緊急時③降灰発生を確認後、観測の実施（観測値の確認、データの蓄積）	平常時①UAVの計測計画も踏まえてサンプリング地点を検討 緊急時②降灰発生を確認後、UAVにて調査地点でサンプリング、画像撮影 緊急時③採取した試料や画像から概略浸透能を把握	平常時①UAVの計測計画も踏まえてサンプリング地点を検討 緊急時②降灰発生を確認後、UAVにて調査地点でサンプリング 緊急時③採取した試料から概略浸透能を把握	平常時①設置地点の検討 緊急時②UAVにて運搬・設置 緊急時③データの受信
調査精度	○（数cm～10cm程度の精度）※	カメラや雨量計を搭載して降灰厚や雨量を計測	–	–	–	表面流の面積で浸透状況を概略把握	表面流浸透状況を概略把握	表面流の発生を含水率変化で把握	100ｇ程度の土砂を採取可能	細粒火山灰を採取可能	分解能 0.5mm 精度にはまだ課題がある
実施時間	計測面積や対地高度による(0.5㎢/日程度) Sfm処理2日 LP処理4日	○ UAV作業は1日程度	解析範囲による	–	UAV飛行は数時間程度 位置補正情報提供までに3時間程度	○ UAV計測は1日程度	○ UAV計測は1日程度	○ UAVで設置は数時間程度（事前計画必要）	○ UAV作業は1日程度	○ UAV作業は1日程度	UAVで設置は数時間程度 ◎設置後はリアルタイム計測（計測頻度は通常1時間程度）
調査頻度	△ 定期にUAV計測	○ リアルタイム ・データ転送 携帯通信 LPWA等 ・電源：リチウムイオン電池	–	–	– UAV飛行精度±2cm程度	△ 定期にUAV計測	△ 定期にUAV計測	○ リアルタイム ・データ転送 携帯通信 LPWA ・電源：乾電池（1ヵ月程度）	△ 定期にUAVでサンプリング	△ 定期にUAVでサンプリング	○計測頻度は通常1時間程度
必要人員	飛行計画検討に1名、UAV計測に3名、解析に2名×2日（計測範囲に依存）	準備に1名　設置に3名（必要に応じUAV使用）、観測に1名	プログラム用データ作成、解析1名×2日程度	–	UAV飛行に3名	準備に1名　UAV調査に3名、画像解析に1名	準備に1名　UAV調査に3名、画像解析に1名	準備に1名　UAVによる設置に3名、観測に1名	準備に1名　UAV調査に3名、試料分析に1名	準備に1名　UAV調査に3名、試料分析に1名	準備に1名　UAVによる運搬に3名
概算費用	100～200万程度（人件費のみ、事前飛行計画検討は含まない）	50～100万程度（人件費のみ、UGV代は含まない、事前設置計画は含まない）	20万～50万程度（解析範囲による）	ウィンチは42万程度。	50～100万程度（人件費のみ、事前設置計画は含まない）	50～100万程度（人件費のみ、散水用機材は含まない、事前設置計画は含まない）	50～100万程度（人件費のみ、散水用機材は含まない、事前設置計画は含まない）	50～100万程度（人件費のみ、ユニット代は含まない、事前設置計画は含まない）	50～100万程度（人件費のみ、サンプリングデバイス代は含まない、事前設置計画は含まない）	50～100万程度（人件費のみ、サンプリング機材代は含まない、事前設置計画は含まない）	50～100万程度（人件費のみ、センサー代は含まない、事前設置計画は含まない）
使用が想定される調査局面	初動期、継続期	継続期	継続期	UAVを活用する局面	着手判断期、初動期	継続期	継続期	準備（設置）：着手判断期、初動期、継続期	継続期	継続期	初動期、継続期
現地適用に関する留意点	・精度が点データ計測に比べて劣るが1cm以上の精度は確認できる可能性がある ・計測精度は対地高度や機体のGPSの精度に依存 ・計測に際し雲や噴煙の制約を受ける ・データの解析に時間を要する（1日～数日程度、計測範囲に依存する） ・比較する降灰前の地形データが必要である	・設置後に移動できることから、適切な観測箇所や画角へ調整可能。 ・降灰厚調査ユニットを搭載して運用すれば堆積構造も同時に把握。 ・事前の設置通信計画（UAV飛行計画、設置場所の選定、通信試験）が必要。	・UAVで監視機器を運搬した場合に安全に設置できる場所を評価できる ・勾配情報に加えて、cm単位の点群データや色彩データを使用することで機器設置の障害となる凹凸や植生も評価することが可能 ・解析時間は対象面積による。	・電動リールを活用したドローン用の運搬、設置ツール。 ・カメラや降灰厚調査ユニットを運搬して安全な速度で機器を設置可能 ・ウィンチ情報（糸長、装置の温度等）をリアルタイムで確認可能	–	・可視カメラは火山灰の色により識別が困難。 ・サーモカメラは表面流の範囲が広い場合に地面との温度差が無くなり範囲の確認が困難。 ・事前のUAV飛行計画、調査地点選定が必要	・定性的な浸透状況の把握に留まるため、今後、散水形態から概略浸透能を把握する手法の検討が必要。 ・調査地点の選定が必要 ・事前のUAV飛行計画、調査地点選定が必要	・降灰前にセンサーを設置する必要があるが電源は1ヵ月程度。 ・センサーが正常に設置されたかを確認する手法に課題。 ・事前の設置通信計画（設置場所の選定、通信試験）が必要。	・粒径からの間接的な透水係数把握となる。 ・事前のUAV飛行計画、調査地点選定が必要 ・サンプリングデバイスは1台30万（10台より販売）	・粒径からの間接的な透水係数把握となる。 ・事前のUAV飛行計画、調査地点選定が必要	・転倒升型雨量計との計測値の整合は未検証 ・環境省等と事前に調整しておくことが望まれる ・規制範囲内設置後はメンテナンスが困難となる ・事前にUAV飛行計画やセンサーを設置する場所の選定が必要 ・設置に伴う転倒のリスクがある ・降灰の影響は検証が必要
実績	箱根、桜島等	雲仙岳	浅間山	–	UAV測量での事例多数 安達太良山、秋田駒ケ岳での実証実験実績	桜島	雲仙岳等	新燃岳	雲仙岳	有珠山	雲仙普賢岳で実証実験実績
連絡先 関係マニュアル	対応可能な災害協定会社を事前に確認 2015年箱根山・大涌谷噴火におけるUAVを用いた無人調査について，平成28年度砂防学会研究発表会概要集，R6-03 火山源頭部におけるUAVによる地形計測と変動状況解析について，平成26年度砂防学会研究発表会概要集P1-57	土石流予測を目的としたセンシング技術ならびに高精度土石流シミュレーションシステムの開発　技術開発報告書　東北大、国際航業（株）他 火山噴火時における土石流発生区域に関する無人調査手法の開発 その２，平成30年度砂防学会研究発表会概要集，V-125	飛行ロボットで運搬する観測カメラの設置点計画と設置試験 永谷他、2019	岡谷鋼機株式会社　カタログ	PPK を利用したUAV - SfM による積雪深計測の検証，2020年度砂防学会研究発表会概要集，R12-023，p.623	国土交通省九州技術事務所火山防災減災課　0942-32-8245 「緊急調査実施の手引き実務マニュアル」H31.3 UAVを用いた火山灰堆積状況および浸透能の概略把握の試み（その２），令和元年度砂防学会研究発表会概要集，P-165	土石流予測を目的としたセンシング技術ならびに高精度土石流シミュレーションシステムの開発　技術開発報告書　東北大、国際航業（株）他 火山噴火時における土石流発生区域に関する無人調査手法の開発 その２，平成30年度砂防学会研究発表会概要集，V-125	国土交通省九州技術事務所火山防災減災課　0942-32-8245 「緊急調査実施の手引き実務マニュアル」H31.3 火山地域における無人航空機運搬用簡易調査ユニットマニュアル　H31.2 火山噴火時立入困難地域の状況把握のための遠隔調査ユニットならびにUAV を用いた運搬手法の開発への取り組み，平成30年度砂防学会研究発表会概要集，P-204	土石流予測を目的としたセンシング技術ならびに高精度土石流シミュレーションシステムの開発　技術開発報告書　東北大、国際航業（株）他 火山噴火時における土石流発生区域に関する無人調査手法の開発 その２，平成30年度砂防学会研究発表会概要集，V-125	R1年有珠山土砂災害シンポジウム資料　土石流泥流発生限界危険度評価、砂防学会	立入規制下の火山地域における降灰および気象観測情報の面的な把握手法（一般財団法人砂防・地すべり技術センター，2020年度砂防学会研究発表会概要集，R12-014，p.605

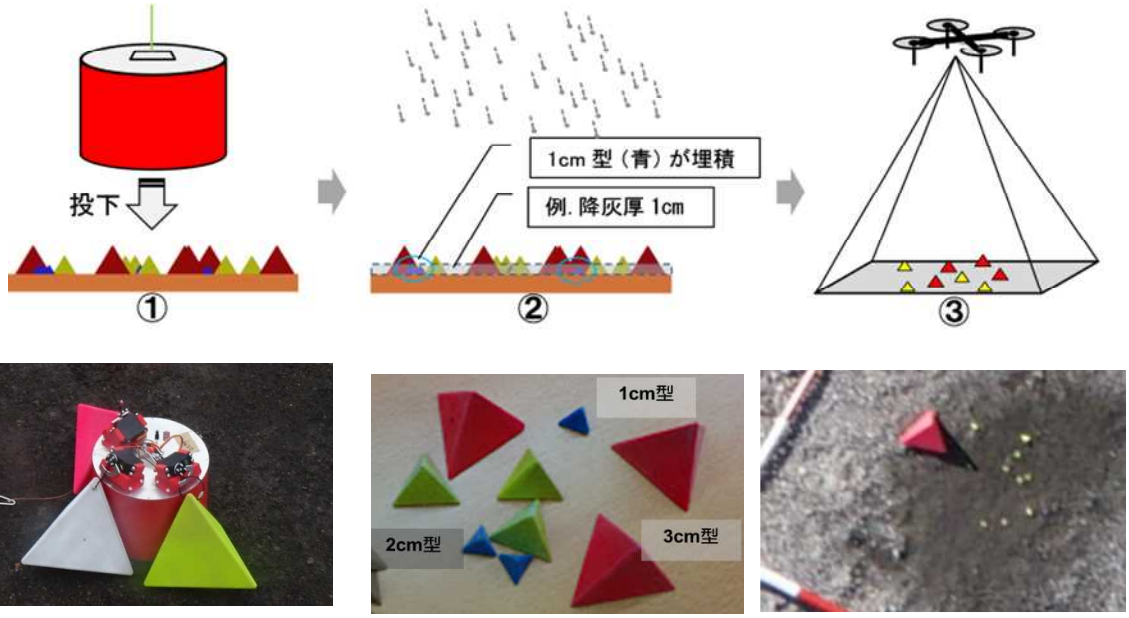
技術名	人力計測（地上踏査）
技術の特徴	調査職員が現地にて、ある面積に堆積している火山灰を採取し、採取した火山灰の質量と密度から、火山灰の堆積している厚さを計算して求める手法。
技術イメージ 模式図等	
作業手順	平常時①地上踏査による降灰量調査地点を検討 緊急時③原則的に立入規制区域外での地上踏査による定面積サンプリング法による降灰厚計測
調査精度	◎　数mm程度
実施時間	△　1地点30分程度 降灰範囲の面的把握には地点数にもよるが2、3日程度を要する。
調査頻度	△　噴火に応じて実施
必要人員	1班2～3名で実施
概算費用	
使用が想定される 調査局面	初動期
現地適用に 関する留意点	・平常時より降灰量調査地点を選定する必要がある。 ・調査道具を事前に整備しておく必要がある。
実績	立入規制区域外での観測事例は多数
連絡先 関係マニュアル	国土交通省九州技術事務所火山防災減災課　0942-32-8245 「降灰量調査手順書（案）」H26.11 「緊急調査実施の手引き実務マニュアル」H31.3

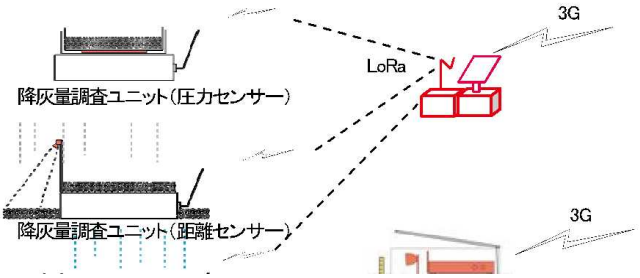
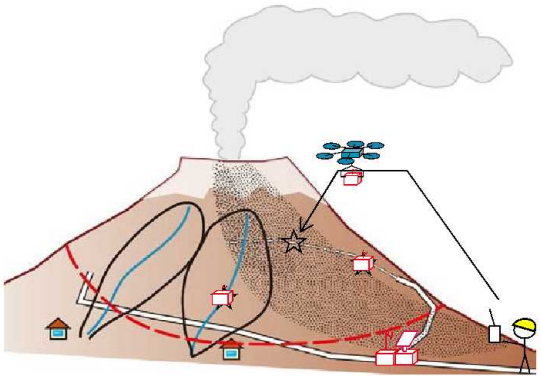
技術名	自動降灰量計
技術の特徴	火山灰と雨水の合計重量をステンレス製容器で測定し火山灰の密度から降灰厚を算定
技術イメージ 模式図等	 降灰量計構造概要図 設置状況(有村地点)
作業手順	平常時①設置地点の検討 平常時②適地に設置（人力にて設置） 緊急時③データの受信
調査精度	◎　1mm程度～最大20cm
実施時間	◎　事前設置済の場合は即時
調査頻度	◎リアルタイム取得
必要人員	
概算費用	通常型470万、寒冷型550万
使用が想定される 調査局面	全て 事前設置し被災しなければ精度・迅速性ともに適する
現地適用に 関する留意点	・事前の設置には、環境省等の許可が必要であり、その折衝にも時間を要すことが想定される ・寒冷地型では外部電源が必要。 ・軽石、スコリア交じりの場合の密度設定が必要 ・規制範囲内設置の場合は維持管理が困難となる ・搬入車両が必要
実績	桜島や新燃岳で運用実績
連絡先 関係マニュアル	国土交通省九州技術事務所火山防災減災課　0942-32-8245 「緊急調査実施の手引き実務マニュアル」H31.4

技術名	積雪計-非接触型機器による計測-
技術の特徴	光波や超音波等を使用した既存の積雪等を計測する距離センサーを活用して降灰厚を計測
技術イメージ 模式図等	
作業手順	平常時①設置地点の検討 平常時②適地に設置（人力にて設置） 緊急時③データの受信
調査精度	◎　数cm程度
実施時間	◎　事前設置済の場合は即時
調査頻度	◎リアルタイム取得
必要人員	
概算費用	数十万～百万前後
使用が想定される 調査局面	全て 事前設置し被災しなければ精度・迅速性ともに適する
現地適用に 関する留意点	・事前の設置には、環境省等の許可が必要であり、その折衝にも時間を要すことが想定される ・規制範囲内設置の場合は維持管理が困難となる ・積雪や植生等が挟まれた場合は正確性が損なわれる。 ・音波や光波などのセンサーの種類は複数あるが、光波が最も精度が良い。
実績	北海道駒ケ岳で実績
連絡先 関係マニュアル	国土交通省土木研究所土砂管理研究G火山・土石流チーム 「火山灰堆積調査法に関する共同研究報告書」H21.1

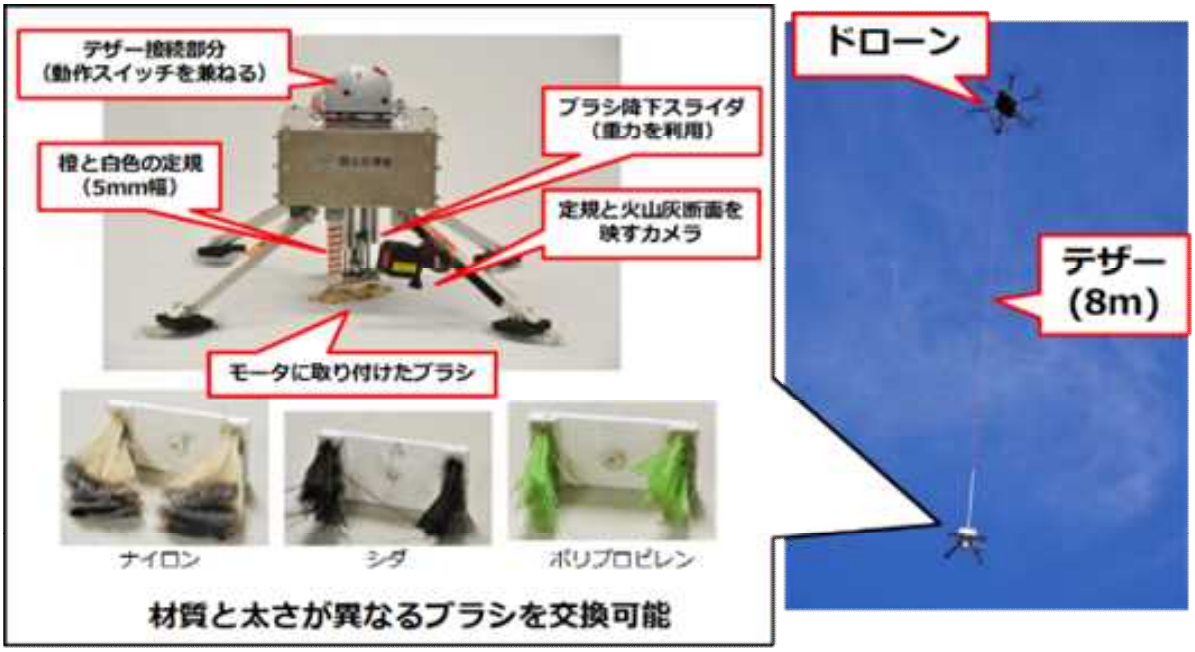
技術名	降灰マーカー（凸型）
技術の特徴	高さごとに色・形状を変えたマーカーを設置し、噴火後にUAV等でマーカーへの火山灰の堆積状況を確認し降灰厚を把握する。
技術イメージ 模式図等	UAV等により降灰後のマーカー被覆状況を確認する 全てのマーカーが判読可能であれば1cm以下 黄色と青のマーカーが判読可能であれ1cm～2cm 黄色のみ判読可能であれば2cm～3cm UAVによる計測の場合は対地高度20m程度で斜めから撮影したほうが判読しやすい   高度：20m 仰角＝45°
作業手順	平常時①UAVの計測計画も踏まえて降灰マーカーの設置地点を検討 平常時②現地に降灰マーカーを設置（原則的に立入規制区域設置前に人力にて設置） 緊急時③降灰発生を確認後、UAVにて撮影した画像から各マーカーの判読を実施
調査精度	◎　1cm～10cm
実施時間	△　事前設置できればUAV計測は数時間程度 　　マーカー自体の設置は人力
調査頻度	△　定期にUAV計測
必要人員	準備に1名　設置に2名、UAVによる計測に3名
概算費用	50～100万程度（人件費のみ、マーカー代は含まない、事前設置計画は含まない）
使用が想定される 調査局面	準備（設置）：平常時、着手判断期
現地適用に 関する留意点	・降灰前にスケールを設置する必要がある。 （人力での設置が想定されるため、平常時に設置する必要がある） ・UAV調査計画（飛行可能ルート、到達可能範囲）を踏まえた設置地点検討が必要。 ・埋設後の繰返しの計測に対する対応（降灰除去もしくは新規設置）が必要。
実績	新燃岳等で現地検証を実施
連絡先 関係マニュアル	国土交通省九州技術事務所火山防災減災課　0942-32-8245 「緊急調査実施の手引き実務マニュアル」H31.3 UAVを用いた火山灰堆積状況および浸透能の概略把握の試み（その２），令和元年度砂防学会研究発表会概要集，P-165

技術名	簡易降灰量計
技術の特徴	簡易降灰量計は，1 辺20cm の正方形の開口部から火山灰を採取し，開口部の大きさに対応した降灰厚さの目盛がついたアクリル樹脂製降灰升を，ケースに固定したカメラで撮影する
技術イメージ 模式図等	 
作業手順	平常時①設置地点を検討 平常時or緊急時②現地に調査ユニットを設置（人力にて設置） 緊急時③降灰発生を確認後、観測の実施（観測値の確認、データの蓄積）
調査精度	◎　1cm～最大5cm
実施時間	○事前設置済の場合は撮影後即時 ６ヶ月間（日あたり4回撮影）程度稼働可能 ※カメラの設定に依存
調査頻度	○日あたり4回
必要人員	準備に1名　設置に2名、
概算費用	
使用が想定される 調査局面	準備（設置）：着手判断期、初動期
現地適用に 関する留意点	・事前の設置には、環境省等の許可が必要であり、その折衝にも時間を要すことが想定される ・人力での設置を想定しているため、前兆現象期に設置する必要がある ・バッテリー稼働のため調査継続時間には制限がある
実績	桜島で実証実験実績
連絡先 関係マニュアル	簡易降灰量計の開発について，2020年度砂防学会研究発表会概要集，R12-003，p.583

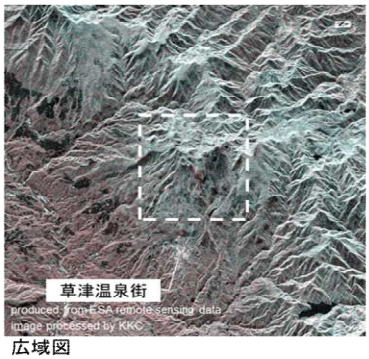
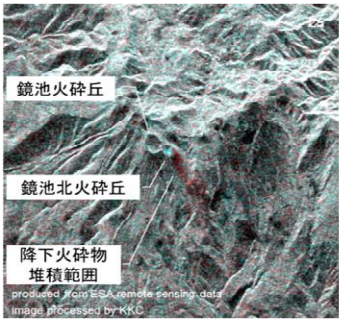
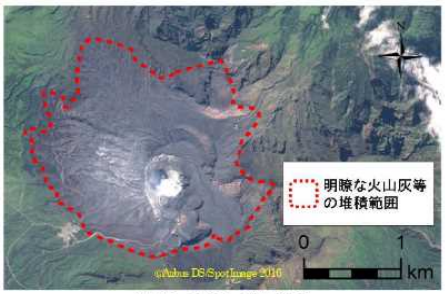
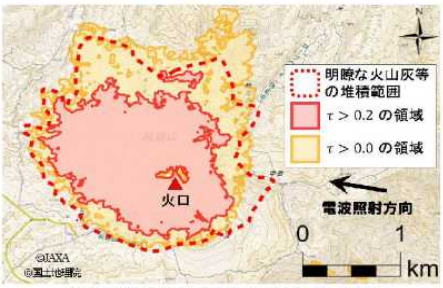
技術名	降灰厚スケール
技術の特徴	降灰厚を計測するスケールを現場に設置（UAVでの設置も可能）してUAVで降灰厚を計測する
技術イメージ 模式図等	
作業手順	平常時①UAVの計測計画も踏まえて降灰スケールの設置地点を検討 平常時or緊急時②現地に降灰スケールを設置（立入規制区域内にはUAVにて設置） 緊急時③降灰発生を確認後、UAVにて撮影した画像から各スケールの判読を実施
調査精度	◎ 1cm～10cm
実施時間	○ 事前設置できればUAV計測は数時間程度
調査頻度	△ 定期にUAV計測
必要人員	準備に1名　設置に3名（必要に応じUAV使用）、UAVによる計測に3名
概算費用	50～100万程度（人件費のみ、スケール代は含まない、事前設置計画は含まない）
使用が想定される 調査局面	準備（設置）：着手判断期、初動期
現地適用に 関する留意点	・降灰前にスケールを設置する必要がある。 ・UAV調査計画（飛行可能ルート、到達可能範囲）を踏まえた設置地点検討が必要。
実績	新燃岳等
連絡先 関係マニュアル	土石流予測を目的としたセンシング技術ならびに高精度土石流シミュレーションシステムの開発　技術開発報告書　東北大、国際航業（株）他 火山噴火時における土石流発生区域に関する無人調査手法の開発 その２，平成30年度砂防学会研究発表会概要集，V-125

技術名	無人機械（UAV等）による降灰厚調査ユニットの設置・計測
技術の特徴	距離センサーや荷重センサーを搭載したユニットを緊急時にUAVで現場に設置して継続的に降灰厚を計測する ユニットの重量は200ｇ程度。
技術イメージ 模式図等	ユニット設置、UAV運用イメージ  
作業手順	平常時①UAVの計測計画も踏まえて調査ユニットの設置地点を検討 平常時or緊急時②現地に調査ユニットを設置（立入規制区域内にはUAVにて設置） 緊急時③降灰発生を確認後、観測の実施（観測値の確認、データの蓄積）
調査精度	◎ 圧力センサー 5㎜　距離センサー 数㎜
実施時間	○ UAVで設置は数時間程度（事前計画必要）
調査頻度	○ リアルタイム ・携帯通信やLPWA ・乾電池（1ヵ月程度）
必要人員	準備に1名　UAVによる設置に3名、観測に1名
概算費用	50～100万程度（人件費のみ、ユニット代は含まない、事前設置計画は含まない）
使用が想定される 調査局面	準備（設置）：着手判断期、初動期、継続期
現地適用に 関する留意点	・降灰前にセンサーを設置する必要があるが電源は1ヵ月程度。 ・センサーが正常に設置されたかを確認する必要がある。 ・UAV調査計画（飛行可能ルート、到達可能範囲）、電波通信状況を踏まえた設置地点検討が必要。
実績	新燃岳
連絡先 関係マニュアル	国土交通省九州技術事務所火山防災減災課　0942-32-8245 「緊急調査実施の手引き実務マニュアル」H31.3 火山地域における無人航空機運搬用簡易調査ユニットマニュアル　H31.2 火山噴火時立入困難地域の状況把握のための遠隔調査ユニットならびにUAV を用いた運搬手法の開発への取り組み，平成30年度砂防学会研究発表会概要集，P-204

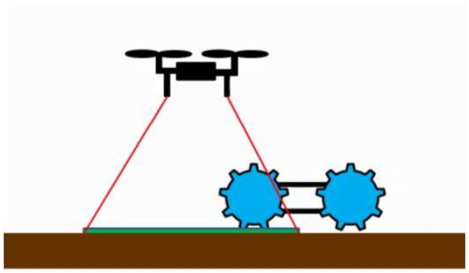
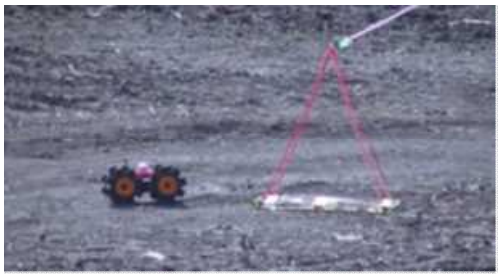
技術名	UAVによるカメラやスケール設置・計測
技術の特徴	SIMカードを搭載したカメラを緊急時にUAVで現場に設置し、スケール等を継続的に撮影する。 重量の事例としては、カメラ0.4kg、三脚1.6kg（下図左上）
技術イメージ 模式図等	
作業手順	平常時①UAVの飛行計画も踏まえてカメラの設置地点を検討 平常時or緊急時②現地にカメラを設置（立入規制区域内にはUAVにて設置） 緊急時③降灰発生を確認後、観測の実施（カメラ画像の確認、データの蓄積）
調査精度	◎ 1cm～堆積構造の把握等も可能
実施時間	○ UAVで設置（事前計画必要）
調査頻度	○ リアルタイム ・データ伝送携帯通信 ・電源乾電池
必要人員	準備に1名　設置に3名（必要に応じUAV使用）、観測に1名
概算費用	50～100万程度（人件費のみ、ユニット代は含まない、事前設置計画は含まない）
使用が想定される 調査局面	準備（設置）：着手判断期、初動期
現地適用に 関する留意点	・降灰前にカメラやスケールを設置する必要がある。 ・事前の設置通信計画（設置場所の選定、通信試験）が必要。 ・UAV調査計画（飛行可能ルート、到達可能範囲）、電波通信状況を踏まえた設置地点検討が必要。
実績	新燃岳
連絡先 関係マニュアル	国土交通省九州技術事務所火山防災減災課　0942-32-8245 「緊急調査実施の手引き実務マニュアル」H31.3 火山地域における無人航空機運搬用簡易調査ユニットマニュアル　H31.2 火山噴火時立入困難地域の状況把握のための遠隔調査ユニットならびにUAV を用いた運搬手法の開発への取り組み，平成30年度砂防学会研究発表会概要集，P-204

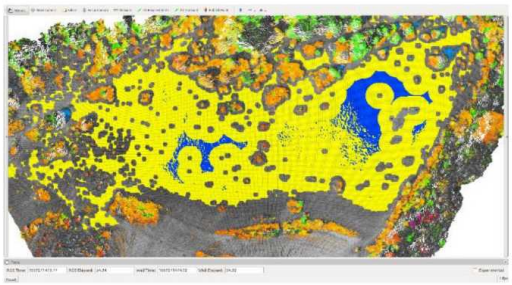
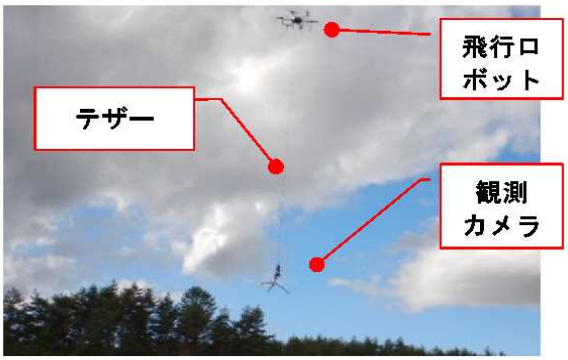
技術名	降灰厚計測デバイス
技術の特徴	噴火後の火口周辺にUAVで運搬・設置し、表層の火山灰を除去することにより降灰厚を直接計測する
技術イメージ 模式図等	
作業手順	平常時①設置地点の検討 緊急時②降灰発生を確認後、UAVにて運搬・設置しリアルセンスカメラにて計測
調査精度	◎　2cm程度
実施時間	○UAVで設置は数時間程度（事前計画必要）
調査頻度	△ 定期にUAV計測
必要人員	準備に1名　UAVによる計測に3名
概算費用	50～100万程度（人件費のみ、デバイス代は含まない、事前設置計画は含まない）
使用が想定される 調査局面	着手判断期、初動期
現地適用に 関する留意点	・現在実証実験段階 ・UAV調査計画（飛行可能ルート、到達可能範囲）を踏まえた設置地点検討が必要。
実績	小浅間山、片蓋川で実証実験実績
連絡先 関係マニュアル	令和元年度火山噴火時を想定した規制区域内の降灰厚分布調査システムの開発報告書　河川砂防技術研究開発

技術名	航空機やヘリによる撮影
技術の特徴	航空機やヘリによる上空からの撮影で降灰状況や範囲を確認する手法
技術イメージ 模式図等	
作業手順	平常時①飛行計画の検討 緊急時②搭乗し降灰状況の確認
調査精度	△　降灰の有無がわかる
実施時間	○　航空機、ヘリの準備次第 実績は即日～1日程度
調査頻度	△ 定期に飛行・確認
必要人員	1、2名　判読担当、1名以上　撮影担当、1名　連絡担当
概算費用	ー
使用が想定される 調査局面	着手判断期
現地適用に 関する留意点	・噴火後以降には危険範囲内への進入が困難 ・LPデータは斜め計測や高高度計測に事例がある。 ・計測に際し天候の制約を受ける ・ＬＰデータ解析を実施する場合は時間を要する ・差分を取る場合は比較する降灰前のデータが必要である
実績	立入規制区域外での観測事例は多数
連絡先 関係マニュアル	国土交通省九州技術事務所火山防災減災課　0942-32-8245 「緊急調査実施の手引き実務マニュアル」H31.5

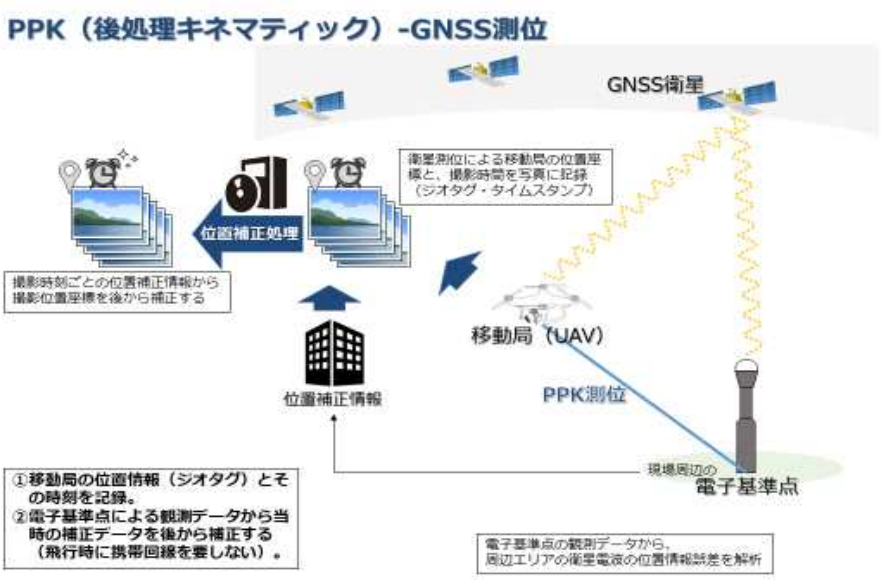
技術名	光学衛星や衛星SARによる一定厚以上の降灰厚分布把握
技術の特徴	SARデータ（3時期コヒーレンス解析）を用いて、噴火前後の差分から、降灰範囲を想定する。
技術イメージ 模式図等	上段：草津白根山事例　下段：御嶽山事例 SAR衛星データを用いたカラー合成画像  広域図 図の右方向が北  広域図白線内の拡大図 図の右方向が北  撮影日:2016年10月10日  観測日:2016年9月19日・10月3日・10月17日
作業手順	平常時①運用中の衛星データ、入手先を確認 緊急時②降灰確認後、観測をオーダー、撮影を実施 緊急時③取得データの解析を実施
調査精度	△（数10cm程度の誤差、但し、SAR画像では2、3cm程度の降灰分布がわかる可能性がある）
実施時間	△　撮影は衛星回帰日数に依存　通常数日～2週間程度 解析は通常1～2日程度。
調査頻度	△　衛星回帰日数に依存　通常数日～2週間程度
必要人員	解析に2名×2日（計測範囲に依存）
概算費用	○万程度（人件費のみ、撮影代は含まない）
使用が想定される 調査局面	初動期、継続期
現地適用に 関する留意点	・精度が点データ計測に比べて劣る ・計測に際し衛星回帰日数の制約を受ける ・データの解析に時間を要する ・差分を取る場合は比較する降灰前のデータが必要である
実績	霧島、御嶽山、草津白根山等
連絡先 関係マニュアル	対応可能な災害協定会社を事前に確認 「緊急調査実施の手引き実務マニュアル」H31.3、SAR衛星を活用した火山災害調査手順書（案） H28.1 火山噴火時に衛星 SAR データ用いて一定厚以上の降灰分布形状を把握する手法の検討，令和元年度砂防学会研究発表会概要集，R1-001

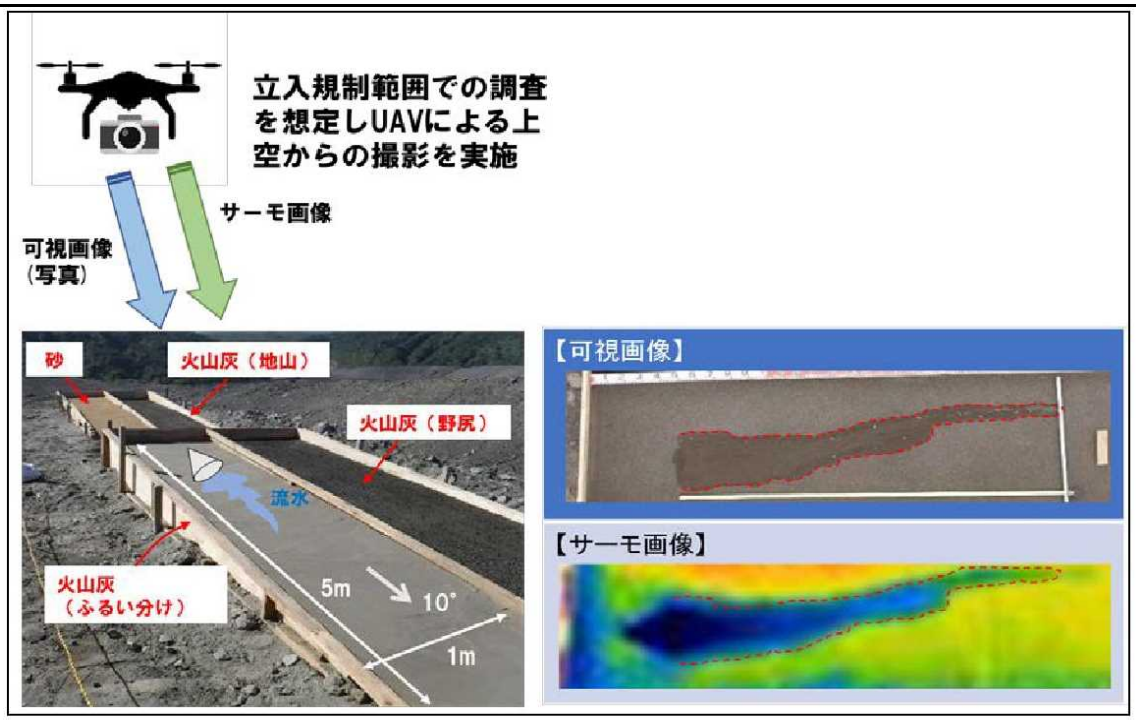
技術名	UAVによるLP計測、Sfm計測
技術の特徴	LPデータ計測、もしくは連続的な空中写真からオルソフォト、DSM、DEMを作成し、降灰前のデータと比較する。撮影からデータ処理は、一般的にLP計測に比べてSfM処理の方が短い時間で実施可能である。
技術イメージ 模式図等	箱根火山噴火時の撮影事例 飛行高度 50m 50m 飛行時間 50 分 50 分 作業時間 90 分 2300 分 地形モデル
作業手順	平常時①UAVの飛行計画を検討 緊急時②降灰発生を確認後、UAVによる計測を実施（Lpor空撮） 緊急時③取得データの解析処理を実施
調査精度	○（数cm～10cm程度の精度）※
実施時間	計測面積や対地高度による(0.5㎢/日程度) Sfm処理2日 LP処理4日
調査頻度	△ 定期にUAV計測
必要人員	飛行計画検討に1名、UAV計測に3名、解析に2名×2日（計測範囲に依存）
概算費用	100～200万程度（人件費のみ、事前飛行計画検討は含まない）
使用が想定される 調査局面	初動期、継続期
現地適用に 関する留意点	・精度が点データ計測に比べて劣るが1cm以上の精度は確認できる可能性がある ・計測精度は対地高度や機体のGPSの精度に依存 ・計測に際し雲や噴煙の制約を受ける ・データの解析に時間を要する（1日～数日程度、計測範囲に依存する） ・比較する降灰前の地形データが必要である
実績	箱根、桜島等
連絡先 関係マニュアル	「立入規制下の火山地域における降灰および気象観測情報の面的な把握手法（一般財団法人砂防・地すべり技術センター　金井他，2020，2020年度砂防学会研究発表会概要集，R12-014，p.605）」

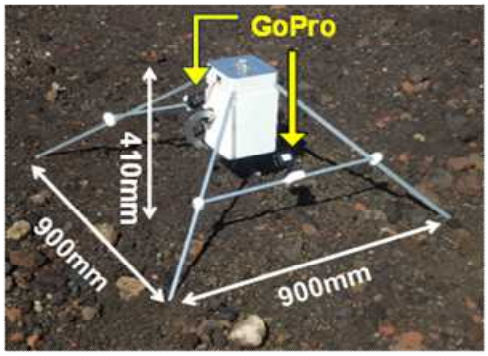
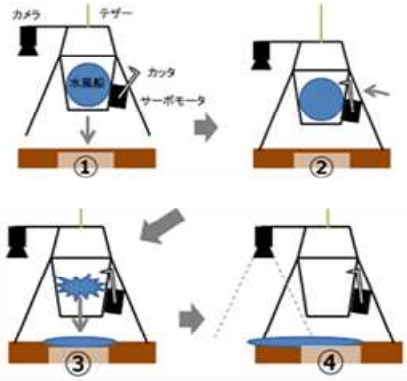
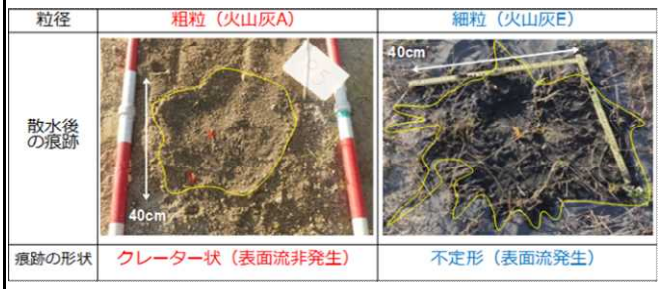
技術名	UAVによるUGV運搬手法
技術の特徴	カメラ等を搭載したUGVをUAVで運搬して現地設置。調査期間終了後UAVにて回収。機体は50×40×20cm、重量は5kg程度。降灰厚調査ユニットの運搬や降灰マーカー撮影などにも活用可能と考えられる。
技術イメージ 模式図等	 
作業手順	平常時①UAVの飛行計画も踏まえてUGVに搭載するセンサーや設置地点を検討 平常時or緊急時②現地にUGVをUAVにて運搬、設置 緊急時③観測の実施（カメラ画像、観測値の確認、データの蓄積）
調査精度	カメラや雨量計を搭載して降灰厚や雨量を計測
実施時間	○ UAV作業は1日程度
調査頻度	○ リアルタイム ・データ転送 携帯通信 LPWA　等 ・電源：リチウムイオン電池
必要人員	準備に1名　設置に3名（必要に応じUAV使用）、観測に1名
概算費用	50～100万程度（人件費のみ、UGV代は含まない、事前設置計画は含まない）
使用が想定される 調査局面	継続期
現地適用に 関する留意点	・設置後に移動できることから、適切な観測箇所や画角へ調整可能。 ・降灰厚調査ユニットを搭載して運用すれば堆積構造も同時に把握。 ・事前の設置通信計画（UAV飛行計画、設置場所の選定、通信試験）が必要。
実績	雲仙岳
連絡先 関係マニュアル	土石流予測を目的としたセンシング技術ならびに高精度土石流シミュレーションシステムの開発　技術開発報告書　東北大、国際航業（株）他 火山噴火時における土石流発生区域に関する無人調査手法の開発 その２，平成30年度砂防学会研究発表会概要集，V-125

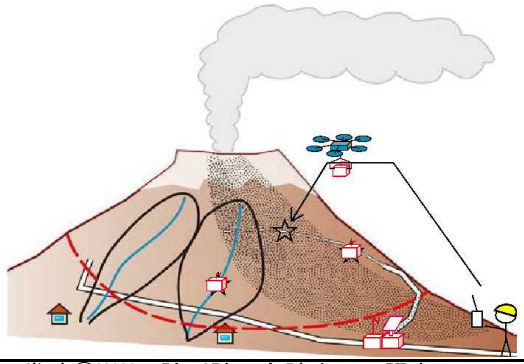
技術名	機器設置適地選定プログラム
技術の特徴	Sfmにより作成された点群データや色彩データを用いて、勾配や凹凸や植生の有無を評価し、観測機器やロボットをUAVで運搬して観測をする際に適切な場所を選定するプログラム。
技術イメージ 模式図等	左図：オルソフォト右図：設置地点評価解析図　青色：設置可能領域　黄色　障害物（植生、凹凸）5m以内  
作業手順	平常時or緊急時①UAV等で地形データを取得しプログラム用のデータを作成 緊急時②プログラムにより観測機器を設置する適地を選定
調査精度	–
実施時間	解析範囲による
調査頻度	–
必要人員	プログラム用データ作成、解析1名×2日程度
概算費用	20万～50万程度（解析範囲による）
使用が想定される調査局面	継続期
現地適用に関する留意点	・UAVで監視機器を運搬した場合に安全に設置できる場所を評価できる ・勾配情報に加えて、cm単位の点群データや色彩データを使用することで機器設置の障害となる凹凸や植生も評価することが可能 ・解析時間は対象面積による。
実績	浅間山
連絡先 関係マニュアル	飛行ロボットで運搬する観測カメラの設置点計画と設置試験　永谷他、2019

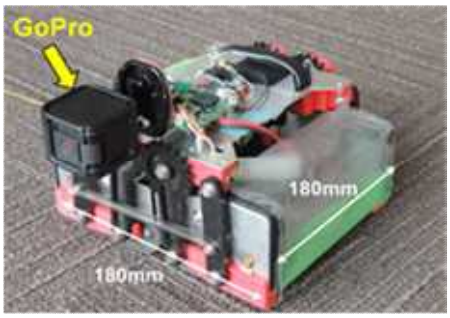
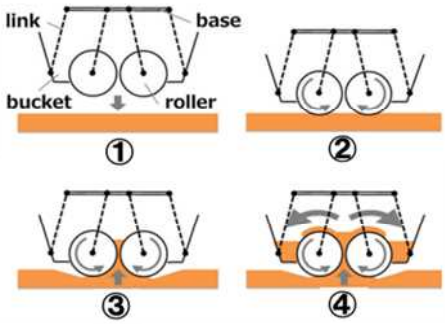
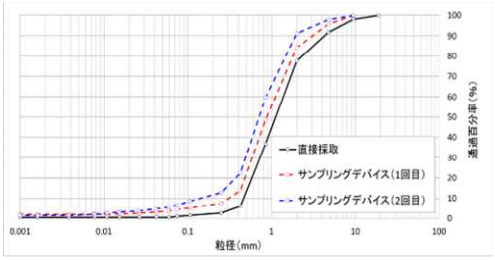
技術名	ドローン用ウィンチ
技術の特徴	ペイロード３～10kgクラスのドローンと組合せてホバリング状態からカメラ等の昇降を可能としたツール。 重量は630ｇ。
技術イメージ 模式図等	
作業手順	平常時①ウィンチを使用できるUAVを選定 緊急時②ウィンチを使用してセンサー等をドローンで運搬
調査精度	-
実施時間	-
調査頻度	-
必要人員	-
概算費用	ウィンチは42万程度。
使用が想定される 調査局面	UAVを活用する局面
現地適用に 関する留意点	・電動リールを活用したドローン用の運搬、設置ツール。 ・カメラや降灰厚調査ユニットを運搬して安全な速度で機器を設置可能 ・ウィンチ情報（糸長、装置の温度等）をリアルタイムで確認可能
実績	-
連絡先 関係マニュアル	岡谷鋼機株式会社　カタログ

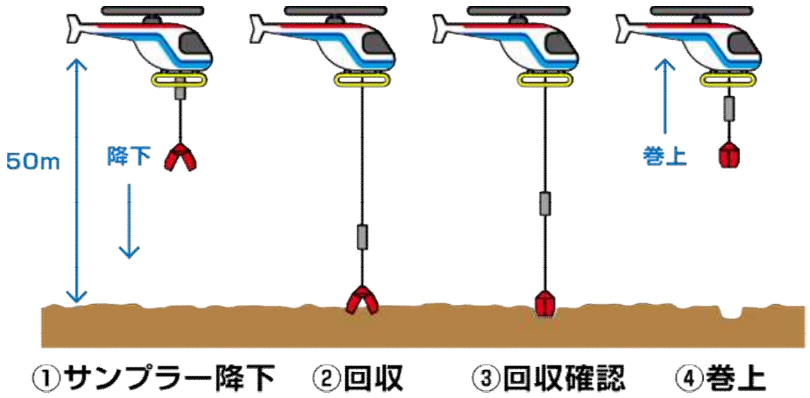
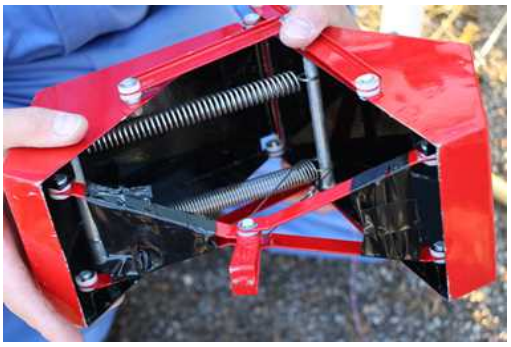
技術名	PPK-GNSS測位
技術の特徴	①移動局の位置情報（ジオタグ）とその時刻（ジオスタンプ）を記録。 ②電子基準点による観測データから当時の補正データを後から補正する（飛行時に携帯回線を要しない）。 位置補正は時間を基準に行うので、撮影時刻を正確に抑える必要ある。 情報提供会社から、位置補正情報を購入する。
技術イメージ 模式図等	
作業手順	平常時①飛行計画の検討 緊急時②UAV飛行
調査精度	ー
実施時間	UAV飛行は数時間程度 位置補正情報提供までに3時間程度
調査頻度	ー UAV飛行精度±2cm程度
必要人員	UAV飛行に3名
概算費用	50～100万程度（人件費のみ、事前設置計画は含まない）
使用が想定される調査局面	着手判断期、初動期
現地適用に関する留意点	ー
実績	UAV測量での事例多数　秋田駒ケ岳での実証実験実績
連絡先 関係マニュアル	PPK を利用したUAV - SfM による積雪深計測の検証, 2020年度砂防学会研究発表会概要集, R12-023, p.623

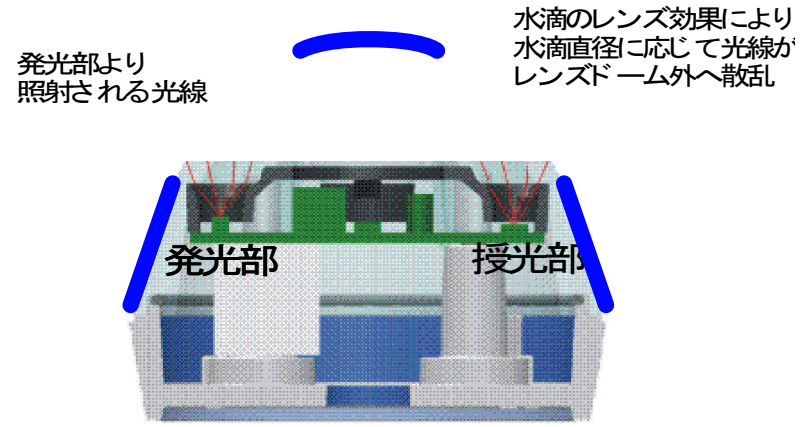
技術名	UAVを用いた浸透能概略把握手法
技術の特徴	UAV を用いて火山灰が堆積した斜面に水を供給し，地表面における浸透状況・表面流発生状況をカメラで記録して，浸透能を概略的に把握する手法
技術イメージ 模式図等	 図 3.4.1 手法の概要図
作業手順	平常時①UAVの計測計画も踏まえて浸透能調査地点を検討 緊急時②降灰発生を確認後、UAVにて調査地点に散水、画像撮影 緊急時③撮影した画像から概略浸透能を把握
調査精度	表面流の面積で浸透状況を概略把握
実施時間	○ UAV計測は1日程度
調査頻度	△ 定期にUAV計測
必要人員	準備に1名　UAV調査に3名、画像解析に1名
概算費用	50～100万程度（人件費のみ、散水用機材は含まない、事前設置計画は含まない）
使用が想定される 調査局面	継続期
現地適用に 関する留意点	・可視カメラは火山灰の色により識別が困難。 ・サーモカメラは表面流の範囲が広い場合に地面との温度差が無くなり範囲の確認が困難。 ・事前のUAV飛行計画、調査地点選定が必要
実績	桜島
連絡先 関係マニュアル	国土交通省九州技術事務所火山防災減災課　0942-32-8245 「緊急調査実施の手引き実務マニュアル」H31.3 UAVを用いた火山灰堆積状況および浸透能の概略把握の試み（その２），令和元年度砂防学会研究発表会概要集，P-165

技術名	表面流確認デバイス
技術の特徴	UAVを用いて運搬し、テザーが着陸時に緩んだことを感知して、カッターが格納した水風船を割り、散水した画像を撮影
技術イメージ 模式図等	  表面流確認デバイス⇒概略浸透能の把握 に活用 ①UAVで立ち入り制限区域内へ運搬。 ② 着陸時を紐のゆるみで感知。 ③ 搭載したカッターが水風船を割り、散水する。 ④ デバイスに搭載したカメラで映像を撮影。  撮影例　※赤白ポールの一色は20cm 写真左：表面流が発生しない火山灰 写真右：表面流が発生した火山灰
作業手順	平常時①UAVの計測計画も踏まえて浸透能調査地点を検討 緊急時②降灰発生を確認後、UAVにて調査地点に散水、画像撮影 緊急時③撮影した画像から概略浸透能を把握
調査精度	表面流浸透状況を概略把握
実施時間	○ UAV計測は1日程度
調査頻度	△ 定期にUAV計測
必要人員	準備に1名　UAV調査に3名、画像解析に1名
概算費用	50～100万程度（人件費のみ、散水用機材は含まない、事前設置計画は含まない）
使用が想定される調査局面	継続期
現地適用に関する留意点	・定性的な浸透状況の把握に留まるため、今後、散水形態から概略浸透能を把握する手法の検討が必要。 ・調査地点の選定が必要 ・事前のUAV飛行計画、調査地点選定が必要
実績	雲仙岳等
連絡先 関係マニュアル	土石流予測を目的としたセンシング技術ならびに高精度土石流シミュレーションシステムの開発　技術開発報告書　東北大、国際航業（株）他 火山噴火時における土石流発生区域に関する無人調査手法の開発 その２，平成30年度砂防学会研究発表会概要集，V-125

技術名	無人機械（UAV等）による浸透状況調査ユニットの設置・計測
技術の特徴	土壌水分センサーを搭載したユニットを緊急時にUAVで現場に設置して継続的に地表面の含水率を計測する
技術イメージ 模式図等	ユニット設置、UAV運用イメージ  浸透状況調査ユニット（土壌水分センサー）
作業手順	平常時①UAVの計測計画も踏まえて調査ユニットの設置地点を検討 平常時or緊急時②現地に調査ユニットを設置（立入規制区域内にはUAVにて設置） 緊急時③降灰発生を確認後、観測の実施（観測値の確認、データの蓄積）
調査精度	表面流の発生を含水率変化で把握
実施時間	○ UAVで設置は数時間程度（事前計画必要）
調査頻度	○ リアルタイム ・データ転送 携帯通信 LPWA ・電源：乾電池（1ヵ月程度）
必要人員	準備に1名　UAVによる設置に3名、観測に1名
概算費用	50～100万程度（人件費のみ、ユニット代は含まない、事前設置計画は含まない）
使用が想定される 調査局面	準備（設置）：着手判断期、初動期、継続期
現地適用に 関する留意点	・降灰前にセンサーを設置する必要があるが電源は1ヵ月程度。 ・センサーが正常に設置されたかを確認する手法に課題。 ・事前の設置通信計画（設置場所の選定、通信試験）が必要。
実績	新燃岳
連絡先 関係マニュアル	国土交通省九州技術事務所火山防災減災課　0942-32-8245 「緊急調査実施の手引き実務マニュアル」H31.3 火山地域における無人航空機運搬用簡易調査ユニットマニュアル　H31.2 火山噴火時立入困難地域の状況把握のための遠隔調査ユニットならびにUAV を用いた運搬手法の開発への取り組み，平成30年度砂防学会研究発表会概要集，P-204

技術名	サンプリングデバイス（粒径から透水性概略把握）
技術の特徴	UAVにて吊下げたデバイスを地表に接地させてローラーにて土砂を採取後、帰還する。
技術イメージ 模式図等	 土砂採取例  サンプリングデバイス⇒粒度条件として活用 ① UAVを用いて立ち入り制限区域内へ運搬。 ②～④ 2つのローラーが回転して火山灰を巻き上げる。 
作業手順	平常時①UAVの計測計画も踏まえてサンプリング地点を検討 緊急時②降灰発生を確認後、UAVにて調査地点でサンプリング、画像撮影 緊急時③採取した試料や画像から概略浸透能を把握
調査精度	100ｇ程度の土砂を採取可能
実施時間	○ UAV作業は1日程度
調査頻度	△ 定期にUAVでサンプリング
必要人員	準備に1名　UAV調査に3名、試料分析に1名
概算費用	50～100万程度（人件費のみ、サンプリングデバイス代は含まない、事前設置計画は含まない）
使用が想定される 調査局面	継続期
現地適用に 関する留意点	・粒径からの間接的な透水係数把握となる。 ・事前のUAV飛行計画、調査地点選定が必要 ・サンプリングデバイスは1台30万（10台より販売）
実績	雲仙岳
連絡先 関係マニュアル	土石流予測を目的としたセンシング技術ならびに高精度土石流シミュレーションシステムの開発　技術開発報告書　東北大、国際航業（株）他 火山噴火時における土石流発生区域に関する無人調査手法の開発 その２，平成30年度砂防学会研究発表会概要集，V-125

技術名	バケット式サンプラー、ボール式サンプラー（粒径から透水性概略把握）
技術の特徴	UAVにて吊下げたバケットを地表に設置させて、バケットを閉じて火山灰を採取後、帰還する。
技術イメージ 模式図等	運用イメージ  ①サンプラー降下　②回収　③回収確認　④巻上 
作業手順	平常時①UAVの計測計画も踏まえてサンプリング地点を検討 緊急時②降灰発生を確認後、UAVにて調査地点でサンプリング 緊急時③採取した試料から概略浸透能を把握
調査精度	細粒火山灰を採取可能
実施時間	○ UAV作業は1日程度
調査頻度	△ 定期にUAVでサンプリング
必要人員	準備に1名　UAV調査に3名、試料分析に1名
概算費用	50～100万程度（人件費のみ、サンプリング機材代は含まない、事前設置計画は含まない）
使用が想定される 調査局面	継続期
現地適用に 関する留意点	・粒径からの間接的な透水係数把握となる。 ・事前のUAV飛行計画、調査地点選定が必要
実績	有珠山
連絡先 関係マニュアル	R1年有珠山土砂災害シンポジウム資料　土石流泥流発生限界危険度評価、砂防学会

技術名	雨滴センサー
技術の特徴	発光部により照射される光線を、授光部で検知する簡易雨滴センサー 水滴が付着することによる水滴のレンズ効果により、水滴の直径に応じて光線がレンズドーム外へ散乱することにより授光部での授光量が減少することにより雨滴を検知する
技術イメージ 模式図等	 青野で示す部分意外で水滴感知
作業手順	平常時①設置地点の検討 緊急時②UAVにて運搬・設置 緊急時③データの受信
調査精度	精度にはまだ課題がある
実施時間	UAVで設置は数時間程度 ◎設置後はリアルタイム計測（計測頻度は通常1時間程度）
調査頻度	○計測頻度は通常1時間程度
必要人員	準備に1名　UAVによる運搬に3名
概算費用	50～100万程度（人件費のみ、センサー代は含まない、事前設置計画は含まない）
使用が想定される 調査局面	初動期、継続期
現地適用に 関する留意点	・転倒升型雨量計との計測値の整合は未検証 ・環境省等と事前に調整しておくことが望まれる ・規制範囲内設置後はメンテナンスが困難となる ・事前にUAV飛行計画やセンサーを設置する場所の選定が必要 ・設置に伴う転倒のリスクがある ・降灰の影響は検証が必要
実績	雲仙普賢岳で実証実験実績
連絡先 関係マニュアル	立入規制下の火山地域における降灰および気象観測情報の面的な把握手法（一般財団法人砂防・地すべり技術センター，2020年度砂防学会研究発表会概要集，R12-014，p.605