



次世代火山研究・人材育成 総合プロジェクト

Integrated Program for Next Generation Volcano Research and Human Resource Development

次世代火山研究推進事業

課題D 火山災害対策技術の開発

課題代表者：中田節也（防災科研）

サブテーマ1：無人機(ドローン等)による火山災害のリアルタイム把握手法の開発
(アジア航測株式会社)

サブテーマ2：リアルタイムの火山灰ハザード評価手法の開発（京都大学）

サブテーマ3：火山災害対策のための情報ツールの開発（防災科研）

サブテーマ1 無人機(ドローン等)による火山災害のリアルタイム把握手法の開発

令和5年度の研究項目

①データ取得作業効率化の検討→【目的】作業時間の短縮

- 3D地形モデル作成前に取得画像の状態を確認するための補助アプリケーションを試作
 - 画像処理によりワールドファイルを作成し、QGISで表示することで取得画像の状態を確認できることを確認した。
 - UAVのコースが変わるタイミングでずれが生じる課題があり、解決の検証を進める。

②画像や3D地形モデルから状況認識する方法の検討→【目的】状況の自動認識を高度化

- AIを用いて噴石跡抽出の精度向上や噴石以外の事象抽出
 - **噴石着弾痕**の検出精度改善を試行し、噴石着弾痕の見逃しが減少した。
 - **噴気**の検出を試行し、学習データ数を確保するために類似事象の画像を使用した。
 - 類似事象の画像を混ぜて学習することが精度改善に繋がることを確認した。

③解析作業効率化の検討→【目的】提供できる情報の高度化

- 単写真測量とAI/画像処理を組み合わせた変化状況の抽出
 - **AI**により抽出した噴気画像を用いることで単写真測量時の目標とすることができる。
 - **画像処理**により溶岩流境界が抽出可能なことを確認した。単写真測量との組み合わせの検証を進める。

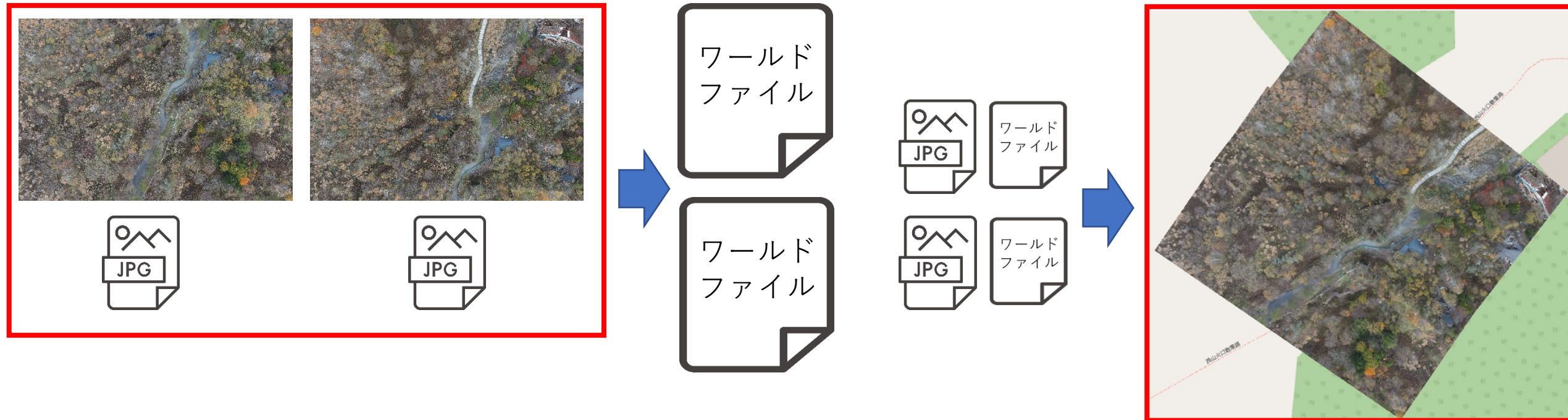
データ取得作業効率化の検討

- 3D地形モデル作成後に、データ不足により空白部が生じ、再計測が必要な場面があった。
 - 3D地形モデル作成前に、取得画像の状態を確認できるように補助アプリケーションを試作した。
 - アプリケーションは、画像処理ライブラリ（OpenCV）を用いて、画像のワールドファイルを作成し、QGIS等で画像の状態を確認できるものとした。

入力

出力

QGISで表示



データ取得作業効率化の検討

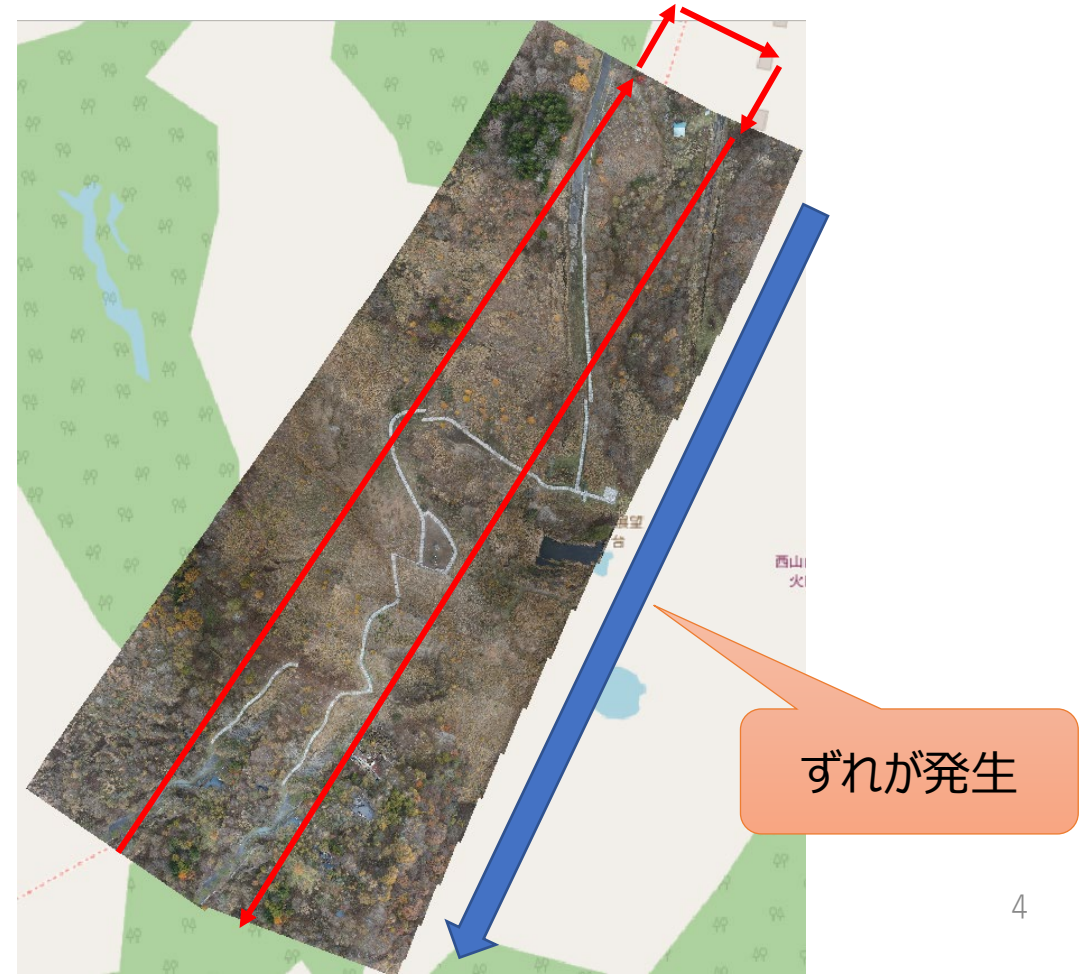
- 背景地図に合うように、画像の位置情報の取得が行えている（左図）。
- UAVのコース（向き）が変わるタイミングで、位置情報（角度）にずれが発生。（右図）→対策検討中

遊歩道の位置が
背景地図と画像でおおよそ合っている。
データ不足がある場合、確認ができる。



→
UAVのコース

コース（向き）が変わるタイミングで
ずれが発生する。



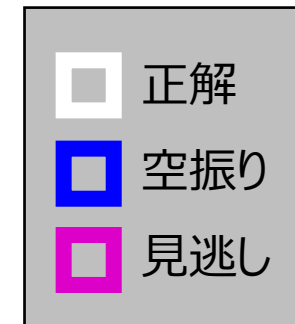
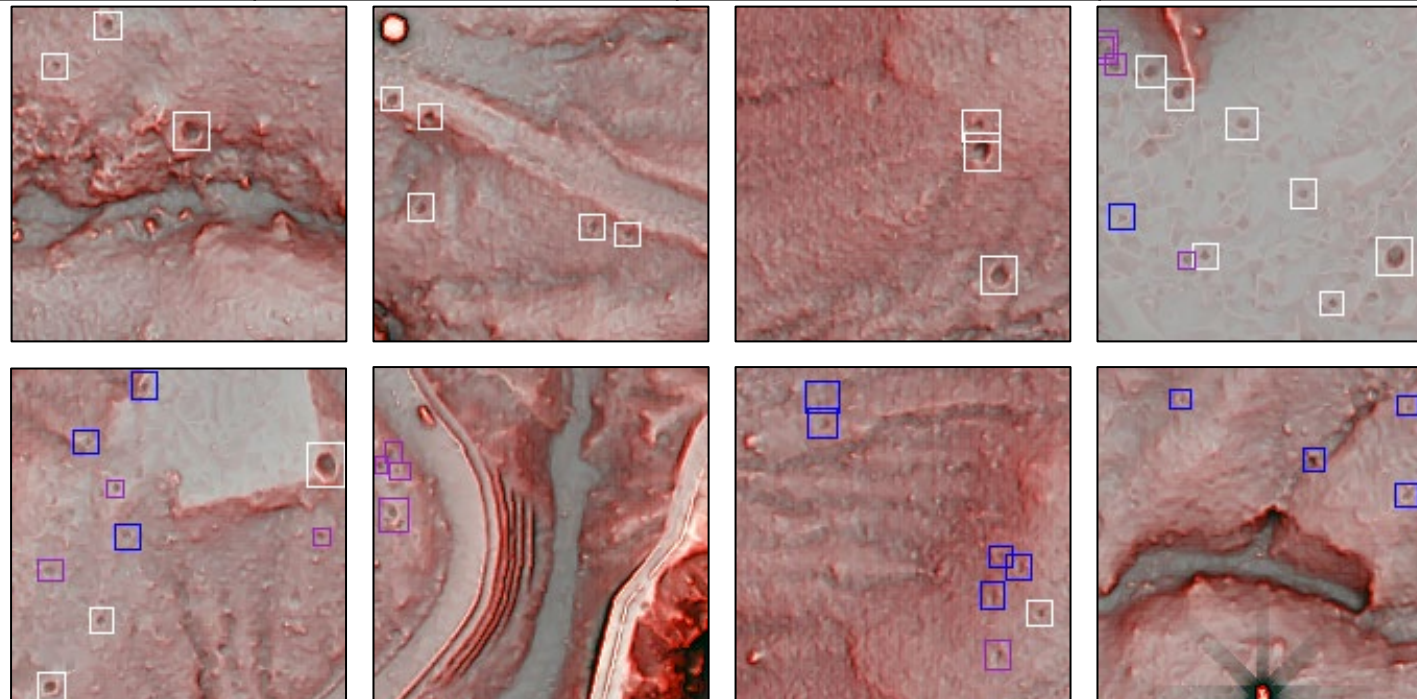
ずれが発生

画像や3D地形モデルから状況認識する方法の検討

- 令和元年度に、火山活動による被害範囲の把握を迅速に行う目的として、物体検出AI手法を用いて噴石着弾痕の検出を試行した。
 - 今年度は、最新の物体検出AI手法を用いて精度向上を検討した。
 - 令和元年度と比較して、Recall（見逃しの少なさ）が改善。
 - Precision（予測の正しさ）が低下しているが、人が見つけられなかった噴石着弾痕を新たに発見できている可能性がある。

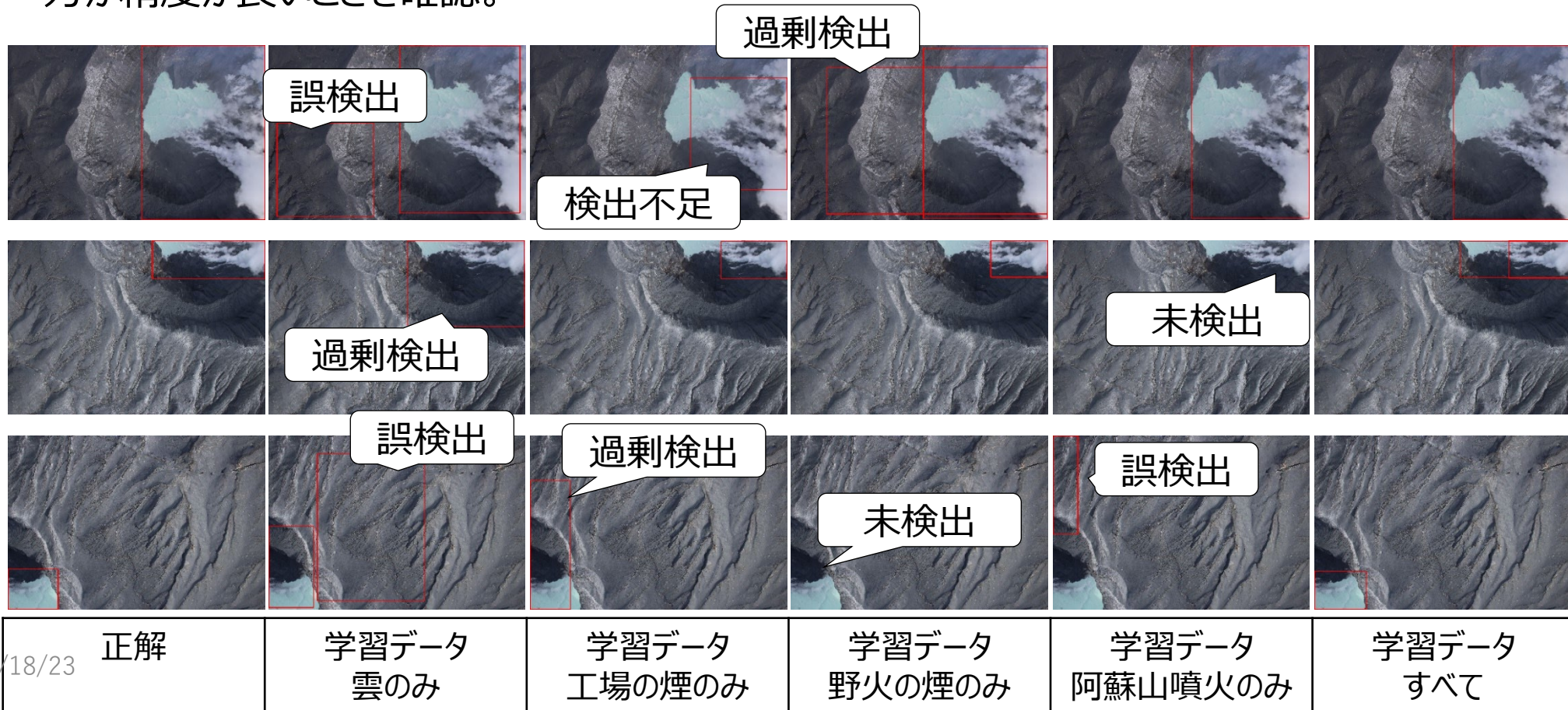
物体検出AI手法	Precision [%]	Recall [%]	F1 [%]
令和元年度（RefineDet）	75.2	46.7	57.6
令和5年度（YOLOv8）	60.6	66.9	63.6

※優位



画像や3D地形モデルから状況認識する方法の検討

- 噴気は、三次元地形モデルを作成する際に、地形情報の生成を阻害するため、事前に把握したい。
 - 物体検出AI手法を用いて噴気の検出を試行した。
 - 火山噴気を含む画像は少ないため、AI学習が十分に行われな可能性があるので、類似事象の画像をAI学習に用いて噴気の検出精度改善を試行。
 - 火山噴気画像のみでAI学習した場合よりも、類似事象と火山噴気画像を混ぜてAI学習した場合の方が精度が良いことを確認。



解析作業効率化の検討

- 3D地形モデルを作成するまでには時間がかかるため、解析作業時間の短縮として、単写真測量とAI/画像処理を組み合わせた解析を試みた。
 - 単写真（UAVの斜め画像）を斜め写真測量システムに取り込むことで、三次元位置の算出が可能。
 - AIにより抽出した噴気を含んだ斜め画像をシステムに取り込むことで、噴気位置把握の迅速化が図れる。

単写真測量：斜め写真測量システム
(アジア航測株式会社開発)

噴気抽出画像をシステムに取り込み

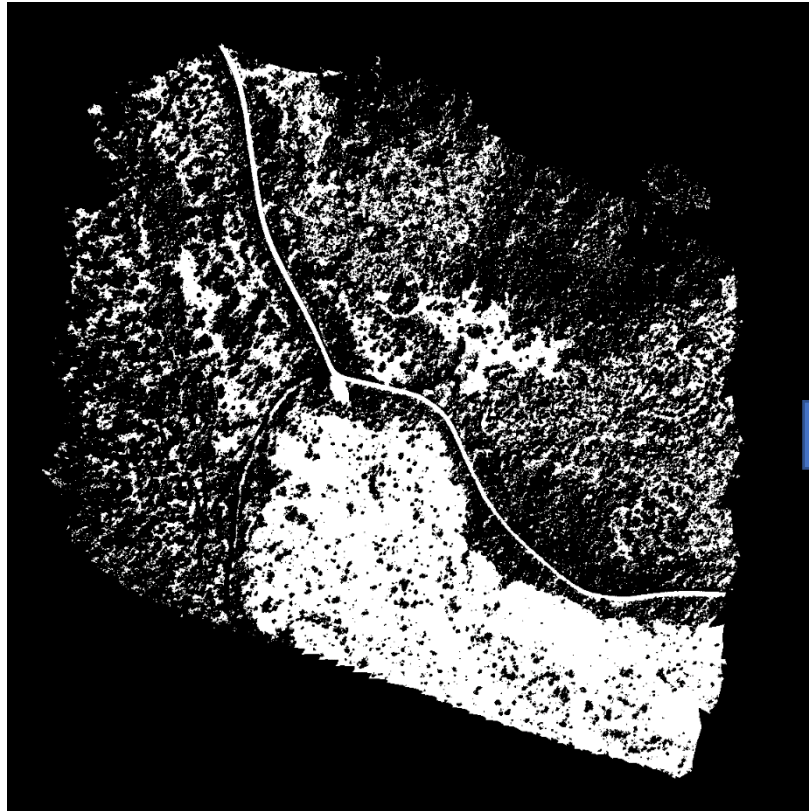


解析作業効率化の検討

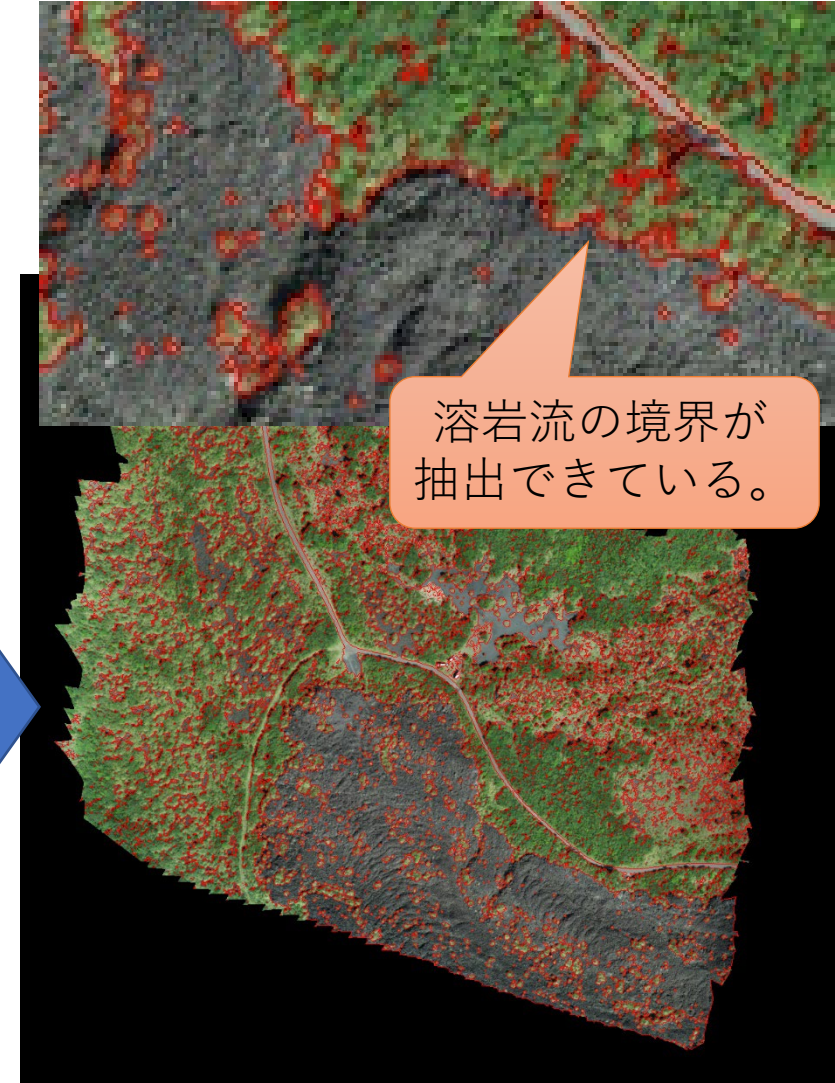
- 溶岩流の分布範囲の自動抽出を目的として、画像処理から溶岩流の境界抽出を試みた。
 - 過剰な抽出もあるが、溶岩流の境界が抽出可能なことを確認した。
 - 今後は、単写真からの抽出も検討を進める。
 - 単写真からの抽出結果と単写真測量を組み合わせ、溶岩流境界の三次元位置の算出を試みる。



12/19/03 オリジナル画像



マスク画像



結果（溶岩流境界の拡大）

溶岩流の境界が抽出できている。

結果

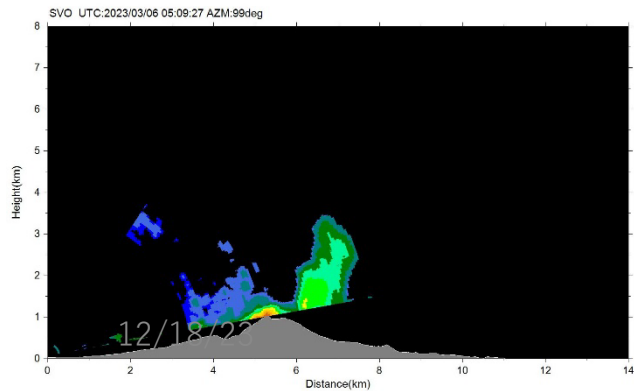
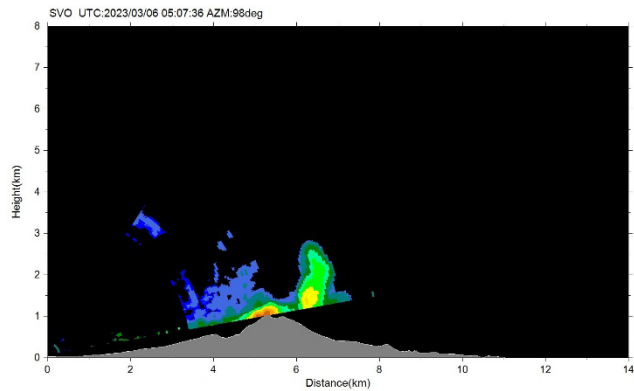
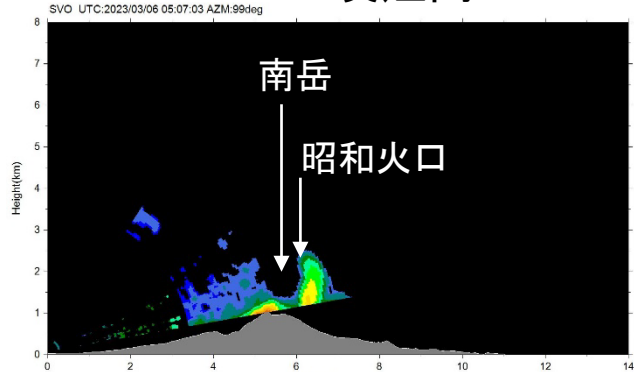
サブテーマ2 リアルタイムの火山灰ハザード評価手法の開発

令和5年度の研究項目

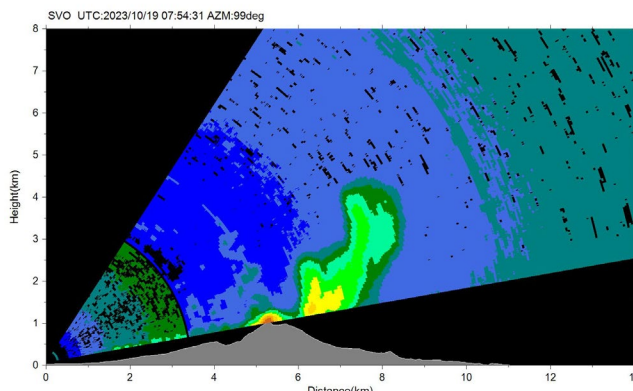
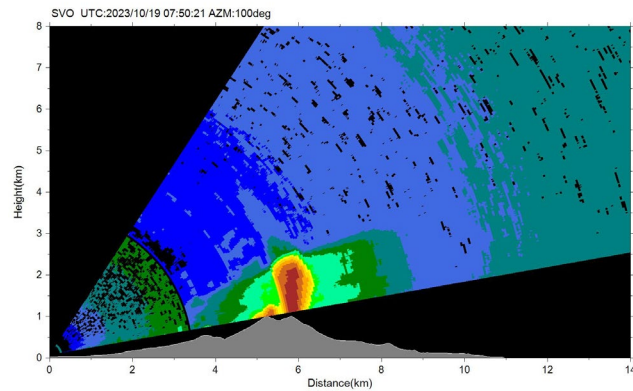
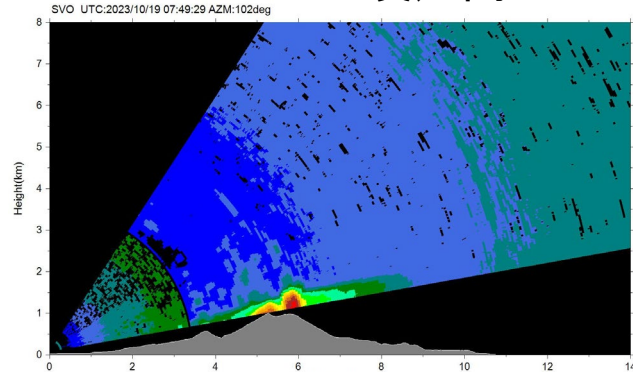
- ① プロジェクトの総合推進
 - 自治体等の防災担当者向けセミナー
- ② リモートセンシングによる火山灰放出量の即時把握技術開発
 - レーダー, ライダー, ディストロメータ観測の継続および地上降灰量との関係式の高精度化など
- ③ 火山拡散予測の高速化技術開発
 - 火山灰噴出率経験式の高精度化, 他の火山への拡張
- ④ 火山拡散予測の高精度化技術開発
 - 大気中風観測, 気象モデルWRFによる高分解能シミュレーション, 気流性状の高精細化, 建築資材の破壊実験
- ⑤ 火山灰拡散予測のためのオンラインシステムの開発
 - 連続化シミュレータの運用と調整, シミュレーション結果の照合
- ⑥ 噴火発生前の確率的降灰予測技術の開発
 - 火山噴火に前駆する地盤変動継続時間および圧力源の前駆体積変化量と噴火に伴う体積変化量の関係をデータベース化継続.
 - 噴火発生前の確率的火山灰拡散予測シミュレータを開発する.

② リモートセンシングによる火山灰放出量の即時把握技術開発

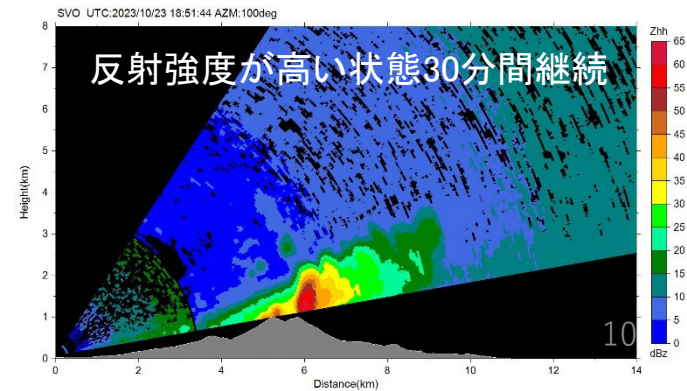
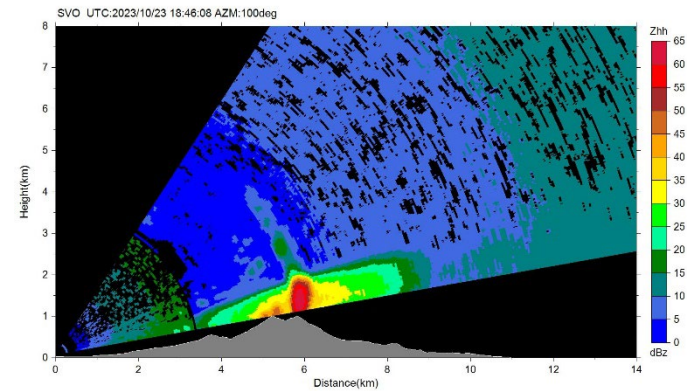
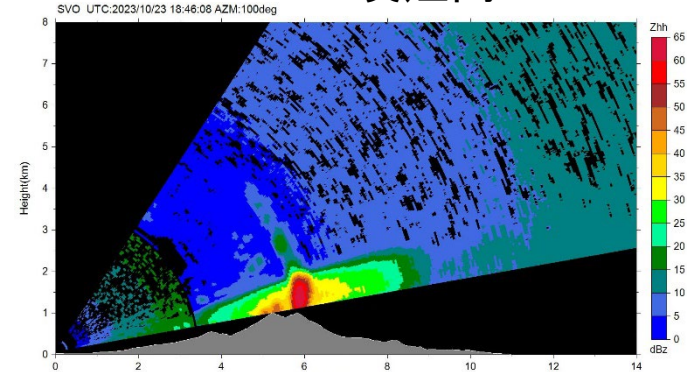
昭和火口噴火2023年3月6日噴火
噴煙高2700 m



南岳噴火2023年10月19日噴火
噴煙高3600 m

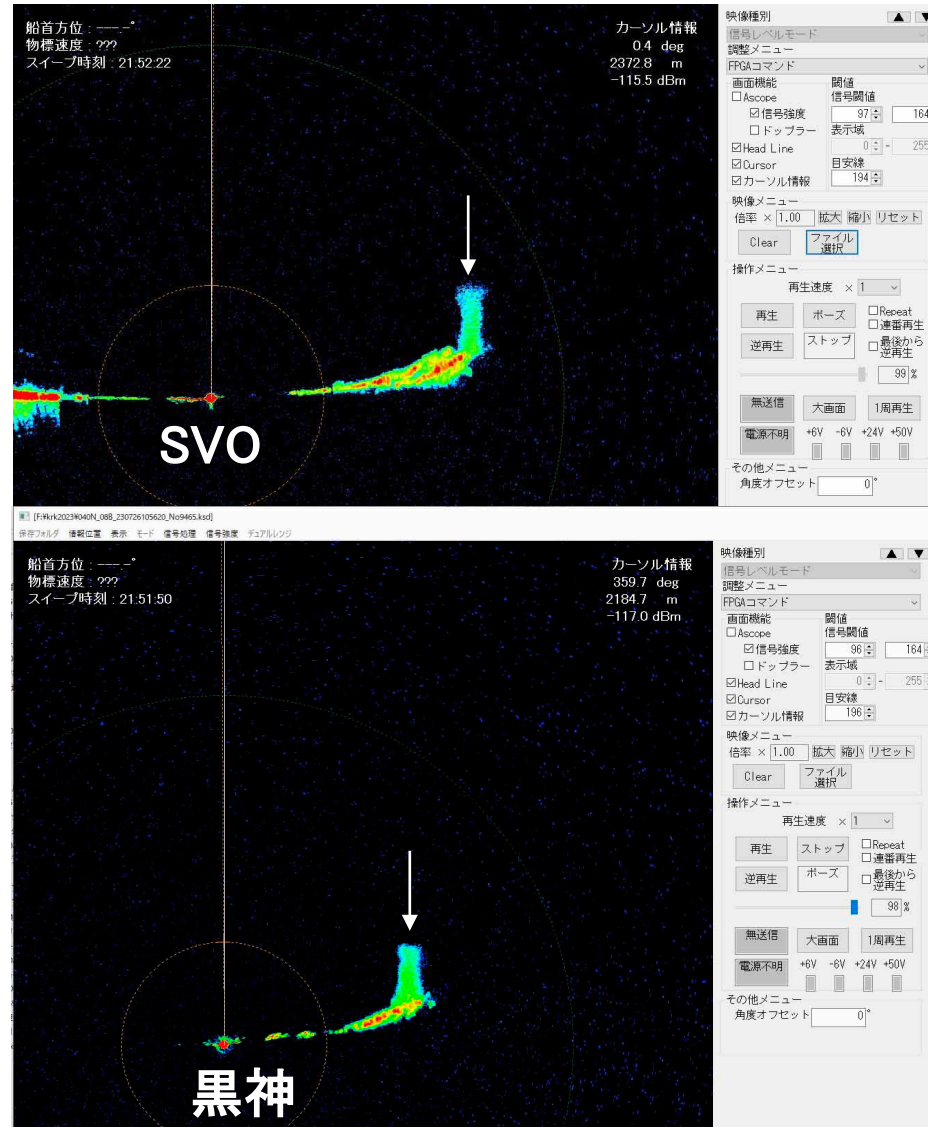
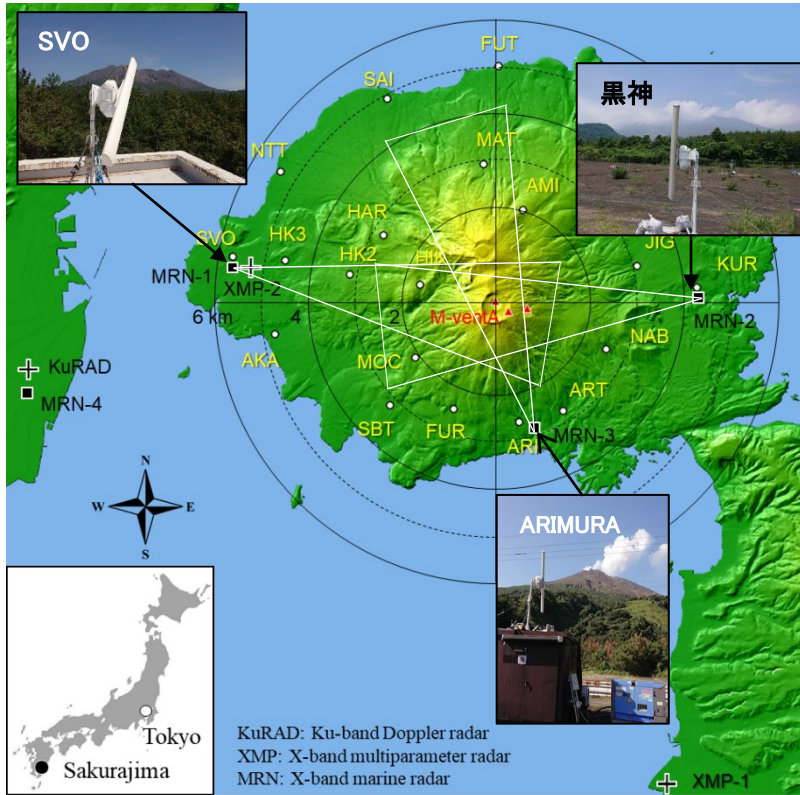


南岳噴火2023年10月24日噴火
噴煙高3400 m

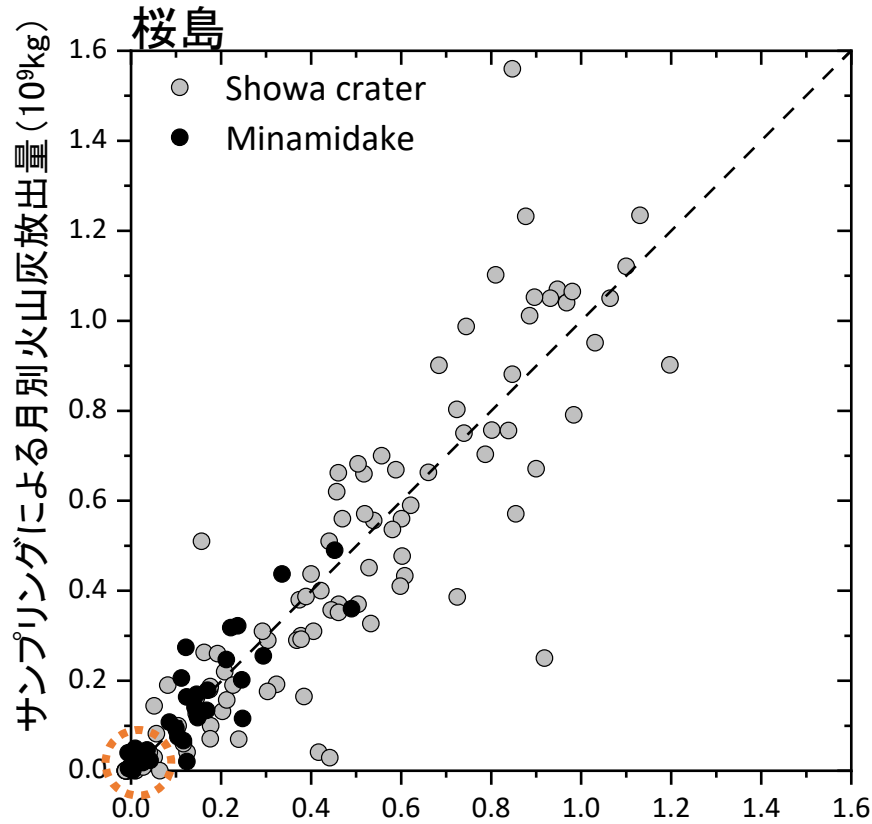


②リモートセンシングによる火山灰放出量の即時把握技術開発 船舶レーダによる噴煙モニタリング

昭和火口噴火2023年8月4日, 噴煙高2300m



③火山灰拡散予測の高速化技術開発



2021年以降降灰量が著しく減少

経験式による月別火山灰放出量 (10⁹kg)

火山灰噴出率経験式

$$W = \alpha A + \beta \Delta V + \gamma$$

W : 火山灰重量

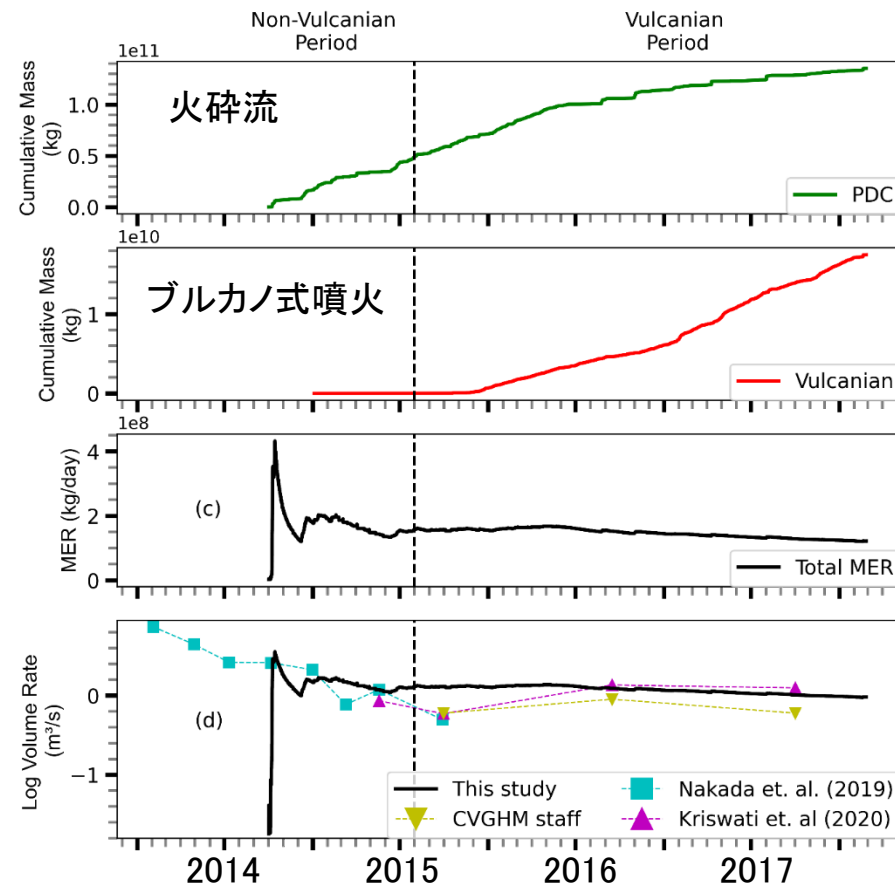
A : 2-3Hz周波数帯域の振幅

ΔV : 圧力源の体積変化量

γ : 補正項

地震動のみの項による経験式をシナブン火山(2014~2018マグマ噴火)に適用

2015年後半から現れたブルカノ式噴火の火山灰噴出量を見積もった噴煙高度からMERを算出, 地震エネルギーとの関係式を導出
地震エネルギーから火山灰量を算出



溶岩流→火砕流→ブルカノ式の推移において噴出率は徐々に低下

④火山拡散予測の高精度化技術開発

ドローンによる上空の気象・火山灰の観測

■観測概要

目的：2種類の風速計センサの観測精度の比較（図1）
 地点：桜島有村町（南岳火口の南南東2km, 標高80m）
 期間：2023年5月17日（7回のフライト）
 観測方法：高度400mまで、15～20分で上昇・下降しながら測定、ドップラーライダーと比較（図2）
 観測要素：風向風速, 気温, 湿度, PM濃度（PM₁₀, PM_{2.5}）

■観測結果

- FT205で3フライト, TriSonicaで4フライトを実施
- いずれのフライトでも下降時の風速がドップラーライダーに比べ過大となり変動も大きくなった（図3）
- TriSonicaの場合, 上昇時に変動が大きかった
- 風速の鉛直プロファイルは, FT205では**ドップラーライダーとよく一致し**, 良好な結果が得られた（図4,5）
- TriSonicaは**変動が大きく対応もよくなかった**

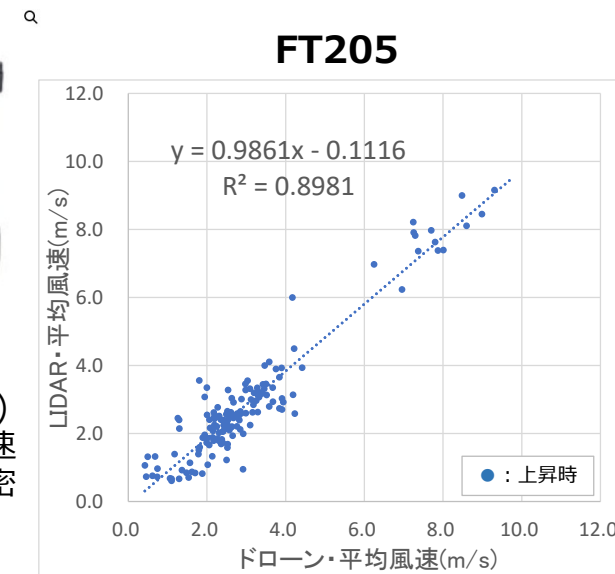


FT205
 (FT Technology社製)
 風速, 風向を最大10Hzで測定. 内臓電子コンパスで方位を自動補正



TriSonica Mini
 (Anemoment社製)
 風速, 風向, 気圧, 加速度, 方位, 露点, 空気密度を最大10Hzで測定

図1 超音波風速計センサ



TriSonica

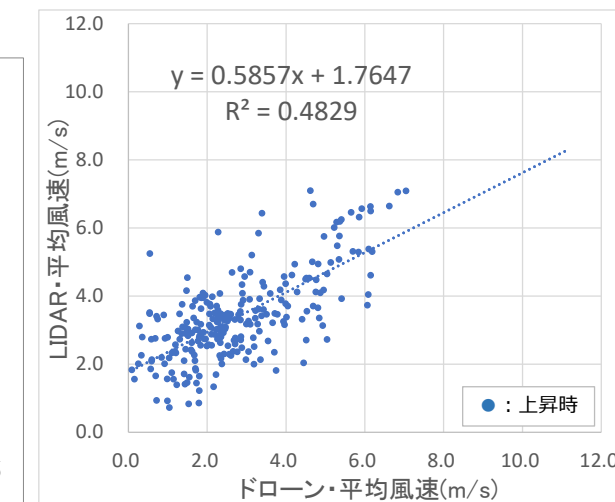


図5 ドローンとドップラーライダーの平均風速の比較

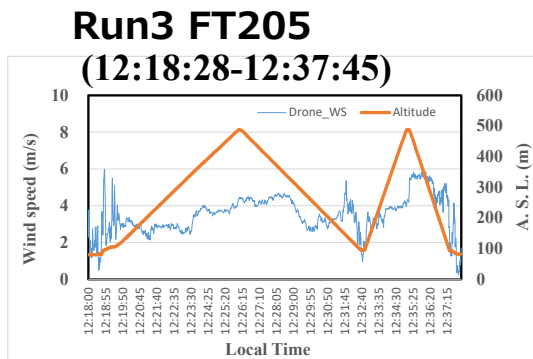


図3 風速の観測結果（橙線：飛行高度, 青線：風速）

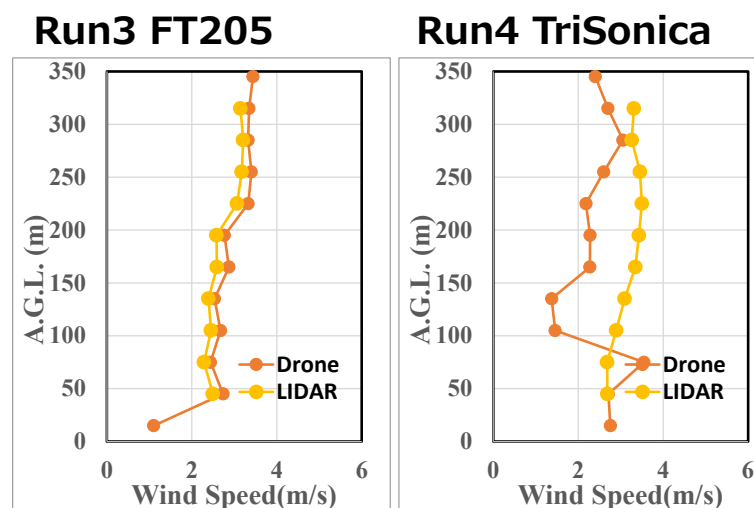
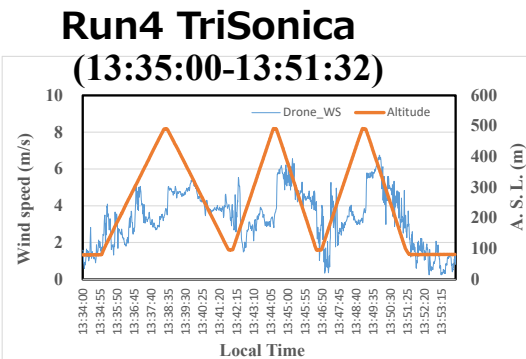


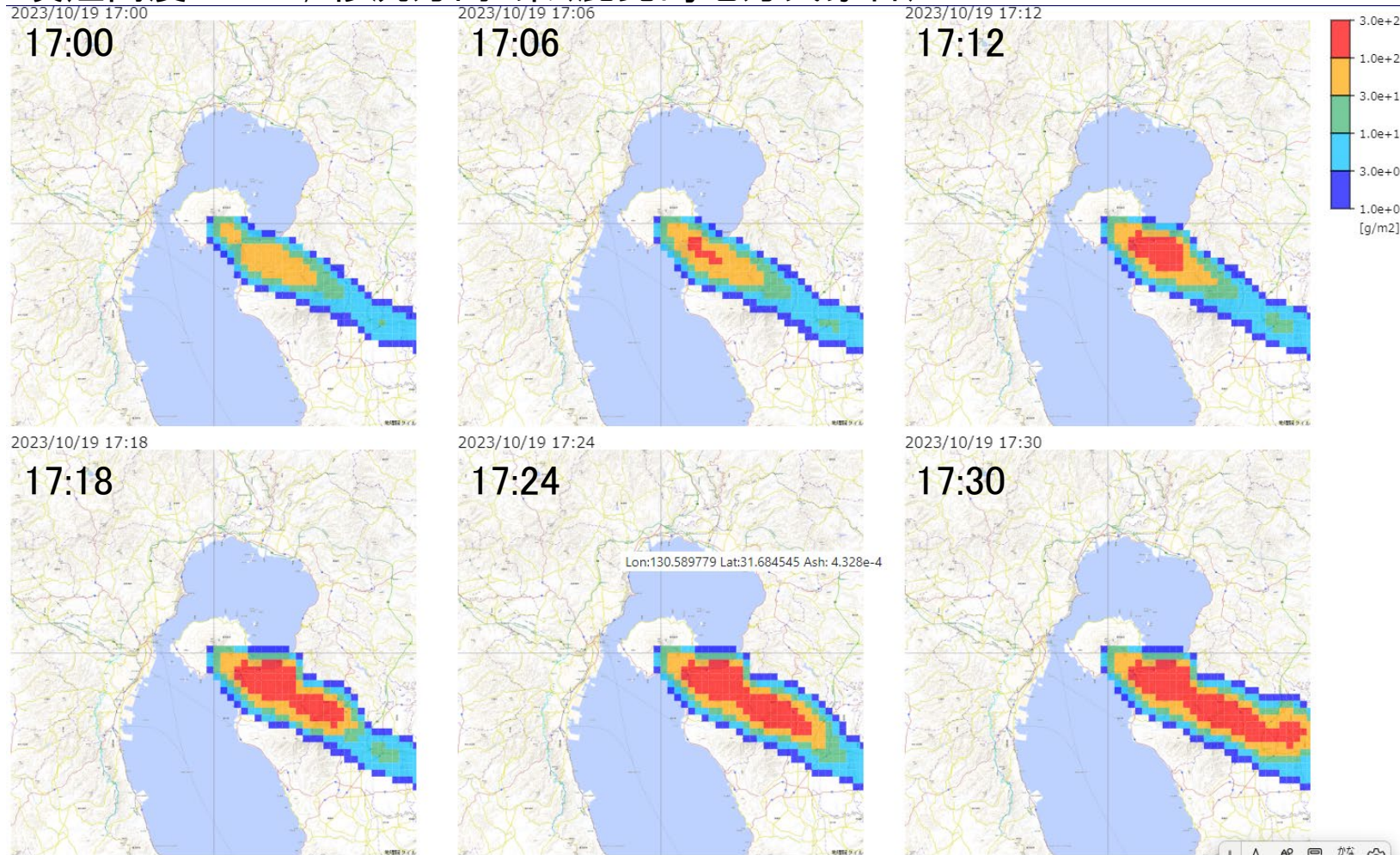
図4 平均風速の鉛直プロファイル（橙線：ドローン, 黄線：ライダー）

⑤火山灰拡散予測のためのオンラインシステムの開発 連続化シミュレータの運用試験

2023年10月19日16:48爆発,

噴煙高度3600m, 移流方向: 東(鹿児島地方気象台)

16:54時点での予測



1時間の積算値

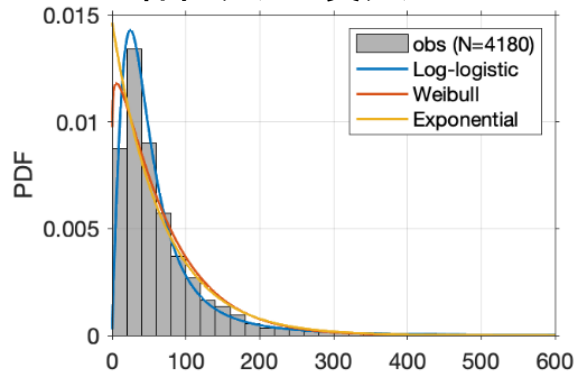
⑥噴火発生前の確率的降灰予測技術の開発

桜島噴火に伴う地盤変動の統計学的特性

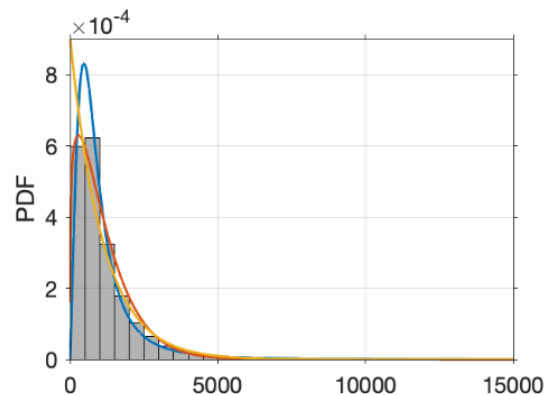
Log-logistic, Weibull, Exponentialについて検討

Log-logisticが地盤変動の頻度分布の近似に最も適している。

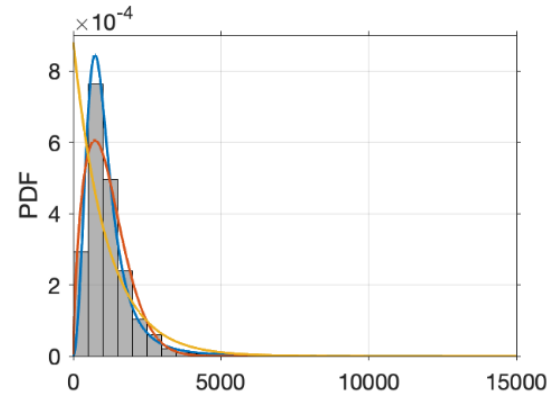
昭和火口噴火



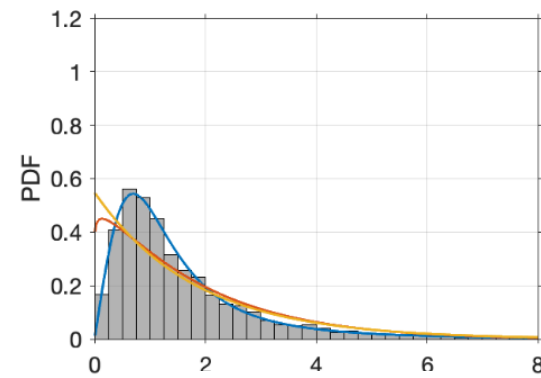
前駆膨張継続時間(分)



前駆体積膨張量(m³)

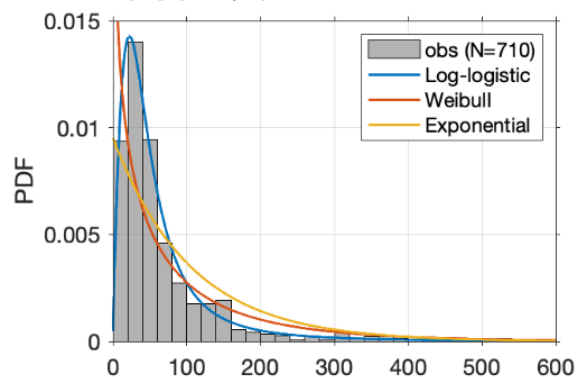


噴火体積収縮量(m³)

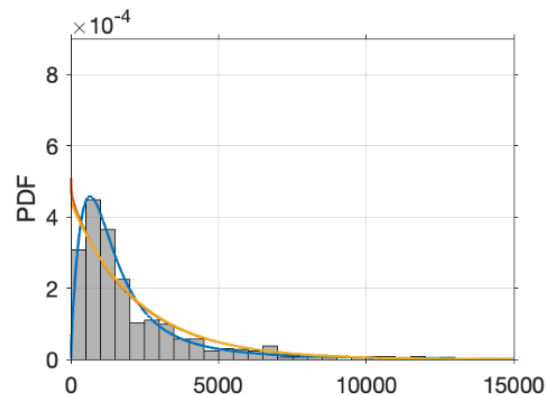


収縮/膨張

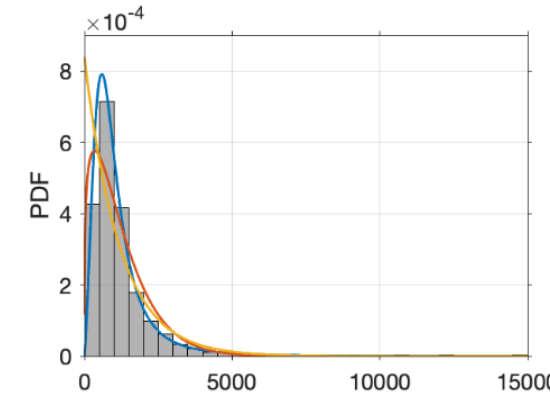
南岳噴火



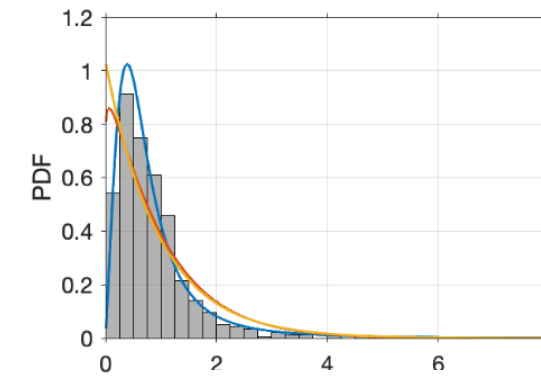
前駆膨張継続時間(分)



前駆体積膨張量(m³)

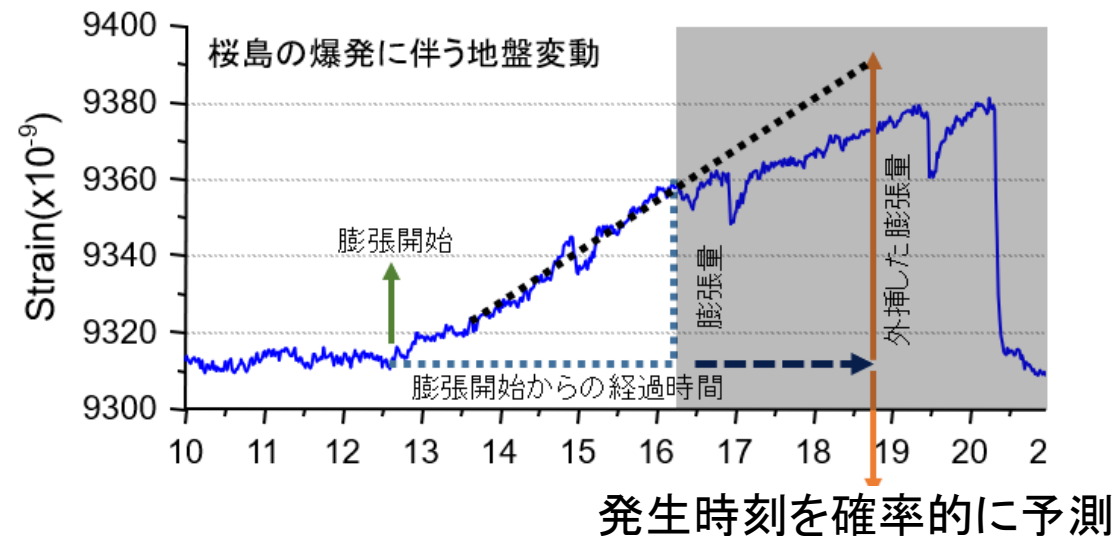
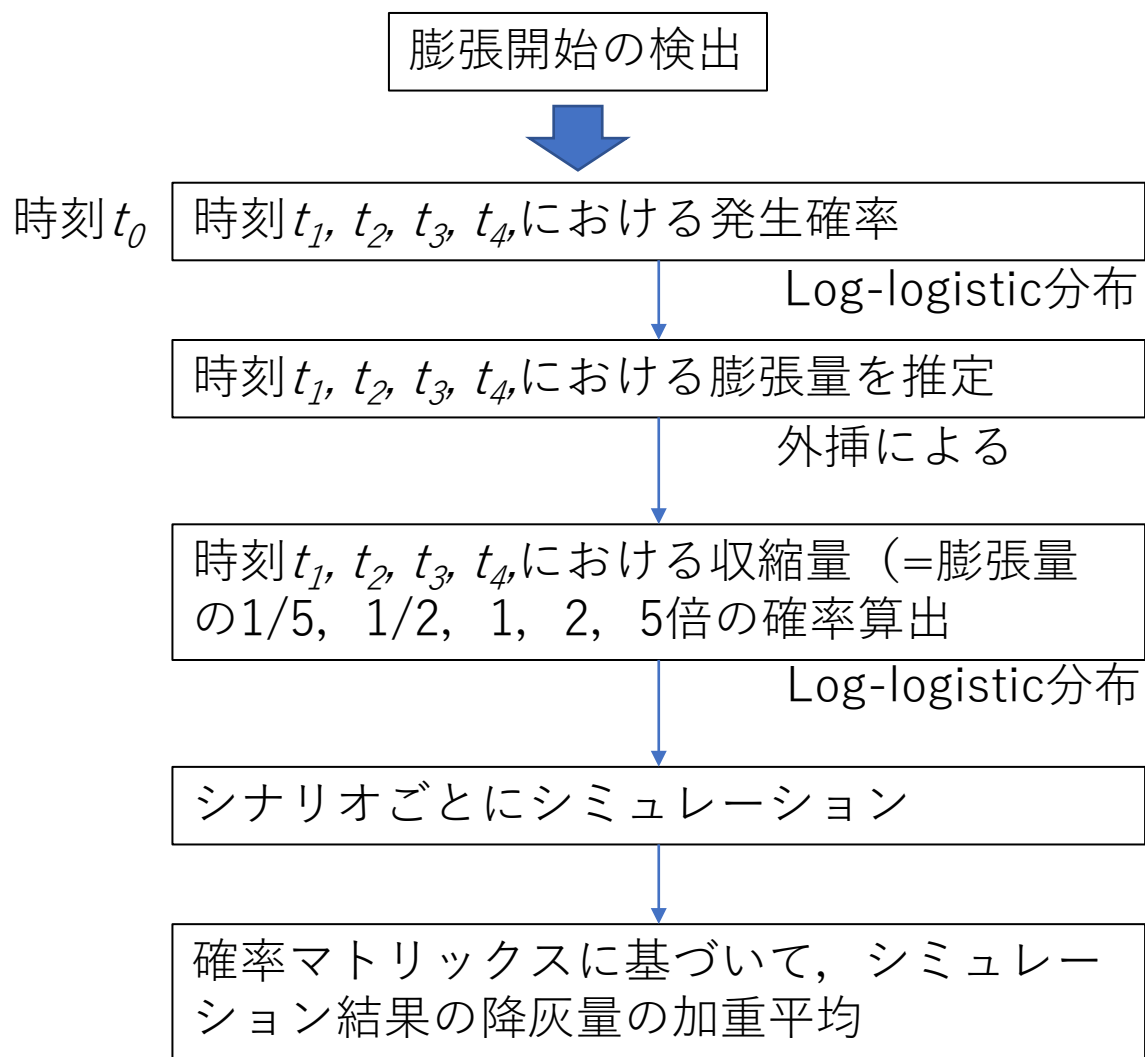


噴火体積収縮量(m³)



収縮/膨張

⑥噴火発生前の確率的降灰予測技術の開発



シナリオの確率マトリックス

	t_1	t_2	t_3	t_4
$5V_0$	$P_{2,1}$	$P_{2,2}$	$P_{2,3}$	$P_{2,4}$
$2V_0$	$P_{1,1}$	$P_{1,2}$	$P_{1,3}$	$P_{1,4}$
V_0	$P_{0,1}$	$P_{0,2}$	$P_{0,3}$	$P_{0,4}$
$0.5V_0$	$P_{1,1}$	$P_{1,2}$	$P_{1,3}$	$P_{1,4}$
$0.2V_0$	$P_{2,1}$	$P_{2,2}$	$P_{2,3}$	$P_{2,4}$

発生時刻の風速場

サブテーマ3 火山災害対策のための情報ツールの開発

令和5年度の研究項目

3つの情報コンテンツ試作版の高度化を実施し、来年度からの社会実装を目指す。

1. 周知啓発・教育用コンテンツ：

- プロジェクトのHPからのリンク貼り。
- 地方自治体防災担当者ヒヤリング調査、及び、防災訓練参加によるニーズと課題の確認。
- ライフライン事業者へのヒヤリング調査によるニーズ確認。

2. 降灰被害予測コンテンツ：

- 大規模噴火時の、都市街区における降灰不均一性のシミュレーション、建物屋根の安全性、病院機能被害について検討。
- 阿蘇火山における過去噴火データに基づく降灰被害リスクの検討(今回説明なし)。

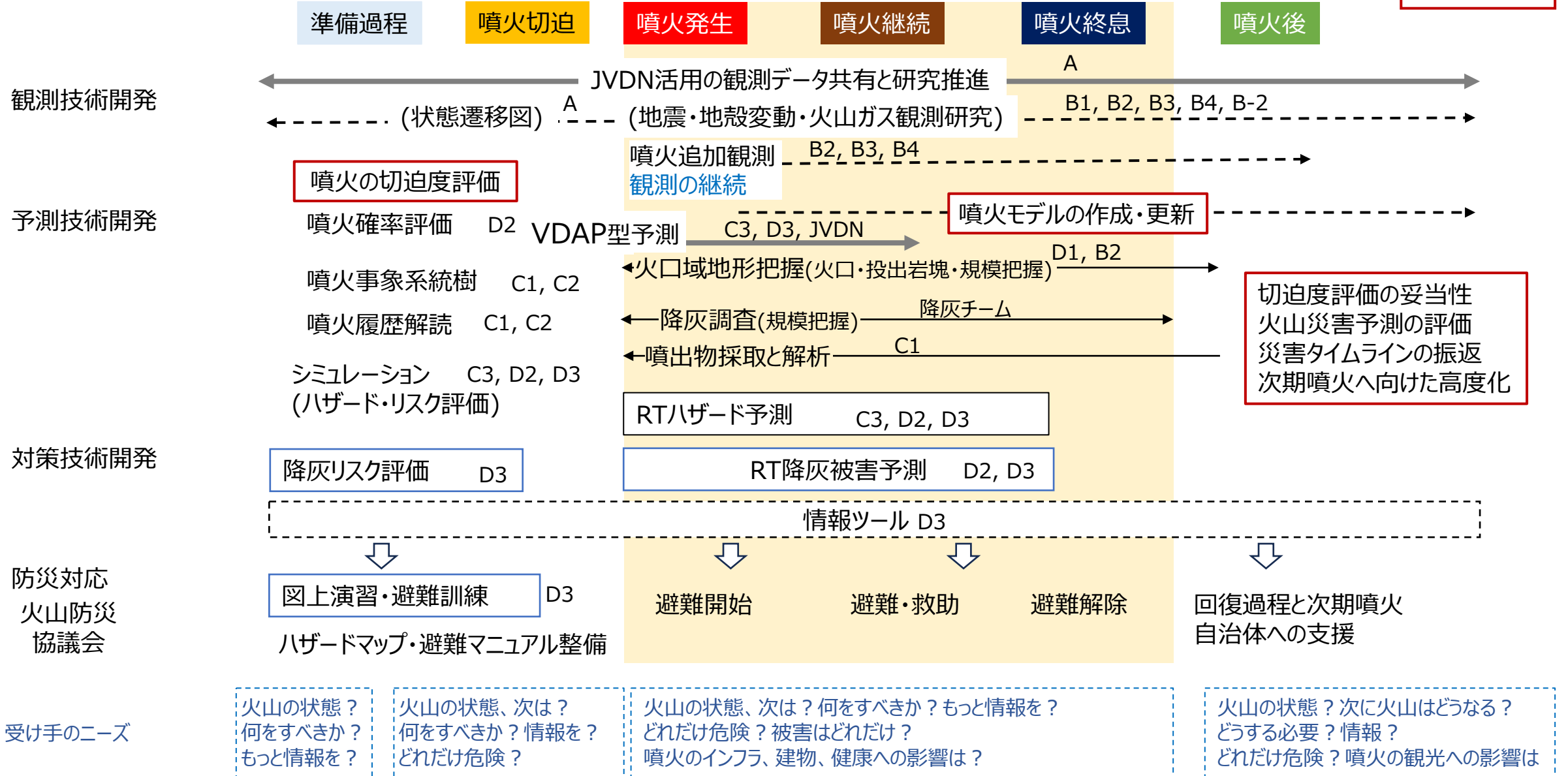
3. 避難・救助支援コンテンツ：

- 御嶽山における登山者動態把握実験の実施と登山者傾向の把握。

火山噴火災害発生ของタイムライン上で、本プロジェクト各サブテーマなどの役割分担と位置づけ、サブテーマ3の役目などを確認。

噴火タイムラインと次世代火山PJの役割分担と連携

全課題連携



1-1. 周知啓発・教育用コンテンツ試作版の高度化

- JVDNと次世代火山PJのホームページに周知啓発用コンテンツ (火山防災情報ポータル) へのリンクバナーを設置。
- 北海道の市町村のヒアリングおよび北海道駒ヶ岳・雌阿寒岳火山の防災訓練見学と打合せを実施：自治体が防災訓練に関して抱える課題やQ&Aに関するニーズについて把握。胆振東部地震での土砂災害の映像コンテンツの収集。

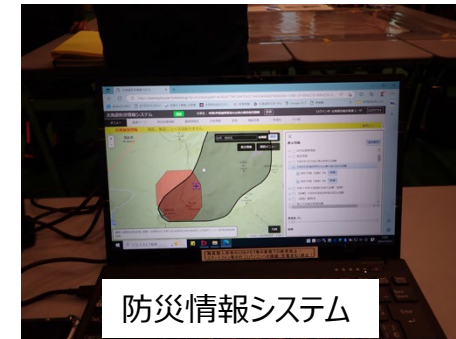


研究成果や観測・予測情報について、GISによって基盤データと連携させた情報提供が必要である。

(文字情報だけでは正確に情報を読み取れない。図情報を防災情報システムなどと重ね合せると活用が可能)



伊達市、壮瞥町、洞爺湖町の火山防災担当者へのヒアリング

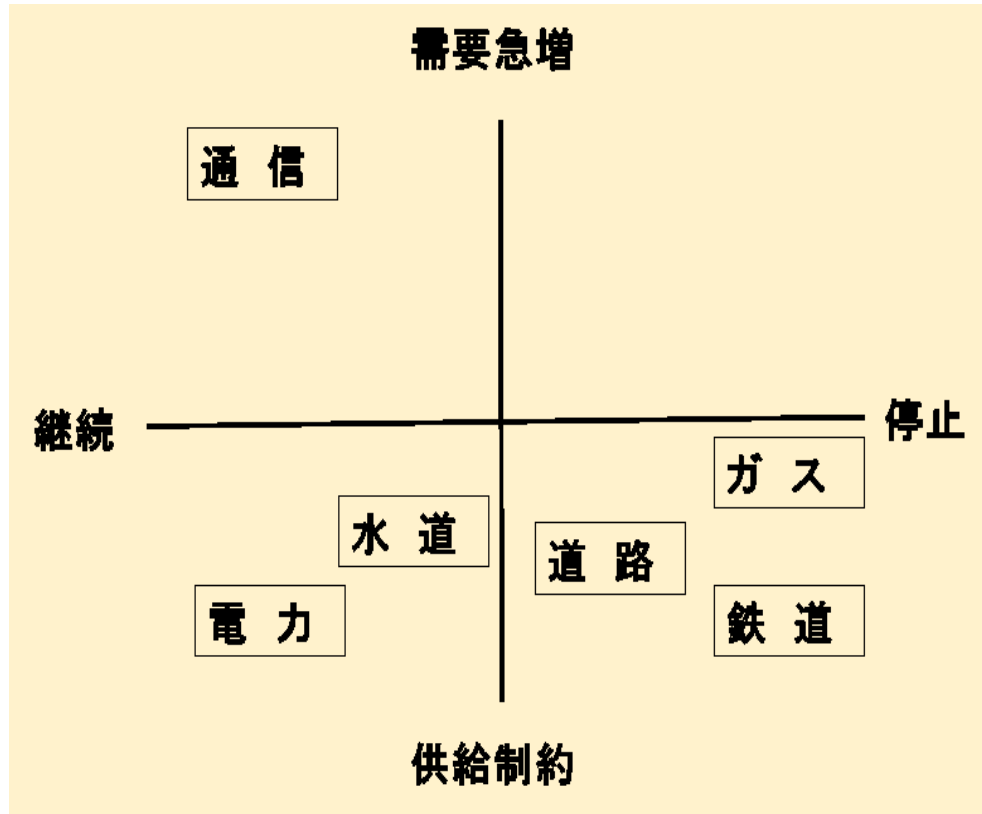


北海道庁の支援による雌阿寒岳火山噴火総合防災訓練(10月24日釧路市)

- 国際火山防災ワークショップ、シンポジウムを開催：11月2日に東京都で国際ワークショップ「大規模噴火による都市部への影響」、同月4日に富士山科学研究所で国際シンポジウム「大規模噴火による火山近傍への影響と対応」をハイブリッドで実施。それぞれ200名と150名が参加。



1-2.降灰によるライフライン (特に通信) への影響と事業者のニーズ調査



降灰がライフラインのうち通信へ及ぼす影響に関して、通信事業者と意見交換を実施。

通信の課題

- 通信機能には停電がネックとなるため、予備電源用の燃料補給オペレーションが必要になる。その際、オペレーション経路の選択に降灰予測情報が有効。
- 中継系は光ケーブルでループ化されているため、降灰による影響は小さいが、施設の同時被災は深刻。その対策検討には、ハザードマップの可能性マップでは不十分。被災までの猶予時間情報が必要。
- 応急対策として用いる無線や衛星通信は、その減衰率が火山灰の粒径と密度、火山灰特性(電解質分量)に依存。
- ネットワーク構成変更には、県レベルに複数ある上位局単位となる。そのためには高解像度のハザード情報が必要となる。

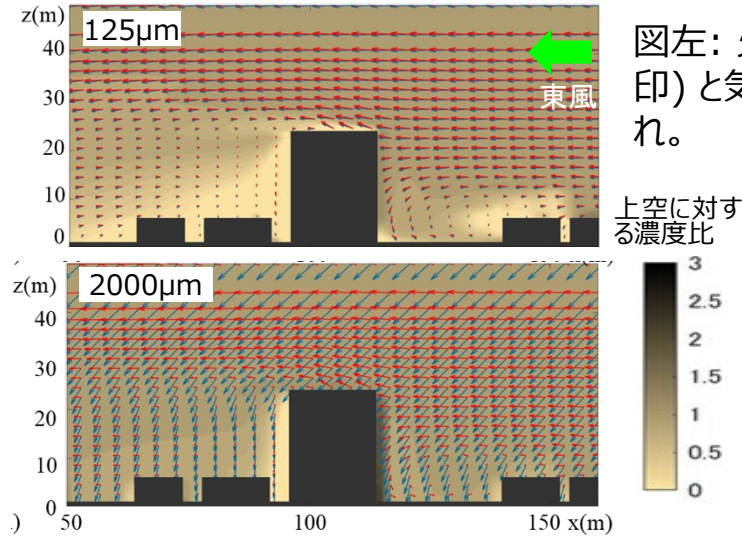
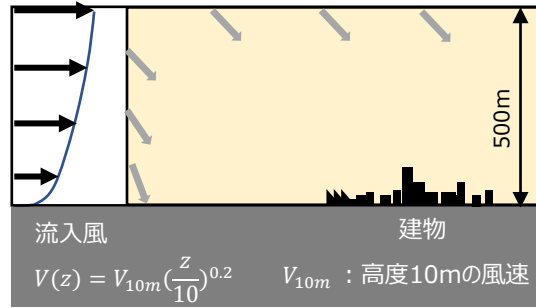
今後、道路の啓開に関する意見交換を今後予定。

火山災害発生時は、音声やSNS通信の輻輳が発生。インターネット通信、防災活動の基盤情報（モニタリング・データ制御）などの確保が不可欠。

2. 降灰被害予測コンテンツ試作版の高度化

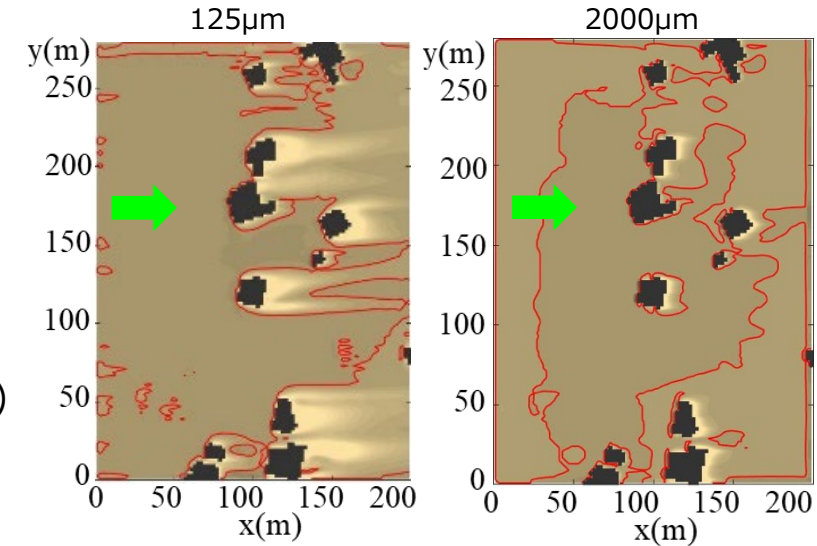
建物の影響による市街地の中の降灰の不均一性

- 実在する低層建物のある街区を対象に、風速を考慮した降灰シミュレーションを粒子毎に実施。125 μm では粒子の流れはかなり気流に追随。2mmでは建物周りの気流変化への追随性がよくない。



図左: 火山灰粒子 (青矢印) と気流 (赤矢印) の流れ。

図右: 地上14.5m (住居建物5階程度) における火山灰粒子の流れ。

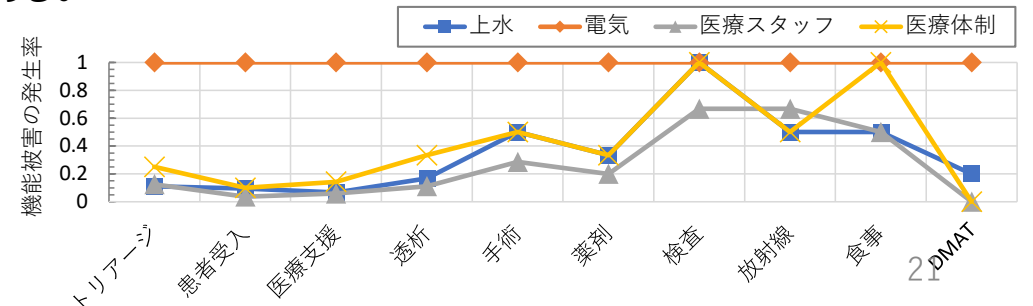


降灰に対する建物屋根の安全性

- 積雪荷重を降灰荷重に換算し、降灰荷重に対する建物屋根の安全性を検討。構造種別に応じた建物屋根の被害確率関数を作成。
→木造建物とS造建物（鉄骨造・折板屋根）の損傷確率が高くなる。
- 富士山宝永噴火を想定した建物屋根の損傷確率：御殿場市では、全ての建物屋根が損傷を受ける可能性が高い。横浜市と新宿区においても、木造とS造（折板屋根）の建物屋根は損傷を受ける可能性がある。
- 火山灰の湿潤状態では損傷確率が2~3倍高くなる。

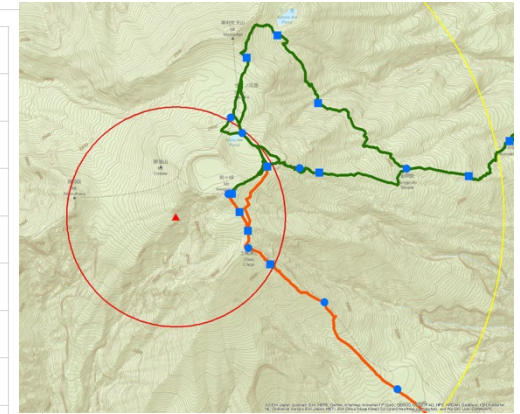
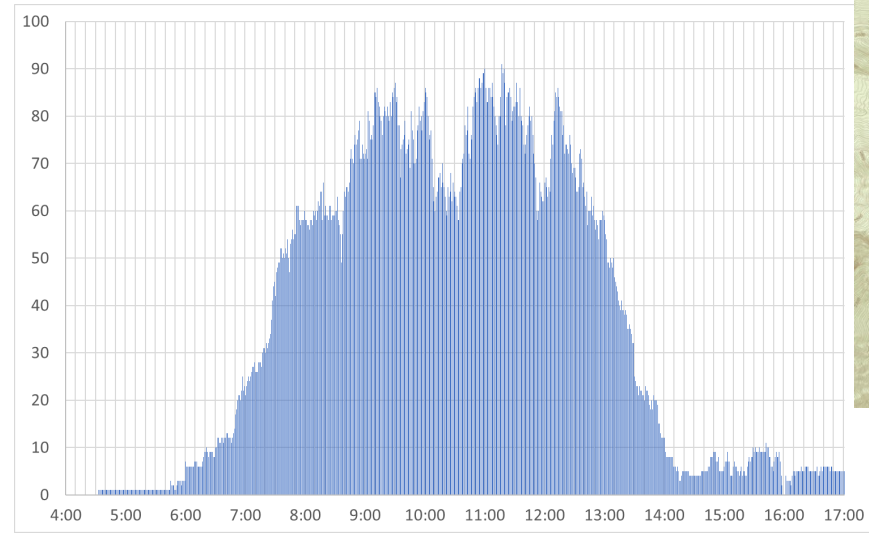
降灰に対する病院の機能被害

- 過去の降灰による機能被害の記録は少ないので、東日本大震災における医療施設被害を検討:病院の要素に被害が発生したとき、病院の機能被害の発生率は電気すると、病院における全ての機能が停止



3. 避難・救助支援コンテンツ試作版の高度化

- 登山者動態データ取得実験：御嶽山を対象に2022年と2023年に長野県、木曾町、王滝村、御嶽山火山防災協議会と協力して実施。
- 本実験によって、登山者分布、登山に要した時間、移動速度、ルート毎の登山者混雑状況などの登山者傾向が分かる。
- Web地図上でリアルタイムで登山者分布情報が共有できるビューワー開発し、実験中に防災関係者と状況共有を実施した。



上図ヒストグラムは御嶽山火口から1kmの範囲内にいる登山者数の時間推移を示す(8月26日データ)。八丁だるみ登山ルートの規制緩和によって、未整備の二ノ池トラバースルート(右下図水色)を登山者の半分以上が利用。



- 山岳地域におけるDX課題が残った。
- 事前防災においても、本実証実験の結果の活用が見込まれる。例えば、シェルター設置位置の検討、避難ルートの再検討、防災対応タイムラインの検討等のハード対策、避難訓練や周知教育活動等へのソフト対策。