

課題 A : 「各種観測データの一元化」

課題責任機関： 国立研究開発法人 防災科学技術研究所

事業責任者： 上田 英樹

火山研究推進センター 主任研究員

地震津波火山ネットワークセンター 火山観測管理室長

多機関の多項目観測データをオンラインで一元化共有する**JVDN**
システムを開発し、平成30年度末に運用を開始した。

JVDNのポータルサイト



JVDNとは、
Japan Volcanological Data Networkの略

データの登録状況

各課題

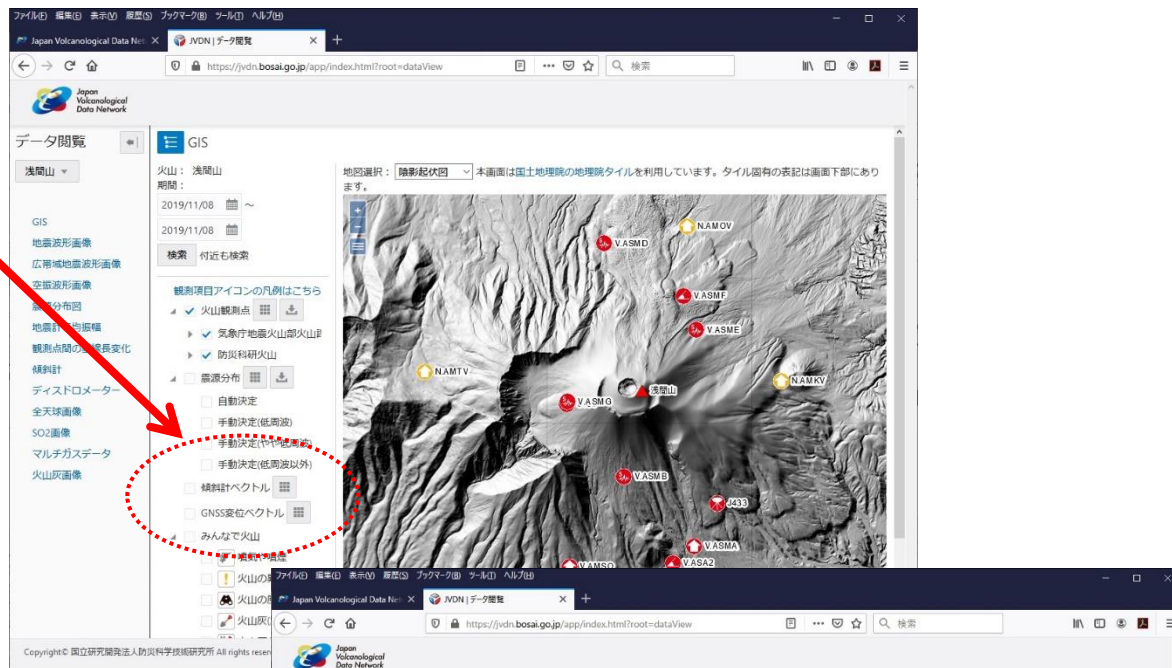
課題B-1	登録中
課題B-2	登録中
課題B-3	協議予定
課題B-4	協議中
課題C-1	協議予定
課題C-2	協議予定
課題C-3	登録中
課題D-1	協議予定
課題D-2	登録中
課題D-3	登録中

関係機関

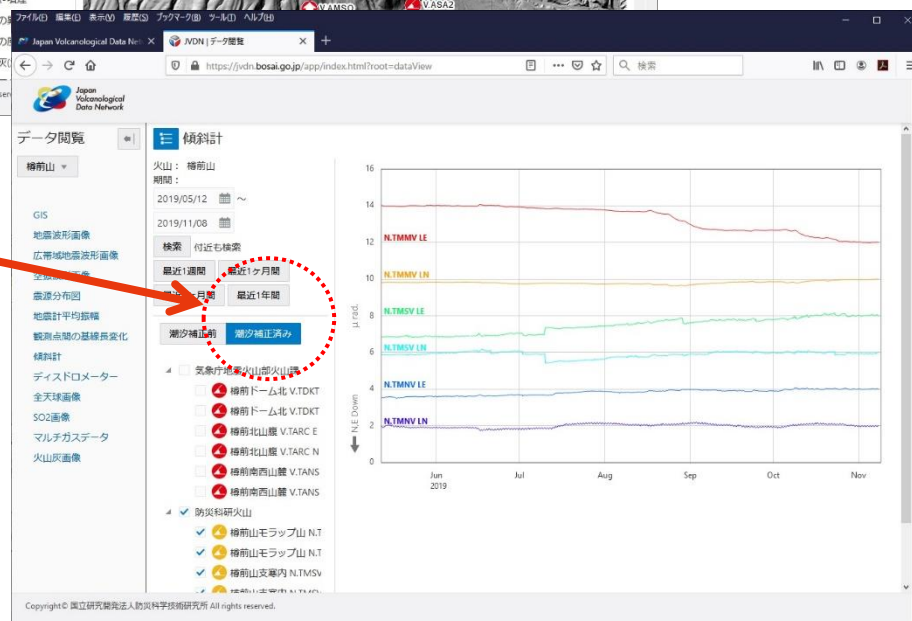
防災科研	登録済・提供中
気象庁	登録済・提供中
国土地理院	登録済・表示に向けて調整中
産総研	地質図を表示予定
富士山研	登録済・提供中
湿地研	登録済・表示に向けて調整中
その他	JAMSTECと協議中

JVDNシステムの開発（バージョンアップ済みの機能）

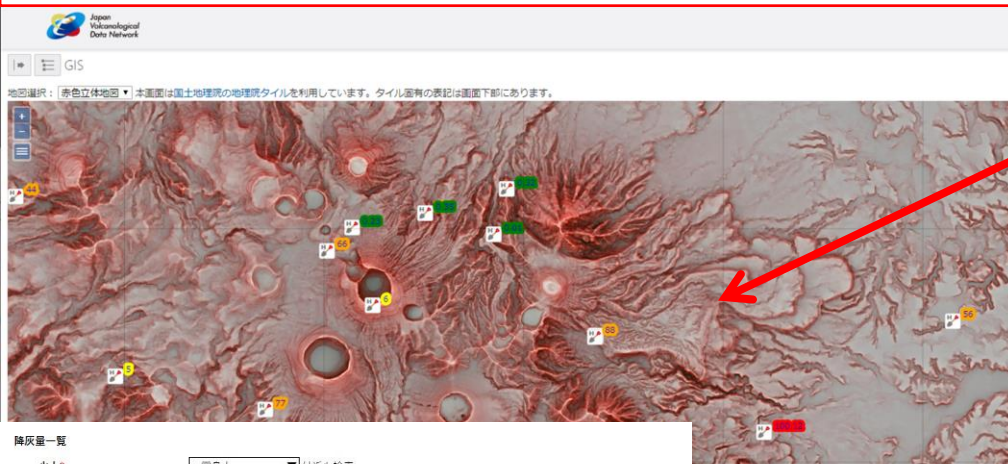
傾斜計ベクトル・GNSS変位ベクトルの表示



潮汐補正済の傾斜計データの表示



JVDNシステムの開発（開発中の機能）



降灰調査結果の共有機能
（内閣府の「火山防災に係る技術
動向検討グループ」での議論を踏
まえて開発）

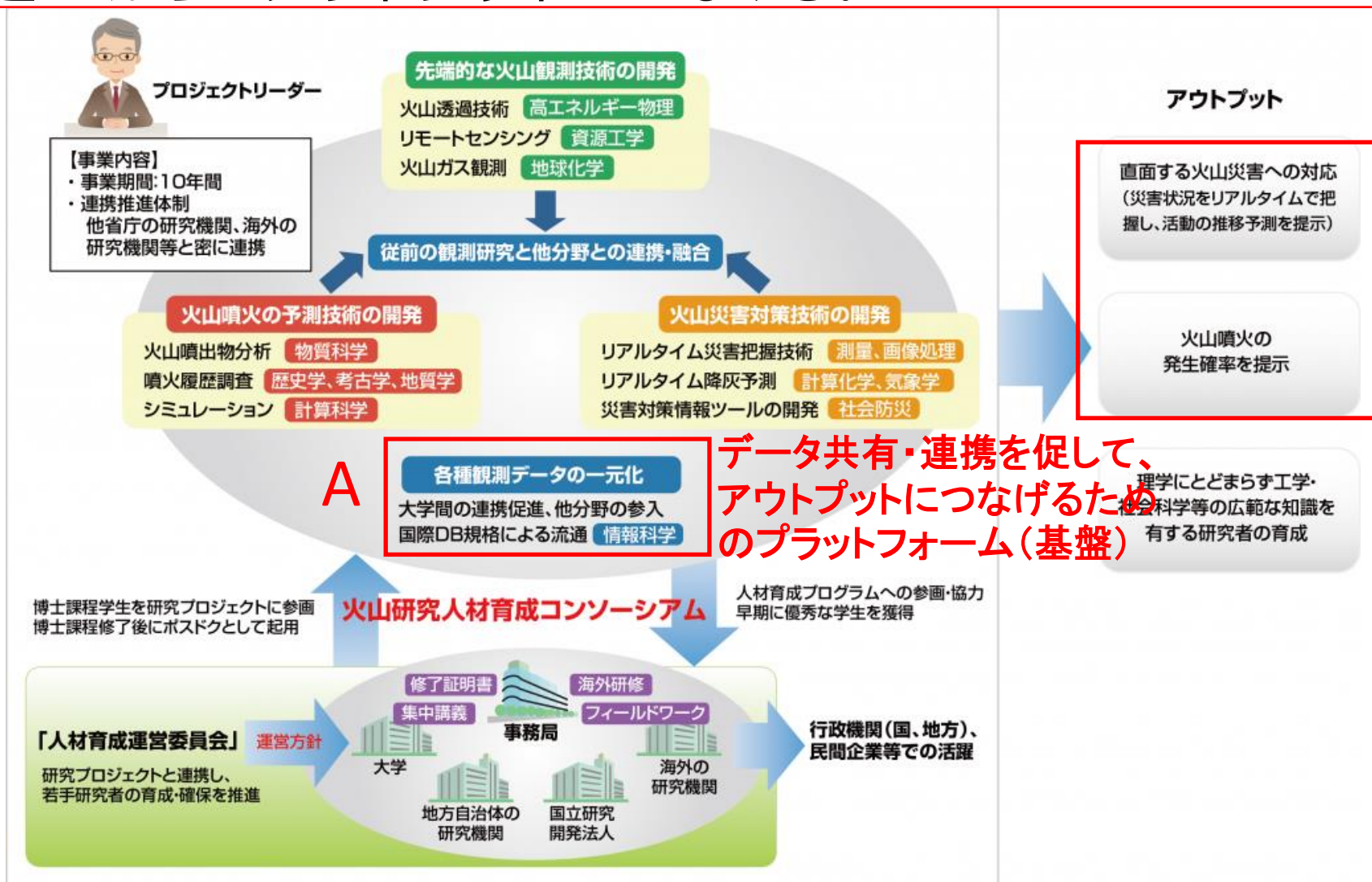
合成開口レーダ（SAR）解析結果
の表示機能（課題B2との連携）



JVDN普及のための取り組み

- 地震学会（2019年9月16-18日、京都大学）
 - セッション「オープンデータと地震学」で火山分野の取り組みの1つとして紹介。
- 火山学会（2019年9月25-27日、神戸大学）
 - ポスター発表、次世代火山推進事業のブースで紹介。
 - フライヤー配布

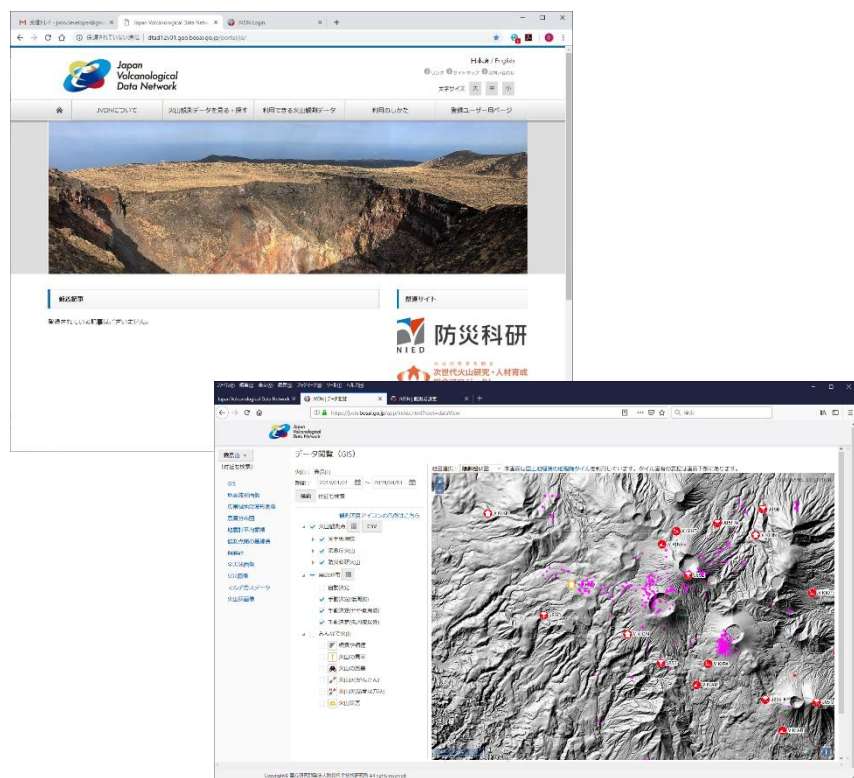
7年目までの目標：システムの安定運用。
さらにシステムをプラットフォームとして、課題間連携を促し、
課題D3からのアウトプットにつなげる。



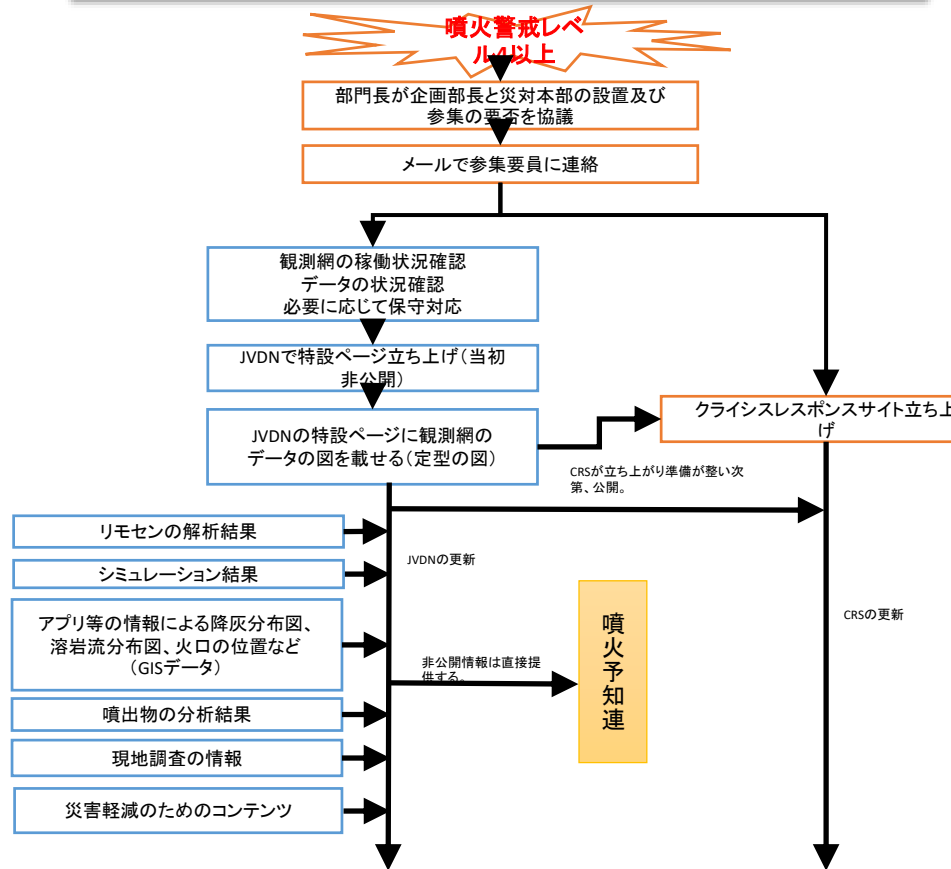
アウトプット：直面する火山災害への対応（災害状況をリアルタイムで把握し、火山活動の推移予測を提示）

特に、火山災害の状況をリアルタイムで把握し、火山活動の推移予測の提示に資する観測技術の開発や研究を行っている、課題BとDと連携して行う。

ポータルサイト・可視化ツールからの情報提供



防災科研の災害時対応マニュアルの見直し



10年目までの目標

- システムの安定運用
 - データの増大や研究プロジェクトの進展に合わせて、システムの更新や強化が必要。
- システムをプラットフォームとして、火山研究の発展や防災への貢献につなげる。
 - 運営委員会に「データ利活用推進タスクフォース」を設け、JVDNシステムを活用し、データ利用や組織間連携を促し、火山研究の発展や防災の貢献につなげるための方策について検討を行う。
 - 9月5日に第1回を実施。第2回は1月17日に開催予定。



課題B 「先端的な観測技術の開発」

- 直面する火山災害への対応
何が起きたかを観測から正しく判定
火山噴火推移予測
- 火山噴火発生確率の提示
噴火の可能性が相対的に高くなったこと（切迫性）を評価する手法の高度化

2014年御嶽山噴火を例とすると

長期予測

1979年噴火は有史初の噴火
その後、約10年間隔で噴火。
長期的には活動期に入っていた

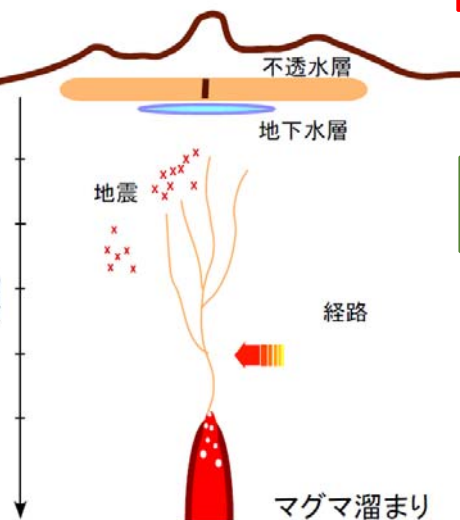
中・短期予測

18日前に火山性地震が群発し、
異常を認知できた可能性がある
異常認知の確度を上げるには
・異常検出技術の向上
→新たな観測・解析手法の開発
→観測現象と火山活動の関係解明
火山体構造、背景活動等の情報

直前予測

10分前には地下で水蒸気爆発が
開始したことをデータが示している
→即時把握：ツール開発

信頼性
対策への有用性



発現する現象:

噴気・火山ガスの噴出
地震活動（バックグラウンドの活動、特徴的な地震活動）
局所的な地盤変動

B1: リモートセンシング
(SAR&カメラ)

B3: 火山化学的観測技術開発
B4: 火山内部構造・状態把握
技術の開発

噴火を引き起こす環境:
地下浅部の構造
地下水の状態

B1: 新たな技術を活用した
火山観測の高度化

B4: 火山内部構造・状態把握
技術の開発

噴火の原動力:

深部でのマグマの蓄積
深部→浅部 熱・ガス輸送
(流路の発展度合い)

B4: 火山内部構造・状態把握
技術の開発

異常を認知しても、火山活動度の定量的な評価方法がない現状においては、当面は相対的な活動度推移評価を高度にする技術開発を目指すことが重要である。

What, When, Where, How

「何を」
「どのように」
「いつ」
「どこで」

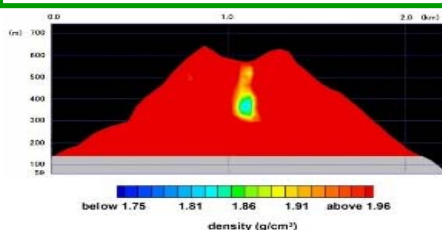
課題B 「先端的な観測技術の開発」

Why

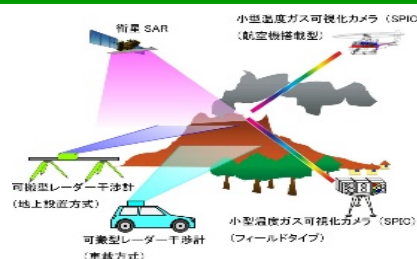
観て測り

噴火切迫性評価をより高度にする

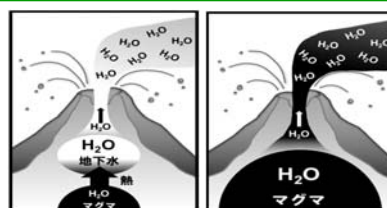
B-1 新たな技術を活用した火山観測の高度化（宇宙線ミュオン）



B-2 リモートセンシングを利用した火山観測技術の開発（SAR,カメラ）



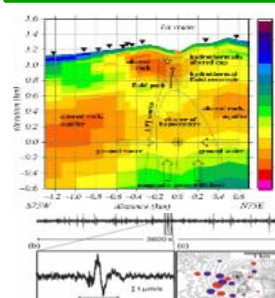
B-3 地球化学的観測技術の開発



同位体分析



B-4 火山内部構造・状態把握技術の開発（機動的な観測、地下構造探査）



サブテーマ1:新たな技術を活用した火山観測の高度化

これまでのミュオグラフィでは難しかった噴火様式の予測や噴火推移予測に情報を提供することを目指す。

現状ではミュオグラフィデータ解析に時間がかかり、データを即透視画像として提供する事が出来ていない。

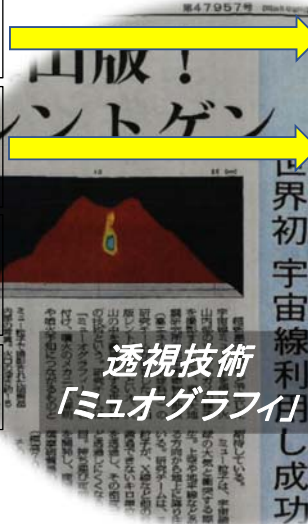
火山活動とミュオグラフィ透視画像の関連について系統的に評価するまでに至っていない。

1)ミュオグラフィ技術の高度化に関わる研究開発

2)ミュオグラフィ観測のデータ処理の自動化に関わる研究開発

3)次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトの統合推進

4)ミュオグラフィの正しい理解の社会への普及活動

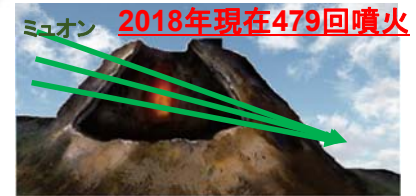


従来の4倍を超える画素を提供する事で、より鮮明な火山透過像を提供

火山体透視画像をオンラインデータベース化する事により、リアルタイムで透視画像にアクセス出来る環境整備を行う。

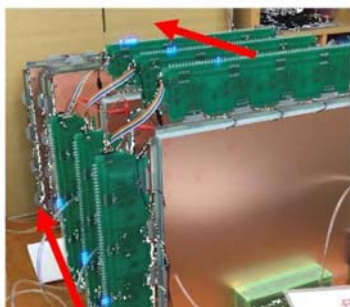
我が国で最も噴火回数が多い「桜島」

鹿児島市中心部から火口まで10km(上野-品川間)



サブテーマ1:新たな技術を活用した火山観測の高度化

第2世代のシステム(841画素)に対応したリアルタイム表示システムが24639画素の第3世代のシステム(計画画素数3481)へとアップグレード

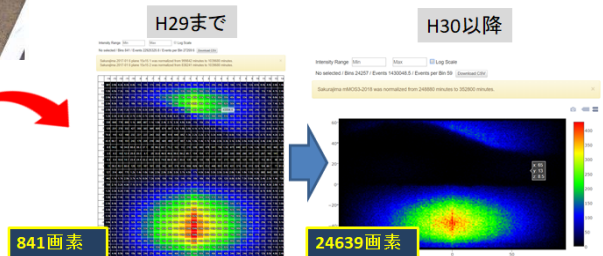
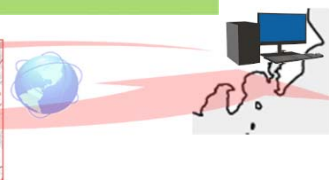


解像度の限界に挑戦
ピックアップ基盤:
2mmピッチ
フィールドアノード基盤:
3mmピッチ



開発した実機を桜島へ投入することで
火山透過システムの完成形に近づけた。

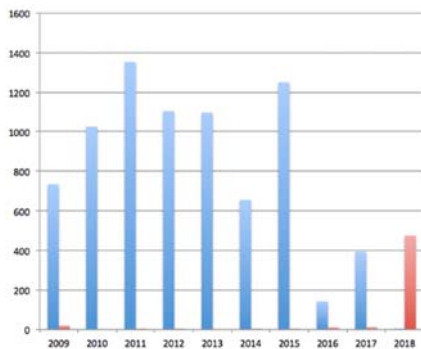
装置の出力データをWEBベースリアルタイム解析環境へと接続することにより、その結果、リアルタイムに最新情報に更新される高精細画像を閲覧できる環境が実現



サブテーマ1:新たな技術を活用した火山観測の高度化

噴火後、活発だった火口の下にマグマ様の高密度構造が生成された

2017年～2018年の間に昭和火口からの噴火が終わり、南岳火口から噴火が始まった。



2009-2017年
7757回(昭和火口)
50回(南岳火口)

2018-現在
4回(昭和火口)
557回(南岳火口)

昭和火口

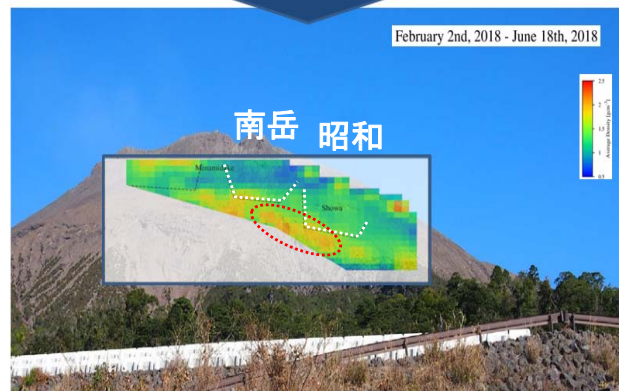
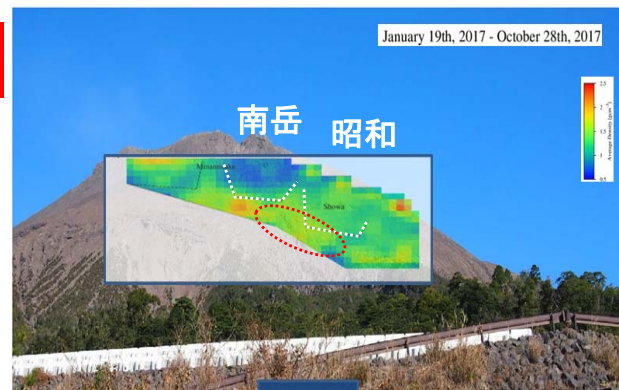
2019年現在 0回噴火

解釈

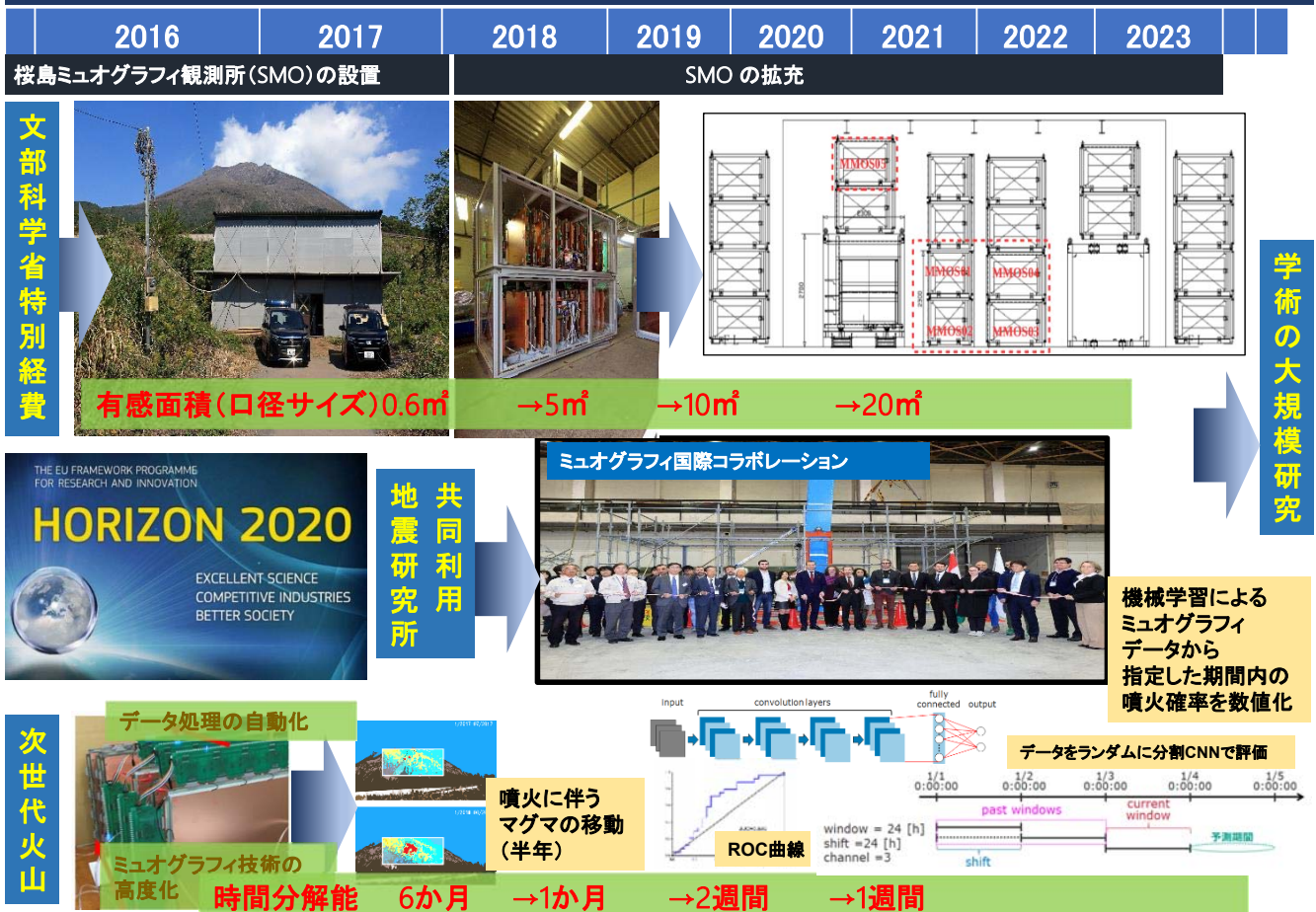
火道がプラグされ、行き場を失ったマグマが隣の南岳火口から2018年3月以降噴出

だが、これがどのような過程を経て形成されていったのかは不明。わかれば噴火推移の予測に役立つ。

次の南岳火口噴火終了までに、より時間分解能を上げた観測が必要。

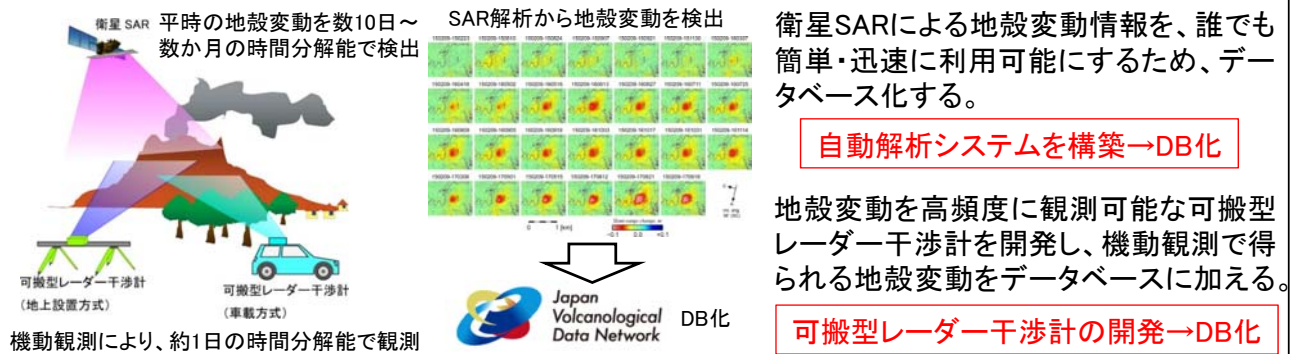


⑥ 今後の見通し(計画・手法の妥当性)



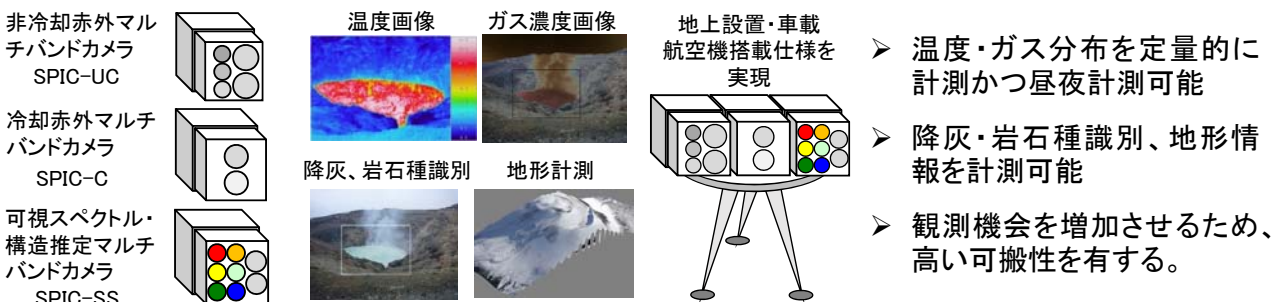
サブテーマ2:リモートセンシングを活用した火山観測技術の開発 計画の概要

サブテーマ2-1:可搬型レーダー干渉計と衛星SARによる精密地殻変動観測技術の開発



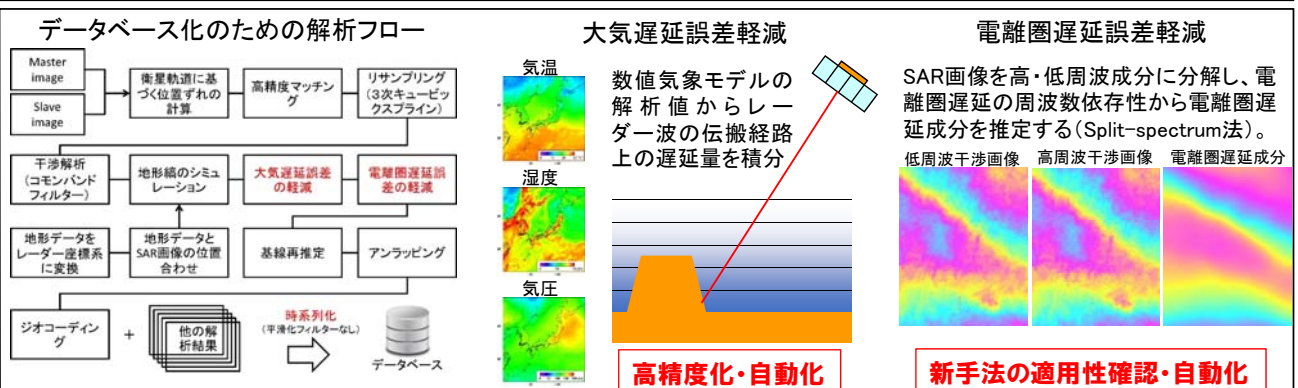
サブテーマ2-2:火山表面現象遠隔観測技術の開発

小型温度ガス可視化カメラ(SPIC)を開発

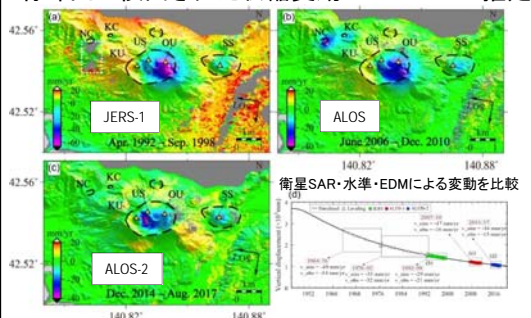


サブテーマ2:リモートセンシングを活用した火山観測技術の開発 衛星SARによる地殻変動情報のデータベース

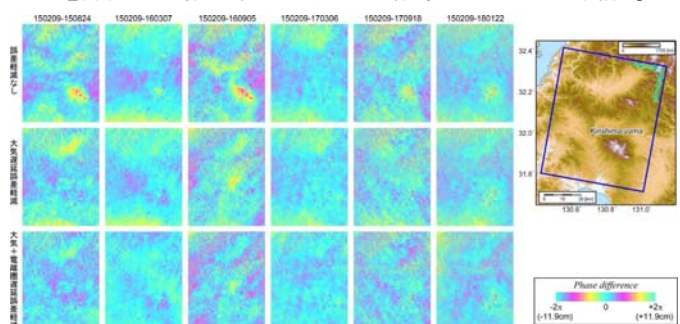
4年目達成目標:解析手法の決定、6火山についての事例解析、データ共有サーバーの構築



有珠山で検出された収縮変動のメカニズム推定

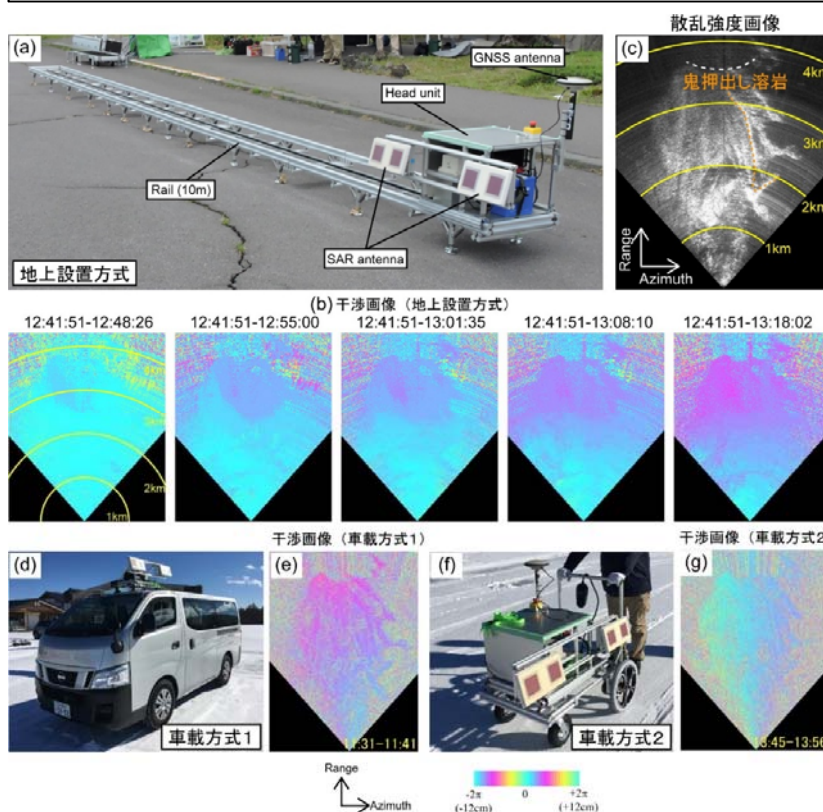


大気・電離圏遅延誤差軽減手法適用結果(PALSAR-2、霧島山)



サブテーマ2:リモートセンシングを活用した火山観測技術の開発 可搬型レーダー干渉計の開発

4年目達成目標:可搬型レーダー干渉計実験機を作製し、地上設置方式の仕様を決定



- 開発のための実験機を作製
- 4km先の観測可能なことを確認
- 植生域でも干渉を確認
- 車載方式の開発に着手
- 地上設置方式仕様決定(今年)

計画当初の目標を達成

車載方式による観測データの処理においては、サンプリング毎のアンテナ位置を考慮して、**位置ずれを補正する手法**(航空機SARの手法改良)を適用することにより、干渉を得ることに成功した。

その適用性能が確認できたことから、さらに可搬性の高い観測方式を考案した。



劇的に軽量化でき、手持ちで移動可能。これにより観測可能域が劇的に向上。

課題を新たに追加

課題Bサブテーマ2:リモートセンシングを活用した火山観測技術の開発 可搬型レーダー干渉計再設置によるリピートパス観測実験

可搬型レーダー干渉計による地殻変動計測における成功のカギの一つは、**レーダー再設置による「リピートパス観測」**の成功
→ 筑波山において繰り返し観測実験を実施

レーダー設置場所からの風景



レーダー設置状況



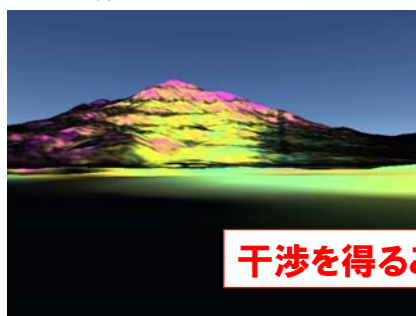
ヘッド部に搭載したGPSから得られる位置情報を用いて、観測位置のずれを補正

精密に設置位置を再現する必要無し

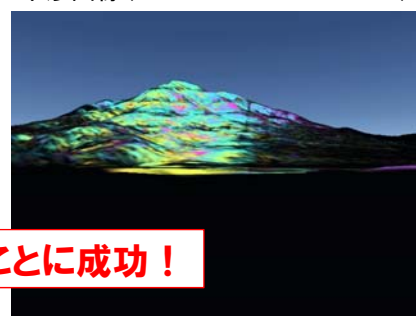
散乱強度画像(2019/10/16観測)



干渉画像(2019/10/16-2019/10/17)



干渉画像(2019/10/17-2019/11/13)



干渉を得ることに成功！

サブテーマ2: リモートセンシングを活用した火山観測技術の開発 SPIC(小型温度可視化カメラ)の開発

4年目達成: SPICのプロトタイプの完成

既製品では目指す性能が得られないため、**すべてを新規に開発**

プロトタイプ

完成形態
センサ部と
ISH(前置光
学系)をハウ
ジング格納

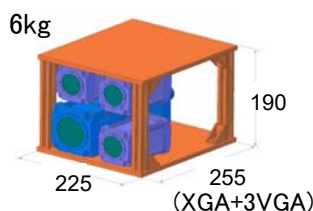
センサ部

多眼カメラ
(同期計測)

ISH部

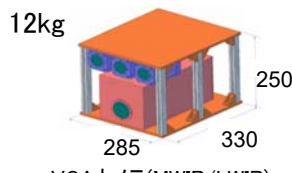
分光フィルタ

非冷却型赤外マルチバンドカメラ
(SPIC-UC): 低コスト、低消費電力
用途: 温度(500℃まで)、ガス分布
(高濃度対象)、地形



- 内蔵フィルター分光方式ガス計測機能を実現
- 4台で30Hz同期計測実現
- 耐環境型ハウジング開発

冷却型赤外マルチバンドカメラ
(SPIC-C): 高感度、小型軽量
用途: 温度(1100℃まで)、ガス分布(高精度)、地形



- 内蔵フィルター分光方式ガス計測機能を実現
- 高精度ガス濃度計測実現
- 約0~1100℃の計測実現

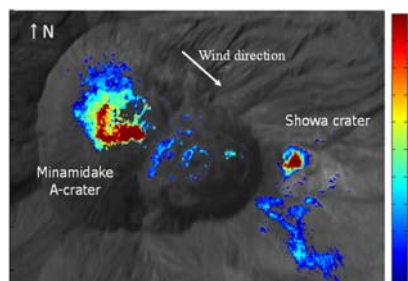
可視スペクトル・構造推定
マルチバンドカメラ(SPIC-SS)
用途: ハイビジョン、色の識別



- スペクトル推定手法開発
- SfMによる構造推定手法開発
- 6台のハイビジョン画質(2K)カメラで15Hz同期計測実現

SPIC-UCとSPIC-Cによる SO₂ガス濃度分布の想定性能

従来機ARTSで観測した桜島南岳
A火口内のSO₂ガス濃度分布
(2008/4/8)の観測例より検証



実際に観測された桜島の
0~20ppmvに分布するSO₂
ガスを

SPIC-UCは0.5ppmv
SPIC-Cは0.05ppmv

の精度で観測可能

サブテーマ2: リモートセンシングを活用した火山観測技術の開発 SPICの開発後のデータ解析技術の開発

降灰・岩石種識別のためのスペクトル推定手法の開発

重回帰分析手法により、SPIC-SSの6バンドから300~376バンドを推定

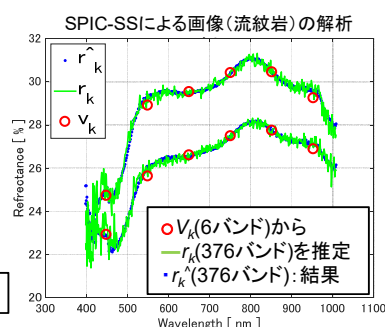
スペクトル推定精度を向上させるためには、岩石スペクトル
データ(RとV)の蓄積が重要。

推定式: $\hat{r}_k = G V_k$

$$G = R V^T (V V^T)^{-1}$$

V_k : 観測スペクトル
 \hat{r}_k : 推定スペクトル
 V : 測定対象のマルチバンド
スペクトル
 R : V のリファレンススペクトル

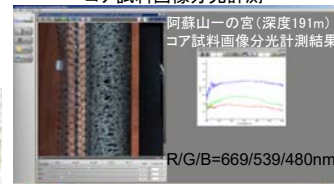
既知の G を用いて \hat{r}_k を推定



画像分光計測を活用



コア試料画像分光計測



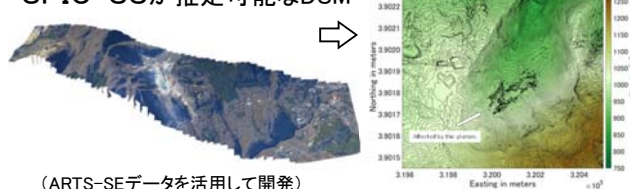
火山観測井(35地点)を順次計測

計測スペクトルデータを他の研究に活用
→DB化

SPIC計測データの解析技術の開発

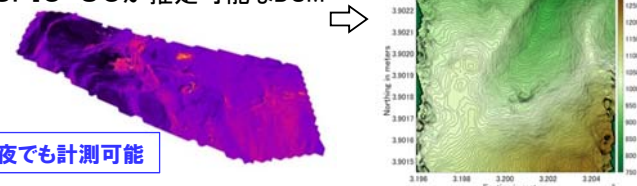
SPICの観測画像からSfMにより地形情報を求める機能を実装

SPIC-SSが推定可能なDSM



(ARTS-SEデータを活用して開発)

SPIC-UCが推定可能なDSM



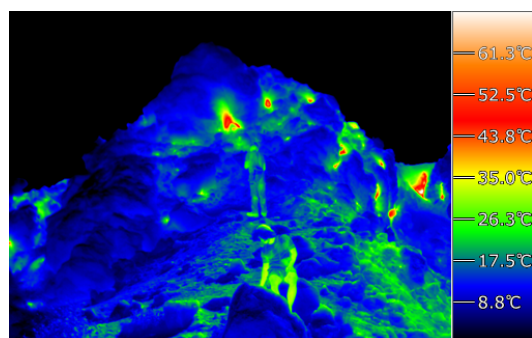
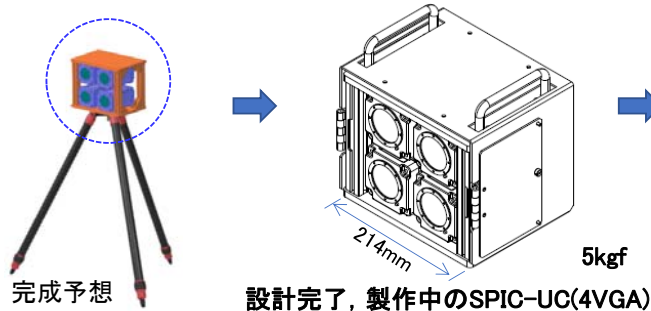
夜でも計測可能

既存の地形情報が無くても、SPICによる全観測画像を地図座標に変換することが可能

サブテーマ2: リモートセンシングを活用した火山観測技術の開発 SPICによる噴煙試験観測(装置開発と観測準備の進捗)

2019年度の進捗: SPICの各プロトタイプ (SPIC-UC, SPIC-C, SPIC-SS) の可搬型, 三脚搭載, 耐環境仕様の設計完了, 製作が進行中.

例) SPIC-UC(4VGA) 2019年12月下旬完成予定



噴煙試験観測予備調査実施(2019/5/11)
(観測予定: 2019年度中)

SPIC-UC(4VGA)を設置予定の阿蘇火山博物館
阿蘇中岳の噴煙



阿蘇火山博物館近傍の観測場所候補地



サブテーマ3: 地球化学的観測技術の開発

4年目までの目標

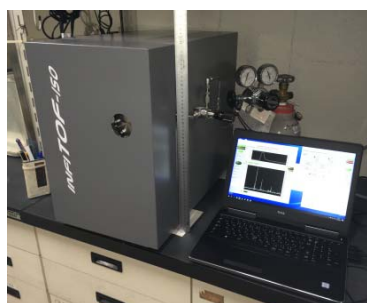
**新たな指標: 同位体比の地球化学的観測技術の開発により
噴火切迫性評価の高度化・噴火タイプの迅速判別に貢献**

- 成果目標
 - マグマ起源ヘリウムのオンサイト/高スループット測定技術の開発
 - 従来法による試料採取/分析によるマグマ起源ガス上昇状況の把握
@箱根山、草津白根山、伊豆大島、桜島
+ 霧島山硫黄山、九重山、阿蘇山、那須岳
 - 噴煙の水蒸気・水素の同位体比測定技術の開発
+ 二酸化炭素の炭素同位体比
 - 海底火山直上での底層水/ガスの採取・分析法の確立
 - 大学院修士課程修了以上の研究者の養成
+ 分野外出身のポスドク3名

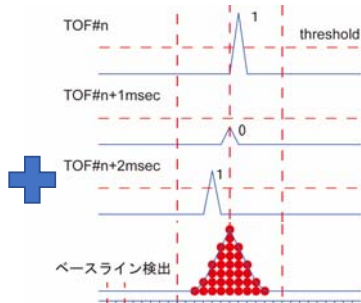
サブテーマ3: 地球化学的観測技術の開発

可搬型ヘリウム同位体比分析システムの開発 (東大)

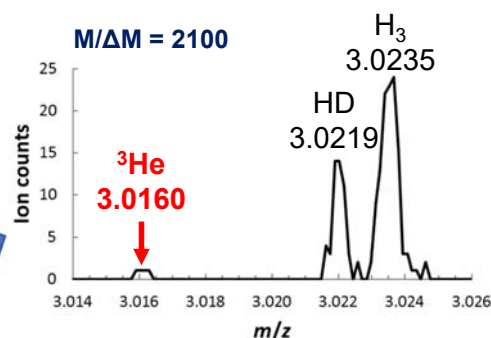
□ 可搬型質量分析計への ^3He 用パルスカウンタ検出器の導入



可搬型質量分析計“infiTOF”
(36 × 63 × 54 cm, 48 kg)



高速デジタル回路によるシグナル識別



→ He中10万分の1以下しか存在しない極微量の ^3He を、可搬型装置で始めて検出。

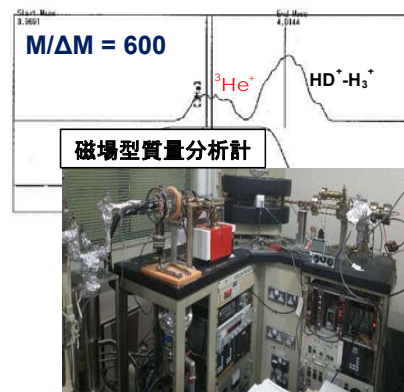
自動噴煙試料採取装置(ドローン搭載用)の開発 (名古屋大)

試作初号機フィールド試験
(2019.2.28 霧島硫黄山)



試作初号機

- ・25 × 17 × 9 cm + 1L Bag × 2試料
- ・ SO_2 濃度を連続モニタリングしながら、一定濃度以上の噴煙(火山ガス成分に富む)だけを自動採取
- ・ドローン本体から独立し、外部制御不要

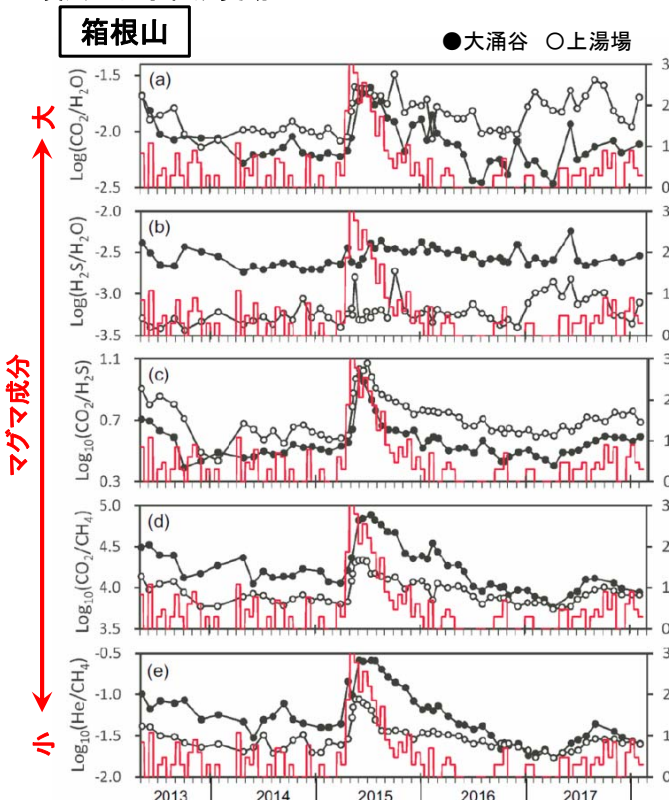


磁場型質量分析計

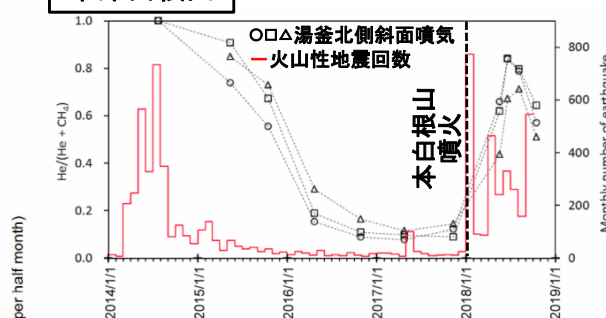
サブテーマ3: 地球化学的観測技術の開発

火山活動に対応した化学組成・同位体比変動の検出 (東海大・東大・気象研)

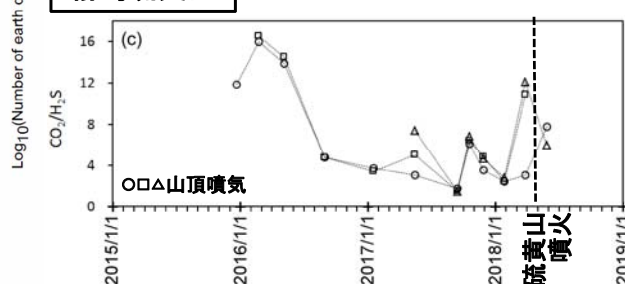
□ 噴気の化学組成変動



草津白根山



霧島硫黄山

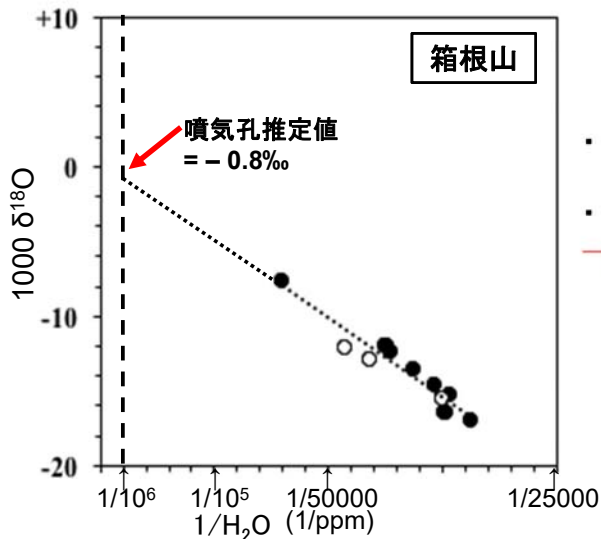
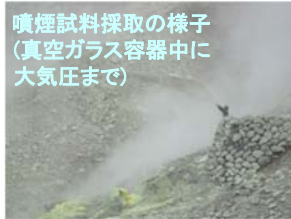


- ・ 活発化(地震の増加・噴火)に対応してマグマ成分の割合が上昇。→ 浅部熱水系へのマグマ起源ガス供給率を反映?

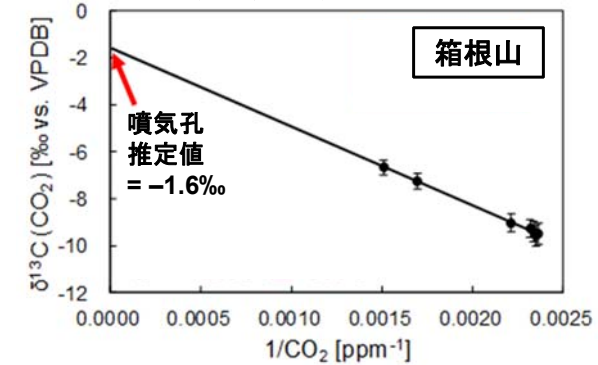
サブテーマ3: 地球化学的観測技術の開発

噴煙試料を用いた噴気孔同位体比の決定 (名古屋大・東大)

□ 噴煙中水蒸気濃度と水素・酸素同位体比



□ 噴煙中二酸化炭素濃度と炭素同位体比



- ・ 噴気孔から離れて採取した噴煙試料を用いて、大気からのH₂OやCO₂の混入を補正した同位体比を決定。
 - ・ 7火山で、噴気孔で直接採取した試料と調和的。
- 活動が活発化しても(比較的)安全に観測が可能。

火口の底層への溶存ガス成分供給の検出 (東大)

火口湖(鰻池)	³ He/ ⁴ He (R _a)
底層(水深 57 m)	0.87 ± 0.04
表層(水深 1m)	1.05 ± 0.04
陸上噴気(99.4℃)	1.12 ± 0.05

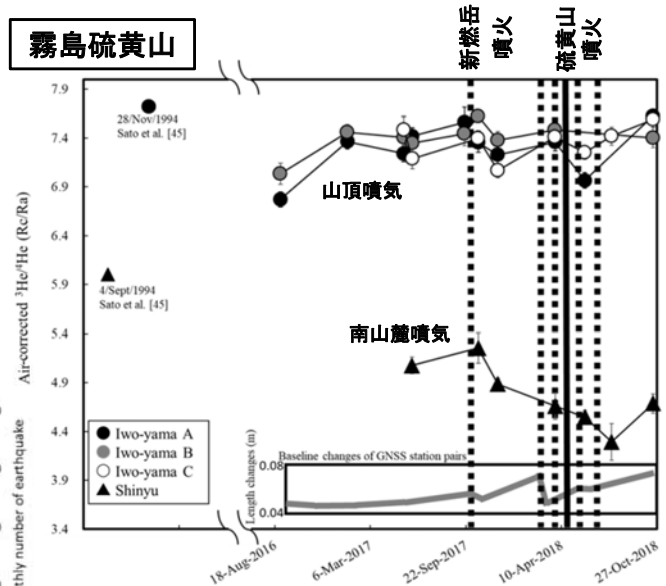
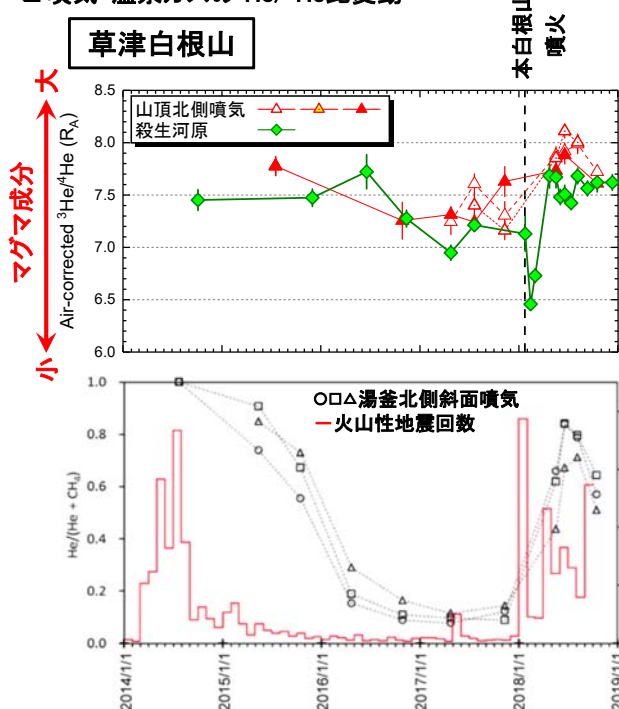
・ 陸上噴気とは異なる、**溶存ガス成分の底部からの供給を検出。**

課題B 先進的な火山観測技術の開発

サブテーマ3: 地球化学的観測技術の開発 (5)

火山活動に対応した化学組成・同位体比変動の検出 (東海大・東大・気象研)

□ 噴気・温泉ガスの³He/⁴He比変動

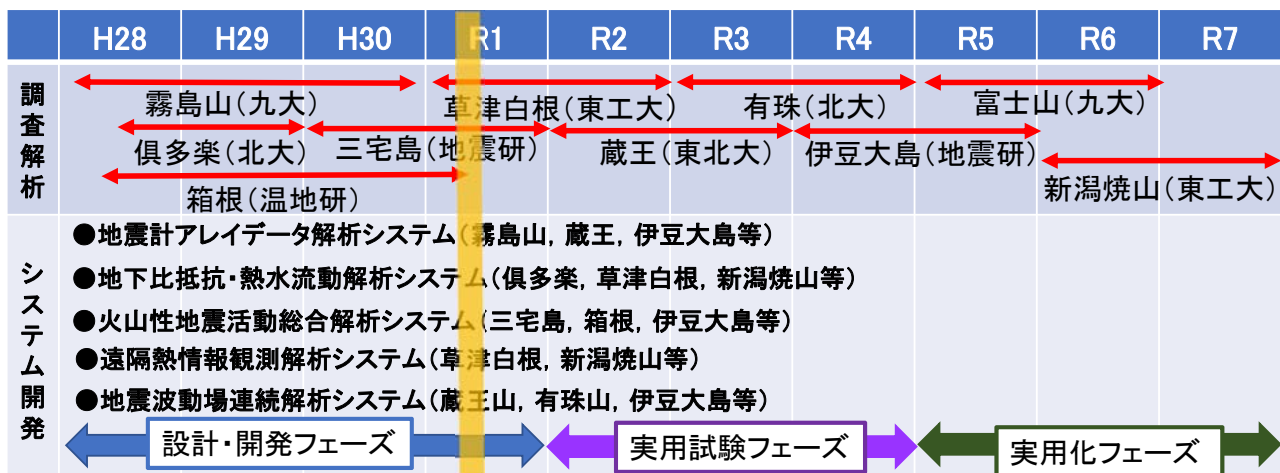


- ・ ³He/⁴He比は噴火後に下降、その後上昇。
 - ・ 化学組成とは必ずしも対応していない。
- 深部マグマだまりからのガス供給量の増減を反映?

サブテーマ4: 火山内部構造・状態把握技術の開発

噴火切迫性評価高度化(火山噴火予測)手法の開発

→ 噴火切迫性の高い火山での構造探査(噴火発生場の検証)や機動的な観測(状態把握)が鍵



これまでの主たる成果

- 霧島えびの高原で比抵抗, 地震活動, 地盤変動源の関係
- 倶多楽での広域比抵抗構造, 熱水流動解析
- 箱根火山での地震波速度構造, 等

総括

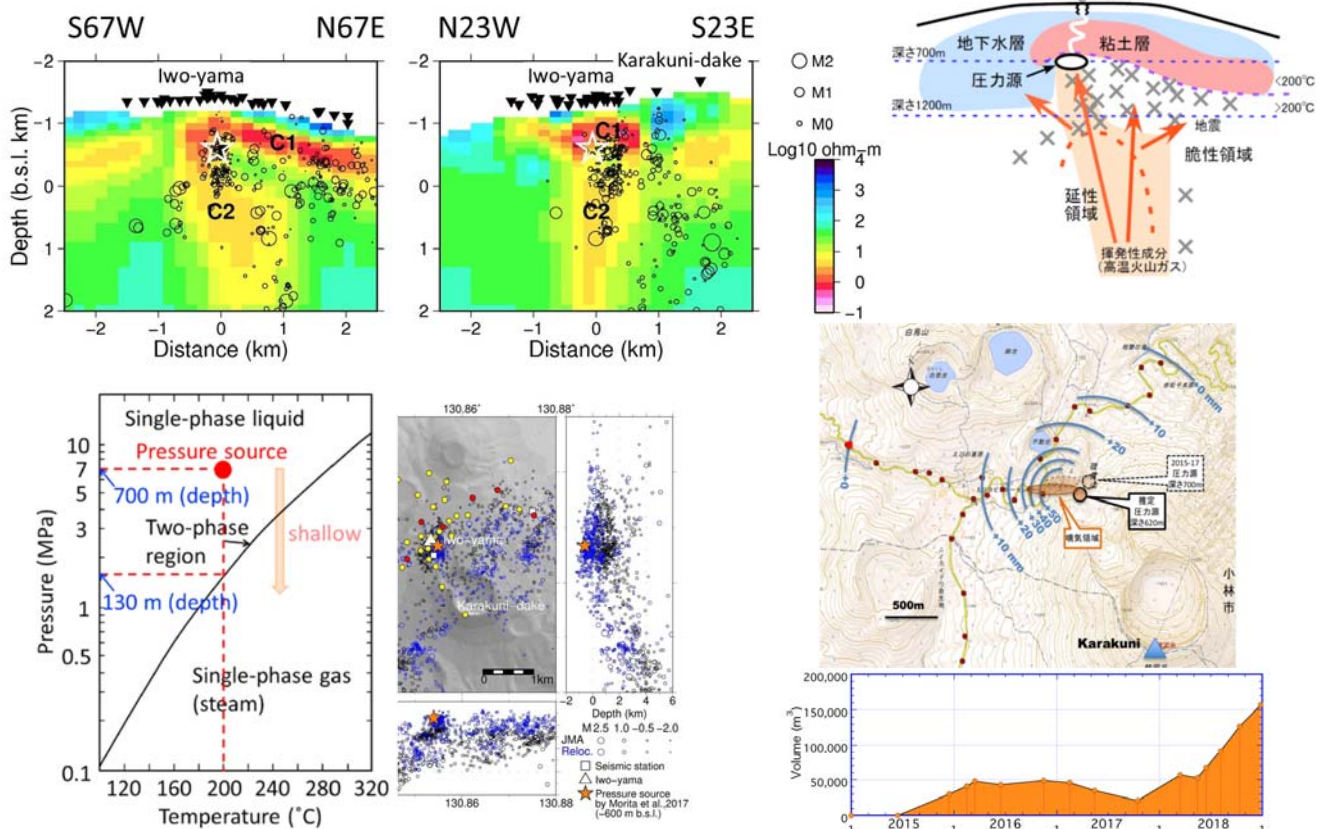
水蒸気噴火準備過程標準モデルによる噴火切迫性評価の高度化

- 浅部不透水層のある場所
- 地震活動と地盤変動源
- 熱水活動特有の地震波形

実施されている多くの観測及び研究成果が、噴火予測や防災にどのように貢献するかを整理したうえで、必要性・重要性・進捗などが説明されるとよい。個々の研究成果が持つ科学的な意義にとどまらず、噴火予測や火山防災の観点から整理してほしい。(H30年度コメント)

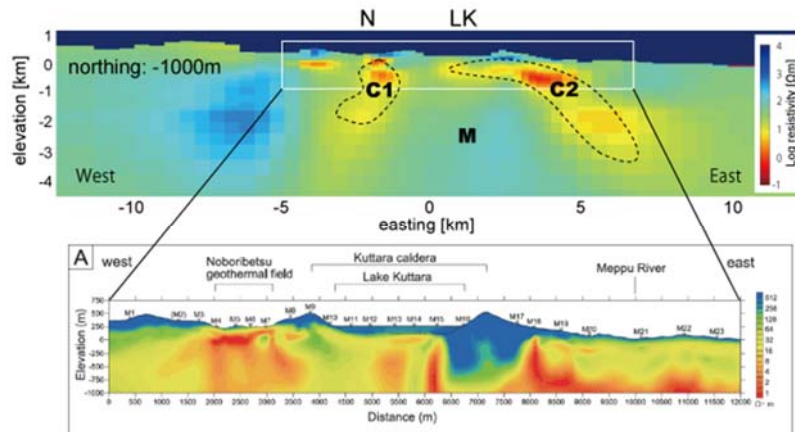
サブテーマ4: 火山内部構造・状態把握技術の開発

霧島山(えびの高原)の比抵抗構造, 地震活動, 膨張源

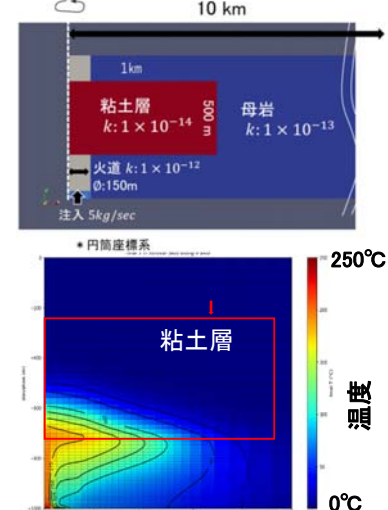


サブテーマ4: 火山内部構造・状態把握技術の開発

倶多楽火山の比抵抗構造



地下比抵抗・熱水流動解析システム

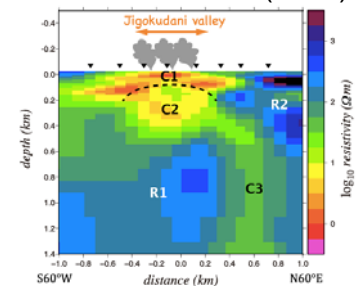
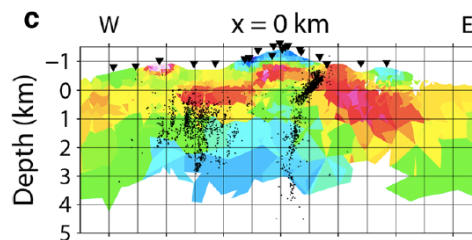


水蒸気噴火を引き起こす場で見られる共通の特徴

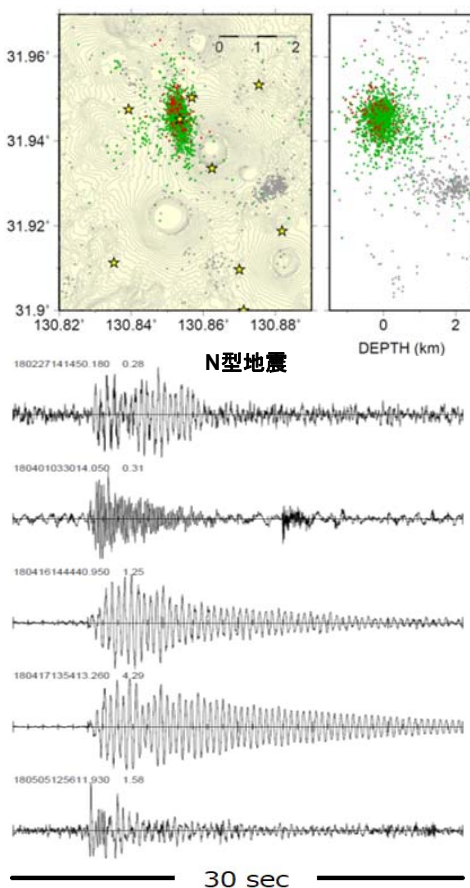
浅部低比抵抗域: 不透水層
熱水の蓄積
地盤変動
地震活動の活発化

シミュレーションによる定量的
モデル

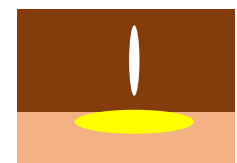
箱根山 Yoshimura et al. (2018) 立山地獄谷 Seki et al. (2015)



サブテーマ4: 火山内部構造・状態把握技術の開発

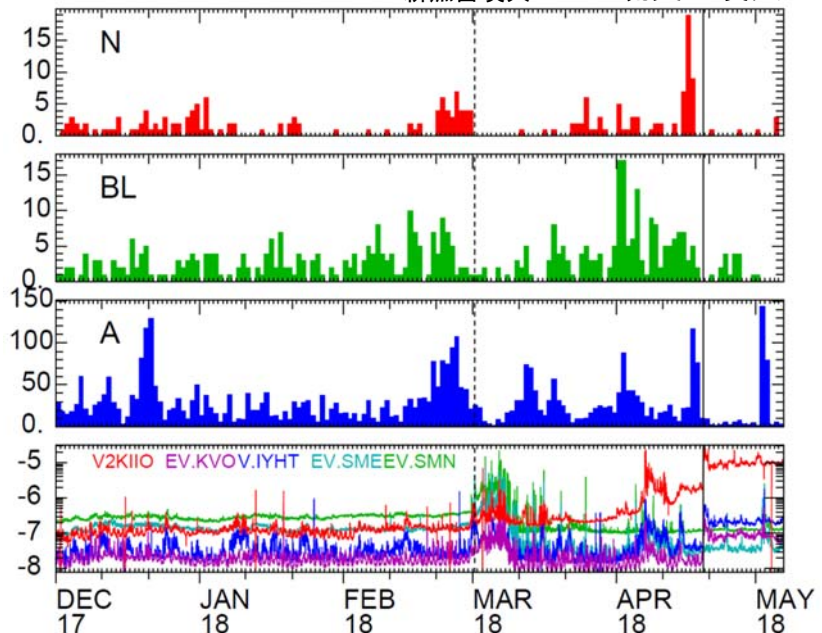


水蒸気噴火を準備できる環境(構造)
水蒸気噴火特有の現象の発現
(地盤変動, 火山性微動, N型地震)
発言する現象の加速
→ 噴火切迫性の判断



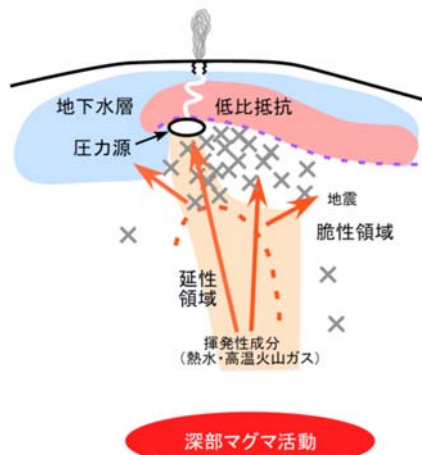
新燃岳噴火

硫黄山噴火



サブテーマ4: 火山内部構造・状態把握技術の開発—水蒸気噴火準備過程標準モデル

水蒸気噴火準備過程モデル



地下浅部比抵抗構造
難透水層・キャップ構造
浅部の震源分布
浅部の圧力源
深部地震波速度構造
深部マグマ活動

機動的な観測
MT 探査
地震計アレイ観測
広域地震観測
地盤変動観測
etc.

地震計アレイデータ解析システム
地下比抵抗・熱水流動解析システム
火山性地震活動総合解析システム
遠隔熱情報解析システム
地震波動場連続解析システム

局所的地盤変動
地震活動活発化(微動, N型, BL型)
地熱分布, 噴気,
火山ガス成分

観光地に立地する火山・休止期の長い火山

地下比抵抗
構造探査

浅部低比
抵抗有?

YES

地盤変動観測

地震観測

YES

YES

YES

どこでどのような観測をすれば良いか
何に注目すれば良いか 情報が得られる
→噴火切迫性評価の高度化

精密地盤変動観測

精密地震観測

地熱・ガス観測

課題B 先進的な火山観測技術の開発 まとめ

What, When, Where, How

「何を」
「どのように」
「いつ」
「どこで」

観て測り

Why

噴火切迫性評価をより高度にする

受益者: 国民, 利用者: 行政機関

1. 精度の高い計測と科学的なモデルに基づく噴火切迫性評価
高度化を目指した研究戦略の組み立て
(本事業をはじめ, 色々なプロジェクトと協力)
但し, 火山災害軽減につながる開発を志向
2. 政策課題解決への利用を念頭に計測の精度を上げる。
モデルの確度をより高める。精度向上を図る。
3. 具体的な課題解決への助言
 - ・火山監視担当機関に適切な観測項目・観測網配置
 - ・山体のどの深度で発生するどの事象に注目すべきか



次世代火山研究推進事業 課題B2-1:
火山観測に必要な新たな観測技術の開発

空中マイクロ波送電技術を用いた 火山観測・監視装置の開発

課題責任者

九州大学 地震火山観測研究センター 松島 健

分担者

九州大学 地震火山観測研究センター 清水 洋

京都大学 生存圏研究所 篠原 真毅

京都大学 防災研究所 井口 正人

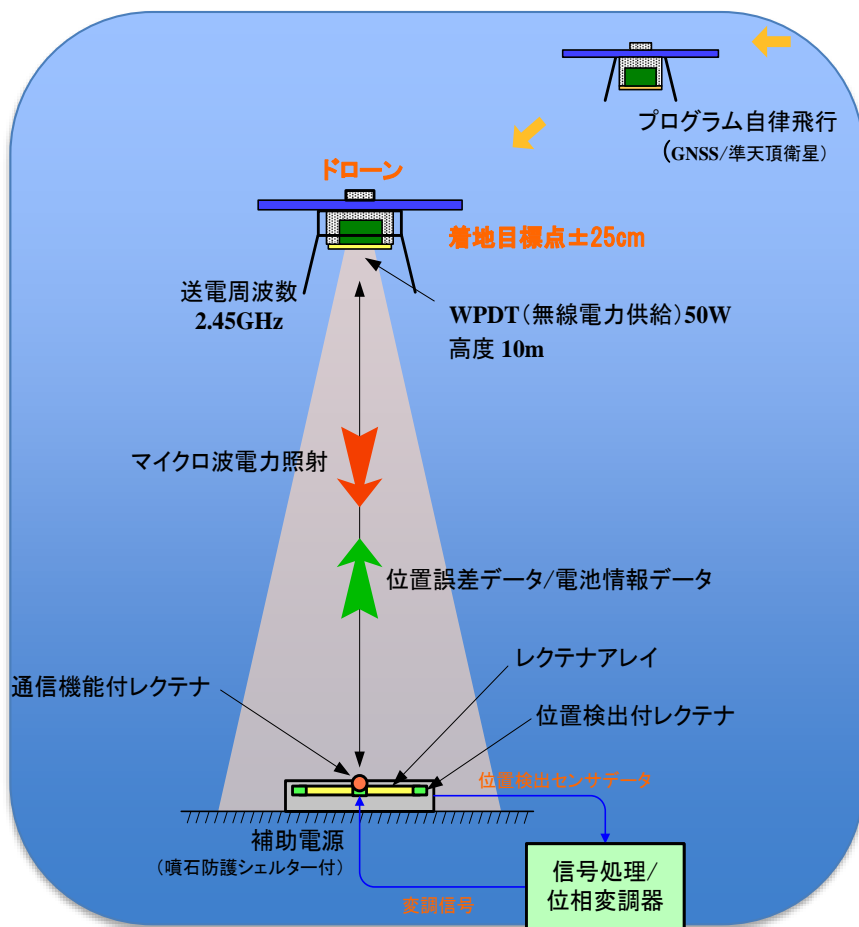
(株)翔エンジニアリング 藤原 暉雄



次世代火山研究・人材育成 総合プロジェクト

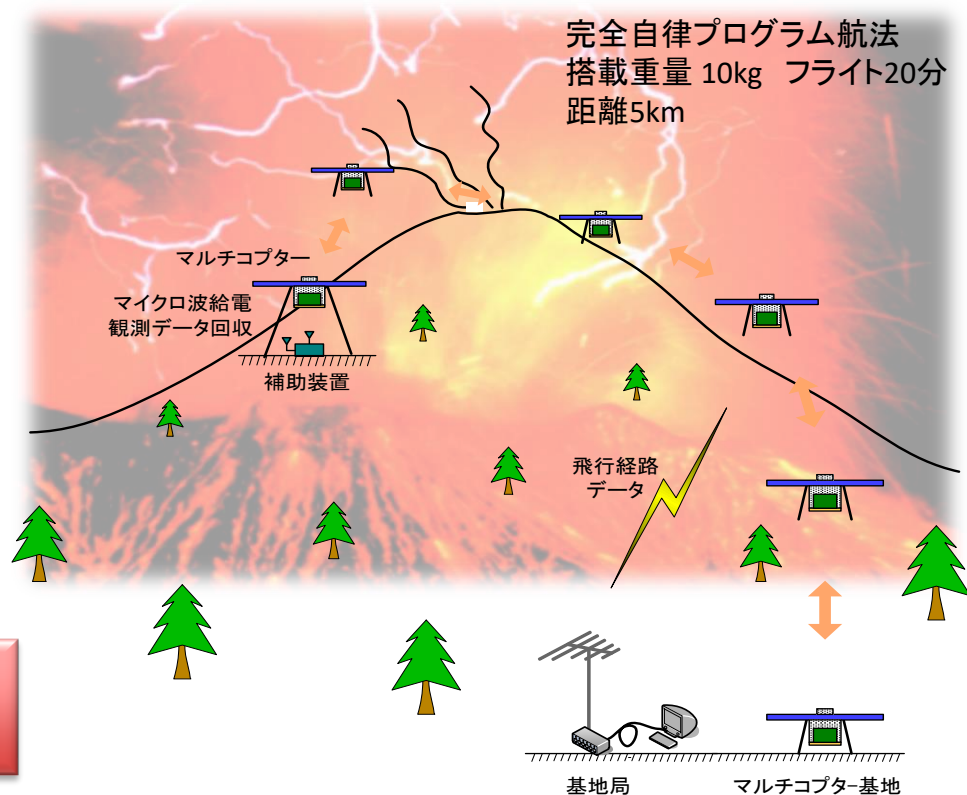
Integrated Program for Next Generation Volcano Research and Human Resource Development

開発コンセプト



ソーラパネル等が噴火で破損した場合でも、噴火時の貴重なデータを安全に回収する。

近年急速に技術革新が進んでいる無人航空機(ドローン)技術と、実用化に向けて実験が進んでいるマイクロ波送電技術を組み合わせ、活火山の等の到達不可能地域における観測・監視装置への給電・データ回収を効率的に行う(効率目標 10%)





本課題の成果の活用・展望

- 火山観測における電源供給は、長きに亘っての懸案事項
- 活火山の火口近傍や、カルデラ火口内における火山データ取得に大きく貢献
- 地震や地殻変動観測機器をセンサーとして想定して開発しているが、そのほか火山ガス等の化学観測データ、地温や地磁気などのデータ、画像データなどの観測・回収にもデータフォーマットを統一化することでたやすく対応可能
- ユーザーターゲットとして、火山研究機関の研究者や気象庁などの防災関係機関・手軽に・安全に火山観測が可能となる

さらに

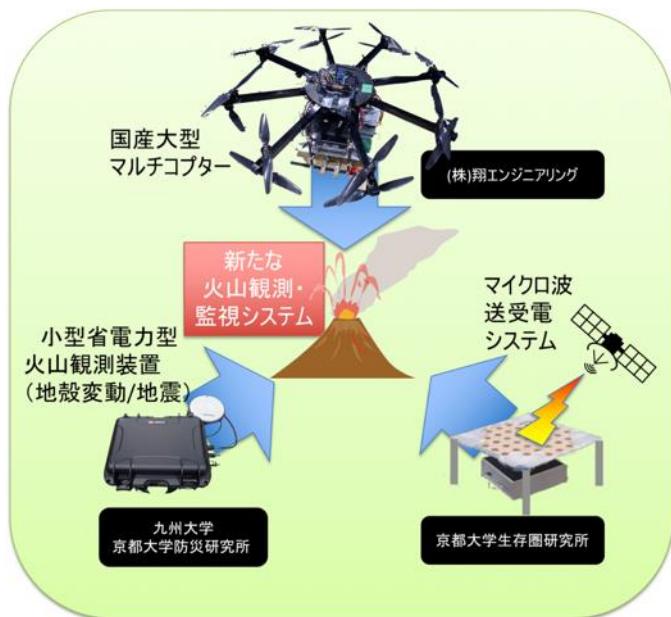
- マイクロ波送電技術は、空中からの給電のほか、地上対地上の送電、無人走行ロボットへの給電、空中係留型観測装置への給電などへの応用も可能
- 本課題で開発したマイクロ波送電技術は、火山観測のみならず地球規模の観測技術への波及効果が期待できる



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

課題実施体制



担当	担当研究者	研究協力者
空中マイクロ波送電技術の確立	京都大学・生存圏研 教授 篠原 真毅	(株)翔エンジニアリング
火山観測に適した大型マルチコプターの開発	(株)翔エンジニアリング 代表取締役 藤原暉雄	(株)自立制御システム 研究所
小型低消費電力火山観測デバイスの開発	九大・地震火山センター 教授 清水 洋 京都大学・防災研究所 教授 井口 正人	シモレックス(株)
総括・実験指揮 許可申請	九大・地震火山センター 准教授 松島 健	

- 本研究課題で使用する技術は、日本が世界をリードする技術としてすでに多くの成果が発表されている。
- 本研究組織にはそのリーダーとなって開発を進めている研究者が含まれていると同時に、それぞれの技術を用いた製品開発に実際に携わっている企業からの研究協力者も含まれている
- →世界に先んじて空中マイクロ波送電技術を用いた火山観測・監視装置の開発が可能

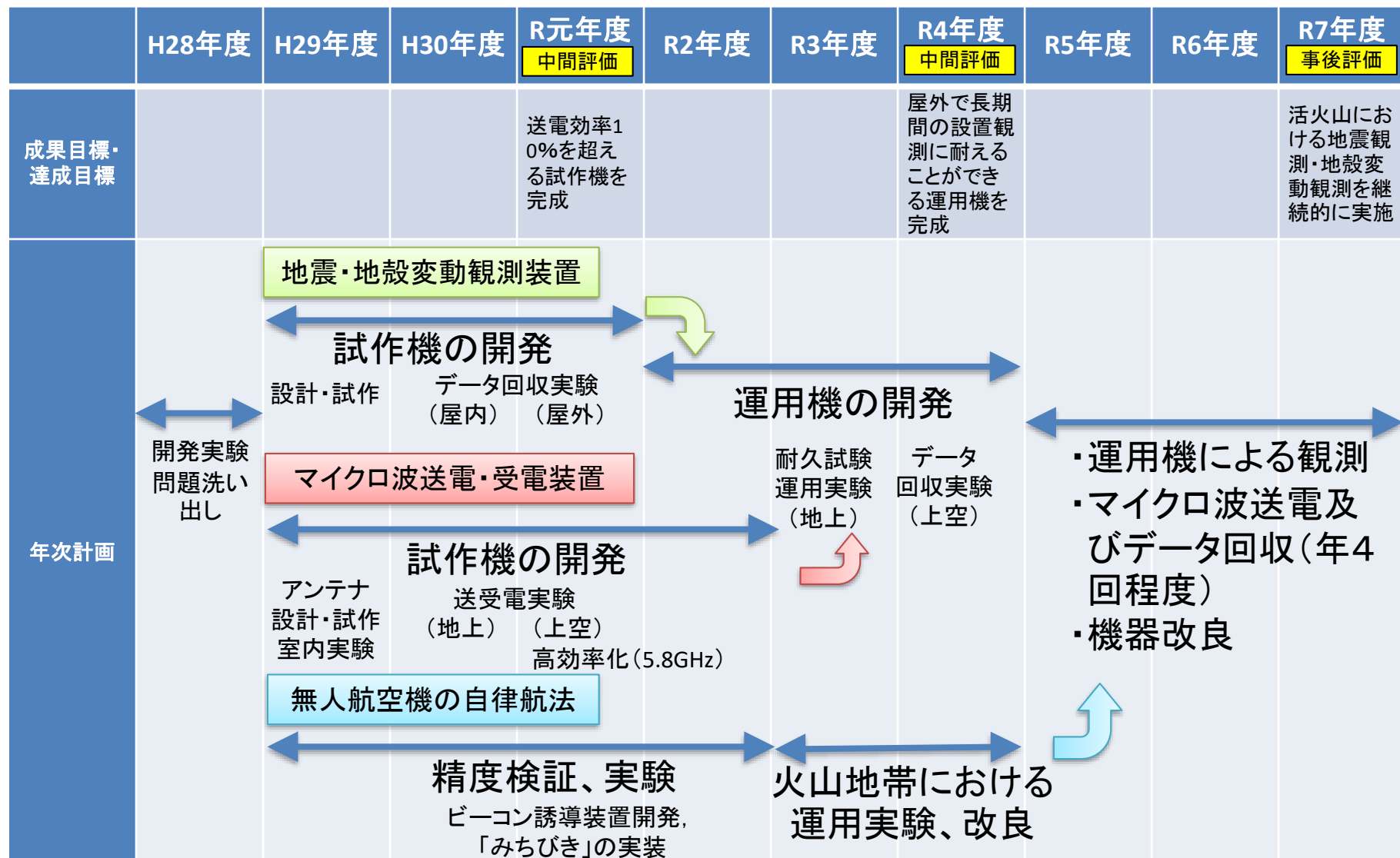
平成28～30年度: 文部科学省革新的イノベーション創出プログラム(COI STREAM)拠点名「活力ある生涯のためのLast 5Xイノベーション拠点」(中核機関: 京都大学)との共同研究



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

成果目標と研究計画





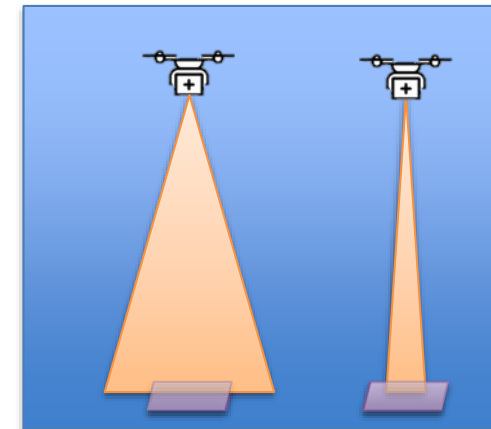
課題進捗状況

平成28(2016)年度

- ◆ 屋外におけるUAVからの空中マイクロ波送電実験に日本で初めて成功(@伊豆大島)
- ◆ 地上に設置されている温度センサーに電力を送り、温度を計測してデータをUAVに送信することに成功.
- ◆ 広域照射用のアンテナを使用したため、エネルギーの伝送効率は0.1%以下

平成29(2017)年度

- ◆ 2.45GHz 狭ビームの送電アンテナの設計・作成・屋内実験. アンテナ間距離 3m において, 9.8~9.9%の効率
- ◆ 地震波形やGNSSデータを上空に飛来したUAVに送信するデータ送信装置の開発.
- ◆ 効率のよい送電のために, UAVの飛行精度の検証





課題進捗状況

平成30(2018)年度

- マイクロ波送受電アンテナの効率改良作業(4月～)実験(11月・2月・3月)
- 屋外実験のための免許申請(7月～)
- マイクロ波送電(2.45GHz)の干渉実験(6月)
 - GNSS測位には影響はない.
 - 無線LANには想定以上に干渉大. 送電とデータ回収の並行作業不可.
- 地上観測装置の改良(10月～) GNSSデータ位相データの蓄積
- UAVの飛行精度の向上
 - みちびき導入 UAVメーカーにて検討中. みちびきサービスインの遅延あり
 - ビーコン誘導 誘導信号を地上装置から出して精度の高いホバリング
- ~~屋外実験 2019年2月末に桜島黒神地区で実施~~
 - 無線免許がおりず, 大型暗室内での飛翔実験に切り替え



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

令和元年（2019年度）実施計画

●マイクロ波送電の効率化

現時点で9.8～9.9%の伝送効率

➤ 送受信アンテナのフラットビーム化

2.4GHzのアンテナの改良

➤ 無人航空機の自律プログラム飛行精度の向上 (ビーコン誘導装置の実用化)

低高度でのマイクロ波給電が可能



マイクロ波送受電効率 10%クリア

●地上観測装置の運用機の開発

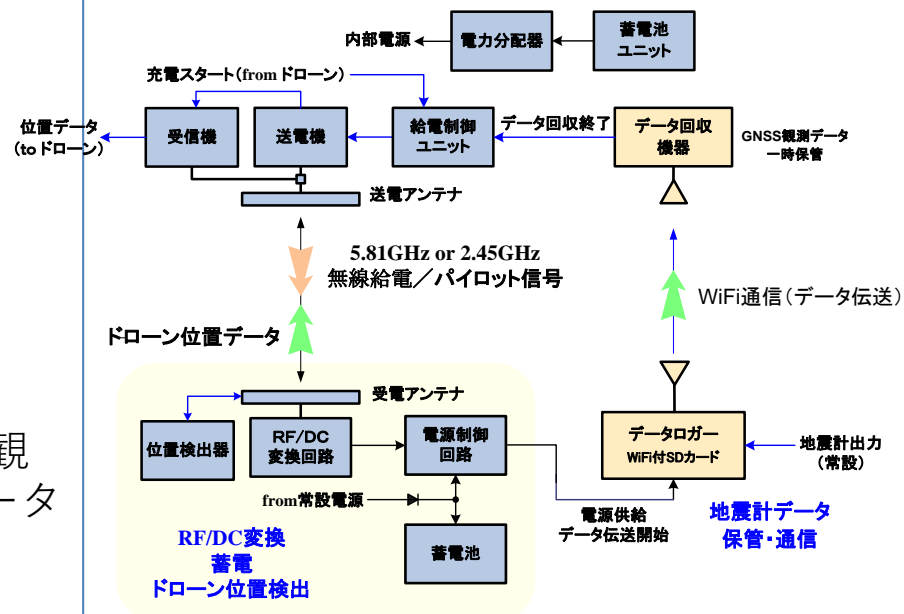
●屋外実験 2020年2月第3週（予定）

桜島黒神地区において、試作機を使って屋外火山観測や無人航空機によるマイクロ波給電およびデータ回収実験を実施する

空間電力伝達率

送電距離 (m)	送電電力 (W)	受電電力 (W)	空間電力伝達率
3	57.3	12.2	0.213
1.2	57.6	26.2	0.455
1	51.2	30	0.586

【補助火山観測システム/UAV搭載機器】



【補助火山観測システム/地上配置機器】



令和2年度（5年目）以降の計画

5～7年目(令和2～4年度)

- 屋外での長期間の設置観測に耐えることができる運用機の完成
- 地上の地震・地殻変動観測装置の耐久試験やマイクロ波送受電装置の屋外実証実験
- 無人航空機の自律航法やホバリングの精度を誘導装置や準天頂衛星のセンチメートル級測位補強サービス等を実装することで、火山地帯における精度の高い自律航法運

8～10年目(令和5～7年度)

- 完成した運用機を用いて、課題B-4における観測対象となっている桜島や富士山・新潟焼山等を想定した火山観測を実施
- 機器に改良を加えながら、マイクロ波送電およびデータ回収を実施
- 取得された観測データを逐次課題Aのプラットフォームで公開し、全国の火山研究者や防災関係者に提供



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

経費

現課題の経費: 500万円 × 10年間

担当	担当研究者	研究協力者
空中マイクロ波送電技術の確立	京都大学・生存圏研 教授 篠原 真毅	(株)翔エンジニアリング
火山観測に適した大型マルチコプターの開発	(株)翔エンジニアリング 代表取締役 藤原暉雄	(株)自立制御システム 研究所
小型低消費電力火山観測デバイスの開発	九大・地震火山センター 教授 清水 洋 京都大学・防災研究所 教授 井口 正人	シモレックス(株)
総括・実験指揮 許可申請	九大・地震火山センター 准教授 松島 健	

平成25～34年度:文部科学省革
新的イノベーション創出プログラ
ム(COI STREAM)
「活躍する生涯のため」のLast 5X
イノベーション拠点(中核機関:
京都大学、分拠点3 災害インフ
ラ
約 1500万円/年

Last 5Xとは・・・

人、情報、エネルギー、健康、環境の5つを同
時に組み合わせる5つの技術(人工・通信・
プログラミング・デバイス・ICT)を用いて、家庭で
の壁からの5mのコードレス化、屋外における
50mから5kmの見守り、遠く500km離れて暮ら

中間評価の結果は悪くなかったが、
課題集約のため、平成30年度で打ち
切り

今後さらに必要となる経費

- 小型軽量化のための 5.8GHz マイクロ波送受電アンテナの設計・製作
- 送受電装置の小型化・送受電効率の高度化
- 無人航空機の運用経費
- 準天頂衛星(みちびき)のセンチメートル級測位補強機能のサービスの実装



課題B2-2

位相シフト光干渉法による 多チャンネル火山観測方式の 検討と開発

(H28年度 課題E 位相シフト光パルス干渉法を用いた振動観測システムによる火山観測の実施)



次世代火山研究・人材育成 総合プロジェクト

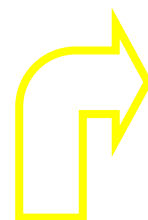
Integrated Program for Next Generation Volcano Research and Human Resource Development

位相シフト光干渉法による多チャンネル火山観測方式の検討と開発

常時観測実施機関への**実用機**提案
研究観測実施機関への**実用機**提案



**火山防災・
火山研究へ
の貢献**



多項目化
孔中観測対応
海底観測点对応
等

本計画

- ・ 多点多成分対応化と検証
- ・ 耐環境性の検証
- ・ 長期安定化と検証
- ・ 汎用部品化と検証

開発・
改良



活火山における
火山観測試験運用

光システムの特性

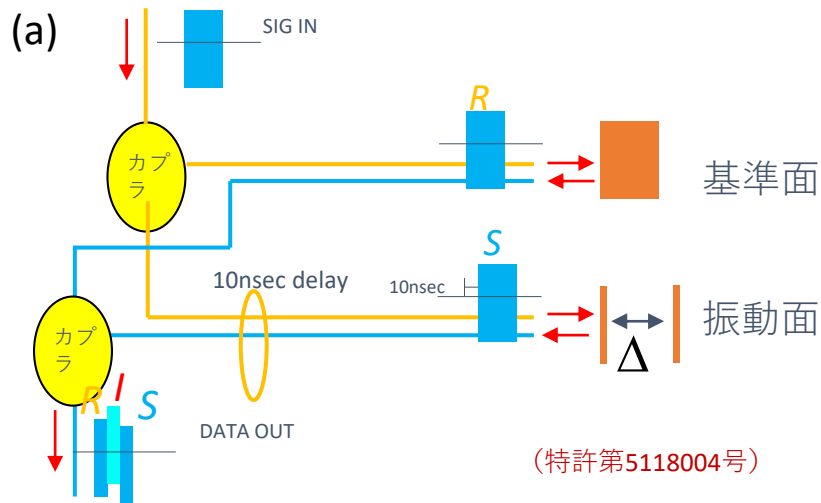
- ・ 光学的センサー
- ・ 光ファイバ伝送
- ・ 耐雷性
- ・ 耐腐食性
- ・ 耐高温性

観測の需要

- ・ 火山活動情報の常時収集
- ・ 火山噴火の早期検知
- ・ 多点多成分観測による火山噴火現象のより高度な理解の必要性



位相シフト光干渉法の原理

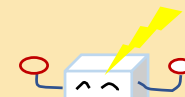


(特許第5118004号)

$$\Delta \propto \theta$$



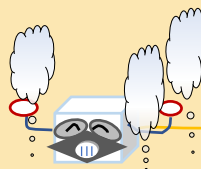
本システムの利点



落雷に強い

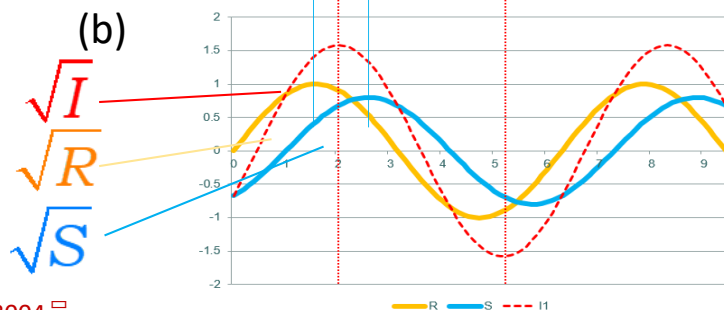


高温に強い



腐食性ガスに強い

RとSとを干渉させてIを得る



- (1) 特許第5118004号
- (2) 特許第5118246号
- (3) 特願第2013-154512号

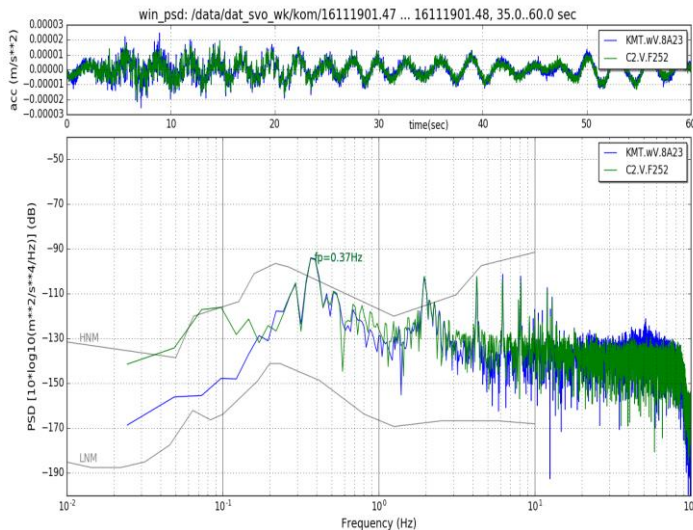
$$\cos \theta = (I - R - S) / 2\sqrt{R \cdot S}$$



次世代火山研究・人材育成 総合プロジェクト

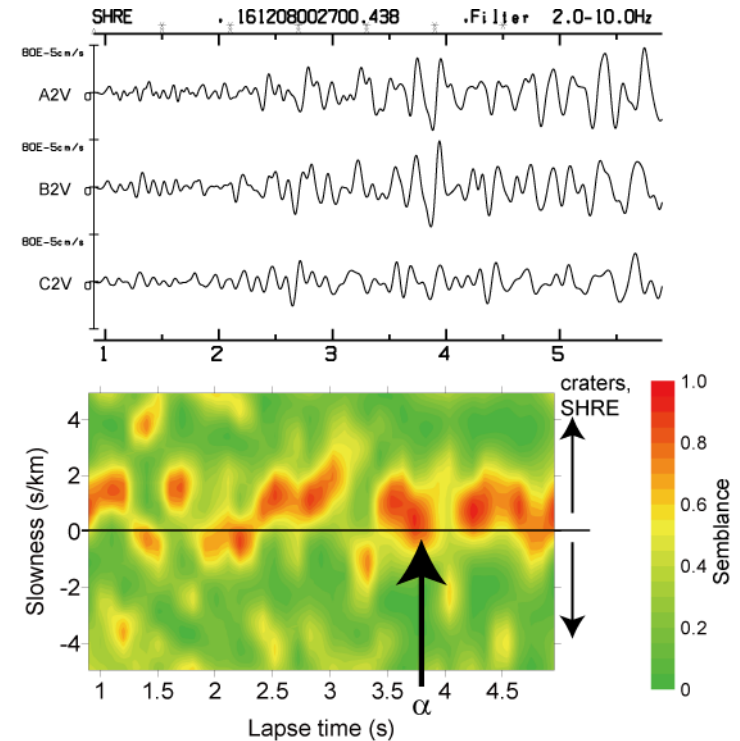
Integrated Program for Next Generation Volcano Research and Human Resource Development

平成28年度桜島における観測結果



桜島のC型地震

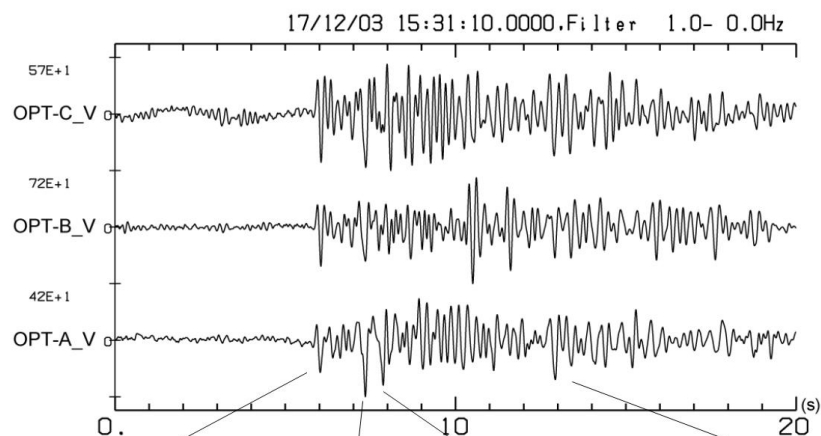
26日間 70イベント
A型1, B型8, C型2, 微動6,
発破14



桜島で観測された人工地震波形
(上)と検出された桜島深部海面下
5.8kmからの地震反射波 (α) (下)



平成29年度浅間山における観測結果

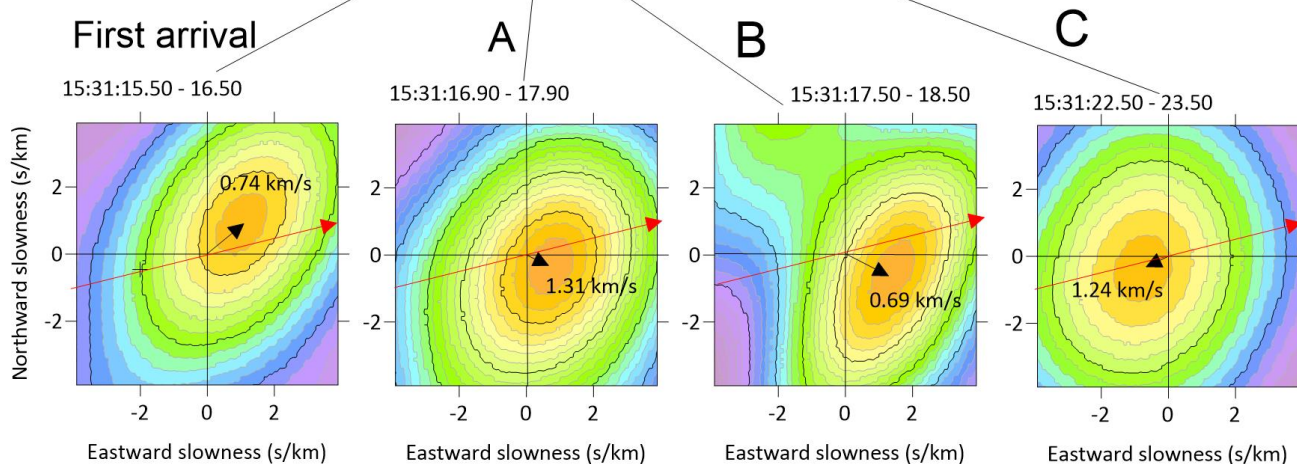


108日間

観測イベント数：193,

A型1, B型5,

草津本白根山爆発地震



→ : 本来の伝播方向

→ : 実際の伝播方向

火山性地震の到来方向の推定



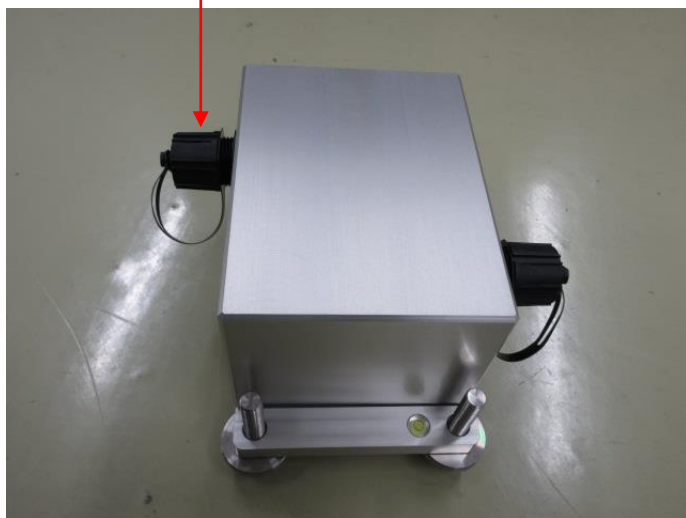
平成30年度 新しい3成分センサ

長周期化：固有振動数の低周波数化(新24 Hz)

汎用部品化：汎用光ファイバ（シングルモードファイバ）

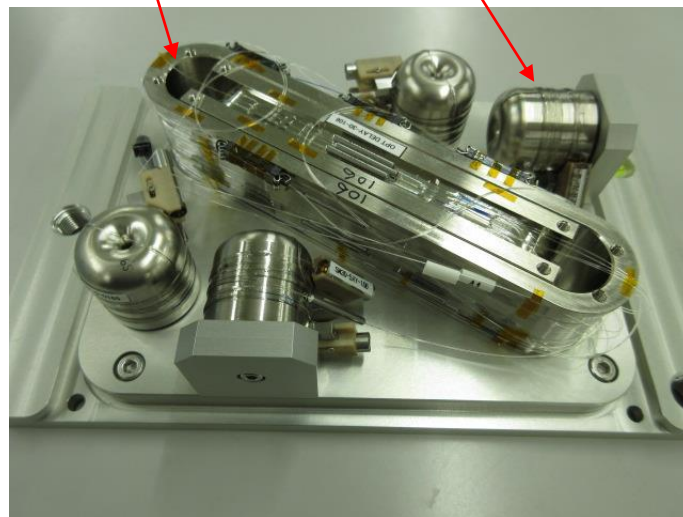
安定化：光学部品の余裕のある使用

ケーブル引き出し口



3成分センサ 外見

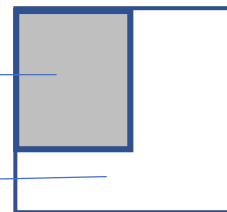
センサエレメント
遅延線及び光カプラー



3成分センサ 筐体内部

横12cm × 縦15cm × 高さ9cm（突起部含まず）。重量約3kg.

旧型 (JOGMEC PHASE1試作機) 20cm角, 重量 7kg





平成30年度までの到達点

- 光システムの3ヶ月以上の稼働実績
- バイアス電圧変動軽減の改良

対策前	2017/9/13 - 10/11		29日間		
全秒数	2505600	欠測秒数	46792	欠測率 (%)	1.9
対策後	2017/10/25 - 12/5		33日間		
全秒数	2851200	欠測秒数	12	欠測率 (%)	0.0

- 構成デバイスの劣化に伴うシステム挙動に関する知見の獲得
- 火山性地震現象記録の取得（火山性地震、爆発地震）
- 火山観測に適合する新システム製作に着手した



本年度進捗

桜島ハルタ山観測点での長期連続観測 リアルタイムデータ処理の検討

- 6月上旬より連続観測を開始。12月5日深夜に行われる構造探査後に撤収予定。
- 約6か月間の長期観測を行うとともに、フィールド観測時の雷などの自然現象に対してロバストであることを検証する。
- また本年度課題責任機関の課題として、光センサーシステムにデータ解析システムをセットし、解析を行う。
- 最終的な目標：地震波形データ自動解析の機能を持たせる。結果画像を保存して、ネット経由で閲覧できる。



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

本年度進捗 桜島ハルタ山観測点での長期連続観測

屋内（A点、B点）および屋外（C点）に設置

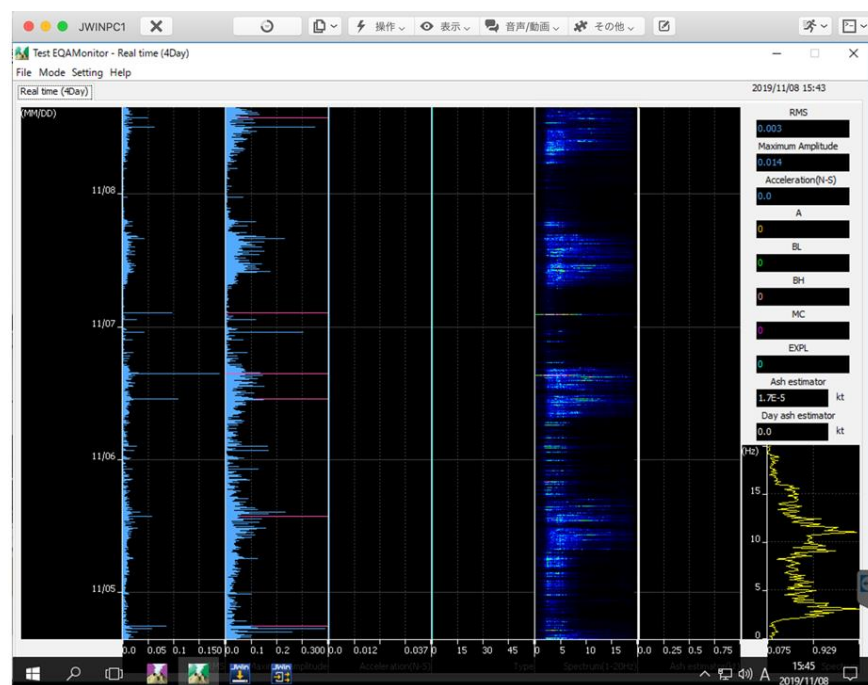
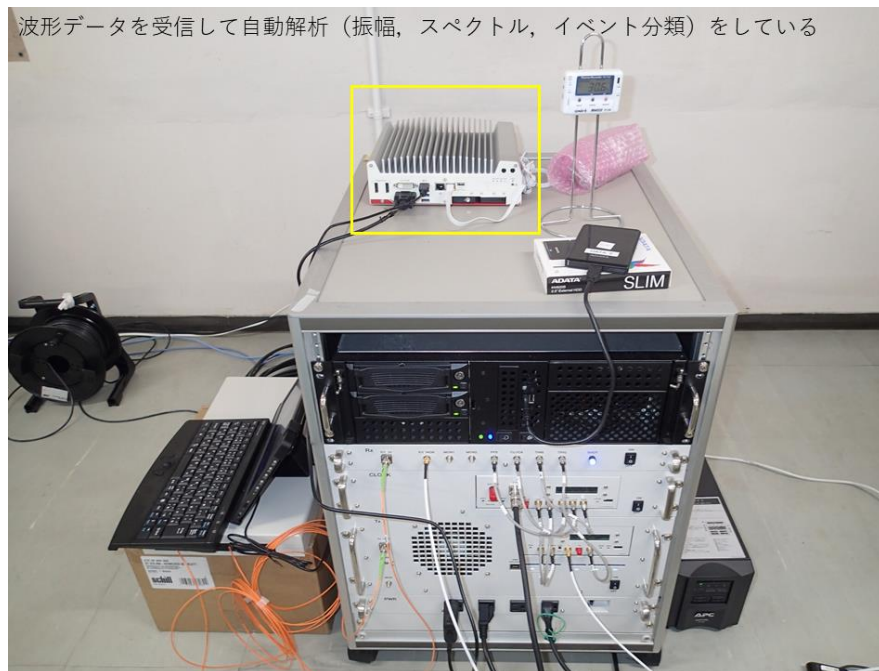


送受信装置→A→B→Cの順番に、芋づる式に光ファイバを敷設



本年度進捗 リアルタイムデータ処理の検討

波形データを受信して自動解析（振幅、スペクトル、イベント分類）をしている





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

資料1-5

課題C 火山噴火の予測技術の開発

第6回総合協議会 課題成果概要

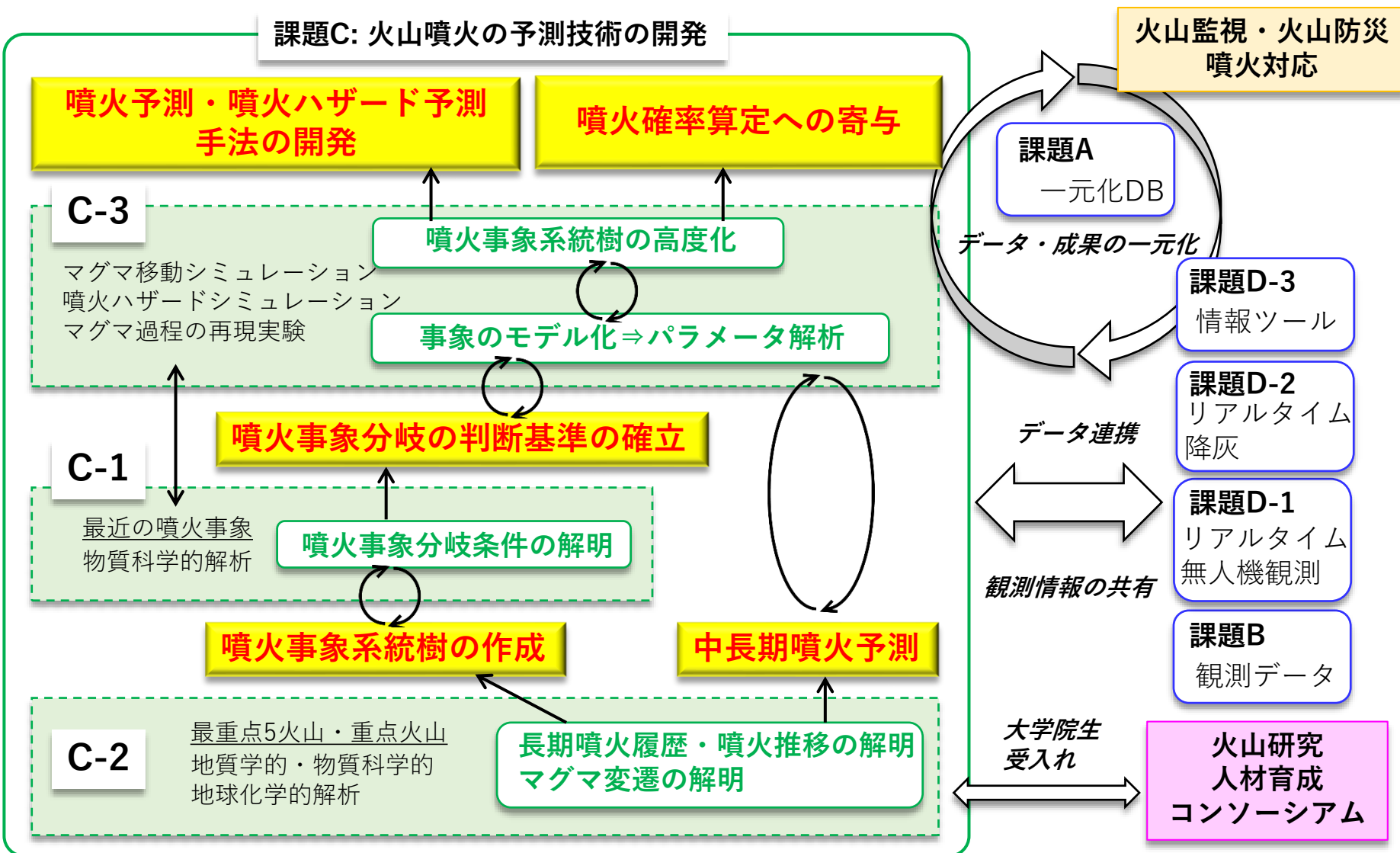
2019年6月の中間評価会の内容および
その後11月までの成果概要

課題責任者・説明者：北海道大学 中川光弘

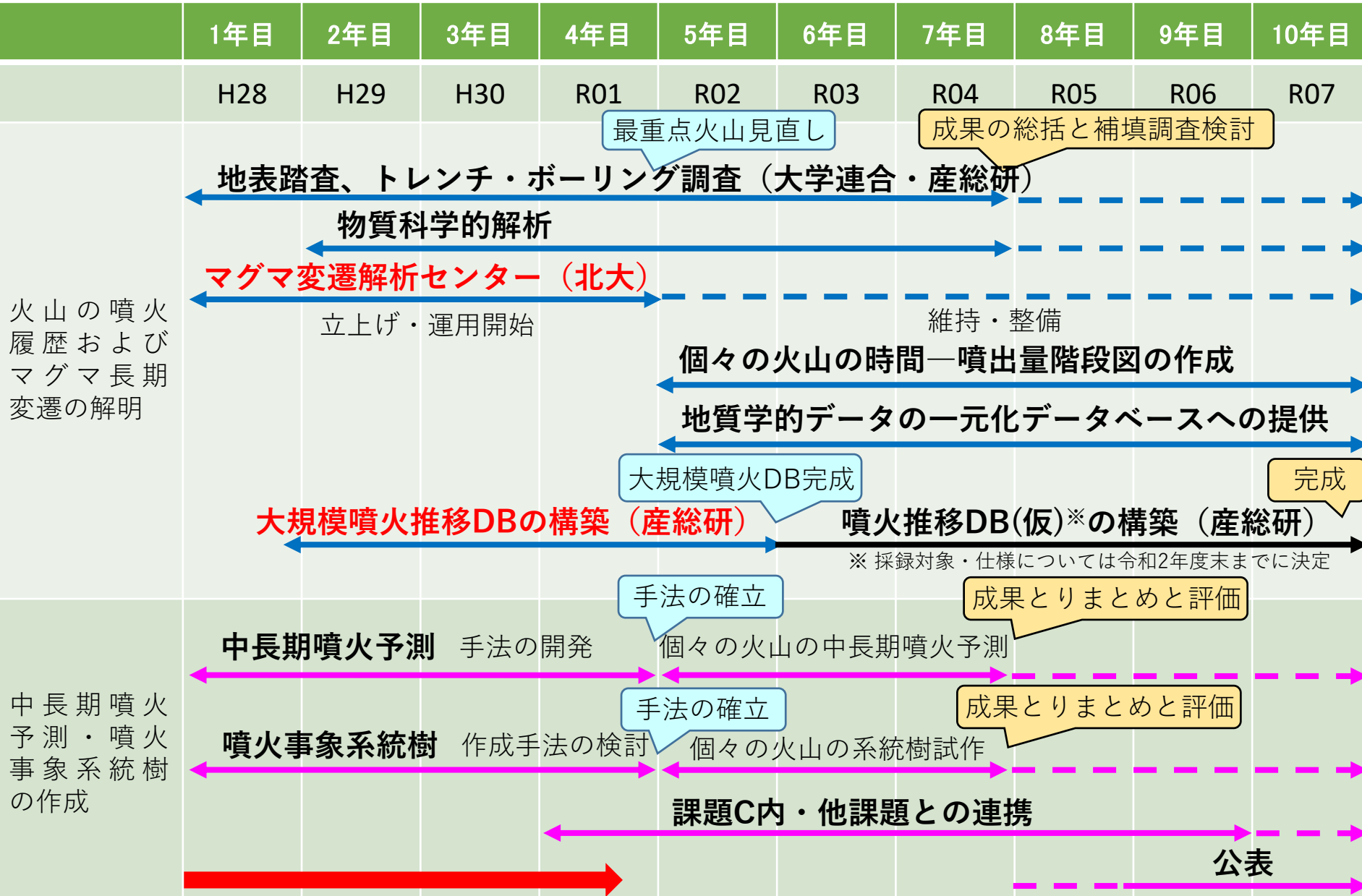
課題Cの概要

課題Cでは国内の主要な活火山を対象に噴火履歴の解明と噴火事象の解析を行い、得られた情報を数値シミュレーションで解析することによって噴火の予測技術を開発する。まず個々の火山で中長期予測を行う。そして事象分岐判断基準が伴った噴火事象系統樹を整備するとともに、噴火発生確率の算出に向けた検討を行う。本課題は、以下の3つのサブテーマの研究が並行して、かつ密に連携しながら実施される。

課題C: 火山噴火の予測技術の開発



サブテーマ2 噴火履歴調査による火山噴火の中長期予測と 噴火推移調査に基づく噴火事象系統樹の作成



成果の概要

(1) 火山の噴火履歴およびマグマ長期変遷の解明

- 最重点火山・重点火山を中心に、既存の研究成果をさらに発展させ、**高精度噴火履歴を構築** (例) 浅間山・鬼界・阿蘇山・鳥海山・蔵王山
- 活動的火山としての**認知度が低い火山**における、噴火履歴や噴火推移に関して新たな成果を提供 (例) ニセコ・白山
- 噴火活動履歴解明のために、**ボーリング掘削調査およびトレンチ掘削調査**を積極的に取り入れ (例) 鬼界・浅間山・有珠山・摩周
- 地質学的物質科学的研究において、**複数機関による取り組み体制**を確立。
(例) 鬼界：東大地震研・北大 雌阿寒：産総研・北大・大阪府立大
鳥海山：秋田大・山形大・産総研 羊蹄山：北大・電中研
- 大規模噴火データベースの整備 (産総研)
- マグマ変遷解析センターの立ち上げ・整備およびFT-IRによるCO₂測定やMC-ICP-MSによるU-Th法などの分析ルーチンの確立 (北大)

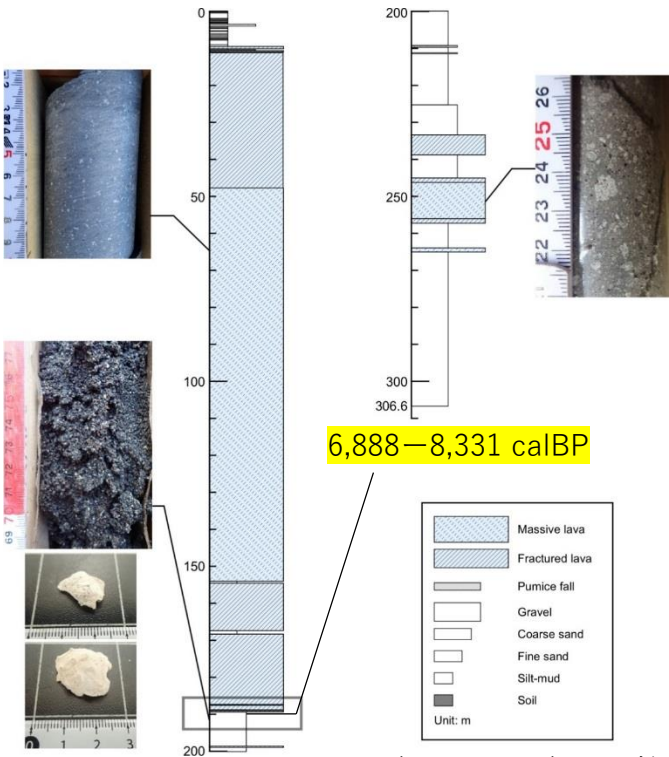
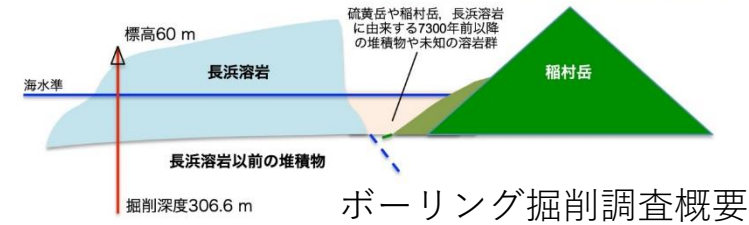
(2) 中長期噴火予測・噴火事象系統樹の作成

- 噴火事象系統樹の**作成指針の提示**および複数の火山における試作の検討

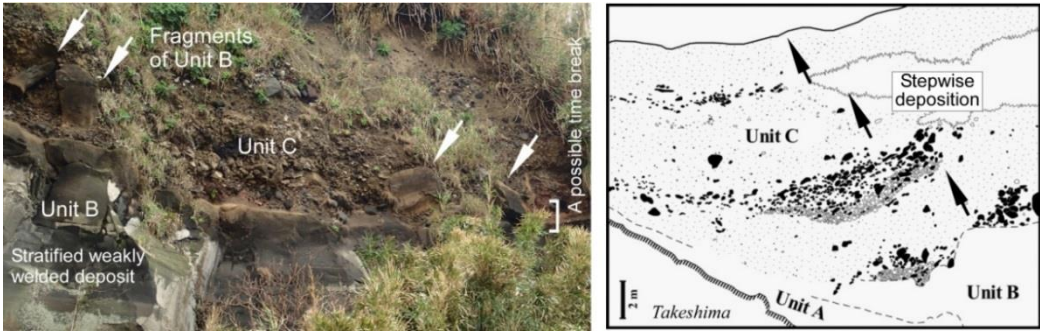
(3) その他

- 人材育成コンソーシアムへの貢献 (講師としての参画・大学院生の研究テーマとして実施・インターンシップ受入れ)
- 地域社会への成果普及活動 (一般講演会の実施など)

最重点火山・・・鬼界：7.3kaカルデラ形成噴火の活動推移の解明



ボーリングコア柱状図



噴出源近傍域における火砕流堆積物の状況

- 7.3ka鬼界カルデラ形成噴火の全貌を明らかにするために、先行活動に焦点をあてボーリング掘削調査を実施し、大量の**流紋岩質溶岩を噴出する先行活動（1,000年以内）**が起きていたことが分かった
- ドローンによる観察および野外調査の結果、プリニー式噴火と大規模火砕流噴火の間には、**日・週オーダーの時間間隙があった**ことが分かった。また、**カルデラ陥没は、多段階的に進んだ**ことが分かった
- 観測事例のあるカルデラ形成噴火に比べて**より長時間に及んだ可能性**が示された

噴火事象系統樹の作成指針の提示

・・・十勝岳の例

検討期間の設定

時間－累積噴出物量図において一定の傾きで噴火活動が続いている期間

想定火口域の設定

上記設定期間において、活動のあった全て火口域

前駆活動の整理

最も信頼ができ、かつ最も長期間にわたる観測データが蓄積されている項目

噴火タイプの分類

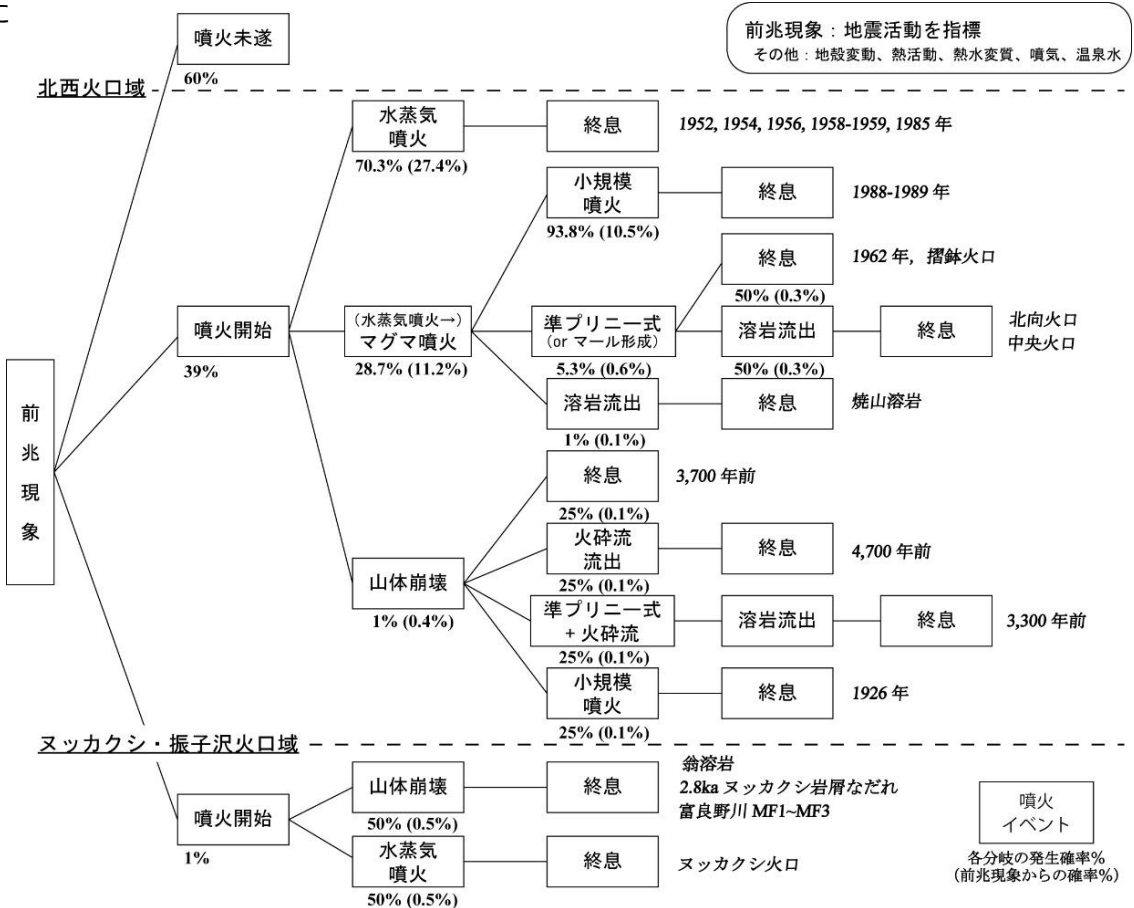
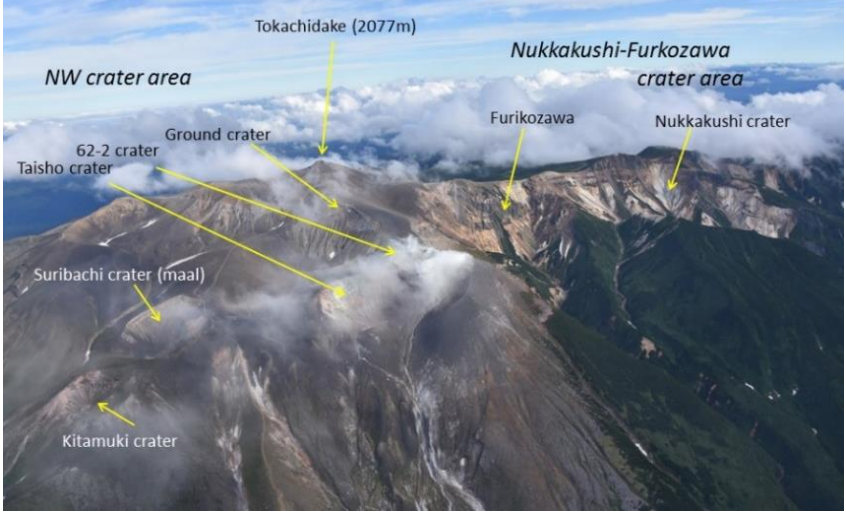
噴火の規模で噴火タイプを分類
(地質単位として残る／残らない)

噴火回数の算出

地質単位として残る規模の噴火
⇒噴火エピソード数
地質単位として残らない小規模噴火
⇒記録の残る期間での発生回数を外挿

分岐確率の算出

特定イベント回数／全イベント回数
噴火未遂も考慮



R01年度の取り組みと今後の展開

1. 課題C-2の取り組み

第2次最重点火山を含めた10～20の活火山において、高精度の噴火履歴およびマグマ長期変遷を解明し、**中長期噴火予測を実施**する。また、これらの火山については**噴火事象系統樹も試作**され、関係機関等の評価を求める。

2. 課題C全体の取り組み

新たに課題C全体で取り組む火山を設定して、連携して中長期噴火予測、噴火事象やハザードに関してシミュレーションを実施し、噴火事象系統樹の試作を行う。

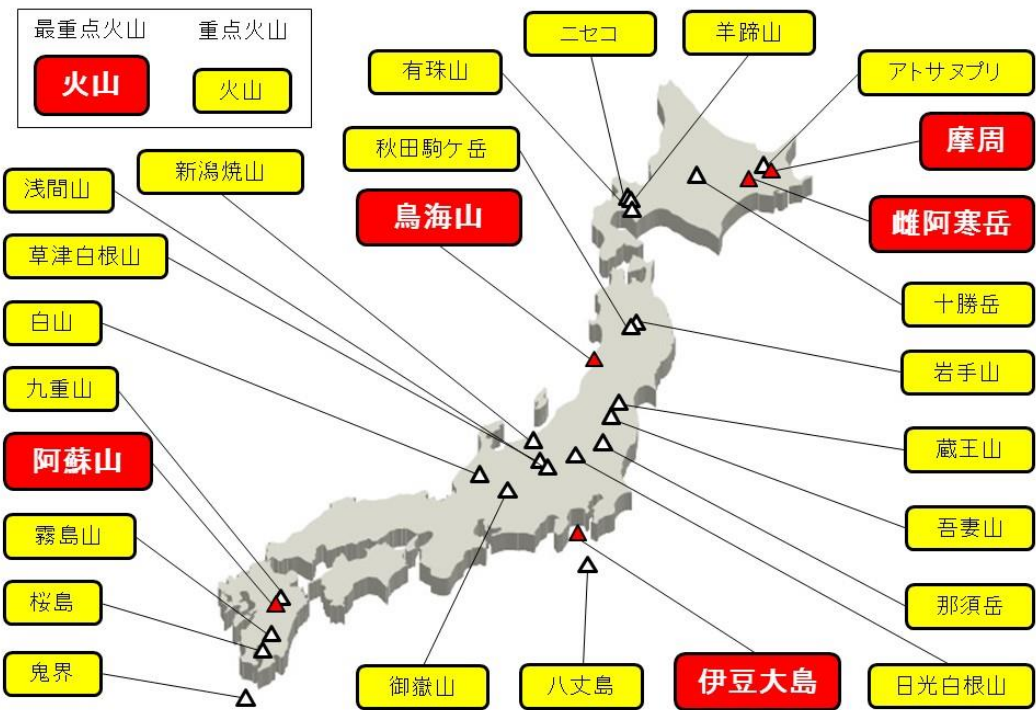
伊豆大島・桜島・浅間山

3. 情報共有・情報発信

課題Cのホームページを立ち上げ、課題C内の情報共有を強化するとともに、研究成果の社会への発信を行う。

参加・協力機関

北海道大学・秋田大学・山形大学・茨城大学・日本大学・東京大学地震研究所・富山大学・熊本大学・産業技術総合研究所・筑波大学・大阪府立大学・山口大学・電力中央研究所・防災科学技術研究所



第2次最重点・重点火山

サブテーマ1：火山噴出物分析による噴火事象分岐予測手法の開発

項目	内容	28年度	29年度	30年度	01年度	02年度	03年度	04年度	05年度	06年度	07年度	
分析・解析プラットフォームの構築	(a) 高精度，高効率の分析環境の構築	標準的な定量分析ルーチンの確立					分析の効率化					分析環境のアップデート
	(b) 解析の自動化による作業の効率化・標準化	標準的な解析プログラム，図化プログラムの整備					データベースとの連携プログラムの整備					プログラムのアップデート
データベース	(c) データ保存環境の整備	データベースの構築					データベース利用環境の整備					データベース利用開始，アップデート
機器の公開	(e) 広く研究者や学生に開放するための利用環境の整備	利用規程整備					受け入れ体制の構築					受け入れ開始
火山噴出物解析	(d) 対象火山（11火山＋α）の噴出物解析とカタログ化	試料採取，地質学的検討					必要に応じての追加					
		マグマ溜まり環境の実体化					再解析，精密化					
		マグマの上昇速度，状態の解明					再解析，精密化					
		混合から噴火に至る時間の解明					再解析，精密化					
		カタログ化					カタログのアップデート					
		予測指標の検討										
		(新たな分析要素の検討)										

成果の概要

(a)火山噴出物の分析・解析

- 5火山を予定 → 11火山のマグマ溜り環境（温度，含水量，深度）を取得
- 一部の火山噴火について，マグマの上昇速度・マグマ混合から噴火までの時間データを取得
- 噴火事象分岐予測に火山噴出物解析をどのように生かすかの枠組みを作成

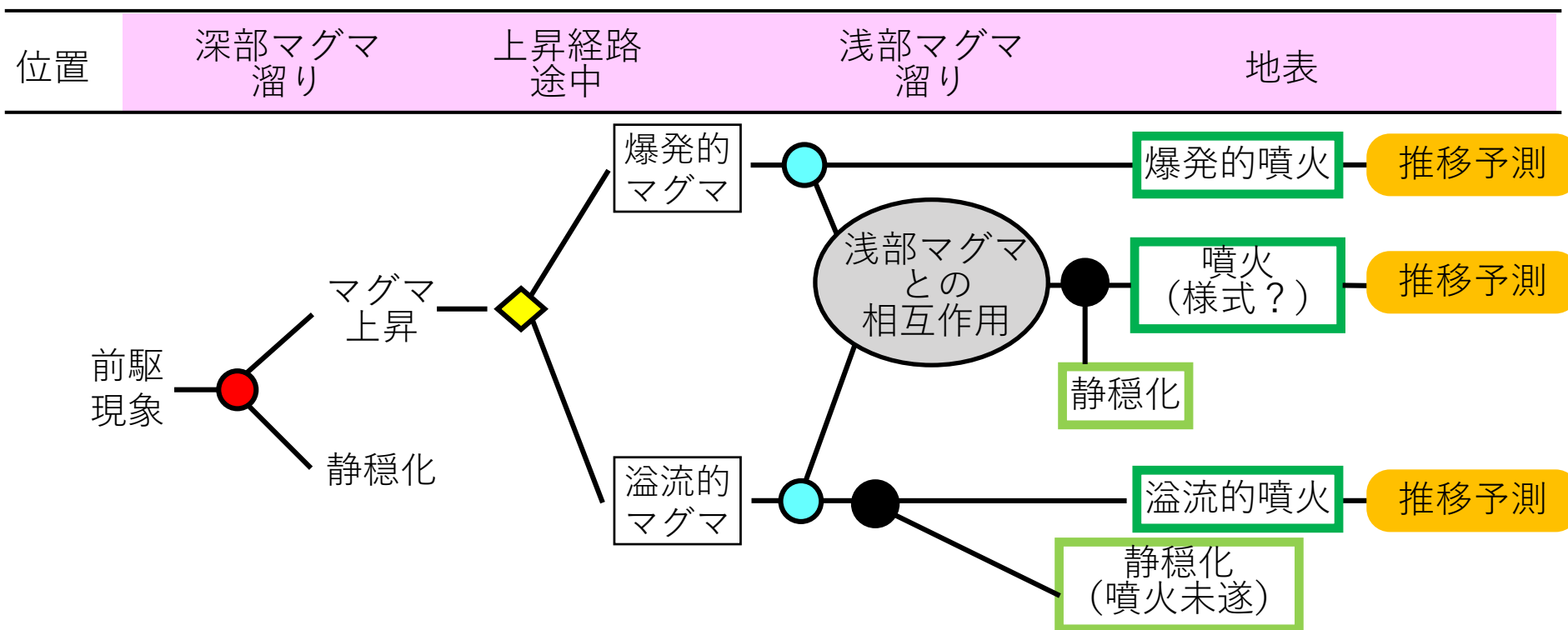
(b)分析・解析プラットフォームの構築

- 初年度末にFE-EPMA装置を設置
- 基本的な分析手順を確立しデータ生産を開始
- 予定していた解析プログラムは計画通りに整備
- 当初予定にない機能も追加してデータ解析をより効率化
- 石基組織を自動解析する分析ツールを整備中
- 熱力学解析ツール（MELTS）の運転環境の整備中（2014年御嶽噴出物に適用した成果をBull. Volcanol.誌に発表）

(c)データサーバーとデータベースの整備

- 基本設計を予定 → プロトタイプ of データサーバーを立ち上げ，収集画像データの閲覧可能
- 石基組織の観察写真およびX線マップのインデックスを作成

(a)火山噴出物の分析・解析に基づく噴火事象分岐予測の枠組み



- 分岐1：噴火の確率を **経過時間の関数として表現**
- ◆ 分岐2：物理観測からマグマの物性を推定→ 噴火様式を予測
(条件付き確率で表現)
- 分岐3：マグマ溜りの位置情報
- 分岐4：噴火事例のマグマ上昇速度の範囲から予測

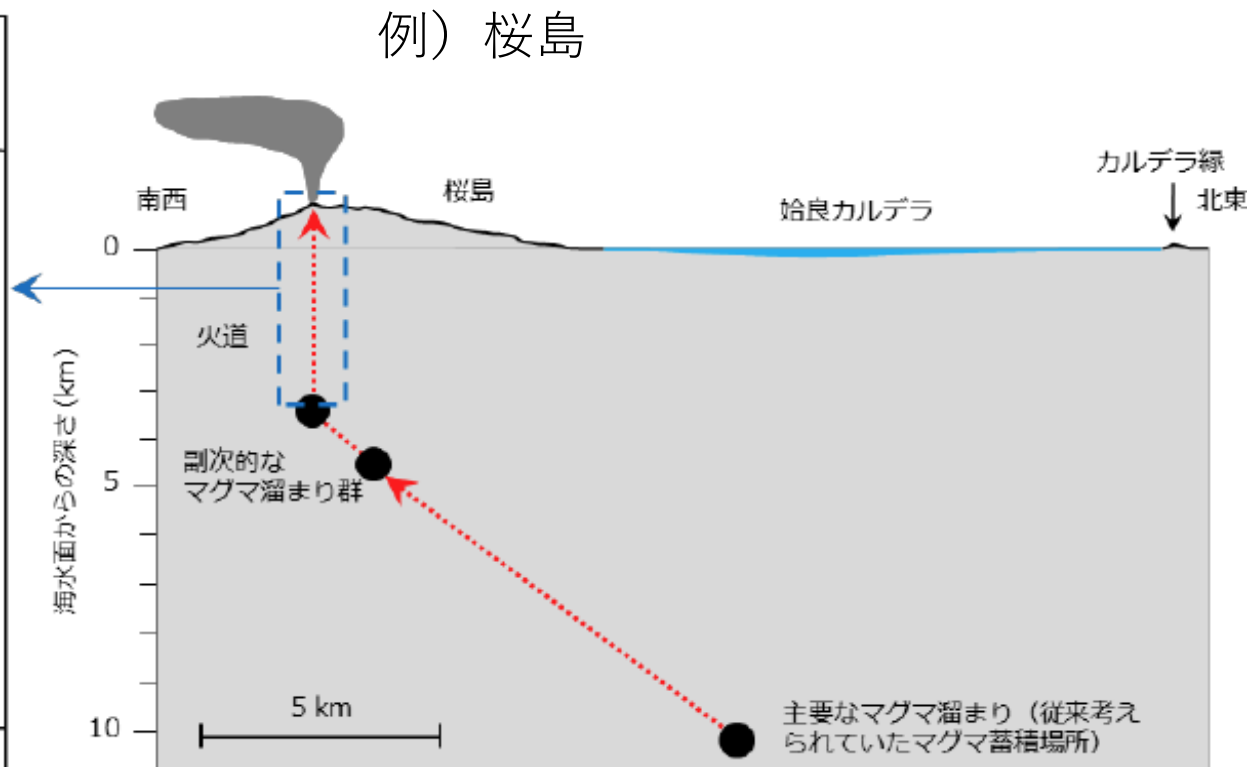
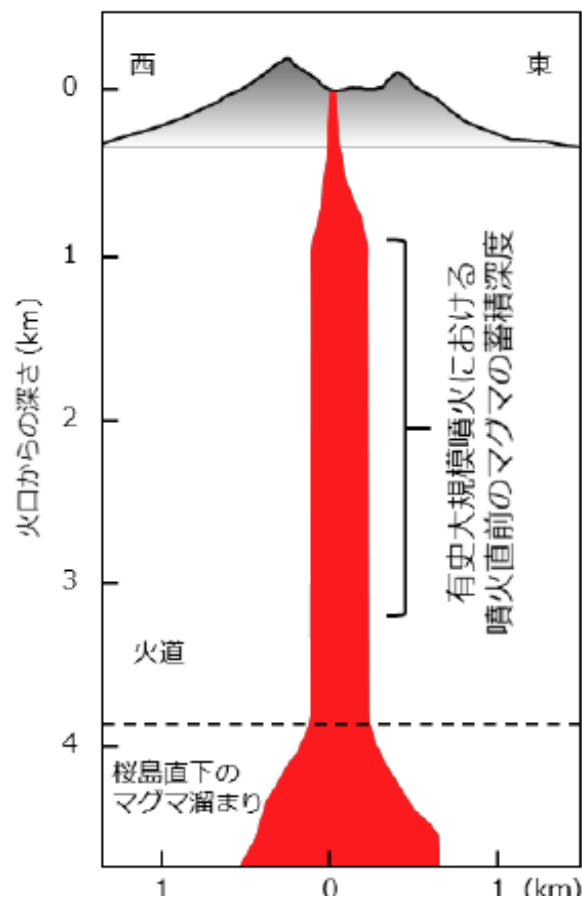
従来は各node部分の分岐確率は過去の噴火の頻度で与えていた

新たな分岐nodeの発見

推移予測 過去の発生事例や火道情報・噴火マグマの石基分析

4-7年次に有効性を検討

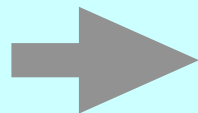
● 分岐3：新たなnodeの発見 (マグマ溜りの位置情報に基づく)



Araya et al., Scientific Reports, 2019

発見の意義

物理観測で
注目すべき場所を
特定

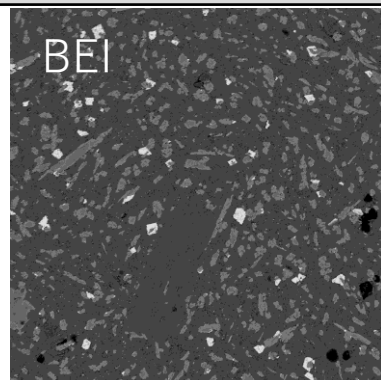


そこでの信号変化に応じて
事象分岐する

今後の展開

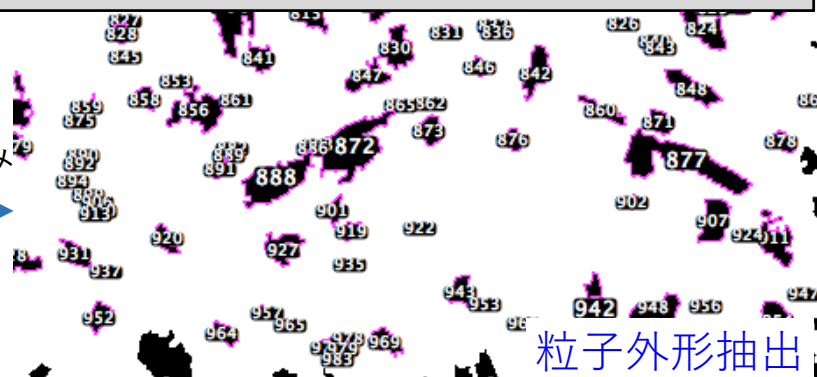
業務項目(a)「火山噴出物の分析・解析」

- ・ **石基や斑晶の組織解析**
 - マグマの上昇速度，マグマ混合～噴火までの経過時間データの収集
- ・ マグマ溜り環境 → 情報の収集と精査を継続
- ・ **データ収集を加速させるため，令和3年度以降にはPDやRAを雇用**
- ・ 噴火事象分岐予測の際に鍵となる要素の抽出を継続



画像から
粒子サイズと組成を
取得するスクリプト作成済み

富士山を中心に，60噴火，
約12000枚の画像データ
取得済み



粒子外形抽出

業務項目(b)「分析・解析プラットフォームの構築」

- ・ システムのアップデート（随時）
- ・ 分析・解析結果を図化する自動処理機能の充実

業務項目(c)「データサーバーとデータベースの整備」

- ・ データ表示と検索機能を強化して**データサーバーを本格的に稼働**させる
- ・ データの充実をはかる（PD, RAの雇用，プラットフォームの公開）
- ・ **カタログの作成と公開**
- ・ 分析で得られたデータはシミュレーションの初期・境界条件や
チェックデータとして利用可能 → **課題内外の連携強化**

サブテーマ3

シミュレーションによる

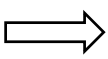
噴火ハザード予測手法の開発

	H28年度	H29年度	H30年度	R1年度	R2年度	R3年度	R4年度	R5年度	R6年度	R7年度
①地下におけるマグマ移動シミュレーション	火道流・岩脈・結晶化・レオロジーモデル構築				マグマ移動評価システム開発			一元化システムへの統合		
②噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化	降灰・噴煙・溶岩流・噴石評価システム開発				火山ハザード評価システム開発			一元化システムへの統合		

成果の概要

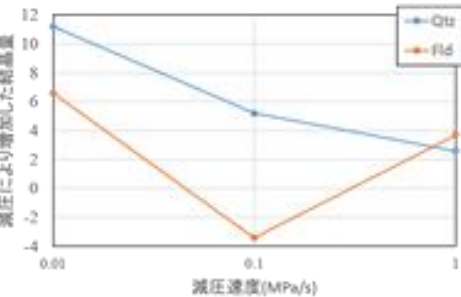
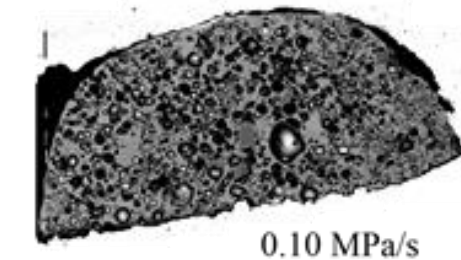
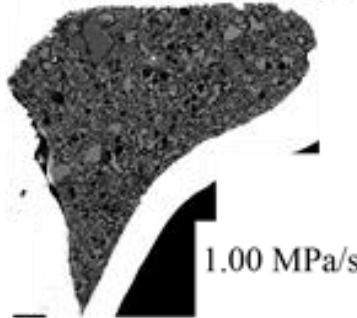
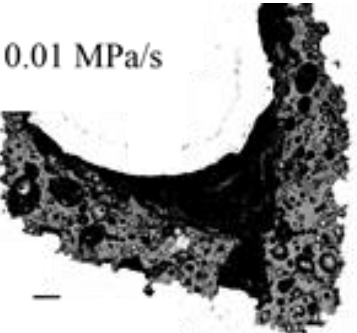
- (1) 地下におけるマグマ移動シミュレーション
- 火道流モデルをもとにした**爆発的噴火に伴う地殻変動量の推定シミュレーション技術を開発**。国内の火山の観測点での検知可能性について評価。
 - 岩脈貫入シミュレーションでは、**噴火・噴火未遂の閾値**についてマグマ溜りの過剰圧について一定の知見を取得。
 - 物性モデルの構築では、**レオロジー特性・減圧による結晶化**について、今後シミュレーションに組み込む構成則の方向性を認識。
- (2) 噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化
- 噴煙・噴煙柱ダイナミクスシミュレーションの統合**。
 - 溶岩流シミュレーション・噴石シミュレーションの高度化。
 - 社会的データ（建物分布・人流データ）との連携による**火山ハザード評価システムの基本機能**を整備。

減圧結晶化実験

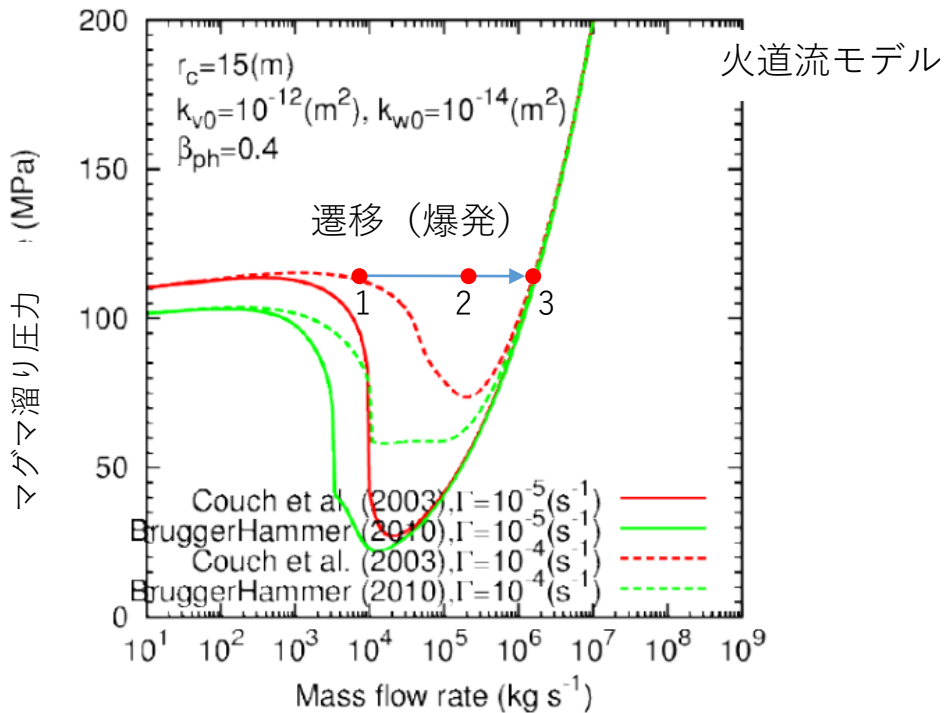
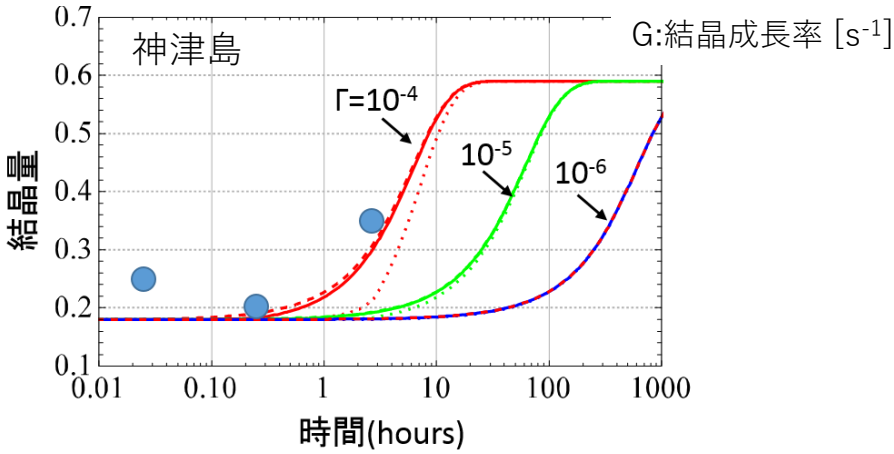


火道流-地殻変動モデルへの応用

神津島サンプル



- マグマ溜まりでの温度圧力条件(730℃, 130MPa)を再現後, その温度圧力条件から30MPaまで0.01, 0.1, 1MPa/sの一定速度で減圧.
- 0.01, 0.1, 1MPa/sの減圧速度に対して, 石基結晶度(石英+長石)はそれぞれ18, 5, 6 vol.% (神津島838年噴火のマグマ上昇過程を再現)

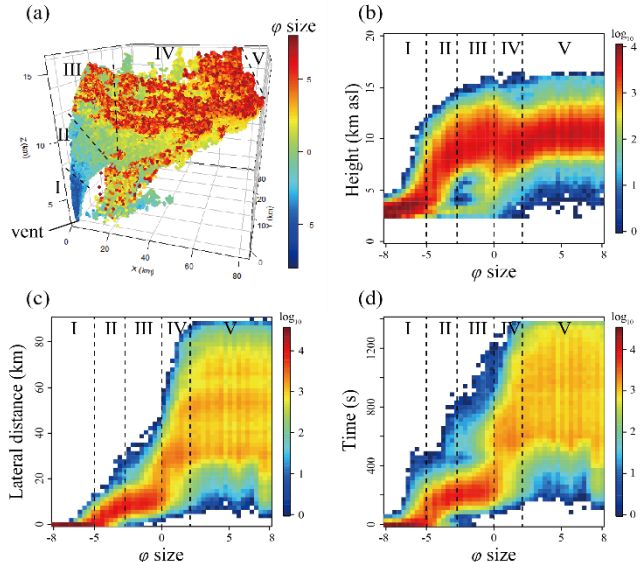
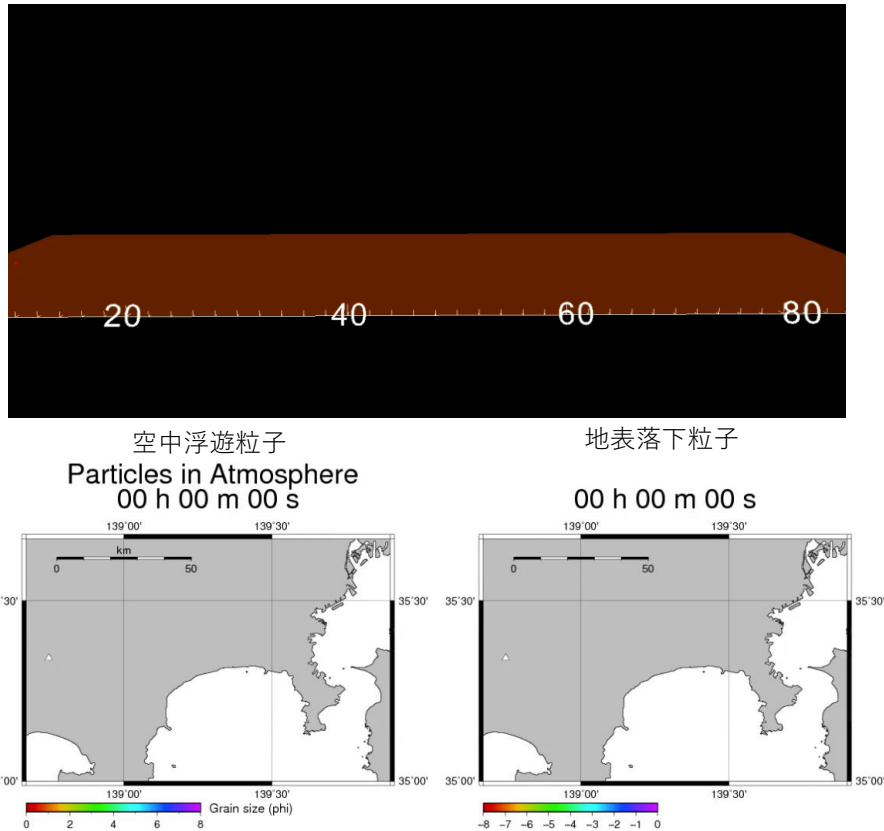


噴煙柱ダイナミクスモデルの開発

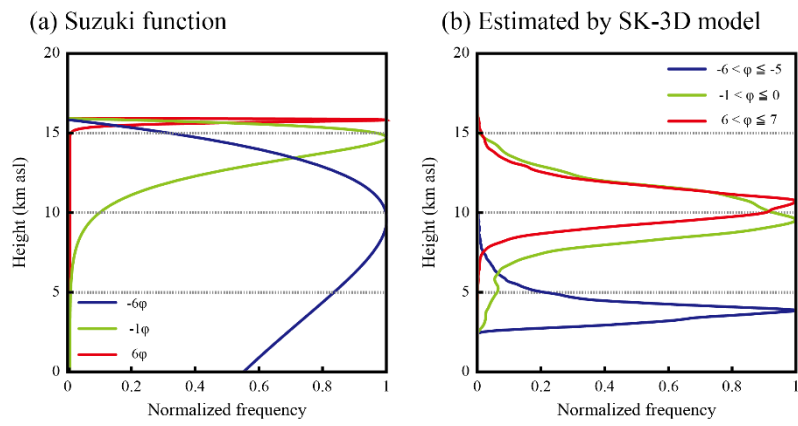
降灰シミュレーションの高精度化

3次元噴煙シミュレーションにおける噴出物輸送 (SK-3D)

降灰シミュレーション・噴煙柱シミュレーションの統合



SK-3D計算結果から推定された粒子放出位置



粒子放出高度の頻度の関係

- ✓ 噴煙シミュレーションから降灰シミュレーションの供給源（初期条件）改善策を提案
- ✓ 4次元的な供給源の推定に成功

今後の展開

【今後の計画の概要】

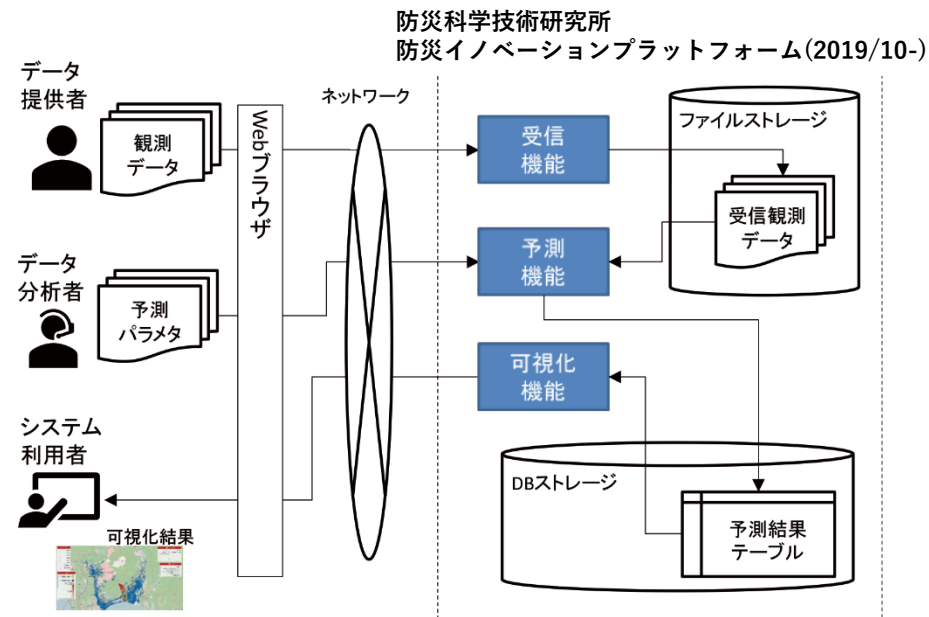
- 各種シミュレーションコードを総括的に実行可能とする火山ハザード評価システムの開発
- 各計算条件の適切なパラメータ範囲を定め、分岐判断基準および分岐確率の算定に取り組む

【今後の課題実施体制等】：各課題との連携

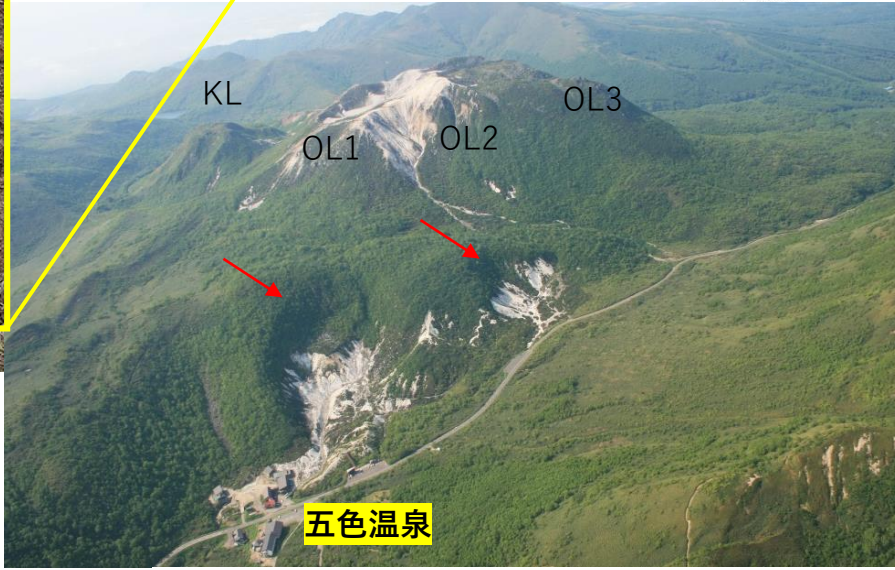
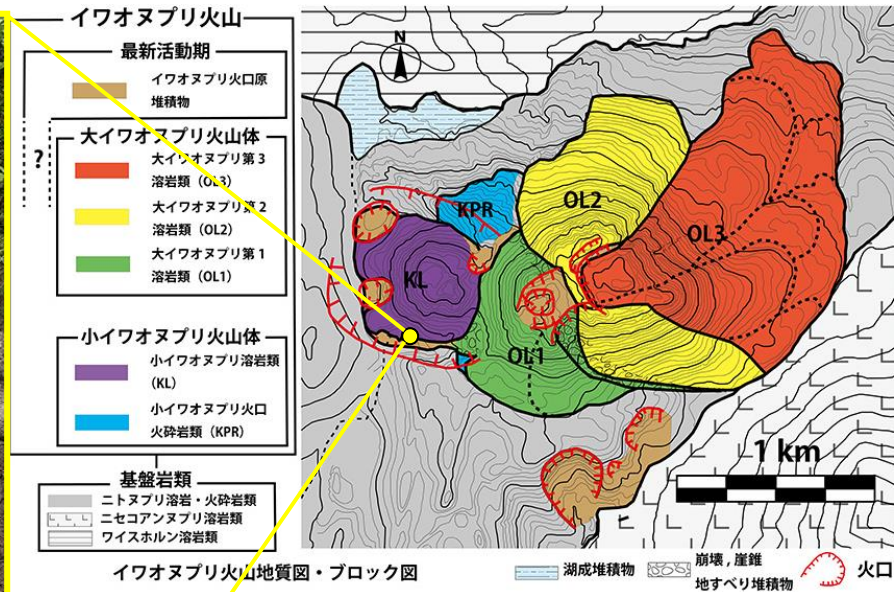
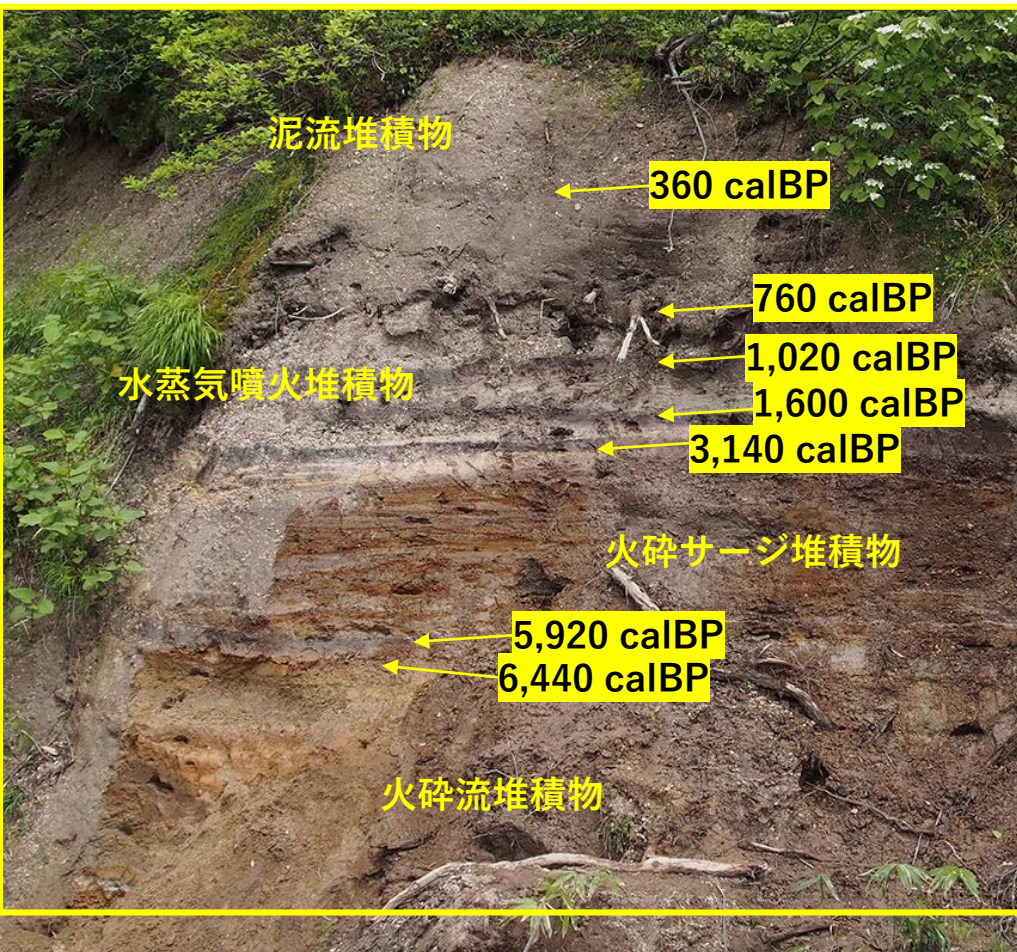
- C-1：地下におけるマグマの物性条件や物質科学的解析結果を反映
- C-2：噴火推移による検証
- A:一元化観測データとの連携
- D-2：桜島降灰シミュレーション連携
- D-3：対策情報発信

【本課題で得られた成果の活用・展望】

- ・ 科学的・技術的波及効果これらを統合した火山ハザード評価システムにより、各種火山ハザードの定量的な評価技術が発展する



補遺：
各サブ課題の成果例

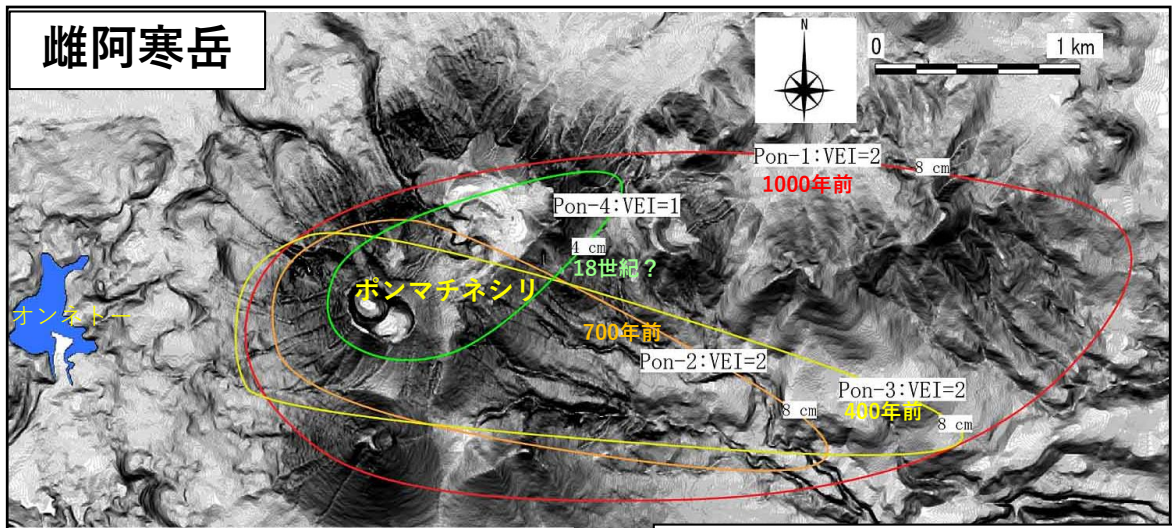


南東上空からみるイワオヌプリ火山 (矢印は爆裂火口)

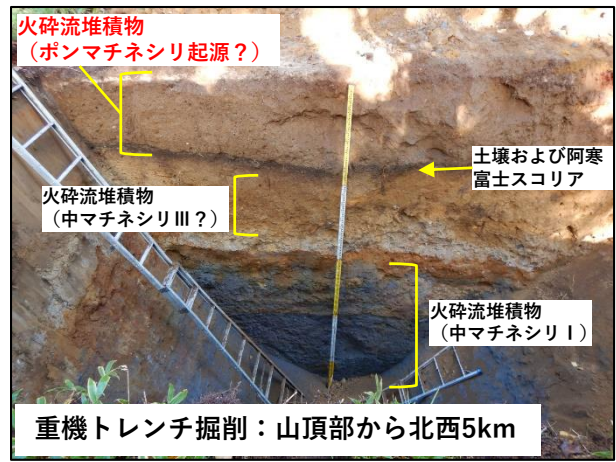
- イワオヌプリ火山において地表踏査を行った結果、約9,500年前に爆発的噴火で活動を開始したことが分かった
- その後は、火口位置を変えながら山体を形成し、ごく最近 (少なくとも約400年前) まで水蒸気噴火を起こしていた非常に新しい火山であることが明らかになった

複数機関による集中調査・・・雌阿寒岳：過去14,000年間の活動履歴の解明

サブ課題C-2



最近1,000年間の降下火砕物 等層厚線

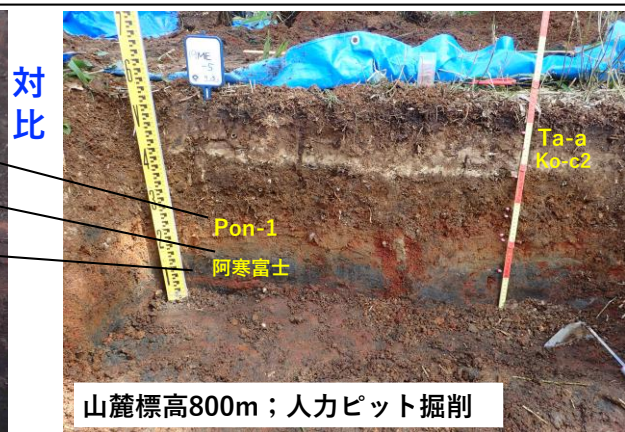


R01年度実施内容

- 山頂部/山麓で人力ピット掘削（5箇所）
- 山麓における重機トレンチ掘削（3箇所）
- インターンシップ学生（2名受入）

産業技術総合研究所
北海道大学
大阪府立大学

3 機関・5 名（R01年度）

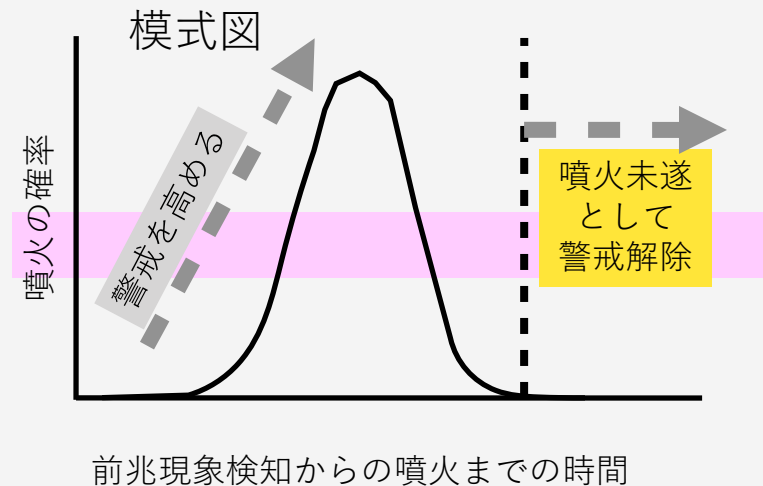
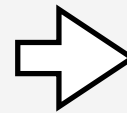
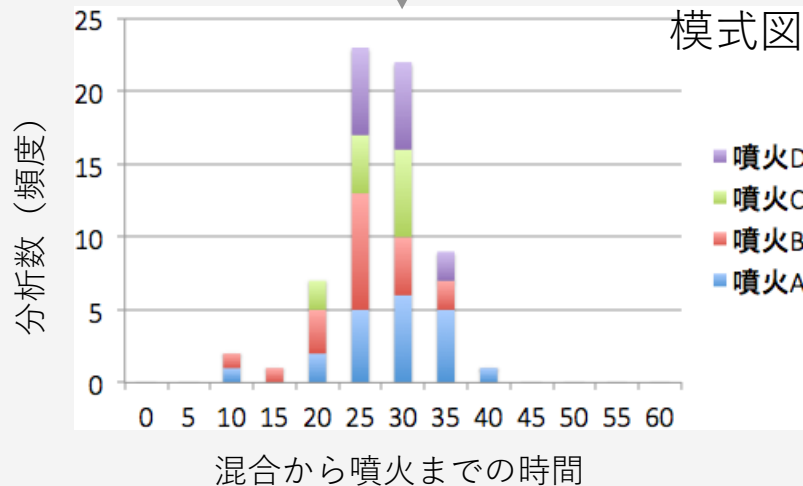
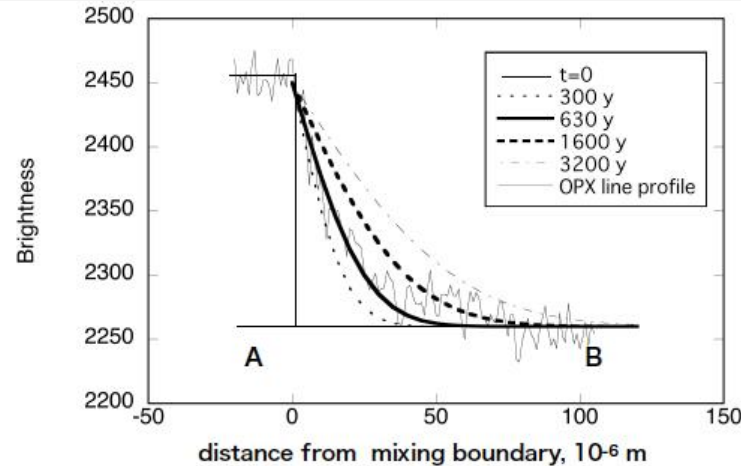
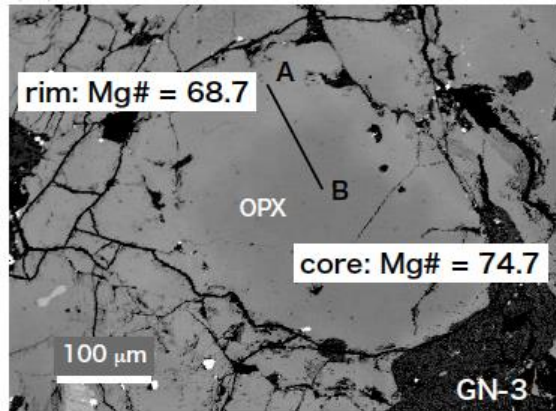


主な成果

- 14,000年前以降の噴火活動履歴の再構築
- 中マチネシリIII火砕サージの流出範囲の特定
- 最近1,000年間の噴火活動の解明（**4回の噴火**：給源・分布・規模を推定）
- 約1,000年前のボンマチネシリ起源火砕流堆積物の発見

● 分岐1：噴火の確率を経過時間の関数として表現

(マグマ混合から噴火までの時間)

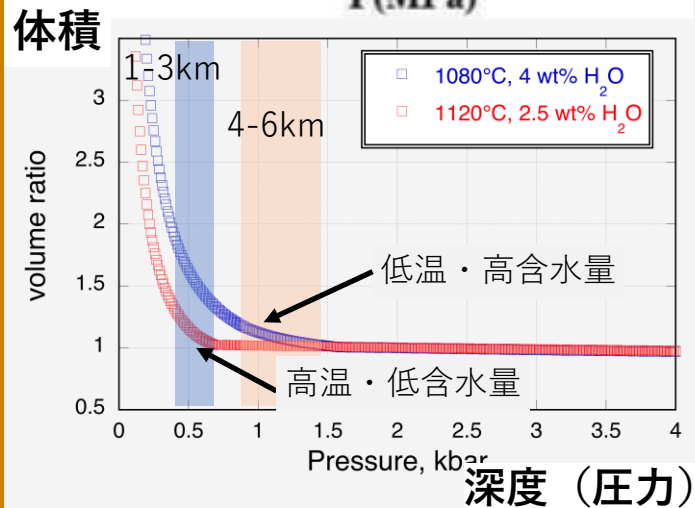
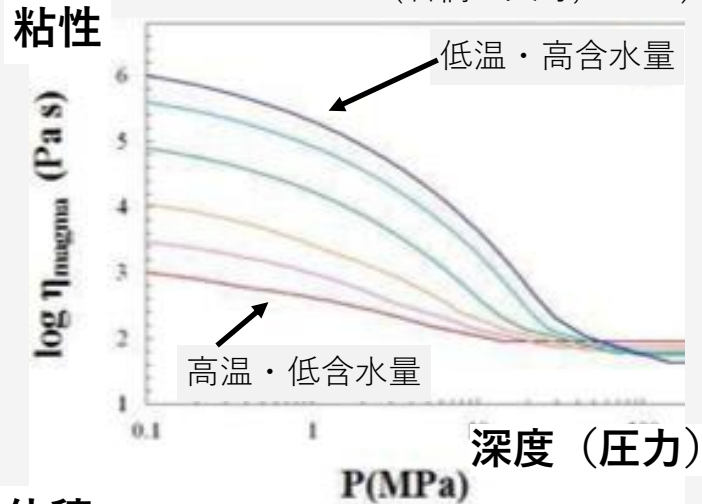


◆ 分岐2：物理観測からマグマの物性を推定→噴火様式を予測

C-3 シミュレーション

マグマが膨張する深度や粘性が急変する
深度が温度、含水量によって異なる

(石橋・天野, 2017)

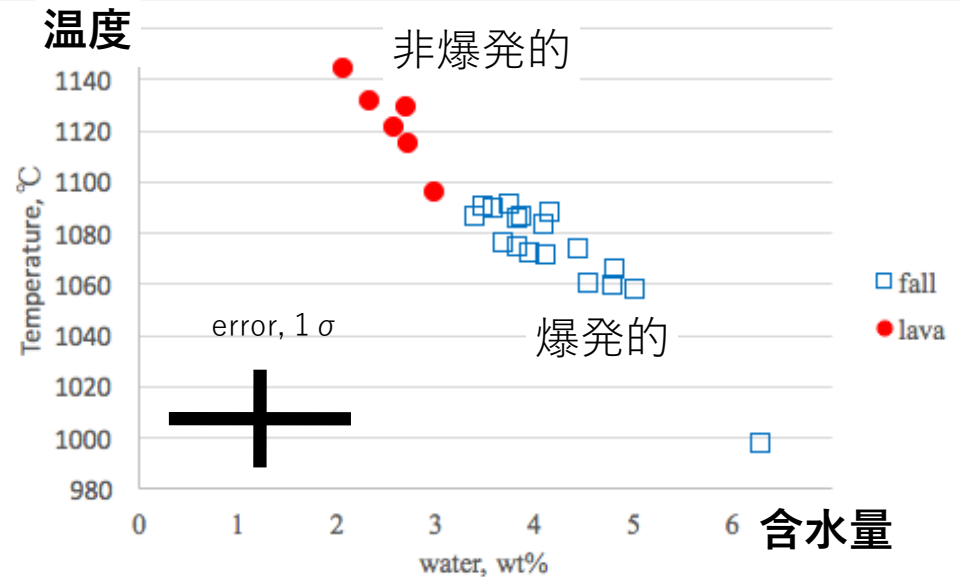


物理観測
(地殻変動, 地震)

マグマの物性
(温度, 含水量)

噴火様式
(爆発的, 非爆発的)

マグマの温度・含水量と噴火様式は関連している
(富士山の例)

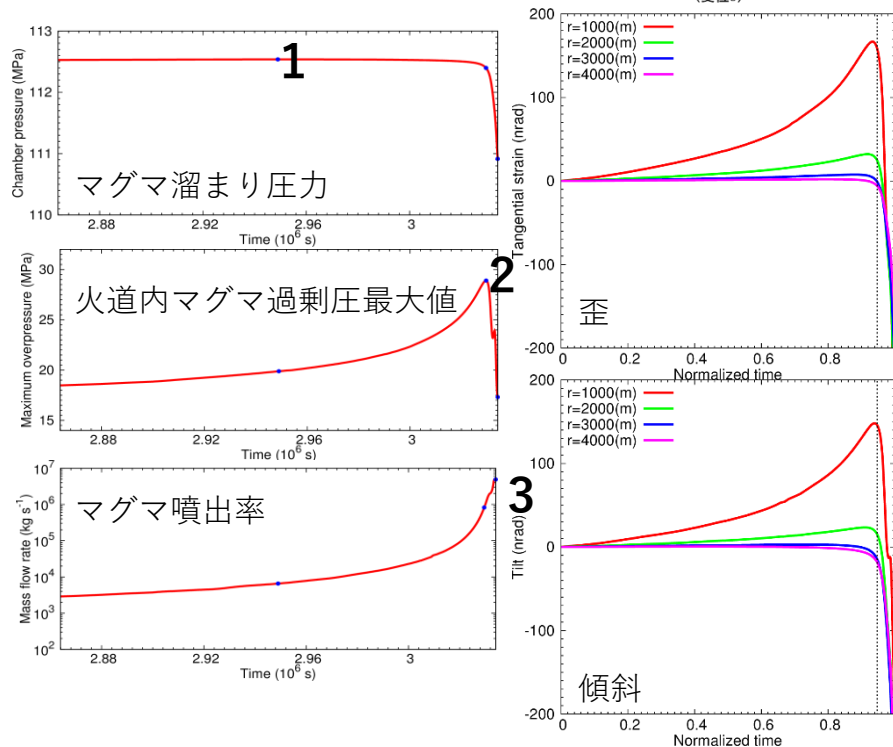
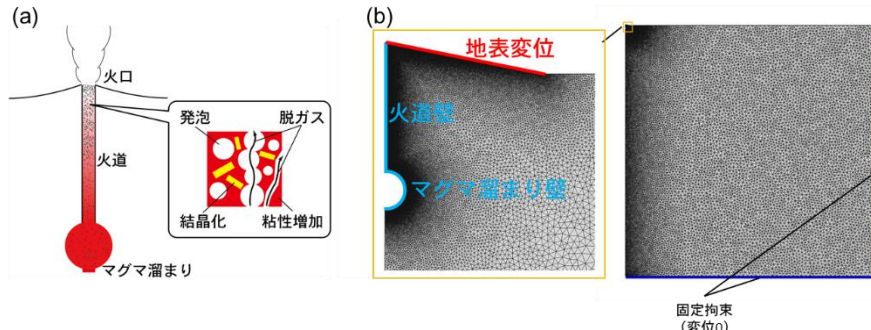


マグマの温度・含水量と噴火様式との関係
(安田, 2018; 災害の軽減... 報告書)

○実施結果・成果の概要

① 地下におけるマグマ移動シミュレーション

a. 噴火機構シミュレーション技術開発



火道流モデル（爆発的噴火への遷移）

1. マグマ溜り圧力の変化（深部の発泡・増減圧）
2. 火道内マグマ過剰圧変化（浅部の増圧）
3. マグマ噴出率の増大（噴火）

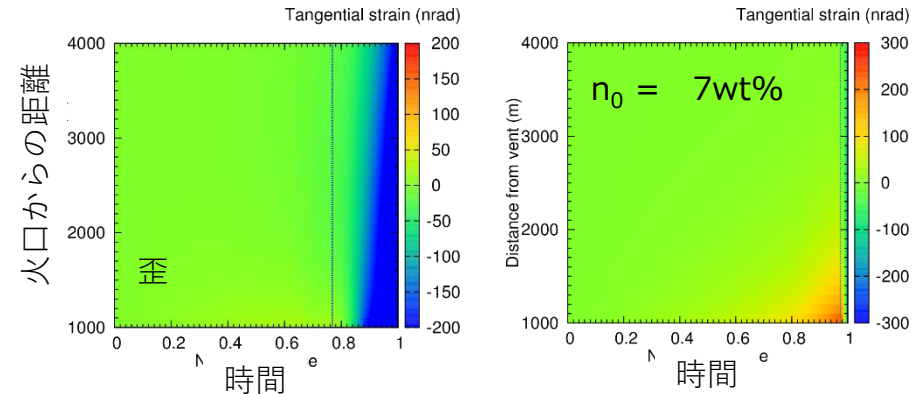
一連の過程に伴う地殻変動の時間変化の理論値をシミュレーション

爆発的噴火への遷移直前の検知可能性

マグマ含水量、マグマ温度、マグマ粘性、
斑晶量、結晶成長率、ガス浸透率に依存

C1連携

(例) マグマ含水量依存性



- 近傍域（～2 km）での傾斜・歪観測によって、噴火遷移直前に生じる火道浅部での増圧およびマグマの加速を検知できる可能性がある
- 検知可能性が、マグマ溜りにおけるバルクの含水量に依存

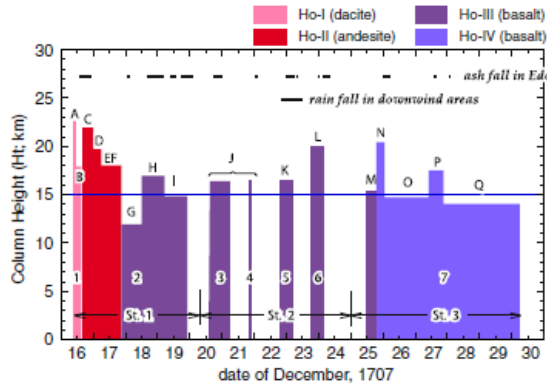
○実施結果・成果の概要

② 噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

a. 降灰シミュレーション

降灰ハザード予測モデル開発

JMA-RATM を用いた富士山宝永噴火級 降灰シミュレーション



- 2015～17年の気象場の下で、富士山宝永噴火および1914年桜島大正噴火を想定した降灰シミュレーションを各1096事例、実行、予測可能性を確認
- 各種降灰分布図や降灰確率を試算、自治体等の降灰対策の資料として活用

仮定する
噴火発生日時

火山灰拡散・降灰の
予測対象時刻

2014/12/16 10:00 JST

398時間予測

2015/01/01 24:00 JST

1096

2014/12/17 10:00 JST

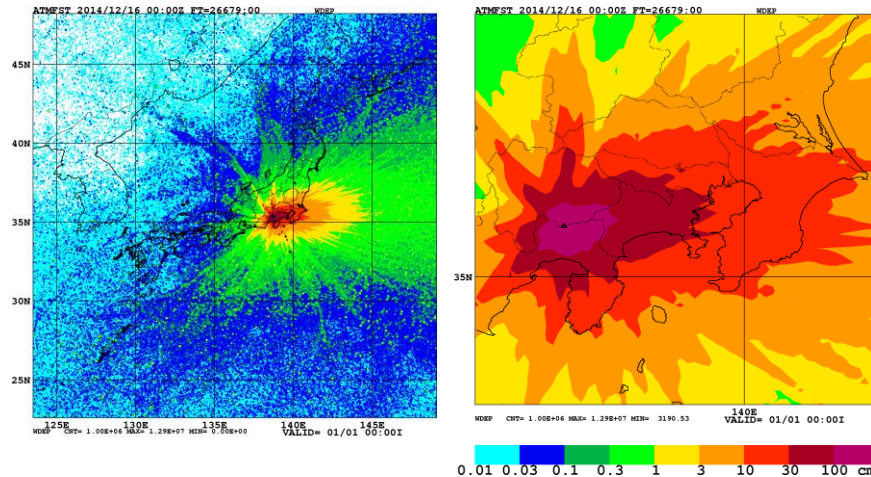
2015/01/02 24:00 JST

事例

2017/12/15 10:00 JST

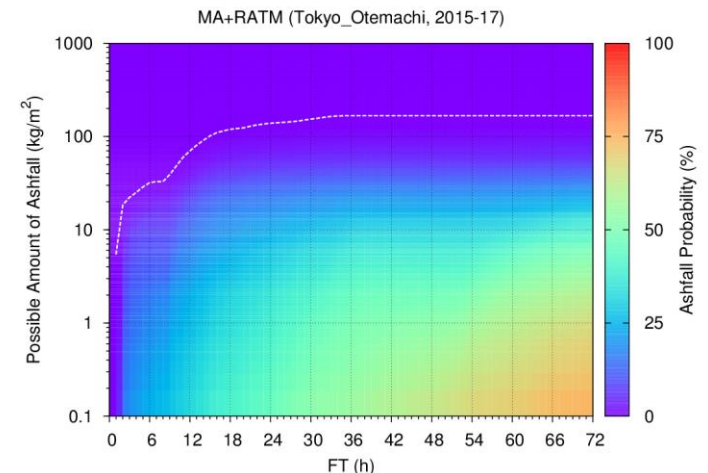
2017/12/31 24:00 JST

宝永噴火を想定した噴煙高度の時間変化
(Miyaji *et al.* 2011)



予想最大降灰量分布 (2015～17年, 右図は拡大図)
やや多量以上の降灰量について表示 (密度1 g/cm³で換算)

RATM計算の実行方法



都心 (富士山の東北東約100 km) における降灰確率
噴火発生はじめの72時間, 点線は予想最大降灰量



課題D: 火山災害対策技術の開発

事業責任機関: 国立研究開発法人 防災科学技術研究所

- D1: 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
- D2: リアルタイムの火山灰ハザード評価手法の開発
京都大学防災研究所
- D3: 火山災害対策のための情報ツールの開発
防災科学技術研究所

D1: 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

汎用ドローンによる実証実験(伊豆大島)

- ・2017年は三原山中央火口内の地形に注目して撮影。台風19号で地形変化が生じた可能性があるため、**2019年は火口周辺を網羅**するように撮影し、**最新の火口地形データ**を作成。
- ・作成する3次元モデルの精度を評価するために、**基準点(GCP)を設置して撮影**。
- ・GCPの有無による**3次元モデルの位置精度**について評価。

位置図

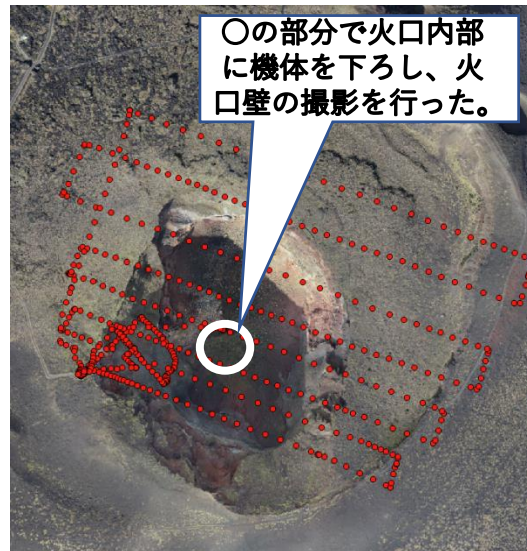


機材



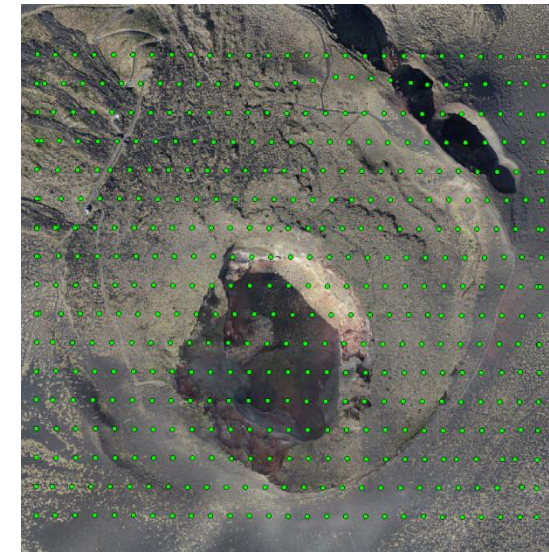
使用UAV: DJI社 MATRICE210
カメラ: ZENMUSE X4S
レンズ: 8.8mm固定焦点
飛行時間: 15~20分
撮影間隔: 2秒

2017年撮影コース(●は画像撮影位置)



撮影方法: マニュアル
撮影方向: 斜め

2019年撮影コース(●は画像撮影位置)



撮影方法: 自動航行
撮影方向: 垂直

D1: 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

基準点(GCP)の設置と精度評価

- ・これまではUAVに搭載されたGPSで位置情報を取得していたが、既存の航空レーザ測量データと比較すると、**位置精度が悪い**という問題点があった。
 - ⇒ **基準点(GCP:Ground Control Point)**を設置し、位置精度について検討。
 - ⇒ **「GCPあり」の方が誤差が小さい**という結果が得られた。
- ・噴火前から計測候補地の**GCP座標を取得・蓄積**していくことが重要となる。

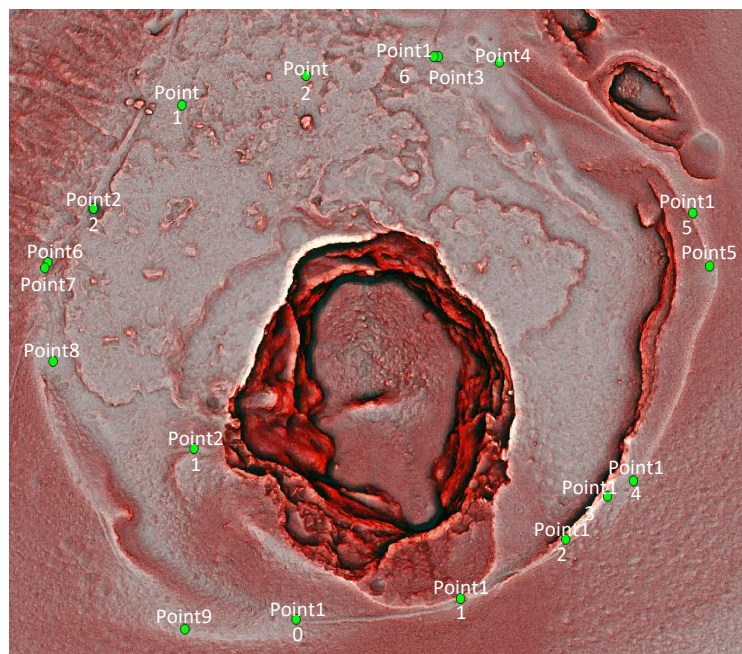
対空標識の設置状況



GCPのVRS測量の状況



3次元モデルから作成した赤色立体地図(●:GCP)



GCPの標高値と三次元モデルのGCP近傍の標高値の較差

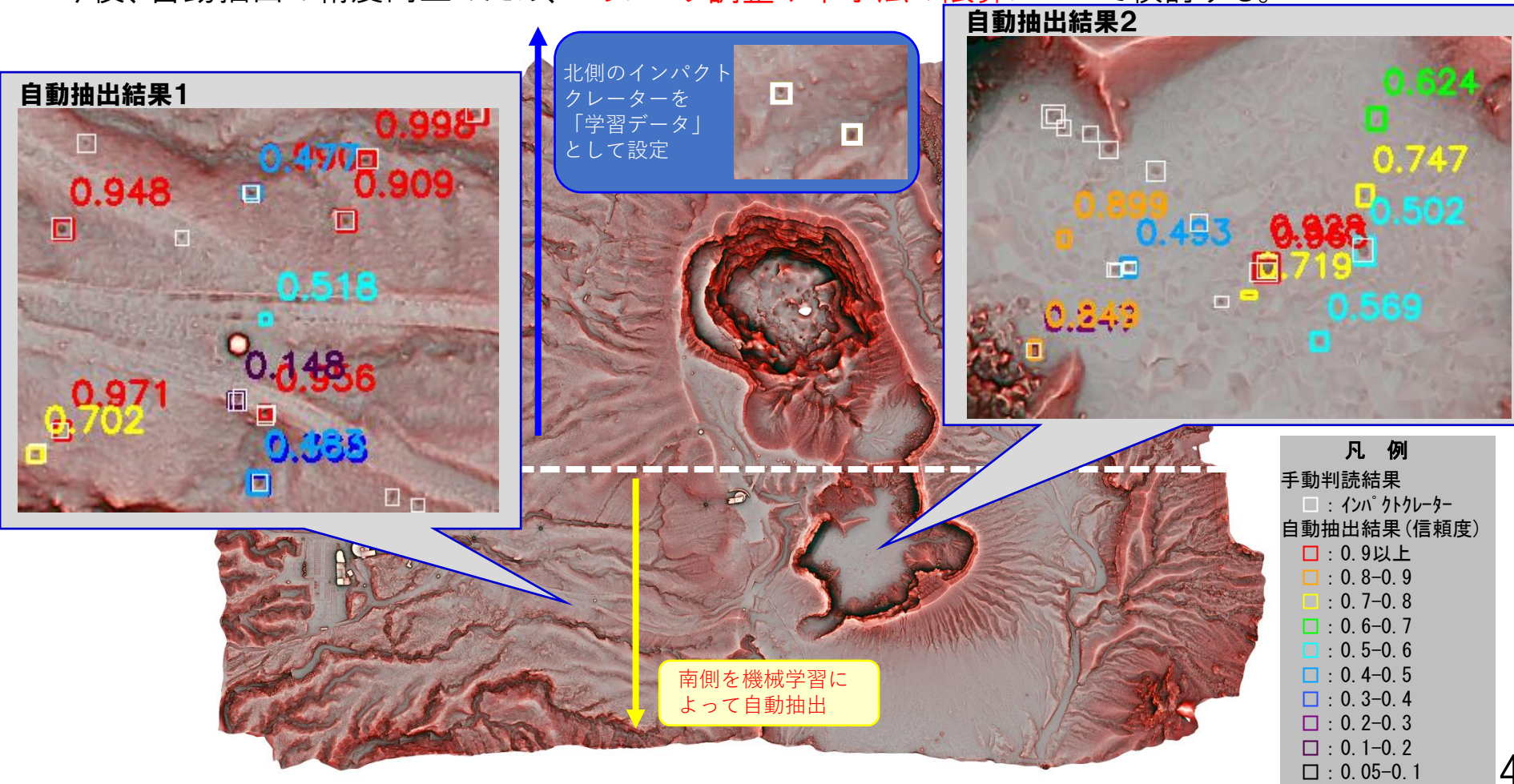
	GCP個数 [個]	較差 [m]			
		最小値	最大値	平均値	RMS
GCPなし	18	22.80	28.09	24.91	24.96
GCPあり	18	0.00	0.27	0.07	0.10

※GCP22点のうち4点は画像が不鮮明のため除外

D1: 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

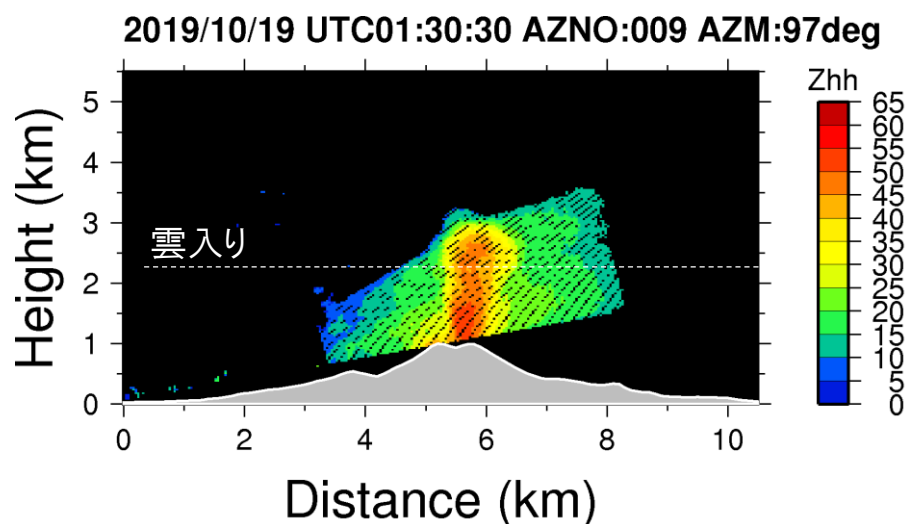
機械学習によるインパクトクレーターの自動抽出

- ・阿蘇山2016年噴火後にUAVにより得られた3次元モデルおよび赤色立体地図から、大きな噴石により形成される**インパクトクレーターの自動抽出**を検討した。
- ・赤色立体地図作成範囲の北側のインパクトクレーターを「学習データ」とし、南側について自動抽出を試みた結果、**40%程度のインパクトクレーターが抽出**できた。
- ・今後、自動抽出の精度向上のため、**パラメータ調整や本手法の限界**について検討する。



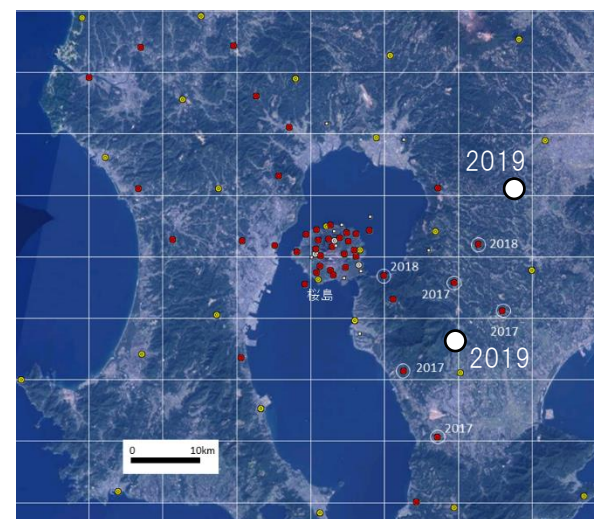
リモートセンシングによる火山灰放出量の即時把握技術開発

- レーダー観測, ライダー観測継続中 (1台のライダー故障中). 桜島の噴煙を多数捕捉.

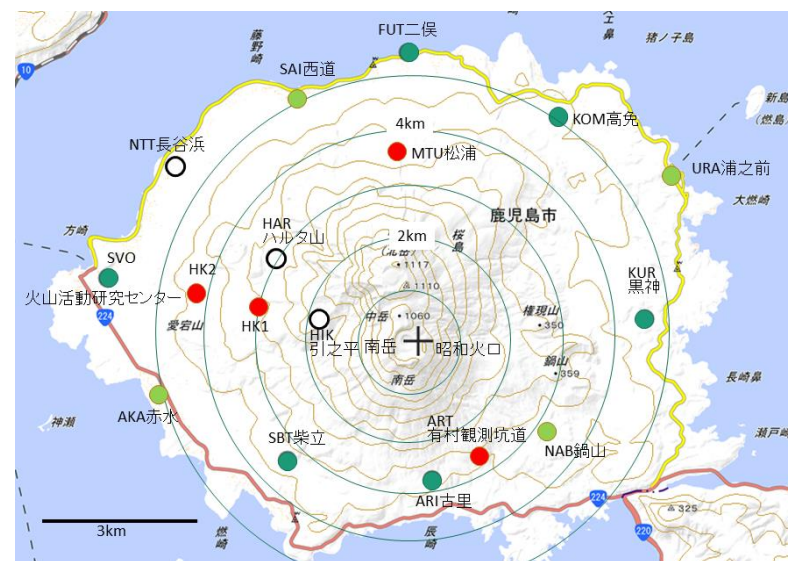


2019/10/19 10:29発生の噴火. 噴石5合目まで到達.
噴煙は雲のため目視では噴煙到達高度は確認出来なかったが, レーダーでは可視化できた.

- ディストロメータ4台購入済み, 設置準備中
- GNSS2台設置済み, 観測継続中



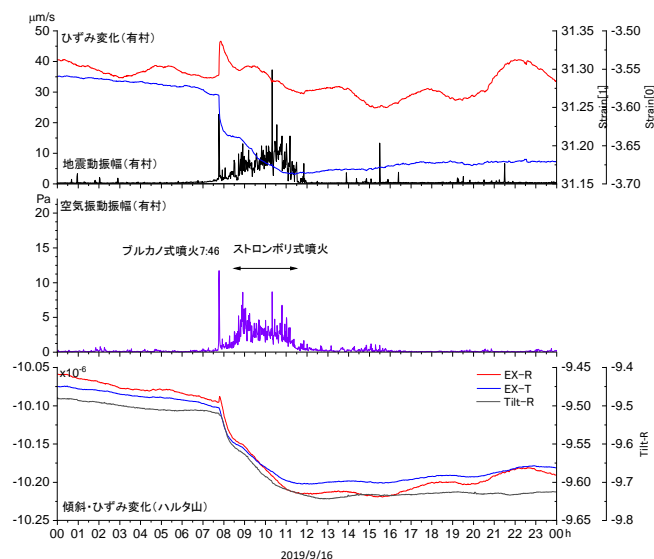
GNSS設置位置図(白丸が令和元年度)



ディストロメータ設置予定位置図(黄丸が令和元年度)

D2:リアルタイムの火山灰ハザード評価手法の開発

火山灰拡散予測の高速化技術開発



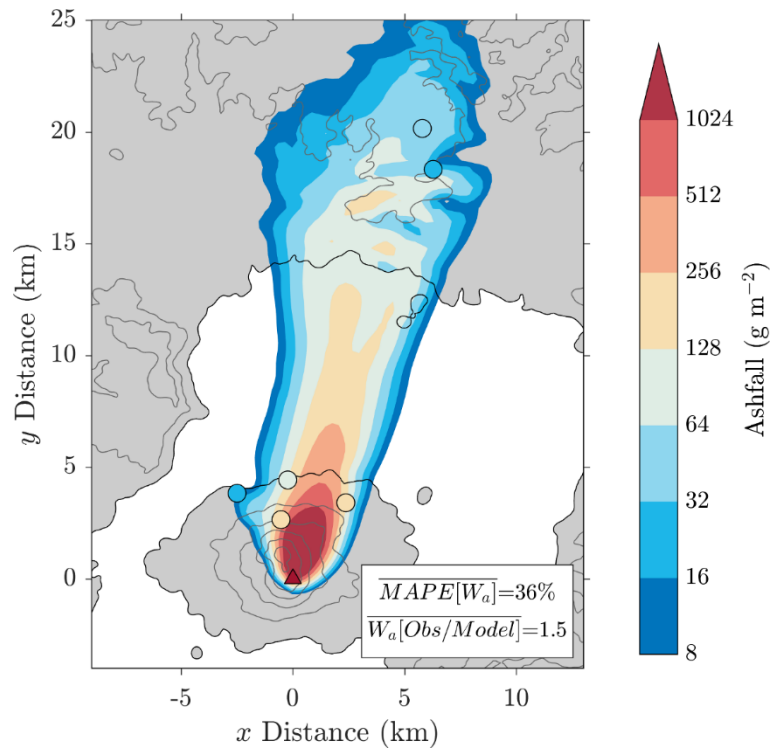
新島観測井の地震計、傾斜計の改修作業



観測計器は回収済みであるが、再設置作業において予定深度に到達せず、完了に至っていない(来年1月を予定).



火山灰拡散予測の高精度化技術開発



2019年7月28日の爆発による火山灰拡散予測. この噴火により鹿児島空港では27便が欠航した.

この他, 多数の噴火について風予測モデルを試行中

噴石模型落下実験(桜島, 2019年10月29日～31日)

大気中の風速場その場観測も同時期に実施した.
まだ, ライダーと並行観測を行い, 後方散乱強度とPM2.5の濃度を比較した.

D3: 火山災害対策のための情報ツールの開発

周知啓発教育用コンテンツの開発

自治体防災担当者からのニーズ(情報へアクセスしづらい、定期的な研修が必要、住民向け説明用の素材が欲しい等)に対応するべく、周知啓発教育用コンテンツ試作版を開発した。

周知啓発教育用コンテンツ試作版(ポータルサイト)のトップページ



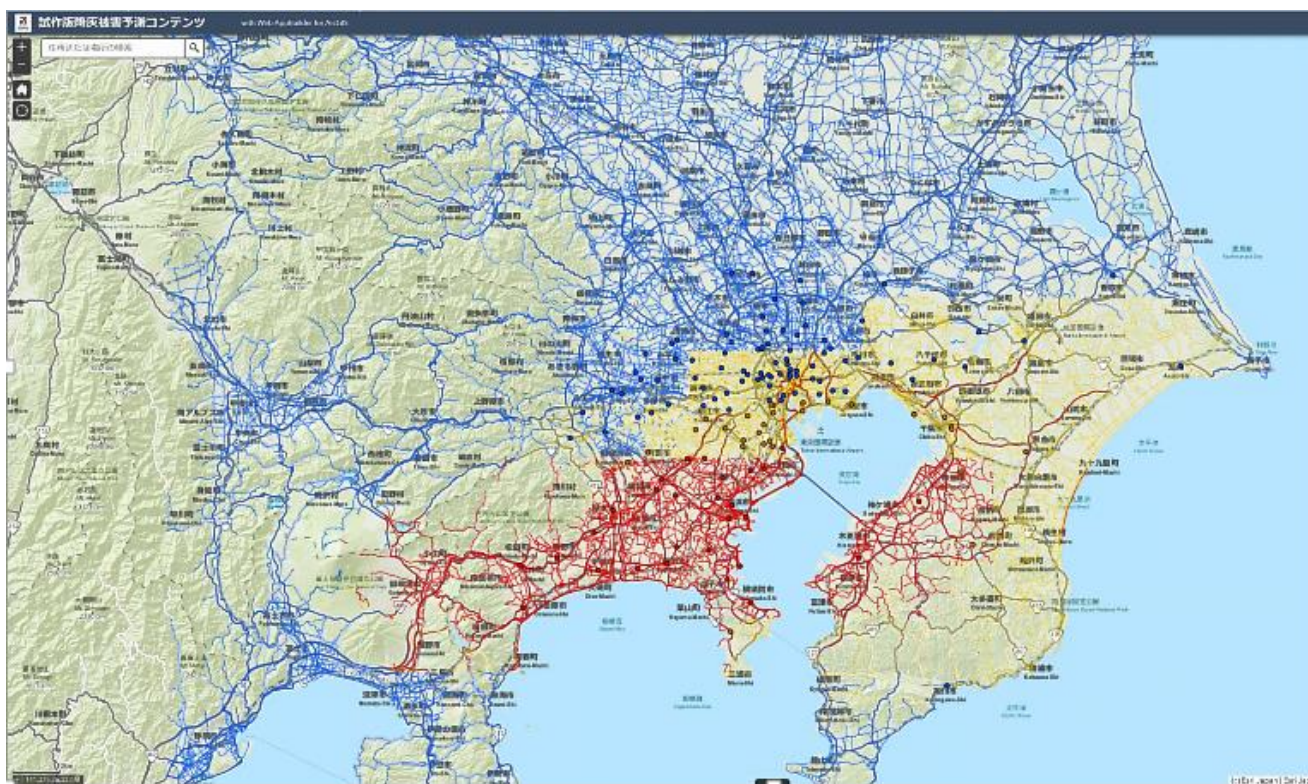
本試作版は、火山(現象、災害、防災等)に関する様々な情報(データ、資料、画像、動画、教科書等約300の情報コンテンツ)にワンストップでアクセスすることが可能なポータルサイトとして開発された。他にGIS版ハザードマップや研修プログラムも整備し、これらを利用し自治体防災担当者を対象とした研修と訓練を実施する(令和2年2月実施)。また本試作版の試用に関する全国自治体への周知を、火山防災特別セミナー(令和元年10月28日)及び火山防災協議会連携連絡会議(令和元年11月18日)にて行った。

D3: 火山災害対策のための情報ツールの開発

降灰被害予測コンテンツの開発

昨年度までの降灰実験(対象:エアコン室外機、開放型冷却塔)で得られた結果と内閣府の報告書や研究論文等に基づいて、都市部の災害拠点病院やインフラに対する降灰深の閾値を設定し、降灰情報(降灰観測データや降灰シミュレーションデータ)と併せてGIS上で被害予測を提示した。

降灰被害予測コンテンツ(試作版)



他に、火山現象による社会活動への影響について調査するために、ハザード強度と直接被害の関係について火山事象及び曝露対象別に整理した。
それから、多くの避難施設等で考えられる木造建物の屋根の降灰荷重に対する安全性を検討するため、限界降灰深について整理した。

D3: 火山災害対策のための情報ツールの開発

避難・救助支援コンテンツの開発

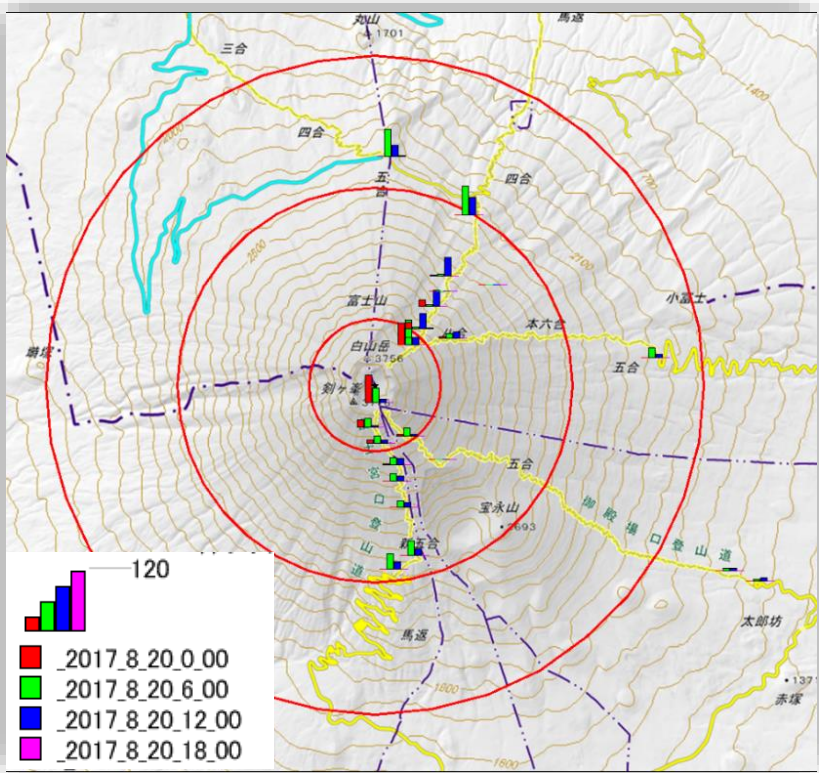
登山客の動態情報を地図上で可視化する避難・救助支援コンテンツ試作版を開発した。本コンテンツでは山小屋や避難豪等の位置情報と重ねることで、登山客にとって有益な防災情報が得られる。またハザード情報と重ねることで人的被害推定が可能となり、平時の避難計画策定に際して有効な情報が得られる。



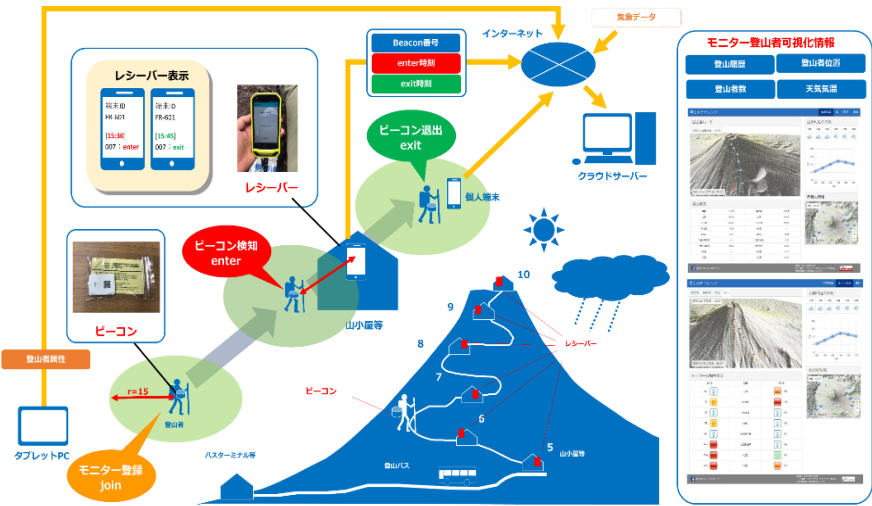
2014年御嶽山噴火(日経新聞HPより)

避難・救助支援コンテンツ(試作版)

本コンテンツのインプットデータとして、富士山及び御嶽山における登山者の動態データを使用(左下図)。
※来年度以降他の火山でも同様のデータを取得予定。



○富士山及び御嶽山における登山者動態データの取得



富士山における登山者動向把握実験(富士山チャレンジ)。本実験では、約3000人の登山者の所在を2時間で把握することに成功。御嶽山でも同様のシステムを利用した実験が行われた。