

課題B-1 新たな技術を活用した火山観測の高度化 ① 課題概要

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

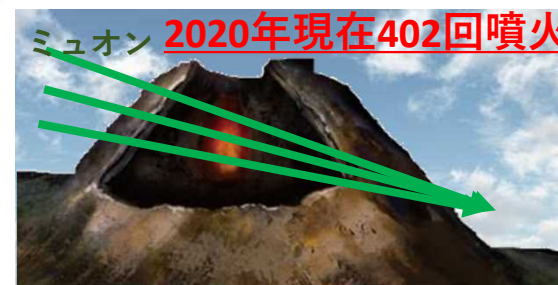


従来の4倍を超える画素を提供する事で、より鮮明な火山透過像を提供

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」

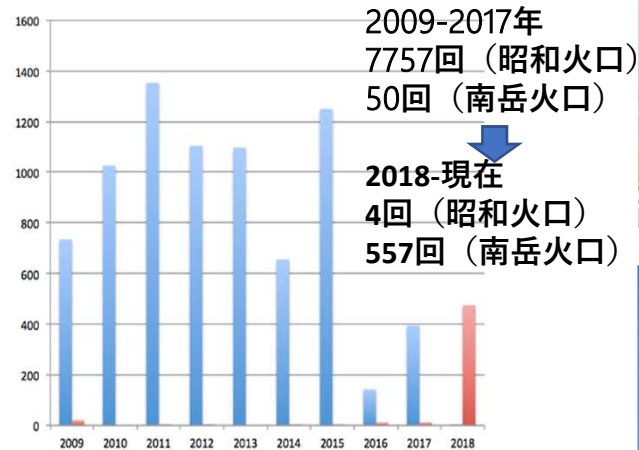
鹿児島市中心部から火口まで10km（上野-品川間）



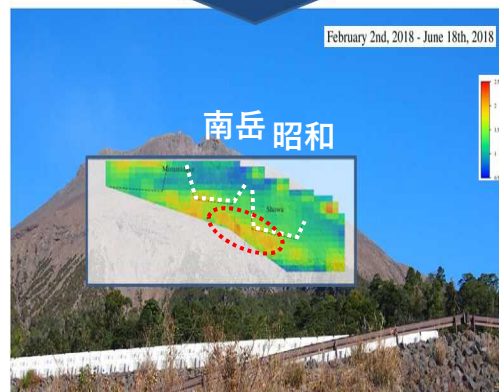
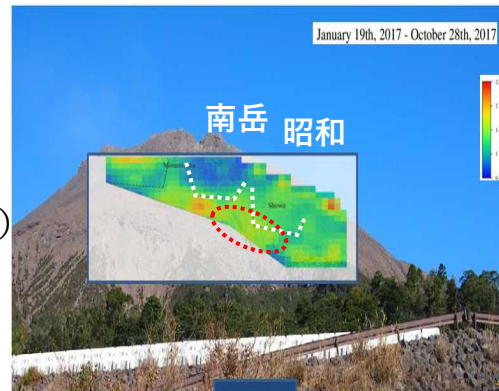
課題B-1 新たな技術を活用した火山観測の高度化 ②得られた科学的知見

(～2019年) 噴火後、活発だった昭和火口の下にプラグ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。



昭和火口
2019年以降 0回



Olah, Tanaka, Varga et al. (2019) GRL

火道がプラグされ、南岳火口から2018年3月以降噴出

解釈

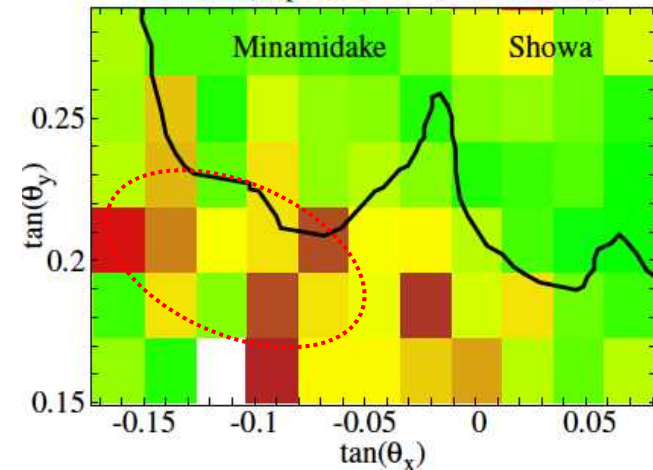
だが、これがどのような過程を経て形成されていったのかは不明。わかれば噴火推移の予測に役立つ。

2
0
1
9

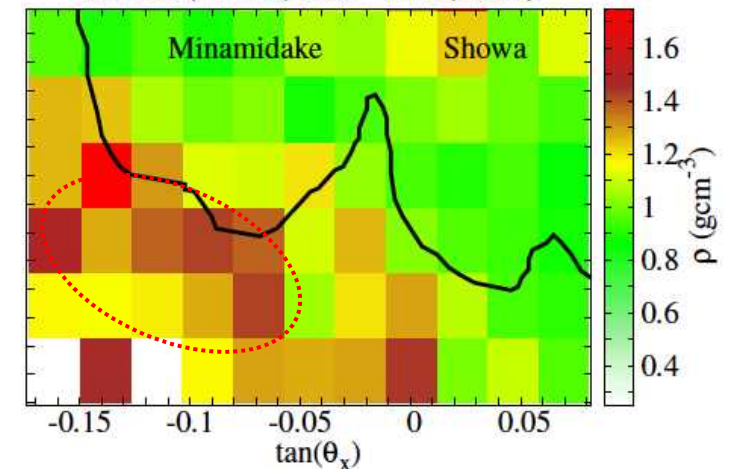
2
0
2
0

(2020年) 噴火後、活発化した南岳火口の下にプラグ様の高密度構造が成長している。

Run 5.1 (Sep. 1, 2019 - Jan. 15, 2020)



Run 5.2 (Jan. 15, 2020 - Jun 1, 2020)



Olah, Tanaka, Varga et al. Submitted to AGU

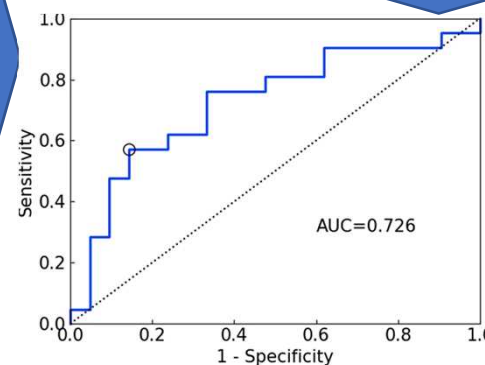
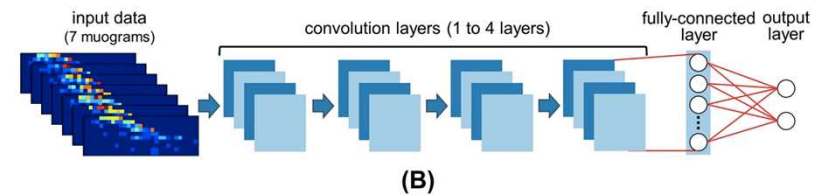
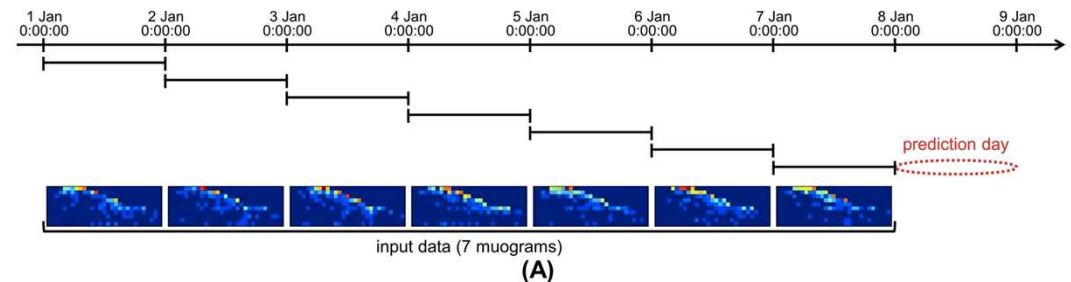
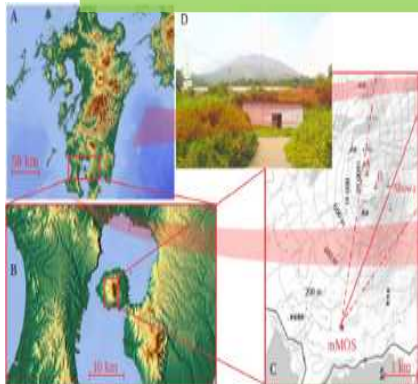
課題B-1 新たな技術を活用した火山観測の高度化 ③得られた新解析技術

(～2019年) 1日1枚のミュオグラフィ画像を提供できる環境を整備

(2020年) 毎日のミュオグラフィ画像データを機械学習(CNN)することで翌日の噴火確率を導出する技術(MuNET)を開発



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

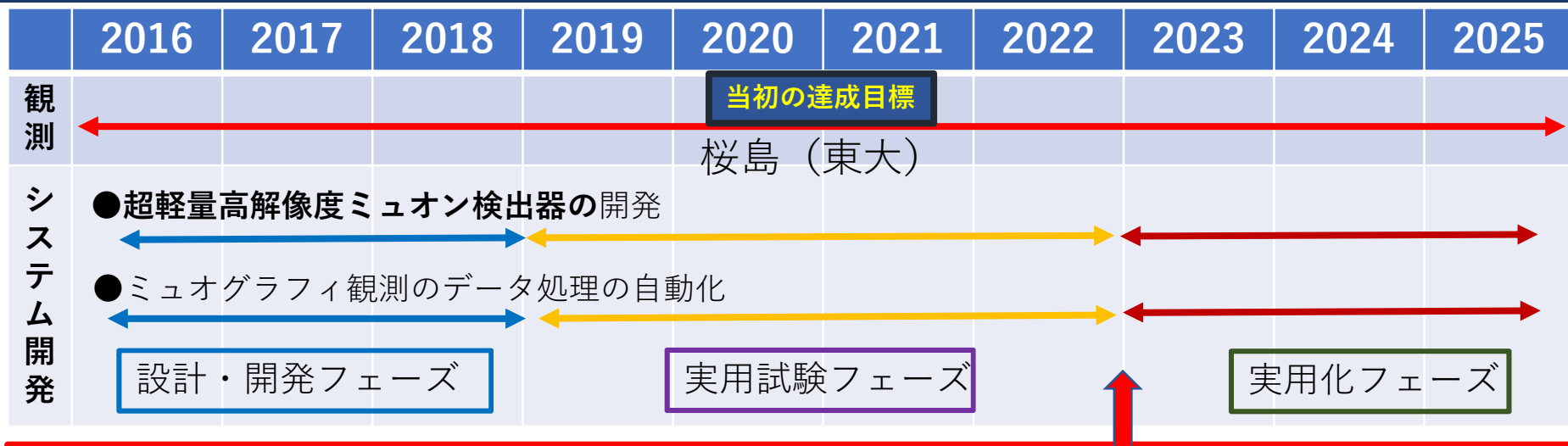


噴火予測と実際の噴火の有無の一致を示す正答 (accuracy) は71%で、過去7日間に噴火した日数※を基にした予測の正答率の57%を上回った。

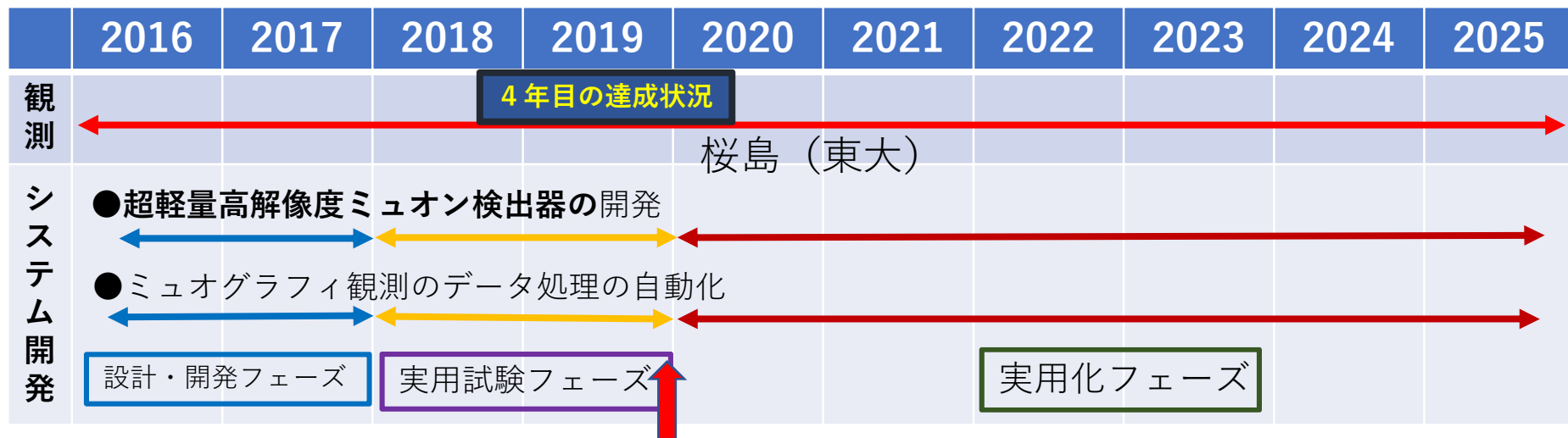
2014年-2016年、464セットの連続した7日間のミュオグラムを学習 (その間に昭和火口では1439回の噴火があった。)

Nomura, Hayashi, Tanaka et al. (2020) Sci.Rep. (※7日中4日以上噴火していれば噴火と判定)

課題B-1 新たな技術を活用した火山観測の高度化 ④目標達成度



事業開始後7年目に「1日1枚の高解像度透視画像（画素数3481）の提供を開始」及び「高解像度火山透視画像自動生成、データベース自動構築システムの試験運用」



事業開始後4年目において目標画素数を大きく上回る24,639画素の透視画像自動生成、データベース自動構築システムの試験運用に到達した。

課題B-1 新たな技術を活用した火山観測の高度化

⑤課題の実施体制

業務項目	担当機関・担当責任者
1) ミュオグラフィ技術の高度化に関わる研究開発	国立大学法人東京大学地震研究所 田中 宏幸 (協力機関・協力責任者：ハンガリー科学アカデミー・ウィグナー物理学研究センター・Varga, Dezso)
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	国立大学法人東京大学地震研究所 田中 宏幸 (協力機関・協力責任者：国立大学法人東京大学医学部附属病院・林 直人)
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	国立大学法人東京大学地震研究所 田中 宏幸
4) ミュオグラフィの正しい理解の社会への普及活動	国立大学法人東京大学地震研究所 田中 宏幸 (協力機関・協力責任者：関西大学・総合情報学部・林 武文)

本課題の推進において学際・国際連携が必要不可欠であるため、ハンガリー科学アカデミーウィグナー物理学研究センター（ウィグナーRCP）が協力機関として参画。

核医学技術（透視画像診断技術）と火山学との融合を図ることを目的として東京大学医学部附属病院が協力機関として参画。

関西大学・総合情報学部はメディアアート等を活用した情報発信分野において実績があり、ミュオグラフィの理解の普及啓発を目的として参画する。

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

課題Bサブテーマ2に関する令和2年度成果の概要

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

可搬型レーダー干渉計の開発

当初に計画していた基礎的な開発はほぼ終了。**実利用に向けた改良・実験観測、新観測技術の開発を進めている。**

R2年度実施内容・成果:

- DDSを用いたシステムノイズ低減
- 霧島山における計測実験
- 手動方式の開発(軽量化に向けた検討)

衛星SARによる地殻変動情報のデータベース

当初に計画していた解析手法の検討は終了。**システム構築を進めるとともに、追加アルゴリズムの開発、衛星SARを用いた火山研究を進めている。**

R2年度実施内容・成果:

- 自動解析システムの構築
- 2018年本白根山噴火・蔵王山・吾妻山の解析

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)の開発

H28～R1年度

SPIC各カメラセンサを開発

SPIC各プロトタイプを開発

4年目の目標を達成: 2020/3

R2年度

SPIC地上設置型の開発
火山での実験計測

非冷却赤外マルチバンドカメラ 冷却赤外マルチバンドカメラ



可視マルチバンドカメラSPIC-SS



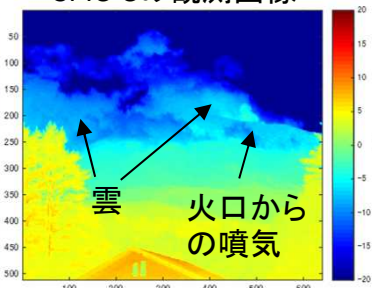
組み込み



浅間山噴煙観測: R2/10(動作確認完了, 曇天:再実施予定)



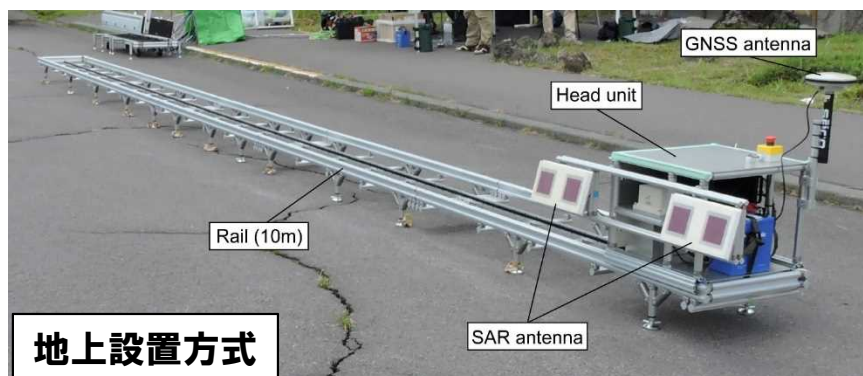
SPIC-Cの観測画像



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

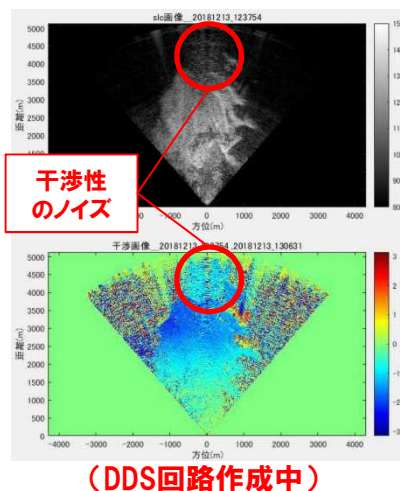
実施内容① 火山観測用可搬型レーダー干渉計の開発

状況に応じて観測方式(地上設置方式、台車(車載)方式、手動方式)を選択し、火山周辺の面的な地表変動を効率的に検出することが可能なレーダーセンサーの開発を進めている。



システムノイズ低減の試み

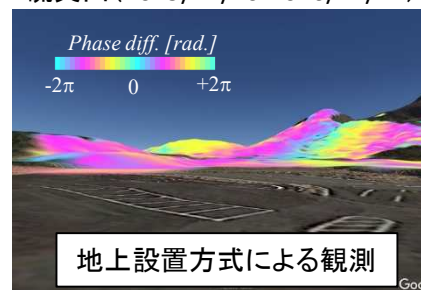
地殻変動検出精度の改良を目的とし、ダイレクトデジタルシンセサイザー(DDS)方式の信号発生器採用によるノイズ低減効果を調査。



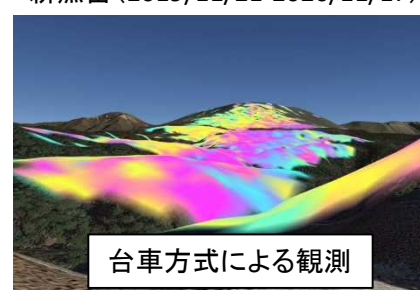
霧島山における計測実験

R1年度(2019/11/19-21)に霧島山の硫黄山・新燃岳の観測を実施。再観測を(2020/11/17-18)に実施し、干渉解析を試みた。

硫黄山(2019/11/20-2020/11/17)



新燃岳(2019/11/21-2020/11/17)



- 地上設置・台車方式による観測データの1年間のペアで明瞭な干渉縞が得られた(長期的な地殻変動の検出にも期待される)。
- 観測から24時間以内に、速報結果をJVDNにアップロード完了。
- 長波長の非地殻変動成分が重畳(原因調査中)。

手動方式の開発

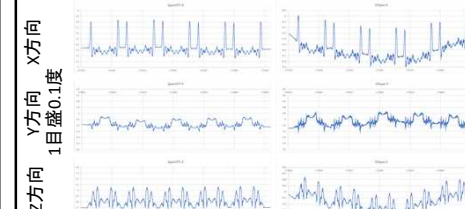
レールに乗せるアンテナ部が重いことによる不安定の解決が必要。軽量化のため、小型の位置・慣性計測装置(SBG社Ellipse-D)の採用を検討。

NovAtel社SPAN-CPT SBG社Ellipse-D



152 × 168 × 89 mm, 2.28kg 46 × 45 × 32 mm, 65g

計測された相対角度の比較

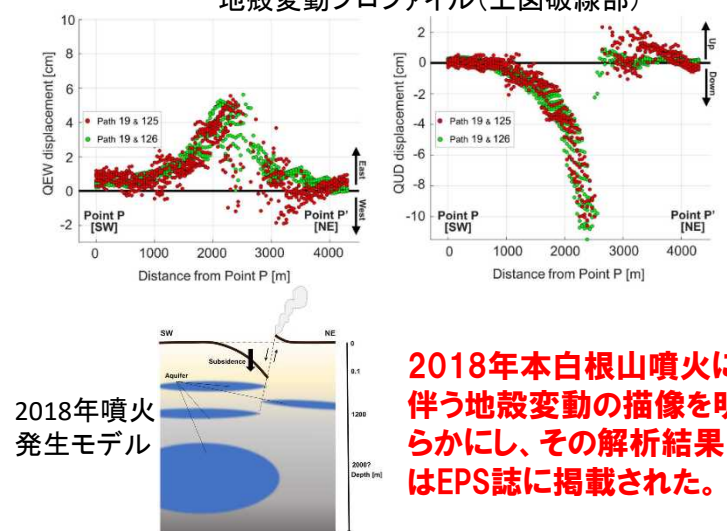
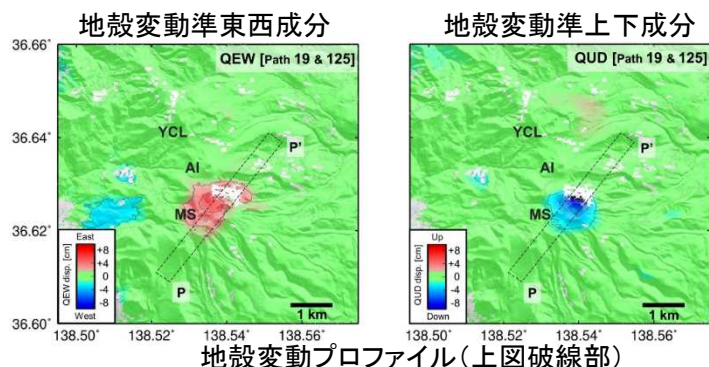


必要とされる精度は得られそう(検討中)

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 実施内容② 衛星SARによる地殻変動情報のデータベース

衛星SARデータの自動解析システムを構築し、得られる地殻変動情報をデータベース化する。
また、衛星SARデータから得られる地殻変動情報を用いた火山研究を進める。

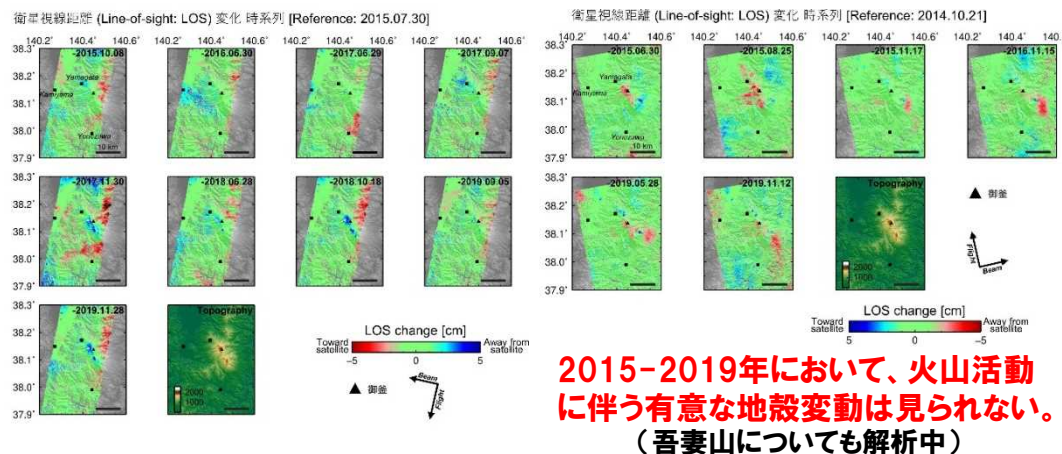
2018年本白根山噴火に伴う地殻変動の解析



2018年本白根山噴火に伴う地殻変動の描像を明らかにし、その解析結果はEPS誌に掲載された。

Himematsu, Y., T. Ozawa, Y. Aoki (2020), Coeruptive and post eruptive crustal deformation associated with the 2018 Kusatsu-Shirane phreatic eruption based on PALSAR-2 time series analysis, *Earth Planets Space*, 72, 116, <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01247-6>

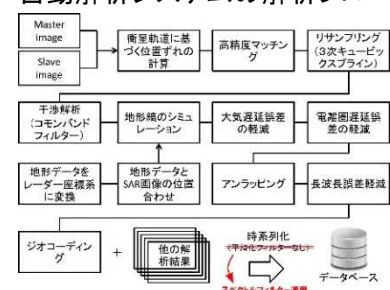
蔵王山の解析(PALSAR-2)



2015-2019年において、火山活動に伴う有意な地殻変動は見られない。
(吾妻山についても解析中)

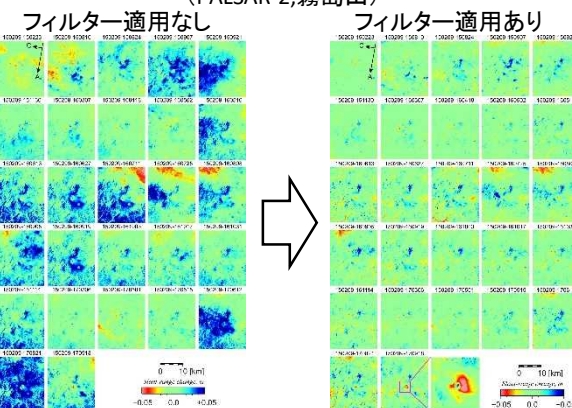
自動解析システムの構築

自動解析システムの解析フロー



ノイズ低減のため、時間方向に短波長、空間方向に長波長の成分を除去するスペクトルフィルターを適用。

SAR地殻変動時系列へのフィルター適用 (PALSAR-2, 霧島山)



(自動解析システム構築中)

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 実施内容③ SPICの開発、スペクトル推定用データベース構築

	H28	H29	H30	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
計画 a. SPIC	3つのカメラ(SPIC)および画像分光 前置光学系(ISH)のプロトタイプ開発				各カメラを小型化し統合した, 地上設置型, 車載型装置の開発				車載型を改良した航空機搭載型 装置の開発, 装置の試験提供	
計画 b. 岩石ス ペクトル	スペクトル計測・データベース構築手法 の開発				データベース試作				データベース作成・提供	
	設計・開発フェーズ				実用試験フェーズ				実用化フェーズ	

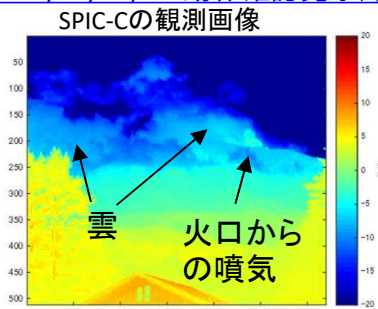
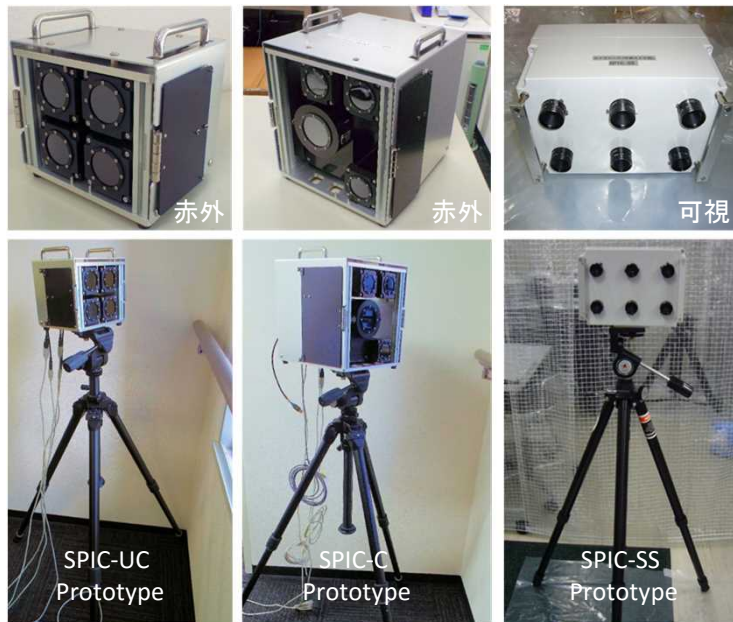
計画a. **SPIC各プロトタイプ完成(2020/3)**
可搬型, 三脚搭載, 耐環境仕様
(野外での装置試験が可能になった)



プロトタイプで試験観測実施
地上設置・車載型開発

耐衝撃性向上
航空機搭載型開発

R2年度: ①浅間山噴煙観測: (2020/10/20, 21: 動作確認完了), ②地上設置型開発中

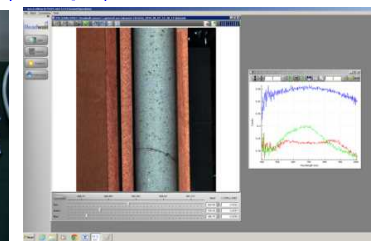


関係機関
(気象庁等)へ
装置を試験
提供予定
(2025年)

計画b. **コア試料の画像分光計測を継続実施(DB化)**



R2年度
コア箱全体
をスキャン
する大型試
料ステージ
を開発中



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 実施内容③ SPICの開発

計画:a. SPICの開発:①浅間山噴煙観測実施, ②地上設置型開発中

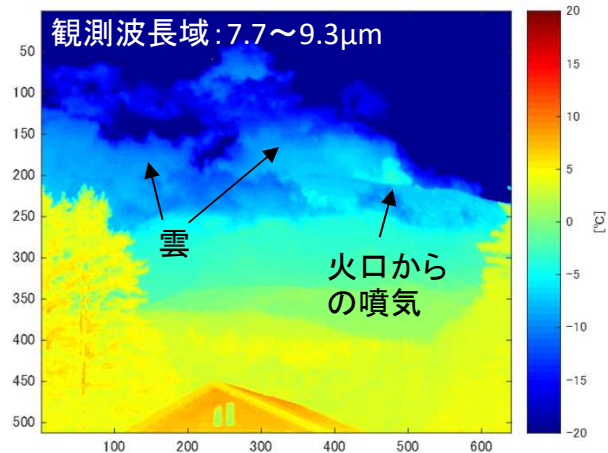
① 浅間山噴煙観測実施(R2/10):プロトタイプで試験観測実施 ⇒ 装置開発にフィードバック

浅間山の噴煙試験観測実施(2020/10/20,21):動作確認を完了

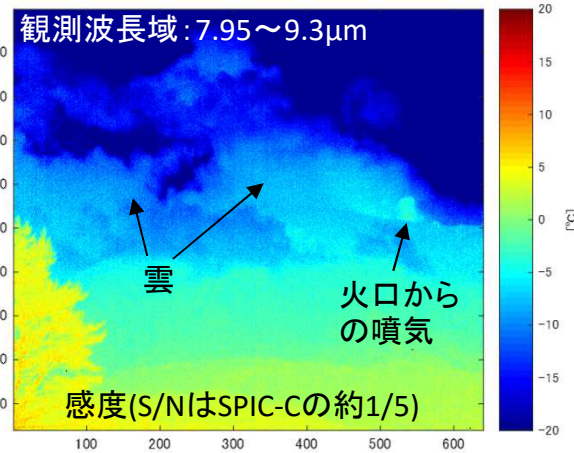


観測結果(2020/10/20 15:38 17s 同期画像)

SPIC-C(冷却赤外カメラ:SO₂高感度検出用)



SPIC-UC(非冷却赤外カメラ:SO₂検出用)

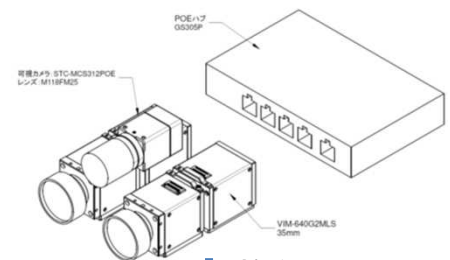


天候不良, 山頂部に雲(噴気は一部確認, SO₂計測は晴天の背景が必要)⇒再観測計画中

↓ (オンサイト校正技術の重要性確認)

② 地上設置型開発中

GigE(ネットワークカメラ)
赤外2波長カメラ+可視カメラ



↓ 格納



屋外ハウジング

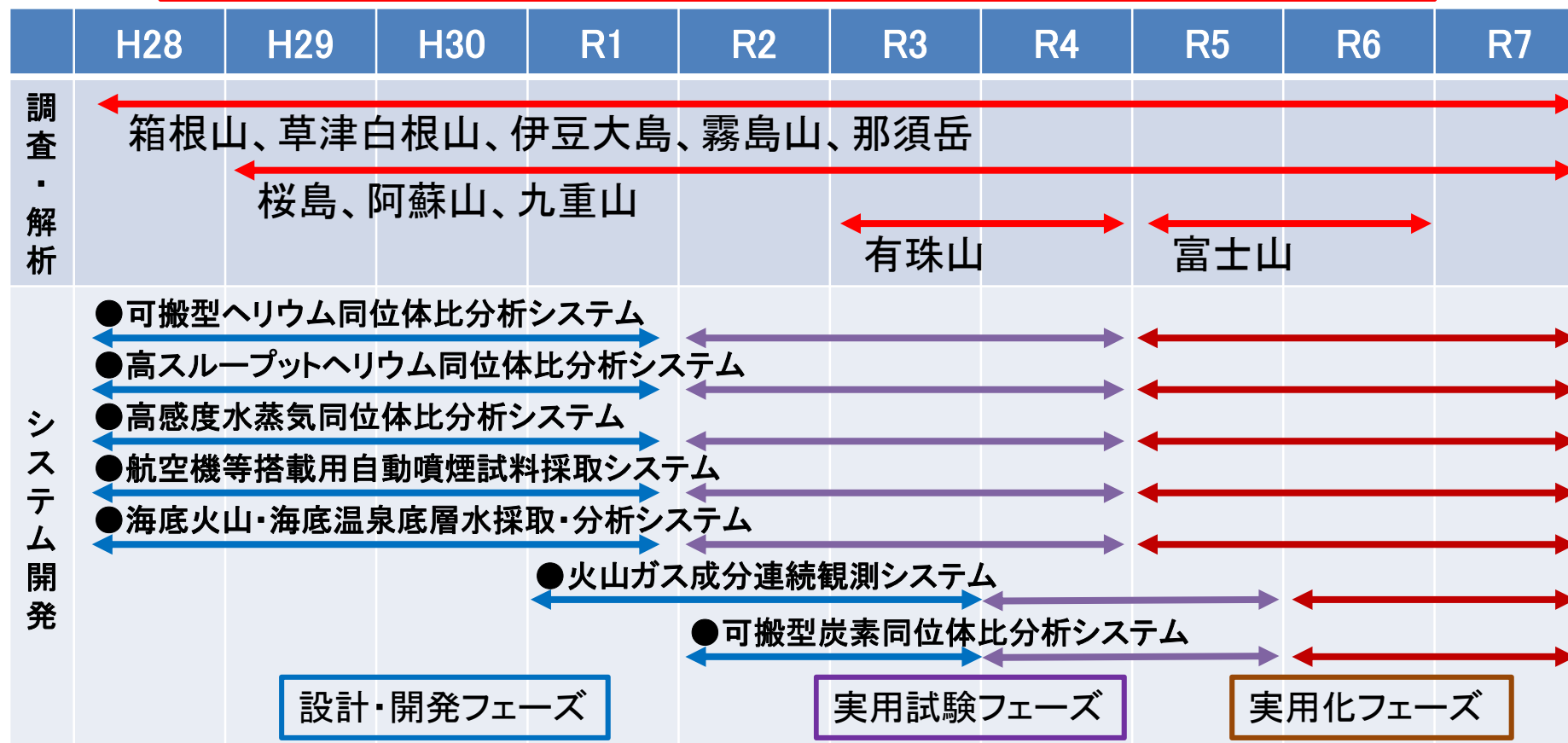
非冷却赤外
2波長
カメラで
SO₂を
可視化



SPIC地上設置型完成イメージ

サブテーマ3:地球化学的観測技術の開発 (1)

火山ガスの地球化学的観測による噴火切迫性評価(火山噴火予測)手法の開発
 これまでの主たる成果: 火山ガス組成・同位体比に基づく活動度評価の高度化



今年度の主たる成果

- 火山活動に対応した化学組成・同位体比変動の検出
- 噴煙試料を用いた噴気孔同位体比の決定
- 噴煙試料自動採取装置、可搬型ヘリウム分析装置の評価
- 火山周辺のヘリウム・炭素同位体比マッピング



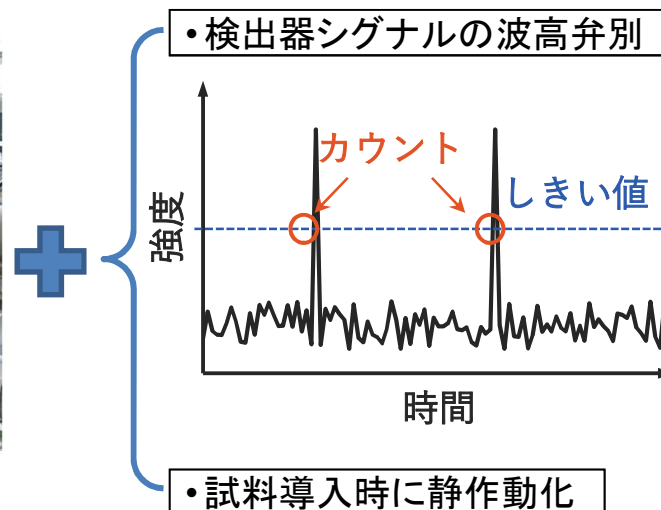
- 火山ガス組成・同位体比に基づく活動度評価の高度化
- マグマ成分の寄与率の変動
 - 安全な場所での高精度観測

マグマ起源ヘリウムのオンサイト測定技術の開発(東大)

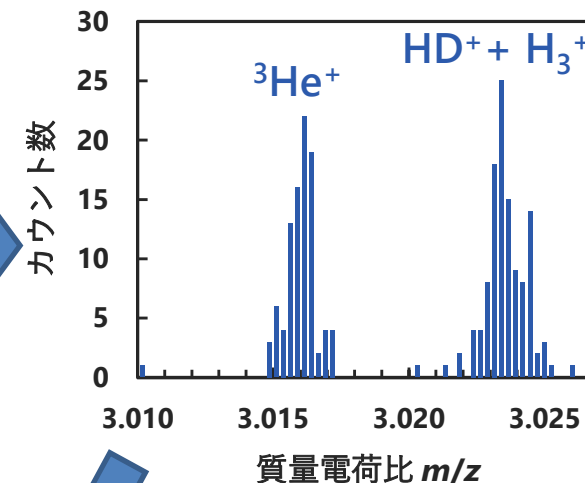
□可搬型質量分析計の実証実験



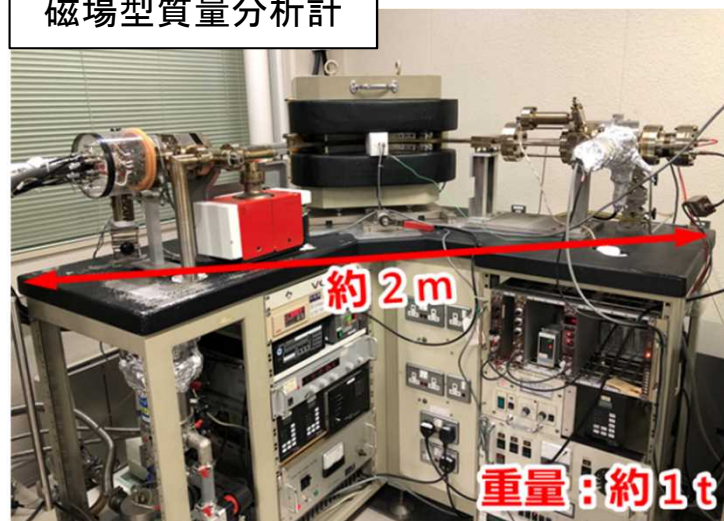
可搬型質量分析計“infiTOF”



6000倍の高感度化



磁場型質量分析計



- He中10万分の1以下しか存在しない極微量の ^3He を、可搬型装置で初めて検出
- 通常の採取試料(50mLボトル)で分析が可能

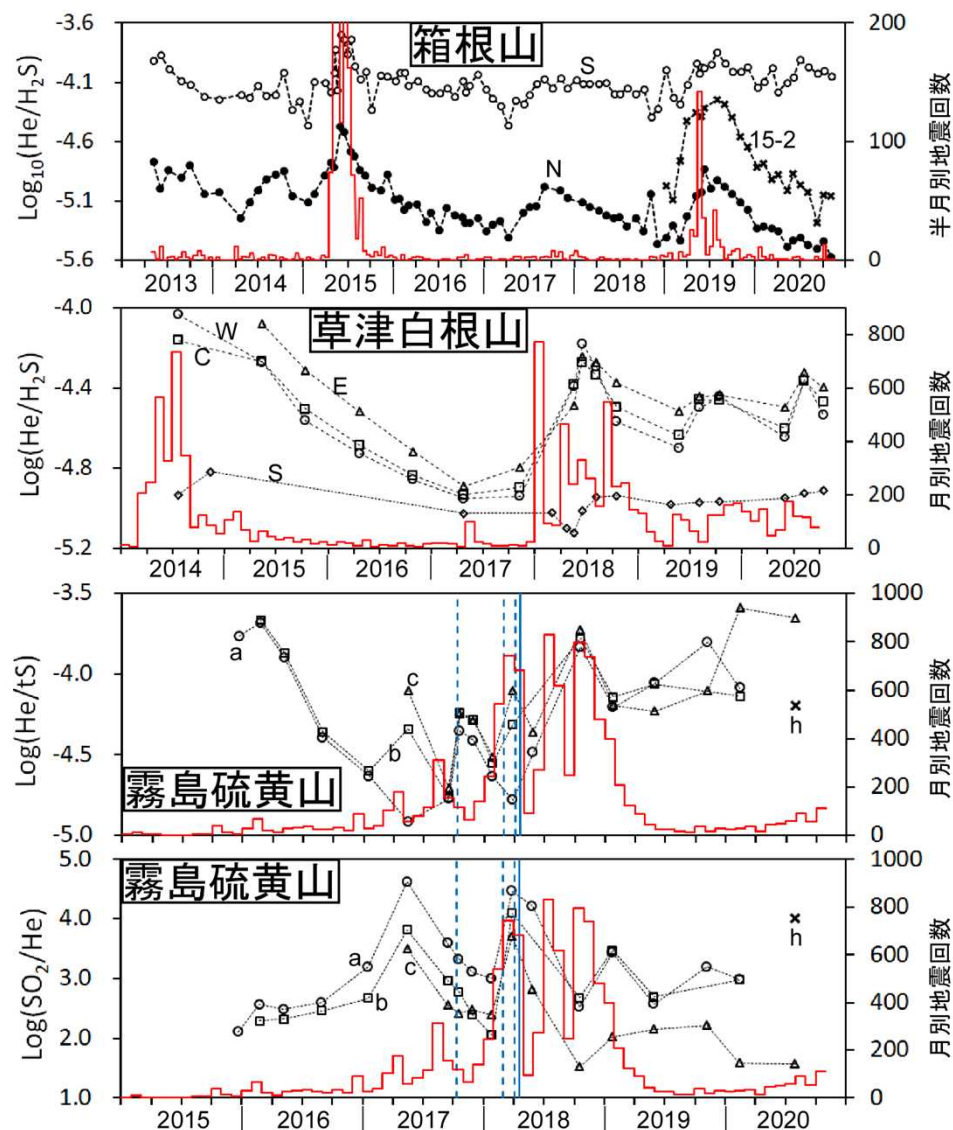
霧島山硫黄山噴気の $^3\text{He}/^4\text{He}$ の測定結果

試料	測定値	参照値*
硫黄山噴気C	4.8 ± 1.0	7.56 ± 0.08
硫黄山噴気H	7.9 ± 1.1	7.43 ± 0.07

*磁場型質量分析計で測定

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



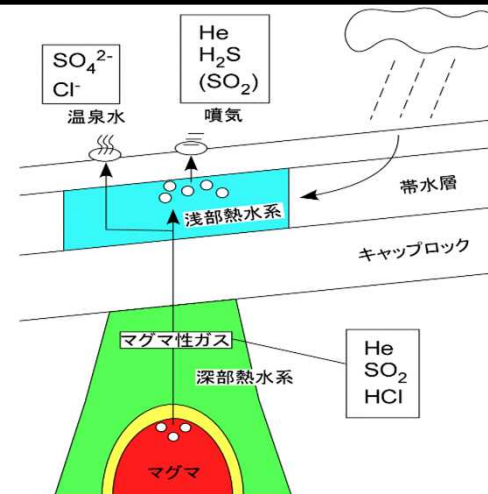
箱根山・草津白根山

活発化(地震回数増加・噴火)に対応しHe/H₂S比が増加
→活動期にマグマ成分であるHeの噴気放出量が増大したが、硫黄成分は浅部熱水系でバッファーされH₂Sの噴気放出量は増加しなかった

霧島硫黄山

活発化(地震回数増加・噴火)に対応しHe/(H₂S+SO₂)比が減少

→活動期にマグマ成分であるHeの噴気放出量が増大したが、それ以上に硫黄成分の噴気放出量が増大した。浅部熱水系で静穏期に有効に働いていた硫黄成分除去効果が、活動期に低下した。SO₂/He比は活発化の指標として有用。



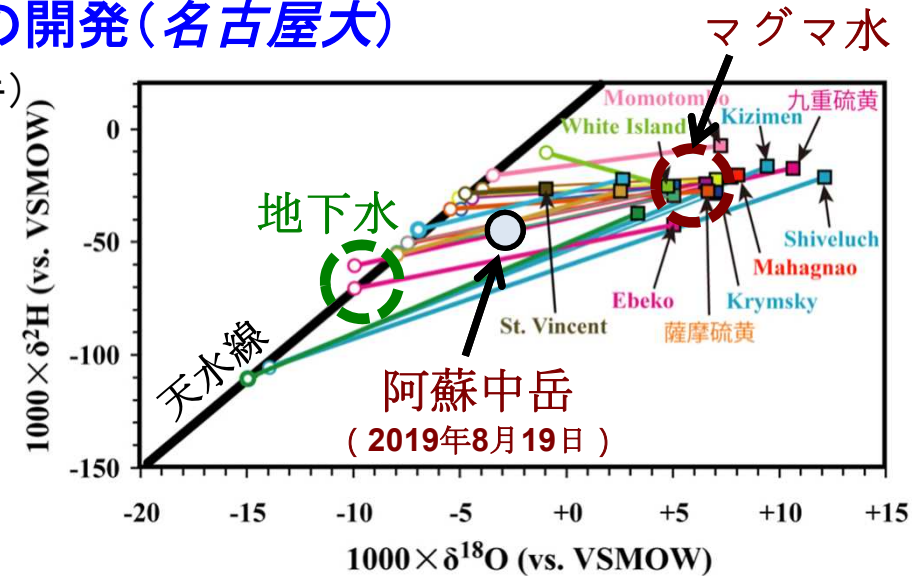
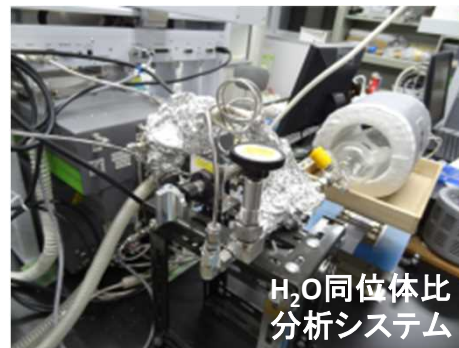
霧島硫黄山の
マグマ熱水系
モデル

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 (4)

噴煙の水蒸気・水素の同位体比測定技術の開発(名古屋大)

□ 噴煙中水蒸気の水素・酸素同位体比測定(阿蘇中岳)

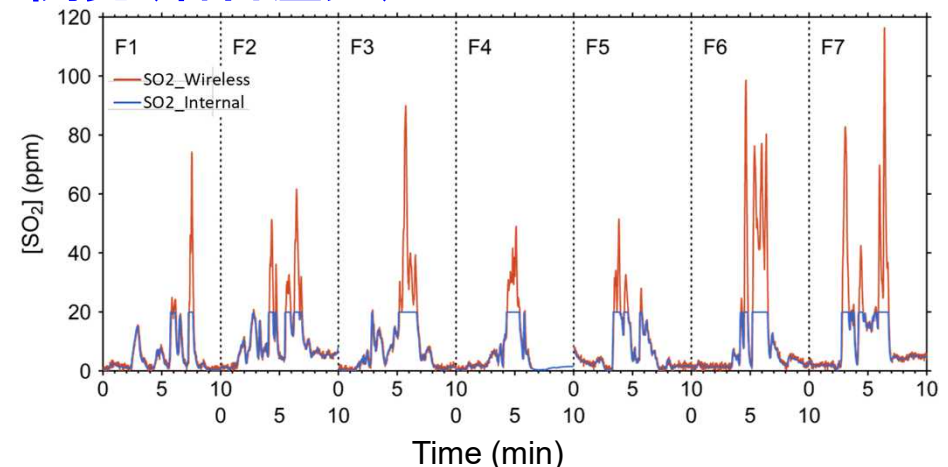


噴煙から推定した阿蘇中岳から放出される水蒸気の水素・酸素同位体組成と、世界の沈み込み帯火山の高温噴気ガス中の水蒸気の比較

自動噴煙試料採取装置(ドローン搭載用)の開発(名古屋大)

□ 動作試験兼用観測実施

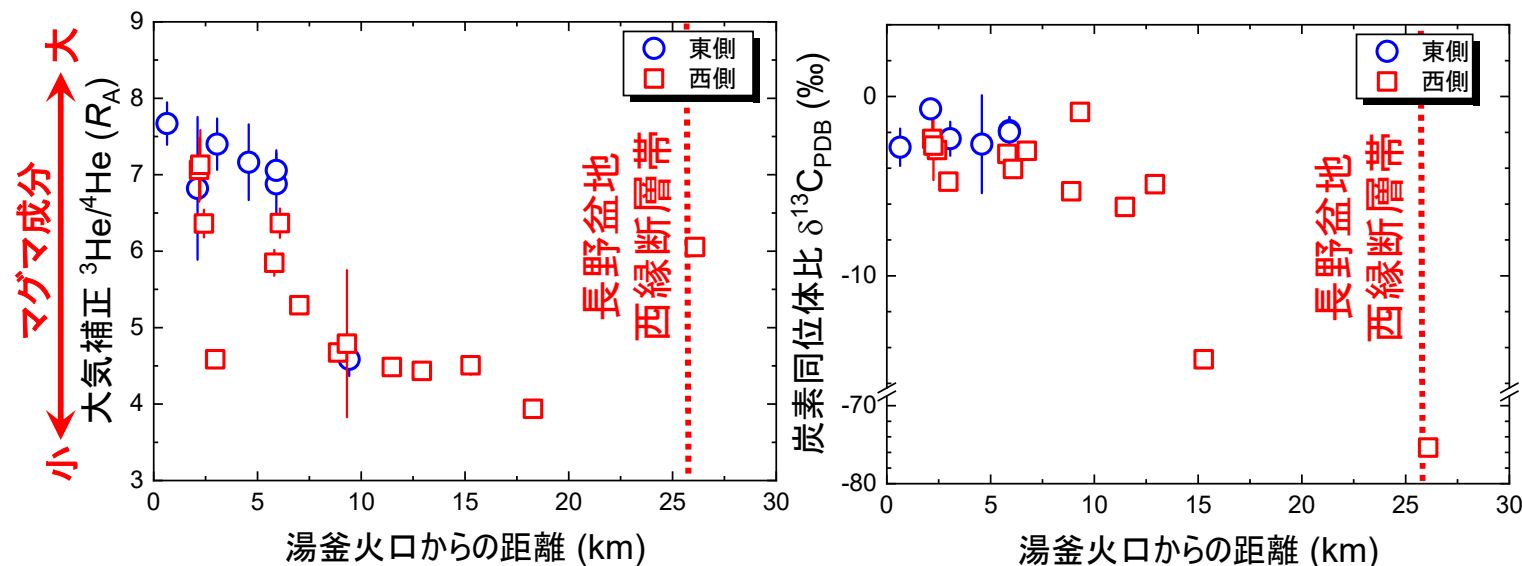
- ・2020年10月20日@阿蘇山中岳第一火口
- ・京大火山研究センターのDJI S1000に搭載・観測
- ・動作[SO₂]閾値=19.9 ppm (2020年)



各フライト(F1-F7)におけるフライト中のSO₂濃度の時間変化
(赤線で示した20 ppm以上の領域は、実質的に試料採取時間に相当)

火山体周辺の同位体比マッピング (東海大・東大・気象研)

□ 草津白根山周辺のヘリウム・炭素同位体比



• マグマ起源ヘリウム ($^3\text{He}/^4\text{He} \approx 7.6R_A$)、炭素 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} \approx -3\text{‰}$) が火山から遠ざかるにつれ地殻起源ヘリウム ($^3\text{He}/^4\text{He} < 0.1R_A$)、生物起源炭素 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} < -20\text{‰}$) により希釈。

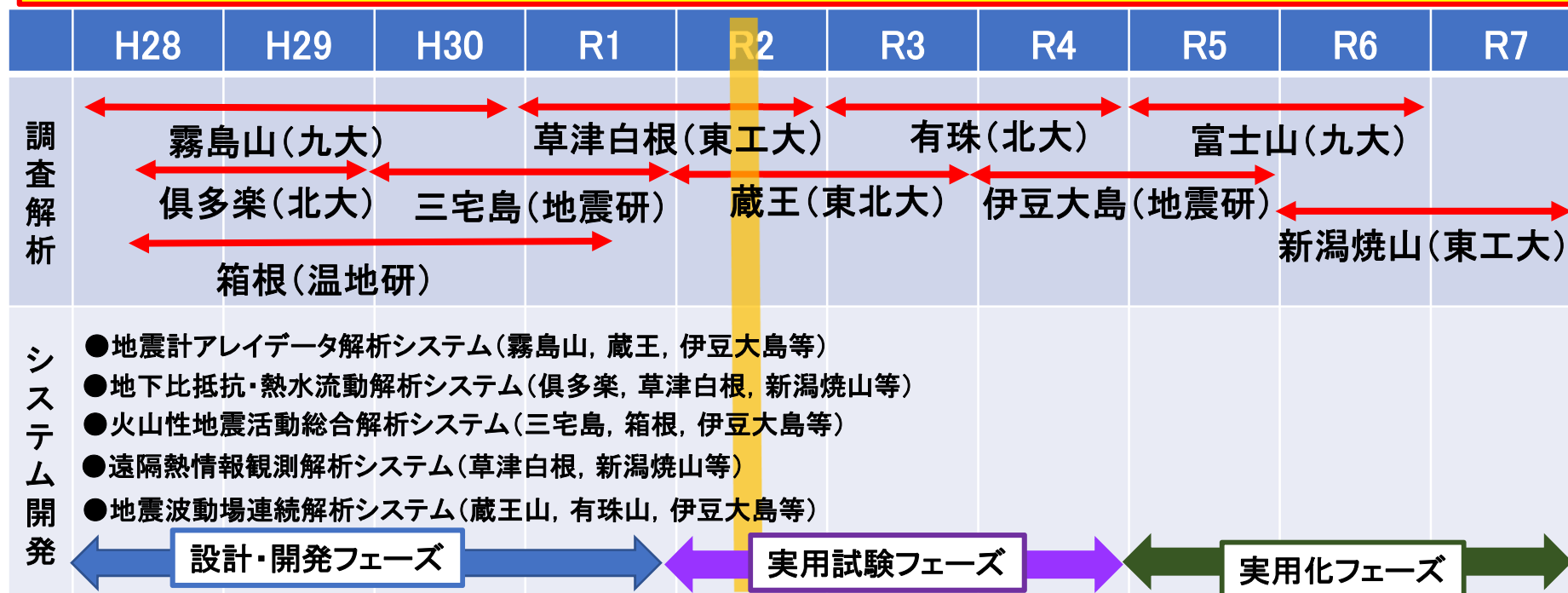
• マグマ起源流体は火山中心から20 km 周囲まで到達。
• 断層近傍では異なる起源の流体が寄与。



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

今年度からの目標:

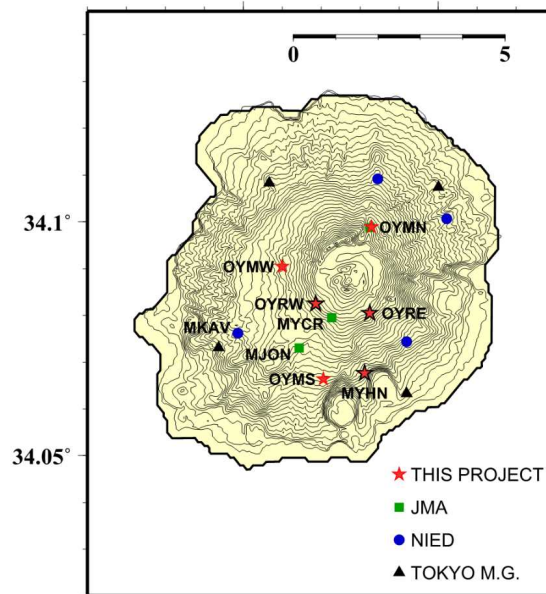
比抵抗構造、地震活動、地盤変動の相互関係に着目した噴火切迫性評価手法の開発

今年度の主な成果:

2000年噴火以降の三宅島の活動、比抵抗構造と地震活動の関係
草津白根山の広域比抵抗構造と周辺の地震活動

サブテーマ4: 火山内部構造・状態把握技術の開発 - 三宅島(1)

2000年噴火後の三宅島地震活動, 膨張源(マグマ溜まり)、比抵抗構造

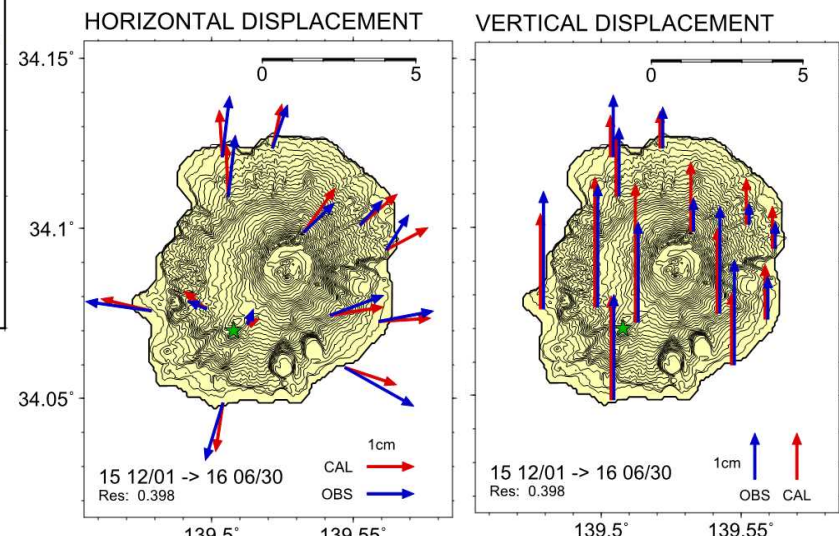
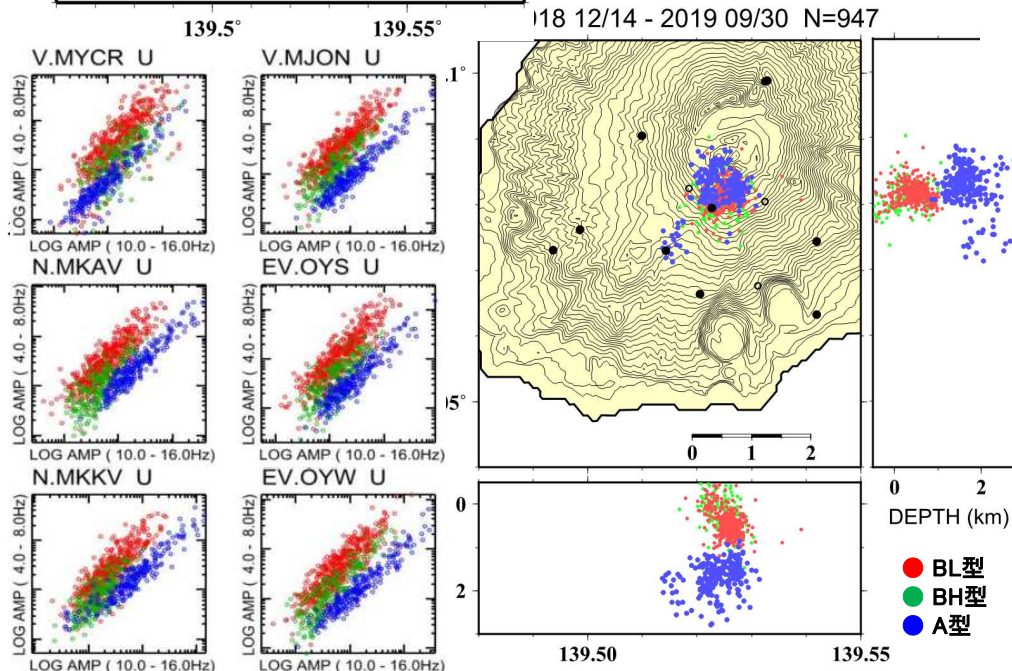
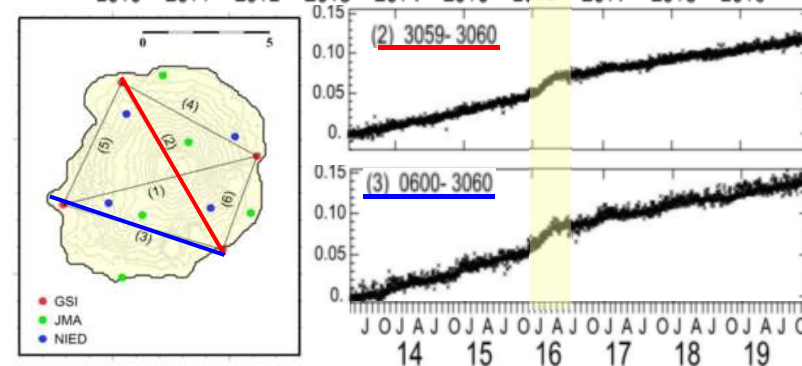
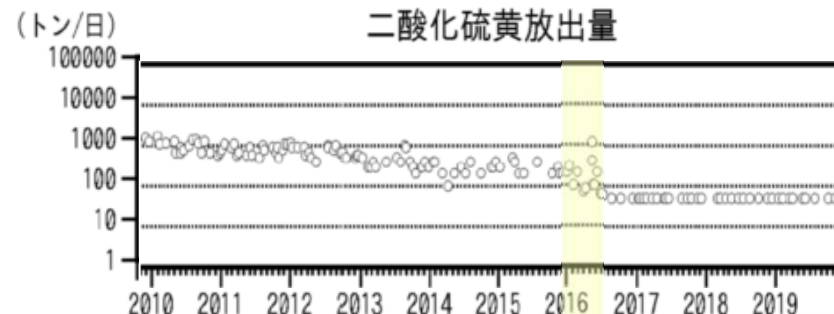


速度構造 $V_p/V_s=1.75$

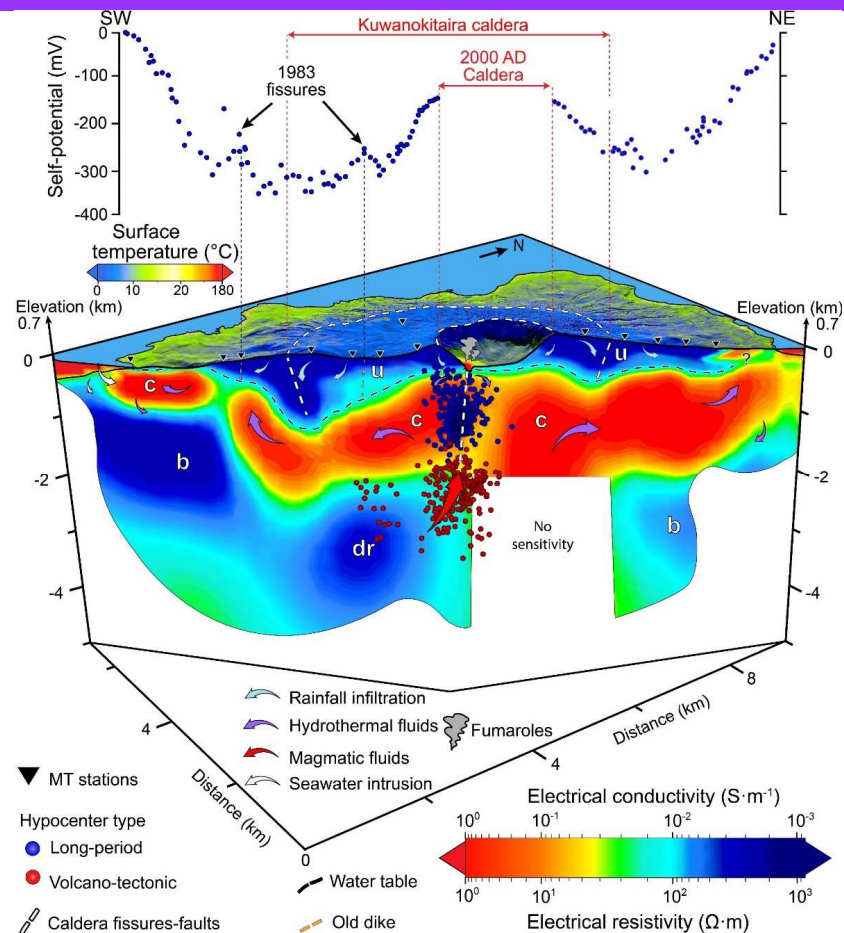
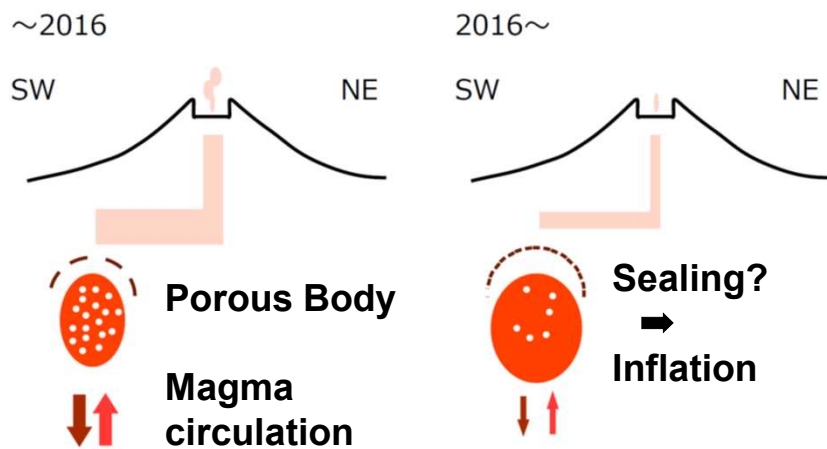
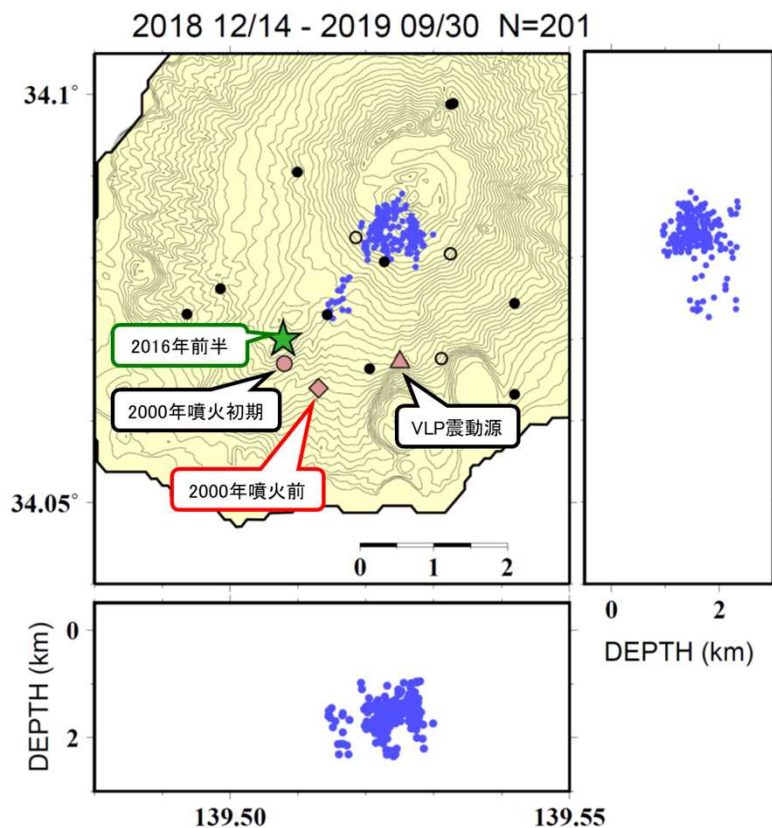
層	厚さ	P波速度
第1層	1.0 km	2.5~2.8 km/s
第2層	2.5 km	3.2~4.0 km/s
第3層	6.0 km	5.4 km/s
第4層	10.0 km	6.8 km/s
第5層	半無限	8.2 km/s

観測点補正
震源決定反復により推定

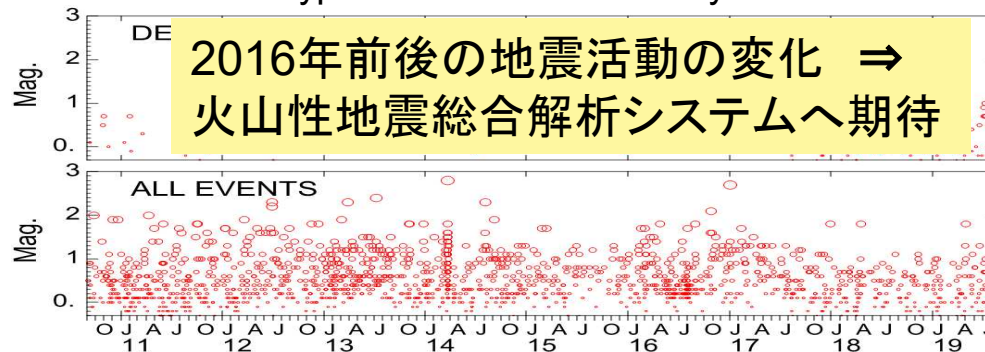
三宅島の長期的な活動推移 (第145回火山噴火予知連絡会 気象庁資料)



サブテーマ4: 火山内部構造・状態把握技術の開発 - 三宅島(2)

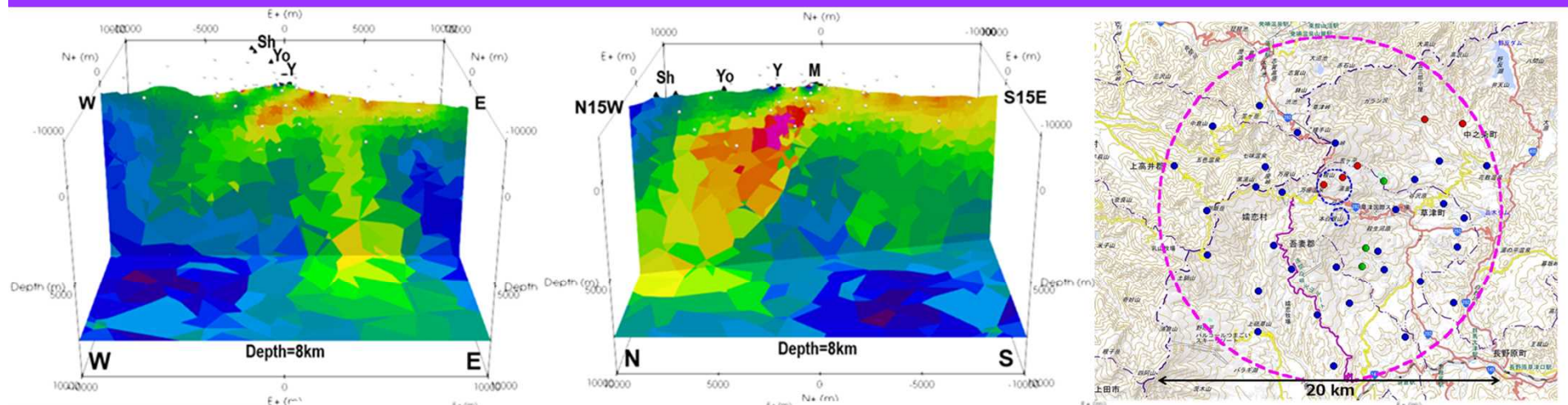


Hypocenters determined by JMA



YM1

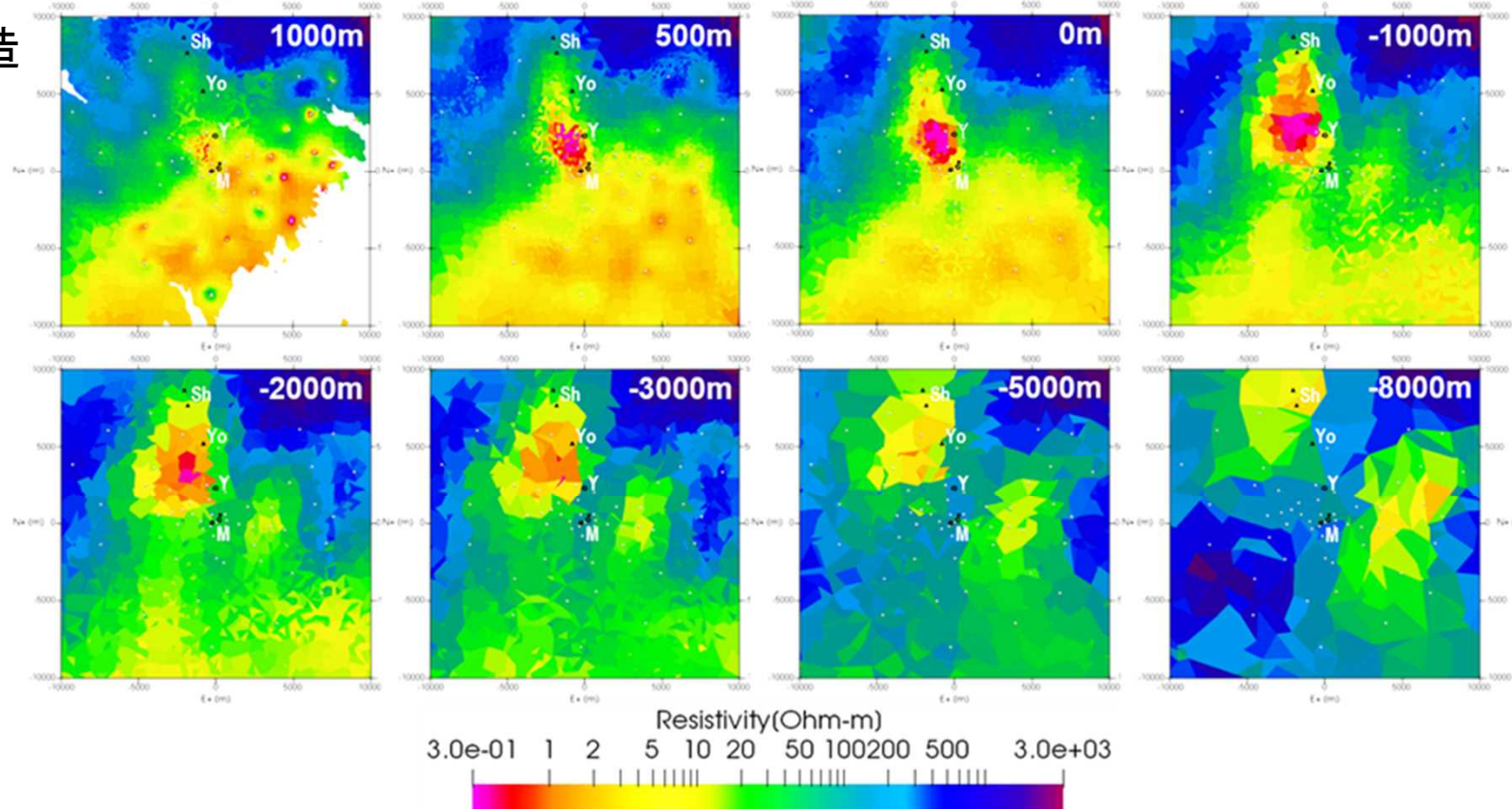
サブテーマ4: 火山内部構造・状態把握技術の開発 - 草津白根山



広域比抵抗構造

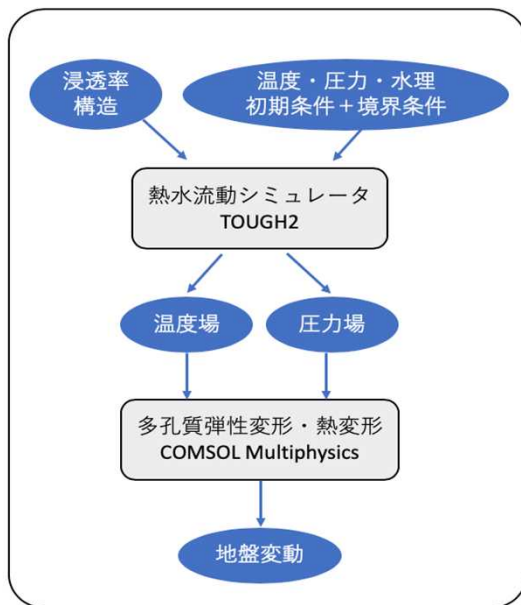
浅部低比抵抗

深部低比抵抗

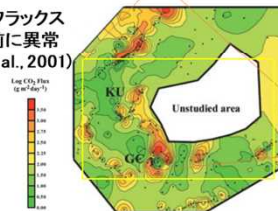


サブテーマ4: 火山内部構造・状態把握技術の開発

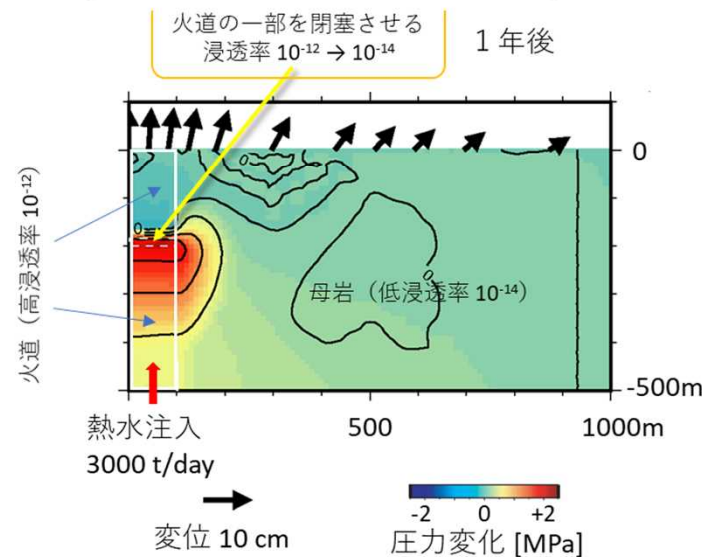
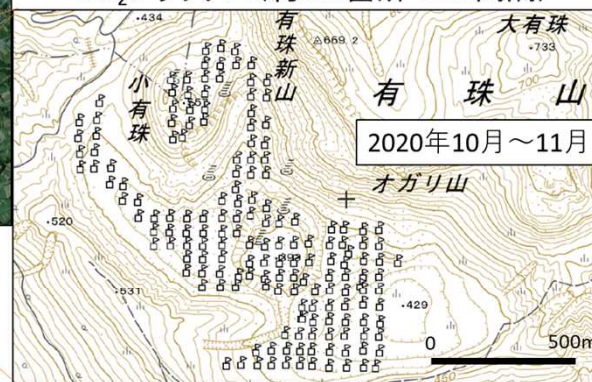
地下比抵抗・熱水流動解析システムの開発



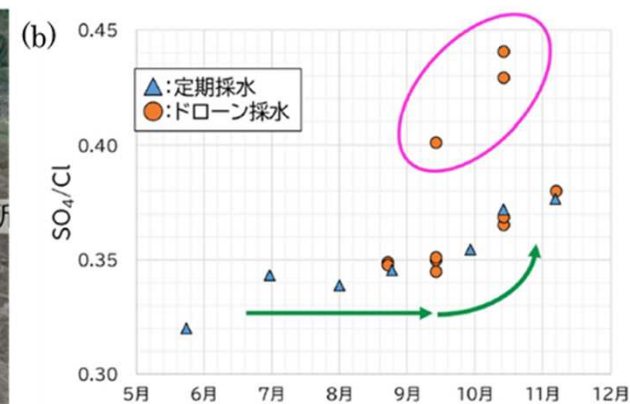
1999年9月のフラックス
噴火の半年前に異常
(Hernandez et al., 2001)



有珠山における機動観測準備(土壌拡散
CO₂フラックス(約170箇所・50m間隔))

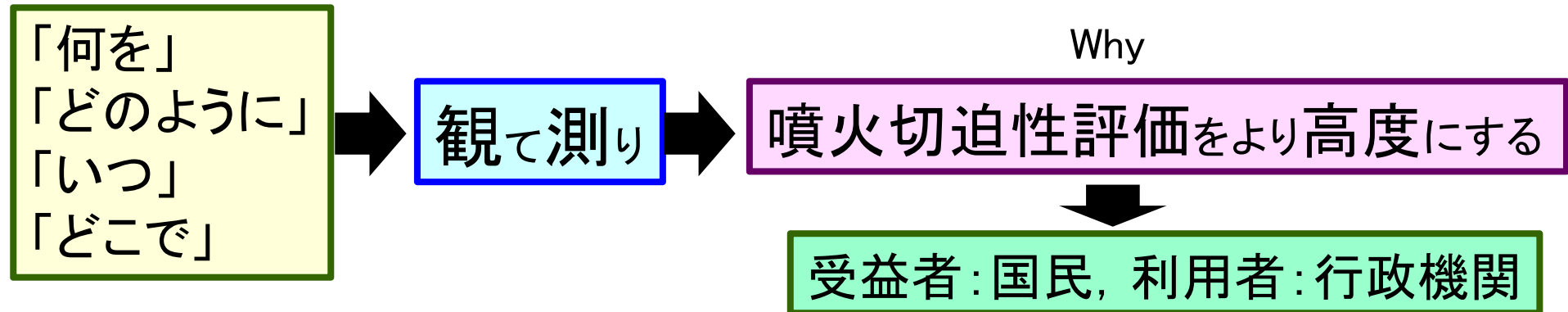


遠隔熱情報解析システムの開発



課題B 先端的な火山観測技術の開発 まとめ

What, When, Where, How



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