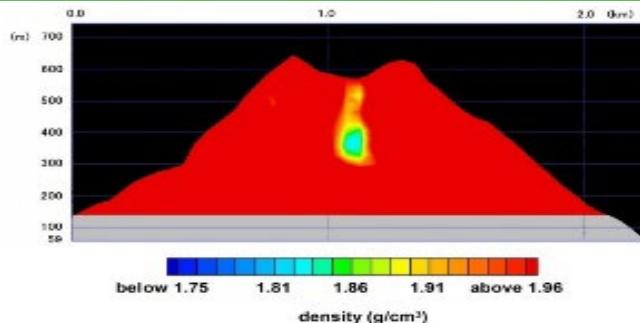


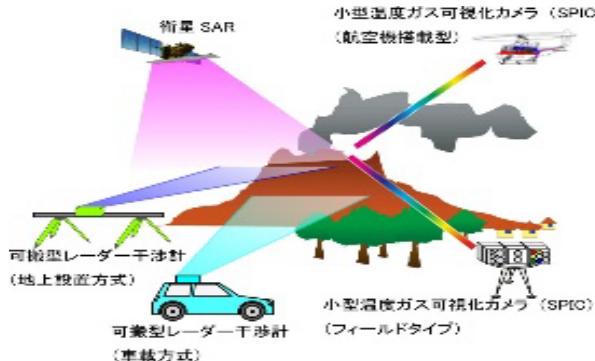
課題B「先端的な観測技術の開発」

- 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つたこと(切迫性)を評価する手法の高度化

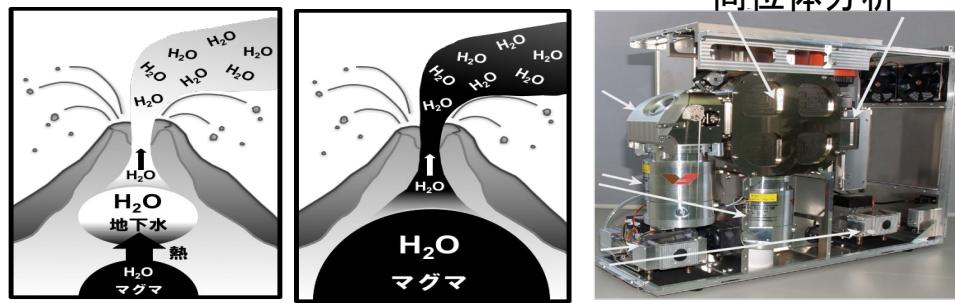
B-1 新たな技術を活用した火山観測の高度化(宇宙線ミューオン)



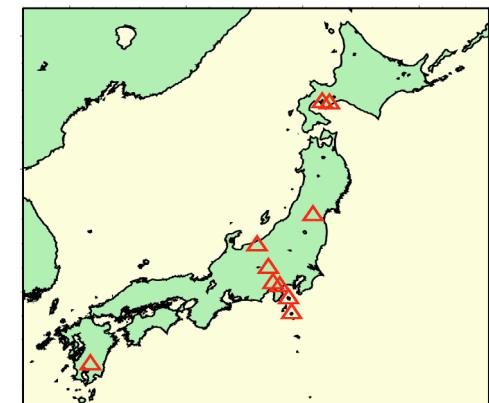
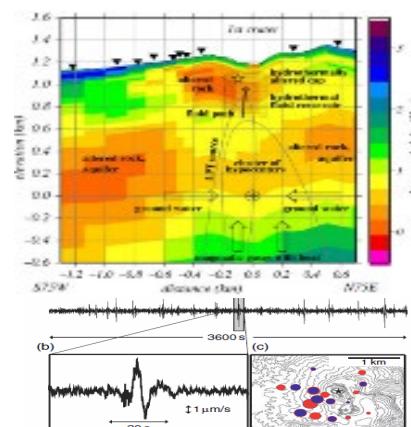
B-2 リモートセンシングを利用した火山観測技術の開発(SAR,カメラ)



B-3 地球化学的観測技術の開発



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)



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。

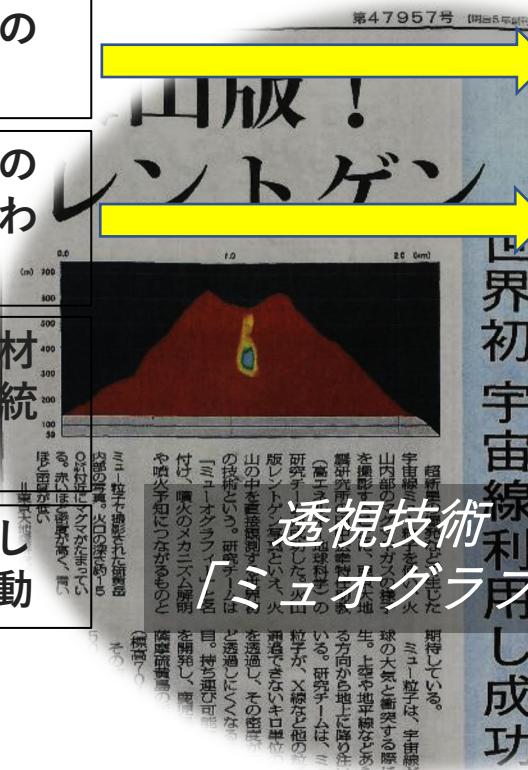
火山活動とミュオグラフィ透視画像の関連について系統的に評価するまでに至っていない。

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



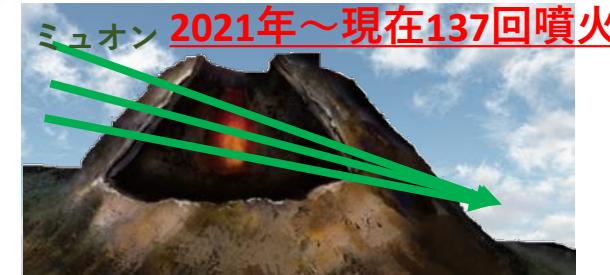
従来の4倍を超える画素を提供する事で、より鮮明な火山透過像を提供

火山体透過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）



(～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。

2009-2017年
7757回（昭和火口）
50回（南岳火口）

2018-現在（2021）
4回（昭和火口）
1437回（南岳火口）

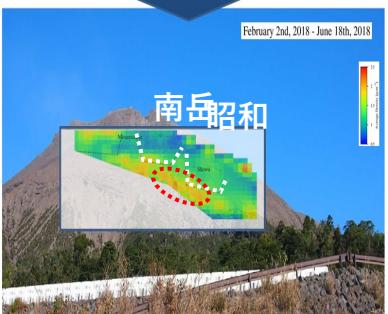
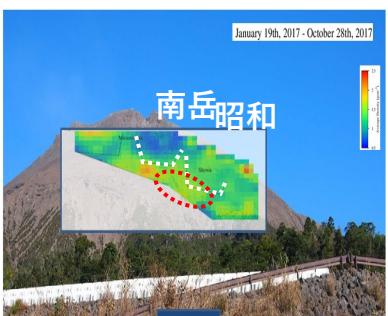
昭和火口
2019年以降 0回

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

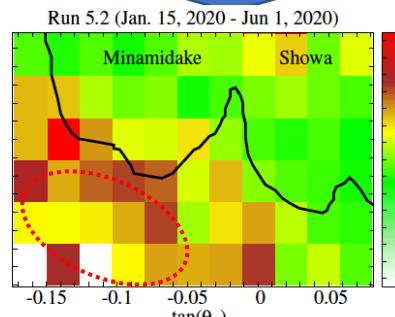
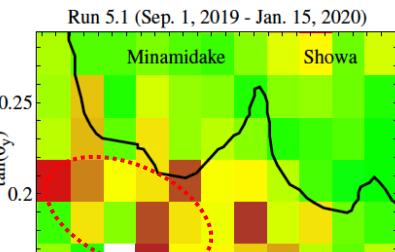
火道がプラグされ、南岳火口から2018年3月以降噴出

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。わかれれば噴火推移の予測に役立つ。



(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。



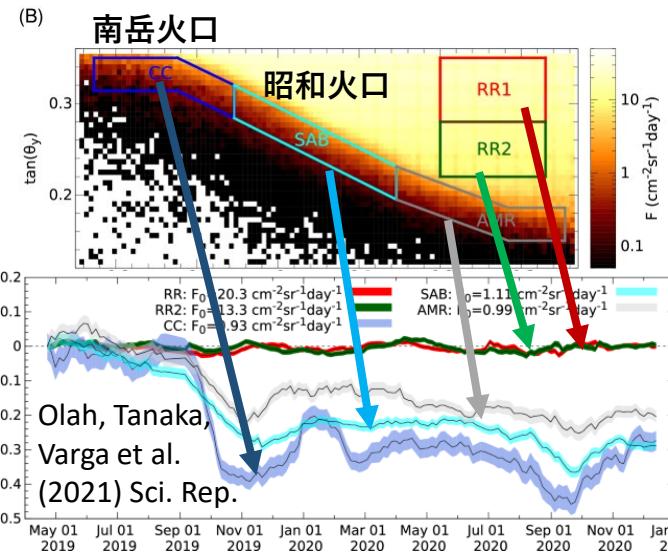
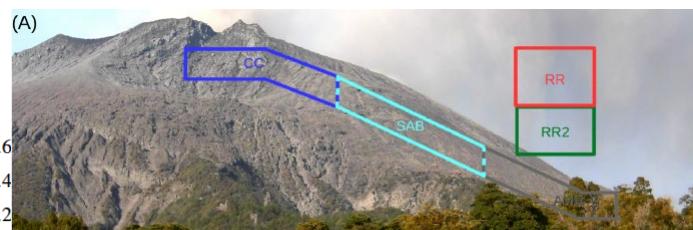
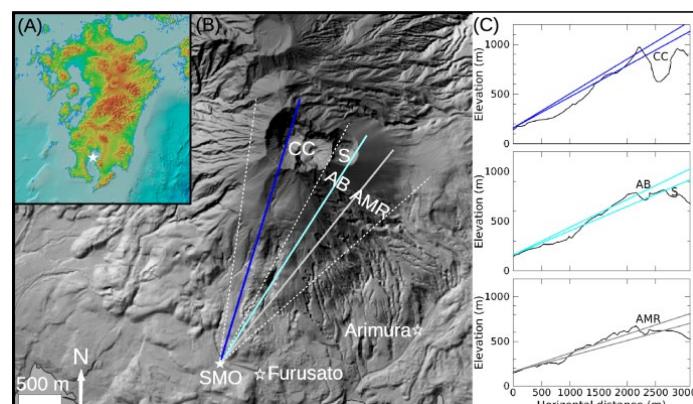
Olah, Tanaka, Varga et al.
Submitted to AGU

2
0
1
9

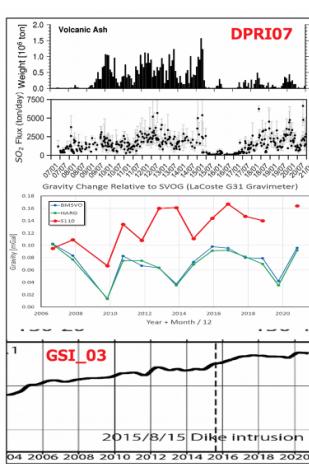
2
0
2
0

相対透過
率
（ μ ）

(2021年) 活発化した南岳火口付近におけるテフラマスの増減モニタリング



課題Bサブテーマ1：新たな技術を活用した火山観測の高度化 ③他技術との比較、連携

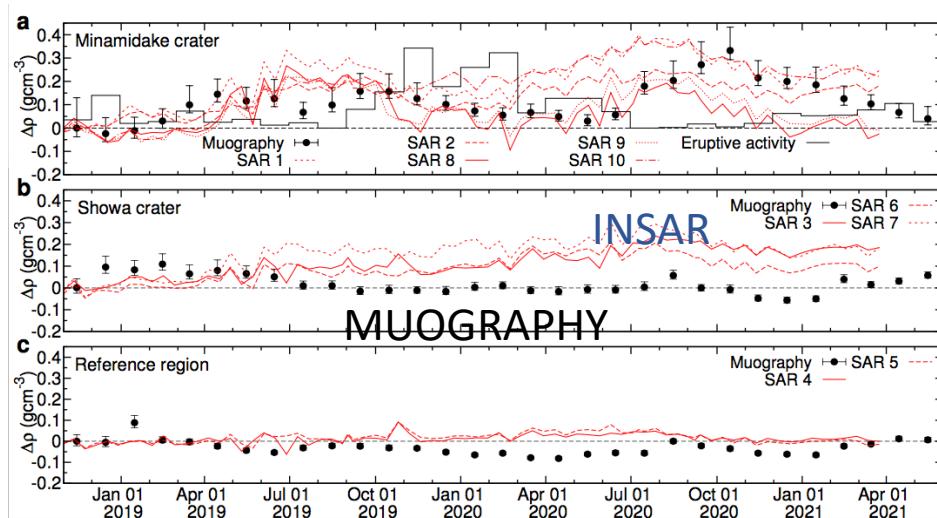
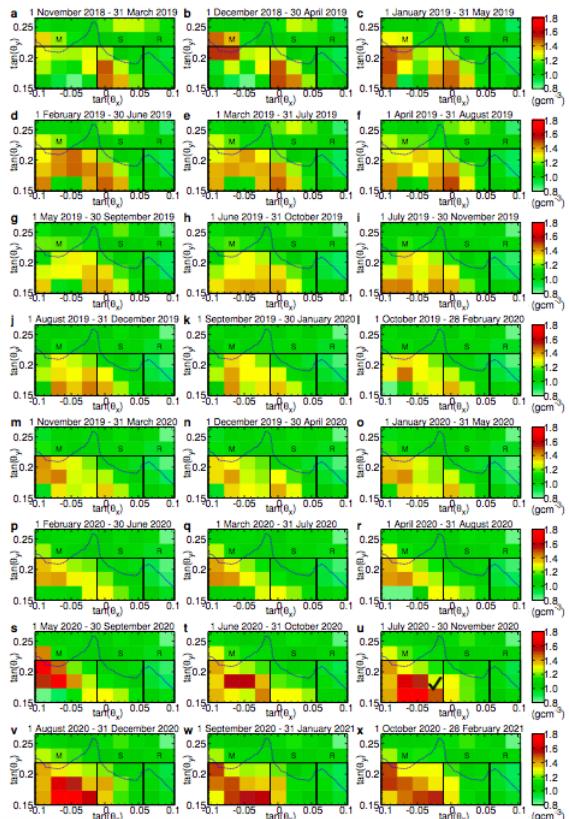


桜島南岳活動におけるガス放出卓越と火口下質量増加

物理量（地物・噴出物）
量・レイヤ・位置・サイズ

- 近年の膨張の停滞
- 放出火山灰量の停滞
- ガス放出の卓越
- 桜島中央部の重力増加
- 南岳火口下の密度増加

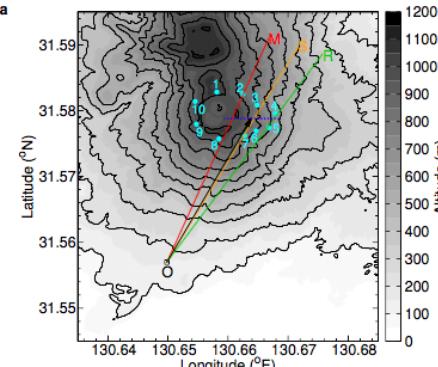
火山構造
密度・破壊強度



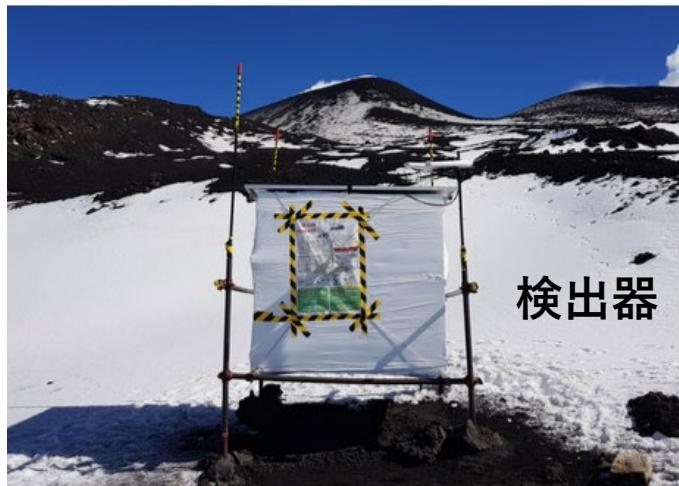
INSAR, MUOGRAPHY
と噴火頻度逆相関

他課題、他機関との連携例
火山PJ課題間
災害軽減研究
日本電気
カターニア大学
ダラム大学
アタカマ大学

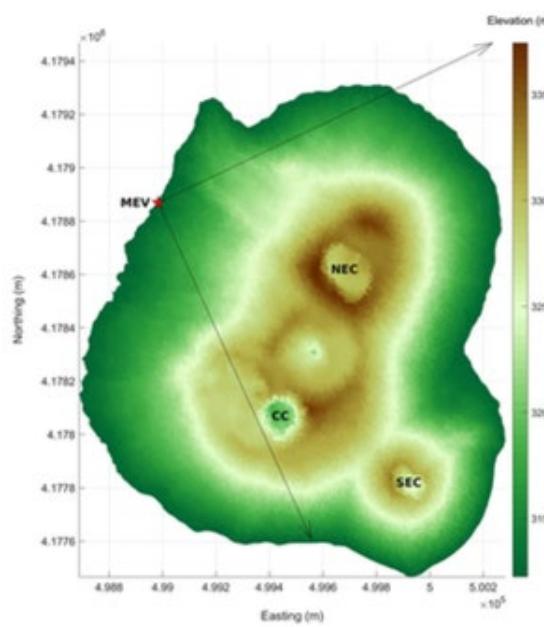
気泡を多く含むマグマの注入が弱まると、
温度低下によりマグマ粘性が上昇する。ブ
ラグ形成が始まり、火道内圧力が上昇する
(Caricchi et al., 2021)。



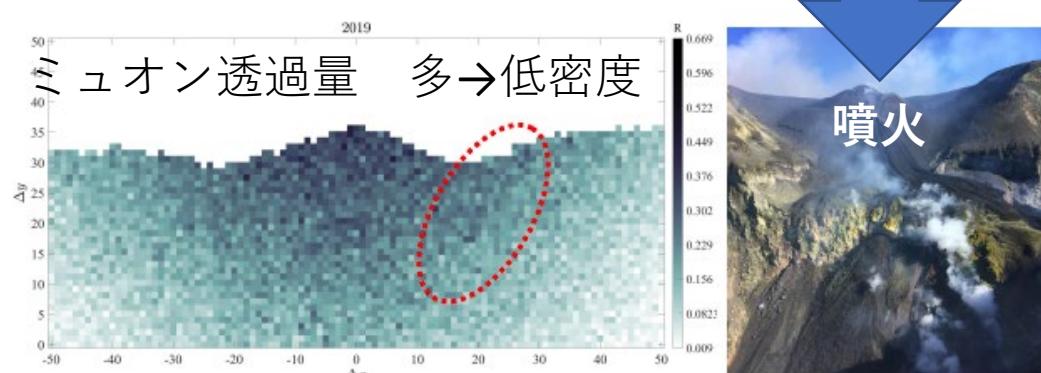
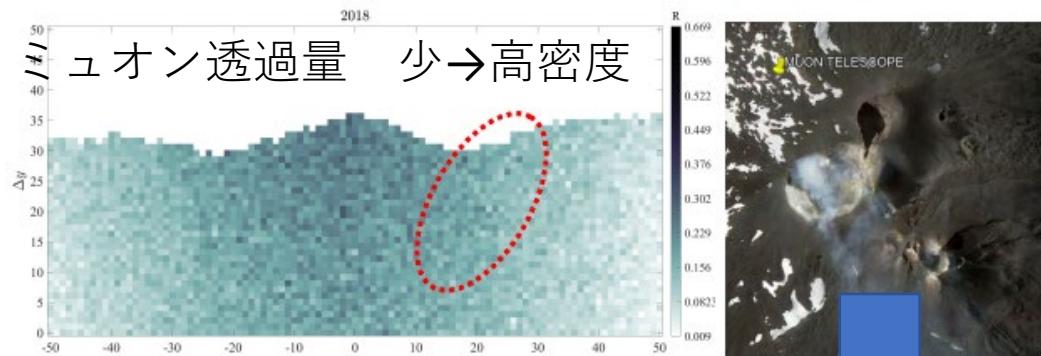
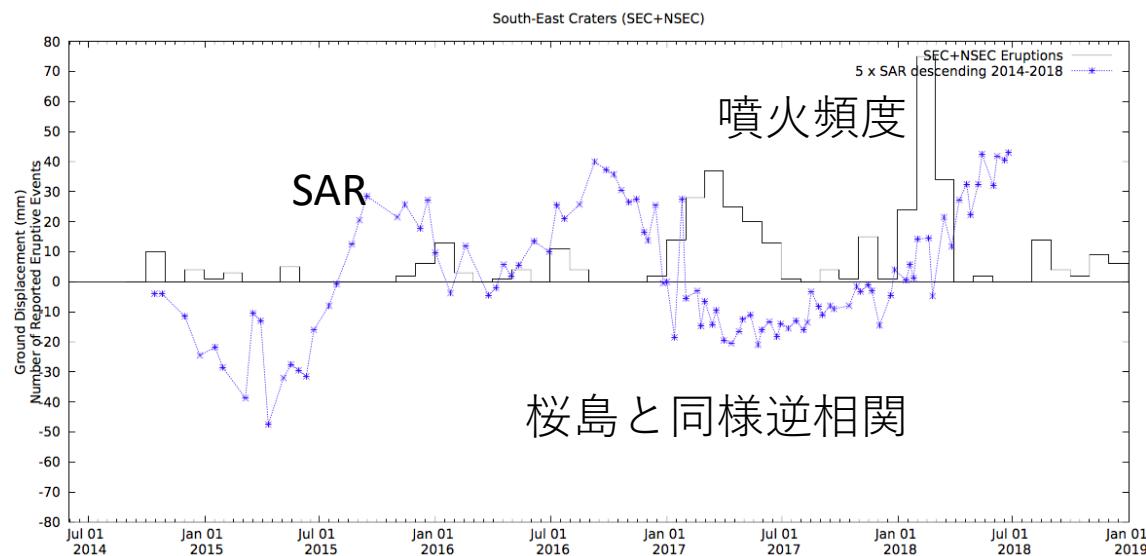
成果の現状



(a)



(b)

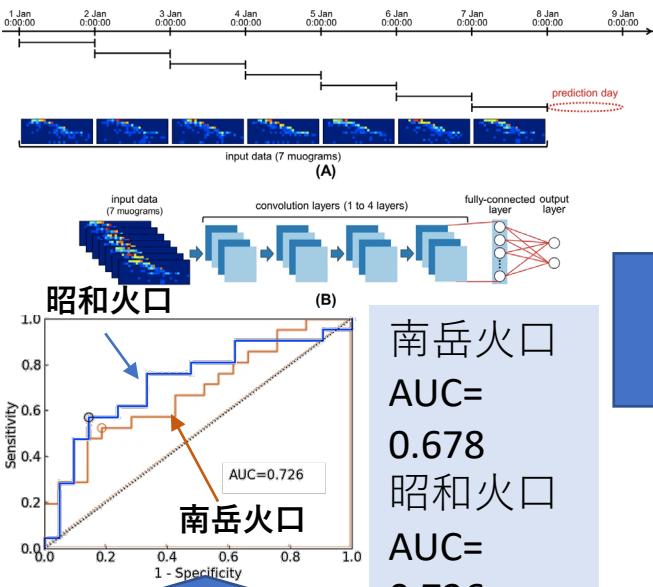


(~2019年) 1日1枚のミュオグラフィ画像を提供できる環境を整備



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

(2020年) 日毎のミュオグラフィ画像データ（低解像度画像）を機械学習（CNN）することで翌日の噴火判定を行う技術（MuNET）を開発（2016～2017年データ）



Nomura, Hayashi,
Tanaka et al. (2019)
Sci.Rep.

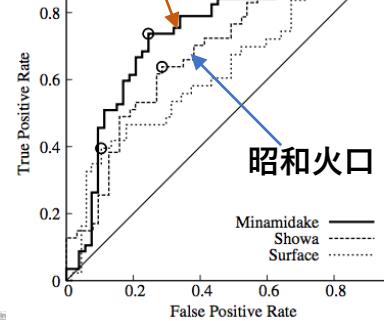
841画素

(2021年) 日毎のミュオグラフィ画像データ（高解像度画像）を機械学習（CNN）することで噴火判定を導出する技術（MuNET-2）を開発（2019～2020年データ）

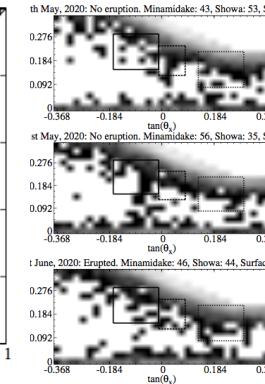
南岳火口 AUC=0.761
昭和火口 AUC=0.704

・判定性能が向上
・昭和火口と南岳火口が逆転

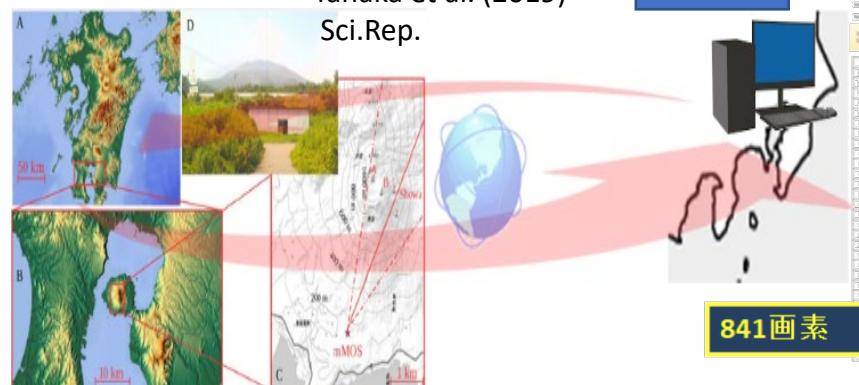
南岳火口



昭和火口



Olah and Tanaka
(2021)
AGU
Geophysical
Monograph



24639画素

課題B サブテーマ1：新たな技術を活用した火山観測の高度化 ⑥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。→実用化フェーズ早期化により多くの統計値を得る。

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4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

R3年度に可搬型レーダー干渉計運用機（センサー名：SCOPE）が完成。精度評価、および、地殻変動検出を目的とした観測を進めている。

R4年度の実施内容・成果：

- 火山における計測実験
(十勝岳、吾妻山、草津白根山、霧島山)
- 雲仙岳の観測場所調査
- SCOPEの精度評価

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、衛星SARを用いた火山研究を進めている。

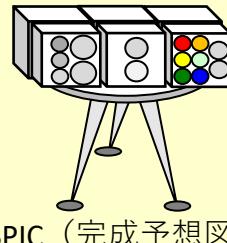
R4年度実施内容・成果：

- 自動解析システムの構築
(阿蘇山、焼岳、箱根山、岩手山、雌阿寒岳)
- 衛星SARを用いた地殻変動研究（吾妻山、霧島山）
- 地殻変動源推定GUIアプリの開発

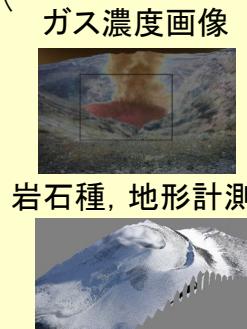
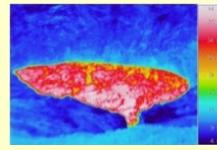
サブテーマ2-2：火山表面現象遠隔観測技術の開発～小型温度ガス可視化カメラ(SPIC)の開発

計画概要

火山観測に有用な各種画像情報を取得する地上設置・車載・航空機搭載小型カメラ：SPICを開発



温度画像



SPIC各プロトタイプを開発

4年目の目標を達成：2020/3

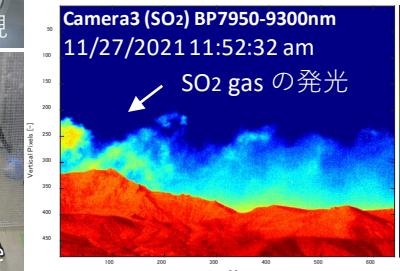


R2年度よりプロトタイプによる火山観測と地上設置型開発

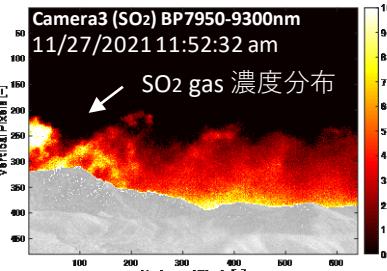
R4 年 度

- 火山試験観測実施、SO₂ガス濃度可視化、濃度推定手法開発
- SPIC地上設置、車載型の開発

火山噴煙観測：阿蘇（R3/11月）
SO₂ガスの可視化を実現。

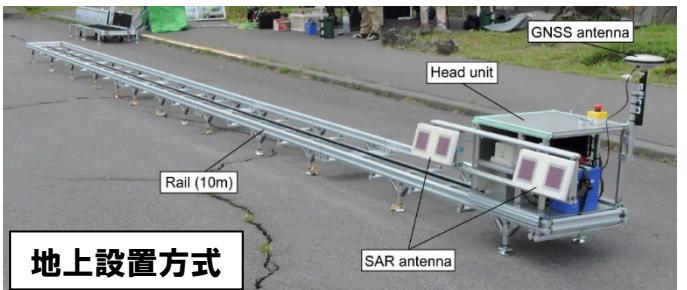


SO₂ガスの濃度分布
推定手法を開発（R4/4～）



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、車載方式、台車方式、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。



地上設置方式



車載方式



台車方式

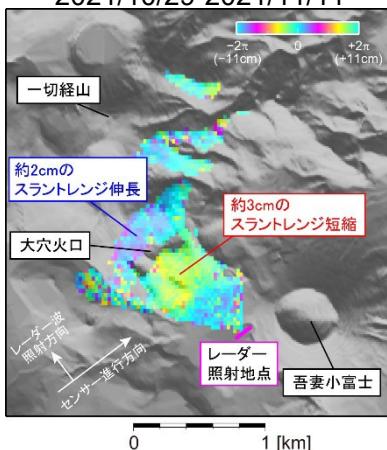


手動方式

火山における計測実験(吾妻山、十勝岳、草津白根山、霧島山)

吾妻山

2021/10/29-2021/11/11



2021/10/29、2022/7/1、2022/11/11
に吾妻山の大穴火口を対象とした
観測を実施。膨張変形を検出。

- SCOPEで雲仙岳を観測することが可能な場所について調査を実施
- 11/21-25に霧島山の新燃岳、硫黄山を対象とした計測実験を実施

十勝岳 (初観測) 草津白根山 (初観測)

三段山観測場所から見た十勝岳 観測場所から見た草津白根山



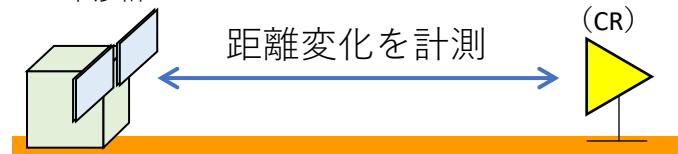
望岳台と三段山からの
観測を実施。来年度以
降、繰り返し観測予定。



渋峠付近からの観測
を実施。来年度以降、
繰り返し観測予定。

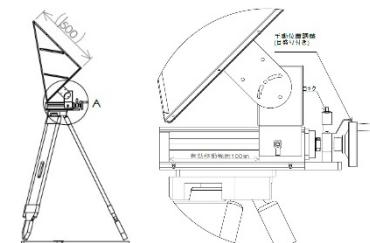
可搬型レーダー干渉計運用機の精度評価

コーナーリフレクターを用いた計測実験により、可搬型レーダー干渉計による変位計測精度の検証を行う。

可搬型レーダー
干渉計

mmの精度でCRを動かし、その距離変化を計測

計測実験に用い
るコーナーリフ
レクターを設計。
2月に計測実験
を実施する予定。



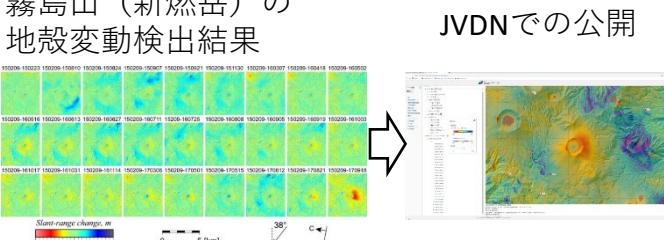
実施内容②衛星SARによる地殻変動情報のデータベース

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。

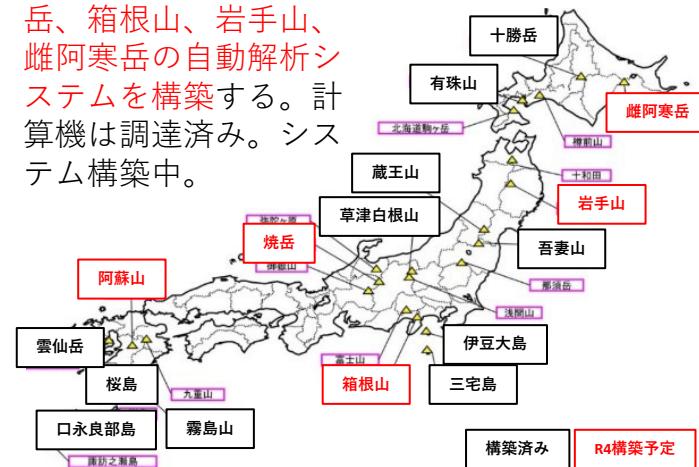
自動解析システムの構築

R元年度までに自動解析システムのための解析方法を決定し、その解析方法に基づいて、R3年度までに11火山の自動解析システムを構築した。そのシステムから得られる地殻変動検出結果は、JVDNで公開している。

霧島山（新燃岳）の地殻変動検出結果



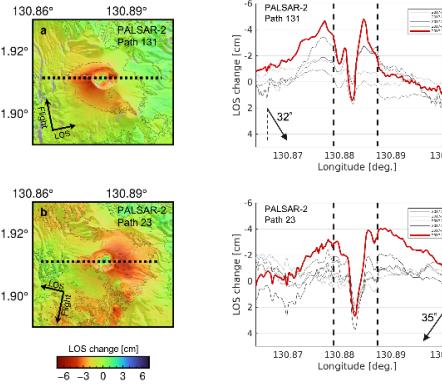
R4年度には阿蘇山、焼岳、箱根山、岩手山、雌阿寒岳の自動解析システムを構築する。計算機は調達済み。システム構築中。



衛星SARを用いた地殻変動研究：霧島山、吾妻山

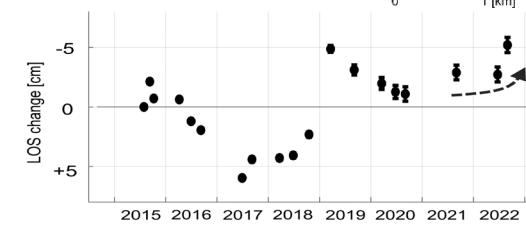
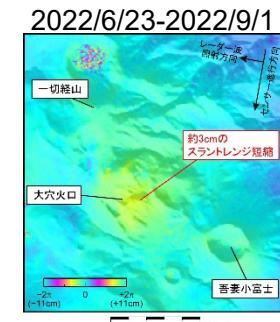
霧島山

2017年、2018年新燃岳噴火発生前に、前駆的に生じた山体膨張と火口底の沈降をSARを用いて検出し、その地殻変動をモデル化



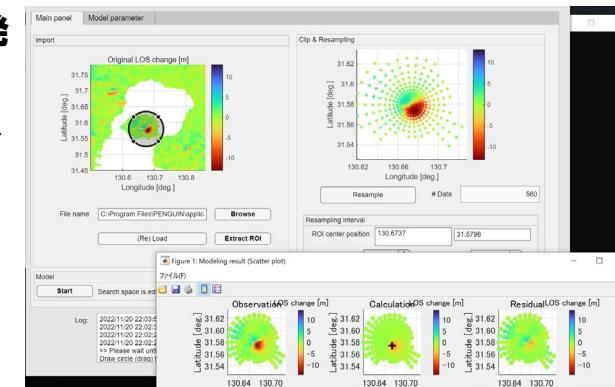
吾妻山

吾妻山の地殻変動を調査するため、PALSAR-2データの解析を実施。2021年末から2022年11月にかけて大穴火口を中心とした膨張が検出された。



地殻変動源推定GUIアプリの開発

JVDNで公開しているSAR地殻変動データベースの活用を推進するため、JVDNから取得するSAR地殻変動情報から地殻変動源を推定するアプリの開発を進めている。特に、本アプリの開発は、地殻変動解析に慣れていない人でも、比較的簡単に操作可能にすることを目指している。



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
 実施内容③全体計画との関連 S P I C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. S P I C の開発	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		



計画b. コア試料の画像分光計測を継続実施 (DB化を計画)



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 令和4年度成果（トピック）：SPICの開発

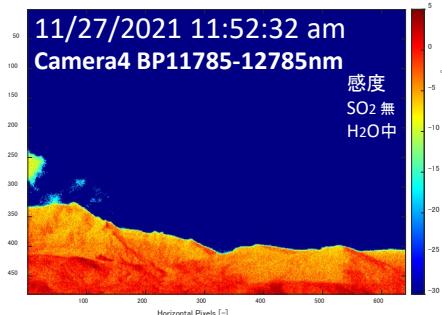
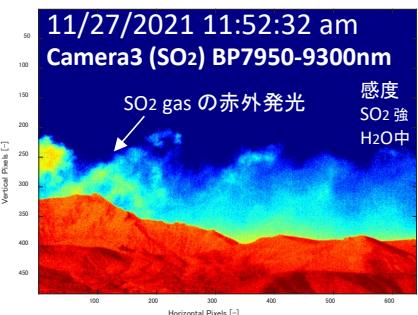
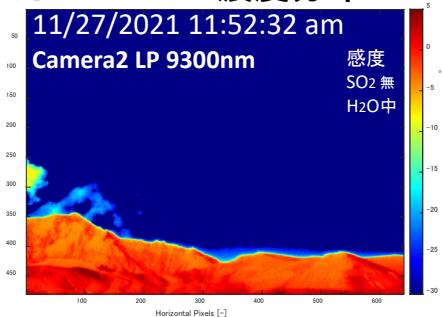
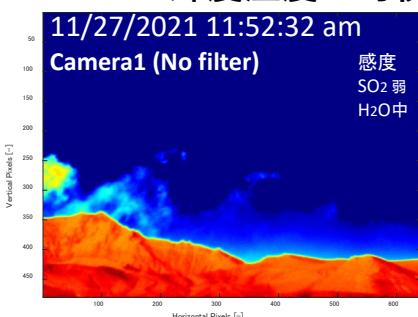
計画：a. SPICの開発：(1)火山噴煙観測実施(阿蘇), (2)SO₂ガス定量化手法開発(R4/4～)

(1) 火山噴煙観測実施 (阿蘇, 三回目：R3/11月24～27日)

SPIC-UC (非冷却型4波長赤外カメラ) 等を用いた火山噴煙試験観測実施
⇒ 多波長赤外画像によるSO₂ガスの可視化を実現 (日本初)

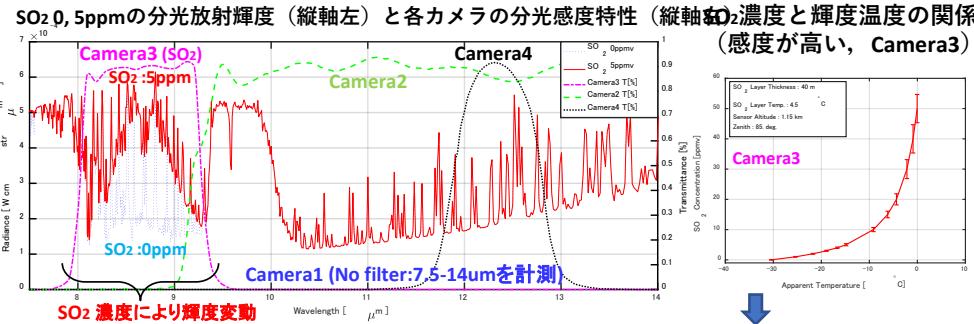


輝度温度で可視化したSO₂ガスの濃度分布



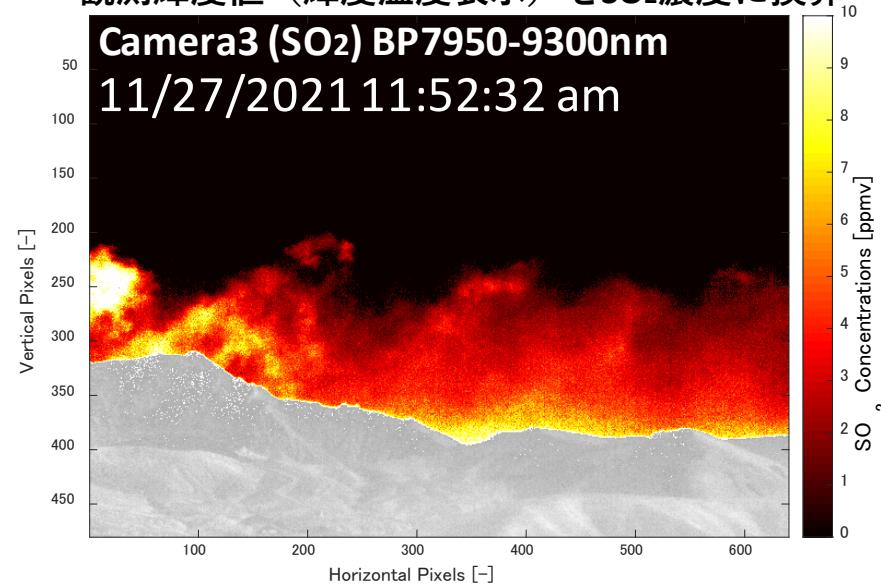
(2) SO₂ガス定量化手法開発 (R4/4～)

SO₂濃度とSPIC-UCが観測した分光放射輝度の関係の解析：放射伝達モデルを構築し計算 ⇒ SO₂濃度と輝度温度の関係を導出しSO₂濃度を定量



観測輝度値（輝度温度表示）をSO₂濃度に換算

Camera3 (SO₂) BP7950-9300nm
11/27/2021 11:52:32 am



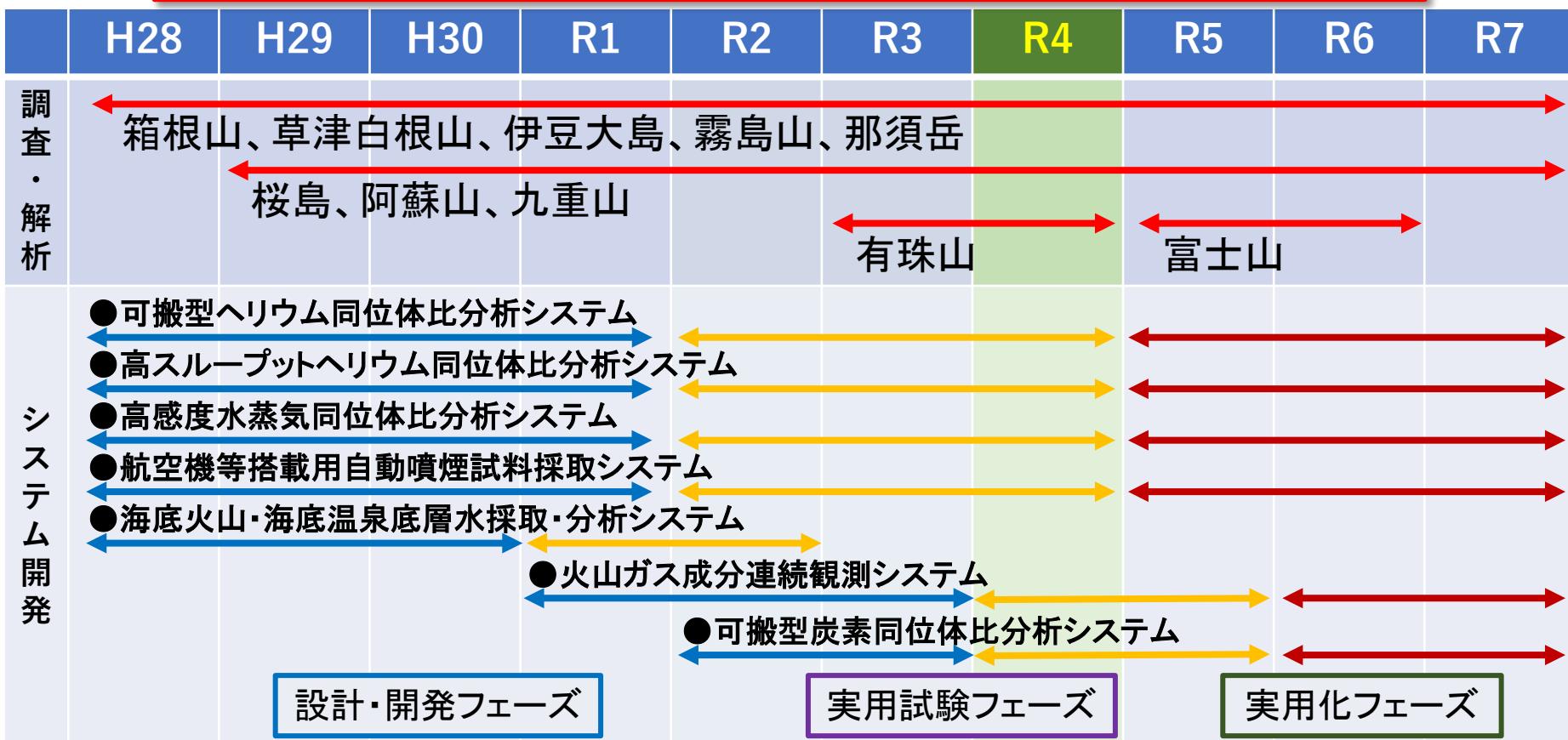
推定したSO₂日発生量推定：1800～3000tons/day

(気象庁DOAS観測SO₂日発生量推定：2000～3000tons/day)

良い一致

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



現時点までの主たる成果

- 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



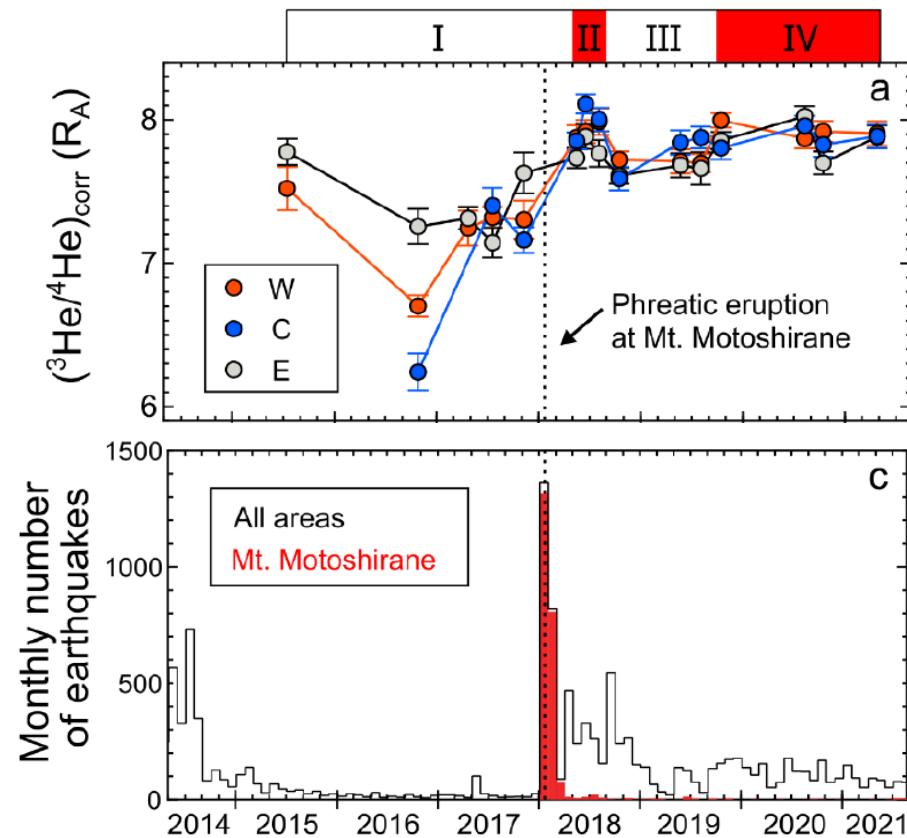
火山ガス組成・同位体比に基づく活動度評価の高度化

- マグマ成分の寄与率の変動
- 安全な場所での高精度観測

サブテーマ3: 地球化学的観測技術の開発 (2)

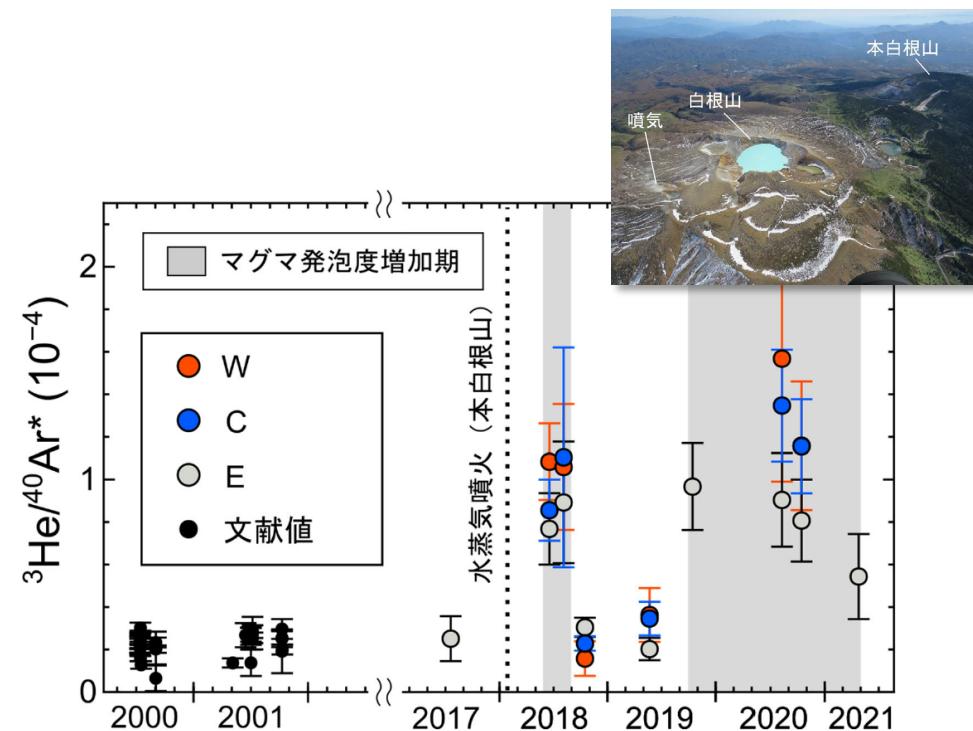
火山活動に対応した化学組成・同位体比変動の検出(東大・東海大・気象研)

□火山ガスの希ガス同位体組成変動(草津白根山)



プレスリリース: 2022年11月21日

(東大、東海大、北大、東工大)

メディア報道: 日本経済新聞、日刊工業新聞、
日テレNews

- 2018年以降、白根山直下の熱水だまりに由来する北側山麓噴気では、地震回数に現れているマグマ活発化と対応して、 ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ 比が高い (期間IIとIV)。
⇒ 熱水系へのマグマ起源ガス供給の増加
- マグマ起源ガス供給の増加期に ${}^3\text{He}/{}^{40}\text{Ar}^*$ 比が高い。
- マグマから分離したガス相のHe/Ar比は、マグマの発泡度とともに高くなる。
⇒ マグマ活発化の時期には発泡度が上昇していた

サブテーマ3: 地球化学的観測技術の開発 (3)

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・気象研)

□火山ガスおよび火口湖水の化学組成変動

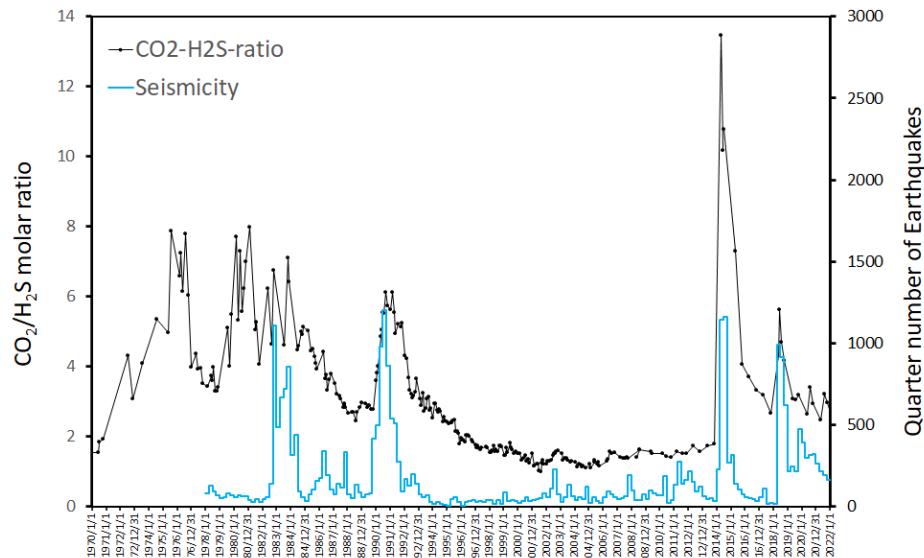


図1. 草津白根山北側地熱地帯噴気のCO₂/H₂S比変動
地震回数は気象庁の観測による

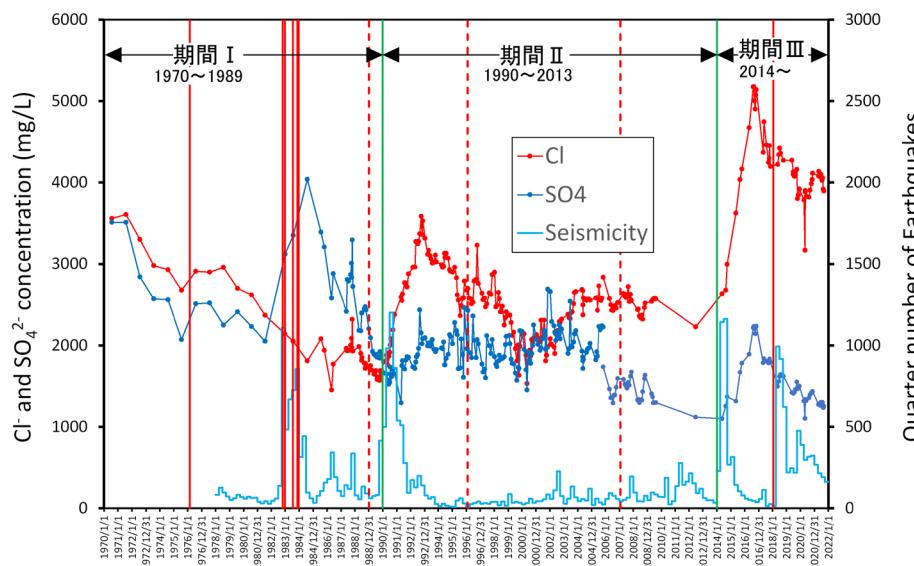


図2. 草津白根山山頂火口湖湯釜のCl⁻とSO₄²⁻濃度の変動と噴火活動(赤の縦実線)

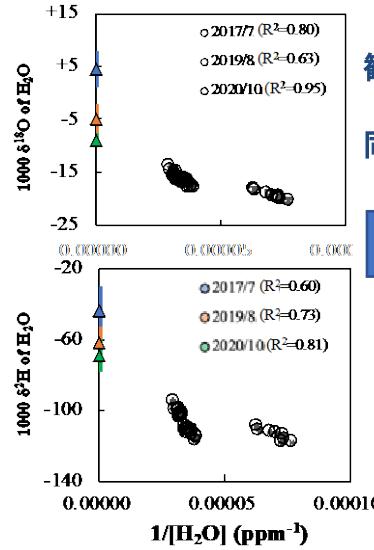
草津白根山の火山活動に関する研究成果

- ◆火山ガスのCO₂/H₂S比と地震活動には明瞭な相関が見られる(図1).
- ◆1970年～2021年にかけて3つの活動期間が認められる(図2). 各期間で、初期に湖水のCl⁻濃度と火山ガスのCO₂/H₂S比が急激に増加する. その後、Cl⁻濃度が低下する傾向が続く(ただし、期間Iの初期状態は不明).
- ◆期間IとIIIではCl⁻濃度が低下する過程で、CO₂/H₂S比が上昇し、噴火が発生した(1976, 1982, 1983, 2018). 期間IIでは、初期を除いて、CO₂/H₂S比は低い状態が継続し、噴火は発生しなかった.
- ◆火山ガスのCO₂/H₂S比に着目することにより、期間IIIにおける噴火の可能性を推定することが可能.

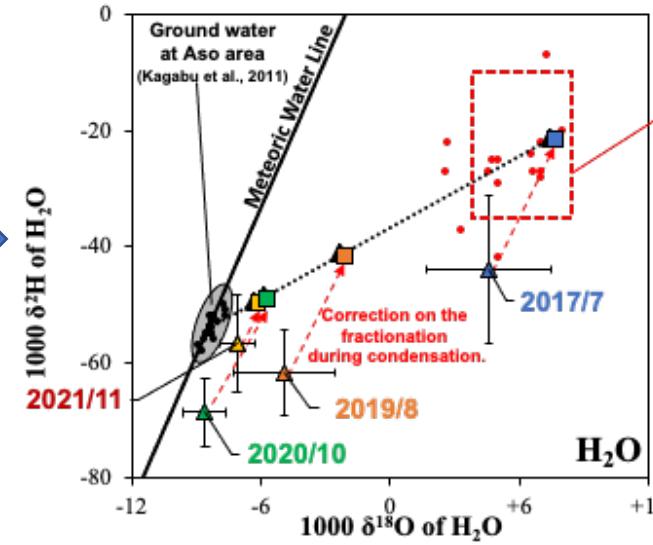
サブテーマ3: 地球化学的観測技術の開発 (4)

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)



観測値(○)から
噴気本来の
同位体比(△)を
推定



Magmatic water

- 2017年: マグマ水推定値とほぼ一致
- 2020 - 2021年: マグマ水の寄与小(ほぼ天水)

ドローン搭載用自動噴煙試料採取装置(SeIPS)の開発(名古屋大)

DJI M200 (北大)

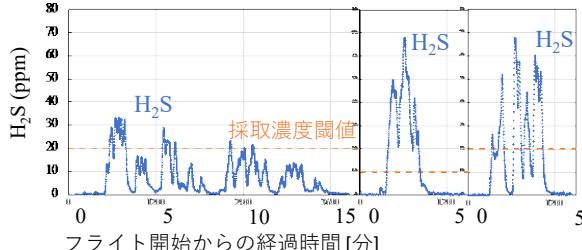


H₂S型SeIPSの開発&作動試験

日時: 2022年6月7日

場所: 樽前山(北海道)溶岩ドーム

動作閾値H₂S濃度: 10 or 20 ppm



E火口観測中のH₂S濃度時間変化

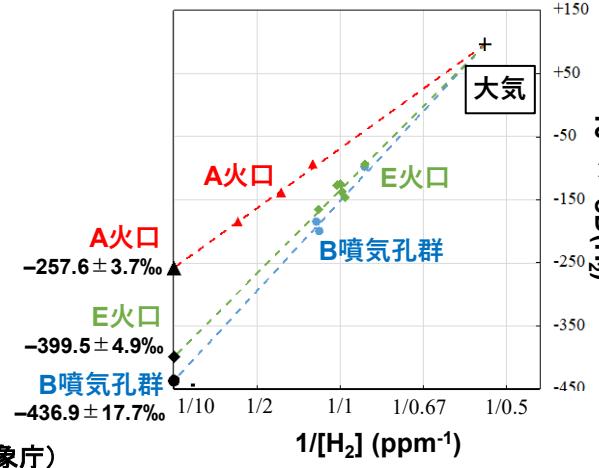


B噴気孔群
IR = 約200°C
AET_D = 277±29°C

A火口
IR = 400-600 °C
AET_D = 591±23°C

E火口
IR = (No data)
AET_D = 326±13°C

噴煙中のH₂濃度(逆数)とδD(H₂)の関係

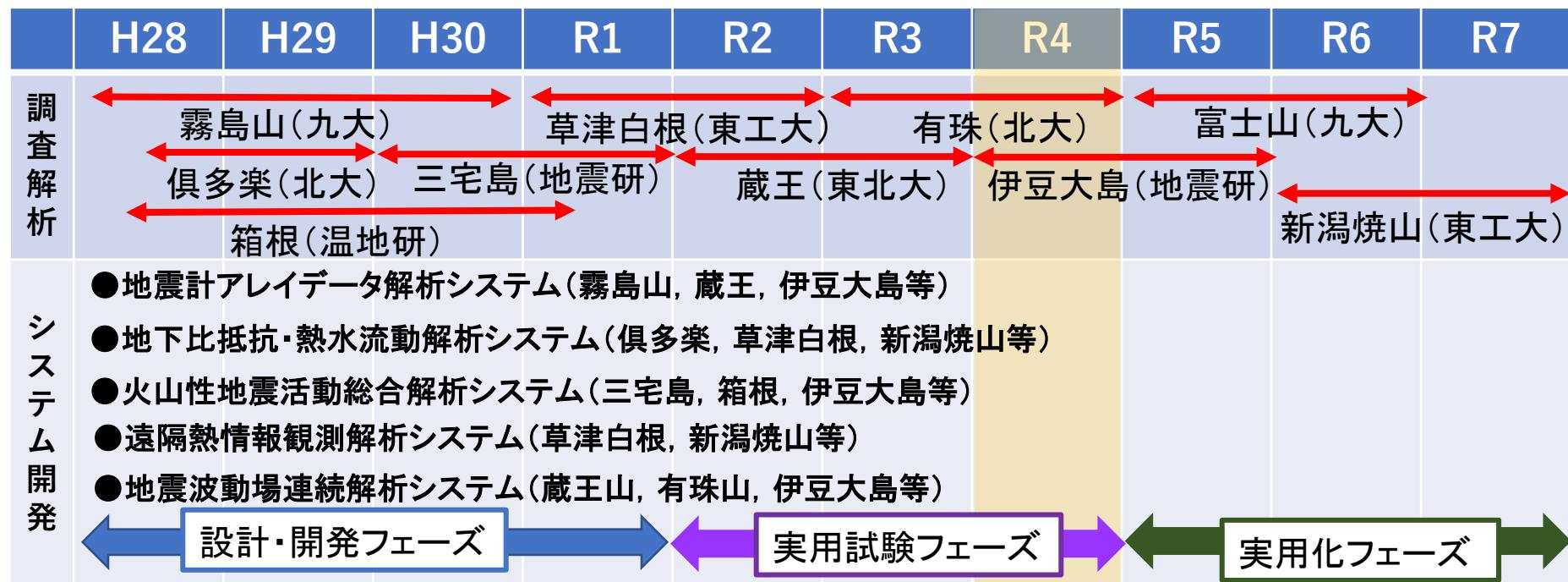


IR: 赤外放射から推定した噴気温度(気象庁)
AET_D: δD(H₂)から推定した噴気温度

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
- ・ 俱多楽での広域比抵抗構造, 热水流動解析
- ・ 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
- 热水活動特有の地震波形

サブテーマ4: 有珠山における機動観測、切迫性評価につながるツール開発

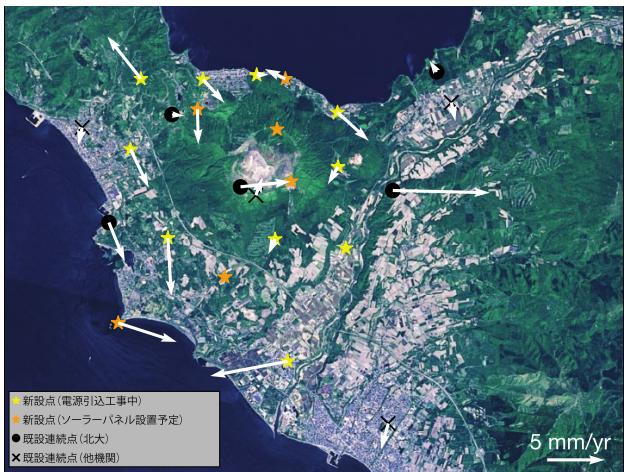
廉価なGNSS受信機を用いた地盤変動観測

全磁力観測

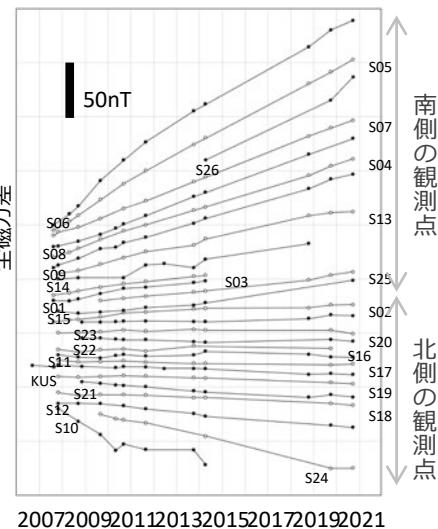
広帯域MT比抵抗探査（山麓部）

AMT/広帯域MT探査（山頂火口原）

土壤拡散CO₂放出率



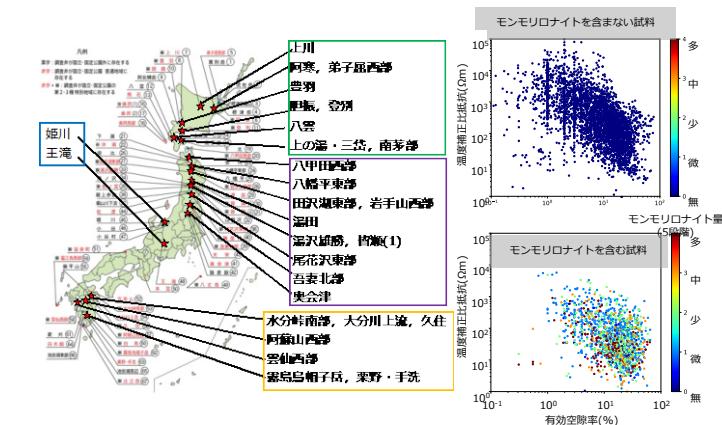
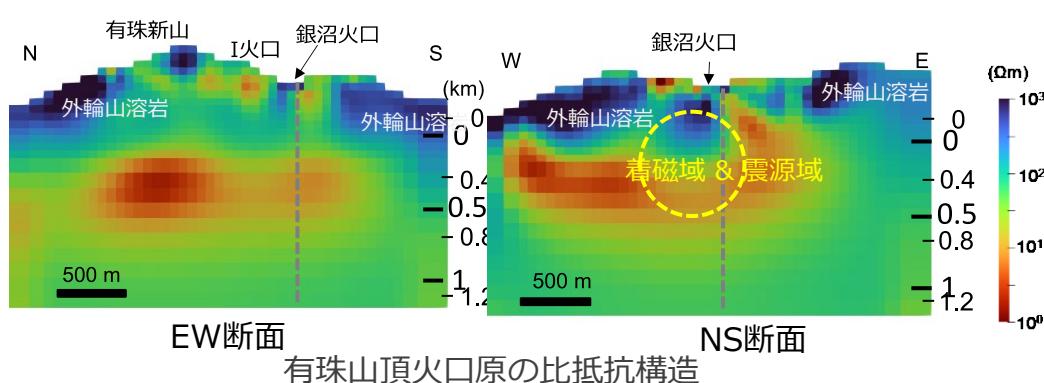
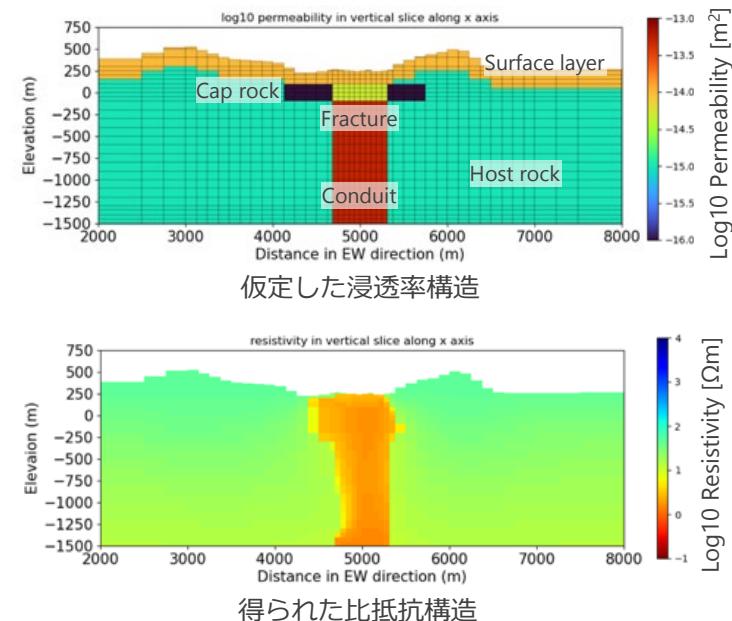
全磁力の長期変化



3次元熱水流動数値計算

ボーリングデータの整理

JVDNへのデータ登載



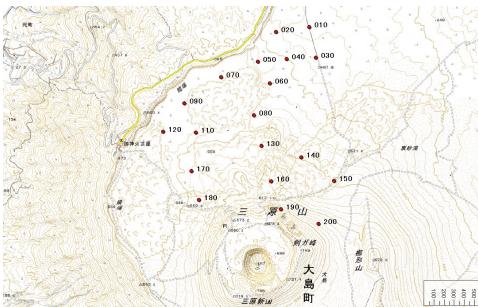
サブテーマ4: 伊豆大島における機動観測

伊豆大島におけるAMT観測、地震観測

○伊豆大島カルデラ北部AMT法比抵抗構造探査

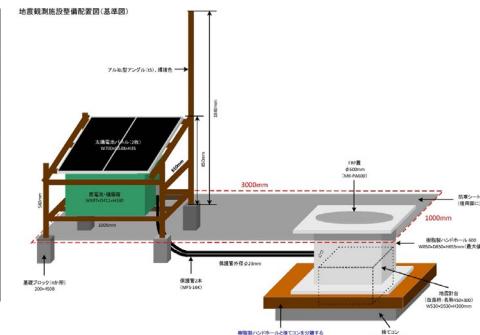
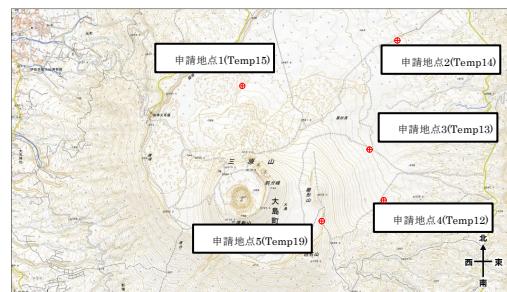
伊豆大島カルデラ北部の19か所でAMT法探査を実施し、浅部の伏在マグマや帶水層の検出を目指す。

参加機関：東京大学地震研究所、東京工業大学
日程：2022/11/26-12/2に予定

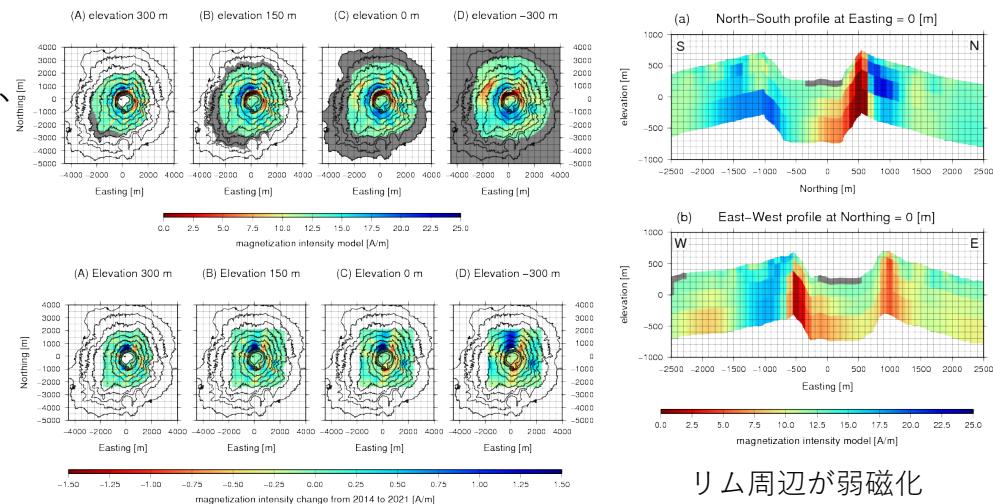


○カルデラ内地震観測

伊豆大島カルデラ内に5か所の地震観測点を新設
三原山直下の進言分布の精密決定を目指す

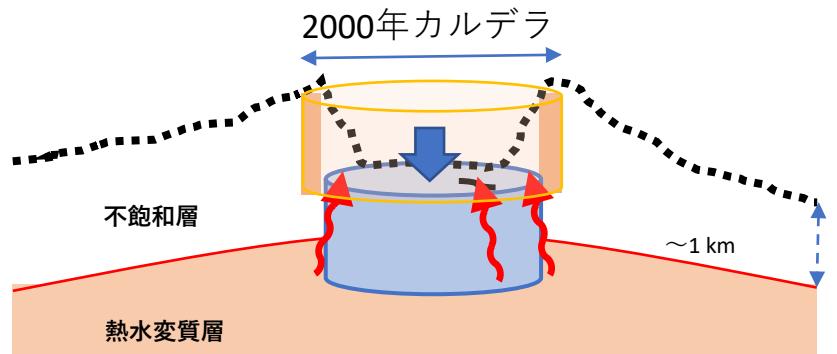


伊豆大島との比較研究のための 三宅島空中磁気測量解釈



リム周辺で消磁傾向が顕著

リム周辺が弱磁化
火口底は平均的



- カルデラリム下が弱磁化→カルデラ形成時の破碎
- リム内側が磁気低下傾向→亀裂を熱・ガスが上昇
- 次期活動は、弱化領域を利用か？

サブテーマ4: 火山性地震活動解析システムの開発

機械学習による火山性地震活動の推定（箱根データによる学習+霧島データによる検証）

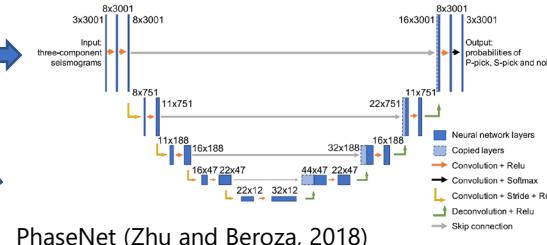
- 機械学習アルゴリズムにより自動でP波やS波の立ち上りを識別し、火山性地震の検出並びに震源・マグニチュードの推定を行うシステム開発
- 波形相関処理に基づいた高精度相対震源決定を実施し、高分解能な火山性地震活動の描像を得る
- 霧島火山などを対象に開発したシステムを適用し、手法の妥当性を検証する

開発システムのフロー図（位相読み取りと初期震源推定）

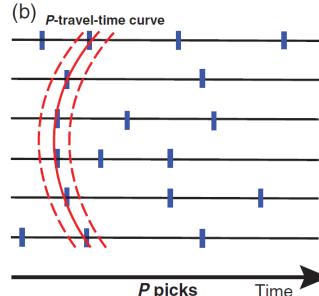
1. Data preprocessing



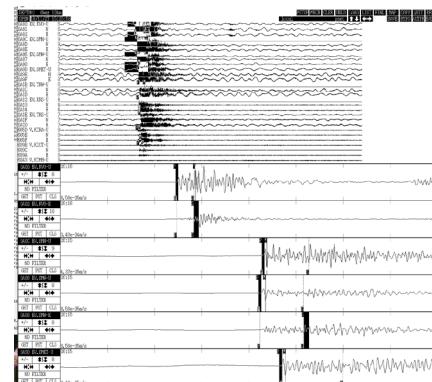
2. Phase picking



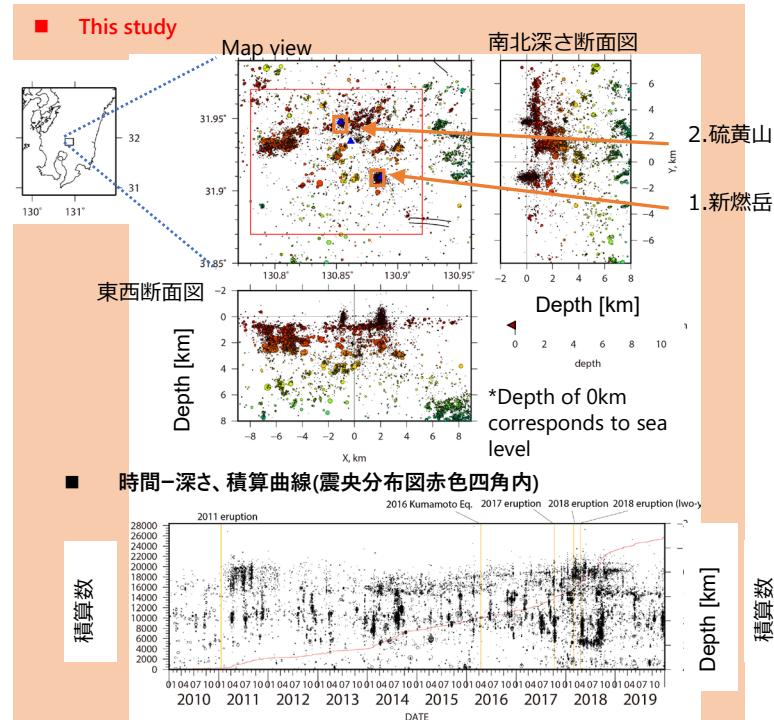
3. Phase association



4. WIN trig-file & initial hypo



霧島火山への適用例

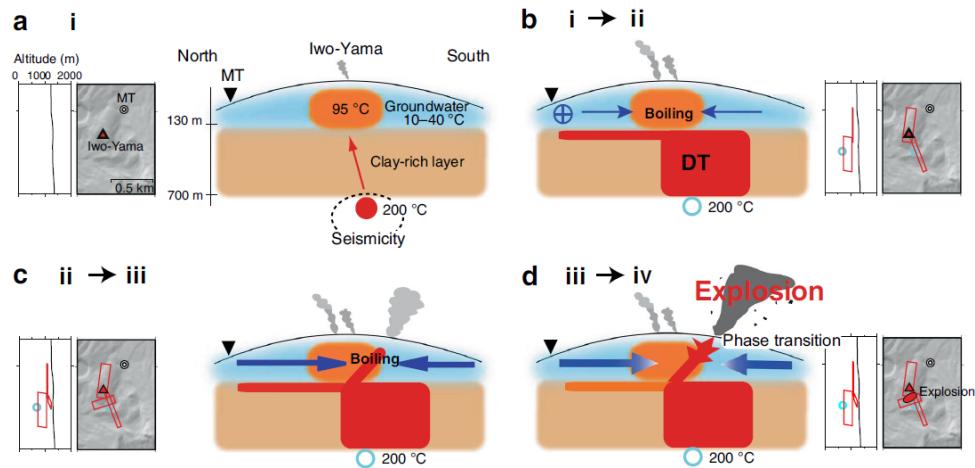
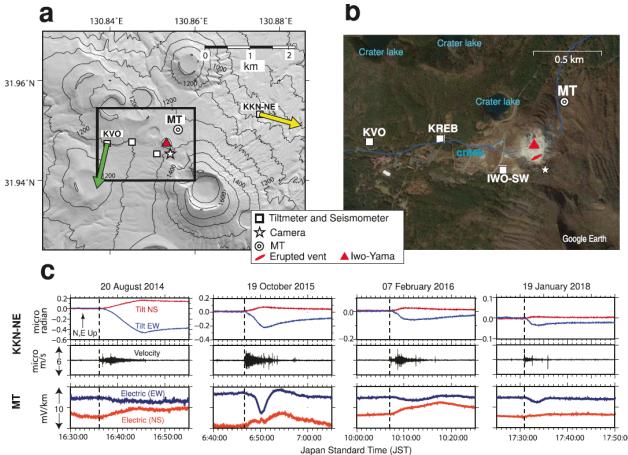


- 閾値: P波に対して3観測点、S波に対して2観測点
- 霧島火山の一次元速度構造を適用

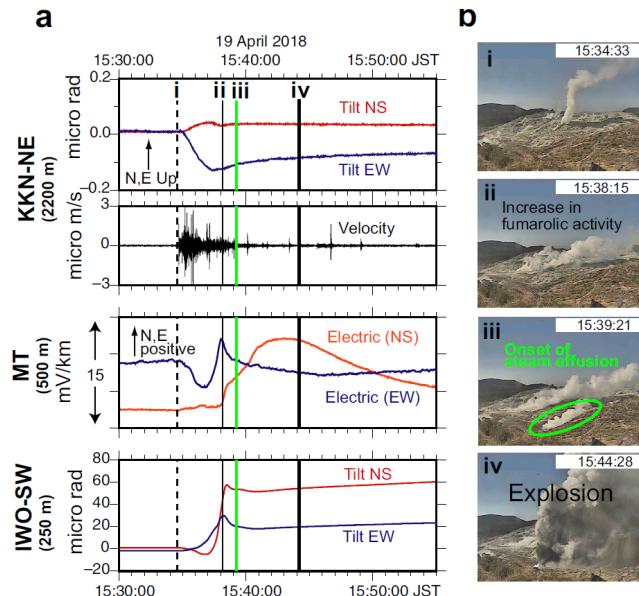
- ・手動読み取りの7倍以上の決定数
- ・B値など統計量が高精度化し時系列としての解釈が可能に
- ・他地域への拡張、適用限界の検討
- ・JMA読み取り値を教師データとして活用

サブテーマ4：霧島山における機動観測

微動を伴う傾斜変動“と電場変動 (非噴火時)



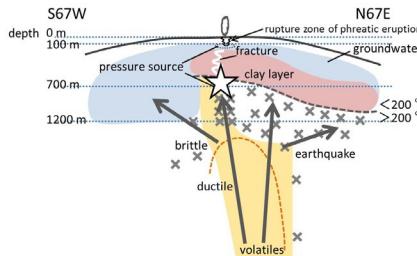
微動を伴う傾斜変動“と電場変動 (噴火時)



- 水蒸気噴火の発生場である霧島硫黄山において多項目観測を実施
- 微動を伴う傾斜変動が電場変動を伴う事例が13回。そのうち一つが水蒸気噴火に至った。
- 微動を伴う傾斜変動は「熱水貫入」。熱水貫入が浅部の冷水を動かし、電場変動を励起。
- 非噴火時は、冷水が火口に流入し噴火を抑制
- 冷水が不足すると抑制しきれず噴火に至る
- 電磁気変動による水蒸気噴火モニタリングの可能性

サブテーマ4: 火山内部構造・状態把握技術の開発 構造の比較とモデル化

霧島硫黄山



深さ2km程度までの詳細な構造と震源分布・圧力源の位置関係に基づき、水蒸気噴火発生場のモデルを提案

共通の特徴：

①浅部から深部へ向かう構造

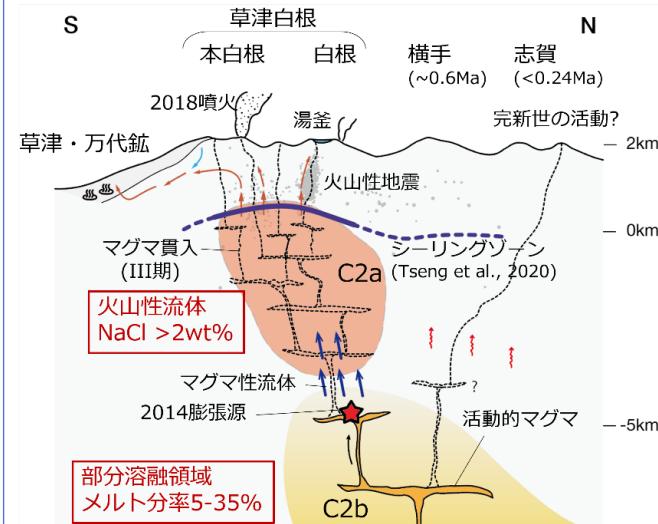
低比抵抗層（キャップロック） → 地震発生域 → シーリングゾーン
→ 熱水溜まり → 部分溶融域

②複数の圧力源

極浅部（噴火直前に膨張）、やや深部（火山活動活発化と連動）

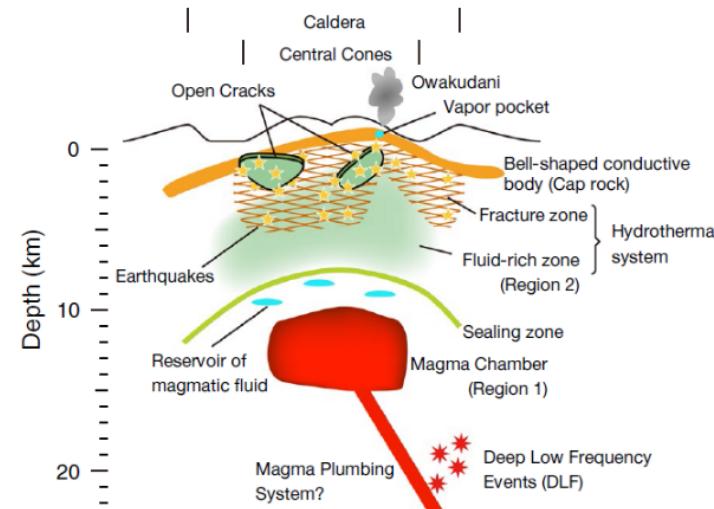
キャップロックやシーリングゾーンの存在については多くの既往研究があるが、それらを複数火山でとらえ、精密化したことが重要

草津白根山



深さ10km程度までの熱水系・マグマ供給系の構造を、3次元比抵抗構造モデルに基づき推定。

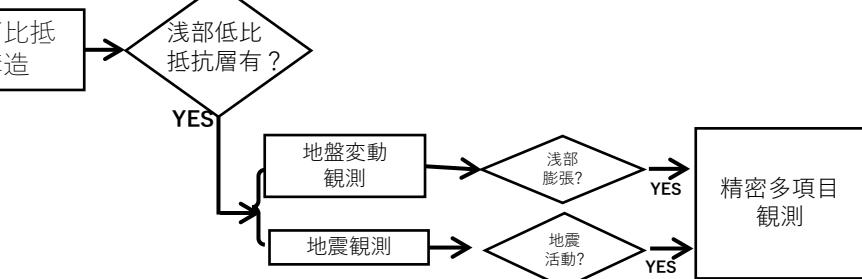
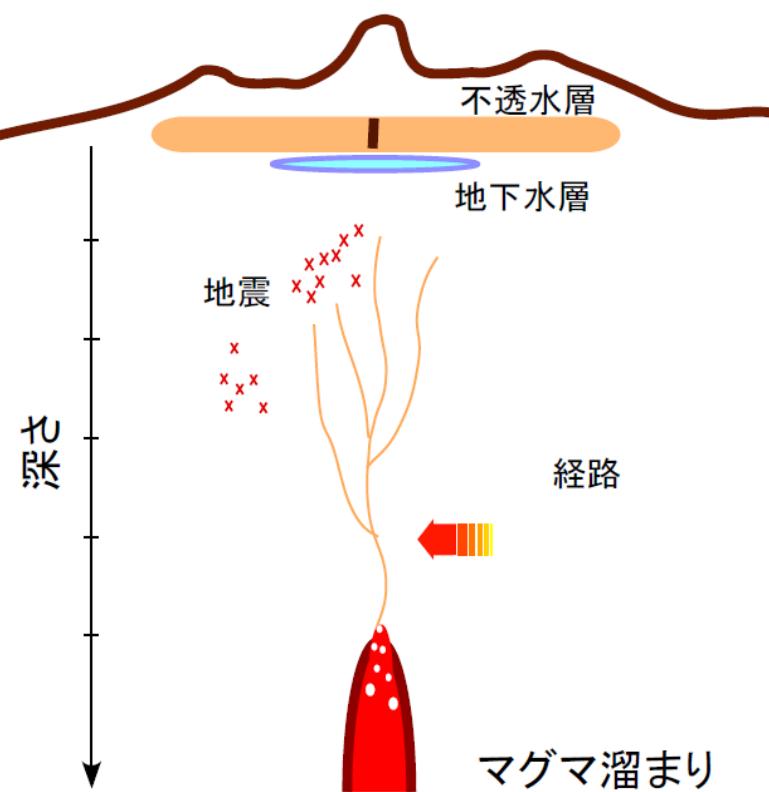
箱根山



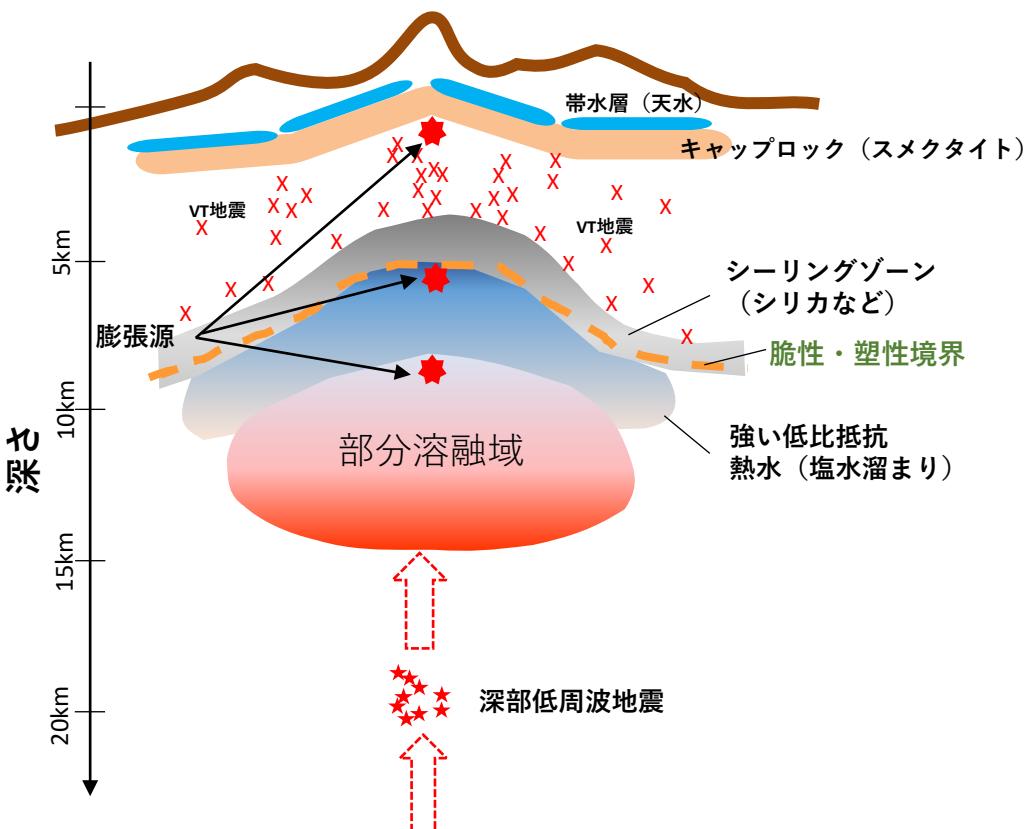
深さ20km程度までの熱水系・マグマ供給系の構造を、地震波速度トモグラフィー、震源分布、地殻変動解析に基づき推定。

サブテーマ4: 火山内部構造・状態把握技術の開発 構造の比較とモデル化

水蒸気噴火発生場の概念図



火山PJの成果を反映し更新された構造



- ・強さの異なる複数の低比抵抗層
「キャップロック」、「熱水溜まり」、「部分溶融域」
- ・膨張源は複数。火山毎に深さが異なる。全てあるとは限らない
- ・VT地震増加は、シーリング層より浅部への流体供給
- ・深部から浅部への流体移動に伴い、以下のように進行
深部低周波地震→やや深部の膨張→VT地震増
→浅部膨張→噴火