



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

参考資料 3-5
科学技術・学術審議会 測地学分科会
火山研究推進委員会 (第4回)
R3. 7. 14

課題C 火山噴火の予測技術の開発

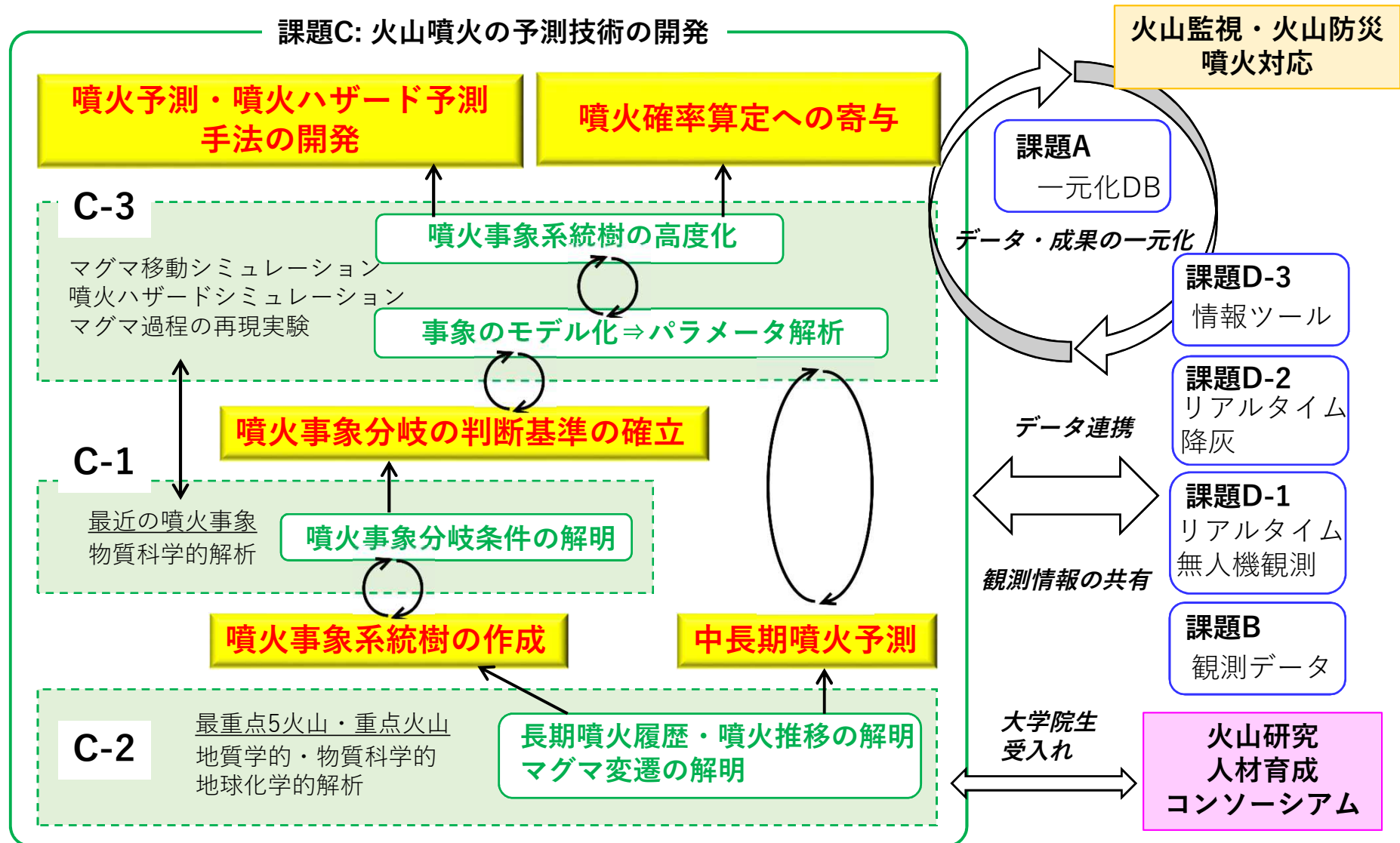
第7回研究運営委員会 課題成果概要

2019年12月～2020年度上期までの成果概要

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。



本日の報告

○各サブテーマの成果概要および成果例

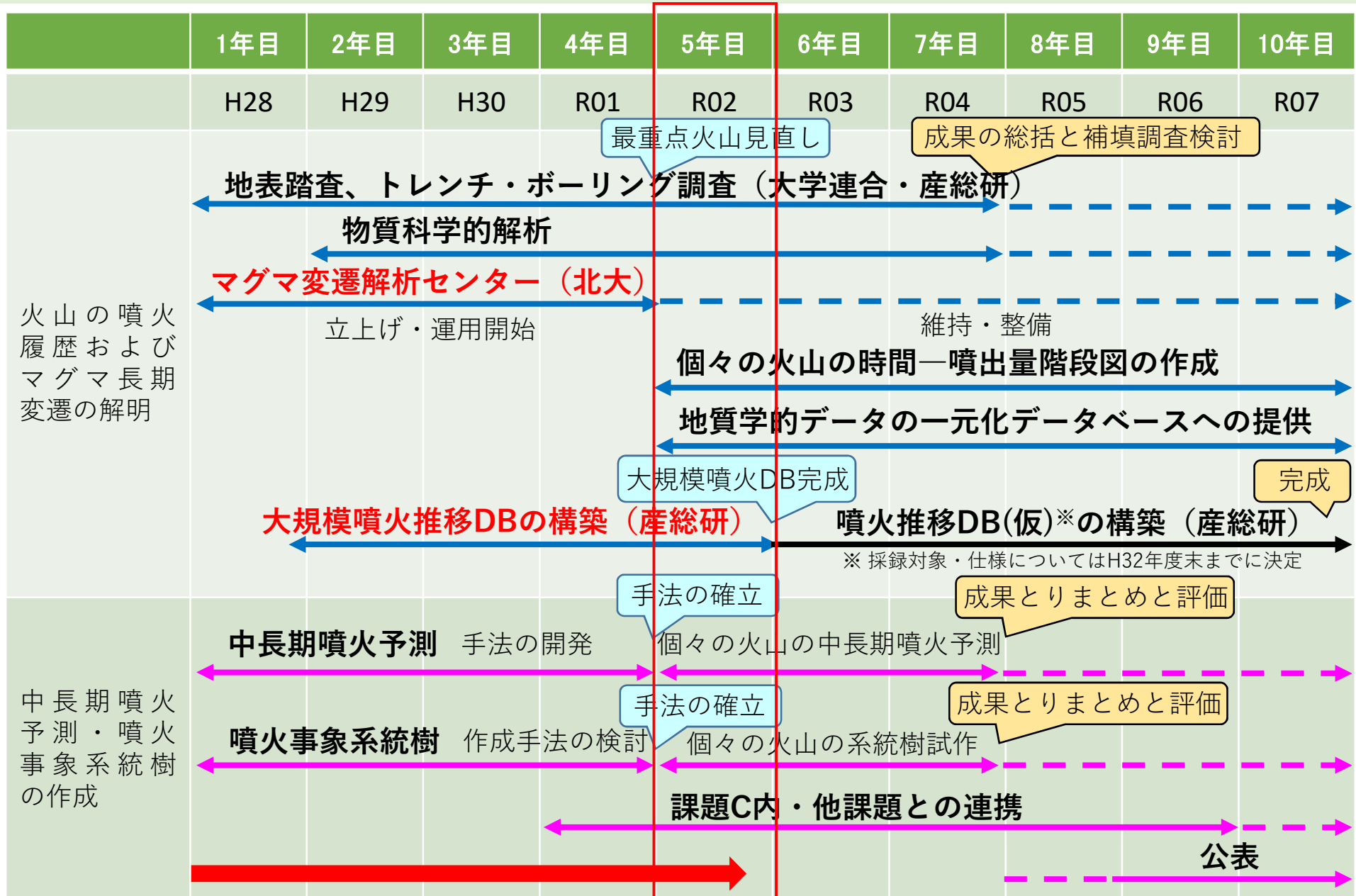
サブテーマ2：噴火履歴調査による火山噴火の中長期予測と
噴火推移調査に基づく噴火事象系統樹の作成

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

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

○課題C連携研究：玄武岩質噴火（伊豆大島）

サブテーマC-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



2020年度の活動・成果概要

○火山の噴火履歴およびマグマ長期変遷の解明

- 噴火活動履歴解明のためのボーリング掘削調査およびトレンチ掘削調査を実施
ex. 有珠山・アトサヌプリ・**阿蘇山**・雌阿寒岳・秋田焼山・鳥海山・蔵王山・浅間山など
- 野外調査に基づく、噴火履歴・噴火活動推移履歴の解明および物質科学的解析による長期マグマ変遷の解明
ex. 摩周・十勝岳・**秋田駒ヶ岳**・三宅島・霧島山・九重山・白山・**伊豆大島**・新島など
- 活動的火山としての認知度が低い火山について、噴火履歴・噴火推移履歴を解明
ex. ニセコ・**鷲羽池火山**
- 現在起きている噴火活動への対応 ex. **阿蘇山**

課題C連携研究

○大規模噴火データベースの整備（産総研）

- **噴火推移データの集約、噴火推移閲覧サイトの試作版構築**

○マグマ変遷解析センター（北大）

- マグマ変遷解析センターの整備および分析ルーチンの確立
- 参加・協力機関のユーザー受入れ

○ボーリングコアの管理システム構築（北大・防災科研）

- 管理システム構築のための既存コア試料の集約開始

○その他

- 噴火事象系統樹の試作をテーマとした研究集会開催予定
- 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実施）
- 地域社会への成果普及活動（トレンチ掘削調査時の説明会など）

鷲羽池火山：活動的火山の可能性の検討（富山大）

中部日本に位置する鷲羽火山の完新世の活動の可能性について検証するために、野外調査を実施した。

【成果】

- ・ 広域テフラK-Ah（7300年前）の上位に、鷲羽池火口が給源と推測される水蒸気噴火のテフラ、火砕サージ、噴石を確認（年代測定を予定）
- ・ 同火口南の硫黄沢ではR2年に少なくとも3回**大規模噴気活動**が発生（三俣山荘での聞き取り調査）



北西から見た硫黄沢の大規模噴気活動
（出典：三俣山荘インスタグラム URL
<https://www.instagram.com/explore/tags/三俣山荘>）



鷲羽池火口が給源と推測されるテフラの等層厚線と、火砕サージ・噴石の分布範囲（火口東域は未調査）
（基図：国土地理院 <https://maps.gsi.go.jp/>）

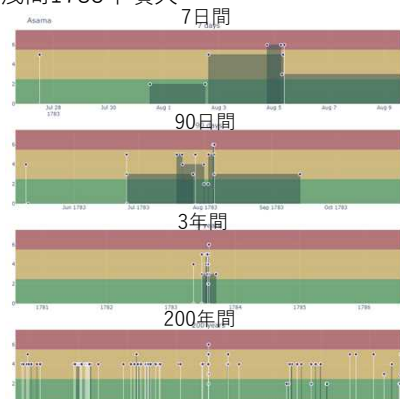
大規模噴火データベースの構築 (産総研)

サブテーマC2

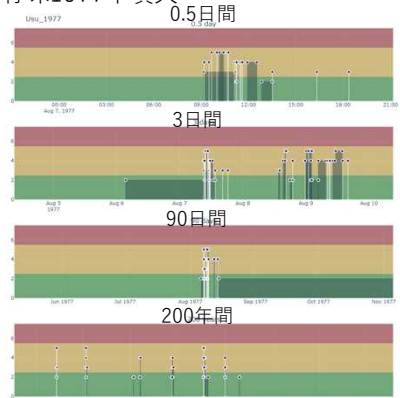
プリニー式噴火の噴火推移と大規模噴火の前駆活動と噴火推移の特徴を取りまとめ、噴火推移閲覧サイトの試作版を構築した。

プリニー式噴火推移

浅間1783年噴火



有珠1977年噴火



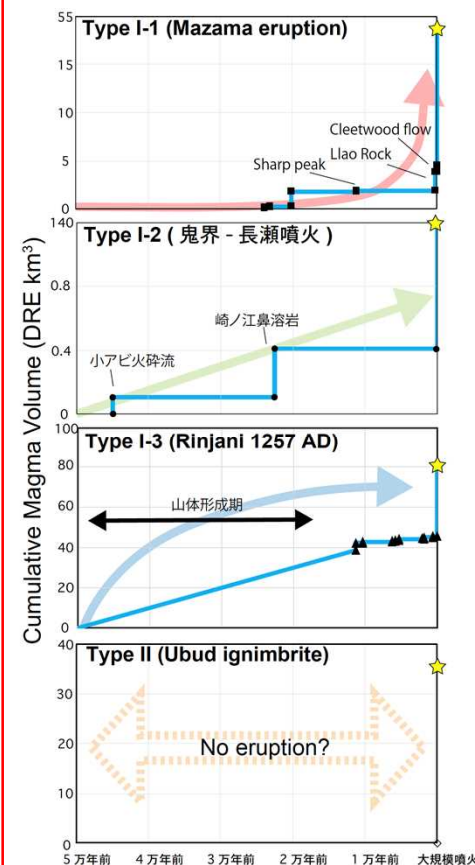
噴火推移閲覧サイトの試作版

Calbuco 2015, Kelud 2014, Puyehue Cordon-Caulle 2011, Grimsvotn 2011, Chaiten 2008, Pinatubo 1991, Augustine 1976, 桜島 1914, Novaraputa-Katmai 1912, Krakatau 1883, Askja 1875, 浅間1783, 富士 1707, Vesuvius 79 (14噴火)

縦軸は、VUC (Volcanic Unrest Classification : 火山活動強度指数)

【成果】 主要プリニー式噴火の噴火推移をとりまとめ、閲覧サイトの試作版を作成。7月にGSJ研究資料集(no.700)を公開。プリニー式噴火による降下テフラのGISデータを整備。

大規模噴火の前駆活動と噴火推移



白頭山-苦小牧
Minoan
Cerro Blanco
Mazama
鬼界-アカホヤ
Kurile湖カルデラ
Oruanui

始良-入戸
Campanian
Rotoiti
Congo
阿蘇4
阿多

池田カルデラ
ウルルン-隠岐
Kiau
屈斜路I
支笏
大山倉吉

鬼界-葛原
洞爺カルデラ
屈斜路IV
阿蘇3

Tambora 1815 AD
Rinjani 1257 AD
摩周主カルデラ
十和田-八戸
十和田-大不動
箱根-東京

Semisopichnoi
Fisher
濁川カルデラ
Zavaritsky 20 ka
Ranau
Ubud
Southern Sea Cliff

Uzon
Opala
Nemo 1
Maninjau
Old Pacayal
Young Toba
Los Chocoyos

御岳第一
三瓶木次
Old Crow

【成果】 過去13万年間に発生した46の大規模噴火(VEI>6)の前駆活動の特徴を解析。6月に大規模噴火の前駆活動と噴火推移を取りまとめたGSJ研究資料集(no. 699)を公開。大規模火山噴火のカルデラと降下テフラのGISデータを整備。

サブテーマC-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	R1年度	R2年度	R3年度	R4年度	R5年度	R6年度	R7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)									

今後の展開

R2年度で分析・解析プラットフォームの基礎的なハードウェアの導入と分析ルーチン立ち上げ

「分析解析プラットフォームの構築」 完了. 今後はより使いやすいようにソフトウェアやユーザーインターフェイスの整備に注力.

「データベース」 収集したデータの公開にむけて準備.

「機器の公開」 利用規定や操作マニュアルは整備済み. 来年度の利用受け入れに向けて準備中.

「火山噴出物解析」 引き続き11火山の噴出物について解析を続行. 個々の火山について, マグマ供給系像の精密化をはかる.

2020年度の活動・成果概要

(a)火山噴出物の分析・解析

・ COVID-19による活動制限の影響で、野外調査や分析に非常に大きな影響が出ている。

例) 地震研への分析来所数(4-10月): **2019年は94人・日, 2020年は6人・日に激減。**

・ 個々の参加組織でこれまでに採取した試料を利用して、**マグマ供給系の特徴やマグマの上昇速度の把握**に努めている (成果例1・補遺)

(b)分析・解析プラットフォームの構築

・ サブ課題外からの利用受け入れにむけて、装置利用手引き等を整備。

・ COVID-19対応するため、**リモート分析を試行**

→ 依頼者が正確に分析点情報を分析作業者に伝達できるような仕組みを構築し、試験的に運用中 (補遺)

・ **熱力学解析ツール (MELTS) の運転環境の整備と結果のデータベース化** (成果例2)

(c)データサーバーとデータベースの整備

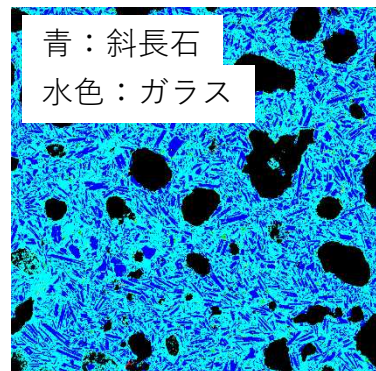
- ・ 収集画像データ (COMPO像, X線マップ) をWeb経由で試験的に公開中
 - > 画像の所有者 (+ 指導教員) とオペレーターのみがサーバー上で画像閲覧可能
 - > 画像所有者以外も, どのような画像が存在するのかについての情報は閲覧可能

成果例 1. 石基組織から探る富士山のマグマ供給系

これまでに構築した分析・解析プラットフォームの石基画像解析機能を使った成果

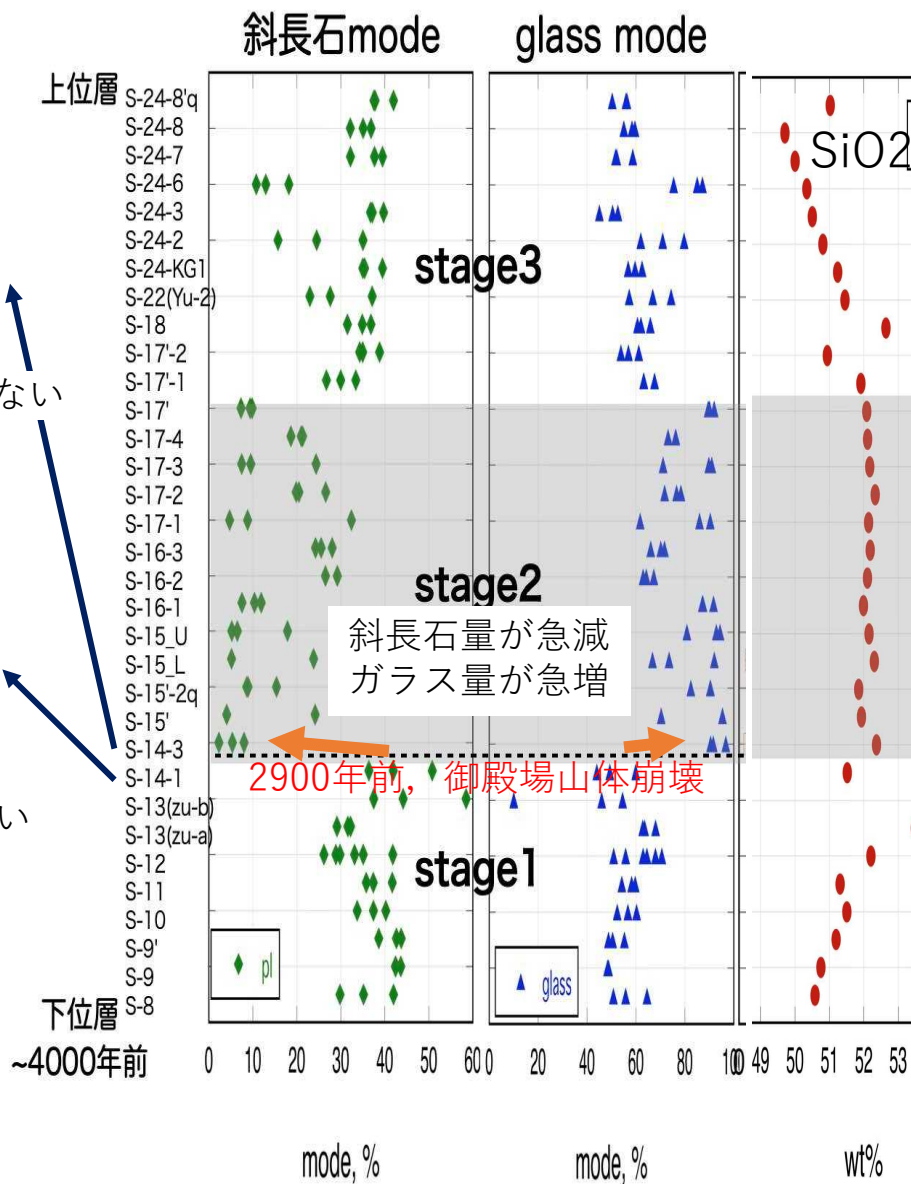


S-14-3 石基微斑晶が少ない

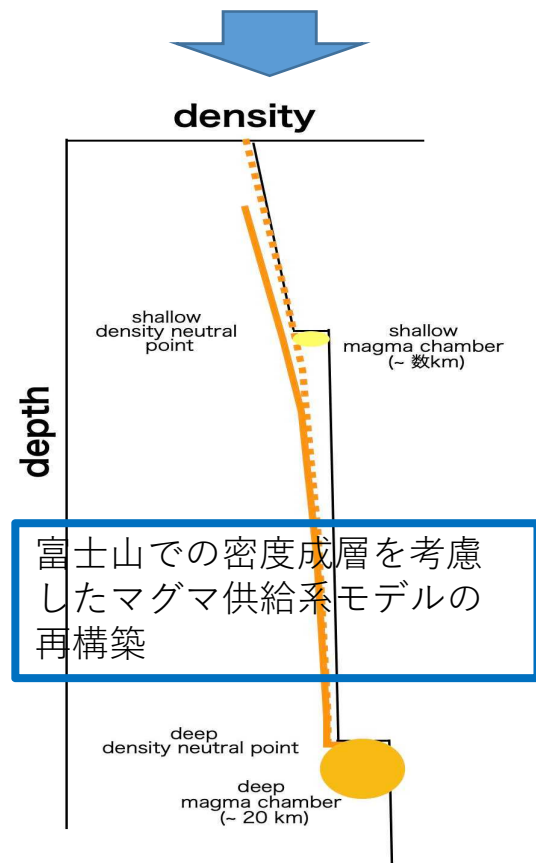


S-14-1 石基微斑晶が多い

山体崩壊が発生してから数百年にわたって、小規模ながら、石基微斑晶が乏しく、噴出物がガラス質の爆発的噴火が続く。

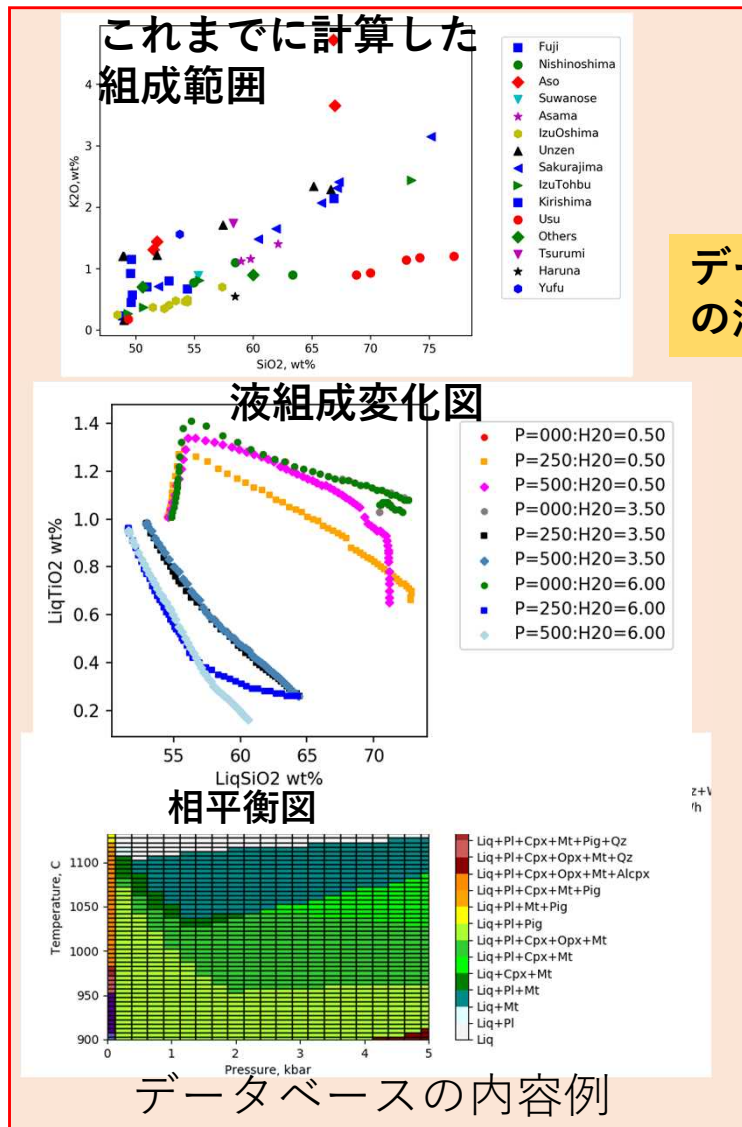


- ・この間、全岩化学組成自体は大きくは変化せず
- ・浅所のわずかな変化（崩壊体積1-2km³ << 山体体積(数百km³)であるにもかかわらず、噴出物の様態が急変し、その影響が長期間に及ぶ。

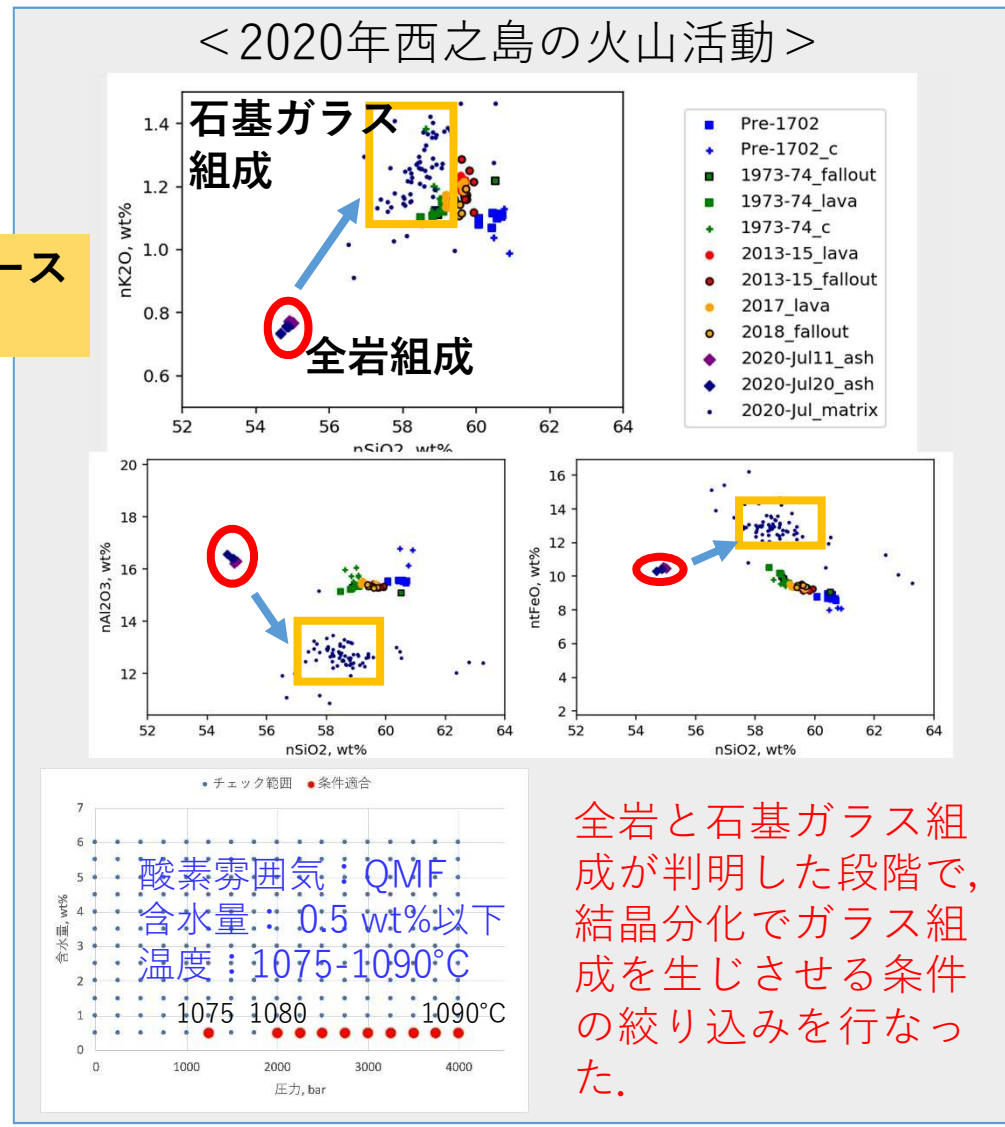


成果例 2. MELTS Databaseの構築

MELTS Databaseとは、課題C-1が対象とする11火山を含む主要な火山について、あらかじめ最近の噴火の噴出物について、様々な温度・圧力条件で結晶分化によるマグマの変化を熱力学ルーツのMELTSを用いて計算しておき、その結果にいつでも簡単に参照できるようにしたもの。



データベースの活用例



サブテーマC-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 →		

2020年度の活動・成果概要

(1) 地下におけるマグマ移動シミュレーション

- ・ **噴火機構シミュレーション技術開発**：低結晶度・高結晶度マグマ物性による火道流モデルシミュレーションによる噴火様式の再現（1986年伊豆大島噴火）
- ・ **マグマ移動過程シミュレーション技術開発**：境界要素法で地形形状を考慮した地殻変動計算手法の開発（例：伊豆大島）
- ・ 物性モデルの構築：静置による応力オーバーシュートの測定（例：1986年伊豆大島噴火溶岩）

(2) 噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

- ・ **降灰ハザード予測モデルの開発：JMA-ATM開発**（降灰および浮遊火山灰のシミュレーション機能）、降下火砕物の形状・密度の粒径依存性調査、移流拡散系の数理構造を理解するための研究
- ・ **噴煙柱ダイナミクスモデルの開発**：噴煙ダイナミクスと火山灰輸送をカップリングしたSK-3Dモデルを用いた大規模シミュレーション実施
- ・ **ハザード評価システムの開発：ハザード評価システムの運用開始・グランドデザイン実施**、高濃度粒子流のオープンソース2次元数値コードを用いた溶岩ドーム崩壊型火砕流モデルの開発

②噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

サブテーマC3



気象庁気象研究所
Meteorological Research Institute

a.降灰ハザード予測モデルの開発

降灰ハザード予測モデル開発

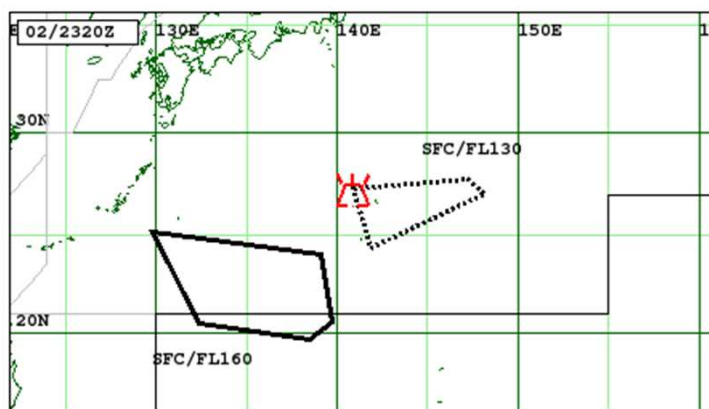
【令和2年度の目標（新しい移流拡散モデルの開発）】

前年度までに行った「b.噴煙柱ダイナミクスモデル」による噴煙放出を初期条件とする新しい移流拡散モデル（JMA-ATM）の開発を進める。

【令和2年度の進捗（新しい移流拡散モデルの開発）】

平成28～30年度に降灰シミュレーションの予備計算で使用したプロトタイプ（JMA-RATM）を更新するため、令和元年度から新しい移流拡散モデル（JMA-ATM）の開発を開始し、昨年度はモデル地形なしのドライモデルによる降灰シミュレーションを試行した。今年度は、モデル地形ありのフルモデルの開発を継続している。JMA-ATMは、従来のJMA-RATMと大気中の浮遊火山灰を主な予測対象としたJMA-GATMを統一しており、降灰だけでなく浮遊火山灰のシミュレーションにも資する設計にしている。一例として、開発期間中に発生した西之島の連続噴火について、浮遊火山灰と降灰シミュレーションの動作確認を行った結果を図に示す。

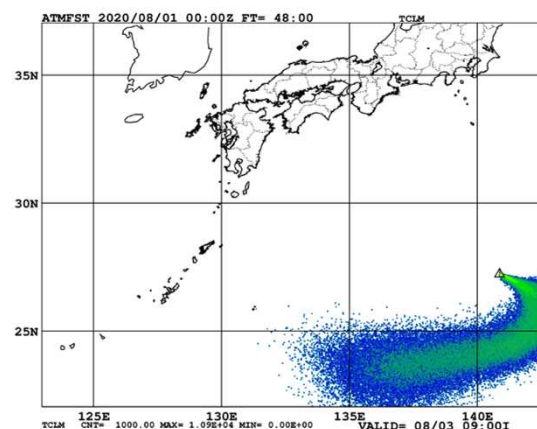
火山灰雲の予報官解析



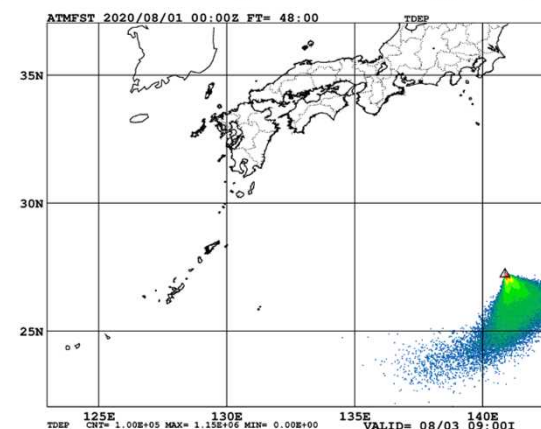
予報官による気象衛星ひまわり8号の画像解析
(解析時刻：2020年8月2日08時20分)

西之島の航空路火山灰情報2020/191号。8月3日00時発表より

Total Column Content (g/m²)



Total Deposition (g/m²)



開発中のJMA-ATM（フルモデル）による気柱積算（左図）と降灰シミュレーション（右図）の動作確認結果。初期条件はSuzuki1983による、西之島の連続噴火（噴煙高度：2020年8月1日09時～2日03時19000 ft, 2日03時～5日03時16000 ft, 5日03時～6日21時13000 ft）を仮定。大気場は気象庁全球予報値（初期時刻：1日00 UTC, 予報時間：5.5日）を使用。動画は6時間ごと。

c. ハザード評価システムの開発

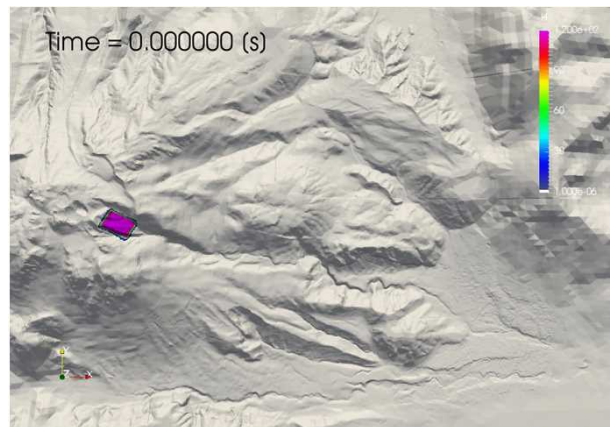


シミュレーションから統合的ハザード情報の提供

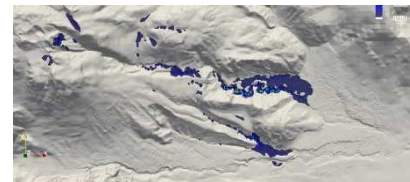
- 入力ファイル形式の汎用化、異なるシミュレーションのアウトプットの汎用化（メッシュ統合等）
- シミュレーション結果のデータベース化
 - 複数のシミュレーションによる確率計算
 - 対象メッシュにおけるマルチハザード評価

高濃度粒子流のオープンソース2次元数値コードを用いた雲仙1991年6月3日火砕流シミュレーション

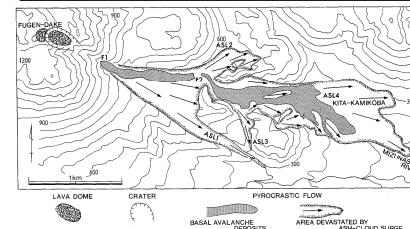
数値計算における火砕流高濃度部の厚さ



数値計算における最終堆積物の分布



1991年6月3日火砕流堆積物分布



火砕流ハザードモデル開発

堆積物分布について、本数値計算結果が観測データを概ね説明できることを確認

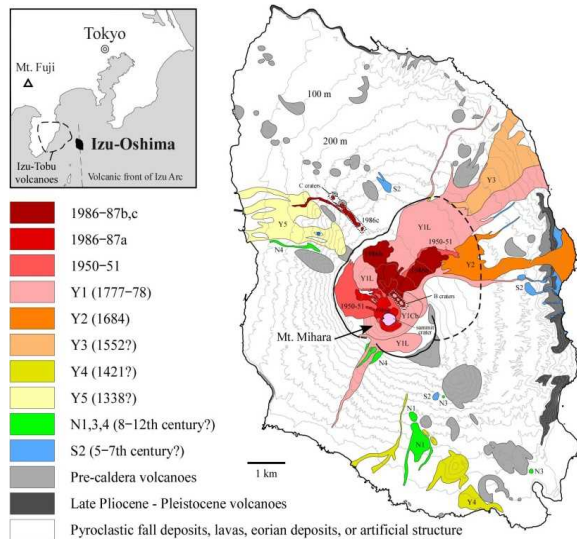
- 数値コード:
faSavageHutterFOAM (Rauter et al., 2018)

(Modified from Fig. 8 of Yamamoto et al., 1993)

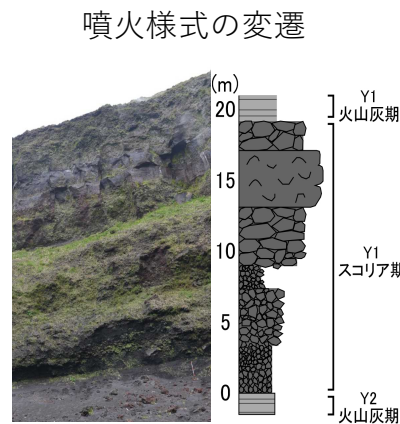
課題C連携研究：玄武岩質噴火（伊豆大島）

玄武岩質マグマの多様な噴火様式やその遷移を支配する要因について、火道流モデルで検討し、噴火予測・推移予測について課題全体で取り組む

対象：
安永噴火（Y1）1986年噴火・15世紀（Y4）

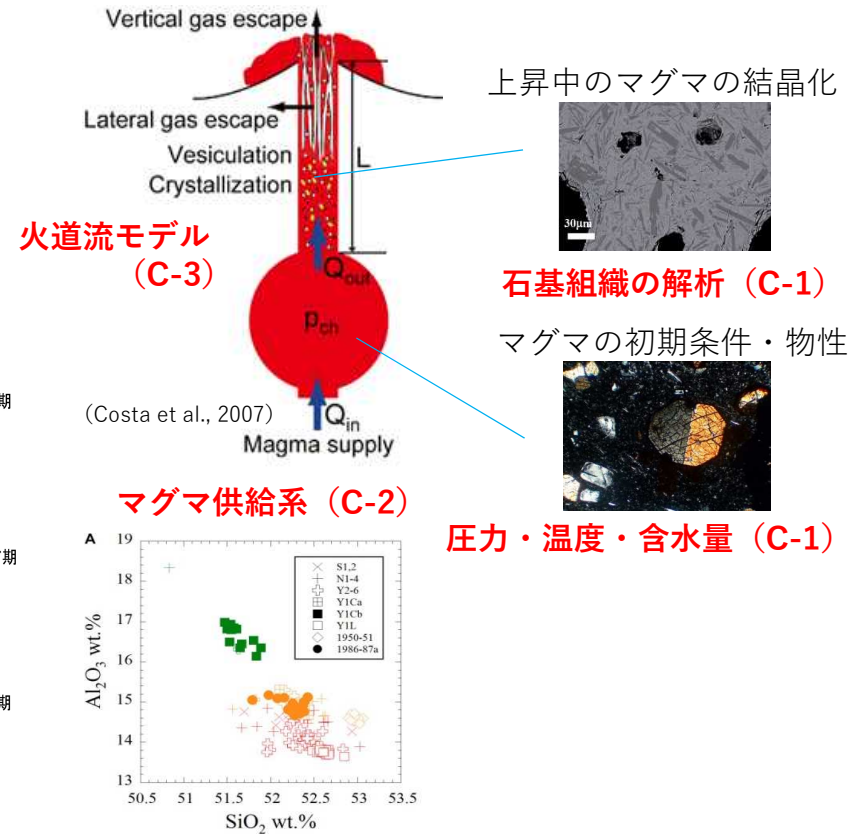


火山地質図（川辺，1998）



噴火活動履歴（C-2）

噴火様式の変遷



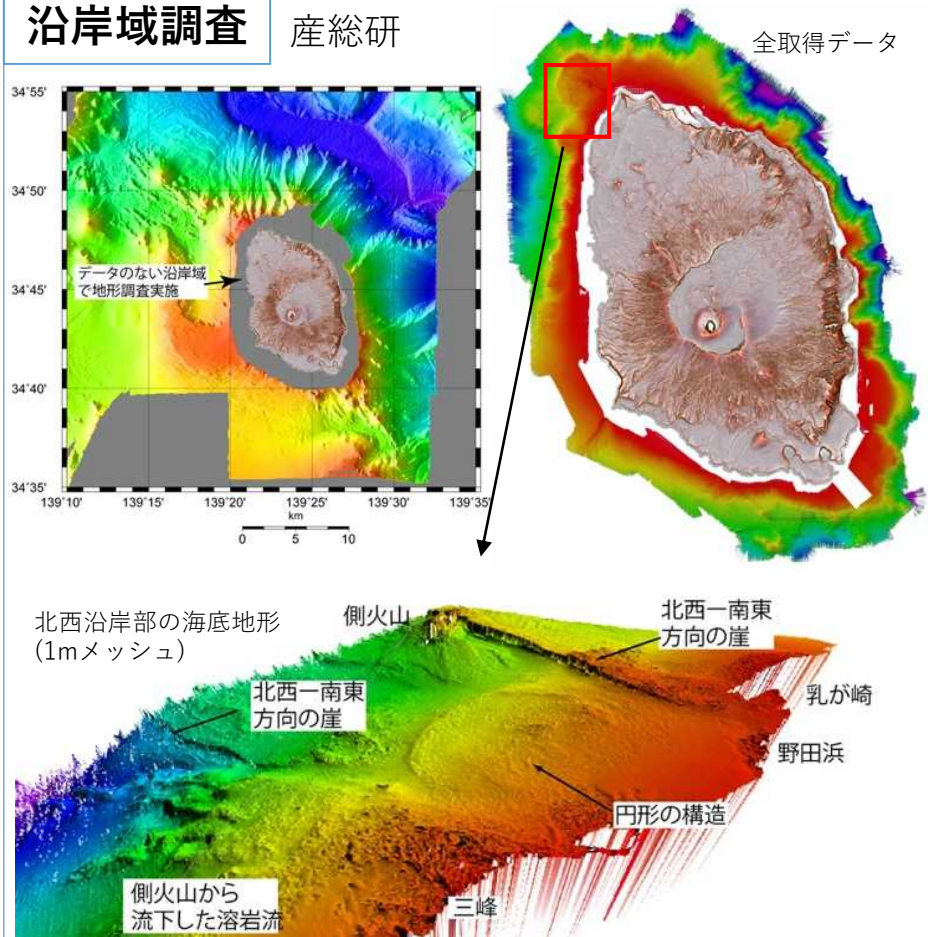
R02年度計画：サブ課題ごとに対象噴火イベントについて検討し、研究集会で議論

進捗状況：コロナ禍で計画通りには進んでいない

できる範囲で個々の検討は進めており、今後連携し発展させていく予定

噴火活動履歴解明のための沿岸域調査および 歴史時代噴火の活動推移の多様性の解明のための地質学的・物質科学的検討

沿岸域調査 産総研

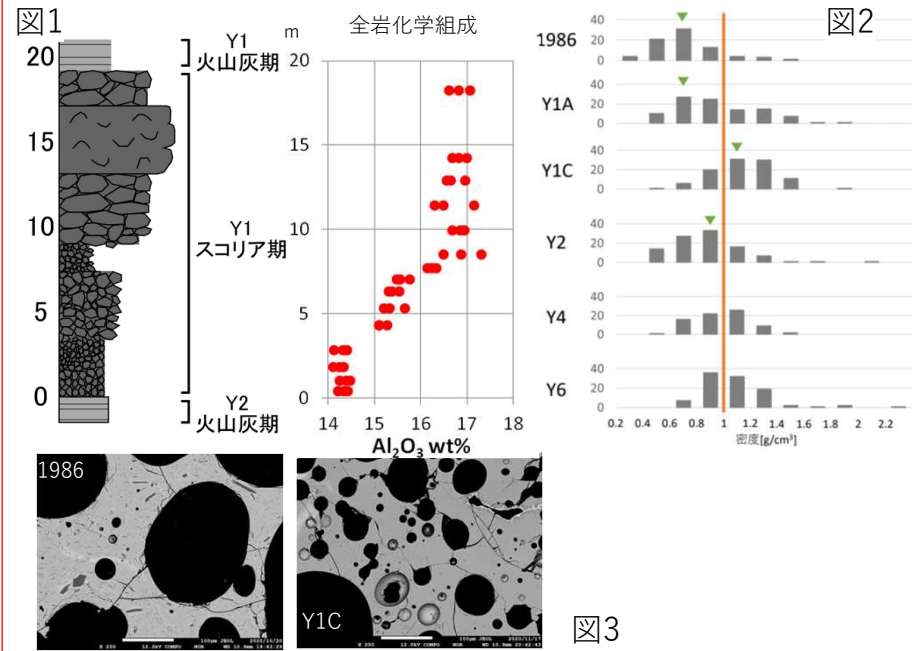


伊豆大島：沿岸海底部の活動度調査

- 沿岸部水深400m程度までの範囲で精密海底地形調査を実施（13日間漁船備船）
- 【成果】これまで知られていない海底部における側火山体や溶岩流の分布を解明

歴史時代大規模噴火の活動推移 東大地震研

歴史時代大規模噴火Y1, Y2, Y4, Y6について、層序を再構築し、各噴火の層序毎の噴出物の特徴抽出と分析を進めている。また、1986年噴出物と比較し、大規模噴火と中小規模噴火の違いを生み出す原因についても検討を進めている。



- Y1噴火：化学組成や岩石組織の時間変化あり（図1）
- 噴火強度が大きいY1C噴出物は、より高密度かつ低マイクロライト量で、1986噴出物などと特徴が大きく異なる（図2・3）

伊豆大島1986年噴火や過去の歴史噴火を対象とした

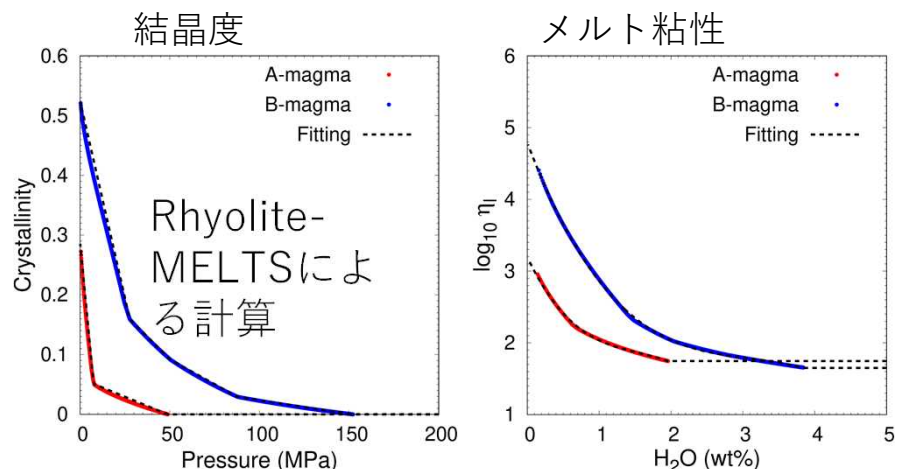
多様な噴火様式の火道流数値モデルシミュレーション

■ 1986年伊豆大島噴火

“Aマグマ”: 低結晶度 -> **溶岩流**

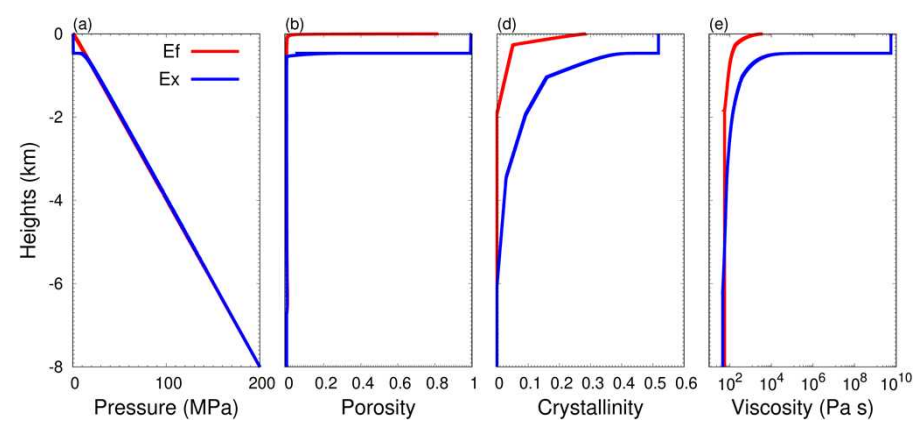
“Bマグマ”: 高結晶度 -> **サブプリニー式**

(石橋・種田, 2018)

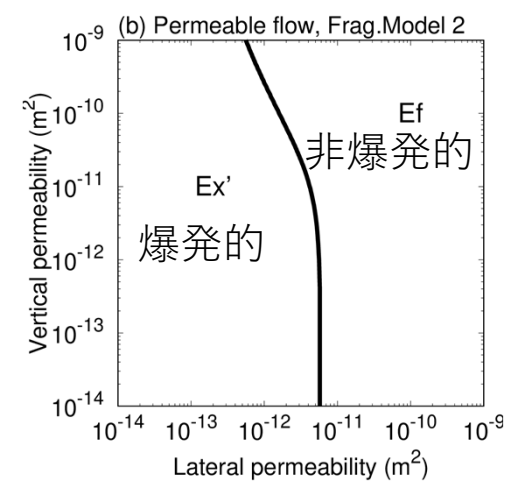


各マグマの物性を火道流モデルに適用

■ A、Bマグマの条件において、非爆発的、爆発的噴火に対応する火道流を再現



■ 噴火タイプの存在条件を推定



今後の計画：
安永噴火への適用、時間発展変動解析、地殻変動計算

補遺：
各サブ課題の成果例

秋田駒ヶ岳：野外調査に基づく 過去1.3万年間の噴火活動履歴の解明 (北大, エンバイオ・エンジニアリング)

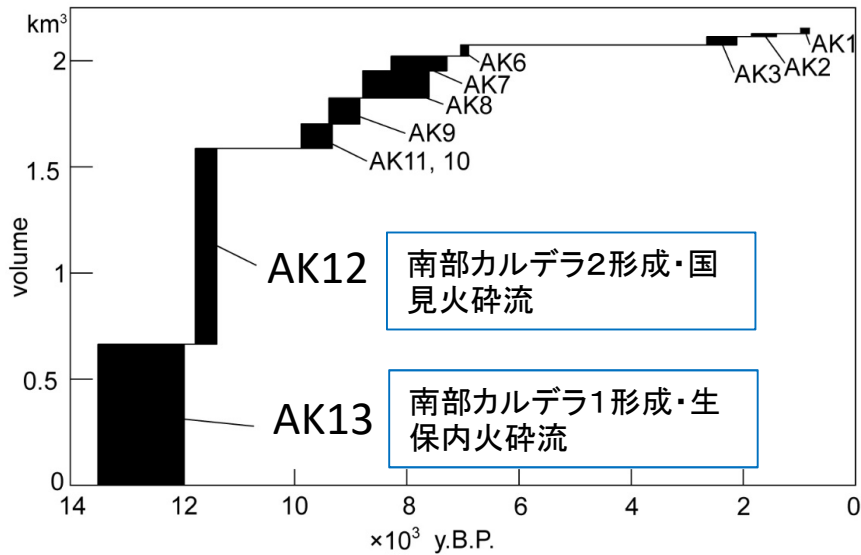


図1. 秋田駒ヶ岳の1.3万年間活動の階段図(和知ほか(1997)を改変)

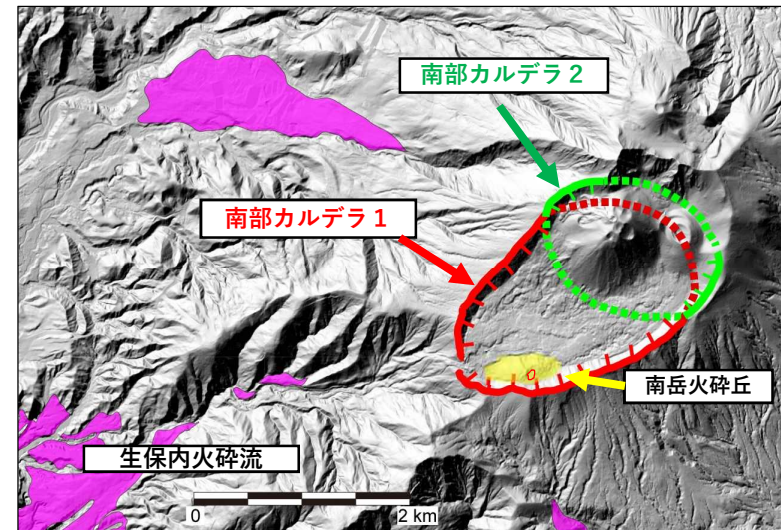


図2. 秋田駒ヶ岳、南部カルデラの地形・構造および生保内火砕流の分布

東北地方で最も活動的な火山の一つである秋田駒ヶ岳について、約1.3万年間の噴火履歴・噴火様式の再検討を行っている(図1)。本年度では、最も大規模なカルデラ形成噴火について以下のことが明らかになった。

1. 時間間隙を挟んで、2回の爆発的噴火により複合カルデラが形成された(図2・3)。
2. それぞれの噴火では火砕流が発生した(図3・4)。
3. それぞれの噴火では異なったマグマ供給系が活動した(図3)。

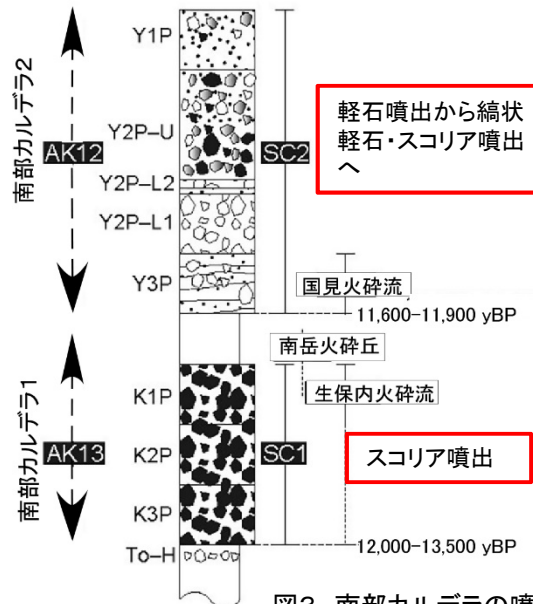


図3. 南部カルデラの噴火推移と本質物の時間変化

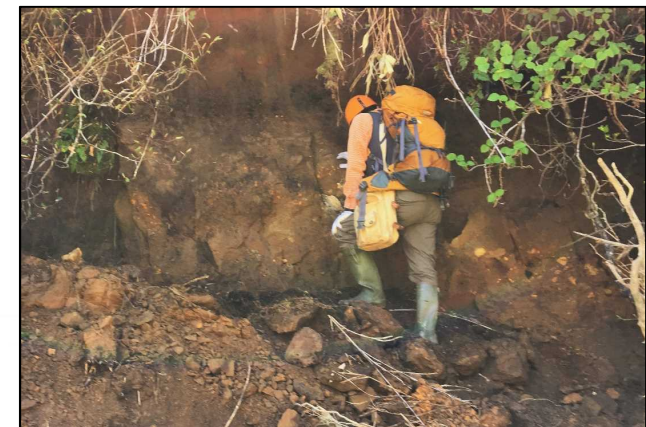


図4. 南部カルデラ1内部で新たに見出された、南岳火砕丘を覆う国見火砕流(新称)

阿蘇山：トレンチ掘削調査による 最近数千年間の噴火史と中岳2019～2020年マグマ噴火 (熊本大)

中岳北東2.7 km地点でのトレンチ調査



ボーリング掘削調査を追加実施予定

阿蘇火山では3600～4000年前頃の時期に断続的な灰噴火のほか、厚い降下スコリアをもたらす準プリニー式噴火、さらに水蒸気噴火などの火山活動が高頻度で発生していることが明らかとなった。

中岳2019年7月～2020年6月マグマ噴火



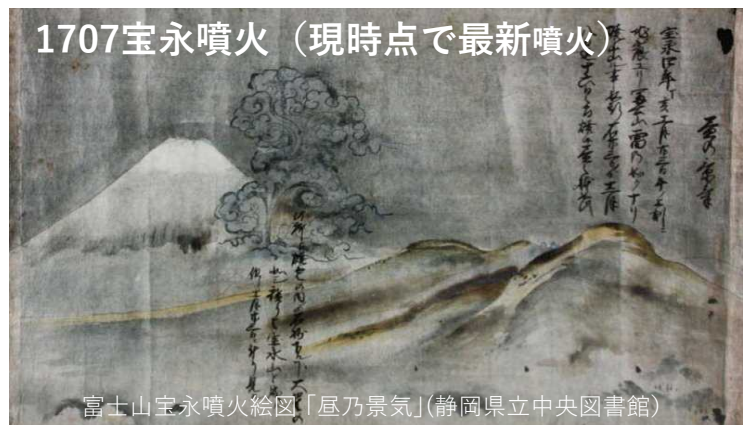
定期的な降灰調査の結果、約11か月間のマグマ噴火で放出された火山灰の総量は110万トン程度に達することがわかった。

火山灰の構成粒子



本質物と考えられる新鮮なガラス片の割合は噴火開始から2019年8月中旬頃まで増加した後は減少傾向にあり、2020年2月以降は1割以下にまで低下した。

成果例. 富士山のマグマ供給系の特徴： 斑レイ岩捕獲岩から探る富士山のケイ長質マグマだまり



1707宝永噴火（現時点で最新噴火）

富士山宝永噴火絵図「昼乃景気」(静岡県立中央図書館)

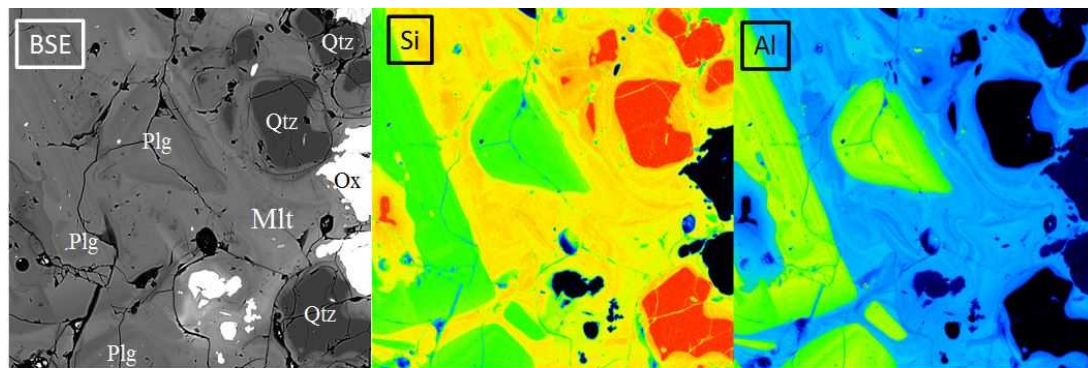
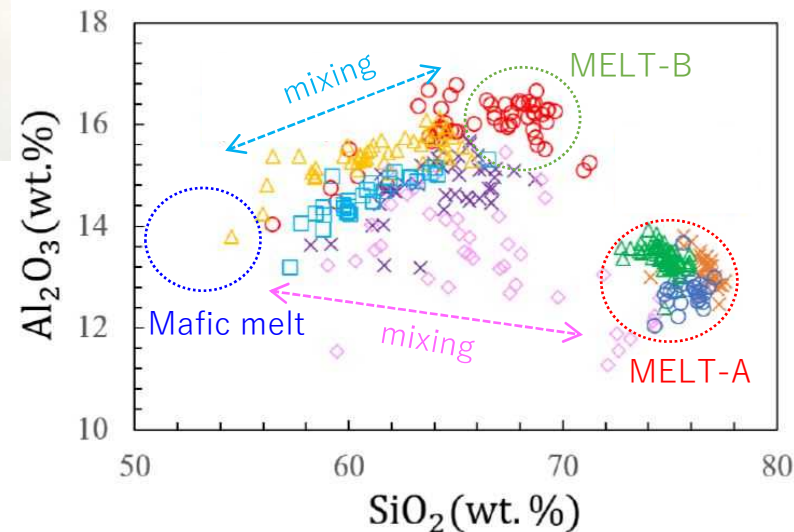


宝永噴火の斑レイ岩捕獲岩

◆ 斑レイ岩の粒間ガラス（大塚他, 2020JpGU）

- 斑レイ岩の粒間ガラスの化学組成を分析したところ、玄武岩質安山岩～流紋岩質組成をもつガラスを発見
- Alに乏しい流紋岩質メルト（MELT-A）と、Alに富むデイサイト質メルト（MELT-B）の2つのケイ長質端成分メルトが存在し、苦鉄質メルトと混合している

- 1707年宝永噴火では、富士山で初めてデイサイト質マグマが噴出
→富士山での珩長質マグマの発達を示唆
- 宝永噴火の斑レイ岩捕獲岩に含まれるガラスから、ケイ長質マグマだまりの状態について調べた。



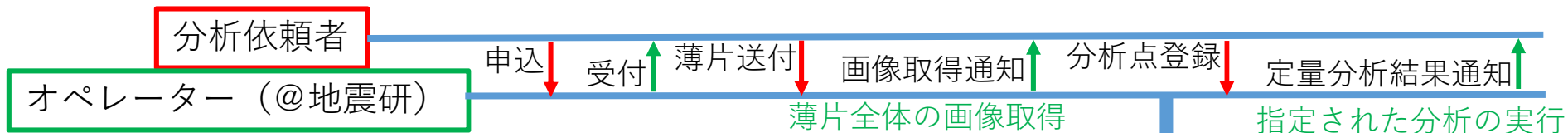
石英を含むクリスタルマッシュ試料 (FjGB18) のBSE像と元素濃度マップ

◆ 石英の発見（石橋他, 2020火山学会）

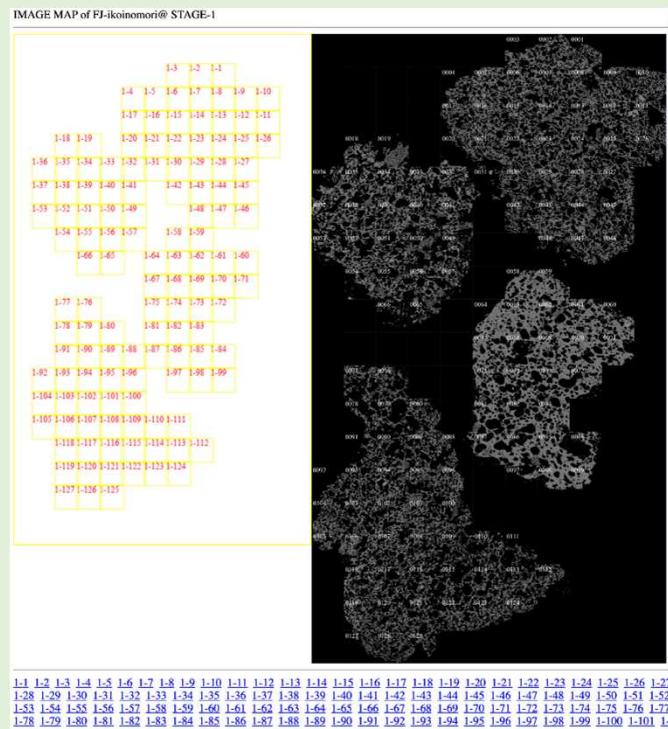
- 石英と流紋岩質粒間メルトを含むクリスタルマッシュ状の捕獲岩を発見した（富士山での石英の報告は初）
- 著しく分化したケイ長質メルトが存在する

成果例. リモート分析ルーチンの立ち上げ

インターネット経由では、分析機器の操作は直接できないため、分析時には必ずオペレータが介入する。そのため、分析したい点座標や分析条件を機器操作者（オペレーター）に正確に伝達することが鍵となる。



2019年度に作成した画像DBを利用

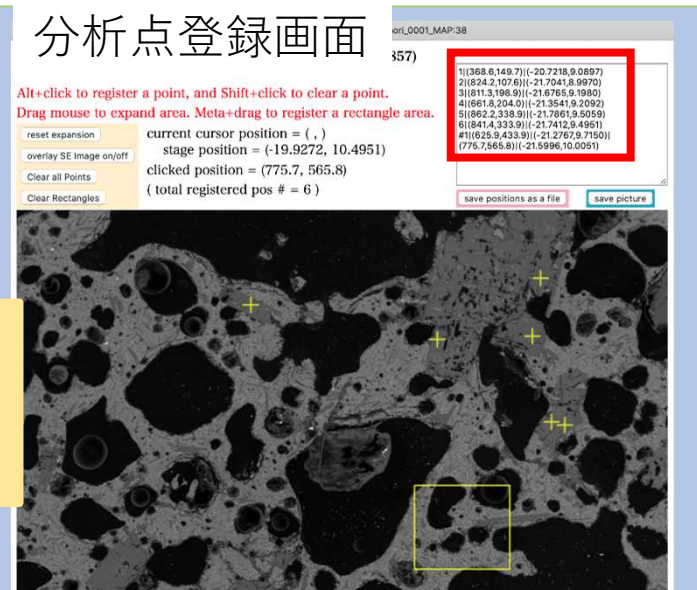


薄片全体のSEM像, COMPO像の取得

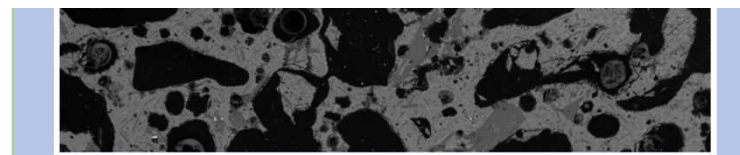
点や矩形指定が行えるツールを新たに作成

指定位置座標はテキストファイルで保存 + 画像にマーク

分析点登録画面



任意のサイズに部分拡大, COMPO像にSEM像を重ねて表示可能



個々の画像をWebで見ながら、正確な分析点指定ができるオペレーターが同じ画面を見ながら作業可能

①地下におけるマグマ移動シミュレーション

b. マグマ移動過程シミュレーション技術開発



気象庁気象研究所
Meteorological Research Institute

**地殻変動
シミュレーション開発**

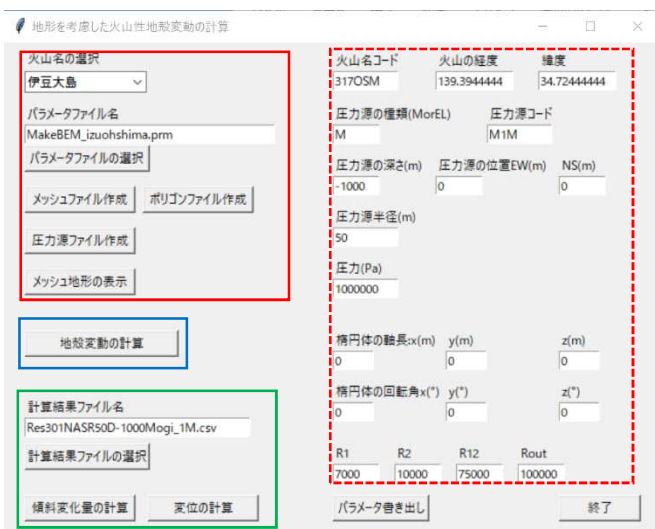
境界要素法により地形の形状を考慮した地殻変動計算手法の開発

火山周辺の観測点は火山体地形の上にあるため、観測データの解析において地形の影響を考慮することは重要。境界要素法により地形を考慮した火山性地殻変動を求める手法の開発を進めている。開発したプログラムを利用しやすくするため、数値計算に必要な山体地形モデルの作成や計算結果を作図用に変換する機能の開発を行った。開発したプログラムを伊豆大島の気象庁観測点での地殻変動量の計算に適用した。

山体地形・圧力源のメッシュの作成

山体地形：国土地理院の10mメッシュの数値標高モデルを利用

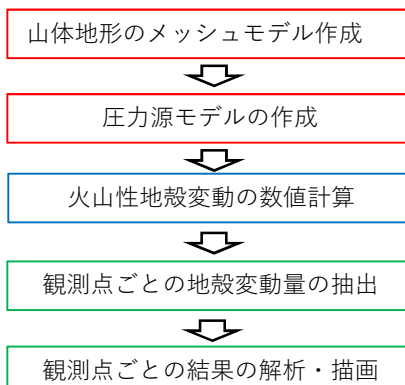
圧力源の形状：球状・回転楕円体を作成可能



火山性地殻変動計算プログラムのGUI画面の例。赤破線内は地形モデル作成のためのパラメータ。

圧力源の位置や大きさといった山体地形のメッシュモデルを作成するためのパラメータおよび計算をGUI上で行えるプログラムを作成した。

地形を考慮した地殻変動計算の流れ



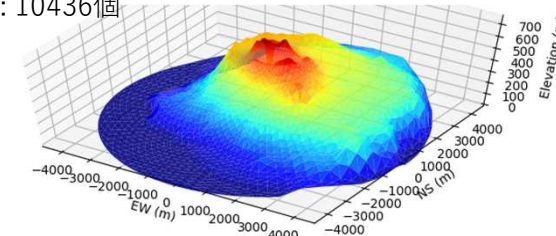
計算結果の利用

数値計算結果から観測点ごとの傾斜変化量や変位量を抽出することが可能

伊豆大島への適用例

節点数: 5224個
メッシュ数: 10436個

地形メッシュモデルの作成例



計算結果例

気象庁の傾斜計観測点における傾斜変化量を開発したプログラムと標高補正茂木モデルの場合について求めて比較した。

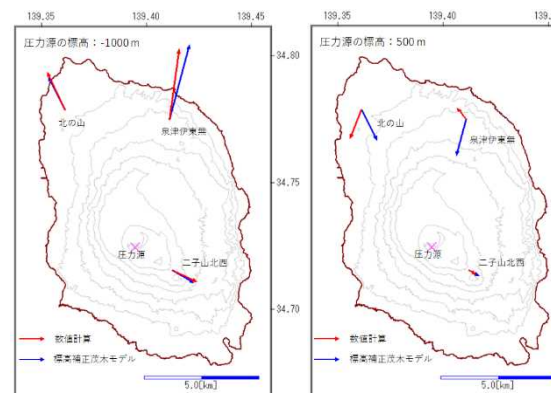


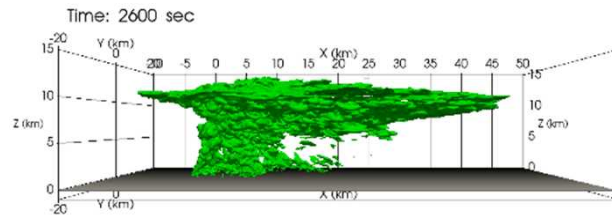
図. 球状圧力源の深さを海拔下1000m(左)と海拔上500m(右)とした場合の観測点ごとの傾斜変化量。二子山北西観測点の傾斜変化量は0.01倍して表示。

圧力源が海拔より上にある場合、数値計算の結果と標高補正茂木モデルによる傾斜変化の違いは大きくなる。

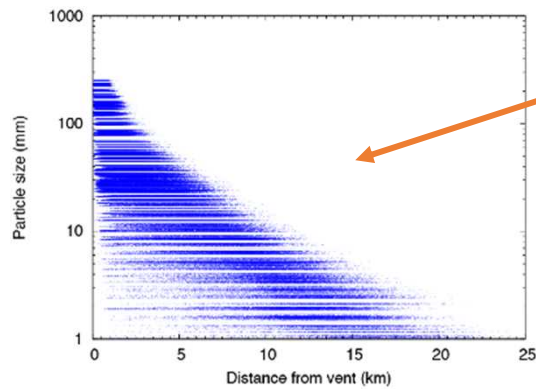
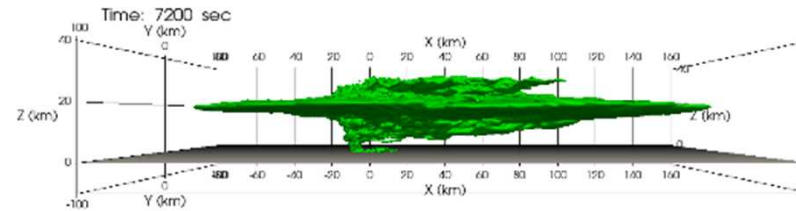
b. 噴煙柱ダイナミクスモデルの開発

降灰シミュレーションの高精度化

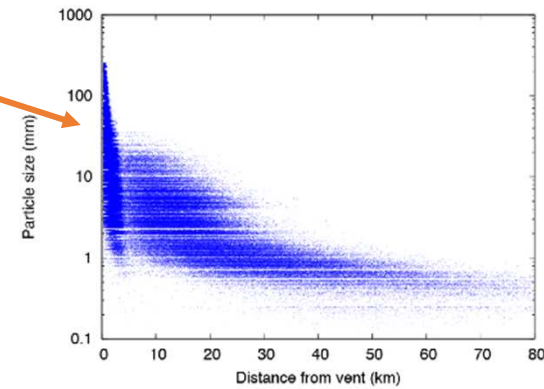
噴出率： 4×10^6 kg/s



噴出率： 1×10^8 kg/s



距離に対する粒子サイズ
分布パターンに違い



様々な噴火規模・大気条件の噴煙・火山灰シミュレーションを実施。解析を進めている。