



# 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2-3

次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト

総合協議会（第12回）

R7. 12. 9

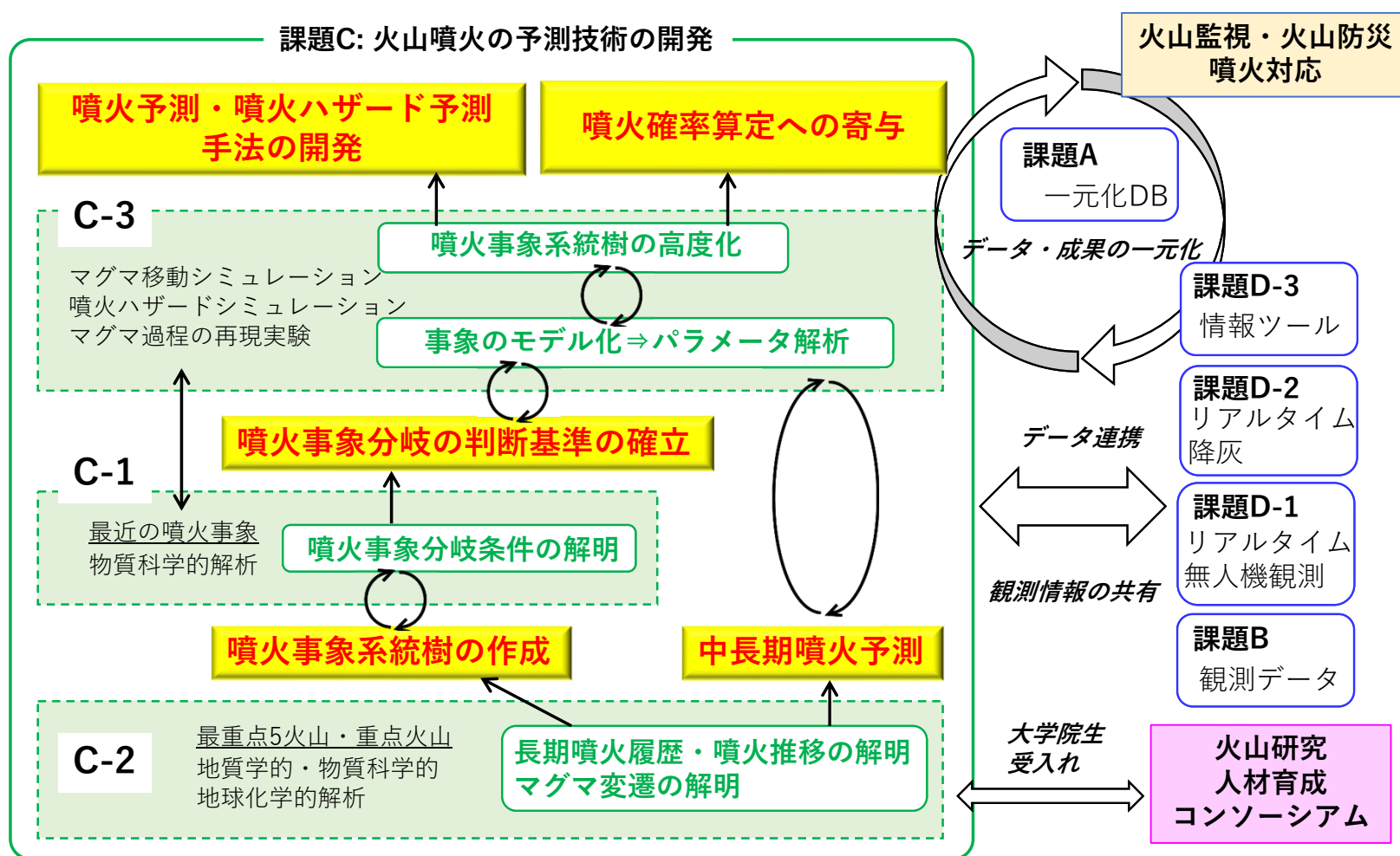
## 課題C 火山噴火の予測技術の開発

第12回総合協議会 10年間の成果概要

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。



## 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

#### ○事業開始時の目標

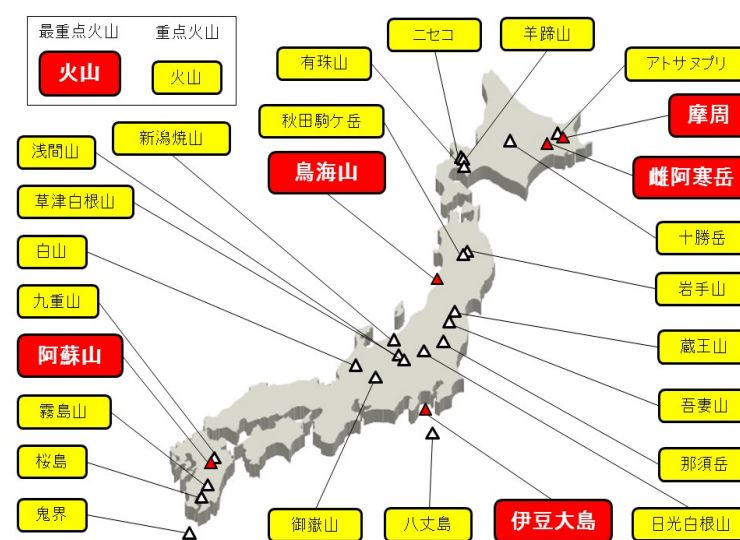
- ・重点火山で長期的な噴火履歴とマグマの変遷を明らかにし、「**マグマ噴出量階段図**」を整備
- ・噴火事象の特徴と共通点を比較するため、各火山ごとに「**噴火事象系統樹**」を作成
- ・噴火現象のモデル化に必要なパラメータ（噴出量、推移、マグマの物性など）を他の課題へ
- ・地域に根ざした研究であることを踏まえ、研究成果を積極的に社会へ発信・還元する。

事業進行に伴い、目標の修正・追加が必要となった

#### ○最終的な事業目標

- (1) 新たな研究手法の適用（高解像度DEM、ボーリング・トレンチ掘削、沿岸浅海域調査、年代測定、多項目物質科学）
- (2) 最重点・重点火山の噴火履歴および噴火推移の解明
- (3) 見落とし火山・火口域解消のための火山体調査
- (4) 長期マグマ変遷の解明
- (5) 中長期噴火予測のための**マグマ噴出量階段図**の作成
- (6) **噴火事象系統樹**の作成
- (7) マグマ変遷解析センターの整備と運営
- (8) 噴火データベースの整備
- (9) 噴火対応
- (10) 火山プロジェクト、課題間連携研究の推進

最重点・重点火山を設定



第1期最重点・重点火山

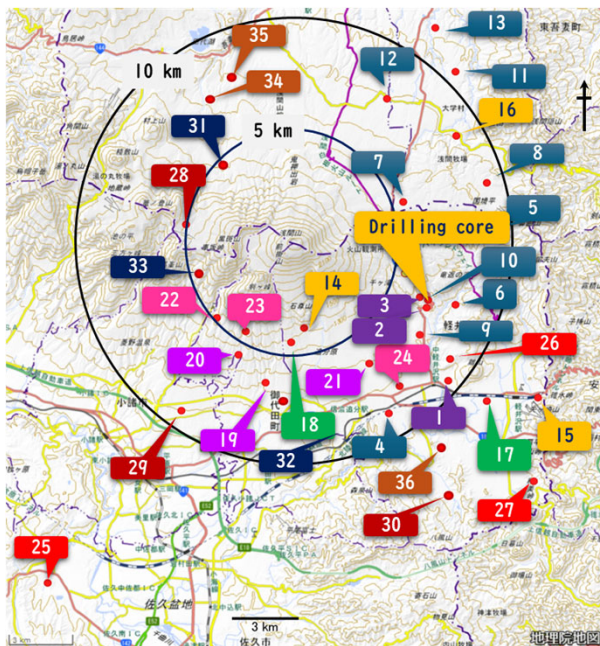
サブ課題C2



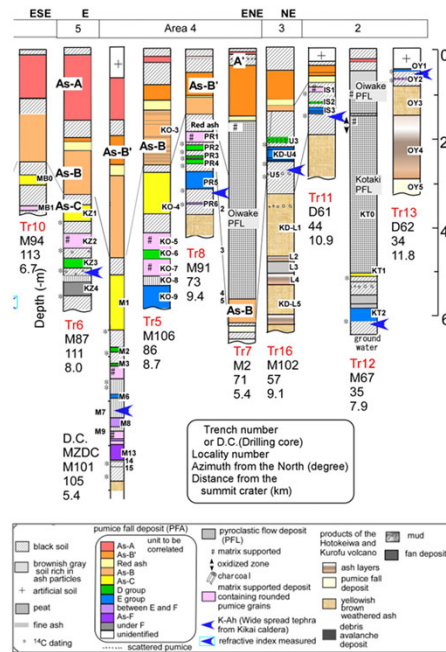
## 新たな手法の導入（1）

浅間山 重機トレンチ掘削集中  
調査と<sup>14</sup>C年代測定

噴火履歴の高精度復元



過去10年間に実施した重機トレンチ掘削地点



代表的な調査地点の柱状図

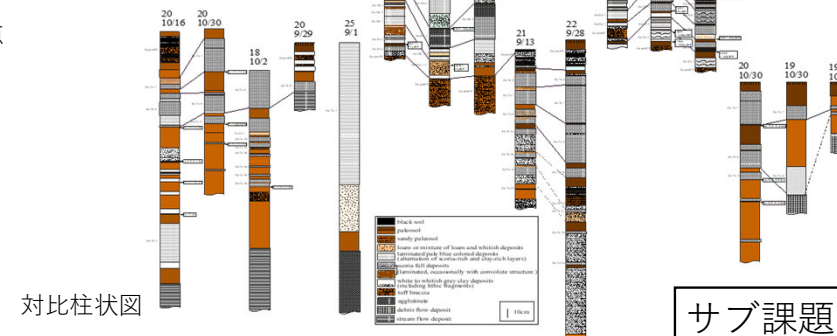
## 蔵王山

火口・山体近傍での手掘りトレンチ掘削調査

小規模噴火履歴の詳細解明



掘削調査地点



対比柱状図

サブ課題C2

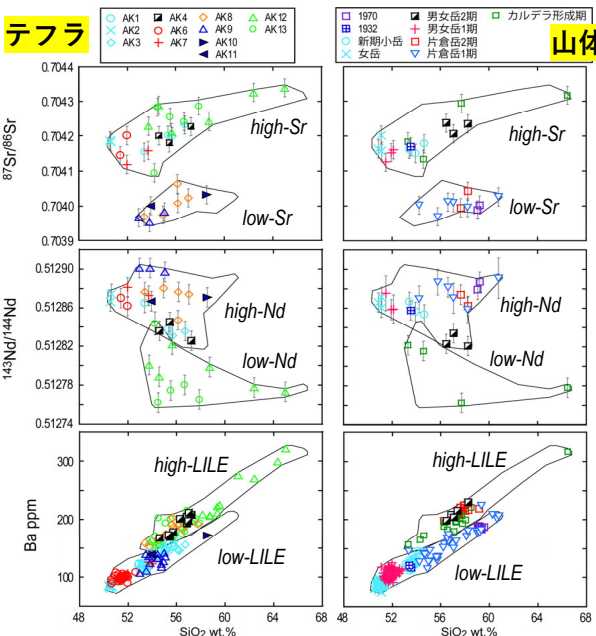


新たな手法の導入（2）

秋田駒ヶ岳 多項目物質科学的データ → マグマタイプによる対比



- テフラと山体構成物の情報  
テフラ：時間軸の入った噴火史  
山体構成物：小規模＋非爆発的の堆積物
- 山体形成史（時間軸入り）解明の手続き  
1. 各テフラユニットの**マグマタイプ**  
2. 山体発達と各ステージの**マグマタイプ**  
3. 両者のマグマタイプによる対比



物質科学データによるマグマタイプの識別

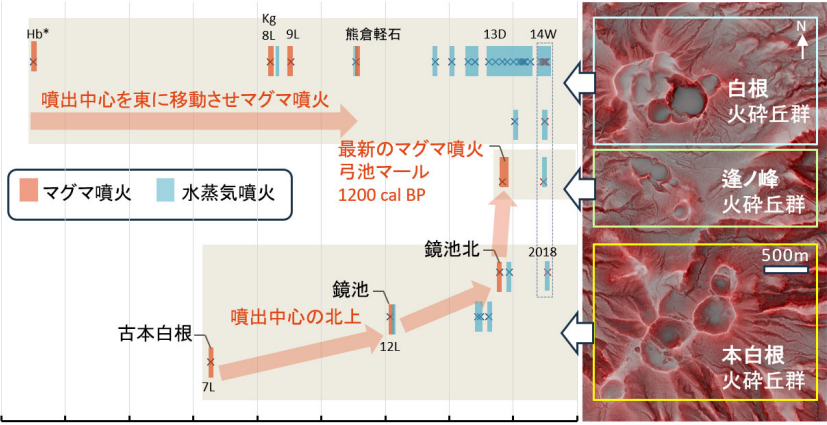
	山体	テフラ
後カルデラ活動期	1970年溶岩流	1970 CE
	1932年火砕物	1932 CE
	新期小岳 AK1	1,230 cal. BP
	女岳 AK2	1,460 cal. BP
	古期小岳 AK3	1,960 cal. BP
	男女岳2期 AK4 AK5	2,530 cal. BP 3,420 cal. BP
	男女岳1期 AK6 AK7	5,060 cal. BP 7,290 cal. BP
	片倉岳2期 AK8	8,050 cal. BP
	片倉岳1期 AK9 AK10 AK11	9,390 cal. BP 11,640 cal. BP
	カルデラ形成期	
カルデラ形成期	山体崩壊 (北部カルデラ形成)	
	南部カルデラ形成 AK12 AK13	13,450 cal. BP 13,960 cal. BP

テフラと山体の対比による精密時間軸の入った山体形成史の構築

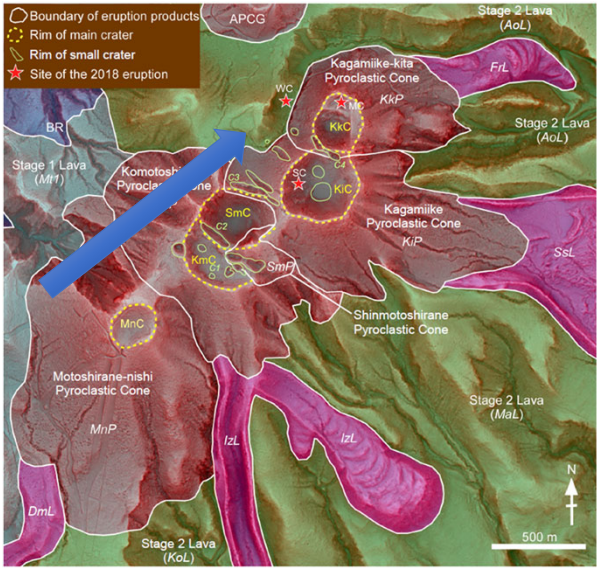
新たな観点の導入

草津白根山 複数火口域を意識した噴火履歴調査

白根火砕丘群・逢ノ峰火砕丘群（北域）と本白根火砕丘群（南域）の噴出物層序・噴出量・年代を明らかにし、噴火場毎に階段図を作成。



山頂域の火砕丘群の分布とテフラから見た活動位置の変遷

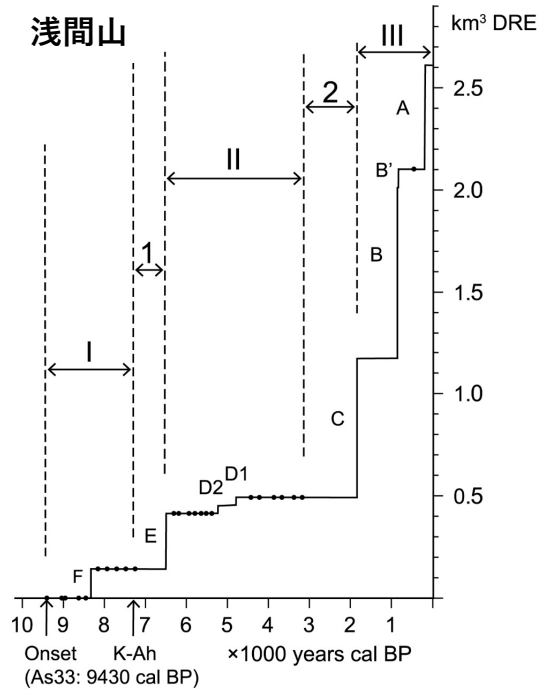


白根火砕丘群湯釜火口の模式露頭(東方2 km)。約5千年分のテフラが保存されている。

本白根火砕丘群の山頂部の地質図 (Ishizaki et al., 2025)。活動場は矢印の向きに徐々に北上した。

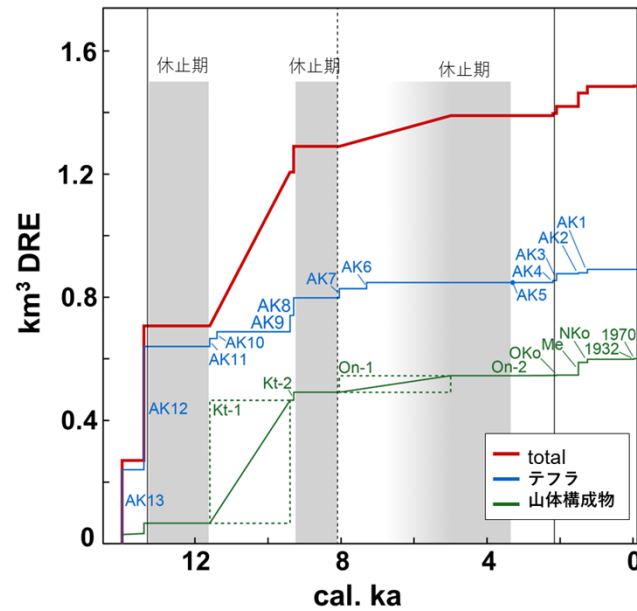
サブ課題C2

## 新たな手法と観点の導入により精緻化されたマグマ噴出量階段図



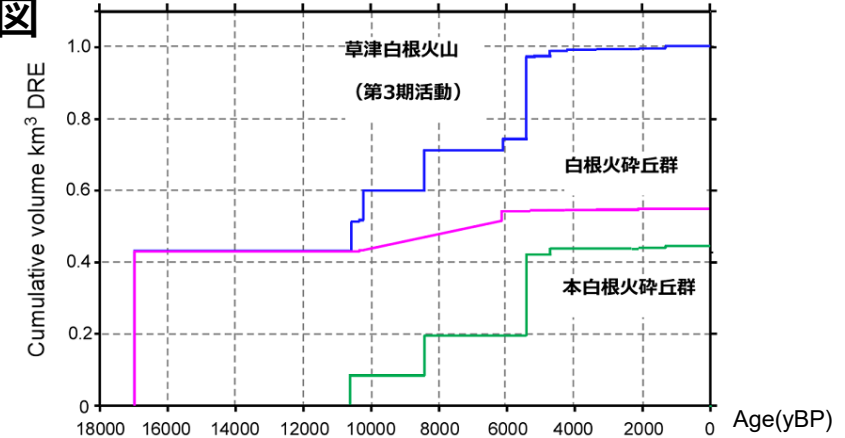
高精度噴火履歴復元により、  
3つの軽石噴火活動期と  
その間の小規模噴火期を認識

### 秋田駒ヶ岳



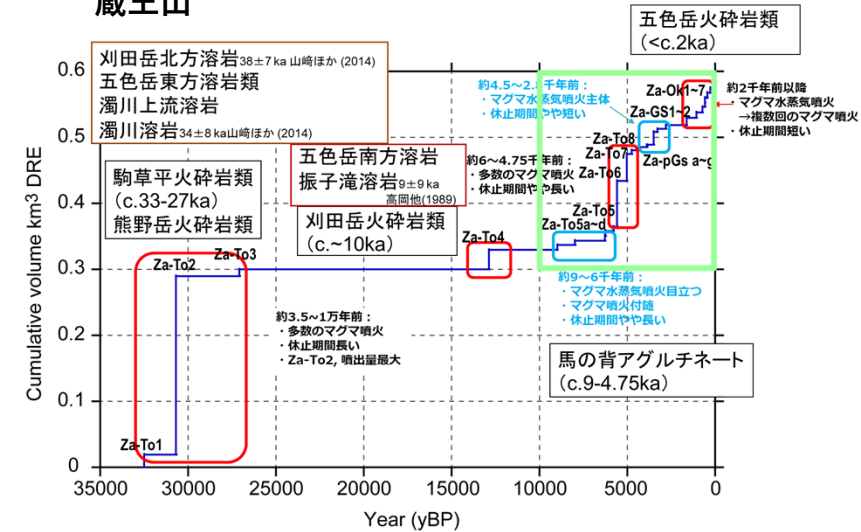
テフラと山体の対比が成功：爆発的噴火が卓越する時期と溶岩流出主体の時期が明らかに

### 草津白根火山



2つの火口域の、並行した噴火活動が明らかに

### 蔵王山



完新世はマグマ噴火とマグマ  
水蒸気噴火が交互に発生

サブ課題C2







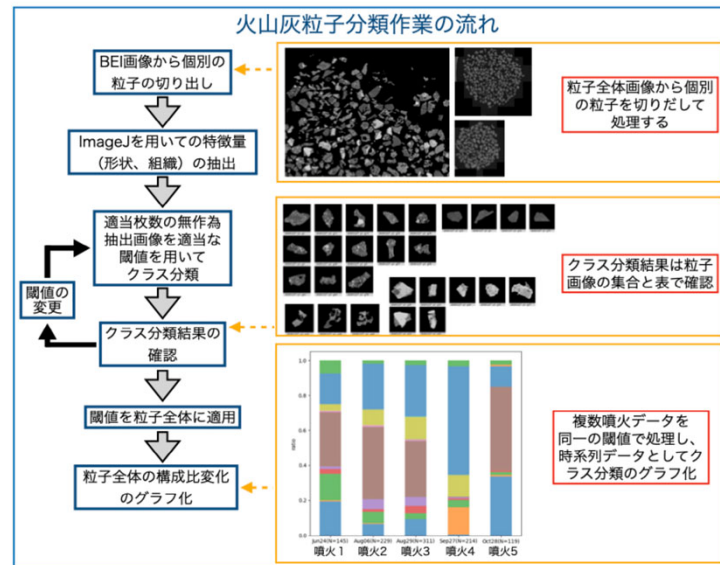
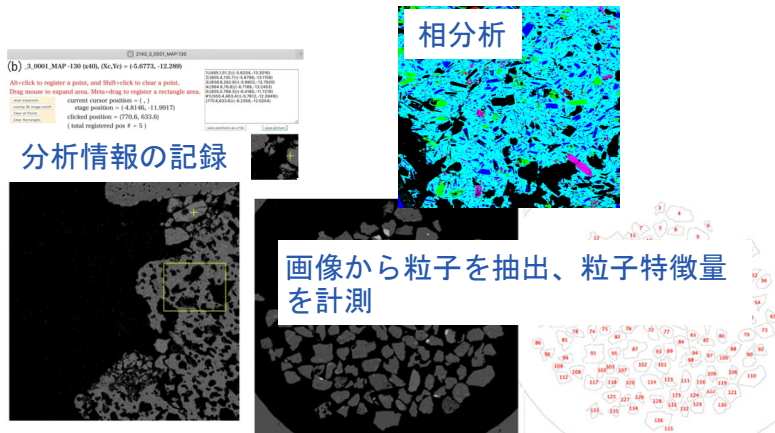
## サブテーマC-1：火山噴出物分析による噴火事象分岐予測手法の開発

	目標	到達		
エ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・深度(圧力)/ 温度 / 含水量といったマグマ溜まりの状態、噴火に先立つマグマ混合から噴火までのタイムスケール、マグマの上昇開始から噴火開始までのタイムスケール、を明らかにする</li> <li>・噴出物の特徴や噴出物から推定される噴火の特徴を火山ごとにまとめる</li> </ul>	噴火事象分岐の鍵の探索  マグマの状態と動きを知り予測につなぐ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・予定していた11火山の最近の噴火の噴出物の分析を行い、マグマ供給系についての基本量（マグマ溜まりの深度、マグマの温度、含水量、組成）を取得した</li> <li>・主要な火山噴火についての分析から、マグマの上昇速度や火道滞留時間についての制約を得るとともに、手法の開発と普及を行った</li> <li>・噴火に影響するマグマ供給系についての新知見（大噴火前に火道浅部にマグマが滞留、隠れマグマ溜まりの存在、噴火未遂の一般性、浅部マグマの状態がマグマ混合と噴火様式に与える影響）を得た</li> </ul>	単純化したマグマ供給系モデルを用いたシミュレーションによる噴火予測システムの提案
ア	効率良く、且つ、正確に火山噴出物を分析できる装置環境を整備	噴火予測の鍵の開発  噴火時の迅速な分析・解析環境の構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>・分析・解析プラットフォームの立ち上げと様々な解析ツールの整備完了（定量分析、画像処理、結果解析、データベース連携）、緊急観測でも活用 <small>（西之島、新燃岳、福德丘ノ場、硫黄島）</small></li> </ul>	
イ	分析データから様々な物理量を迅速に取り出すためのデータ解析環境を整備		<ul style="list-style-type: none"> <li>・熱力学計算アプリケーションであるMELTSの利用環境の整備完了（実行と結果へのアクセス、活用事例）</li> </ul>	
ウ	分析データや解析結果を随時取り出して再利用可能とするようなデータ保存環境を整備		<ul style="list-style-type: none"> <li>・火山灰の色相分析手法を開発</li> </ul>	
オ	分析・解析プラットフォームを広く火山研究者や学生に開放するための利用環境の整備		<ul style="list-style-type: none"> <li>・東大地震研の分析・解析プラットフォームは、操作マニュアルの作成やデータ取り出し等の利用環境整備が完了し、共同利用を通じた受け入れ体制がととのった</li> <li>・MELTSの利用環境は、産総研のリポジトリで計算結果が公開され検索可能。東大地震研のWWWサーバーで、リモートでのバッチジョブの実行が可能</li> </ul>	

# 噴火予測実現の「鍵」： 迅速な分析解析環境の構築

## 分析・解析プラットフォーム

### ◎ 様々な解析を自動化



## MELTSの利用環境の構築

### ◎ 産総研によるMELTS実行結果の検索・図化システム

#### AIST Repository of back data:

The geochemical and petrological characteristics of prenatal caldera volcano: a case of the newly formed small dacitic caldera, Hijiori, Northeast Japan (Miyagi et al., 2017)

by Isoji MIAYGI (GSJ)

Hijiori volcano (N38 36'35", E140 9'20") is a small caldera approximately 2 km in diameter that erupted about 12 ky (Miyagi, 2004) where no volcanic body existed. To understand how a new felsic volcano commences the activity, the magma process of the Hijiori volcano is studied (Miyagi et al., 2017). Here I report some useful petrological parameters for bulk rock composition of the essential ejecta HJ-J-A (Table 1).

The parameters include the amount and chemical compositions of minerals and melt in equilibrium at some P, T,  $fO_2$ , and  $H_2O$  concentrations. These parameters were obtained using the Rhyolite-MELTS program (Gualda et al., 2012; Asimow and Ghiorso, 1998; Ghiorso and Sack, 1995) over the range of pressure from 1 atmosphere to 860 MPa with 1-10 MPa step, temperature from 700 to 1400 deg-C with 1 deg-C step, oxygen fugacity FMQ+1 log unit, water concentration 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0 wt%  $H_2O$ , and  $CO_2$  0.001, 0.01, 0.1, and 1 wt%. Since the Rhyolite-MELTS program outputs huge quantities of numerical values, I summarized them into a suite of contour maps on a pressure-temperature plane using the GMT program (Wessel and Smith, 1998) and utilized them cross-linked to develop a convenient tool.

In addition, you can extract numerical data from the plot using the sqtite3 command, following the Command Tips on the graph pages.

#### An example of citation:

Miyagi, I. (2025) AIST Repository of back data: The geochemical and petrological characteristics of prenatal caldera volcano: a case of the newly formed small dacitic caldera, Hijiori, Northeast Japan (Miyagi et al., 2017). <https://doi.org/10.57795/2003341>

#### References:

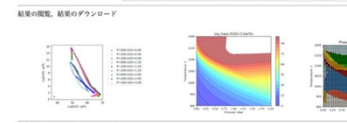
Click here to start

Table 1:  
Chemical composition of the starting material:  
Hijiori stage 3-3a pumice, Miyagi (2007)

Sample ID	HJ-J-A
Loc. N	38 39'24.8"
Loc. E	140 12'19.3"
SiO <sub>2</sub>	63.46
TiO <sub>2</sub>	0.6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.02
FeO	4.9

### ◎ 地震研によるMELTSのリモート実行システム & データベース

このサイトは、日本の幾つかの活動的火山におけるマゼマの組成変化と物理変化を迅速に監視することを目的として、MELTS-Rhyolite プログラム (Ghiorso, Mark S., and Sack, Richard O. (1995). Contributions to Mineralogy and Petrology, 119, 195-212; Asimow PD, Ghiorso MS (1998) American Mineralogist 83, 1127-1131) の実行と結果の閲覧をサポートするために構築されました。組成、計算条件の入力、計算の実行

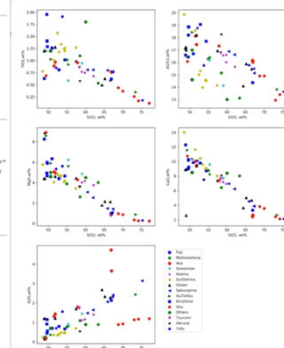


以下から実行する作業を選んでください。

1. システムの使い方 (説明、FAQ)
2. システムの使い方 (説明、FAQ) < 入力、出力、および実行の条件 >
3. システムの使い方 (説明、FAQ) < 入力、出力、および実行の条件 >
4. システムの使い方 (説明、FAQ) < 入力、出力、および実行の条件 >
5. システムの使い方 (説明、FAQ) < 入力、出力、および実行の条件 >
6. システムの使い方 (説明、FAQ) < 入力、出力、および実行の条件 >

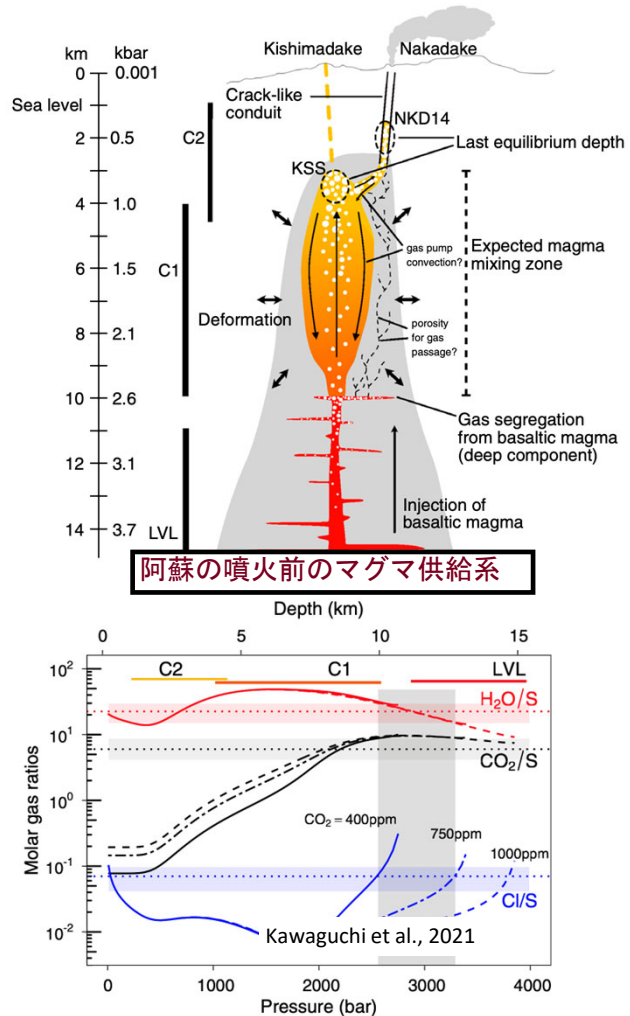
このサイトは地震研の地球化学データベースの一部です。

#### Ranges of Starting Compositions



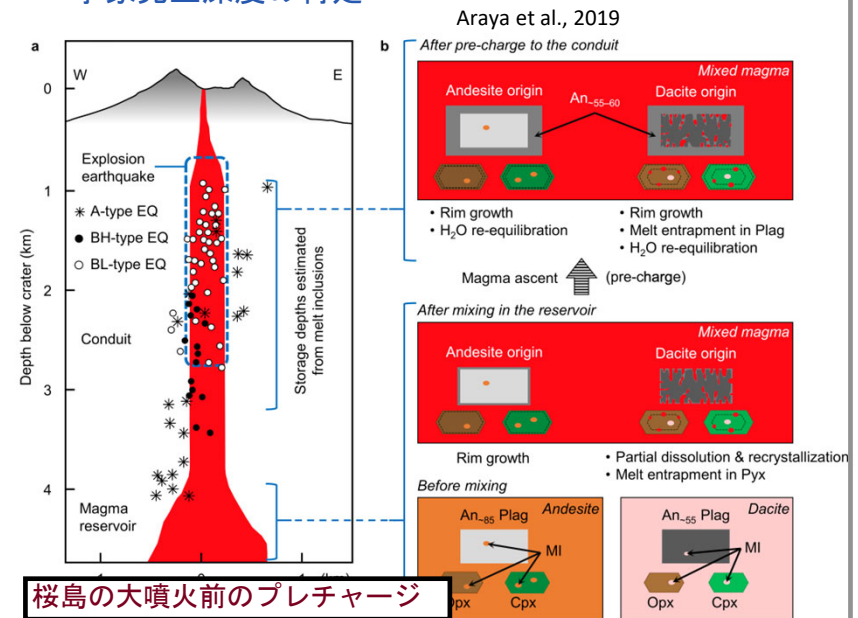
## 噴火事象分岐の「鍵」の探索： マグマ供給系の理解

### ◎火山ガス観測と組み合わせたマグマの発泡深度の特定



### マグマ供給系における事象発生の深度と系の含水量

### ◎拡散解析、含水量、組織観察を組み合わせた事象発生深度の特定



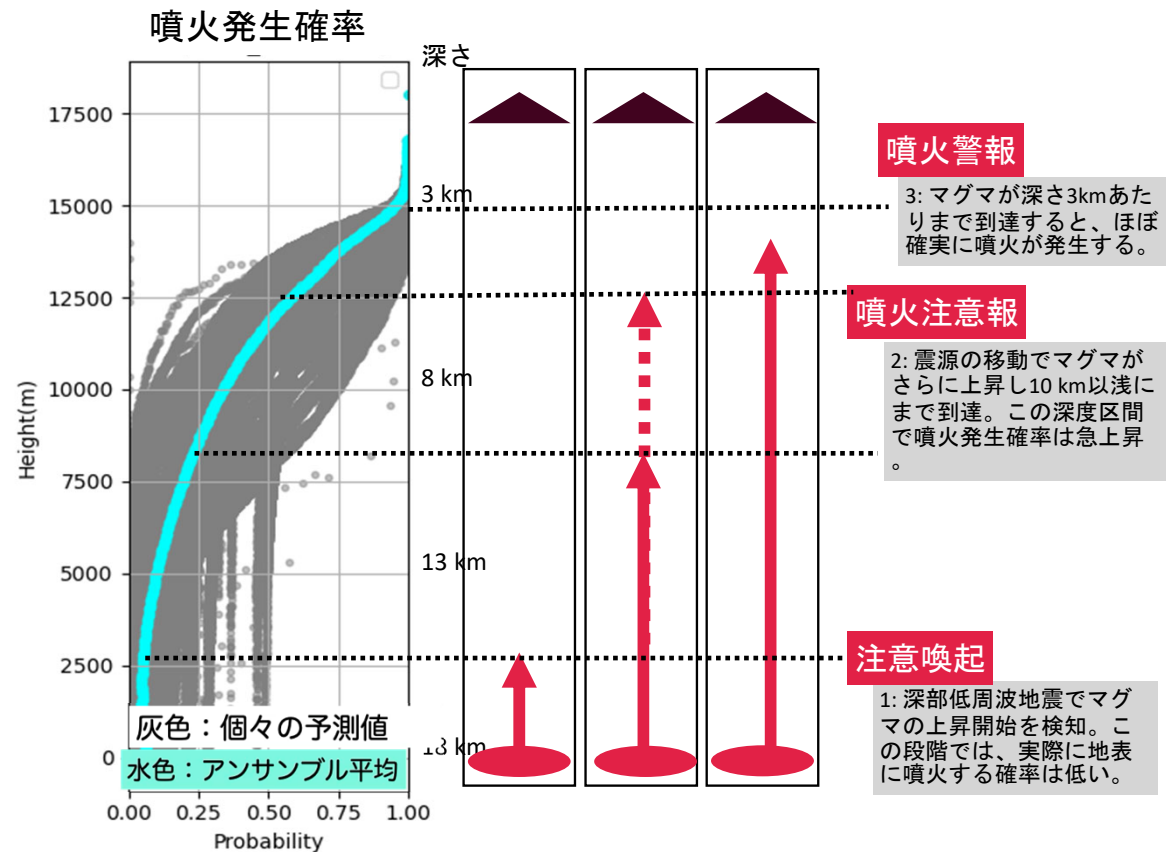
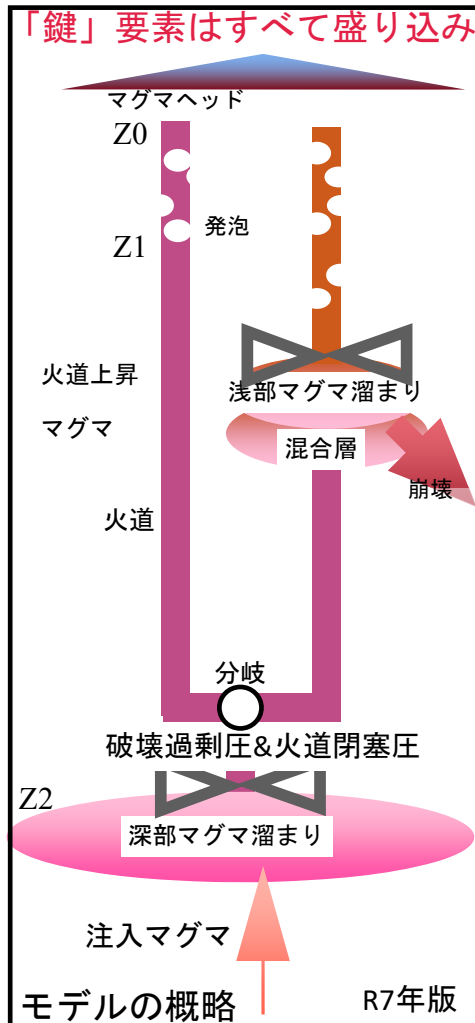
### ◎隠れマグマ溜まり、マグマ蓄積の痕跡の発見 (伊豆大島、東伊豆単成火山、富士山 など)



## 「鍵」の使い方、予測の具体化：単純なマグマ供給系モデルによるシミュレーションの提案

### ◎マグマ溜まりと火道での結晶分化を考慮した時間発展型計算で噴火が発生するかを検討

上昇力を計算、地表に到達したらと噴火とカウント。破壊強度を振って1パラメタセット当たり15000回の試行



曲線の形はマグマ溜まりの深さとマグマの含水量と地殻の密度構造でほぼ決定

## まとめ：現状と今後の課題

＜現状＞・ばらばらの知見を物理モデルのもとに集約

・観測結果を取り入れて確率的予測結果を絞り込むことが可能

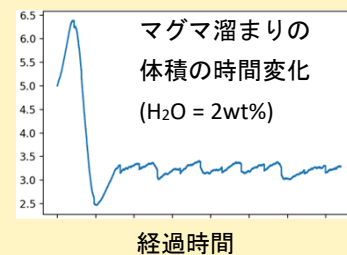
→ リアルタイムで予測更新につなげられる可能性を提示

・意義：▶ どの要素が影響が大きいかの評価が可能

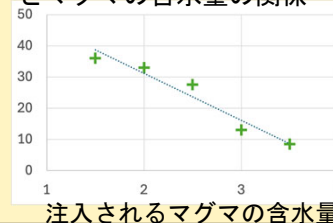
→ 観測精度向上の必要性等、今後の観測/研究の指針となる

：▶ 要素相互の関係が示唆 ← 検証可能

ex)



マグマ溜まりの安定体積 (km<sup>3</sup>)  
とマグマの含水量の関係



マグマ溜まりの体積は、  
・ 注入されるマグマの含水量、  
・ 注入レート  
・ 破壊圧力  
で決定するように見える  
本当か？

### ＜今後の課題＞

(1) 現実的な予測を可能とするためには、

・ 噴火事例等を使って火山ごとのパラメタチューニング

ex. 噴出量階段図 + 噴出物の組成 + 噴火未遂の頻度と強度

・ 式の精密化による正確さの向上 (地殻密度構造、脱ガス効率、近似の高精度化)

(2) 迅速な予測を可能とするためには、

・ 計算の高速化と膨大な結果選別作業の高速化

・ 観測、分析情報の迅速な入手

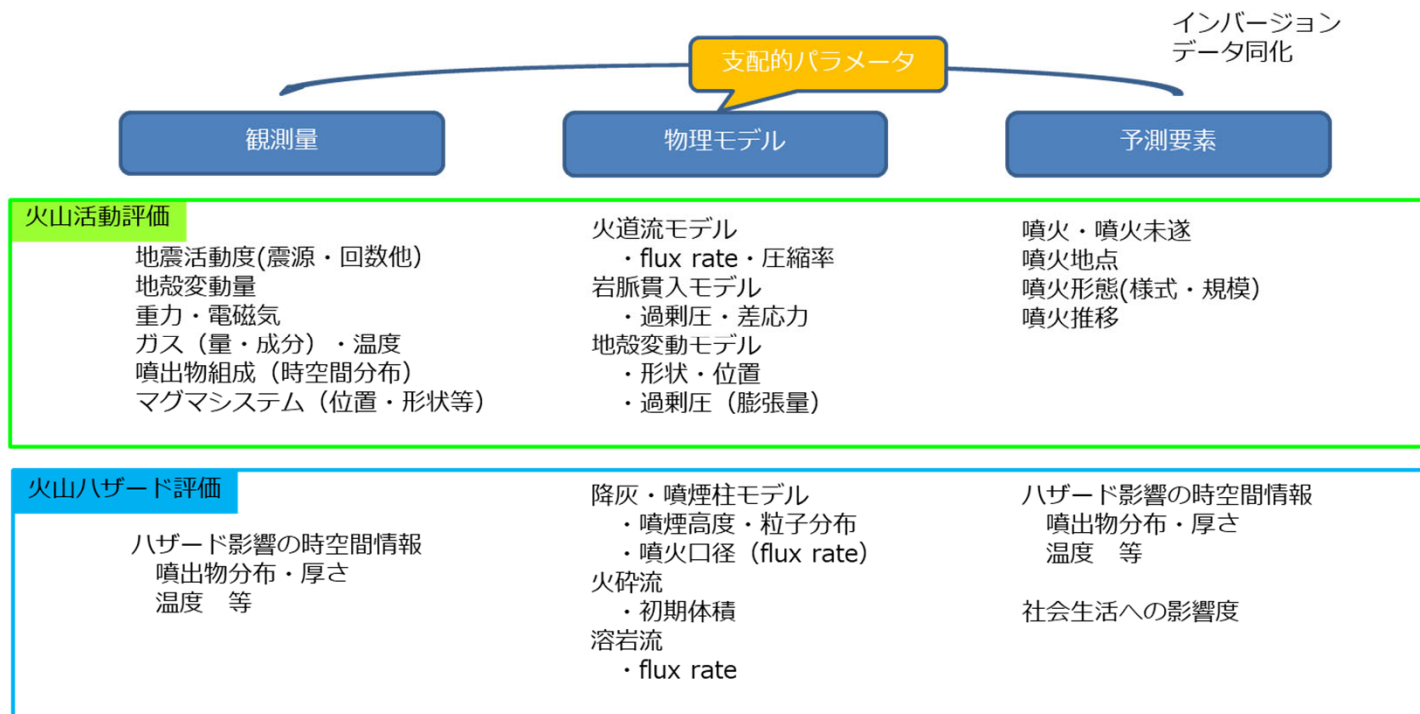
どこまで、不確定値の範囲を絞れるか。引き続き、  
個別の火山についての「鍵」データの収集が必要

新たに必要データ

現在は1パラメタセットで15000回のマグマ上昇イベントの  
計算に3分(PC), 4MBのデータ出力

# 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

分岐判断（状態遷移図・事象分岐系統樹）指標の作成



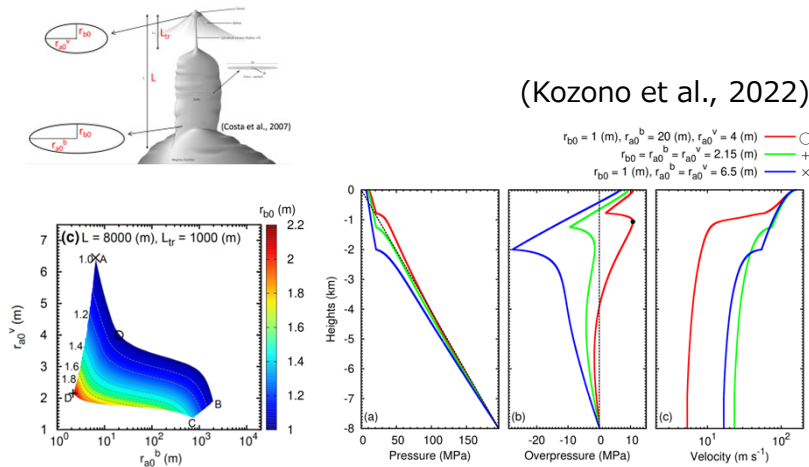


# ①地下におけるマグマ移動シミュレーション

## a. 噴火機構シミュレーション技術開発：火道流モデリング

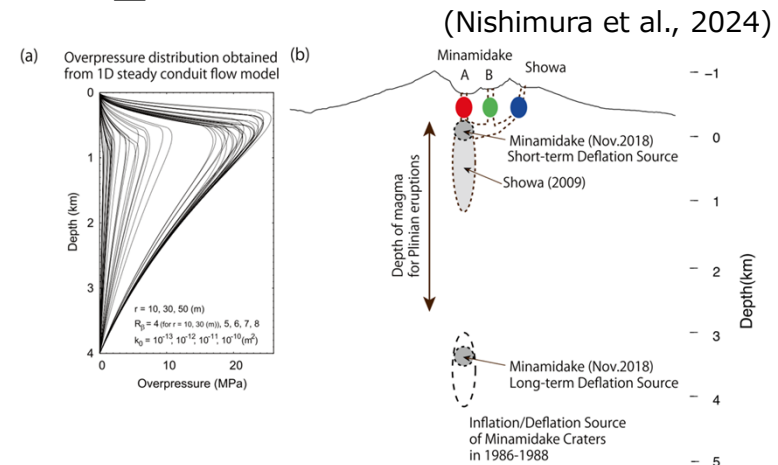
### ■ 伊豆大島1986年噴火を対象とした火道流モデリング

- ✓ 観測データに基づき制約されるマグマ物性・地質条件を火道流モデルに適用
- ✓ ダイク状火道内過剰圧が地殻変動などの噴火モニタリング要素に寄与する可能性を精査



### ■ 桜島ブルカノ式噴火を対象とした火道流モデリング

- ✓ 浅部固体プラグを考慮した火道流モデルによるブルカノ式噴火前の火道内増圧過程の再現
- ✓ 爆発地震の震源や地殻変動源との関連性を精査

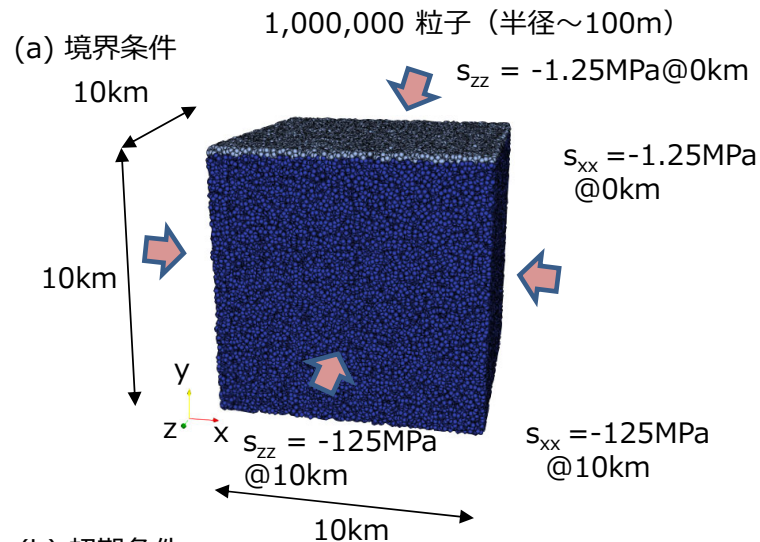


火道流モデリングと物質科学的・地球物理学的観測データの統合による  
火山活動推移メカニズムの実証的解明が進展

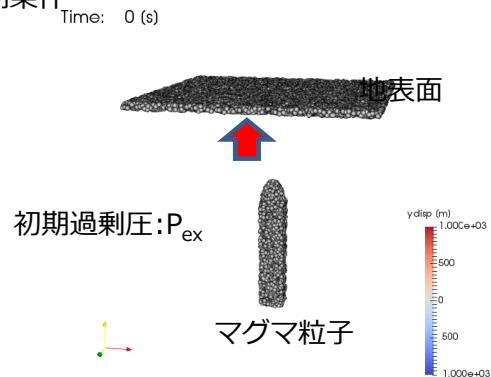
# ①地下におけるマグマ移動シミュレーション

## b. マグマ移動過程シミュレーション技術開発：個別要素法による岩脈貫入シミュレーション

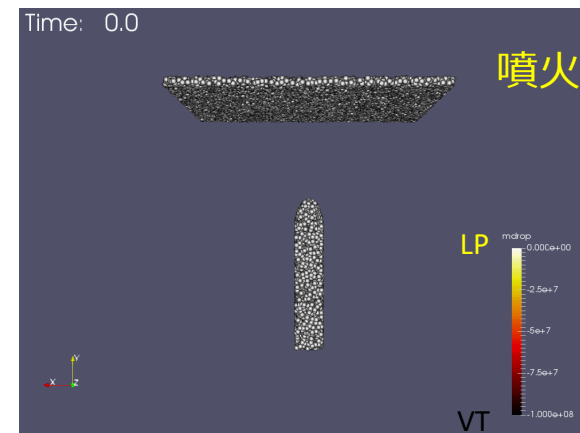
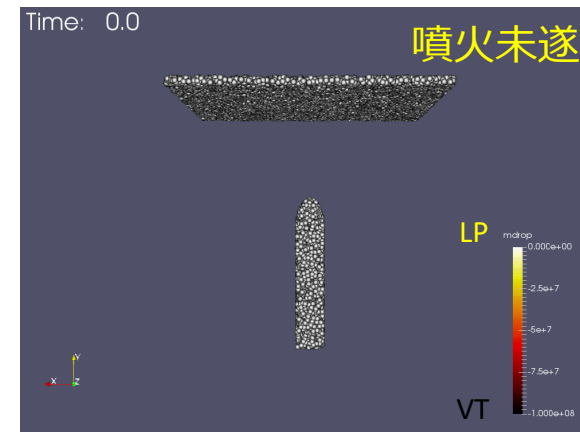
○応力場・過剰圧の設定



(b) 初期条件

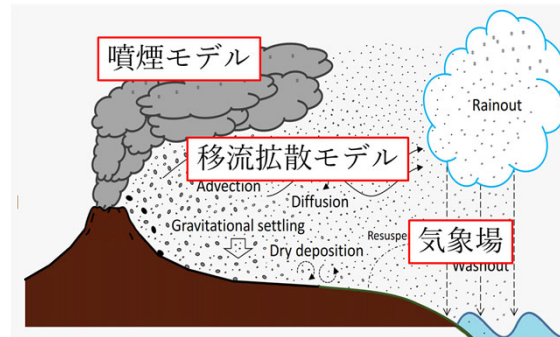


○岩脈貫入とVT・LP発生 の考察



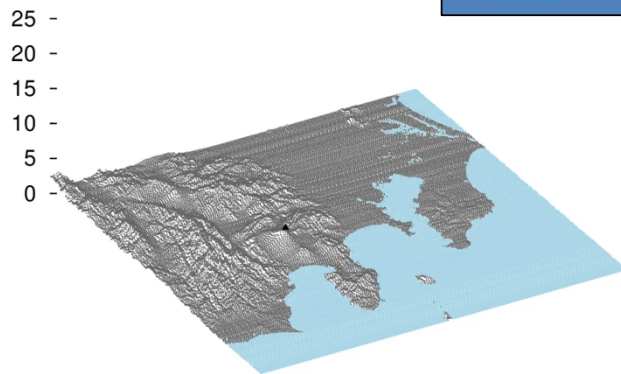
## ②噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

### a. 降灰ハザード予測モデルの開発



FT=0 days

- 大粒径:  $< -4\phi$
- 中粒径:  $-4\phi \sim -1\phi$
- 中粒径:  $-1\phi \sim +3\phi$
- 小粒径:  $> +3\phi$



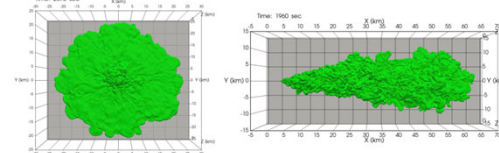
大都市圏（特に首都圏）を対象とした降灰ハザード予測の評価のためのシステム開発を実施。1次元噴煙モデル（NIKS-1D）と気象庁移流拡散モデル（JMA-ATM）を連携

### b. 噴煙柱ダイナミクスモデルの開発

経験的係数の決定

- エントレインメント係数,  $\alpha$   
風による エントレインメント係数,  $\beta$
- 傘型噴煙拡大パラメータ,  $\lambda_{UMB}$   
Bent Plume拡大パラメータ,  $\lambda_{GC}$
- 体積flux比,  $\mu$

$$\dot{L}_{UMB}^3 = \frac{3\lambda_{UMB}N\dot{V}}{2\pi} t^2 \quad \dot{L}_{GC}^2 = \frac{2\lambda_{GC}N\dot{V}}{v_{wind}^2} x$$



$\lambda_{UMB} \sim 0.1$  (Suzuki&Koyaguchi, 2009)

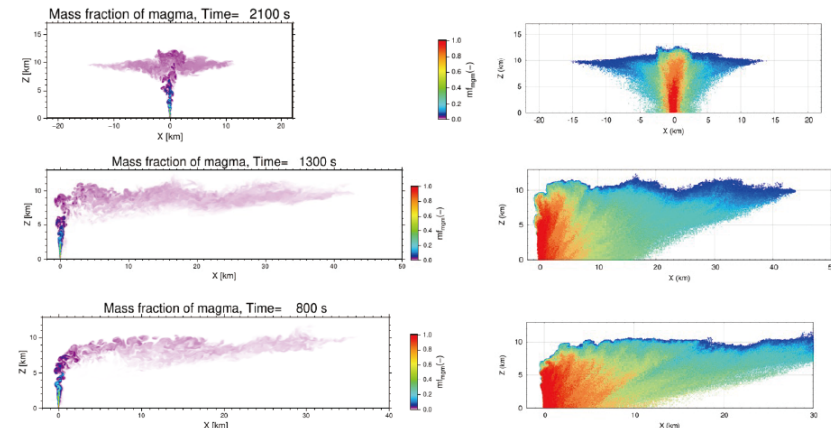
$\lambda_{GC} = 0.837$  (Bursik et al., 1992)

1Dモデル  
噴出率  $\alpha, \beta$  を仮定 噴煙高度

3Dモデル  
噴出率 No assumption 噴煙高度

$$\alpha = 0.03 \sim 0.10$$

$$\beta = 0.1 \sim 0.3$$



噴煙ダイナミクスモデルSK-3Dによる、現実的な大気風の条件を入れたシミュレーション結果。大気風のピーク風速が（上段）0 m/s,（中段）40 m/s,（下段）60 m/sの場合。火口を含む断面における（左列）噴出物質量分率と（右列）火山灰粒子分布。右列の色は $\phi$ スケールでの粒子サイズを表す



## 最終成果（今後の発展へのベース）

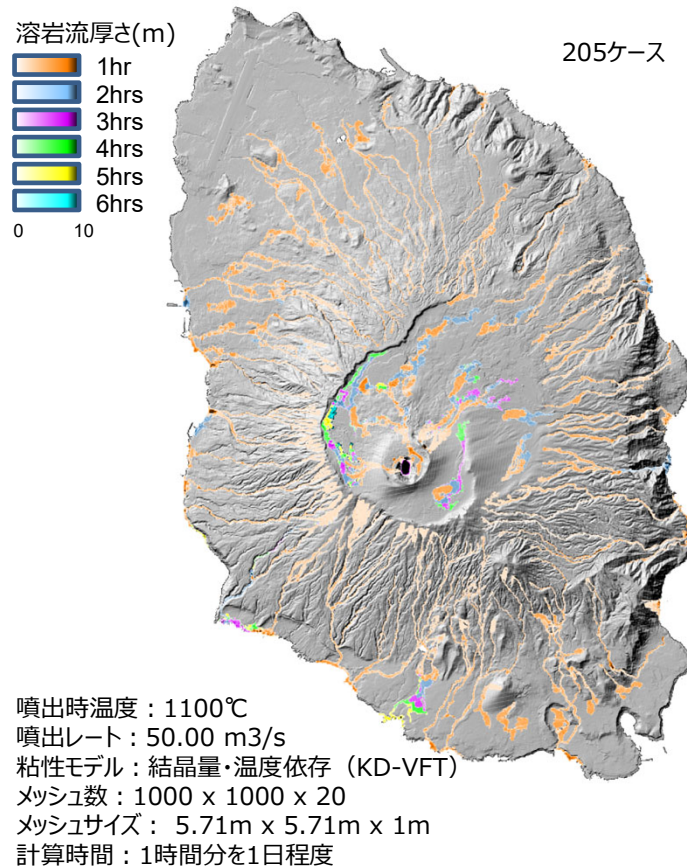
### ○火山ハザード評価システムの整備

SIMPAC（入力パラメータ生成GUI）とkazan-rms（計算実行・可視化）連携

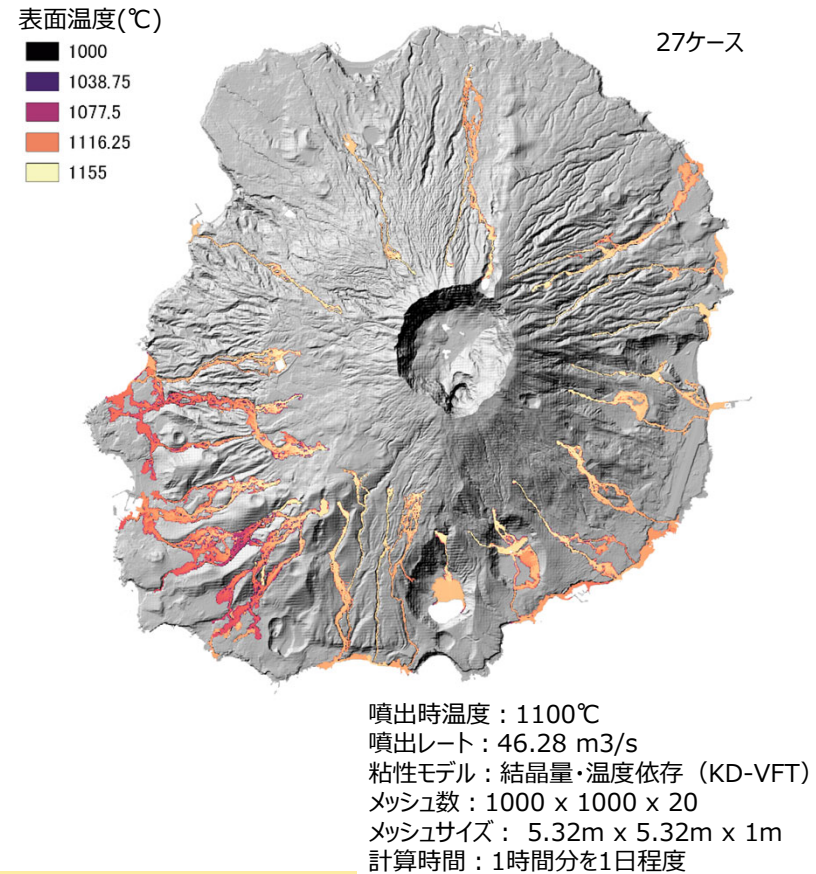
- 個々で開発したソースコードの一元的な試計算環境の提供（登録者）
  - 溶岩流：LavaSIM, FastLava
  - 火砕流：faSavegHutterFOAM
  - 噴石：Ballista
  - 降灰：PUFF
  - 地殻変動：lin3dbem
- 計算結果の事例集提供（プレアナリシス型）：計算条件やrefを明記
  - 溶岩流：LavaSIM（富士山・伊豆大島・三宅島等）, FastLava
  - 火砕流：faSaveHutterFOAM
  - 噴石：Ballista
  - 降灰：JMA-ATM（富士山）, Tephra4D（富士山）
  - 噴煙柱：SK-3D
  - 地殻変動：lin3dbem（富士山・伊豆大島）
- 計算コードの提供(or docker化)
  - 溶岩流：FastLava(GitHUB経由)
  - 噴石：Ballista(GitHUB経由)
  - 降灰：Tephra4D(GitHUB経由)
  - 地殻変動：lin3dbem(GitHUB経由)

- 計算結果の事例集提供(tif,shpファイル) : 計算条件やrefを明記

## 伊豆大島溶岩流シミュレーション事例集



## 三宅島溶岩流シミュレーション事例集



東京都伊豆大島および三宅島火山現象検討部会  
 R7年度 ハザードマップの検討に活用

補足資料

# 課題間連携研究

特定火山を対象：我々は、どのように噴火様式や推移の予測を行うのか（出来るのか）を議論する。

静穏期

○過去の噴火の様式や推移の記録が、予測の参考になる

C2・C1

Unrest期：

物理観測データが蓄積  
化学データが蓄積

○どう修正していくのか

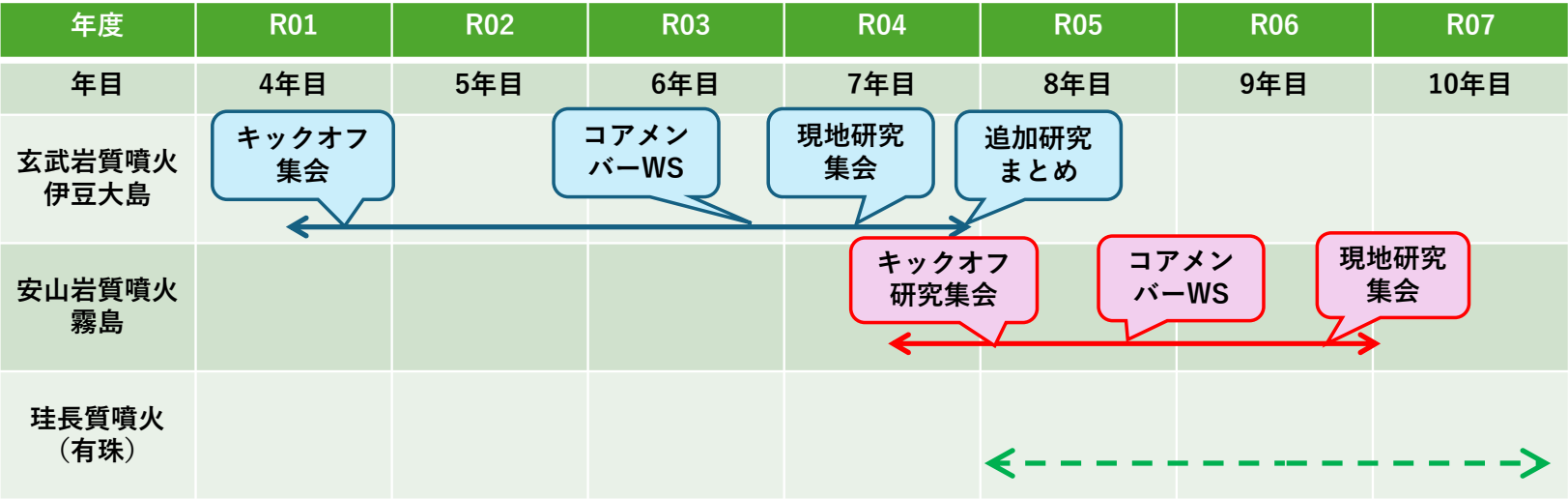
C2・C1・C3・観測(B)

噴火開始期

物質・化学データが蓄積  
観測網に打撃、再整備

○迅速にマグマ供給系の現状を把握して予測の修正をおこなう

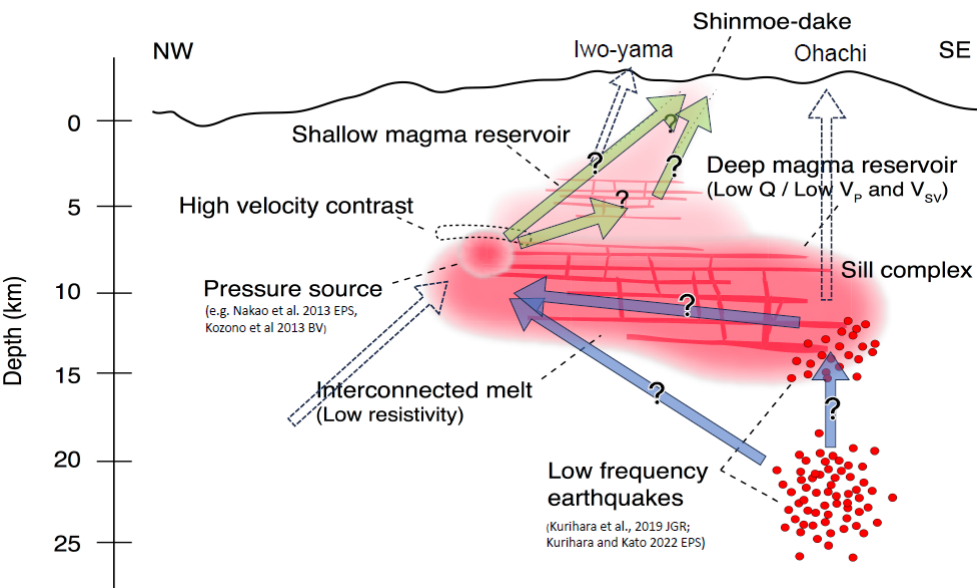
C2・C1・C3・観測(B)



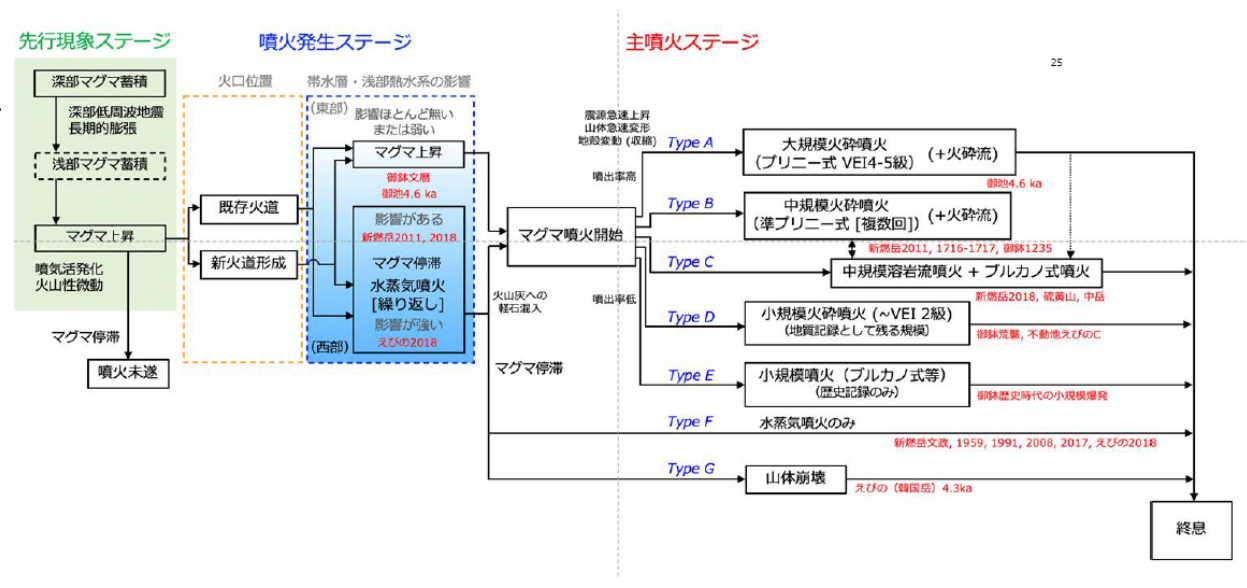
コロナ禍



連携研究のためのマグマ供給系モデルと噴火シナリオの試作版を公表



マグマ供給系モデル試作版(相澤ほか, 2024)



噴火シナリオ試作版(前野ほか, 2024を一部改変)

火山学会秋季大会  
2024年10月16日～18日

- P87 次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト，課題間連携研究報告：どのように噴火様式・推移予測を行うかー伊豆大島と霧島を例としてー  
※中川光弘・安田 敦・栗谷 豪・藤田英輔・大湊隆雄・前野 深・相澤広記・松本亜希子
- P88 霧島火山群のマグマ供給系についての論点  
※相澤広記・長岡 優・栗原 亮
- P89 霧島火山群の噴火シナリオの試案  
※前野 深・川口允孝・及川輝樹・小園誠史

令和6年度合同研究集会  
2024年12月3日～4日



# 「火山学はどのように噴火様式・推移の予測を行うか：霧島火山を例として」

キックオフ研究集会

2023年4月6日

目的：観測・研究の到達点と課題を共有し連携研究の進め方について議論する



## 連携研究準備WGの発足

相澤、小園、前野、及川、安田、藤田、中川

### （霧島連携研究の流れ）

2023年

4月

キックオフ集会・WG発足

5月19日

第1回WG

7月7日

第2回WG：コアメンバーWS

2024年度

現地で人材育成コンソと連携研究集会

### ○霧島連携研究の概要

- 2024年度一杯で終了、延長しても2025年度（PJ最終年度）中盤までであろう。
- 新たな課題研究は無理で、研究集会と人材育成との連携が中心
- 研究集会では、**現在までの研究成果の的確なレビューと、その成果をもとに何が出来るかを考える**
- 人材育成との連携では？

連携研究集会

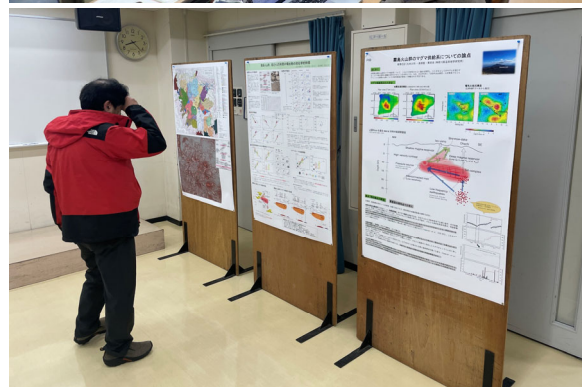
2025年3月15日・16日

研究集会（鹿児島大学）

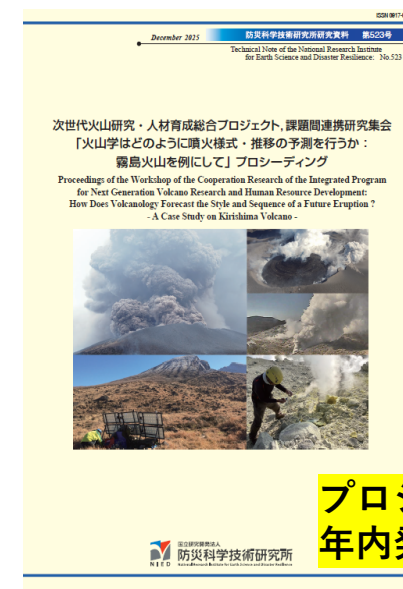
人材育成コンソーシアム実習後

17日・18日

現地検討会



連携研究のための**マグマ供給系モデルと噴火シナリオの試作版を公表**し、それをたたき台にして議論



プロシーディングスを  
年内発刊予定

連携研究