



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2-4

科学技術・学術審議会 測地学分会
火山研究推進委員会（第5回）
R5. 1. 18

課題C 火山噴火の予測技術の開発

課題成果概要

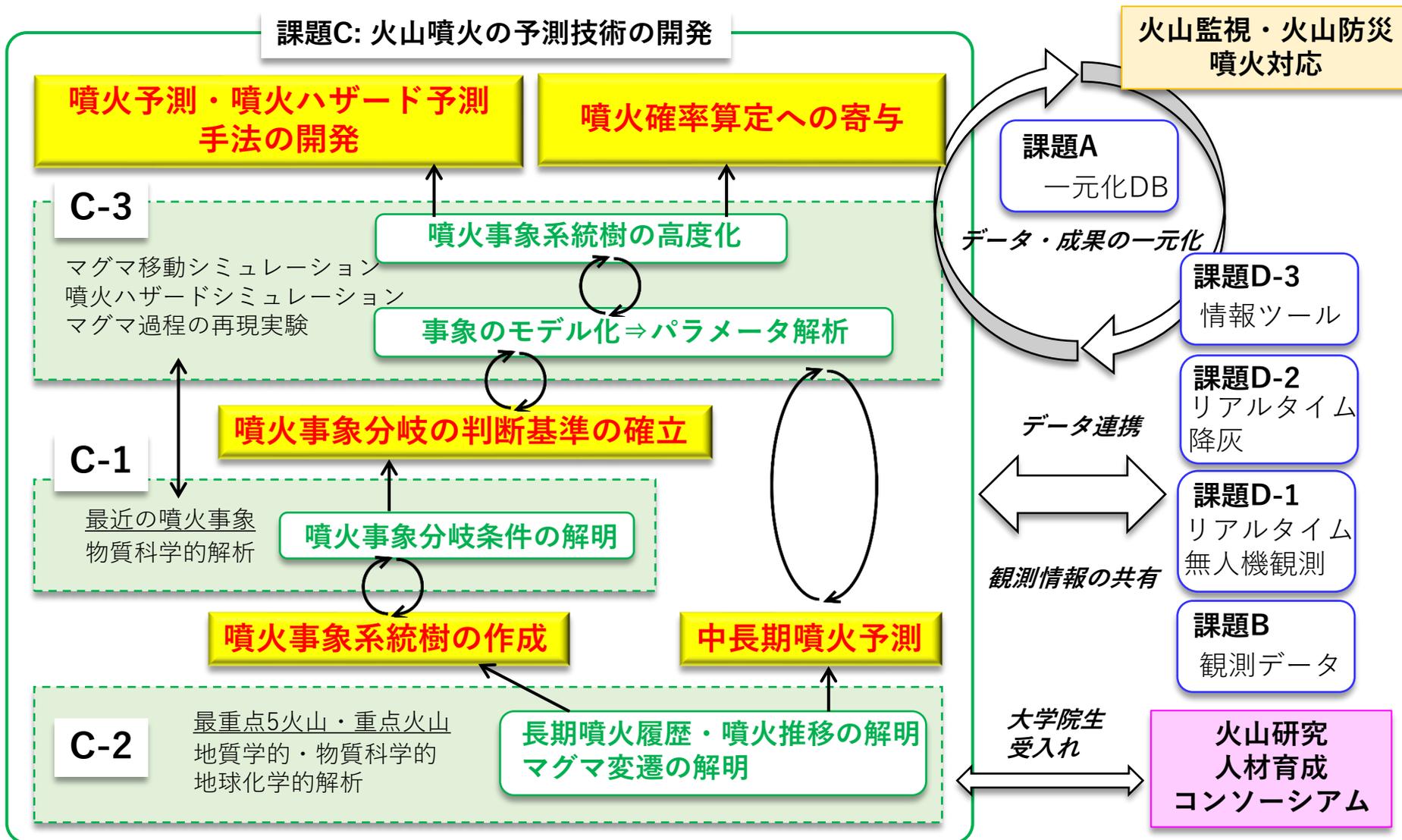
2021年12月～2022年度上期までの成果概要

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。

課題C: 火山噴火の予測技術の開発



本日の報告

○各サブテーマの成果概要および成果例

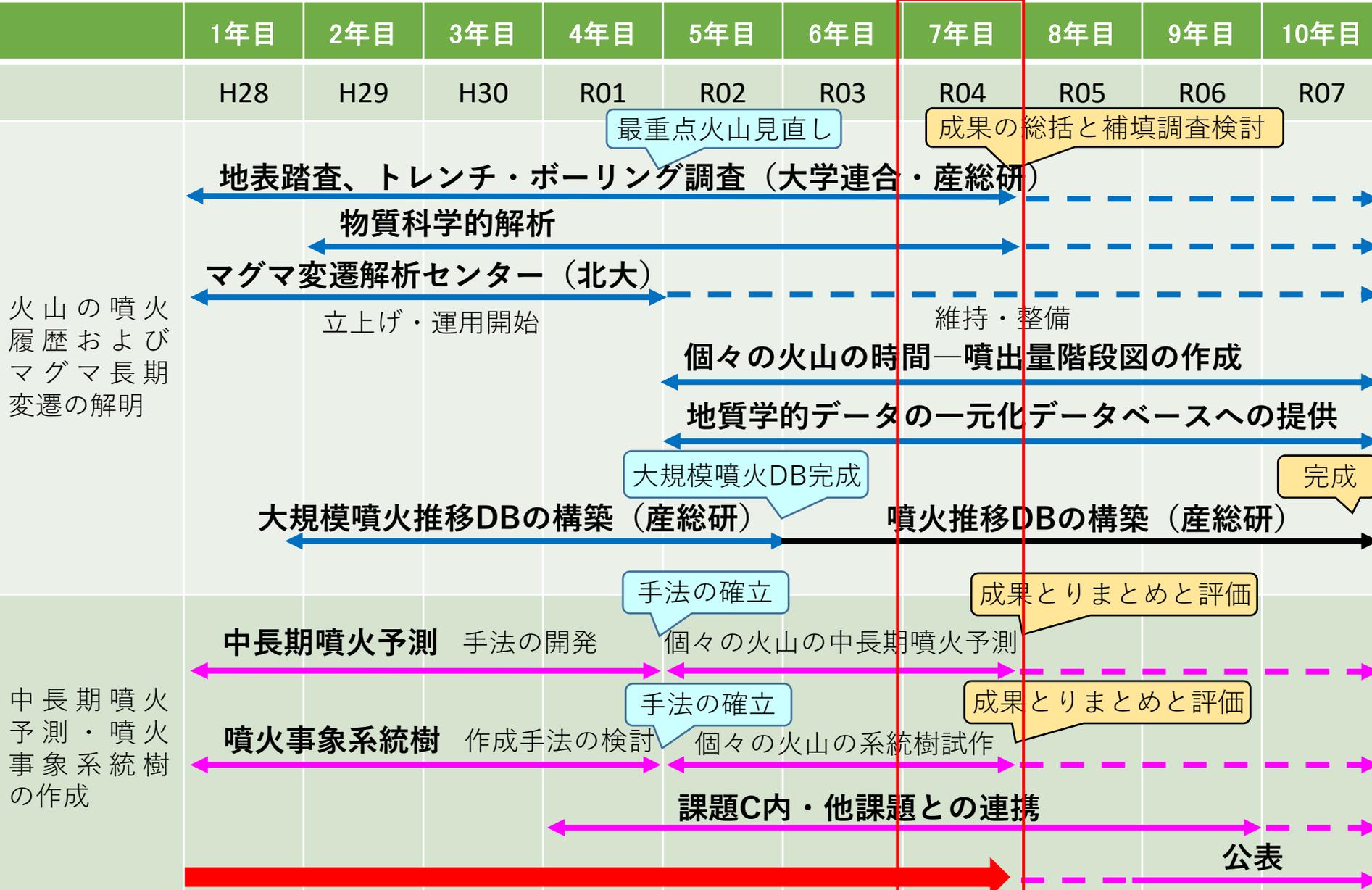
サブテーマ2：噴火履歴調査による火山噴火の中長期予測と
噴火推移調査に基づく噴火事象系統樹の作成

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

○課題間連携研究

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



2021年12月～2022年度上期の活動・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
摩周・アトサヌプリ・雌阿寒岳・**秋田駒ヶ岳**・鳥海山・**蔵王山**・**吾妻**・那須岳・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
課題C連携研究 課題C連携研究
 有珠山・草津白根山・三宅島・御嶽山・**霧島山**・九重山・由布鶴見岳・白山・**伊豆大島**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・噴火推移を解明
 志賀火山・鷲羽池火山・**白馬大池**など
- 噴火活動への対応 **阿蘇山**

○大規模噴火データベースの整備（産総研）

- 噴火推移データおよび前駆活動データの集約、閲覧サイトの試作版のデータ拡充

○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
- 参加・協力機関のユーザー受入れ R04年度は既に4機関が予定

○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

○積算噴出量-時間階段図および噴火事象系統樹の作成

- データベースの作成、様式・作成指針および成果公表の方針の決定

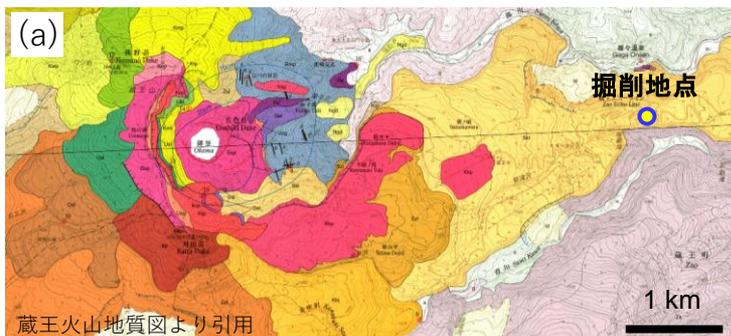
○その他

- 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）

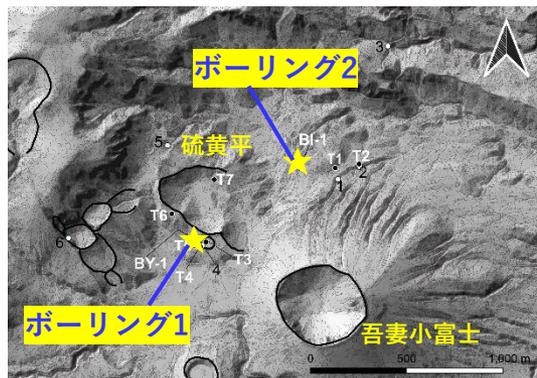
成果事例：山体近傍における短深度ボーリング掘削調査

山体近傍では噴出物が厚く堆積しており、地表踏査（～1m）や人力トレンチ掘削調査（～数m）では、その全貌を明らかにするには限界があった⇒**山体(火口)近傍での短深度ボーリング掘削調査を実施**

蔵王山（山形大）



吾妻山（山形大・茨城大・秋田大）

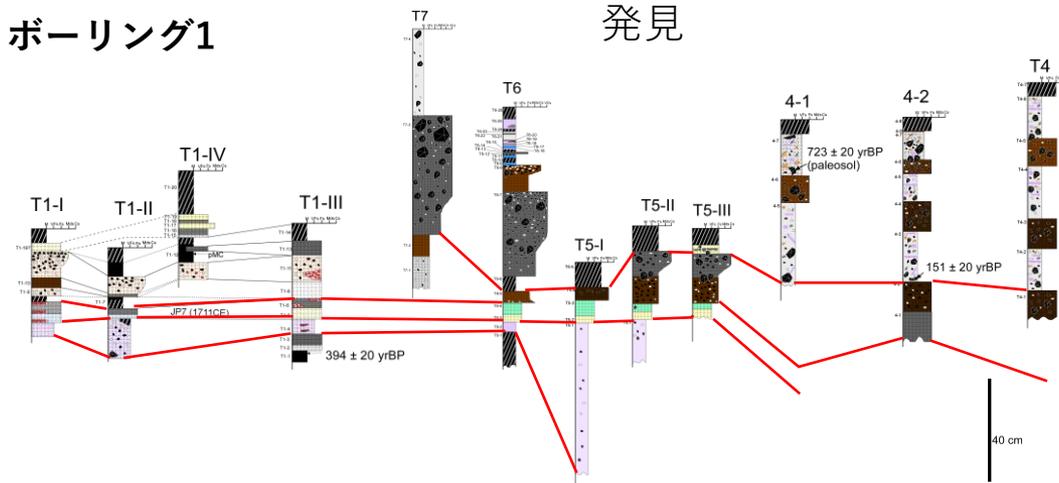


ボーリング2

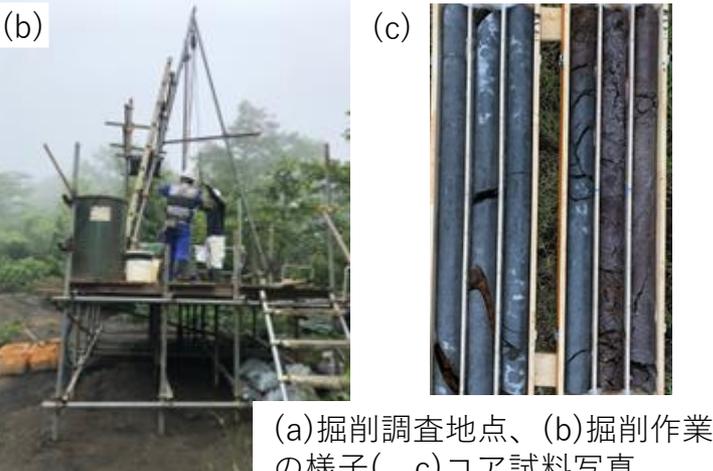


硫黄平を給源とする溶岩流を発見

ボーリング1



地表踏査結果を含め、14世紀以降の噴火活動履歴を再検討し、西暦1331～1711年・1711～1893年にマグマ水蒸気～マグマ噴火(ブルカノ式)が生じた可能性を指摘



約3～9千年前のテフラについて、噴出量階段図作成に必要な山頂部と山麓部をつなぐ貴重なデータを入手

積算噴出量-時間階段図および噴火事象系統樹の作成

時間-積算噴出量階段図：様式を統一

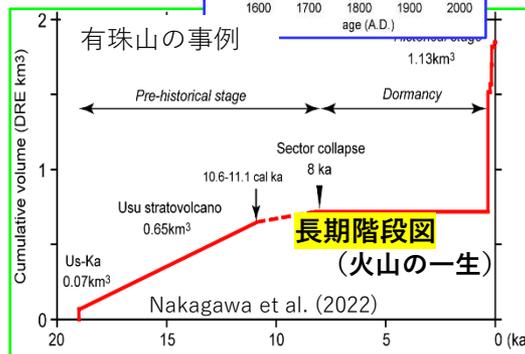
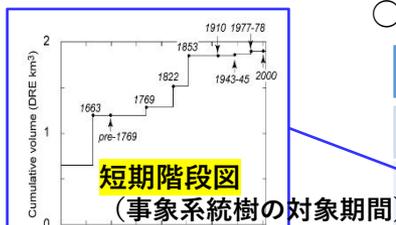
現在、各機関
で試作中

従来の成果

- 対象とする期間
- 噴出量の算定方法
- 対象とする噴火タイプ など
- ・・・研究者まかせ

○対象期間

長期階段図と
短期階段図の作成



様式を火山PJとして統一
⇒データベース・階段図を
セットで公表

○地質データのレベル分け

ランク	内容
A	推移が記録に残っている噴火
B	記録はないが、地質学的に活動推移が明確に分かる噴火
C	地質図でマッピングできる程度の情報がある噴火 (噴出量・噴火年代)
D	ある活動期 (ステージ) として把握できる

○その他

- 対象とする噴出物 (テフラのみorテフラ+溶岩)
- 年代値の採用ルールおよび優先度
- 噴出量の算定方法の統一と推奨
- 水蒸気噴火・山体崩壊事象の明示 など

噴火事象系統樹：作成指針を提示

○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)

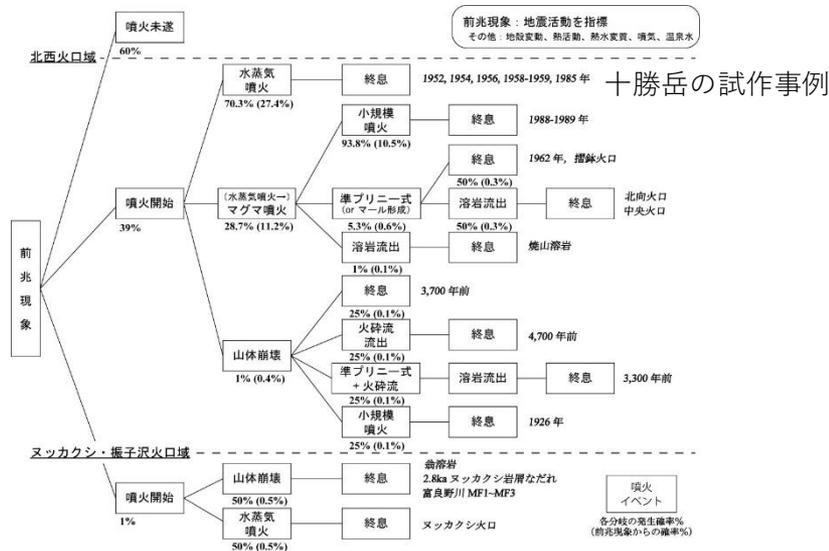
○噴火回数の算出

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



成果公表・情報発信

一部の成果の **学術誌での公表** に加え、上記成果を **防災科研の研究資料集** または **報告書** へ掲載し、**JVDNデータベース** で公表

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)										

・ 噴出物解析による噴火の特徴把握
 (マグマ溜まりの環境 (T,P,組成、上昇速度、噴火準備時間))

・ それを実現する分析・解析・環境の構築と利用普及
 (分析・解析プラットフォーム、データベース)

(即時)
 噴火の様式や推移の予測
 (仕組みやモデル作り)

取りまとめのステージに入った

2021～2022年度の活動概要

(a)火山噴出物の分析・解析

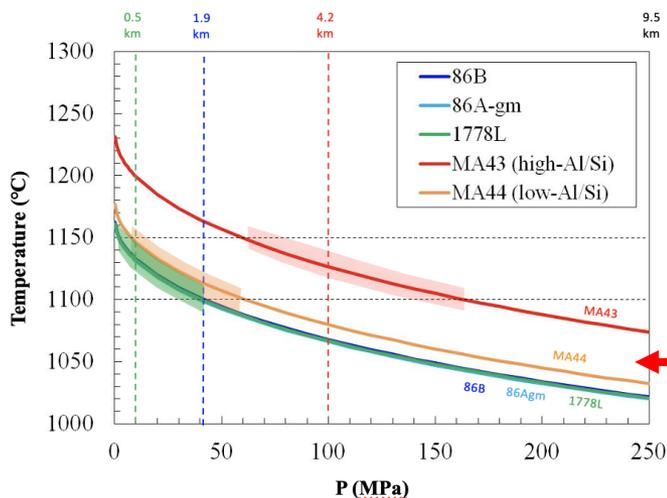
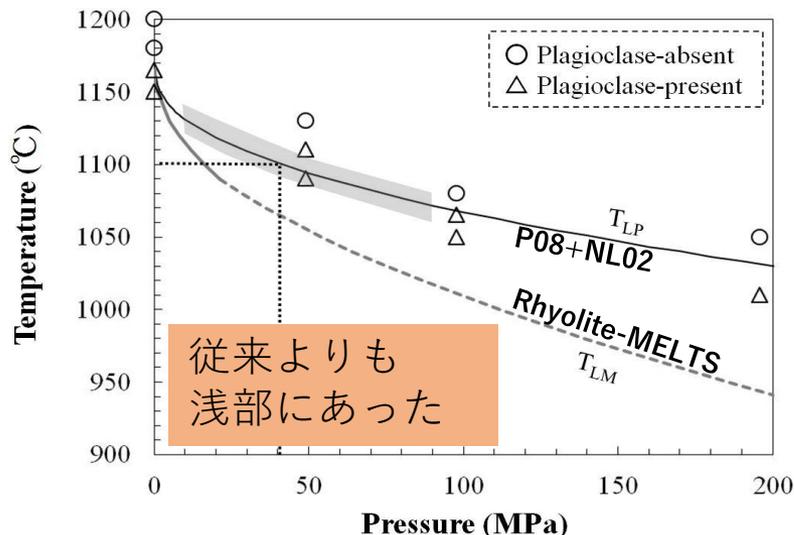
- COVID-19による活動制限の影響で、野外調査や分析に非常に大きな影響が出ているが、個々の参加組織でこれまでに採取した試料を主に用い、マグマ供給系の特徴把握に努めている。
- 「**マグマ供給系像、噴火準備過程の明確化**」の目的で、実験岩石学と組み合わせたマグマ溜まりの深度決定の精密化や浅部のマッシュ状マグマ溜まりからの噴火要因と様式の検討をおこなった。
- 「**噴火の推移・様式予測のための噴火発生後の作業の高精度化と迅速化**」のために、石基鉱物や組織を使った噴火直前場の環境推定手法を確立するとともに、色相分析による噴出物の粒子構成比の把握や、粒子画像を用いた粒子構成比の算出やMELTSの計算結果のデータベース化をおこなった。
- 過去の噴出物の特徴を利用して今後の噴火の推移予測を行うために、火山のマグマ供給系の比較研究から、「**単純化したマグマ供給系モデルによる噴火推移・様式予測の仕組みの検討**」をおこなった。

(b)分析・解析プラットフォームの構築

- 噴出物の迅速な特徴把握のための自動処理などのデータ解析機能を強化するとともに、引き続き装置の利用環境を整備。Web経由での画像データベース利用を試験的に公開中。
- 当初計画では、外部からの装置利用を積極的に受け入れる予定であったが、COVID-19の影響で受け入れは停止中。何例かはリモート分析で対応した。

マグマのプレ噴火貯蔵深度： 伊豆大島1986

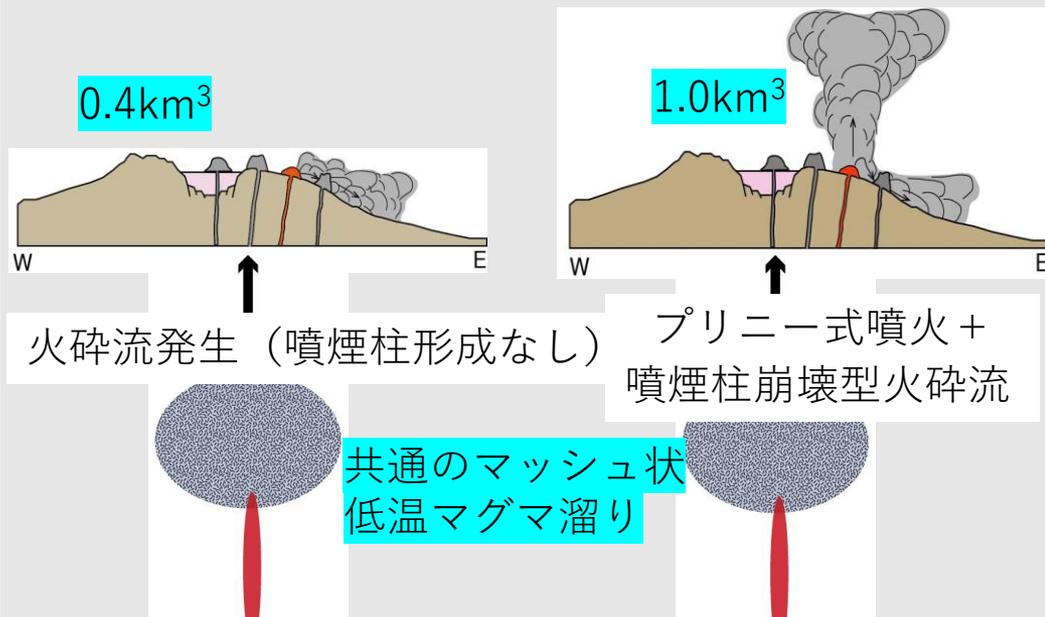
高压実験と整合的なHSPL曲線から、
1986Bマグマの噴火前貯蔵条件を決定



榛名火山ニツ岳の2噴火での比較

ニツ岳渋川噴火
(5C後半～6C初頭)

ニツ岳伊香保噴火
(6C後半～7C初頭)



渋川では加熱のみ、伊香保では混合も発生
粘性低下の程度の差が規模と様式に影響

高温マグマの注入量のモニタリングが重要

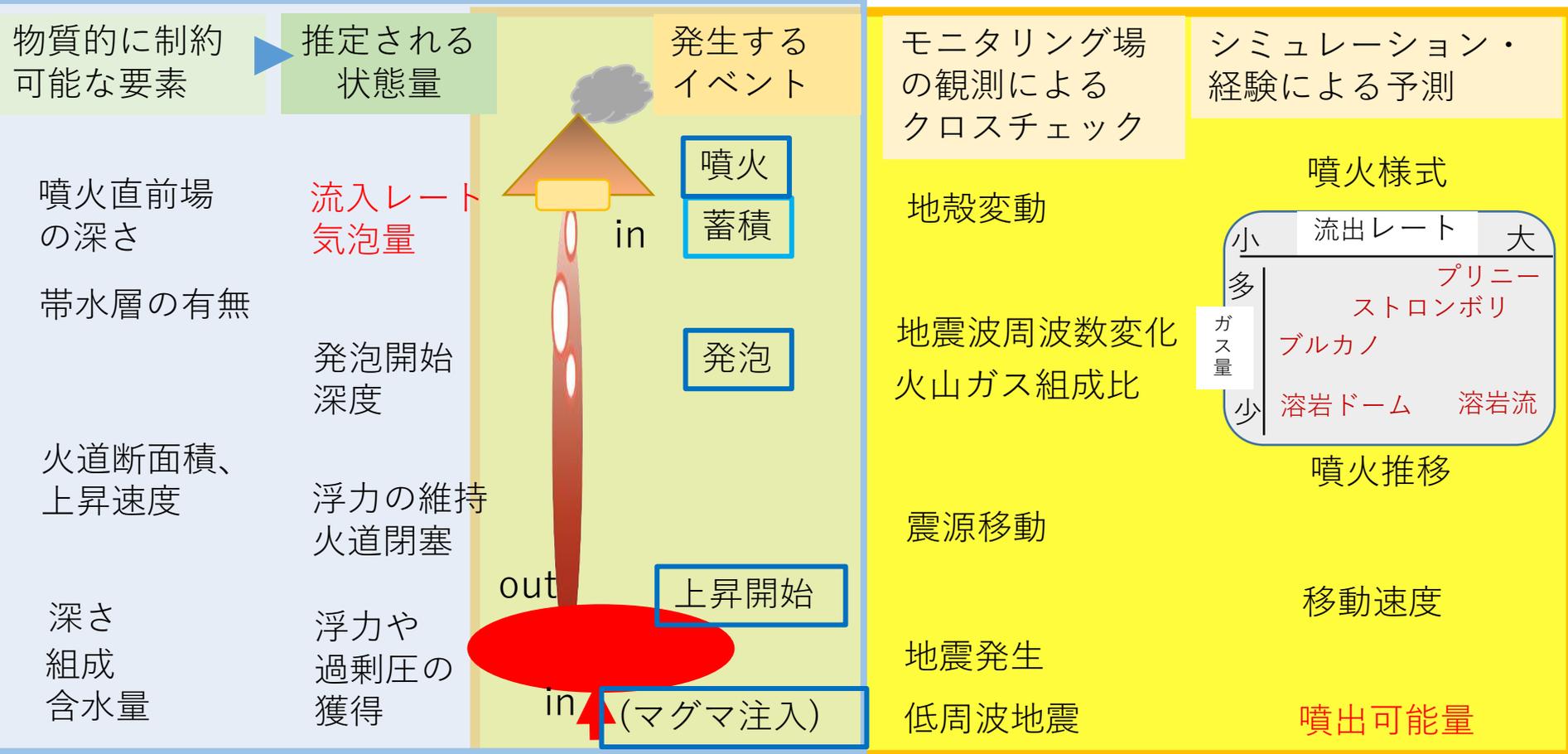
Group-1マグマは、深部では無斑晶
噴火前に深さ1 - 2kmで滞留し、斜長石を分別

単純化したマグマ供給系モデルによる 噴火推移・様式予測の仕組みの検討

3種の間（分化場、経路、直前場）を設定。
それらでの流入・流出率とその物性（浮力、粘性、気泡量）に着目

推移予測： 準備されているマグマの量、経路の状態、マグマの移動速度

様式予測： 噴火直前場でのマグマの状態（発泡量、結晶量）、流入レート



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		

分岐判断（状態遷移図・事象分岐系統樹）指標の作成



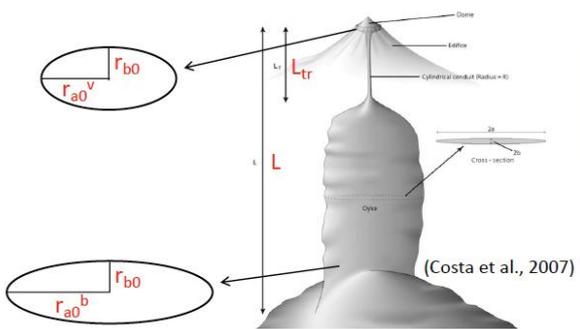
火山活動評価	物理モデル	予測要素
地震活動度(震源・回数他) 地殻変動量 重力・電磁気 ガス(量・成分)・温度 噴出物組成(時空間分布) マグマシステム(位置・形状等)	火道流モデル ・ flux rate・圧縮率 岩脈貫入モデル ・ 過剰圧・差応力 地殻変動モデル ・ 形状・位置 ・ 過剰圧(膨張量)	噴火・噴火未遂 噴火地点 噴火形態(様式・規模) 噴火推移

火山ハザード評価	物理モデル	予測要素
ハザード影響の時空間情報 噴出物分布・厚さ 温度 等	降灰・噴煙柱モデル ・ 噴煙高度・粒子分布 ・ 噴火口径(flux rate) 火砕流 ・ 初期体積 溶岩流 ・ flux rate	ハザード影響の時空間情報 噴出物分布・厚さ 温度 等 社会生活への影響度

①地下におけるマグマ移動シミュレーション

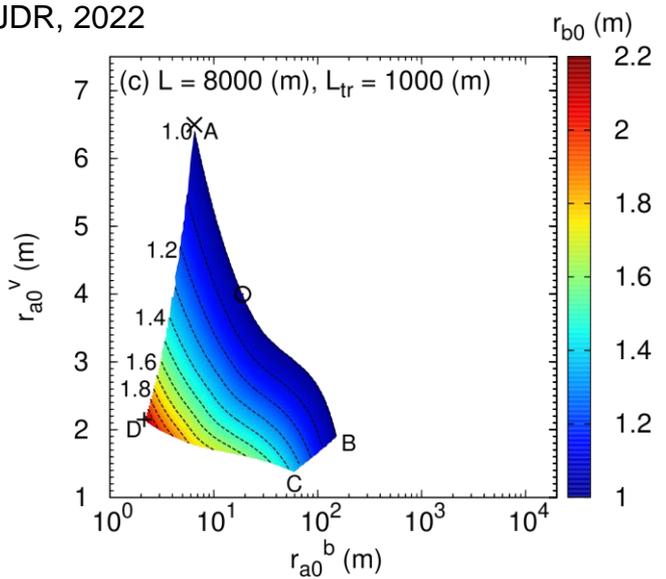
a. 噴火機構シミュレーション技術開発

課題C内の連携テーマとして設定されている伊豆大島噴火について、火道形状がサブプリニー式噴火の発生条件に与える影響を定量的に評価した。



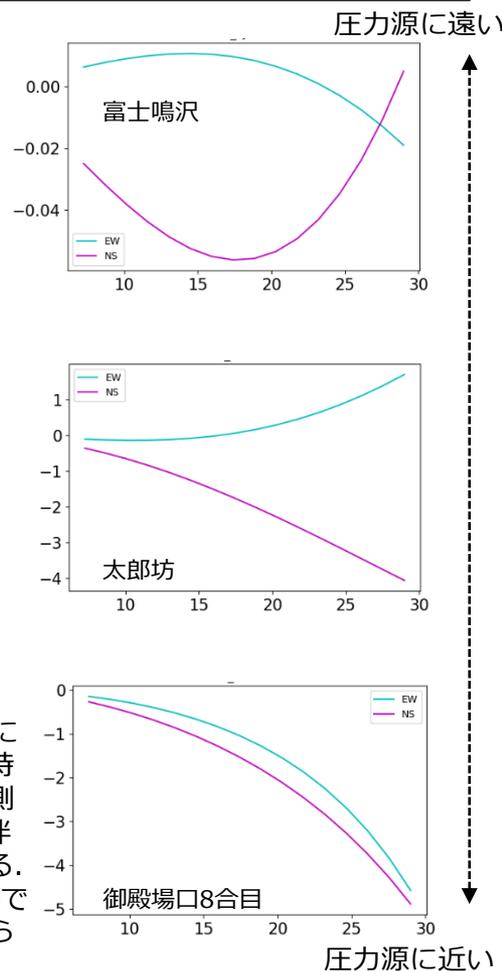
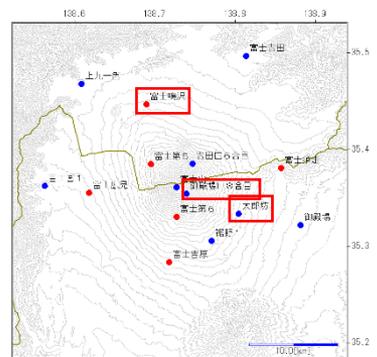
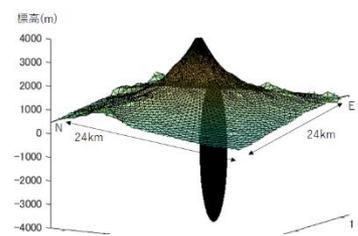
サブプリニー式噴火をもたらす火道形状条件を特定

Kozono et al., JDR, 2022



b. マグマ移動過程シミュレーション技術開発

貫入岩脈を想定した地殻変動計算のため、圧力源のメッシュモデルの作成手法を改良。貫入岩脈の位置や大きさを変えることで、地殻変動の時間変化を求めるシミュレーションを実施。

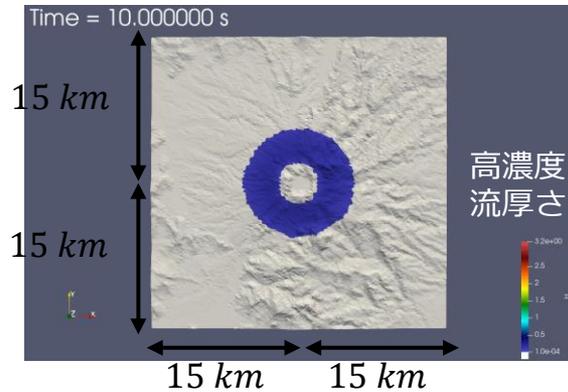


(右図) マグマが海抜下5kmから1kmに貫入した場合の観測点ごとの傾斜の時間変化の計算結果。圧力源に近い観測点(御殿場口8合目)では、加速的な傾斜変化量の増加がみられる。

②噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

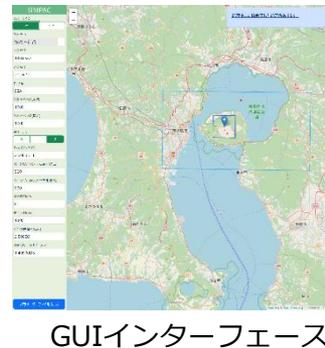
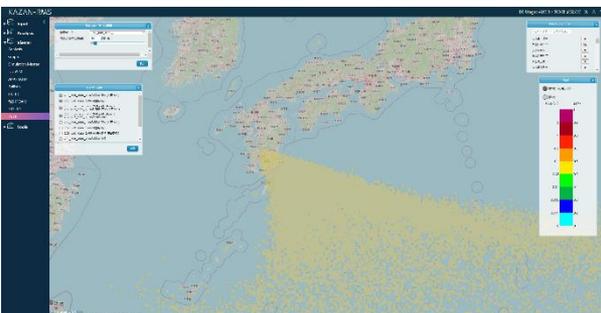
c. 火山ハザード評価システムの開発

・新火砕流数値モデル[試作版]の検証



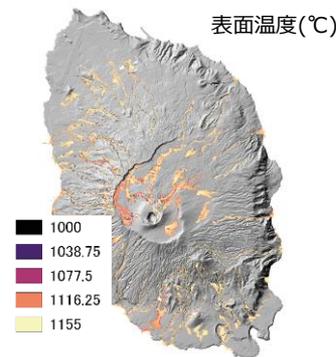
- ・高濃度層だけでなく低濃度層についても2次元非定常状態を取り扱えるように数値モデルの改良を検討
- ・低濃度層に対して、噴煙柱からの供給による形成だけでなく、高濃度層からの粒子の巻き上げによる形成についても評価できるように数値モデルを改良
- ・噴火規模だけでなく噴火口位置についての確率分布も評価できるようにハザードマッピング手法の改良を検討

・火山ハザード評価システムの開発

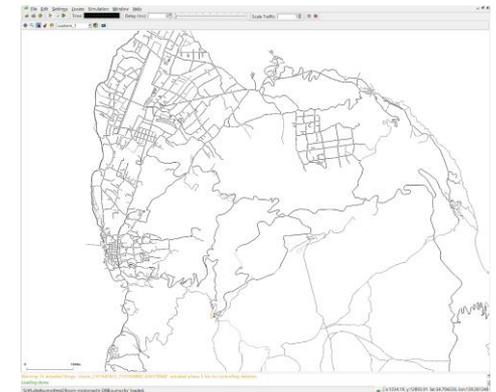


GUIインターフェース

溶岩流ドリルマップ



避難シミュレーション



- ・各シミュレーションモジュールの火山ハザード評価システムへの組み込みと計算結果のDB化（ドリルマップ作成）
 - － 簡易版降灰シミュレーション(PUFF), 詳細版降灰シミュレーション (JMA-ATM), 噴煙柱シミュレーション(SK-3D), 詳細版溶岩流シミュレーション(LavaSIM), 詳細版火砕流シミュレーション(SKS), 噴石シミュレーション (Ballista) 等
- ・統計処理の実施（確率表現の検討）
 - － 状態遷移図・火山災害イベントツリーにおける分岐判断の定量化
- ・避難シミュレーションへの拡張（D3への連携）
 - － 火山災害イベントツリーの分岐判断の定量化とexposure/vulnerability との接続

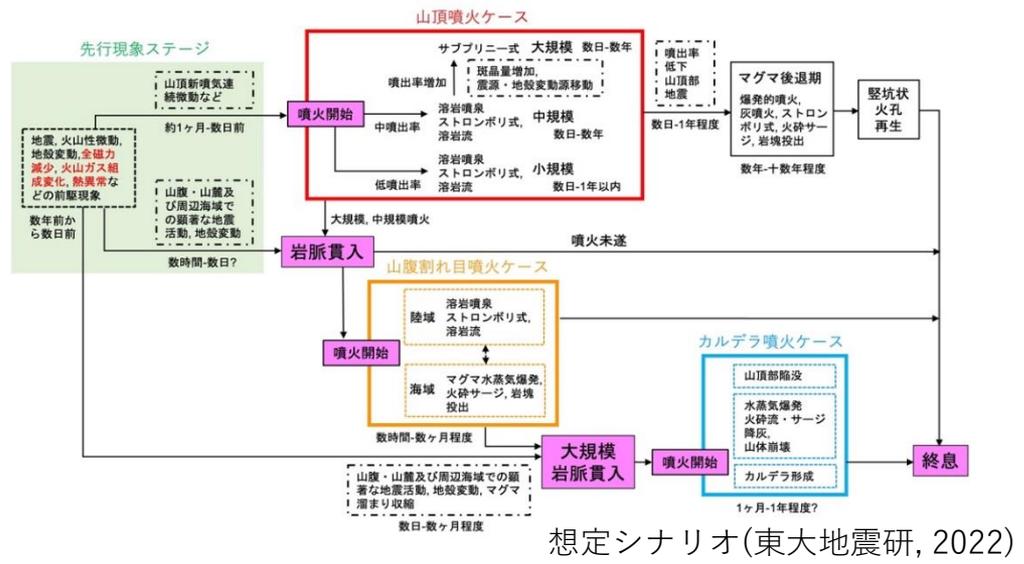
課題間連携研究 伊豆大島WSの開催

「火山学はどのように噴火様式・推移の予測を行うか：伊豆大島火山を例にして」

2022年10月7日（金）9：30～17：45
 2022年10月8日（土）9：00～17：30
 東京大学地震研究所（ハイブリッド形式）
 参加者 139名



研究集会の様子



現地検討会

2022年10月9日（日）～10日（月）
 参加者 17名



現地検討会の様子

プログラム概要 24件の講演

- A. 静穏期：噴火シナリオの再評価と改訂、そして伊豆大島の噴火準備とは
 1. 伊豆大島噴火シナリオ（予知連版）の構想とやり残したこと
 2. 地質・物質の研究から見た予知連シナリオの評価：推移・マグマ供給系の見直し
 3. 最近の地物観測・研究から見た予知連シナリオの評価
 4. 討論：シナリオをどのように改訂するか（できるか）
- B. Unrest期：あるシナリオを想定したとして、どのような事象が観測されるか
 1. シミュレーション+実験
 2. 観測：大島だけではなく玄武岩質火山を対象に
 3. 討論：分岐判断時に観測データが間に合うか
- C. 噴火開始期：小規模噴火からピークに向けての活動中にどのように対応するか（できるか）
 1. 観測体制の維持と推移予測のための重要な観測項目
 2. 地質学的・物質学的調査
 3. ハザード評価：現在のハザードマップの評価と噴火シナリオの使われ方
 4. 討論
- D. 総合討論

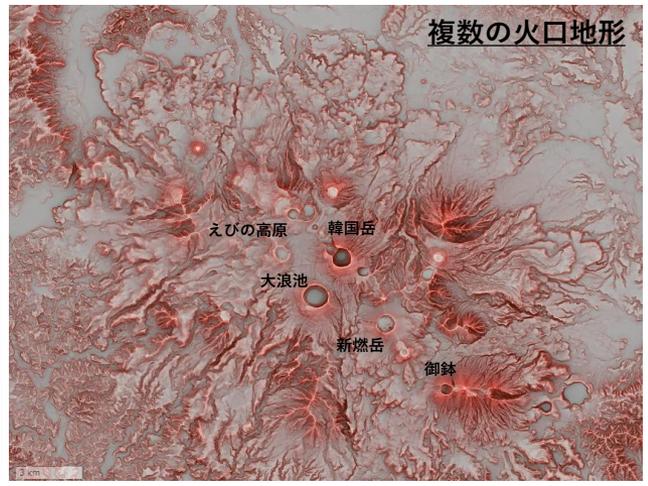
防災科研究資料集として、伊豆大島WSプロシーディングスを発行予定

連携研究の今後の計画

課題Cだけでなく課題間の連携研究をさらに促進

(+大学院生の関与を促す→人材育成コンソとの連携)

課題間連携研究第2弾 安山岩質噴火：霧島火山



R04年度末 キックオフ集会を予定

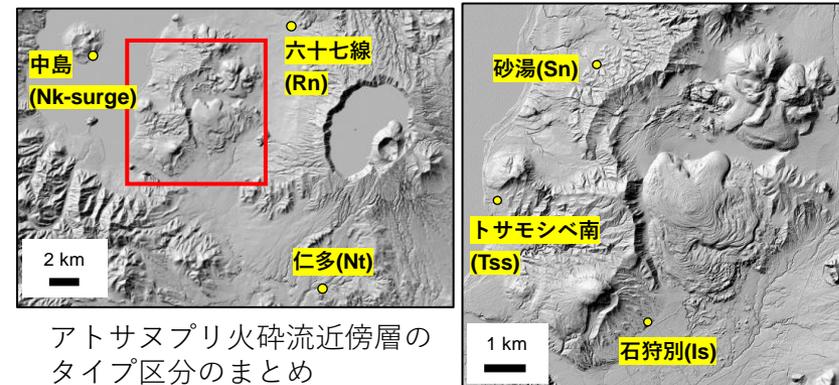
年度	R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07
年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目
玄武岩質噴火 伊豆大島			コアメン バーWS	現地研究 集会	追加研究 まとめ		
安山岩質噴火 霧島				キックオフ 研究集会	コアメン バーWS	現地研究 集会	
珪長質噴火 未定							

補遺：
各サブ課題の成果例など

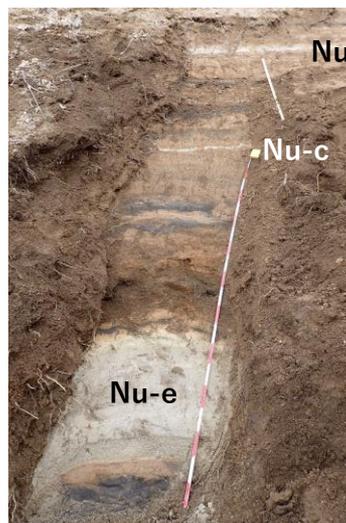
成果事例：噴火活動履歴の再検討

地表踏査やトレンチ掘削調査を継続し、噴火活動履歴の再検討にも取り組んでいる

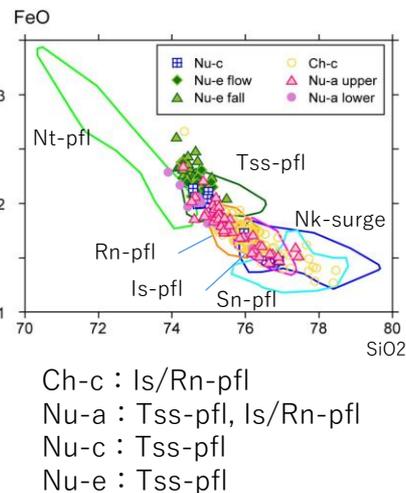
アトサヌプリ・摩周（北大・茨城大）



アトサヌプリ火砕流近傍層のタイプ区分のまとめ



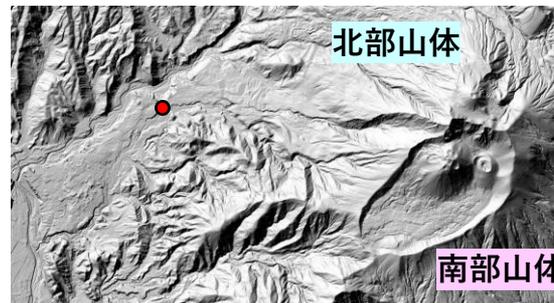
中標津町の模式露頭



火山ガラス組成による対比

遠方で確認されているアトサヌプリ系テフラと昨年度までに明らかにしたアトサヌプリ火砕流近傍層を対比

秋田駒ヶ岳（北大・(株)エンバイオ・エンジニアリング）



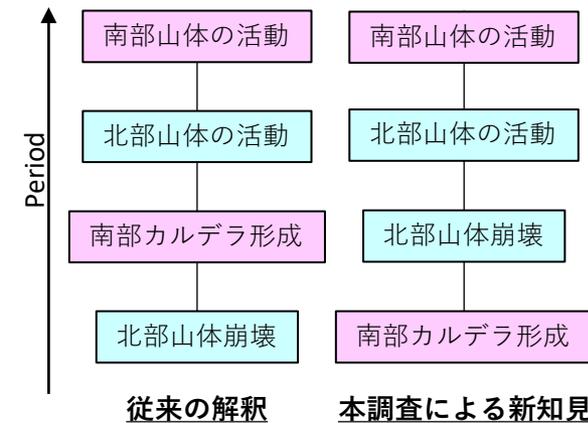
重機トレンチ掘削調査地点(赤丸)



トレンチ掘削孔



掘削孔断面

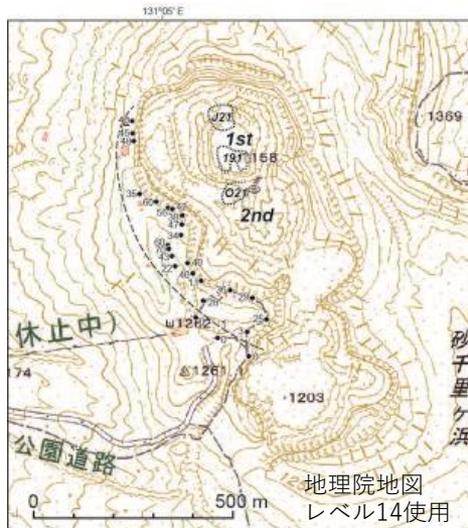


秋田駒ヶ岳の活動史の解釈

北部山体の崩壊に伴う岩屑なだれ堆積物の下位に、南部カルデラ形成噴火堆積物（生保内火砕流）が存在することが判明

噴火対応事例：

阿蘇山2021年10月20日噴火の
先行活動の評価 (熊本大)



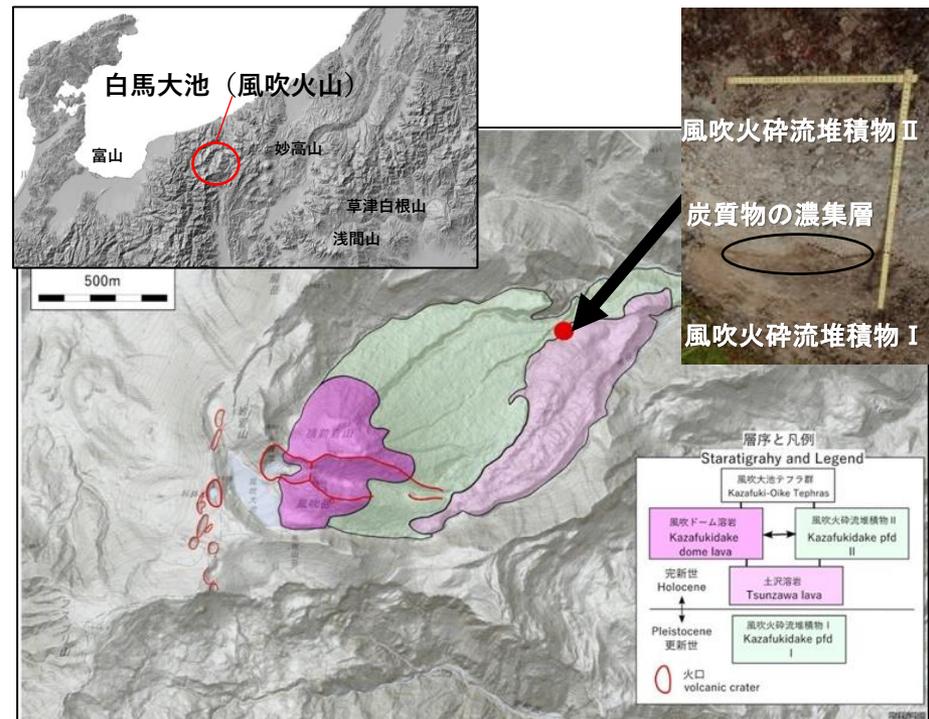
2021年10月14日噴石の分布状況

2021年10月14日噴火に伴う噴石(宮縁撮影, 阿蘇火山防災会議協議会提供)

阿蘇火山中岳第1火口では、2021年10月20日の爆発的噴火に先行して、**10月14日にも噴石を伴う噴火が発生**している。現地調査を行った結果、第1火口南西縁には径30～70 cm程度の**噴石が多数観察**され、噴石は火口中心から450 m程度の範囲にまで達していることがわかった。また、降下火山灰は南東方向に飛散し、その量は**約2500トン**と見積もられた。構成物の観察や化学分析などから、この噴火は**水蒸気噴火**であると考えられる。

見落としし火山の検討：

白馬大池（風吹火山）の例 (産総研)



- 風吹火砕流堆積物 (BAF) は、古土壌層を挟んで2層 (I・II) に細分される
- 風吹火砕流堆積物 II の直下の炭質物の濃集層より $7,100 \pm 30$ yBP の ^{14}C 年代値が得られた

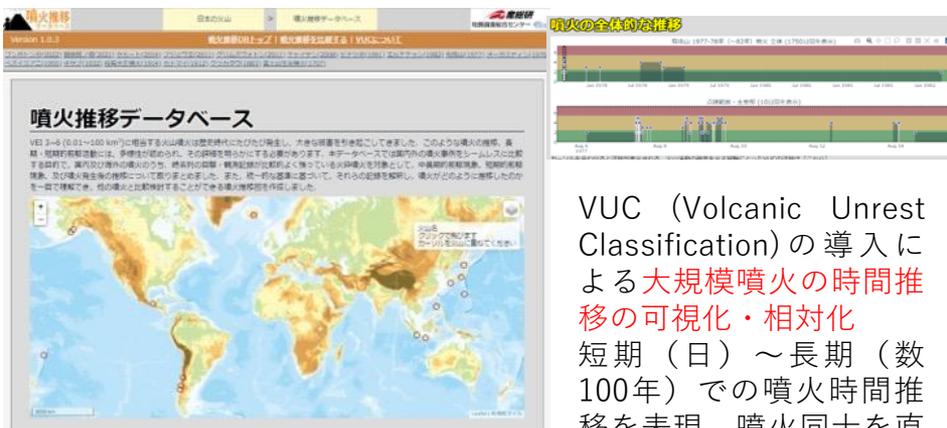
風吹火砕流堆積物とその給源である風吹ドーム溶岩の上に堆積した噴出物は**完新世の活動**によるものである

※これらの上位に多数の新鮮な火口と水蒸気噴火堆積物があることから、層序などをさらに検討中

大規模噴火データベースの整備 (産総研)

目撃記録・観測に基づく大規模爆発的噴火の時間推移データ集としての噴火推移データベース、地質層序に基づく大規模噴火の活動データとしての大規模噴火データベースを作成し2022年7月にインターネット上で公開 <https://gbankdev.gsj.jp/volcano/>

噴火推移データベース



VUC (Volcanic Unrest Classification) の導入による大規模噴火の時間推移の可視化・相対化
 短期（日）～長期（数100年）での噴火時間推移を表現。噴火同士を直接比較する機能あり。

噴火推移データベース：目撃記録・観測に基づく大規模爆発的噴火の推移
 16噴火のデータが公開済。R4年度にさらに10噴火データを収集整備中



VUCパターンにより、噴火推移を3種類に区分。
 (エスカレート型、多峰型、減衰型)
 それぞれ特徴的な噴火時間推移をたどることを可視化した。

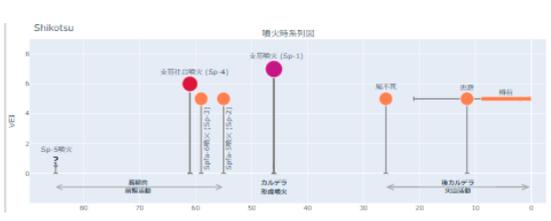
VEI 3-6クラスの大規模噴火の時間発達過程を相対的に評価。異なる噴火相互の噴火推移パターンの直接比較が可能に。

大規模噴火データベース

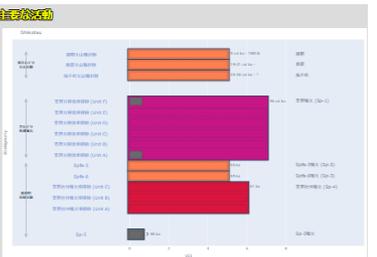


大規模噴火データベース：地質記録に基づく大規模爆発的噴火活動データ

8カルデラ火山のデータが公開済。R4年度さらに8火山のデータを収集整備中



年代-噴火規模図による長期的噴火活動傾向の可視化



噴出物相対層序-規模図

VEI 6-7クラスの大規模噴火を引き起こした火山の中長期的な活動傾向の把握を実現。長期的前兆。

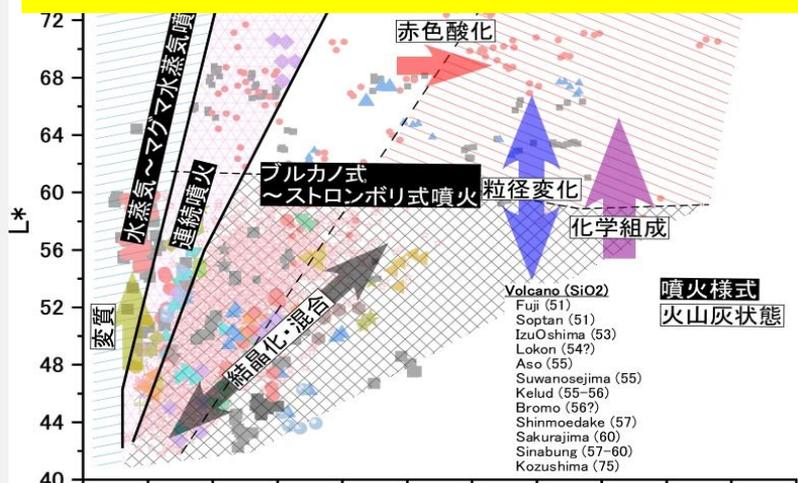
噴火の推移・様式予測のための 噴火発生後の作業の高精度化と迅速化

噴出物を迅速に解析し、
状態を把握するの仕組み
の構築

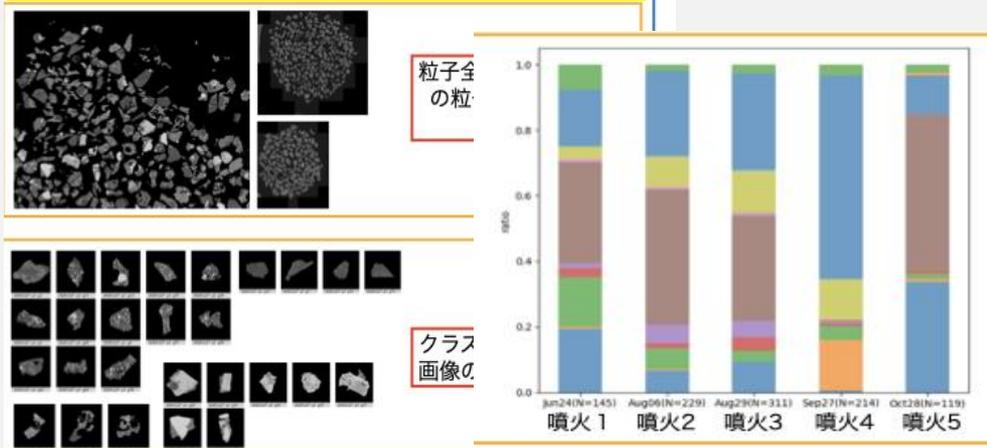
- ・ 関与したマグマの把握 (噴出可能量の推定)
- ・ 経路の状態変化の把握 (火道閉塞/拡大、帯水層の消長)

これまでに開発してきた手法

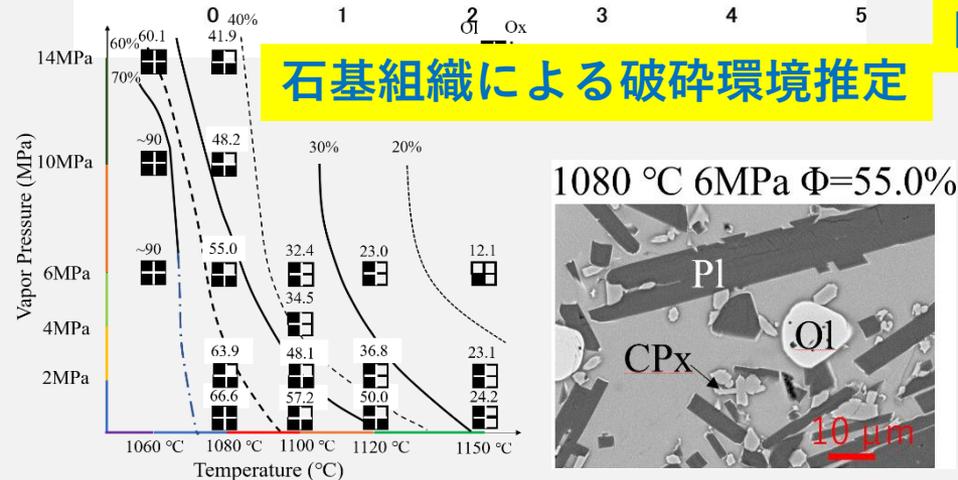
色相分析による粒子構成比の把握



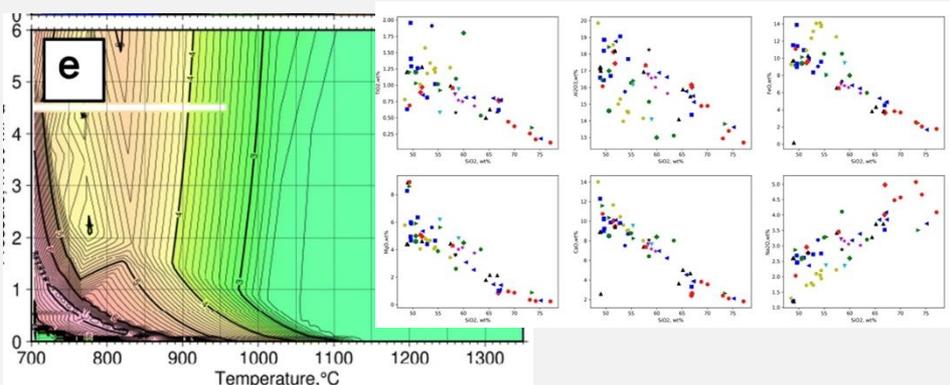
火山灰構成粒子の自動分類



石基組織による破碎環境推定



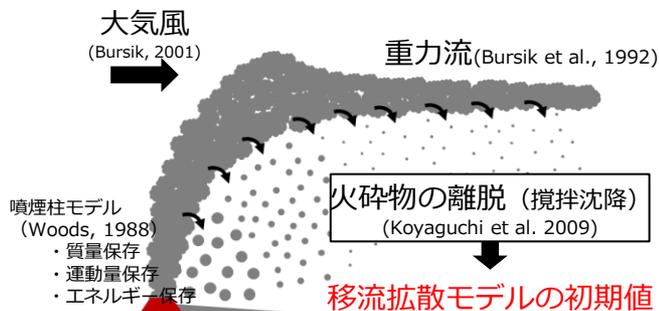
MELTSの実行環境の整備、データベース化



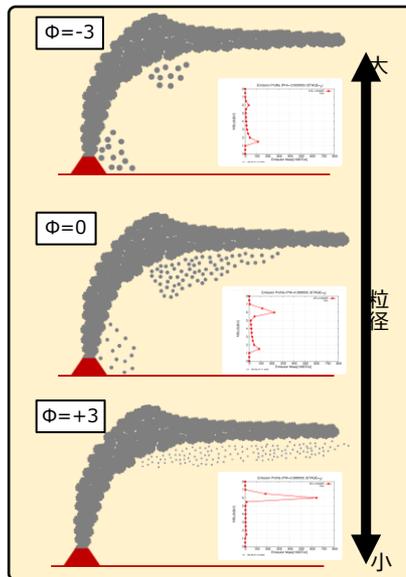
②噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

a. 降灰ハザード予測モデルの開発

移流拡散モデルの初期値のための
1次元噴煙モデル (NIKS-1D) の開発



粒径毎の火砕物の離脱



噴煙を噴煙柱と重力流で表現し、沈降モデルを組み合わせることで、火砕物の離脱を計算するモデルを開発した。離脱した火砕物は移流拡散モデルの入力とする計画。

b. 噴煙柱ダイナミクスモデルの開発

	初期時刻		6時間後のATM計算結果	
初期条件	初期分布(粒径) (東西断面)	鉛直分布(質量)	予想降灰量	予想最大粒径
Suzuki1983 対数正規分布 2 km出力				
SK-3D 対数正規分布 2 km出力				

初期条件(Suzuki1983とSK-3D)の違いによるJMA-ATM(ドライモデル, 地形なし)降灰シミュレーションの試行結果

【これまでの進捗】

初期条件: Suzuki1983とSK-3Dによる比較
降灰計算: JMA-ATM (開発中のドライモデル)



【今後の計画】

初期条件: NIKS-1DとSK-3Dによる比較
降灰計算: JMA-ATM (地形ありのフルモデル) に更新