



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

課題C 火山噴火の予測技術の開発

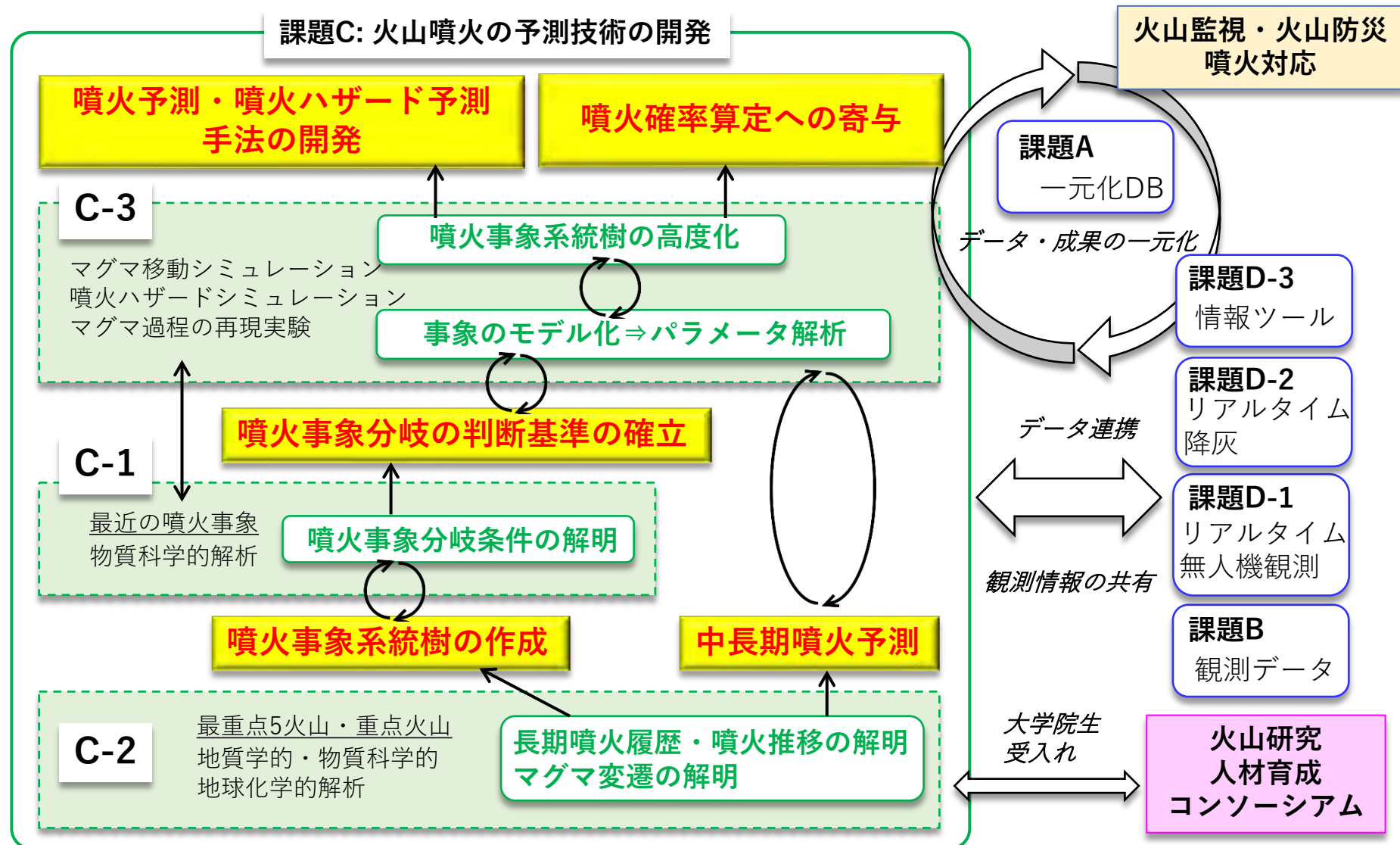
第11回総合協議会 課題成果概要

2023年12月～2024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

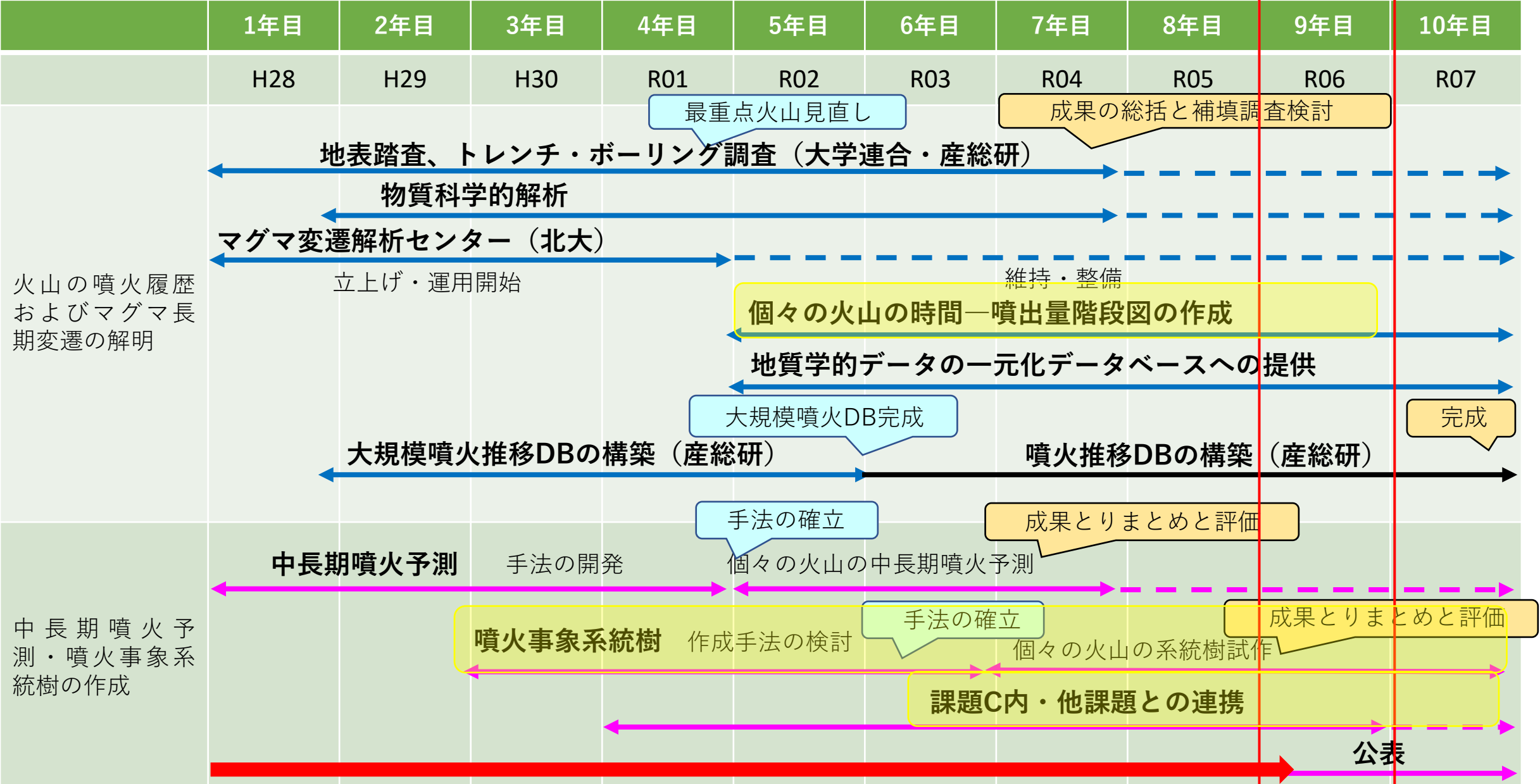
課題Cの概要

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。



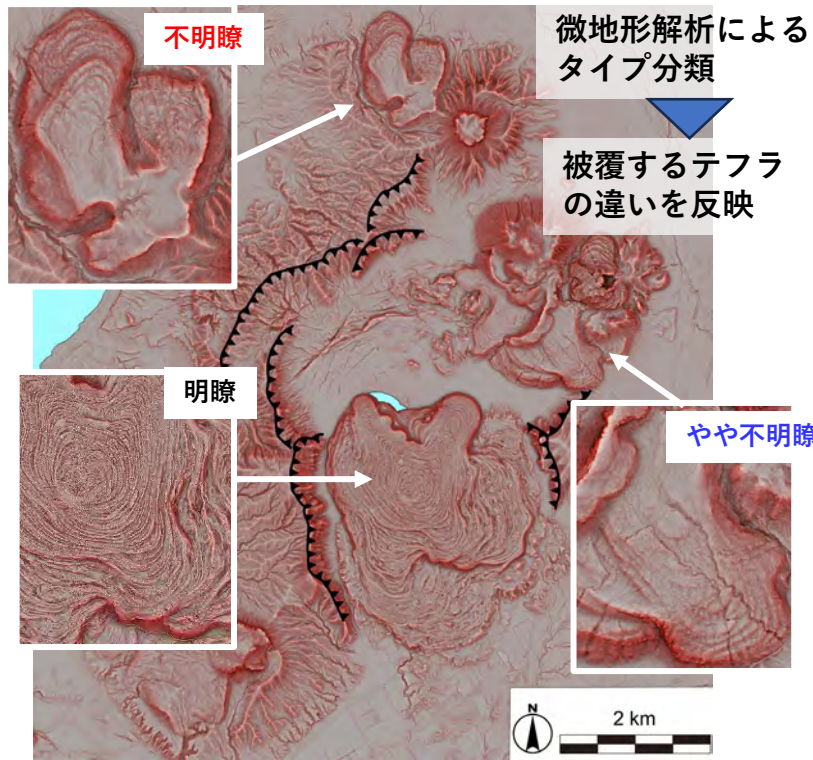
サブテーマC-2

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

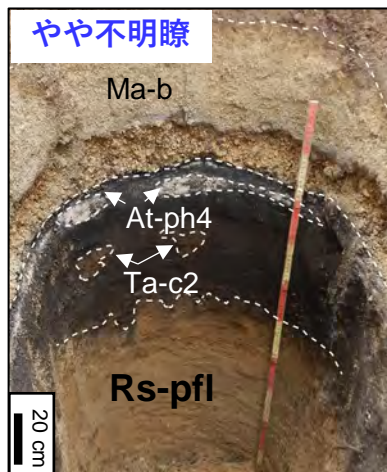


火山PJで導入した調査手法（ポストPJ・火山本部へ）

○高解像度LPデータを用いた地形解析 アトサヌプリ 北大

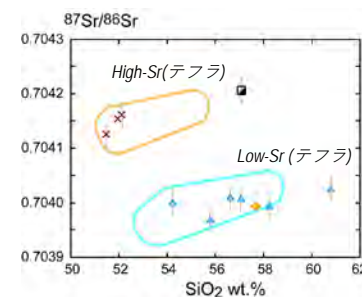


地形から
山体形成史・活動史
を読み解く



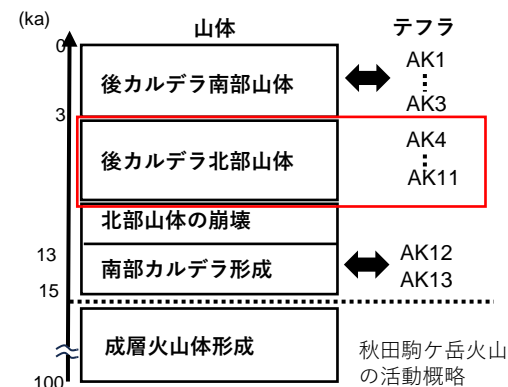
○テフラと山体構成物対比手法の提案

秋田駒ヶ岳 北大・(株)エンバイオエンジニアリング



マグマタイプに
よるテフラと
山体構成物の対比

山体	マグマタイプ	テフラ対比
男女岳2	High-Sr	High-K
男女岳1	High-Sr	Low-K
片倉岳2	Low-Sr	High-K
片倉岳1	Low-Sr	Low-K
		AK4
		AK7-6
		AK8
		AK11-9



山体発達過程が不明
テフラと山体構成物の対応関係が不明

火山地質分野の長年の課題

マグマ変遷解析センターの活用



分析セン
ターの有用
性を実証

サブ課題C2

主な成果例

鷺羽池火山 | 富山大

鷲羽池火山の西方に広く分布する2層のテフラ層（鷲羽Aテフラ、鷲羽Bテフラ））についての分布調査が完了し、噴火年代・噴出量・火口位置が明らかになった。



鷺羽Aテフラ



- 噴火年代 6000～5500年前
- 噴出量 約 $1 \times 10^7 \text{ km}^3$
- 火口位置 現在の硫黄沢流域

驚羽Bテフラ



- 噴火年代 2500～2000年前
- 噴出量 約 $1 \times 10^7 \text{ km}^3$
- 火口位置 鷺羽池南方

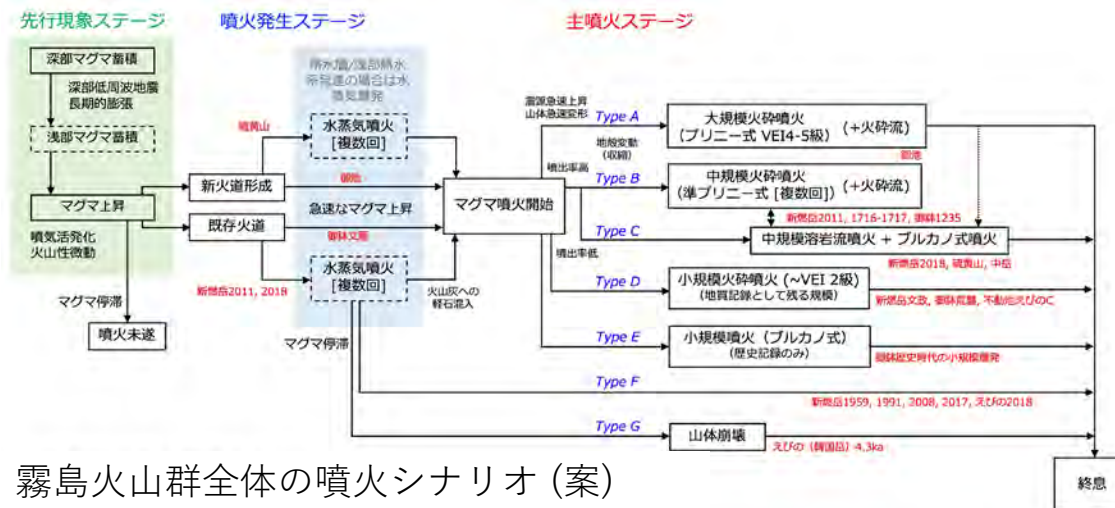
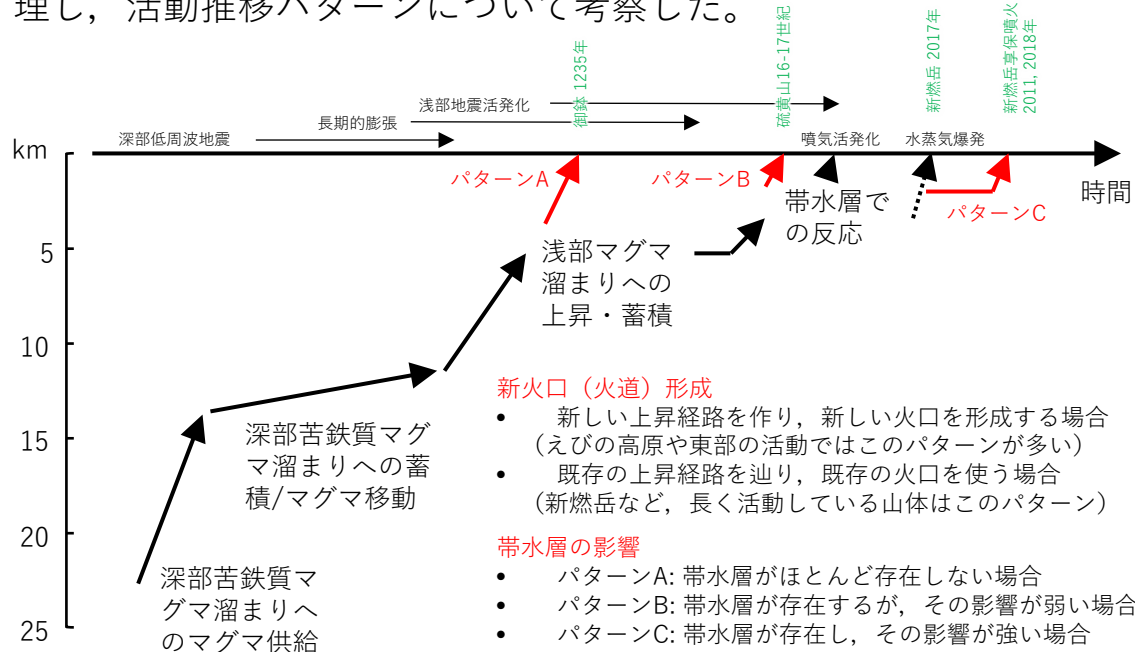
ノーマーク火山の解消

霧島山

東大地震研

霧島連携研究に向けて

近年や歴史時代の活動をもとに、マグマ上昇過程と関連現象を整理し、活動推移パターンについて考察した。



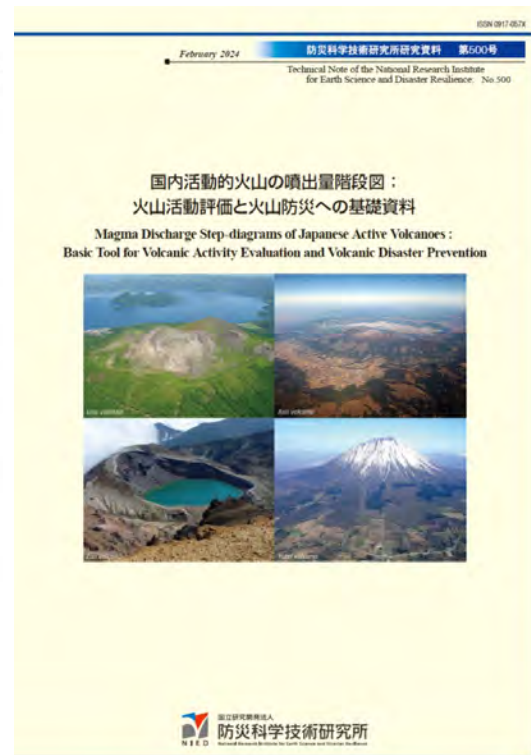
霧島火山群全体の噴火シナリオ (案)

調査開始時は、鷺羽池火口からこれらのテフラの噴出したと予想していたが、これらのテフラが現在も活発な噴気活動を続ける硫黄沢流域から噴出したことが明らかになった。

サブ課題C2

○マグマ噴出量階段図

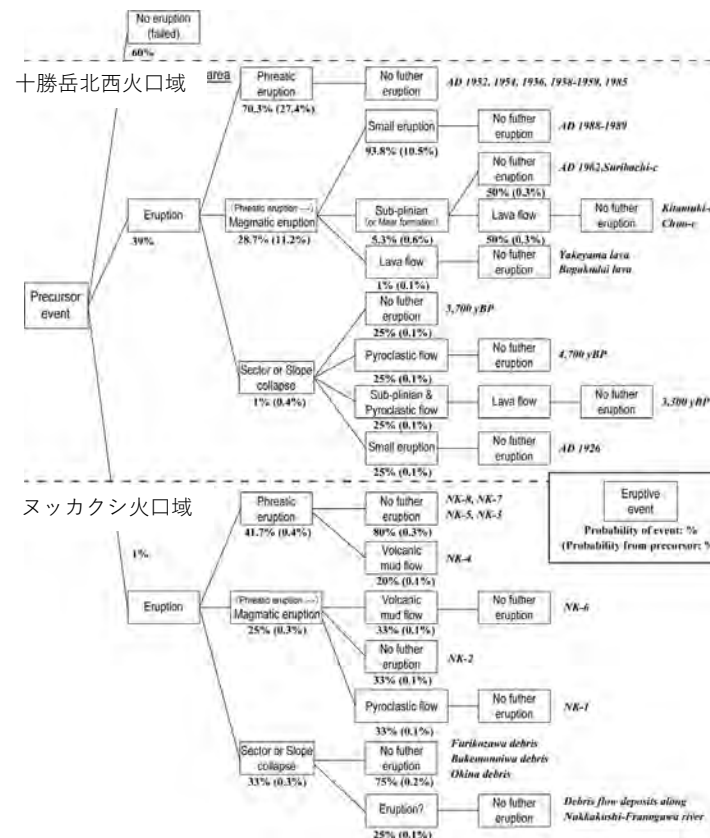
○噴火事象系統樹



指針を提案し、ルールを統一した上で作成
13火山について、結果を公表

⇒マグマ変遷も加味して、中長期噴火予測へ

今後の予定：
未完成の火山について作成作業を継続し、公表



十勝岳の噴火事象系統樹(試作版) 中川ほか(準備中)



62-II火口

上ホロカメツク山

三段山

ヌッカグシ火口

西方上空から見るヌッカグシ火口域

WGを立ち上げ、 作成方針を議論 試作を通して作成 指針は準備済み

今後の予定：

- ・対象火山において試作し、階段図とセットで公表

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

年次計画

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)									

(1) 引き続き、噴出物解析による噴火の特徴把握の継続

(マグマ溜まりの環境 (T, P, 組成、上昇速度、噴火準備時間))

(2) それを実現する分析・解析環境の構築と利用普及

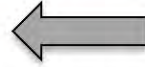
(分析・解析プラットフォーム、データベース)

(3) 取りまとめとして、
噴火予測のための仕組みや
モデルづくり

噴火予測のための「鍵」の検討（複数マグマが関与するマグマ供給系の場合）

霧島新燃岳2011年噴火と1716-17享保噴火との比較研究

1716-1717



2011

供給系の構造は類似

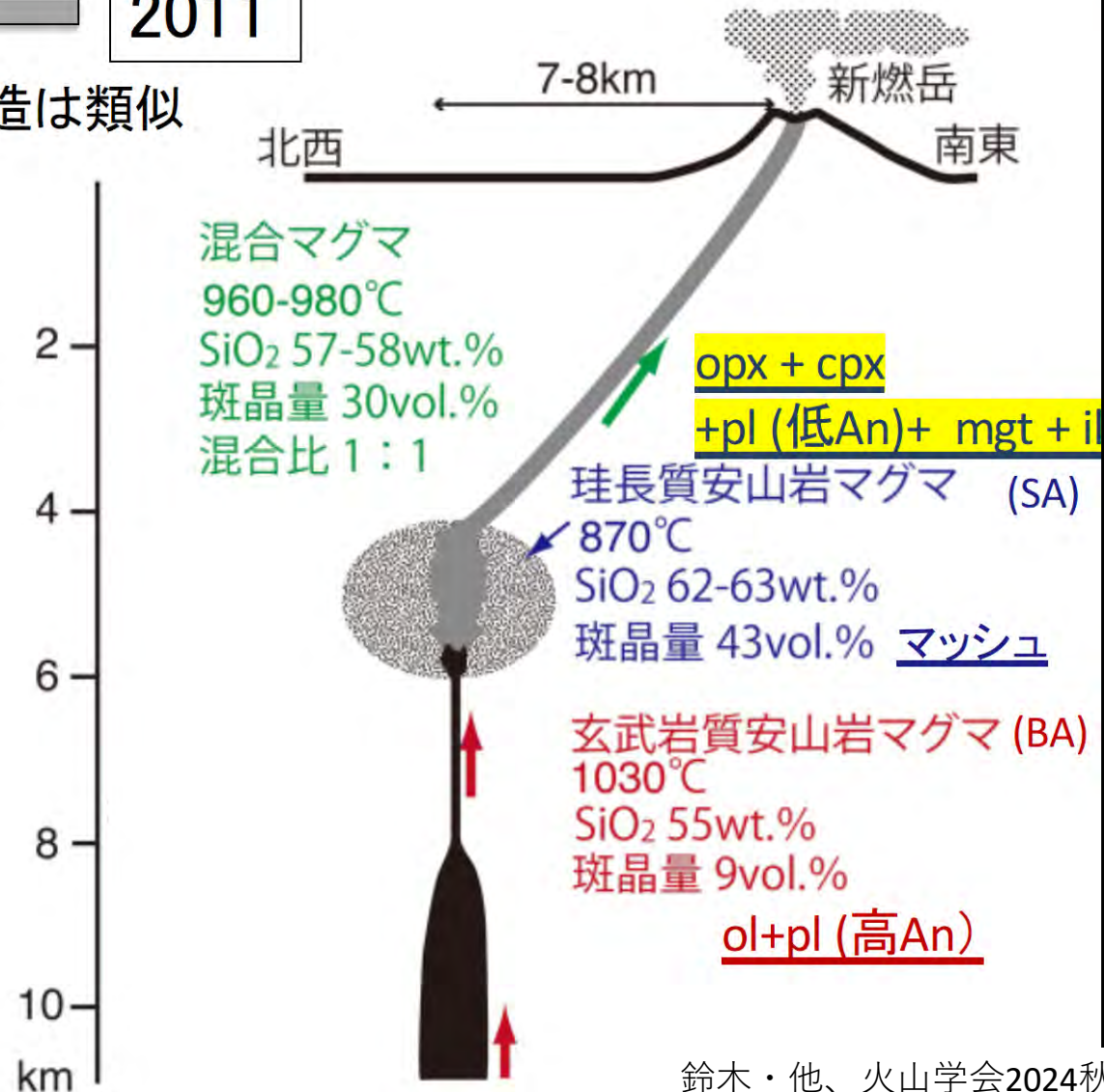
➤ 低温マグマ

- ・単独噴出なし
- ・混合マグマから
鉱物組成同等と推定。
- ・バルク組成も同等の可能性

➤ 高温マグマ

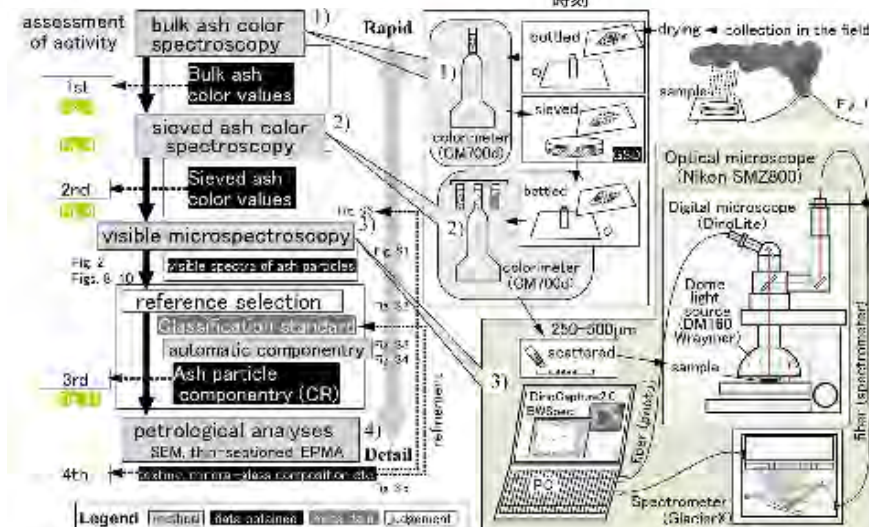
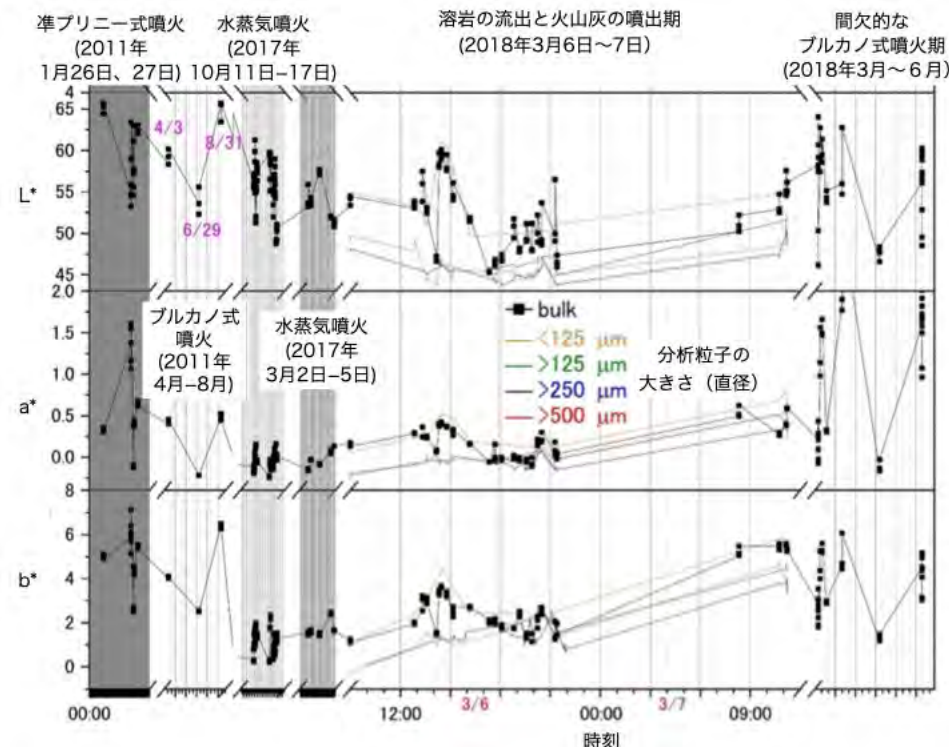
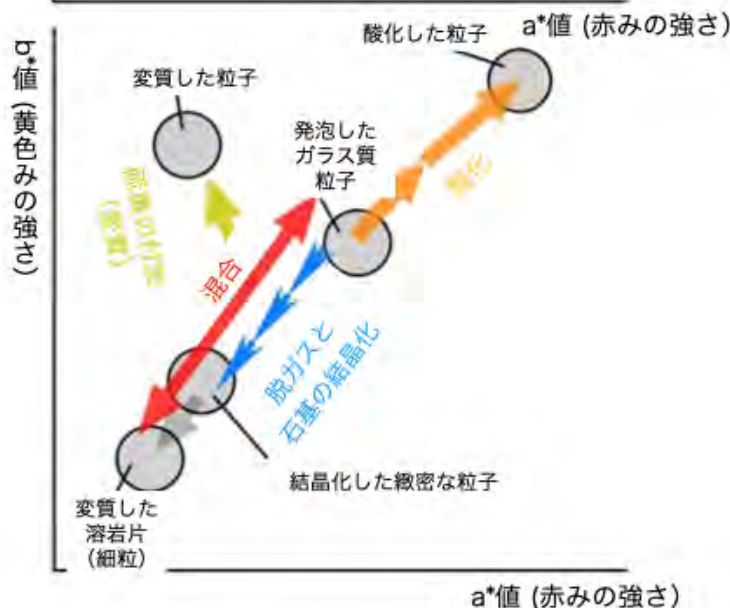
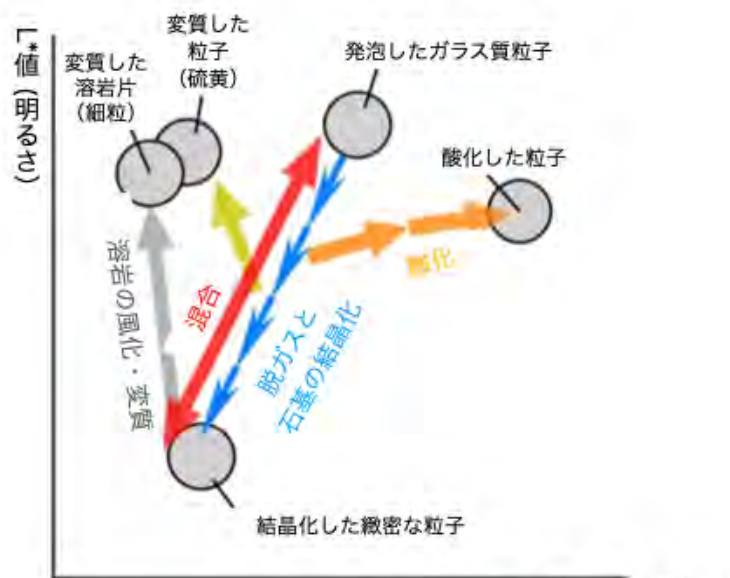
- ・単独噴出なし
- ・混合マグマから
享保でわずかに未分化・
高温のメルトを持っていたと推定。

高温マグマの供給量不明
同等であれば、温度の高い
マグマが供給された方が、
大規模な噴火になる可能性



火山噴出物の特徴を迅速に把握して予測につなげるためのシステム開発

火山灰粒子色相分析の実用化に向けた取り組み



Shimano et al., EPS,
2024より引用（一部
改変）

とりまとめ：他分野にもわかる形で結果を整理する作業に着手

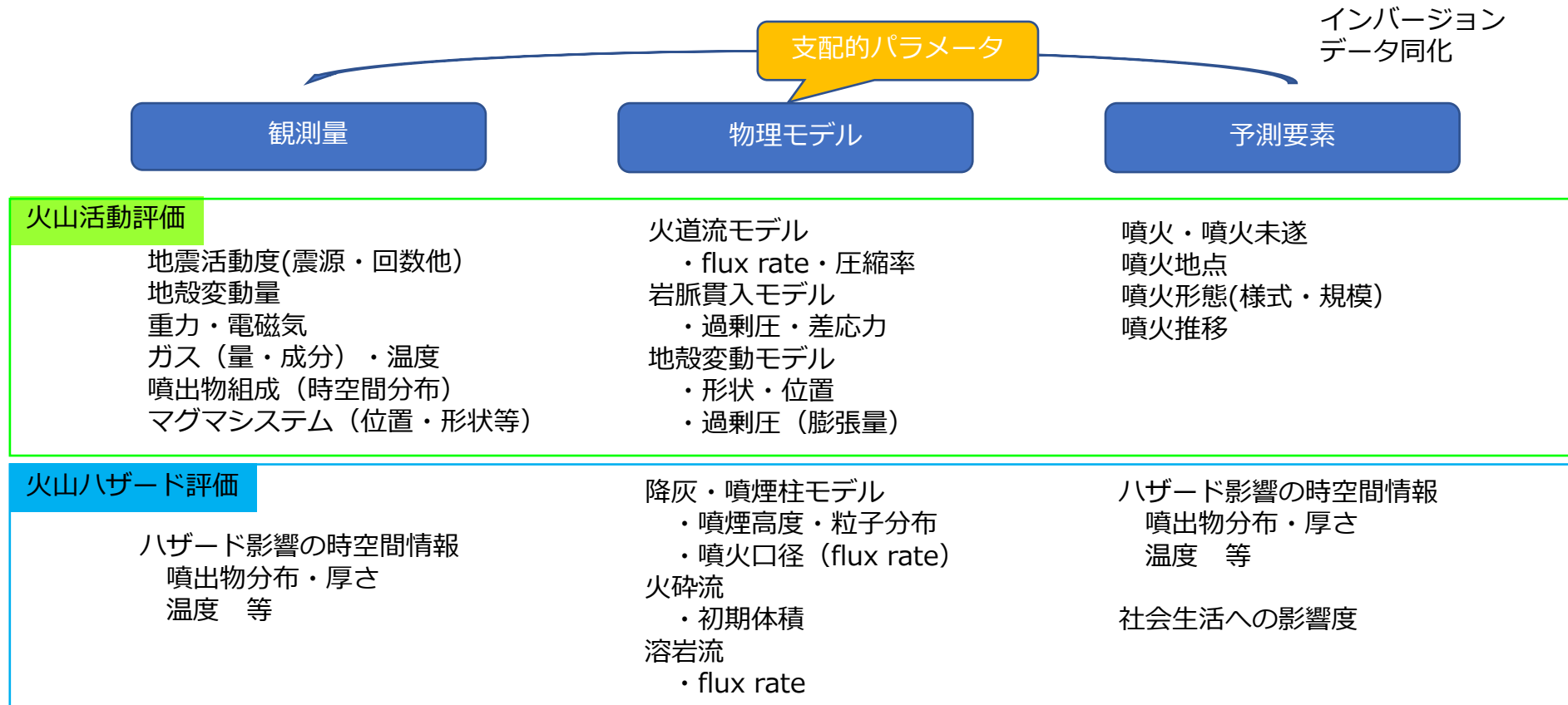
分岐予測手法開発の「鍵」と タイムラインの中での使い方

「鍵」の種類	どうやって捉えるか (過去噴出物の解析)	タイムラインのどこで使うか		
		噴火前	噴火切迫時(マグマ上昇検出後)	噴火開始後
事象分岐の鍵 (その存在や値によって実際に何かの噴火現象が分岐するもの)		事象の発生場所の予想(観測機器のターゲット設定) 噴火の様式や規模の予想	観測結果による予想値の修正と再試	噴出物分析結果・観測結果による予想値の修正と再試
浅部帯水層の存在	粘土・豆石・異質岩片・水蒸気爆発痕	観測機器設置のターゲット設定	水蒸気爆発・マグマ水蒸気爆発の可能性検討	噴火推移(噴火終期の継続的灰噴火の可能性検討)
上昇するマグマの停留場所の有無	鉱物・ガラスの熱力学・メルト包有物	観測機器設置のターゲット設定	噴火規模と時期の検討(滞留有:大規模噴火;滞留無:切迫)	噴火推移(山体割れ目噴火の可能性検討)
			震源移動停止・地殻変動	
マグマの上昇速度	元素拡散・結晶成長	噴火時期予測(兆候から噴火までのリードタイム)	噴火様式・噴火規模(速度大:規模大、爆発性)	推移と規模予想を修正
			震源位置移動速度・地殻変動	
マグマの揮発性成分量 (特に含水量)	鉱物・ガラスの熱力学・メルト包有物	噴火様式予測(大:爆発性;小:非爆発性)	噴火様式・噴火発生予測(噴火未遂・上昇停止限界)	推移と規模予想を修正
			火山ガス成分比・震源移動・地震波振幅比(発泡深度)	
マグマ溜まりの深さ	鉱物・ガラスの熱力学	マグマ溜まりの天井部の深度予測 観測機器設置のターゲット設定	予想されたマグマ溜まり天井部の位置の確認	継続的なマグマの流入量の推定
			震源位置	微動、地殻変動
マグマの粘性	鉱物・ガラスの熱力学(温度、斑晶量、組成)	噴火時期予測(兆候から噴火までのリードタイム) 噴火様式予測(高粘性:爆発性;低粘性:非爆発性) 噴火発生予測(高粘性:未遂;低粘性:上昇開始)	上昇速度から粘性を評価し予想を修正	推移と規模予想を修正
			震源位置移動速度	
マグマの組成変化	全岩組成・鉱物組成・鉱物構成比・色相			推移と規模予想を修正(混合あり:規模大、様式変化)
噴火前の準備期間	元素拡散	大規模噴火の発生時期予測		最終的な噴出量の予測
予測手法構築の鍵(発生している現象を迅速に把握し状況判断を行うのに役立つもの)	何を実施するのか			
マグマ溜まりの時間発展計算	組成と過剰圧の時間発展計算			予測時のパラメタの修正と再計算→規模・様式・推移変化を予想
火山灰粒子色相分析	測色分析			マグマ混合の有無、上昇経路の状態(火道の拡張と縮小)
火山灰粒子構成比自動分類	光学顕微鏡・電顕像の解析			マグマ混合の有無、上昇経路の状態(火道の拡張と縮小)
XRF・EPMAと連動した解析システム	組成解析・作図			マグマ混合の有無、上昇速度、粘性、含水量
熱力学シミュレーション補助システム (MELTS計算と解析の自動化)	計算実行と作図、結果抽出			マグマ混合の有無、温度、粘性、含水量
データベース	過去の類似事象の抽出・比較用の整理			過去の事象との比較

何に使うのか
組み合わせる
情報

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

令和6年度実施状況・令和7年度の方角性（それ以降への発展にむけて）

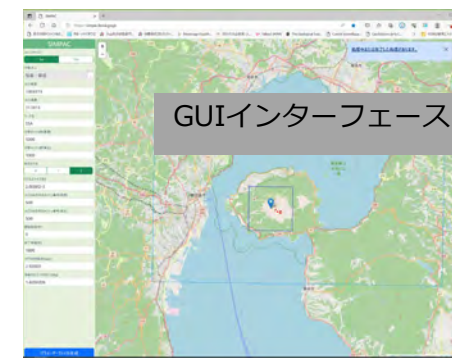
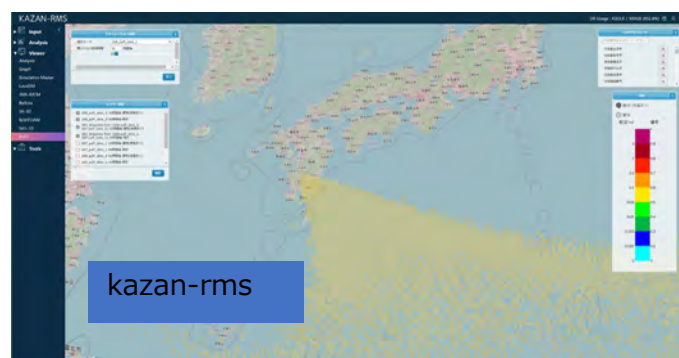
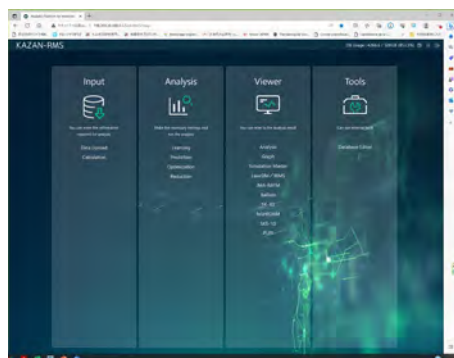
1. 火山ハザード評価システムの整備

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
- 計算結果のデータベース化と提供（プレアナリシス型：ドリルマップ）

2. 各種コードの妥当性・適用範囲の客観的整理と提供（ポストPJ・火山本部による調査研究へ）

- リアルタイム性（砂防系との連携）
- ハザード評価のレシピ作成



- 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), 新溶岩流シミュレーションコード(FastLava)
 - 詳細版火砕流シミュレーション(SKS), 火砕流高濃度部シミュレーション(faSavageHutterFOAMを利用)
 - 噴石シミュレーション (Ballista) 等
 - 地殻変動計算 (lin3dbem)

2. 各種コードの妥当性・適用範囲の客観的整理 事例

溶岩流シミュレーションコード：FastLava・・・OpenFOAMで開発

等温平面湧き出し(溶岩ドーム)ベンチマーク

FastLava / PlaneLava.ipynb

方程式

形の一様断面を考える。非圧縮性を仮定（密度が時間・場所変化しない）

は傾斜と摩擦の項

$$\begin{aligned}\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(hu) &= 0 \\ \frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(hu^2 + \frac{1}{2}gh^2\right) &= -gh\frac{\partial z}{\partial x} - \frac{3\nu}{h}u \\ \frac{\partial}{\partial t}(Th) + \frac{\partial}{\partial x}(uTh) &= -\epsilon(T^4 - T_{\text{env}}^4)\end{aligned}$$

適当なエネルギー方程式. radiation cooling (dominating)

摩擦則はこうに入れる

$$\gamma = \frac{3\mu}{\rho} \frac{1}{h}$$

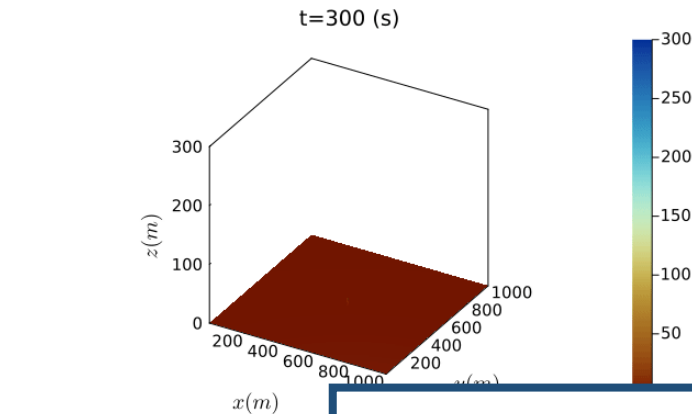
参考: Macbook (M1 chip)

$\epsilon=1e-9$ # 慣性変化パラメータ

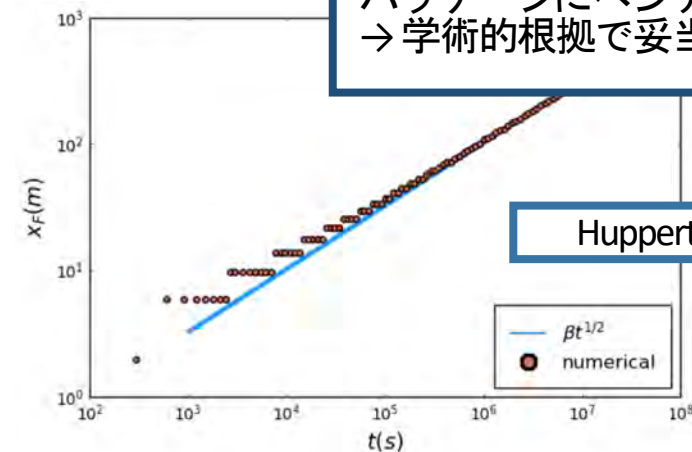
```
rslt = @time mainFunc(Iperiod=false, Tphysmax=1e7, dlogt=1.1, IlogLin=false, Ical=
# 256セル, 時間刻みdt[s], 空間 L[m]
Node=256, dt=300.0, L=1000.0,
# 初期厚みは一様 1e-3 [m]
h0=1e-3, h1=1e-3,
# 噴出口半径[m]とvolume flux[m^3/s]
Rvent=5.0, Qflux=3.0,
# 物性値
g=9.8* $\epsilon$ ,  $\mu=5*1e8*2500*\epsilon$ ,  $\rho=2500.0$ )
```

パラメータ・境界条件

実験との比較



パッケージにベンチマークも含める
→ 学術的根拠で妥当性を保証



Huppert et al. (1982)

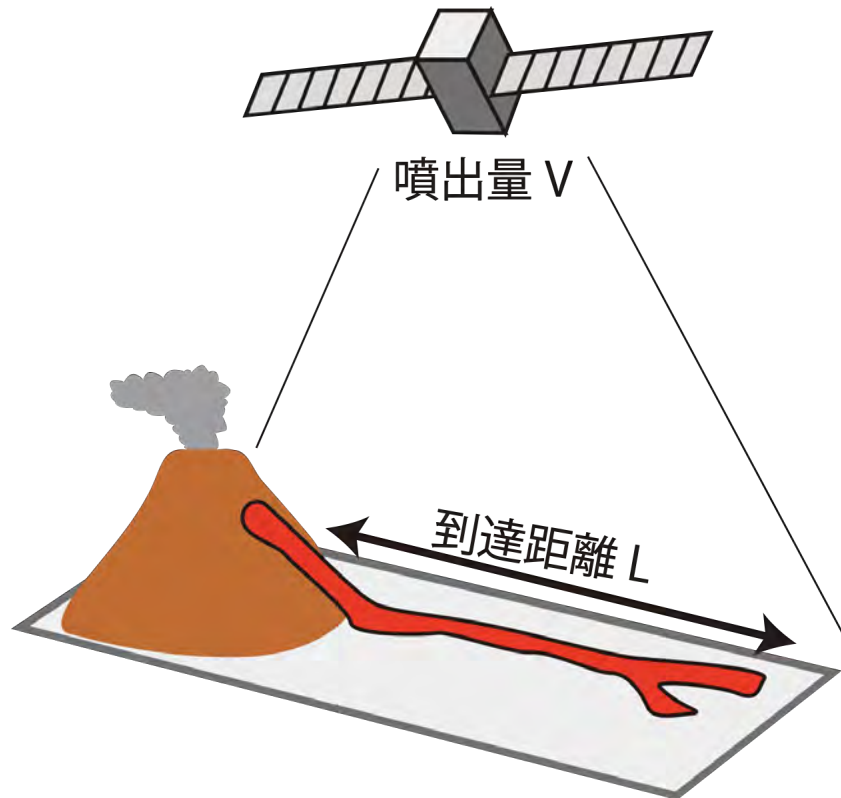
観測データとの比較例

Maruishi et al. (in review)

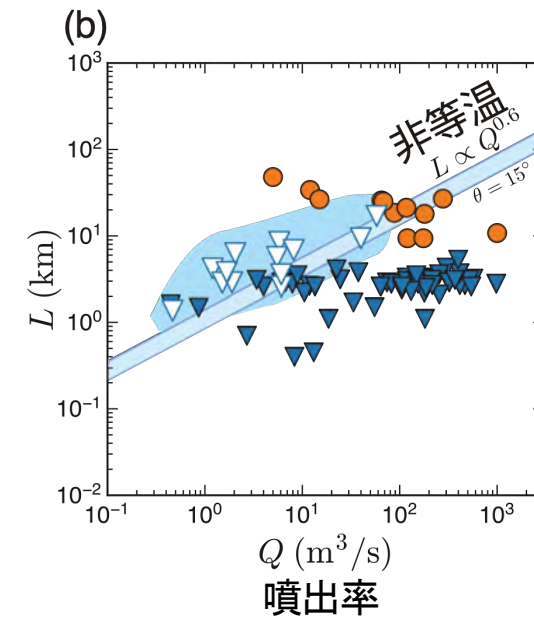
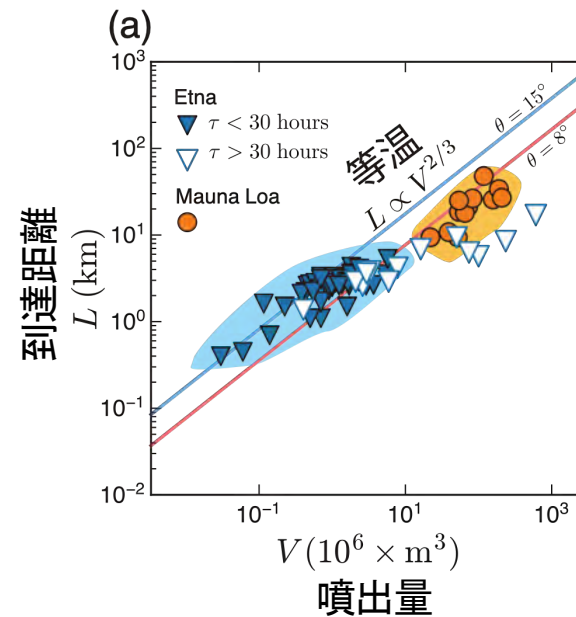
溶岩流の到達距離と噴出量/噴出率の関係

Universal scaling law for lengths of basaltic lava flows: Dependence on erupted volume and effusion rate

Takafumi Maruishi¹, Tomofumi Kozono¹, Takahiro Miwa¹, and Eisuke Fujita¹



理論 vs 観測 (エトナ, マウナロア)



まとめ

- ・多くの成果を得ることができているが、今後の課題も明らかになってきた。
- ・ポスト次世代および火山本部への移行を意識した取りまとめを行っている。
- ・霧島連携研究の実施へ

