



文部科学省

MINISTRY OF EDUCATION,
CULTURE, SPORTS,
SCIENCE AND TECHNOLOGY-JAPAN



火山の未来を観る

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

次世代火山研究推進事業の取り組み

火山噴火予測のアプローチと可能性

中田節也・藤田英輔

国立研究開発法人

防災科学技術研究所火山研究推進センター

プロジェクトの背景

御嶽山の噴火災害の影響－小規模噴火で戦後最大の火山災害－

1. 火山防災対策を推進するためのしくみ→活動火山対策特別措置法の改正（47火山に火山防災協議会）
2. 火山監視・観測体制→47活火山の火口近傍観測（気象庁，防災科技研，大学など関係機関）
3. 火山防災情報の伝達→分かりやすい噴火情報（気象庁）
4. 火山噴火からの適切な避難方策等→シェルターなど（内閣府）
5. 火山防災教育や火山に関する知識の普及→学校教育，登山者・住民への啓発
6. 火山研究体制の強化と火山研究者の育成→人材育成プログラム（文科省）

1/23に草津白根山の小規模な噴火が発生し再び犠牲者が。
御嶽山のような災害を出さないようにスタートした本プロジェクトであるが、
今回の災害は本プロジェクトを推進する上で改めて課題を投げかけている。

本プロジェクトの狙いとゴール

- 噴火の度：研究機関も報道機関も、それぞれの「成果」や「特ダネ」を上げようと競争することに躍起になり（複雑な背景）、肝心の「国民の命を守る」「財産を守る」ために有効の情報共有や伝達がなされていない。
- データの一元化の目的は、データ・研究成果や情報などを共有し、いかに迅速に防災対策に役立てることができるか。
- 観測研究から噴火推移モデルなどに基づく、より定量的（噴火確率？）のアウトプットを出すことが必要。
- アウトプットの受け手は火山防災協議会に関係する担当者や専門家。

プロジェクトに期待されているお題

直面する火山災害への対応（災害状況をリアルタイムで把握し、活動の推移予測を提示）

火山噴火の発生確率を提示

理学にとどまらず工学・社会科学等の広範な知識を有する研究者を育成・確保（80人⇒160人）



プロジェクトリーダー

【事業内容】

- ・事業期間:10年間
- ・連携推進体制
他省庁の研究機関、海外の研究機関等と密に連携

次世代火山研究推進事業

先端的な火山観測技術の開発

火山透過技術 高エネルギー物理
リモートセンシング 資源工学
火山ガス観測 地球化学

従前の観測研究と他分野との連携・融合

火山噴火の予測技術の開発

火山噴出物分析 物質科学
噴火履歴調査 歴史学、考古学、地質学
シミュレーション 計算科学

火山災害対策技術の開発

リアルタイム災害把握技術 測量、画像処理
リアルタイム降灰予測 計算化学、気象学
災害対策情報ツールの開発 社会防災

各種観測データの一元化

大学間の連携促進、他分野の参入
国際DB規格による流通 情報科学

アウトプット

直面する火山災害への対応
(災害状況をリアルタイムで把握し、活動の推移予測を提示)

火山噴火の
発生確率を提示

理学にとどまらず工学・
社会科学等の広範な知識を
有する研究者を育成・確保
(80人→160人)

博士課程学生を研究プロジェクトに参画
博士課程修了後にポスドクとして起用

火山研究人材育成コンソーシアム

人材育成プログラムへの参画・協力
早期に優秀な学生を獲得

「人材育成運営委員会」運営方針

研究プロジェクトと連携し、
若手研究者の育成・確保を推進



行政機関(国、地方)、
民間企業等での活躍

次世代火山研究推進事業

課題A：各種観測データの一元化

防災科研（上田）

課題B：先端的な火山観測技術の開発

地震研（森田）

B-1: 地震研（田中）

B-2: 防災科研（小澤）

B-3: 東大理（角野）

B-4: 地震研（森田）

課題C：火山噴火の予測技術の開発

北大（中川）

C-1: 地震研（安田）

C-2: 北大（中川）

C-3: 防災科研（藤田）

課題D：火山災害対策技術の開発

防災科研（中田）

D-1: アジア航測（千葉）

D-2: 京大防（井口）

D-3: 防災科研（中田）

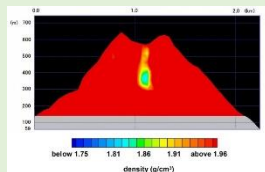
課題E：火山観測に必要な新たな観測技術の開発

E-1: 九大（松島）

E-2: 秋田大（筒井）

B:観測

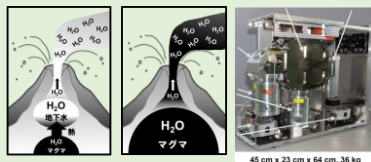
B1: ミュオンラジオグラフィ



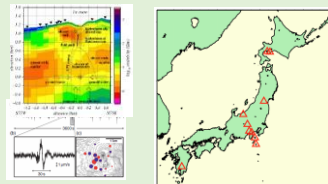
B2: GBIR・SPIC



B3: 同位体



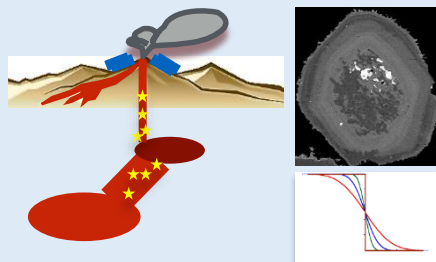
B4: 地震・地殻変動観測



観測データ

C:予測

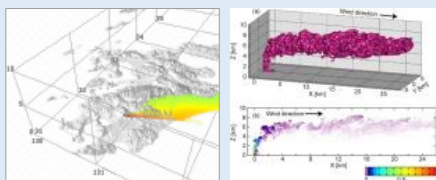
C1: 噴出物分析



C2: コア解析



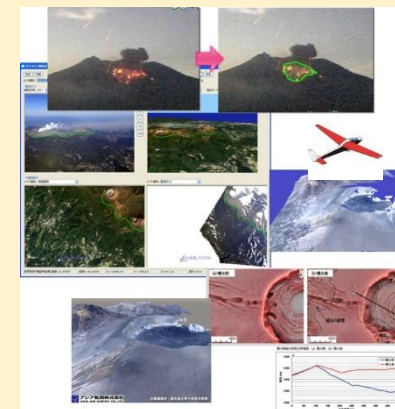
C3: シミュレーション



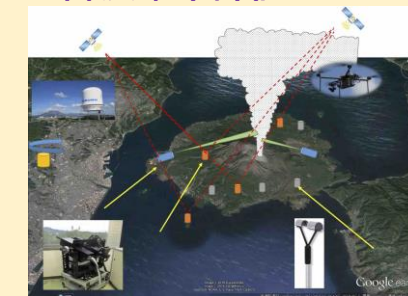
予測情報

D:対策

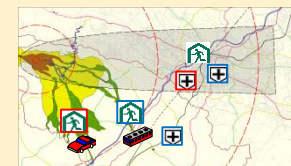
D1: 無人機観測



D2: 降灰確率評価



D3: 情報ツール

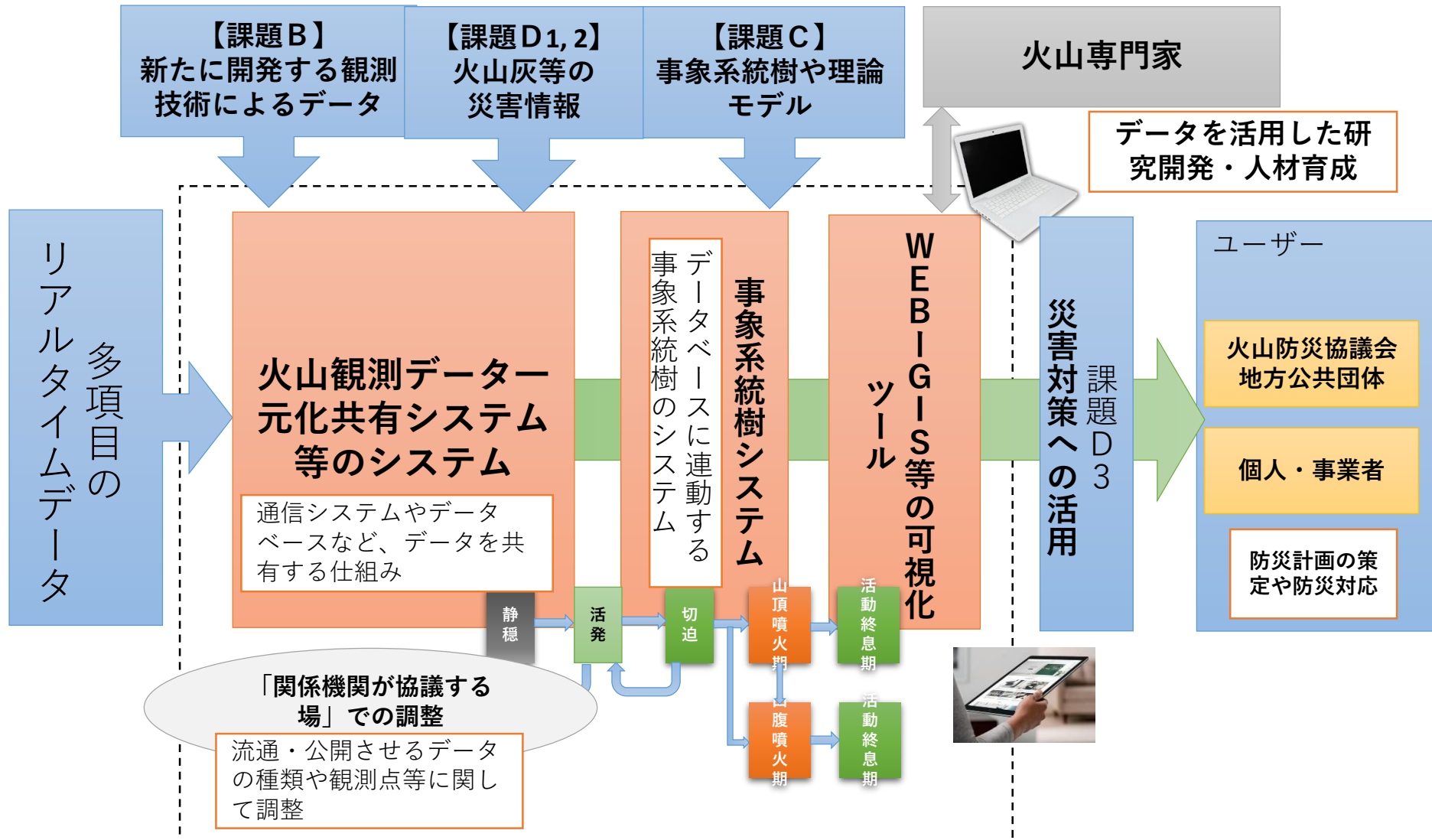


A:一元化

- 火山観測データ一元化システム・データベース
- 事象系統樹・確率表現
- 可視化ツール



課題A「各種観測データの一元化」



データ流通WG（2017年7－11月開催）

実施内容：関係機関の調整のため、16の組織、18名の委員によるデータ流通WGを設置し、火山分野のデータ流通の仕組みについて検討を行った。

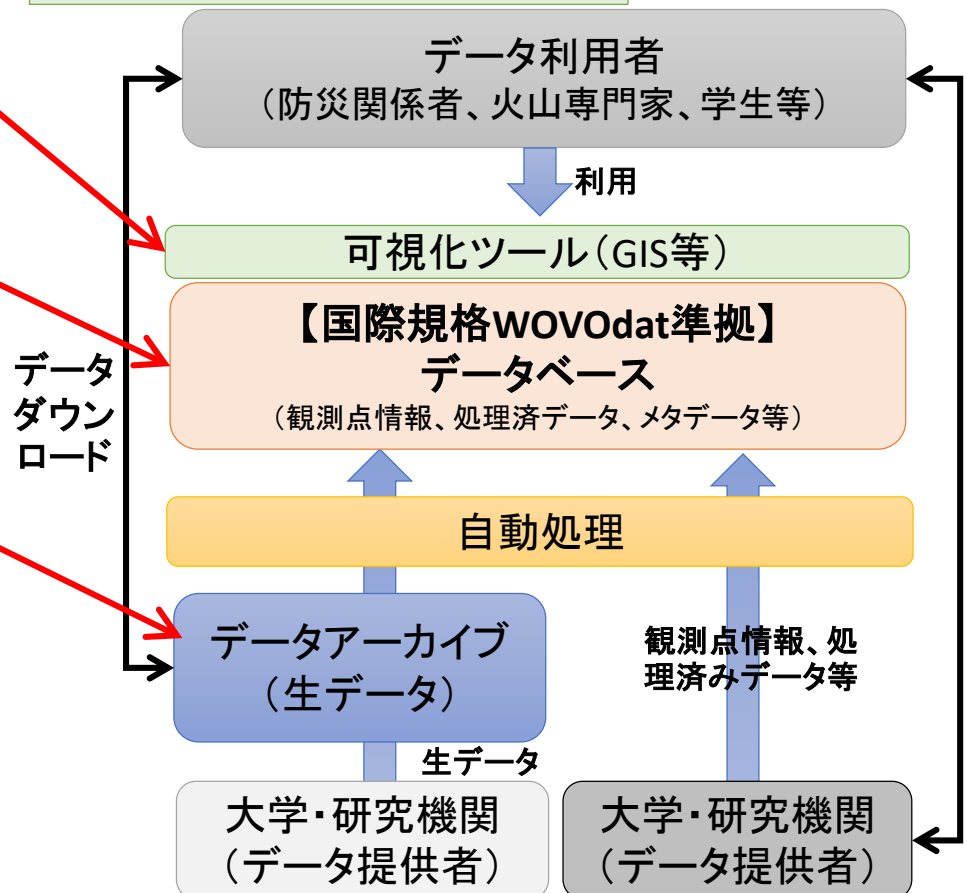
基本的な考え方

- 火山研究の活性化、研究分野・組織間の連携の強化、データの活用促進、火山防災、人材育成に資することを目的としてデータ流通・共有を推進する。
- データ流通・共有の仕組み作りにおいては、予算や人的資源を有効活用し、できるところから着手する。また、データ提供者等の貢献者を尊重する。

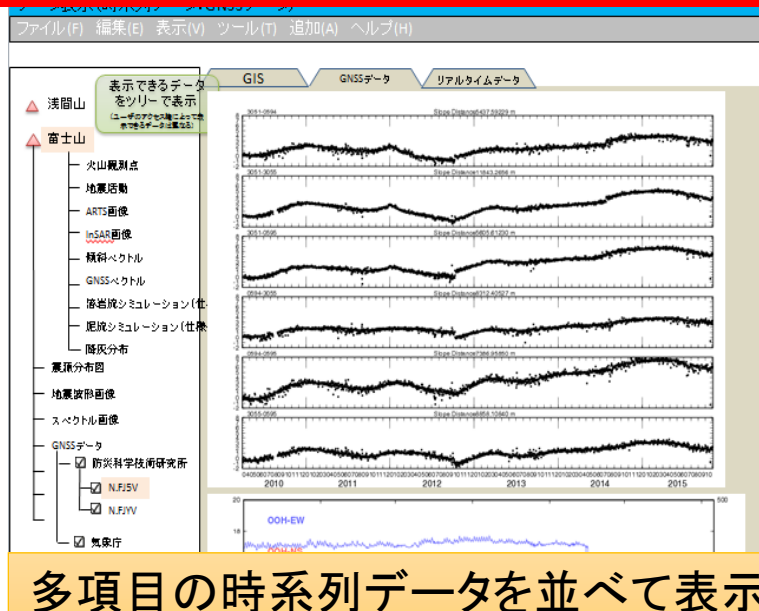
概要

- 多項目のデータを可視化し、火山観測データの火山研究や防災等への利用を促進する。
- 国際規格のデータベースにより、関係機関の多項目の観測点情報や処理済みデータを統合。研究分野間、国内外の組織の連携の強化し、共同研究を促進する。
- 一部の生データは防災科研にアーカイブし提供する。データの散逸を防ぐとともに、データ提供者の負担を軽減する。（利用にはデータ提供者の同意が必要）
- データ流通の仕組みを活用し、データの利活用や火山研究の活性化に資する取り組みを実施する体制について今後検討する。受益者負担の考えに基づく維持管理の仕組み等についても引き続き検討する。

火山分野のデータ流通のイメージ



H30年度に開発する可視化ツール（GIS等）のイメージ



- 可視化ツールによりWEB-GISやグラフで観測データや処理結果を表示し、情報共有できる。
- プロジェクト成果を取り込み処理機能も入れる。
- 病院の電子カルテをイメージ

課題A：一元化 から 課題D-3：対策コンテンツへ

【課題D-1】

無人機（ドローン）による火山災害のリアルタイム把握手法の開発

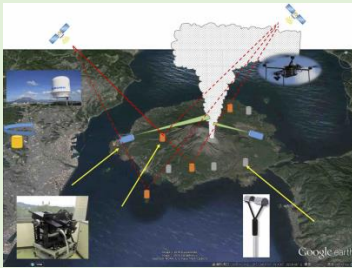


フィードバック

リアルタイム
画像データ・
地形情報

【課題D-2】

リアルタイム火山灰ハザード評価手法の開発



フィードバック

リアルタイム
降灰情報・
降灰予測情報

【課題B】

先端的な火山観測技術の開発

フィードバック

観測データ

【課題C】

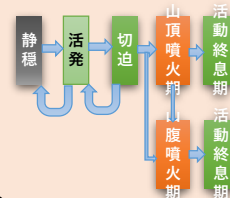
火山噴火の予測技術の開発

フィードバック

予測データ



【課題A】各種観測データの一元化
火山観測データ一元化共有システム（※他の課題，サブテーマから出てくるデータや，既存の観測網から得られる多項目のリアルタイムデータも含む）
事象系統樹システム等



全ての課題へのフィードバック

【課題D-3】

火山災害対策のための情報ツール（各種コンテンツ）

フィードバック

避難・救助支援コンテンツ

課題D1で得られるリアルタイム画像データ等をインプットとし，噴火状況を把握し避難・救助に役立つ情報を出力する。

避難・救助支援情報の提供

降灰被害予測コンテンツ

課題D2で得られる降灰情報等をインプットとし，都市部における降灰リスク評価に基づいた被害予測情報を出力する。

降灰被害予測情報の提供

（ハザード発生時）

（平時）

周知啓発用・教育用コンテンツ

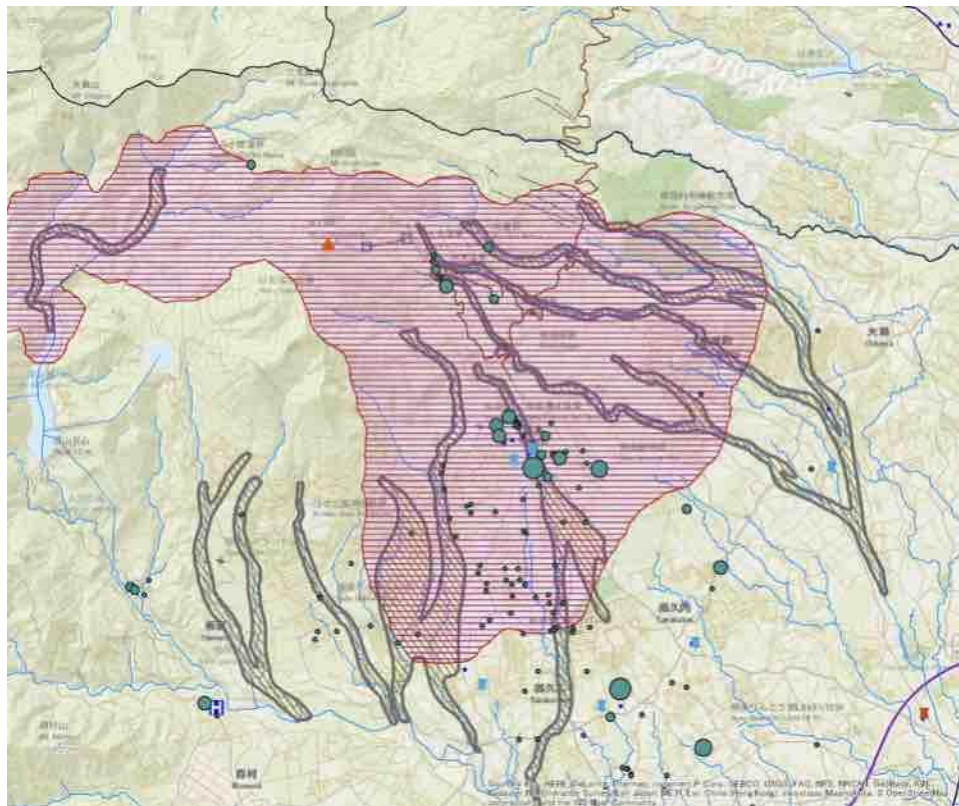
自治体防災担当者に対するアウトリーチ活動で，教材として利用されるコンテンツ。

アウトリーチ活動

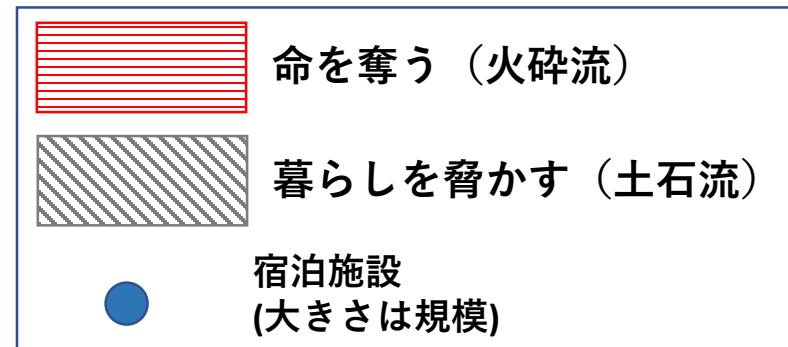
各種観測，予測データを可視化した情報

火山周辺の自治体・火山専門家

1. 「命を奪う災害」 噴石や火砕流など
2. 「暮らしを脅かす災害」 火山灰、火山ガス、泥流など
3. 「事業継続が難しくなる災害」 火山灰など
4. さらに、広域に影響を及ぼす災害（航空機）

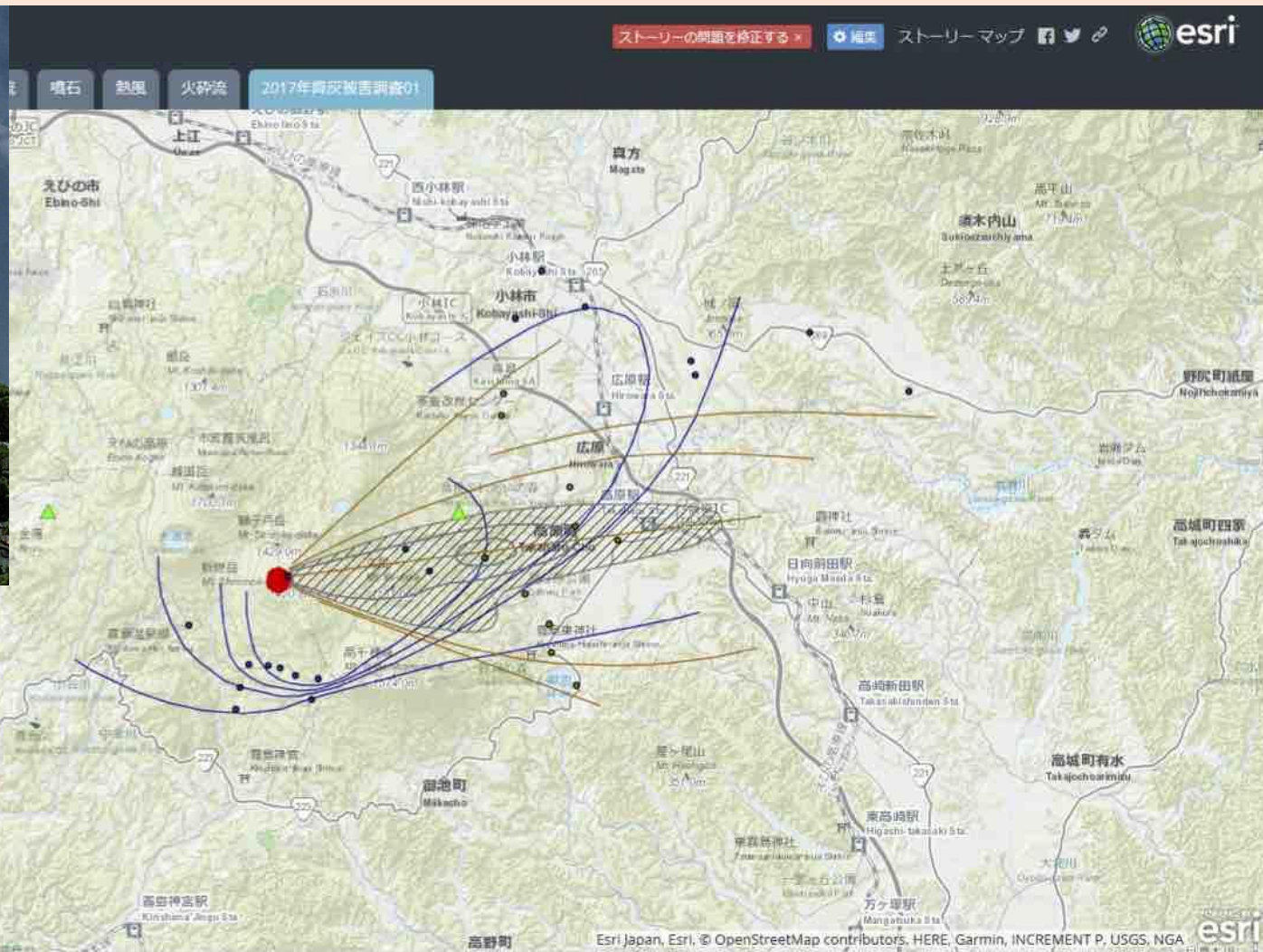


ハザード内の社会基盤の情報を抽出し、被害推定や必要な対策などの情報とする。



那須岳：社会基盤情報とハザード情報の重ね合わせ

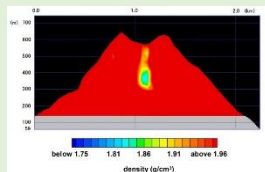
常時観測火山におけるハザードマップのデジタル化



2017年新燃岳噴火における現地調査とハザードマップのWEBGIS化

B:観測

B1: ミュオンラジオグラフィ

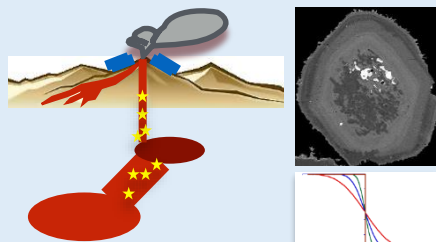


B2: GBIR・SPIC



C:予測

C1: 噴出物分析



C2: コア解析

課題B-4

御嶽山2014年噴火や草津白根山の1月23日噴火のような、水蒸気噴火の発生ポテンシャル評価について進展が見られた。

観測データ

予測情報

A:一元化

- ・火山観測データ一元化システム・データベース
- ・事象系統樹・確率表現
- ・可視化ツール

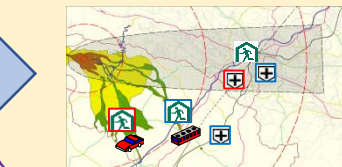


D:対策

D1: 無人機観測



D3: 情報ツール



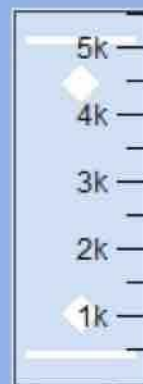
測定点配置と地形

倶多楽成層火山
8～4万年前に活動

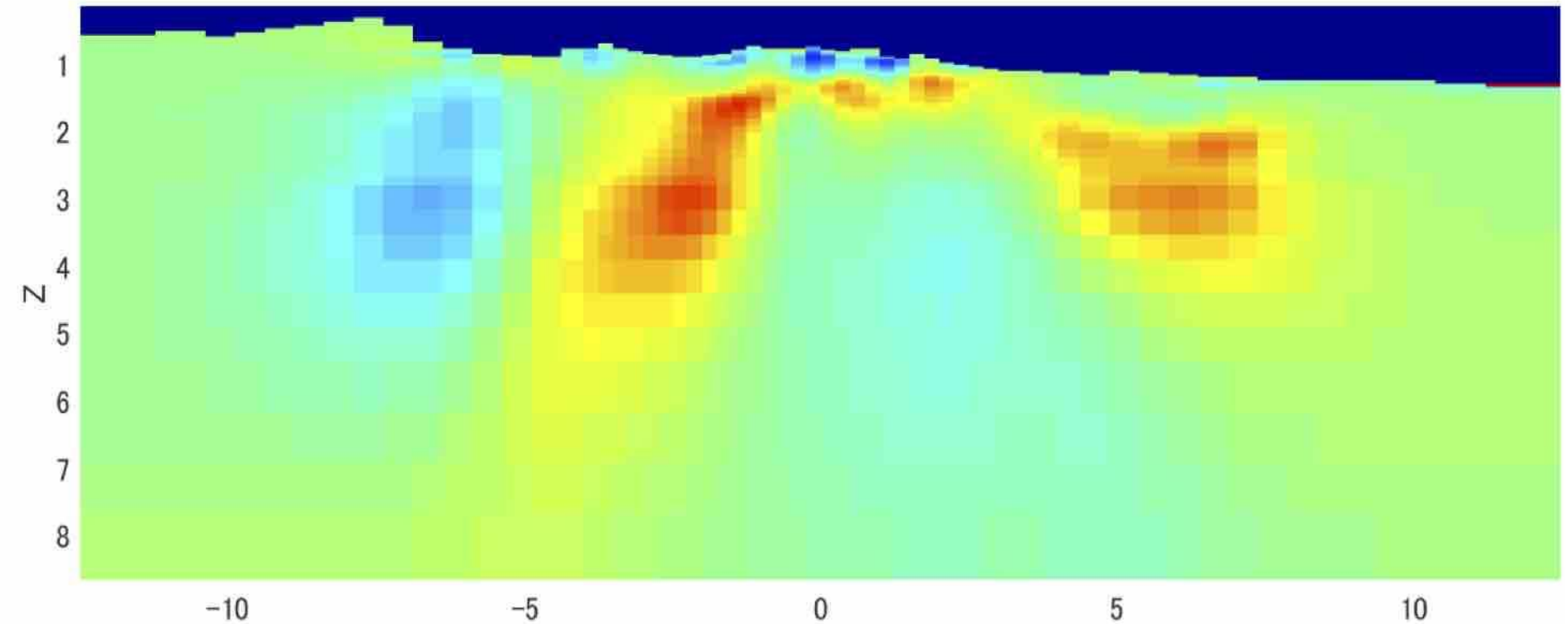
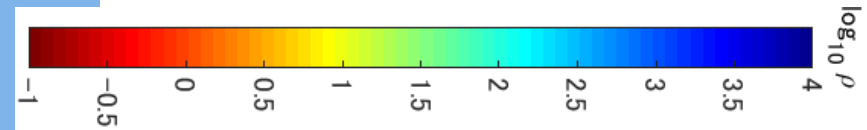
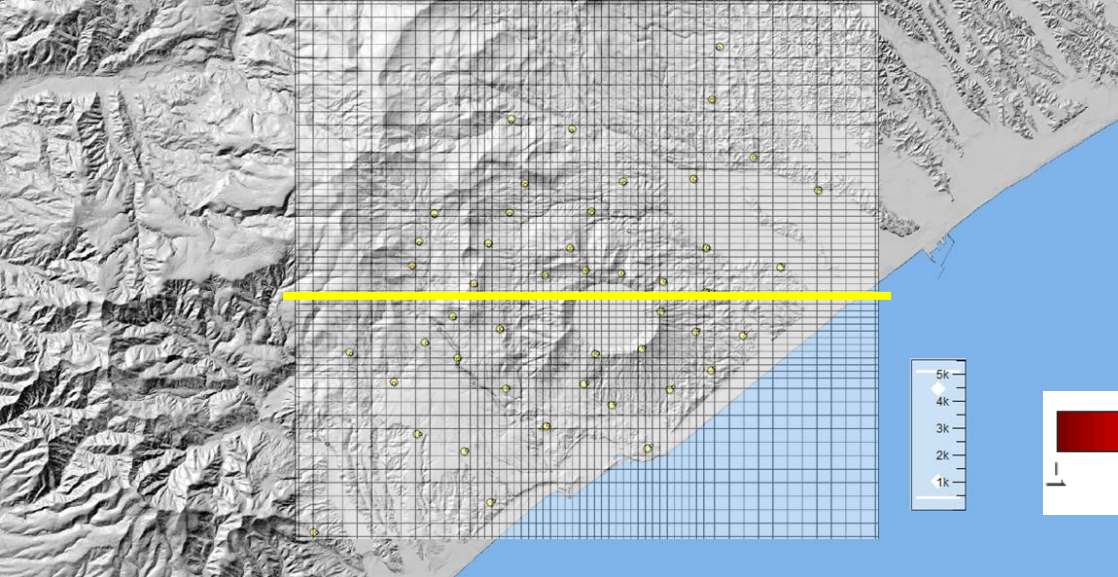
橘湖
北山
日和山
倶多楽湖
カルルス温泉
大湯沼
登別温泉
四方嶺
虎杖浜温泉

登別火山
4万年前～現在

課題B-4 地下比抵抗・
熱水流動解析システム
北海道大学



北海道大学
インバージョン暫定結果
東西断面



課題B-4 地下比抵抗・熱水流動解析システム

※倶多楽・草津白根山・有珠山・新潟焼山等を順次調査

比抵抗探査
データ※

比抵抗構造解析
×
岩石－熱水反応シミュレータ
×
熱水流動シミュレータ

水蒸気噴火
ポテンシャル評価試行

比抵抗構造解析
支援ツール
(2～4年目)

地熱地帯

火口湖

難透水性キャップ

熱水溜まり

熱水系閉塞
状況の把握

難透水性キャップ
(変質鉱物)

熱水／高温ガス↑

流体分布
挙動解析

3次元
比抵抗構造

比抵抗－浸透率
変換アルゴリズム
(2～7年目)

浸透率構造

熱水流動解析
支援ツール
(7年目)

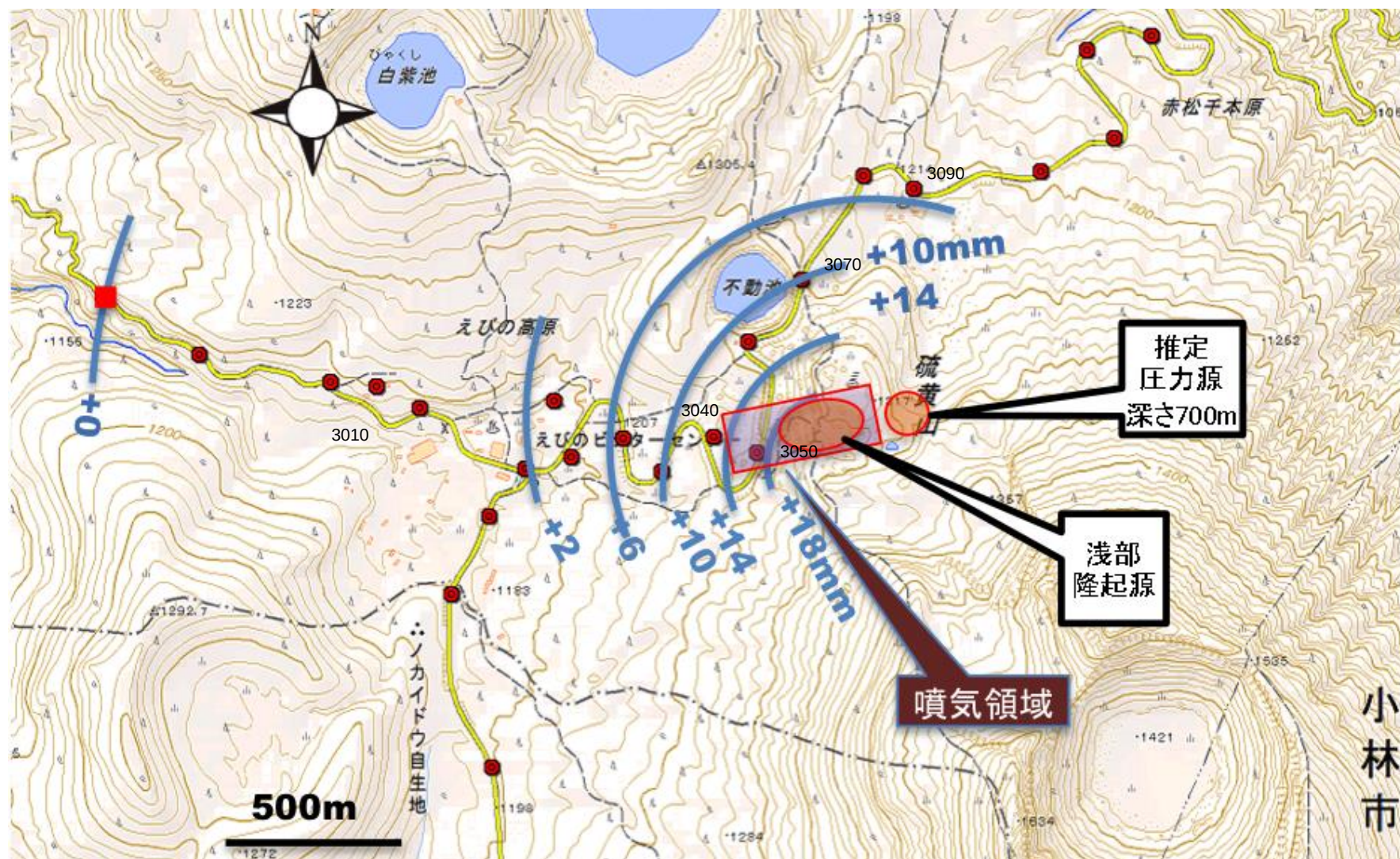
既存孔井資料
火山ガス・岩石組成
放熱量データ



霧島硫黄山2013年頃から火山活動活発化



九州大学



えびの高原～硫黄山区間の水準路線と2015年6月～2017年5月に記録された上下変動分布。 2015年の隆起時に推定された圧力源の水平位置も同時に示す。 国土地理院電子地形図（タイル）を使用した。 (塚本, 修論)

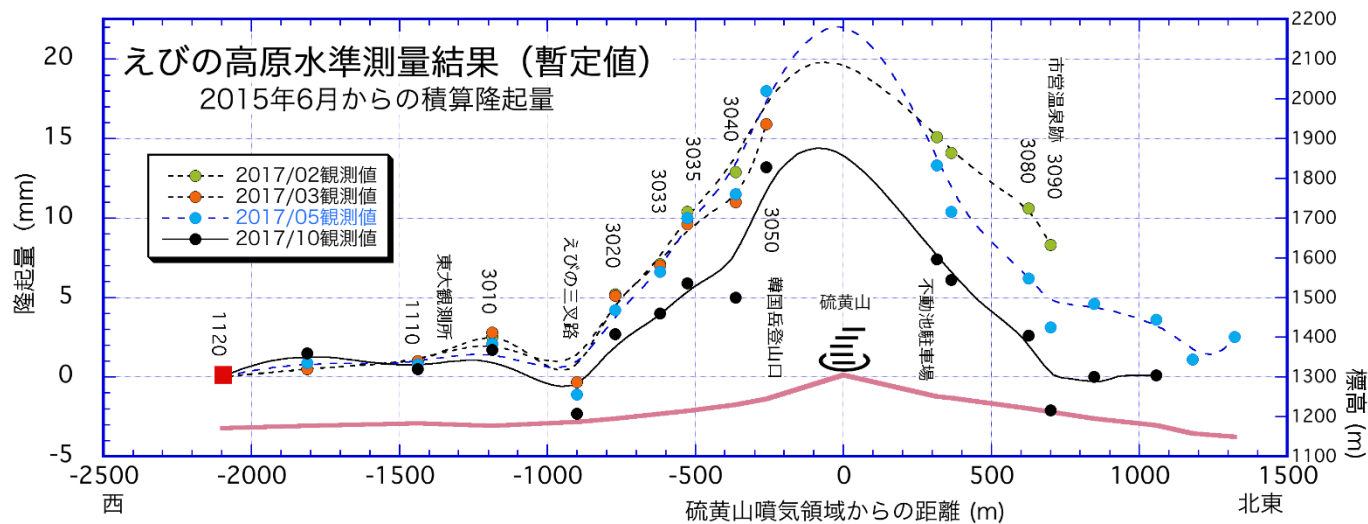


図2 最近4回の水準測量結果 硫黄山を中心に沈降傾向が見られる。

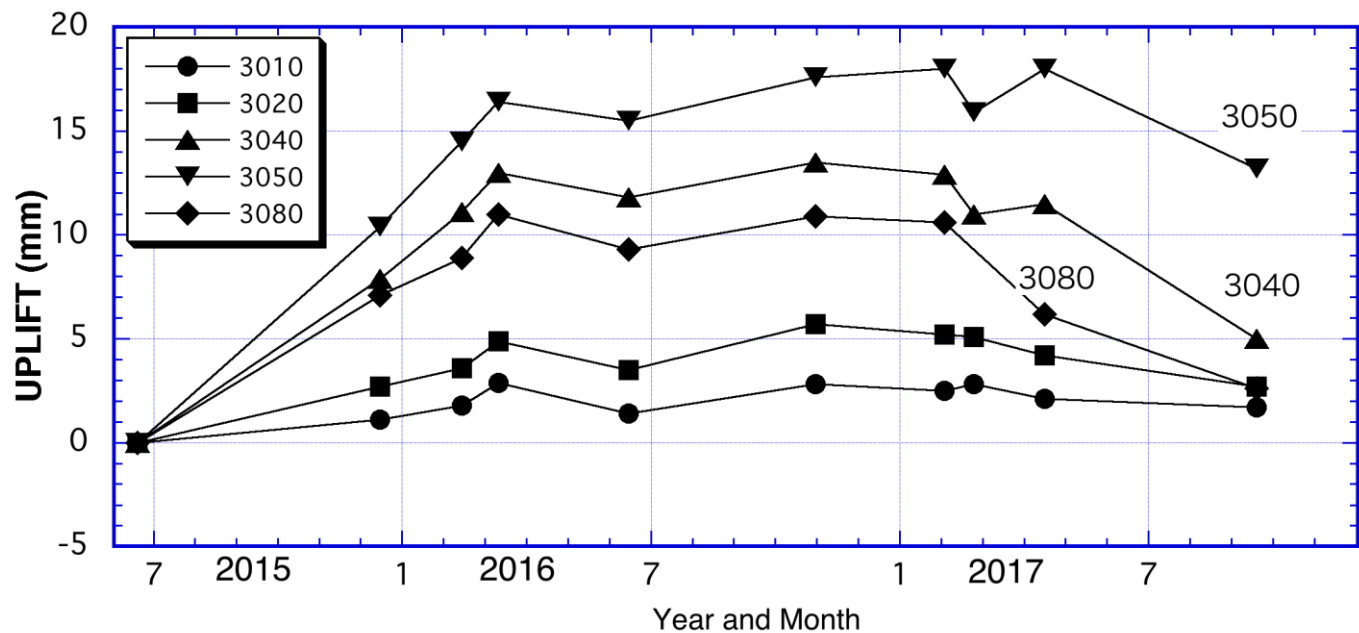


図3 主な水準点の標高の時間変化. 2017年2月以降沈降が見られる

Ground deformation

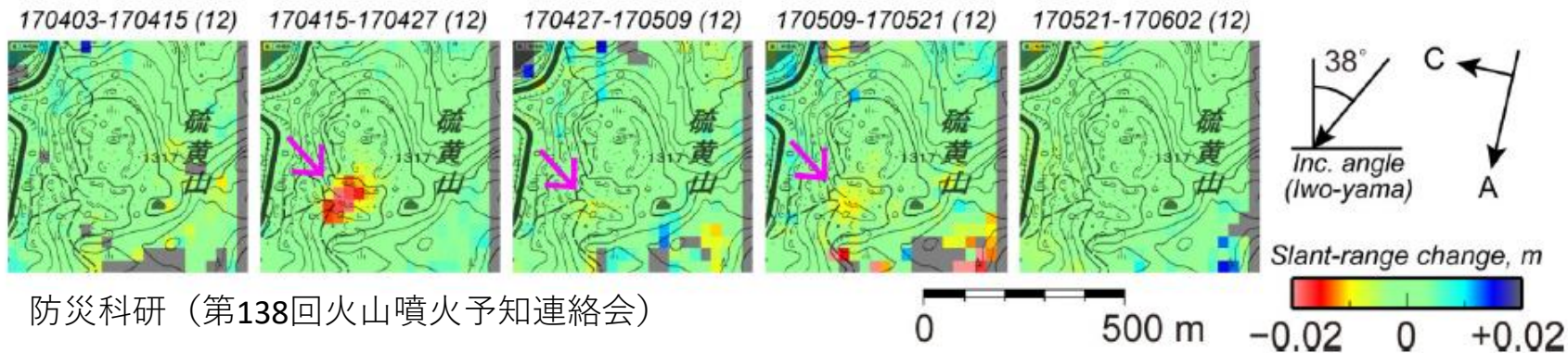
Leveling survey



Two deformation sources

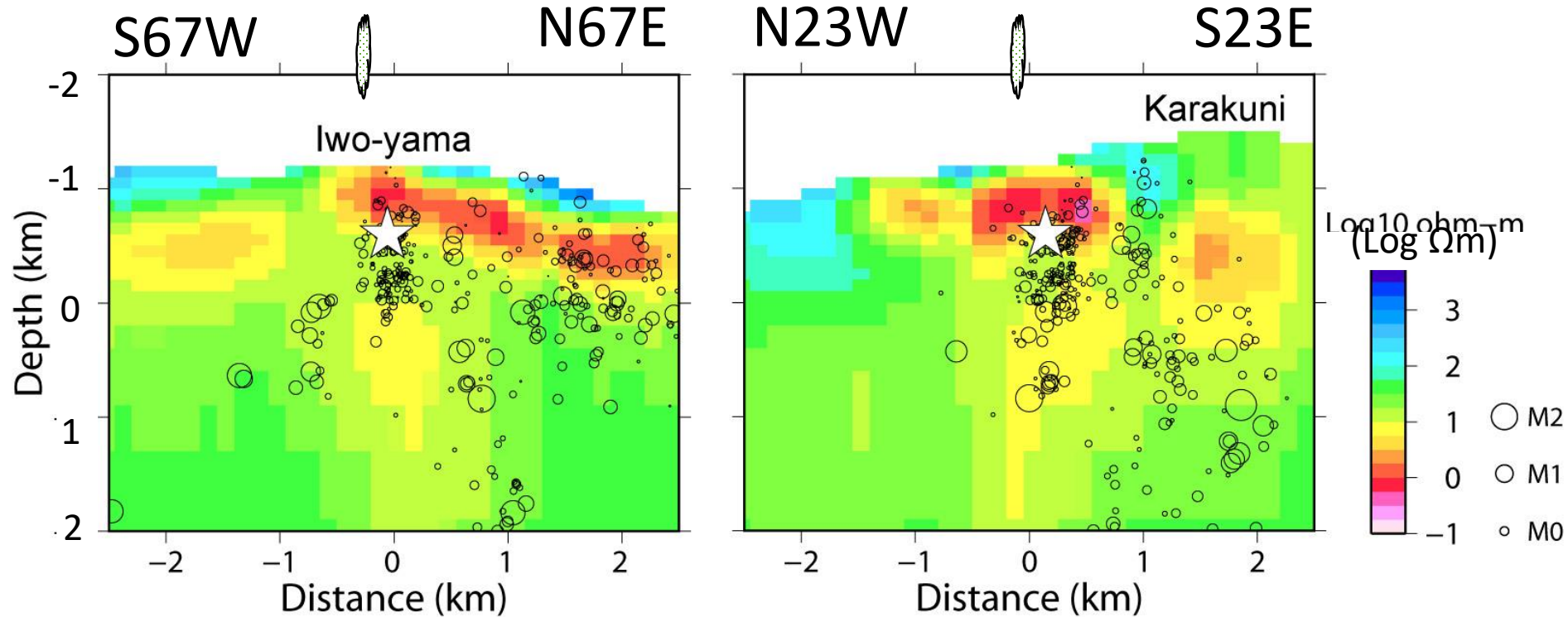
Morita et al.(2017, IAVCEI)

InSAR



防災科研（第138回火山噴火予知連絡会）

Vertical slices

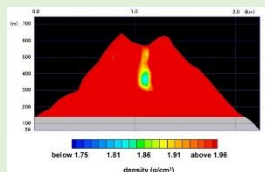


(森田, 修論)

水蒸気噴火の基本的な発生場がわかりつつある

B:観測

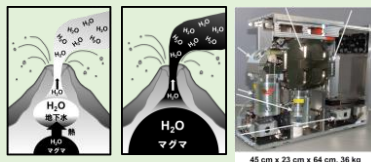
B1: ミュオンラジオグラフィ



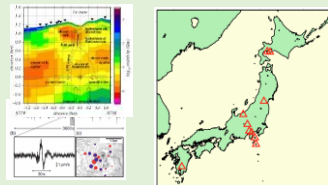
B2: GBIR・SPIC



B3: 同位体



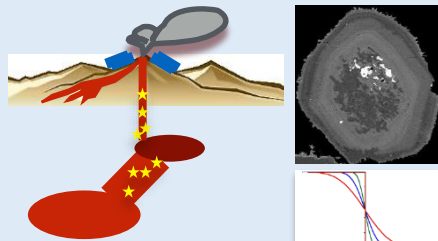
B4: 地震・地殻変動観測



観測データ

C:予測

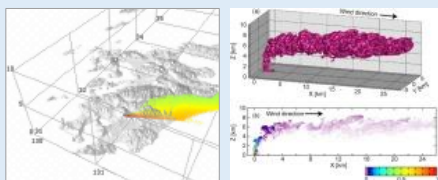
C1: 噴出物分析



C2: コア解析



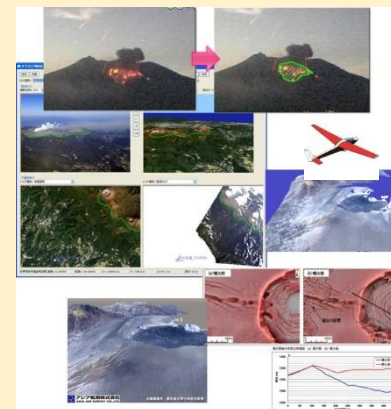
C3: シミュレーション



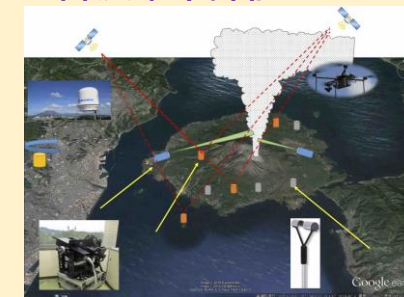
予測情報

D:対策

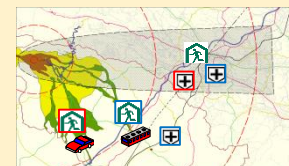
D1: 無人機観測



D2: 降灰確率評価



D3: 情報ツール



A:一元化

- 火山観測データ一元化システム・データベース
- 事象系統樹・確率表現
- 可視化ツール



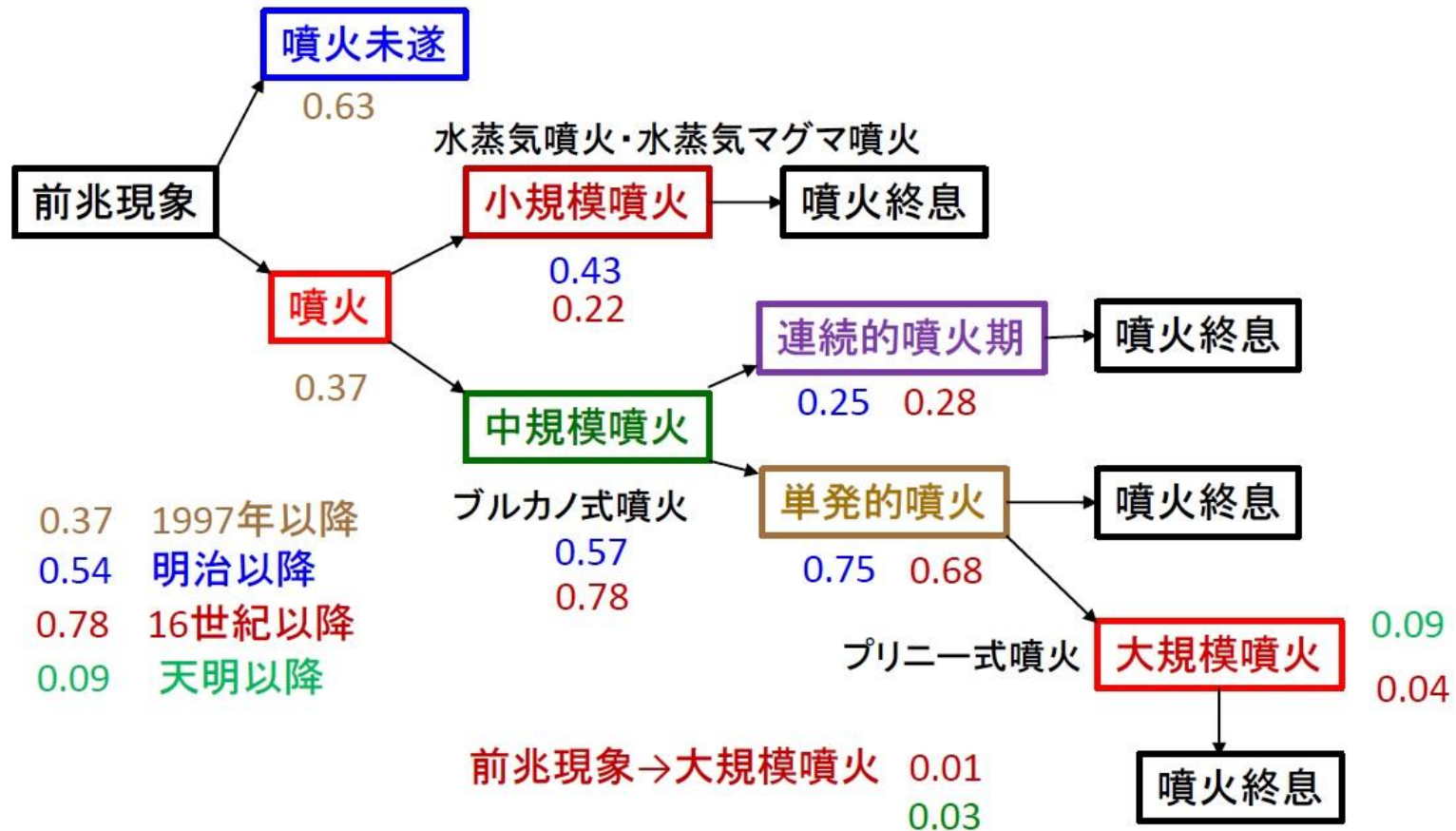
浅間山における噴火履歴解読研究

課題C-2



浅間山の噴火事象系統樹 (日本大学)

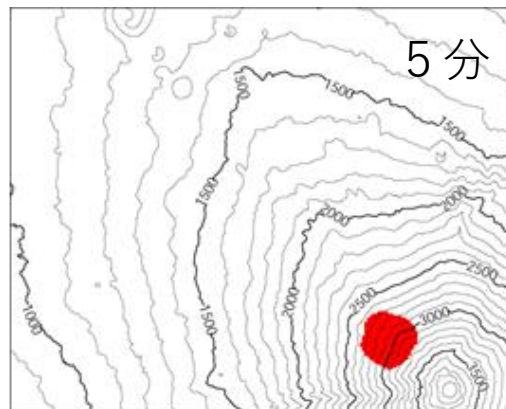
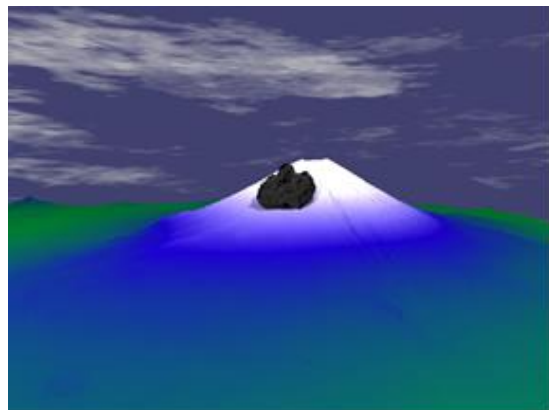
課題C-2



噴火推移のイベントツリー (ハザードツリーとは異なる)

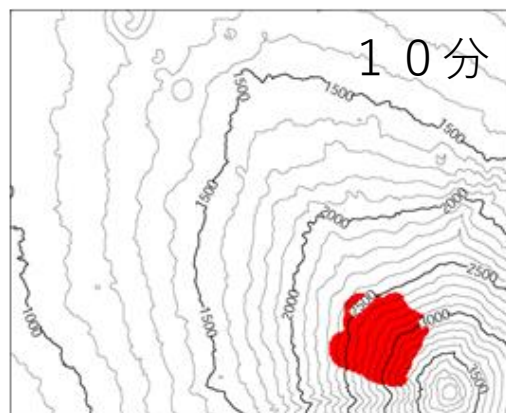
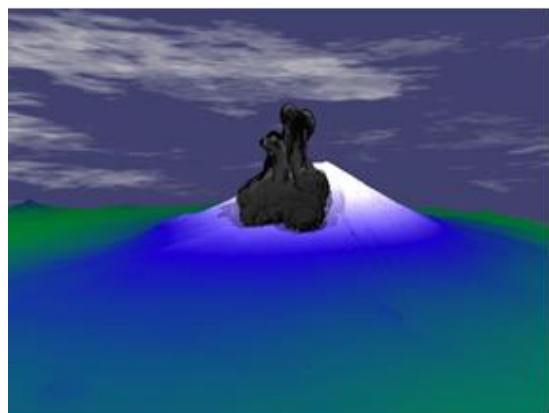
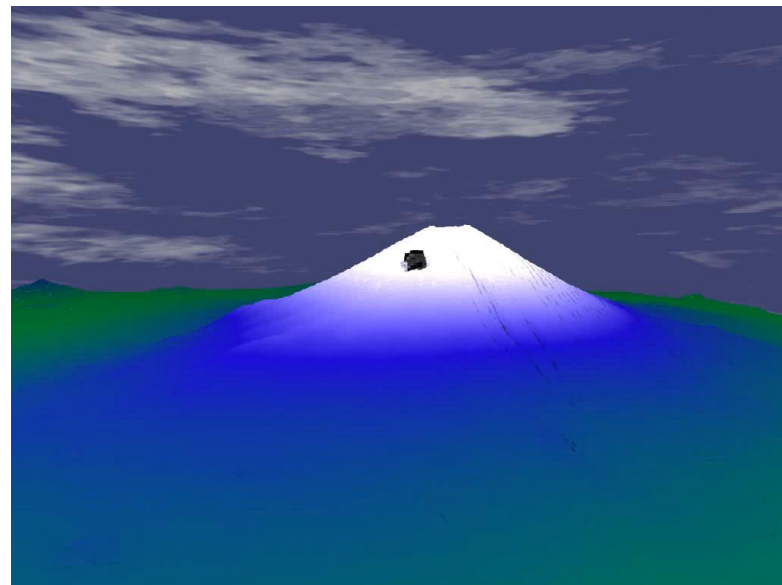
火砕流シミュレーション

課題C-3

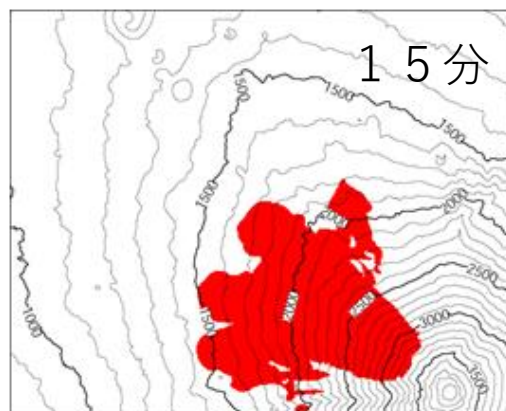


5 分

富士山北西方向



10 分

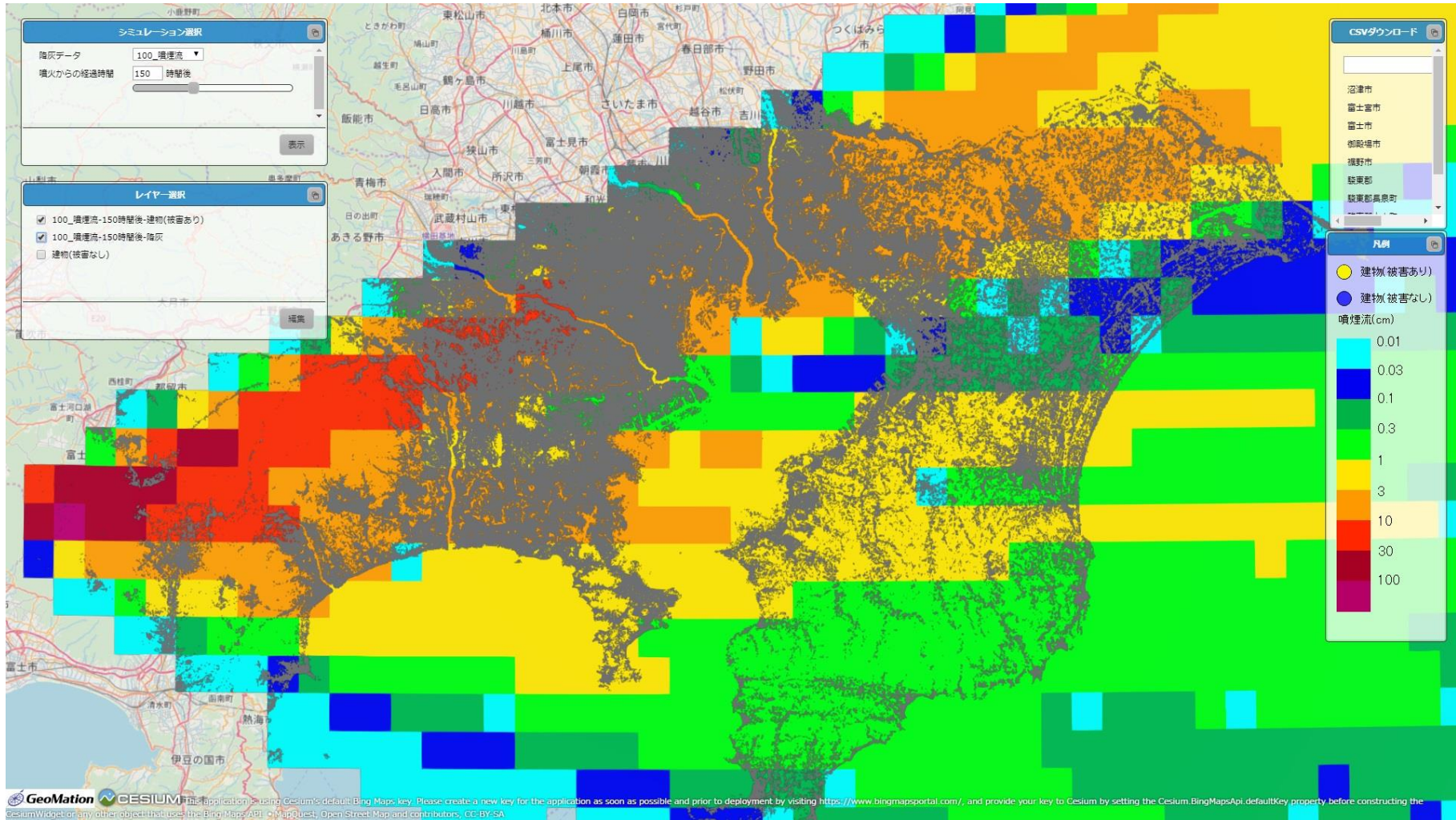


15 分

3200年前から2500年前に発生したと考えられる富士山西側斜面の火砕流のうち、最も北側の露頭（山本・他、2007のLoc.1）で確認されているSYP2火砕流の再現シミュレーション

富士山宝永級噴火シミュレーションの例 灰が積もる建物分布

課題C-3

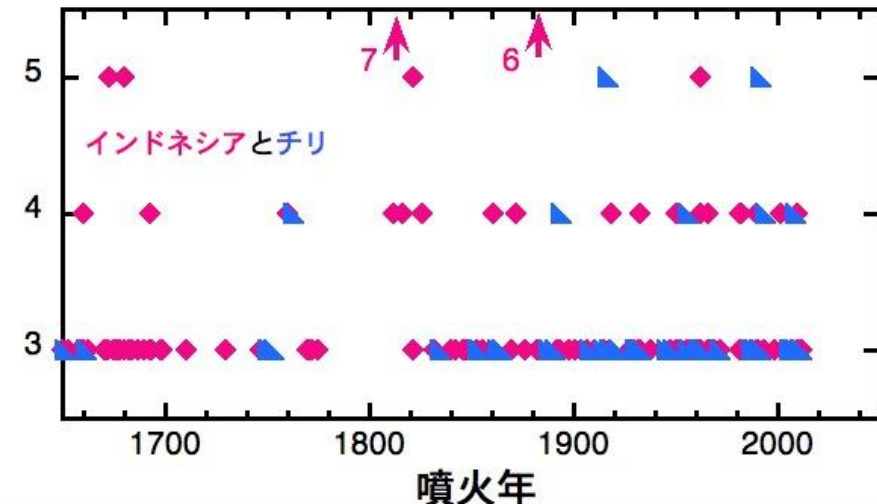
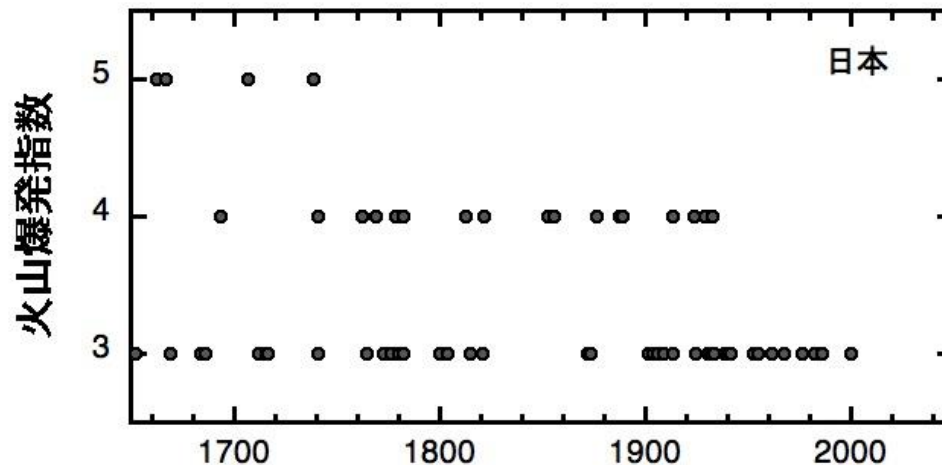


どこに、いつ、どのぐらいの被害が及ぶか？どのような対策を取っておくか？

噴火の推移予測はどこまで可能か？

- どこまで予測ができて、どれだけ噴火災害に備えることができているのか？
- 噴火は低頻度である。特に、巨大噴火と大規模噴火。
- それでも一度災害が起きると規模の小さな噴火でも命に関わる。
例) 御嶽山2014年小噴火、草津白根山1/23水蒸気噴火

小噴火	VEI 0-1
中噴火	VEI 2-3
大噴火	VEI 4
巨大噴火	VEI 5-6
超巨大噴火	VEI 7-8

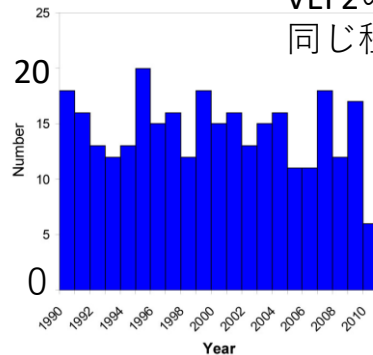


発生確率の提示はできるのか？

地震と火山噴火の発生頻度の違い（地震より桁で低い発生頻度）

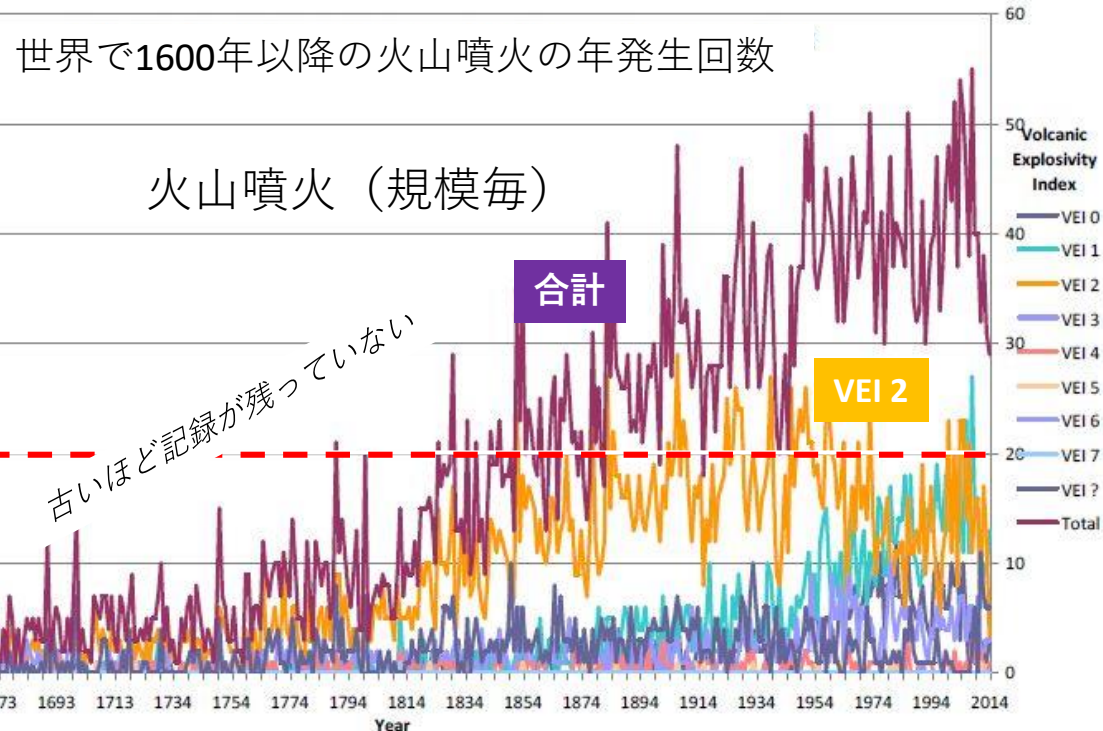
世界で最近20年間のM7
以上の地震の年発生数

地震 ($M \geq 7$)



VEI 2の発生頻度と
同じ程度

古いほど記録が残っていない



<http://www.earthquakes.bgs.ac.uk/research/earthquakeActivity.html>



草津白根山の1/23噴火のような小規模噴火の火山灰は地質記録として残らない可能性（火口から数キロ地点で宝田晋治氏撮影）

火山噴火の確率的評価の難しさ

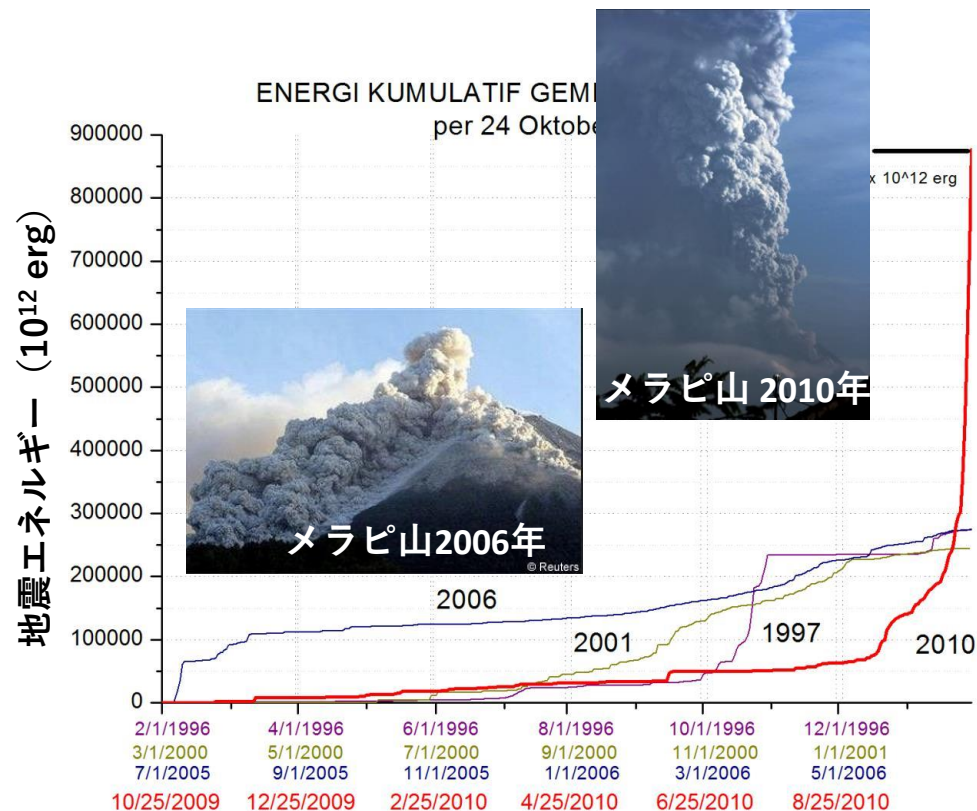
【火山学的側面】

- 統計的に扱えるほど火山噴火の症例は多くない。
- また、噴火ごとに異なる様式・規模・推移の噴火がある。
- 噴火履歴からその火山の可能性のある噴火種類や推移を俯瞰的に検討しておくことは重要。⇒噴火事象系統樹（イベントツリー）
- 低頻度なので分岐の判断に十分な観測データが揃っていない。
- ただし、噴火履歴により枝に重み(確率)をつけることは可能。
- 類似火山の噴火観測データを現象理解に使える。

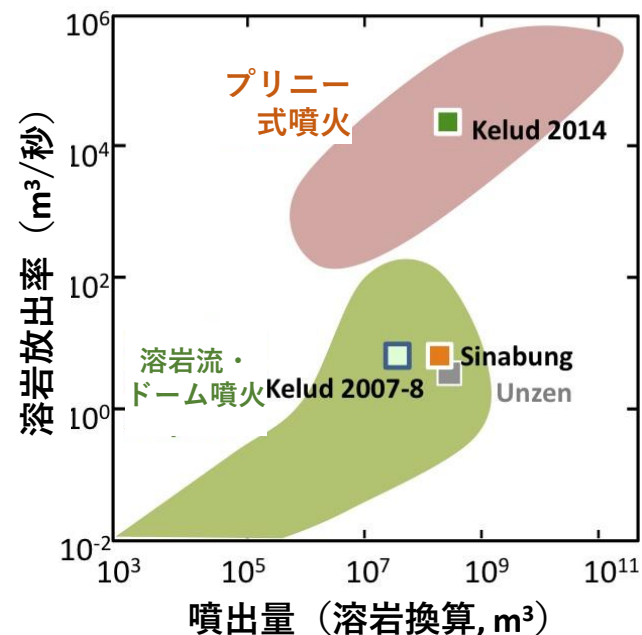
【火山防災】

- どこが火山噴火の確率表現を必要としているのか？
- 確率表現の心理的効果を十分考える必要がある
- 自治体の避難判断は、結局0／1でしかない。
- 噴火警戒レベルとの整合性が必要

噴火様式を左右するのはマグマ噴出(上昇・貫入)率 観測可能なパラメータ



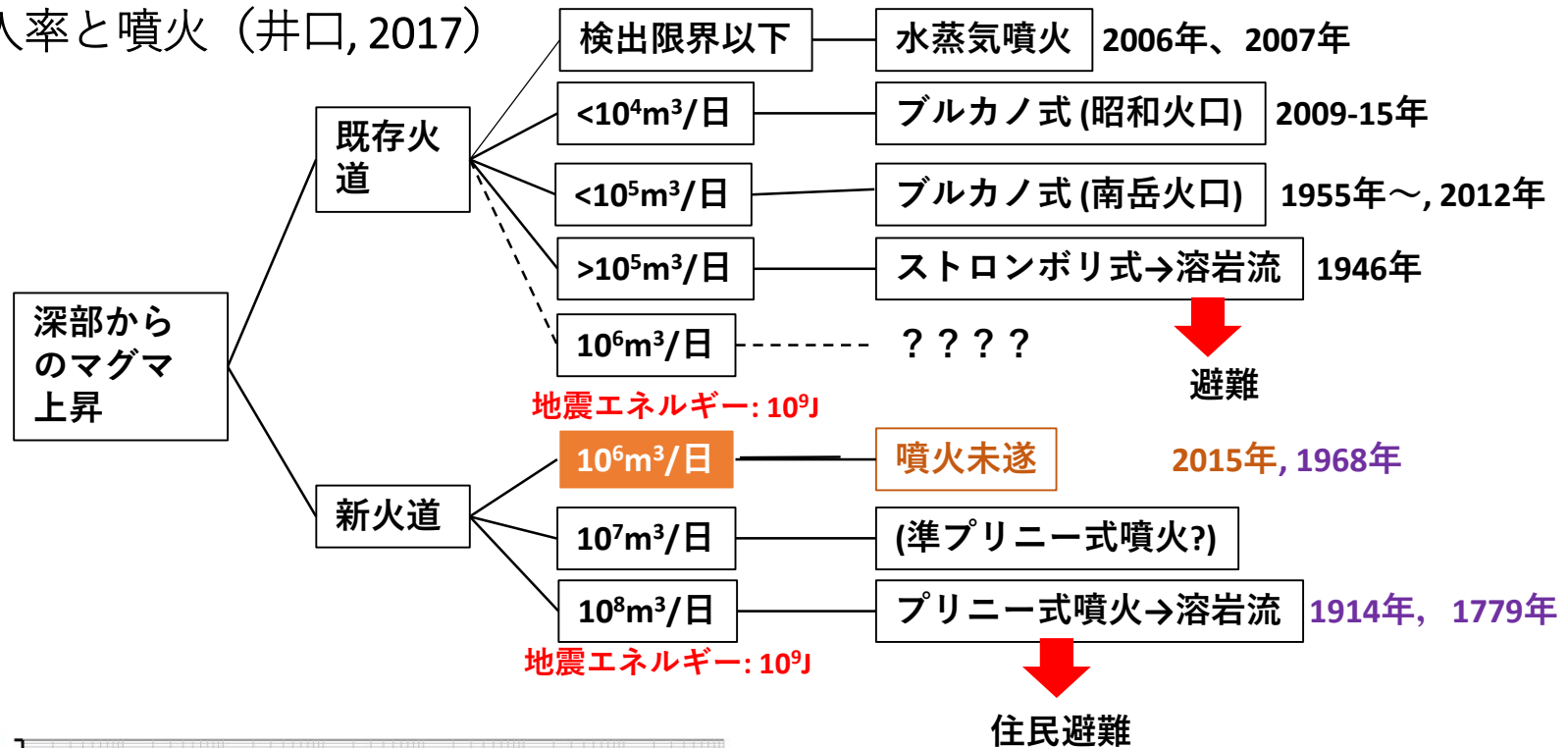
メラピ山における噴火開始までの地震エネルギー積算の噴火毎比較 (Surono et al. 2012)



マグマ放出率と規模の関係 (爆発的噴火と非爆発的噴火) (Kozono et al., 2013 原図)

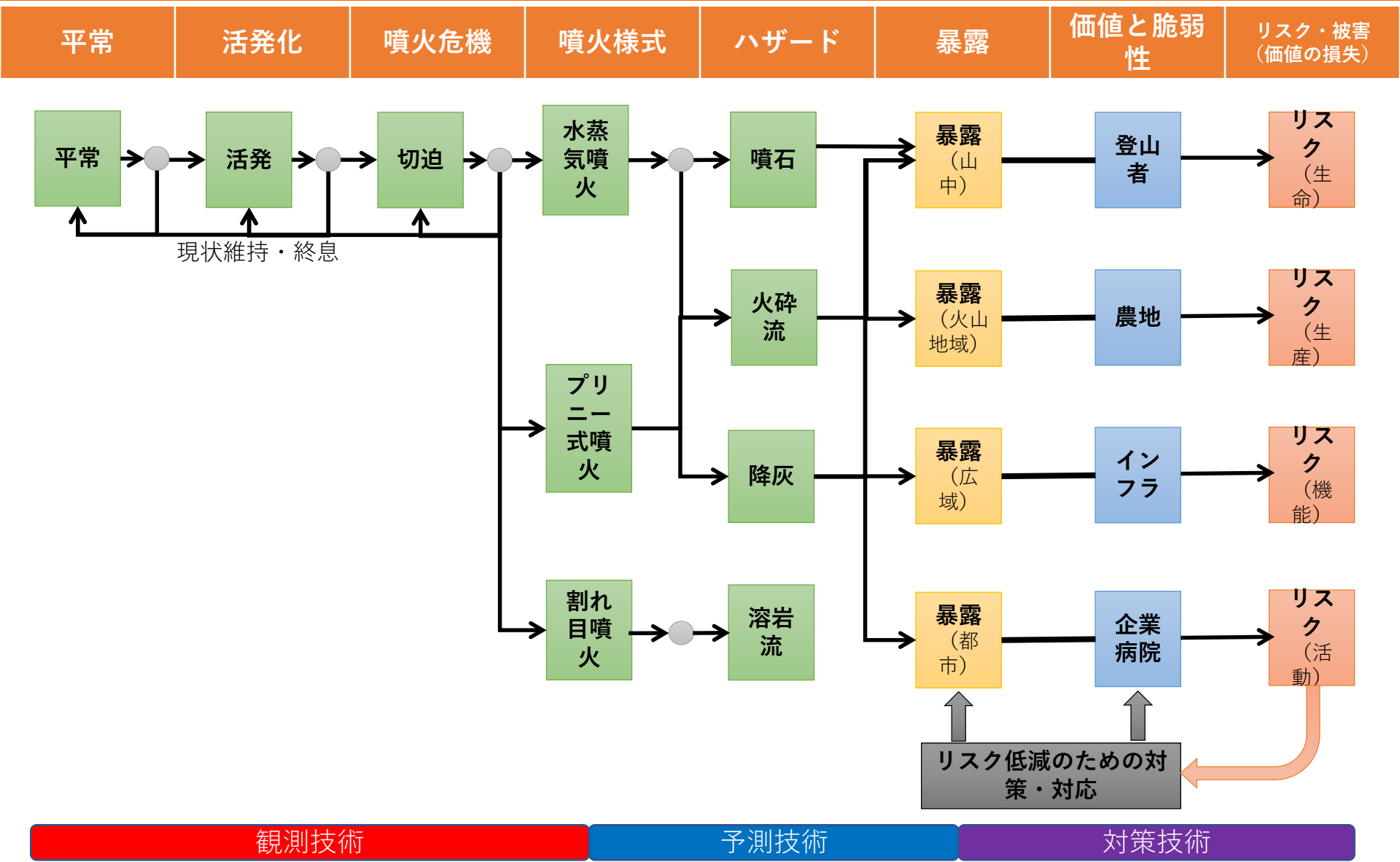
桜島の噴火事象系統樹

マグマ貫入率と噴火 (井口, 2017)



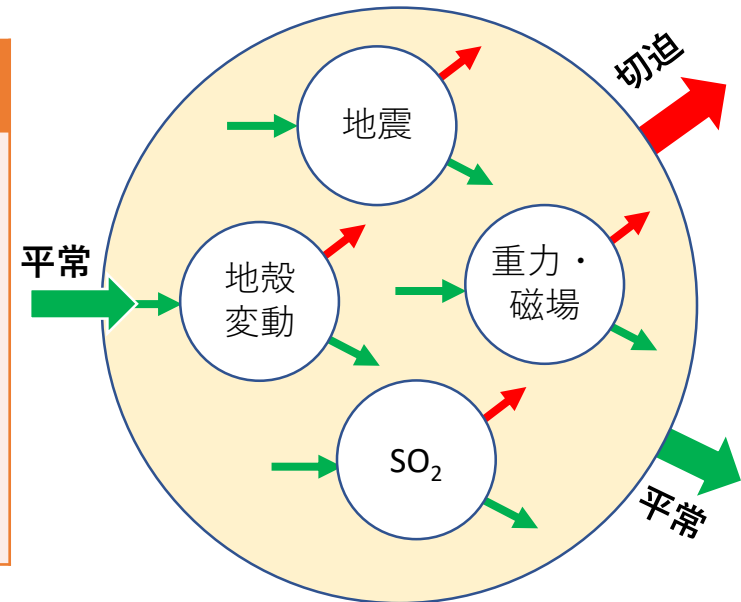
マグマ貫入速度と噴火規模に相関が正のある (井口ほかによる桜島の例)。

火山災害イベントツリー（事象系統樹）のイメージ



分岐点（ノード）における切迫度判断の例

リアルタイム観測データ	観測値処理データ・実験データ	理論モデルパラメータ
- 地震発生回数 - 地震周波数変化 - RSAMレート - 傾斜レート - 歪レート - 重力変化レート - 電磁場変化レート	- 震源分布・移動/群発パターン変化 - 地震波形相関値 - 地震メカニズム - 膨張収縮レート - SO₂, CO₂, H₂S - 同位体比等変化	- クラックモデル亀裂進展速度 - 応力降下量分布 - 地殻変動モデル



* 供給・噴出率判断も可能

(藤田, 2018を改変)

- 各観測項目の活発化度を合算して確率表示
- 気象庁が使用している警戒レベル判断と類似

タイムスケールの異なる予測のアウトプット・役割分担

	地方自治体	協議会専門家	気象庁	研究者
長期予測 地質調査など過去の噴火履歴に基づく最大噴火や最頻噴火の評価（ <u>長期</u> 確率の提示）	・ 防災マップ整備 ・ 避難計画作成 ・ インフラ整備	・ ハザード情報の更新 ・ 避難計画作成の助言 ・ 住民啓発	・ 判定基準の確認 ・ 噴火シナリオの確認	・ 噴火履歴研究 ・ 事象系統樹作成 ・ 分岐判断パラメータ抽出
中期予測 観測データからポテンシャル評価（持続的な山体膨張と地震活動の活発化などから <u>切迫度</u> の提示）	・ 避難計画の確認 ・ インフラ整備 ・ 避難体制の準備	・ 観測情報や噴火事象について自治体担当者へ解説・助言	・ 監視体制の強化 ・ 火山観測報	・ 観測から活動評価 ・ 分岐モデル作成 ・ 観測体制確認・整備
短期予測 観測データから異常（異常の加速）を検出（ <u>確率</u> の提示）	・ 警戒レベルに対応 ・ 避難命令発令 ・ 避難所整備 ・ 住民の安全確認	・ 活動評価に対する専門的コメント	・ 警報発表 ・ 監視体制の維持 ・ 自治体との連携	・ 予知連での評価 ・ 分岐判断と確率の提示 ・ 観測・調査実施

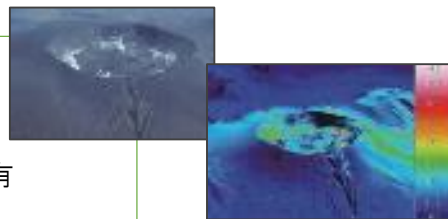
火山噴火緊急観測(集中機動観測)の実施

噴火の予兆が把握された場合や噴火が発生した際に、火山プロジェクトとして火山噴火緊急観測を実施

⇒ 得られた情報・観測成果をもって、火山噴火に対する減災・防災に貢献

噴火予兆の把握

研究者等からの情報
火山噴火予知連絡会での情報共有
気象庁が発表する解説情報等



噴火の発生

・研究者等からの報告
・噴火の発生に関する気象庁の情報
・その他、噴火発生の情報



火山プロジェクト

情報共有等

火山噴火緊急観測部会による検討

地元自治体・
火山防災協議会

(顔が見える関係に)

専門家を派遣
(事前調査及び情報収集)

速やかな緊急観測実施が適切な
場合には、情報収集を行いつつ、速
やかに緊急観測実施に移行

・気象庁等の機動観測
・大学等の調査観測
(科研費等)

連携等
文科省

火山噴火予知連絡会
総合観測班

火山噴火緊急観測の実施



(イメージ)

緊急観測への
参加を促進

火山研究人材育成
コンソーシアム



観測データ・観測結果等

噴火予測研究展開・噴火予測に貢献

気象庁、噴火予知連、地元自治体等へ
参考情報として積極的に提供

火山噴火に対する減災・防災に貢献

総合観測班が設置された場合は、
緊急観測の結果等を活かし
総合観測班に参加

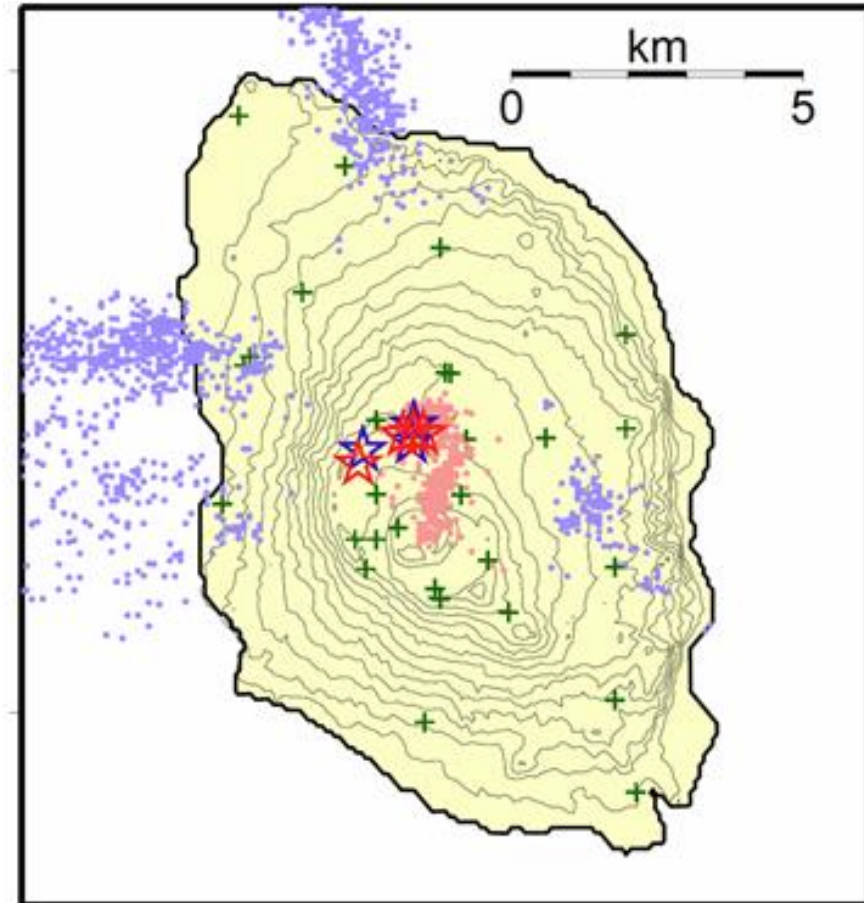
火山噴火緊急観測の重要性

- 噴火の推移予測に判断に重要な、噴火直前や噴火初期のデータが得られ、防災の対策に役立てることができる。
- 若手研究者が現場を体験することによって将来の火山研究者に育つこと。
- 本プロジェクト研究者が防災担当者や専門家との連携を密にする。

伊豆大島における緊急観測実施シミュレーション

- 内容: 次回の伊豆大島噴火において、多様な火山性微動、長周期地震を捉えてその発生機構を解明することを念頭に、観測点候補の選定、臨時点の設置を行う。
- 実施時期: 2018年夏を予定
- 自治体の方々との情報交換等を予定

草津白根火山の1月23日噴火後に実際に活動を開始 新たな観測網展開のために若手研究者を派遣。



まとめ

- 草津白根山の災害は、火山プロジェクトを進める上で目指すゴールがどこにあるのか改めて問いかけ。
- 観測データや情報のリアルタイム共有とそれに基づく予測研究が不可欠。
- 突発的噴火に備え、火山体構造の総合的観測研究をしておくことが重要。
- 観測結果、推移予測、災害シミュレーション、リスク情報などを、地元防災担当者や関係者にわかりやすく提供する手段と仕組みの構築が急務。
- リスク情報の提供には社会科学家との連携が重要。
- 火山防災協議会に関わる担当者・専門家との連携を密にしておくことが、緊急時の観測研究の遂行や、研究や予測に基づく災害対策に重要である。

- 課題Aによるデータ一元化 ⇒ 予測に不可欠なプラットフォーム
- 課題Bによる観測データ収集・技術開発 ⇒ 時々刻々変わる現象の把握
- 課題Cによる予測研究 ⇒ 短期・中期・長期予測のモデル化
- 課題Dによる対策研究 ⇒ 火山防災への貢献