

「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第 2 次）」

令和 5 年度年次報告【機関別】

目 次

- ・ 大学 ・ ・ ・ ・ ・ P. 3
- ・ 国立研究開発法人情報通信研究機構 ・ ・ ・ P. 13
- ・ 国立研究開発法人防災科学技術研究所 ・ ・ ・ P. 18
- ・ 国立研究開発法人海洋研究開発機構 ・ ・ ・ P. 24
- ・ 国立研究開発法人産業技術総合研究所 ・ ・ ・ P. 33
- ・ 国土地理院 ・ ・ ・ ・ ・ P. 45
- ・ 気象庁 ・ ・ ・ ・ ・ P. 59
- ・ 海上保安庁 ・ ・ ・ ・ ・ P. 78
- ・ 地方独立行政法人北海道立総合研究機構 ・ ・ P. 83
- ・ 山梨県富士山科学研究所 ・ ・ ・ ・ ・ P. 86

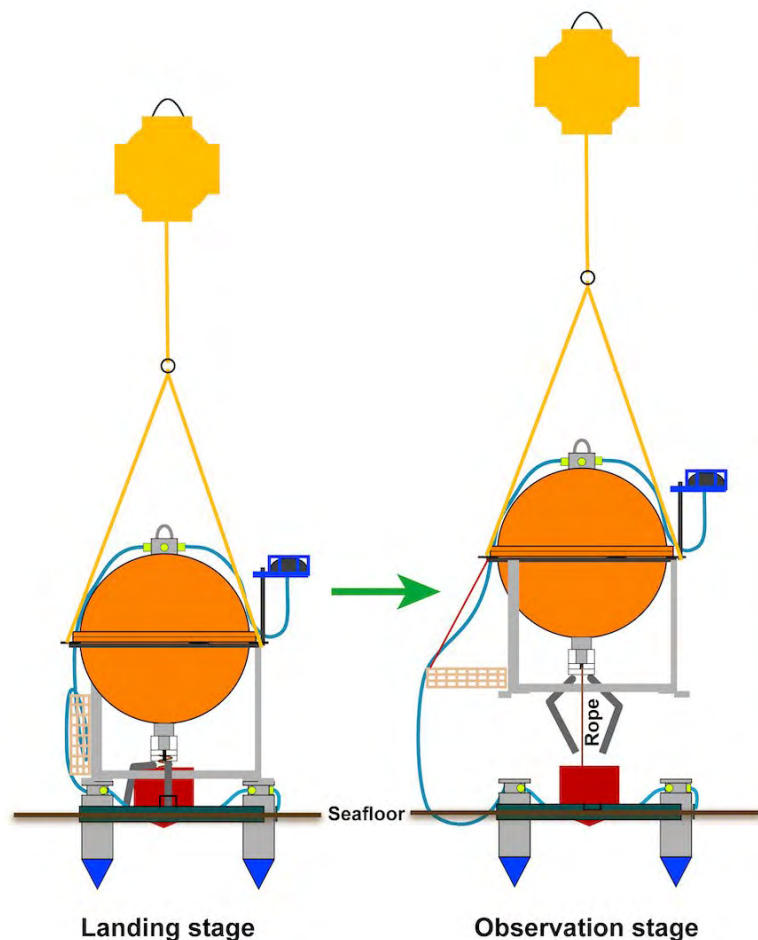
災害の軽減に貢献するための 地震火山観測研究計画(第2次)

令和5年度年次報告

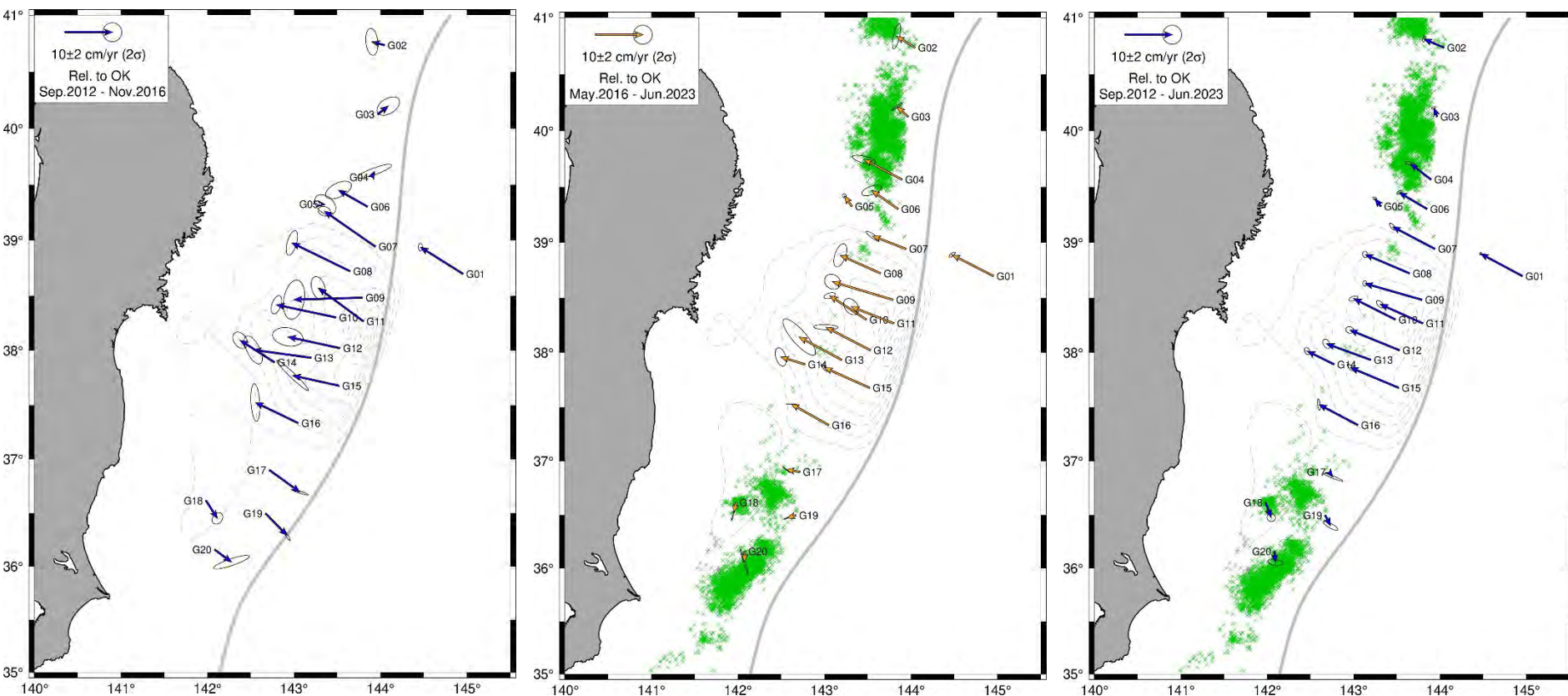
大学

次世代型広帯域海底地震計の自律展開設置・自己浮上回収方式への機能高度化

Image of the 1st transition

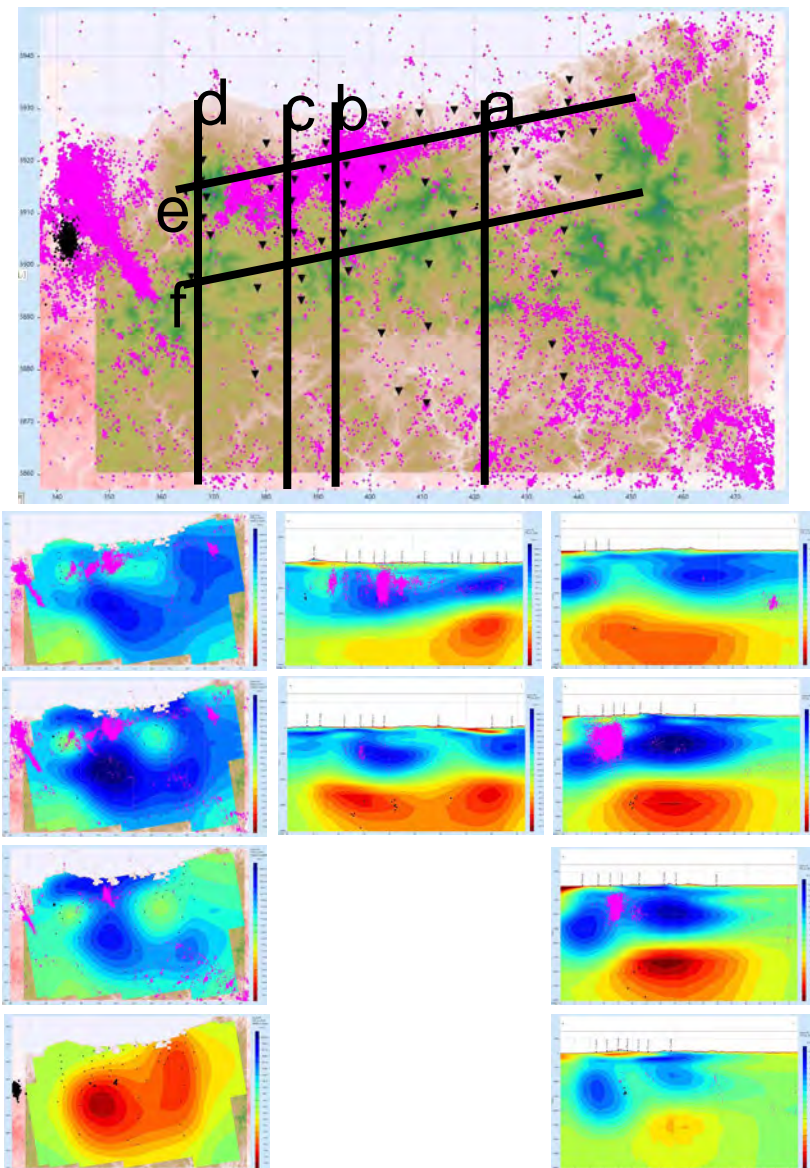
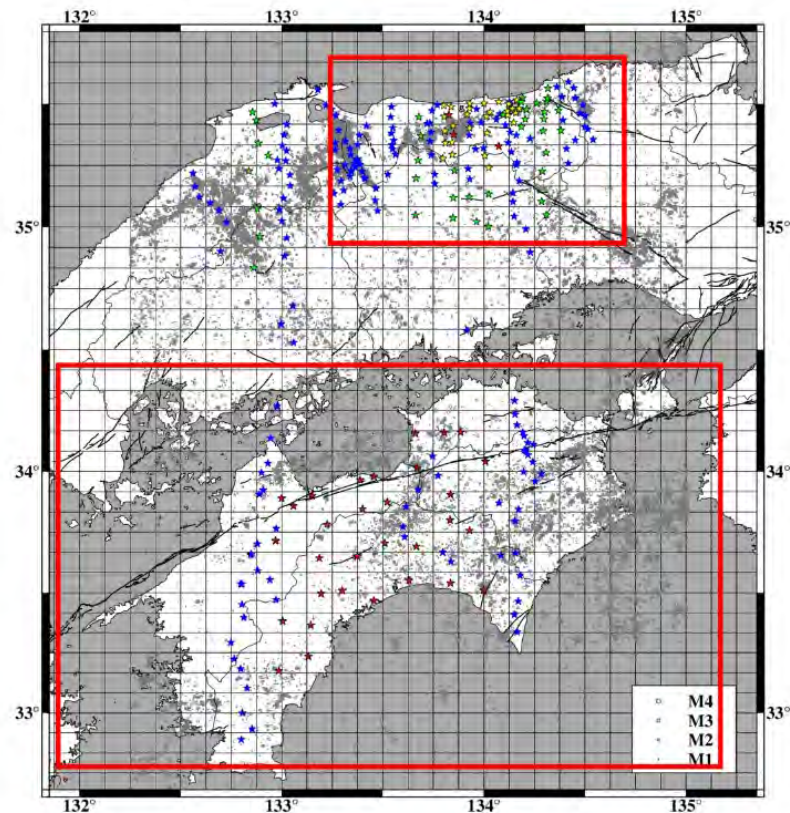


左図: 着底状態から観測状態への遷移 右図: 航海開始前での設置準備が完成した状態



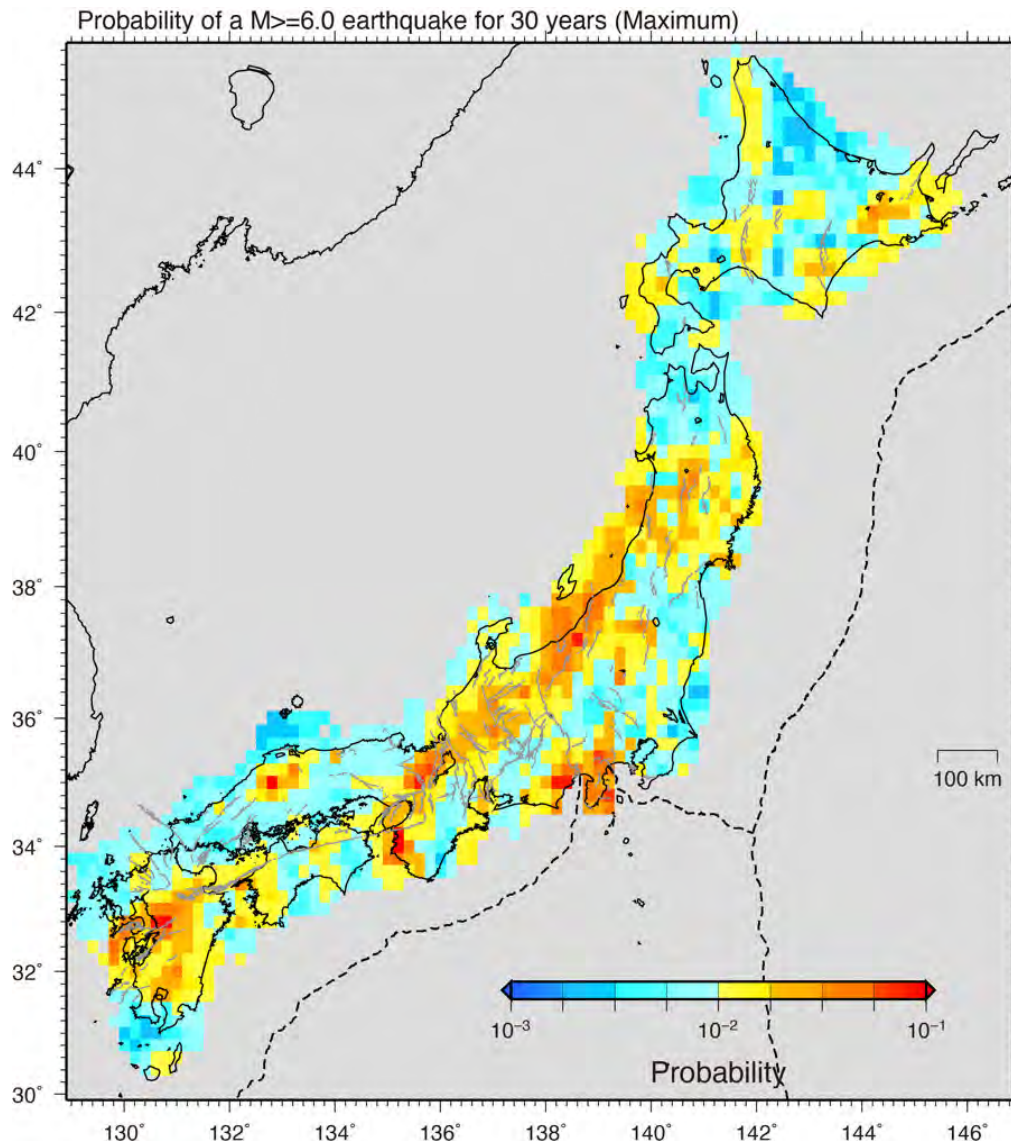
ベクトル：GNSS-A変位速度（2 σ 誤差楕円），
緑シンボル：微動分布（2016年8月15日-2021年12月27日，Nishikawa et al. [2019]より更新）

福島沖から茨城沖においては，余効すべりによると考えられる東向きの変動が，2016年以降は概ね収束していることが確認された



基盤的比抵抗構造観測データを用いて3次元比抵抗構造解析を実施し、地震活動の下限と高比抵抗域の下限が調和であることを明らかにした。

MJMA6.0以上の地殻内地震の30年発生確率



GNSSデータのひずみ速度から東日本のMJMA6.0以上の地殻内地震の発生確率を計算し、昨年度までの結果と統合して日本列島の地殻内地震の30年発生確率を試算した。

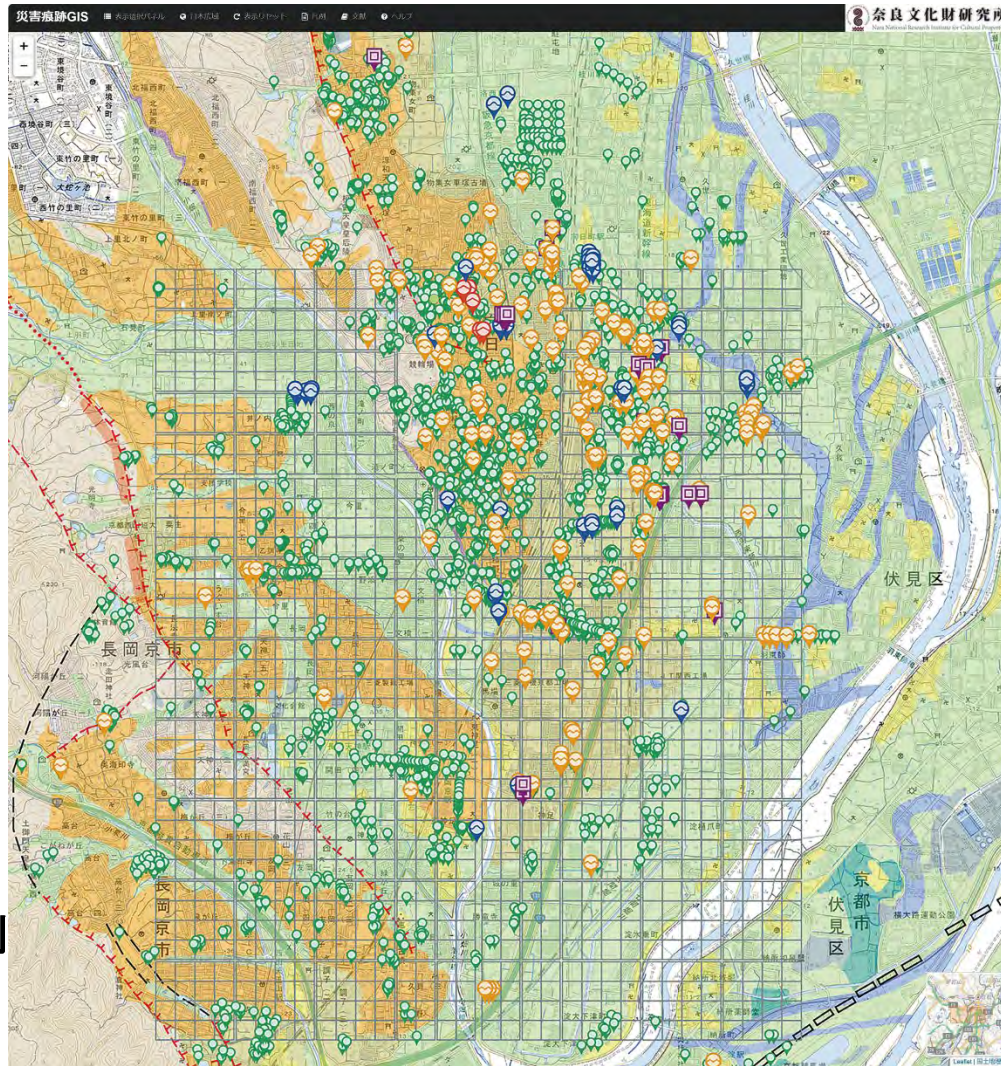
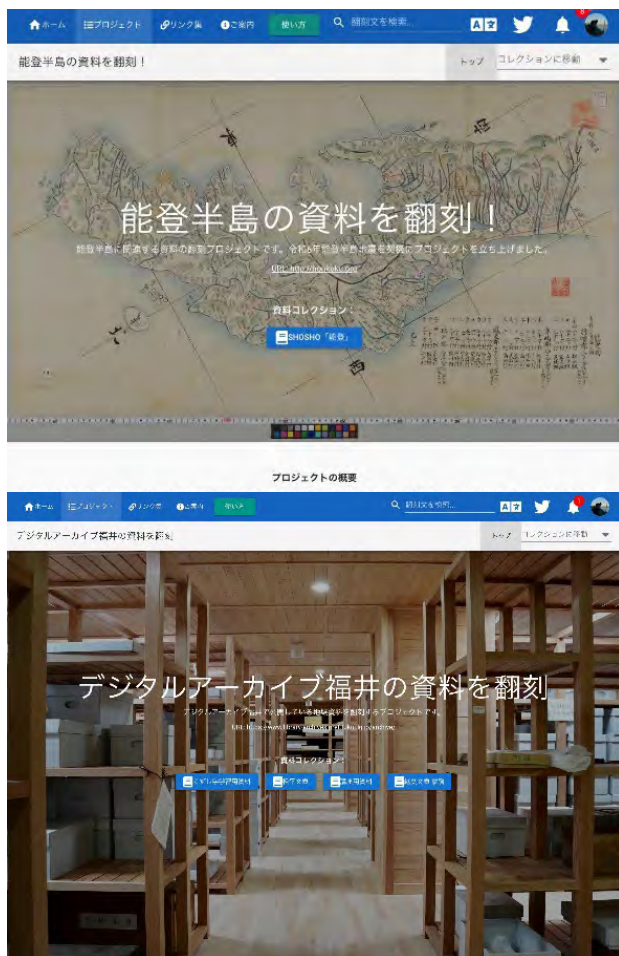


図 画面表示例
(長岡京跡周辺)

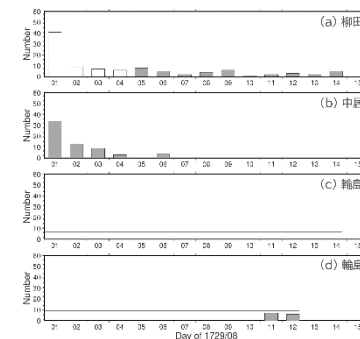
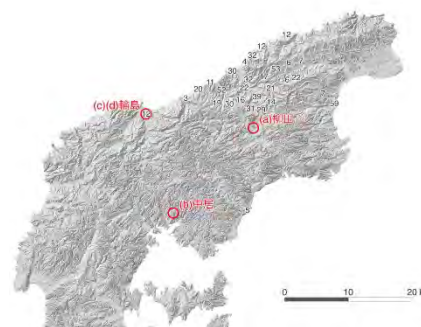
地図は単色地図、地形ベクタータイル、都市圏断層図(いずれも国土地理院)、バーチャル長岡京条坊復元図を重ねたもの

全国の考古発掘調査に伴って検出される災害痕跡を集成した「歴史災害痕跡データベース (Historical Disaster Evidence Database: HDE-GISdb)」の一般公開を開始した。

みんなで翻刻

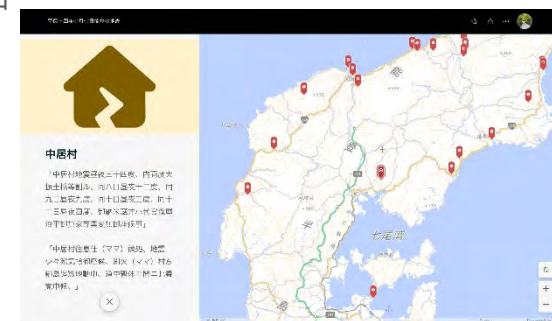


享保十四年の能登半島の地震



- (a) 能登町柳田
『真念寺鬼籍帳』『柳田村史』
- (b) 穴水町中居
『加賀藩記事類編』『菅家見聞集』
- (c) 輪島市
『重蔵宮奉加帳』
- (d) 輪島市
『加賀藩記事類編』『菅家見聞集』

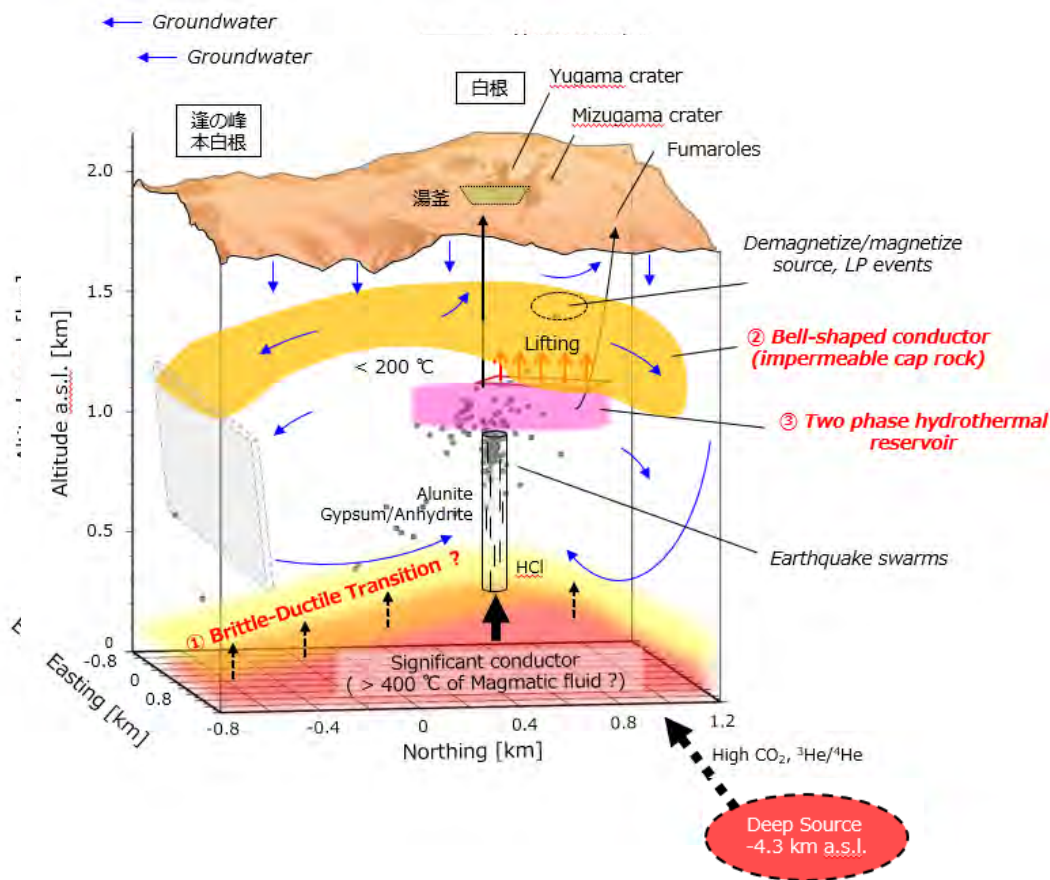
※既存の地名辞書の
緯度経度を利用



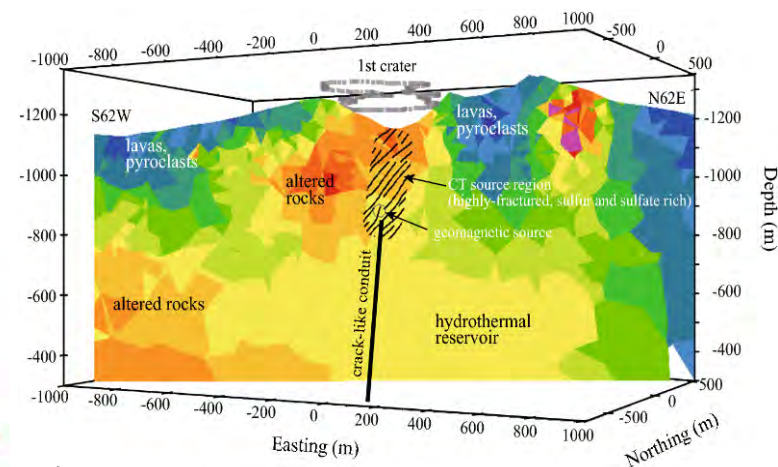
- みんなで翻刻に登録した地震や火山噴火に関連する資料をふくむ多様な資料を分析した。
- 1729年8月1日（享保十四年七月七日）に発生したM6.6～7.0と推定される地震について、複数の史料に記載された被害と有感地震数について再検討し、被害についてはWebマップを作成した。

火山熱水系構造モデルの精緻化

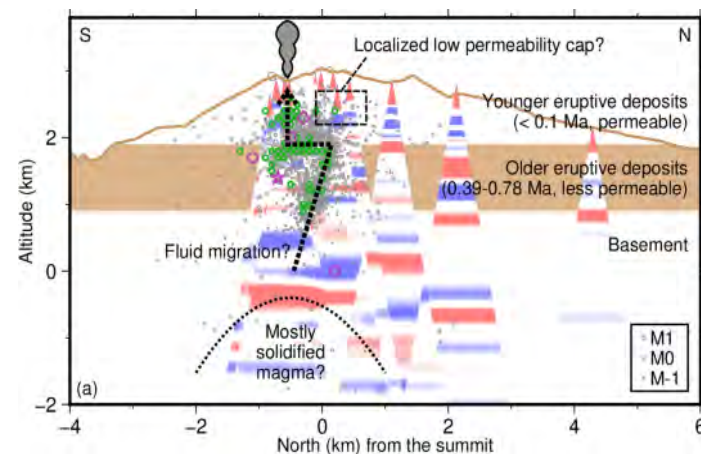
草津白根山(Terada et al. in press)



阿蘇山 Kanda et al.(2019)



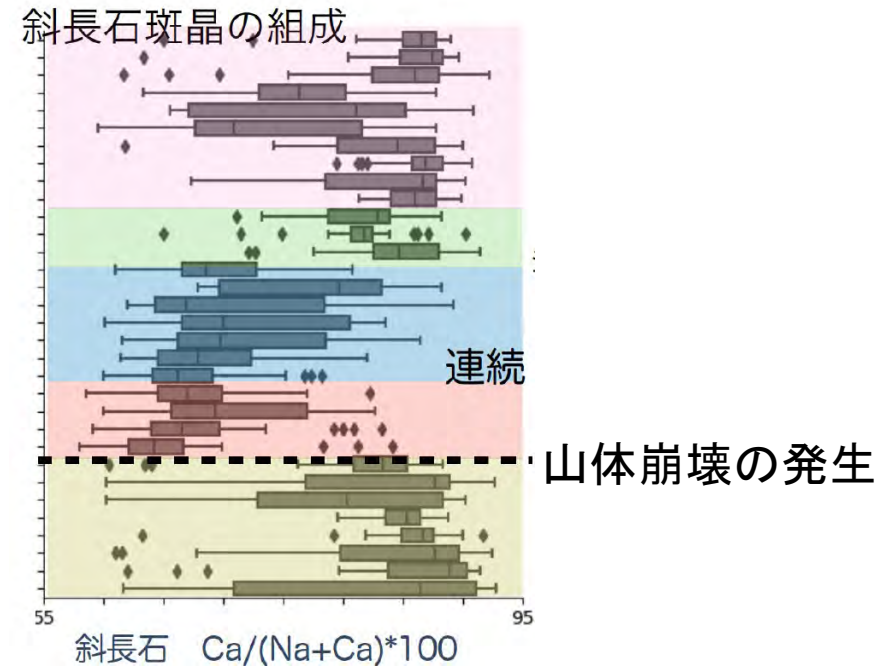
御嶽山 Maeda et al.(2023)



- 地球物理学的手法により、水蒸気噴火の発生場となる火山熱水系構造モデルの精緻化が進展した。
- 草津白根山では3階建て構造であり、最上部が近年のunrestの場となっていることが明らかになった。
- 阿蘇山や御嶽山においても比抵抗構造や地震波速度構造が高精度で求められつつある。

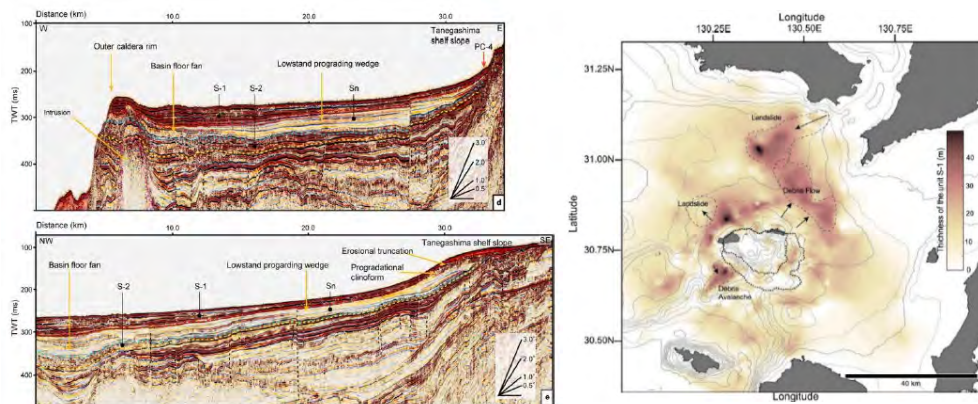
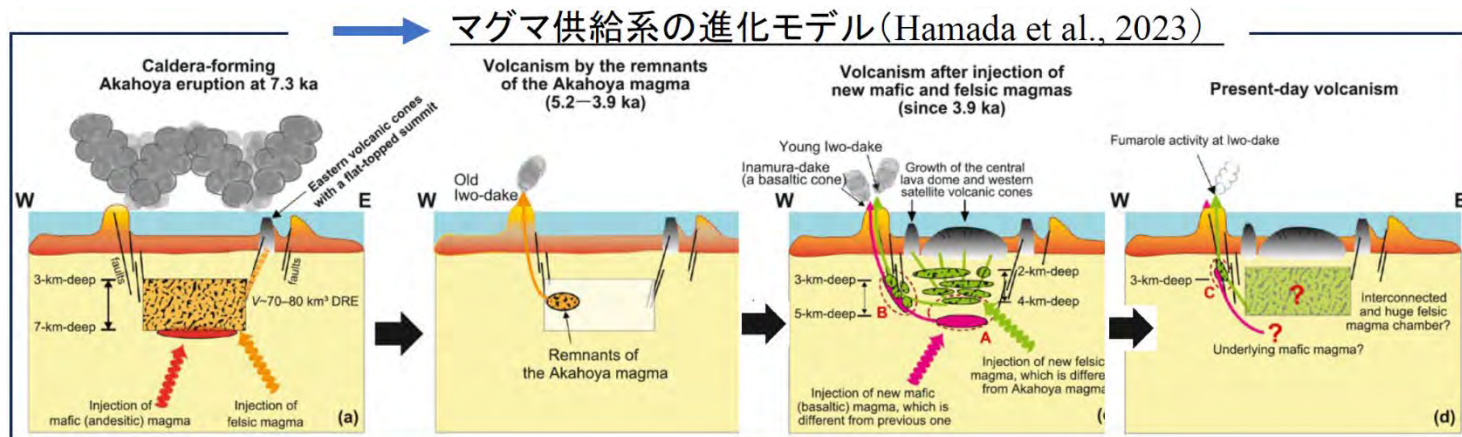
マグマ溜まりの時間発展と噴火様式の関連

マグマ溜まり深度におけるマグマの含水量、温度と噴火様式の関係



- 噴火様式はマグマの含水量や温度に強く依存し、含水量が少ない高温マグマは溶岩流出噴火、含水量が多く温度が低いマグマは爆発的噴火になりやすい。
- 富士山の噴出物分析により、山体崩壊による圧力低下などのマグマ供給系の変化は組成の変化として現れることが確認された。
- 噴出履歴を説明するためには他の要因（マグマの組成変化、マグマ溜まりの変形など）も必要。

鬼界カルデラにおけるマグマ供給系の構造・進化の解明



稠密反射法地震探査による堆積物層厚の精密推定

- 破局噴火の可能性が指摘されている鬼界カルデラにおいて、長期海底観測を実施し、マグマ供給系のイメージングをおこなった。
- また、反射探査・ピストンコアサンプル・地上地質調査から過去のマグマ噴出量を精密に推定した。
- 海底および陸上試料の物質科学的解析により、マグマ供給系の進化を解明した。

災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画 令和5年度年次報告

課題：先端リモートセンシングによる地震及び火山の被害状況把握技術の高度化

国立研究開発法人 情報通信研究機構

令和5年度の実施内容の概要

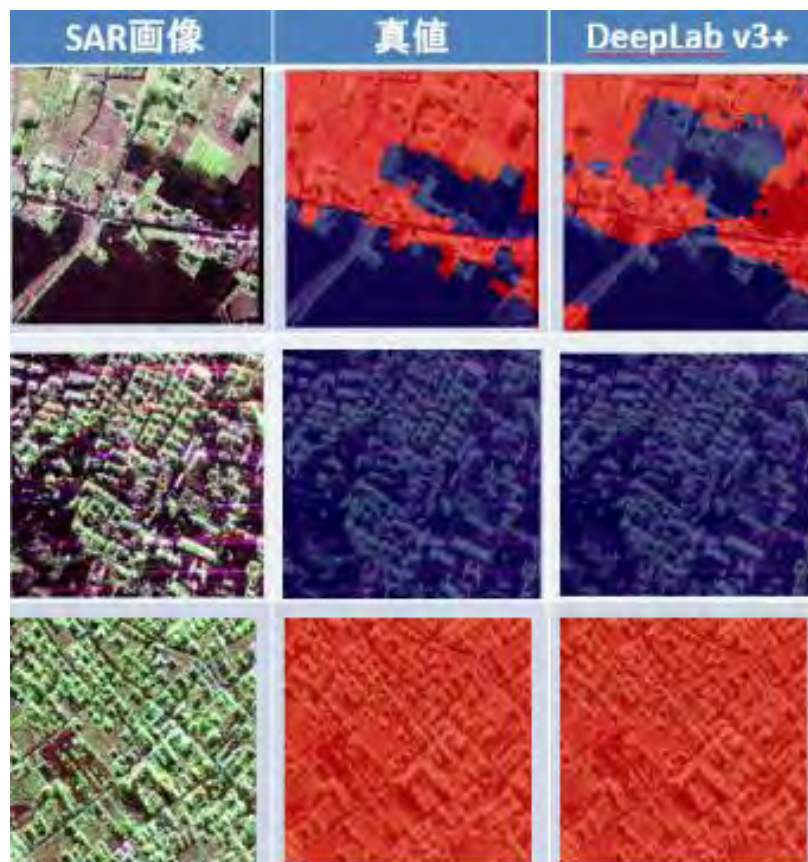
情報通信研究機構は、世界最高クラスの分解能15cmを有した高精細航空機搭載合成開口レーダー（Pi-SAR X3）を開発し、下図に示す環境・災害モニタリングを実現するための実証実験を行っている。



令和5年度については、以下の項目を実施した。

- Pi-SAR・Pi-SAR2データ検索・公開システムを運用し、取得済み観測データを公開した。令和5年度については、2130件の利用があった。
- SAR観測データから重要領域を抽出する手法として、機械学習を用いた浸水領域抽出モデルを構築した。東日本大震災直後の観測データ等を教師データとして複数のアルゴリズムを試行し、面積比で86%を超える精度を達成した。
- 2024年1月1日に発生した能登半島地震を受けて、2月にPi-SAR X3を用いた能登半島全域の観測を実施した。研究機関から要望のあった一部データは機上処理して即日提供し、能登半島全域のデータは後日地上処理して関係機関に提供した。

SAR観測データから重要領域を抽出する手法として、機械学習を用いた浸水領域抽出モデルを構築した。



東日本大震災直後のPi-SAR2観測データ等を教師データとしてモデルを構築。このモデルによる推定結果の一例を左図に示す。

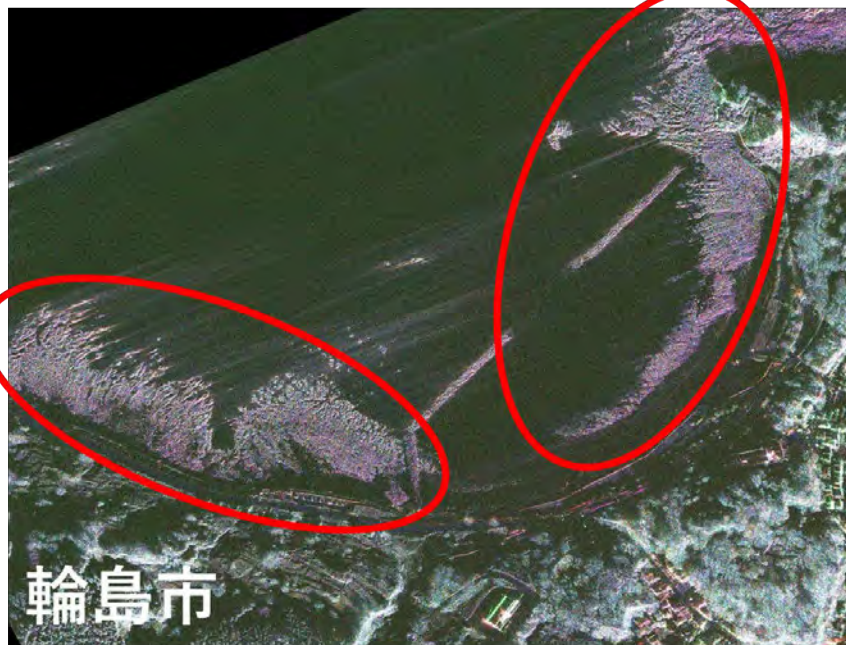
左列がPi-SAR2による観測データ、中央列がアノテーションされた真値（青が浸水領域）、右列が機械学習モデルによる推定結果である。

地表面の面積比で86%を超える精度を達成した。

浸水領域抽出結果の例。

（赤色：非浸水被害地域、青色：浸水被害地域）

2024年1月1日に発生した能登半島地震を受けて、2月にPi-SAR X3を用いた能登半島全域の観測を実施。研究機関から要望のあった一部データは機上処理して即日提供、能登半島全域のデータは後日地上処理して関係機関に提供した。



輪島市沿岸。赤〇は地震による隆起で海面から出たところ。



輪島市鳳至町。赤〇で示す白っぽいエリアは地震後の火災で焼失したエリア。

災害の軽減に貢献するための 地震火山観測研究計画(第2次)

国立研究開発法人 防災科学技術研究所

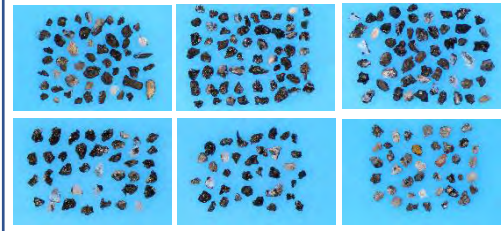
NIED01 多角的火山活動評価に関する研究

目的:研究分野や組織を超えた連携により、噴火災害を迅速に把握する技術や火山活動の推移を予測する技術の実現、さらにその成果を社会に提供することにより、各主体の火山災害に対するレジリエンス能力の向上を目指して研究開発に取り組む。

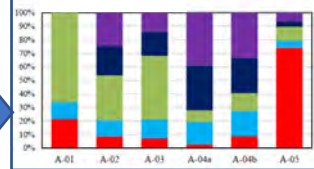
火山灰粒子画像の自動分類ソフトウェアを開発

火山灰粒子の自動分類技術

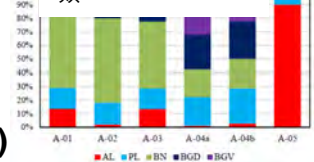
阿蘇の火山灰粒子の顕微鏡写真



深層学習



顕微鏡下で肉眼分類



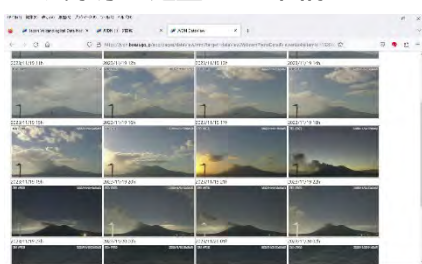
深層学習から阿蘇の火山灰粒子の迅速自動分類に成功 (Miwa et al., 2023紀要)

火山灰の微粒子の画像をAIにて分析することにより、火山灰の分類を自動で行うことを可能にした。

火山灰を自動で採取して画像を撮影する火山灰自動採取・可搬型分析装置(VOLCAT)と組み合わせることにより、火山灰のリアルタイムモニタリングが可能になる。

JVDNシステムによるデータ統合

気象庁の遠望カメラ画像



火山活動の評価や推移予測に活用するため、噴煙レーダ、火山ガス画像、気象庁の遠望カメラ画像などのデータ統合を進めた。火山調査研究推進本部のデータベースとして活用されることになった。

硫黄島での調査観測を実施

翁浜沖でのマグマ噴火



硫黄島の南海岸沖で、2022年より観測史上初めてとなるマグマ噴火が断続的に発生し、2023年には新島が形成された。
火山観測網の維持に努めるとともに、噴出物調査、火山ガスの調査などを行った。調査結果は、火山噴火予知連絡会や現地へ提供した。

降灰の把握と予測技術

JVDNシステム



JVDNシステムのデータ共有機能を利用し、「降灰調査チーム」と連携して、噴火時の降灰データの迅速な共有の訓練を行った。また、訓練の結果を改良に反映した。

ディストロメータ

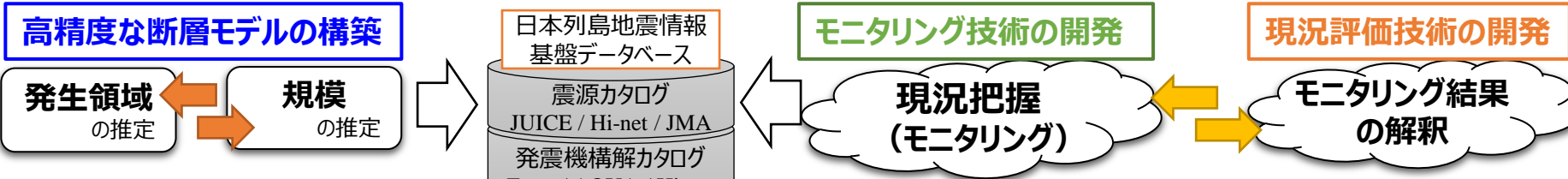


無人による即時的な降灰把握を目指して、ディストロメータとシミュレーションによる降灰把握技術の開発を進めた。

NIED02 地震・津波予測技術の戦略的高度化研究

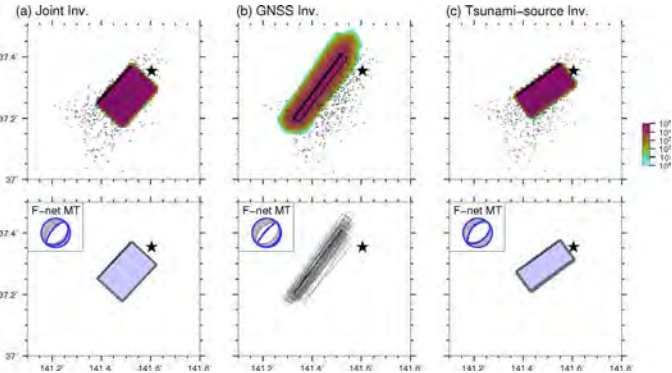
【目的】観測データに基づく地震発生の長期評価の高度化に資する研究開発の実施

地震発生領域・規模の評価と地震活動の現況把握



津波計を用いた震源断層モデル
高分解能推定技術の開発

- 陸上測地データに津波波形記録から得られる震源域直上の鉛直変位データ(津波波源データ)を加えることにより、沖合で発生する地震の断層モデルの推定精度を向上させることに成功
⇒地震直後の断層破壊域推定への効果に期待



2016年11月に福島県沖で発生したMw7.0の地震に対する断層モデル推定結果。
(a) GNSSデータと津波波源データ、(b) GNSSデータのみ、(c)津波波源データのみを使用した結果 (Kubo et al., 2023; EPS)

モニタリング技術の開発

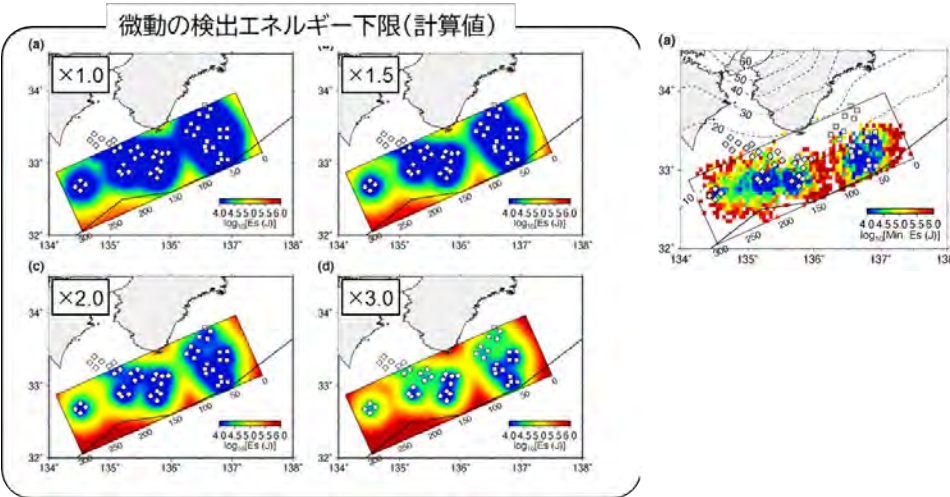
現況把握
(モニタリング)

現況評価技術の開発

モニタリング結果
の解釈

南海トラフ浅部微動検知エネルギー下限の評価

- DONET各点のノイズレベル(2-8 Hz)とサイト特性を考慮し、プレート境界面上の微動源位置で期待される微動の検出下限値を計算により導出
➢ 実際に観測されたエネルギー下限と比較した結果、検出下限をノイズレベルの2倍程度と見なしたケースと良く一致することを確認
⇒浅部微動活動の定量評価へ



左) DONET各点のノイズレベルから推定した検出下限の分布。右) 実データ解析から検出された微動の最小エネルギー (太田, 2023; 地震学会秋季大会)

生きる、を支える科学技術

NIED03 巨大地震による潜在的ハザードの把握に関する研究

【目的】 室内実験・大規模シミュレーション等を活用し、巨大地震の実態解明を目的とした研究を推進

- ・プレート境界及び内陸地殻に蓄積されている応力・歪みエネルギーの定量化・可視化
- ・巨大地震の実態解明による南海トラフ巨大地震等の発生シナリオの作成

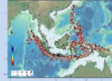
地震発生場に関する研究

- ・応力分布モデル作成
- ・地下構造時空間変化推定
- ・震源過程メカニズム解明



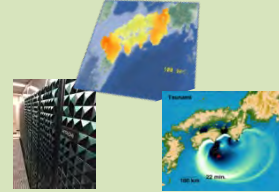
海外の巨大地震に関する研究

- ・海外巨大地震津波即時解析
- ・巨大地震の知見獲得
- ・国際協力の推進



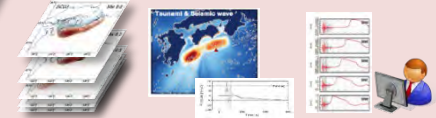
大規模シミュレーション研究

- ・大規模シミュレーションによる知見の統合
- ・多様な発生様式を考慮した巨大地震発生シナリオ構築



アウトプット

- 応力分布モデル
- 巨大地震発生シナリオ
- 巨大地震津波の模擬観測記録



破壊の基本法則に関する室内実験

- ・長大岩石摩擦実験
- ・数値シミュレーション
- ・断層破壊の基本法則解明



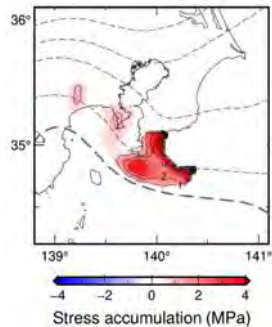
巨大地震の知見・スケーリング

地震発生場・発生機構モデル

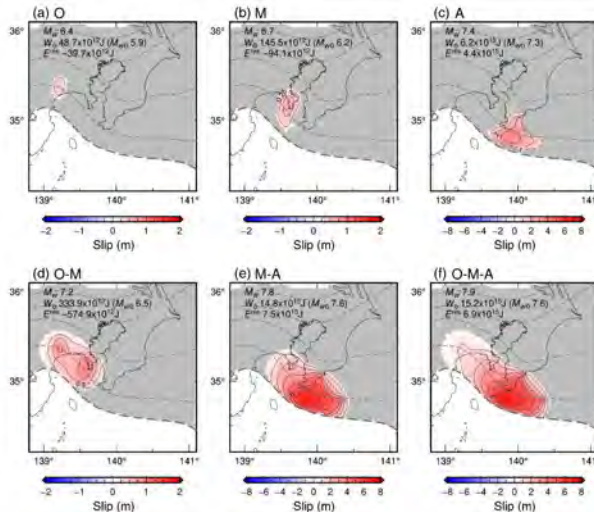
断層破壊の基本法則・摩擦則

統合

プレート境界の固着域



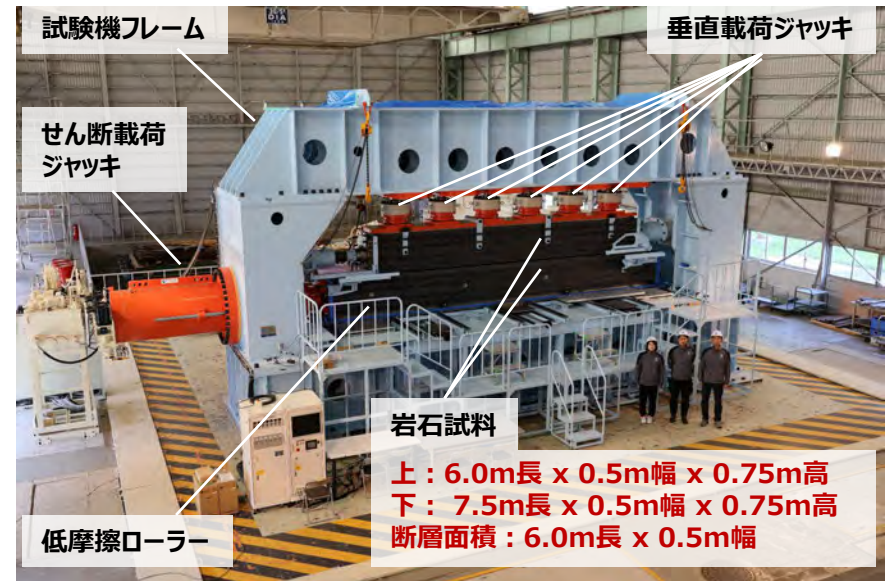
多様な巨大地震の破壊シナリオ



Saito & Noda (2023; BSSA)

- ・GNSS記録解析と過去の大地震の震源域から、3つの力学的固着域およびその応力蓄積量を推定
- ・固着域の破壊の組み合わせ・応力解放量をもとに、将来起こりうる6つの大地震の破壊シナリオを作成

新たに開発した巨大岩石摩擦試験機の動作試験並びに基礎実験の実施



- ・本試験機を用いた実験により、摩擦特性の断層スケール依存性や地震連鎖のメカニズム解明に向けた実験研究を推進
- ・国内外の研究機関と本試験機を用いた共同研究を推進

NIED04 自然災害ハザード・リスク評価と情報の利活用に関する研究

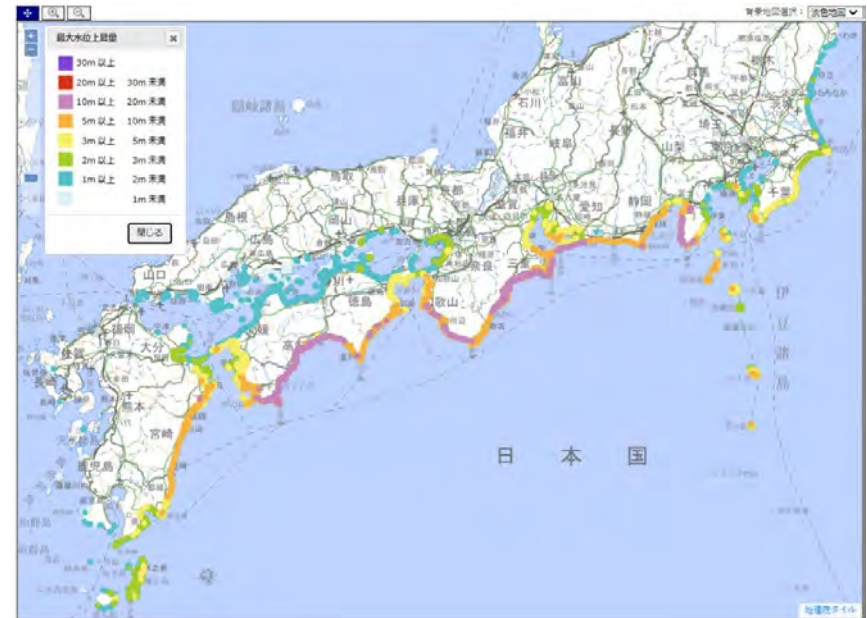
- 確率論的な津波ハザード情報を提供するシステム「津波ハザードステーション (J-THIS)」を開発し、2020年2月に運用を開始した。これまで、地震調査委員会が2020年1月に公表した「南海トラフ沿いで発生する大地震の確率論的津波評価」に関する詳細な情報を提供してきた。
- 利用者がそれぞれのニーズに応じて、適切に津波ハザード情報を利活用できることを目的として、J-THISに「J-THIS Labs」を2023年12月に新設し、「南海トラフ沿いの地震に対する確率論的津波ハザード評価」に関する津波ハザード情報を、最大クラスを考慮する等により更に充実させ、公開した (<https://www.j-this.bosai.go.jp/>)。

30年超過確率分布



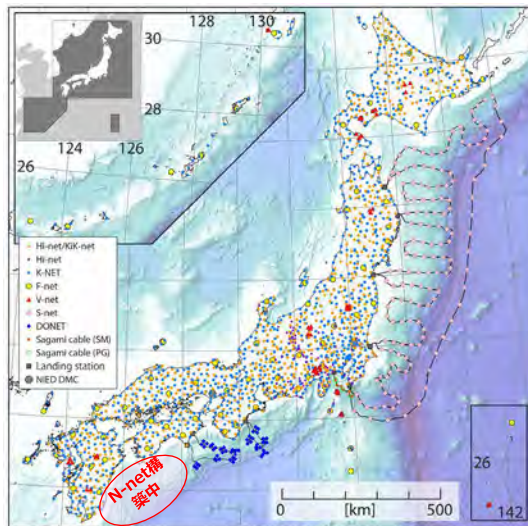
南海トラフ沿いで発生する大地震によって今後30年以内に最大水位上昇量3m以上の津波が海岸に来襲する確率を示した超過確率分布図。最大水位上昇量を3m、5m、10m、評価基準日を2020年1月1日、2021年1月1日、2022年1月1日、2023年1月1日、配色方法を3色表示、6色表示から選択可能。

確率論的な最大水位上昇量分布



今後30年以内の南海トラフ地震に対する超過確率が3%となる場合の、海岸に来襲する津波の最大水位上昇量分布図。評価基準日を2020年1月1日、2021年1月1日、2022年1月1日、2023年1月1日から選択可能。

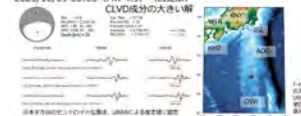
7つの基盤的観測網の統合運用 MOWLAS (陸海統合地震津波火山観測網)



2023年10月9日鳥島近海の地震の観測波形

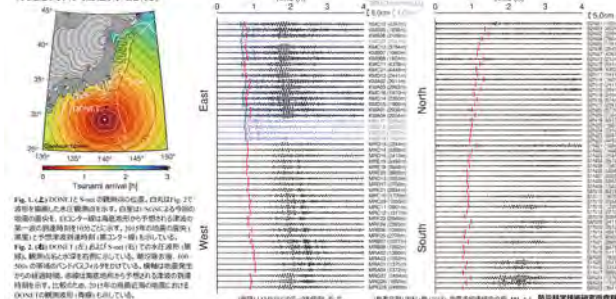
2023年10月9日午前5時～6時半頃に鳥島近海においてM4～5地震が10回以上発生し、関東から沖縄の広い範囲で津波が観測された。F-net広帯域地震計の記録は、2～6 Hzの帯域では直達波に比べてTフェーズが顕著であるという特徴を持つことを示した。DONET及びS-netでは地震規模から予想されるよりも大きな振幅の水圧変動が記録された。

2023年10月9日鳥島近海の地震 (F-netによるメカニズム解)
2023/10/09 06:00 (暫定解)
CLVD成分の大きさと向き



2023年10月9日 鳥島近海の地震のDONET・S-net水圧観測波形

2023(令和5)年10月9日午前5時25分(JST)に発生した鳥島近海の地震(Mb 4.9, USGS Fig. 1 白丸)に伴う津波を、DONETとS-netの水圧計が記録した(Fig. 2)。DONETは変動がくっきりと現れて、その変動は津波予測到達時刻(Fig. 2 赤線)の前後に始まり、それから約1時間経過後に振幅が最大になった。S-netでは南側の震央に近い観測点で変動が大きく、なおかつ、設置水深が大きい観測点ほど振幅が大きかった。今回の地震の近傍では2015年(Mw 5.7 (USGS))の地震が発生しており(Fig. 1 黒丸)、その津波がDONETで記録されている(中村・他, 2018, Fig. 2 青線)。2015年の地震のほうが規模は大きにも関わらず、今回の津波のほうが観測水深は数倍に大きく、また最大振幅のタイミングは若干遅れていた。大規模の津波を生じた何らかのイベントが、3時25分より以前に起こっている可能性が示唆される。



南海トラフ海底地震津波観測網 (N-net) の開発・整備

南海トラフ海底地震津波観測網 (N-net) システム概要



ケーブル敷設船へのN-net
観測装置積込みの様子



敷設船内に格納された
N-net観測装置

N-netにおいては、沖合システムと沿岸システムの2つのシステムのうち、沖合システム18台において製造を終え、積み込み前に観測機器とケーブルを接続した状態でのシステムアセンブリ試験を実施した上で、10月よりケーブル敷設船に積み込み、海底への敷設を実施した。また串間および室戸ジオパーク陸上局内に陸上部機器を設置しシステムの動作確認をし、海底からのデータ取得が可能になった。

敷設船から海中へ
繰り出される
観測装置

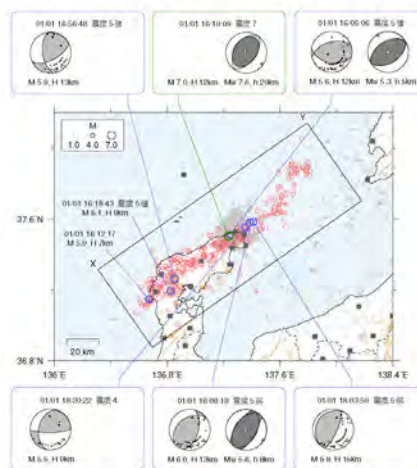


ケーブル陸揚げ作業
(宮崎県串間市)

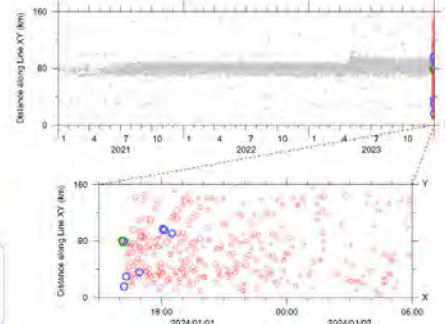
2024年1月1日令和6年能登半島地震 (M5.4)

地震調査委員会臨時会で報告

震源分布と主な地震の初動解



- ・2024年1月1日16時10分頃に石川県能登地方でMj 7.6 (気象庁暫定値)の地震が発生
- ・防災科研 F-netによるMT解は逆断層型、その前後の主な地震の初動解も逆断層型
- ・その後の地震活動は北東-南西方向約160 kmにわたって分布



図(左) 防災科研 Hi-net による震央分布(2021年1月1日～2024年1月2日6時、深さ30 km以内、手動および自動検出両者)と主な地震の初動解。F-netによるMT解も併せて示す。緑線は活断層研究会(1991)による断層線、四角は観測点、破線は断層。図(右) 左図矩形領域内の地震の時空間分布。縦軸は震央を直線XYに投影した水平位置。緑丸は2024年1月1日16時10分の地震、青丸(M5.5以上)および赤丸はそれ以外の2024年1月1日16時以降の地震、灰丸はそれ以前の地震。

編纂：龍崎には気象庁、東京大学、京都大学の記録も使用させていただきました。

JAMS01 : 地震発生帯モデリング研究

JAMS02 : 海底広域変動観測研究

JAMS03 : 海底火山観測研究

プレート固着の現状把握と推移予測：地震発生サイクルモデルの妥当性検証

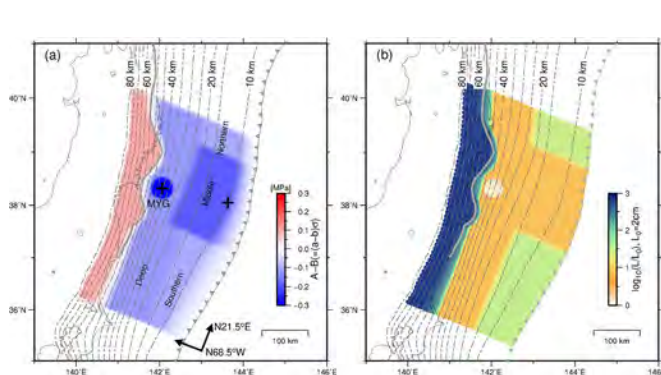
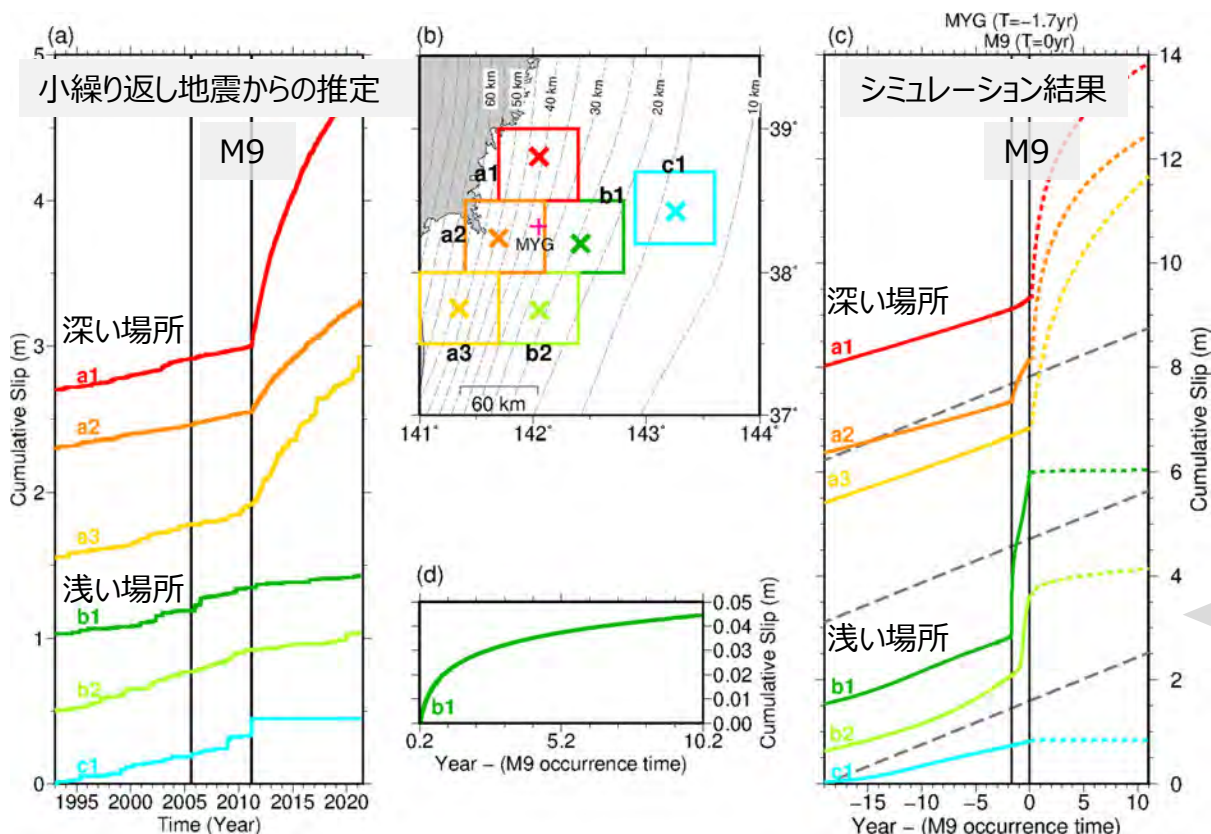
成果：推移予測に用いるモデルの妥当性検証を日本海溝域を対象に進めた。

- ✓ M9前後のすべりの時空間発展が定性的に整合していることを確認
- ✓ 従来再現できていなかった浅部でのM9後の固着状態を再現

Nakata et al (2023)

累積すべりの時間変化

設定した摩擦パラメータ分布



プレート境界でのすべり：
 ・M9前には、定常的なすべり
 ・M9後には、深い場所では余効すべり、
 浅い場所では固着

----- プレート間相対運動から
期待される累積すべり

2005年
宮城沖

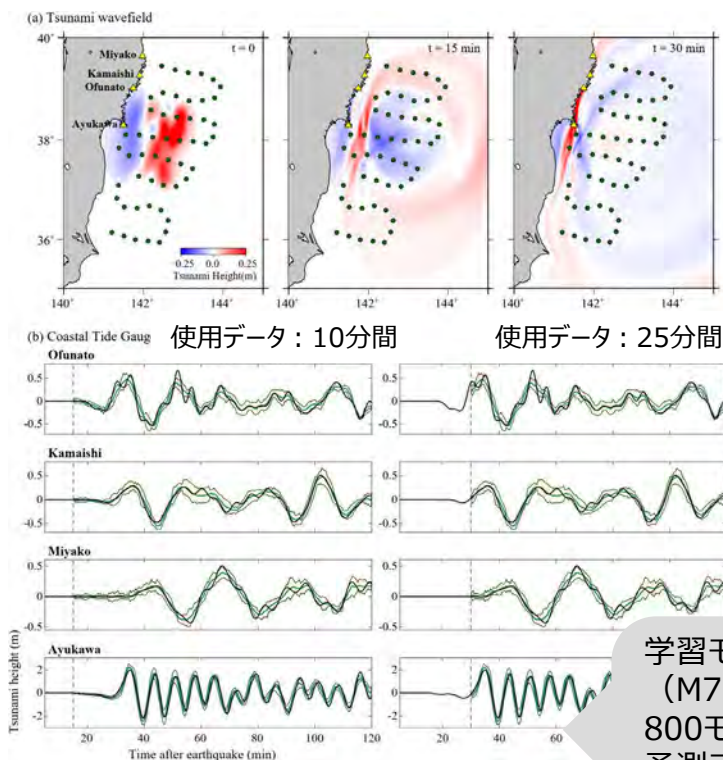
2011年
東北沖

津波予測手法の高度化：DAEモデルを利用した沿岸津波予測手法の開発

成果：S-netデータを用いて手法の検証を行い、短時間で高精度な予測が可能であることを確認した。

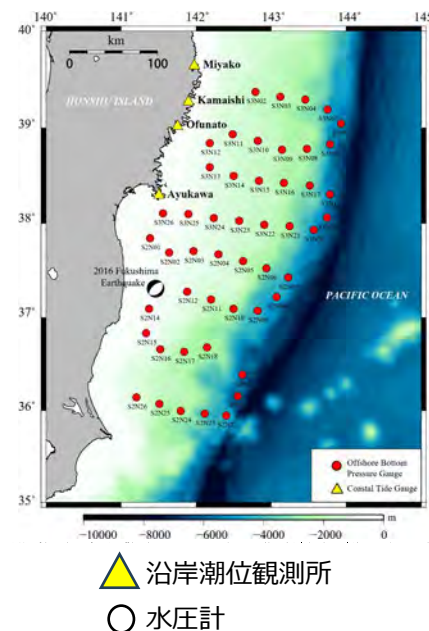
- ✓ 2016年の福島沖津波に適用。地震発生15分後に正確な最大振幅の再現性能を確認
- ✓ データ同化よりも短い時間で良好な予測精度を確認

Wang et al (2023)

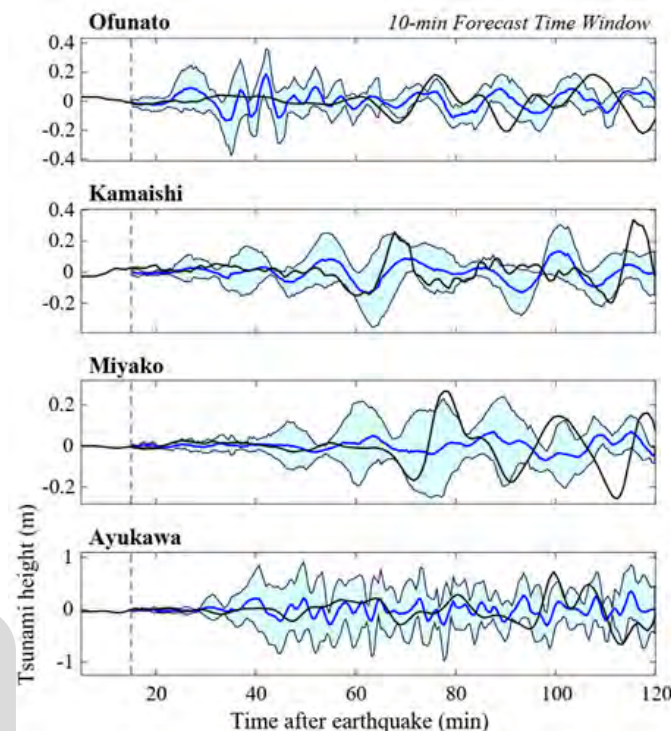
学習に用いなかったモデルでの
予測テストの例

黒線：モデルでの計算値
緑線：予測値
緑ハッチ：予測誤差範囲

学習モデル：1000の波源断層モデル
(M7.0-8.8) からランダムに選んだ
800モデル
予測テスト：残りの200モデル
入力：水圧観測点(S-net)
出力：沿岸潮位観測所4地点



▲ 沿岸潮位観測所
○ 水圧計

2016年福島沖地震津波の
観測値と予測値の比較

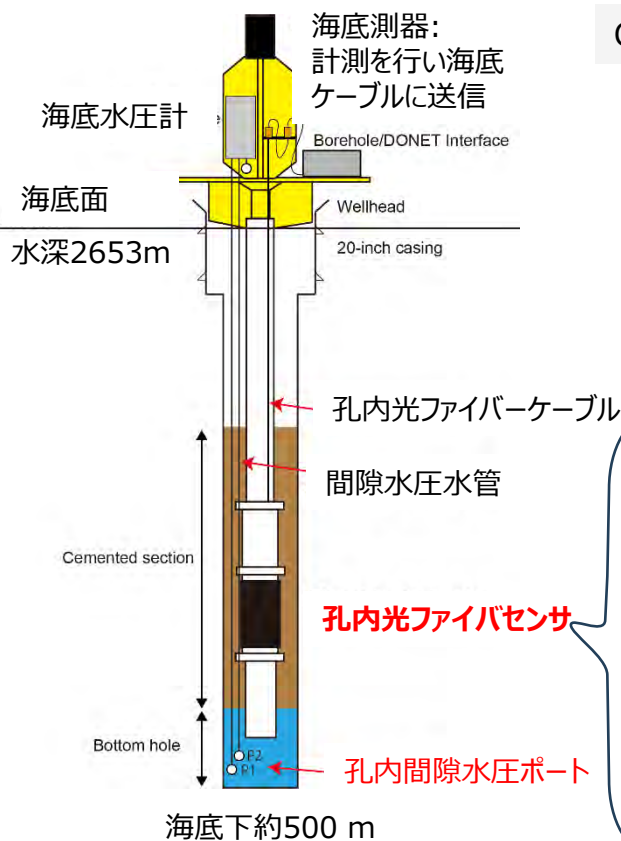
黒線：観測値
青線：予測値
青ハッチ：予測誤差範囲

地震発生過程の現状把握：海底孔内観測システムの構築

成果：新たな海底孔内観測システムを開発し、スロー地震発生域において運用を開始した。

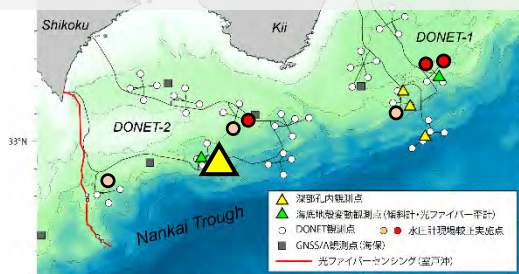
- ✓ 新開発の孔内光ファイバーセンサと実績のある孔内間隙水圧計を組み合わせたシステムを構築
- ✓ 紀伊水道沖に設置、DONET-2への接続に成功
- ✓ 高感度・高ダイナミックレンジに海底地震やゆっくりすべりに伴う地殻変動をリアルタイムに観測可能

孔内観測システム



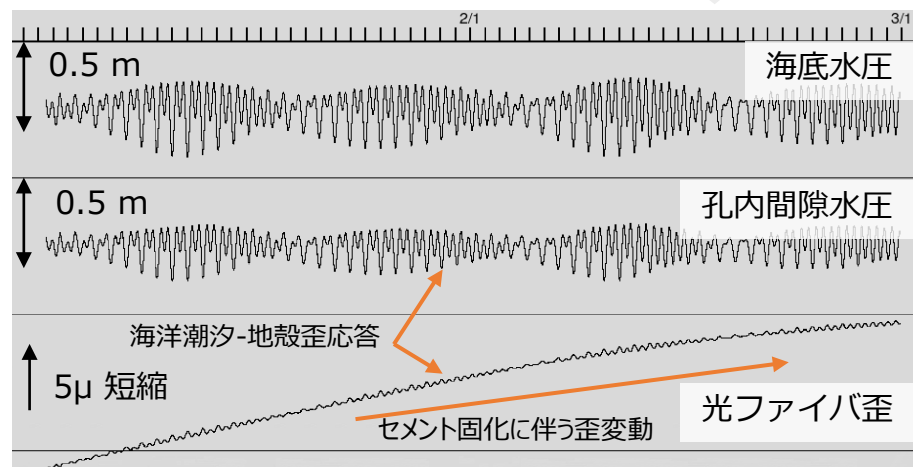
孔の掘削・センサの設置場所

CK23-03航海: Nov.6 – Nov. 28, 2023



孔内データ

初期観測データのQCを実施。孔内間隙水圧・光ファイバ歪は海洋潮汐によって生ずる地層歪が観測されるなど、良好な記録が得られている。気象庁南海トラフ地震評価検討会・地震調査委員会に観測結果の報告を開始した。



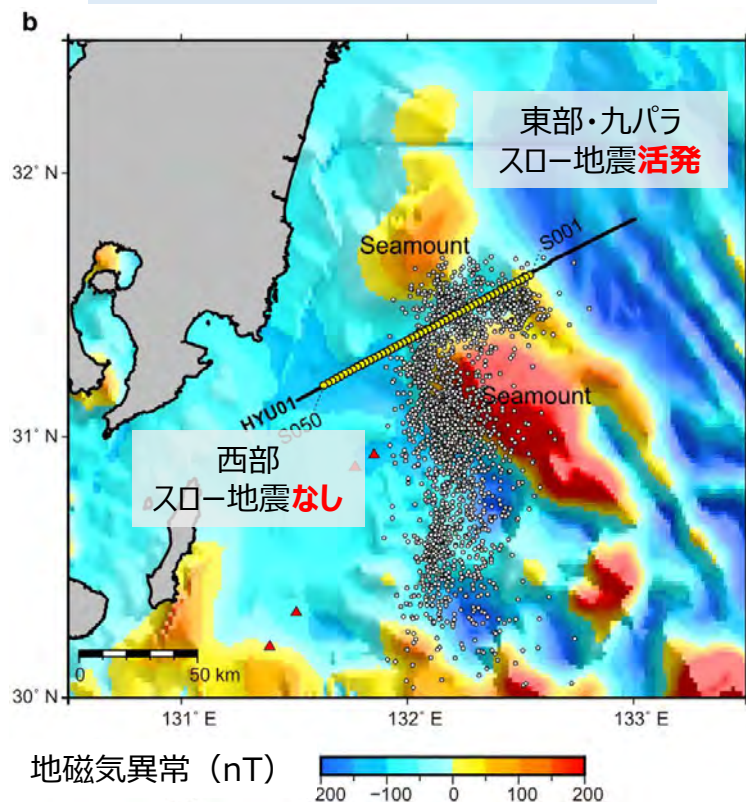
地震発生帯の実態把握：スロー地震活動と地下構造との関係

成果：日向灘の上盤プレート内に**低速度帯（流体経路）**を発見した。さらに、沈み込む海山の特徴とスロー地震分布の不均質性との関連を示した。

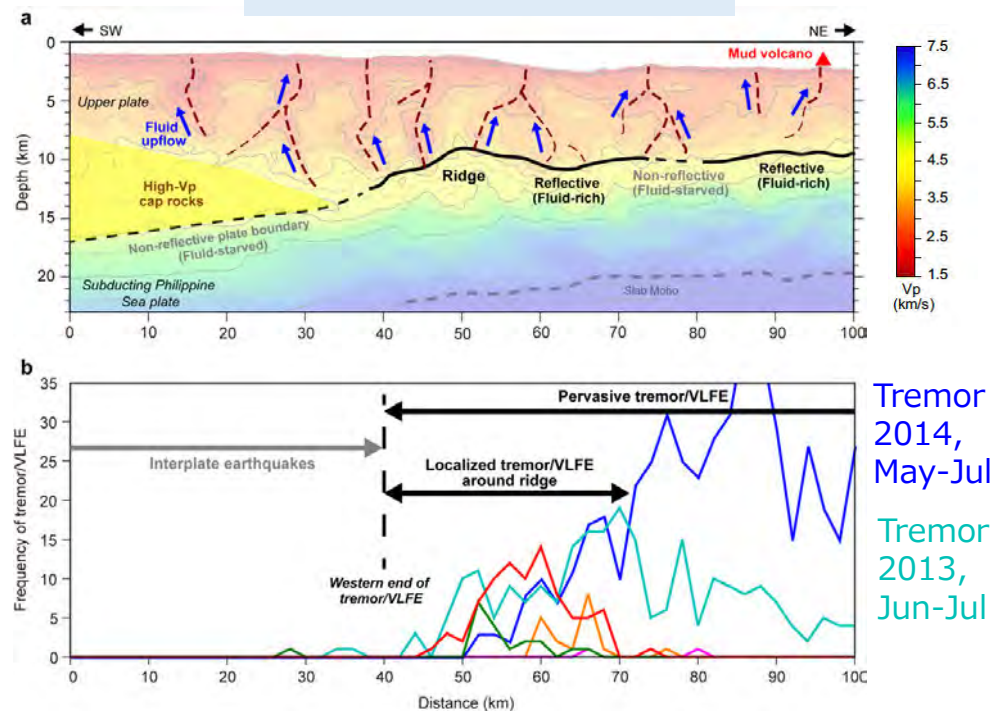
- ✓ 日向灘2km間隔OBS測線データを活用した波形インバージョンを実施
- ✓ **低速度帯は鉛直方向に発達**
- ✓ 九州パラオ海嶺沈み込みによる**流体の存在を示唆、泥火山の分布と整合的**
- ✓ 九州パラオ海嶺沈み込み場のプレート境界は高反射

Arai et al (2023)

探査測線（稠密OBS、反射法）



速度構造とスロー地震活動



今後、解析領域を足摺沖まで広げ、プレート固着／スロー地震発生域の詳細なプレート境界構造を明らかにする

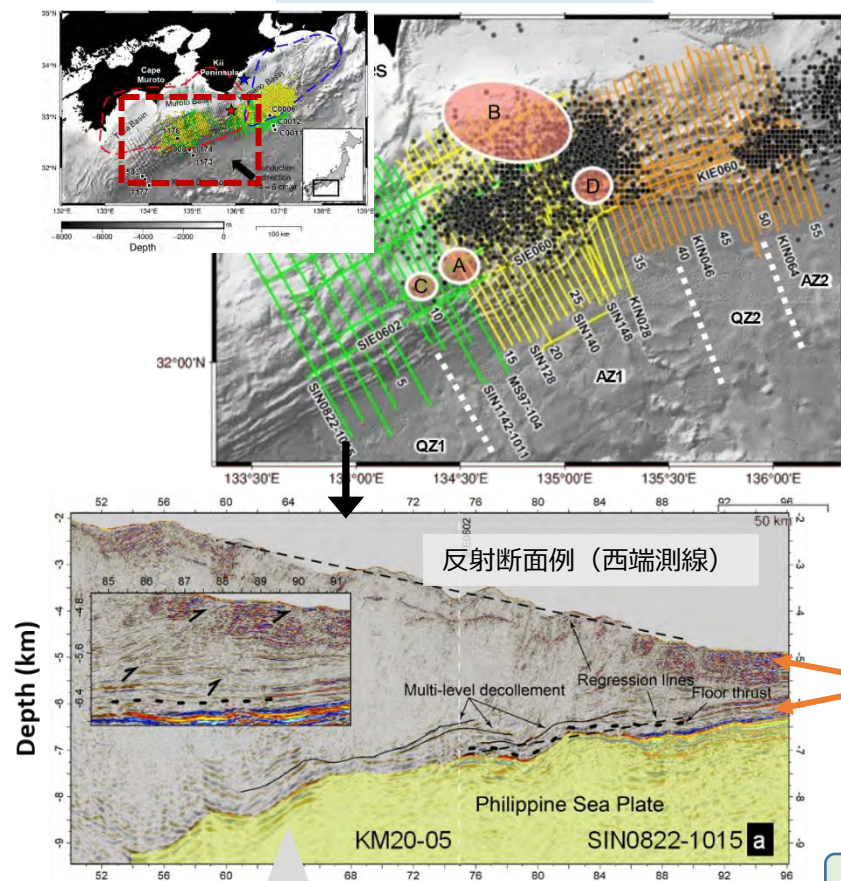
地震発生帯の実態把握：スロー地震活動と地下構造との関係

成果：複雑なプレート境界形状と浅部スロー地震活動との相関を明示した。

- ✓ 南海トラフ域における多量の反射断面図を定量的に分析
- ✓ プレート境界の断層形状や摩擦係数と固着／すべりに相関

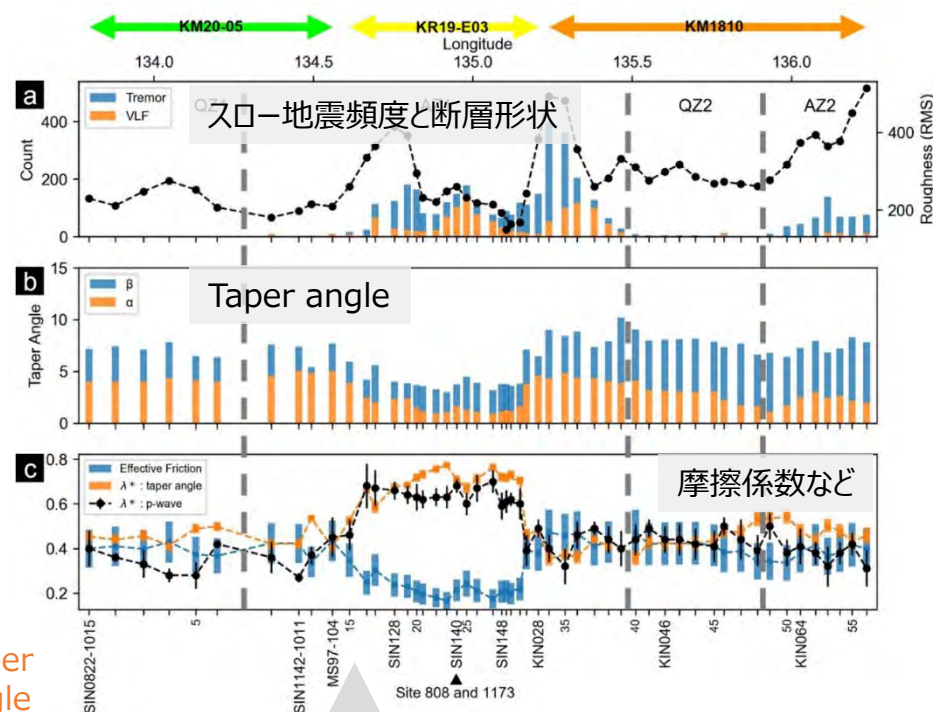
Flores et al (2024)

反射法測線と断面図



断層形状のroughnessやTaper angleを分析

断層形状や摩擦係数とスロー地震活動の相関



Critical Taper theory (Davis et al. 1983)に基づき有効摩擦係数を推定

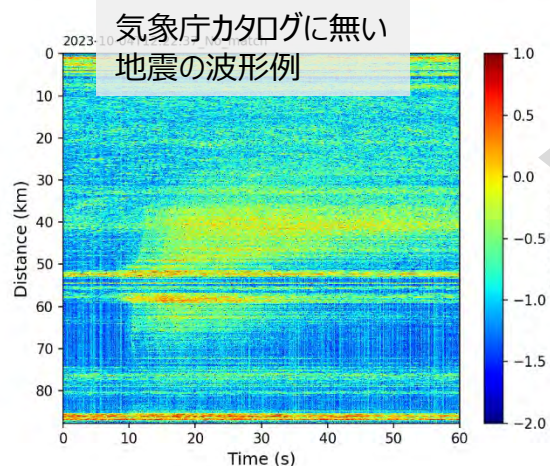
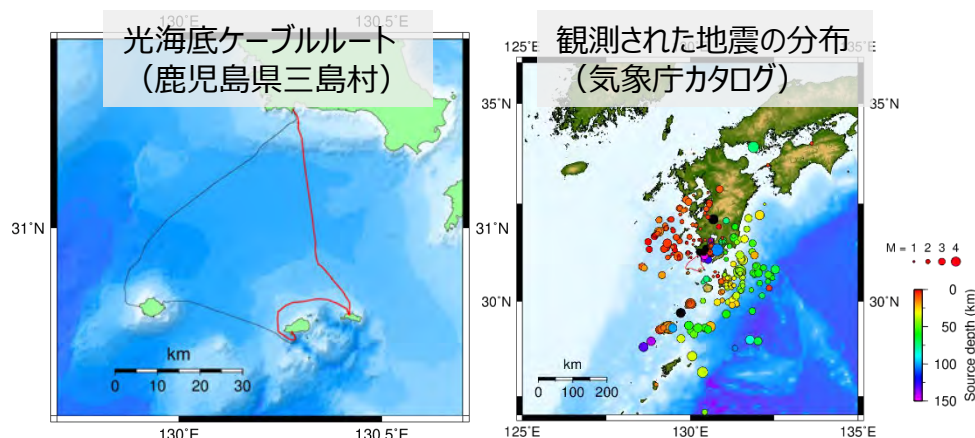
今後、沈み込む海洋プレートの物性の違いがプレート境界断層に与える影響についても、物質科学研究と合わせた議論を進める

海底火山の調査による活動履歴の理解と現状把握：火山活動リアルタイムモニタリング

成果：複数の火山域においてDASを利用した試験観測を実施し成功した。

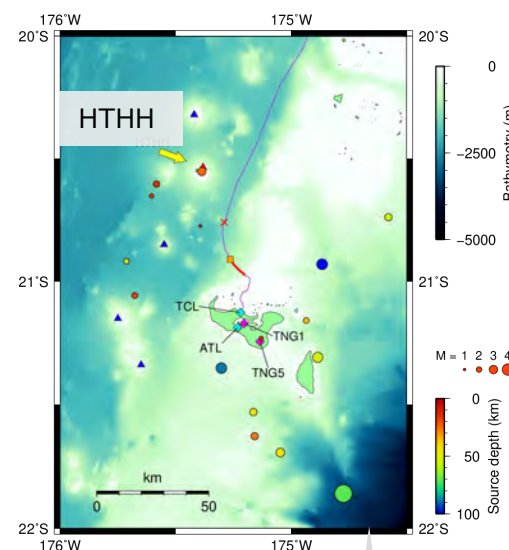
鬼界カルデラ

- ✓ 鬼界カルデラ付近で発生した可能性が高い小規模な地震活動を検出

観測点：
枕崎～硫黄島間
(赤線ルート)観測期間：
2023年8月2日～
11月17日

フンガトンガ

- ✓ DAS観測によるトンガ海域周辺での地震・火山活動モニタが可能であることを実証



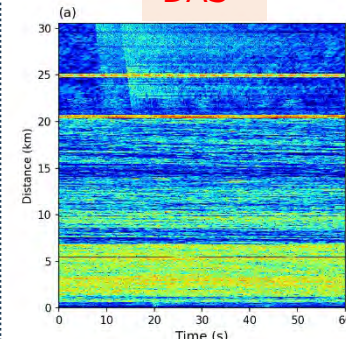
- ：検出した地震
- ▲：トンガ海域火山

HTHH直下を含むトンガ本島
周辺で、17個の地震を検知

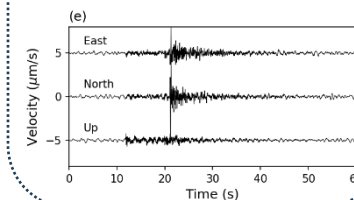
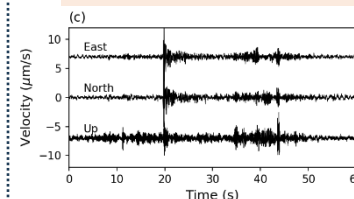
Nakano et al (2024)

HTHH下で起きた
同一の地震の波形例

DAS



トンガ本島の地震計



海底火山の調査による活動履歴の理解と現状把握：噴火機構の実態解明

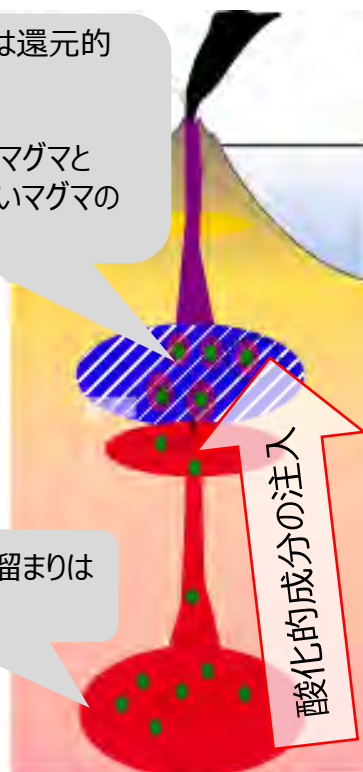
成果：岩石試料の分析により福徳岡ノ場と西之島における火山噴火過程を推定した。

- ✓ 二つの噴火は**深部からの苦鉄質マグマによる酸化**という共通の特徴を持つことを特定
- ✓ マグマ溜まりでの酸化還元による化学反応が大規模な噴火を引き起こした可能性を指摘

西之島の噴火(2020年)

浅部の安山岩マグマは還元的
～1000℃

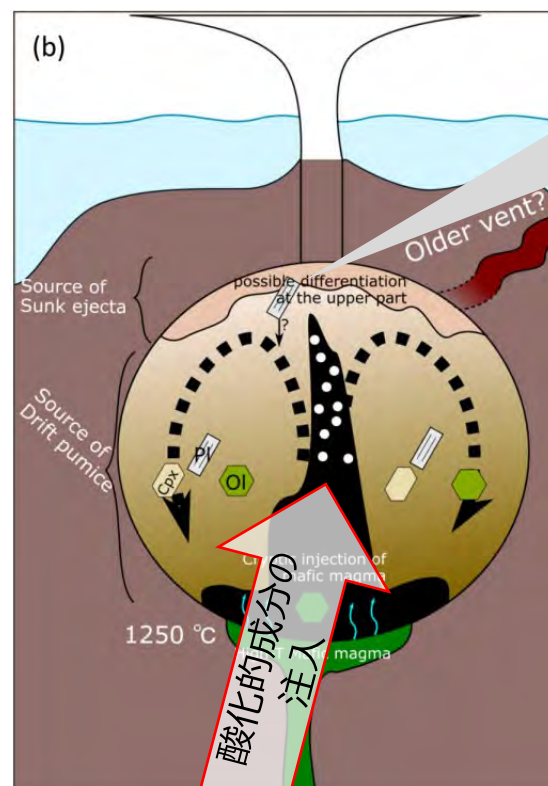
還元的・SiO₂に富むマグマと
酸化的・SiO₂に乏しいマグマの
混合が生じる



深部の玄武岩マグマ溜まりは
酸化的

Yoshida et al (in prep)

福徳岡ノ場の噴火(2021年)



Yoshida et al (2023)

漂着軽石中の捕獲岩からマグマ溜まり上部に見られる特定鉱物（長石）の濃集とその形成機構を見出し、マグマ溜まりの構造を明らかにした



Yoshida et al (in printing)

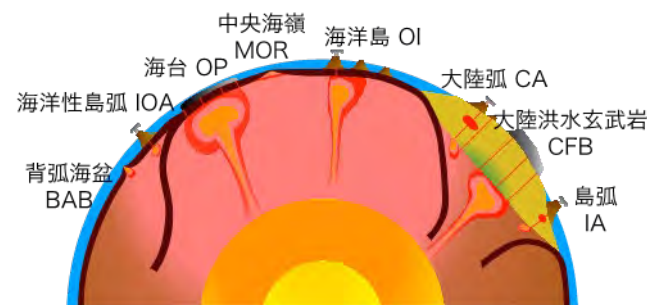
今後も、調査航海と室内実験から噴火機構を推定し、活動予測への貢献を図る

データ駆動科学を用いた数理解析：全地球火山岩化学組成の解析

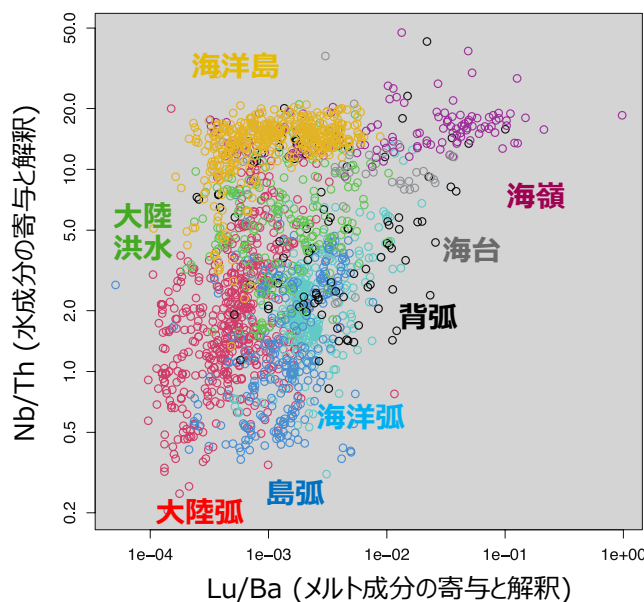
成果：未知火山岩試料の起源テクトニクスを確率的に識別するモデルを構築した。

- ✓ 多量の化学組成の特徴量を入力データとして機械学習手法（スパースモデリング）により解析
- ✓ テクトニクスごとにマグマの化学的特徴を抽出、その特徴を用いてマグマの起源を特定可能

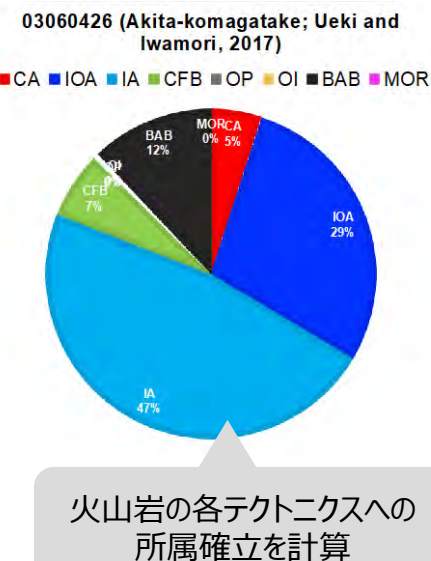
8つのテクトニクス



抽出された化学的特徴量

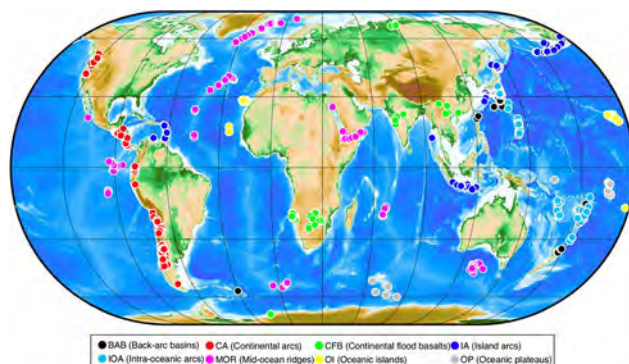


結果例



Ueki et al (2024)

学習に使用した火山岩試料の空間分布



今後、テクトニクス場の化学的特徴から、プレート運動・マンテル対流がマグマ活動・物質分化に果たす役割の解明につなげる

今後、火山岩を用いた詳細・定量的な古テクトニクスの解明を目指す

「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画(第2次)」 令和5年度成果概要

産業技術総合研究所

- AIST01: 活断層データベースの整備
- AIST02: 主要活断層帯から生じる連動型地震の古地震学的研究
- AIST03: 地質調査に基づく火山活動履歴の解明と年代測定手法の高度化
- AIST04: 津波浸水履歴情報の整備
- AIST05: 地質調査と実験に基づく、断層の力学挙動についての三次元モデルの構築
- AIST06: 火山性流体観測に基づく噴火発生過程および火山活動推移の解明
- AIST07: 高分解能地殻応力場の解明と造構造場の研究
- AIST08: 海溝型巨大地震の履歴とメカニズム解明
- AIST09: 地下水・地殻変動観測による地震予測精度の向上
- AIST10: 噴出物の物質科学的解析に基づくマグマ供給系-火道システム発達と
噴火推移過程のモデル化
- AIST11: アジア太平洋地域地震・火山ハザード情報整備

AIST01: 活断層データベースの整備

1. 新規データの入力

活断層調査文献の調査地情報入力作業として、「活断層評価の高度化・効率化のための調査 成果報告書」2編(令和2年度、令和元～3年度)、「連動型地震の発生予測のための活断層調査研究 成果報告書」(令和2年度、令和3年度)、学術雑誌掲載論文2編について、調査地情報(調査地の位置、調査方法、変位量、変位基準年代、平均変位速度等:約20～110 項目)を入力した。

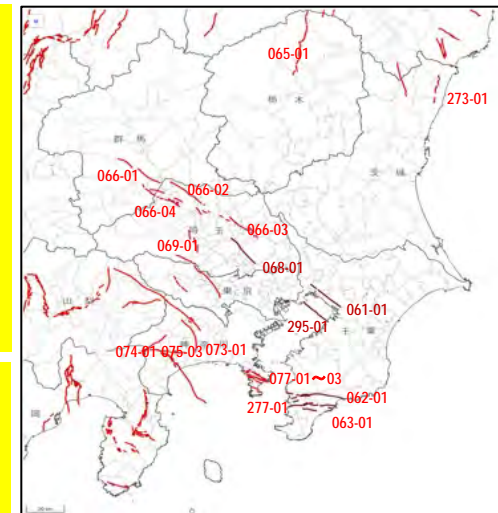
2. 位置精度向上に関わるデータ更新

2-1 調査地情報の位置精度向上

神奈川県に分布する活断層の調査地241地点について、活断層データベースに登録されている調査地点の位置精度を確認し、必要に応じて修正する作業を実施した。

2-2 活断層線の高精度化

関東地方に分布する20の活動セグメントについて、縮尺2万5千分の1の地図上に図示できるように活断層線の位置情報を高精度化した。



3. 表示システムの改善

3.1 ズームレベルの変更

活断層線の高精度化作業が完了した活動セグメントから順次、活断層データベースで詳細な活断層図を公開できるようにするため、特定の活動セグメントのみについてマップのズームレベルをより変更できるように表示システムの改修を進めた。

3.2 調査地点の吹き出しを改善

マップに表示させた調査地点をクリックしたときに現れる吹き出しについて、調査地点の属性にかかわるいくつかの項目を表示させるようにした。



表示縮尺を2.5
万分の1の地図
画像等で表示

ワンクリックで
断層パラメータ
を表示

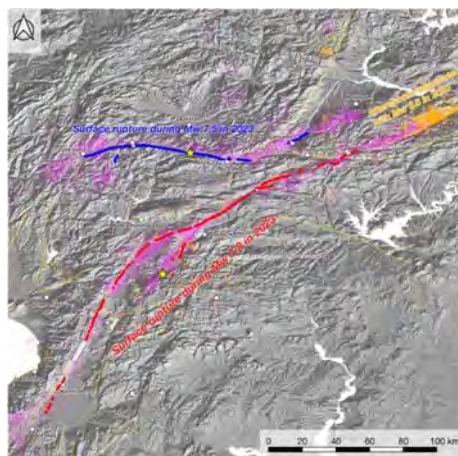
断層のずれの種類や
断層面の傾斜方向が
一目で分かる

今後の計画

知的基盤整備計画(第3期)において、令和12年度末までに全ての調査地と断層の位置精度の改善を終了させる予定としている。

AIST02: 主要活断層帯から生じる連動型地震の古地震学的研究

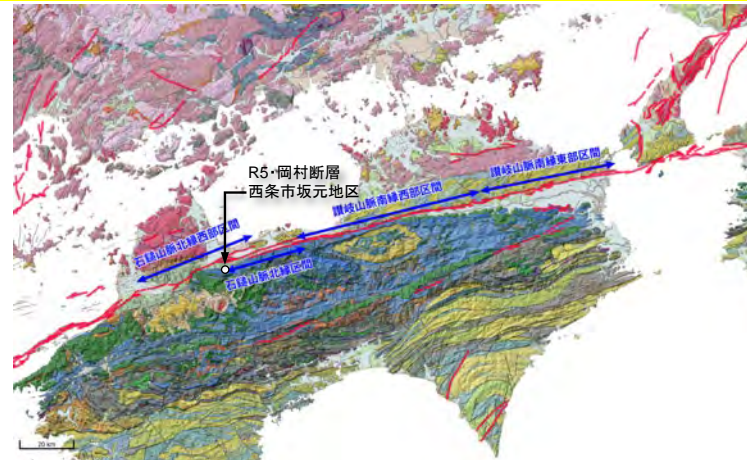
- ・トルコ・東アナトリア断層系で生じた、Mw7.8およびMw7.5の大地震に伴う地表地震断層と変位量分布を明らかにした。
- ・Mw7.8の地震断層上で2014年トレンチを再掘削し、地震前後のトレンチの比較検討や2023年地震時変位を復元した。
- ・「長大な活断層帯で発生する地震の評価手法に関する調査研究」(R5-7年度)の一部として、中央構造線断層帯の岡村断層において変位履歴調査を実施し、過去3回の活動時期・地震時変位量、連動間隔を明らかにした。



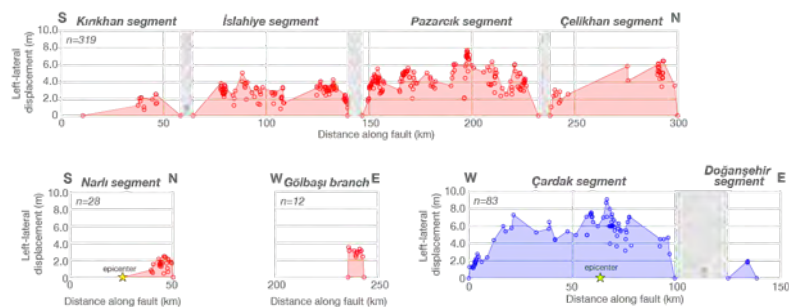
Mw7.8・Mw7.5の地表地震断層と震源分布 (GSJ web site)



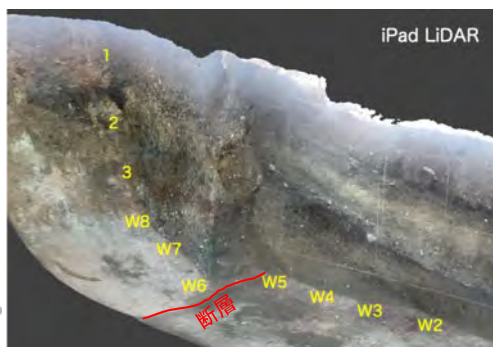
2014年トレンチ(T1およびT2)の再掘削と3Dトレンチ調査



四国陸域のMTLの活動区間(地震本部地震調査委員会, 2017)
基図は産総研・活断層DB及び地質図Navi、国土地理院・地形陰影図

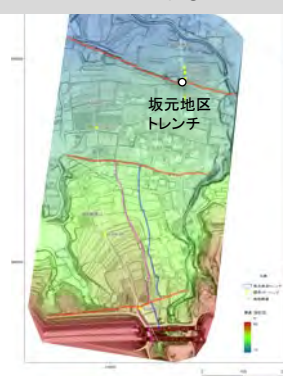


Mw7.8およびMw7.5の地震に伴う左横ずれ変位量の分布



2014年トレンチ壁面の左横ずれ

ドローンLiDARによる0.1mDEM



坂元地区トレンチ西壁面

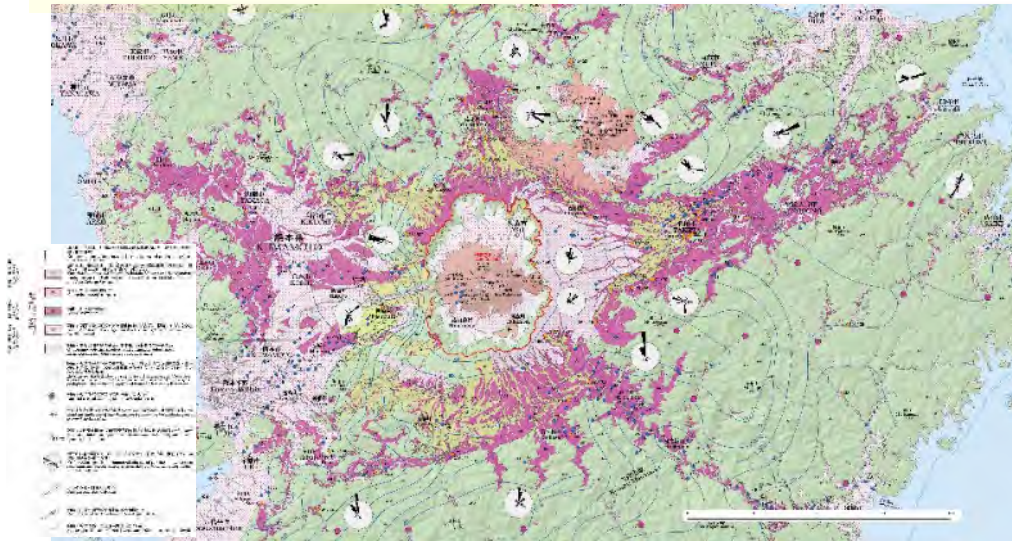


成果公表:産総研-GSJウェブサイト、近藤、第四紀研究(印刷中)、文科省委託事業「連動型地震の発生予測のための活断層調査研究」成果報告書の一部等で公表した。

AIST03: 地質調査に基づく火山活動履歴の解明と年代測定手法の高度化

- 将来噴火する可能性の高い活火山の中長期的活動評価と予測のため、秋田焼山・御嶽山・雌阿寒岳各火山地質図の取りまとめを進め、秋田焼山の完新世噴火史を雑誌「火山」で公表した。
- 伊豆大島で陸上から沿岸部水深 400 m 程度までの範囲をカバーする陸海シームレス赤色立体地図を作成し、火口位置と噴火履歴を盛り込んだ噴火口図を作成・公表した。岩木山では地表踏査による噴火履歴調査を継続した
- 大規模火砕流分布図シリーズとして「阿蘇カルデラ阿蘇4火砕流堆積物分布図」「阿蘇カルデラ阿蘇3火砕流堆積物分布図」を整備した。
- 活動的火山で高分解能な噴火履歴を解明するために、御嶽火山・秋田焼山等の岩石試料を対象とした感度法 K-Ar 及び Ar/Ar 年代測定を実施し、10 万年前より若い火山噴出物の噴火年代を明らかにした。
- 日本列島の火山の地質情報を最新の知見に基づいて収集整理し、日本の火山データベースを更新・拡充させた。

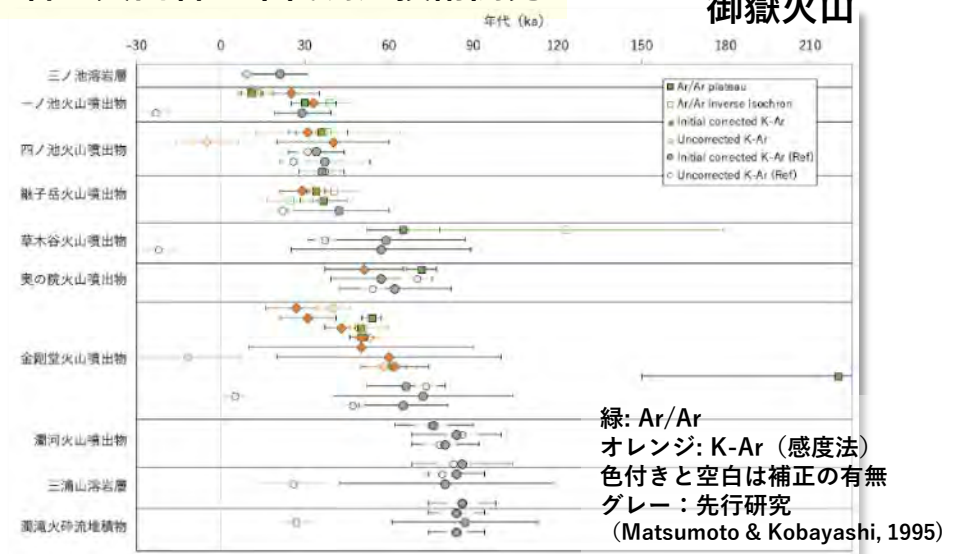
大規模火砕流分布図シリーズ



大規模火砕流分布図シリーズ「阿蘇カルデラ阿蘇4火砕流堆積物分布図」(宝田ほか, 2023)

低頻度大規模災害対策の基礎資料として阿蘇カルデラの大規模噴火堆積物の地下や海底を含めた分布図・解説書を整備して公表

若い火山岩の年代測定技術開発



若い火山岩の年代測定技術の開発

10万年前より若い火山噴出物を効率的かつ高精度で測定できる年代測定手法として感度法 K-Ar 年代測定及び Ar/Ar 年代測定手法を開発した。

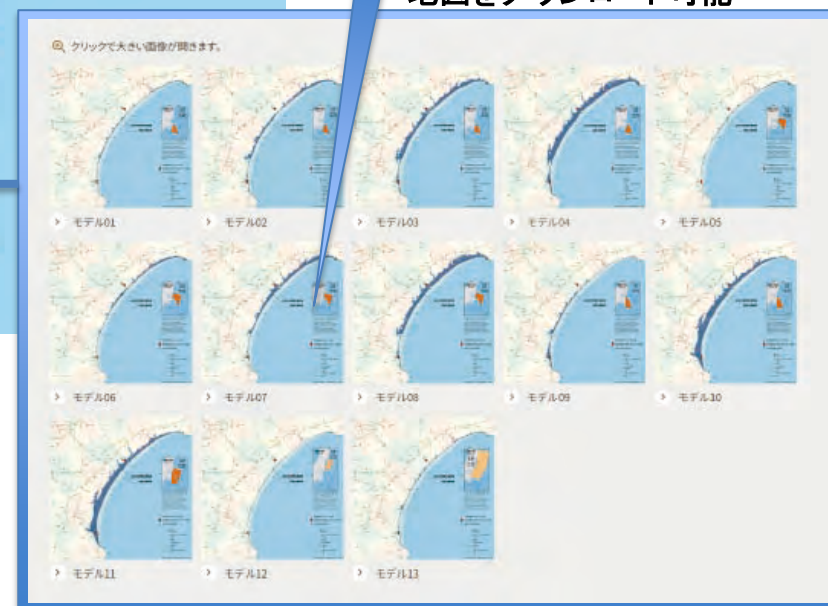
AIST04: 津波浸水履歴情報の整備

「津波浸水履歴図」としてウェブ公開した。(2024年2月)

https://unit.aist.go.jp/ievg/group/subducteq/tsunami_map/index.html



クリックで拡大
地図をダウンロード可能



- 2011年東北地震の破壊域の南側で起こりうる巨大地震として、2021年に学術論文を公表
- 学術論文の内容だけではなく、現地調査の様子やシミュレーションについてわかりやすく説明
- 今後、千島海溝南部(北海道東部太平洋沿岸)等を整備予定

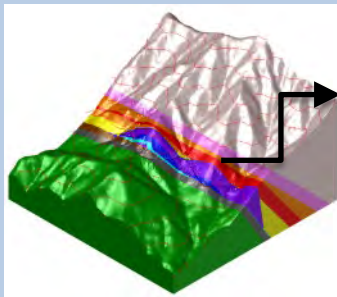
断層モデルによる浸水域の違いを図示

調査方法の解説ページ

AIST05: 地質調査と実験に基づく、断層の力学挙動について三次元モデルの構築

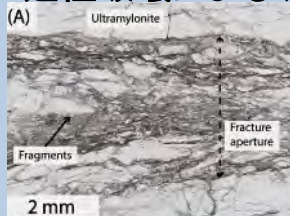
- ・ 内陸断層の脆性-塑性遷移領域において、延性変形により破壊が開始する（延性破壊）。
- ・ 延性破壊が作る構造の空間的広がり、断層面全体に及ぶ。
- ・ 延性破壊そのものが地震の破壊核形成の機構として働いている可能性がある。

1. 脆性-塑性遷移領域付近で形成した延性剪断帯の露出

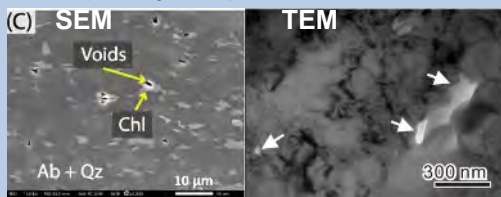


研究対象の延性剪断帯
温度: 300~350 °C
差応力: 100~200 MPa
脆性-延性遷移領域
付近で形成

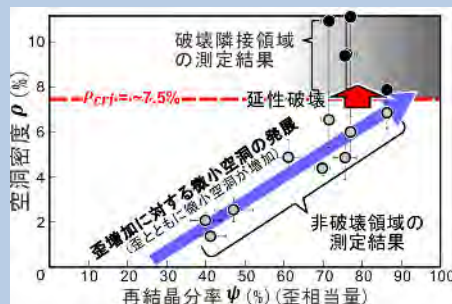
2. 延性破壊による破壊開始



マイロナイト中のクリープキャビテーション



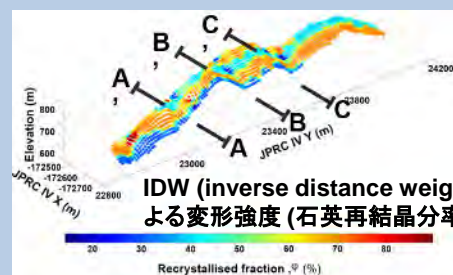
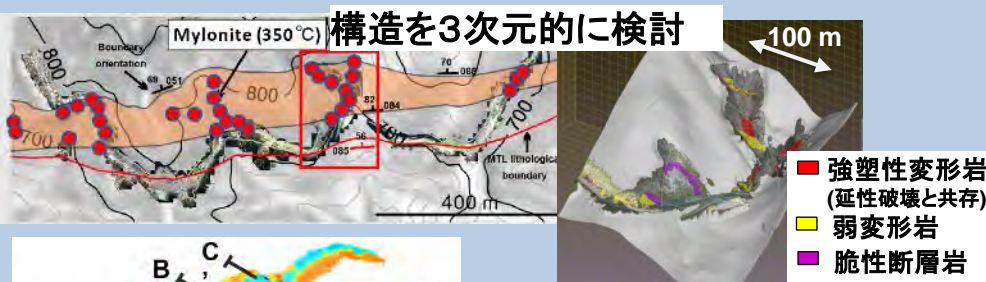
強変形部に見られる破壊構造



ウルトラマイロナイトの複数領域で測定した再結晶分率測定(歪相当量)と空洞密度の関係。空洞密度は再結晶分率とともに増加し、7.5%を超える空洞密度は破壊と隣接する場所では認められない。

クリープキャビテーションによる延性破壊の発生

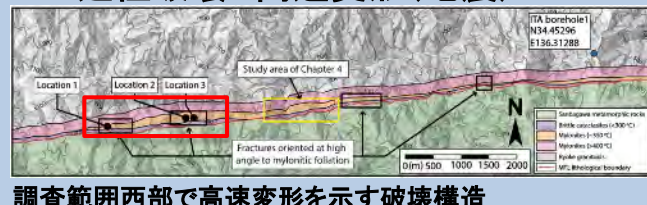
3. 延性破壊が作る構造のひろがり



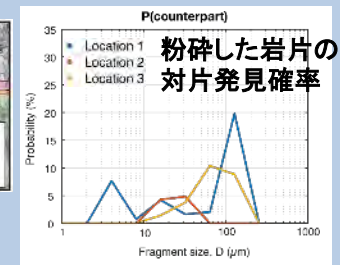
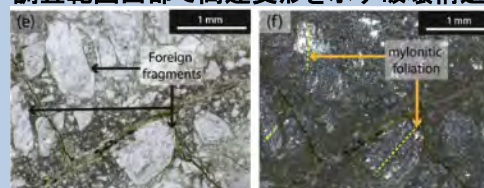
1.2 km に渡り延性破壊を伴う強塑性変形の構造は連続断層面全体に広がる

延性破壊は断層の力学挙動を支配

4. 延性破壊と高速変形(地震)



調査範囲西部で高速変形を示す破壊構造



対片発見確率が小→高速変形(地震)
延性破壊が高速変形(地震)につながった可能性がある。

AIST06:火山性流体観測に基づく噴火発生過程および火山活動推移の解明

・火山ガス組成・放出率観測

信州大学と共同で焼岳にて火山ガス観測を実施した。

・伊豆大島での電磁気・熱的観測

熱水系数値シミュレーションによる自然電位分布計算を行い、自然電位・地中温度の連続観測を実施した。

焼岳にて火山ガス観測を実施

- 各噴気地帯の火山ガス組成を測定
- 醇ヶ池火口・北峰南に存在する噴気の火山ガス組成の詳細を把握



醇ヶ池火口の噴気分布。
1, 2, 3の場所に噴気が集中し、それぞれ異なる組成を持つことがわかった

	観測日	CO ₂ /H ₂ S	H ₂ O/H ₂ S	H ₂ S/SO ₂	log ₁₀ (SO ₂ /H ₂ S)	H ₂ /H ₂ S	AET ¹⁾
1962-63火口	2022/10/19	5.5	190	-	-	-	-
北峰南	2022/10/19	2.7	39	760	-2.9	-	-
醇ヶ池火口	2022/10/19	9.9	280	62	-1.8	-	-
岩坪谷	2022/11/02	11	210	2.1	-0.33	0.017	410°C
醇ヶ池火口1	2023/11/09	13	390	50	-1.7	-	-
醇ヶ池火口2	2023/11/09	8.8	280	300	-2.5	-	-
醇ヶ池火口3	2023/11/09	9.7	290	240	-2.4	-	-
北峰南上	2023/11/09	3.2	81	370	-2.6	-	-
北峰南下	2023/11/09	2.8	94	1200	-3.1	-	-
黒谷火口1 ¹⁾	2023/11/09	64	16000	2.2	-0.35	-	-
黒谷火口2 ¹⁾	2023/11/09	0.58	58	38	-1.6	-	-

表1. 焼岳のマルチガス観測による火山ガス組成

¹⁾Ohba et al. (1994)のパラメータを採用して計算した。

²⁾火山ガス濃度が薄いため、参考値。

熱水系数値シミュレーションによる自然電位分布

Observation

Calculation

a)

b)

c)

a) 観測値

b) 火山ガスの供給が弱い場合
(現状の再現)

c) 火山ガスの供給が強い場合
(火山活動活発化の予測)

<ウェブ公開準備中>

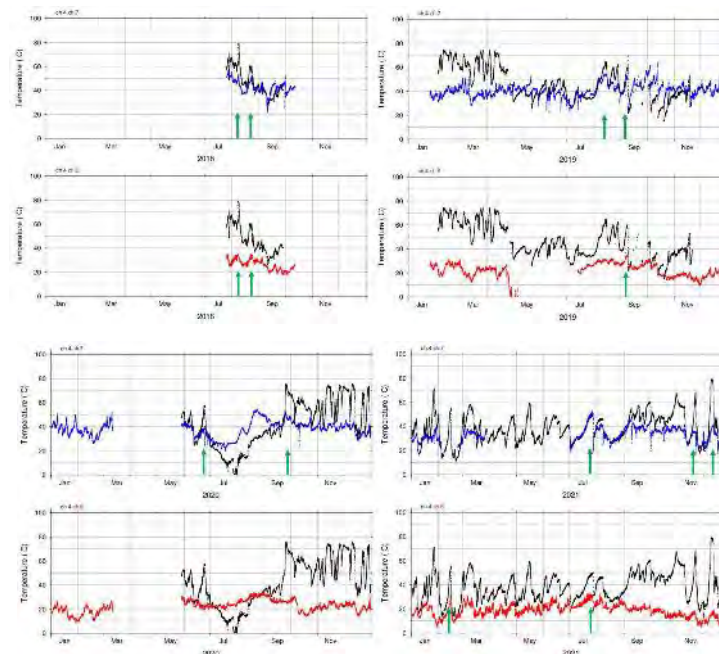
地中温度の連続観測



・B火口脇と櫛形山麓で同期するタイミング(緑矢印)がある。

・火口原規模での熱活動の高まりを示すことがあることを示唆している。

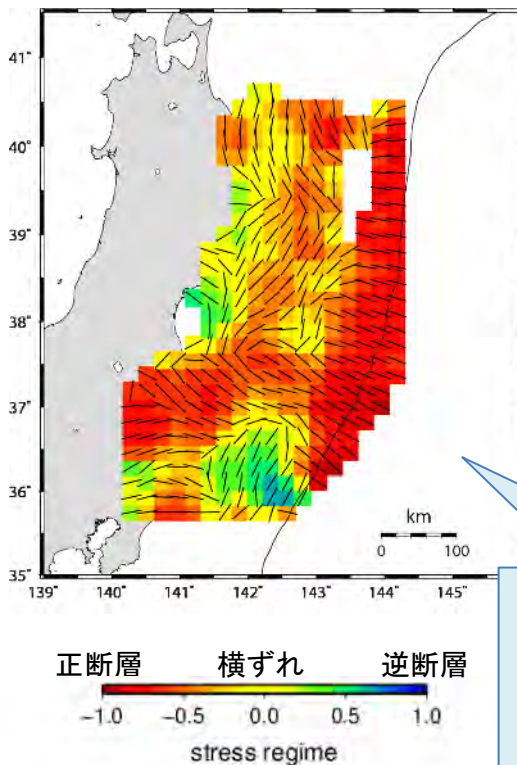
<ウェブ公開準備中>



AIST07: 高分解能地殻応力場の解明と造構造場の研究

●東北地方沿岸海域の応力マップの試作

Shmin方位と応力場



F-net解を使った予察的な結果

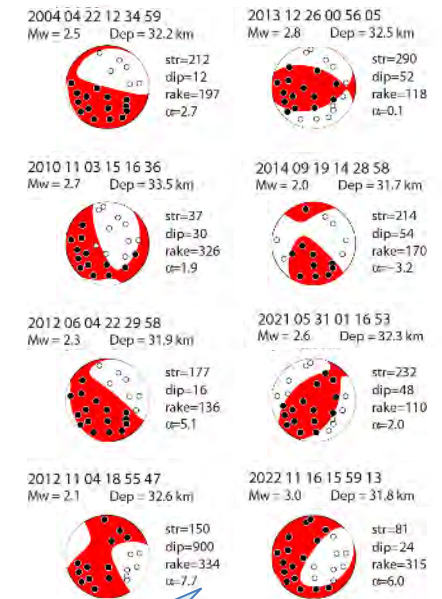
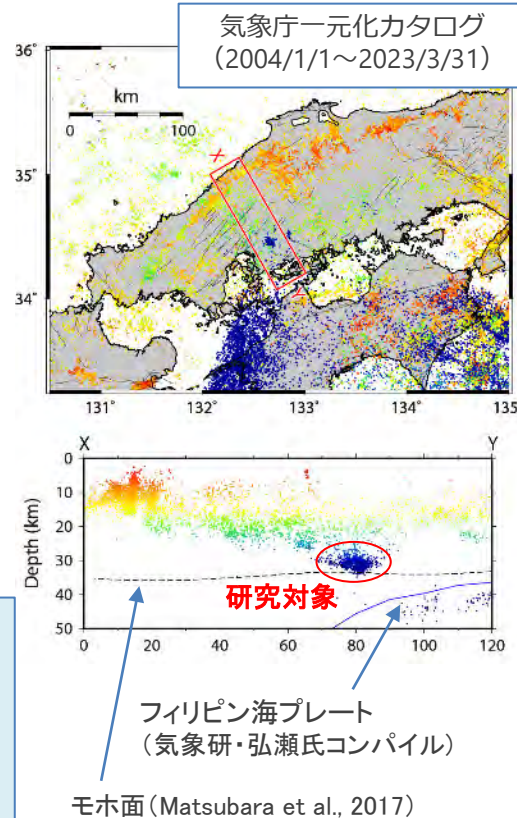
1997/1/1～2022/12/31
の上盤側の地震を使用

今西ほか(2019)による
簡便法により推定

・広い範囲で伸張場が卓越しているが、非常に複雑
・テクトニックな解釈が今後の課題

●広島県西部直下の下部地殻地震のモーメントテンソル解析 (今西・内出, 日本地震学会2023年度秋季大会)

結果の一例



・様々な断層タイプが存在
・微小だが有意な非ダブル
カップル成分を含む

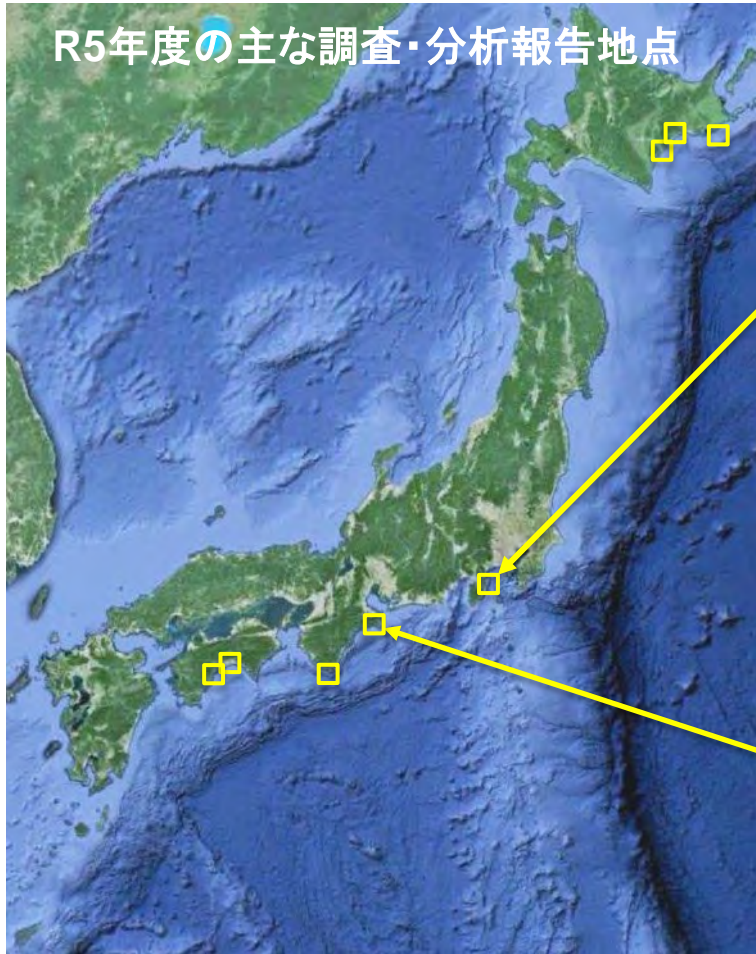
↓
流体関与を示唆

・東北地方沿岸海域における応力マップを試作した(左図)。

・下部地殻地震のモーメントテンソル解を推定し、様々な断層タイプ、非ダブルカップル成分など、流体関与を示唆するデータを得た(右図)。

AIST08: 海溝型巨大地震の履歴とメカニズム解明

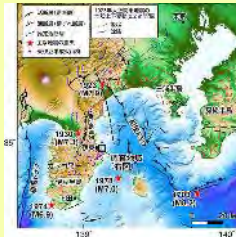
R5年度の主な調査・分析報告地点



東伊豆

静岡県伊東市における海岸隆起の痕跡

- 岩礁に固着する生物の痕跡から過去1500年間で3回の隆起の証拠を発見
- マグマ活動、相模トラフ沿いのプレート間巨大地震や活断層の活動時期と相関

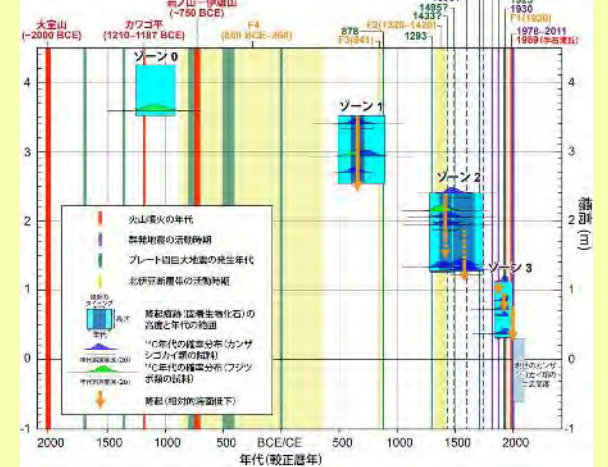


調査地域



隆起した固着生物

固着生物の年代と高さの関係



Shishikura et al. (2023) Tectonophysics

南海トラフ

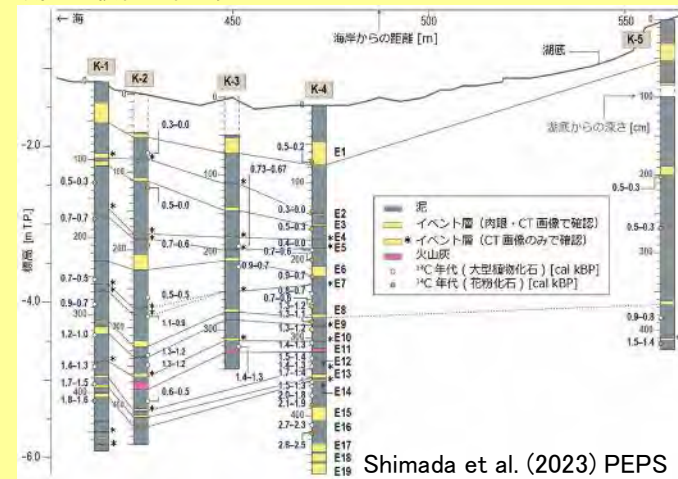
三重県南伊勢町における津波堆積物調査

- 湖底堆積物中から、過去の津波や高潮によって形成されたイベント堆積物を発見



調査地域

湖底堆積物の層序変化



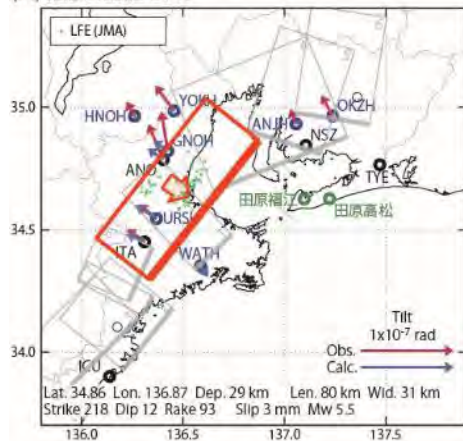
Shimada et al. (2023) PEPS

- 千島・日本海溝: 17世紀千島超巨大地震の津波堆積物調査, 津波浸水時の地形復元に関する調査を実施した。
- 南海トラフ: 高知、和歌山で津波堆積物調査などを実施した。

AIST09: 地下水・地殻変動観測による地震予測精度の向上

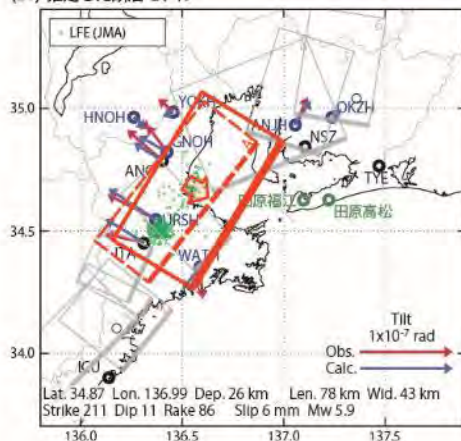
[A] 2023/03/26-28

(b1) 推定した断層モデル



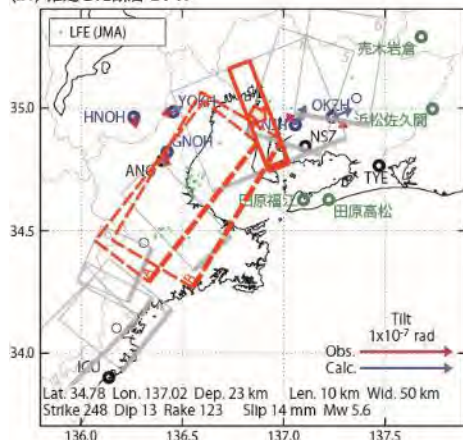
[B] 2023/03/29-31

(b1) 推定した断層モデル



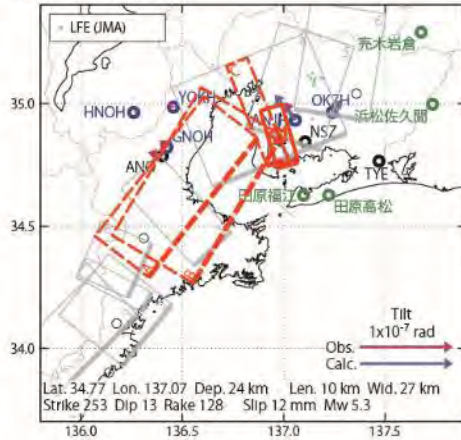
[C] 2023/04/01-04

(b1) 推定した断層モデル



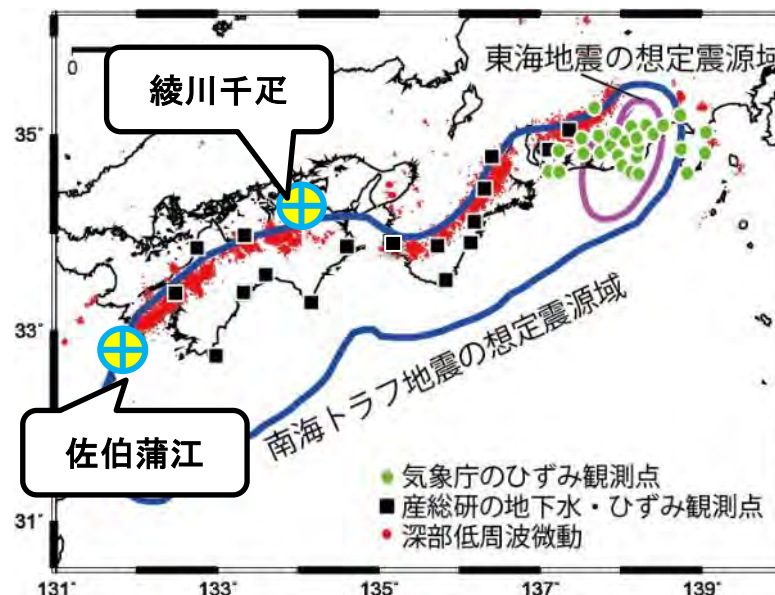
[D] 2023/04/05-07

(b1) 推定した断層モデル



産総研・防災科研のひずみ・傾斜データにより決定したSSEの断層モデルの位置の一例(落・他, 2023)。緑色の丸は同期間の気象庁一元化震源カタログによる深部低周波地震(微動)の震源位置。

- 産総研の観測点
- 気象庁の観測点
- 防災科研の観測点



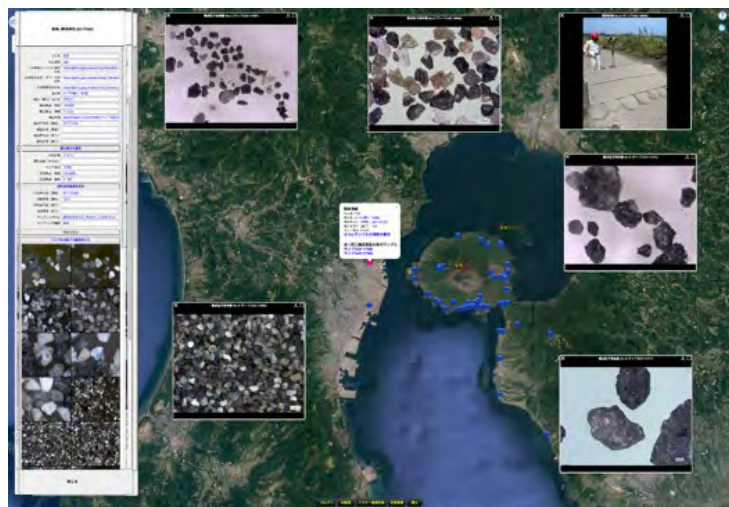
データ蓄積を開始した綾川千疋観測点と新規に整備した佐伯蒲江の位置

・産総研と防災科研および気象庁との共同研究に基づき、3機関のひずみ・地下水・傾斜データをリアルタイムで共有して南海トラフ周辺地域の短期的ゆっくりすべり(SSE)を解析し、2022年11月～2023年10月(1年間)で計40イベントを検出した。SSE断層モデルの推定結果は地震予知連絡会報に掲載した(落・他, 2023; 矢部・他, 2024)。

・南海トラフ地震モニタリングのための地下水等総合観測施設の整備については、新規に完成した綾川千疋観測点のデータ蓄積を開始した。新規に佐伯蒲江観測点を完成させた。

AIST10: 噴出物の物質科学的解析に基づくマグマ供給系- 火道システム発達と噴火推移過程のモデル化

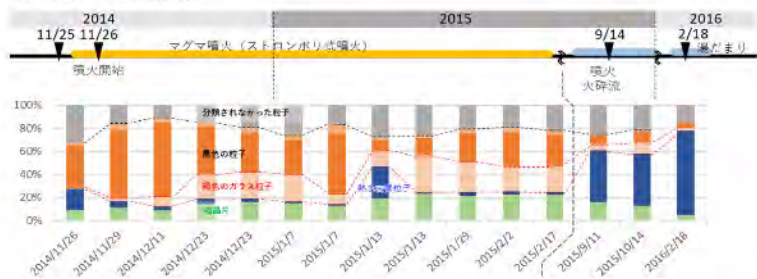
- ・火山灰画像データを中心とした「火山灰データベース」の公開とデータの拡充した。
- ・火山灰画像データの粒子自動分類アルゴリズムの構築と火山灰データベースを用いた教師データ群の作成を行った。
- ・未知試料に対する分類の自動化・高速化し、噴火推移に即応した解析を実現した。



公開中の火山灰データベース

未知試料（阿蘇2014-2016年火山灰）自動分類結果

平均2000粒子/試料（合計34808粒子）
分類時間 3～5分/試料



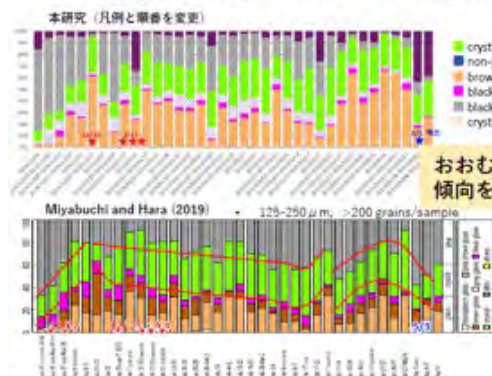
- 切出し済みの平均 1700画像/試料
- 各1分程度で分類

推移に応じた
構成粒子変化を確認

ほかに不確定粒子が全体の約20%（信頼値70%）

- ① 特徴が複数クラスに跨る粒子
- ② 人間でもクラスを迷う粒子
- ③ 想定外の特徴を持つ粒子

手動分類（先行研究）との比較



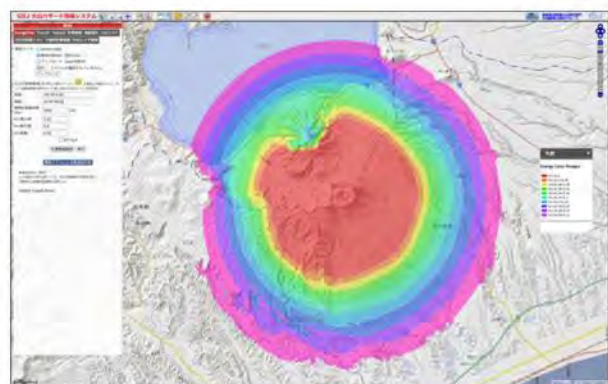
自動分類された粒子の例（★）



AIST11: アジア太平洋地域地震・火山ハザード情報整備

防災・減災のための高精度デジタル地質情報の整備プロジェクト

地質DXの推進のため、火山ハザード情報システムの構築として、(1) オンラインシミュレーションシステム、(2) 噴火パラメータ解析(264ケース)、(3) 降下テフラ分布図のデジタル(GIS)化(172噴火)、(4) 火口位置DBの閲覧検索システム(10火山)、(5) 降下テフラオンライン噴出量解析システム(4モデル)の開発等を進めた。



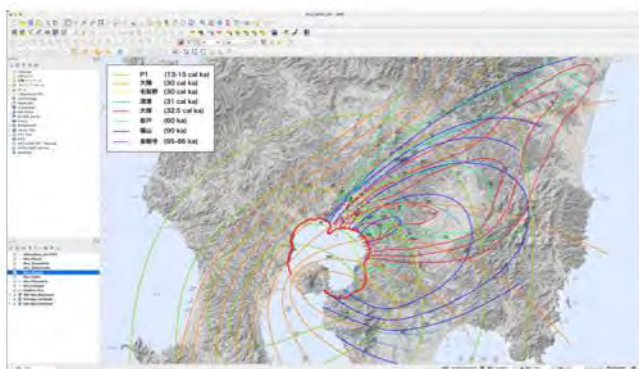
オンラインシミュレーションシステム (Energy Coneモデル, 樽前火山の例)



WMSIによるAPIを用いてQGIS上でTitan2Dによるシミュレーション結果と富士山火山地質図を重ねて表示



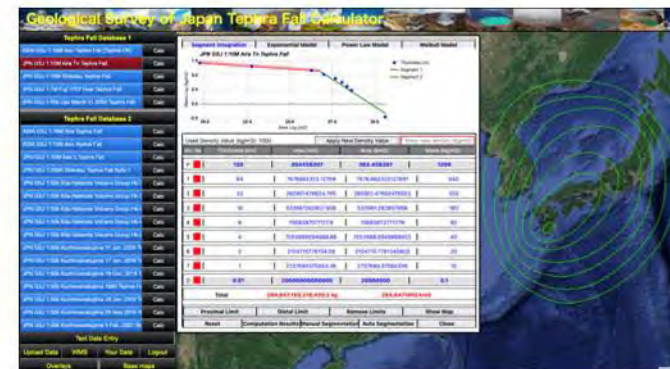
Tephra2による富士山の降下テフラの噴火パラメータ解析事例



デジタル化(GIS化)を行った始良カルデラ及び桜島起源の降下テフラの等層厚線図



火口位置DBの閲覧検索システム (富士火山の例)



降下テフラオンライン噴出量解析システム (区間積分法による始良Tn火山灰の例)