

「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)」 令和元年度成果概要

産業技術総合研究所

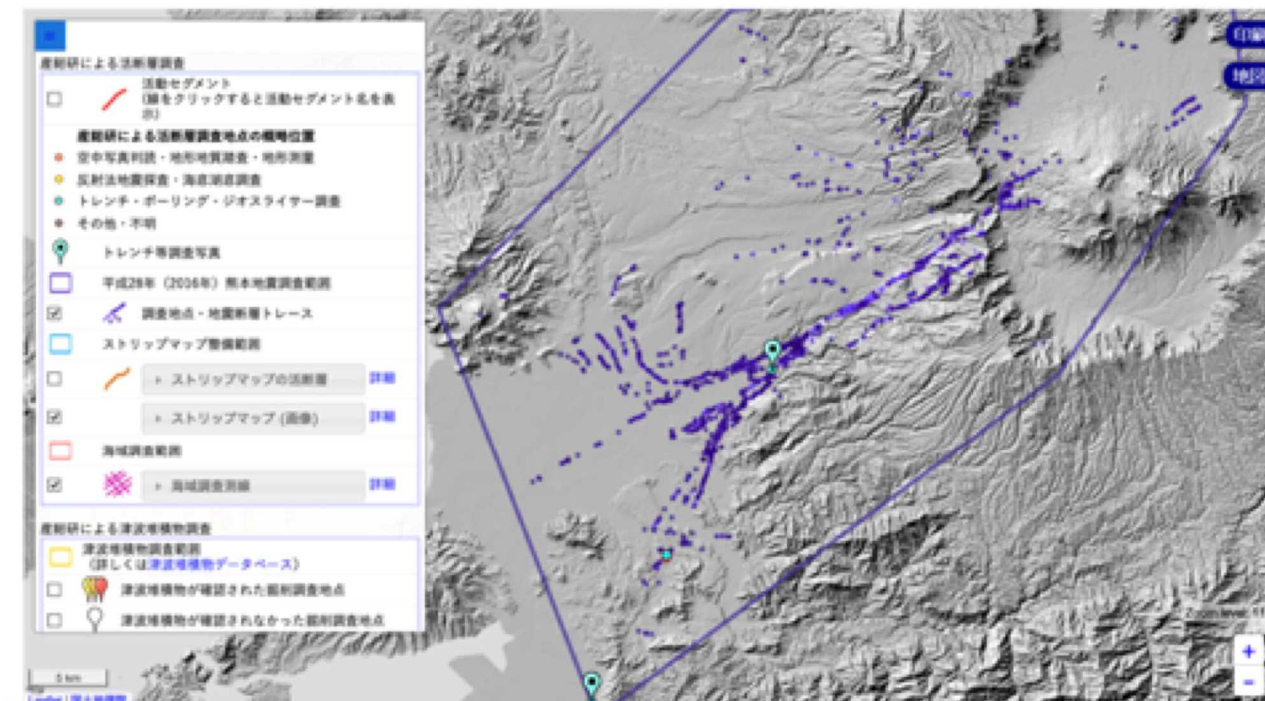
- AIST01: 活断層データベースの整備
- AIST02: 主要活断層帯から生じる連動型地震の古地震学的研究
- AIST03: 地質調査に基づく火山活動履歴の解明と年代測定手法の高度化
- AIST04: 津波浸水履歴情報の整備
- AIST05: 地質調査と実験に基づく、断層の力学挙動についての三次元モデルの構築
- AIST06: 火山性流体観測に基づく噴火発生過程および火山活動推移の解明
- AIST07: 高分解能地殻応力場の解明と造構造場の研究
- AIST08: 海溝型巨大地震の履歴とメカニズム解明
- AIST09: 地下水・地殻変動観測による地震予測精度の向上
- AIST10: 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

- ・ 2016 年熊本地震の地表地震断層の断層出現位置および変位量計測結果に関する情報を追加した。
- ・ 活断層データベースから津波堆積物データベースへのリンク設定を追加した。
- ・ 既に収録されている2万点以上の調査地の情報を精査し、調査地点の位置精度に関する情報を更新した。
- ・ 新規データ入力に関する支援プログラムとサーバのデータを更新するためのプログラムを新規に作成した。
- ・ アクセス集中時におけるシステムダウンを回避するため、サーバ負荷軽減用のキャッシュ機能を追加した。
- ・ 文献検索システムにおけるスペース認識に関する問題点を改善した。
- ・ 研究成果の公表(国内紙への寄稿1件、国際会議および国際シンポジウムでのポスター発表各1件)

産総研による活断層・津波堆積物調査

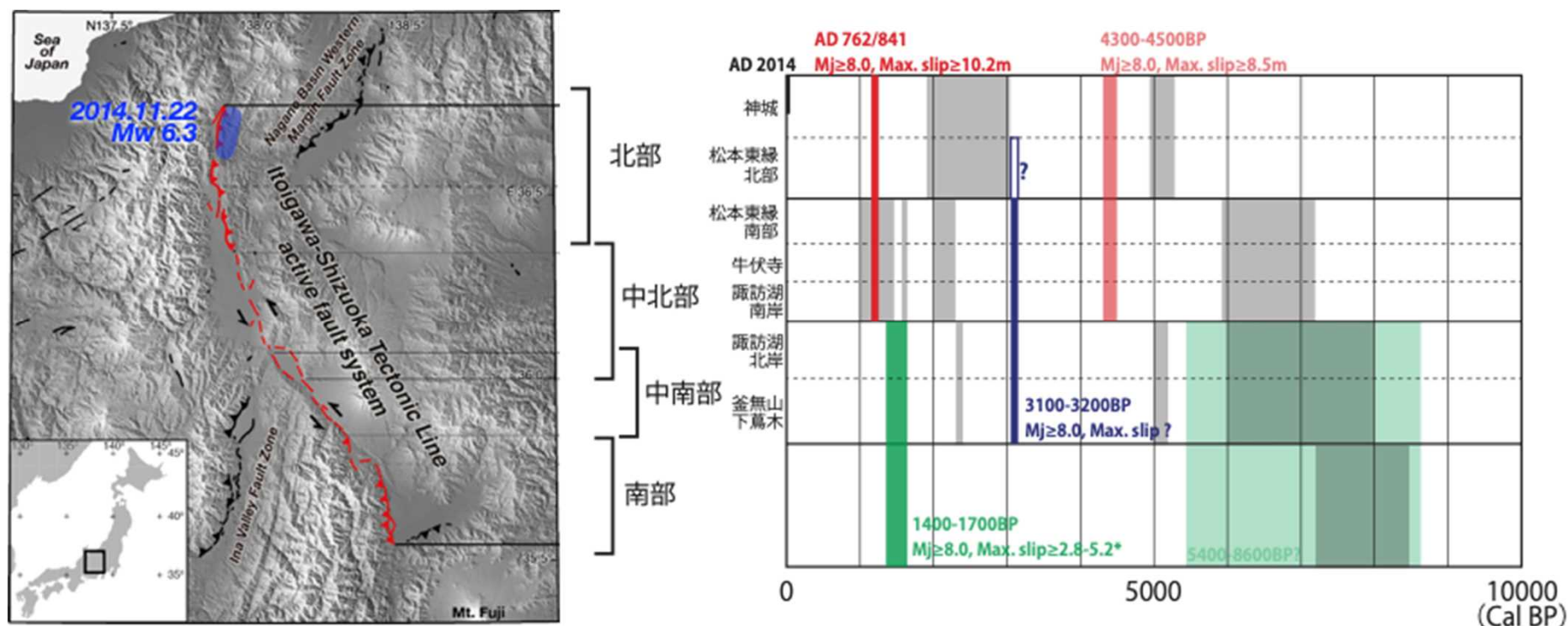
これまでに産業技術総合研究所が実施した活断層調査地点と公表した成果を表示・検索できる画面です。海域調査については、調査範囲や測線をクリックすると各種情報が表示されます。



成果代表：2016年熊本地震の地表地震断層と変位量計測地点に関する調査成果を掲載した。断層断層および各計測地点における変位量などの電子データをダウンロードできるようにした。背景地図は地理院地図(地形陰影図)を利用。

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

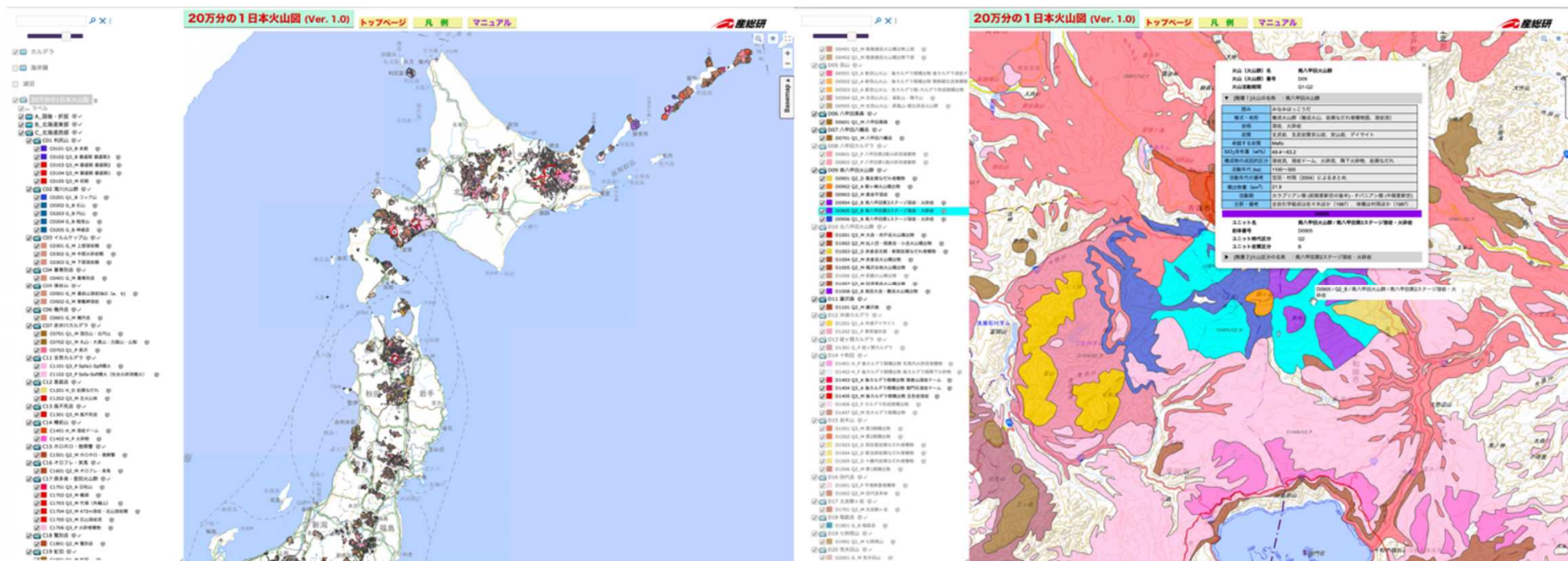
- ・糸魚川—静岡構造線断層帯において地震時変位量等を基に復元した連動型古地震を整理した。
- ・最も新しい連動型イベントは、西暦762年/841年の歴史地震に対応し、北部—中北部区間が連動して7～10m程度の地震時変位を伴っていたと推定される。
- ・過去約1万年間に、北部—中北部区間の連動が2回、中北部—中南部区間が1回、中南部—南部が1回識別された。



成果代表：糸魚川—静岡構造線断層帯の連動型古地震のまとめ.成果の一部は、国際シンポジウム・国内学会での公表、「主要活断層帯から生じる連動型地震の発生予測にむけた活断層調査研究」成果報告書として公表した。

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

- 重要活火山の地質図整備では、恵山の地質図原稿をまとめ、雌阿寒岳、日光白根、秋田焼山でトレンチ掘削に基づく、御嶽火山では地表踏査に基づく噴火履歴調査を行った。
- 活動的火山で高分解能な噴火履歴を得るために、九重火山と蔵王火山で10 万年前より若い火山噴出物のK-ArとAr/Ar年代データの比較研究を行った。
- これら地質調査に基づく科学的知見を背景に、第四紀以降に活動した約440の火山を、20万分の1日本火山図としてWEB公開、プレス発表した。

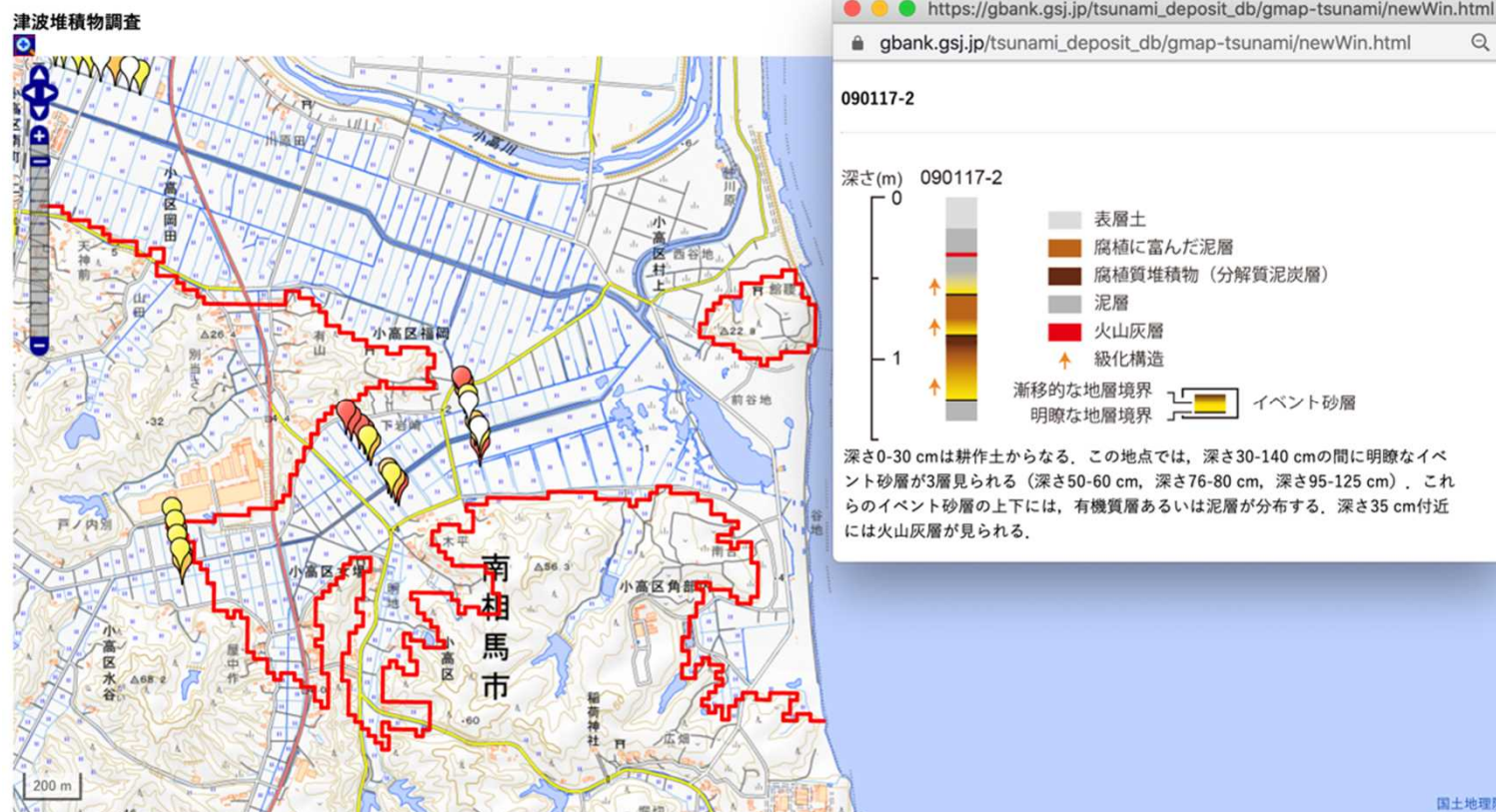


成果代表：日本全国440火山の情報がひとめでわかるウェブ総合システム 世界的にも高精度な「20万分の1日本火山図」データベースをWEB公開した。
北日本地域の火山噴出物の分布(左)と火山噴出物の情報表示(右)の例。背景地図は地理院地図(淡色地図、標準地図)を利用。

AIST04：津波浸水履歴情報の整備

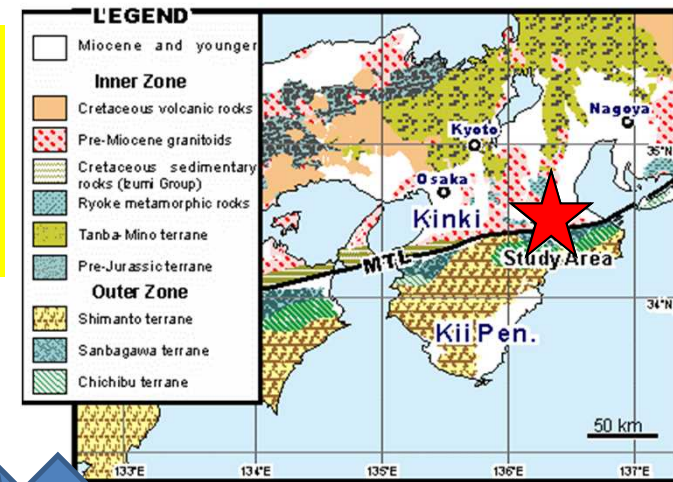
- これまでに産総研が実施した津波堆積物の調査結果(調査地点と地質柱状図など)について、地図上でわかりやすく表示.
- R1年度は福島県, 茨城県のそれぞれ一部地域についてweb公開

津波堆積物データベースにおける福島県南相馬市小高区の調査位置と地質柱状図の情報(地図上のポップアップ画面)および869年貞観地震における推定津波浸水域(赤線)

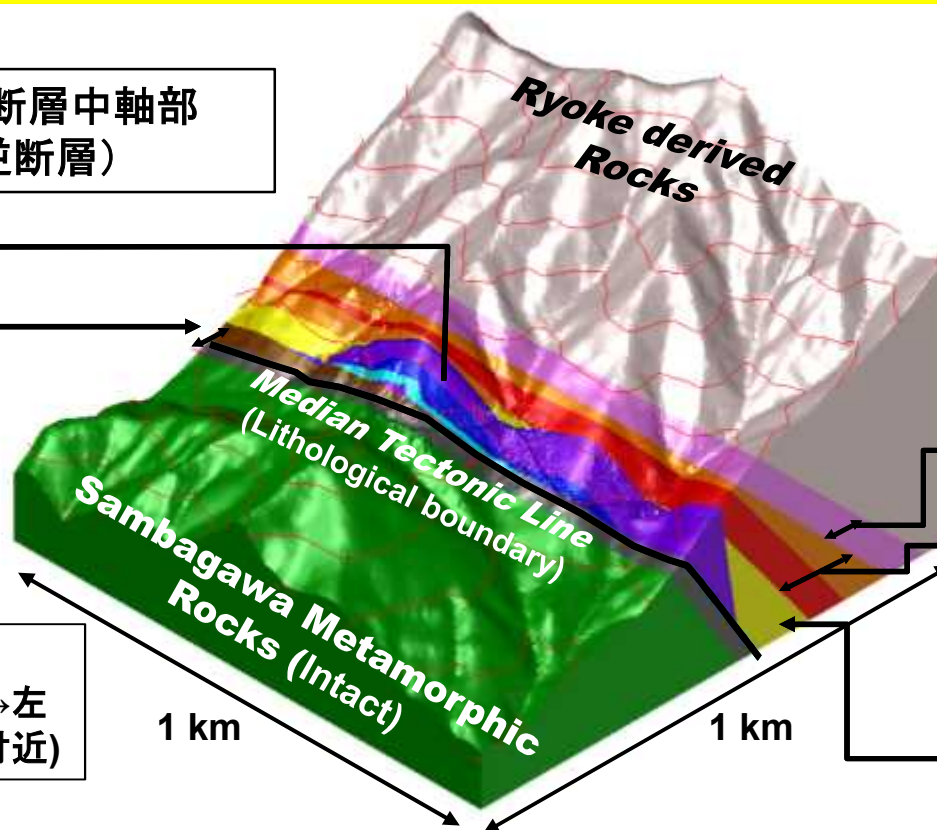


AIST05: 地質調査と実験に基づく、断層の力学挙動についての三次元モデルの構築

- 手法確立のため1 km² の範囲で削剥断層 (三重県中央構造線)の断層内部構造の三次元分布を地質調査により構築。
- 調査範囲内の岩石は変形温度 450℃付近から 250℃付近までと脆性-塑性遷移をまたぐ条件での断層運動を記録。断層深部の構造に浅部で形成した構造が重複。
- 脆性-塑性遷移付近で差応力 200 MPa で変形。より深部でも差応力200 MPa程度と高い差応力で変形。



300℃付近脆性断層中軸部
(左横ずれ逆断層)



より新規の構造
右横ずれ (250℃程度)→左
横ずれ→正断層 (地表付近)

450℃付近で変形したマイロナイト
(左横ずれ逆断層)

350-400℃程度で変形したマイロ
ナイト (脆性-塑性遷移)
赤色: 断層中軸部
(左横ずれ逆断層)

350-400℃程度で変形したマイロ
ナイトの下盤弱変形岩

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

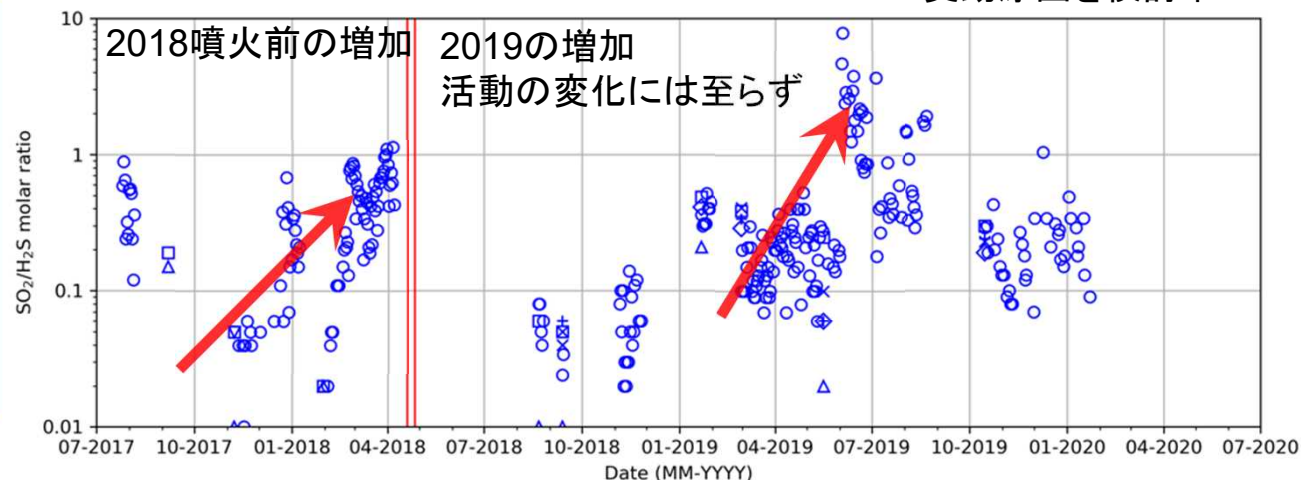
令和元年度成果

Multi-GAS火山ガス組成観測:

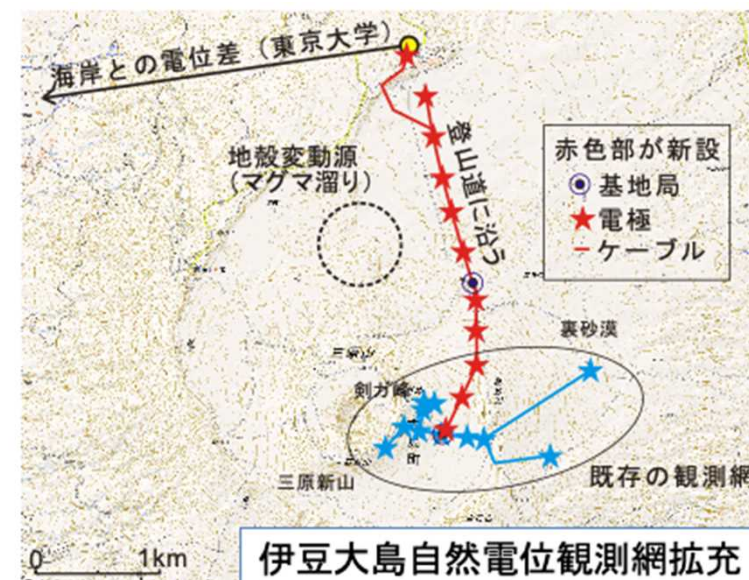
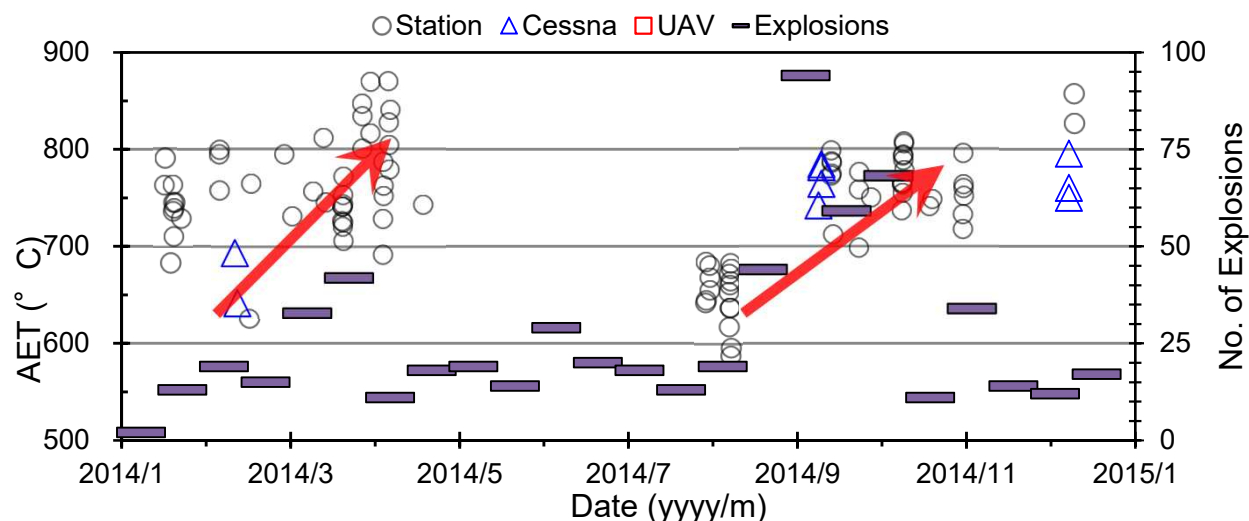
- ・霧島硫黄山連続観測にて $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 変動検出、活動の変化には至らず(右上)
- ・桜島: 長期変動の再解析、見かけの平衡温度と爆発回数の相関の検出(左下)
- ・伊豆大島自然電位連続観測網を拡充(右下)

霧島硫黄山火山ガス $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比変化

変動原因を検討中

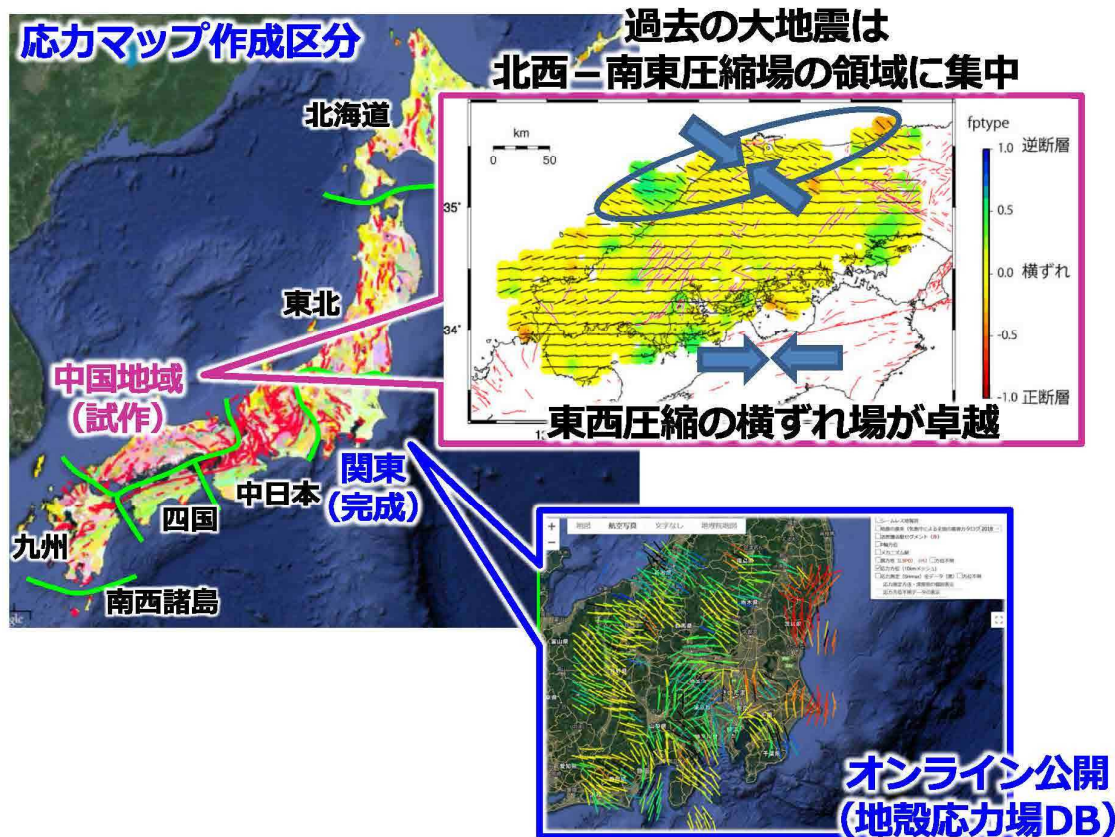


桜島火山爆発回数増加時にガス見かけの平衡温度(AET)増加を検出

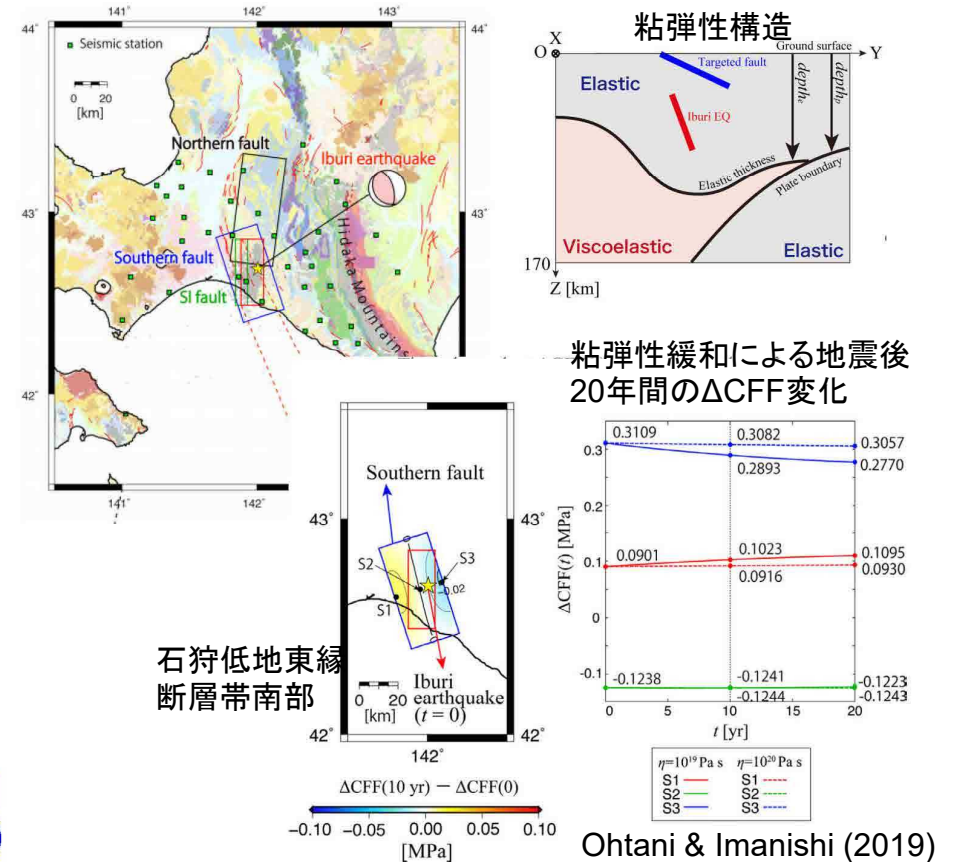


AIST07: 高分解能地殻応力場の解明と造構造場の研究

● 高分解能応力マップ



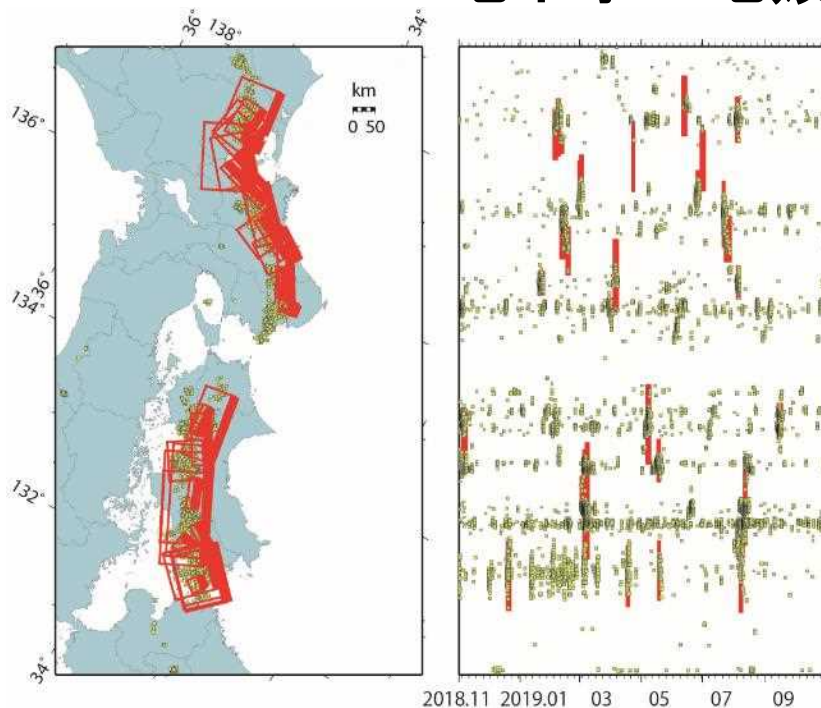
● 粘弾性応答を考慮した地震発生評価



令和元年度の成果

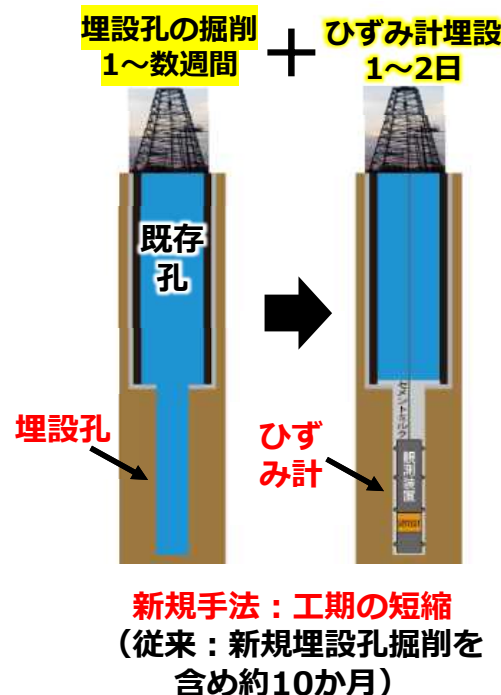
- ・前計画で進めてきた関東地域の 10km メッシュの応力マップに関する成果をオンライン公開(左図)
- ・1943 年鳥取地震(M7.2)や 2000 年鳥取県西部地震(M7.3)が発生した中国地域の 10 kmメッシュ応力マップを試作(左図)
- ・3次元粘弾性地下構造を仮定し、2018年北海道胆振東部地震(M6.7)による周辺活断層への今後20年間にわたる影響を定量的に評価(右図)

AIST09 : 地下水・地殻変動観測による地震予測精度の向上



SSEの断層モデル推定結果
と深部低周波微動の震源

SSEと微動の時空間分布
(2019年4～12月)

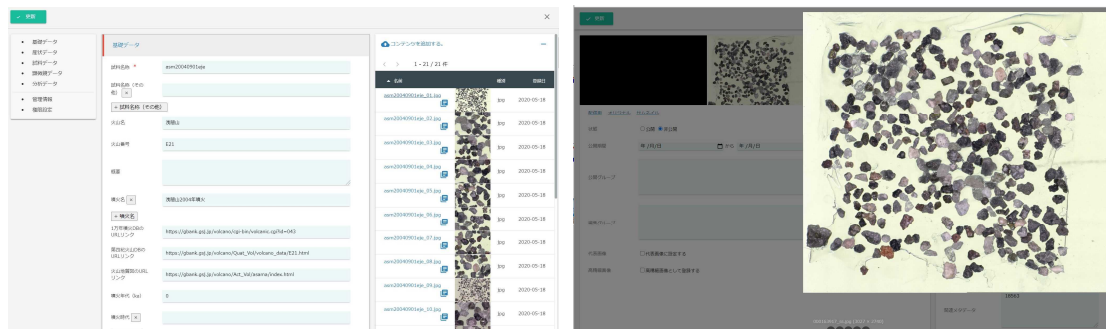


既存の未使用井戸の活用による小口径ひずみ計の埋設



- 産総研・防災科研・気象庁のひずみ・地下水・傾斜データで短期的ゆっくりすべり(SSE)の解析を継続。2018年11月～2019年10月の間に33の短期的SSEの断層モデルを決定(左図、落・他, 2019; 矢部・他, 2020)。
- 安価で短工期でのボアホールひずみ観測の実現を目的として、小口径の多成分ひずみ計および既存井戸への設置手法を共同で開発。同ひずみ計を香川県三豊市の既存井戸に2020年1月に設置(右図)。
- 南海トラフでの海洋科学掘削で得られたロギングデータを解析し、付加体の空隙率と温度構造を従来より正確に推定する手法を開発。船上の実験室で得られたデータをもとに空隙率と電気伝導度・熱伝導率の変換式を構築し、それらを同時に満たす空隙率・温度構造を推定(Yabe et al., 2019)。
- 水文学的・地球化学的手法による地震予知研究についての第18回日台国際ワークショップを主催し、プロシーディングスを公開(Matsumoto and Shieh, 2019)。

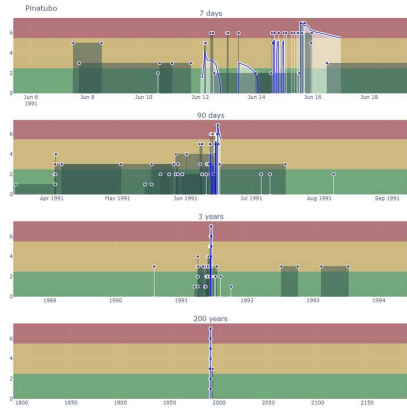
AIST10: 噴出物の物質科学的解析に基づくマグマ供給系- 火道システム発達と噴火推移過程のモデル化



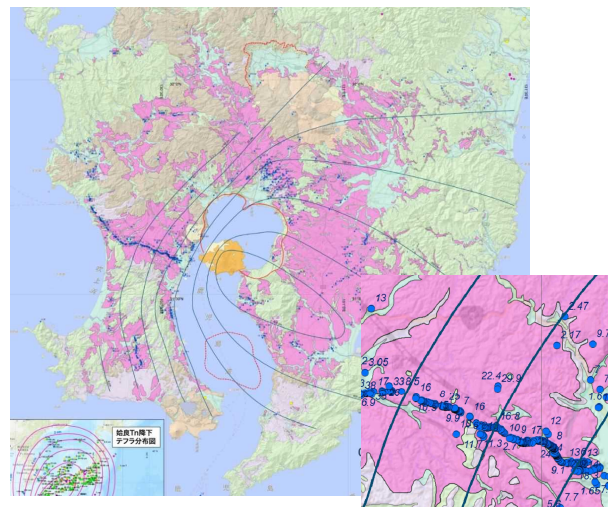
火山灰DBに収録された火山噴出物試料の例. 浅間山2004年9月1日火山灰試料の全体(左)と収録された顕微鏡写真(右)

Pinatubo 1991 Eruption¹⁾

火山名: ピナツポ (Pinatubo)¹⁾
国: フィリピン¹⁾
地域: ルソン群¹⁾
噴火開始日時: 1991年4月2日¹⁾
VEI: 6¹⁾
噴出量: 5 km³ DRE (ダイサイト質)¹⁾
最高噴煙柱高度: 34 km

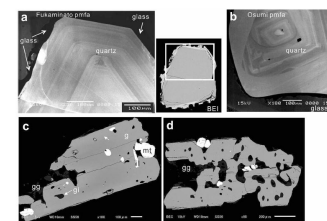


目撃記録の残る大規模火砕噴火の推移を統一的な形式で図示したDBの作成. ピナツポ1991年噴火の事例

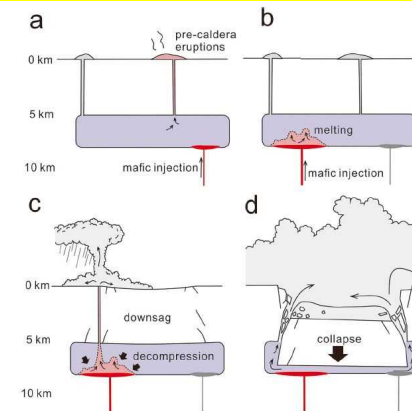


後期更新世~完新世の主要な大規模火砕流の分布や層厚等の情報をコンパイルした火砕流分布図の作成. 詳細な層厚データなど掲載

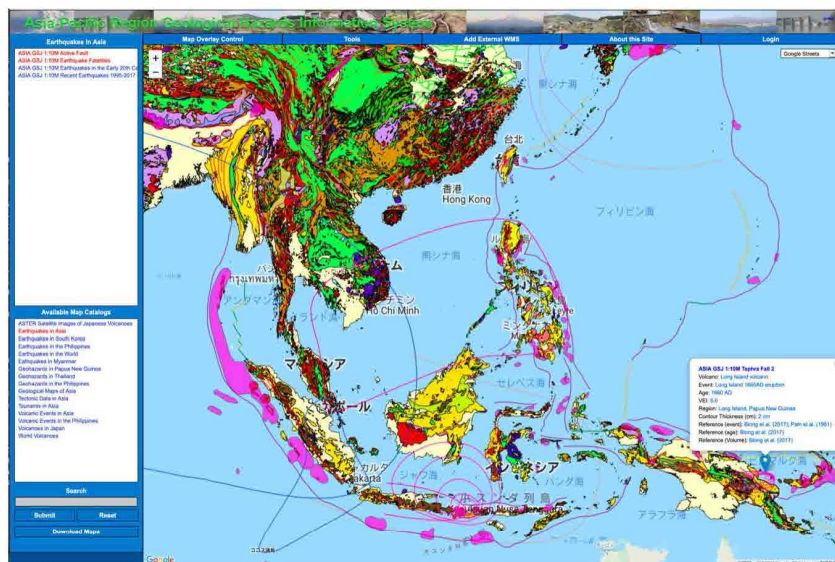
- 国内外の火山噴出物の産状及び構成粒子情報を収録した「火山灰データベース」を試作し、約930火山灰試料の約4000データを収録中.
- 既存の噴火記録情報約30の歴史記録の残る爆発的噴火の噴火事例を収集し、統一形式で比較可能な噴火推移情報データ集を作成
- 国内外の大規模火砕流噴火の噴火推移等についてマグマシステムの発達や火砕流の分布等を取りまとめ、火砕流分布図の作成を開始
- 噴出物や火道構造から噴火を駆動するマグマ供給系の発達過程を復元. 始良カルデラの事例について成果公表



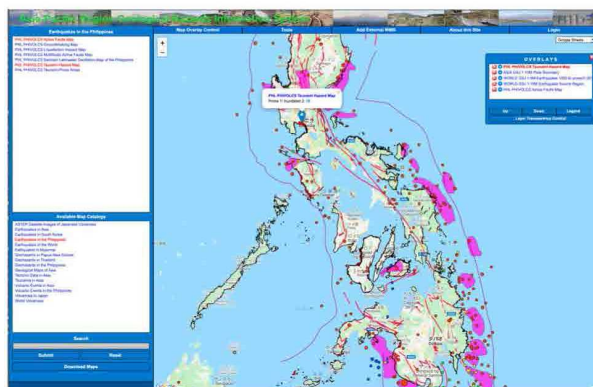
大規模火砕流噴火の噴出物に対する岩石学的解析から、噴火推移メカニズムを考察. 始良カルデラ入戸火砕流の事例



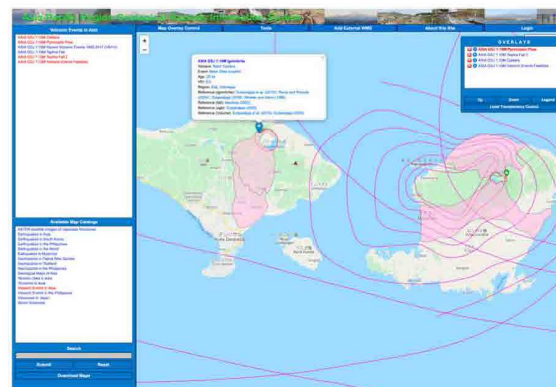
AIST11: アジア太平洋地域地震・火山ハザード情報整備



東・東南アジア地域を中心とした各種のハザード関連情報（全87レイヤ）を、一元的に閲覧検索できる新システムを構築。



アジア太平洋地域地質ハザード情報システム上で、フィリピン付近のハザード情報を整備（活断層分布、震源域、震源分布、津波ハザードマップを表示）



東・東南アジア付近の火砕流、降下テフラ、カルデラのGISデータを整備（インドネシアバリ島、ロンボク島付近）。

- 東・東南アジア地域のCCOP各国と協力し、東・東南アジア地域と中心としたハザード関連情報を一元的に閲覧可能な”アジア太平洋地域地質ハザード情報システム”を構築した(<https://ccop-gsi.org/gsi/geohazard/>),
- 東アジア地域地震火山災害情報図に未掲載のデータを新たに整備した（津波分布域、震源域、活断層、地震犠牲者数、震源、大規模火砕流、カルデラ、降下テフラ）。
- 新規データのGIS化を行い、一部を産総研研究資料集として公開した（石川，2019；松本，2019；宝田，2019a, b, c）。
- WebGISの国際標準形式により、上記データをハザード情報システム上で閲覧検索可能とした。
- 1995年以降の近年の地震及び火山イベントのハザード関連情報を取りまとめた。
- WebGISシステムの内容を国際誌に掲載した（Bandibas and Takarada, 2019a, b）。

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) 令和元年度年次報告

国土交通省 国土地理院

- GSI_01 内陸の地殻活動の発生・準備過程の解明
 - GSI_02 プレート境界面上の滑りと固着の時空間変化の広域的な把握
 - GSI_03 火山地域のマグマ供給系のモデリング
 - GSI_04 GNSS連続観測(GEONET)
 - GSI_05 地形地殻変動観測
 - GSI_06 物理測地観測
 - GSI_07 宇宙測地技術による地殻変動監視
 - GSI_08 GNSS観測・解析技術の高度化
 - GSI_09 全国活断層図整備
 - GSI_10 火山基本図・火山土地条件図整備
 - GSI_11 地殻活動データベース整備・更新
- 地震予知連絡会

2019年6月18日山形県沖の地震

2019年6月18日に発生した山形県沖の地震について、GNSSで観測された地殻変動を基に震源断層モデル（矩形断層一様滑り）を推定した。主な特徴は以下の通り。

- ・北東_南西走向で上端深さ約8kmの断層面上における逆断層運動が推定される。
- ・推定された断層面の水平位置は、震源分布と整合している。
- ・推定されるモーメントマグニチュードは6.4。

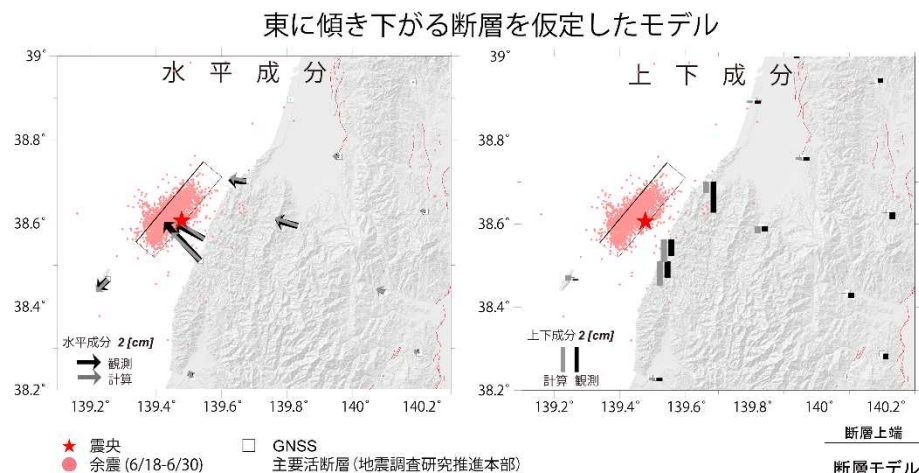


図1 東に傾き下がる断層面を仮定した場合の震源断層モデル。
(左) 水平成分、(右) 上下成分。

- ※ ★印は震央、点は余震分布（気象庁一元化震源を使用）。
※ 矩形は震源断層モデルを地表に投影した位置で、太い実線が断層上端。

経度 [°]	緯度 [°]	上端深さ [km]	長さ [km]	幅 [km]	走向 [°]	傾斜 [°]	滑り角 [°]	滑り量 [m]	M _w
139.339 (0.028)	38.556 (0.018)	7.6 (2.2)	27.7 (4.9)	7.4 (2.3)	40	32 (7.4)	95 (5.2)	0.7 (0.3)	6.36

表1 東に傾き下がる断層面を仮定した場合の震源断層モデルパラメータ

- ※ 1 矩形断層1枚での推定結果。位置は断層の左上端を示す。
() 内は誤差を示す (1σ)。
※ 2 断層走向は震源分布を基に固定
※ 3 剛性率は30GPaを仮定

新潟ひずみ集中帯

ひずみ集中帯内部の詳細地殻変動分布の解明と地殻変動の特徴的パターンを生み出す地下の変形過程の解明のため、新潟県佐渡市から阿賀町においてGNSS繰り返し観測を毎年10-11月に実施し、ひずみ速度分布を計算した。

- ・新潟県周辺では、東北地方太平洋沖地震の余効変動により東西方向の伸張が卓越していたが、時間と共に伸張は小さくなってきている。
- ・2016年以降は北西_南東方向の短縮が卓越しつつある。

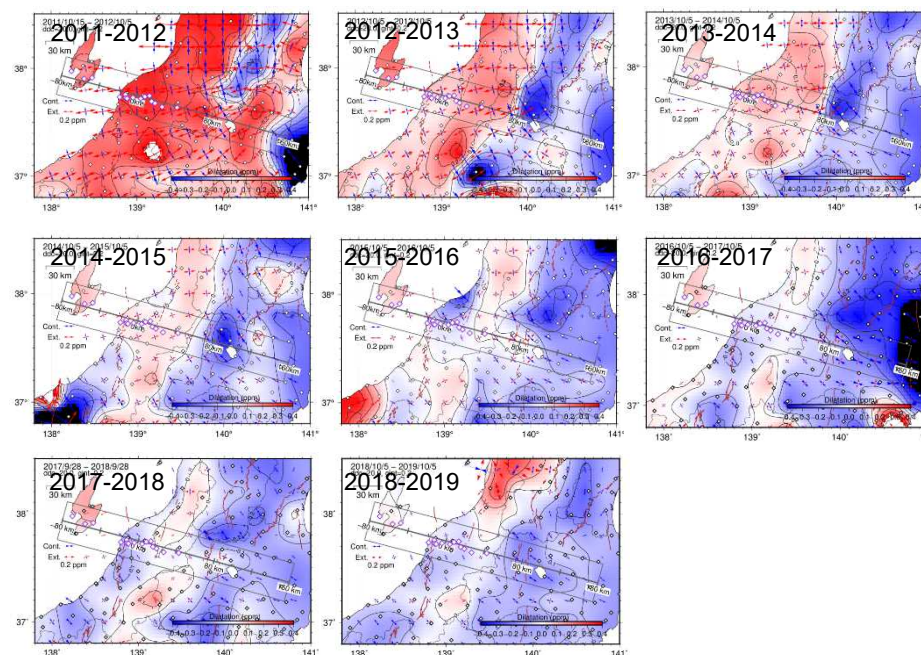
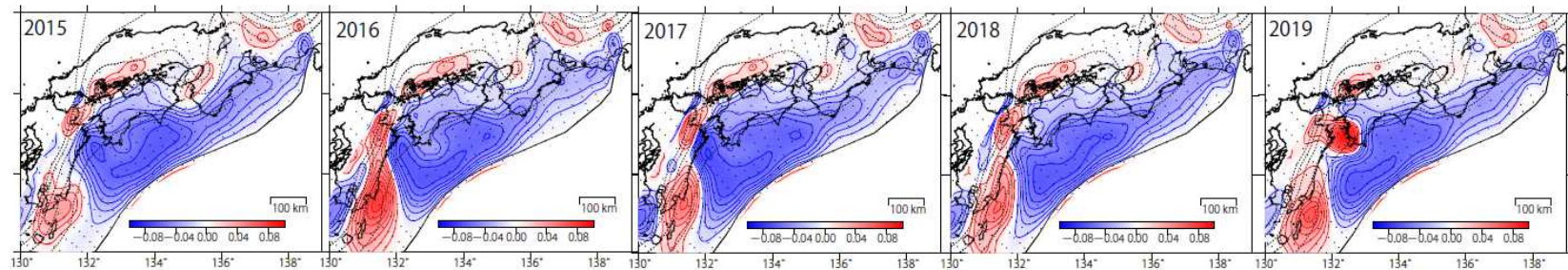


図2 東北地方太平洋沖地震発生半年後から1年間毎に計算した新潟県周辺のひずみ速度分布

- ※ 計算期間は図中左上に記載。
※ 2018年～2019年の新潟県北部の伸張ひずみは、2019年6月18日山形県沖の地震の影響によるもの。

フィリピン海プレート・アムールプレート間の滑りと固着

フィリピン海プレート・アムールプレート間の滑りと固着の推定を最新のデータまで含めて行った。その結果、2019年の豊後水道のSSE等のプレート間固着の変化が検出された。また、九州・四国の遷移変動から、2018年6～10月に日向灘北部でSSEが発生し、2018年10月以降に豊後水道でSSEが発生した。1996-1997、2003、2009-10年の豊後水道のSSEでは滑りの速度が最大時に四国側から九州側に滑りが移動しているが(e.g. Yoshikoka et al 2015)、2018-2019年のSSEは日向灘北部で滑りが始まり、豊後水道に滑り域が移動し、滑りの速度が最大時に、豊後水道から、四国南西部及び日向灘北部に滑り域が拡大している。特に日向灘北部のSSEは2回発生したように見える。この滑り過程の違いは、2016年熊本地震の応力変化の影響を受けている可能性がある。



コンター間隔 1 cm 赤：滑り、青：固着

図1 フィリピン海プレート・アムールプレート間の滑りと固着の推定結果。赤が滑り、青が固着を表す。

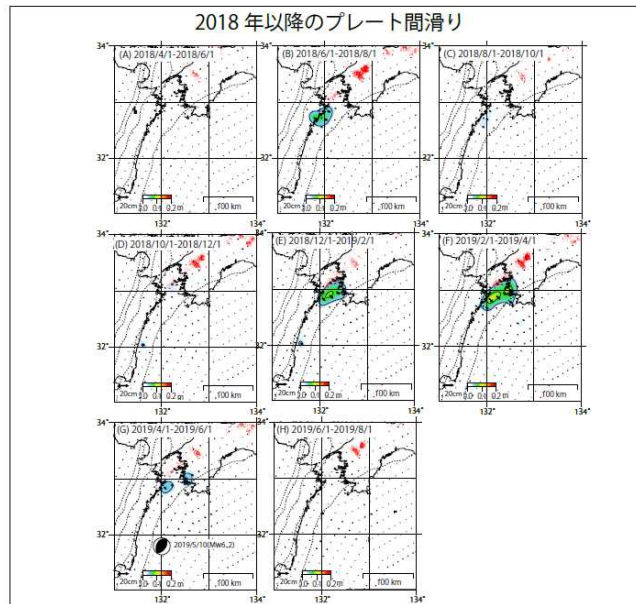


図2 2018年以降の非定常滑り

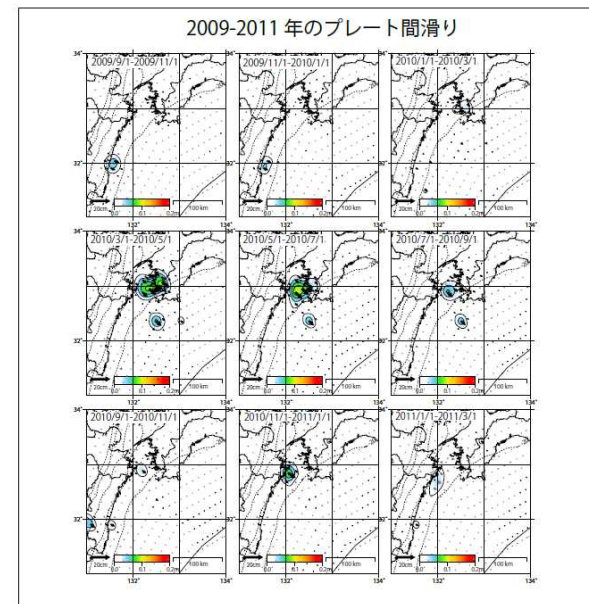


図3 2009-2011年の非定常滑り

伊豆大島および桜島・霧島を対象に、時間依存インバージョンによる火山地殻変動力源の推定を行った。その結果、伊豆大島では膨張・収縮を繰り返しながら体積増加が継続していることが確かめられた。最近の伊豆大島は体積減少が継続している。桜島では、膨張収縮を繰り返しながら体積増加が継続していることが確かめられた。霧島では、2011年、2018年の噴火時に収縮し、その前後で体積増加が起きていることが示された。

■霧島・桜島

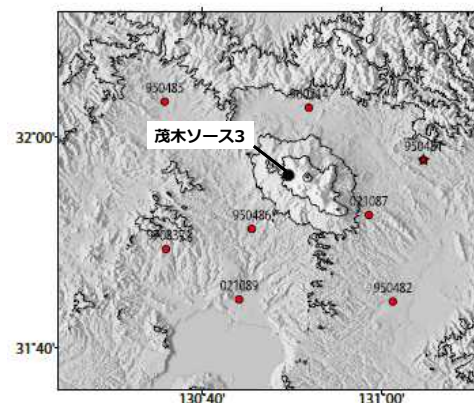
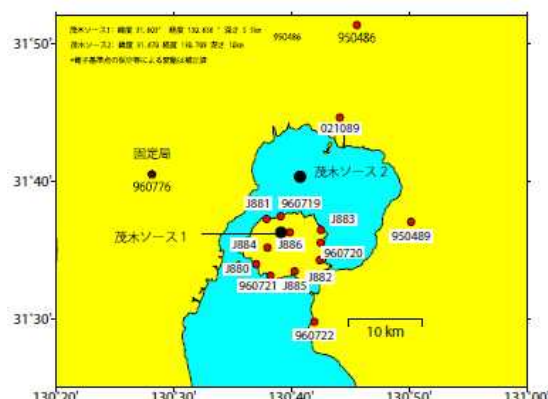


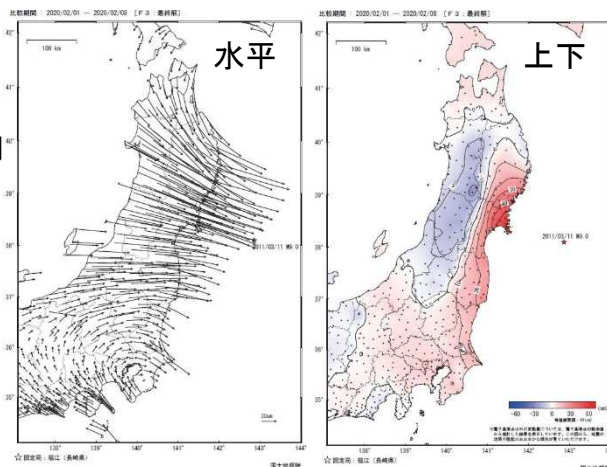
図2 (上) 観測点配置および推定された力源の位置
(下) 力源の堆積膨張量
力源としては、球場圧力源（茂木ソース）を仮定

GEONETによる地殻変動モニタリング

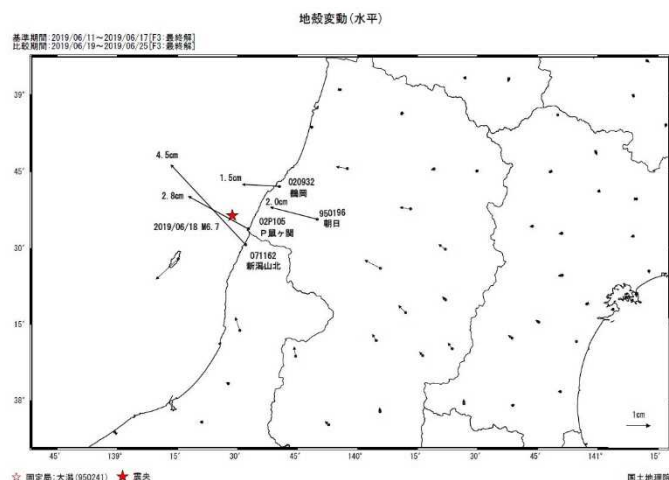
東北地方太平洋沖地震の余効変動、平成28年（2016年）熊本地震や平成30年北海道胆振東部地震などの地震活動、箱根山や霧島山、硫黄島などの火山活動、房総半島や豊後水道でのスロースリップイベント等に伴う地殻変動を検出。

■東北地方太平洋沖地震の余効変動

地震翌日～2020年2月



■2019年6月18日 山形県沖の地震（M6.7）に伴う地殻変動



モニタリング結果は、速やかにホームページなどで公表するとともに、地震調査委員会、火山噴火予知連絡会などに報告し、評価に活用。

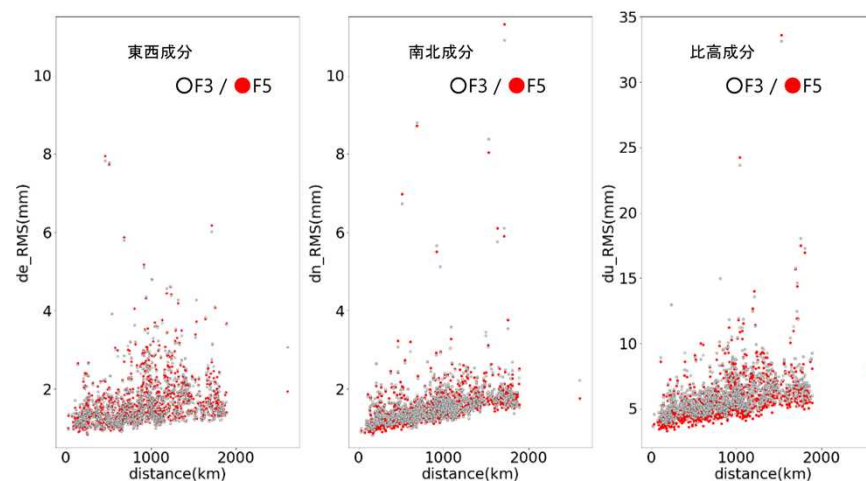
新解析戦略（第5世代解析ストラテジ）の検討

現在のF3に代わる新しい解析ストラテジ（F5）を開発、得られた解を2020年3月24日から試験公開中。

主な更新点

- ・基準座標系をITRF2014 (IGS14) へ更新
- ・解析固定点算出手法の変更 ・ IGS解への整合性、安定性が向上
- ・対流圏遅延モデルに用いるマッピング関数を更新

F3解およびF5解の基線安定性



- ※ 電子基準点「福江」（長崎県五島市）を固定した各電子基準点間の基線ベクトルの成分（東西・南北・上下成分）について、時間に対する直線トレンドからの残差のRMSを計算したもの。（期間は2018年の通算日001-090）
- ※ F5解は、東西・南北成分はF3解と大きな差は無いが、比高（上下）成分で安定性が向上。

干渉SAR

だいち2号のデータを用いて国土全域を対象にSAR干渉解析を実施し、地震や火山活動に伴う地殻変動を検出した。

解析結果は、地震予知連絡会、地震調査委員会や火山噴火予知連絡会に迅速に提供され、地震・火山活動の評価や噴火警戒レベルの検討等に活用された。

■西之島の火山活動

2019年12月からの火山活動の活発化に伴い、高頻度に観測されたSARデータの解析を実施した。

- ・溶岩の堆積等によるとみられる非干渉領域（砂目の場所）が見られ、海岸線まで到達している。また、堆積した溶岩の経時変化等によるとみられる複雑な変動が見られる。（図1）
- ・西側及び北側から東側で溶岩等によるものとみられる地形及び海岸線の変化が見られる。（図2）

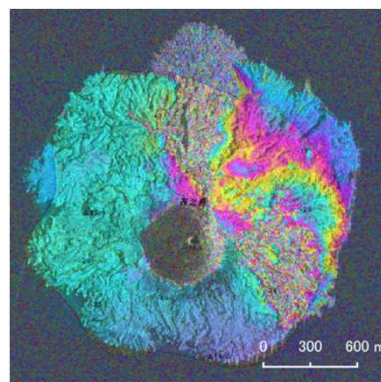
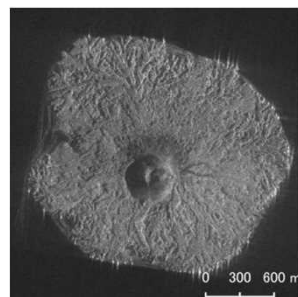
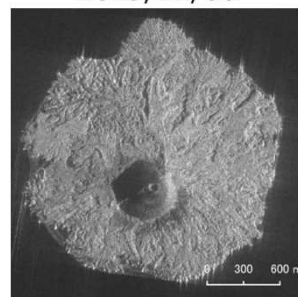


図1 西之島のSAR干渉画像
(2020/02/28-2020/03/13)



2019/12/06



2020/03/13

図2 西之島のSAR強度画像

■アメリカ・カリフォルニア州の地震

地震発生直後に観測されたSARデータの解析を実施した。

- ・北西－南東方向の長さ約40kmの変位の不連続が検出された。
- ・局所的な変位不連続を複数捉えるなどの複雑な変動が観測された。

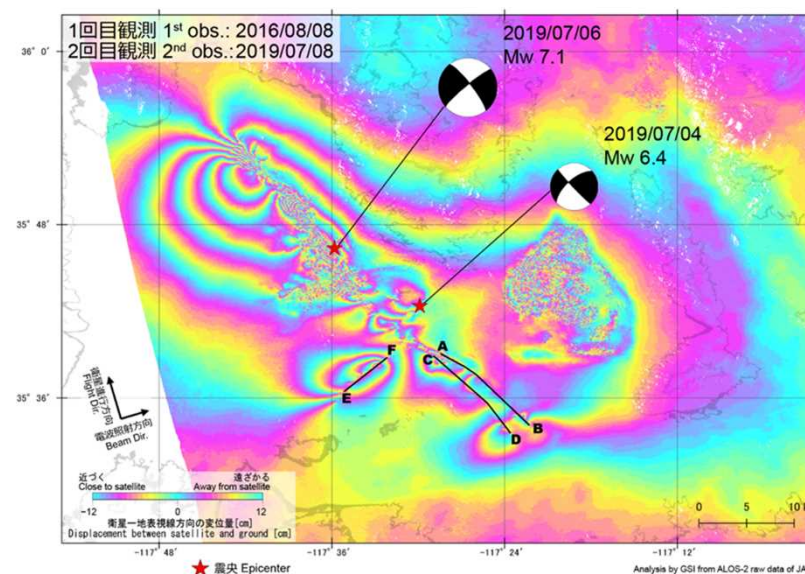


図3 2016/08/08-2019/07/08のSAR干渉画像

VLBI

18年間観測したつくば局が2016年12月運用を終了し、石岡局がその役割を引継いだ。石岡局のデータを含む世界各国で行われているVLBI観測データを全地球的に解析し、観測局位置とその変化、基線長変化等を求めた。

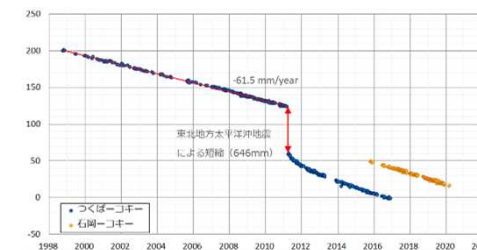


図4 VLBIで得られた日本（つくば局・石岡局）_ハワイ（コキー局）間の基線長変化

汎用的な機器を用いたGNSS観測点のデータを活用した地殻変動観測システムの開発

低価格GNSSアンテナと低価格GNSS受信機を用いたシステムで試験観測を実施した結果、マルチGNSS観測及び設置環境に応じた位相特性の補正を実施しなければ性能が不十分であることが判明した。さらに、GNSSアンテナの位相特性を算出し、これを考慮した上でGPSとGLONASSを用いたキネマティック解析（2日間、30秒間）を実施した結果、約30kmの長距離基線での標準偏差が水平20mm以内、上下45mm以内となった。



使用した低価格アンテナ（多周波に対応）

アンテナ名	対応周波数	対応衛星システム	位相特性補正	価格
1	L1, L2, L5	GPS, GLONASS, Galileo	Yes	約1万円
2	L1, L2, L5	GPS, GLONASS, Galileo	Yes	約3万円
3	L1, L2, L5	GPS, GLONASS, Galileo	Yes	約6万円
4	L1, L2, L5	GPS, GLONASS, Galileo	Yes	約15万円

使用した低価格受信機（4以外；4は一体型）



u-blox ZED-F9P
対応衛星システム：
GPS, QZSS, GLONASS,
Galileo, BeiDou
価格：約3万円

図1 使用した低価格GNSSアンテナおよび受信機



図2 使用した基線および機種毎の座標再現性

No.	受信機・アンテナ構成	FIX率 [%]	標準偏差 [mm] (FIX解のみ)		
			南北	東西	上下
1a	Zephyr (測)	100.0	6.9	5.8	19.9
1b	Zephyr (低)	100.0	10.2	8.3	29.5
2	小峰 (低)	95.3	20.0	13.7	43.1
3	TOP (低)	99.8	14.9	8.9	23.7
4	Tallys (低)	94.5	17.5	11.9	40.6
5	小峰 (一体)	100.0	11.7	10.2	32.3
参考	Zephyr (測) GPSのみ	99.1	9.7	6.4	24.1

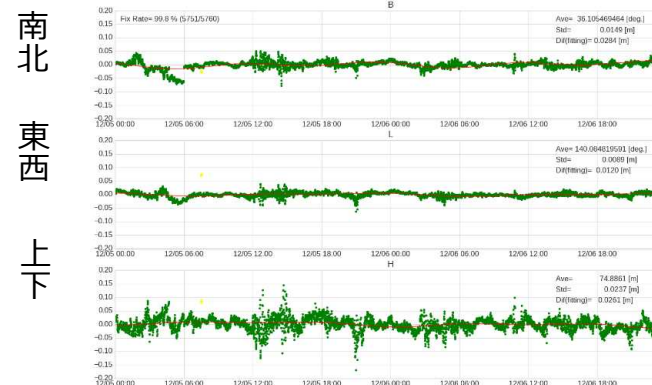


図3 キネマティック座標解の例（No. 3）

電子基準点リアルタイム解析システム（REGARD）の高度化

電子基準点リアルタイム解析システムの変動点検知機能を強化した。令和元年6月18日に発生した山形県沖を震源とする地震において、震源近傍の観測点で約5cmの地殻変動をリアルタイムに検知し、後処理解析と整合する結果を得た。

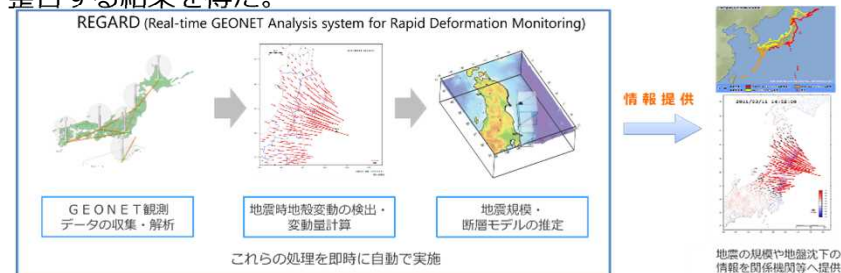


図1 REGARDの概念図

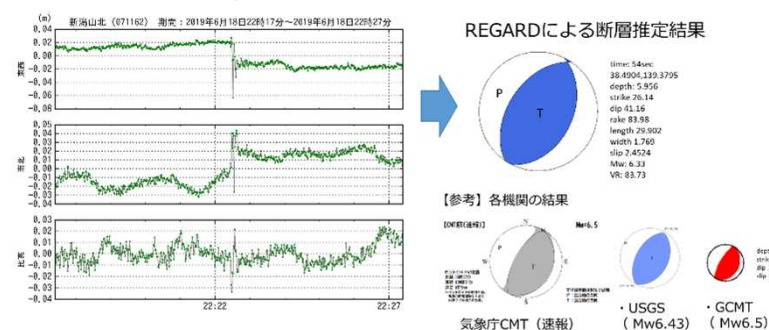


図2 REGARDによる電子基準点リアルタイム解析結果および断層推定結果

- 「**地震予知連絡会**は、地震活動・地殻変動などに関するモニタリング結果や地震の予知・予測のための研究成果などに関する情報交換を行うことにより、モニタリング手法の高度化に資する役割を担う。」
- 「**地震予知連絡会**は、議事公開、重点検討課題などの検討内容のWeb配信などを通じて、モニタリングによる地殻活動の理解の状況、関連する観測研究の現状を社会に伝える。また、地震活動の予測手法の現状を報告、検討することで、地震発生の予知予測に関する研究の現状を社会に伝える。」



- 観測結果の報告、情報交換、検討（「モニタリングに関する議題」）と、注目すべき最近の研究成果に関する報告と討議（「重点検討課題」）で議事を構成し、年4回の定例会を実施
- 議事は公開（事前申し込みにより隣接会議室での傍聴が可能）

令和元年度の重点検討課題

地震予知連	コンビナー	課 題 名
第223回(2019/05)	篠原委員	西南日本日本海側の地殻活動
第224回(2019/08)	松澤委員	日本列島地殻・上部マントルのレオロジーと地震活動
第225回(2019/11)	尾形委員	地震発生の予測実験の試行06
第226回(2020/02)	高橋委員	地表に痕跡を残さない地震

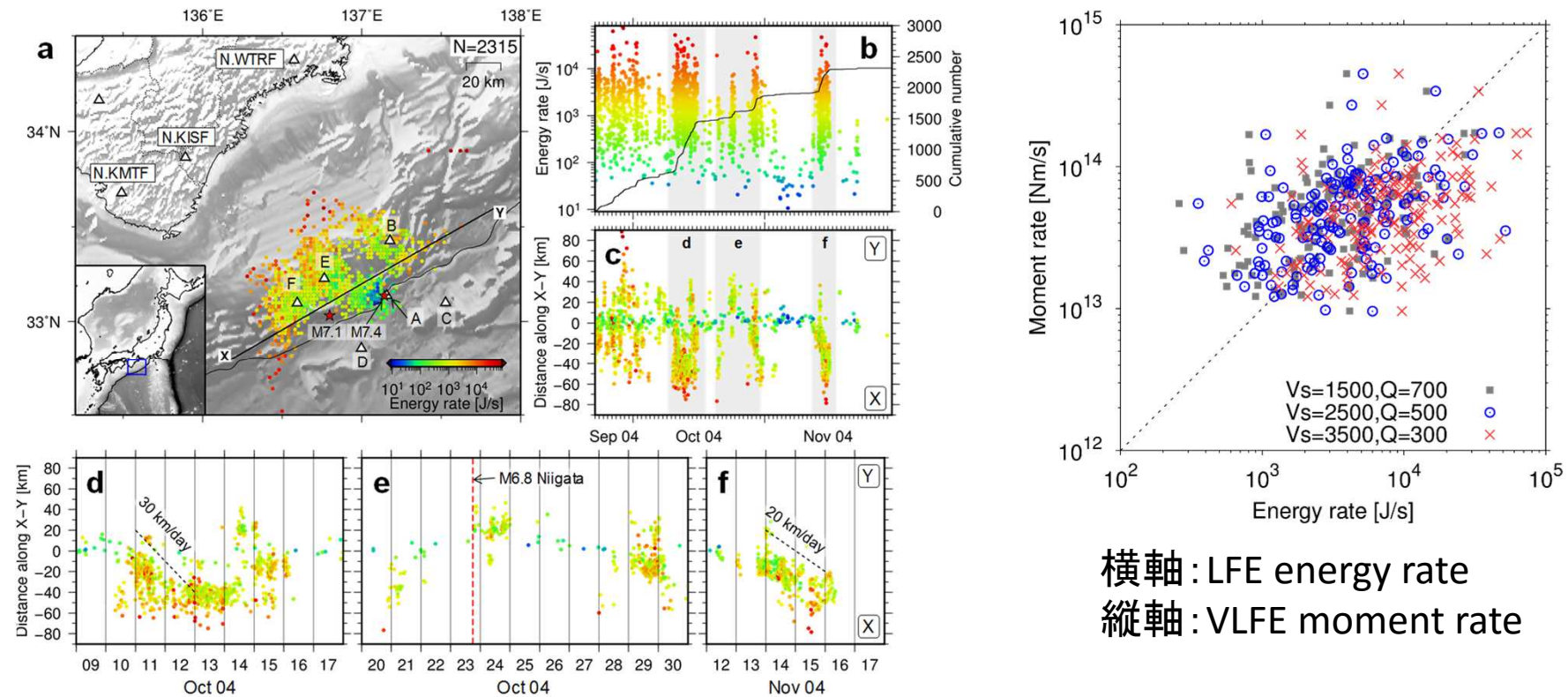


災害の軽減に貢献するための 地震火山観測研究計画（第2次）

令和元年度年次報告

気象庁

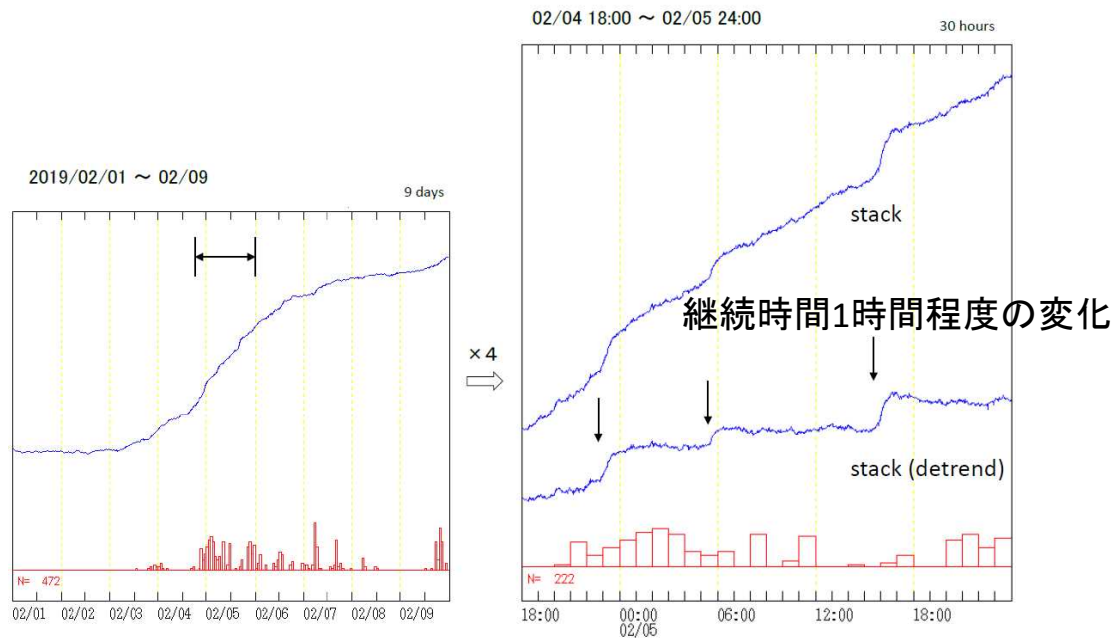
2004年紀伊半島南東沖の地震後の浅部低周波地震



Tamaribuchi et al. (2019)より

2004年紀伊半島南東沖の地震後の海底地震計データから、浅部低周波地震活動を検出した。浅部低周波地震は海溝軸より陸側に多く分布しており、移動や応力変化に伴う活発化が見られた。浅部低周波地震(LFE)と浅部超低周波地震(VLFE)の規模の間には一定の関係が見られ、同じすべり現象と考えられる。

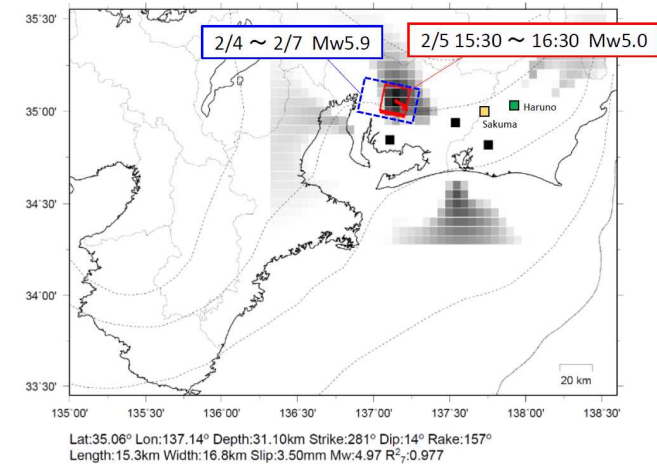
継続時間1時間のスロースリップの発見



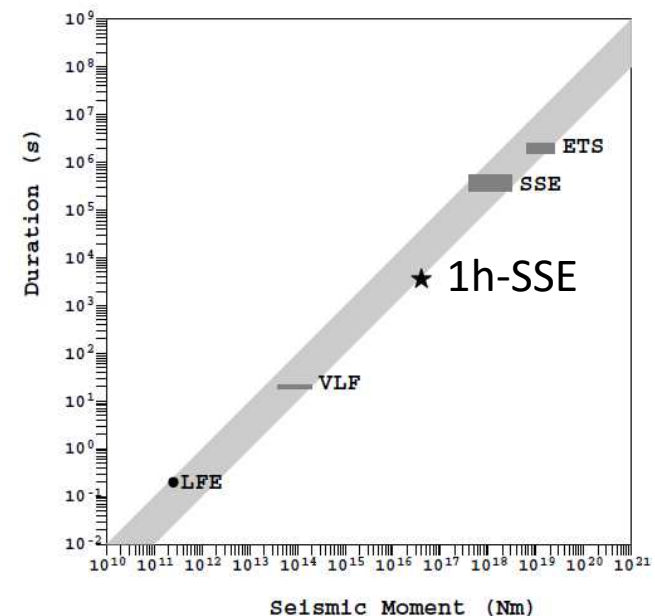
ひずみスタッキング波形

(左)短期的SSEに伴う変化、(右)左図矢印期間の拡大

レーザー式変位計及びひずみ計データを用い、継続時間約1時間のスロースリップ現象を発見した。そのスロースリップは通常の短期的スロースリップが発生している期間中に発生したもので、Mw5.0ほどの規模を持ち、Ide et al. (2007)のスロー地震のスケーリング則と調和的であった。



1h-SSEの変動源は、短期的SSEと同じ場所に求まる



伊豆大島火山の坑井温度データの解析 火山の熱水系に関するパラメタの推定

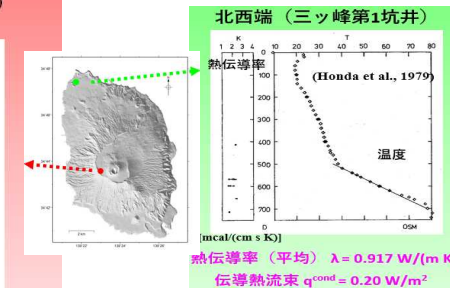
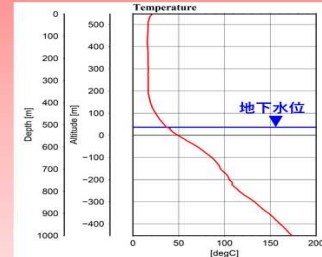
伊豆大島火山の熱・水収支モデルの構築(目標)に向けて、地震研究所による坑井温度データを解析し、熱・流体の流れ、浸透率の分布を推定できた。(産総研と共同)

使用した伊豆大島火山の坑井の温度データ(地震研究所による)

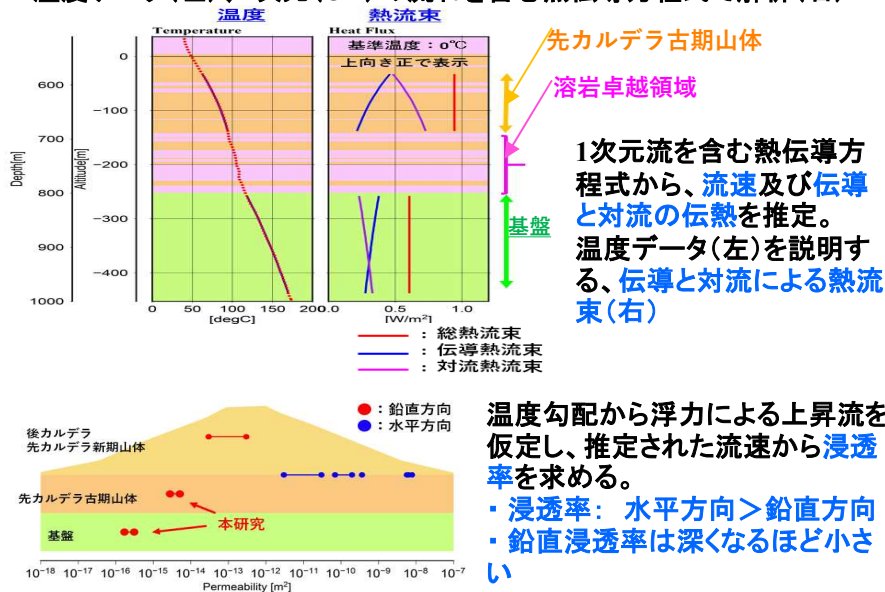
カルデラ内坑井 (東京大学地震研究所)

深度: 1000 m (1998年掘削)

温度測定: 1998年7月15日



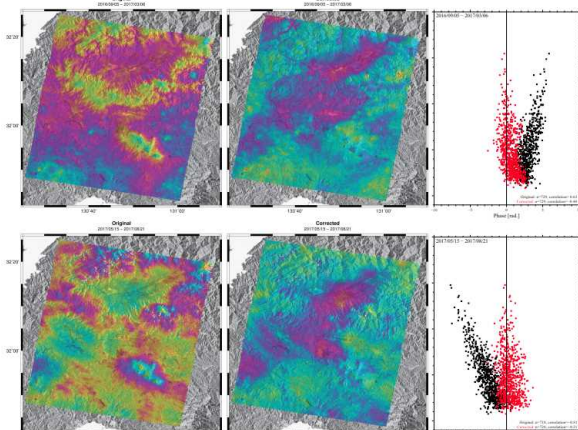
温度データ(左)、1次元(UD)の流れを含む熱伝導方程式で解析(右)



干渉SAR対流圏遅延補正プログラム開発

干渉SAR解析における対流圏遅延を、数値気象モデルGPVにより補正する手法の開発中。メソ解析値から視線方向の遅延量を計算する手法を開発し、標高のノイズが顕著に減少する効果を得た。

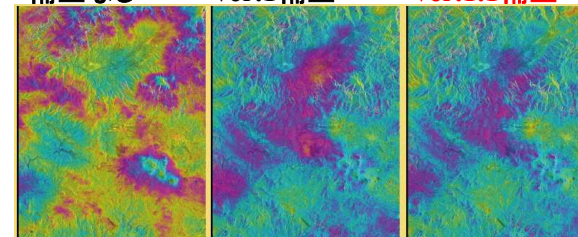
SAR解析の対流圏遅延補正で、視線方向の遅延量を、気象庁メソ解析値から計算する方法を開発し(ver. 1)、結果を評価(屈折率は小澤・清水(2010))。補正により標高のノイズが顕著に減少した(下図はその2例)が、改善しない領域もみられた。



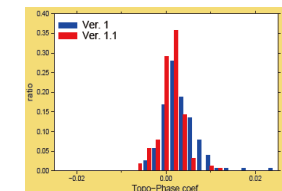
霧島山[夏季-冬季]の干渉ペアで、左は補正無し、右は補正あり。散布図は縦: 標高、横: 位相差(赤: 補正有)

特定領域で改善しない原因は、数値予報モデル地形より実地形の標高が低いことによる。改善法を検討し、適用。(ver.1.1)。

補正なし ver.1補正 ver.1.1補正



標高・位相の1次回帰係数の相対度数分布、ver.1.1で分布が狭くなり改善。



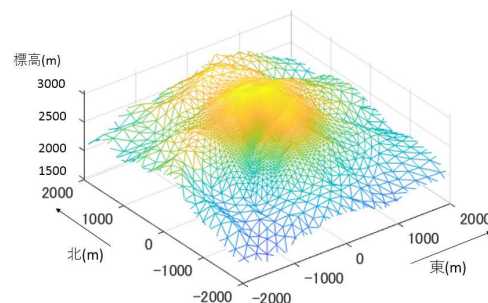
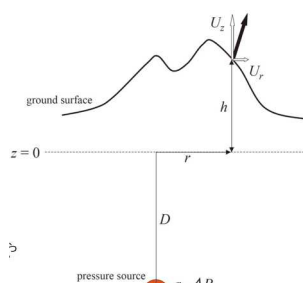
PALSAR-2 データは PIXEL の共有で、JAXAと地震研究所との共同研究契約により JAXA から提供された。所有権は JAXA にある。干渉画像の作成には RINC (Ozawa et al., 2016) を利用。国土地理院の数値地図(10m メッシュ(標高))による DEM を使用。ここに記して御礼申し上げます。本研究の一部は、地震研究所特定共同研究(B) (2018-B-02) で行われた。

境界要素法に基づく傾斜計データの評価

浅部圧力源による地殻変動の山体形状の影響を、境界要素法で計算。従来の「標高補正茂木モデル」は地形を含めごく浅部の圧力源に適用できないため、地形の影響を予め評価する必要性を示す。

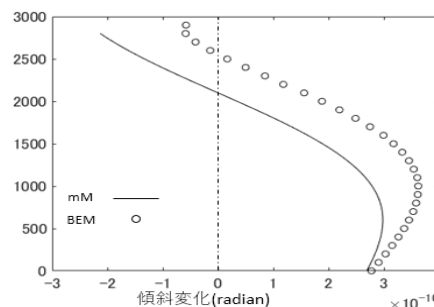
標高の高い火山では、圧力源の標高は山麓観測点と同程度が高くなる場合がありうる。地殻変動観測データ解釈の問題。

従来の「標高補正茂木モデル」(mM, 右図) (技術報告第53号)では、**圧力源が観測点標高より高くなると、傾斜変動が反転する問題。モデルの適用限界を超える。**



より確からしい地殻変動を求めるため**3次元「境界要素法(BEM)」**で浅部圧力源による変動を計算した。左は御嶽山のモデル。

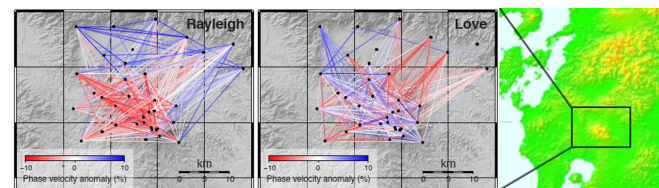
BEMで求めた山体変形では、**圧力源の標高が観測点より高くなっても、傾斜は反転しない。**右は飯森高原傾斜計(標高2130m)の例、反転するのは約400m上。



地震波干渉法によるマグマ供給系の解明

霧島山周辺地下のS波速度構造を地震波干渉法で求め、マグマだまりと解釈される V_{SV} の低速度体を検出し、 V_{SV} と V_{SH} の不一致を説明する、内部のシル状構造を推定した。(震研・京大院と共同)

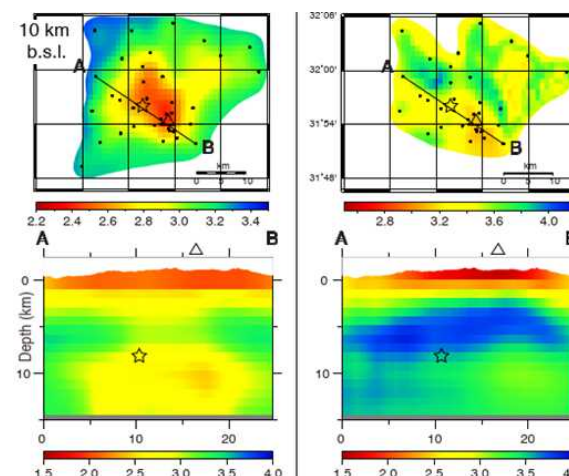
霧島山周辺、2011/4~2013/12 (2年9か月)、各機関37観測点3成分の速度波形によるランダムな波動場(脈動)を使う。



観測点間の**相互相関関数**によって、↑パスごとに、**Reighly波(左)とLove波(右)**の領域平均に対する速度異常の分布

⇒ 速度異常トモグラフィ

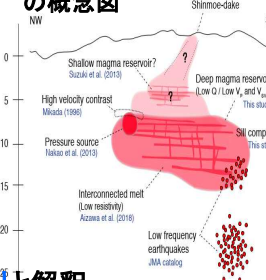
⇒ V_{SV} (左下)と V_{SH} (右下)の速度構造[km/s]: この不一致が、**マグマだまりの内部構造**に制約を与えられる可能性



$V_{SV} \sim 2.6$ km/s
 $V_{SH} \sim 3.7$ km/s

不一致 (深さ7~15kmの低速度)
⇒ **マグマだまり内のシル構造**で、説明が可能。

霧島山の**マグマ供給系**の概念図



V_{SV} 構造では**大きな低速度体**を検出。**マグマだまり**と解釈。

V_{SV} と V_{SH} の不一致より、**マグマだまり内のシル状構造**を示唆。

地殻変動源や深部低周波地震活動と合わせ、**マグマ供給系**を考察。

・地磁気永年変化によるD I 効果の補正手法の開発

火山活動に伴う全磁力変化を抽出するために、通常、火口周辺での全磁力と火山活動の影響を受けない参照点の全磁力の差を求める。しかし、両地点での偏角・伏角の違いから、全磁力差には見掛け上の変化が生じる（D I 効果）。このD I 効果は、参照点に設置された地磁気三成分磁力計データを用いて補正することができる（D I 補正）。

しかしながら、長期的に安定した地磁気三成分のデータを得ることはかなり困難であり、地磁気永年変化のD I 補正が課題として残っていた。そこで、人工衛星観測に基づく高精度の全球地磁気モデルによる地磁気三成分値を使う方法を考案し、伊豆大島をテストフィールドとしてD I 補正を適用した。ここで、D I 補正係数は全磁力観測点および参照点での偏角・伏角の直接測定によって求めた。

三原山火口北側に設置された2つの観測点（図1）では、40m程しか離れていないにもかかわらず、その全磁力の永年変化の傾向（トレンド）は大きく異なっている（図2のグレー）。これらに対して上述したD I 補正を施すと、そのトレンド差の大部分が解消することが確かめられた（図2の青と緑）。すなわち地磁気永年変化に伴うD I 効果が、全磁力観測値のトレンドに大きな影響を与えていたということがわかった。

今回の研究によって、地磁気永年変化に対するD I 効果の有効な補正法が示された。このD I 補正手法により、火山活動に伴う全磁力変化の抽出がより正確にできるようになり、火山活動の活発化に伴う火山体内の熱源の規模や位置を特定する精度が向上すると期待される。

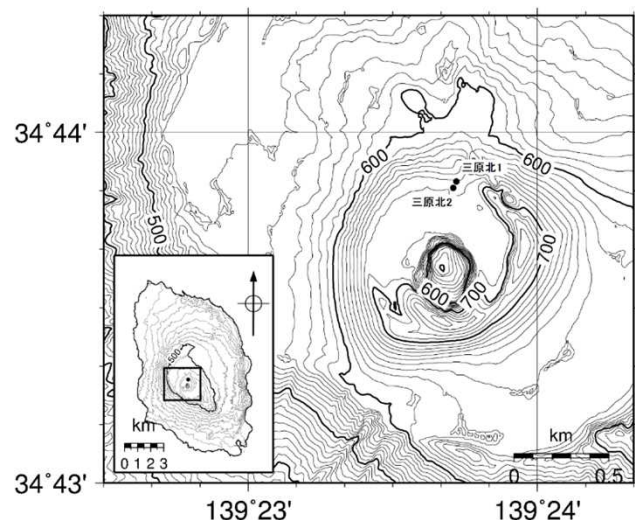
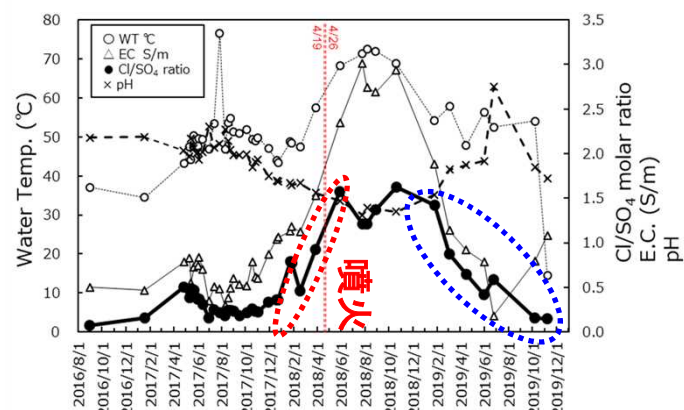


図1 伊豆大島の三原山北1、三原山北2観測点



図2 三原山北1、三原山北2観測点におけるDI補正前後の全磁力変化（縦軸の単位はnT）

- 霧島山(硫黄山)で2018年4月噴火前に急増したCl/SO₄比が、2019年に明瞭に低下したことを明らかにした。
- 浅間山2019年8月7日噴火火山灰の水溶性成分を分析、新鮮なマグマの関与はなく、水蒸気噴火により既存山体の一部が破碎・放出されたことを明らかにした。
- 可搬型多成分ガス観測装置(Multi-Gas)および気象庁の設置型 Multi-Gas 連続観測と、噴気ガスの直接採取・化学分析の結果の比較から、Multi-Gasを用いた観測データが、火山活動監視を行うにあたり一定の有意性を持つことを確認した。



【霧島山(硫黄山)の熱水の分析結果】

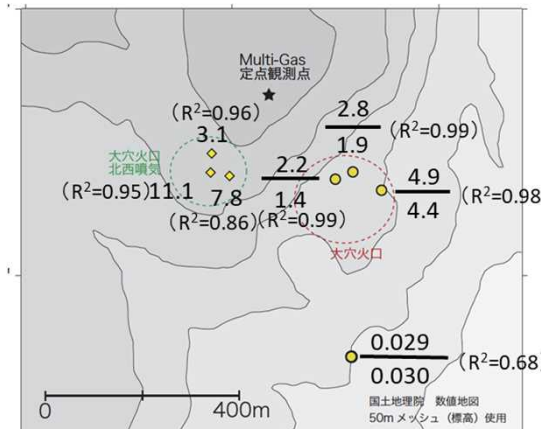
霧島山(硫黄山)山麓の湧水の化学組成を分析し、2018年4月噴火前のCl/SO₄モル比急増と、2019年の明瞭な低下を捉えた。

Eruptions	Water-soluble components		
	Cl mg/kg	SO ₄ mg/kg	Cl/SO ₄ molar ratio
Aug. 7, 2019*	8,710	49,100	0.48
Sep. 1 - 14, 2004**	1,270-5,990	23,100-41,900	0.09-0.41
Sep. 16 - 18, 2004**	72.3-996	204-2,980	0.08-4.84
Oct. 28 - Nov. 14, 2004**	239-2,320	2,090-14,300	0.08-0.48

* This study. ** Data cited from Nogami et al. [15].

【2019年8月7日の浅間山噴火火山灰を分析結果】

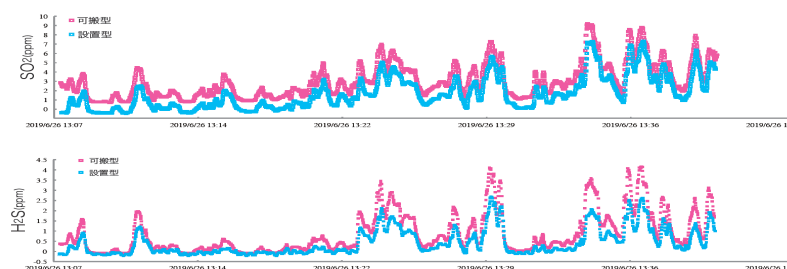
Cl/SO₄モル比から、水蒸気噴火であることを明らかにした



【大穴火口および大穴火口北西噴気における火山ガスの解析および分析結果】

上: 噴気から直接採取したガスの分析値
(小沢, 1968の手法による)

下: 可搬型Multi-Gasによる測定値
(R²=0.6以上をデータの信頼値として採用)



【設置型および可搬型 Multi-Gas による同時刻観測の時系列】

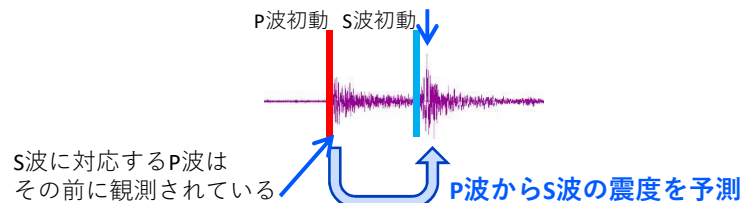
SO₂とH₂S濃度の比較(2019年6月26日13:07~13:40)ピンクが可搬型、ブルーが設置型
設置型のセンサーに感度低下がみられるものの、傾向としては概ね相関のある変動が観測

2019年度の成果（地震動）

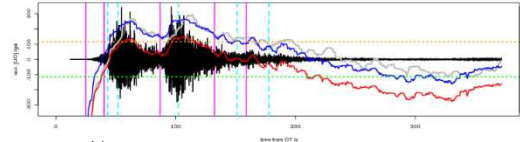
PLUM法の改良：P波の利用

P波検知方法、上下
動震度の活用を検討

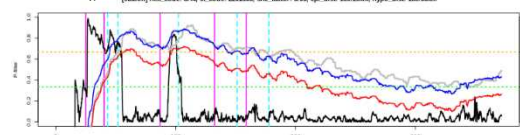
現在は、S波が観測されるまで
待つ必要がある



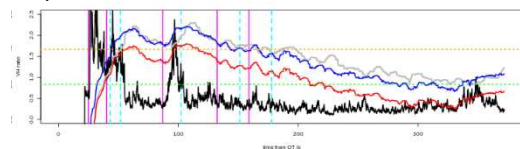
加速度 (UD) 東北地方太平洋地震



P-filter値



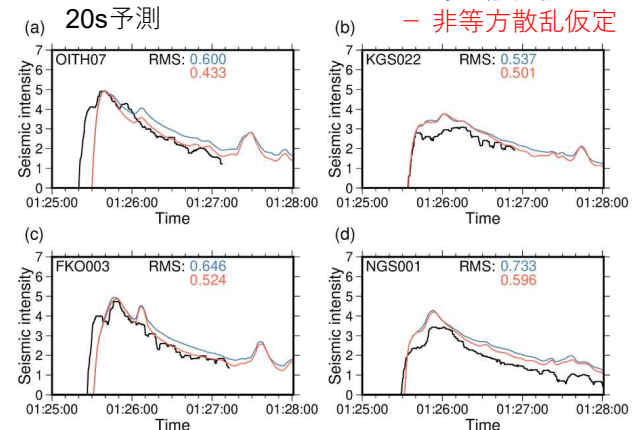
V/H比



灰線：リアルタイム震度（3成分）
赤線：リアルタイム震度（上下動）
青線：リアルタイム震度（上下動）+ 1.0

振幅および継続時間の予測の精度向上

熊本地震

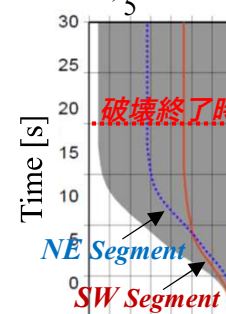


波動伝播モデルの
高度化の検討

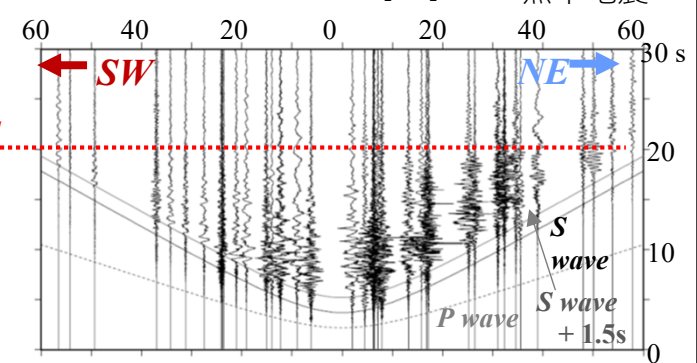
震源過程と強震動の出現時の比較

予測モデルによる
迅速性の検討

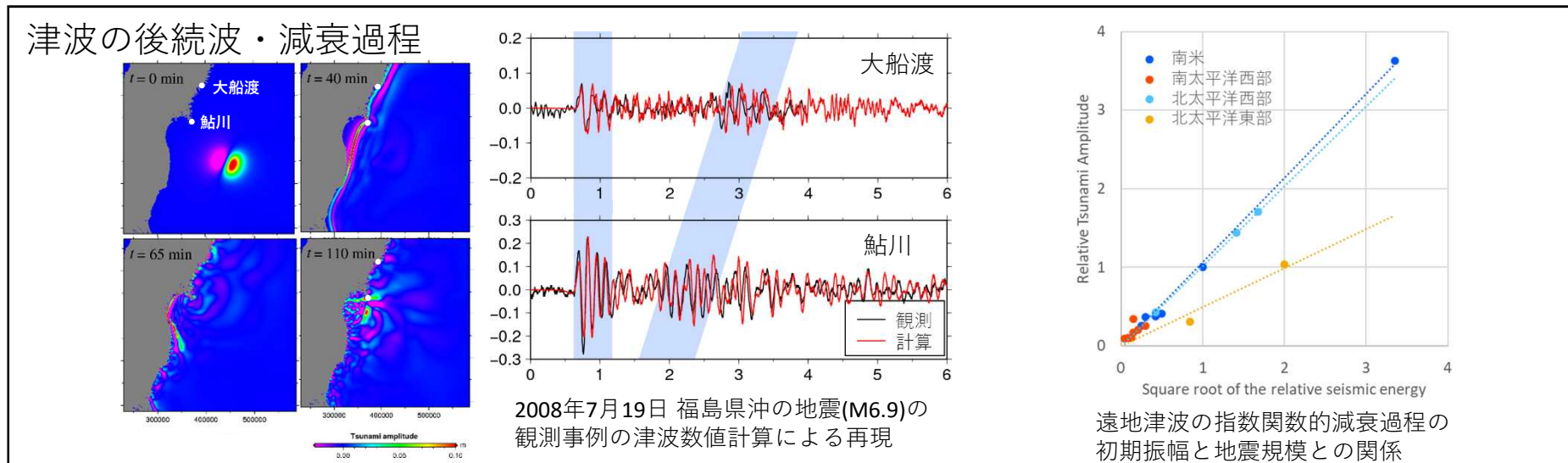
地震モーメント
($\times 10^{19}$ Nm)



震央距離 [km] 熊本地震

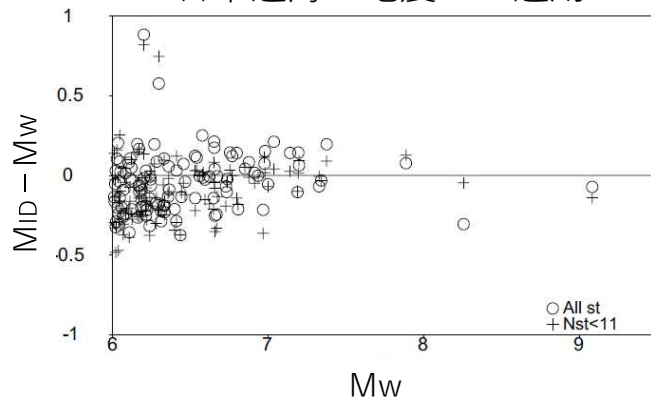


2019年度の成果（津波）

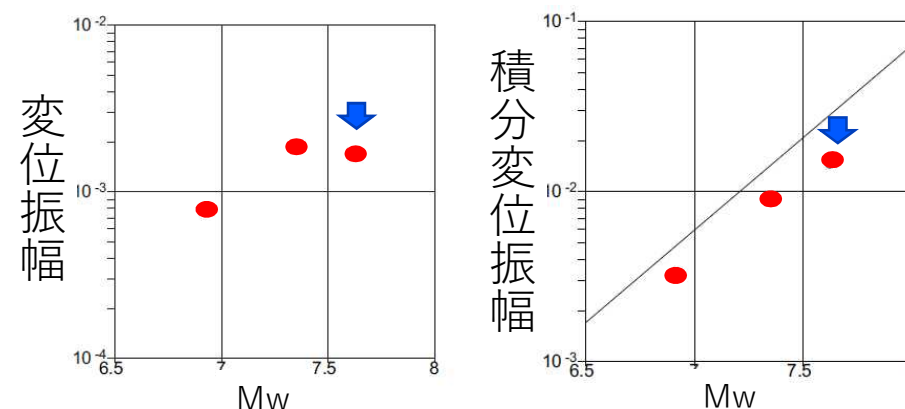


積分変位に基づく地震規模推定手法

日本近海の地震への適用



1992年ニカラグア地震（代表的スロー津波地震）のデータ(↓)を用いた検証



(本課題の5か年の到達目標)

気象レーダー等の観測データを用いて、噴火現象の検知や噴煙に含まれる火山灰等の定量的推定手法を開発する。浮遊火山灰や降灰等を統一的に予測するための新しい移流拡散モデルを開発・改良する。さらに火山灰データ同化システム（プロトタイプ）と結合させることにより、気象レーダー等による観測値と移流拡散モデルの予測値に基づく火山灰データ同化・予測システムを構築する。

研究フロー（年次計画表）

	令和元年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度	令和5年度
気象レーダー・衛星等 による噴火現象の観測	気象レーダー等による噴火現象の観測・解析				
					
	気象レーダーによる解析結果の 検証スキームの確立		噴煙内部の火山灰量等の 定量的推定手法の開発		とりまとめ
新しい移流拡散モデル の開発・改良	新しい移流拡散モデルの開発 （技術報告の作成）		新しい移流拡散モデルの改良 （凝集、再飛散課程の導入）		とりまとめ
火山灰データ同化・予 測システムの構築					
	火山灰データ同化システムの開発 （旧移流拡散モデルでの試験）	火山灰データ同化システムの開発 （移流拡散モデルとの結合）	火山灰データ同化・予測システ ムの実事例実験による評価		

(令和元年度の成果)

気象レーダー・衛星等による噴火現象の観測

- 気象研究所XバンドMPLレーダーおよびKuバンド高速スキャンレーダーによる噴煙観測と2次元ビデオディストロメーター（2DVD）による降灰観測を実施した。2DVDによる観測では、扁平な小粒子が多いことが確認された（図1）。このことは、大きな粒子の離脱によって、小さな粒子が数多く残った噴煙または火山灰雲をMPLレーダーで観測した際に、扁平度を表すパラメータ（反射因子差）が増加することに対応すると考えられる。
- 気象庁一般気象レーダーにより噴火事例（2019年8月7日浅間山、2020年1月11日・2月3日口永良部島）を解析した。
- 一般気象レーダーによる噴煙高度の確率的推定手法について、桜島の遠望観測データを用いて手法の検証を試行し、降水エコーとの区別など、検証をする上での問題点を整理した。

新しい移流拡散モデルの開発・改良と火山灰データ同化・予測システムの構築

- 全球移流拡散モデルと領域移流拡散モデルを統一した新しい気象庁移流拡散モデル（JMA-ATM）について、開発に着手した。
- 火山灰データ同化システムをJMA-ATMに結合した。
- 2016年10月8日阿蘇山噴火の事例について、降灰データを逆解析してJMA-ATMを実行し、初期値の不確定性を示した（図2）。

気象レーダー・衛星等による噴火現象の観測

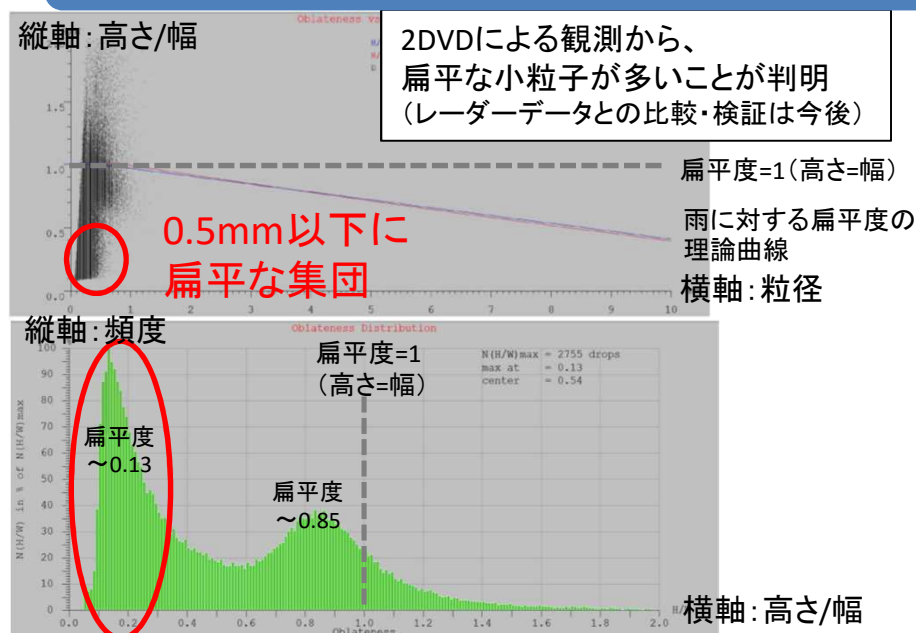


図1：2DVDによる降灰データの取得
(2019年10月14日桜島（黒神）での観測例)

新しい移流拡散モデルの開発・改良と火山灰データ同化・予測システムの構築

現初期値 (Suzuki, 1983)

逆解析値 (Ishii, 2018)

+ 新ATM (開発中)

+ 新ATM (開発中)

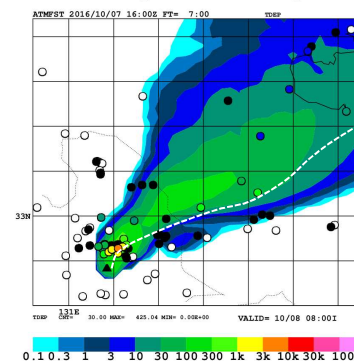
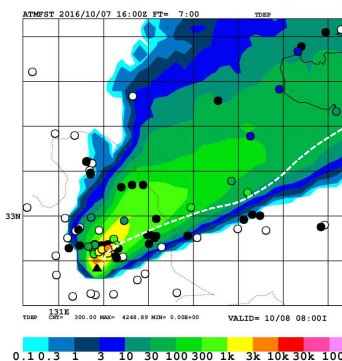
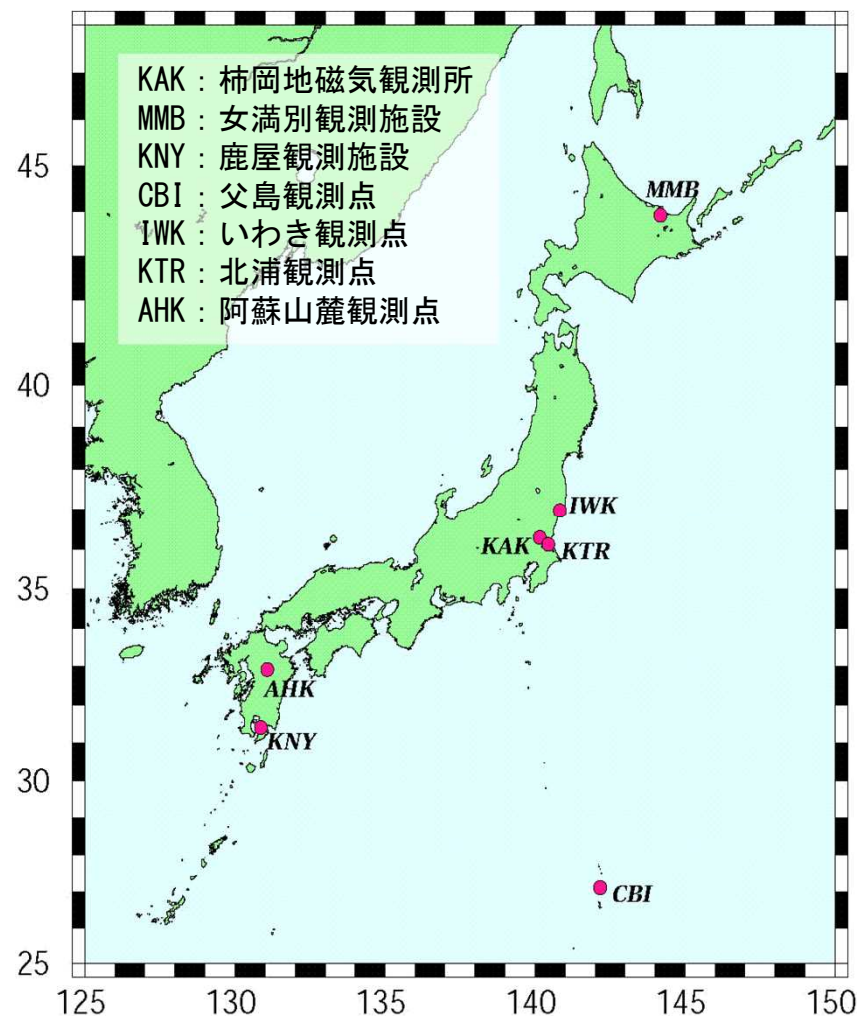
Total Deposition (g/m²)Total Deposition (g/m²)

図2：降灰のデータ同化による初期値の不確定性
(2016年10月8日01時46分阿蘇山噴火の
新ATM（開発中）による降灰予測例)



気象庁地磁気観測所では、定期的に絶対観測及び観測値の較正を行い、観測データの精度向上及び編集・解析作業の効率化、及びデータ取得の安定性を図りながら数10年～100年スケールにわたる精密連続観測を継続実施し、高精度の地磁気基準値として迅速に提供する。

○柿岡、女満別、鹿屋、父島：地磁気4成分連続観測
(全磁力・水平成分・鉛直成分・偏角)

○いわき、北浦、阿蘇山麓：全磁力連続観測

○データ提供

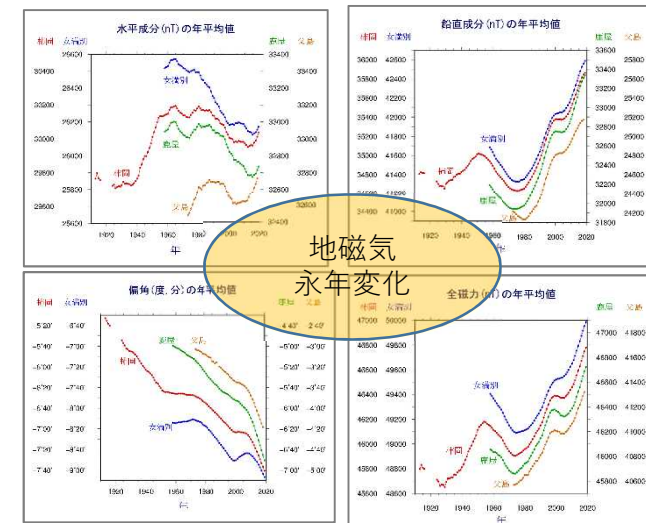
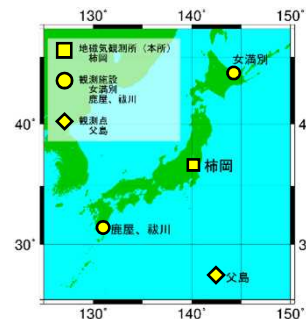
柿岡・女満別・鹿屋・父島の水平 (H, D, X, Y) 成分、鉛直 (Z) 成分、全磁力 (F) について
0.1秒値・1秒値・1分値・1時間値をHPで提供。

■ 地磁気4成分連続観測データのデータベース化

定常観測点（柿岡・女満別・鹿屋・父島）、祓川の5観測点の地磁気基準観測データ



- 地磁気観測所データベースに登録、公開
- 定常観測点のデータは国際的なデータセンターに提供



■ 地磁気ブロマイド（印画紙）記録のデジタルデータ化

印画紙に記録された柿岡、女満別、鹿屋の過去の地磁気アナログデータ



過去に遡ってのデータ解析を可能とするため、高時間分解能のデジタルデータへ変換

地磁気ブロマイド（印画紙）の数値化

