

## 1 (8) 観測研究基盤

「観測研究基盤」計画推進部会長 鶴岡 弘

(東京大学地震研究所)

副部会長 青山 裕

(北海道大学)

地震火山研究にとって不可欠である観測データを安定的かつ継続的に取得するために、日本全国に展開されている陸域および海域の地震、地殻変動、津波、潮位、電磁気、重力等の観測基盤を維持すること(観測基盤の整備)、さらにこれらの観測データの解析技術等の開発・高度化(観測・解析技術の開発)を進展させること、観測データをリアルタイムに効率的に流通する基盤(地震・火山現象のデータ流通)を維持することとともに、観測データの公開や研究成果を共有するシステムの開発(地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開)を観測研究部会において引き続き粛々と進めている。以下に令和3年度の成果の概要をまとめた。

### 5. 研究を推進するための体制の整備

#### (3) 研究基盤の開発・整備

##### ア. 観測基盤の整備

防災科学技術研究所は、陸海統合地震津波火山観測網(MOWLAS)及び首都圏地震観測網(MeS0-net)を安定して運用し、地震、低周波地震、超低周波地震、スロースリップイベントについてイベント検出および震源位置、震源メカニズム解、断層モデルの推定、余震活動の予測等を行った。さらにその活動状況のモニタリング結果をわかりやすく情報発信を行うとともに、地震調査委員会、地震予知連絡会等に随時提供を行った。また、令和3年6月には、2017年3月以前のMeS0-net波形データの公開も開始した。2021年2月13日23時7分頃、福島県沖の深さ55 km付近を震源とするMJ7.3(Hi-net震源の深さ57 km、Hi-netマグニチュードMHi7.6)の地震に関して、観測点補正值を用いた震源再決定を行なった結果、MJ7.3の地震とその余震は、北東-南西方向に約30 km、北西-南東方向に約20 kmの拡がりを持ち、深さ方向には約40-60 kmに分布することがわかった。また、Hi-netとS-netの手動検出震源を初期震源とし三次元地震波速度構造を用いた震源再決定の結果は、この地震活動が沈み込む太平洋プレート内の低速度域で発生したことを示した。さらに、同地震発生後の地震活動について連続地震波形エンベロープ解析から得られた4-20 Hz帯域のエネルギー輻射量推定結果により、本震発生から10日後までの余震による積算エネルギー輻射量は本震の高周波エネルギー輻射量の0.57%であり、この割合は同じく太平洋プレート内の地震である2003年宮城県沖の地震(MHi7.5、0.85%)や、2011年宮城県沖の地震(MHi7.6、0.87%)と同程度であることがわかった。2021年3月20日18時9分頃、宮城県沖の深さ60 km付近を震源とするMJ6.9(Hi-net震源の深さ65 km、MHi7.0)の地震について、観測点補正值を用いた震源再決定を行い、MJ6.9の地震以降に発生した地震の多くは西北西傾斜の面に沿って分布し、主に海陸プレート境界に沿って発生したプレート間地震であることがわかった。また、海域観測網を含めた三次元地震波速度構造を用いて再決定した2021年3月20日および5月1日の宮城県沖の地震MJ6.8の震源分布から、

3月20日の地震は1978年宮城県沖地震の地震時すべり域の西端に、5月1日の地震は1978年宮城県沖地震の地震時すべり域の南半分かつ2005年の宮城県沖の地震の地震時すべり域の西端に位置することがわかった（防災科学技術研究所〔課題番号：NIED05〕）。気象庁は地震観測網や地殻変動観測網などの観測基盤の維持を継続し、関係機関の地震観測データの一元的処理結果の関係機関への提供を実施し、南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会や地震調査委員会において報告を行った。震源データを日々、更新するとともに、2020年3月までの精査後の震源データ（確定値）を公開した（気象庁〔課題番号：JMA\_09〕）。国土地理院は、全国において、GNSS連続観測点を維持し、観測を継続した。また、国際GNSS事業（IGS）へ参画し、観測データの提供を行った。加えて、最新のGPS衛星およびITRFに対応したGNSS連続観測（GEONET）の新しい解析ストラテジの運用を開始するとともに精度評価を実施した。地殻変動の監視においても、新しい解析ストラテジによる座標値に基づき行われ、従来手法に比べ、僅かながら季節変動を抑えられるようになった（国土地理院〔課題番号：GSI04〕）。全国の電子基準点を対象とした電子基準点リアルタイム解析システム（REGARD）を引き続き運用した。令和3年5月1日に発生した宮城県沖を震源とする地震において、地殻変動をリアルタイムに検知した。また、矩形断層モデルの推定に際し、MCMC法（マルコフ連鎖モンテカルロ法）を使用するアルゴリズムを試験的に導入し、システムの高度化を進めた。さらに、断層モデル推定の入力値となるリアルタイム地殻変動情報の品質（妥当性）を点検し、REGARDの推定結果に付与するアルゴリズムを開発した（国土地理院〔課題番号：GSI\_08〕）。さらに、緊急解析により、国内外で発生した地震や火山活動に伴う地殻変動を検出した。国内では、2021年8月の福岡ノ場の火山活動により生じた新島について、島の形成から縮小の様子を捉えた（図1）（国土地理院〔課題番号：GSI\_07〕）。

大学は、観測データ流通網JDXnetの安定的な運用を継続し、TDXの移転対応を実施した（令和3年12月）。また、SINET5からSINET6への移行を実施予定である（令和4年3月）。柏にて接続された東京大学情報基盤センターの大規模並列計算機を利用したリアルタイム地震データ解析の開発を継続した（東京大学地震研究所〔課題番号：ERI\_19〕）。高知大学においては、地震動観測点における、観測点ごく近傍の地盤構造を把握することが可能となった。また機器故障についても得られた地盤構造指標の時間変化をモニタリングすることによって、観測状況の把握が可能である。今後は時間変化の指標（定常的にありうる速度、層境界位置の変化幅の把握）をめざす予定である（高知大学〔課題番号：KOC\_01〕）。

気象庁、国土地理院及び海上保安庁は、潮位連続観測を継続した（気象庁〔課題番号：JMA\_10〕、国土地理院〔GSI\_05〕、海上保安庁〔JCG\_02〕）。気象庁は、柿岡、女満別、鹿屋及び父島での地磁気4成分観測を実施し、陸域、海域での磁気測量をはじめ、大学等による電磁氣的観測研究あるいは幾つか提案されている日本域における標準的な全磁力磁場モデルの算出方法の検証・改良を進めるために、高精度の地磁気基準値を提供した。データの引用・追跡を容易にするため、令和3年度から地磁気観測所のデータに、DOI（Digital Object Identifier）が付与された（気象庁〔課題番号：JMA\_11〕）。国土地理院は、重力測量について航空重力測量に必要な飛行場重力点の設置を、女満別、丘珠、鹿児島各飛行場にて実施した。また、主に北海道、東北、近畿、九州地方において、航空重力測量を実施し、上空の重力データを取得した（国土地理院〔課題番号：GSI\_06〕）。

山梨県富士山科学研究所は、富士山科学研究所基準点でのgPhone重力計による連続観測を継続するとともに、比較的通年でアクセスが可能なスバルライン4合目重力点を設置した（山梨県富士山科学研究所〔課題番号：MFRI02〕）。北海道立総合研究機構地質研究所は、雌阿寒岳、十勝岳、樽前山、倶多楽、有珠山及び北海道駒ヶ岳において、地球物理学的・地球化学的モニタリングを継続して行い、火山活動の変化を捉えるためのデータの蓄積を行った。また、倶多楽（登別地域）と北海道駒ヶ岳については、熱水系について検討した（北海道立総合研究機構〔課題番号：HRO\_01〕）。

気象庁は、全国の50活火山について、全国4カ所の火山監視・警報センターにおいて、地震計、空振計、GNSS、監視カメラ等による連続的な監視観測を継続した。全国の活火山について、GNSS繰り返し観測、熱観測等の調査的な機動観測を計画的に実施した（気象庁〔課題番号：JMA\_12〕）。

## イ. 観測・解析技術の開発

東京大学地震研究所は、定常的な海域観測網の高度化に関して、2014年に復旧した既設の三陸沖海底光ケーブル式地震津波観測システムおよび2015年に設置した海底光ケーブル式地震津波観測システム（新規開発のOBCSTシステム）の両方を用いた併行観測を継続している（図2）。また、光ファイバセンシング技術の一つであり、振動計測が可能な分散型音響センシング(DAS)を利用した地震観測を実施している。2021年3月には新しく開発された計測装置の試験観測を約3日間行った。新型DAS計測器では、自己ノイズが軽減され、距離100kmまで地震波形を観測できることを確認した。DAS計測は単位時間に大量のデータを生成するために、長期にわたって定常観測を行うためには改良が必要であり、DAS計測の常時観測可能なシステムを開発している。DAS計測技術を用いた常時地震観測システムの構築にあたってのハードウェア、ソフトウェアを検討し、ハードウェアについては、DAS計測器の内蔵ディスクでは容量が足りないために、大容量の外部ディスク装置を増設し、各種処理を行うための観測サーバを追加する。ソフトウェアについては、1. DAS測定器から生成される計測データを取得する機能、2. 大量の計測データの中から重要と思われる情報だけを抽出し保管する機能、3. 計測データを表示（可視化）する機能の3機能を実装することとした（東京大学地震研究所〔課題番号：ERI\_22〕）。

大学は、新たな無線通信帯域・技術を活用した地震火山データ伝送システムの開発及びこれを利用した地震・火山活動状況を高精度かつ迅速に把握可能なシステムの開発を進めている。東北大学においては、無線システムと接続を行う携帯系の通信の検討のため、情報通信研究機構のIoTゲートウェイと学術情報ネットワーク(Sinet)の広域データ収集基盤のプロジェクトに引き続き参加し、データ流通網への接続等の動作確認を行った（東北大学理学研究科〔課題番号：THK\_13〕）。名古屋大学においては、小電力、小型・携帯テレメータ地震観測装置の改良開発を実施している。昨年度改良（ファームウェア：記録優先モード、ハードウェア：コンパクト化、非接触スイッチなど）を加えたロガー5機を山頂試験観測点に設置（置き換え）した。年末を挟んだ積雪により発電条件が悪くなった地点に対して、追加機能である記録優先モードに切り替え、機能の有効性を確認することができた（名古屋大学〔課題番号：NGY\_08〕）。

情報通信研究機構においては、Pi-SAR X3の初期機能・性能確認試験を実施して、空間分解能15cmで地表面の画像取得に成功した。初観測が成功したことで、新しい観測基盤の構築へ繋がることが期待される（図3）（情報通信研究機構〔課題番号：NICT01〕）。

#### ウ. 地震・火山現象のデータ流通

北海道大学は、地殻変動連続観測データ、および、GNSSデータサーバを運用し、地殻変動等多項目データの一元的な流通とデータ蓄積などを継続した。地殻変動データサーバのセキュリティ機能を維持するために必要なシステムのアップデートについて情報収集と手法の検討を行った。GNSSデータサーバに格納した1995年兵庫県南部地震の臨時観測データについて、利用しやすいようにパッケージ化し、企画部戦略室が運用する研究成果共有データベースからの公開を行った（北海道大学〔課題番号：HKD\_08〕）。

東京大学地震研究所は、前年度に引き続き、次世代の対話観測処理系システムについて試作を進めた。前年度は、複数のプラットフォーム上で動作し波形表示と手動検測の最小限の機能を備えた対話検測ソフトウェアのベース部分を作成した。今年度は、昨年度試作したソフトウェアを本課題の担当者及び関係者で試用するとともに、震源決定プログラムや地図表示機能（図4）を実装した（東京大学地震研究所〔課題番号：ERI\_24〕）。高知大学においては、次世代WINプロトコル策定のため、現状のWINシステムで行われている常時データ伝送（方式、プログラム）について精査を行った（高知大学〔課題番号：KOC\_02〕）。

#### エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

東京大学地震研究所は、DOI等の永続的識別子付与と公開について、昨年度末に本計画に関連するデータ公開の状況や今後の予定について尋ねるアンケートを実施した。回答内容の詳細について回答者に確認しつつ、アンケートの分析を進めた。回答者に事例を紹介してもらうセミナーを企画し情報交換を進める予定である。また、機関リポジトリでデータを公開する際の課題について、学内の担当者と情報交換を行なった。東京大学では機関リポジトリ（UTokyo Repository）に外部で公開しているデータベース等のメタデータを登録できることがわかり、いくつかのデータを登録し、DOI付与も実現した（東京大学地震研究所〔課題番号：ERI\_18〕）。

気象庁は、地震カタログ（震源、発震機構）を2020年8月分まで作成し、地震月報（カタログ編）として公開した。海域観測網の観測データを用いて自動震源を決定する際に、ノイズとなるエアガン起源のシグナルの除去ロジックを2021年7月に一元化処理システムに適用した。以降、海域観測網の設置海域における自動震源決定の際にエアガン起源のシグナルの除去に成功している。（気象庁〔課題番号：JMA\_14〕）。定常観測点の4地点（柿岡、女満別、鹿屋、父島）に、祓川を加えた5観測点における地磁気4成分連続観測データを月毎に地磁気観測所データベースに登録、公開するとともに、定常観測点のデータを国際的なデータセンターに提供した。データの引用・追跡を容易にするため、令和3年度から地磁気観測所のデータに、DOI（Digital Object Identifier）が付与された（気象庁〔課題番号：JMA\_13〕）。常時観測火山に選定された全国の50活火山について、東京の火山監視・警報センター、札幌、仙台、福岡の地域火山監視・警報センター、及び

鹿児島地方気象台において、地震計、空振計、GNSS等の観測データを常時収集するとともにデータの解析を行い、それらの成果の蓄積を進めた（気象庁〔課題番号：JMA\_15〕）。

産業技術総合研究所は、アジア太平洋地域の地震火山ハザード情報整備、国際標準化、データ共有・相互利用、国際的な連携の推進を目的として、アジア太平洋地域の研究機関と連携し、地震火山活動に関連する地質ハザード情報の取りまとめを進めている。大規模噴火の前駆活動と噴火推移について、これまでに、新たに白頭山10世紀噴火、三瓶-木次、ウルルン-隠岐、箱根-東京、御嶽第1、阿蘇3の火山噴火を取りまとめた。また、屈斜路、三瓶、鬼界、十和田、鬱陵島、白頭山の大规模噴火の前駆活動と噴火推移の研究成果を地質調査総合センター研究資料集no.728として取りまとめた。また、大規模噴火データベースの閲覧検索システムの構築を進めた（図5）（産業技術総合研究所〔課題番号：AIST11〕）。

国土地理院は、令和2年度に調査を行った「浅間山」の火山土地条件図及び数値データ並びに令和2年度に作成した「十勝岳」「雌阿寒岳」「浅間山」「伊豆大島」の火山基本図及び数値データを公開した。令和3年度においては、「諏訪之瀬島」の火山土地条件調査及び「御嶽山」「神津島」「有珠山」「倶多楽」の火山基本図整備を実施した。（国土地理院〔課題番号：GSI\_10、GSI\_09〕）。

研究成果共有システムの運用方法と目標について検討を実施し、以下のポリシーで運用を行うこととした。運用責任は戦略室とし、戦略室が中心となってポリシーの検討、コンテンツの調整、課題や部会への関係情報収集や依頼、周知広報を実施する。システム運用は企画部の学術支援職員と戦略室教員及び課題担当者で実施する。収集する情報は、課題間連携及び部会間・総合研究グループ間連携で必要となるメタ情報を中心とし、課題間連携や部会間・総合研究グループ間連携で活用可能な関係情報の所在を示すハブ的な役割を目指す。本システム独自のデジタル識別子情報（doi）は付与しないが、既存のデータリポジトリやデータベース、データジャーナルのdoi情報を提供する。収集する具体的な情報として、建議で整備されたデータベースへのリンクやdoi情報、建議で開発されたソフトウェアやdoi、建議で実施された臨時観測や構造探査探査のオリジナルデータ、成果管理システムにある論文情報等である。また、部会内や部会間・総合研究グループ間連携を促進するため、共有オンラインストレージ（Nextcloud）を新たに整備した。成果共有システムには新たに「地震史料集テキストデータベース」がリンクされたほか、オリジナルデータとして伊豆大島及び周辺部の地震波速度構造（2009年構造探査実験）、1995年兵庫県南部地震（M7.3）臨時GPS観測データが公開された。（東京大学地震研究所〔課題番号：ERI\_25〕）。

### これまでの課題と今後の展望

地震・火山・防災研究にとって必要不可欠である観測データを安定的かつ継続的に取得することの技術的な課題等は明らかとなっており、観測データおよび解析結果等を有効に活用して研究の進捗ペースを加速するための、データ流通・データベース化・データ公開は時間とコストを考慮してゆっくり進められている。データ公開については、昨今のセキュリティ事情もあり、個々で進められる段階から集約化がさらに進められた。DXを含むクラウドも急速に普及しつつあるが、大規模データベースを長期にわたり維持するという

観点からはまだまだ評価・検証が必要と考えられる。来年度にむけては、これらの課題を解決し、データベースの統合化や研究成果共有システムをのさらなる構築が求められる。

## 成果リスト

村松弘規・高松直史・阿部聡・古屋智秋・加藤知瑛・大野圭太郎・畑中雄樹・攪上泰亮・大橋和幸, 2021, 新しいGEONET解析ストラテジによる電子基準点日々の座標値 (F5解・R5解) の公開, 国土地理院時報, 134

Ichimura, M., K. Mikiyama, N. Ishikura, K. Shimazaki, M. Ishimoto, Y. Sato, T. Kobayashi and H. Munekane, 2021, Monitoring Active Volcanoes in Japan Using InSAR Time Series Analysis System with ALOS-2 Data, AGU Fall Meeting 2021, G25A-0344

Takagi, Y., H. Ueshiba, T. Nakakuki, S. Matsumoto, K. Hayashi, T. Yutsudo, K. Mori, T. Kobayashi, 2021, VLBI-GNSS co-location survey at the Ishioka Geodetic Observing Station in 2018 and 2020, EGU General Assembly 2021, EGU21-810

Matsumoto, S., H. Ueshiba, T. Nakakuki, Y. Takagi, K. Hayashi, K. Mori, T. Yutsudo, T. Kobayashi, Y. Sato, 2021, VLBI-GNSS co-location at the Ishioka Geodetic Observing Station, IAG Scientific Assembly 2021

Masahiro Nakashima, Kento Iio, Yasuhiro Iitsuka, Shinobu Kurihara, Kumikazu Ochi, Shuichi Omori, Tokuro Kodama, Masato Kuroyanagi, Masami Handa, Hiroaki Yamamoto, Takashi Toyofuku, Chiaki Kato, Koji Matsuo, 2021, The Airborne Gravity Measurement for Development of a New Precise Gravimetric Geoid Model in Japan, IAG 2021

Masahiro Nakashima, Shuntaro Fukaya, Yasuhiro Iitsuka, Takashi Toyofuku, Kumikazu Ochi, Hiroaki Yamamoto, Shuichi Omori, Chiaki Kato, Masato Kuroyanagi, Masami Handa, Koji Matsuo, 2021, Quality control of airborne gravity survey in Japan, AGU Fall Meeting 2021

Tanaka, R., Y. Yamaya, M. Tamura, T. Hashimoto, N. Okazaki, R. Takahashi, and T. Mogi, 2021, Three-dimensional inversion of audio-magnetotelluric data acquired from the crater area of Mt. Tokachidake, Japan., Earth, Planets and Space, 73, doi.org/10.1186/s40623-021-01502-4

Takahashi, R., 2022, Mineralogical and geochemical investigations for subvolcanic hydrothermal alteration environments at an active volcano: An example of Hokkaido-Komagatake volcano, Japan, J. Volcanol. Geotherm. Res., 423, doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2022.107497

Shinohara, M., T. Yamada, K. Uehira, S. Sakai, H. Shiobara, and T. Kanazawa, 2021, Development and operation of an Ocean Bottom Cable Seismic and Tsunami observation system (OBCST) in the source region of the Tohoku-oki earthquake, Earth Space Sci., doi:10.1029/2020EA001359

Spica, Z. J., J. C. Castellanos, L. Viens, K. Nishida, T. Akuhara, M. Shinohara and T. Yamada, 2022, Subsurface Imaging With Ocean-Bottom Distributed Acoustic Sensing and Water Phases Reverberations, Geophys. Res. Lett., <https://doi.org/10.1029/2021GL09528>

- 篠原雅尚・山田知朗・悪原岳・望月公廣・酒井慎一，2022，分散型音響センシング計測と三陸沖海底光ケーブル観測システムによる地震観測，月刊地球，44，37-43
- 牛腸 正則，2021，アンテナパターンと距離減衰を考慮した合成開口レーダの波数領域，電子情報通信学会技術研究報告，Vol.121， No.127， p.1-6.
- 牛腸 正則，2021，Deconvolution ISTAを用いたSARのスパース再構成と高分解能化，電子情報通信学会技術研究報告，Vol.121， No.191， p.116-121
- 宝田晋治・西原 歩・星住英夫・山崎 雅・金田泰明・下司信夫，2022，始良カルデラ入戸火砕流堆積物分布図，大規模火砕流分布図，産総研地質調査総合センター，1，1-32
- 宝田晋治・金田泰明・池上郁彦・松本恵子・西野佑紀・下司信夫，2021，大規模噴火・火山灰データベースの構築，Proceedings of the International Meeting on Eruption History and Informatics，2020-2，66-70

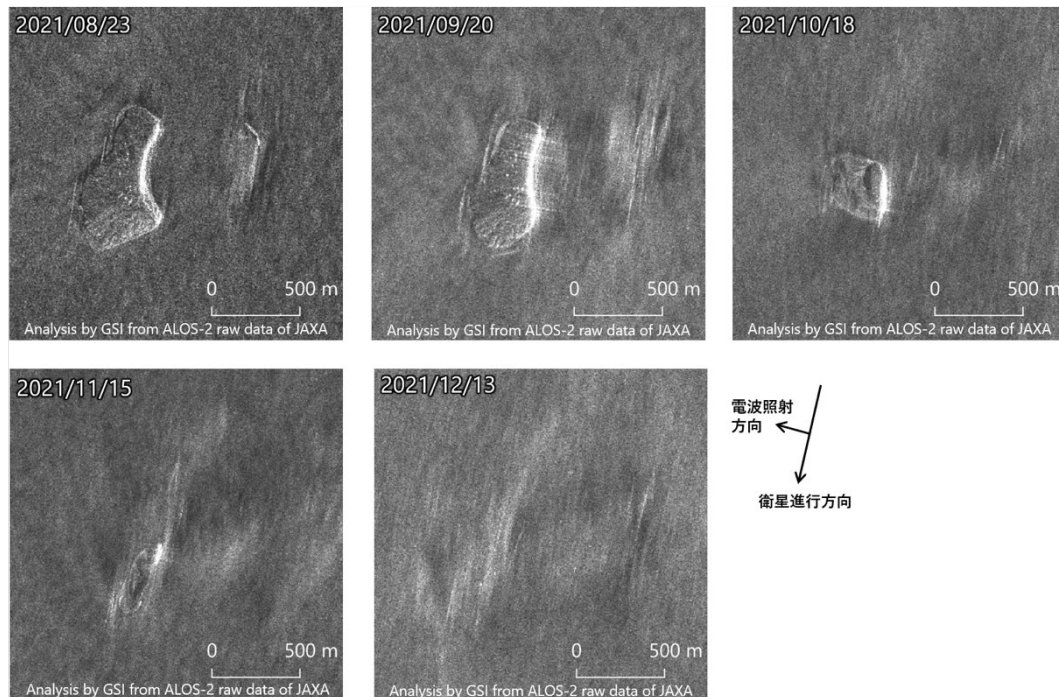


図 1. 「だいち 2 号」 SAR強度画像による福島第一発電所の新島の形状の時間推移

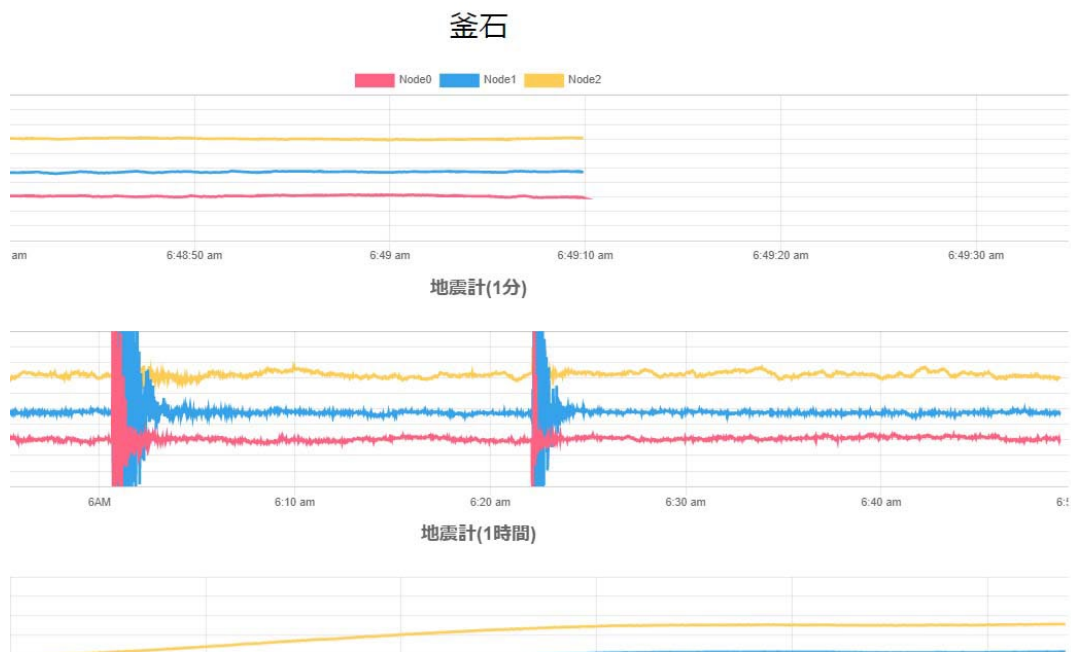


図 2. 2015年に設置したシステムのデータ表示用のwebシステム（試作品）による観測波形の例。

リアルタイムで、3台の地震計と水圧計のデータを即時表示する。



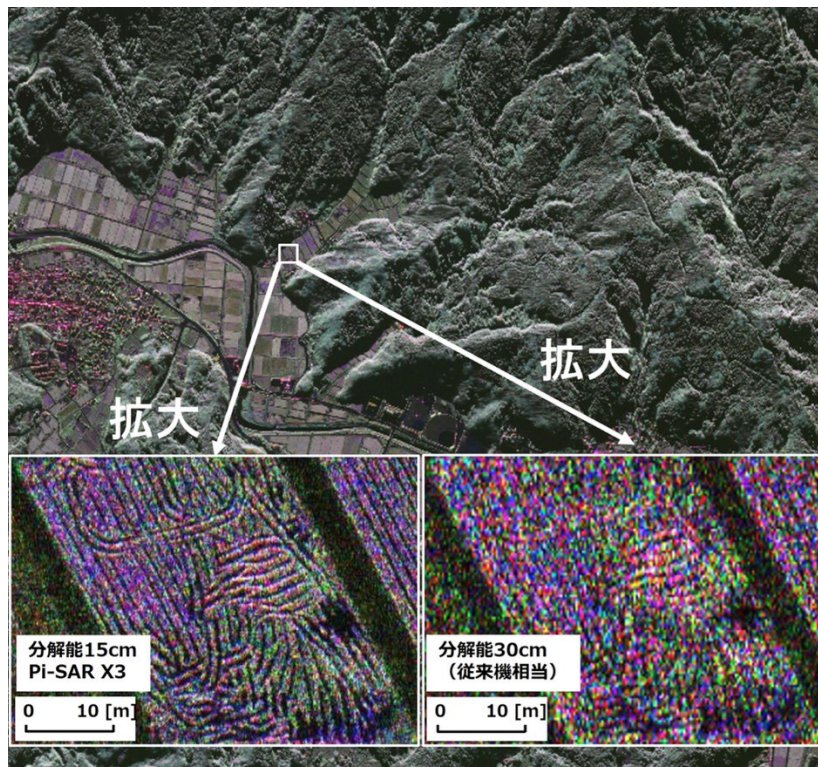


図 3. Pi-SAR X3による観測結果例

拡大右図は従来機相当の空間分解能30cm、拡大左図はPi-SAR X3の空間分解能15cmによる観測結果。空間分解能15cmの図では、田んぼのわだちがきれいに観測されている。

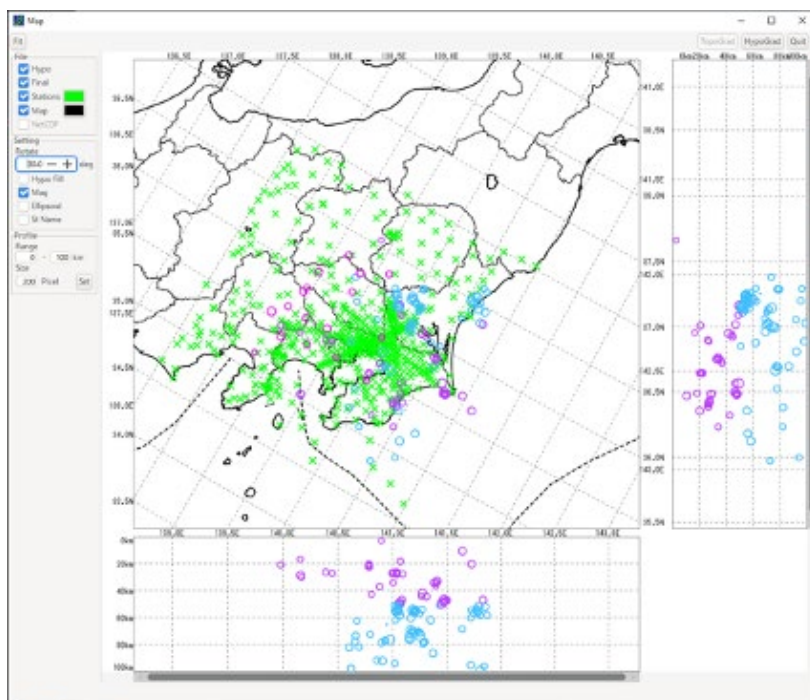


図 4. 対話検測ソフトウェアの地図表示画面

作成した対話検測ソフトウェアの地図表示画面。震源と観測点が地図上に表示されている。地図は回転することが可能である。

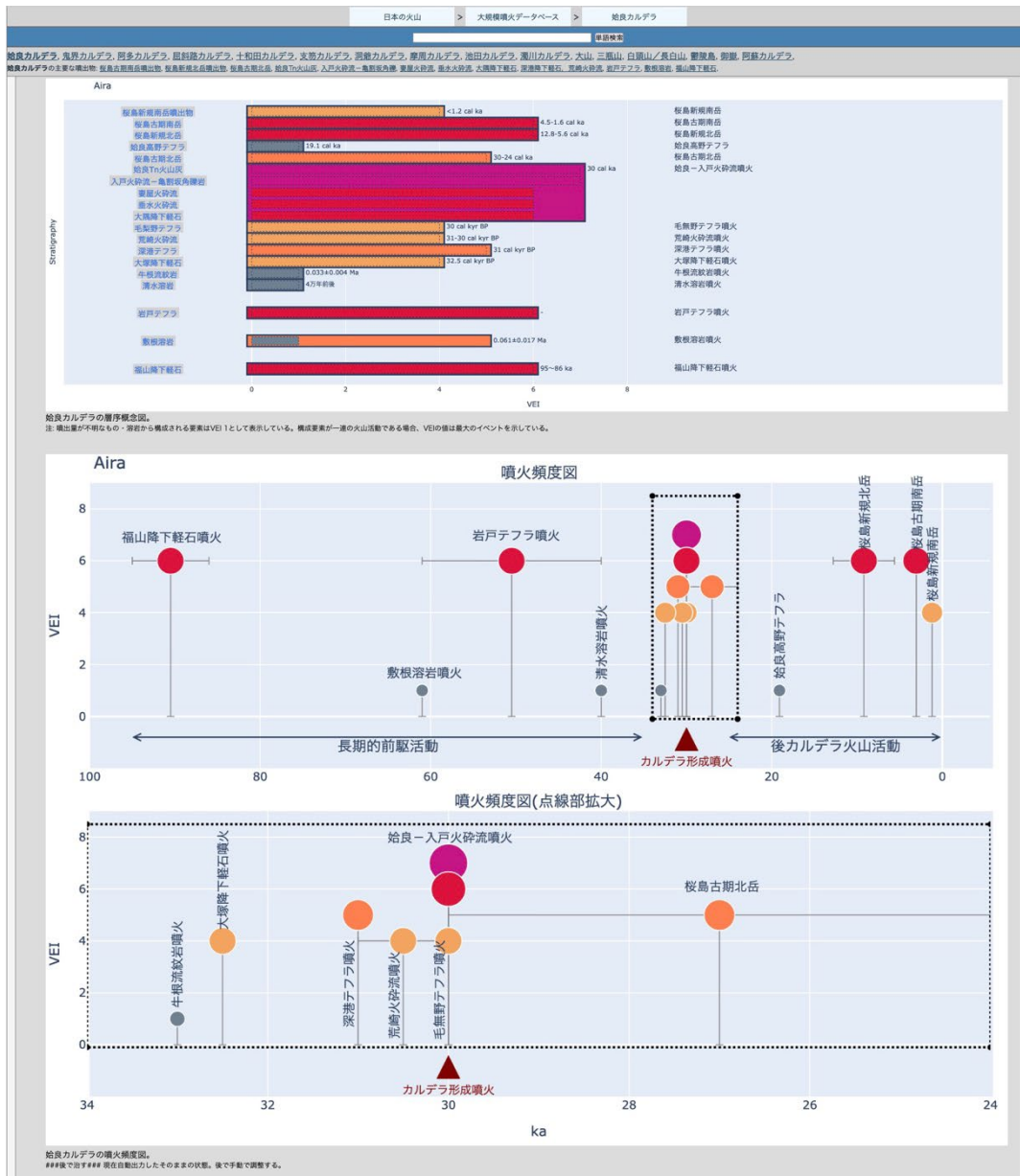


図 5. 開発中の大規模噴火データベース

始良カルデラの例。層序概念図と噴火頻度図を示す。データベースでは、各噴火の大規模噴火の前駆活動や噴火推移の閲覧検索が可能。