

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)

観測研究部会においては、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、1)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、重力等の観測基盤の維持(観測基盤の整備)、2)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)の進展、3)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)の維持と、4)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)を引き続き粛々と進めている。以下に令和4年度の成果の概要をまとめた。

観測基盤の整備

防災科学技術研究所においては、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)を安定して運用することにより、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、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継続して行った。2022年1月15日13時(JST)頃のトンガ諸島付近のフンガ・トンガ-フンガ・ハアパイ火山での大規模噴火発生後にS-netとDONETの海底圧力計で観測された記録から、日本周辺に到来した海洋波の性質を調べ、日本国内での大気圧の観測データと海底圧力データを合わせた解析を行った結果、顕著な海洋波の波群に対応する形で気圧波の波群が複数到来していることが示され、トンガ噴火によって放出された複数の気圧波と海洋波との相互作用が日本周辺で観測された複雑な海洋波の形成に寄与していたことを示唆した。また、噴火からの1週間で観測された海底圧力観測記録をデータベースサイトより公開した。石川県能登地方において2022年6月19日15時08分にMj5.4、20日10時31分にMj5.0の地震が発生した。これらの地震は、2000年代前半以前からの活動域の南に位置するとともに、大局的には2021年夏ごろからの地震活動域内で発生した。この活動域において、比較的地震活動が低調であった場所でMj5.4の地震が発生し、その東側でMj5.0の地震が発生した。陸海統合地震津波火山観測網等を用いた三次元地震波速度構造や観測点補正值(Matsubara et al., 2019)を用いて震源を再決定した結果、活動域がその東西から高速度域に挟まれていることが示された。活動域では、2020年11月以前は地震活動が低調で地震発生層の下限深さ(D90)は10.0~14.0 kmであったが、2020年12月以降は活発化し、D90は13.0~17.5 kmと深くなった。Mj5.4の地震は、2020年12月以降の活動から推定されたD90(14.5 km)よりも浅部(12.6 km)で発生した。2022年11月9日茨城県南部の地震(Mj4.9, 深さ51 km)では、震央の北東36 kmに位置する城里町小勝において、茨城県の震度計で震度5強を観測し、その他の地点の最大震度は4であった。K-NET及びKiK-netの最大加速度、震度

分布では、茨城県南部の地震において震源直上よりも北部で地震動が大きい事例がしばしば見られ、観測された震度とその地域性について検討した結果、2022年の地震では城里町小勝周辺の観測点での周期0.1秒と0.15秒の加速度応答値が過去の同規模の地震と比べて大きいことがわかった。城里町小勝で震度5強が観測された理由として、この短周期帯域の地震波が浅部地盤の影響でさらに増幅し、震度計算用のフィルタ後も一定以上の振幅が残った可能性が示唆された。N-netにおいては、海底観測機器の製造に入る前に水圧計の長期信頼性確認等のための試験を実施し、宮崎県串間市の新設陸上局では、陸上装置等を設置するための局舎建物が完成した。高知県室戸市の陸上局では、既存のDONET2の局舎を共用するための局舎内および周辺の整備工事を実施した（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を維持し、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行った。また気象庁における地震観測データおよび地殻変動データを収集・解析するためのシステム（EPOS）の更新および、文科省と共に地震観測データの一元的処理を行うためのシステム（REDC）の更新を行った。顕著な地震活動や地殻変動観測結果について、定期・臨時に情報発表・記者会見等を行うとともに、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8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更新に対応した、GNSS連続観測（GEONET）の新しい解析ストラテジの運用を着実に継続した。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。また、従来の相対測位手法をPPP（精密単独測位）に置換したプロトタイプシステムを構築した。さらに、PPPの精度を高めるために、GNSS衛星の軌道情報推定手法を改良した（国土地理院[課題番号：GSI_08]）。2022年9月17日と18日（UTC）に発生した台湾の地震では、「だいち2号」SAR干渉画像により、最大1m程度の衛星に近づく変動が検出された（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、京都大学防災研究所宮崎観測所においてSINET6への新規接続を完了した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_19]）。高知大学においては、常時微動アレイによって常時推定している位相速度の時間変化から時間雨量5mm程度の降雨に対応して変動が抽出された。また、3成分広帯域地震計のHVSR解析でも、位相速度変動が見られた周波数帯域に対応するHVSR値の変動が検出された。降雨開始から間もない時間帯からこれらの変動が開始していることにくわえ、変動周波数帯が12Hz付近と高周波にあるため、雨水のごく浅層への浸潤によって表層地盤の速度構造が変化していることがわかった（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[課題番号：GSI_05]、海上保安庁[課題番号：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、高精度な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、地磁気観測所ホームページで確認できる(気象庁[課題番号: JMA_11])。国土地理院は、地磁気測量については、測地観測所等(鹿野山測地観測所、水沢測地観測所及び全国10か所に設置している地磁気連続観測装置)において、機器更新を行い、地磁気連続観測データを取得するとともに、地磁気絶対観測等を実施した(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5合目における絶対重力測定を実現し、MFRI基準点との間の重力差を利用した相対重力計の検定観測を実施した(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(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])。

観測・解析技術の開発

東京大学地震研究所は、1996年に設置した三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システム(旧システム)の予備光ファイバーに、DAS計測を適用することによって、空間的に高密度の海底地震観測を実施している。2019年2月に最初の観測を行って以来、1回あたりは短期間であるが、これまでに9回の観測を行った。2022年については、地震研究所に導入されたDAS計測器を用いて、2月末から2日程度の試験観測を実施し、10月には約2週間の観測を行うことで多数の地震が記録された。どちらの観測も、測定全長は100 km、観測点間隔は2 m、ゲージ長は100 mとした。長いゲージ長を設定することにより、感度の高い計測を試みた。今回導入したDAS計測器は、S/N比が高く、記録区間全体にわたって地震波を記録することができた(図2、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。VHF帯(V-High 周波数:207.5-222 MHz)での通信試験が実施された。仙台で行われた八木アンテナおよびオムニアンテナでの変調方式2値FSKでの通信試験について検討した結果、地震波の伝送に十分な速度が出ることが期待されること、オムニアンテナでも、20 km以上離れても通信が可能な場所があり、八木アンテナを用いると最大84 kmの通信が可能であることがわかった(図3、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た。昨年度までに改良を終えた5台を御嶽山山頂の試験観測地に配置し、改良機10台による実地試験を継続した(名古屋大学[課題番号: NGY_08])。

情報通信研究機構においては、富士山、浅間山、草津白根山、焼岳の Pi-SAR X3 を用いた試験観測を実施し、15 cm 分解能での火山観測に成功した（図 4、情報通信研究機構[課題番号：NICT01]）。

地震・火山現象のデータ流通

北海道大学は、地殻変動等多項目データの全国流通・一元化・蓄積・公開を行うデータサーバの安定的かつセキュアな運用のためサーバの更新作業を行った。GNSS データサーバについてはセキュリティアップデートを行った。新たにひずみ観測点 1 点、重力観測点 1 点のデータの登録を開始し、重力データについては過去に遡って登録した。解析機能においては、一度設定したパラメータがセッション期間保持可能な機能付加を行ったほか、多成分ひずみ計ではひずみ解析時に成分を選択できるような改良を行った（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。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、メカニズム解の計算や表示の機能を実装した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_24]）。高知大学においては、VPN トンネルを用いた現状の WIN パケットの伝送実験を実施した（高知大学[課題番号：KOC_02]）。

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を進めた。外部で公開しているデータベース等のメタデータを東京大学の機関リポジトリ（UTokyo Repository）へ登録し、DOI 付与も実現した。機関リポジトリを通じて「データカタログ横断検索システム」や Google Dataset Search などにも登録されることを確認した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_18]）。

気象庁は、地震月報（カタログ編）2020 年 9 月～2021 年 3 月号を公開した。なお、2020 年 9 月より、S-net と DONET2 のデータを一元化処理に活用しており、公開予定の月報には、これらのデータが用いられた震源情報が記載されている（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、調査観測点の祓川を加えた 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。加えて、1983 年 2 月～1993 年 3 月の柿岡の確定毎秒値を観測所データベースに登録・公開するとともに、国際的なデータセンターに提供した（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、及び鹿児島地方气象台において、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。火山関連データベースとして、2022 年 7 月に大規模噴火の特徴・推移、中長期的前駆活動を

取りまとめた大規模噴火データベース (<https://gbank.gsj.jp/volcano/ledb/>) を公開した。摩周カルデラ，支笏カルデラ，洞爺カルデラ，濁川カルデラ，十和田カルデラ，始良カルデラ，阿多カルデラ，池田カルデラの8つのカルデラにおける詳細情報を掲載した（図5，産業技術総合研究所[課題番号：AIST11]）。

国土地理院は，令和3年度に調査を行った「諏訪之瀬島」の火山土地条件図及び数値データを公開した。また，令和3年度に作成した「御嶽山」「神津島」「有珠山」「倶多楽」，令和4年度に作成した「諏訪之瀬島」の火山基本図及び数値データを公開した。令和4年度においては，「蔵王山」の火山土地条件調査及び「北海道駒ヶ岳」「白山」「鶴見岳・伽藍岳」「九重山」「諏訪之瀬島」の火山基本図を整備した（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針については，昨年度以下を定めた「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果たす。」。今年度はこのテスト的な運用を実施した。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の共有オンラインストレージ（Nextcloud）を継続して運用した。また，昨年度に調査観測のメタ情報を集約し，課題間や部会間・総合研究グループ間連携をより推進するため，建議で実施されている社会調査・ソフトウェア開発・観測・地質調査等を一元的に収集することとなったことを受けて，令和3年度における観測や開発したソフトウェア等のメタ情報を整理して研究成果共有システムにて公開を行なった（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_25]）。

今後の展望

観測基盤については関係機関によって適切に維持がなされ，データが着実に蓄積されている。また，データ流通基盤も同様に維持がなされリアルタイムでの配信が実現できている。解析システムについても着実に高度化がなされ整備が進んだ。また，データベースについても粛々と整備が進められているところである。さらに，研究成果についても戦略室による方針の実施が開始され，本計画において取得されたデータや開発されたソフトウェアの公開が始められた。来年度にむけて，これらの公開をさらに進めて，データベースの統合化や研究成果共有システムの構築の実現が期待される。

成果リスト

大和田泰伯，バボウ シェック サリュー ンバケ，佐藤剛至，2022，220MHz帯を用いた2値FSKの通信実験，信学技報，SeMI2022-98(2023-01)

- 加納靖之, 2022, 歴史地震研究におけるデータ整備と公開, 令和4年度ROIS-DS-JOINT2022共同研究集会「オープンサイエンス時代の重力観測・データの流通と利活用」, 15, <http://id.nii.ac.jp/1291/00017200/>
- Spica, Z.J., J.C. Castellanos, L. Viens, K. Nishida, T. Akuhara, M. Shinohara, T. Yamada, 2022, Subsurface Imaging With Ocean-Bottom Distributed Acoustic Sensing and Water Phases Reverberations, *Geophys. Res. Lett.*, 49, e2021GL095287, doi:10.1029/2021GL095287
- 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*, 4, 37-43
- Shinohara, M., T. Yamada, T. Akuhara, K. Mochizuki, S. Sakai, 2022, Performance of seismic observation by distributed acoustic sensing technology using a seafloor cable off Sanriku, Japan, *Front. Mar. Sci.*, 9, 844506, doi:10.3389/fmars.2022.844506
- Fukushima, S., M. Shinohara, K. Nishida, A. Takeo, T. Yamada, K. Yomogida, 2022, Detailed S-wave velocity structure of sediment and crust off Sanriku, Japan by a new analysis method for distributed acoustic sensing data using a seafloor cable and seismic interferometry, *Earth Planet. Space*, 74, 92, doi:10.1186/s40623-022-01652-z
- Viens, L., L.F. Bonilla, Z.J. Spica, K. Nishida, T. Yamada, M. Shinohara, 2022, Nonlinear Earthquake Response of Marine Sediments With Distributed Acoustic Sensing, *Geophys. Res. Lett.*, 49, e2022GL100122, doi:10.1029/2022GL100122
- 上本純平, 2022, 合成開口レーダーによる高さ計測 ~代表的な手法とその応用解析手法の紹介~, *電波技術協会報誌 (FORN)*
- 牛腸正則, 2022, Deconvolution ISTA: A solver for multi dimensional convolution problems with low computational complexity, *IEICE Communications Express*, 11, 784, doi:10.1587/comex.2022COL0023
- Kubo, H., T. Kubota, W. Suzuki, S. Aoi, O. Sandanbata, N. Chikasada, H. Ueda, 2022, Ocean-wave phenomenon around Japan due to the 2022 Tonga eruption observed by the wide and dense ocean-bottom pressure gauge networks, *Earth, Planet. Space*, 74, 104, doi:10.1186/s40623-022-01663-w
- 宝田晋治, 池上郁彦, 金田泰明, 下司信夫, 2022, 大規模噴火データベースと噴火推移データベースで噴火の詳細を明らかに, *科学*, 岩波書店, 92, 951-954
- Ogburn, S.E., D. Charlton, D. Norgaard, H.M. Wright, E.S. Calder, J. Lindsay, J.E. Ewert, S. Takarada, Y. Tajima, Y., 2023, The Volcanic Hazard Maps Database: an initiative of the IAVCEI Commission on Volcanic Hazards and Risk, *J. Appl. Volcanol.*, 12, 2, doi:10.1186/s13617-022-00128-9
- 栗原忍, 大森秀一, 兒玉篤郎, 畔柳将人, 半田優実, 吉樂絵里香, 飯尾研人, 中島正寛, 飯塚康裕, 松尾功二, 富山顕, 2022, 精密重力ジオイド・モデル構築に向けた航空重力測量(中間報告) - 信頼性の高い標高を誰もが利用できる社会を目指して -, *国土地理院時報*, 135
- Matsumoto, S., T. Nakakuki, T. Yutsudo, H. Ueshiba, Y. Takagi, K. Hayashi, K. Mori, Y. Sato, T. Kobayashi, 2023, Status of the Ishioka VLBI Station for the Past Two Years,

International VLBI Service for Geodesy and Astrometry 2022 General Meeting Proceedings, NASA/CP-20220018789, 56-58

Matsumoto, S., H. Ueshiba, T. Nakakuki, Y. Takagi, K. Hayashi, T. Yutsudo, K. Mori, Y. Sato, T. Kobayashi, 2022, An effective approach for accurate estimation of VLBI-GNSS local-tie vectors, *Earth Planet. Space*, 74, doi:10.1186/s40623-022-01703-5

Nakamura, Y., S. Watanabe, Y. Yokota, A. Suzuki, H. Ueshiba, N. Seo, 2022, Shimosato Co-Location of the SLR and GNSS Stations, *International Association of Geodesy Symposia*, 1-7, doi:10.1007/1345_2022_156

高橋良, 鈴木隆広, 大森一人, 2022, 地球化学的・鉱物学的調査から推定した倶多楽火山登別地熱地域の熱水系, *火山*, 67, 453-469, doi:10.18940/kazan.67.4.453

柴田智郎, 高橋良, 秋田藤夫, 2022, 北海道有珠山の火山活動と洞爺湖温泉の水位・温度・化学組成の変動, *地学雑誌*, 131, 585-595, doi:10.5026/jgeography.131.585

安田敦, 亀谷伸子, 嶋野岳人, 吉本充宏, 田島靖久, 2022, 類似したテフラを識別・対比する定量的な方法の数学的な取り扱いについて, *月刊地球*, 44

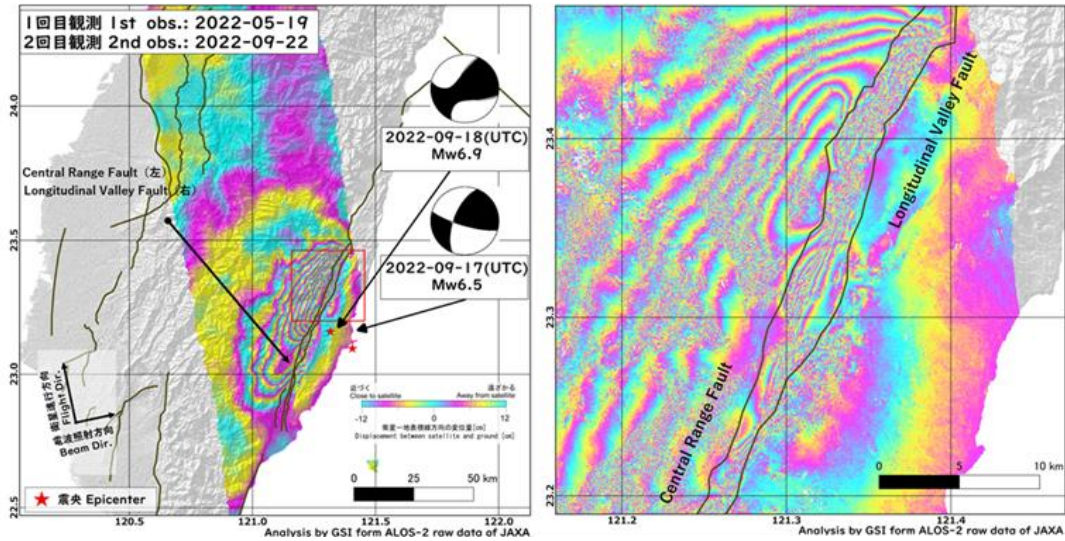


図1. 「だいち2号」 SAR干渉画像による台湾の地震に伴う地殻変動。左図は広域の干渉画像，右図は左図の一部を拡大した図。断層帯の西側で変動が大きく，最大1 m程度の衛星に近づく変動が見られる。断層線はStyron et al. (2010)より（国土地理院[課題番号：GSI_08]）。

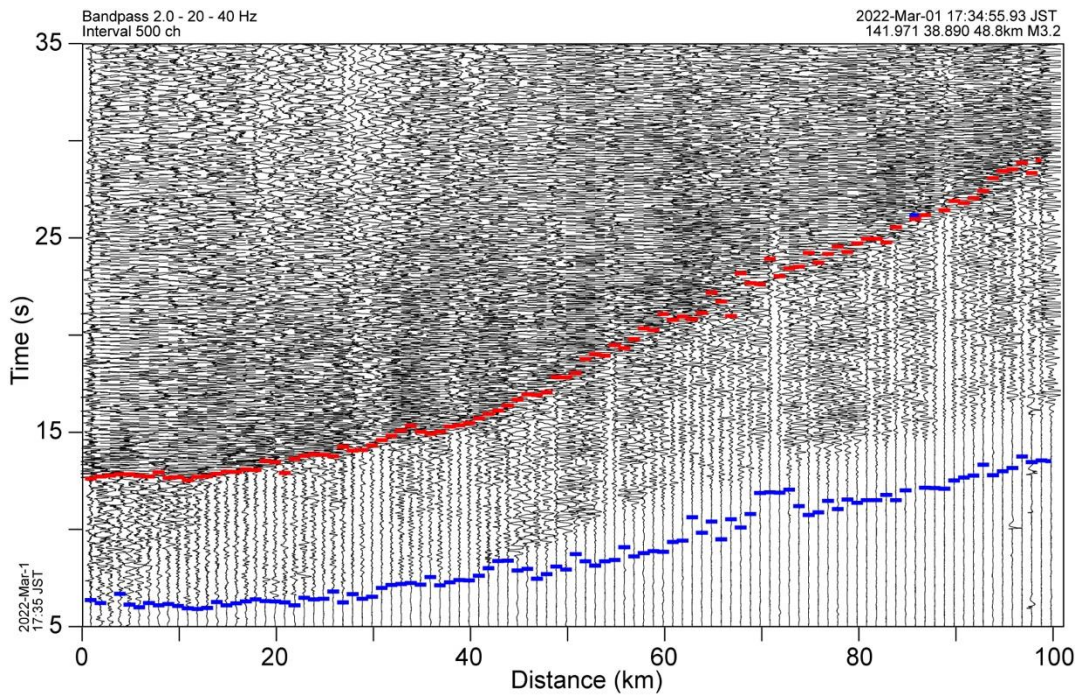


図2. 三陸沖光ケーブル観測システムに新しく導入されたDAS計測器により収録された地震波形記録例。横軸は陸上局からの距離，縦軸は時間を示す。青線と赤線は読み取ったP波・S波の初動をそれぞれ示す（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_22]）。

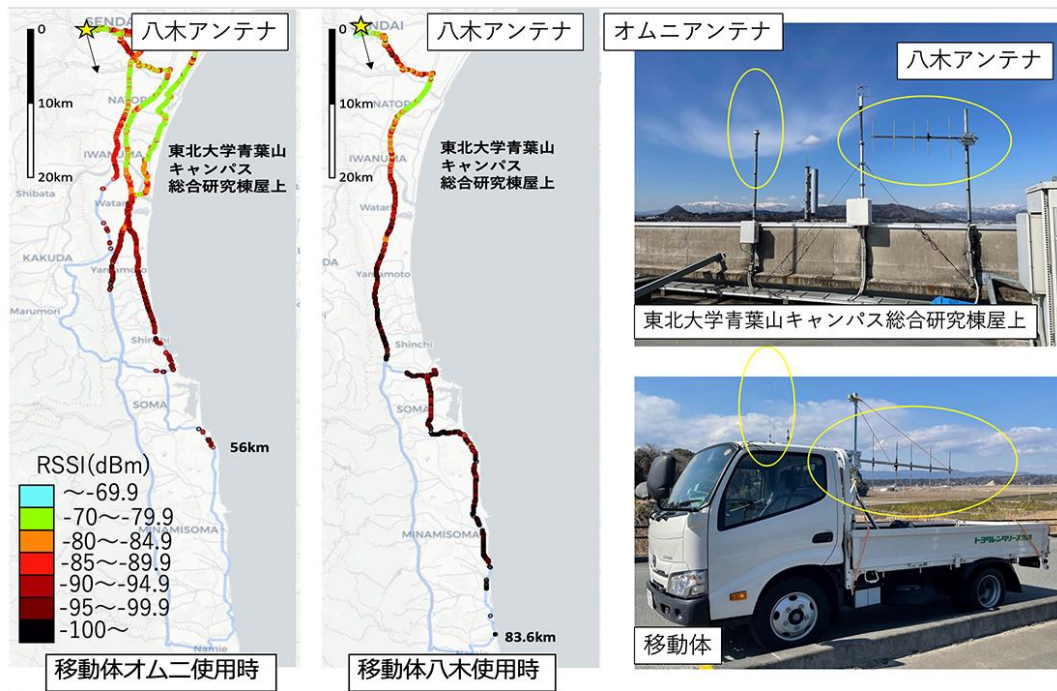


図 3. VHF帯通信試験における発信点・受信点の様子と信号受信強度(RSSI) (東北大学理学研究科[課題番号: THK_13], 大和田・他(2022)に加筆修正)。

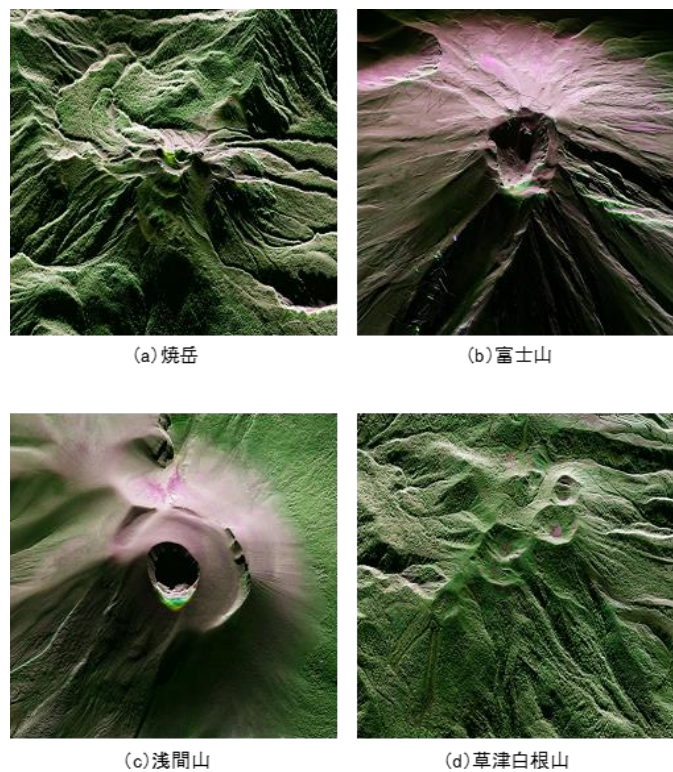


図 4. Pi-SAR X3による火山観測結果 (空間分解能15 cm) (情報通信研究機構[課題番号: NICT01])。

大規模噴火データベース

本データベースでは、後期更新世以降（過去約13万年間）に発生した大規模噴火のうち、数10~1,000 km³クラスの火砕物を噴出し、カルデラ形成を伴った噴火を対象に、その噴出物の特徴、噴火推移、長期・短期的前駆活動、後カルデラ活動をまとめています。カルデラ形成を伴う大規模噴火では、火砕流や降下テフラ等により、火山周辺地域から数1,000km離れた地域まで被害が発生する可能性があります。このため、大規模噴火の推移、長期・短期的前駆活動は、近年多くの分野で注目されています。大規模噴火の推移、数万年程度の長期的前駆活動・数千年~数百年程度の短期的前駆活動には、多様性が認められ、その詳細を明らかにし、大規模噴火の総合的理解を深めるためには、複数の火山の事例について比較検討することが重要です。そのため、産総研地質調査総合センターでは、複数の火山の事例について比較検討するため、統一的な基準でデータを収録した大規模噴火データベースの構築を進めています。



図5．大規模噴火データベース。摩周カルデラ、支笏カルデラ、洞爺カルデラ、濁川カルデラ、十和田カルデラ、始良カルデラ、阿多カルデラ、池田カルデラの8つのカルデラにおける詳細情報が掲載されている（産業技術総合研究所[課題番号：AIST11]）。