

南海トラフ沿いの巨大地震

「南海トラフ沿いの巨大地震」総合研究グループリーダー 伊藤喜宏
(京都大学防災研究所)

1. 目的

内閣府および地震調査研究推進本部により調査された南海トラフ沿いの巨大地震の地震シナリオおよび強震動予測はすでに公開されている。しかしながら、これまでに示された地震シナリオおよび強震動予測は過去の観測記録および歴史資料に基づいて構築されたものであり、現状の測地・地震観測により得られた知見を十分反映していない。南海トラフ巨大地震総合研究グループ（以下、南海総合G）では、南海トラフ巨大地震に関連した50課題の成果に基づき、地震・測地観測網で得られたプレート間固着やスロー地震の知見に基づき南海トラフ沿いの巨大地震の広帯域震源モデルの構築を目指す。さらに、地震波および津波の伝播モデルに基づき、西南日本地域の強震動および津波浸水モデルの提示を目的とする。

2. 拠点間連携のフレームワークの利用

前5カ年計画の東京大学地震研究所と京都大学防災研究所の拠点間連携共同研究（H26-H30）では、地震時のリスク評価の高精度化を目的として、震源モデル・シナリオ、地震波速度・減衰構造、浅部地盤応答、および構造物の脆弱性の各モデルを総合的に考慮したリスク評価の手法の提案および高精度化に関する研究が進められた。特に各課題が提案する複数の最適モデルを組み合わせることで不確実性を含む地震リスク評価の計算手法が提案された。南海総合Gでは、前計画の拠点間連携で得られた成果に基づき、各課題で得られた成果を実際に使用して、震源モデル・シナリオ、地震波伝播そして工学的基盤までの地震動を計算することを目的とする。その上で、必要なアウトプットを関連課題の要請に基づき情報を提供することとする。前5カ年計画の拠点間連携で研究対象とした大阪府および高知県について、浅部地盤応答も含めた地震動を求めて、構造物の脆弱性評価や地すべりのリスク評価などに活用する。

3. 震源モデル・シナリオの高度化に向けた今年度の取り組み

今年度は特に測地学・地震学モニタリングにより得られる知見に基づく地震シナリオの作成の準備に向けて関連課題の成果を調査した。特に、防災科学技術研究所では、地震発生長期評価の高度化に向けた地震発生モデルの構築を目的として、応力分布モデルに基づく地震発生シナリオの作成手法が提案された。ここでは、プレート間固着をGNSS連続記録から推定し、プレート境界での応力蓄積速度を求め、局所的な歪速度を可視化し、将来発生しうる地震シナリオを選定する。開発された手法では、まずGNSS観測記録から南海トラフのプレート境界のせん断応力の変化率を求め、次に得られた応力変化率に基づき、歴史資料を含めてこれまでに観測されていないシナリオを含む南海トラフで将来発生可能な多様な巨大地震シナリオが作成される。ここでは、地震発生条件として地震により地殻から失われる歪みエネルギーと断層面で摩擦により散逸するエネルギーの差が正となる破壊条件を加えることで、得られたプレート間固着分布から、歪みの蓄積期

間の長さに基づき破壊が発生しない地震シナリオが棄却される（防災科学技術研究所〔課題番号 NIED03〕）。この手法の応用により、現状の測地観測から得られた知見を反映した震源モデル・シナリオの設定が可能となる。

4. スロー地震のモニタリングに基づく地震シナリオの高度化への貢献

スロー地震のモニタリング結果に基づく地震シナリオの高度化への貢献についても検討した。京都大学防災研究では、日向灘やメキシコ・ゲレロ地震空白域沖合に海底地震計を設置し、浅部沈み込み帯で発生する微動のモニタリングを行った。日向灘の微動について 2013 年および 2017-2018 年の微動活動を精査し、特に微動のマイグレーションの様式が比較された。結果、微動の発生場所は 2013 年と 2017-2018 年でほぼ同じであり、南から北に活動域が RTR (Rapid Tremore Reversal) を含みながらマイグレーションし、その北端部が九州パラオ海嶺の沈み込み部に一致することが示された。また、ゲレロ空白域沖合で発生する低周波微動と海底地形を比較したところ、微動も通常の地震活動も発生していない領域がプレート境界面上の窪みに相当する可能性が示唆された。つまり、日向灘およびメキシコ共に海底地形、さらには沈み込むプレート境界面の形状が微動活動、すなわちスロー地震の発生様式を規定している可能性を示す（京都大学防災研究所〔課題番号：DPRI01〕）。さらに、東京大学地震研究所は、日本海溝と南海トラフ沿いで発生した超低周波地震のモニタリングから、特に浅部超低周波地震の活動が活発な領域では、プレート間固着率が小さく、スロー地震の活動とプレート間固着に負の相関がある可能性を示した（東京大学地震研究所〔課題番号：ERI_12〕）。

これらの研究事例のようにスロー地震活動と海底地形またはプレート境界面形状や固着率との比較を進めることで、特に沈み込み帯浅部における破壊シナリオの設定およびその高度化が実現されるかもしれない。

5. これまでの課題と今後の展望

南海総合Gでは、地震・測地観測記録および最新の研究事例から想定される「科学的に最も起こりうる震源モデルと強震動予測モデル」の構築を目的とする。防災科学技術研究所の成果として、この目的に到達する上で極めて重要な成果が上述のように示された。海洋研究開発機構は今後の計画として、これまでの地震発生帯モデルを高度化し、観測データとモデルから計算される固着率の時間推移から地震シナリオを求める新たな手法の開発を提案している（海洋研究開発機構〔課題番号：JAMS01〕）。将来的には、固着率の時間変化を観測からの推定値を入力するデータ同化により固着率の推移の予測を目指す。観測とモデルに則した地震シナリオのより高度な絞り込みが今後可能となるかもしれない。

一構造物等への影響を考慮した場合、1 Hz前後の帯域の地震動の予測が極めて重要となる（例えば、京都大学防災研究所〔課題番号：DPRI08〕）。先述したような測地学的に得られるプレート間固着に基づくモデルから予測される地震時すべり域が、強震動生成域となるか慎重に検討する必要があるだろう。実際、2011年東北地方太平洋沖地震の海溝付近の大すべり域と強震動生成域は一致していない。一方で、同領域で過去に発生したマグニチュード7クラスの地震で推定された強震動生成域と2011年の本震時のそれらとはよく一致する。これらの観測結果や歴史記録等から、強震動生成域の設定を適切に設定

することが、南海総合Gの目指す「南海トラフ沿いの巨大地震の広帯域震源モデル」の構築に極めて重要となる。

上記の点を考慮した上で、社会科学に関連した研究課題や地すべり等に関する研究課題と連携しなければならない。その上で、必要とされる強震動予測をいくつかの空間スケールで提供し、ある自治体の脆弱性評価や地すべりリスクの評価などに役立てる必要がある。さらに、ここで想定される地震シナリオに基づき、津波の浸水モデルや輻合災害の評価も今後の課題となる。

成果リスト

特になし

首都直下地震

「首都直下地震」総合研究グループリーダー 酒井慎一
(東京大学情報学環・東京大学地震研究所)

1. はじめに

首都直下地震に関しては「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）の推進について（建議）」の中で「分野横断で取り組む総合的研究」の一つとして位置づけられている。この総合研究は前計画から始まった新しいカテゴリーで「地震学・火山学的な見地のみならず災害科学的な重要性も鑑みて、複数の実施項目を横断する総合的な研究として推進する。総合的な研究を通して、専門分野の枠を超えた学際連携を現状よりも一層進め、地震学・火山学の成果を災害の軽減につなげるための方策を提案する。」とされ、他の8つの計画部会とは違った観点から結び付けた体制で研究が進められている。

第5章「研究を推進するための体制の整備」（2）分野横断で取り組む総合的研究を推進する体制の項では「首都直下地震は、一旦発生すれば首都機能や我が国の経済活動全体に深刻なダメージを与える可能性が高い。想定される多様な震源について、発生メカニズムや発生可能性を評価する研究を進める。詳細な地盤構造や多様な震源モデルによる揺れの予測に、稠密観測データや地震史料の情報を反映し、新たな地震動予測手法の開発を目指す。また、複雑な地殻構造を用いた大規模数値シミュレーションに基づいて、地震動を高精度に予測する手法を高度化する。さらに、各項目の研究成果を有機的に結び付け、高度に集約化された社会環境下での防災リテラシー向上に資する総合的研究を実施する。」と書かれ、首都直下地震ならではの総合的な成果が期待されている。

しかし、地震・火山現象の解明のための研究、地震・火山噴火の予測のための研究、地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究、地震・火山噴火に対する防災リテラシーの向上のための研究の4分野に、広くまたがるような総合的な研究課題は存在しない。そのため今年度は、それぞれの研究課題の中から首都直下地震に関連したものを集め、それら同士をつなげていくことを本総合研究グループの目標とした。

2. 令和2年度の成果

産業技術総合研究所は、房総半島南部沿岸の海岸段丘について年代測定値の統計処理を行うことで、離水年代の検討を行った（産業技術総合研究所〔課題番号：AIST08〕）。

東北大学は、東北地方・北海道下の上面地震帯の深さ100-130 kmで発生する6つの地震クラスターについて、波形相関走時差DD法による精密震源推定およびメカニズム解を推定した。その結果、全てのクラスターが1-2 km四方の領域で発生する、主に逆断層型の地震活動であることがわかった。5つのクラスターでは正断層型地震も伴い、それらは逆断層の震源より浅い側で多く発生した。こうした圧縮場にもかかわらず発生する正断層型地震は、地殻物質のエクロジャイト化による引張場の形成が原因であると解釈した。エクロジャイト化に伴う引張場の形成は極めて局所的であることが示唆される。また、中部日本下の深さ350 kmで発生する深発相似地震5グループ11個の震源をhypoDDにより再決定し、メカニズム解を調べた。波形とP波極性分布の類似性、震源の相対位

置関係に基づくと、各々の地震はグループごとに共通の断層面上で発生しているが、震源は共通断層面上の別々の場所に位置することがわかった。さらに、応力降下量と地震波放射エネルギーの関係性を調べると、相似地震であっても放射効率・応力降下量ともにばらつきがあり、物理パラメーターの多様性が見られた。これは同一スラブの同じ深さ（環境）の地震や共通断層面上の深発相似地震において、破壊の進展プロセスに対する thermal instability の寄与が異なる可能性を示唆する。その要因として、断層表面における鉱物粒径の違い、初期粘性、断層の成長度などが考えられる（東北大学大学院理学研究科 [課題番号：THK_06]）。

千葉大学は、2000年から2010年に房総半島（清澄観測点）と伊豆（清越観測点）で観測された磁場データについて調査し、観測点付近で発生したある程度の大きさ以上の地震とULF磁場異常の出現には有意相関があることを示した。また、データの地震前兆性について、確率利得（PG）と確率差（D）を導入して、予測パフォーマンスを定量化し、2か所のULF磁場観測点の最適な予測パラメーターを調査した。その結果は磁場異常に基づく地震予測がランダムな推測よりも大幅に優れ、房総半島（清澄観測点）と伊豆（清越観測点）で観測された磁場データに潜在的に有用な前兆情報が含まれていることを示した。また、先行情報は明確な震源距離（R）とターゲット地震イベントのサイズ（ E_s ：観測点が受信する地震エネルギー）に依存することを示した。伊豆の清越観測点および房総の清澄観測点での最適なRおよび E_s パラメーターは、それぞれ約（100 km、 $10^{8.75}$ ）と（180 km、 $10^{8.75}$ ）であることがわかった。これらの結果は、地震電磁気現象を理解するのに役立ち、ULF電磁アプローチに基づく運用予測モデルを改善することができる。この研究で提案された方法論は予測方針を評価し、短期的な地震予測のために他の種類の測定を最適化するのにも役立つ可能性がある（千葉大学 [課題番号：CBA_01]）。

新潟大学は、安政2年（1855）10月2日の江戸地震の被害の境界地域を検討するため、武蔵国多摩郡蔵敷村（東京都東大和市）の名主内野杢左衛門が記した『里正日誌』所収「安政二卯年十月二日大地震略記」を中心に検討した。地震発生時に横山町二丁目（日本橋）にいた杢左衛門が、翌日夕刻に帰宅するまでの道程で実見した被害状況の記事を分析した結果、四ツ谷通り下町の割から中野宿（中野区）までのあたりが被害の境界となることを明らかにした。この境界地域は、村岸・矢田（2016）で被害の境界とした甲州道中の代田橋（世田谷区）付近と対応している（新潟大学 [課題番号：NGT_01]）。

東京大学地震研究所は、これまで3次元差分法によるK-NET、KiK-net強震波形記録と地震波伝播シミュレーションとデータ同化した波動場を初期値として、高速計算から未来の時刻の長周期地震動を予測する手法開発を進めてきた。この同化波動場は、時間を反転させた運動方程式を用いた逆伝播シミュレーションにより、初期波動場（震源）のイメージングにも有効である。そこで、大地震の震源即時推定に向け、強震観測データと地震波逆伝播シミュレーションのデータ同化に基づく震源イメージングの有効性を検討した。本手法はデータ同化を行わない従来のBack Projection法やTime Reversal法（Migration法）に比べて、観測データの誤差（粗い観測点間隔による波動場構築の限界を含む）と波動伝播シミュレーションの誤差（地下構造モデルの不確定性による）の両方を適切に考慮した、高解像度の震源イメージングが期待できる。本手法を用いて2004年新潟県中越地震と2008年茨城県沖地震のKiK-netデータを用いた震源イメージングを行ない、発震時に震源近傍に初期波動場が良好に再構築されることを確認した。また、デー

タ同化を行わない従来のイメージング方法に比べてシャープな震源像が求まることや、Synthetic波形データを用いたより深い地震（40 km、80 km）のケースでも震源イメージングが適切に実行可能であることを確認した（東京大学地震研究所[課題番号:ERI_14]）。

東京大学地震研究所は、根津周辺における稠密観測を開始した。現代の地震観測で得られる知見を史料の分析結果と結びつけ、歴史地震の震度を検証および定量化する狙いで、安政江戸地震の揺れの検証を目的のひとつとし、同地震の被害史料の分析から被害場所が特定できた地点とその近隣地点を観測点にした。2020年9月より根津神社、天王寺、寛永寺、不忍池とその周辺地域へ観測点を徐々に追加していき、2020年12月上旬に観測点数は19点となった。一部のデータを用いた暫定的な結果では、観測点ごとの卓越周波数や振幅の違いが確認できている（東京大学地震研究所[課題番号:ERI_15]）。

東京大学情報学環は、令和2年度において（1）住民の災害に関する意識調査分析（ドラマ『パラレル東京』や関連するNHKスペシャルを軸とした、首都直下地震や災害に関する調査の解析）と、（2）地震災害等の発生確率、被害想定、関連する災害情報などに関する住民調査を実施した。（1）では、実施したパネル調査の結果を解析し、首都直下地震と防災についてのキャンペーン報道による影響や効果を分析し、報告につなげた。（2）では、2020年11月には、地震災害等、災害情報や防災に関する全国を対象としたアンケート調査を実施した（東京大学情報学環[課題番号:III_01]）。

そのほか、2021年1月22日に首都直下地震に関する意見交換会をオンラインで行った。関連する課題の研究者たち十数名が集まり、それぞれの研究成果を紹介した。今後の総合研究としての研究計画の進め方を議論し、まずは連携できる課題同士を探すところから始めることとしたが、コロナ禍で上手くいかない点もあったことが報告された。

3. 今後の展望

首都直下地震が発生した場合には、我が国の首都機能や経済活動全体に深刻なダメージを与える可能性が高いことから、分野横断的に取り組む総合的な研究として推進するテーマの一つとされてきた。ただ、広い分野にまたがるような総合的な研究課題がないため、研究課題の中から首都直下地震に関連した研究成果を集めて統合させることを、本総合研究グループの目標とする。

成果リスト

特になし

千島海溝沿いの巨大地震

「千島海溝沿いの巨大地震」総合研究グループリーダー 高橋浩晃
(北海道大学大学院理学研究院)

1. はじめに

太平洋プレートが沈み込む千島海溝南部では、過去約 6,500 年間の津波堆積物の解析から超巨大津波が繰り返し発生してきたことが明らかにされている。国の地震調査研究推進本部の長期評価では、千島海溝南部での M8.8 程度以上の平均発生間隔は約 340～380 年、最新発生時期は 17 世紀前半であり、30 年発生確率 7～40 %で発生が切迫しているとしている。内閣府による概要報告では、太平洋沿岸部では最大震度 7 の揺れとなり、地震発生後 20～30 分で高さ 20 m を超える津波が到達するとされており、大きな被害が予見される。一回り小さな根室沖の領域においては、M7.8～8.5 程度の巨大地震の 30 年以内発生確率が 80 %程度と極めて高い値となっている。

総合研究グループでは、千島海溝沿いの巨大地震をターゲットとした課題の成果に加え、建議研究で行われている汎用的なハザード評価手法や防災リテラシー研究の成果を有機的かつ総合的に取り入れることで、超巨大地震による地震動や津波による災害の軽減を目指す。総合研究グループが目指すアウトプットは、ハザードの事前情報とその振れ幅を適切に評価に取り込むために必要となる要素技術の検討から、最適な津波避難計画の評価手法に代表される地域の災害予防スキームを支えることで、地域防災力の向上を図ることである。

地域防災計画における津波避難計画は、ある 1 つの事前予測シナリオに基づいたものであるが、実際の地震動や津波浸水は必ず予測とは異なる形で発現する。津波避難計画策定に用いる事前予測シナリオは、想定の変れ幅が反映された形で検討されるべきであるが、その評価方法は確立されていない。ハザードの即時予測情報は、事前予測の不確実性を補完する情報と位置付けることができる。千島海溝南部でも運用が開始された S-net を最大限活用し、津波即時予測の技術開発を進展させることが重要である。

ハザード予測の変れ幅は、震源域での津波励起や強震動生成特性に大きく依存する。海底地殻変動観測によるプレート間固着分布の情報や、地震波速度構造・スローイベントの空間分布などの地震発生場に関する情報からは、地震時すべり分布の事前予測に関する知見が得られることが期待されている。一方、津波避難計画における避難時間の予測においても、地域の避難経路・住民の年齢構成・天候などの社会環境要因も大きな振れ幅を内包しており、ハザードと連関されたばらつきの検討が必要である。総合研究グループでは、自然ハザードと社会環境のパラメータを関係させて検討することで、冗長性が内包された災害対策につながる成果の提供を目指す。

2. 令和 2 年度の主な成果

千島海溝南部には S-net が運用されている。事前のハザード予測に基づいて計画された津波避難を実効的なものにするため、リアルタイム海底観測網のデータを活用した津波即時予測手法の開発は極めて重要な課題である。これまで実施してきた仮想的な海底津波観測点分布を用いた実用可能性試験を発展させ、本年度は実際の十勝根室沖の S-net 観

測点分布を用いた新たな即時津波浸水予測手法の開発が行われた。データ同化による即時津波浸水予測を行うため、想定震源域に仮想グリッドを生成し、S-net観測点での観測津波波形に適切な距離重みをつけて外挿することで、各ノードでの津波波形を合成する手法を開発した。各グリッド点での合成津波波形と、事前にデータベース化された浸水パターンを利用することで、地震発生後数分以内に津波浸水の即時予測が可能であることが示された（北海道大学〔課題番号：HKD_09〕）。

プレート間固着の空間分布は津波励起特性に関係している可能性があり、津波浸水の事前予測の観点で重要な情報である。令和元年度に根室沖に設置された3か所の海底地殻変動基準局において2回目の測定が実施され、予察的な変位ベクトルの推定に成功した。来年度以降に3回目の測定が行われれば、誤差評価を含めた変位ベクトルの推定が可能となり、プレート間固着の空間分布に関する新たな情報が得られることが期待される（東北大学災害科学国際研究所〔課題番号：IRID02〕、東京大学地震研究所〔課題番号：ERI_05〕、北海道大学〔課題番号：HKD_09〕）。根室沖の陸側プレート前縁部の走時トモグラフィ解析から、低 V_p 堆積物のウェッジ構造が見いだされた。この構造の特徴は、2011年東北沖地震時に海溝軸に至る大すべりを起こした宮城沖と類似しており、その空間分布が17世紀初頭の超巨大地震の断層位置と概ね対応することから、超巨大地震時には海溝軸まですべりが到達する可能性がある（東京大学地震研究所〔課題番号：ERI_05〕）。

地震サイクルを超えた地殻変動の情報は、断層モデルや長期的な地震間地殻変動モデルの評価に重要な示唆を与える。十勝管内沿岸河口域での淡水汽水珪藻比率プロファイル時系列から、1,000年間に及ぶ地殻上下変動の連続的な変化が解明された。12-13世紀超巨大地震の後から続いた隆起が14-15世紀頃から沈降に転じ、17世紀超巨大地震後は現在まで隆起が続いていることが示された。現在観測されている地殻変動の評価や、粘弾性構造を用いた地震サイクルシミュレーションの妥当性など、地震発生予測に関する幅広い分野に影響を与える重要な成果である。また、17世紀地震時には顕著な地殻上下変動が見られておらず、海岸線付近が超巨大地震発生時の断層下端部に相当している可能性がある（北海道大学〔課題番号：HKD_01〕）。

超巨大地震発生時は北海道全域で強い揺れとなることが予想され、札幌都市圏をはじめとする広域のかつ広帯域な地震動予測を進める必要がある。本年度は、過去に千島海溝南部で発生した中規模地震を用いた地震動の距離減衰特性が検討された。プレート境界地震では現有の減衰式とほぼ同等の振幅特性が見られたが、スラブ内地震では1 Hz以上の高周波数帯域でプレート境界地震に比べ数倍から10倍程度の振幅を有していた。2011年東北沖地震では、スラブ内を震源とする余震も多く発生している。超巨大地震発生後のスラブ内余震が、本震よりも強い短周期レベルの地震動をもたらすことで、構造物に本震時以上の被害を引き起こす可能性がある。

根室・釧路管内の縄文以降の遺跡報告を網羅的に調査した結果、過去1万年に最大8回の液状化痕跡が認められた。この回数は、津波堆積物から推定されているイベント数の半分程度である（北海道大学〔課題番号：HKD_09〕）。津波堆積物の詳細な年代測定からは、17世紀と12世紀のイベントの年代が十勝地域と釧路根室地域で異なる可能性が示唆されており（北海道大学〔課題番号：HKD_01〕）、液状化痕跡と津波堆積物の年代を比較することで、地震動と津波規模の関連性が明らかになる可能性がある。

地域防災力の向上を目指し、釧路・室蘭・函館地方気象台等と連携して自治体職員向

けの勉強会を実施した。自治体の防災担当者は数年ごとに異動する。新たな担当者が効率的に基礎知識を得られる仕組みの1つとして、今般急速に普及し親和性が高まったオンライン・オンデマンド方式での試行をした。北海道太平洋沿岸のほぼすべての自治体が参加し、オンデマンド版では1か月間の視聴期間中に累計1万アクセス以上を記録し、多くのニーズがあることが実証できた（北海道大学〔課題番号：HKD_09〕）。オンライン・オンデマンド方式は、従来の講習会のような参集時間の制約を受けにくく、北海道のような広域自治体や、緊急対応が必要となる防災部局では特に効果が大きい。地域防災力向上の有効なツールとして活用していくことが重要である。

3. これまでの課題と今後の展望

内閣府では、千島海溝南部の超巨大地震による最大の地震動とL2津波の浸水予測を概要報告として2020年4月に公表した。一方、基礎自治体では、財政や人的資源の関係から、最大ハザード対策は困難な場合が多く、最頻ハザード予測への要望がある。ハザードの規模別発生確率評価や、事前予測の信頼区間の評価方法について、検討を始める必要がある。実際の社会システムでの不確実性の取り扱いも未解決な課題であり、今後の研究の進展を適切に取り込んでいくことが必要である。

ハザードの事前予測の振れ幅を検討する材料として、地殻活動データの活用や震源特性の多様性の統計的検討が挙げられる。来年度以降、海底地殻変動観測によるプレート間固着の空間分布が明らかになることが期待されているが、これを先験情報として津波浸水推定に取り入れる手法の検討が予定されている。

津波避難計画では、徒歩速度と津波避難場所との関係から避難困難地区の検討が行われる。釧路市の平野部では高台避難が困難なことから、緊急避難場所として津波避難ビルの指定が進められている。津波避難ビルの入り口に集まってきた多様な年齢構成の住民が、基準水位以上の高さへ階段を順番に上っていくのには多くの時間を要することが予想される。ハザードの不確実性の検討とともに、避難時の集団行動に伴って発生する遅れ時間など、避難計画を構成する社会的要素の評価も今後検討すべき課題である。また、大規模災害は低頻度であり、その発現までには相当の時間を要する場合がある。ハザード評価をリスク評価につなげるには、地方で急速に進行する人口減少など、長期的な社会素因の変動も考慮する必要がある。

基礎自治体では、職員数の削減に比して膨大な業務量の増加があり、地域の災害対策に投入されるべき人的資源を圧迫している現実がある。防災リテラシーの向上を目指すには、今般急速に普及したオンライン・オンデマンド等を積極的に導入して定型業務の革新的な効率化を図るとともに、研究成果や施策を網羅かつ俯瞰した統合化された情報を共有する方法を検討することが必要である。

成果リスト

Tanioka, Y., 2020, Improvement of near-field tsunami forecasting method using ocean-bottom pressure sensor network (S-net), Earth Planet. Space, 72, 132, doi:10.1186/s40623-020-01268-1.

桜島大規模火山噴火

「桜島大規模火山噴火」グループリーダー 井口正人
(京都大学防災研究所)

活発な噴火活動を60年以上続け、今後大規模噴火の発生が予想される桜島を対象に、各研究項目間で緊密な連携と成果の共有を図り、住民避難を視野に入れた総合的研究を推進する。観測研究を通じて、マグマの動きとマグマ供給系への理解を深め火山活動推移モデルを高度化することで、噴火発生予測研究を進展させる。噴火発生前の規模の予測と、噴火発生直後の噴出物の把握を即時的に行うことで災害予測研究を進める。災害予測に基づき、住民への情報伝達などの火山災害情報に関する研究と、避難や交通網の復旧などの対策に資する研究を行う。他の火山における類似研究と連携し、都市、中山間地域、離島などの地理的、社会的環境による対策の違いなど幅広い研究を目指す。本総合研究グループの研究項目と各課題担当は図1に示す通りであり、異なる部会に属する27の研究課題が参画している。令和2年度は、11月に対面とオンラインによるハイブリッド研究集会を開催した。本報告では、研究集会とグループに参画している課題の成果から大規模噴火研究に資する知見を取りまとめた。

マグマの動きとマグマ供給系への理解

桜島では1955年10月以降、南岳あるいはその東山腹の昭和火口において噴火活動が続いており、最近の火山活動においてもマグマ供給系に関する知見が蓄積されつつある。2015年8月15日に1000回近い群発地震を伴った開口性のマグマ貫入イベントが発生した。割れ目は広域応力場に整合的な東南東－西北西方向に開口したが、北北東－南南西方向に延びる割れ目の走向に沿って、開口の前半では浅部で、後半ではやや深部において地震が発生した(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI07])。また、解析例が一例と少ないものの、規模の大きい南岳の爆発に伴う地盤変動は、南岳直下の浅部とより深部に位置する2つの収縮力源により説明され、深部の収縮力源は北岳からさらに北東方向に伸びる割れ目の収縮による可能性があることが示された(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI07])。これまで、桜島の地盤変動を励起する圧力源として球状圧力源がしばしば適用されてきたが、よりマグマの移動しやすい開口性の割れ目がマグマの貫入の初期段階では支配的である可能性がある。

1914年噴火後の地盤変動測定により、桜島の北部は北へ、南部は南へそれぞれ数メートル変位したことが知られており、橋本・多田(1988)は開口量20mの東西方向の割れ目を考えたが、東西方向の割れ目は先に述べた北北東－南南西方向の割れ目(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI07])に共役的である。2015年8月15日に発生した群発地震活動の後半に発生したやや深部の地震活動は、共役的に発展しようとした断層の初期段階を見ているのかもしれない。したがって、広域応力場に整合的な断層の動きだけでなく、共役的な地震活動にも注目する必要がある。

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)において、火山活動推移モデルの構築は重点課題とされており、桜島の大規模噴火の発生予測においても最も重要な観点に位置付けられる。昨年度の報告で述べたように、大規模噴火に至る前駆過

程として、始良カルデラ下のマグマ溜まりの膨張による地殻内応力集中による桜島から離れた場所での地震発生（1913年6月）、桜島島内での二酸化炭素濃度の増加（7月）、桜島島内の弾性変形を伴う非地震性地盤変動（7月～12月）、噴火の30時間前から始まった群発地震と急速な地盤変動というプロセスを推定した。このうち、注目すべきは地中からの二酸化炭素の発散量の増加であり、本総合研究グループでも小型センサーで二酸化炭素濃度の上昇を測定するためのパラメータの検討が進められた（東京工業大学〔課題番号：TIT_02〕）。

桜島の多様な噴火活動において、マグマの貫入速度が大きい場合は爆発的な噴火（explosive）、小さい場合は溶岩の噴出のような穏やかな噴火（effusive）になることを昨年度の報告で述べた。今年度はマグマの貫入速度が小さく、effusiveな噴火となったインドネシアのシナブン火山とメラピ火山において水蒸気噴火から溶岩ドーム形成に至るプロセスを明らかにし（京都大学防災研究所〔課題番号：DPRI06〕）、マグマの貫入速度とその後の噴火規模・様式に明瞭な対応があるという主張を強化した。

大規模噴火発生時の噴火活動推移把握のための観測技術

大規模噴火が始まるとその噴火活動の推移が最も注目される。1914年桜島噴火は、プリニー式噴火で始まり、火砕流発生を経て溶岩流出で終息した。このような大規模噴火発生時には観測インフラが破壊されるため観測の維持は容易ではないが、近年はこのような状況においても観測の継続を可能にする様々な観測技術の発展が進んでいる。衛星画像によるリアルタイム火山観測（東京大学地震研究所〔課題番号：ERI_07〕）や干渉SARによる地盤変動の把握（気象庁〔課題番号：JMA_03〕）は、火山周辺の観測インフラに依存しない。また、ドローンを用いた観測技術（東京大学地震研究所〔課題番号：ERI_07〕）は火山活動下においても安全性の高い観測が可能であるし、920 MHz帯を用いた地震波形伝送（東北大学〔課題番号：THK_13〕）は、応急的な観測網の復旧に有望である。古典的ではあるが、カメラによる遠望観測の強化（気象庁〔課題番号：JMA_12〕）は必須である。火山ガスについては、簡易トラバース装置を用いた二酸化硫黄放出率の測定（東京大学理学系研究科〔課題番号：UTS_06〕）が機動的である。

ハザード予測

大規模噴火では、降下火山灰・軽石、火砕流、溶岩流、地震、津波、土石流など様々な現象がハザード要因となる。このうち、降下火山灰・軽石の拡散と降下域に関して、桜島の1914年噴火では、初期フェーズであるプリニー式噴火によって多量の火山・軽石が桜島の南東方向に降下したことはよく知られているが、桜島の西方についても、その方向に位置する祇園之洲砲台跡や鹿児島紡績所跡（鹿児島市）など、近世末の遺跡の遺構の発掘からこれらを被覆する降下火山灰層が発見されている（奈良文化財研究所埋蔵文化財センター〔課題番号：NAB_01〕）。これらの火山灰は、プリニー式噴火後の溶岩噴出に伴うブルカノ式噴火により放出されたものであり、気象条件によってハザードは常に変わりうることを示している。大規模噴火では噴火活動は長期間継続することが多いので、風速場の変化も予測する必要がある。次世代火山研究推進事業のうち「リアルタイムの火山灰ハザード評価手法の開発」では噴火発生に伴う諸現象を即時的に解析して火山灰の拡散範囲をシミュレーションにより予測するだけでなく、噴火前の地盤の膨張量から

噴出マグマ量を予測し、火山近傍の高分解能の風速データをもとに噴火発生前の拡散予測も行われているが、噴出率と風速場の時間発展を考慮した、より実践的なシステムへ発展させる必要がある。

1914年桜島噴火でも噴火開始から1日後に火砕流の発生が見られる（小林，1982）。2009年以降の昭和火口噴火による火砕流発生事例の解析から、火砕流は半年から1年に及ぶ一連の噴火活動期のうち後半部分にあたる、新鮮なマグマが放出し終わり脱ガスが進んだマグマが噴火により放出される地盤変動の収縮期に発生しやすいことがわかった（京都大学防災研究所〔課題番号：DPRI11〕）。このことは、大規模噴火においても噴火活動がある程度進行した後に火砕流が発生することと整合的である。

1914年噴火後には多量の軽石・火山灰が降下した大隅半島側で、降雨がトリガーとなる土石流あるいは洪水が頻発した。降灰によるクラストが斜面表面を覆った条件に対する降雨流出・土砂流出に関する室内実験により、クラストの存在が表面流量を増加させることが分かった（京都大学防災研究所〔課題番号：DPRI12〕）。

防災リテラシーの向上

桜島の大規模噴火を想定した防災リテラシーの向上においては、現在の火山活動状態と今後中期的に起こりうる噴火への認識、噴火前後の危機的状況における避難等の行動、避難時の災害イメージの醸成、復旧・復興への行動イメージなどを考慮する必要がある。桜島では2020年6月4日の爆発によって火山岩塊が火口から南西3.3 kmの居住地域まで達した。本来、噴火警戒レベルが5に引き上げられる重大な事象であったことから、桜島に居住する住民へのアンケート調査をおこなった。その結果、気象庁の発表する噴火警戒レベルとその対応については認知度が高いものの、警戒を要する範囲については認知が不十分であることがわかった（京都大学防災研究所〔課題番号：DPRI13〕）。一方、大規模噴火によって鹿児島市街地側への大量降灰災害に対して、大幅に被災影響を軽減できると考えられる市街地側住民の事前避難を実現を目指し、火山の予知・予測情報が適切な避難へと結びつくような情報の作成と、ワークショップにおける専門家と住民との対話を通じて共創する研究に着手した（拠点間連携共同研究〔課題番号：CT0C16〕）。

これまでの課題と今後の展望

火山災害では避難をもってその対策とするので、避難対応が最も重要である。桜島から全島避難には時間を要するので、噴火警戒レベル4、5の発表、さらに、避難の意思決定のタイミングが避難対策の成否を決定づける。現在は、噴火警戒レベルの判定基準が公表されているので、火山活動が基準を満たしさえすれば、避難行動を開始できる。判定基準は1914年噴火の事例を参考に決定されているが、次の大規模噴火でも同様の規模の地震活動が発現する保証はない。さらに、鹿児島市は鹿児島市街地域からの避難を地域防災計画に組み込んだが、避難対象人口が10万～20万人と見積もられる避難の実施は桜島島内からの避難よりもさらに多くの時間を要する。鹿児島市街地側の避難における課題は以下の通りである。①避難のための時間を稼ぐため、2～3日前における噴火の前兆現象の検知と噴火発生の切迫度評価の高度化、②プリニー式噴火継続中の時間帯を通しての風速場の高精度の予測、③プリニー式噴火の後も溶岩流出を伴いながら火山灰の放出は長期間続くので、長期継続降灰への対応。④鹿児島市側において避難という対応

があることを周知させること（桜島では、過去の噴火の経験と50年に及ぶ避難訓練により十分なリテラシーがあるのに対し、鹿児島市においては不十分）、⑤大規模噴火を踏まえた降灰強度のレベル化。

火山活動が噴火警戒レベルの判定基準を満たしてくればよいが、より複雑な現象を示すことも十分あり得るので、むしろ、過去に住民の避難が行われた火山における避難の意思決定に至るまでの事例プロセスを調査すべきと考える。

令和3年度においても12月に総合研究グループの研究成果、課題間連携を確認する研究集会を行い、総合的な研究を推進する。

成果リスト

- Brown, J. R., R. N. Taylor, and M. Iguchi, 2020, Using high-resolution Pb isotopes to unravel the petrogenesis of Sakurajima volcano, Japan, *Bull. Volcanol.* 82, 36, doi:10.1007/s00445-020-1371-0.
- Nomura, Y., M. Nemoto, N. Hayashi, S. Hanaoka, M. Murata, T. Yoshikawa, Y. Masutani, E. Maeda, O. Abe, and H. K. M. Tanaka, 2020, Pilot study of eruption forecasting with muography using convolutional neural network, *Scientific Reports* volume 10, 5272. doi.org/10.1038/s41598-020-62342-y.
- 平野舟一郎・八木原寛・仲谷幸浩・後藤和彦, 2020, 2017 年の臨時地震観測による鹿児島湾・喜入沖の震源分布と発震機構—鹿児島地溝形成に伴う断層に沿った顕著な地震活動—, *鹿児島大学理学部紀要*, 53, 32-44, <http://hdl.handle.net/10232/00031553>.
- Hotta, K. and M. Iguchi, 2021, Tilt and strain change during the explosion at Minamidake, Sakurajima, on November 13, 2017, *Earth Planet. Space* 73, 70, doi:10.1186/s40623-021-01392-6.
- Iguchi, M., H. Nakamichi, and T. Tameguri, 2020, Integrated study on forecasting volcanic hazards of Sakurajima volcano, Japan, *J. Disaster Res.*, 15, 174-186, doi:10.20965/jdr.2020.p0174.
- Iguchi, M., 2020, Chapter 3 Resilience to Volcano- and Landslide-Related Hazards, in “Disaster Risk Reduction and Resilience”, ed. by M. Yokomatsu and S. Hochrainer-Stigler, *Disaster and Risk Research: GADRI Book Series*, Springer, 25-44, doi:10.1007/978-981-15-4320-3_3.
- Iguchi, M., 2021, Chapter 18 Volcano emergency planning at Sakurajima volcano, in “Forecasting and Planning for Volcanic Hazards, Risks, and Disasters Volume 2”, ed. by P. Papale, *Hazards and Disasters Series*, Elsevier, 635-668, doi:10.1016/B978-0-12-818082-2.00018-4.
- Ishii, K., A. Yokoo, M. Iguchi, and E. Fujita, 2020, Utilizing the solution of sound diffraction by a thin screen to evaluate infrasound waves attenuated around volcano topography, *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 402, 106983, doi:10.1016/j.jvolgeores.2020.106983.
- 風間卓仁・山本圭吾・大柳諒・岡田和見・大島弘光・井口正人, 2020, 桜島火山における繰り返し相対重力測定（2019年5月～2020年3月）, *京都大学防災研究所年報*, 63B, 108-117, <http://hdl.handle.net/2433/260813>.

- Koike, M. and H. Nakamichi, 2021, Dike inflation process beneath Sakurajima volcano, Japan, during the earthquake swarm of August 15, 2015, *Front. Earth Sci.* 8, 600223, doi:10.3389/feart.2020.600223.
- Le, H.V., T. Murata, and M. Iguchi, 2020, Can Eruptions Be Predicted? Short-Term Prediction of Volcanic Eruptions via Attention-Based Long Short-Term Memory, *AAAI-20/IAAI-20 Technical Tracks*, 08, 34, 13320-13325, doi.:10.1609/aaai.v34i08.7043.
- Maher, S. P., R. S. Matoza, C. D. de Groot-Hedlin, K. L. Gee, D. Fee, and A. Yokoo, 2020, Investigating spectral distortion of local volcano infrasound by nonlinear propagation at Sakurajima Volcano, Japan, *J. Geophys. Res. Solid Earth* 125, e2019JB018284, doi:10.1029/2019JB018284.
- 村田泰輔, 2020, 災害痕跡データベースの構築－災害の軽減に向けた考古学の新たな挑戦－, 佐藤禎一(編)「學士會会報」, 一般社団法人學士会, 942, 57-70.
- 村田泰輔, 2021, 論説 災害痕跡データベースの構築・公開に向けて～考古学の新たな挑戦, 西藤公司(編)「地域防災」, 一般財団法人日本防火・防災協会, 36, 4-9.
- 中道治久・他, 2020, 2019年桜島火山人工地震探査の概要と過去の探査との比較, 京都大学防災研究所年報, 63B, 100-107, <http://hdl.handle.net/2433/260812>.
- Shinohara, H., R. Kazahaya, T. Ohminato, T. Kaneko, U. Tsunogai, and M. Morita, 2020, Variation of volcanic gas composition at a poorly accessible volcano: Sakurajima, Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 407, 107098, doi:10.1016/j.jvolgeores.2020.107098.
- Yamasaki, T., F. Sigmundsson, and M. Iguchi, 2020, Viscoelastic crustal response to magma supply and discharge in the upper crust: Implications for the uplift of the Aira caldera before and after the 1914 eruption of the Sakurajima volcano, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 531, 115981, doi:10.1016/j.epsl.2019.115981.

研究項目と各課題担当

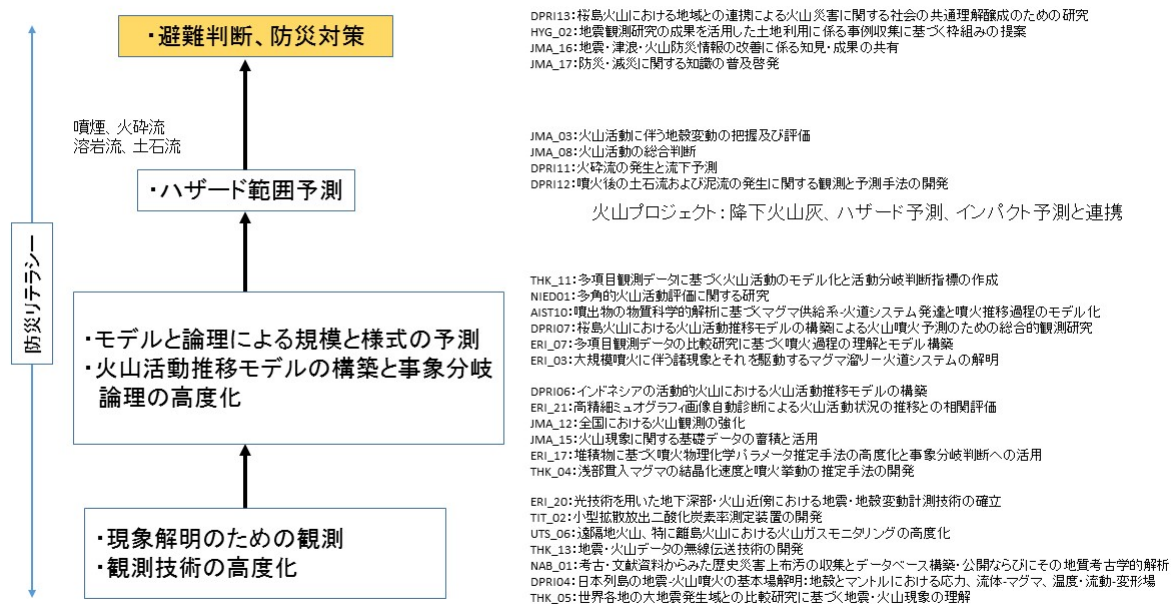


図 1. 桜島総合研究グループの研究項目と各課題

高リスク小規模火山噴火

「高リスク小規模火山噴火」総合研究グループリーダー 大湊隆雄
(東京大学地震研究所)

1. 目的

火山では、噴気地帯や山頂火口近傍に多くの観光客や登山客が訪れたり、観光施設が設けられている場合が多く、平成 26 年の御嶽山噴火や平成 30 年の草津本白根山噴火のように、規模が小さくても人的・物的被害等が生ずる場合がある。また小規模な噴火は発生頻度が相対的に高いことから、観光客や登山客等の災害リスクの低減という観点から重要な研究対象である。そこで、噴火災害に関する資料の収集、地質調査による水蒸気爆発等の噴火履歴調査、各種観測による活動把握、災害誘因である噴石や土石流などの予測研究、災害情報の発信に関する研究等を実施する。これらの成果を総合的に検討し、研究の課題や方向性を明らかにする。

2. 実施方法

(1) 既存課題の成果を活用

- ・ 噴火災害資料の収集、災害発生状況の整理、災害発生時の火口からの距離等の文献調査、災害関連学会での情報収集
- ・ 地質調査による水蒸気爆発等の噴火履歴調査
- ・ 地球物理・地球化学的各種観測による活動把握
- ・ 比抵抗調査等による熱水系の構造探査による水蒸気噴火ポテンシャルの評価
- ・ 災害情報の発信に関する研究の活用（御嶽山、本白根の事例研究など）

(2) 建議の研究の枠外（社会科学、災害科学分野など）の成果を活用

- ・ 災害関連学会等からの情報収集
- ・ 社会科学、災害科学分野等の研究者に、火山分野への応用を検討してもらうための方策（集会・セミナー等）の検討

(3) 既存研究成果を精査し、研究分野の過不足の有無を洗い出し、あらたな研究課題や研究の方向性の提案につなげる。

(4) 上記に関連する研究集会の企画

3. 本年度の実施内容

本総合研究グループと関連する各分野の連携を整理するための連携図（図 1）を作成した。作成した図に基づいて関連分野の成果の取り入れ方や研究の過不足等について検討を進め、本総合研究で取り組むべき研究項目とその進捗状況を以下の様に整理した。

研究項目	進捗
1) 災害情報の発信に関する研究	→ 関連する研究課題はあるが、まだ問題点の整理が必要な段階
2) 小規模噴火の発生する場の把握	→ 関係各課題で実施中
3) 観測による火山の活動把握	→ 関係各課題で実施中

- 4) 噴火の予測に関する研究 → 関係各課題で実施中
- 5) 小規模噴火災害の資料収集 → 未実施

本総合研究に関連する成果を研究項目毎に整理すると以下の様になる。

1) 災害情報の発信に関する研究

ニュージーランドで開発された VUI (火山活発化指数) を日本の火山に適用するための具体的な検討が始まっている。これは噴火前の各種観測データの変化から火山活動の活発化の度合いを客観的に評価する試みであり、その成果は本総合研究の対象である高リスク小規模噴火の評価にも応用され、災害情報としてどのような情報が発信可能であるかを評価することに繋がる。本年度は、昨年度作成した基準に基づいて、気象庁・北大・道総研等のデータを用いて十勝岳の VUI 毎月値を、1970 年から 2019 年について算出している。また阿蘇山中岳について VUI 基準を検討している(北海道大学[課題番号:HKD_04]、京都大学理学研究科[課題番号:KUS_02])。

災害情報の発信に関する研究の問題点を整理するため、今年度は以下の 4 項目について検討した。

- a) 情報を発信すべき対象
- b) 現在使われている防災資料の内容
- c) 噴火警戒レベルと小規模噴火
- d) モニタリングは誰が行うか

a) 情報を発信すべき対象

本総合研究において対象とする高リスク小規模噴火については、地元住民に加えて観光客、登山客が情報発信の対象となる。地元住民に対しては防災マップの配布などにより情報発信を行うことが一般的と考えられるが、観光客や登山客についてはその行動を把握することが先決であり、情報発信の方法はその後に検討することになる。登山客の行動を把握する先駆的な試みとして富士山チャレンジプラットフォームが実施した「富士山チャレンジ」という取り組みがある。これは登山客にビーコンを配布し、その行動パターンを把握し登山者の安全対策に資するという試みであり、得られたノウハウや情報は本総合研究課題にとっても極めて重要である。この取り組みの実施者との連携や得られた成果の活用を次年度以降検討したい。

b) 防災資料の内容

火山周辺の自治体が発行している火山防災ハンドブックの例として、2009年に発行された御嶽山火山防災ハンドブックを取り上げる。これを見ると「火山噴火は事前に予測できる」、「小規模噴火は大規模噴火の前触れであり、大規模噴火になる前に避難すれば良い」という印象を与えかねない記述となっている。小規模噴火は前兆が捉えにくく不意打ちとなる場合があるし、小規模噴火であっても火口近傍に人が居れば被害が出る。2014年の御嶽山噴火で被害にあった方々が、仮にこの情報に事前に接していたとしても、被害軽減に役立ったかどうかは疑問が残る。

次に、2014年10月の御嶽山噴火後に発行された噴火シナリオにおいて記述がどのように変わったのかを調べたところ、火山活動は徐々にエスカレートし大きな噴火に繋がるという記述が再び採用されており、2014年噴火と同じことが起きた場合にどのように対応するか、という点に重きを置いて書かれているという印象を受ける。しかし、前回の噴火と全く同じことが再び起きる可能性はそれほど高くはない。また、観測網が以前よりも整備されたとはいえ、前兆的な地震活動や地殻変動をリアルタイムで評価し適切に対応できる保証もない。防災対策を取るためには都合が良いのかもしれないが、噴火による被害の低減という観点からは噴火前の内容から大きく改善されたとは言い難い。

c) 噴火警戒レベルと小規模噴火

気象庁が発表する噴火警戒レベルと高リスク小規模噴火の関係も検討した。噴火警戒レベルは「わかりやすい指標である」、「防災対応との親和性が高い」という利点があるため広く認知され、防災対応の指標として使われており、比較的規模の大きい噴火に対しては概ね有効に機能していると考えられる。しかしこの噴火警戒レベルが小規模噴火に対しても有効であるとは限らない。現行の説明を読むと、大規模噴火に向けてレベル1からレベル5に向けて段階を踏んで活動がエスカレートするとの印象を与えかねない。また、レベル1は安全である、との印象も与える。小規模噴火に関しては噴火前にレベルが1段ずつ順序良く上がるとは限らないし、レベル1であっても必ずしも安全ではない。例えば、2014年の御嶽山噴火はレベル1の状態で噴火が発生し、噴火後にレベル3に引き上げられた。2019年の浅間山の小噴火も同様である。この噴火もレベル1で発生しレベル3への引き上げは噴火後であった。大規模噴火に関しては、マグマの移動を伴うことが多く、前駆的な活動が発生する。そのため、地震発生数や地殻変動などの観測指標が徐々に高くなり噴火に至る場合が多いことから、噴火警戒レベルは有効に働く場合が多い。これに対し、必ずしもマグマの移動を伴わない小規模噴火は事前のシグナルが微弱であり、現行の噴火警戒レベルが有効に機能するとは限らない。

d) モニタリングの実施主体は誰か？

火山活動に伴うハザードは極めて多様である。溶岩流や噴石、降灰の他に火山ガスの噴出も被害者の発生につながっている。地震や地殻変動、遠望観測は気象庁が担っている。また、山頂火口からの火山ガス放出も気象庁によりモニターされている火山は多い。しかし、登山道沿いの小規模な噴気孔における火山ガスモニタリングは誰が実施しているのだろうか？岩手、宮城県の県境に位置する栗駒山では地元自治体が主体となってモニタリングを実施している。他の火山においても地元自治体を実施している例が多いと思われるが、火山によってはその火山に関心を持つ研究者任せか、あるいはそもそもモニタリングが実施されていない場合があるかもしれない。モニタリングの実態を調査した上で、モニタリングの対象から漏れている事例はないか、モニタリングはどこが担うべきかという重要な問題に関する議論を開始する必要がある。

2) 小規模噴火の発生する場の把握

本白根火砕丘群の山頂域に分布する小火口の活動年代を検討し、各火口を形成した水蒸気噴火の発生年代を推定した。水蒸気噴火の発生場として国内外に有名な白根火砕丘

群（SPCG）の形成史の解明のため地質図の試作と各火砕丘の活動年代推定を実施した（富山大学〔課題番号：TYM_01〕）。

草津白根火山において広帯域 MT 観測による 3 次元比抵抗構造モデルの構築を行い、深部マグマ溜りからのマグマ性流体の供給路に相当すると思われる構造を見出した。御嶽山においては長周期 MT レスポンスを得るための試験観測を実施し、未変質の新期御岳溶岩を反映する高抵抗層を見出した。2014 年噴火口近傍は、表層付近から少なくとも深度 500 m までは低比抵抗層が存在し、噴火に関与した流体の存在が示唆された（東京工業大学〔課題番号：TIT_03〕）。

3) 観測による火山の活動把握

地球物理・地球化学的各種観測による活動把握

白根火砕丘周辺における多項目観測を継続し、活動の低下傾向を示す様々な観測的事実が得られた。本白根山 2018 年噴火時に発生した火山性微動の発生位置から、噴火に関与した流体が北方由来であることが示唆された。また、噴火発生時の傾斜変動と噴火噴煙放熱量の比較から、噴火に関与した熱水が比較的低温であった可能性が示唆された（東京工業大学〔課題番号：TIT_03〕）。

伊豆大島においては、人工電流源による地下比抵抗連続モニタリング（ACTIVE）を継続した。また直流法による比抵抗モニタリングも実施したが、いずれも顕著な変動は認められなかった（東京工業大学〔課題番号：TIT_03〕）。

弥陀ヶ原火山において、多項目の地球物理的観測を実施している。地獄谷遊歩道沿いで実施した水準測量では 2.9 cm/年の沈降が検出され、近年活発な噴気活動が継続している紺屋地獄・新噴気帯付近ではほぼ鉛直なダイクが閉口したことが推定された。また過去の年変化は一定ではなく、噴気活動の盛衰や地下からの熱水の供給量の変化に対応していることが示唆された。地獄谷内に設置した GPS ベンチマークの繰り返し観測を 2020 年 8 月と 10 月にそれぞれ実施した（富山大学〔課題番号：TYM_02〕）。

百姓地獄北東部の噴気孔近傍において地動観測を行い、周波数 6-8 Hz および 65 Hz 付近が卓越する振動が観測された。65 Hz 付近の振動は、噴気孔で発生している空力音によるものと考えられる。また、弥陀ヶ原火山全体の活動状況を把握する観点から広域地震観測も開始した（富山大学〔課題番号：TYM_02〕）。

ドローンを用いて地獄谷内の熱観測を行い、熱活動の詳細な変化を明らかにするとともに、地獄谷内の熱水・噴気の温度分布図を作成した。干渉 SAR による地表の隆起を比較し、隆起量が大きい地点ほど高温の熱水・噴気が噴出しているという傾向を見出した（富山大学〔課題番号：TYM_02〕）。

駒ヶ岳・有珠・樽前・十勝・雌阿寒では地震・地殻変動観測を継続している。吾妻山においても、広帯域地震計による機動観測点における観測を維持・継続した。伊豆大島では絶対重力観測を継続的に実施している。焼岳においても地震・傾斜計・GPS から成る多項目観測を継続している。御嶽山では微小地震観測や GNSS キャンペーン観測を実施している。阿蘇・九重では相対重力観測や微動のアレイ解析、GNSS や InSAR による地殻変動の抽出を行った。口永良部島では地震及び GNSS の連続観測を実施した（京都大学理学研究科〔課題番号：KUS_02〕）。

多項目観測データによる火山現象・災害過程の把握のための研究を進め、基盤的火山

観測網（V-net）等のJVDNシステムに集約されたデータの活用を進めている（防災科学技術研究所〔課題番号：NIED01〕）。

火山活動の監視、現象の理解等に必要となる基礎資料を提供するため、熊本において絶対重力観測を実施した。また、富士山において全磁力連続観測を実施した（国土地理院〔課題番号：GSI_06〕）。

小規模火山噴火に関する研究を推進するためには、火口近傍の観測体制の充実が不可欠である。活火山の常時監視体制の継続や、地震計や監視カメラの増強が進められている（気象庁〔課題番号：JMA_12〕）。

4）噴火の予測に関する研究

噴火の予測に関する関連研究分野との連携として「多項目観測データに基づく火山活動のモデル化と活動分岐判断指標の作成（東北大学〔課題番号：THK_11〕）」との合同研究集会を1月12日と1月15日の2日に分けて実施した。

観測データの解析結果や物質科学的データの分析結果を整理して、火山活動推移のモデル化や噴火時小系統樹の分岐判断指標の作成を進めた。吾妻山や十勝岳を対象に火山性地震発生域や膨張・収縮源、低比抵抗領域、活動様式について比較研究が進んでおり、また、十勝岳の熱水系を念頭に熱水流動シミュレーションによる地下の熱水系のふるまいが調べられている。火山活動の変化に対する火口湖の応答について、湖水の熱・化学パラメータの数値的検討を行った。十勝岳の三段山山体の活動中に起こった山体崩壊により生じた、ヌッカクシ火口において調査した。マグマ噴火は約1800年前まであり、その後は水蒸気噴火および小規模な山体崩壊が散発的に発生していることがわかった。小規模噴火の発生については、現在活発な活動を示す火口以外も対象として、調査・評価する必要があることが改めて示唆された（東北大学〔課題番号：THK_11〕）。

4. これまでの課題と今後の展望

・これまでの課題

火山活動による人的被害の程度は必ずしも噴火規模に依らない。噴火が発生する場所からの「距離」が人的被害の規模を大きく左右する。大規模噴火であっても十分な距離まで避難できれば人的被害は生じない。逆に小規模噴火であっても近くで発生すれば人的被害はまぬかれない。

マグマ噴火等の大規模噴火の場合はほとんどの場合明瞭な先行現象があり、噴火前に避難し人的被害が少ない場合が多い。また、噴火規模が大きくても周囲に人がいなければ被害が無い。これに対し、水蒸気噴火、ガス噴出、ガスの滞留等の比較的規模の小さい火山活動については、先行する現象が弱いあるいは無いために事前把握が難しく、危険性がわかりにくい。噴気地帯などはそのまま観光スポットになっていることも多く、観光客や登山客が危険性がわからないまま接近し、被害が出る場合がある。

小規模噴火にもかかわらず高リスクである理由の一つは、上記で述べたように発生場所や時期が予測困難だという点である。また、高リスクであるもう一つの理由として社会的要因も考えられる。各自治体が発行する防災マップや、噴火に関する情報発信を担う気象庁が設定している噴火警戒レベルを見ると、防災マップの多くは噴火がある程度予測できることを前提とした記述となっており、高リスク小規模噴火に関する記述はほ

とんど見られず、危険性の存在が周知されにくい。噴火警戒レベルについても、非専門家が正確にその内容を理解しているとは考えにくく、専門家と非専門家の認識が大きく乖離している可能性がある。例えば、レベル1であれば安全であると考え、火口付近に無防備に接近して突発的な噴火に巻き込まれるという事が起こり得る。

・今後の展望

本課題のターゲットである小規模火山噴火は、データの収集が難しく、科学的な研究の対象とするためには困難を伴うため、観測研究計画の中でこれを明示的にターゲットとする研究は限られていた。しかしながら、小規模ゆえに発生頻度が高く人的被害も少なくない現象に対して、被害低減につながる具体的な方策を探るための研究は本観測研究計画の中で実施されてしかるべきものであった。そこで、2019年度に始まった観測研究計画において「高リスク小規模火山噴火研究グループ」を立ち上げ、その活動を開始した。

本総合研究は、予測困難性と社会的要因に着目して研究の方向性を検討し、将来の研究課題のシーズを育てることを目標とする。予測困難性に関しては、これまでの知見を活用することで予測可能性を高めることはできないか、あるいは、予測可能性を高めるためにはどのような研究を新たに立ち上げるべきか、という観点から検討を進める。社会的要因に関しては、専門家と非専門家の認識のギャップを埋め、どうすれば非専門家が危険性を正しく理解することができるのか、そのためには何をすべきか、という観点から社会科学的、防災科学的研究の方向性に関して検討を進める。

2年目となる今年度は、関連する研究課題の整理と問題点の洗い出しを進めた。本総合研究で実施すべき研究項目を以下の5つに整理した。1) 災害情報の発信に関する研究、2) 小規模噴火の発生する場の把握、3) 観測による火山の活動把握、4) 噴火の予測に関する研究、5) 小規模噴火災害の資料収集。2)～4)については関連する研究課題の成果が少しずつ現れているが、1)に関しては、関連する研究課題のうち社会学的、情報学的な課題の取り込みが不十分であり、次年度以降の課題である。また、5)に関しては現状は未実施であり、次年度以降に実施予定である。

成果リスト

特になし

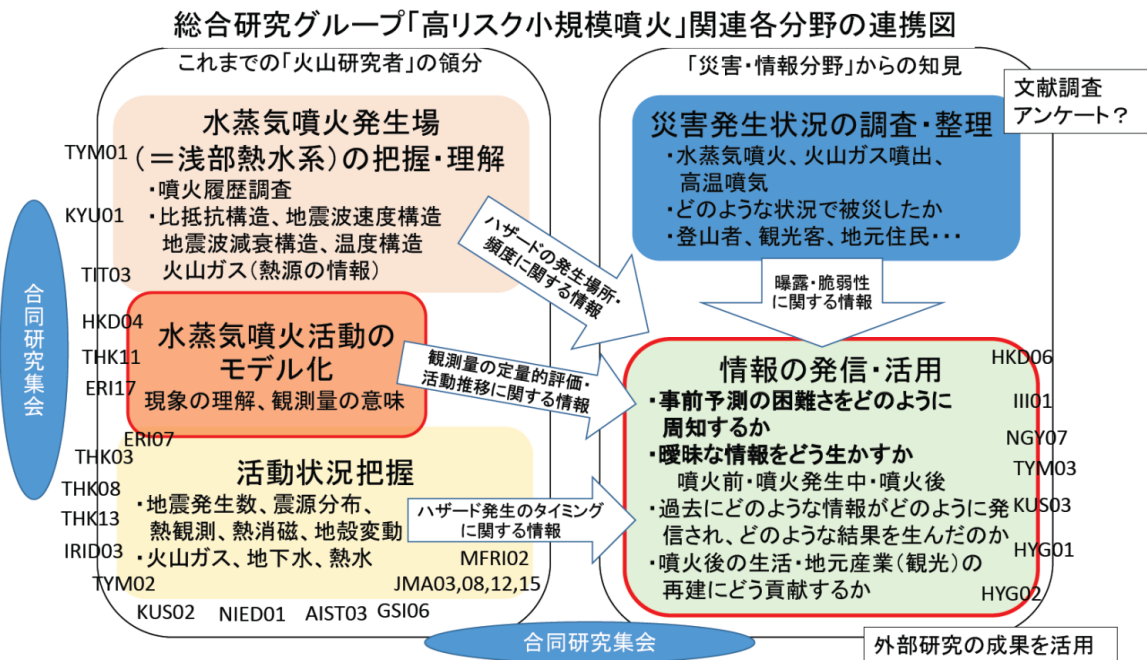


図1. 本総合研究グループと他課題の連携図。関連する課題番号も示す。従来型の火山研究課題は、現象の解明や予測のための研究が多く、図の左側の枠に入る。図の右上に示される災害・情報分野に関する研究課題は無いため、外部からの知見をどのように取り込むかが課題である。右下は、災害軽減に関連する情報をどのように発信すべきかという、本総合研究で最も重要な内容が含まれている。この内容に向けて、建議の研究における各課題の成果をどのように統合していくかを検討することが、本総合研究の主目的となる。

拠点間連携共同研究

東京大学地震研究所・京都大学防災研究所 拠点間連携共同研究委員会

委員長 松島信一

(京都大学防災研究所)

副委員長 加藤尚之

(東京大学地震研究所)

これまでの地震・火山観測研究計画では、地震や火山噴火の発生の予測を最大の目標とし、それにより地震や火山噴火による災害の軽減を目指してきた。しかし平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震の発生により多くの犠牲者が出たことを踏まえ、地震や火山噴火の科学的な予測が極めて困難であっても、現在の地震学や火山学には災害軽減に役立てられる多くの知見が集積されていることから、平成26年度から開始された「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」（建議）において大きく方針を変更した。即ち、地震や火山噴火の発生予測の実現を重点とした方針から、それらの予測を目指す研究を継続しつつも、地震・火山噴火災害をもたらす誘因の予測研究も組織的・体系的に進める方針に転換した。そのため、地震学や火山学を中核としつつも、災害や防災に関連する理学、工学、人文・社会科学などの分野の研究者が参加して、協働して推進することになった。

これまでの建議に基づく観測研究計画では、自然現象である地震発生や火山噴火現象の理解に基づきそれらの科学的な予測を目指すという考え方から、「地震・火山科学の共同利用・共同研究拠点」である東京大学地震研究所が中核となって計画を推進してきた。しかし災害や防災に関連する研究者と協働して計画を推進するためには、東京大学地震研究所と「自然災害に関する総合防災学の共同利用・共同研究拠点」である京都大学防災研究所とが連携して計画を進めることが有効であるとの結論に至り、両研究所が協働し、それぞれの分野の共同利用・共同研究拠点として、連携して共同研究を進めることとなった。具体的には、両拠点の研究者が中核となって建議に沿った大テーマを決め、それを実現するための研究について全国の研究者からの提案・参画を募集して全国規模の共同研究を進める「重点課題研究」と両拠点がそれぞれ関連が深い地震火山研究コミュニティと自然災害研究コミュニティの2つの学術コミュニティに呼びかけ建議の主旨を踏まえたボトムアップ研究を公募する「一般課題型研究」を実施している。

1. 重点推進研究

(1) 総括研究

総括研究は「巨大地震のリスク評価の不確実性に関するパラダイム構築の推進」と題し、2019年度に引き続き（1）震源過程、（2）伝播・深部地盤構造、（3）強震動予測、（4）浅部地盤構造、（5）構造物被害予測、（6）リスク評価の研究グループに分かれ、それぞれの分野におけるリスク評価の不確かさの要因についての検討を進めるとともに、これらの知見を統合するための（7）プラットフォーム構築グループ、（8）ステークホルダの参画に関する研究グループおよび（9）大規模計算のためのコンピュータサイエンスグループの9グループで実施した（拠点間連携共同研究〔課題番号：CT0C01〕）。

震源過程および強震動予測について、プレートの沈み込み帯で発生するプレート間大地震・巨大地震に伴う強震動の距離減衰の特徴を調べるために、2003年十勝沖地震、平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震の防災科学技術研究所のK-NET、KiK-netで観測された強震動を解析した。浅部地盤構造の影響を表層30 mの時間平均S波速度である V_{s30} により補正したほか、地震ハザード評価の側面から震源に近い前弧側の記録のみを用いた。この様にして求めたPGA及びPGVに対し、強震動生成域の M_w とそこからの距離とを用いて予測するモデル式を作製した（図1）。また、距離減衰式の高度化に向けて、周期ごとの応答スペクトルを考慮した解析の必要性や最大変位や永久変位など問題となるテーマについて議論した。

深部地盤および伝播経路については、DONET観測点の2点以上でP/S波検測値がある地震のうち、紀伊半島南東沖で実施された構造調査測線周囲の地震635個について、JMAによるDONETの検測値のみを用いて震源の再決定を行った。この時、それぞれのDONET観測点における地震波速度構造は、南海トラフ沿いで実施された構造調査をもとに構築されたP波速度構造を参照した。さらに、堆積層による地震波到達時間の遅れについて各観測点での観測点補正値を求め、震源決定解析に適用した。解析結果として611個の地震について、震源が再決定された。これらの震源はJMAカタログ震源よりも全体的に～10 km程度浅く、特に $M6.5$ の地震はプレート境界付近に求まった。

浅部地盤構造に関しては、地盤物性の不確実性を考慮した地盤災害リスク評価のため、中空ねじりせん断試験機を用いて液状化特性に関するばらつきの検討を行った（図2）。土の相対密度やせん断応力比といった定量化が可能な指標の影響に加え、実験者の違いといった定量化が難しい指標の影響についても分析した。

構造物被害予測について、建物の被害状況の早期把握のため、現行の応急危険度判定手法の制定の経緯について調査するとともに、衛星画像利用の有効性、加速度記録を用いた即時判定の有効性について確認を行った。また、これまでの鉄筋コンクリート部材の実験データベースを用いて、柱・梁・耐震壁について損傷の生じ始める降伏点変形の推定方法とその精度について検討を行った。

リスク評価については、リスク分析および被害分析に必要なエクスポージャに関する情報に対して、UAV空撮を用いて高精度かつ半自動的に収集・整理する手法に関する基本的な検討を行なった。具体的には、広域UAV空撮画像から点群データを生成し、生成された点群データを処理することで、地域内の個々の建物に対して建物高さや平面などの基本的なパラメータを実用的な精度で推定可能であることを明らかにした。一方、1m-LiDAR DEMを用い特徴的な地物を認識可能な図を作成した。地震前後の2枚の図で特徴的な地物の追跡を行い、広い範囲で地表の移動方向と変位の大きさを示すことで、地震断層と考えられる地表変位と地震で変位した地すべり土塊の検出が可能となった。

プラットフォーム構築としては、地震時の総合的な影響評価にむけて、過去の南海トラフ巨大地震での建物被害と現在の地震リスク評価手法により推定される建物被害を比較することで、震源域から山陰地方にかけての地域の減衰特性が過大評価されていることを示した。また、地震リスク評価の応用としてライフライン（水道管）のリスク評価を行う為の被害関数について、2016年熊本地震における被害データをもとに検討した（図3）。

コンピュータサイエンスでは、開発をすすめてきた低次有限要素を用いた解析コード

を拡張し、また、GPUへの実装を行うことで、従来よりもさらに高速な地盤増幅解析を実現した。さらに、本解析手法と最適化過程を学習する人工知能を組み合わせることで高速な地盤内部構造推定のための手法を開発した。

ステークホルダ参画については、災害リスク評価結果は想定シナリオ・手法により変化するため、防災計画を策定する場合には災害リスク評価にばらつきが存在することを踏まえる必要がある。大阪府、高知県において、震源モデルの違い、工学的基盤での地震動のばらつき、表層地盤における増幅特性のばらつき、を考慮した組み合わせによる計算を表示するシステムの開発を継続して行い、地方自治体のハザード評価結果との比較を行えるようにした。

（２）特定型（その１）

「ばらつきのある被害リスク評価をふまえた防災計画の検討〔課題番号：CT0C02〕」においては、災害リスク評価のばらつきを理解することが重要であり、計画の目的に応じて適切な災害リスク評価結果を選択することが重要となることを踏まえて研究を進めた。ばらつきのある被害リスク評価を防災計画に、災害リスク評価結果は想定シナリオ・手法により変化する。したがって、防災計画を策定する場合には、災害リスク評価にばらつきが存在することを踏まえる必要がある。そのためには、災害リスク評価のばらつきを理解することが重要であり、計画の目的に応じて適切な災害リスク評価結果を選択することが重要となる。昨年度開発したシナリオ・手法の組み合わせにより変化する災害シナリオ評価結果を適切に理解することが可能なシステムの改良・対象地域の拡大を行った。図４に地震動推定のばらつきの推定の方法、図５に高知県での試行結果を示している。図５では行政の評価結果が、様々な地震動推定の中で大きめに評価している場合は赤系、小さめに評価している場合は青系で示しているが、目的に応じて、逆（大きめが青、小さめが赤）の表示も可能となっている。行政の地震動推定結果が、提案されている様々な地震動の中の位置づけを示している。20 %以下（小さめに評価）に位置する場合は青、80 %以上（大きめに評価）に位置する場合は赤にしている（拠点間連携共同研究〔課題番号：CT0C02〕）。

（３）特定型（その３）

「定常的地震活動の震源および地震波速度構造の精度向上による地震波動場推定の高度化〔課題番号：CT0C03〕」では、2020年度は気象庁一元化震源カタログにある紀伊半島南島沖で実施された構造調査測線の周囲140 km四方で発生した地震のうち、DONET観測点2点以上でP/S波検測値がある地震を抽出し、DONETの検測値のみを用いて震源の再決定を行った。この時、それぞれのDONET観測点における地震波速度構造は、南海トラフ沿いで実施された構造調査をもとに構築された既往のP波速度構造を参照して決定した。S波速度構造はP波速度を参照して決定するとともに、堆積層中の極端に遅いS波速度については、S波到達時間に補正を施す観測点補正值を求め、震源決定解析に適用することとした。解析結果として611個の地震の震源を再決定した。これらの震源はJMAカタログ震源よりも全体的に～10 km程度浅く求まっている。例えば2016年4月1日に発生した三重県南島沖のM6.5の地震については、他の詳しい解析から求められている深さ（例えば地震調査委員会資料）と整合的である。一方で、DONET観測点の検測値が3点以下の地震につ

いては、再決定された地震の分布にもばらつきが認められるため、より限定した領域の地震についての解析が必要と考えられる。南海トラフ沿い海域下の地震については、プレート境界付近の海洋性地殻内と海洋性マントル最上部の2グループがあることが知られている。モホ面を挟んで、陸域で観測される地震動の大きさに大きな違いがあることが報告されている。本研究で再決定された震源（図6a）は、JMAカタログ震源（図6b）よりも全体的に浅く求まった。特にM6.5の地震はプレート境界付近に求まり、陸域での震動の評価には重要である（拠点間連携共同研究〔課題番号：CT0C03〕）。

（3）特定型（その2）

「巨大地震による斜面災害発生個所の事前予測方法の検討[CT0C14]」では、不安定土塊の存在位置を検出する方法として、詳細数値地図情報（1m-LiDAR-DEM）を用い、地形を視覚的に理解しやすく示す方法を開発した。この手法を用い、既往の地震による土砂災害事例から、地震前と地震後の地形変化を比較し、不安定土塊として危険度の高い部分を抽出する方法を得た。これは、既往の侵食や崩壊が起こっておらず、斜面の下部からの侵食や道路建設などの人工改変による切り取りで、その上部斜面を支持物質が存在していない部分であることが判明してきている。この地形の視覚化手法を用い、2016年熊本地震と2018年北海道胆振東部地震の前後比較を詳細に実施することによって、地震による崩壊発生の力学的モデルを提案する。

京都大学火山研究センター周辺で発生したいくつかの斜面崩壊・地すべりを事例として、2016年熊本地震の前後に得られた1m-LiDAR DEMを用いて、土砂移動発生箇所の地形的特徴と断層運動による地表の卓越振動方向の関係、斜面崩壊・地すべりの発生した箇所と隣接する発生しなかった箇所の斜面縦断形状を現象の前後で比較した。

重要な結果として、地表の卓越振動方向と発生箇所の斜面方向は、北北西―南南東とほぼ一致していた。また、崩壊が発生した箇所、斜面には、斜面下方に崖・段差などの上部斜面を支持する構造がなく、斜面上方にはいわゆる潜在不安定土層が存在していた。

熊本地震で得られた知見をもとに、2018年北海道胆振東部地震の前（5m DEM）と後（1m-LiDAR DEM）の比較を行った。震源が深く、地表の卓越振動方向と崩壊が発生した箇所に明瞭な方向の卓越性は認められなかったが、斜面崩壊・地すべりの発生した箇所には、熊本地震の結果で得られた地形的特徴が認められた。

これらの事例比較に用いた詳細数値地図情報（1m-LiDAR-DEM）を使い、地形を視覚的に理解しやすく示す図（土砂災害予測基本図：図7）は、潜在崩壊土層を検出することに有効であることも確認された。地震前後の図（土砂災害予測基本図）を用いて、PIV（Particle Image Velocimetry）を用いて、地表面に出現した地表変位を追跡する解析をおこなった。その結果、断層運動の周辺の地表の移動方向を2次元で、方向と大きさを図示することが可能となった（図8）。また、これまで認識されなかった地すべり性の移動土塊の検出が可能となった（拠点間連携共同研究〔課題番号：CT0C14〕）。

2. 一般課題型研究

地震・火山噴火という自然現象が引き起こす地震動、津波、火山噴出物、斜面崩壊などの災害誘因が、自然や社会に潜在的に存在する脆弱性などの災害素因に働きかけ、これらの誘因と素因の組み合わせと相互作用の状態に応じて様々な規模の災害が発生する。

そのため災害誘因予測の高度化は、災害の軽減に結びつく有効な手段の一つである。このような視点から、一般課題型研究では、災害誘因や災害リスクを事前に高い精度で評価する手法を開発する「地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化の研究」、地震や火山噴火が発生した直後に、高精度かつ即時的に災害誘因を予測する手法を開発する「地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化の研究」、災害誘因予測を防災対策の推進に効果的に結びつけるための「地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究」に関連する研究を公募した。

2020年度は新規 5 課題が東京大学地震研究所・京都大学防災研究所拠点間連携共同研究委員会の審査を経て採択された。また、2019年度からの継続課題 6 課題、研究期間延長課題 1 課題が実施された。

（１）地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化の研究

「不均質な断層すべり分布を考慮した津波の確率論的予測と不確実性の評価[CT0C04]」では、東大地震研の佐竹グループと京大防災研の森グループが定期的（年 3 回程度）にワークショップを開催し、確定論的な津波解析結果と確率論的な予測手法に関する情報を交換し、確率論的な手法の高度化に向けた共同研究を行うことを目的とした。世界の M9 クラスの超巨大地震についての研究成果に基づく確率論的な津波高の推定手法を南海トラフの地震に適用する。引き続き拠点間連携の重点推進研究に反映するための準備を行う。

2020年度は2020年 9 月 24日にオンラインで、両グループの合同セミナーを行った。東大関係者、京大防災研関係者それぞれ 4 名ずつ、合計 8 名が研究内容を発表し、情報交換を行った。発表者と内容は以下の通り。

1. Tsunami kernels and their applications (Takenori Shimozone, UTCivil)
2. Tsunami Resonance Characterization in Japan due to Transpacific sources: Response on the Bay and Continental Shelf (Yuchen Wang, ERI)
3. Tsunami Ray Tracing Method and Analyses of Bathymetry Effect off Honshu, Japan (Tungcheng Ho, DPRI)
4. Mechanism of unexpected tsunamis caused by peculiar volcanic earthquake at submarine calderas (Osamu Sandanbata, NIED)
5. Application of an Adaptive Mesh Refinement Method to tsunami simulations (Takuya Miyahsita, DPRI)
6. Regional probabilistic tsunami hazard assessment associated with active faults along the eastern margin of the Sea of Japan (Iyan Mulia, ERI)
7. Physical and Numerical Modeling of Tsunami Inundation In Coastal Urban Area (Nobuki Fukui, DPRI)
8. Experimental study of debris motion using urban city model and its characteristics (Yu Chida, PARI)

2019年度に東大の佐竹グループから京大の森グループへ異動した何東政氏は、2018年インドネシア（スラウェシ）地震について、断層面上のすべりの不均質性や、そのモデルに基づくパル湾における津波の浸水についての論文を改訂・投稿した。また、津波の波線追跡の新手法を開発し、津波第 1 波や反射波の波線と海底地形との関係を明らかにした。

この他、日本海における60断層について、断層面上のすべり分布の不均質性を考慮した7万通り以上のシナリオを想定し、日本海沿岸の約150の市町村ごとの確率論的な津波高さを計算した（図9）。計算ステップごとに空間解像度や時間刻み幅が動的に変化する適合格子細分化法（AMR法）の数値モデルを用いて、南海トラフ沿いで発生する巨大地震を対象に津波計算を行い、その精度検証を進めた。AMR法の格子分割基準を変化させた感度分析を行い、精度を保ちつつ計算負荷を減少させる格子分割条件を求め、水深を閾値に格子解像度のレベルに上限を設けることで、計算に要する時間を有効に削減できることがわかった（拠点間連携共同研究〔課題番号：CT0C04〕）。

「強震観測点におけるサイト特性評価手法の開発に関する多国間共同研究〔CT0C05〕」では、多国間の国際共同研究を計画していたが、コロナ禍により海外から共同研究者を招聘することも当方から先方に渡航することもかなわず、我が国で開催を予定していたESG6国際シンポジウムも延期を余儀なくされたので、メールによる打ち合わせで共著論文を執筆し、またウェブ開催の国際会議に投稿・参加することで研究成果の公表を推進した。

フランスとの共同研究ではグルノーブル盆地に地震動の水平上下比EHVRを用いた逆算手法と微動の水平上下比MHVRを用いるEMR法を適用してその地下構造を明らかにし、さらにそれが既存の方法で得られていた盆地の速度構造とどのような関係にあるかについて詳細な解析を加えた。その結果、得られた速度構造は、それまで推定されていたように、深さ数100 mから1 km程度のところに存在する地質学的境界で直ちに地震基盤のS波速度（ >3 km/s）になるのではなく、そこから速度が漸増し、地質境界の平均的に2.5倍の深さのところで地震基盤に達するという速度構造であることが明らかとなった。地質境界はS波速度1.3 km/s以上となる深さZ1.3に相当し、Z1.3の空間分布が地質境界の深さ分布に対応することを明らかにした。

イタリアとの共同研究では、先方の研究者がコロナ禍により、地震計観測網のメンテナンス作業に専念する必要性が生じ、共同研究に関するアマトリーチェ地域の速度構造同定の研究については大きな進展が得られなかった。

米国との共同研究では南カリフォルニアにおける強震観測点のデータ解析を進め、我が国と同様な方法により、地震基盤から上の速度構造が得られることを複数地点で確認することができた。特にインペリアルバレーの周期8秒に達する長周期域の水平上下スペクトル比に見られる顕著なピークはその地震基盤深さが5 km以上であることを示しており、盆地全体の構造を明らかにするのに、強震観測点の長周期域の水平上下スペクトル比が極めて有効であることを示した。それに対して微動の長周期域の水平上下スペクトル比は地震動のそれとは振幅が一致しておらず、計測システムに課題がある可能性が指摘された。これについては日本側研究者が現地に行って通常のシステムで計測する以外にその妥当性を確認するすべがなく、コロナ禍の落ち着くのを待って現地計測に再度チャレンジする予定である（拠点間連携共同研究〔課題番号：CT0C05〕）。

「強震動のブラインド予測のための共用地盤モデルの構築に関する研究〔CT0C07〕」では、ESG6の強震動のブラインド予測のために、既往の地下構造情報および現地調査の結果から、熊本テストサイトの1次元共用地盤モデルの最終案を作成した。地震動のブラ

インド予測のBP1の地盤モデルの推定の終了後に、この1次元共用地盤モデルがブラインド予測参加者に提供され、BP2および3で使用できることとなった。

また、熊本テストサイト周辺では、既存の強震観測点が少なく、テストサイトの地震動の空間的広がりなどを検討することが難しいことを考慮して、テストサイト周辺で臨時地震観測を行った。図10に示すように、テストサイトは、熊本平野西部のJR貨物熊本駅付近の強震観測点であり、その周辺の200 m程度の狭い範囲の20地点に強震計を設置した。ESG6のブラインド予測のテストサイトは、臨時観測の観測点16の近傍にある。臨時観測点の多く（観測点1～11）は、北東—南西方向に並んでいる。観測点数は少ないが、直交する方向にも観測点（観測点14～21）を配置した。また、ブラインド予測での岩盤サイトの観測点である金峰山のSEV0地点（九州大学地震火山観測研究センターの熊本地震観測点）でも臨時強震観測を行った。さらに、図11に示すテストサイト近傍の3階建てのRC造建物の各階にも地震計を設置した。観測は、2020年3月から9月までの約半年間、継続された。

臨時観測の記録のなかで最も震源距離が長い薩摩半島西方沖の地震（2020年5月3日20時54分、深さ10 km、M6.2）の南北方向の加速度記録を図12に示す。左図は、広帯域（周期0.1～10秒）の加速度波形であり、岩盤サイトのSEV0を除いて、各地点の波形はよく類似している。周期5～10秒の長周期帯域では、位相まで含めて、各地点の波形はよく一致している。SEV0の波形も他の地点との差異が少なくなっている。一方、周期0.1～1秒の短周期成分では、波形は似ているが、振幅は地点ごとに異なっている。テストサイト近傍の観測点16に対する各点の水平成分のフーリエスペクトルの比を図13に示す。スペクトルの算出には、水平2成分の相乗平均を用い、スペクトル比は、33地震の記録を平均した値である。スペクトル比は、周期0.5秒以上の帯域では、ほぼ1倍であり、この周期帯域の地震動特性は、テストサイト周辺ではほぼ同様であると考えられる。一方、周期0.5秒以下ではスペクトル比の変動が大きくなり、各観測点はテストサイトの地震動特性と異なる特性を持っている。とくに、周期0.3秒付近では1倍を下回る地点が多く、周期0.2秒付近では1倍を超える地点が多い。テストサイト周辺200 m程度の範囲では、地震動の特性はほぼ同じであると考えられる。テストサイト周辺では周期0.3秒以下に影響を与える極表層部を除いて地盤構造に大きな変化はなく、1次元速度構造モデルの仮定が成り立ち、地下構造の不整形性の影響が小さいことを示唆している。各観測点では簡易な表面波探査も実施しており、今後それらのデータも併せて各地点の極表層地盤の影響を評価する。

なお、コロナ禍のためにESG6の開催が2021年3月から同年8月に延期になり、ESG6での議論を通じて行う予定であった地盤モデルの共用化のための研究者間の合意形成に関する検討を実施することができなかった（拠点間連携共同研究〔課題番号：CT0C07〕）。

「火山砕屑物からなる斜面の崩壊に対する地震とその前後の降雨の影響評価[CT0C08]」では、京都大学防災研究所の遠心力载荷装置を用い、年度当初の計画通り模型実験を行った。計画では火山性砕屑物を使用する予定であったが、入手が容易であったマサ土を利用した。加振の有無、降雨量を変化させた遠心模型実験の結果、以下のことが明らかとなった。斜面の密度や含水比を調整することで加振により斜面にクラックを発生させることができた。その後の降雨では、加振の有無によって斜面の変状形態が異なる結果となり、加振ありのケースでは加振で発生したクラックを起点とした破壊が進行した（図

14)。この結果は、地震後の降雨といった複合外力に対する斜面の安定性評価手法の高度化に寄与するものであるが、定量的な評価には至っていない。今後、数値解析も併用して地震後の降雨がクリティカルとなる条件を明らかにする必要がある（拠点間連携共同研究〔課題番号：CTOC08〕）。

「活断層における地殻変動に伴う盆地形成過程から推定される盆地端部での基盤構造を考慮した地震動増幅特性に関する研究[CTOC09]」では、2019年度に邑知潟平野南西部で実施した研究に引き続き、北東部の深い地盤構造を推定するため、図15に示す地点において常時微動単点観測を行い、1地点で常時微動アレイ観測を行った。アレイ半径はLL:135 m、L:45 m、M:15 m、S:5 m、SS:1.5 m、SSS:0.5 mの6サイズとし、LL、Lは60分、M、Sは30分、SS、SSSは15分の同時観測とした。また、盆地を横切る方向に測線1、2、3の3測線を、盆地に沿う方向に測線4の1測線を設定し、計32地点で常時微動単点観測を行った。各単点観測点で独立して30分の観測を行った。

単点観測点での解析は以下の手順で行った。まず、観測によって得られた30分間分の加速度時刻歴データを50 %オーバーラップさせ、40.96秒の小区間に切り出す。次に、切り出した各小区間でNS、EW、UD成分のフーリエスペクトルを計算し、NS/UD、EW/UDのフーリエスペクトル比（MHVR）を算出する。このようにして算出された小区間ごとのスペクトル比の平均をMHVRとした（図16）。ただし、ノイズの影響を取り除くため、ノイズの大きい区間を30 %除外した。

各地点でのMHVRの1次ピーク振動数を読み取り、その分布を調べた（図17）。ただし、ピークが不明瞭な点については無理に読み取っていない。図17(a)～(d)を見ると、1-3～1-4、2-2～2-3、3-2～3-で1次ピーク振動数が急激に変化しており、周辺に盆地と山の境界が存在すると予想される。また、1-4から1-10、2-4から2-に向かうにつれて1次ピーク振動数が徐々に小さくなり、測線1、測線2は南東に向かうにつれて地下構造が深くなることが分かる。さらに、測線4では4-6にむかうにつれて1次ピーク振動数が徐々に小さくなり、北東に向かうほど地下構造が深くなると推測される（拠点間連携共同研究〔課題番号：CTOC09〕）。

「テフラ堆積域における地震動に伴う斜面崩壊の発生場と規模の予測[CTOC15]」では、社会状況の変化によりフィールド調査の実施における制約等が生じた。多人数が参加しての調査計画を見直し、少人数・少数機関・限定期間での調査に切り替え、分析やデータ解析・モデリングに重点を置いて進めることで、内容的にはおおむね計画通りに研究を前進させることができた。

テフラの給源火山の噴火史に基づき、山地の斜面におけるテフラの供給と再堆積のシミュレーションを行うプログラムを開発し、火山学的に復元されたアイソバックマップに基づくテフラの降下供給量の空間分布を入力として、地形に依存したテフラの二次移動を計算した。本年度は胆振東部地震での発災地を対象に、地形条件の異なる多数地点で鉛直試孔の断面記載により実際のテフラ堆積量を測定してモデルの精度と確度の検証を行った。気候条件や過去の気候変動の履歴がテフラの再移動に与えた影響も考察でき、適切なパラメータを付与するうえで有益な情報を得ることができた。

テフラのもつ水理・力学的な物性についても、降下堆積以降の風化作用による透水性

の減少や保水性の増大、あるいはせん断強度の低下といった斜面災害に関連する特性の定量的なデータを充実させることができた。また、定置後数千年程度の長い時間スケールでの、元素の溶脱やガラス基質の水和と粘土鉱物の沈殿といった化学・鉱物組成の変化が、どのような機構によって進行するのかについて詳細な検討を行った。間隙水圧計と土壌水分計を用いた稠密水文観測およびX線蛍光分析とX線回折分析による化学・鉱物分析によって、テフラ累層中での長期間にわたる間隙水の不均質な透過とそれに伴う風化変質を追跡した。また、降水浸透とともに供給され粘土鉱物に吸着蓄積する大気由来の宇宙線生成核種 ^{10}Be の加速器質量分析を行うことで、テフラの強度低下をもたらす粘土化の進行過程を検討した。軽石を母材とするハロイサイトが、テフラ累層中に偏在することで、将来的にすべり面となりうる水理・力学的な不連続面を生じさせることが明らかとなってきた。

現在は、テフラの空間的な累積を再現するモデルと、累層中での不均質な風化過程および物性変化を定量化するモデルをカップリングさせ、地形効果による震動増幅を考慮しつつ、任意地点におけるテフラの厚みとせん断強度にもとづき、斜面の崩壊に要する下限の水平加速度あるいは累積変位量を、地理情報システム上で表示した革新的な地震時斜面崩壊感度地図（Landslide susceptibility map）を提示すべく、モデリングを進めている（拠点間連携共同研究〔課題番号：CT0C15〕）。

「地震シナリオの不確実性を考慮した津波被害の確率論的評価[CT0C18]」では、災害被害予測における不確実性の定量化への期待が高まってきている背景から、一般の自然災害による被害を低計算コストで確率論的に評価する枠組みを提案し、津波被害の確率評価に対して提案手法を適用することでその有用性を確認した。本研究で提示したサロゲートモデルを数値解析と組み合わせることで、計算資源を抑えながらも効率的に災害の確率論的評価が可能であることを示した（図18）。内閣府南海トラフの巨大地震モデル検討会の「断層パラメータ_ケース03」14)に対応する津波を対象とした。これは紀伊半島沖から四国にかけて大すべり域を想定したケースである。解析対象地域である四国地方・淡路島周辺での解像度を上昇させるようにネスティングを行った。5点の観測点における最大波高を計測した。提案手法は特に高次モードに対する回帰式の精度を向上することで、高度化を図った。5点の観測点での最大波高を提案するサロゲートモデルで評価した。また、従来モデルにおいて問題視されてきた回帰式の選定などに関する問題をカーネルリッジ回帰（KRR）を導入することで解決し、KRRを用いれば、より忠実度の高いサロゲートモデルの構築が可能であることを示した（拠点間連携共同研究〔課題番号：CT0C18〕）。

（２）地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化の研究

「建物の応答を考慮した高精度地震情報配信手法の開発[CT0C10]」では、建築研究所から提供を受けた建物観測記録を用いて、地震時の建物応答の揺れ継続時間の定義を再検討し、予測式を構築した。また京都市内の病院施設への地震情報配信システムとして、データ通信専用のSIMカードを利用した方式を検討した。得られた知見は次の通りである。

- A) 動的相互作用に振幅依存性があり、東北地方太平洋沖地震の本震では固有振動数は低下し、減衰が増加する傾向にあった（図19）。連成系（SI20）の固有振動数は建物

系（SISO）よりも低く、モード減衰は連成系の方が高い傾向であった。ただし、その増減幅は建物によって異なっていた。本震では、地震動が大きくなると固有振動数が低下する現象が見られた。本震とその30分後の余震では、固有振動数が建物系と連成系ではほぼ平行に推移しており、固有振動数の違いは時間に関係なく一定を保つ傾向があった。

- B) 建物内の居住者に揺れ継続時間の情報を提供するための推定式を構築するべく、既往の提案式で用いられている95 %のエネルギー継続時間ではなく、震度x以上の継続時間、という閾値を定義に利用した。建物基礎と自由地盤で観測された揺れ継続時間を比較した結果、大きな違いはなかったので、建物基礎の記録を自由地盤の記録と同等に取り扱った。建物頂部で観測された揺れ継続時間を予測する経験式（地震のマグニチュード、震源距離、震源深さ、地盤情報、建物階数の関数）を作成した。図20に、自由地盤（Yamada2021FF）と建物頂部（Yamada2021Top）の2種類の揺れ継続時間予測式を示す。建物頂部の揺れ継続時間予測式は、建物階数を考慮した方が相関は良くなる。ただし、単純な経験式では建物の個性を十分には表現しきれず、統一的な経験式の限界も明らかとなった。
- C) 京都大学医学部附属病院で展開する地震観測網への高精度地震情報配信手法の適用を検討した。近隣地域の病院施設の情報配信や新たな観測点の設置方法について議論した結果、現地に記録収集サーバーを設けない形での観測方法を模索することとなった。具体的には、京都市左京区に位置する2病院から設置許可を得て、データ通信用SIMカードを用いて、Web上のレンタルサーバーに観測データを送信するシステムの構築を試みた。病院施設への立ち入りが制限されているため、今年度は防災研究所内で試運用するにとどめる。
- （拠点間連携共同研究〔課題番号：CT0C10〕。）

（3）地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

「訪日外国人旅行者に対する地震・火山に関する情報提供と風評被害対策に関する事例分析 —2018年胆振東部地震、2018年大阪府北部地震、2018年草津白根噴火、2015年箱根山噴火を対象として—〔CT0C12〕」では、2019年度に引き続き新型コロナの影響が継続しており、宿泊施設へのアンケート調査の実施が予定通りに実施できず、調査の実施が令和3年3月にずれ込んでいる状況である。そのため、宿泊施設へのアンケート調査の結果については、報告書を登録する現時点では間に合わない状況である（拠点間連携共同研究〔課題番号：CT0C12〕）。

「桜島大規模火山噴火を対象とした事前避難を実現するためのリスクコミュニケーション方法に関する実践的研究〔CT0C16〕」は、桜島の大規模噴火によって生じる可能性がある市街地側への大量降灰災害に対して、大幅に被災影響を軽減できると考えられる市街地側住民の事前避難を実現を目指し、火山の予知・予測情報が適切な避難へと結びつくような情報の作成を、ワークショップにおける専門家と住民との対話を通じて共創することを目的としている。最も重要な構成要素は、ワークショップ（WS）の実施と結果の分析であり、WSの構成、日程まで確定し準備を進めていた。しかし、新型コロナウイルス感染拡大に伴う1月からの京都府を含む非常事態宣言発出により、研究代表者及び分担

者が市民と車座での話し合う形式を含むWSの実施が困難となった。ワークショップの前段階で、既に大量降灰に関する情報の見せ方に関するたたき台の案は、既に検討しているが、これらの情報が住民にどう受け取られるか、また一緒に情報を検討していく共創の過程は実現できておらず、来年度に繰り越して実施する予定である（拠点間連携共同研究〔課題番号：CT0C18〕）。

「地震発生の切迫性を伝える災害情報モデルとシナリオの構築～北海道胆振東部地震からみえた新たな課題としての複合連鎖問題の解釈を通して～[CT0C17]」は、想定地震に対し種々の被害推定手法で試算し実際の被害との乖離を解釈することで、将来的被害想定及び災害情報の在り方を検討することを目的とする。北海道防災会議が2011年3月に公表した「北海道の想定地震」のうち、胆振東部地震に最も近似したパラメータを持つものは「胆振東部地震断層帯南部（断層パラメータモデル30_5）である。想定地震はM7.7（Mw7.2）で、実際に起こった胆振東部地震はM6.7（Mw6.6）であり災害誘因として想定した1/30以下のエネルギー放出であったが、全道の震度分布（想定震度と計測震度比較）は相似性を有していた。震度値は想定地震が大きいものの、厚真・安平・むかわの被災3町についてはほぼ同等であったため、木造住家被害及び人的被害についてそれぞれの評価結果の比較を行った。さらに評価手法の精度に踏み込むため、胆振東部地震の計測震度を入力とした比較も行った。

比較したのは、想定手法の日本標準である内閣府の方法（南海トラフ巨大地震の被害推定方法）と北海道の住家耐震評点に配慮した北海道防災会議の方法、並びに人的被害については住家特性と室内散乱及び居住者の避難行動能力を考慮した岡田・他(2018)の3者である。

木造住家被害については、想定地震の入力が大きいためいずれも過大評価とはなっているが、内閣府の方法は全・半壊数共に被害実数の10倍以上の推定値を与えており、一方で北海道の住居特性を考慮した道防災会議の方法は実態に近い結果を与えており、被害評価において住家の地域特性に配慮する重要性が確認された。

人的被害については、死・重傷・軽傷の分類で数値比較を行った。課題として浮上したのは負傷者の公表実数値の信頼性である。公表値は市町村が収集したデータを都道府県対策本部が集計したものであるが、市町村は負傷者については消防により救急搬送された患者数や当該地域の第3次救急病院等の患者数を集計するに止まることが多く、当該地域で発生した負傷者でも他市町村の病院で治療を受けた場合など見逃していることが多い。本調査では被災3町全世帯アンケート調査を実施しており、それによれば「重傷者無し」と公表している町の住民のなかにも、骨折で他市中央病院に入院したケースも数例確認している。負傷者に関しては公表値は全数捕捉したものではないことに注意する必要がある。被害想定に当たり、単に軽傷・重傷という分類で推計するのはあまり意味がない。救急病院搬送を必要とする重篤者（ISS $\geq$ 12.5あるいは16）を重傷とし、推計することに医療体制・防災を計画する上で有意な情報となる。この観点より、全世帯アンケートより胆振東部地震の被災町の負傷率をISSで推定し負傷程度を定義し直すことで、各種方法による推計値と比較した。その結果、従来からの建物被害との相関関係に重点を置いた人的被害評価法では、対策に十分な情報並びに精度が保証できないことを示し得た（拠点間連携共同研究〔課題番号：CT0C17〕）。

「文化財等の所在情報と災害情報の重ね合わせによる文化財等災害予測マップの構築と活用[CT0C19]」では、2020年度は都道府県の指定文化財、登録文化財、指定外の文化財約23000件について位置情報を入力した文化遺産災害情報マップを作成した。同時に、これらの公開にむけてeコミマップ版も作成した（図21）。

加えて、2021年2月13日に発生した福島沖を震源とする地震では、宮城県・福島県において震度6強を観測した事態をうけ、作成していた文化遺産災害情報マップに防災科学研究所クライシスレスポンスサイトで公開された推定震度分布や建物被害推定の情報を重ね合わせ、被災した文化遺産の可能性の高い場所を可視化した（図21、図22）。この情報を、東北大学災害科学国際研究所やNPO法人宮城歴史資料保全ネットワーク、ふくしま歴史資料保存ネットワークの歴史研究者と共有し、震度の大きかった宮城県山元町、蔵王町、福島県新地町、相馬市において文化遺産災害情報マップを活用した被災状況調査を実施した（図23）。一方、被害の大きかったと予想される福島県桑折町、国見町、郡山市などについて、文化遺産災害情報マップから被災の可能性のある文化遺産についてリストアップ作業を実施し、来たるべき被災地調査に向けて情報を整理している状況である（拠点間連携共同研究〔課題番号：CT0C19〕）。

これまでの課題と今後の展望

これまでの地震・火山観測研究計画では、地震や火山噴火の発生の予測を最大の目標とし、それにより地震や火山噴火による災害の軽減を目指してきたが、災害の軽減への貢献が限定的であることから、前計画から地震・火山噴火災害をもたらす誘因の予測研究を新たに組織的・体系的に進める方針に転換した。そのため、地震学や火山学を中核としつつも、災害や防災に関連する理学、工学、人文・社会科学などの分野の研究者が参加して、協働して推進することになり、主に全国の工学、人文・社会科学の分野の研究者が拠点間連携共同研究を推進してきた。

拠点間連携共同研究の重点推進研究は「巨大地震のリスク評価の不確実性に関するパラダイム構築の推進」を主要テーマとして推進し、総括研究において震源から被害予測及びそのステークホルダまでの伝達までを一貫して行い、さらにその成果のフィードバックを行うことで、研究の方向性を議論している。また、総括型で出た課題などを特定型において掘り下げ、その成果を総括型にフィードバックするとともに、さらに総括型で新たに出た課題を特定型で掘り下げる、という循環により研究の高度化を目指している。

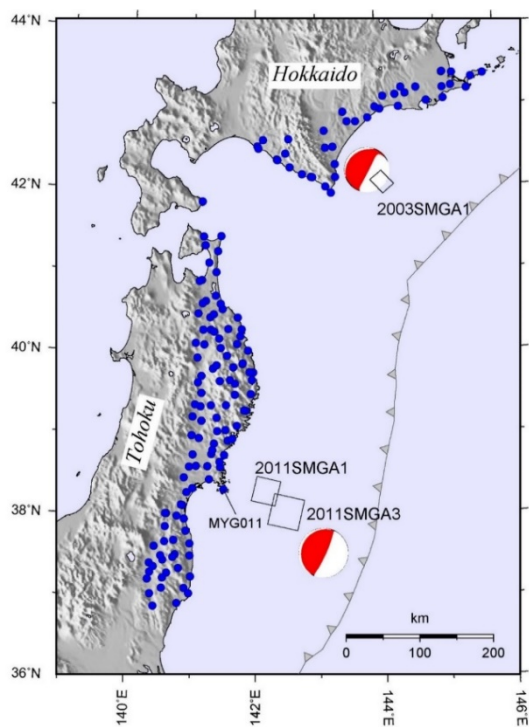
今後は、重点推進研究を進めることと並行して、一般課題型研究で提案されてきている研究課題による成果や手法などを取り込む枠組みを構築することで、災害の軽減に貢献するための研究を継続して行う。そのためには、実際に被害を受ける構造物や社会システムに直接携わっている工学、人文・社会科学の分野が理学分野の成果を咀嚼して活用出来るような体制を整える必要がある。つまり、観測計画において、これまでの理学的な観測網の維持だけではなく、工学、人文・社会科学に必要な観測計画の立案が必要になると思われる。

成果リスト

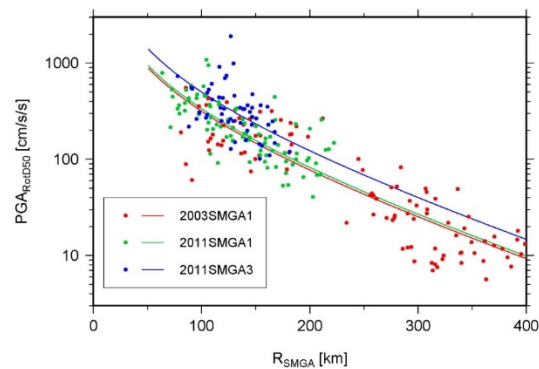
- 千田 優, 福井信気, 森 信人, 安田誠宏, 山本剛士, 2020, 漂流物と流れ場の時空間計測データを用いた複雑流れ場における津波漂流物挙動の解析, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 76 (2), I_313-I_318, doi:10.2208/kaigan.76.2_I_313.
- 福井信気, 森 信人, Che-Wei Chang, 千田 優, 安田誠宏, 山本剛士, 2020, 沿岸市街地模型を用いた津波・高潮浸水実験と解析, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 76 (2), I_373-I_378, doi:10.2208/kaigan.76.2_I_373.
- Gehl, P., S. Matsushima, and S. Masuda, 2020, Investigation of damage to the water network of Uki City from the 2016 Kumamoto earthquake: derivation of damage functions and construction of infrastructure loss scenarios, Bull. Earthquake Eng., 19, 685-711, doi:10.1007/s10518-020-01001-z.
- Goda, K., T. Yasuda, N. Mori, A. Muhammad, R. De Risi, and F. De Luca, 2020, Uncertainty quantification of tsunami inundation in Kuroshio, Kochi Prefecture, Japan, using the Nankai-Tonankai megathrust rupture scenarios, Nat. Hazards Earth Sys. Sci., 20, 3039-3056, doi:10.5194/nhess-20-3039-2020.
- 秦 康範, 2020, 訪日外国人への災害情報提供の現状と課題, IATSS Review (国際交通安全学会誌), 45(1), 28-35, doi:10.24572/iatssreview.45.1_28.
- Ho, T.-C., S. Watada, and K. Satake, 2020, Minimum Travel-time Path for Tsunamis, American Geophysical Union, 2020 Fall meeting abstract, NH014-0025.
- Ho, T.-C., S. Watada, K. Satake, and N. Mori, 2021, Tsunami Ray Tracing Method for Shortest Travel-Time Path: Application to Near- and Far-field Tsunami and Wave Reflection, AOGS 2021 meeting abstract.
- Ho, T.-C., S. Watada, K. Satake, and N. Mori, 2021, The Shortest Travel-time Tsunami Ray Tracing Method and Application to Tsunamis near Japan, International Tsunami Symposium abstract.
- Ho, T.-C., K. Satake, S. Watada, M.-C. Hsieh, R.Y. Chuang, Y. Aoki, I. E. Mulia, A. R. Gusman, and C.-H. Lu, 2021, Tsunami induced by the strike-slip Fault of the 2018 Palu earthquake (Mw=7.5), Sulawesi Island, Indonesia, submitted to Earth Space Science.
- Ito, E., H. Kawase, C. Cornou, and F. Nagashima, 2020, Inversion of Velocity Structures in The Grenoble Basin Using Horizontal-to-Vertical Spectral Ratios, 17th World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE, Sendai, Japan - September 13th to 18th 2020 Paper #C001205.
- Ito, E., C. Cornou, F. Nagashima, and H. Kawase, 2021, Estimation of velocity structures in the Grenoble Basin using pseudo earthquake horizontal-to-vertical spectral ratio from microtremors, Bull. Seismol. Soc. Am., 111(2), 627-653, doi:10.1785/0120200211.
- Kawase, H., E. Ito, and K. Nakano, 2020, Empirical Horizontal Site Amplification Factor (HSAF) from Observed Earthquake Horizontal-to-Vertical Ratio (EHVR) and Vertical Amplification Correction Function (VACF), Annual Meeting of Seismol. Soci. Am..
- Kawase, H., E. Ito, and K. Nakano, 2020, Direct Estimation of S-Wave Site Amplification Factors From Horizontal-to-Vertical Ratios of Earthquakes, 17th World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE, Sendai, Japan - September 13th to 18th 2020

Paper #C000856.

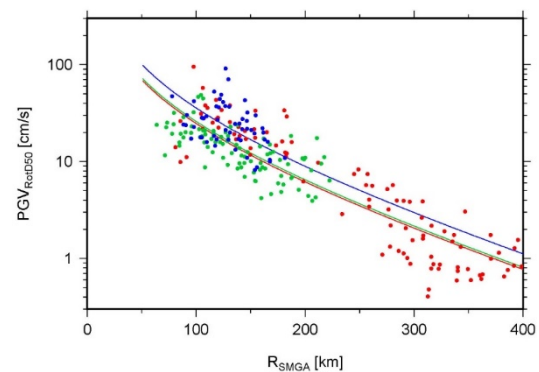
- Matsushima, S., 2020, Core-to-Core Collaborative Research between Earthquake Research Institute, University of Tokyo and Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University during FY2014 to FY2018, J. Disaster Res., 15(2), 187-201, doi:10.20965/jdr.2020.p0187.
- 松島信一, Pierre GEHL, 2021, 2016年熊本地震による宇城市での被害情報に基づく水道管ネットワークの被害関数の構築, 令和2年度京都大学防災研究所研究発表講演会, A303.
- 宮下卓也, GOMEZ-RAMOS Octavio, 森 信人, 2020, 適合格子細分化法を用いた南海トラフ沿いの巨大地震津波の数値計算, 土木学会論文集B2(海岸工学), 76(2), I_289-I_294, doi:10.2208/kaigan.76.2_I_289.
- Miyashita, T., N. Mori, and K. Goda, 2020, Uncertainty of probabilistic tsunami hazard assessment of Zihuatanejo (Mexico) due to the representation of tsunami variability, Coast. Eng. J., 62(3), 413-428, doi:10.1080/21664250.2020.1780676.
- 宮澤理稔, 木内亮太, 額額一起, 2020, プレート間巨大地震の強震動生成域のための距離減衰式, 日本地震学会2020年度秋季大会, S15-13.
- Mulia, I.E., T. Ishibe, K. Satake, A.R. Gusman, and S. Murotani, 2020, Regional probabilistic tsunami hazard assessment associated with active faults along the eastern margin of the Sea of Japan, Earth Planet. Space, 72, 123, doi:10.1186/s40623-020-01256-5.
- Nagashima, F., Y. Mori, E. Ito, and H. Kawase, 2020, Velocity structure inversion based on diffuse field concept for earthquake, together with the earthquake-to-microtremor ratio (EMR) method for microtremors, Annual Meeting of Seismol. Soc. Am..
- 中山智貴, 松島信一, 2021, 常時微動を用いた邑知潟平野北東部における地盤構造推定, 京都大学防災研究所令和2年度研究発表講演会, P119.
- 齊藤隆志, 2021, 粒子画像追跡法を用いた熊本地震前後の地表変動検出, 令和2年度京都大学防災研究所研究発表講演会, A305.
- 齊藤隆志, 2021, 2016年熊本地震によってカルデラ周辺に生じた地表変動の分類と特徴, 日本自然災害学会講演会予稿集.
- Xu J., R. Uzuoka, and K. Ueda, 2021, Response of Slopes to Earthquakes and Rainfall, In: Tiwari B., Sassa K., Bobrowsky P.T., Takara K. (eds) Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk. WLF 2020. ICL Contribution to Landslide Disaster Risk Reduction. Springer, Cham., doi:10.1007/978-3-030-60706-7_30.
- 山中浩明, 津野靖士, 重藤迪子, 神野達夫, 地元孝輔, 松島 健, 松島信一, 2020, 強震動ブラインド予測の熊本テストサイト周辺での臨時強震観測, 日本地震工学会第15回年次大会梗概集, B-5-2.



(a) 2003年十勝沖地震と平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震の強震動生成域と解析に用いた観測点位置



(b) RotD50の最大加速度（PGA）

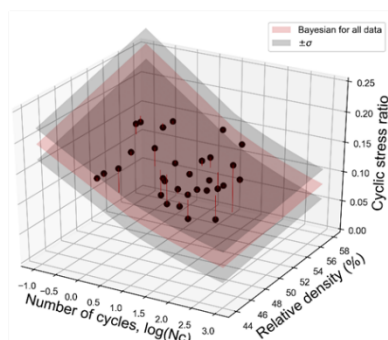


(c) RotD50の最大速度（PGV）

図1．強震動生成域に特化した地震動の距離減衰式の開発〔課題番号：CTOC01〕



中空ねじりせん断試験機



階層ベイズモデルの適用

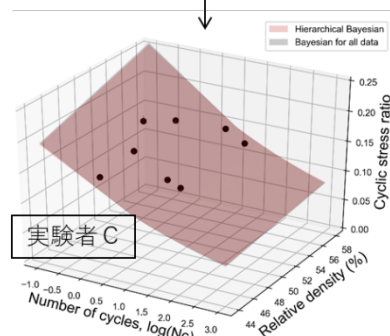
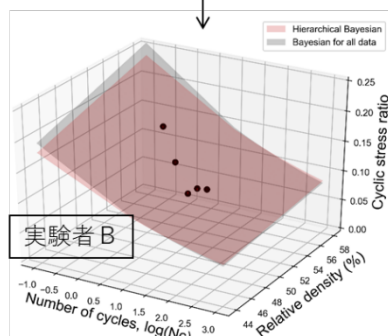
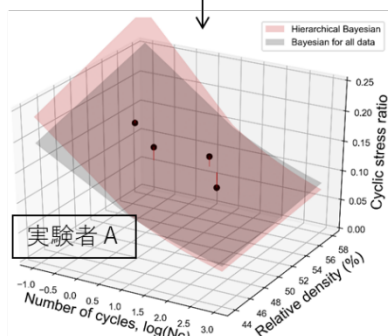


図2．室内試験による土の液状化特性に関する“不確実性”の評価〔課題番号：CTOC01〕

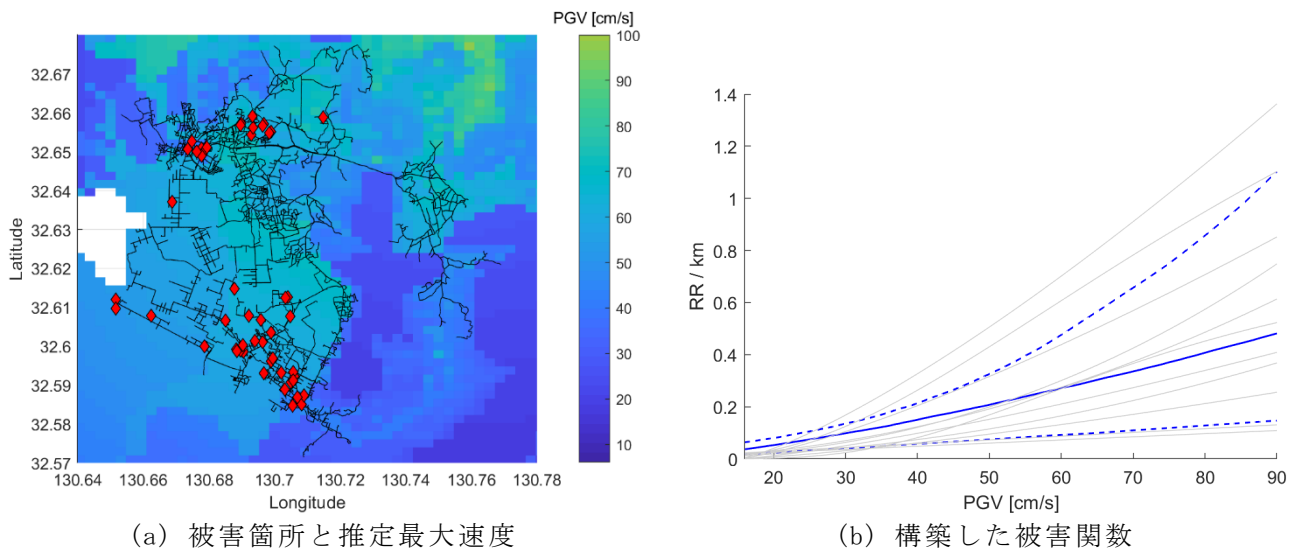


図 3. ベイズ更新を考慮した延性材料の小管径 (50~100 mm) 水道管の被害関数の構築 (Gehl et al., 2020) [課題番号: CT0C01]

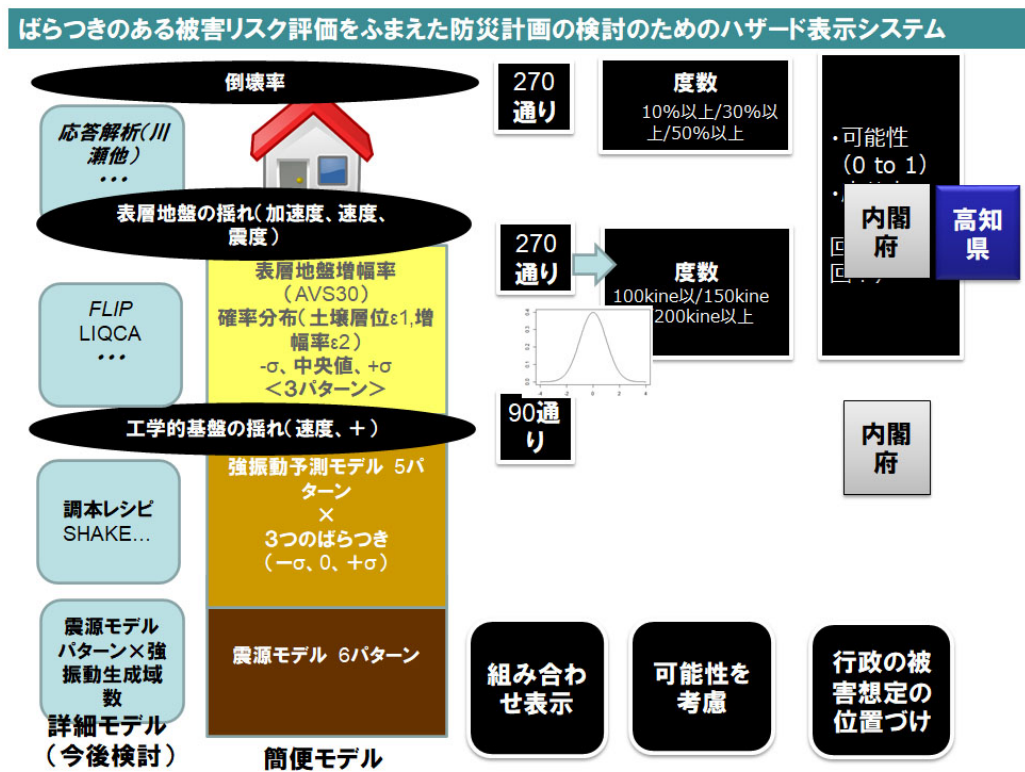


図 4. ばらつきのある被害リスク評価をふまえた防災計画の検討のためのハザード表示システム [課題番号: CT0C02]

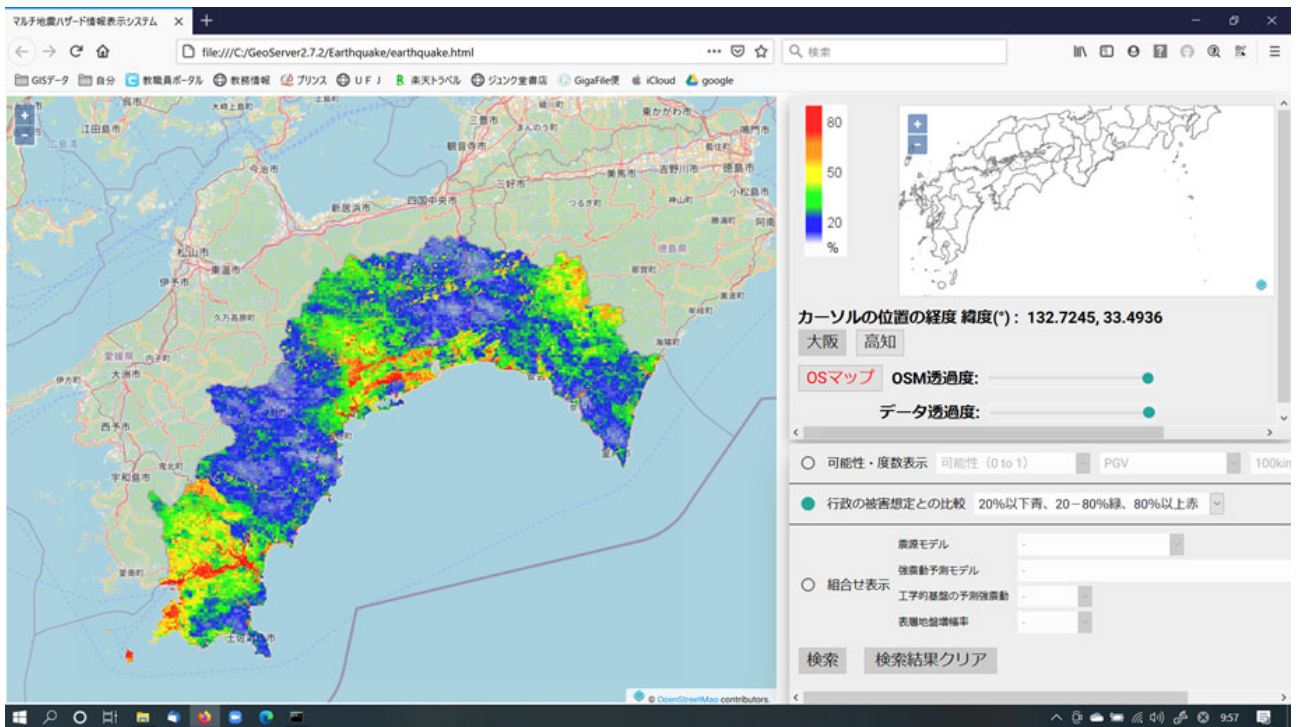
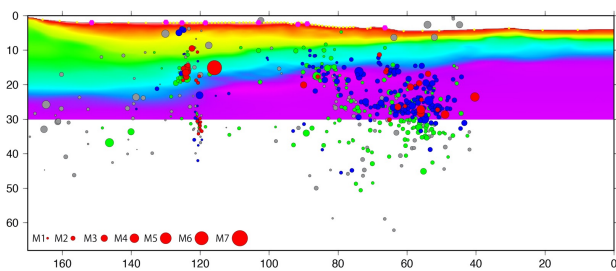
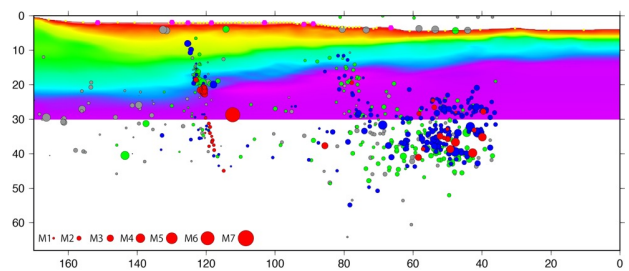


図 5．南海トラフ地震の被害想定のはらつき [課題番号：CT0C02]

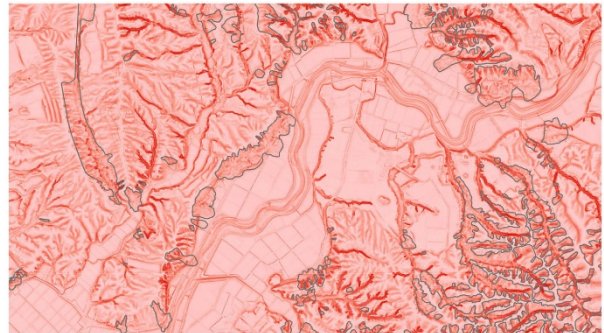
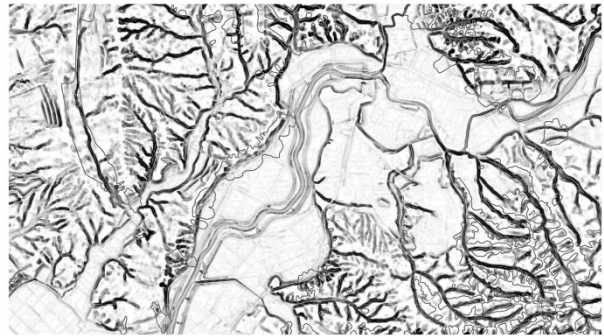
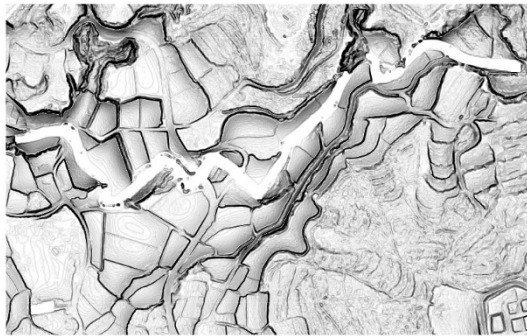


(a) DONET検測値のみを用いて再決定された震源



(b) JMAカタログ震源

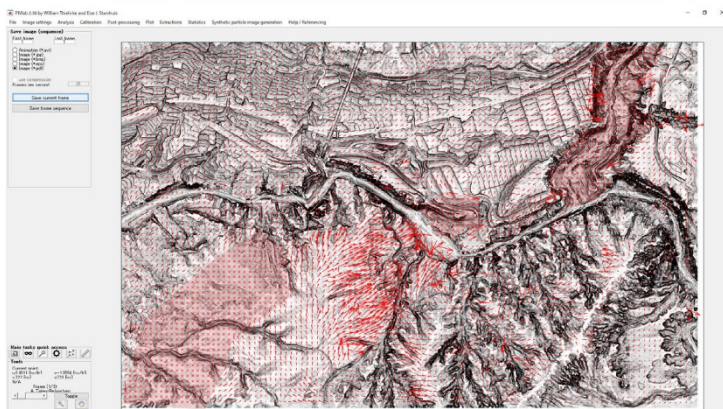
図 6．南海トラフ沿い海域下の震源の比較 [課題番号：CT0C03]



熊本地震，京都大学火山研究センター付近の土砂災害予測基本図
(上：地震前，下：地震後)

東胆振地震，厚真町吉野付近の土砂災害予測基本図
(上：地震前 5m DEM，下：地震後 1m-LiDAR DEM)

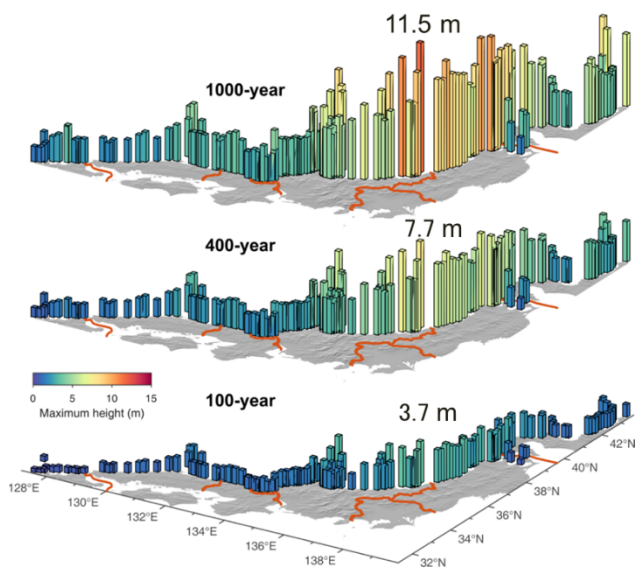
図 7．地震前後の土砂災害予測基本図比較（左：2016年熊本地震 右：2019年北海道胆振東部地震）〔課題番号：CT0C14〕



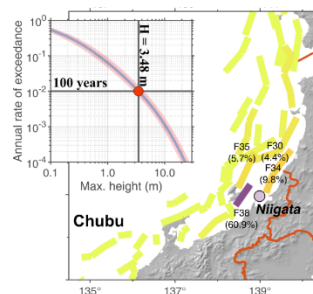
2016年熊本地震立野地区の土砂災害予測基本図
(左上：地震前 右上：地震後)

同地区で地震前後の土砂災害基本図を用いて、PIV (Particle Image Velocimetry)手法で地表変位を検出した結果（左下）
この図には、平坦な地域では断層運動による右横ずれと斜面部での複雑な変位が認められる。また、これまで認識されなかった地すべり性の移動土塊が検出された。

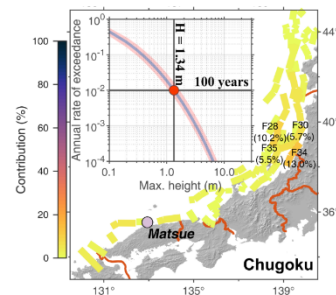
図 8．2016年熊本地震立野地区での地表変位の検出〔課題番号：CT0C14〕



(a) 津波ハザードマップ（100年、400年、1000年の繰返し間隔の場合）



(b) 新潟でのハザードカーブと震源の影響度



(c) 松江でのハザードカーブと震源の影響度

図9. 日本海における確率論的津波ハザード評価 (Mulia et al., 2020) [課題番号: CT0C04]

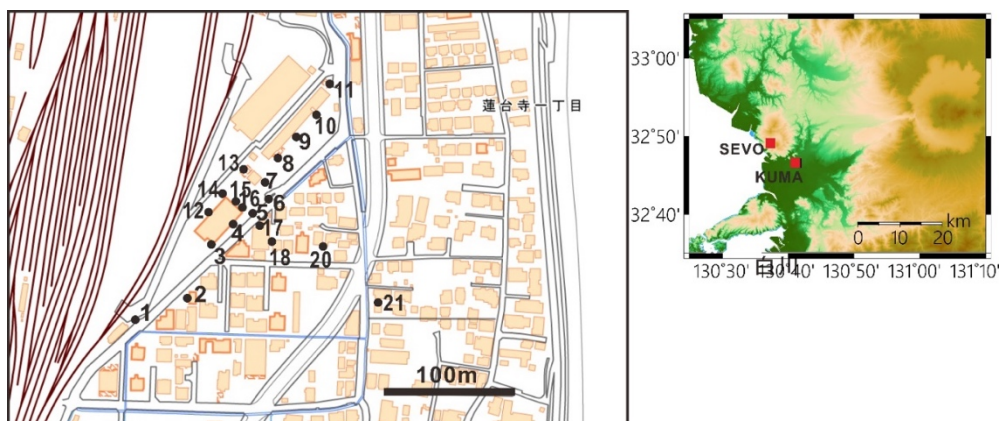


図10. 地震動のブラインド予測テストサイトの臨時観測点の位置(左)とテストサイトの位置(右) [課題番号: CT0C07]



図11. テストサイトの位置と建物での臨時地震観測 [課題番号: CT0C07]

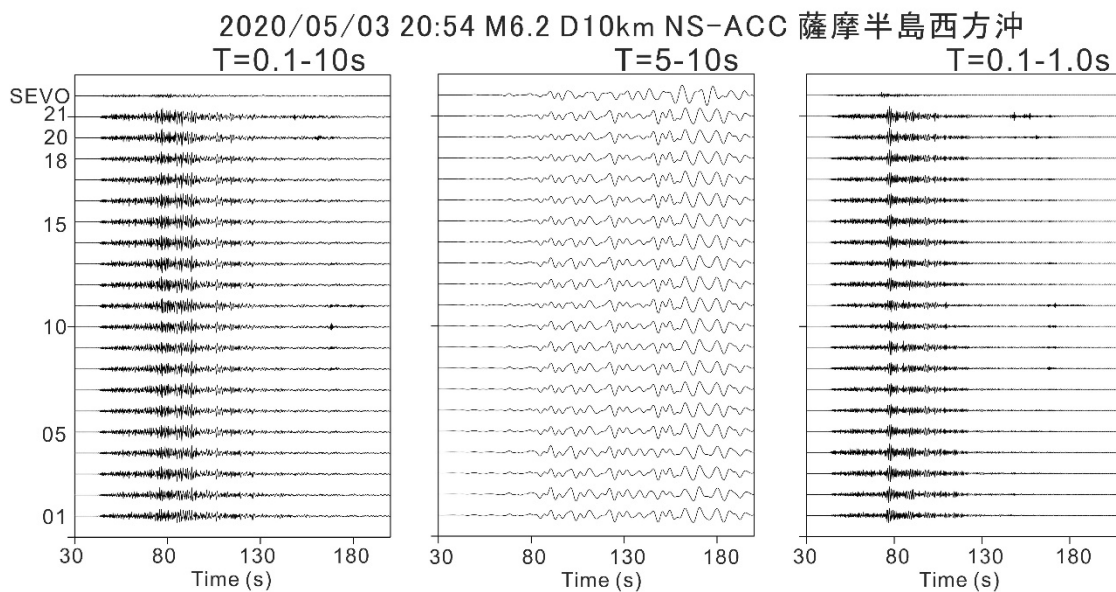


図12. 薩摩半島西方沖の地震(2020年5月3日)の南北方向の加速度記録の例[課題番号:CT0C07]
左は周期0.1～10秒、中は周期5～10秒、右は周期0.1～1秒のフィルター処理をした加速度を示す。

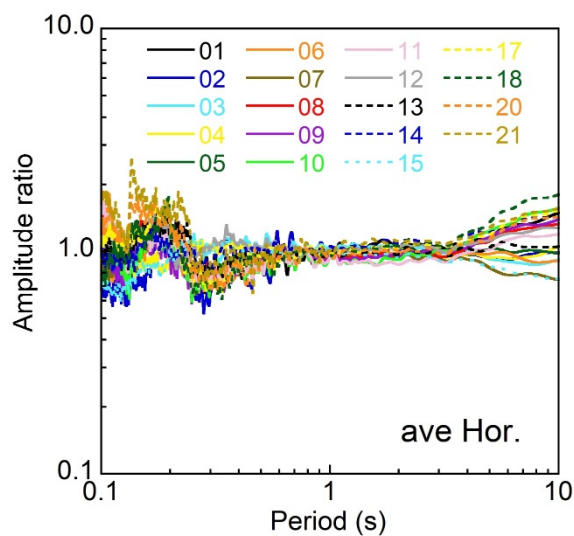


図13. 得られた33地震の観測点16（テストサイト近傍）に対する水平成分のスペクトル比の平均値 [課題番号:CT0C07]

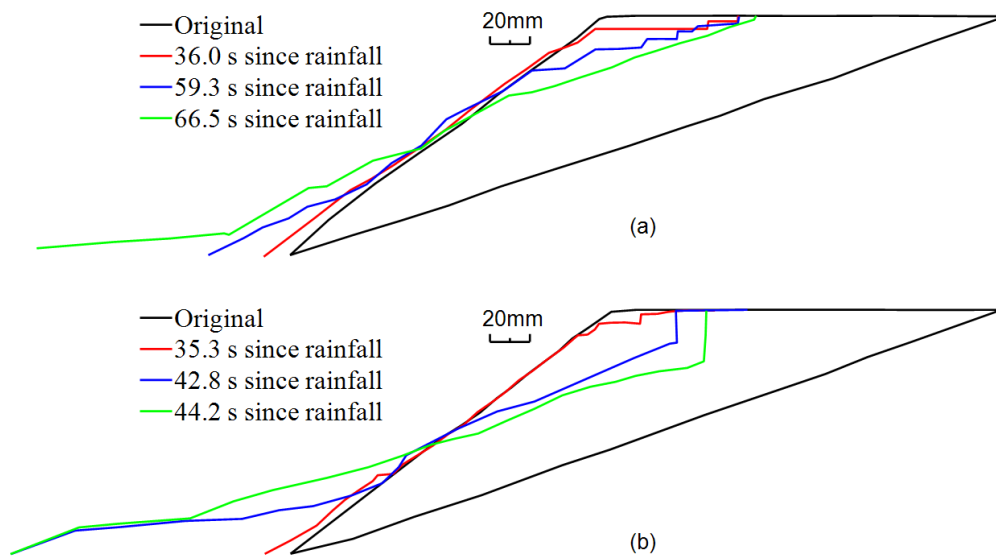


図14. 加振の有無による降雨時の変状の違い [課題番号：CT0C08]

(a) 加振なしでは降雨の蓄積とともに法肩の沈下や法尻の水平変位が徐々に増加しているが、
 (b) 加振ありでは法肩で大きな段差がみられ変状が急激に進行した。

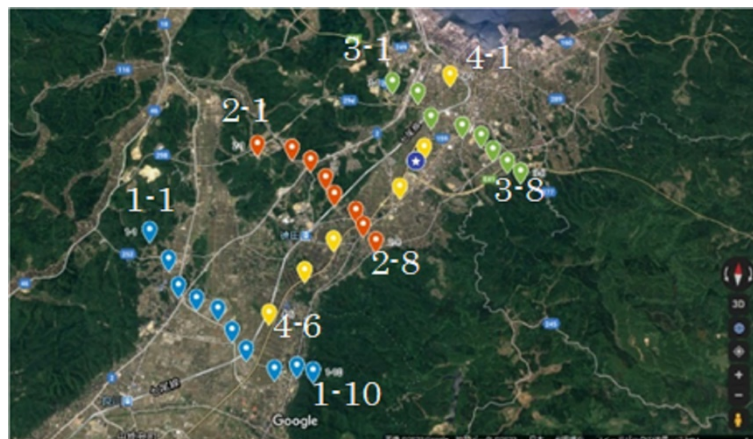
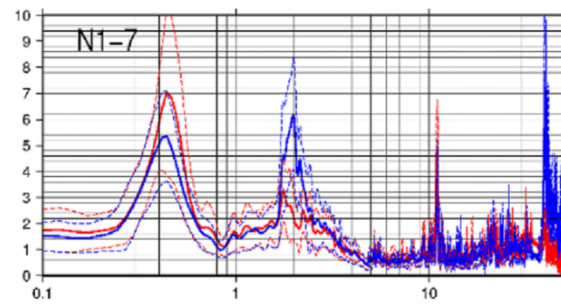
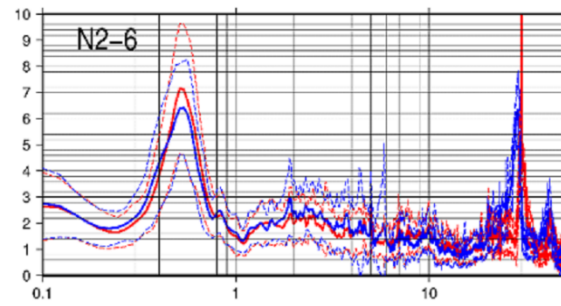


図15. 邑知潟平野北東部における微動観測点配置 (Google Mapに加筆) [課題番号：CT0C09]

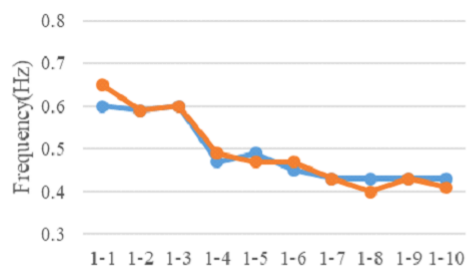


(a) 1-7 地点

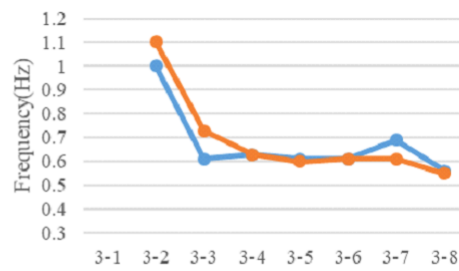


(b) 2-6 地点

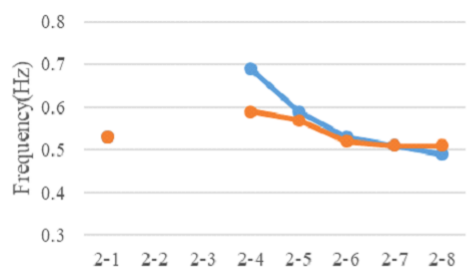
図16. 観測微動水平上下スペクトル比の例（青：観測NS/UD、赤：観測EW/UD）〔課題番号：CT0C09〕



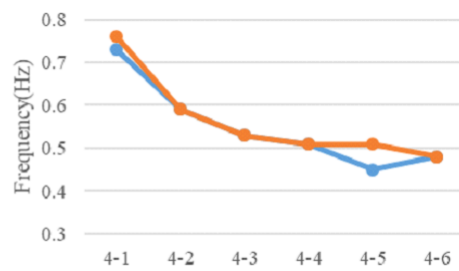
(a) 測線 1



(c) 測線 3

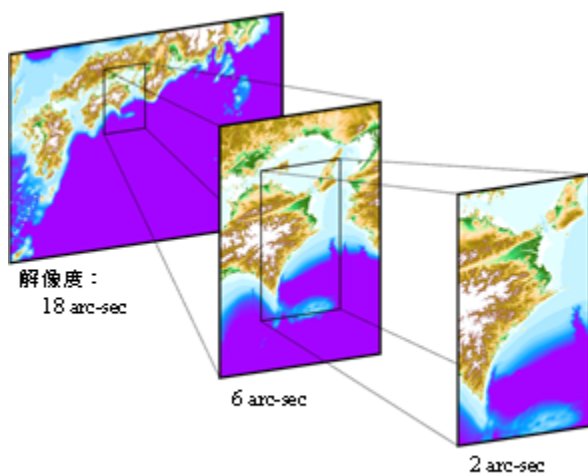


(b) 測線 2

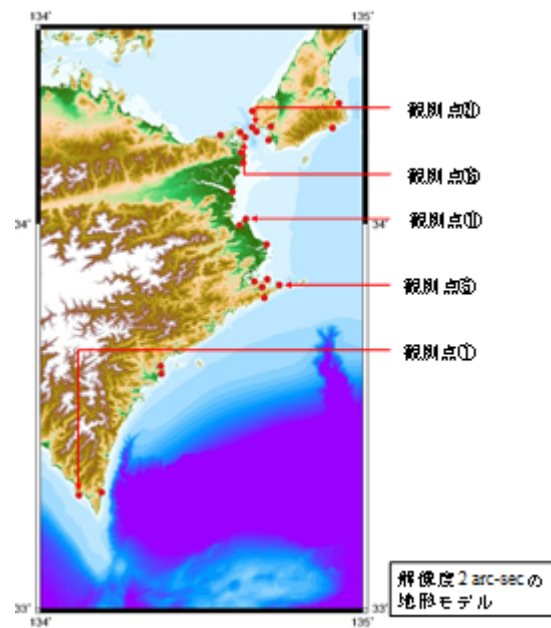


(d) 測線 4

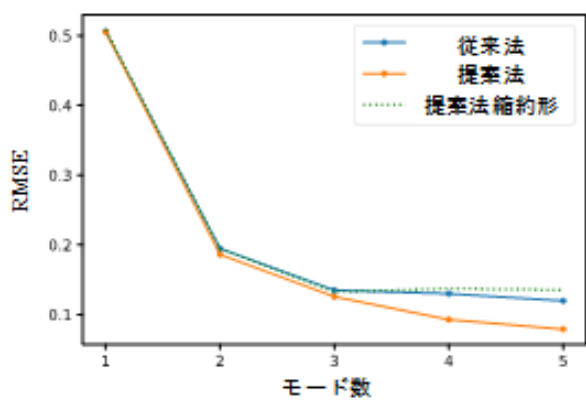
図17. 測線 1 ～ 4 の観測水平上下スペクトル比の1次ピーク振動数〔課題番号：CT0C09〕



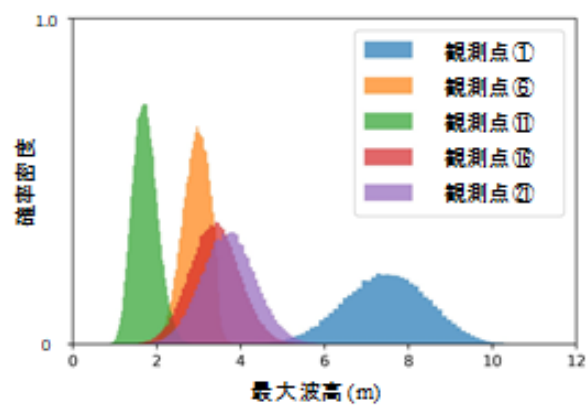
(a) 解析対象



(b) 津波観測点



(c) 従来法との比較



最大波高の確率分布

図18. 本研究で提示したサロゲートモデルと数値解析を組み合わせた結果と従来法との比較 [課題番号: CTOC18]

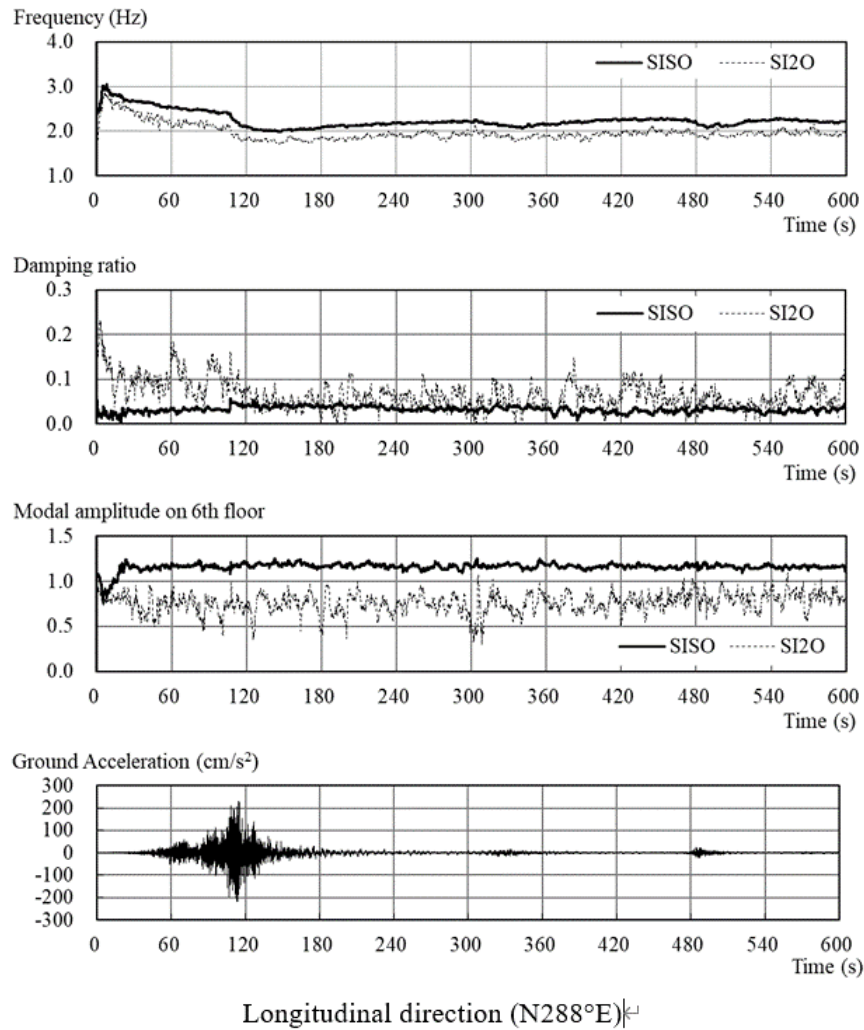


図19. 動的相互作用の振幅依存性（2011年東北地方太平洋沖地震）[課題番号：CTOC10]

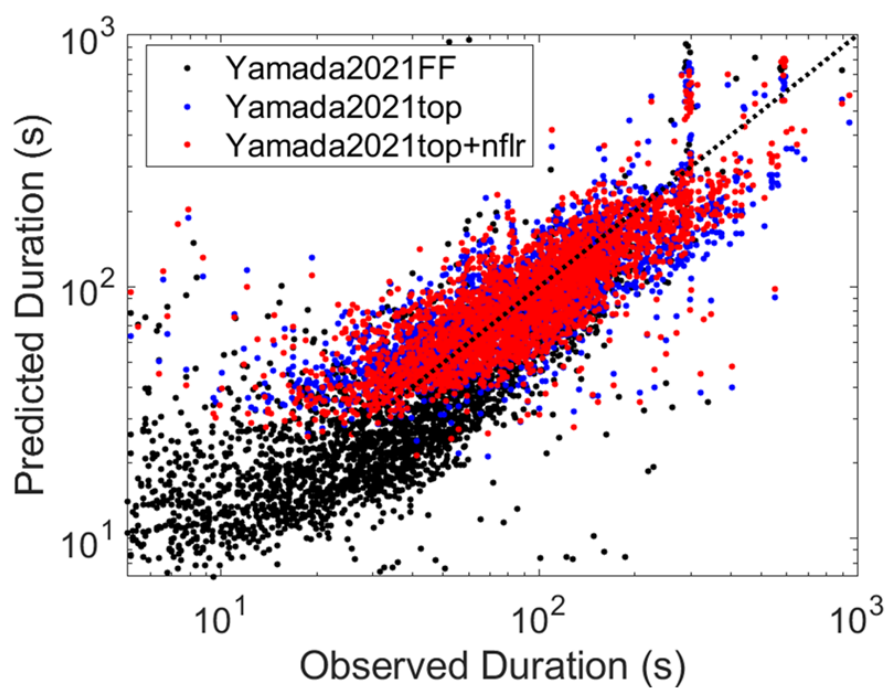


図20. 構築した揺れ継続時間予測式と観測データの比較[課題番号：CTOC10]

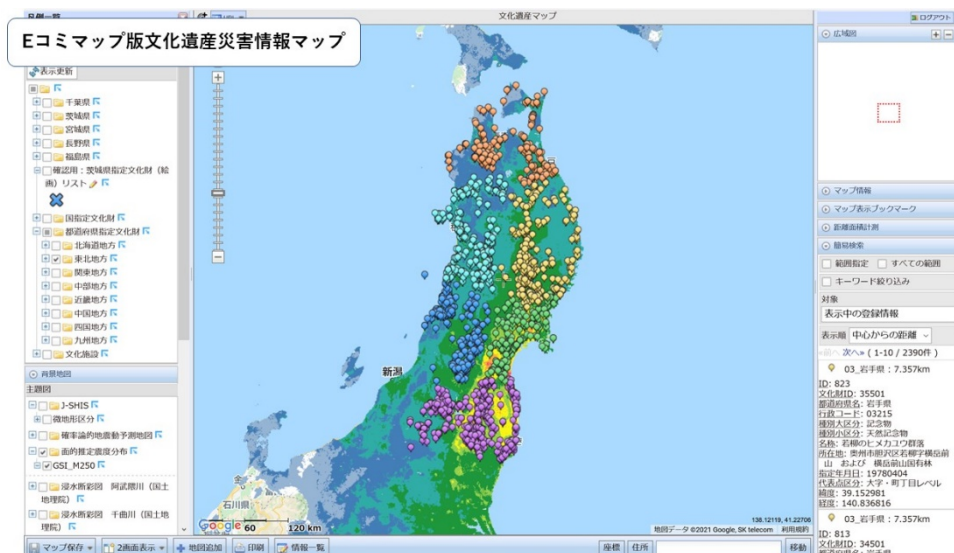


図21. eコママップ版文化遺産マップと2021年2月13日の地震の推定震度[課題番号：CTOC19]



2021年2月13日
福島・宮城沿岸地震の文化遺産マップと所見

2021.02.13 23:08 地震発生 M7.3

2月14日 防災科学研究所の
クライシスレスポンスサイトに
・推定震度分布
・建造物被害予測
が公開。
⇒指定文化財の位置情報との重ねあわせ

震度6を超えた地域が宮城県南から
福島県内に点在

<所見>
特に福島県内陸部
国見町・桑折町や郡山市での
伝統建造物の被災が顕著な可能性

図22. 2021年2月13日の地震の推定震度と文化遺産の位置情報[課題番号：CTOC19]

2021年2月17日（水） 第1次現状確認調査
文化遺産マップを手がかりに
宮城県南部から福島県沿岸北部を調査



図23. 文化遺産マップを活用した被災状況調査[課題番号：CTOC19]