

2 (1) 南海トラフ沿いの巨大地震総合研究

「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)

目的

内閣府および地震調査推進本部により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実施され、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たものでない。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を構築する。その上で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を提示することを目的とする。

1. 拠点間連携のフレームワークの利用

前5カ年計画の地震研究所—防災研究所拠点間連携（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なモデルを組み合わせる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を取り入れて、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—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。全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は浅部地盤応答も含めた地震動を求め、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。

2. 構造モデルおよび震源モデル・シナリオの高度化

本研究グループでは特にモニタリングおよび最新の研究知見に基づく地震シナリオの作成を目指す。まず、これまでに得られた地下構造モデルを精査し、沈み込むフィリピン海プレート上面の形状モデルを再作成する。次に、陸上GNSSおよび海底GNSS/A観測から得られるプレート間固着モデルに従い、地震時すべり域を設定する。さらに過去の大地震の研究事例を精査して、強震動生成域と地震波速度およびプレート形状等の関係を調べる。その上で将来の南海トラフ地震時における強震動生成域を予測しモデルを作成する。

3. スロー地震発生域と固着域から予測する破壊の開始点

スロー地震のモニタリングおよび過去の研究事例に基づき、南海トラフ沿いでの破壊の開始点を想定する。特に東北地方太平洋沖地震やメキシコ、チリのプレート間大地震

に先行したスロースリップと破壊の開始点の位置関係を参考に、破壊の開始点を設定する。

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これまで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。その上で、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、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。また予測される地震シナリオに基づく津波の浸水モデルの構築も進める。

さらに本震発生時に想定される各課題間の輻合作用（例えば、強震動に伴う液状化および地盤の軟化と浅部地震動非線形応答など）を考慮したモデル作成時の問題点等を整理し準備を進める。

成果リスト

特になし

2 (2) 首都直下地震総合研究

「首都直下地震」総合研究グループリーダー 酒井慎一
(東京大学地震研所)

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. 令和元年度の成果

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掘削調査を行い、得られた試料の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]）。

千葉大学は、地中ラドン濃度データの解析を行った。千葉県旭市で観測している地中ラドン濃度と、地殻変動との関係を調査した。気象の影響を除去するため、マルチチャンネル特異スペクトル解析を地中ラドン濃度、気温、気圧の3チャンネルに適用し、地

中ラドンフラックスを推定した。観測点近傍の累積地震モーメントと E_s 指数との関係を調査した結果、観測点直下で地震が発生した数日前に地中ラドンフラックスが、 3σ を超える異常を示していた。これらの地震が、太平洋プレート上盤付近で発生した逆断層型の地震であった。このことは、地震準備過程における応力集中によって、地表付近の上向きの地下ガスの流量が増加したことに対応すると考えられる。そこで、国土地理院の F3 解を用いて面積ひずみを求め、地中ラドンフラックスの変動との関連について調査した。その結果、地中ラドンフラックスは、弾性圧縮に対して増加し、弾性膨張に対して減少する傾向がみられ、地殻の応力変化に感度をもつことが示唆された。大きな巨大地震の前兆すべりやスロースリップ地震に対して有効な指標となる可能性があることがわかった。今後は、地殻変動との関連の調査を進めるため、ラドン観測点を2か所増強し、同様な傾向がみられるかどうかを検証する(千葉大学 [課題番号:CBA_01])。

京都大学防災研究所は、既往の地震地すべりの調査から、地震時にすべり面となる可能性が高い降下火砕物が、9000年よりも古い軽石およびそれに伴う火山灰土であることを示した。9000年から12万年前までの軽石が10cm以上の厚さで分布している範囲を新編火山灰アトラスから抽出し、関東から北海道にかけて分布図を作成した。少なくともこの範囲は今後の地震時地すべりの要注意域と考えられる(京都大学防災研究所 [課題番号:DPRI10])。

東京大学地震研究所は、1855年安政江戸地震を対象として研究を進めた。成田周辺には、成田山新勝寺や佐倉城址等の江戸時代から続く建物や施設があり、過去の地震被害の記述が多く残されている。そこで、それらの記述から被害地点を特定し、地震計を設置した。2019年9月から11月までの約2か月間、千葉県成田市、佐倉市、我孫子市、印西市、茨城県取手市、利根町の27か所で臨時観測を行った。固有周期1秒の3成分一体型地震計を地表に設置し、単一乾電池32本で約2か月間の観測を行った。観測された地震波形は、観測点ごとに最大振幅や卓越周期に違いがみられ、振幅が2倍以上大きくなる地点もあった。この観測を行うことで、古文書等に記述のなかった地点での揺れも推定できることを確認し、根津周辺における稠密観測の準備を行った(東京大学地震研究所 [課題番号:ERI_15])。

東京大学情報学環は、地震・火山災害情報の活用のための住民の知識体系に関する基礎的調査を実施した。2019年12月1日～8日、日本放送協会による「体感・首都直下地震ウィーク」が実施され、ドラマ『パラレル東京』や関連するNHKスペシャルが放映された。その時に、地震防災に関連する「地震の発生確率」「ハザードマップ」「被害想定」「関連する災害情報」等への関心が高まると考え、このキャンペーン報道による学習効果も含めて検討した(東京大学情報学環 [課題番号:III_01])。

そのほか、首都直下地震に関する意見交換会を2020年2月13日に東京大学地震研究所で行った。様々な研究部会から、関連する課題の研究者10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。

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

2 (3) 千島海溝沿いの巨大地震総合研究

「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)

1. はじめに

千島海溝沿いでは、2011年東北地方太平洋沖地震と類似した巨大地震が、繰り返し発生していることが津波堆積物の調査から明らかにされている。政府の地震調査研究推進本部では、M8.8程度以上の超巨大地震の発生が切迫している可能性が高いと評価しており、津波や地震動による大きな被害が予想される。一方、千島海溝沿いでは、国によるプロジェクト研究がほとんど実施されておらず、ハザード評価に必要な基礎的なデータが不足している。今後進むであろう体系的な災害対策を下支えする、北海道に最適化された地震動や津波の事前予測・即時予測手法の高度化も萌芽的な段階にある。北海道の社会素因や自然素因を考慮した防災対策を総合的に進めるためのシーズが必要となっている。

本総合研究グループでは、千島海溝沿いで発生する巨大地震による災害の軽減を目指した総合的な研究を横断的に実施する。総合研究グループが目指す最終的なアウトプットは、津波避難計画に代表される災害軽減に貢献する地域防災スキームのプロトタイプの提示である。避難計画は1つのシナリオしか作成できないため、災害誘因と災害素因の不確実性を反映させたロバストな仕様とすることが必要である。災害誘因である地震動と津波の事前予測やその信頼区間の推定と、地域や時代ごとに異なる災害素因を重畳させて最適な避難計画を検討することが望ましい。事前予測シナリオは、その性質上、不確実性を内包しているため、リアルタイムデータによる即時的な防災情報との組み合わせが重要となる。千島海溝沿いで地震が発生した場合、北海道太平洋沿岸への津波到達は20分程度と見積もられており、防災科学技術研究所のS-net水圧計データを活用した津波のリアルタイム予測手法の開発は特に重点的に進めるべき課題である。

近年の津波堆積物の網羅的な調査から、巨大津波履歴の概要の把握は飛躍的に進んだ。しかし、津波事前予測や地震長期予測の高度化には、直近の17世紀初頭のイベントをはじめ、各イベントの規模や波源域の違いの有無について更にデータを蓄積する必要がある。特に、十勝沖～根室沖の領域が日本海溝北部や北方領土以東と連動する可能性は、最大マグニチュードを含めた津波浸水予測の波源域設定を行う上で重要な問題である。プレート間固着の空間分布は、地震時断層のすべり分布に起因する津波の特性を規定すると考えられる。海底地殻変動観測によるプレート間固着状況の把握は、津波予測に事前情報を与えることが期待される。

前回の超巨大地震から約400年が経過している千島海溝南部は、超巨大地震の準備～直前段階にあると考えられる。これまでに千島海溝で発生した巨大地震では、長期的な地震活動の静穏化や前震の存在が報告されており、2008-2015年にも地震活動の低下が見られている(松浦, 2019)。また、20世紀以降に発生したM8クラスの巨大地震の大すべり域と地下構造や定常的地震活動との空間的な関連性の報告がある。一方、東北地方太平洋沖地震においても、大すべり域と地震波速度構造や地震波反射強度との空間的関連性や、スロースリップをはじめとした直前～長期的な前駆的現象の可能性が検討されている。

地震活動やプレート間固着などの震源域の動的な現況や、大すべり域周辺の地下構造といった静的な特徴などの基礎的なデータの蓄積を図り、東北地方太平洋沖地震などで得られた知見を参照することで、地震発生に至る過程に関する研究を進める。また、北海道は歴史的背景から他地域に比べて史料が極めて限られる。遺跡から発見される液状化痕跡は、巨大地震の発生履歴や揺れの特性を記録している可能性があり、北海道でも網羅的な調査を進める必要がある。

地震や津波災害は地域性の強い現象である。事前予測に基づくハザードマップや避難計画に実効性を担保するためには、実証実験に基づいた課題の検討と対策の検証による最適化を行うことが望ましい。その際、北海道特有の人口分散・低人口密度という社会素因と、積雪寒冷という自然素因の考慮が求められる。整備が進む地理空間情報と避難訓練の実データを融合した空間分析手法は、避難計画設計への大きな貢献が期待される。一方、住民はもとより、地方行政機関や防災情報を伝える地域の報道機関においても、地震津波の災害リテラシーの向上は大きな課題である。災害現象は地域性が強いため災害リテラシー向上の一元的な知識体系は確立されていないが、関係機関や地域社会と試行錯誤的に連携を積み重ねることはすべての基盤となる。能動的・受動的に地域防災力の向上を目指した取り組みを行っていくことは、災害の社会素因の把握のためにも重要である。

以上のように、本総合研究グループでは、北海道太平洋沿岸に最適な災害軽減スキームのプロトタイプ作成を目標として、要素技術である津波や地震動の事前・即時予測手法の高度化、避難計画の地理空間的解析、震源域の現況評価、巨大津波履歴情報の拡充などの課題間の連携をとり、その成果をインタラクティブに共有することで、現象理解・現象予測・災害誘因予測を結びつけた横断的研究を推進する。

2. 令和元年度の主な成果

津波堆積物の年代決定の高度化を目指した北海道太平洋沿岸での調査から、17世紀前半の伊達市有珠・登別市富岸・竹浦の津波堆積物は1640年北海道駒ヶ岳噴火起源であること、白老町社台・苫小牧市勇払・むかわ町汐見の津波堆積物は1611年慶長地震津波起源の可能性が高いことがわかった。また、十勝の大樹町における17世紀津波堆積物の年代は、浦幌町と同様に1611年よりは新しい時代のものであると推測された（北海道大学[課題番号：HKD_01]）。

千島海溝南部の根室沖に海底地殻変動観測基準局を3か所設置し、1回目の測定を実施した。また、海溝軸を跨ぐ形で3点の海底間音響測距機器を設置し観測を開始した。釧路・根室沖の地震活動が比較的活発な海域で、海底地震計10台を用いた自然地震観測を2か月間実施した（図1）（北海道大学[課題番号：HKD_09]、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]）。

地震活動の静穏化現象を用いて、カムチャツカ半島東岸から千島列島、北海道沖、東北日本沖、伊豆小笠原諸島にかけての沈み込み帯での長期予測を試行した。1988年から2015年までに発生した震源の深さ70km以浅、Mw7.5以上の9個の地震を予測対象とし、15年間のサブカタログを作成して空間格子の周囲から6個の地震を選び、地震の発生間隔が11年以上の場合を「静穏化」と判定して警報ONにした場合の確率利得は1.9となり、ランダムな予測より高い結果が得られた（北海道大学[課題番号：HKD_09]）。

地殻変動観測や地震活動評価から得られたプレート間固着の状態把握を先見情報として利用し、かつS-netで観測される圧力波形データから津波即時予測を実施する手法として、S-net観測網で地震発生後500秒以内に観測された圧力波形を3つのタイプに分類することで津波波源域（地震時隆起域）を推定し、かつ隆起域の面積から地震のマグニチュードを推定する手法を開発した。震源域近傍の海底圧力観測データ同化による津波数値計算手法を用いて、実際のS-net観測点分布で津波がどの程度予測可能かを1968年十勝沖地震の断層モデルに適用し、津波の高さ分布が過大に見積もられる傾向にあることがわかった（図2）（北海道大学〔課題番号：HKD_09〕）。

避難訓練結果を可視化する避難訓練可視化システムを開発し、集団避難実験における運用を通して、システムの効果及び課題を検証した。避難訓練可視化システムの運用はおおむね良好に進められた。特に端末側アプリの機能簡略化によって、参加者もアプリを意識することなく、避難行動を行うことができた。システムを利用したフィードバック学習に関しては、動的な訓練結果と災害関連情報を可視化することによって、参加者の防災意識を変化させる効果があったと考えられた（北海道大学〔課題番号：HKD_07〕）。さらに、関係機関との情報共有や、公開講座・防災機関向け・報道機関向けの地震津波防災勉強会を実施したほか、津波警報時の呼びかけ方法について報道機関とフィールドワークを実施し、地域防災力の向上を図った。（北海道大学〔課題番号：HKD_09〕）。

3. これまでの課題と今後の展望

海域のプレート間固着の状況は、津波浸水予測の断層モデル設定において重要な情報であり、海底地殻変動観測の結果が期待される。千島海溝南部では、2008年以降M6.8以上の地震が発生しておらず、地震活動は低調な状態が続いている。地殻活動のデータを用いた地震活動の変化を定量的にモニターしていくことが重要である。17世紀巨大津波の波源を特定する決定的な物証はいまだない状態であり、津波堆積物の広域比較から千島海溝と日本海溝の接合部での地震発生の可能性を含めて検討を引き続き行うことが必要である。津波即時予測には大きな役割が期待されているが、S-netの運用が始まってから北海道の沖合観測網では実際に津波が観測された事例がなく、実データを用いた検討が行われていない。津波避難計画の策定には、津波浸水の時系列に加え、強震動による建物被害の評価が必要である。震源特性と地盤情報を組み合わせた広帯域強震動予測手法の高度化が期待される。被災後の復旧復興には事前復興計画が重要であるが北海道では策定事例がない。津波や強震動の事前予測情報から被害を推定し、それに基づいた復興計画の策定が望まれる。

総合研究グループの関連課題は、これまでの研究をベースとし、それを更に発展させることで進められており、上記のように成果が挙げられている。一方、総合研究グループとしての目標を達成するためには、関連課題の担当者が総合研究グループで期待されるアウトプットを把握し、他の成果との結合親和性を考慮して研究を進める必要がある。事前情報を整理して全体スキームの共通認識を図るとともに、総合研究グループには含まれていないが、予防災害対策に重要な課題を検討することが必要である。関連課題を含め、災害軽減の事後確率の最大化が期待される課題を特に重点的に推進することが、限られた研究リソースの活用の観点から重要である。

成果リスト

- 青田裕樹, 大園真子, 富田史章, 高橋浩晃 (2019), 陸域GNSSデータによる釧路・根室沖の簡易的なプレート間固着の推定, 日本地球惑星科学連合2019年大会, SSS16-P05
- 橋本雄一, 塩崎大輔 (2019), 津波浸水想定データを援用した避難訓練可視化システムの開発と利活用, 地理情報システム学会講演論文集28, CD-ROM
- Inoue, M., Y. Tanioka, Y. Yamanaka (2019), Method for Near-Real Time Estimation of Tsunami Sources Using Ocean Bottom Pressure Sensor Network (S-Net), Geosciences, doi:10.3390/geosciences9070310
- 井上真優, 谷岡勇市郎, 山中悠資 (2019), 海底圧力観測網(S-net)を用い即時的に津波の規模を推定する手法の開発, 日本地球惑星科学連合2019年大会, HDS13-P03
- 奥野祐介, 塩崎大輔, 橋本雄一 (2019), 津波と土砂崩れによる複合災害を想定した集団避難行動分析ー北海道稚内市を事例としてー, 地理情報システム学会講演論文集28, CD-ROM
- 川村壮, 橋本雄一, 戸松誠, 竹内慎一 (2019), 積雪寒冷地の港湾都市における建物立地状況と津波からの避難可能性に関する空間分析, 地理情報システム学会講演論文集28, CD-ROM
- 川村壮, 橋本雄一, 戸松誠, 竹内慎一 (2019), 港湾都市の津波浸水想定地域における施設立地の変化, 日本地理学会発表要旨集, 96, 50p
- 西村裕一, 石澤堯史, 千葉崇, 横山祐典, 宮入陽介 (2019), 津波堆積物から描く慶長地震津波(1611年)の北海道における波高分布, 歴史地震研究会, 0-06
- 太田雄策, 木戸元之, 東龍介, 佐藤真樹子, 鈴木秀市, 山本龍典, 高橋秀暢, 木村友季保, 大塚英人, 本荘千枝, 日野亮太, 大園真子, 岡田和見, 青田裕樹, 高橋浩晃, 篠原雅尚, 富田史章, 金松敏也, Kan-Hsi Hsiung, 飯沼卓史 (2019), 千島海溝南西部根室沖における海底測地観測網の構築, 日本地震学会2019年秋季大会, S03-10
- Tanioka, Y. (2019a), Tsunami simulation method assimilating ocean bottom pressure data for real-time tsunami forecast; A case study for the 1968 great earthquake, EGU General Assembly, EGU2019-11714
- Tanioka, Y. (2019b), Tsunami forecast method assimilating ocean bottom pressure data in the source area; A case study for the Tokachi-oki earthquake (Mw8.0), 27th IUGG General Assembly, IUGG19-0492.
- Tanioka, Y., M. Inoue, Y. Yamanaka (2019), Near-real time estimation of tsunami sources using a classification of waveforms observed at dense ocean bottom pressure sensors, AGU Fall Meeting, NH33A-03

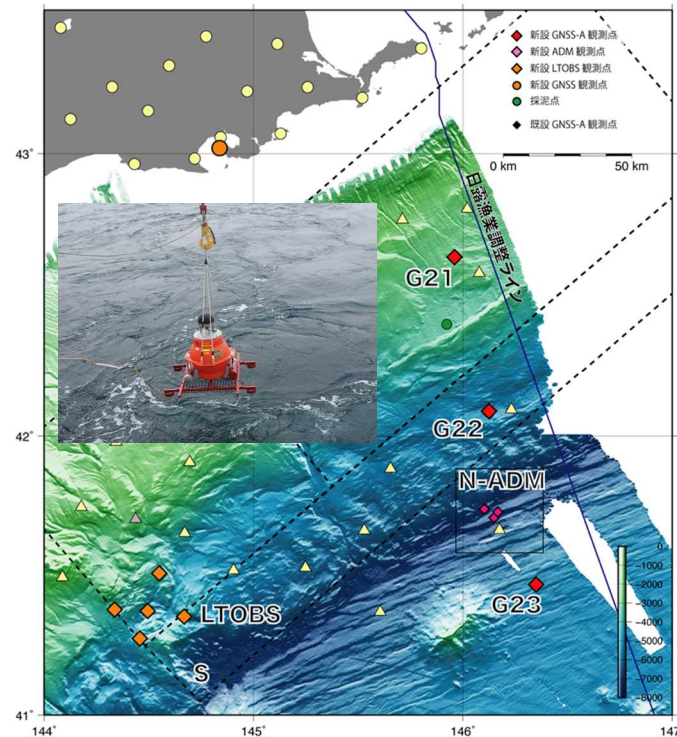


図1. 海底地殻変動基準局の設置状況。G21・G22・G23がGNSS/A基準局（東北大学災害科学国際研究所 [課題番号：IRID02]）。

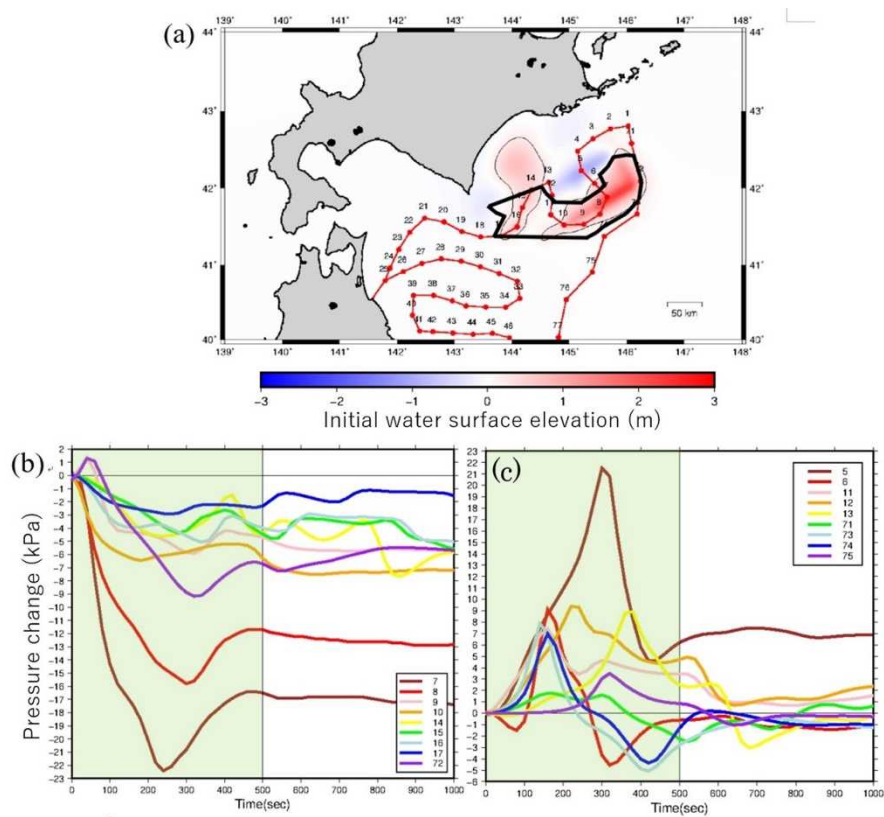


図2. 1952年十勝沖地震の地震時隆起域を，S-net観測網の観測点で計算された水圧計波形のタイプ分けにより推定した。(a) 1952年十勝沖地震断層による海面上昇の初期値とS-net地震観測網の観測点分布（赤丸，数字は観測点番号），(b) 各観測点で想定される水圧の時間変化（Inoue et al., 2019）（北海道大学 [課題番号：HKD_09]）。

2 (4) 桜島大規模火山噴火総合研究

「桜島大規模火山噴火」総合研究グループリーダー 井口正人
(京都大学防災研所)

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。

火山活動推移モデルの構築

1914年に桜島で発生した大規模噴火は、20世紀以降我が国における最大規模の噴火である。火山灰軽石などの堆積量は、0.6立方キロメートルで、VEI（火山爆発強度指数）4とされるが、溶岩の流出が多く、1.5立方キロメートルが噴出した。また、噴火開始から8時間後にマグニチュード7の地震が鹿児島湾において発生した。これらの現象に伴い、降下火山灰、軽石、溶岩流による集落の埋没、家屋の倒壊、土石流など多様な形態の災害が発生した。一方、死者・行方不明者は、地震災害を含めても58名であり、噴火の規模の割に犠牲者は少ない（例えば、2014年御嶽山噴火では死者・行方不明者は64名）。これは、噴火発生の30時間前から有感地震が群発したため、多くの住民は身の危険を感じて噴火発生前に避難行動を開始していたからである。このことは、大規模噴火においても異常現象の時系列から構成される噴火の前駆過程の把握が極めて重要であることを意味する。

井口（2019）は大正噴火時の住民の記憶をまとめた「桜島爆発の日（野添，1980）」などにもとづき、大規模噴火に至るまでの過程を、始良カルデラ下のマグマ溜まりの膨張で生じた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時間前からの群発地震と急速な地盤変動に整理した（図2）。

桜島島内における最初の異常現象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チャンバー内において小型センサーで二酸化炭素濃度の上昇を測定し、その放出率を求める装置の開発がすすめられており、実装が待たれる（東京工業大学〔課題番号：TIT_02〕）。群発地震という噴火直前の現象の前には、マグマの貫入に伴う弾性変形のみが進行する非地震性地盤変動期が認められる。非地震性地盤変動期から火山体の脆性破壊を伴いながらマグマの貫入がさらに進行する地震性地盤変動期への推移は、インドネシアにおいて最近発生した2010年メラピ火山噴火や2013年～2017年のシナブン火山における溶岩ドーム形成と火砕流の頻発の前に認められる（京都大学防災研究所〔課題番号：DPRI06〕）。非地震性地盤変動期はマグマの貫入に伴う弾性変形のみが

進行する段階，地震性地盤変動期は応力が岩石の破壊強度を超えた段階と考えられる。桜島の1914年噴火では，約半年の山体隆起と直前30時間の火山性地震の群発が起きたとされており，「マグマ貫入に伴う火山体の弾性変形と応力集中→応力が岩石の破壊強度を超えることによって発生する火山構造的な地震→噴火の発生」というプロセスは火山噴火の前駆過程の標準モデルとして有望である。

地盤変動などから見積もられるマグマの貫入速度は，噴火の規模と様式を予測する指標となりうる（井口・他，2019）。これまでの経験式をさらに高度化するために，地盤変動観測を繰り返し実施した（京都大学防災研究所 [課題番号：DPRI07]）。一方，地盤変動として検知できない場合は，検知深度に難はあるもののミュオグラフィにより得られる地下の密度変化（東京大学地震研究所 [課題番号：ERI_21]）や，質量の変化を反映する重力測定も火山活動の推移把握の手法として有望である。特に，推移については，大気中の二酸化硫黄ガス量の測定や火山灰の自動採取・画像伝送装置（防災科学技術研究所 [課題番号：NIED01]）など，物質科学的な分析を主体とする観測に期待が持てる。

ハザード範囲予測

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の予測については，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」によって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。このように，ハザードごとの予測においては噴火の規模を予測することが最も重要である。

火砕流についても同様にシミュレーションにより予測可能であるが（図2），噴出マグマのうちどれだけの量が火砕流として流下するかという配分予測に依然として問題がある。また，火砕流は常に発生するわけではないので，その発生予測そのものも重要なテーマである。これまで昭和火口の噴火活動から火砕流の発生しやすい火山活動条件について知見が蓄積されつつある（京都大学防災研究所 [課題番号：DPRI11]）。

降雨がトリガーとなる桜島の土石流の予測については，土石流発生ポテンシャルの把握と，1回の土石流の流出土砂量を規定する雨の降り方の把握が重要である。焼岳等における知見を桜島にも活用できるかどうか検討する（京都大学防災研究所 [課題番号：DPRI12]）。また，土石流発生ポテンシャルは降下火山灰量に依存するので，降下火山灰予測とリンクする必要がある。なお，大規模噴火発生時には，研究機関の観測インフラも深刻な影響を受ける。地震・火山データの無線伝送技術の開発と運用の検討が始まっているが，桜島では400MHz帯無線によりデータ伝送を二重化するレジリエントな火山総合観測システムを設置した（東北大学 [課題番号：THK_13]）。

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によってわかる。現在の活動状態と警報は気象庁の発表する噴火警戒レベルにより情報提供される。「噴火警戒レベル」の認知

度調査アンケートに対し、鹿児島県外の認知度は3割であったが、鹿児島市内では9割、鹿児島市を除く鹿児島県内でも8割以上から、少し知っている・よく知っているという回答が得られ、桜島周辺ではその認知度が高いことが分かった(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI13])。避難などの対策、交通インフラへの影響、大規模噴火についての社会の共通理解醸成の方策について、日本自然災害学会誌に特集記事「桜島の大規模噴火を考える」を掲載し、桜島火山防災連絡会メンバーである自治体および国の地方機関に配布するなどリテラシーの向上に努めた。また、桜島大規模噴火にて想定される広範囲の航空インフラへの影響について航空会社研究所の季刊誌に掲載した。

これまでの課題と今後の展望

今年度は計画初年度であったが、それぞれの課題において新たな取り組みや研究の高度化がなされている。2019年12月に行った桜島火山大規模噴火総合研究グループの研究集会において、参画している各課題担当者から研究計画の発表をしてもらい、総合研究グループとしての今後の連携についての議論も行った。考古・文献資料から桜島に限らず大規模噴火の発生履歴の追跡を行う。新しいデータ伝送方法、火山ガス観測機器についての研究紹介もあり、桜島において機器の実験を行う。多項目観測、活動分岐の研究を進める。具体的な噴出物量を与えることで火砕流や土石流の発生予測、流下のシミュレーションを行い、ハザード範囲予測の高精度化を行う。また、自治体、防災関係者、市民向けの火山活動に関するセミナー開催などにより防災リテラシーの向上を行う。令和2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

- Araya, N., M. Nakamura, A. Yasuda, S. Okumura, T. Sato, M. Iguchi, D. Miki, N. Geshi (2019), Shallow magma pre-charge during repeated Plinian eruptions at Sakurajima volcano, *Scientific Reports* 9, doi:10.1038/s41598-019-38494-x
- 新谷昌人 (2019), 光ファイバーネットワークを用いた火山活動監視のための重力計測技術に関する研究, 東北大学電気通信研究所研究活動報告, 25, 285-287
- 伴雅雄, 及川輝樹, 山崎誠子, 後藤章夫, 山本希, 三浦哲 (2019), 近代的噴火観測事例のない火山での噴火推移予測: 蔵王火山の例, *火山*, 64, 131-138, doi:10.18940/kazan.64.2_131
- Gonda, Y., S. Miyata, M. Fujita, D. Legono, D. Tsutsumi (2019), Temporal Changes in Runoff Characteristics of Lahars After the 1984 Eruption of Mt. Merapi, Indonesia, *Journal of Disaster Research*, 14(1), 61-68, doi:10.20965/jdr.2019.p0061
- Hasib, M., T. Nishimura, H. Nakahara (2019), Spectral ratio analyses of explosion earthquakes at Sakurajima volcano, Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 381, 302-311, doi:10.1016/j.jvolgeores.2019.05.005
- 橋本武志, 宇津木充, 大倉敬宏, 神田径, 寺田暁彦, 三浦哲, 井口正人 (2019), 非マグマ性の火山活動に伴う消磁及び地盤変動のソースの特徴, *火山*, 64, 103-119, doi:10.18940/kazan.64.2_103

- 平川泰之, 岡野和行, 植野利康, 里深好文, 堤大三, 宮田秀介 (2019), 近年の雲仙普賢岳における土石流発生地の地形・地質的条件, 砂防学会誌, 72(1), 21-31
- 堀田耕平, 井口正人 (2019a), 2017年の南岳爆発に前後する傾斜ひずみ変化, 日本地球惑星科学連合2019年大会, SVC38-16
- 堀田耕平, 井口正人 (2019b), 2017年11月13日南岳爆発に伴う傾斜ひずみ変化, 日本火山学会2019年度秋季大会, B1-08
- Hurlimann, M., V. Coviello, C. Bel, X. Guo, M. Berti, C. Graf, J. Hubl, S. Miyata J. B. Smith, H-Y. Yin (2019), Debris-flow monitoring and warning: review and examples, Earth-Science Reviews, 199, 102981, doi:10.1016/j.earscirev.2019.102981
- Iguchi, M., H. Nakamichi, H. Tanaka, Y. Ohta, A. Shimizu, D. Miki (2019), Integrated Monitoring of Volcanic Ash and Forecasting at Sakurajima Volcano, Japan, J, Disaster Res., 14, 5, 798-809, doi:10.20965/jdr.2019.p0798
- 井口正人 (2019a), 桜島大規模噴火の発生予測－非地震性地盤変動から地震活動を伴う地盤変動への推移, 日本自然災害学会誌, 38, 306-317
- 井口正人 (2019b), 地盤変動に続く地震活動に関する考察, 日本火山学会2019年度秋季大会, B1-05
- 井口正人, 為栗健, 平林順一, 中道治久 (2019), マグマ貫入速度による桜島火山における噴火事象分岐論理, 火山, 64, 2, 33-51, doi:10.18940/kazan.64.2_33
- 井口正人, 為栗健, 平林順一, 中道治久 (2019), マグマ貫入速度による桜島火山における噴火事象分岐論理, 日本地球惑星科学連合2019年大会, SVC38-15
- 井口正人, 中道治久 (2019), 桜島の大規模噴火を考える, 自然災害科学, 38, 3, 279-345
- 井口正人, 轟朝幸, 村岡猛, 平田輝満, 佃健次, 小田切義憲 (2019), 今そこにある桜島噴火, ていくおふ, 157, 4-15
- 井口正人, 轟朝幸, 村岡猛, 平田輝満, 佃健次, 小田切義憲 (2020), 今そこにある桜島噴火 (2), ていくおふ, 158, 4-17
- Iguchi, M., T. Tameguri, J. Hirabayashi, H. Nakamichi (2019), Forecasting Volcanic Eruption of Sakurajima Volcano Based on Magma Intrusion Rate in Rete in Recent 100 Years, 27th IUGG General Assembly, V20p-431
- Ikenaga, Y., F. Maeno, A. Yasuda (2019), Time-series variation in the textures of ejecta of the An'ei eruption, Izu-Oshima, Japan Geoscience Union Meeting 2019, SVC34-P07
- Ishimizu, E., M. Sakamoto (2019), Issues of Japan's volcanic disaster prevention system as viewed from overseas alert systems, JpGU Meeting 2019, MZZ50-P03
- 石水英梨花, 阪本真由美 (2019), 火山災害軽減に効果的な地域の関係性に関する考察 口永良部島におけるヒアリング調査から, 日本火山学会2019年度秋季大会, P111
- Jitsufuchi, T. (2019a), Development of an optical multispectral remote sensing system for measuring volcanic surface phenomena -Promotion Project for Next Generation Volcano Research B2 (subtopic2-2), J. Disast. Res., 14, 5, 728-743, doi:10.20965/jdr.2019.p0728
- Jitsufuchi, T. (2019b), "Repeated Observations with Short Time Intervals for Measuring Temperature Distribution of a Volcanic Crater Using an Airborne Imaging

- Spectrometer,” IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1809-1812, doi:10.1109/IGARSS.2019.8898090
- Jitsufuchi, T. (2019c), ” Development of an Airborne Radiative Transfer Spectral Scanner for a Single-Engine Aircraft,” IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 9141-9144, doi:10.1109/IGARSS.8897914
- Kaneko, T., F. Maeno, A. Yasuda (2019), Observation of the eruption sequence and formation process of a temporary lava lake during the June-August 2015 Mt. Raung eruption, Indonesia, using high-resolution and high-frequency satellite image datasets, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 377, 17-32, doi:10.1016/j.jvolgeores.2019.03.016
- 風間卓仁 (2019), 日本の火山地域における重力観測の現状と陸水擾乱問題, *火山*, 64, 3, 189-212, doi:10.18940/kazan.64.3_189
- 風間卓仁, 山本圭吾, 大島弘光, 岡田和見, 大柳諒, 園田忠臣, 井口正人 (2019), 桜島火山における繰り返し相対重力測定(2018年5月~2019年2月), *京都大学防災研究所年報*, 62B, 318-324
- Laszlo O., H. K.M. Tanaka, T. Ohminato, H. Gergo, V. Dezso (2019), Plug Formation Imaged Beneath the Active Craters of Sakurajima Volcano With Muography, *Geophys. Res. Lett.*, 46, 17-18, 1-28, 10417-10424, doi:10.1029/2019GL084784
- Maeno, F., S. Nakada, M. Yoshimoto, T. Shimano, N. Hokanishi, A. Zaennudin, M. Iguchi (2019), Eruption Pattern and a Long-Term Magma Discharge Rate over the Past 100 Years at Kelud Volcano, Indonesia, *J. Disaster Res.*, 14, 27-39, doi:10.20965/jdr.2019.p0027
- 前野深 (2019), 火山噴出物の解析にもとづく噴火物理パラメータの推定ー噴火ダイナミクスの理解進展に向けてー, 日本地球惑星科学連合2019年大会, U04-06
- 三輪学央, 下司信夫, 伊藤順一, 棚田俊收, 井口正人 (2019), VOLCAT による降灰その場自動観察, 日本火山学会2019年度秋季大会, A1-11
- 宮町宏樹, 高橋浩晃, 青山裕, 大園真子, 椎名高裕, 高田真秀, 一柳昌義, 山口照寛, 薄田悠樹, 齊藤一真, 伊藤ちひろ, 村井芳夫, 中垣達也, 筒井智樹, 竹井瑠一, 多田悠也, 山本希, 平原聡, 中山貴史, 東龍介, 鈴木秀市, 佐藤利典, 蔵下英司, 安藤美和子, 田中伸一, 池澤賢志, 山田知朗, 中東和夫, 前田裕太, 堀川信一郎, 松廣健二郎, 奥田隆, 辻修平, 十川直樹, 片尾浩, 澁谷拓郎, 三浦勉, 中川潤, 米田格, 為栗健, 瀧下恒星, 仲井一穂, 山下裕亮, 松島健, 内田和也, 宮町凜太郎, 八木原寛, 平野舟一郎, 久保武史, 坂尾健有 (2019), Seismic refraction and wide-angle reflection experiment in southern Kyushu, Japan: (3) the 2018 exploration report, 日本地球惑星科学連合2019年大会, SVC38-P40
- 宮町宏樹, 小林励司, 八木原寛, 平野舟一郎, 久保武史, 海野直弘, 松島健, 内田和也, 宮町凜太郎, 片尾浩, 澁谷拓郎, 三浦勉, 中川潤, 米田格, 為栗健, 瀧下恒星, 仲井一穂, 山下裕亮, 前田裕太, 堀川信一郎, 松廣健二郎, 奥田隆, 辻修平, 十川直樹, 中東和夫, 蔵下英司, 山田知朗, 安藤美和子, 田中伸一, 池澤賢志, 佐藤利典, 山本希, 平原聡, 中山貴史, 東龍介, 鈴木秀市, 筒井智樹, 竹井瑠一, 多田悠也, 高橋浩晃, 青山裕, 大園真子, 椎名高裕, 高田真秀, 一柳昌義, 山口照寛, 伊藤ちひろ, 薄田悠樹, 村井芳夫, 中垣

- 達也 (2019), 人工地震探査による南九州横断測線下の速度構造 (4), 日本地震学会2019年度秋季大会, S06-21
- 宮町宏樹, 小林励司, 八木原寛, 平野舟一郎, 久保武史, 早田正和, 坂尾健有, 海野直弘, 松島健, 内田和也, 宮町凜太郎, 磯田謙心, Agnis Triahadini, 手操佳子, 神谷義之介, 清水洋, 片尾浩, 澁谷拓郎, 三浦勉, 中川潤, 米田格, 加藤慎也, 為栗健, 瀧下恒星, 仲井一穂, 山下裕亮, 前田裕太, 渡辺俊樹, 堀川信一郎, 松廣健二郎, 奥田隆, 辻修平, 十川直樹, 長谷川大真, 中東和夫, 蔵下英司, 岩崎貴哉, 篠原雅尚, 山田知朗, 阿部英二, 安藤美和子, 田中伸一, 池澤賢志, 佐藤利典, 山本希, 平原聡, 中山貴史, 東龍介, 日野亮太, 大友周平, 鈴木秀市, 筒井智樹, 井上雄介, 竹井瑠一, 多田悠也, 高橋浩晃, 青山裕, 大園真子, 椎名高裕, 高田真秀, 一柳昌義, 山口照寛, 小野夏生, 齊藤一真, 伊藤ちひろ, 薄田悠樹, 村井芳夫, 中垣達也, 田中康久 (2019), 人工地震探査による始良カルデラ下の速度構造 (4), 日本火山学会2019年度秋季大会, A3-12
- 森俊哉 (2019), 上空二酸化硫黄測定装置観測網による桜島の二酸化硫黄放出率観測, 日本火山学会2019年度秋季大会, P095
- Nakada, S., F. Maeno, M. Yoshimoto, N. Hokanishi, T. Shimano, A. Zaennudin, M. Iguchi (2019), Eruption Scenarios of Active Volcanoes in Indonesia, *J. Disaster Res.*, 14, 40-50, doi:10.20965/jdr.2019.p0040
- 仲井一穂, 井口正人, 大倉敬宏 (2019), GNSSデータによる始良カルデラ周辺の広域上下変動, 日本地球惑星科学連合2019年大会, SVC38-P36
- Nakamichi, H. (2019), Mitigation of volcanic hazard in Sakurajima, Japan, through the coordinating committee and through communication with the public, *JpGU Meeting 2019*, MZZ50-03
- 中道治久 (2019), 深部低周波地震の発生と火山深部のマグマ供給との関係について, 日本地球惑星科学連合2019年大会, SSS17-06
- 中道治久, 清水厚, 下村誠, Syarifuddin Magfira, 井口正人 (2019), 桜島におけるXバンドMPレーダーとライダー同時噴火観測と口永良部島噴火のレーダー観測, 日本地球惑星科学連合2019年大会, MIS16-02
- 西村太志 (2019), 噴火発生頻度の時空間的特徴, *火山*, 64, 53-61, doi:10.18940/kazan.64.2_53
- Ohashi, M., M. Ichihara, F. Maeno, B. Kennedy, D. Gravley (2019), The textural analysis of pumice from the Plinian eruption of Taupo volcano: implications for tube pumice, *JpGU Meeting 2019*, SVC34-P07
- 大久保修平, 山本圭吾, 井口正人, 田中愛幸, 今西祐一, 西山竜一, 安藤美和子, 渡邊篤志 (2019), 絶対重力の長期変動から読み解く桜島の火山活動 (2009年~2018年), 日本地球惑星科学連合2019年大会, SGD01-07
- Okubo, S., K. Yamamoto, M. Iguchi, H. Tanaka (2019), Diagnosis of Conduit State of Sakurajima Volcano Using Continuous Records on Gravity and Crustal Movements and Muon Radiography, *27th IUGG General Assembly*, V20p-433
- 大柳諒, 風間卓仁, 山本圭吾, 大島弘光, 岡田和見, 園田忠臣, 井口正人 (2019), 繰り返し相対重力観測で明らかになった桜島火山における1990年代以降の重力時空間変化, 日本地球惑星科学連合2019年大会, SVC38-P38

- 大柳諒, 風間卓仁, 山本圭吾, 井口正人 (2019), 繰り返し相対重力観測で明らかになった桜島火山における1990年代以降の重力時空間変化, 日本測地学会第132回講演会, 20
- Permana T., T. Nishimura, H. Nakahara (2019), Source location of volcanic earthquakes and tremors at Sakurajima volcano based on seismic correlation, 日本地球惑星科学連合2019年大会, SSS11-04
- Permana, T., T. Nishimura, H. Nakahara, E. Fujita, H. Ueda (2019), Reliability evaluation of volcanic tremor source location determination using cross-correlation functions, *Geophys. J. Int.*, 220, 1300-1315, doi:10.1093/gji/ggz523
- Sakamoto, M. (2019), Governance for Trans-boundary Volcanic Disaster -a case of 2010Eyjafjallaj kull Eruption-, JpGU Meeting 2019, MZZ50-P01
- 阪本真由美, 中道治久, 荒島千鶴, 高橋若菜, 荒木田勝 (2019), 越境火山災害をめぐる国際リスクコミュニケーションー 2010年アイスランド火山噴火対応の事例よりー, 日本火山学会2019年度秋季大会, B2-18
- 坂内野乃, 中村美千彦, 安田敦, 奥村聡, 新谷直己, 井口正人, 味喜大介, 下司信夫 (2019), 桜島火山ブルカノ式噴火前のマグマプロセス: 岩石学・地球物理学の連携研究, 日本地球惑星科学連合2019年大会, SVC37-05
- 澁谷拓郎, 寺石眞弘, 小松信太郎, 山崎健一, 山下裕亮, 大倉敬宏, 吉川慎, 井口正人, 為栗健, 園田忠臣 (2019), 地震学的手法による南九州下のフィリピン海スラブとその周辺域の構造の推定, 京都大学防災研究所年報, 62B, 279-287
- 嶋野岳人, 日野英逸, 安田敦, 井口正人, 上木賢太, 桑谷立 (2019), 火山灰測色値と地球物理データとの時系列相関解析ー桜島昭和火口2009-2015年活動についてー, 日本火山学会2019年度秋季大会, A1-03
- 嶋野岳人, 安田敦, 井口正人 (2019), 火山灰採取装置SATSUMAによる噴出物モニタリングの進展, 日本火山学会2019年度秋季大会, P082
- 篠原宏志 (2019), 火山ガス観測から推定される火山活動推移過程, *火山*, 64, 121-129, doi:10.18940/kazan.64.2_121
- 田島靖久, 中田節也, 長井雅史, 前野深, 渡邊篤志 (2019), 霧島火山群, えびの高原硫黄山の2018年4月の小噴火, *火山*, 64, 147-151, doi:10.18940/kazan.64.2_147
- 高木朗充 (2019), 深部圧力源による火山性地殻変動に基づく噴火発生予測の評価, *火山*, 64, 63-81, doi:10.18940/kazan.64.2_63
- Takano, T., T. Nishimura, H. Nakahara, H. Ueda, E. Fujita (2019), Sensitivity of Seismic Velocity Changes to the Tidal Strain at Different Lapse Times: Data Analyses of a Small Seismic Array at Izu-Oshima Volcano, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 124, 3011-3023, doi:10.1029/2018JB016235
- 瀧下恒星, 井口正人, 園田忠臣 (2019), 落下速度観測から推定された桜島ブルカノ式噴火の噴煙からの火山灰粒子分離高度と粒径分布, 日本地球惑星科学連合2019年大会, MIS16-P04
- Tameguri, T., M. Iguchi (2019), Characteristics of micro-earthquake swarms preceding eruptions at Showa crater of Sakurajima volcano, Japan, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 372, 15, 24-33, doi:10.1016/j.jvolgeores.2019.01.016
- 堤大三, 孝子綸図, 山野井一輝, 藤田正治 (2019), ストリームチューブによる地形分割を基にした表層崩壊解析手法, *砂防学会誌*, 72(2), 3-13

- Ueda, H., T. Yamada, T. Miwa, M. Nagai, T. Matsuzawa (2019), Development of a Data Sharing System for Japan Volcanological Data Network, *J. Disaster Res.*, 14, 571-579, doi:10.20965/jdr.2019.p0571
- 内田雅喜, 大倉敬宏, 澁谷拓郎, 安部祐希, 小松信太郎, 山崎健一, 山下裕亮, 吉川慎, 井口正人, 為栗健, 園田忠臣 (2019), レシーバ関数解析を用いた九州南部下のフィリピン海スラブの構造の推定, 日本地球惑星科学連合2019年大会, SSS12-P12
- 海野直弘, 八木原寛, 仲谷幸浩, 平野舟一郎 (2019), 阿多カルデラ周辺の地殻の3次元地震波速度構造及び加久藤カルデラ下の速度構造との比較, 日本火山学会2019年度秋季大会, A3-11
- Wang, X., Y. Aoki (2019), Post-eruptive thermoelastic deflation of intruded magma in Usu volcano, Japan, 1992-2017., *J. Geophys. Res.*, 124, 335-357, doi:10.1029/2018JB016729
- 山口翔大, 宮田秀介, 堤大三, 村重慧輝, 藤田正治 (2019), 数値解析による積雪条件の異なる融雪型火山泥流予測, *砂防学会誌*, 71(6), 3-13, doi:10.11475/sabo.71.6_3
- Yamaoka, K., S. Tsuji, T. Watanabe, T. Kunitomo, H. Miyamachi, H. Yakiwara, M. Iguchi, T. Tameguri (2019), Temporal variation of seismic propagation property of Sakurajima Volcano, Japan, 27th IUGG General Assembly, S04p-114
- 山崎雅, Freysteinn Sigmundsson, 井口正人 (2019a), 上部地殻でのマグマ流入出に対する粘弾性地殻の応答: 1914年桜島噴火前後の始良カルデラの隆起について, 日本地球惑星科学連合2019年大会, SSS16-10
- 山崎雅, Freysteinn Sigmundsson, 井口正人 (2019b), 始良カルデラにおける粘弾性地殻変動, 日本火山学会2019年度秋季大会, A3-13
- Yamasaki, T., F. Sigmundsson, M. Iguchi (2019), 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, 1, 115981, doi:10.1016/j.epsl.2019.115981
- 山本圭吾, 松島健, 吉川慎, 井上寛之, 園田忠臣, 瀧下恒星, 仲井一穂, 内田雅喜, 大柳諒, 神谷義之介, 大倉敬宏 (2019), 水準測量によって測定された桜島火山の地盤上下変動 (2017年11月~2018年11月), 日本地球惑星科学連合2019年大会, SVC38-P37

研究項目と各課題担当

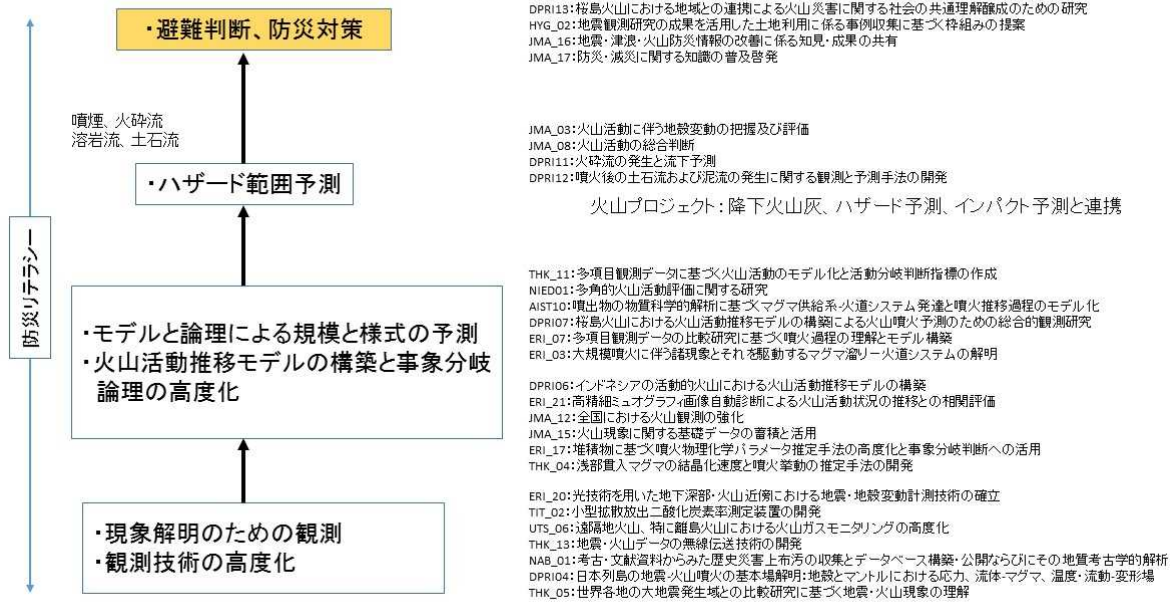


図 1. 桜島総合研究グループの研究項目と各課題。

総合研究グループ: 桜島大規模噴火

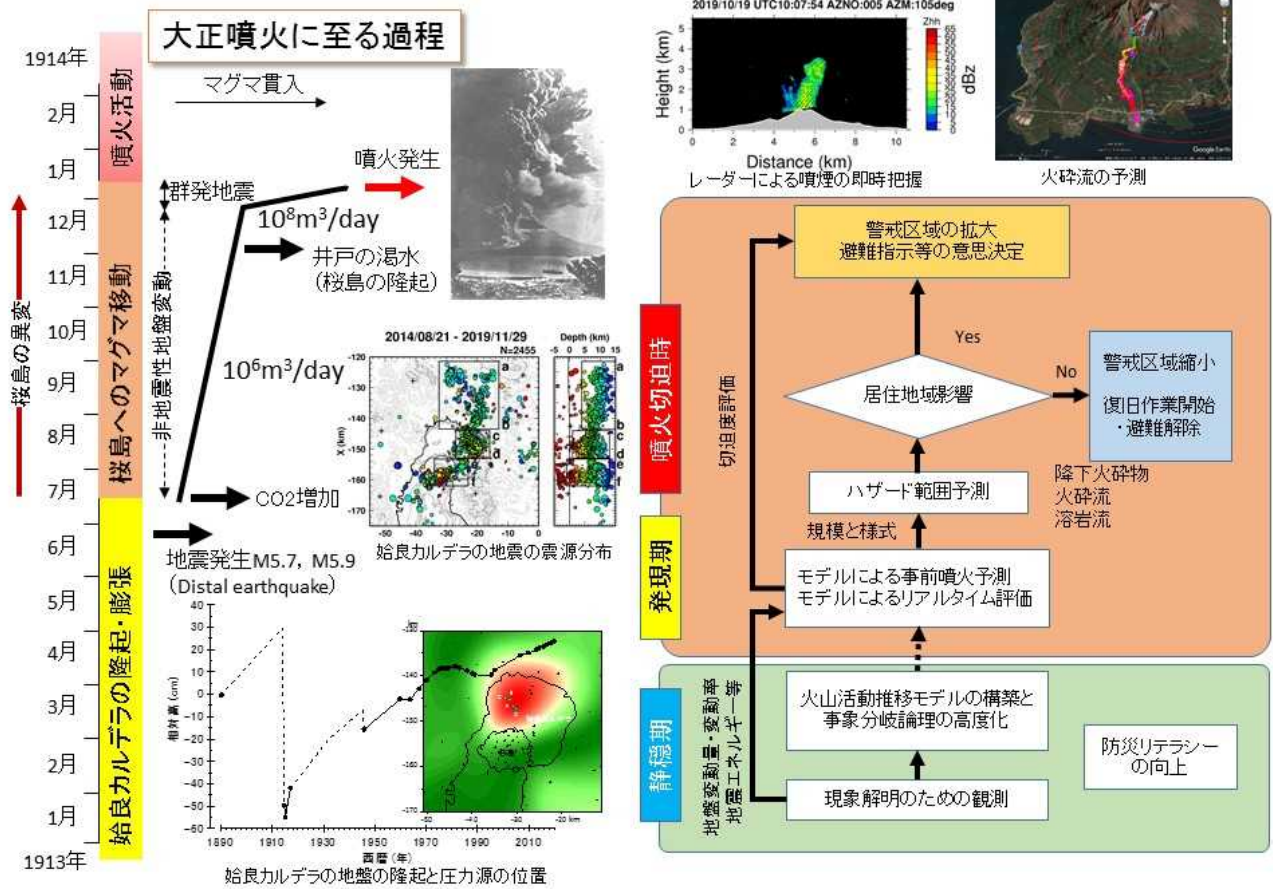


図2. 今年度の成果と今後の研究の進め方。左: 1914年に発生したVEI4の大規模噴火発生に至るまでのプロセスを明らかにした。始良カルデラ下のマグマ溜まりの膨張で生じた地殻内応力集中による桜島から離れた場所での地震発生(1913年6月), 桜島島内でのCO2の増加(7月), 桜島島内の弾性変形を伴う非地震性地盤変動(7月~12月), 噴火の30時間前からの群発地震と急速な地盤変動が発生。右上: XバンドMPレーダーにより観測された桜島南岳噴火の噴煙の断面図, 地盤変動観測から求められた圧力源の体積変化量から予測した火砕流の到達範囲。右下: 総合研究グループでの研究の進め方。

2 (5) 高リスク小規模火山噴火総合研究

「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
(東京大学地震研所)

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、小規模な噴火でも人的・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、噴火災害に関する史料の収集、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災害ポテンシャル予測研究、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。

実施方法

(1) 既存課題の成果を活用

- ・ 噴火災害史料の収集、災害発生状況の整理、噴火災害発生時の噴火の規模や火口からの距離等に関する文献調査
- ・ 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
- ・ 熱水系の構造探査（比抵抗調査等）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，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

本年度の実施内容

- (1) 本総合研究の進め方を議論するために，2020 年 2 月 17 日に少人数による検討会を実施した。
- (2) 既存課題の成果活用に向けて，実施課題の中から本総合研究に関連する成果を以下のように選び出した。

- ・ 地質調査による水蒸気爆発等の噴火履歴調査

草津白根山について、噴火履歴の解明および噴火ポテンシャル評価に関する研究が進められている（富山大学 [課題番号：TYM_01]）。小規模水蒸気噴火の発生頻度に関する知見を得られることが期待される。

- ・ 地球物理・地球化学的各種観測による活動把握

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。気象庁による活火山の常時監視体制の継続（気象庁 [課題番号：JMA_12]）や、地震計や監視カメラの増強は本総合研究にとって極めて重要である。

箱根大涌谷では噴気観測データから噴火前後のヘリウム同位体比の変化を検出し、噴火に関する流体移動の役割を明らかにした（東京大学大気海洋研究所 [課題番号：AORI02]）。草津白根山では広帯域 MT 観測により、湯釜直下から本白根山にかけての深さ 1-3 km に広がる低比抵抗域を検出した（東京工業大学 [課題番号：TIT_03]）。水蒸気噴火発生場の詳細と噴火ポテンシャル評価に寄与する重要な成果と言える。

一方、国内の活動的火山について、活動推移のモデル化や分岐判断指標の作成をするために観測データ等の検討が進められている（東北大学 [課題番号：THK_11]）。多くの火山活動の初期段階で小規模な水蒸気噴火が発生することから、本総合研究に関連する知見を得られることが期待される。

- ・ 災害情報の発信に関する研究の活用

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（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]）。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。

これまでの課題と今後の展望

- ・ これまでの課題

マグマ噴火等の大規模噴火で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は少ない場合が多い。また、噴火規模が大きい場合で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であっても近くで発生すれば人的被害はまぬがれない。さらに、先行する現象が弱いか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。各自治体が防災マップを発行しているが、そ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についても、非専門家はその内容を正確に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、噴火警戒レベル1であれば安全であると、非専門家は誤って理解し、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、データの取集が難しく、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年度に始まった本観測研究計画において「高リスク小規模火山噴火総合研究グループ」を立ち上げ、その活動を開始したところである。

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。

初年度は、関連する研究課題の整理と今後の研究の進め方の議論に留まったが、次年度以降、より具体的な活動を進める予定である。

成果リスト

特になし

3 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 市村 強
(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(拠点間連携研究[課題番号:CT0C01])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、平成30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および(8)ステークホルダの参画に関する研究グループにおいて、リスク評価およびその不確かさに関する検討を行った。2019

年度からは、さらに（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を加えた９グループで実施した。

震源過程および強震動予測について、巨大地震による強震動予測を目的とした、強震動生成域に対する距離減衰を求めるために、諸問題を整理し、強震動生成域の分かっている地震に対する波形処理を行った。深部地盤・伝播経路については、海洋研究開発機構の観測船「新青丸」を利用し、そのKS-19-18次航海で15台の海底地震計を7観測点に設置した。そのうちの5観測点では、それぞれ1台ずつの海底地震計を設置し、それ以外の2観測点は海溝軸近傍の微動や超低周波地震の発生域にあたり、5台の海底地震計を用いた半径およそ2kmの十字アレイを構築した（図1）。さらに今年度は、気象庁一元化震源カタログからマグニチュード2以上の地震を抽出し、これまでに南海トラフ周辺で得られた速度構造を参照して震源再決定を行うための準備を行なった。また、DONET観測波形を用いた海域から陸域まで通した地震波伝播特性を理解するため、精度を向上した震源情報に基づいた解析を行うための準備を行なった。浅部地盤構造に関しては、液状化の可能性のある2次元水平地盤を対象に、有効応力法に基づく逐次非線形地盤応答解析を実施した。解析では、地盤物性が解析領域において均質であると仮定したケースに加え、地盤物性の空間的なばらつきを考慮した不均質地盤に対する検討も行った。その結果、不均質性を考慮することで地表面加速度の増幅が均質地盤と比べ抑えられる傾向にあるものの、地盤の剛性・強度によりその傾向が変化することがわかった。構造物被害予測に関しては、建物被害のデータベースの構築とその応用を目的として、次の3点を検討した。1. 衛星やドローンを用いた広域被害の即時把握の可能性、2. 我が国の部材実験等の膨大な論文から作製したデータベースの活用と、論文中に示された荷重変形関係のデジタル化による非線形挙動特徴点の推定方法の開発、3. 過去の膨大な地震被害調査写真を用いたAI技術による被害程度判断技術開発の可能性。リスク評価については、経験的距離減衰式を用いた確率論的地震ハザード解析を実施する際の震源モデルについて、南海トラフ地震以外の震源域（プレート境界、活断層、それ以外）についてモデルパラメータを更新した。また、2016年熊本地震により阿蘇カルデラ内で多くの斜面崩壊・地すべりが発生したため、京都大学火山研究センターの周辺で発生した斜面崩壊・地すべりの発生メカニズムの初期段階に注目し、強振動の方向と移動土塊の方向との関係、崩壊が発生した地形に共通する特徴について検討を行った。詳細数値地形図（LiDAR-DEM, 1m）を用い、地形を視覚的に理解しやすく可視化する方法を用い、発生場の地形的特徴を明確にし、地震によって発生した斜面崩壊・地すべりの前後比較を行った。地形の変化部周辺の明瞭化を行い、変化のおよぶ範囲の特徴と移動土塊の移動痕跡を追跡した。その結果、地震を引き起こした断層運動によって生じた地表の振動方向と斜面崩壊・地すべりの発生箇所の斜面方向には、非常に良い一致が認められた。また、崩壊・地すべりの初動方向は、この方向と一致すること、崩壊箇所は移動する土塊の斜面下方にその土塊を支持する物質がないという共通する特徴が認められることが明らかになった（齊藤, 2020）。プラットフォーム構築では、地震時の総合的な影響評価にむけて、地震リスク評価の応用として病院建物の被害の程度と周辺のライフライン（水道管網）のリスク評価を考慮した病院建物での医療行為に対する影響について評価した（増田・他, 2020）。コンピュータサイエンスでは、大規模三次元地盤増幅解析手法の高度化を目

指し、液状化構成則の導入とそれに適した数値解析手法の構築を行った。これにより従来よりも広域をより高い分解能で高速に液状化解析できるようになった（Kusakabe et al., 2019）。今後も、地盤構造の曖昧さへの対処など大規模三次元地盤増幅解析手法の高度化を図る。災害リスク情報としては、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ことから、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ため、昨年度は災害リスク評価のばらつきを防災計画に反映するためのハザードデータの構築手法についての基礎的検討を行った。今年度は、昨年度の基礎的検討結果にもとづき大阪府、高知県において様々な手法の組み合わせによる地震ハザードの計算の実施を行った。具体的には工学的基盤の地震動、表層地盤における地震動について様々な手法による組み合わせ計算を実施し、その結果を表示するシステムの開発を行った（図2）。

（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]」では、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構築を行うことを目的とした研究を行った。これは、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り、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、かつ、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ためである。昨年度は災害リスク評価のばらつきを防災計画に反映するためのハザードデータの構築手法についての基礎的検討を行った。今年度は、昨年度の基礎的検討結果にもとづき大阪府、高知県において様々な手法の組み合わせによる地震ハザードの計算の実施を行った。具体的には工学的基盤の地震動、表層地盤における地震動について様々な手法による組み合わせ計算を実施した。図3は、地震動予測と表層地盤増幅のばらつきの違いによる、高知県における地震動予測結果（最大速度）の違いを示す。

（3）特定型（その2）

「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、南海トラフ沿いの海域に設置されている海底ケーブル地震観測網のデータを利用し、詳細な沈み込み構造および精度の高い震源を決定するとともに、震源・伝播経路・サイトの特性を求めることによって、将来発生が予測されている巨大地震の震源域モデル、またそれによる陸域における地震動予測の高度化を詳細に検討することを目的として実施した。

南海トラフ沿いでは、2010年以降、ケーブル式の地震・津波観測監視システム（DONET1および2）が整備され、海域における地震活動をリアルタイムで詳細に把握することが可能となった。その結果、紀伊半島南東沖の熊野灘海底下のプレート境界ではスロースリップや微動、超低周波地震などのスロー地震が南海トラフ軸近傍まで発生していることが確認されている。この南海トラフ周辺の海域下で発生する地震について、DONETの観測記録を用いることによって、海底下地震波速度構造を詳細に決定し、さらには震源の決定精度を上げることが可能となり、巨大地震発生震源域の検討や地震波伝播特性につ

いても、詳しい議論が可能となる。一方で、熊野灘より海溝軸近辺のスロー地震が比較的頻繁に発生する場所では、DONET1とDONET2の観測網の間に若干のカバーできていない領域も存在するため、海底地震計を用いた機動的観測を行うことによって、速度構造や震源決定の精度を向上させることができる。

今年度は、気象庁一元化震源カタログからマグニチュード2以上の地震を抽出し、これまでに南海トラフ周辺で得られた速度構造を参照して震源再決定を行うための準備を行なった。また、DONET観測波形を用いた海域から陸域まで通した地震波伝播特性を理解するため、精度を向上した震源情報に基づいた解析のための準備を行なった。

一方、DONET1およびDONET2の観測網でカバーされない領域においては、海洋研究開発機構の観測船「新青丸」を利用し、そのKS-19-18次航海で15台の海底地震計を7観測点（SHM1～SHM7）に設置した。それぞれの海底地震計は固有周期1Hzの3成分速度計を装備している。SHM1からSHM5の5観測点では、それぞれ1台ずつの海底地震計を設置し、SHM6およびSHM7の2観測点では、5台の海底地震計を用い、中心に1台、残りの4台をおよそ2km離して設置して十字アレイを構築した。海底地震計は舷側から海底まで自由落下で設置し、正確な設置位置は船舶からの音響測距で測定した。

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。

2019年度は新規10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。

(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 [課題番号：CTOC04]」では、東京大学地震研究所と京都大学防災研究所のグループが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交換および確率論的な手法の高度化に向けた共同研究を行った。令和元年9月19日に京都大学防災研究所において両グループの合同セミナーを行い、東京大学地震研究所から大学院生2名、研究員2名が、京都大学防災研究所から大学院生2名、特任助教1名が、それぞれの研究内容を発表し情報交換を行った。また東京大学地震研究所の大学院生だった1名が9月からJSPS研究員として京都大学防災研究所グループに加わり、2018年インドネシア（スラウェシ）地震について、地震波・地殻変動（InSAR）・津波データから、そのメカニズムや断層面上のすべりの不均質性を調べ、そのモデルに基づくパル湾における津波

の浸水について計算した。その結果を、京都大学防災研究所の現地調査結果と比較したところ、パル湾南部のパル市周辺では、実測された浸水深や浸水距離を説明できず、断層すべり以外にも二次的な津波波源が必要であることが示された (Tung-Cheng Ho et al., 2019)。

「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 [課題番号:CTOC5]」は、米国・イタリア・フランスとの多国間共同研究により、我が国で開発されてきた強震観測点におけるサイト特性評価手法と彼らの国で標準的に用いられている評価手法との相互比較を行い、我が国で開発されてきた手法の優位性を実証することにより、その国際展開を図ることが目的である。米国についてはAlan Yong氏が京都大学防災研究所に12月半ばから1か月間滞在し、今後の研究方針について議論するとともに、検討対象とその優先順位を決定した。そして彼の協力のもとでカリフォルニア州の強震観測点における強震観測データを公開サイトからダウンロードするとともに、微動データも入手し、それをターゲットに我々の開発した地下構造同定手法を適用してその実施可能性を確認した。Imperial Valley内の観測点において地震動EHVRを求めて地下構造を同定し、Alan Yongらの浅部調査のみの構造から求めた理論解と比較したところ、2Hz~10Hzの高振動数域では両者は比較的良好に対応しているが、浅部のみの彼らの構造では周期8秒の最大ピークを再現することはできないことがわかった (Nagashima and Kawase, 2019, Nagashima et al., 2020, Yong et al., 2020)。イタリアに関してはINGVのDaniela Famiani研究員が2019年9月から約1か月間日本に滞在して、当方の解析プログラムに習熟し、Amatrice地震の観測データの解析の実施に着手した。解析の結果わかったことは、彼らが地震直後(2週間以内)に計測したMHVRは同地点のEHVRとほとんど同じである一方で、本研究代表者とCecile Cornou教授がINGVと共同で地震から約1年後に観測したMHVRは日本のEMRの約半分ほどのEMRが生じていたことである。今後これらのデータに対してEHVR同定法およびMHVR+EMR同定法を適用し、得られた地下構造をアレー微動で求めた地下構造と比較しその妥当性を検証する。フランスに関しては防災研究所の特定研究員が2018年度にGrenobleに赴きGrenoble盆地およびアルプス周辺での強震観測データおよび微動観測データを入手しその解析に着手していた。今年度はまず盆地内の強震観測点5地点でのEHVRとMHVRの比からGrenoble盆地特有のEMR (EMR_G)を求め、それが微動データから擬似EHVRを計算するのに適切なものであることを示すとともに、EHVRから得られた地震基盤までの地下構造を別途求められていた重力による基盤の深さに対応づけて、微動の基本ピーク振動数から深部の速度構造を推定する回帰式を求めた。このEHVRから得られた構造の重要な点は、地質境界は $V_s=1.3\text{km/s}$ の層境界に対応しており、 $V_s=3\text{km/s}$ 以上の地震基盤そのものではないこと、地質境界の前後で速度構造は漸増する傾向を示しており、それによって基本ピークにおける振幅が決定されている、ということである。さらに回帰式でMHVRの基本ピーク振動数から初期モデルを構築し、MHVRとEMR_Gから計算した擬似EHVRを用いて微動観測データしかない盆地を横断する観測線上の速度構造を求めた。上述のEHVRから求めた速度構造と同じく、 $V_s=1.3\text{km/s}$ の層境界が重力異常から求められている地質境界とよく対応していることがわかる (Ito et al., 2019, Kawase et al., 2019, Ito et al., 2020)。

「テフラの成層構造の発達と風化に伴う物性変化を考慮した斜面崩壊発生場の予測 [課題番号:CTOC6]」は、山地の斜面に成層構造をもって堆積した未固結の降下火砕物

(以下、テフラという)が、強震動を誘因として高速で長距離を流動的に滑動する現象に着眼し、その発生場を予測する手法を開発することを目的とした。本年の研究により、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することができた。このモデルでは、火山学的に復元されたアイソパ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し、地形に依存したテフラの二次移動を計算する。このモデルを検証するため、熊本地震や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たが、火山活動の静穏期に供給される風成物のローカルな集積が実際のテフラ累層の積分厚みに大きな影響を及ぼすことが分かった。そのため、単純な対比によるモデルの精度・確度の検証には至らなかった。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を定量化することができた。一方、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は、十分に明らかにすることはできなかった。粘土鉱物の定量法や生成機構にかかわる議論については分析手法の開発を含め前進があったものの、環境中での実際の水岩石反応や地中水文過程との関連については、不明な点が多く残った。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の追跡が課題である。特にアルミノケイ酸塩を母材として生成するアロフェンやハロイサイトといった粘土鉱物の生成がテフラの強度低下をもたらす過程を解明する必要がある。また、これらが、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過程をモデル化することが必要である。

「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 [課題番号: CT0C07]」は、2021年3月第6回ESG国際シンポの強震動のブラインド予測で用いる熊本市のテストサイトに対する浅部深部統合地盤の共用1次元モデルを構築することを目的とした。第6回ESG国際シンポジウムで実施される2016年熊本地震の強震動のブラインド予測でのテストサイトでの浅部および深部地盤の暫定的な1次元速度構造モデルを作成した。テストサイトは、図4のLL1で示す熊本市蓮台寺付近に位置し、その周辺で微動のアレイ観測と表面波探査を実施した。微動観測では、浅部地盤および深部地盤のS波速度構造モデルを推定するために、1mから約1kmまでのサイズの二重三角形アレイを展開した。最も大きなアレイの観測点配置図を図4に示し、測定された上下成分の微動の例を図5上に示す。これらのデータからSPAC係数を求め、レイリー波の位相速度を推定した。また、強震計の近傍であるLL1地点では、浅部地盤を探査するために、表面波探査を約30mの測線で実施した。測線の両端の地表での上下加振により得られた上下成分の速度波形の例を図5下に示す。それらのデータからも周波数一波数スペクトル法によってレイリー波の位相速度を得た。テストサイトでは、浅部地盤のボーリング調査が別途実施されており、ボーリング調査の際に、テストサイトおよびその周辺地域の地形を視察し、現地での研究会において研究の進め方および共用地盤モデル作成方針について議論を行った。研究会で検討したモデル化の方針に沿って、既存の地下構造モデル情報を参考にして、これらの2つの位相速度から、浅部地盤と深部地盤の1次元S波速度構造モデルを作成した。このモデルをブラインド予測での共用地盤モデルの暫定版とし、上記のボー

リングの結果などを考慮して、浅部地盤の修正が必要となる可能性がある。さらに、共用地盤モデルの1次元仮定の妥当性について検討するために、テストサイト周辺において中小地震を対象にした臨時観測の準備を実施した。現在のところ、2020年3月に観測機器を設置し、臨時観測を開始する予定で観測場所の交渉を行っている。

「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 [課題番号：CTOC08]」では、京都大学防災研究所の遠心力載荷装置を用い、年度当初の計画通り模型実験を行った。予備実験として、新たに作成した遠心場の降雨発生装置の調整を行った。本実験ではマサ土を用いた斜面模型を作成し、加振の有無がその後の降雨時の斜面挙動に与える影響を検討した。計画では火山性砕屑物を使用する予定であったが、今年度は火山性砕屑物との比較のため、入手が容易であったマサ土を利用した。結果として、今年度実施した実験条件では降雨前の加振による斜面の変状が小さかったため、その後の降雨による斜面挙動に対して加振の明確な影響はみられなかった (Xu et al., 2020)。引き続き、事前降雨量、加振力、加振後の降雨量などをパラメータとして実験を実施し、地震とその前後の降雨が斜面の安定性に与える影響を定量的に評価する。

「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 [課題番号：CTOC09]」では、まず、既往の調査観測などから研究対象とすべき盆地を選定し、既往文献や微動観測などと活断層における地殻変動に伴う盆地形成過程を考慮し、盆地端部での基盤構造の形状や深さなどについて把握した。その結果、邑知潟平野を対象とすることとした。邑知潟平野は石川県中部に分布する邑知潟断層帯に接する平野である。邑知潟断層帯は今後30年の地震発生確率が日本の主な活断層の中ではやや高いグループに属しており、その規模は気象庁マグニチュード7.6程度と推定されている。このような場所では地盤の増幅特性を把握することが地震被害予測と対策のために非常に重要である。そして地盤増幅率を把握するためには地盤構造を推定することが必要である。そこで、邑知潟平野で常時微動観測を行い、その観測記録に基づき地盤構造を推定した。邑知潟平野の北西—南東方向に4測線、北東—南西方向に2測線、合計72地点で単点観測を行った。また、盆地中央の測線間にアレイを2つ配置し同時観測を実施した (図6)。単点においては、独立して30分ずつ観測した。アレイ観測によって得られたデータについて微動解析プログラムBIDOを用いて解析し、得られたレーリー波の位相分散曲線と微動の水平上下スペクトル比 (MHVR) から速度構造モデルを推定した。ただし、1100m以深の構造は地震調査研究推進本部の全国一次深部地盤データ (JIVSM) を利用した。単点観測地点については、MHVRのピーク振動数とピーク振幅を読み取り、アレイによる速度構造モデルを基準として地盤構造を推定した。図7に03-9地点におけるMHVRを観測と理論を比較して示す。図8に03測線 (図7赤色) で推定された地盤構造を示す。これにより、邑知潟平野南西部では北から南に向かって基盤が深くなっていることが確認された (中山・松島, 2020)。

(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 [課題番号：CTOC10]」では、震源特性と伝播経路特性、立地地盤の特性、建物の諸元、さらには建物内の上層階と下層階での被害差などを考慮した高精度地震情報配信手法の開発を命題に、建物の応答予測としてより確度の高い情報を提供するために、A) 建物と地盤の動的相互作用のモード

特性変動としての評価，B) 揺れ継続時間の推定式の提案，に取り組んだ。得られた知見は次の通りである。

課題A：建築研究所が収集した建物内の強震記録を利用して，揺れ継続時間の推定を試みた。揺れ継続時間の定義は，能島の研究に従って，全パワーで正規化された累積パワー曲線において5～95%の占有時間(s)とする。能島では，K-NETの地表記録を用いて，モーメントマグニチュードと震源距離，揺れ継続時間の経験式を作成している。本研究では，この経験式を建物内の基礎部で記録された強震動記録に適用して，妥当性を検証した(図9)。その結果，建物によって経験式の整合性が良いものと悪いものがあり，その差は建物階数と相関があることが分かった。つまり，建物階数が高く固有周期が長い建物ほど，基礎部での揺れ継続時間が長くなる傾向にある。そのため，経験式に建物階数の項を追加し，新たな経験式を回帰分析で求めた。新しい経験式は，能島よりも誤差が小さく，建物基礎部での揺れ継続時間を良く表現できる。

課題B：建築研究所が長年に亘って地震観測記録を蓄積している建物から，建物内とその周辺地盤の地表面に記録がある6棟を選び，建物と地盤の動的相互作用の影響を調べた。いずれの建物もコンクリート系の6～8層の耐震構造で，最上階，基礎部および地表面の3ヵ所で加速度が記録されている。今年度は，解析モデルを事前にもたずに，振動記録だけで建物と地盤の動的相互作用がどこまで評価できるかを検討した。建物が剛構造で，観測点数は少ないことから，1次モードの等価線形特性を同定した。特に2011年東北地方太平洋沖地震の前震，本震，余震の記録を詳細に分析した。図10aに示す結果では，動的相互作用により建物の見かけの固有振動数は低下し，本震では低下率が-20%に達している建物が多かった。一方，図10bに示すモード減衰比は建物自体に比較して2～6%上昇していた。この変化には振幅依存性があり，それは大きい振動ほど顕著であった。建物の重量に関する情報があれば，得られたモード特性から，簡易モデルによって水平地盤ばねを評価する方法も提案した。現時点では，建物図面，地盤構造および地表観測点の情報が不足しており，その情報を入手して，分析を深めることが必要である。

(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

「地震発生 of 切迫性を伝える災害情報モデル構築～北海道胆振東部地震の主要被災3町(厚真・むかわ・安平)における人的被害に関する全世帯調査を通して～[課題番号:CT0C11]」では，人的被害の発生メカニズムは複雑であり，地震動の大きさ，建物被害，室内散乱，避難様態，復旧状況など様々な要因が関わってくることを踏まえ，世帯に発生した一つ一つの事例を丹念に追跡し，シナリオ解析して行く必要があることから，これまでの当研究室で開発してきた調査法(アンケート震度調査，建物外観調査，アンケート個別被害調査，室内ヒアリング，精神的ストレス調査，等々)を，適所に応用した関連資料収集・分析を通し，上記問題に取り組んだ。発生が予想される地震の人的被害情報からその切迫性を伝える方法を提案することを目的に，2018年9月に発生した北海道胆振東部地震による人的被害を調査し，地域ごと・世帯ごとに異なる被害シナリオを明らかにすべく，以下の調査を実施した。調査対象は，北海道胆振東部地震の主要被災地である厚真町，むかわ町，安平町である。

(1) 被災エリアの建物被害外観調査

むかわ町と安平町について，特に建物被害が多く発生していた道道10号線沿いの商店

街を中心に，713棟を外観目視により破壊パターン・構造種別・建築年・構造要素別被害状況等を実態調査した。岡田・高井による木造建物破壊パターンと被害棟数との関係を図11に示す。全壊のほとんどが層崩壊に至らないD4レベルに留まっていた。建物被害の多くは専用住宅ではなく，耐震性に乏しい1階の壁が少ない店舗あるいは店舗併用住宅に集中している（岡田・中嶋，2019，岩崎・他，2019，中嶋・岡田，2019）。

（2）3町の全世帯被害アンケート調査

計測震度7を観測したが，建物被害は小規模であった。その理由並びに人的被害との関係を探るべく，厚真町（2000世帯），むかわ町（4000世帯），安平町（4000世帯）の全世帯を対象に以下の項目についてアンケート調査を実施した。回収率は全体で22.7%であった。

- 1) 地域の揺れを算定するための震度調査：太田によるアンケート震度調査項目を踏襲した設問から求めた各町の平均震度と全壊率との関係を図12に示す。他の地震と比較してあるが，北海道は全国と比較して同震度での被害率は小さく「（1）被災エリアの建物被害外観調査」の結果を支持している。
- 2) 被災前の建物耐震診断：旧建設省住宅局監修・（財）日本建築防災協会編集『わが家の耐震診断と補強方法』にならい簡易的に耐震診断値を計算できるように，質問が設定されている。世帯ごとに求められた耐震診断値に，各町単位で対数正規確率分布を当てはめたものを図13に示す。3町とも住家の耐震性は全国平均よりも高く，住家被害率が小さかった理由を説明している。
- 3) 建物被害：アンケート回答者に自宅の被害状況を岡田・高井の破壊パターンから選択してもらった。「2）被災前の耐震診断値」との関係は図14のとおりである。耐震診断値が小さい建物ほど被害程度（D-Level）は大きいとの関係が見てとれ両者の関係は明快である。
- 4) 人的被害状況：負傷状態は災害医療分野で標準化されている外傷重症度指標（Injury Severity Score：ISS）で議論するため，居住者各人ごとに負傷部位とその程度を選択する方式を採用している。入院が必要なISS=9以上と判断された住人は20名で，全員が入院治療を受けていた。しかし負傷のほとんどはISSが小さく，未明午前3時に発生した地震にもかかわらず軽症に留まったケースが多いようである。
- 5) 居住者の被害回避行動状況：地震発生直前にいた室内環境及び居住者の状態，地震発生直前・最中・地震直後の行動について選択式質問群を設定している。未明にもかかわらず，回答者の20%近くが起床していた。その中での地震発生であり，意識的行動がとれなかった割合は40%であった。昼間に発生した他の地震では，危険回避できなかった住人の割合は25%程度であるので，夜間，しかも全道がブラックアウトのため暗闇での回避行動という状況にあった。
- 6) 室内散乱状況：そのような悪条件下にあっても，負傷率・負傷程度は小さい。その理由を以下の負傷世帯発生率から推測する。一般に負傷世帯発生率（Injury）は，居室人数nに対して負傷者xが0より多く発生する確率として求められ，家具転倒領域率（R）と負傷回避行動率（B）との間に以下の関係が成立する。

$$\text{Injury} = P_x(x > 0) = \{1 - P_x(x = 0)\} = \{1 - nC0R0 \{1 - (1 - R)^n\} (1 - B)\} = \{1 - (1 - R)^n\} (1 - B)$$

ここに，(1-B)は上記の非回避行動率である。個々の変数をアンケートから求める

と表1となる。一般に負傷者が発生する転倒領域率は50%以上であるので、当該地域の小ささが際立っている。アンケートより家具固定率を推計すると、38%となり、全国平均(37%)とほぼ同じで、特段に家具固定対策を率先しているわけではない。常時からの寝室における家具配置密度が低かったことが深夜においても負傷を軽度にとどめた大きな理由と考えられる(西嘉山・他, 2019)。

(3) 3町の建物復旧状況調査

上記調査より、北海道で初めて計測震度7を観測した地震であったが、住居及び人的被害など個人世帯に与えた被害は軽度にとどまった。しかし、復旧は大幅に遅れており思うようには地域復興は進んではいない。特に、被害が顕著であった商店は後継者がいないこともあり、ヒアリングによりこの地震を機会に閉店・廃業を決定した世帯が多いことが分かった。仮に家屋被害がD3程度の軽微被害であっても、解体撤去や他地域(主に札幌圏)への転出を選択するなど、地震後10ヶ月を経過しても未補修の世帯が安平町(75%)、むかわ町(73%)もあり、商店街の消滅、そして地方消滅への端緒となりかねない。

(4) みつかった新たな課題総括

当該地域は北海道危機対策課により想定地震Mw7.16(気象庁マグニチュードM7.7程度以上)による被害想定がなされていた。実際に発生した胆振東部地震はM6.7であるが、それとの比較検証の結果(想定|実数)、揺れによる建物全壊棟数(1,661棟|462棟)、それによる死者数(36人|0人)、急傾斜地崩壊による建物全壊数(2棟|不明)、それによる死者数(0.2人|36人)、札幌市の液状化による建物全壊数(7棟|40棟以上)であり、土木系の想定被害はかなりの過小評価であった。これは、当該地震が地震動に加え前月から続いた多量の降雨を主な原因とする斜面崩壊の誘因複合化が重なったためである。地球温暖化が進む中、自然環境変化による異常気象と地震等の他の災害誘因との同時発生あるいは後続発生による複合災害が常態化しつつあること、それにより災害シナリオがインフレーション化する懸念があり、それを踏まえた災害対策が今後重要となっていくであろう。本編では触れてはいないが、かつては北海道には生息していなかったシロアリによる蟻害も発見された。自然環境変化は、災害の様相をも変えつつある。また、それらへの対策の早期順応が求められていることに気づくべきであろう。そして、少子高齢化現象という社会環境変化が加わり、特に地方において複合災害による脆弱さが際立つことが、当該地震により示唆された。すなわちこの変化は地域生業の後継者育成を阻害し、店舗のメンテナンス軽視を助長し災害発生を契機に復旧断念・廃業そして地方消滅の道を加速させる(岡田, 2019a, 岡田, 2019b, 岡田, 2019c, 岡田・他, 2020)。

「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 - [課題番号: CT0C12]」では、1)訪日外国人旅行者を対象として、地震や火山噴火において、時間軸の中でどういった災害情報の提供時の課題、2)地震が発生した応急対応、火山の前兆時・噴火時については、大規模な宿泊施設を対象として、外国人旅行者に対してどのような情報が提供され、どういった課題が発生したのか、3)復旧復興期(または終息時)の風評被害の影響を軽減し、いち早く平常時に戻すための情報戦略について、また平常時の観測情報やハザードマップ等の情報提供について、アンケートやヒアリング調査により明らかにすることを目的とした。得られた主な成果は次の3点である。

1. 文献調査

主に東日本大震災以降の訪日外国人旅行者に対する災害情報提供に関するマニュアルやガイドライン、主な地震や火山噴火時の対応事例について資料や文献の収集を行った。時間軸の取り扱いや訪日外国人旅行者向けで留意すべき事項について整理を行った。

2. ヒアリング調査

訪日外国人旅行者に対する災害情報提供について、2018年胆振東部地震、2018年大阪北部地震、2015年箱根山噴火、2014年御嶽山噴火を対象として、北海道、札幌市、大阪府、神奈川県、箱根町、長野県にヒアリング調査を実施した。対応における課題と教訓について整理を行った。

3. 宿泊施設へのアンケート調査

訪日外国人旅行者を受け入れ旅行者への災害情報の提供を担う宿泊施設に対して、アンケート調査を実施した。2018年胆振東部地震と2018年大阪北部地震を対象とし、札幌市と大阪市内のホテルを対象に質問紙の郵送による調査を実施し、訪日外国人旅行者への情報提供の実態と課題を明らかにした。

以上の調査結果を踏まえて、今後の風評被害対策に関する知見をとりまとめた（南沢・秦，2019）。

「災害に備えた文化財等データベースの作成と防災マップの構築 [課題番号:CTOC13]」では、国や自治体が指定する文化財やこれに類する歴史資料、歴史的建造物の所在情報をデータベース化し、災害時のレスキューや保全活動を想定した所在マップを作成し、加えて文化財等所在マップの情報を地震調査研究推進本部の公開する全国地震動予測地図、産業技術総合研究所の公開する活断層データベースのほか、各自治体が作成・公開しているハザードマップなどの各種災害危険度情報を重ね合わせることで、文化財・史料に対して危惧される災害被害を予測するための災害危険度マップを作成し、将来の災害における文化財・史料に対する具体的な防災対策を計画・立案することに資することを目指した。

全国の指定文化財のうち、①国宝・国指定の文化財、②各都道府県の指定文化財の合計約35,000件の所在情報のうち、約20,000件についてデータ化を完了した。また、東北6県の市町村指定文化財の入力を完了した。これらのデータを文化財について、国宝・国指定、都道府県、市町村に加え種別（美術・工芸、建造物、歴史・考古資料、史跡、天然記念物）に分類し、Googleマップ上の文化財マップを構築した（図15）。また、これらの文化財マップの活用・運用について、2回の研究会を開催した。この文化財マップを活用し、2019年6月18日に発生した山形沖地震において震度6を観測した山形・新潟地域において、クライシスレスポンスサイトで公表された震度推定分布をGoogle Earth上で重ね合わせた文化財被害予測マップを作成し、新潟資料ネットの事務局が置かれている新潟大学へ提供した（図16）。また、2019年10月の台風19号被害においては、宮城県をはじめ、福島県・茨城県・長野県において水害の懸念される地域について、国土地理院が公開した浸水段彩図などを重ねあわせ、各地の文化財関係者や歴史資料ネットの関係者に提供した（図17）。さらに、宮城県においてはこの文化財危険度推定マップを活用して被災地の文化財被災状況の巡回調査を行うとともに、被災地の災害ゴミ集積所において、廃棄されている襖の下張り文書などを救出することができた。

また、Googleをプラットフォームとした場合の限界性から、eコミマップをプラット

フォームとした文化財マップの構築に着手し、現在東北6県分のデータベースの構築まで完了した。

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、現行計画では、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伝達までを一貫して行い、総括型研究で出た課題などを特定型研究において掘り下げ、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来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

Tung-Cheng, H., K. Satake, S. Watada, I. E. Mulia, R. Y. Chuang, Y. Aoki (2019),

Source Analysis for the 2018 M7.5 Sulawesi Earthquake and Tsunami, AGU 2019 Fall Meeting, NH43D-0966

Ito, E., C. Cornou, H. Kawase, F. Nagashima (2019), Estimation of EMR correction factor in the Grenoble Basin; an attempt to establish a simple method to get earthquake HVR from microtremors, 2019 SSA Annual Meeting, 22-26 April 2019

Ito, E., H. Kawase, K. Nakano (2020), Empirical Horizontal Site Amplification Factor (HSAF) from Observed Earthquake Horizontal-to-Vertical Ratio (EHVR) and Vertical Amplification Correction Function (VACF), 2020 SSA Annual Meeting, 27-30 April 2020 (abstract投稿済, 発表はキャンセル)

岩崎祥太郎・中嶋唯貴・岡田成幸・植松武是・松島信一・佐伯琢磨, 2019, 2018年北海道胆振東部地震の被害調査 その2 被災中心地域の住家被害悉皆調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), 21183

Kawase, H., F. Nagashima, E. Ito, C. Cornou (2019), S-wave velocity inversion based on microtremor HVR: Effectiveness of the EMR correction for the Grenoble basin, 7th ICEGE

- Kusakabe, R., K. Fujita, T. Ichimura, M. Hori, L. Wijerathne (2019), A Fast 3D Finite-Element Solver for Large-Scale Seismic Soil Liquefaction Analysis, In: Rodrigues J. et al. (eds) Computational Science - ICCS 2019, ICCS 2019, Lecture Notes in Computer Science, vol 11537, Springer, Cham
- 増田 峻介, Pierre Gehl, 松島 信一 (2020), 高知県南国市における南海トラフ地震による水道管網被害の病院機能への影響評価, 京都大学防災研究所令和元年度研究発表講演会, P17
- 南沢 修, 秦康 範 (2019), 自治体の火山担当者の育成及び火山災害経験者の活用, 日本災害情報学会, 第21回研究発表大会予稿集, B1-1
- Nagashima, F., H. Kawase (2019), Subsurface structure identification based on H/V ratio and surface to borehole ratio, 7th ICEGE
- Nagashima, F., Y. Mori, E. Ito, H. Kawase (2020), Velocity structure inversion based on diffuse field concept for earthquake, together with the earthquake-to-microtremor ratio (EMR) method for microtremors, 2020 SSA Annual Meeting (abstract投稿済, 発表はキャンセル)
- 中嶋 唯貴, 岡田 成幸 (2019), 2018 年北海道胆振東部地震の被害調査 ―その 3 安平町全世帯アンケート調査の基礎解析―, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸), 21184
- 中山 智貴, 松島 信一 (2020), 邑知潟平野における微動観測記録に基づく推定地盤構造, 京都大学防災研究所令和元年度研究発表講演会, B22
- 西嘉山 純一郎, 中嶋 唯貴, 岡田 成幸, 寺西 祐平 (2019), 2018年北海道胆振東部地震の被害調査 ―厚真町全世帯アンケート調査の基礎解析―, 地域安全学会梗概集, 41
- 岡田 成幸 (2019a), 北海道胆振東部地震にみる積雪寒冷地住宅の強靱さと新たな問題, 特集 北海道胆振東部地震 (平成30年), 消防防災の科学, 138, 22-29
- 岡田 成幸 (2019b), 地震動による人的被害と室内被害軽減のための自助マネジメント, 平成30年北海道胆振東部地震を振り返り, 今後の減災・復興を考えるシンポジウム, 厚真町総合福祉センター
- 岡田 成幸 (2019c), 家庭でできる地震防災対策 ―北海道胆振東部地震からの教訓―, 北海道大学公開講座「北海道の地震と防災」
- 岡田 成幸, 中嶋 唯貴 (2019), 2018 年北海道胆振東部地震の被害調査 その 1 北海道全域のアンケート震度マクロ調査と被害概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸), 21182
- 岡田 成幸, 中嶋 唯貴, 松島 信一, 瀬瀬 一起 (2020), 地震による被災から回復までの個人世帯生活被災度時間関数の構築, 令和元年度京都大学防災研究所研究発表講演会, D27
- 齊藤 隆志 (2020), 2016年熊本地震の崩壊発生初期過程と振動方向の関係, 京都大学防災研究所令和元年度研究発表講演会, A28
- Xu, J., R. Uzuoka, K. Ueda (2020), Centrifuge model tests on the dynamic response of slopes subjected to water storage at the toe area, 8th Japan-China Geotechnical Symposium
- Yong, A., F. Nagashima, E. Ito, H. Kawase, J. B. Fletcher, K. Hayashi, A. Martin, A. Grant, E. Yu, S-L. Chen (2020), Comparison of VS30 and f0 values by the single station earthquake-to-microtremor ratio (EMR) method to those by traditional multi-station array-based site characterization methods, 2020 SSA Annual Meeting, 27-30 April 2020 (abstract投稿済, 発表はキャンセル)

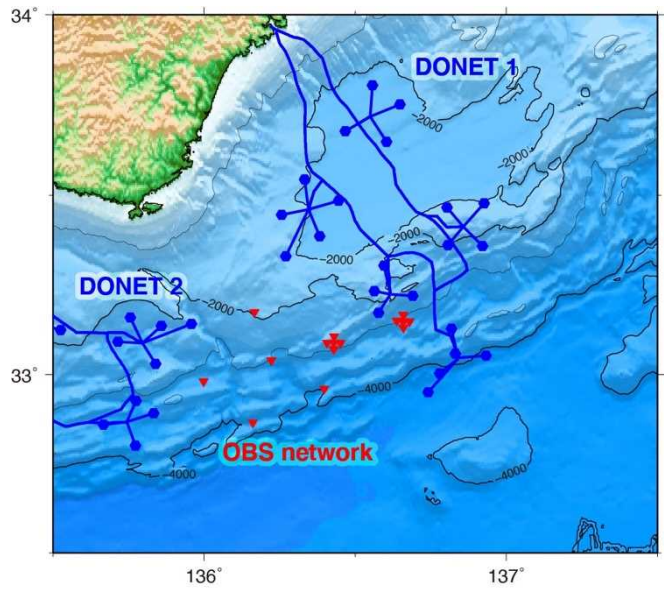


図 1 . 海底地震計観測網の配置図 [課題番号 : CT0C01]。

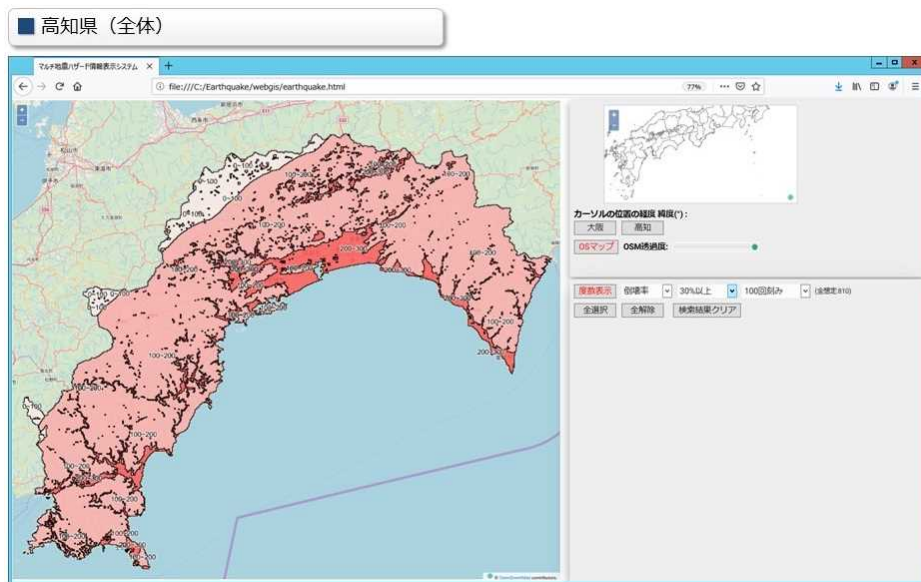
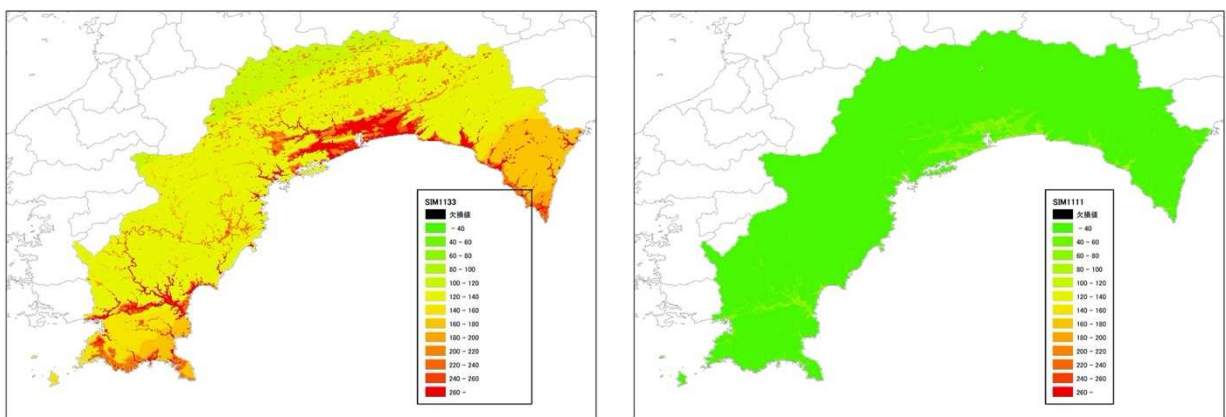


図 2 . マルチ地震ハザード情報表示システムの表示例 [課題番号 : CT0C01]。



(a)ばらつき大

(b)ばらつき小

図 3 . 高知県における, 地震動予測・表層地盤増幅のばらつきの違いを考慮した地震動予測結果 (最大速度) [課題番号 : CT0C02] 。

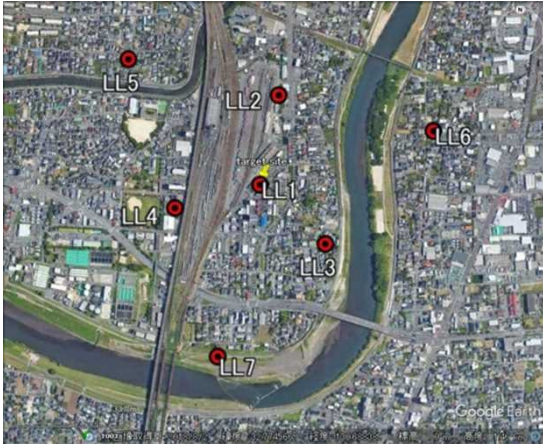


図4. テストサイト (LL1) と微動観測アレイの位置 [課題番号: CT0C07]。

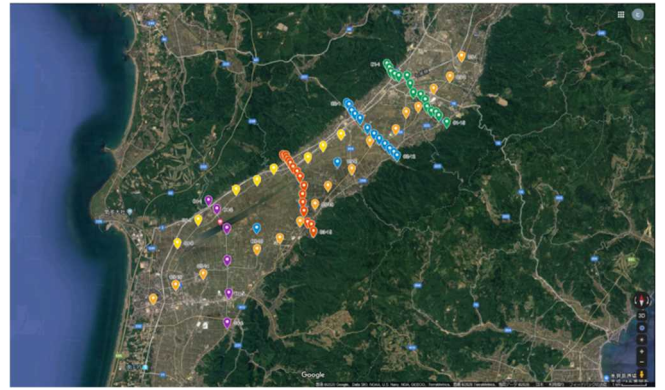


図6. 邑知潟平野における微動観測点配置 (Google Mapに加筆) [課題番号: CT0C08]。

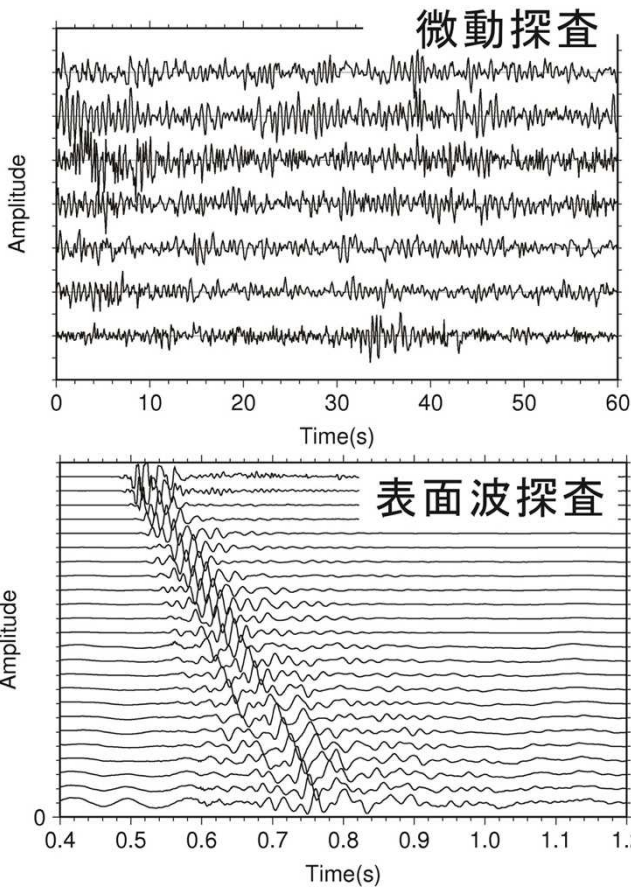


図5. 微動探査 (上) と表面波探査 (下) での上下成分の観測記録の例 [課題番号: CT0C07]。

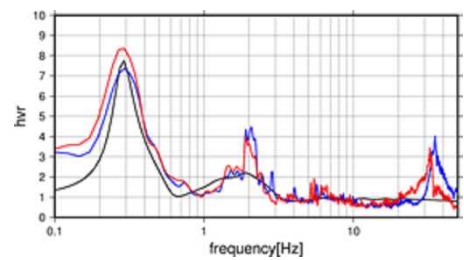


図7. 地点03-9における観測と理論のMHVR (青: 観測NS/UD, 赤: 観測EW/UD, 黒: 理論) [課題番号: CT0C08]。

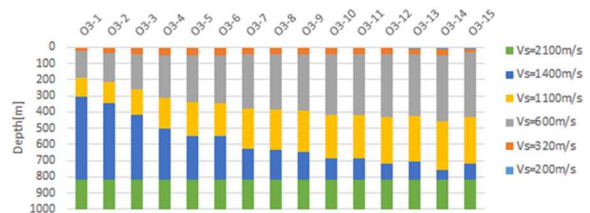


図8. 推定された測線03の地盤速度構造 [課題番号: CT0C08]。

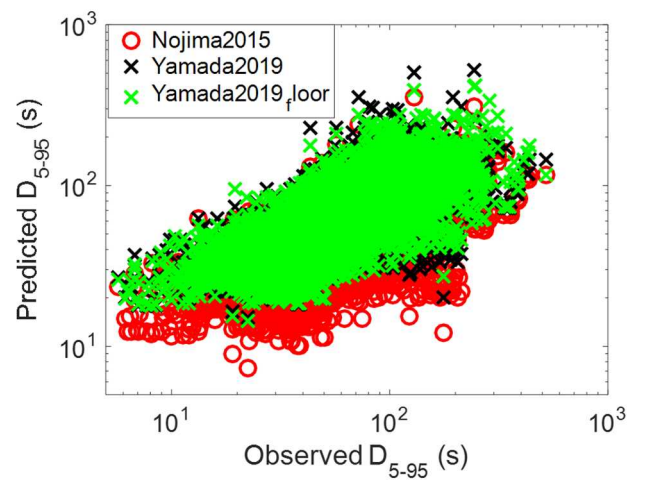
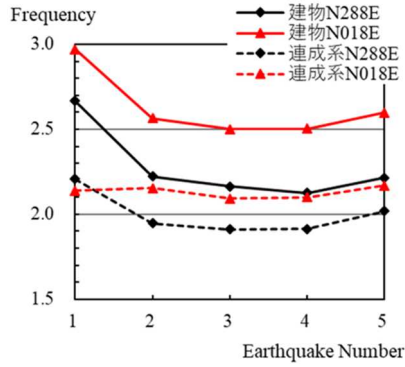
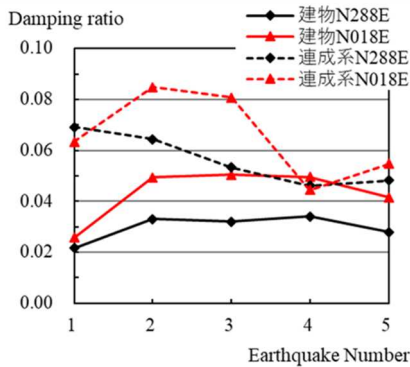


図9. 揺れ継続時間: 観測結果 (横軸) と3つの経験式による予測値 (縦軸) [課題番号: CT0C10]。



(a) 固有振動数



(b) 減衰定数

図10. 6層建物の1次モード特性の地震による変化 [課題番号: CT0C10]。

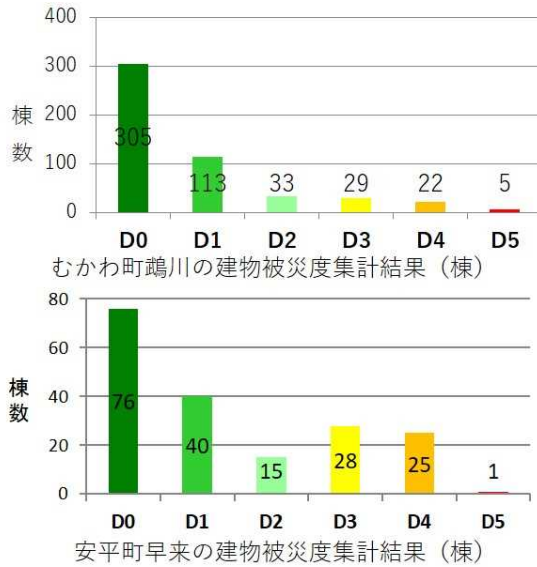


図11. 悉皆調査による木造住家被災度の集計結果 [課題番号: CT0C11]。

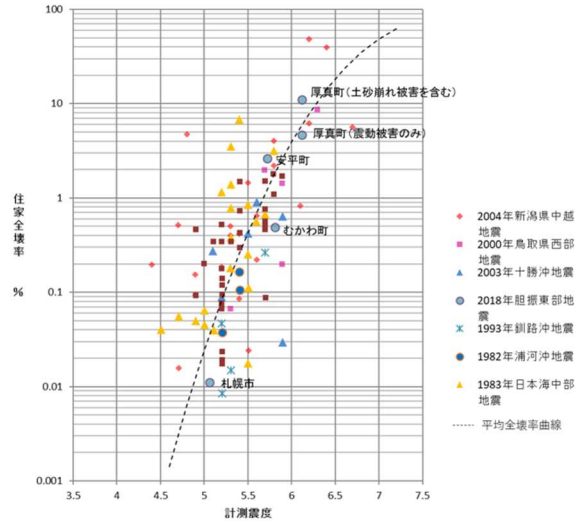


図12. 市町村単位でみた震度と住家全壊率の関係と全国比較 [課題番号: CT0C11]。

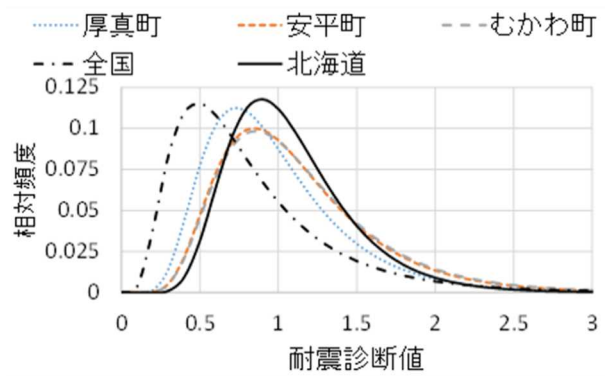


図13. アンケートによる住家耐震診断値の集計結果 (対数正規分布で近似) [課題番号: CT0C11]。

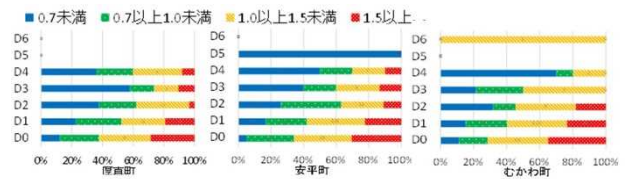


図14. 耐震診断値と建物被災度との関係 [課題番号: CT0C11]。

表1. 家具転倒領域率の推定結果 [課題番号: CT0C11]

	I_{injury} [%]	n [人/フロア]	$I-B$ [%]	R [%]
厚真町	18.8	1.661	46.1	27.1
安平町	12.4	1.775	36.6	20.9
むかわ町	23.3	1.876	40.6	36.6

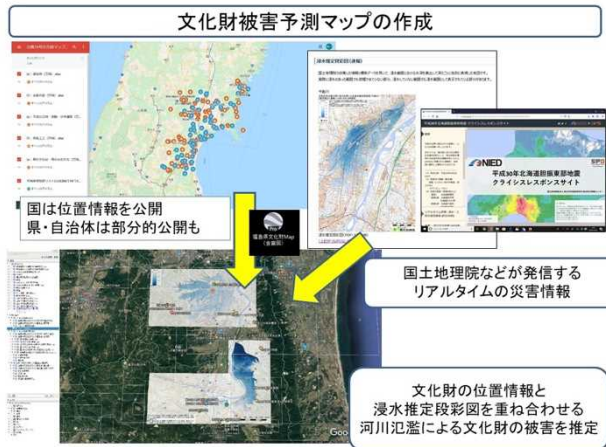


図15. 文化財マップの構成 [課題番号：CTOC13]。



図16. 2019年6月山形沖地震に対応した文化財マップ [課題番号：CTOC13]。



図17. 2019年10月台風19号に対応した文化財マップ [課題番号：CTOC13]。