

2 (1) 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)

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。

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を使用して、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。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。

津波浸水モデル及び地盤応答の高度化に向けた今年度の取り組み

今年度は特に津波浸水モデリングと地盤応答に関する研究の進捗状況について情報を収集した。その上で1662年日向灘地震（外所地震）による津波浸水モデルについては関連課題（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI01]）から、地盤応答については課題（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC27]）による石川県邑知潟平野の地盤応答調査と強震動シミュレーションの実施状況に着目した。さらに関連課題（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI08]）と令和元～3年度に実施された「奈良盆地東縁断層帯における重点的な調査観測」により京都盆地と奈良盆地で得られた浅部地盤構造モデルに着目した。

日向灘では、30-35年間隔で繰り返しM7クラスのプレート境界型地震が発生している。また、プレート内でもM6-7の地震が度々発生する。1968年にはM7.5の地震が発生し、津波も観測された。1662年にもM7.6の日向灘地震（外所地震）が発生したことが知られ

ている。この地震による被害は現在の宮崎市南部で特に大きく、宮崎市青島と並んで海側に突き出た位置にあった外所村が海中に没したとの記録が残されている。課題(京都大学防災研究所[課題番号: DPRI01])では、宮崎県沿岸部での津波堆積物の調査結果に基づき、1662年日向灘地震の震源モデル及び津波波源モデルを構築し、津波浸水シミュレーションにより観察された津波堆積物の分布を説明した。得られた震源モデルは1968年日向灘地震の震源域とは重ならず、その南西に位置し、海岸線下の深さ25 km付近からからトラフ軸に向かって深さ10 kmの範囲にプレート境界に沿って幅70 km、長さ70 kmの範囲に広がる。この震源モデルには1996年10月と12月にそれぞれ発生したM6.9とM6.7の地震の震源域がほぼ含まれる。また、震源モデルの浅部側は、その一部が浅部スロー地震発生域と重なり、すべり量も8 mと深部側の2 mと比べて大きい。

石川県の邑知潟平野は邑知潟断層帯の北西に位置する。邑知潟断層帯は今後30年の地震発生確率が日本の主な断層帯の中でもやや高いグループに属しており、その規模は地震調査研究推進本部によりM7.6程度と推定されている。課題(拠点間連携共同研究[課題番号: CTOC27])では、邑知潟平野で常時微動観測を行い、単点観測による微動H/Vスペクトルとアレイ観測による位相速度分散曲線から3次元地盤構造モデルを構築した。その上で邑知潟断層帯による想定地震ケース(地震調査研究推進本部)を用いて、新たに得た3次元地盤構造モデルとJ-SHIS深部地盤構造モデルによる強震動シミュレーションの結果を比較することで強震動シミュレーションにおける地盤構造の影響を調べた。結果、新たな3次元地盤構造モデルを用いたシミュレーションでは、J-SHISモデルと比べて、邑知潟平野内でPGVが0.6 m/sを超える範囲が広がること、特に邑知潟平野の中部から南西部の盆地南東端に沿ってPGVが大きくなることを確認した。

関連課題(京都大学防災研究所[課題番号: DPRI08])と令和元~3年度に実施された「奈良盆地東縁断層帯における重点的な調査観測」では南海トラフ大地震を含む将来の大地震の強震動評価の高度化のため、西南日本の堆積平野や堆積盆地の地盤構造モデルの高度化を進めた。特に奈良盆地・京都盆地に関して、反射法地震探査・ボーリング・微動観測のデータが多数用いることで、水平方向250 mメッシュ、深さ方向1 mメッシュでの新たな浅部地盤構造モデルを構築した。奈良盆地中央付近を流れる大和川付近では、その南側で層厚が相対的に厚く40 mに達する。ここでは工学的基盤面(S波速度350 m/s)にSH波を鉛直入射させ、Haskell Matrix法で地震応答を計算することで、周波数別の地盤増幅率を求めた。結果、浅部地盤構造による地盤増幅率は、周波数1 Hzでは調査対象領域全体で小さく、大阪平野で先に得た結果と異なることがわかった。2 Hzでは、京都盆地南部の三川合流域周辺や奈良盆地南部での増幅が顕著で、3 Hz以上となると、京都府南部の木津川流域(木津川低地帯)も含め、ほぼ対象領域全体で地震動の増幅が見られた。

津波浸水モデル及び地盤応答の高度化へのインパクトと今後の展望

1662年日向灘地震に関して新たに得た震源モデルは、直近100年の地震活動のみからの大地震の発生予測は難しいが、より長期間のデータが得られる津波堆積物の調査と津波浸水シミュレーションを活用することにより得られた知見として注目すべき成果と言える。さらに、得られた知見を宮崎県の防災担当者らと地震・津波防災の見直しに向けた取り組みを開始し、得られた津波浸水モデルに基づき小中学校等での津波避難訓練を検

討するなど、成果の社会実装・アウトリーチ・ステークホルダーへの還元に向けた取り組みも実施されており、本成果の大きな波及効果も期待できる。

平野部における高度な地盤構造モデルが、邑知潟平野や京都及び奈良盆地で得られた。これらのモデルを用いて地盤応答を調べた結果、J-SHISモデルと比べて、盆地による地盤増幅特性についてより確からしいものが得られている。これらの結果は、将来発生の恐れのある地震の揺れによる建物・人的被害等の地震リスク評価における地盤構造の調査及びモデル化の重要性を示す。今後、浅部地盤構造モデルの高度化を強力に推進する必要がある。

成果リスト

特になし

2 (2) 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
(東京大学大学院情報学環)

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(第二次)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、それぞれの研究課題の中から、首都直下地震の発生による被害の推定に必要なものを集め、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てきた。今年度は、被害の軽減を目的としたときに必要になってくるもの、という観点で課題を選んでみた。

令和4年度の成果

まず、首都直下地震の課題の一つに地震像が明確でないことがあげられる。首都圏下にはフィリピン海プレートと太平洋プレートの2つのプレートが沈み込み、その運動方向が異なるため、過去の地震活動が必ずしも一定であるとは言い切れない。そのため、一連の歴史地震を調査しても、次に発生する地震が、プレート境界の地震なのか沈み込むプレート内の地震(スラブ内地震)なのかは、明らかになっていない。そもそも、どこでスラブ地震が起きやすいのか、その特徴に関する理解は不十分である。そこで東北大は、スラブ内地震の発生メカニズムを解明するため、高密度配置であるS-netを用いた地震波トモグラフィーにより、最近発生したM7級のスラブ内地震の余震分布に沿うように低Vp

域が局在することを明らかにした。こうした低Vp異常域がスラブ表面に対し高角であることから、東北沿岸域下のスラブ内地震は海溝海側斜面域で形成されるアウターライズ断層が再活動した地震と考えられる（東北大学理学研究科[課題番号：THK_06]）。

次に首都直下地震の発生前後における課題として、地震活動の変化があるのかどうかがある。大地震が発生する際に地震活動に変化があったとする報告はいくつかあるが、それらが首都圏にも適応可能かどうかは不明である。また、繰り返し地震の挙動は、プレート境界の地震活動の変化のメカニズムを解明する上で重要な示唆を与える。そこで東北大は、これまでに開発した小～中規模の繰り返し地震活動に対する非定常更新過程モデルを拡張し、相対的な応力蓄積率の時空間変化を時間域の自然3次スプライン関数と空間域の薄板スプライン関数とのテンソル積表現により推定した上で、その将来推移を短期的に予測して繰り返し地震の将来発生確率を評価する手法を開発した。提案手法を東北地方太平洋沖に存在する小～中規模の繰り返し地震群の2014～2020年の発生データへと適用し、2020年中の四半期毎の繰り返し地震発生確率を評価した上で発生実績との比較検証を行った結果、ポアソン過程に比べて十分に高い予測性能が示された（東北大学理学研究科[課題番号：THK_09]）。

次に首都直下地震の課題として、揺れの不均質さがあげられる。一般に震源距離に応じて地震動の強さは変化するが、地盤構造や地下構造などの要因によっても変わりうる。その構造も一定ではなく時間変化する可能性もあり、揺れの予測や揺れの把握を行う際には慎重な検討が必要である。そこで東京大学地震研究所は、首都圏で発生した地震の波形を比較し、同程度の規模でも揺れの強さに違いがあることを示した。2021年千葉県北西部の地震は、2005年千葉県北西部の地震と震源特性は似ているが、震度5弱を観測した高震度3観測点（東京都足立区、埼玉県川口市、埼玉県宮原町）の強震動は、概して2021年が大きかった。違いが顕著な周期0.5～2秒の帯域には、S波主要動および埼玉県の後続動が含まれる。近年、大地震後の速度低下とその回復過程の議論もあり、大地震後の震度が若干大きめとなる可能性も検討が必要である（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_16]）。一方、東京大学地震研究所は、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したいと考え、2020年9月から東京都文京区根津周辺における稠密観測を継続している。安政江戸地震の揺れの検証を目的のひとつとし、観測点は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にした（11点で観測継続中）。これまでに文京区本郷で震度1以上を記録した地震は98回あり、それら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]）。

最後に首都直下地震の課題として、暴露人口が莫大であるという点があげられる。ひとたび首都圏で大地震が発生すると、けた違いに多くの人々に影響が及び、それが新たな二次災害を引き起こしかねない。多くの人口（群衆）が勝手な行動をとらないためには、適切な情報を与え、冷静に行動するよう促すことが必要だと考える。そこで東京大学大学院情報学環は、地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化、災害情報が災害軽減に有効に活用されるための情報コミュニケーション手法を開発することを目的として、地震の被害想定という情報が住民に伝達した場合、被害に関する認知面などにどのような影響を及ぼすのか、アンケート分析を行った。内閣府（2013）が公表した被害想定を基に、NHKドラマ「パラレル東京」視聴の前後で、自分も地震被害に巻き込まれるかもしれ

ないと感じる割合が上がっていた。これは、元々恐ろしいと思っていた事象は、ドラマを見ることでより身近で具体的な事象になり、自分の心情を強く刺激したと言えるのかもしれない。本研究の成果に基づけば、受け手たる住民に恐怖感情を与えることは、認知面において中期的に効果がみられたことになる。これまでは、「脅しの防災」に否定的な言説が多かったが、今後は、こうした災害誘因予測情報を用いた、感情的アプローチについても研究をすすめる必要がある。

そのほか、2023年2月24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6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。

これまでの課題と今後の展望

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。関連があると思われる課題で、総合研究グループが構成されているため、それぞれの課題は独立している。そのため、課題ごとの成果があったとしても、その成果は総合研究グループに対する関与が薄く、何をこのグループの成果とすべきかが曖昧である。網羅的に構成された研究課題群ではないので、首都直下地震に対して全体を通したストーリーを描けず、成果の寄与が不十分な研究課題に対する対応ができない体制であった。次期計画を策定する際には、総合研究グループとしての目標を掲げ、何をどこまで達成するのかを明確にし、それを実行するための課題群とそれらを運用する体制づくりが必要ではないだろうか。今後は、首都直下地震が発生した際にその被害の軽減を目的とした総合的な課題、という観点で全体を組み立てる必要があると感じている。

成果リスト

Wang, Z., Zhao, D., and Chen, X., 2022, Fine Structure of the Subducting Slab and the 2022 M 7.4, Fukushima-Oki Intraslab Earthquake, *Seismol. Res. Lett.*, 94, 17-25, doi:10.1785/0220220234.

野村俊一, 内田直希, 尾形良彦, 2022, プレート間非地震性すべり速度の時空間変化を考慮した繰り返し地震の短期予測, 日本地震学会2022年度秋季大会, S23-03.

三宅弘恵, 上原美貴, 2022, 2021年千葉県北西部の地震の首都圏における強震動, 日本地震学会2022年度秋季大会, S15-21.

石瀬素子, 酒井慎一, 中村亮一, 原田智也, 2022, 安政江戸地震の被害記述の科学的検証～印西市・成田市・佐倉市での地震観測を通して, 印西の歴史, 13, 23.

安本真也, 葛西優香, 富澤周, 内田充紀, 関谷直也, 2023, 首都直下地震と都民の意識—2022年東京都民調査から—, 東京大学大学院情報学環紀要 情報学研究・調査研究編, 39.

2 (3) 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

千島海溝南部では、国の地震本部が M8.8 程度以上の超巨大地震の発生が切迫していると評価している。国の中央防災会議は、最大クラスの地震により最大約 10 万人の死者が発生すると被害想定を公表し、特に冬季間は積雪寒冷条件のため約 2 万人の低体温症要対処者も生じるとした。人的被害の大半は津波によるものとしており、被害想定最大の死者数は早期避難率が低い場合の数値であるため、対策を進めることで被害量を減じることが出来るとしている。

千島海溝南部の巨大地震による被害軽減には、早期かつ確実な津波避難を行うことが重要となる。このような観点から、気象庁と内閣府は、日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震の想定震源域とその周辺で Mw7 以上の地震が発生した場合に、大地震の発生可能性が平時よりも相対的に高まっているとして、「北海道・三陸沖後発地震注意情報」を発信し、後発地震への注意を促すことを 2022 年 12 月 16 日から開始した。

早期避難を実現するためには、冬季積雪凍結による歩行困難化や、地震動による橋梁や急傾斜地崩壊による避難路の閉塞も考慮した避難計画の事前評価が重要である。北海道の地方部では車避難が一般的に行われている実態があり、そのレギュレーションに向けた実現性評価も必要となる。

現在行われている被害想定は、最大規模の津波を発生させる特性を持った断層モデルに基づき行われている。一方、沿岸の津波浸水は震源断層上の不均質なすべり分布や局所的な地形の影響を大きく受ける。同様に、地震動も断層破壊過程や強震動生成域の空間分布、地域的な地下構造、局所的な地盤改変履歴で大きく変化する。ハザード事前予測の空間精度を高め、地震動や津波浸水域の振幅の評価を目指すには、ハザード予測の基盤となる観測・調査データを着実に蓄積して行くことが重要である。現在の最大クラスの地震に対する被害想定に加え、ハザードの発生頻度や予測幅も指標に入れた想定を目標に研究を進めていくことが求められている。総合研究グループでは、ハザード予測や、それに基づくリスク評価につながる研究成果を整理統合し、地域防災力の向上に資する成果を生成することを目標としている。

2. 令和 4 年度の主な成果

津波避難計画は、避難路が確実に確保されることが前提となる。避難路は、地震動による橋梁の破損や斜面崩壊、冬季には積雪や凍結等で利用が制限されることが予見されることに加え、避難者や避難車両で交通が輻輳する可能性が高い。これらの避難路条件を考慮した津波避難シミュレーションを釧路管内や根室市で実施したところ、避難時間が大幅に増加もしくは困難となる地域が発生することが明らかになった。また、昼夜人口の違いや路面状態、道路網などの社会環境の違いが、避難困難人口の増加率に大きく関係することが実証された。現地での避難実験を通じて徒歩避難時の歩道混雑が歩行速度の大幅な減速を生じさせることが立証され、先行避難者がいない場合での歩行速度を

利用した避難困難判断は適切でないことが示された（北海道大学[課題番号：HKD_07]）。

自動車避難のレギュレーションを検討するため、マルチエージェント解析を用いた避難シミュレーションと現地での実避難訓練を北海道むかわ町で行った。シミュレーションでは、避難経路を分散指定した場合では、避難経路を主要路に限定した場合に比べ、10分程度の時間短縮が見込まれることが明らかになった。また、現地での避難実験を行ったところ、徒歩避難者の存在が車避難の渋滞発生要因となることが確認された（北海道立総合研究機構[課題番号：HRO_02]）。

十勝地方沿岸部の17世紀津波イベント前後の地殻上下変動について、珪藻の垂直分布特性を利用して時間変化を検討したところ、地震時変動は小さくなく、地震後に時間をかけて最大1.5 m程度隆起したことが明らかになった。厚真町と苫小牧市で面的な津波堆積物調査を実施し、津波浸水は標高5 m程度までであること、年代測定では1611年付近にピークを持つこと、17世紀以前では2,500年間津波堆積物が見つからないことが明らかになった。今回明らかにされた津波堆積物の分布範囲は、国の津波浸水想定範囲よりも有意に海寄りであるが、浸水は津波堆積物を残さずに内陸部にまで及ぶことに留意する必要がある（北海道大学[課題番号：HKD_09]）。

1611年慶長三陸津波時に岩手県山田町小谷島で記録された局所的な大きな津波高を励起可能な断層モデルの推定を行った。この場所だけに高波高を生じさせるためには、三陸沖のプレート境界2か所の大すべりから同位相の相対的に短い周期の津波が入射することが必要条件であり、千島海溝のすべりでは説明が困難であることが明らかになった。これは、この地震の大すべりが三陸沖で発生していたことを示す結果であるが、震源域が千島海溝まで伸びていた可能性は依然として残されている。また、潮位変化を映像から抽出する手法の改善が進んだほか、津波波形の長時間平均を用いて津波波形を規格化することで、津波即時予測時に海底圧力計波形に重畳する短周期の地震波の影響を低減する技術の開発が行われた（北海道大学[課題番号：HKD_09]）。

根室沖の構造探査データについて浅部堆積層を考慮した解析を実施し、高精細イメージングを行った。得られた構造は、2011年東北沖地震の大すべり域の構造に類似しており、プレート境界浅部の深さ10–15 kmには反射強度の高い部分が見られた。えりも沖に設置された広帯域海底地震計の波形解析から、超低周波～低周波帯域のスロー地震の発生が示唆された（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_05]）。千島～カムチャツカ海溝の広域的な地震活動度の時空間変化を1977年以降の長期間震源データに基づき調査し、1963年と1975年に津波地震が発生した色丹島沖～択捉島沖の海溝軸に近い部分のみで地震活動の静穏化が見られることが明らかになった。また、地殻構造の時間変化をモニタリングするため、釧路根室沖において昨年と同じ場所で海底地震観測を行った（北海道大学[課題番号：HKD_09]）。

根室沖で4回目の海底地殻変動観測を実施した。プレート間相対運動量に近い変位速度が得られ、プレート境界浅部での固着率が高い可能性が高まった（北海道大学[課題番号：HKD_09]、東京大学地震研究所[課題番号：ERI_05]）。十勝根室沖の中規模地震を用いた震源特性を調査し、プレート境界の地震では相対的に短周期成分の励起が弱い傾向が見られた。遺跡の液状化痕跡も網羅的調査から、道東の液状化回数は古津波回数に比べ少なく、強震動の励起が弱かった可能性が示唆された（北海道大学[課題番号：HKD_09]）。

津波浸水や地震動予測等のハザード予測情報をリスクの評価や管理で活用することを

目指し、地方自治体の被害想定・津波避難計画策定・津波対策緊急事業計画策定での助言や、住民向け防災講習会への講師派遣、ライフライン事業者（電力・ガス）や報道関係との意見交換を実施した（北海道大学[課題番号：HKD_09]）。

3. 今後の展望

17世紀初頭に発生した超巨大地震に関するデータの蓄積が進み、断層モデルの推定や、強震動・津波浸水の事前予測につながる情報になりつつある。起こりうるハザードの想定は、津波避難計画や被害想定等の事前防災対策に直結するため、歴史史料や考古資料を含め今後も基礎的なデータの収集を続けることが重要である。観測から得られる地殻活動の現況に関する情報からは、定常的に地震活動が低いプレート境界浅部の高い固着率がほぼ確実なものとなった。根室沖のプレート境界浅部と2011年東北沖地震の大すべり域が類似した地下構造である事実も、地震発生時に津波励起が効率的に起こる可能性を予見する重要な観測事実である。

国の被害想定は、最大クラスの震度分布・津波浸水とされているが、留意点として各局所的な地先における最大値を示しているものではないことが記されている。1611年慶長三陸地震の局所的な高津波事例のような現象は今後も起こりうるリスクであり、その発生要因の更なる調査と、事前予測への応用が必要である。国が示した地震動分布の予測では、想定されるM8.8程度と比べモーメントが小さい2003年十勝沖地震の実測値と同等かそれ以下の場所が存在しており、過小評価となっている可能性がある。地震動による建物や道路等の被害は、早期津波避難を阻害する要因であり、地震動予測の確度を上げる取り組みも重要である。

国は、北海道・三陸沖後発地震情報が発表された場合でも、世界的事例を踏まえると、Mw7.0以上の地震発生後7日以内にMw8.0クラス以上の後発地震が発生する確率は概ね100回に1回程度としている。この情報は、先発地震による被害が甚大な場合に加え、先発地震による揺れが小さな場合でも対象になるなど、様々なパターンで発表されることが予想される。不確実性が高い情報が発表されたときに、住民はどのように行動するのか、また、同様な情報が繰り返されると、社会の対応がどのように変化していくのかは、防災情報を検討するうえで重要な基礎資料となるため、アンケート調査等を用いたモニタリングを適宜実施していくことが望ましい。

成果リスト

特になし

2 (4) 桜島大規模火山噴火

「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
(京都大学防災研究所)

本総合研究グループでは、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以下のとおり推進することとなっている。1)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。2)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。3)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。4)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には異なる部会に属する27の研究課題が参画している。令和4年度も、12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、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。本研究集会には、次世代火山研究・人材育成プロジェクト課題D火山災害対策技術の開発、京都大学防災研究所火山防災連携研究ユニットからも研究発表を行い、総合研究グループにおける議論を活性化させた。

本総合研究グループにおける発表は以下の4つに分けられる。1)現象解明のための観測、過去の噴火履歴・火山の基本場、モデル化など現象の理解、2)火山噴火発生予測の研究、3)ハザード予測、4)リスクコミュニケーション、対策である。1)においては桜島の南岳における噴火活動期における諸現象に対して観測からのアプローチにより新たな知見を得た。2)においてはビッグデータを取り扱うことにより、統計的な処理と確率的発生予測の考え方が進んだ。3)においては、火山灰ハザード予測について多くの知見が得られるとともに、火山岩塊、火砕流、土石流など他のハザードについても研究が進んだ。4)においては大規模噴火とそれからの避難について様々な取り組みが行われた。また、災害やハザードについての情報提供ツールの開発が進んだ。

令和4年度研究集会の議論の要点は以下の4点に集約される。

① 現在の南岳山頂噴火活動から得られた知見を如何に大規模噴火へ適用できるか。現在想定される大規模噴火は歴史時代の大規模噴火と同様にプリニー式噴火に始まり、火砕流の発生を経て、溶岩流出に至ると考えられている。一方、南岳山頂噴火の最盛期(1970年代から1990年代前半)には、地盤沈降から予測される以上に重力値が増大し、マグマの質量の増加があった。このことから、マグマからの揮発性成分の分離が進行し、脱ガスした重いマグマの蓄積が進行したことが推定される。次に、多量のマグマの貫入があったとしても最初に噴出するのは脱ガスした重いマグマに相当する溶岩であり、プリニー式噴火から始まるシナリオではない。噴火シナリオの多様化が望まれる。実際、セントビンセント島のLa Soufriere火山噴火は2020年12月に溶岩流出で始まり、翌年4月にプリニー式噴火に移行・拡大した。

② 大規模噴火にレジリエントな災害対応戦略、特に情報の重要性。2022年7月24日

の桜島南岳の爆発的噴火では、火山岩塊が 2.4 km を超えて飛散したとして気象庁は噴火警戒レベルを 5（避難）に引き上げ、桜島の一部住民の避難が行われた。火山岩塊の飛散距離推定値に疑念はあるが、それ以上に重要な点は、この噴火において警報とその後の避難指示等の防災対策に関わる情報に複数の大きな問題があることが顕在化したことである。情報の問題の 1 つは情報発表までの意思決定の遅さである。爆発が発生したのは 20:05 であるが、レベル 5 の特別警報が発表されたのは 45 分後の 20:50、さらに、鹿児島市から避難指示が発令されたのは、その 90 分後の 22:20 であった。もう一つの問題は、速報メールの内容が不十分だった点である。特別警報を伝える速報メールは即時に情報を伝える優れたツールであるが、レベルが 5 に引き上げられたことだけを端的に伝えるのみで警戒を要する範囲に言及していなかった。このことから、レベル 5 の発表が大規模噴火の発生もしくはその切迫性を示すものと解釈され大きな混乱を招いた。レベル 5 は噴火の影響が居住地域に及ぶことを表しているだけで範囲の情報を含まない。避難の対象に考慮されるべき警戒を要する範囲は必ず付加すべき情報である。むしろ、レベルよりも警戒を要する範囲を前面に出した警報発表とすべきである。

③ モニタリングデータからリアルタイムでハザードを評価することにより、ハザード予測の高度化が図られた。例えば、降灰であれば、火山性微動と地盤変動のデータを用いた火山灰放出率の推定値を移流・拡散モデルと結合させることにより、降下火山灰の予測が可能となった。また、シミュレータの連続稼働化が図られることにより、常に火山灰ハザードを評価できるようになった。また、レーダーやディストロメータなどの気象観測機器は火山灰ハザードをナウキャスト的に把握するのに大いに役立つことも示され、これらの機器は監視の実装段階にあるといえる。一方、噴火発生前の警戒を要する範囲（ハザード予測）の設定は依然として重大な問題である。

④ リスクコミュニケーションの重要性。鹿児島市は桜島の大規模噴火を想定し、多量の降灰によりインフラと物流が機能不全に陥ることが予想される場合は、噴火警戒レベル 5 の対象範囲外（例えば鹿児島市街地）であっても避難指示を出す事検討している。この場合の避難は、気象災害や地震災害のように住民の居住区域内に指定された避難所への避難ではなく、市町村の境界をまたぐ広域避難である。広域避難計画については今後改善の余地は大いにあるが、広域避難そのものについての認知度はほとんどないため、まずは周知のための長期的な視野の取り組みが必要である。これまでに鹿児島市街地のパイロット地区を対象としたワークショップや模擬避難などの試みを行ってきたが、今後も継続して大規模噴火の実態と避難の必要性について認知度を上げていく必要がある。

これまでの課題と今後の展望

先に示した ①～④ が課題としてあげられるが、観測・研究の立場からは噴火発生前の警戒を要する範囲（ハザード予測）の設定が最大の課題である。ハザード予測のためのシミュレーション手法が妥当だとすれば、この課題は火山噴火予知が長年課題としてきた発生の時期、場所、規模、様式を本質的に含むものであり、前駆現象に応じたシミュレーションの初期値の設定が必要である。過去の噴火史に学んで噴火シナリオを整理するだけで済む問題ではなく、今一度、火山噴火予知研究の原点に立ち戻る必要がある。

「大規模噴火総合研究グループ」ではなく「桜島大規模噴火総合研究グループ」である理由は、リスクコミュニケーションの重要性にある。火山噴火において最も重要とさ

れる対策である避難は人によってなされるものであり、リスクコミュニケーションは単なるテクニックではない。今後も住民の顔が見える研究計画とすべきである。

成果リスト

特になし

2 (5) 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)

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たりするケースが多く、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。

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（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

本研究グループに関連する課題は、大きく次の5つの項目に分類することができる。

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。

今年度は2023年2月8日にオンラインで研究集会を実施し、関連課題代表者による研究成果発表および議論を行った。以下では、研究集会における報告を中心として項目毎の成果を紹介する。各課題の成果はその課題が属する部会報告でも報告されており、

内容的に重なる部分もあるが、本総合研究グループの目標への寄与という視点に立って紹介する。

1) 災害情報の発信に関する研究

東北大学は、観測データを火山災害リスクの低減につなげるための試みとして、吾妻山を対象としてVUI (Volcanic Unrest Index; 火山活発化指数) の試作を進めており、今年度は、中長期的に安定したデータソースとして気象庁や国土地理院のデータを活用し、ワークシートを試作した。

北海道大学からは、予測可能性とリスク評価に関するいくつかの提言がなされた。VUIの活用について、専門外の人々にとって理解し易そうであること、何がunrest (活発化状態) なのかは火山によって異なること、事例を増やすことにより判断基準が次第に形成されること、活動シナリオの想定や火山活動の評価はそれほど自明な課題ではないことなどの指摘があった。本総合研究の名称にある「高リスク」とはどの程度のリスクを指すのかもわかっていないことから、リスク評価の前にまずは現場作業者のリスク管理に関する考え方の整理が必要であること、観光客や登山客に対する情報提供のあり方は社会からの要請が強いテーマであり、確率的な評価・予測の枠組み作りと予測の精度向上に取り組むと良い等の提言もあった。

名古屋大学は、御嶽山地域の火山防災に関する知識の効果的普及・啓発や火山と共生する地域のすばらしさを内外に伝える役割を持つ御嶽山火山マイスターの活動を支援しており、御嶽山火山マイスター制度の向上を目指して他火山における火山防災に関する先進的な取り組みとの比較を進めている。今年度は阿蘇火山博物館、山梨県富士山科学研究所、箱根ジオミュージアムを対象として火山防災に関する取り組みに対する調査・比較を進めた。これまでの調査に基づいて、御嶽山地域と他地域の共通点として以下の点を挙げるができる。火山地域は噴火以外にも豪雨による土石流や地震による山体崩壊などの危険性が高く、土地の成り立ちを住民に理解してもらうことが防災につながることで、防災を前面に出すより土地の成り立ちや火山の恵みを知ってもらうことが防災意識の向上につながることで、子供に対する防災教育が効果的であること。他地域との比較により見えてきた御嶽山地域の特徴としては、研究施設と火山マイスターの拠点が同じ場所にあり、データや専門家の意見にアクセスしやすいことや関係者同士が定期的に会うことによる顔の見える関係が構築できていることが挙げられる。課題としては、マイスター活動の周知がまだ十分でないことや、ビジターセンターへの集客、防災や地域振興への活用、学区学習需要の開拓などが挙げられる。

兵庫県立大は、御嶽山噴火の事例から、市町村の災害対応のボトルネックとなる事項の抽出と対応策の検討を行った。噴火時に対応すべき事項は多岐にわたるが、マンパワーが限られている小規模な市町村レベルでは全ての事項に対応することは容易ではない。噴火の影響範囲に応じて、「市町村」→「県」→「国」と対応主体を拡大すべきと考えられがちだが、噴火規模が小さく影響範囲が狭い場合であっても対応すべき項目数は多岐にわたるため、「市町村」の少数の職員では対応が困難な場合があることがわかった。また、噴火の影響が複数の「市町村」にまたがる場合、自治体間の連携をどこがコントロールすべきかも課題として挙げられることがわかった。

2) 小規模噴火の発生する場の把握

東工大は、土壌ガスに基づく側噴火リスクの評価を進めている。土壌ガスとは地下起源のガスが透水係数の高い領域で検出されるものである。破碎帯は透水係数が高い領域であり、地下の熱水貯留域から上昇する火山性流体の通路となり得る。地下の熱水貯留域は水蒸気爆発の発生場となり得ることからマグマ起源ガスが含まれる土壌ガスの放出域を把握することは、将来の噴火発生場所の予測につながる可能性がある。草津白根山の湯釜周辺で土壌ガスのサンプリングの成分を分析したところ、高いガスフラックスを示す場所が複数見つかっており、その中にマグマ起源ガスが多い場所と少ない場所があることが分かった。マグマ起源ガスが卓越する場所は、破碎帯でありかつそれがマグマから分離したガスの上昇経路と接続していることを示唆しており、将来の側噴火の可能性が比較的高いと考えられる。ガスフラックスは高いがマグマ起源ガスが少ない場所は、破碎帯に対応しているものの、マグマガスの上昇経路とは接続しておらず側噴火の危険度は必ずしも高くはないと考えられる。

3) 観測による火山の活動把握

東北大学は、火山活動の中心と観光の対象が 1 km 程度と至近距離にある吾妻山を観測の対象としている。地震・地殻変動の連続観測を継続的に実施し、火山深部から浅部における火山性流体の分布・挙動の解明を進めることにより活動把握の高度化を進めている。これまでの観測から、吾妻山の活動は、深さ 10~15 km の深部における膨張が先行し、深さ 4 km の地殻変動源での膨張加速、浅部地震活動や浅部地殻変動・熱・ガスの変化という経緯をたどること、また、地震波形には流体の関与を示唆する特徴があることが分かった。吾妻山での観測情報に関しては、大学から現地の関係者に直接活動状況を伝えることもあるが情報過多気味であり、伝えるべき情報を工夫する必要があることが分かった。

東北大学では、噴火の早期検知手法として空中電界変動を活用する手法の開発を引き続き進めている。今年度は、2022 年 6 月から東京大学地震研究所霧島火山観測所において霧島硫黄山をターゲットとする観測を開始した。2022 年 11 月に硫黄山において新たな噴気孔が形成されたが、空中電界変動には顕著な信号は認められなかった。泥噴火が電荷を帯びていない可能性と、活動規模がそもそも小さかった可能性が考えられる。本課題で想定する小規模水蒸気噴火は、地震・地殻変動・空振などの既存の地球物理的観測手段では見落とされるおそれがあり、新たな噴火検出手法の開発には大きな期待を寄せている。

富山大では、弥陀ヶ原火山において、活動状態を把握するための多項目地球物理観測を継続して実施している。観測項目は、弥陀ヶ原火山全体の活動状況把握を目指す広域地震観測、地獄谷における浅部熱水・ガスだまりの活動推移の把握を目指した水準測量・GPS 観測、噴気活動の定量化を目指す微動観測、熱水流動経路の把握を目指す熱活動観測である。水準測量結果によると 2017 年から 2020 年にかけては沈降が卓越していたが、2020 年以降は隆起が卓越している。現在は、地表から噴気として放出されるよりも地下への流体供給量が上回る状況であることが示唆される。また、熱活動域と隆起域・沈降域の対応が明瞭に見られた。火山性地震は全く観測されなかった。噴気地帯に隣接する観光地は本総合研究グループの重要な研究対象であり、弥陀ヶ原における多項

目観測により貴重な観測データの蓄積が進むことが期待される。

4) 噴火の予測に関する研究

富山大学は、極小規模噴火を含めた見逃がしのない「真の噴火履歴」解明を目指した取り組みを進めている。平成30年草津本白根山噴火など VEI1 クラスの小規模噴火では、火口近傍を除いてテフラは地表からほぼ消失し、噴出物は地表に地層として残らないため、そのような噴火は存在しなかったと見なされることになる。このように、地表露頭のみを観察からは把握できない小規模噴火が多数存在し「真の噴火履歴」の解明はほぼ不可能である。火口内や火口近傍の湖沼堆積物が新たな情報源として有望であり、弥陀ヶ原で実施した予備調査では、地表露頭観察では把握できない規模の噴火によると見られる火山灰層が湖沼堆積物中から検出できた。次期計画では、草津白根山や志賀火山で同様の調査を行うことを計画している。

5) 災害発生状況の調査・整理

今年度は、本項目に関する報告は無かった。

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がれない。

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。

4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継続して進めた。本総合研究で実施すべき研究項目は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、の5つに整理されるが、今年度は昨年度同様、1)に関する社会学的、情報学的な成果報告および2)～4)に関する継続的な研究の成果が報告されたが、昨年あった5)に関する報告は今年度は無かった。来年度以降も、それぞれの項目に関する成果の掘り起こしと整理を進める予定である。昨年度末に実施したアンケート調査結果については引き続いて整理を進めており、高リスク小規模火山噴火に関する効果的な情報発信を検討するための情報抽出を目指したい。

成果リスト

特になし

成果報告会 発表タイトル

発表者	タイトル
大湊	総合グループ成果 取りまとめの方向性について
山本	吾妻山の火山活動とVUIの検討
橋本	「高リスク小規模噴火」の予測可能性とリスク評価について
石崎	火口内及び火口近傍の湖沼堆積物を用いた”真の噴火履歴”解明の試み
寺田	地中ガスのヘリウム同位体に基づく側噴火リスクの評価
大倉	阿蘇火山での取り組み
西村	空中電界変動観測による噴火の検知
堀田	富山県弥陀ヶ原火山における地球物理学観測
山岡	他地域と比較した御嶽山地域の火山防災教育の特徴について
阪本	火山噴火をめぐる自治体間連携

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

研究代表者 松島信一
(京都大学防災研究所)

研究代表者 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、「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)」(建議)でもその方針が継続された。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に重点を置いて組織的・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するものの、災害予測や防災を目的とした研究に注力するために関連する理学、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。

平成 25 年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、災害予測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研究提案を公募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、2020 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]、Miyazawa et al., 2022, Fujita et al., 2022, 上田・他, 2023)。

震源過程・強震動予測について、プレート間巨大地震の強震動生成域に対する距離減衰の特徴をまとめた。震源像を推定するために、断層面におけるP波の反射・透過係数の違いから、摩擦強度を推定するための理論研究を拡張し、SH波が任意の角度でプレート境界に入射して反射する時に観測される反射波の震幅変化から、摩擦強度を推定することを検討した。

深部地盤・伝播経路については、2020年に1946年昭和南海地震震源域西端にあたる豊後水道沖で、海底地震計およびハイドロホン・ストリーマーを用い、エアガンを人工震源とする屈折法・広角反射法地震波構造調査を実施した。取得された波形に対して波形インバージョンを適用し、九州パラオ海嶺の沈み込みを含む不均質構造の詳細について、解析を進めている。また、紀伊半島沖で実施している海底地震計を用いた地震観測データに対して、レシーバー関数、および表面波構造解析の適用による、海底下S波速度構造の把握を進めている。

浅部地盤構造に関しては、液状化の可能性のある地盤上に構築された直接基礎建物を対象に、地盤物性の空間的不均質性を考慮した有効応力解析を実施した。その結果、液状化に伴う直接基礎建物の沈下・傾斜評価において地盤物性の空間的不均質性の影響が無視できず、振動後の過剰間隙水圧の消散過程が地点により異なるため建物の不同沈下や傾斜といった被害が誘発されることがわかった(図1)。

構造物被害予測の高度化のために、フラジリティ曲線の高度化と、地震被害発生時に即座に建物・インフラ施設の被災度を判定する技術の概要を調査するとともに、これまでに蓄積された膨大な地震被害写真を機械学習することによる被害判定システムの構築を試みた。来るべき都市直下での地震や東海・東南海・南海地震への備えとして、継続して研究を実施し、災害対応力をさらに高めておく必要がある。

リスク評価高度化のためには、対象となるエクスポージャー情報の精密化が必要不可欠である。このために、UAV等で撮影された写真やその他のリモートセンシング情報を用いて、エクスポージャーに関するパラメータを位置情報とともに取得し、地理空間情報システム上に展開するフレームワークを構築した。本年度は特に、地上設置型3Dスキャナにて取得した高密度点群による高精度な建物3D形状推定や赤外線カメラを用いた壁内の筋交い位置推定の可能性を検討した。地震や豪雨により、いったん被害が生じるとその影響が甚大で復旧にも時間がかかると考えられる高速道路、新幹線などの社会インフラが集中する地域で、土砂災害予測基本図と既往のCS立体図、また現在の技術で作成され公開されている土砂災害ハザードマップとの比較を行い、土砂災害が発生する箇所と現象について検討し、その危険度評価を行った(図2)。現状のハザードマップでは被害予測には不十分であり、CS立体図も個別の現象予測には情報不足であることが明らかになった。

プラットフォーム構築に関して、南海トラフ沿いで発生する巨大地震により引き起こされる、強震動、津波、地すべり、地盤変状、火災などのマルチハザードによって多様な災害が引き起こされることが想定されるが、それぞれの災害を単独で想定した場合と、相互に関連したとして想定した場合では、災害の想定にどのような違いが出るかを

把握することが重要である。また、多様な災害が相互にどのような影響を与え、それが災害の規模にどのような影響を与えるかを知ることは、災害の軽減に重要となる。これらについて、どのような調査方法があるかについて検討を行った。

コンピュータサイエンスでは、時刻歴発展問題を対象として、シミュレーション内で生成される過去時間ステップにおける解析結果を学習することで、解析効率を高めるアルゴリズムを開発し、地殻の粘弾性応答解析へ適用した。高詳細な実地殻構造モデルを用いた有限要素法による地殻変動の順解析が本手法により効率化されることを確認した(図3)。今後は、逆解析等との組み合わせにより、プレート間固着状態推定などのへの適用が期待される。

災害リスク情報・ステークホルダ参画に関して、平成3年度の分析結果をもとに改良したシステムにもとづき、地表における速度での内閣府の南海トラフ地震動想定の評価を行った。また、前年度の成果にもとづき改良したシステムを用い自治体職員に対するヒアリングを実施し、災害シナリオの多様性があることへの理解を深めるための方策の検討、さらには検討成果を踏まえシステムのさらなる改良を行う。

(2) 特定型(その3)

「不確実性を考慮した浅部地盤の非線形応答評価手法の検討」では、以下の成果が得られた(拠点間連携共同研究[課題番号:CT0C20]、浅見・他, 2022)。

(i) 室内土質試験の不確実性を考慮した浅部地盤の非線形応答評価

各種模型振動実験で用いられることの多い豊浦標準砂を対象に、傾斜地盤における初期応力状態を再現するため圧密後に排水条件で初期せん断を載荷した後、液状化試験(非排水繰返しせん断試験)を実施した。試験では、初期せん断応力比の大きさよりも繰返しせん断応力比が大きい両振りの載荷条件(緩傾斜地盤に相当)に加えて、初期せん断応力比が繰返しせん断応力比を上回る片振りの載荷条件(急傾斜地盤に相当)も併せて考慮した。これらの一連の結果を液状化回数比(=初期せん断ありの液状化までの繰返し回数/初期せん断なしの液状化までの繰返し回数)と初期せん断応力比の関係として整理したところ、初期せん断の影響により液状化回数比が小さくなる傾向が示された。

(ii) 水平2方向入力地震動が浅部地盤の非線形応答に及ぼす影響の評価

振動台実験の結果、1方向入力よりも2方向入力とした場合の方が、過剰間隙水圧の上昇が顕著であり、言い換えれば液状化の度合いが大きいことが確認された。本実験の入力である地震動は応答スペクトルで基準化されていることから、振幅レベルが揃っており、2方向入力が描く複雑な軌跡が水圧の上昇に寄与していることが確認された。2方向入力の軌跡特性の影響は現状の耐震設計では考慮されていないため、今度の耐震設計手法の改良に向けた貴重な結果であると言える。

(iii) Numerical analysis of adjacent pile supported structures and development of failure envelopes involving liquefaction-induced large deformations

本研究で用いた有限要素モデリング手法の妥当性を検証するため、京都大学防災研究所の遠心力載荷装置を用いた地盤・構造物(杭)系の模型振動実験に対して、数値シミュレーションを実施した。次に、妥当性が検証された地盤の構成モデルおよび地盤と杭

間の相互作用のモデル化手法を導入した2次元解析より、斜面下に向かって最も遠くに位置する杭が流動する地盤から最も大きな応力を受けることが明らかとなった。また3次元解析からは、液状化した杭の破壊位置と破壊の種類を決定するのは慣性力の大きさであることが示された。

（3）特定研究（その5）

「即時建物被害予測技術の高度化」では、以下の成果が得られた（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C21]、Huang et al, 2022, 岸本・他, 2022）。

地震発生前の対策としては、予測される地震に対する被害程度をあらかじめ推定し、その推定結果に基づいた対策を取ることが多い。構造被害に着目すると、過去の巨大地震における構造物の被害程度の調査結果から、確率的に構造被害を予測する方法が取られる。具体的には、地面での最大加速度や最大速度といった地震動の指標値を予測または計測し、経験的に求めたその指標値と被害率の関係をを用いて被害程度を推定する。この指標値と被害率の関係は「脆弱性曲線」と呼ばれ、一般的にはこれまでの地震被害における実建物の被害程度と予測・観測された最大地動加速度（PGA）や最大地動速度（PGV）の関係から経験則として求められてきた。最近でも2016年熊本地震や2011年東北地方太平洋沖地震での被害を参考に、木造建物の脆弱性曲線は更新されてきた。一方、近年の巨大地震では構造被害が限定的となりつつある鉄筋コンクリート造建物では、同様の手法で脆弱性曲線を推定することは困難となりつつある。そこで本研究では、近年の脆弱性曲線の検討例とともに、地震被害ではなく、非線形地震応答解析を援用した脆弱性曲線の作成方法の開発についても、その可能性を検討した。

また、巨大地震発生時に早期に災害対応を実施し、二次被害を軽減するためには、迅速な被害把握が不可欠である。今日では、依然として被害把握には「応急危険度判定」や「被災度区分判定」といった、技術者の目視に依る方法を用いている。これらの方法は、非常に時間がかかり、またそもそも仕上げなどにより構造体が見えない超高層建物などで目視調査が現実的ではない、といった問題がある。これらの問題を解決するため、今日では、①機械学習を用いた構造被害程度把握の自動化、②ドローンなどの飛行体を用いた広域被害把握、③構造物に設置したセンサーを用いた被害把握、等の方法が精力的に開発されつつある。そこで本研究では、目視調査に代わる新たな方法として、上記①～③の手法に着目し、その概要と実現可能性について調査を行った。災害対応策として採用するためには、その精度評価が重要となるため、特に精度に関する情報の整理を行った。

（4）特定研究（その6）

「地震および豪雨による斜面災害発生個所の事前予測方法の統合」では、以下の成果が得られた（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C31]、齊藤, 2022, 齊藤, 2023）。

いくつかの災害事例にこの手法を適用した結果、豪雨と地震と外力が異なっても、現象の端緒となる箇所には共通する地形的特徴があることが判明した。豪雨の場合、いわゆる侵食前線の最先端である遷急点に隣接する谷頭部や遷急線として認められる段差の連続する箇所がその破壊の端緒となることが多くの事例で認められた。土砂災害予測基

本図では、まず斜面の侵食量を算出しその傾斜量を得る。そのため、この遷急点あるいは遷急線が侵食のおよんでいる部分の境界部として視覚的に明瞭に認識されることになる。この部分は、谷の落水線上の段差として表現され、この段差の大きさも落水線に沿った河道縦断図から比較することが可能である。また、この谷を通過する落水線の集中が豪雨の場合の重要な特徴で、これも落水線に沿った上流域面積の急激な増加すなわち落水線の合流から得られる。加えて上部斜面の集水域に浸透能の低い岩石の露出あるいは土層が薄い場合には崩壊の端緒となると考えられ、広島市安佐南区の土石流の発生域の斑状流紋岩の岩脈でそれに相当する。さらに、この段差（谷頭部の境界部）の周辺の傾斜が大きいことにより崩壊が生じやすい傾向がある。この3つの量を三軸とし、それぞれの箇所の量をプロットし、原点からの距離を比較することでその危険度の順序付けが可能と考えられる。

地震の場合、谷地形をしているかはそれほど重要ではなく、斜面下方に土層あるいは斜面を支持する構造のない箇所の崩壊が多く、これは豪雨の場合と同様に段差として認識可能で土砂災害基本図でも検出が容易な箇所である。地震前後の地表変位検出は、2016年熊本地震の阿蘇カルデラ周辺を対象として実施したので、その例を示す。当初、地震波の伝搬によってその地点の卓越する振動方向との関係を重視していたが、地表変位が傾斜の下方すなわち斜面下方に認められることから考察した変位出現、破壊出現のモデルを示す。この段差周辺の谷による侵食が斜面の傾斜方向にある場合の段差付近、谷内の土層のうすい箇所、段差よりも斜面上方の箇所の振動の比較を観測した例も示すことができた。

（5）特定研究（その7）

「巨大地震によるマルチハザードリスク評価手法に関する検討」では、以下の成果が得られた（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC32]、Nishino, 2023、大邑, 2022a、大邑, 2022b）。

南海トラフ沿いで発生する巨大地震により引き起こされる、強震動、津波、地すべり、地盤変状、火災などのマルチハザードによって多様な災害が引き起こされることが想定されるが、それぞれの災害が単独で想定した場合と、相互に関連したとして想定した場合では、災害の想定にどのような違いが出るかを把握することが重要である。また、多様な災害が相互にどのような影響を与え、それが災害の規模にどのような影響を与えるかを知ることは、災害の軽減に重要となる。これらについて、どのような調査方法があるかについて検討を行った。

また、確率論的地震リスク評価を地震火災を含めた手法に拡張し、京都市上京区の木造密集市街地を対象に様々な不確実性を考慮した地震動と火災のマルチハザードリスク評価を実施した。対象とした地震は、琵琶湖西岸断層帯、花折断層帯、有馬一高槻断層帯、生駒断層帯、京都西山断層帯、六甲一淡路断層帯の6断層帯で発生するものである。火災関連の偶発的不確実性として、出火の数・場所、気象条件（気温、風速、風向）、消防隊の火災覚知時間、地震動による家屋の構造被害に伴う防火性能の低下を考慮しており、認識論的不確実性として、経験的出火予測式の不確実性（地震間の変動性）を考慮した。その結果、地震動とそれに伴う火災によるリスク（建物損失額）の50年超過確率が図4に示すように推定された。地震動と火災の複合効果を考慮した損失超過確率

曲線は、超過確率が高い領域では地震動だけを考慮した時の曲線に、超過確率が低い領域では地震火災だけを考慮した時の曲線に支配され、超過確率が中位の領域では両方の曲線に大きく依存する。すなわち、地震動だけを考慮した従来のシングルハザードのリスク評価では、損失の超過確率が過小評価され、特に、頻繁には起こらないものの地震後の火災が地域に壊滅的なインパクトを及ぼし得る点が見落とされることになる。この結果は、マルチハザードリスク評価の重要性を強調している。一方、津波火災については、津波の伝播・浸水、津波による石油タンクの移動、石油の流出・拡散、石油の燃焼拡大、火災からの熱放射、の一連の現象を様々な不確実性を考慮して数値的にシミュレートするための計算枠組みを構築し、大阪市港湾エリアに適用して、確率論的津波火災ハザード評価を実施した。

さらに、地震と洪水による複合災害の事例として、1830年8月19日（文政十三年七月二日）に発生した京都盆地北西部付近を震源とする地震による被害を調査した。京都盆地南部の巨椋池周辺の堤防に亀裂や堤体の沈下が発生し、これらの地域は地震発生の半月後に豪雨に見舞われ、堤防が決壊して宇治川が流れを変え巨椋池に流れ込む状況となったことが分かった。

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。

2022年度は新規8課題と継続4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

「津波被害予測における震源モデルの不確実性の評価」では、多様な津波波源を考慮した地形による津波増幅率の推定や、津波の応答関数推定などにより、防災工学的な側面に立った社会実装のための準備を行った。

津波増幅率については、高速で簡便に沿岸域の津波水位を求めるため、メキシコ太平洋側で発生する海溝型地震を対象に、地形の効果による津波の増幅率を推定した。増幅率の推定では、多数の地震シナリオに基づいた数値計算結果と津波発生時の水位の空間分布を用いて、最大津波波高から波源の影響を除くことを試みた。求めた増幅率と波源の情報を用いて沿岸域の最大津波波高を推定し、数値計算結果との比較を行った。初期水位分布全体を考慮し、波動方程式の解の重ね合わせによって算定したパラメータは、最大津波波高との強い相関が確認された。これによって、波源の情報を表すパラメータ

と当該地点での津波の増幅率を表す回帰係数への分離が可能となった。さらに、この波源の代表パラメータと増幅率を用いて沿岸の最大津波波高を簡便に予測するモデルを構築したところ、メキシコのゲレロ州沿岸域においては水深 10 m 程度まで数値モデルと同様な確率分布を得た。以上の結果より、この津波増幅率は、波源の特性に依存しない周辺地域との相対的な津波ハザードの大きさを表す指標として有用であることが示唆された。この成果は Pure and Applied Geophysics に掲載された。

地形による津波の応答関数については、南海・東南海地震想定域で多数の地震津波シナリオにもとづいた津波計算を行い、対象地域は駿河湾内部およびその周辺沿岸域の地形による津波の周波数応答特性を求めた。まず、確率論的過程にもとづいて震源断層モデルを多数生成し、生成したそれぞれについて津波計算を行い、波源域・沿岸域での時系列波形のスペクトル解析を行うこと津波の応答関数を求めた。この波源域沿岸域の評価地点の選定には、津波の波線追跡から伝播経路を抽出し、その経路上の地点を用いた。求めた応答関数については、地形形状から概算した固有周期と比較し、その妥当性について評価する。その結果、対象地点間のスペクトル比のシナリオ間アンサンブルをすることで、津波伝播過程でのそれぞれのスケールに対応した卓越周期が抽出された。また、抽出した応答関数は単純化した地形条件での理論的な共振周期と一致し、本手法の妥当性が示された。本研究で求めた応答関数は、波源スペクトルからの畳み込みによる沿岸域の最大津波振幅の予測や、津波の継続時間の定量的予測への応用が期待される。以上の成果は、土木学会論文集 B2 (海岸工学) に掲載され、海岸工学講演会で口頭発表された (拠点間連携共同研究 [課題番号: CT0C22]、Chida et al., 2023、Fukui et al., 2022、Miyashita et al., 2022a、Mori et al., 2022、宮下・他, 2022a、菅沼・他, 2022a、Miyashita et al., 2022b、宮下・他, 2023、宮下・他, 2022b、菅沼・他, 2022b、Miyashita et al., 2022c)。

「1m-LiDAR DEM を用いて検出された地すべりなどの不安定土塊の微動及び地震動観測による相対的危険度評価」では、現在、変位が継続している徳島県三好市西井川の地すべり地において、末端、地すべり土塊内部、その隣接する谷部、谷部の地下水位の高い部位で、長周期速度計により地震に対する応答の比較観測を実施した。地すべり土塊の末端は、南北に切り取り部があり東西方向に指示する構造がない。また、地震計を設置した隣接する谷部は東西方向で、地すべり土塊の側方を侵食する構造である。震源がほぼ西に位置する 2022 年 11 月 22 日 10:24、深さ 46km M3.7 豊後水道を震源とする地震、震源がほぼ南に位置する 2022 年 12 月 29 日 01:47、深さ 35km M4.4 高知県東部を震源とする地震について、地すべり土塊の特徴的な地形を有する地点の地震波への応答を比較し、各部位の地震に対する危険度の評価をおこなった (拠点間連携共同研究 [課題番号: CT0C26]、齊藤, 2022、齊藤, 2023)。

「活断層末端の活火山地域における大規模斜面崩壊の発生予測に関する研究 -1858 年 (安政五年) 立山、鳶崩れを例として-」では、コア掘削調査に先立ち、国土交通省北陸地方整備局立山砂防事務所が 2017 年に実施した航空レーザー測量のデータ (1 m グリッド数値標高モデル) から作成した MPI 赤色立体地図実体視画像 (Kaneda & Chiba, 2019) を使用し、鳶崩れ周辺を含む立山カルデラ全域の山体重力変形地形マッピングを行った。その結果、カルデラ東縁部 (室堂山~獅子岳にかけての地域) および南縁部 (鳶崩れ~五色ヶ原にかけての地域) にとくに山体重力変形地形が集中することが明らか

かとなった。とくに南縁部には、多数の山体重力変形地形と鳶崩れを含む新鮮な大規模崩壊地形が共存することから、この周辺は、山体重力変形が十分に進行して大規模崩壊へと移行するステージにある可能性がある。一方、鳶崩れ周辺に着目すると、鳶崩れ方向（北西方向）への斜面変形を示唆する山体重力変形地形群（図5の赤字 a 周辺）と、北方向への斜面変形を示唆する山体重力変形地形群（図5の赤字 b 周辺）の2系統の山体重力変形地形が確認でき、この山（大鳶山）が大きく2方向に変形していることが明らかとなった。

次に、鳶崩れにいたる山体重力変形過程を明らかにするため、鳶崩れの滑落崖直上に位置する重力性凹地（小湖沼）において、可搬型パーカッションコアリングシステム（金田ほか，2018）によるコア掘削調査を実施するとともに、採取したコア試料について、テフラ分析および放射性炭素（C-14）年代測定を実施した。掘削を行った凹地は、2系統の山体重力変形地形のうち北方向の斜面変形に伴うもので、稜線直下にあるもの（「大鳶小池」と呼ぶ）とそれより南側のやや低い位置にあるもの（「大鳶池」と呼ぶ）の2箇所である（図5、挿入図）。2022年7月12～17日に現地確認のための偵察調査を行ったのち、9月2～9日に本調査（現地への機材運搬およびコア掘削）を実施した。コア掘削機材については、別調査のため、前年（2021年）夏にヘリコプターを用いて掘削地から約2 kmの距離にある五色ヶ原山荘に運搬・越冬保管されていたものを使用し、山荘から現地までは人力で運搬した。また、掘削したコアについては、登山口である室堂ターミナルまで人力運搬の後、研究室に郵送した。なお、調査のベースとする予定だった五色ヶ原山荘が新型コロナウイルス感染発生によって本調査直前に閉鎖となってしまったことや天候不順の影響により、実際にコア掘削を行うことができたのは9月5日の1日のみであった。

最初に掘削を行った大鳶池では、深度187 cmまでのコアが採取された（図6 a）。コアは大きく、上位から黒褐色～褐色有機質シルト層（A層；深度0～66 cm）、細～小礫混じりの明褐色シルト～砂層（B層；同66～149 cm）、礫層（C層；同149～187 cm）の3層で構成される。層相や周辺の露頭情報から、B層・C層は凹地形成前の稜線上緩斜面に堆積した風成・崖錐堆積物である可能性が高く、現在と同様の湖沼環境が推定されるA層の基底がこの凹地（大鳶池）の形成層準と考えられる。テフラ分析の結果、A層の基底直上に明瞭な火山ガラス含有率のピークが認められ、火山ガラスの形態や鉱物組成などからこれはK-Ah テフラ（7196～7307年前；Smith et al., 2013）と考えられる。3箇所の有機質堆積物試料のC-14年代測定からもK-Ahと矛盾しない結果が得られ、これらの情報に基づいて凹地形成年代を外挿によって求めると7700～8500年前となる。

一方、続いて掘削した大鳶小池では、時間的な制約から深度102 cmで掘削を中止せざるを得なかったが、採取されたコアは、一部に礫層を挟むものの深度102 cmまで湖沼成の黒褐色～暗褐色有機質シルト層であり、この堆積物はさらに深部まで続いていると考えられる（図6 b）。このコアにおいても、深度85～90 cm付近にK-Ah テフラと考えられる火山ガラス含有率のピークが認められた。有機質堆積物試料のC-14年代値については、1試料にK-Ah層準との矛盾が認められたため、(1) この年代値のみを棄却した場合、および(2) このコアのすべてのC-14年代値が信頼できないと考えてK-Ah層準のみを使用した場合の2通りのケースを想定し、外挿によって深度102 cmの年代

を求めると 8100～10600 年前となる。したがって、大鷲小池の形成は、少なくともこの年代より遡ると考えられる。

以上のコア掘削結果から、大鷲池や大鷲小池は 1858 年の鷲崩れ発生時に形成されたものではなく、これに先立つこと少なくとも 8000 年以上前に開始した山体重力変形によって形成され、その後、長い準備期間を経たのちに鷲崩れにいたったことが明らかとなった。この山における山体重力変形の開始時期については現時点では定かではないが、おそらく 10000 年以上前に最初に大鷲小池を形成する山体重力変形が発生し、その後、7700～8500 年前に大鷲池を形成する山体重力変形が生じた可能性が高い。ここで興味深いことは、大鷲池の形成年代が跡津川断層の 4 回前の活動時期（7500～8100 年前；地震調査研究推進本部地震調査委員会，2004）とよく合致することである。地震時に山体重力変形が進行した事例が多く知られていることや（Ponti & Wells, 1991 など）、鷲崩れが跡津川断層の最新活動（1858 年飛越地震）により発生していることなどを考えると、跡津川断層の活動のたびに大鷲山の山体重力変形が間欠的に進行したのちに、ついに 1858 年の活動時に大規模崩壊にいたった可能性がある（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC33]、福井・金田，2022）。

「活断層により形成される盆地端部構造と歴史地震の被害分布との関係に関する研究」では、既往の文献調査に加え古文書の調査などに基づき、1894 年（明治 27 年）庄内地震の被害について調査した。1894 年庄内地震の被害は、地震発生直後に行われた被害調査の報告から南北走向の庄内平野東縁断層帯に沿う地域に加え、庄内平野を流れる最上川、赤川、京田川の流域周辺を中心に酒田市の沿岸部に至る地域にまで東西方向に広がっていたとされている（小藤，1895；水田・鏡味，2011；水田・鏡味，2013 など）。この被害を説明するために「矢流沢（やだれざわ）断層」と呼ばれるほぼ東西方向に伸びる地表地震断層が図示されていたが、近年の地下構造・活断層調査により、その存在は否定されている。被害分布図からは庄内平野東縁断層帯（北部）に沿った被害分布が認められるほか、余目背斜と呼ばれる地下構造が存在する地域で被害が少なかったことが読み取れる。このことから、余目背斜上では、地震基盤が浅く、軟弱な表層地盤が薄いために地震動の増幅が比較的小さかったことが推定される。また、矢流沢断層が想定された地域において被害が大きかったことについては、最上川沿いに軟弱な地盤が厚く堆積していることと関連が深いことが想定される。一方、既往の地下構造調査により、庄内平野の東端では庄内平野東縁断層帯の活動による褶曲構造により、基盤が西方向に基盤が深くなるように傾斜していることがわかっている（地震調査研究推進本部，2009）。さらに、既往研究の庄内平野における地震動観測記録の分析により盆地中央部より盆地西部の沿岸部（酒田市周辺）で基盤が深いと推定されており（佐藤・他，2009）、盆地東端部だけではなく、盆地内でも基盤深さが変化していることが示唆される。庄内平野の盆地端部構造及び庄内平野東縁断層帯の地下形状によって、平野内に被害集中域が発生した可能性も考えられる。ところが、地震動予測式を用いた地震動予測では、被害分布に対応するような地震動分布は再現されない（地震調査研究推進本部，2009）。このことから、1894 年庄内地震の被害と地震動およびそれに大きな影響を与える基盤構造との関係を調査するためには、庄内平野東縁部のみならず、盆地全体の基盤構造を詳細に調査する必要があることが分かった。加えて、1894 年庄内地震に関する既存の文献資料（水田・鏡味，2013）に関するデータの収集も行った。2023 年度には、

これら結果を踏まえて調査・観測を計画・実施する一方で、集落ごとの被害統計を GIS データ化し分析を行う。

1830 年文政京都地震の震央は京都盆地北西部端付近と推定されているが、建物・人的被害は京都盆地東縁部に沿って南北に被害が集中していたことがわかっており（大邑, 2019）、その原因に関して盆地端部構造との関係について調査した。その結果、被害が集中した五条通から伏見稻荷大社にかけて地域や伏見の辺りの地域では街道沿いで建物が多く存在していたということもあるが、盆地境界の直上ではなく盆地端部から数百 m 西に離れた地域に盆地境界に沿って続いていることが分かる。また、被害集中域よりも北側では、盆地境界の位置が東に移動するため、被害箇所も同じように東に移動する。この現象は、エッジ効果（Kawase, 1996）によるものと推察されるが、京都盆地東縁端部を模した単純な基盤構造モデルによる地盤増幅特性のシミュレーションでは、建物被害に大きな影響を与える周期 1 秒前後の地震動の増幅は盆地端部より西側に数百 m 離れた場所で最も大きくなることを示した（図 7）。このことから、1830 年文政京都地震の際の被害の集中は、盆地端部におけるエッジ効果によるものと推察された（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C35]、松島・他, 2022）。

「日本の強震観測点における ESG 研究成果の収集および分析」では、まず、研究会を開催し、研究参加者が研究実績のある地域を選び、強震観測点での ESG に関する研究文献などを収集した。図 8 には、2016 年熊本地震の発生後に行われた KiK-net 益城強震観測点での微動アレイ観測の結果をまとめたものである。6 グループによって微動アレイ観測が行われ、レイリー波位相速度が得られている。すべての位相速度は、比較的よくまとまっており、大きな系統的な差異はない。図には、検層による S 波速度構造に対する理論位相速度も示されている。検層による理論値は、周波数 8～20Hz ですべての観測結果よりも大きくなり、検層によるモデルの S 波速度の値に改良の余地があることを示している。図には、各グループにより得られた S 波速度構造モデルも示されている。観測位相速度のばらつきに比べて、モデルのばらつきは大きいことがわかる。逆解析時の異なる仮定が使われており、その違いがモデルの推定に大きい影響を与えていると考えられる。図 9 は、各モデルに対する 1 次元増幅特性を示している。増幅特性は類似しており、各地盤モデルが位相速度で拘束されているために、モデルの波動的特徴（増幅倍率やピーク周期など）が類似することを示唆している。

本研究では、ESG 6 で議論された熊本平野での強震動のブラインドテストの結果についても詳しく調べた。ステップ 1 として行われた微動及び表面波探査の観測データの分析と S 波速度モデルの推定では、複数の参加者による位相速度の推定結果は類似しているが、S 波速度構造モデルは大きく異なっていることがわかった。これは、上記の KiK-net 益城での結果と同様である。この 2 つの事例は、今後、モデルの推定時の合理的な仮定の設定に関するコンセンサスの必要性を強く示している。さらに、ブラインドテストのステップ 2 および 3 として行われた弱震動および強震動の推定結果に関する議論も行った。図 10 左には、2016 年熊本地震の本震の強震動の予測結果が示されている。これらの予測波形を用いて、Anderson (2004) による GOF (Goodness-of-fit) 分析のうち、Arias duration (C1)、Energy duration (C2)、Arias intensity (C3)、Energy integral (C4)、Peak acceleration (C5)、Peak velocity (C6)、Peak displacement (C7)、Response spectra (C8)、Fourier spectra (C9) の比較指標

で検討した。図 10 右に、本震の予測結果に対する各指標が示されている。下段は、各予測の GOF の平均である。また、中段は各指標の平均であり、C3、C4 および C9 の値が低くなっているが、その他の指標は高い値である。下段は、手法別の評価値である。各手法に対する周波数 0.5–1、1–2 Hz の GOF 分析結果では、2D および 3D 手法の予測結果が高くなっている。このことは、岩盤サイトで観測された記録を利用した 1D 手法よりも盆地生成表面波や盆地転換表面波を考慮できる 3D 手法が有効であることを示していると考えられる（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC37]、津野・他，2023）。

「1923 年関東地震の木造建物被害率に基づく震源破壊プロセスの解明」では、まず関東地震による震源インバージョンに関する研究論文、および建物被害に関連する資料および論文を収集し、短周期地震動生成域を求めるための拘束条件となる大被害地域、無被害地域、そして各地域における地震発生当時の市街地中心部を当時の地形図によって把握することにより、計算対象となる強震動評価地点を決定し、その計算地点中で大被害地域内にある各地点において微動観測を行って、微動の水平上下スペクトル比 MHVR を計算した。そして Kawase et al. (2018) の提案した EMR 法で擬似地震動水平上下動比 pEHVR を求め、それに対して Nagashima et al. (2014) の拡散波動場に基づく地盤構造同定手法を適用して、当該地点でのサイト増幅特性を求めた。MHVR からこの地点では卓越振動数が 1Hz 付近にあり、その増幅度も大きいことから、大被害の発生に当該サイト特有のサイト増幅特性が寄与していたものと考えられる。

この MHVR を EMR 法により pEHVR に変換し（図 11）、Nagashima et al. (2014) の拡散波動場理論による EHVR からの速度構造同定手法を利用して速度構造を同定した。さらにその構造から一次元の S 波サイト増幅特性を求め統計的グリーン関数を用いた波形合成法の計算準備を整えた。

一方震源のモデル化については研究計画に従い、Sekiguchi and Yoshimi (2011) の手法により 1923 年関東地震の不均質震源モデルを構築し、SMGA のサイズや面積が強震動予測レシピに従うものとなっていることを確認した。

建物モデルの年代別存在比率については文献および資料を収集し、1923 年当時の年代別存在比率を計算した（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC39]）。

「既存在来木造建物に大きな被害を引き起こす地震動の発生要因に関する研究」では、2003 年十勝沖地震の KiK-net 厚真のような 2 秒よりやや長い周期が卓越して揺れの数が多い地震動の発生要因について表層地盤を対象に分析を行った。過去に発生した地震動の卓越周期と繰り返し回数を求め、これらと V_{s30} （表層 30m の平均せん断波速度）の対応関係を図 12 に示す。これを見ると、揺れの数が 2 秒よりやや長く揺れの数が多い地震動は、 V_s が 200m/s 以下の軟弱地盤で発生していることがわかったが、表層地盤が軟弱でも必ずしもそのような地震動が発生するとは限らず、引き続き発生要因について検討が必要である。

また、KiK-net 厚真の強震記録を、開発した実大 1 層縮約試験体（図 13）に入力した振動実験を行った。その結果、非常に大きな被害となり、解析的な結果が確認された。得られた変形角–ベースシア係数関係を図 14 に示す。最大変形角は、1/10 近くに達し、内外装材が剥落後、両筋交が座屈して全壊に至った（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC40]、境・他，2022、汐満・他，2022）。

(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

「リアルタイム地震情報配信手法の高度化に向けた地盤特性の影響度評価」では、建物の図面が現存していない、70年代以前に竣工されたL字型平面を有する低層RC造病院建物を対象に、モード情報を踏まえた振動解析により建物各部の詳細な応答を予測した。モード情報の同定には令和3年夏に実施した微動観測記録を用いた。また予測結果の検証には、令和3年春から稼働する建物の基礎階と上部階の2か所での地震観測システムで得られた実際の地震応答記録を利用した。建物の損傷および建物内の室内被害に用いる応答について、現状では観測階の加速度応答の最大値や積分により得られた変位を基礎階と上部階で線形補間して非観測階の加速度波形や層間変形角を予測するに留まっている。図15に振動モデルによる予測結果と実際の地震応答記録を比較する。左図は地震観測点(7と19)および微動観測軸である。中央図に示す予測波形の最大振幅は、最も精度の高いモデルパラメータでは多くの地震で誤差30%以内に収まった。観測点は2点に留まるが、振動モデルを利用することで、各部の応答を詳細に予測することが可能となる。右図では建物の両端部のモード振幅が大きくなるねじれモードや、中央部分がたわむモード、屋上階塔屋の局所モード、の影響を表現できている。

また地盤モデルを考慮した数値解析モデルの構築方法を検討した。対象建物の候補は、観測対象の病院建物である。解析方法は、地表面-建物間の伝達関数を用いた周波数応答解析とし、解析モデルは①質点系のスウェーロッキングモデル、②3D-FEM解析モデルの2種類を検討した。構築した3D-FEM解析モデルの一例を図16に示す。構築した解析モデルを用いて、拠点となる建物の強震記録から対象地域の地表面地震動の評価方法を検討した。さらに、建物基礎部と周辺の地表面で観測された地震動のスペクトル特性を分析し、建物と地盤の相互作用の影響について議論した。

今後の連携活動の研究シーズとして、海域観測網などの異なる観測網を統合的に用いて、緊急地震速報を更なる高精度・迅速化を目指す取り組みや、深層学習を活用した地震カタログの高精度化、スロー地震の一種である浅部微動のモニタリングシステムといった地震解析処理の最新の取り組みについて議論した。また地震情報配信の実例や、長周期波動場のモニタリングによるリアルタイム地震解析システム(GRID MT)の詳細および緊急地震速報配信における予報業務許可に関する地震研究所(および東京大学)においての運用の実例について情報を共有した(拠点間連携共同研究[課題番号:CT0C23])。

「連続地震動観測による大規模地すべりの再活動危険度評価」で得られた成果の概要は以下の通りである(拠点間連携共同研究[課題番号:CT0C36]、王, 2022、Wang, 2022)。

(i) 西南日本で発生した再活動型大規模地すべり地において、6台の地震計により連続地震動観測、ほぼ全体をカバーするような稠密微動観測、高精度表面波探査及び電気探査などを行った結果、大規模地すべりにおける地震動特性を推測する場合には、斜面の地質特性や地形特性による影響を別々に考える必要があることを明らかにした。また、斜面における大規模地すべり土塊は、大地震時には豪雨時とは異なったすべり面を形成し、移動する可能性があることがわかった。

(ii) 2018年北海道胆振東部地震により幌内地区(砂岩泥岩互層地域)において発生した大規模岩盤地すべり地における3台の地震計を設置し、連続地震観測を行った。

また、地すべり地の源頭部および末端付近にすべり面を形成した土層から土試料を採取し、異なる载荷条件下でせん断実験を実施した。地震観測データについての解析は進行中であるが、採取した土試料に対するせん断実験を実施した結果、(a) 砂層から採取した試料を用いた飽和・非排水せん断においては、高い過剰間隙水圧が発生しうること；(b) 泥質土層から採取した試料のせん断強度（摩擦角度）は 10 度前後で、極めて低いこと、が分かった。

(iii) 地震で大規模崩壊を発生させた地域（大歩危南方地域）を調査し、その地形・地質条件をまとめた。その結果、調査した崩壊地では断層、節理、劈開などの不連続面構造が存在する場合に、そこが分離面またはすべり面となることが示された。不連続面構造の分布や形態が地域的に集中している場所があり、また河川侵食による斜面下方の切断があるような不安定条件を備えた場所で最近の崩壊が発生していることが示された。崩壊が発生した場合に、上流に広大な水域がある河川をブロックする場所があることも判明し、地震直後に河道閉塞のおそれがある地域も存在することが示された。

(iv) 1686 年の貞亨安芸伊予地震等がきっかけとなり崩壊が繰返し発生してきた高知県大豊町のトウジ山周辺を地質踏査した。トウジ山が位置する北東—南西方向に伸びる尾根沿いには硬質な珪質片岩、塩基性片岩が分布し南東へゆるく傾斜している。尾根を挟んで北西側と南東側は主に泥質片岩からなり、徐動性地すべりが多数分布し、徐々に斜面下部に移動するため尾根が常に先鋭化する作用が働いている。このような地形は地震動が増幅されやすく崩壊発生の一因の一つになっていると推測される。

(v) 安政東海・南海地震（1854）により発生した善徳地すべりと有間大崩壊についての現地調査を実施した。善徳地すべりは、吉野川右支川祖谷川の中流域、徳島県三好市西祖谷山村善徳の両岸に位置している。またこの地すべりは、日本の地すべり分類のなかで破碎帯地すべりの最大級のものとして知られている。この地すべりの滑動は、記録が乏しいものの、安政地震（1854 年）を端に発していると言われ、現在も継続している。昭和 57 年（1982 年）より建設省（現国土交通省）の地すべり対策直轄事業が展開されている。有間の大崩壊は、吉野川支流の平石川上流部、土佐町有間に位置する。この崩壊も、安政地震（1854 年）時に推定土量 570 万立米の土砂移動が発生した。その後、有間地区は明治 26 年（1893 年）の豪雨、昭和 21 年（1946 年）の昭和南海地震、昭和 51 年（1976 年）の台風 17 号の豪雨により崩壊域が拡大している。このような大きな土砂の履歴以降、地すべり滑動が拡大し、昭和 53 年度より高知県による地すべり・崩壊対策事業が展開された。

（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

「ばらつきを考慮したハザード想定結果の「受け取られ方」に関する評価研究」では、平成 3 年度の分析結果をもとに改良したシステムにもとづき地表における速度での内閣府の南海トラフ地震動想定の評価を行った。また、前年度の成果にもとづき改良したシステムを用い自治体職員に対するヒアリングを実施し、災害シナリオの多様性があることの理解を深めるための方策の検討、さらには検討成果を踏まえシステムのさらなる改良を行う。ただし、自治体職員のヒアリングについては本年度の地震動評価をふまえて実施するため本報告には反映されていない。

本研究では地表面における速度を用いて地震動シミュレーション結果のばらつきにつ

いての評価を行っている。しかし、内閣府が公表している地震動推定結果は、地表面では震度であり速度については工学的基盤の強震波形のみが公開されている。そのため内閣府のシミュレーション結果を、地表面での最大速度に変換する作業を昨年度から実施している。昨年度は、簡易的な手法を用いて変換を行った結果、60 cm/s を超える最大速度が多く算出された。また 200 cm/s を超えるような地点も多く、最大の地表最大速度 (PGV) は高知県で約 680 cm/s となった。

一方、過去の代表的な地震の最大速度は 2016 年熊本地震で約 240 cm/s、2011 年東北地方太平洋沖地震では約 100 cm/s であり、第一段階として観測上の最大値である約 240 cm/s を地表最大速度 (PGV) の上限値として内閣府による地震動シミュレーション結果の変換を行った (図 17)。さらに検討を進め内閣府 (2012) の前身である内閣府 (2009) による表層地盤モデルを用いて南海トラフ巨大地震に対して地震応答解析を実施した (図 18、拠点間連携共同研究 [課題番号 : CT0C30])。

「桜島大規模噴火による大量軽石火山灰降下に対する事前広域避難に向けた実践的研究」は、大量軽石火山灰降下による被害の恐れがある鹿児島市街地の八幡校区の住民を対象に桜島の大規模噴火の切迫期における実行可能な危機対応体制を構築し、被災影響の軽減を図るものである。本研究の特徴は、専門家が住民に対して何が正しいかを教えるのではなく、住民が主体的に検討し、専門家は住民の検討を支えるメンターとして位置づける点にある。

令和 3 年度までに、2 回のワークショップ (以下 WS) を実施しており、大量軽石火山灰降下が生じた時の状況を想像し、WS 参加者がおのおの生じる問題について考えることを通じてハザードの理解を深めた。令和 4 年度は、2023 年 1 月 13 日現在、2 回の WS (第 3、4 回) を実施している。

第 3 回 (2022 年 6 月 22 日) は、同校区の広域避難先に指定されている南さつま市の現地視察を行った (図 19 参照)。その結果、参加者は都市部の住民を受け入れるだけの収容能力が不足していることを明確に認識するに至った。第 4 回 (2022 年 10 月 24 日) は参加者に事前に避難するか、自宅にとどまるかの意思決定をしてもらい、その判断のもとで懸念される事項について考える機会とした。興味深いことに、第 2 回終了時点では、「事前避難」の選択が多数派だったが、現地視察後は、「自宅にとどまる」との選択が多数派となった。言うまでもなく、これは正しい答えがあるような問題ではない。しかし、こうした思索を通じて、住民、研究者が状況改善の糸口を見いだすことが可能となる。これまでの WS を通じたリスクコミュニケーションのプロセスは図 20 の通りである (拠点間連携共同研究 [課題番号 : CT0C34]、Onishi et al., 2022、大西, 2022)。

「リスクコミュニケーションを推進するための地震・火山災害に関する意識調査の標準的な質問紙設計とその有効性の検証」では、火山災害に関する先行研究をレビューし、先行研究を踏まえつつ、できるだけ標準的な調査項目として、以下の 6 項目を設定した。1. 火山現象の特性の理解、2. 対象とする火山が噴火した場合に発生する各噴火現象の理解、3. 溶岩流、火砕流、融雪型火山泥流・土石流の移動速度の理解、4. 避難等に係る用語の認知、5. 各噴火現象と居住地域への影響の認識、6. 避難先や移動方法など。

常時観測火山の近くに立地する 9 道県 15 市町村 (北海道 : 伊達市、壮瞥町、洞爺湖町、豊浦町、森町、七飯町)、福島県 (猪苗代町、二本松市)、栃木県 (那須町)、神奈

川県（箱根町）、新潟県（糸魚川市）、長野県（軽井沢町、御代田町）、熊本県（阿蘇市、高森町、南阿蘇村）、大分県（由布市、別府市）、鹿児島県（鹿児島市）を対象として、作成した質問紙票の質問項目をベースに、オンライン調査を実施し、各地域住民の火山災害に関する意識を明らかにするとともに、設計した調査票の有効性について検討した。

調査結果の一部として、「火山ガス」、「大きな噴石」、「降灰」を図 21～図 23 に示す。まず、活火山を周辺地域として 12 地域を設定した。各地域ごとに、噴火現象の理解度に違いがあることが確認された。この違いがどのような要因については、本調査結からは確認することができない。しかしながら、こうした意識調査票を作成することにより、同じもの差しで地域間の火山に対する意識を比較することが可能となった。また、ハザードマップの認知と保管状況について調査した（図 24、図 25）。ハザードマップを見たことがあるのは、もっとも高い地域で約 9 割、低い地域で約 4 割に留まるなど、地域ごとにかかなりの差が見られた。

詳細な分析は今後行う必要があるが、設計した調査票は火山に関する標準的な質問紙として機能すること、本調査票を用いることにより、地域間の火山に関する住民意識の比較が可能であることが確認された（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC38]）。

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。このため、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、さらにステークホルダとの協働の成果をフィードバックすることで、研究の方向性を議論している。また、総括研究において見いだされた課題や新たな展開を特定型において掘り下げて詳細に検討するとともに新しい技術や考え方について検討し、その成果を総括研究にフィードバックする。さらに総括研究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、重点推進研究の中での循環による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、実施されてきた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高度化しながら継続し、高度化した成果を供出することを目指す。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のみならず、工学、人文・社会科学の研究の発展に必要な観測計画の立案が必要になると考えられる。

成果リスト

- 浅見健斗・井上和真・上田恭平・芹川由布子・下保亮太・服部孝生, 2022, 水平2方向入力地震動に対する砂地盤の非線形応答に関する解析的検討, 日本地震工学会第17回年次大会, F-12-4 (TS 20220283)
- Chang, Chengrui and G. Wang, 2022, Pre-failure Kinematics Strongly Modulated by Shear Localization: An Experimental Study and Its Implication for the Failure-time Forecast of Landslide, JpGU2022, HDS07-13
- Chida, Y., and Mori, N., 2023, Numerical modeling of debris transport due to tsunami flow in a coastal urban area, Coastal Engineering, 179, 104243, doi.org/10.1016/j.coastaleng.2022.104243
- Fujita, K., S. Murakami, T. Ichimura, T. Hori, M. Hori, M. Lalith, N. Ueda, 2022, Scalable Finite-Element Viscoelastic Crustal Deformation Analysis Accelerated with Data-Driven Method, ScalAH22: 13th Workshop on Latest Advances in Scalable Algorithms for Large-Scale Heterogeneous Systems
- 福井幸太郎・金田平太郎, 2022, 立山カルデラの重力断層の現在の活動状況と形成年代, 日本山の科学会 2022 年秋季研究大会, 0-15
- Fukui, N., Mori, N., Miyashita, T., Shimura, T., and Goda, K., 2022, Subgrid-scale modeling of tsunami inundation in coastal urban areas, Coastal Engineering, 177, 104175, doi.org/10.1016/j.coastaleng.2022.104175
- Liu, B. and G. Wang, 2022, Development of Micro-fractures within Shear Zone Revealed by X-ray Micro-CT Scan: Examples from Rock Halite in Ring-shear Experiments, JpGU2022, HDS07-12
- 松島信一・劉之偉・宮腰淳一, 2022, 盆地端部の複雑な基盤段差構造の形状と地盤増幅特性の関係, 日本地震工学会大会第17回年次大会梗概集, A-22-6
- 宮下卓也, 森信人, 志村智也, 2023, 複雑な幾何形状をもつ湾内の長波による水面の応答振動特性, 令和4年度 京都大学防災研究所 研究発表講演会, C314
- Miyashita, T., Mori, N., and Gómez-Ramos, O., 2022a, Local Tsunami Amplification Factors due to the Bathymetric Effect and its Application to Approximate Hazard Assessment on the Zihuatanejo Coast, Pure and Applied Geophysics, 179(12), 4301-4322, doi.org/10.1007/s00024-022-03177-8
- Miyashita, T., Ho T.C., Mori, N., & Shimura, T., 2022b, Tsunami Responses along the Japanese Coast Due to Bathymetry Effect, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 19th Annual Meeting, OS17-A005
- 宮下卓也, HO, T.C., 森信人, 志村智也, 2022a, 日本の太平洋沿岸を対象とした地形効果による津波の周波数応答特性の推定, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 78(2), I_55-I_60, doi.org/10.2208/kaigan.78.2_I_55
- 宮下卓也, HO, T.C., 森信人, 志村智也, 2022b, 日本の太平洋沿岸を対象とした地形効果による津波の周波数応答特性の推定, 第69回海岸工学講演会, 14
- Miyashita, T., Suganuma, R., Mori, N., and Shimura, T., 2022c, SEISMIC AND TSUNAMI HAZARD ASSESSMENT OF COASTAL BUILDINGS IN WEST COAST OF JAPAN, 37th International Conference on Coastal Engineering

- Miyazawa, M., R. Kiuchi and K. Koketsu, 2022, Attenuation Characteristics of High-Frequency Ground Motions from Local Sources Caused by Great Subduction Zone Earthquakes in Northeast Japan, *Seismological Research. Letters* 93(5), 2686-2699, <https://doi.org/10.1785/0220210353>
- Mori, N., Satake, K., Cox, D., Goda, K., Catalan, P. A., Ho, T.C., Imamura, F., Tomiczek, T., Lynett, P., Miyashita, T., Muhari, A., Titov, V., and Wilson, R., 2022, Giant tsunami monitoring, early warning and hazard assessment, *Nature Reviews Earth & Environment*, (3), 557-572, doi.org/10.1038/s43017-022-00327-3
- Nishino, T., 2023, Probabilistic urban cascading multi-hazard risk assessment methodology for ground shaking and post-earthquake fires, *Natural Hazards*, <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05802-0>
- 大邑潤三, 2022a, 1927年北丹後地震による淀川堤防被害の分析, *鷹陵史学*, 48, 27-54, <https://cir.nii.ac.jp/crid/1520293954148859904?lang=ja>
- 大邑潤三, 2022b, 1830年京都の地震による堤防被害とその後発生した水害について, *日本地震学会2022年度秋季大会*, S10-06
- 大西正光, 2022, 長期的視野のリスクコミュニケーション: 桜島大規模噴火に備える地域との協働活動の現在位置, 2022年度桜島大規模火山噴火総合研究グループ研究集会
- Onishi, M., M. Iguchi, G. Nakano, K. Takenouchi, Y. Yama, and K. Yamori, 2022, Designing the Collaborative Process between Residents and Experts for Risk Governance: A Case Study on the Construction of a Wide-Area Evacuation System for the Sakurajima Large-Scale Eruption, *IDRiM 2022 - The 12th International Conference of the International Society for the INTEGRATED DISASTER RISK MANAGEMENT*
- 齊藤隆志, 2023, 地震および豪雨による斜面災害発生個所の事前予測方法の統合, *京都大学防災研究所 年次講演研究発表会*
- 齊藤隆志, 2022, 土砂災害予測基本図による地形変化検出とそれに基づく豪雨・地震による崩壊モデルの提案, *日本地形学連合2022年秋季大会*
- 境有紀・汐満将史・五十田博・江口直希, 2022, 地震動の破壊力を測ることを目的とした簡易木造試験体の開発 (その1) 研究概要と静的実験, *日本建築学会大会学術講演梗概集*
- 汐満将史・境有紀・五十田博・江口直希, 2022, 地震動の破壊力を測ることを目的とした簡易木造試験体の開発 (その2) 振動実験, *日本建築学会大会学術講演梗概集*
- 菅沼亮輔, 宮下卓也, 志村智也, 森信人, 2022a, 大阪市を対象とした南海トラフ地震による津波および強震動被害の複合評価, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, 78(2), I_205-I_210, doi.org/10.2208/kaigan.78.2_I_20555
- 菅沼亮輔, 宮下卓也, 志村智也, 森信人, 2022b, 大阪市を対象とした南海トラフ地震による津波および強震動被害の複合評価, *第69回海岸工学講演会*, 48
- 津野靖士・山中浩明・長嶋史明・川瀬博・松島信一, 2023, 2016年熊本地震の弱震動および強震動ブラインド予測結果のGOF分析への適用, *令和4年度京都大学防災研究所研究発表講演会*
- 上田恭平・芹川由布子・井上和真, 2023, 液状化に伴う直接基礎建物の沈下・傾斜被害に及ぼ

- す地盤物性の空間的不均質性の影響, 土木学会論文集, 79(13)
- 王功輝・巫昇山・古谷元・部直喜, 2023, 2018年北海道胆振東部地震時に発生した大規模岩盤地すべりについて, 京都大学防災研究所年次講演研究発表会, D209
- 王功輝, 2022, 降下火砕物斜面における地震時地すべりの発生・運動機構についてー日本で近年発生した土砂災害を例としてー, 2021年度土砂災害予測に関する研究集会プロシーディング, P89-90. 防災科学技術研究所研究資料, 480
- Wang, G., 2022, Some Recent Coseismic Landslides, Coseismic Landslides: Phenomena, Long-Term Effects and Mitigation (eds: Towhata, Wang, Xu, Massey), Springer, 1, 169-203, ISBN: 978-981-19-6597-5
- Wang, G., B. Liu, I. Doi, T. Kamai, T. Ohkura, 2022, Unraveling the role of halloysite on the initiation and movement of coseismic landslides of pyroclastic fall deposits: a case study, JpGU2022, HDS07-10
- Wu, S., G. Wang, 2022, Shear rate-dependent frictional properties of nanomaterials and implication for high mobility of rock avalanches, JpGU2022, HDS07-14

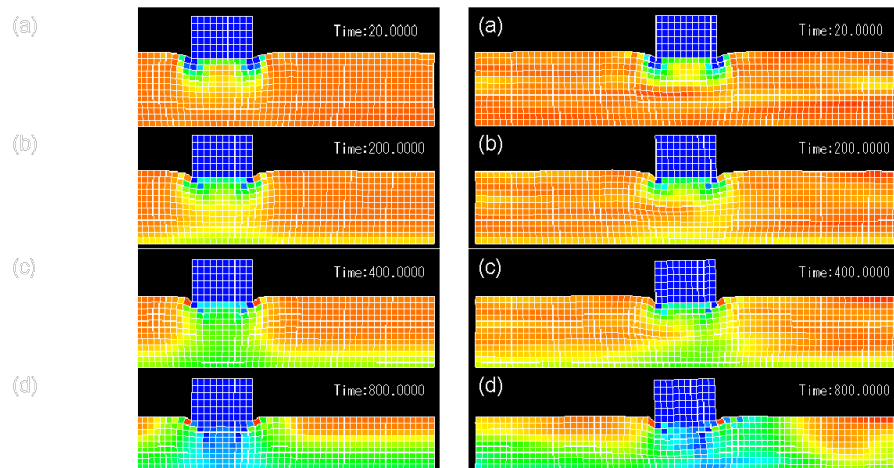


図 1. 液状化の可能性のある地盤上に構築された直接基礎建物を対象に地盤物性の空間的不均質性を考慮した有効応力解析による過剰間隙水圧比の分布（拠点間連携共同研究 [課題番号：CTOC01]、上田・他，2022）

- ・液状化に伴う直接基礎建物の沈下・傾斜評価において、地盤物性の空間的不均質性の影響が無視できない。
- ・基盤面や地表面に傾斜がなく、地震動が正負対称であったとしても、振動後の過剰間隙水圧の消散過程が地点により異なるため、建物の不同沈下や傾斜といった被害が誘発される。

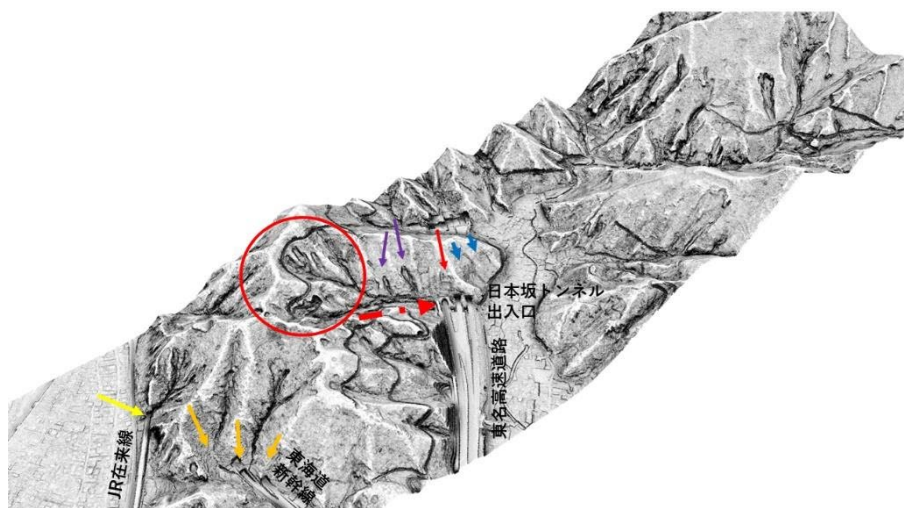


図 2. 地震と豪雨による斜面崩壊に対する高速道路・新幹線などの社会インフラの危険度評価（拠点間連携共同研究 [課題番号：CTOC01]）

- ・東名高速道路日本坂トンネル出入口の直上（赤↓）には北向き斜面にみられる地すべり性の土砂移動（青↓）が起こっていない。
- ・南側の過去に土石流性の崩壊が多発した斜面（赤○）の前兆と考えられる侵食谷（紫↓）が形成されている。
- ・過去の土石流の流下経路（赤い太点線→）を遮断してトンネル出入口道路が建設されている。

- ・ JR 在来線のトンネル出入口（黄↓）と東海道新幹線の出口（橙↓）を含めて、いずれも地震や豪雨に対して、土石流や斜面崩壊が発生する可能性が高いと考えられる地形がみられる。

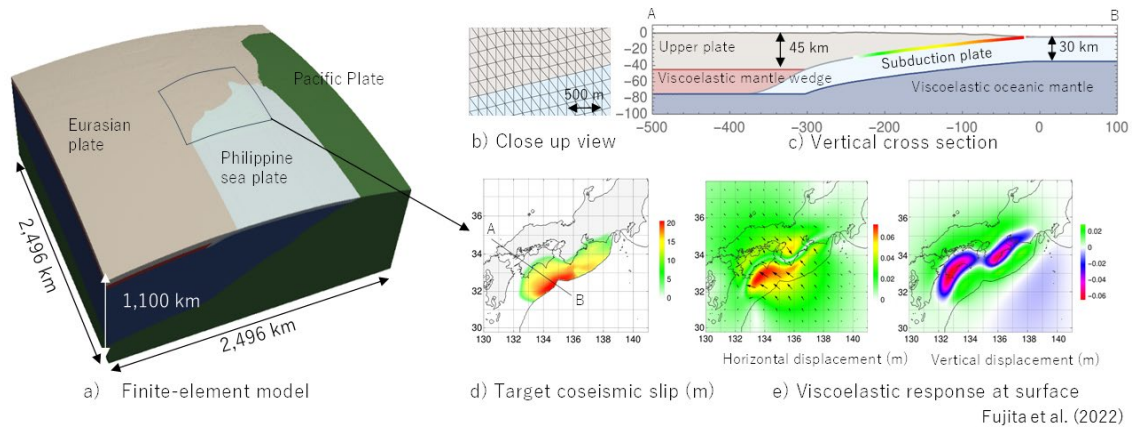


図 3. Data-driven method を活用した高詳細粘弾性地殻変動解析（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC01]、Fujita et al., 2022）

- ・ 過去時間ステップのデータを使うことで粘弾性地殻変動解析の精度を落とすことなく高速化する手法を開発。通常の方法と比べて最大 84 倍速。
- ・ 富岳の大規模並列環境を高効率で使える方法とすることで、南海領域の高詳細 3 次元粘弾性地殻変動解析を実施。

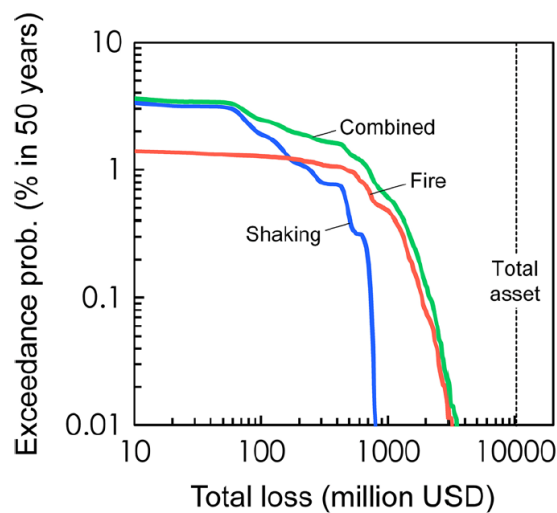


図 4. 京都市上京区の木造密集市街地における地震動とそれに伴う火災の複合効果を考慮したマルチハザードリスク（建物損失額の 50 年超過確率）（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC32]、Nishino, 2023）

対象とした 6 つの内陸地震による京都市上京区の木造密集市街地における地震動とそれに伴う火災の複合効果を考慮したマルチハザードリスク（建物損失額の 50 年超過確率、緑色の線）。青線は地震動だけを考慮した時の建物損失額の 50 年超過確率、赤色は地震火災だけを考慮した時の建物損失額の 50 年超過確率。Total asset は、対象地域全体での建物構造別の延床面積から算定される建物価値の合計。

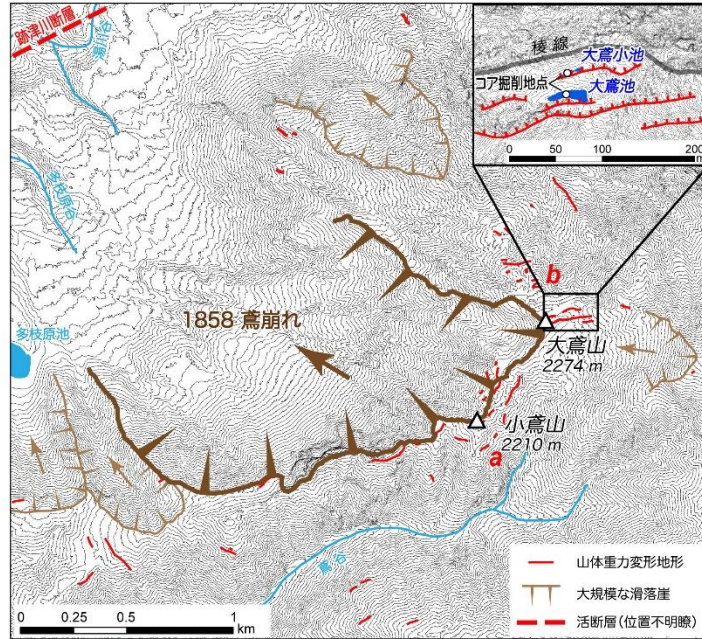


図5. 鷲崩れ周辺の山体重力変形地形・大規模滑落崖の分布と本研究のコア掘削地点（挿入図、拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC33]）

国土地理院 1:25000 活断層図（金田ほか，2019）による跡津川断層のトレースも併せて示した。等高線（10 m 間隔、挿入図は 1 m 間隔）は国土交通省北陸地方整備局立山砂防事務所が 2017 年に実施した航空レーザー測量のデータ（1 m グリッド数値標高モデル）に基づく。

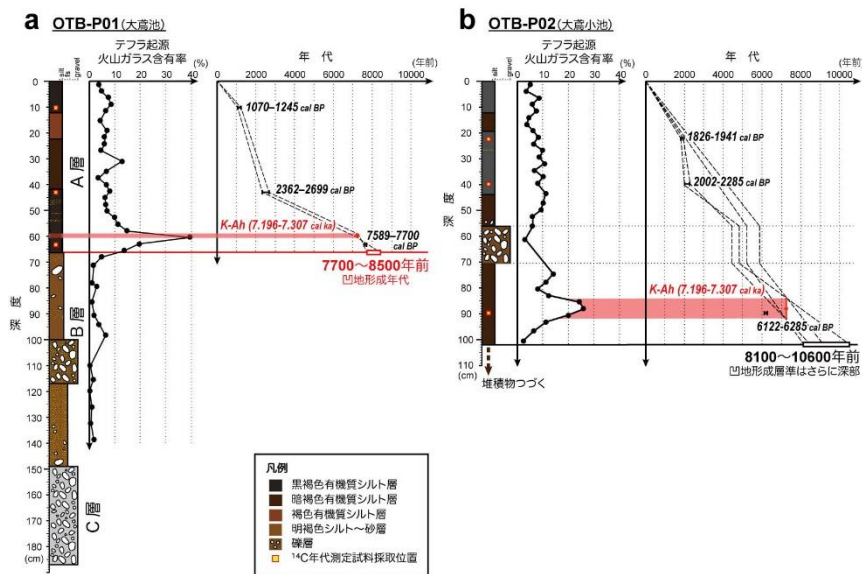


図6. 大鷲池コア（a）および大鷲小池コア（b）の柱状図、テフラ分析結果および深度-年代曲線（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC33]）

最初に掘削を行った大鷲池では、深度 187 cm までのコアが採取された（図 6 a）。大鷲小池では、時間的な制約から深度 102 cm で掘削を中止せざるを得なかったが、採取されたコアは、一部に礫層を挟むものの深度 102 cm まで湖沼成の黒褐色～暗褐色有機質シルト層であり、この堆積物はさらに深部まで続いていると考えられる（図 6 b）。

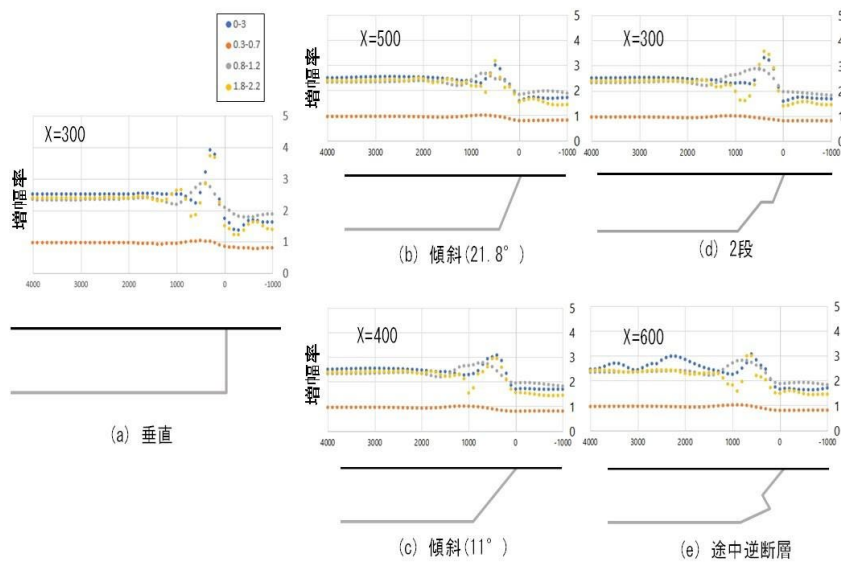


図 7. 平面波入射により計算される盆地端部における地盤による速度増幅率（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC35]、松島・他，2022）

鉛直下方より平面波入射した際のモデル最上面での入射波に対する速度増幅率。全振動数、中心振動数 0.5 Hz、同 1.0 Hz、同 2.0 Hz の地盤増幅率をそれぞれ青、橙、灰、黄の●で示す。

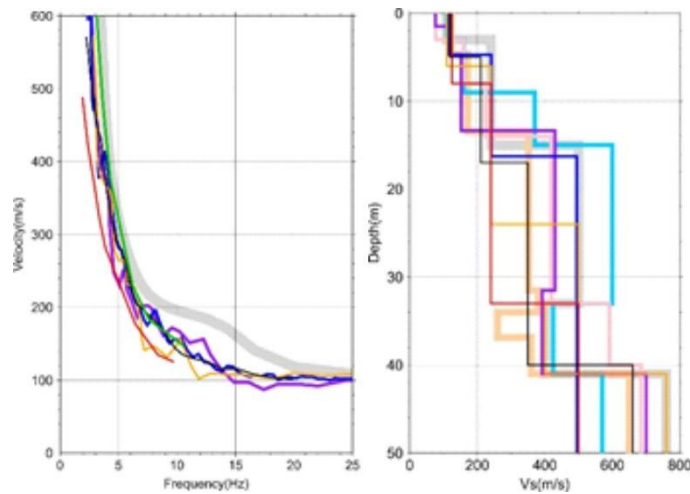


図 8. 2016 年熊本地震の発生後に行われた KiK-net 益城強震観測点での微動アレイ観測の結果（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC37]、津野・他，2023）

KiK-net 益城での微動探査による位相速度（左）と S 波速度構造（右）。

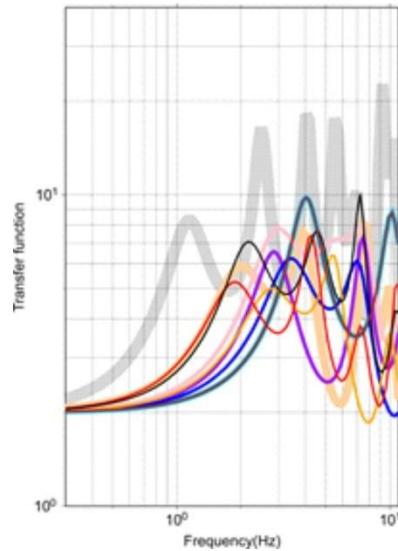


図 9. 図 8 の地盤構造モデルの S 波の 1 次元増幅特性（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC37]、津野・他，2023）
 増幅特性は類似しており、各地盤モデルが位相速度で拘束されているために、モデルの波動的特徴（増幅倍率やピーク周期など）が類似することを示唆している。

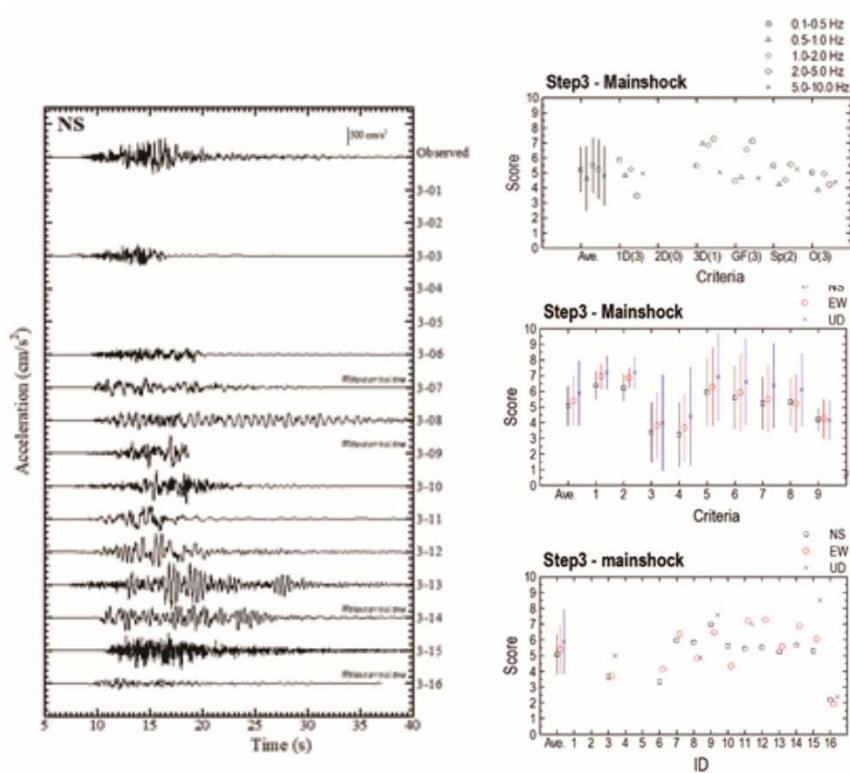
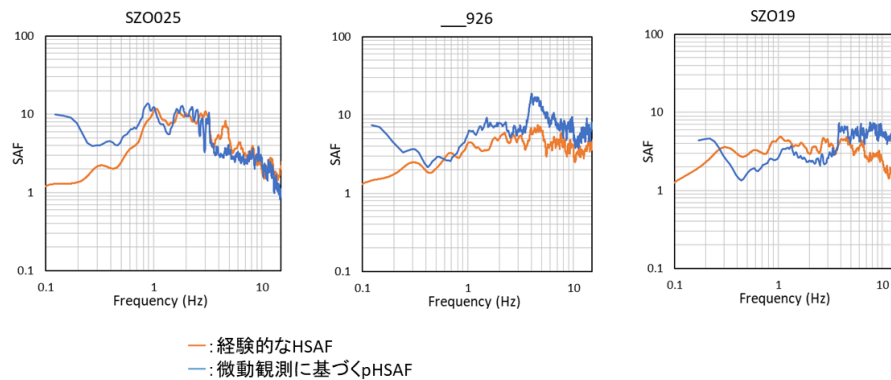


図 10. ESG6 のブラインドテストの結果（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC37]、津野・他，2023）
 左は 2016 年熊本地震の本震の加速度波形の予測結果、右は予測値と観測値を用いて得られる Anderson (2004) の比較指標である。右下：各強震動ブラインド予測結果に対する GOF、右中：各クライテリアに対する GOF、右上：各手法に対する GOF。

強震動観測地点での経験的なHSAFとpHSAFの比較 (pHSAFの妥当性の確認)



pHSAFは既に得られている強震観測地点での経験的なHSAF(仲野,2019)と調和的。

図 11. 微動と地震動の増幅の比較 (拠点間連携共同研究[課題番号: CT0C39])
強震動観測点で分離した水平動のサイト増幅特性と微動の水平上下比に地震動と微動のスペクトル比と地震動の上下動増幅率を補正して得られた推定サイト増幅特性を比較したもの。両者は微動のノイズが影響している低振動数域以外はよく一致している。

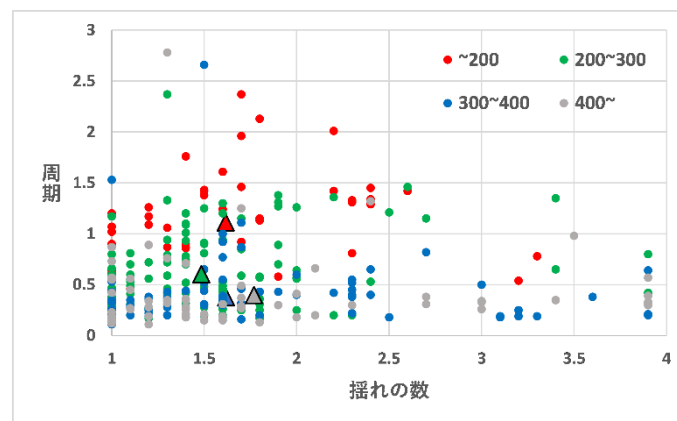


図 12. 過去に発生した地震動の揺れの数と周期と V_{s30} の対応 (拠点間連携共同研究[課題番号: CT0C40])

過去に発生した地震動の卓越周期と繰り返し回数を求め、これたと V_{s30} (表層 30m の平均 S 波速度) の対応関係 (凡例: V_{s30} (m/s))。

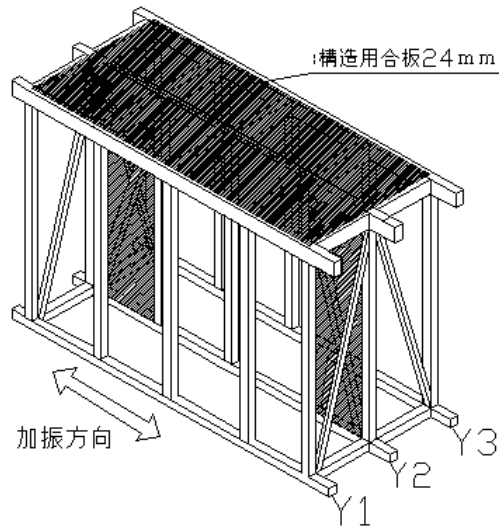


図 13. 本研究で開発した実大1層縮約試験体鳥瞰図（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC40]、境・他，2022）

最低限の筋かいの入った建物を想定した「軸組のみ2構面分と筋かい+面材1構面分」を用いた試験体。

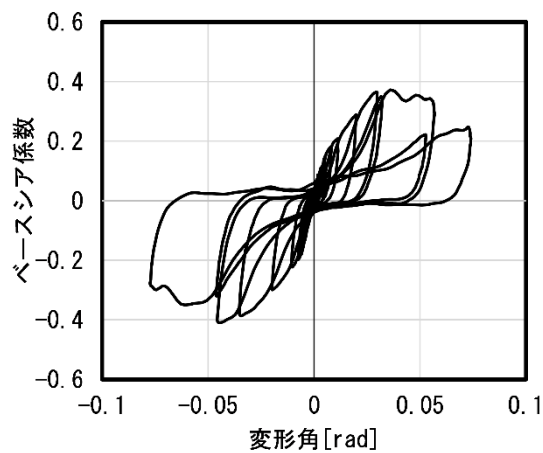


図 14. 実大1層縮約試験体を用いた振動実験結果の変形角－ベースシア係数関係（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC40]）

KiK-net 厚真の強震記録を開発した実大1層縮約試験体に入力した振動実験の結果、最大変形角は、1/10 近くに達し、内外装材が剥落後、両筋交が座屈して全壊に至った。

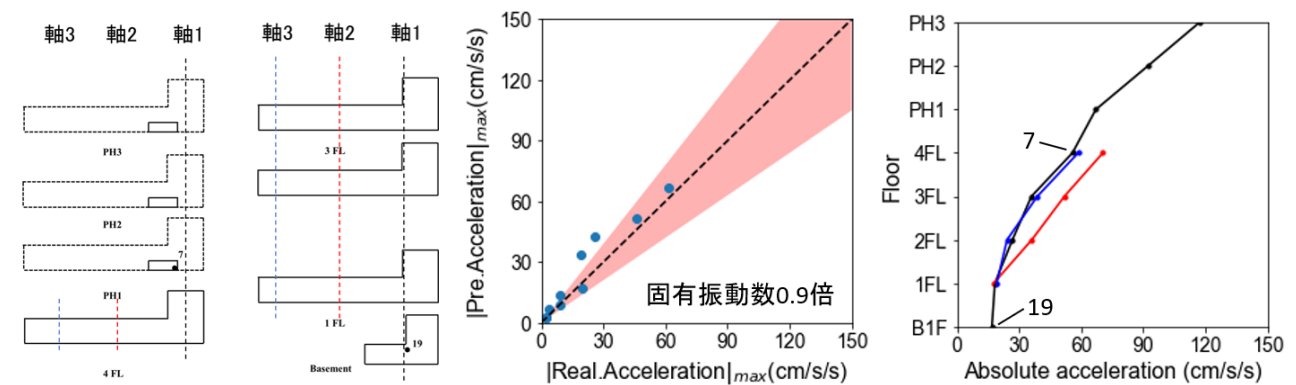


図 15. 微動観測から構築した振動モデルを利用した建物各部の応答予測（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C23]）

左図は地震観測点（7 と 19）および微動観測軸である。中央図に示す予測波形の最大振幅は、最も精度の高いモデルパラメータでは多くの地震で誤差 30%以内に収まった。観測点は 2 点に留まるが、振動モデルを利用することで、各部の応答を詳細に予測することが可能となる。右図では建物の両端部のモード振幅が大きくなるねじれモードや、中央部分がたわむモード、屋上階塔屋の局所モード、の影響を表現できている。

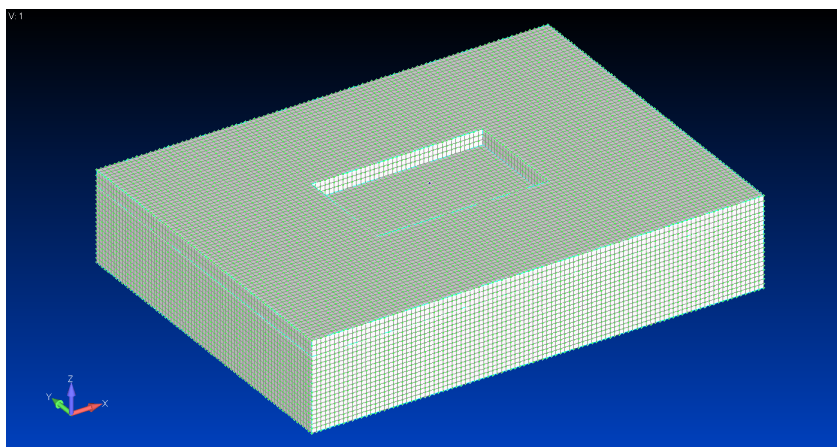
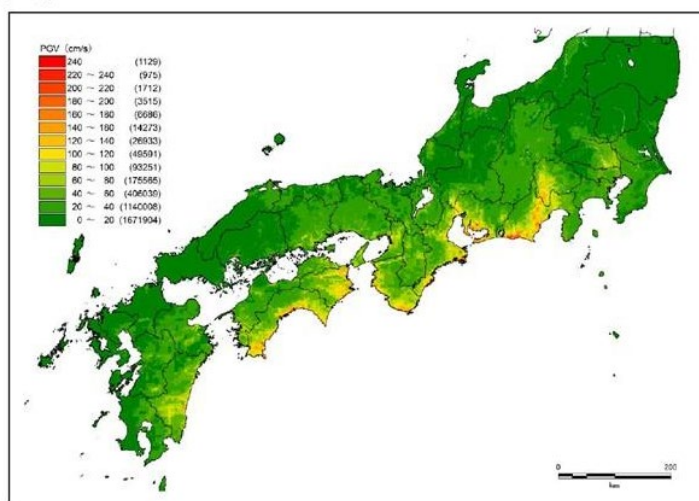


図 16. 地盤の FEM 解析モデルの検討例（直接基礎）（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C23]）

地表面－建物間の伝達関数を用いた周波数応答解析とし、解析モデルは①質点系のスウェーロッキングモデル、②3D-FEM 解析モデルの 2 種類を検討した。

(基本ケース)



240cm/sを最大値としたPGV分布図

図 17. 240 cm/s を最大値とした PGV 分布図（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C30]）
観測上の最大値である約 240 cm/s を PGV の上限値として内閣府（基本ケース）による地震動シミュレーション結果の変換を行った。

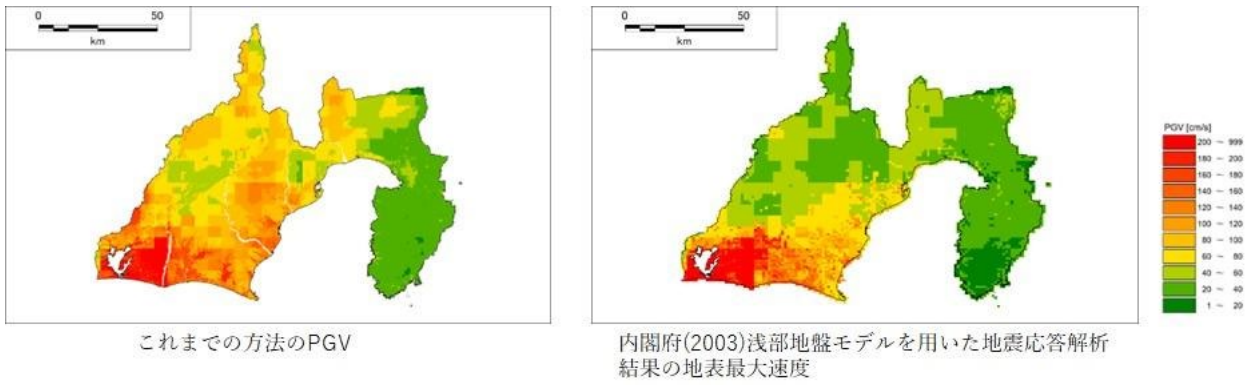


図 18. 内閣府(2003)浅部地盤モデルを用いた地震応答解析結果の地表最大速度（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C30]）
内閣府(2012)の前身である内閣府(2009)による表層地盤モデルを用いて南海トラフ巨大地震に対して地震応答解析を実施。



図 19. 指定広域避難集合場所の視察（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C34]）
鹿児島市街地の八幡校区の広域避難先に指定されている南さつま市の現地視察の様子。

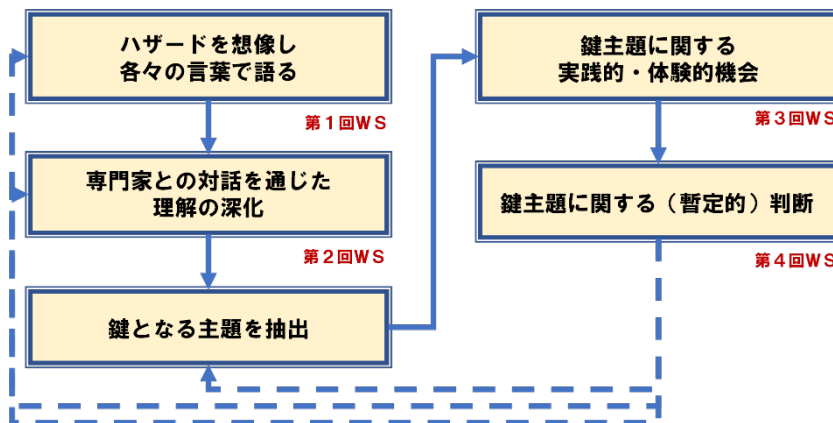


図 20. リスクコミュニケーションのプロセス（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C34]、大西，2022）
鹿児島市街地の八幡校区の広域避難先に指定されている南さつま市の現地視察の様子。

1.火山ガス

・全体では、「ある程度知っている」が44.6%で最も高く、次いで「言葉だけは聞いたことがある」が36.6%で続く。
 ・「割付」では、「森町、七飯町」で「言葉だけは聞いたことがある」、「軽井沢町、御代田町」で「ある程度知っている」、「糸魚川市」で「言葉だけは聞いたことがある」、「由布市」で「まったく知らない（言葉を聞いた記憶もない）」、「別府市」で「まったく知らない（言葉を聞いた記憶もない）」、「阿蘇市、高森町、南阿蘇村」で「内容を含めてよく知っている」が全体

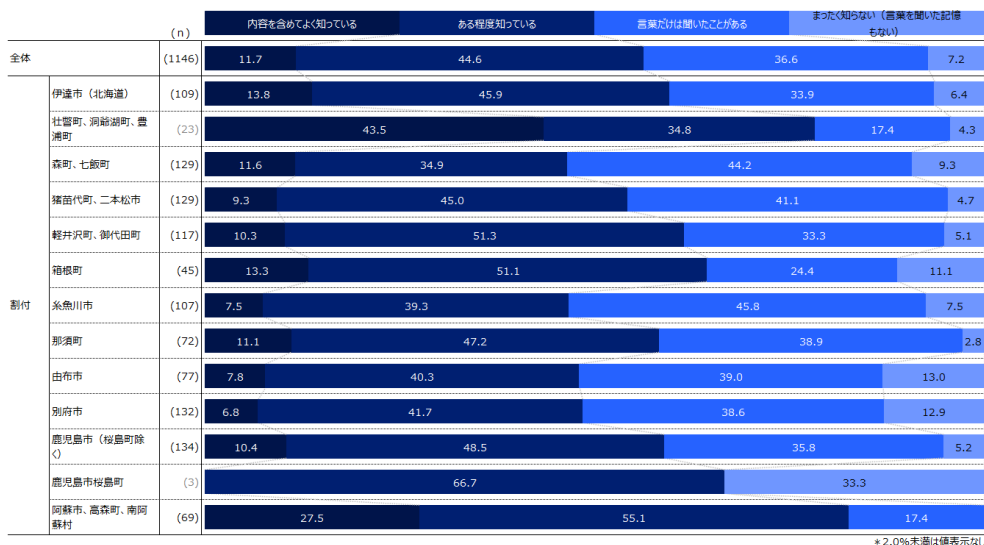


図 21. オンライン調査に基づく噴火現象の理解（火山ガス）（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC38]）

常時観測火山の近くに立地する 9 道県 15 市町村を対象として、作成した質問紙票の質問項目をベースに、オンライン調査を実施した。

3.大きな噴石

・全体では、「ある程度知っている」が50.2%で最も高く、次いで「内容を含めてよく知っている」が24.3%で続く。
 ・「割付」では、「伊達市（北海道）」で「内容を含めてよく知っている」、「箱根町」で「まったく知らない（言葉を聞いた記憶もない）」、「糸魚川市」で「言葉だけは聞いたことがある」、「那須町」で「ある程度知っている」、「別府市」で「言葉だけは聞いたことがある」、「鹿児島市（桜島町除く）」で「内容を含めてよく知っている」、「阿蘇市、高森町、南阿蘇村」で「内容を含めてよく知っている」が全体と比較して高い。

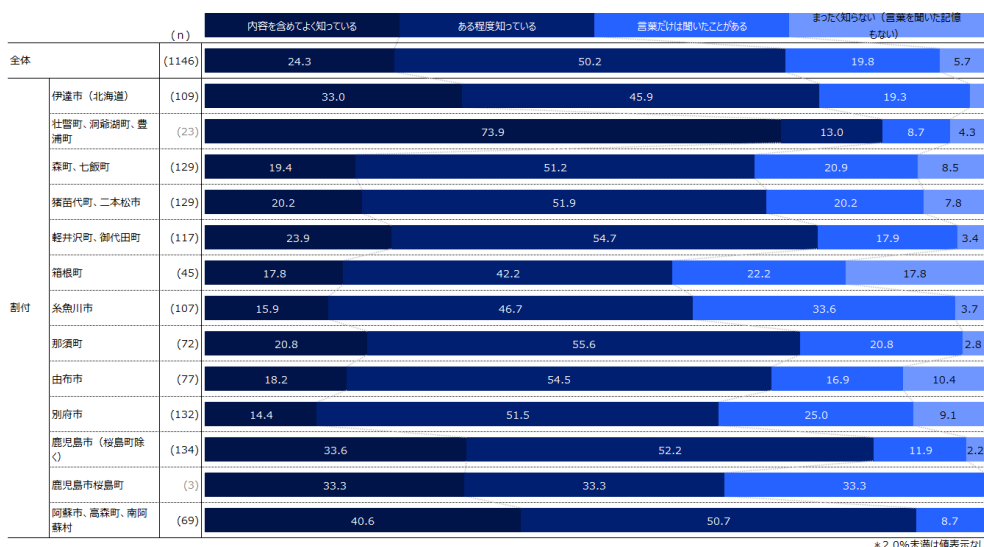


図 22. オンライン調査に基づく噴火現象の理解（大きな噴石）（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC38]）

常時観測火山の近くに立地する 9 道県 15 市町村を対象として、作成した質問紙票の質問項目をベースに、オンライン調査を実施した。

5. 降灰
 全体では、1ある程度知っているが45.5%と最も高く、次いで「内容を言めよく知っている」が36.0%で続く。
 ・「割付」では、「伊達市（北海道）」で「内容を言めよく知っている」、「森町、七飯町」で「ある程度知っている」、「猪苗代町、二本松市」で「ある程度知っている」「言葉だけは聞いたことがある」、「軽井沢町、御代田町」で「ある程度知っている」、「箱根町」で「まったく知らない（言葉を聞いた記憶もない）」、「糸魚川市」で「言葉だけは聞いたことがある」「ある程度知っている」、「那須町」で「ある程度知っている」、「由

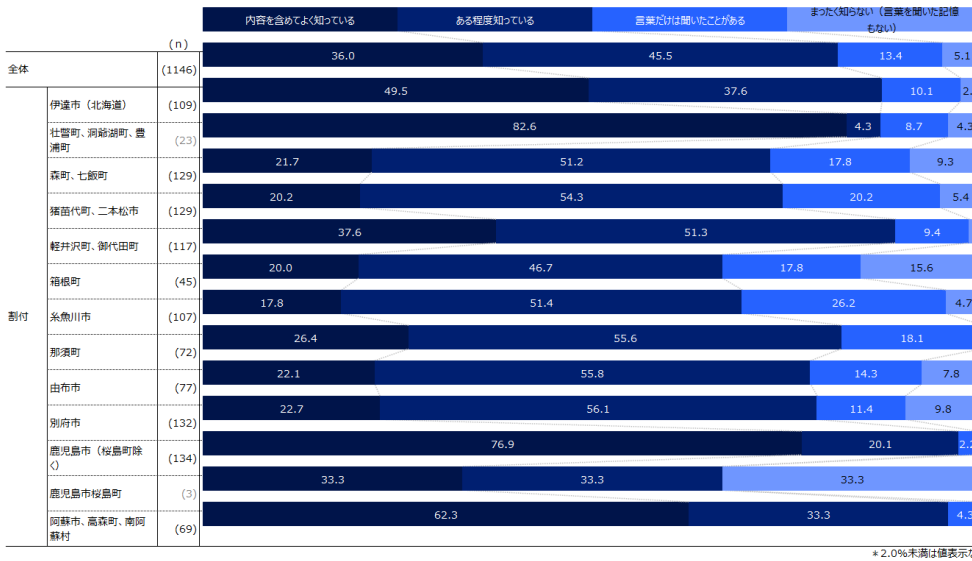


図 23. オンライン調査に基づく噴火現象の理解 (降灰) (拠点間連携共同研究[課題番号:CTOC38])

常時観測火山の近くに立地する9道県15市町村を対象として、作成した質問紙票の質問項目をベースに、オンライン調査を実施した。

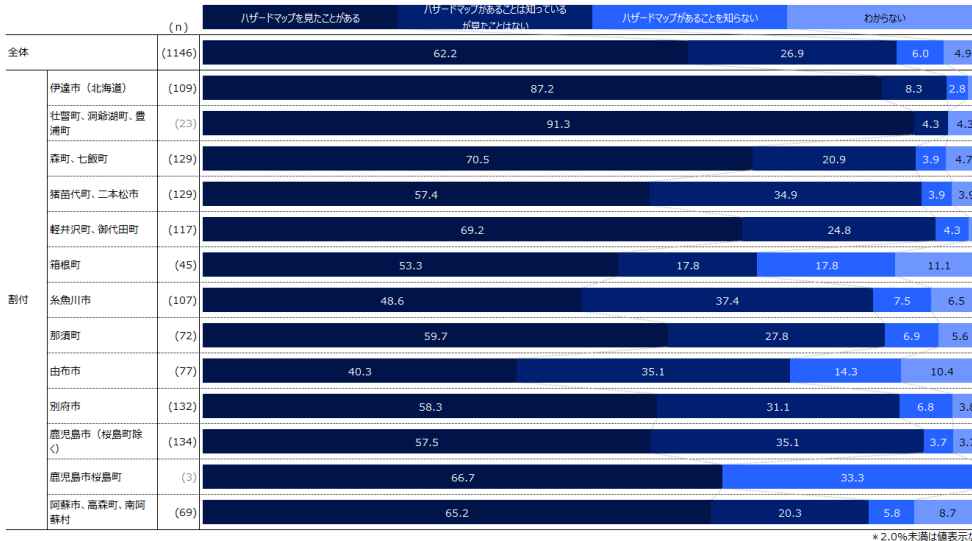


図 24. ハザードマップの閲覧状況 (%) (拠点間連携共同研究[課題番号:CTOC38])
 常時観測火山の近くに立地する9道県15市町村を対象としたハザードマップの認知と保管状況についての調査結果。ハザードマップを見たことがあるのは、もっとも高い地域で約9割、低い地域で約4割に留まるなど、地域ごとにかかなりの差が見られた。

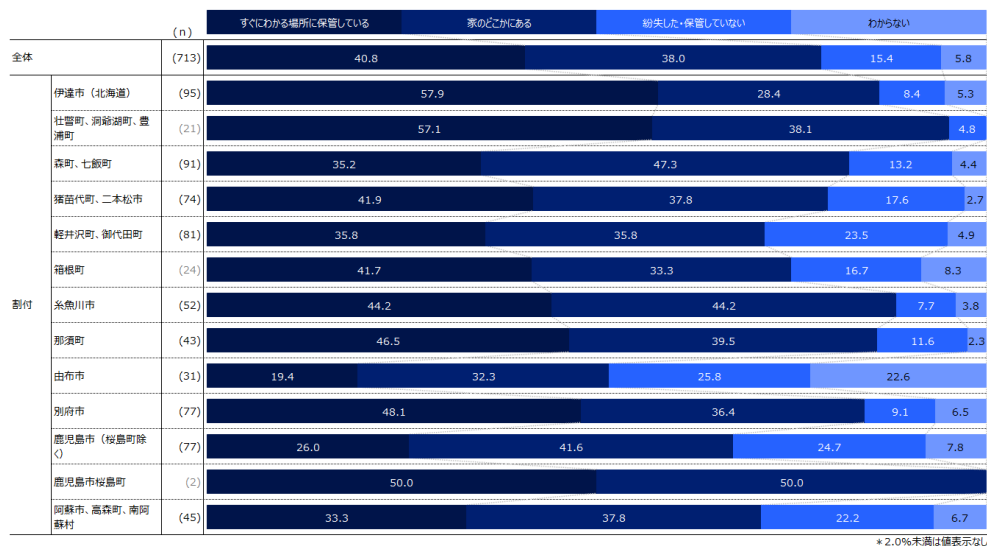


図 25. ハザードマップの保管状況(%)（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C38]）
 常時観測火山の近くに立地する 9 道県 15 市町村を対象としたハザードマップの認知と保管状況についての調査結果。