

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)

1. 概要と目的

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既に公開されている。しかしながら、従来の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き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といえない。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いた南海トラフ沿いの巨大地震の広帯域震源モデルの構築に必要な情報を整理する。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スキームの検討と構築を目的とする。

2. 拠点間連携のフレームワークの利用

前5か年計画の地震研究所一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を進めた。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ことで不確実性を含む地震リスク評価の計算手法が提案された。南海総合Gでは、前計画の拠点間連携で得られた成果に基づき、各課題で得られた成果を実際に使用して、震源モデル・シナリオ―地震波伝播―工学的基盤までの地震動の計算に向けたスキームの整理と構築を目的とする（図1）。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整理する。前5か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への活用を目指す。

3. 令和5年度の成果：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

今年度は、次年度以降の新たな5か年の計画に向けて、成果の社会実装・ステークホルダーへの成果の還元を目的とした活動を実施した。

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。特に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。このような背景の下、2023年8月30日に宮崎県との共催で南海トラフ地震臨時情報に関する自治体向けのセミナーを実施した。宮崎県内の特に沿岸部の市町村の防災担当者らを対象として、「臨時情報に関する解説」、「臨時情報の対応計画に関する全国調査報告」の後、宮崎県と新富町における事例報告を参加者で共有した。その後、参加者を複数のグループに分けた後、グループ毎で臨時情報が発表された場合の自治体対応の問題点の共有を図るワークショップを開催した。

メキシコ太平洋沿岸部は、将来の巨大地震・津波に伴う災害リスクが高い地域である。特にゲレロ州沖合のゲレロ地震空白域では過去 100 年間で M8 を超える地震が発生しておらず、将来の巨大地震および津波に伴う災害の軽減に向けた研究・開発が急務となっている地域の一つである。近年、ゲレロ地震空白域の一部ではテクトニック微動の発生が知られており、またその深部延長部では、様々なサイズのスロー地震の発生がよく知られている。2024 年 2 月 26-27 日にワークショップ「International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes in Mexico」をメキシコシティのメキシコ国立自治大学で開催した。日本から 22 人の参加者があり、メキシコからの参加者も合わせて 68 名が参加した。ワークショップの中では南海トラフ沿いのスロー地震、巨大地震及びそれらの相互作用に関する研究報告に加えて、メキシコにおける地震津波災害軽減に向けた学際的な研究報告や社会心理学的な視点からの地震津波防災に向けた国際的な取り組みが紹介された。その上で、研究成果の社会への実装と還元について課題を共有して議論を進めた。

4. 5 か年の成果：地震・津波災害の予測の高度化に向けた 5 カ年の取り組み

(1) 地震・地殻変動モニタリングに基づく震源モデル・シナリオの高度化

昭和東南海・南海地震やそれより以前の震源モデルに基づく地震シナリオに加えて、現在の測地学・地震学モニタリングにより得られる知見に基づく地震シナリオの作成の準備が必須である。特に、陸上 GNSS および海底 GNSS-A 観測から得られるデータに基づき、将来の地震時すべり域の設定とシナリオの検討が重要である。最近、地震間に GNSS 観測で得られる地殻変動記録に基づき地震間のすべり欠損をモデル化して巨大地震の破壊シナリオを提案する新たな手法が示された(防災科学技術研究所[課題番号:NIED03], Noda et al., 2021)。ここでは、GNSS 記録から予測される断層上の歪エネルギーと断層すべりにより解消される歪エネルギーの差に注目し、エネルギー収支の観点から起こりうるシナリオが検討される。応力蓄積期間を 150 年として、起こりうるシナリオを複数評価した結果、そのシナリオの 1 つは過去の南海地震で得られたモデルとよく一致することが示された。これらのモデルには南海トラフ全体を破壊するシナリオも含まれる。すなわち、地殻変動や地震のモニタリング結果をリアルタイムで取り入れ、起こりうるシナリオの逐次評価が重要となる。

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、破壊の開始点の想定も必要であろう。今後は、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(例えば、京都大学防災研究所[課題番号:DPRI01], Cruz-Atienza et al., 2021), 破壊の開始点をいくつか設定した上で、強震動の予測に至るプロセスの検討も重要となる。

(2) 地下構造とプレート境界モデルの高度化

地下構造、特にプレート形状に関する研究は、震源モデルの高度化に加えて、強震動予測の上でも重要となる。特に、西南日本の深部のプレート境界モデル(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI02])や、浅部の JAMSTEC による構造探査に基づくプレート境界モデルの構築状況(海洋研究開発機構[課題番号:JAMS01])を整理する必要がある。従来の陸海域で実施された地震波構造探査に基づくモデルや、レシーバ関数、地震波トモグラ

フィーや、それらをコンパイルして得られた結果から、プレート境界モデルがいくつか公開されている(例えば、海洋研究開発機構[課題番号:JAMS01], Bassett et al., 2022)。また、全国1次地下構造モデル(JIVSM)は、地震調査研究推進本部により作成され、防災科研では地震ハザードステーション(J-SHIS)で公開する全国地震動予測地図の作成で利用されている。

特に紀伊半島から四国下のプレート境界モデルの調査を、リニア地震計アレイ観測記録に基づくレシーバ関数解析により構築した。ここでは、スラブ上面に相当する低速度層上面からの変換波が四国側から中国地方中央部までを詳細にイメージングした。さらに、その下部には海洋モホ面に相当する高速度層上面からの変換波が、同様に中国地方中央部までイメージングされた。結果として、特に四国中央部から瀬戸内海、中国地方中央部まで低角に沈み込む明瞭なフィリピン海プレートが確認された(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI02])。

深部のスラブ形状について従来の結果と比較したところ、全体の傾向は一致するものの、詳細に見るといくつかの地域や深さにおいて、相違点が見出された。具体的には、四国西部の足摺岬から八幡浜に至るプレートの沈み込み方向にほぼ並行な測線では、特に深部(八幡浜の直下)で従来のモデルよりもプレートの沈み込み角が大きい。また徳島から八幡浜に至る沈み込み方向にほぼ直交する測線では、徳島の直下付近でプレート上面の深さが従来のモデルと比べて5 km以上浅い。特に室戸岬から倉敷に至る測線(プレートの沈み込み方向にほぼ並行)では、プレート上面の深さが従来のモデルと比べて10 km以上浅い(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI02])。

結果として、海側、つまり沈み込み帯浅部では、従来のモデルと大きな差異は見出されておらず、先に述べたすべり欠損の見積もりに際して従来のプレート境界モデルの妥当性が検証された。深部のプレート境界モデルは精査されるべきであるが、災害軽減の視点として、特に震源モデルの構築においては、特に深部のスロー地震発生域と巨大地震との関連は未だ不明であり、今後より慎重に議論されるべきである(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI01], 伊藤, 2023a, 伊藤, 2024)。

(3) 地盤応答モデルの高度化

地盤応答モデルの高度化では、既に構築された地盤応答モデルが注目する周波数帯域の応答をどの程度再現できるかが、強震動予測の上で重要となる。ここでは、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事例に着目する(拠点間連携共同研究[課題番号:CTOC27])。また、令和元~3年度に文部科学省が重点的な活断層調査の一環として実施した「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も着目する(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI08])。

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。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。また、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し、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。その結果、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、邑知潟平野内で最大速度(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が大きくなることが確認された(拠点間連携共同研究[課題番号:CT0C27])。

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・微動観測のデータを用いることで、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の構築に成功した(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI08])。

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。その結果、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っていた。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あり、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。

現在、J-SHIS深部地盤構造モデルの公開に伴い、全国的に地盤応答モデルの構築が可能となった。一方で、建物被害の予測に際して特に重要な1-2 Hz付近の地盤応答モデルの高度化に向けて、今後も地域毎のより詳細な調査が必須である。建物や人的被害の地震リスク評価の高度化に向けて、地盤構造の調査及びモデル化を今後も強力に推進すべきである。

(4) 津波浸水モデルの高度化

津波浸水モデリングの高度化に関して、1662年日向灘地震(外所地震)による津波浸水モデルに注目する(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI01], Ioki et al., 2023)。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(例えば、京都大学防災研究所[課題番号:DPRI01], Yamashita et al., 2021)。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。

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(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI01])。

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

予測は難しく，津波堆積物の調査と津波浸水シミュレーションにより得られた新たな知見として注目すべき成果と言える。さらに重要な点として，得られた知見は，宮崎県の防災担当者らと即時共有され，地震・津波防災の見直しに向けた取り組みが開始された（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI01]）。

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が実施されつつあり，理学的な知見で得られた成果を社会に還元できた一つのモデルケースとしても注目に値する。

5. 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と今後の展望

2024 年以降に実施される新たな 5 か年の計画では，成果の社会実装・ステークホルダーへの成果の還元を目的とした活動が重要となる。

先に述べた日向灘の大地震の成果（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI01]，Yamashita et al., 2021）を受けて，2023 年 8 月 30 日に宮崎県との共催で南海トラフ地震臨時情報に関する自治体向けのセミナーを実施した。宮崎県内の特に沿岸部の市町村の防災担当者らを対象として，「臨時情報に関する解説」，「臨時情報の対応計画に関する全国調査報告」の後，宮崎県と新富町における事例報告を参加者で共有した。その後，参加者を複数のグループに分けた後，グループ毎で臨時情報が発表された場合の自治体対応の問題点の共有を図るワークショップを開催した。同様のセミナーやワークショップは，今後も継続的に実施されるべきである。

メキシコ太平洋沿岸部は，将来の巨大地震・津波に伴う災害リスクが高い地域である（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI01]，伊藤・吉岡，2021，伊藤，2023b）。特にゲレロ州沖合のゲレロ地震空白域では過去 100 年間で M8 を超える地震が発生しておらず，将来の巨大地震および津波に伴う災害の軽減に向けた研究・開発が急務となっている地域の一つである。近年，ゲレロ地震空白域の一部ではテクトニック微動の発生が知られており（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI01]，Plata-Martinez et al., 2021），またその深部延長部では，様々なサイズのスロー地震の発生がよく知られている。2024 年 2 月 26-27 日に学術変革領域研究（A）Slow-to-Fast 地震学と共同で，ワークショップ「International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes in Mexico」をメキシコシティのメキシコ国立自治大学で開催した。ここでは，南海トラフ沿いのスロー地震，巨大地震及びそれらの相互作用に関する研究成果の共有に加えて，メキシコにおける地震津波災害軽減に向けた学祭的な研究報告や社会心理学的な視点からの地震津波防災に向けた国際的な取り組みについて情報が共有された。その上で日本とメキシコにおける地震・火山災害の共通の問題点の抽出が重要であるとの理解に至った。

今後は地震・火山災害の軽減に向けた学際的な研究を国際共同研究として推進することに加えて，それぞれの地域で得られる成果の比較研究が重要となろう。

成果リスト

Bassett D., A. Arnulf, S. Kodaira, A. Nakanishi, A. Harding, and G. Moore, 2022, Crustal Structure of the Nankai Subduction Zone Revealed by Two Decades of Onshore - Offshore and Ocean - Bottom Seismic Data: Implications for the

- Dimensions and Slip Behavior of the Seismogenic Zone, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 127(10). doi:10.1029/2022jb024992.
- Cruz-Atienza V. M., J. Tago, C. Villafuerte, M. Wei, R. Garza-Giron, L. A. Dominguez, V. Kostogrodov, T. Nishimura, S. I. Franco, J. Real, M. A. Santoyo, Y. Ito, and E. Kazachkina, 2021, Short-term interaction between silent and devastating earthquakes in Mexico, *Nature Communications*, 12(1), 2171. doi:10.1038/s41467-021-22326-6.
- Ioki K., Y. Yamashita, and Y. Kase, 2022, Effects of the Tsunami Generated by the 1662 Hyuga-Nada Earthquake off Miyazaki Prefecture, Japan. *Pure and Applied Geophysics*, 180(6), 1897-1907, doi:10.1007/s00024-022-03198-3
- 伊藤喜宏, 2023, 南海トラフ沿いの巨大地震のメカニズム：事前の備えと心構え, *日本旅行医学会学会誌*, 18(1), 67-73.
- 伊藤喜宏, 2024, 南海トラフ沿い巨大地震の地震像とスロー地震の関係ーその巨大地震への備え日に向けてー, *消防防災の科学*, 155, 5-12.
- 伊藤喜宏, 2023b, SATREPSにおける地震防災分野の国際協力 メキシコ沿岸部の大地震・津波災害の軽減に向けた総合的研究, *日本地震工学会誌*, 48, 19-22.
- 伊藤喜宏・吉岡祥一, 2021, メキシコにおける巨大地震・津波災害の軽減に向けた学際的研究の立ち上げと地震学的成果, *神戸大学都市安全研究センター研究報告*, 25, 145-152.
- Noda A., T. Saito, E. Fukuyama, and Y. Urata, 2021, Energy - Based Scenarios for Great Thrust - Type Earthquakes in the Nankai Trough Subduction Zone, Southwest Japan, Using an Interseismic Slip - Deficit Model. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 126(5), doi:10.1029/2020jb020417
- Plata-Martinez R., S. Ide, M. Shinohara, E. S. Garcia, N. Mizuno, L. A. Dominguez, T. Taira, Y. Yamashita, A. Toh, T. Yamada, J. Real, A. Husker, V. M. Cruz-Atienza and Y. Ito, 2021, Shallow slow earthquakes to decipher future catastrophic earthquakes in the Guerrero seismic gap, *Nature Communications*, 12, 3976, doi:10.1038/s41467-021-24210-9
- Yamashita Y., M. Shinohara, and T. Yamada, 2021, Shallow tectonic tremor activities in Hyuga-nada, Nankai subduction zone, based on long-term broadband ocean bottom seismic observations. *Earth, Planets and Space*, 73(1). doi:10.1186/s40623-021-01533-x



図 1. 「南海トラフ沿いの巨大地震」研究グループのワークフロー

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
(東京大学地震研究所)

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1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で構成される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。

令和元年度から令和5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、離水年代の再評価を行った。これにより、過去の関東地震の発生年代と再来間隔について復元することができた。また、1703年元禄津波や相模トラフ沿岸を襲った津波の歴史記録について整理を行い、それに関連した野外調査を実行することで、当時の津波の高さについて検討を行った（産業技術総合研究所[課題番号:AIST08]）。活断層データベースは、これまで実施された約2万地点に及ぶ活断層調査地点の情報を収録するとともに、最新の知見もデータベースに取り込むことで、地震現象の解明に貢献した（産業技術総合研究所[課題番号:AIST01]）。

新潟大学は、1855年江戸地震の被害境界について、武蔵国多摩郡蔵敷（東京都東大

和市)名主の『里正日誌』所収「安政二卯年十月二日大地震略記」を検討し、四ツ谷通り下町の割から中野宿(中野区)辺りまでになることを明らかにした。1923年関東地震について新潟県高田村(現柏崎市)神職の日記と『新潟新聞』の当日記事を検討し、当時の新潟測候所の所見が1917年以来の測候所の地震観測にあり、所見を述べた佐々木蘆蔵所長の地震学説は日下部四郎太の物理学的地震研究を基礎としていたことを確認した(新潟大学[課題番号:NGT_01])。

東北大学理学研究科は、近地地震と遠地地震からの大量のP波走時データの同時インバージョンを行い、東日本地域の地殻と上部マントルの高分解能3次元P波速度構造と異方性分布を求めた。その結果、関東地方下に沈み込む太平洋プレートやフィリピン海プレートの形状の詳細が明らかになり、今後の震源断層モデルの推定に資する情報を得た(東北大学理学研究科[課題番号:THK_05])。また、スラブ内地震では、同程度のマグニチュードの地殻・プレート境界地震に比べて破壊の継続時間が短く短周期地震動を励起しやすいこと、スラブ内の地震活動深さとプレート年代が相関することを明らかにした(東北大学理学研究科[課題番号:THK_06])。さらに、繰り返し地震のモニタリングを通して、地震の発生サイクルにおける断層面のすべり・固着状態の短期・局所的な変動から長期・広域にわたる変化を明らかにした。地震の再来特性の調査および断層面の固着状態の推定のさらなる高精度化により、将来発生する大地震の発生ポテンシャルや発生予測につながることを期待できる。高精度震源再決定に基づき、大量の繰り返し地震を検出することが可能なことを示し、プレート境界でのすべりの時空間変化の把握に基づく予測のための基礎データ構築に貢献した(東北大学理学研究科[課題番号:THK_09])。

東京大学地震研究所では、震源域近傍で記録された強震波形データを入力して、関東平野の都心部での長周期地震動の速度応答スペクトル及び地震波形を予測する深層学習(CNN)モデルを開発した。能登半島～山形沖の地震をターゲットとして、2004～2011年に発生したM4.5以上の地震の入力観測点(Hi-net群馬観測点;TAYHなど)における速度波形と、予測地点(Hi-net横浜観測点;YFTH)における速度応答スペクトルの関係を学習し、2011年以降に発生した大地震(>M6.0)の長周期地震動(1～10秒)の予測実験を行ない、速度応答スペクトルの高い予測性能(PV;スペクトルの予測/観測比=0.8-1.2)を確認した。一方、2019年山形沖地震のように学習データに含まれない規模の大きな地震(Mw6.7)や、佐渡沖の地震のように学習データに含まれない場所での地震については予測性能が低くなった(PV=0.5-2)。そこで、多様な位置と規模の地震波形を日本列島の地下構造モデル(JIVSM)を用いた差分法計算(OpenSWPC)から求め、これを訓練データに加えた強化学習を行ない、CNN予測モデルの汎用性を高めることに成功した(東京大学地震研究所[課題番号:ERI_14])。さらに、地震の災害誘因の事前評価手法の高度化に関する研究を実施し、シナリオ地震の強震動評価として、日本で開発された強震動予測手法を国際的なプラットフォームに実装するとともに、確率論的地震動評価に役立つ、地震動予測式の非エルゴード性の定量化を行った。その結果は、世界複数国の重要構造物の入力地震動として検討される可能性があり、災害の軽減に貢献する一助となる(東京大学地震研究所[課題番号:ERI_16])。

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、谷中・根津・千駄木および上野周辺において稠密観測を行った。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。この4年間に文京区本郷で震度1以上を記録した地震は200回以上あり、それらのデータを用いた解析結果では、観測点ごとの卓越周波数や振幅の違いが確認できた。その違いは、過去の地震による建物被害の記述の地域差とおおむね対応していた。しかし、いくつか相違する地点も見つかっていて、それらには別の要因を考える必要があると思われる。たとえば、建物の築年数によって強度が低下したり、建築手法の違いによっても耐震強度に違いが出たりする可能性がある。それらの建物に関する情報を知ることは困難であるため、このような現代の地震観測を通して、地下構造や地盤特性以外による揺れと被害の関係性を見いだす必要がある（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_15]）。

京都大学防災研究所は、斜面崩壊の発生場抽出に関する成果として、過去の斜面崩壊に共通する地質的特徴の洗い出し、高密度航空レーザーデータや国土地理院による干渉SAR解析画像を用いた危険斜面の特定、地震時に斜面崩壊を発生しうるテフラの分布図（東日本版）の作成をおこなった。また、崩壊発生メカニズムに関する成果として、地すべり地における空間的に多様な地震動特性の抽出、地すべり変位の地震直前の安全率依存性、盛土材質による間隙水圧応答特性の違い、粘土鉱物ハロイサイトの構造の違いとせん断特性などについて明らかにした。これらのことから、現場安全率や現場地震動を考慮した斜面安定計算手法や地震時の斜面変位の見積もり手法について高度化を進める見通しを得た。さらに、地震地すべりの先行降雨の影響を見積もるため、および、強震後の長期的な斜面の変形を明らかにするため、傾斜計・間隙水圧計・インターバルカメラを設置し、令和3年度から観測を継続した。その結果、年間0.005度程度の傾斜変化を伴う定常的な変形が現在も進行していることを確認し、さまざまな降水イベントに対する土壌水分の時間変化を観測できた。地震後の長期的な斜面変形についての知見や先行降雨が地震時地すべりに与える影響を見積もるための基礎情報を得た（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI10]）。

千葉大学は、地震に関連して発生する電磁気的な現象について、地震との有意相関解析や前兆性を評価するためのROC解析等に基づいて地震活動の短期予測に資する研究を国内外の研究者と協力して実施した。ULF電磁場変動や電離圏電子数変動、気象衛星ひまわりの衛星熱赤外データの解析結果は統計的には地震前兆的であることが示唆されつつある。また、電離圏電子数変動の直前変動についてはその変動の規模と地震の規模等との経験則を示唆するデータが蓄積されつつある。地震動や津波、規模の大きな火山噴火に起因する電離圏電子数変動は物理機構まで解明されつつある。地球磁場変動や電離圏電子数変動などの地球物理観測データの統計解析により地震との有意相関性や地震前兆性を示す現象の存在が明らかとなってきた一方、単独の現象の解析では、現実的な予測の点からは合格点には至らないこともわかってきた（千葉大学[課題番号：CBA_01]）。

東京大学大学院情報学環は、地震に関する認知構造を把握したうえで、住民が理解しうる情報（被害想定）体系を考案してきた。まず、首都直下地震に関する認知体系について、都民に対するアンケート調査を行い、国（内閣府）や東京都の公表している被害想定の内容に対する認知度が低く、信頼性に課題があることを示した。また、

それらを住民が認知したとしても、その内容に沿った地震対策が行われるわけではないということを実証した。かつ、「都民の考える被害想定」も地震対策に結びついていないわけではないことがわかった。そこで、被害想定という科学的な成果としての情報の活用方策を検討するため、内閣府（2013）が公表した被害想定を基に制作され、実際に放送された『パラレル東京』の前後で、縦断型のアンケート調査を行った。住民が地震発生時の被害を想定（イメージ）することは、それほど重要ではなく、被害想定という情報の活用を考えたときに、感情を刺激することこそ、地震防災において重要であるという結論が得られた（東京大学大学院情報学環[課題番号：III_01]）。

そのほか、毎年、首都直下地震に関する意見交換会をオンラインで開催し、関連する課題の研究者たち約 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が、コロナ禍で連携が不足した点もあったことが報告された（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_15]）。

次期計画以降の展望

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、本総合研究グループは、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、何を本総合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。特に、これまで取り上げて来なかった首都圏ならではの問題点を明確にし、首都圏に焦点を当てた課題にも取り組むべきであると思われる。

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

千島海溝は地震活動が活発であり、有史以来多くのM8クラス地震の発生が知られている。津波堆積物研究の進展から、歴史記録による地震活動履歴が辿れる19世紀以前に、巨大津波を伴うイベントの存在が明らかにされてきた。地震本部は、2017年の千島海溝沿いの長期評価（第三版）において、M8.8程度以上の超巨大地震の評価を示し、発生が切迫していると評価した。中央防災会議は、2021年に発表した被害想定において、最大クラスの地震により最大約10万人の死者が発生し、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が生じるとした。人的被害の大部分は津波によるものと想定されている。

千島海溝南部の巨大地震による人的被害を軽減するためには、津波からの的確な避難が最も重要である。国による被害想定と、それに基づく特別措置法の改正が2022年に行われ、自治体等による地震津波対策は新たなフェーズに入っており、現在、津波避難施設や津波避難道路の整備等が進められている。また、千島海溝・日本海溝では過去に先発地震後により大きな後発地震が発生した事例があることから、気象庁と内閣府は2022年より、北海道・三陸沖後発地震注意情報の運用を開始しており、対象地域でMw7.0以上の地震が発生した場合には情報発表が行われる。

千島海溝沿いの巨大地震総合研究グループは、今期の建議から開始された新たな研究グループである。津波堆積物の調査や、地殻活動の現況把握に関する手法の高度化、地震動・津波の事前評価及び即時予測など、地域防災力の向上を目指した総合的研究を実施するとされている。総合研究グループでは、リスク管理やリスク評価を支える情報の創出を目標として、関連課題から得られるハザード評価等に関する成果を有機的に連結することで、災害軽減に貢献する戦略のもと活動を行っている。地域防災対策の強化を支える地震動や津波予測等のハザード予測の高度化を進めるとともに、実際に避難行動を行う人間の行動特性や避難用施設の受容性能の評価、防災情報の高度化を目指した地殻活動モニタリングの拡充などを総合して、複線的な防災対策の強化に貢献する学際的な研究を行ってきた。

2. 令和5年度の主な成果

これまで実施してきたGISを用いた津波浸水被害や津波避難行動解析の成果に基づき、災害情報流通に関する分析を実施した。また、高校「地理総合」での防災リテラシーの向上に向けたシンポジウムを開催し、学校現場での課題について検討を行った（北海道大学[課題番号: HKD_07]）。自動車避難の可能性を検討するため、実験に基づきシミュレーション条件の設定に関する検討を実施した（北海道立総合研究機構[課題番号: HR0_02]）。北海道・三陸沖後発地震注意情報の認知度調査を行った（北海道大学[課題番号: HKD_01]）。

胆振地方の厚真町とむかわ町で面的な津波堆積物調査を実施し、堆積物の層厚・粒度の空間分布を明らかにした。トレンチによる2次元的な津波堆積物分布から、層厚が短波長の不均質性を持つ可能性が示された。また、津波堆積物層内の隣接する凸凹部で得

られたサンプルにおいて年代が100年程度異なることが示された（北海道大学[課題番号：HKD_01]）。

根室沖に設置した海底地殻変動基準局3点で船舶及びウエーブグライダーでの観測を実施した。データを解析した結果、昨年までの傾向と同じくプレート相対運動方向の変位が検出され、プレート境界浅部まで強く固着している可能性が示された（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_05]，北海道大学[課題番号：HKD_09]）。応力条件を付加する手法でプレート境界面の固着状況の推定が行われ、摩擦的な固着はプレート境界深さ20-30 km付近で見られ、それに伴う運動学的固着が海溝軸付近のプレート境界浅部に達していることが示唆された（北海道大学[課題番号：HKD_09]）。また、海溝軸付近のウェッジ部は高間隙圧状態で低剛性となっている可能性が示された（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_05]）。千島海溝からカムチャツカ・日本海溝の広域的な地震活動度を過去に遡るかたちで調査したところ、十勝根室沖から千島海溝南部が静穏化の状態であることが示された（北海道大学[課題番号：HKD_09]）。

非線形を考慮した津波波形インバージョン法を2003年十勝沖地震に適用したところ、後続波の再現性能が向上し地震モーメントと最大すべり量が増加した。測地的な即時震源断層モデルと津波データ同化を組み合わせた即時津波予測手法を検討し、震源近傍の津波観測点を除いた場合でも有効であることを数値実験で検証した。震源特性の調査が継続され、スペクトルインバージョン法で地域性や深さ依存性の調査が行われた（北海道大学[課題番号：HKD_09]）。

3. 5か年の主な成果

津波避難に焦点を当てた地理空間情報を活用した研究が行われ、津波避難困難区域の空間分析法の開発、集団実験による津波避難の実証試験、VR技術を活用した疑似避難訓練システムの開発等を実施した。積雪や道路ネットワークの途絶を含めた現実的なシミュレーションから、避難困難人口が道路網や人口密度などの地域特性に大きく影響を受けて増減する可能性が定量的に示された。集団避難実験やマルチエージェント解析から、混雑時の避難速度や、津波避難ビルの階段歩行速度の見積が行われ、津波避難施設の分散配置等を検討する必要があることが示された。また、高校総合地理においてGISを用いた防災リテラシー教育を実践するための副読本を出版した。（北海道大学[課題番号：HKD_07]）。モデル自治体で避難実験を行い、歩行速度を実測して避難困難地域を抽出し、避難を可能とする新たな避難路を整備につなげた。車避難実験を実施して渋滞予想地域や歩行者との輻輳地域の抽出を行い、シミュレーションを通じて車避難の検討を進めた（北海道立総合研究機構[課題番号：HRO_02]）。

津波堆積物の調査から、十勝地方の沿岸部の約千年間にわたる長期間の地殻上下変動時系列が解明され、地震前には沈降が継続し、地震時には上下変動は小さく、地震後に時間をかけて隆起する特徴が明らかになった。この情報は、すべり域下端の情報を与えるとともに、地震間地殻変動のモデル化に大きく貢献する成果である。また、胆振地方東部の沿岸部では、いわゆる17世紀前半の津波と、1640年北海道駒ヶ岳山体崩壊津波が別のイベントであることが明らかになった。一方、胆振地方東部では17世紀イベントの前には数千年間にわたり津波堆積物は見出されておらず、津波波源の多様性を示唆する情報である（北海道大学[課題番号：HKD_01]）。

千島海溝で初めてとなる海底地殻変動観測が開始された。根室沖のプレート沈み込み方向に3か所の基準局が設置され、船舶及びウエーブグライダーを用いた測定が毎年実施された。5年間の観測から速度ベクトルが求められ、海溝軸に近い観測点でもプレート間相対運動速度に近い値が得られた。海中音速構造が不安定な時期があり、測定誤差の評価が必要ではあるが、得られた速度ベクトルはプレート境界浅部までが強く固着している可能性を示唆しており、津波ポテンシャル評価に大きく貢献するデータである。また、根室沖プレート境界浅部の詳細な構造が調査され、東北沖地震の大すべり域に類似したプレート境界の強反射やウエッジの低剛性高間隙水圧状態等が明らかにされた（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_05]、北海道大学[課題番号：HKD_09]）。千島海溝周辺の長期的な地震活動度の時間変化が調査された。過去に遡って静穏化を判定すると、予測精度が2倍程度向上した（北海道大学[課題番号：HKD_09]）。

北海道では史料が限られており、19世紀以前の古地震履歴のデータが本州以南に比べ極めて少ない。全道の遺跡発掘報告書を網羅的に調査し、噴砂・断層・亀裂等の地震性液状化痕跡と考える記述を調べ、過去数千年にわたる強震動履歴に関する情報を収集した。3,587件の調査報告書が調べられた結果、全道で231件の噴砂・亀裂・地すべり痕跡が抽出された。道東地域の痕跡年代コンパイルからは、津波堆積物イベントに比べ液状化は発生頻度が低い特徴が見られている。また、道央の活断層系等に対応すると考えられる痕跡の情報も多く収集された（北海道大学[課題番号：HKD_09]）。十勝根室沖で発生する地震の震源特性の調査が進められ、地域や深さによる違いが見られる可能性が示唆された（北海道大学[課題番号：HKD_09]）。

北海道・三陸沖後発地震注意情報の認知度等の時間・属性変化をモニターするためのアンケート調査が実施された。また、自治体・インフラ産業・報道機関の防災施策への助言を行ったほか、職員向け・一般住民向けのセミナーや公開講座、勉強会を主催して実施した（北海道大学[課題番号：HKD_09]）。

4. 今後の展望

地震津波の災害軽減へは多様なアプローチが必要とされる。総合研究グループでは、関連課題から得られる成果をハザード評価とリスク評価の視点から整理し、災害軽減へのロードマップの上で期待される役割を示している。防災施策の基本となる被害想定は、地震動と津波の事前予測に基づき推計が行われており、これらのハザードの事前予測の高度化は着実に推進する必要がある。これまでの研究から、地震動や津波浸水範囲は地盤や地形などのローカルな地域特性が大きく影響することが示されており、非線形性がアンサンブルメンバーに及ぼす影響などを含めた予測幅の定量的な検討が必要である。また、S-netを活用したデータ同化等による津波即時予測手法の検討が進められたが、防災情報システムとしての確実性・堅牢性を含めた開発を進める必要がある。令和4年から開始された北海道・三陸沖後発地震注意情報の認知度調査で6割程度の人が実際に後発地震が発生すると考えている結果は、この情報に地震予知的な過大な期待があることを示している。確度が低く・あいまい・発表頻度が低い情報の取り扱いについて引き続き検討していく必要がある。地域防災力の向上には学校での防災教育が極めて効果的であり、必修化された高校地理のカリキュラムでの具体的な活用方法の提示や地域教材の開発等も重要である。

現在進められている津波避難タワーなどのハード整備や、避難訓練などのソフト対策について、それらの効果を現実的な条件下で定量的に評価し、課題を明らかにしていく取り組みが必要となる。本計画で行われた高層避難施設での人流停滞シミュレーションや、積雪凍結時の歩行速度の低減に基づく避難可能範囲縮小評価、車避難の評価など、実際の社会環境下でもロバスト性が担保される避難を実現するための取組を進めて行く必要がある。また、人口減少が急速に進む中で地域を継続させるためには、被災後の復興を迅速に進めることが必須である。ハザードが地域にもたらす被害の全体像を地域経済を含めて分析し、多段的な輸送網やサプライチェーンの整備につなげるような検討も開始すべきである。また、復旧復興の基盤となる道路や上下水道、送電網等の社会インフラについても、経験的予測に加え、演繹的な手法を組み合わせたピンポイントな被害予測手法を検討する必要がある。

海底地殻変動観測から、根室沖ではプレート境界浅部まで強く固着している可能性を示唆するデータが得られ、津波が効率よく励起される可能性が示された。観測領域を十勝沖まで拡張し、プレート境界の固着状況の空間的な分布を明らかにする必要がある。また、千島海溝南部と日本海溝北部との連動可能性評価は未達であり、関係するデータの取得を行う必要がある。根室沖の強い固着を示す領域は、東北沖地震の大すべり域と同様の構造的な特徴を有していることも明らかになっている。スローイベントを含めた地震活動と構造との関係を調査することが必要である。長期広域的な地震活動からは、静穏化と巨大地震との統計的な関係が示唆されており、プレート間固着や地下構造との空間的な関係性を含めた検討を進める必要がある。

津波堆積物調査や遺跡の液状化痕跡等から、古地震・古津波に関するデータが得られつつあるが、広域的な津波浸水範囲や、断層モデル、強震動特性などの地震像を復元する手法は未達である。地域ごとの災害履歴として防災対策に活用する手法の検討も必要である。また、遺跡から見出された液状化痕跡データを地震動予測に組み込むスキームについても検討を始める必要がある。

地震津波災害は多面的な様相で発生し、その対策も複線かつ重層的に進める必要がある。総合研究グループで対象としている要素は限られているものの、ハザードやリスク評価に貢献可能な成果が着実に得られている。北海道・三陸沖後発地震注意情報のような、地殻活動の推移予測に関する情報は、多くのエンドメンバーが想定され、可能性のあるシナリオも多岐に渡る。社会のリスク管理に対し、どのようなリスク評価を提供していけるのかという視点から、観測研究を進めて行くことも必要である。

2（4）桜島大規模噴火

「桜島大規模噴火」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)

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には異なる部会に属する27の研究課題が参画している。研究は年次的に研究集会をハイブリッド開催することで進めた。大規模噴火研究を総合的に進めるために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）の研究課題だけでは不足なので、文部科学省の委託研究である次世代火山研究推進事業のうち課題D「火山災害対策技術の開発」と京都大学防災研究所に設置された火山防災連携研究ユニットが研究集会に参加している。

5年間の成果

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立方キロメートルのマグマが噴出した。また、噴火開始から8時間後にM7の地震が鹿児島湾において発生した。

本総合研究グループにおける研究発表は以下の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）火山活動推移モデルの構築を目指した火山噴火発生予測の研究、3）ハザード予測の高度化、4）防災リテラシーの向上と対策研究である。

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

この大規模噴火に前駆して様々な異常現象が観測されたが、大規模噴火に至るまでの過程は、始良カルデラ下のマグマ溜まりの膨張による地殻内応力集中による桜島から離れた場所での地震発生（1913年6月）、桜島島内での二酸化炭素濃度の増加（7月）、桜島島内の弾性変形を伴う非地震性地盤変動（7月～12月）、噴火の30時間前からの群発地震と急速な地盤変動、の4段階に整理される。前駆過程において重要なのは「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成地震→噴火の発生」というプロセスをとることであり、このプロセスは世界の多くの火山においてみられる。

南岳山頂噴火の最盛期（1970年代から1990年代前半まで）には、地盤沈降から予測される以上に重力値が増大し桜島直下の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。最近の南岳の噴火活動においても二酸化硫黄放出量が多い状態が続いており、脱ガスが進行している。今後、多量のマグマが貫入するとき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と考えられ、過去の大規模噴火のようなプリニー式噴火から始まるシナリオとはならない可能性が高い。したがって、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。

1914年噴火後の地盤変動測定により、桜島の北部は北へ、南部は南へそれぞれ数メートル変位したことが知られており、20 m開口した東西方向の割れ目によりモデル化されている。このことから噴火発生前のマグマのダイク貫入が重要であることが指摘できる。東西方向の割れ目は、広域応力場に整合的に東南東－西北西に開口した2015年8月15日の群発地震を伴った開口性のマグマ貫入イベントの割れ目の北北東－南南西方向の走向に共役的である。この群発地震活動における火山構造成地震の震源分布とメカニズム解(Koike and Nakamichi, 2021)を詳細にみると、後半に発生したやや深部の地震活動は、主断層の開口に共役的に発展しようとした断層の初期段階を見ているのかもしれない。大規模噴火に伴うマグマ貫入には、ダイクの発展過程にしたがって、広域応力場に整合的な断層の動きだけでなく、共役的な地震活動にも注目する必要がある。

2) 火山活動推移モデルの構築を目指した火山噴火発生予測の研究

大正噴火、昭和噴火と様々な噴火様式（ブルカノ式、ストロンボリ式、火山灰連続放出）をもつ南岳・昭和火口山頂噴火活動について、地盤変動などから見積もられるマグマの貫入速度と噴火規模・様式との関係を整理した。この手法はインドネシアのメラピ火山にも適用することが可能であり、水蒸気噴火ではマグマの貫入速度は検出限界以下であるが、プリニー式噴火では著しく大きい。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。

地盤変動はマグマ性噴火発生前に確実に検知できる段階となったが、そのデータの初期段階から噴火の発生時刻と規模を予測することは依然として難しい。そこで、確率的発生予測の考え方を導入し、確率的な発生時刻と規模の予測を行った。南岳と昭和火口における山頂噴火発生前の地盤変動に関するビッグデータを取り扱うことにより、統計的な処理を進め、確率的発生予測手法を提案した。

3) ハザード予測の高度化

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。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サブテーマ「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、噴火発生に伴う地震動と地盤変動の線形結合により噴出率を即時的に解析し、その時点の風速場に基づいて火山灰の拡散範囲をシミュレーションすることにより予測する手法を開発した。さらに、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っている。

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。しかし、噴出する

マグマのうちどれぐらいが火砕流として流下するか、その配分予測に依然として問題が存在する。また、火砕流は常に発生するわけではないので、その発生そのものの発生予測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の解析から、地盤変動量が大きい場合や、数か月程度の地盤の収縮期において火砕流が発生しやすいことが知られている。2009年以降の桜島の噴火活動においては、一連の噴火活動は爆発を頻発させながら地盤が膨張する期間と、火山灰を多量に噴出しながら地盤が収縮する期間からなる。膨張期は揮発性成分を多量に含んだマグマの貫入に対応し、収縮期は脱ガスしたマグマの火山灰噴出に対応することがマグマの見かけ密度の推移から知られているので、火砕流はマグマの見かけ密度が大きくなった時に発生しやすいといえる。

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ことから、焼岳等における知見を桜島にも活用できるかどうかを評価するために観測を進めた。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、降下火山灰の評価が重要である。土石流発生予測には降雨量と降灰量の観測が重要であるが、山頂近傍では直接観測をすることができない。それを可能にする手法が気象レーダ観測である。気象レーダにより流溪ごとの降雨量が把握でき、土砂流出量の予測が可能となっただけでなく、レーダの反射強度の空間分布を降灰量の評価にも活用する手法が開発された。

4) 防災リテラシーの向上と対策研究

桜島の大規模噴火を想定した防災リテラシーについては、現在の火山活動状態と今後中期的に起こりうる噴火への認識、噴火前後の危機的状況における避難等の行動、避難時の災害イメージの醸成、復旧・復興への行動イメージなどを考慮する必要がある。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が提供されるが、桜島周辺ではその認知度は高い。一方、2022年7月24日の桜島南岳の爆発では、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。この事例においては、火山岩塊の飛散距離推定値に疑問はあるものの、警報とその後の避難指示等の防災対策に関わる情報に関して大きな問題が顕在化した。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あり、警戒を要する範囲の情報が十分に反映されていない。レベルよりも警戒を要する範囲を前面にだした警報発表が望まれる。

大規模噴火においては、風向きによっては鹿児島市街地側への大量降灰災害が予想される。大幅に被災影響を軽減できると考えられる市街地側住民の事前避難の実現を目指し、火山の予知・予測情報が適切な避難へと結びつくような情報を、ワークショップにおける専門家と住民との対話を通じて共創する研究に着手した。これまでに9回のワークショップを開催し、住民の大量降灰からの避難に関する意識を高めた。

令和5年度の成果

マグマのダイク貫入が大規模噴火においても重要であることが提起された。南岳活動期においてもダイク貫入イベントは発生しているが、大規模噴火の前駆過程においてもダイクの発達過程が重要である。桜島南岳噴火に関連するビッグデータを取り扱うことにより、より詳細な圧力源モデルが提示され、統計的な処理と確率的発生予測の考え方

が進んだ。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、土石流についても研究が進んだ。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。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り、広域避難周知の長期的な視野の取り組みが必要である。

これまでの課題と今後の展望

これまでの研究において欠けている課題として、大規模噴火に対してレジリエントな災害対応戦略、情報伝達（特に警戒を要する範囲の重要性）、ハザード予測の高度化があげられる。特に噴火切迫時においては、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していく必要があり、そのためにはハザード要因に対応する噴火様式とそれぞれのハザード要因ごとの噴出物量が重要である。噴火発生前の警戒を要する範囲（ハザード予測）は、火山防災協議会において避難計画の基礎データとして決められているが、過去と同様の噴火規模と噴火様式が繰り返される保証はないので、警戒を要する範囲の設定は依然として重大な問題であるし、モニタリングによってしっかり答えを出せる研究が必要である。

大規模噴火による多量の軽石降下からの避難の意識は依然として低いままである。避難は必然的に広域避難にならざるを得ないし、その周知に向けて長期的な取り組みが必要であろう。さらに、桜島の大規模噴火では火山灰が東北地方南部まで達すると予想されるため、航空機、鉄道、道路などの全国的な交通網に影響が発生すると考えられる。このための対策研究も加速する必要がある。

本建議は元々は観測研究計画から発展してきている。そもそも、大規模噴火に向けての観測は何を目指すかの議論が不足しており、現在進行中の火山活動を追いつけることに注視しすぎている。先に起こるであろう活動を予測した上での観測研究戦略が必要である。

成果リスト

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.

Iguchi, M., Nakamichi, H., Takishita, K., Poulidis, A. P., 2022, Continuously operable simulator and forecasting the deposition of volcanic ash from prolonged eruptions at Sakurajima Volcano, Japan, Jour. Disast. Res., 17, 805-817.

Iguchi, M., Yamada, T., Tameguri, T., 2022, Sequence of volcanic activity of Sakurajima volcano, Japan, as revealed by non-eruptive deflation, Frontiers in Earth Science, 10, 727909, <https://doi.org/10.3389/feart.2022.727909>.

Kobori, T., Maki, M., Fujiyoshi, Y., Iguchi, M., Fukushima, S., 2022, Estimating volcanic eruption column height and growth rate using X-band marine radar at the Sakurajima Volcano, Scientific Online Letters on the Atmosphere, 18, 231-235, doi: 10.2151/sola.2022-037.

Koike, M., Nakamichi, H., 2021, Dike Inflation Process Beneath Sakurajima Volcano, Japan, During the Earthquake Swarm of August 15, 2015, Front. Earth Sci. 8:600223. doi: 10.3389/feart.2020.600223.

- 真木雅之・鈴木郁子・井口正人・Shakti P.C., 2019, 気象レーダによる降灰量推定－2013年8月18日桜島噴火のZ-RA関係式－, 火山, 64, 219-241.
- Rahadiano, H., Tatano, H., Iguchi, M., 2024, Uncertainty analysis of the prediction of massive ash fallout from a large explosive eruption at Sakurajima volcano, Earth and Space Science, 11, e2023EA003174. <https://doi.org/10.1029/2023EA003174>.
- Takebayashi, M., Ohnishi, M., Iguchi, M., 2021, Large volcanic eruptions and their influence on air transport: the case of Japan, Journal of Air Transport Management, 97, 102136, doi.org/10.1016/j.jairtraman.2021.102136.
- Takishita, K., Poulidis, A. P., Iguchi, M., 2024, Tephra segregation profiles based on disdrometer observations and tephra dispersal modeling - Vulcanian eruptions of Sakurajima volcano, Japan, Earth, Planets and Space, 76, 29.

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、噴火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

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 2024 年 2 月 26 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。表 1 に研究集会での発表一覧を示す。以下では、研究集会における報告を中心として各項目毎の成果を紹介する。各課題の成果はその課題が

属する部会集会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

北海道大学からは、前年度に引き続いて、予測可能性とリスク評価に関する提言がなされた。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か、という問いに対し日本ではまだ答えが無いことを念頭に置き、ニュージーランドにおいて、研究者のフィールドワーク実施可否判断に実際に使用されている VoLREst (Volcano Life Risk Estimator) というリスク評価ツールを紹介した。このツールの運用のやり方、ツールの限界などから判断して、登山者や作業者の安全確保を目的とする短期的リスク評価を行うためには、ハザード評価が必須であり、そのためには観測データに基づいて噴火確率をもとめるプロトコルが不可欠との提案があった。また、御嶽山への適用事例がある噴火確率評価ツール HASSET も紹介された（北海道大学[課題番号：HKD_06]）。

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、御嶽山火山マイスター制度の向上に資するため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。今年度はこれまでの成果の総括を行い、比較調査を行った全ての地域において、火山防災啓発の対象として地元小中高生を重視して出前授業や講師派遣などを行っており、子供への啓発がその親である地域住民への啓発にもつながっていること、また、地域外からの小中高生への啓発活動として、修学旅行や野外見学などを行っていることなどがわかった。各地域の火山防災啓発における課題と各地域の対応をわかりやすい図にまとめた（図1、名古屋大学[課題番号：NGY_07]）。

東京工業大学は、高リスク小規模噴火に関する様々な課題に対する解決策や方向性を示すこと自体が容易ではないことを踏まえ、その前段階として研究者と社会が問題点を共有する場としてシンポジウムを活用することを試みた。研究者と地元自治体等の協力の下で実施されたシンポジウムにおいては、研究者側は火山研究や防災の状況を伝え、社会側は地域社会での防災への取り組みや課題・要望を紹介し、事後アンケートによりシンポジウムの開催効果を評価した。その結果、シンポジウムは関係者のコミュニケーション改善に貢献できること、研究者側の講演内容と参加者の要望が必ずしも一致しない場合があるが、それは参加者が火山現象そのものを理解したいのではなく火山研究の成果がどのように役立つかを知りたいからであり、説明の工夫で改善可能であること、視覚に訴える工夫された図を活用することで参加者の理解度が大きく向上すること、研究者と地元関係者を結ぶ存在として地元の研究所の存在が大きいこと、大学の「社会貢献」をアピールする場として活用できるメリットが大きいこと、などがわかった（東京工業大学[課題番号：TIT_03]）。

京都大学は、2021年10月に阿蘇山で発生した水蒸気噴火の際、登山道閉鎖が遅れたために火口周辺に10人以上の登山者が取り残されたという重大インシデントに関し、阿蘇市及び阿蘇警察からの情報提供と研究者自身の体験に基づいてその発生過程を時系列に沿って整理し、いくつかの問題点を明らかにした。一つは、この噴火においては火山活動活発化の情報が段階的に気象庁から出されていたものの、速やかで効果的な登山道閉鎖につながらなかった点である。受け手による情報の理解度を検証する必要がある。もう

一つは、登山届を提出していた登山者が少なく警察による安否確認に支障が出た点である。活火山での登山における努力義務に関する啓発活動が重要である（京都大学理学研究科[課題番号：KUS_03]）。

また、火山活動に関する正確な知識を観光客に伝達するうえでの課題を検討するため、観光客の火山防災に関する意識調査を東北大学と共同で実施した。その結果、観光客の情報入手方法としては、現地での注意喚起看板や放送が最も効果的であること、噴火の影響が直感的に理解できる噴石跡が防災行動につながりやすいことなどが明らかになった（京都大学理学研究科[課題番号：KUS_03]）。

東北大学は、箱根において観光と火山防災に関するアンケート調査を実施した。旅行者の6割は旅先での災害を想定せず、火山噴火に関する情報を自発的に収集する割合は3割程度と低い。現地のリスク喚起媒体としてはチラシより看板が効果があり、避難場所の認知は4割以下と低かった。また、リスク喚起が観光地のイメージダウンにつながると考える人は35%程度であった。これらの情報は、観光客に対する情報発信における基礎的な情報となる（東北大学[課題番号：THK_11]）。

兵庫県立大学からは、噴火警戒レベルに基づく災害対策に関する報告があった。行政の災害対応は噴火警戒レベルに基づいて行われるため、噴火警戒レベルの引き上げが間に合わないと考えられる水蒸気噴火に対しては、噴火警戒レベル以外の情報に基づく災害対応体制を整備することが必要である。御嶽山噴火についてのアンケート調査から、噴火に至らない可能性があってもデータに異常が見られたら知らせたい、という回答が圧倒的多数であることから、地域住民による異常発見情報を積極的に活用することが有望と考えられる。火山の異常に関する情報の発見とその伝達には地域住民の役割が重要であり、いくつかの自治体では住民からの情報をくみ上げ、それを伝達する仕組みが地域防災計画に明確に定義されている。また、住民からの情報が防災体制立ち上げの基準の一つとなっている自治体もある。さらに、得られた情報を伝達する仕組みにも地域ごとに工夫が見られる。これらを全国的な仕組みにするためには、国の防災基本計画の中で市町村が住民情報をくみ上げて活かす仕組みを具体的に示すことが有効であろう（兵庫県立大学[課題番号：HYG_01]）。

2) 小規模噴火の発生する場の把握

今年度は、本項目に関する報告は無かった。

3) 観測による火山の活動把握

富士山研は、富士山周辺での重力観測網の構築とその活用に関する研究を進めている。標高 1029 m の富士山研と標高 2298 m の 4 合目観測点の間には 1270 m の標高差により 294 mGal もの大きな重力差がある。この 2ヶ所で重力の差分観測を行うことにより、火山性でない擾乱シグナルの除去や、マグマの貫入・上昇に伴う重力差の変化を捉えられる可能性がある。また、2点の標高差を活かした観測により、重力測定において重要となる重力計固有の重力値への換算係数（スケールファクター）を精度よく決定できる可能性がある。その他にも、富士山研は重力測定精度向上のため、絶対重力計の個体差の検定や重力の鉛直勾配精密測定などに取り組んでおり、他機関による富士山の重力観測の拠点にもなっている。更に、標高 510 m の都留文化大学に新たな基準点を設け、観測網の

拡大を進めている（山梨県富士山科学研究所[課題番号：MFRI_02]）。

京都大学は、阿蘇山における多項目観測を継続しており、2019 年と 2021 年の噴火活動について、前兆現象と分岐指標の整理を行った。両者の活動において水蒸気噴火が発生したが、その発生前に共通して見られる事象として、マグマ溜まりを挟む基線長の伸び、浅部の昇温、長周期微動の増加、火山ガスの増加、短周期微動振幅の増大が挙げられる。また、水蒸気噴火後にマグマ噴火に移行した 2019 年噴火では長周期微動の振幅増加が見られたが、マグマ噴火に移行しなかった 2021 年噴火では微動振幅の増大が見られなかったことがわかった。また、2021 年水蒸気噴火前には地殻変動と微動振幅変化の対応が詳細に捉えられた（京都大学理学研究科[課題番号：KUS_02]）。

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などである。地殻変動観測結果を説明する収縮膨張源モデルは観測期間によって異なっており、長期にわたる変動を統一的に説明するモデルの構築には更なるデータ蓄積やパラメタ化の工夫、新たな観測項目の導入などが必要であろう。多項目観測の継続により、地盤変動と熱活動の定性的な対応の発見や、噴気音観測による噴気活動の定量的評価の試みなど、新たな成果が得られつつある（富山大学[課題番号：TYM_02]）。

4) 噴火の予測に関する研究

東北大学は、地震・噴火の国際的なデータベースを調べることで、大地震と火山噴火の関係を統計的に評価した。その結果、火山が大地震の影響で $0.5 \mu \text{ strain}$ 以上の静的膨張場に晒されると VEI2 以上の噴火発生確率が 2 倍に増加する、大地震発生後に火山性地震活動が活発化しその影響が 1 年以上続く火山がある、噴火発生前に地震活動が活発化しているとは言えない、等の知見が得られた（東北大学[課題番号：THK_11]）。

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、地表露頭のみの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に噴火堆積物が保存されている可能性があり、微小な噴火の新たな情報源として有望である。弥陀ヶ原で令和 4 年に実施した予備調査に続き令和 5 年度は本調査を実施して縞状硫黄層と縞状粘土層のサンプル 2 m を 3 ヶ所で採取した。高知コアセンターの TATSCAN での分析ではテフラ層の化学的特徴を持つ層が複数見出された。さらに ITRAX を用いた測定間隔 0.2 mm の高分解能分析の実施を予定している。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（富山大学[課題番号：TYM_01]）。

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。

5 か年の主な成果

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

研究項目	進捗
1) 災害情報の発信に関する研究	→ 関連する研究課題はあるが問題点の整理がまだ必要な段階
2) 小規模噴火の発生する場の把握	→ 関係各課題で実施中
3) 観測による火山の活動把握	→ 関係各課題で実施中
4) 噴火の予測に関する研究	→ 関係各課題で実施中
5) 災害発生状況の調査・整理	→ 未実施

以下では、それぞれの研究項目毎に特筆すべき成果をまとめた。

1) 災害情報の発信に関する研究

特筆すべき成果の一つとして、VUI (Volcano Unrest Index, 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試みが大きく進展したことを挙げることができる。VUI は各種観測データから、噴火前における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、この5年間に、十勝岳、吾妻山、阿蘇などにおいて VUI を求めるために必要となるワークシートの試作が進んだ（北海道大学[課題番号：HKD_04]，東北大学[課題番号：THK_08]，京都大学理学研究科[課題番号：KUS_02]）。

火山防災において有効な火山情報発信とはどのようなものか、という問題に関する知見の蓄積が進んだ点も重要である。火山の観測情報はそのまま伝えれば良いというものではなく、例えば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ている（東北大学[課題番号：THK_08]）。

アンケート調査などを通じ、火山に関する情報を非専門家に伝える際に、どのような情報をどのような形で伝えることが効果的であるか、が少しずつ明らかになってきている。例えば、非専門家の火山に関する知見は、専門家が期待するよりもはるかに限られている場合があり、専門家の発信する情報が非専門家である受け手にはあまり伝わらないということが往々にして起きる。情報の発信側は受け手をよく理解し、適切な内容・タイミング・方法での発信に努める必要がある。

阿蘇山を訪れる観光客を対象としたアンケートからは、阿蘇が活火山だと認知していた観光客は7割に過ぎないこと、警戒レベルの理解度は火山毎に違うことがわかった。また、安全確認行動を促進するためには看板の設置、噴火の痕跡を残すことや気象庁による噴火警戒レベルの情報提供、火口周辺の掲示板・音声ガイダンスが有効であることが分かった。（京都大学理学研究科[課題番号：KUS_03]，東北大学[課題番号：KOB024]）。

箱根における観光と火山防災に関するアンケートからは、旅行者は旅先での災害をあまり想定しておらず、火山噴火に関する情報を自発的に収集することは少なく、避難場所の認知度も低いなどの情報が得られている。（東北大学[課題番号：KOB024]）。

2021 年 10 月に阿蘇山で発生した水蒸気噴火の際、登山道閉鎖が遅れたために火口周辺に 10 人以上の登山者が取り残されたという重大インシデントが発生した。これに関し、阿蘇市及び阿蘇警察署からの情報提供と研究者自身の体験に基づいてその発生過程を時系列に沿って整理し、いくつかの問題点を明らかにした点は火山防災に関する情報発信を考える上で極めて重要である（京都大学理学研究科[課題番号：KUS_03]）。

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調査を進めている。この調査を通じて得られた火山防災に関する知識不況・啓発に関する様々な知見は重要である。例えば、頻度の低い噴火現象だけでなく毎年のように発生する土石流災害など砂防という観点から防災意識を高めることが重要であること、火山地域は観光が主たる収入源であることから啓発・教育において火山の恵みも伝えることが必要であること、子供を対象とすることが効果的であること、ボランティアではなく有償化により責任を持たせることでガイドの質を担保することが必要であること、などが挙げられる（名古屋大学[課題番号：NGY_07]）。

東京工業大学が行った研究者と社会が問題点を共有する場としてシンポジウムを活用する試みも災害情報の発信に関する研究において重要である（東京工業大学[課題番号：TIT_03]）。

外国人（観光客あるいは在留外国人）への火山に関する情報提供方法の検討においては、団体客か個人客かによって避難情報の入手経路が異なることや、観光客へは英語あるいは多言語による情報提供が効果的だが在留外国人に対してはやさしい日本語が効果的であることなど、多様な対応が求められることが分かった。また、火山災害発生時の市町村による災害対応におけるボトルネックの検討結果も重要である。マンパワーが限られる小規模な市町村では多岐にわたる事項すべてに対応することが難しい場合があり、噴火の影響範囲の拡大に応じて「市町村」→「県」→「国」と対応主体を拡大するという考え方では必ずしも対処できないことや、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た。また、行政の災害対応は噴火警戒レベルに基づいて行われるが、噴火警戒レベルの引き上げが間に合わないと考えられる水蒸気噴火に対しては噴火警戒レベル以外の情報に基づく災害対応体制の整備が求められており、これに対しては地域住民による異常発見情報を積極的に活用する方策の検討などが有望と考えられる（兵庫県立大学[課題番号：HYG_01]）。

防災科学技術研究所は、火山災害軽減のためのリスクコミュニケーションに関する研究の一環として、自治体における噴火時対応タイムラインの作成と訓練及び研修の実施を進めているが、これも災害情報の発信に関する研究において重要な取り組みと言える（防災科学技術研究所[課題番号：NIED_01]）。

2）小規模噴火の発生する場の把握

東工大は、小規模噴火発生場の把握に関する先進的な取り組みとして、草津白根湯釜において土壤ガスに基づく側噴火リスク評価を試みている。土壤ガスとは地下起源のガスが破砕帯などの透水係数の高い領域を通して地表に達するものであり、地下の熱水貯留域に存在する火山性流体は破砕帯を通路として上昇すると考えられる。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。草津白根山の湯釜周辺では高い土壌ガスフラックスを示す場所が複数見つかり、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場所だと考えられる。（東京工業大学[課題番号：TIT_03]）。

広帯域 MT 観測により検出される浅部の低比抵抗層は水蒸気噴火と関係の深いキャップロック構造の存在を示唆しており、水蒸気噴火が発生する火山の多くで観測されている。湯釜直下から本白根山にかけても深さ 1-3 km に広がる低比抵抗域が検出されており、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（東京工業大学[課題番号：TIT_03]）。

富山大は本白根火砕丘群の山頂域に分布する小火口の活動年代を検討し、各火口を形成した水蒸気噴火の発生年代を推定するとともに、水蒸気噴火の発生場として国内外に有名な白根火砕丘群の形成史の解明のため地質図の試作と各火砕丘の活動年代推定を実施した。これは地質学的手法による発生場把握の試みとして特筆できる成果である（富山大学[課題番号：TYM_01]）。

3) 観測による火山の活動把握

多項目観測による火山の活動把握が多くの火山で進められている。

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。観測データから、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（東北大学[課題番号：THK_08]）。

伊豆大島においては、人工電流源による地下比抵抗連続モニタリング（ACTIVE）と直流法による比抵抗モニタリングが実施されているが、いずれも顕著な変動は認められていない（東京工業大学[課題番号：TIT_03]）。

草津白根火砕丘周辺では多項目観測を継続しており、活動の低下傾向を示す様々な観測的事実が得られている。本白根山 2018 年噴火時に発生した火山性微動の発生位置から、噴火に関与した流体が北方由来であること、および、噴火発生時の傾斜変動と噴火噴煙放熱量の比較から、噴火に関与した熱水が比較的低温であった可能性が示唆されている（東京工業大学[課題番号：TIT_03]）。草津白根山ではさらに、側噴火によるリスク軽減を目指した地球化学的観測の試行として、土壌拡散気体である水銀の検出、希ガスの同位体分析、光ファイバー温度計を用いた熱異常の検出などによるモニタリングが開始された（東京工業大学[課題番号：TIT_03]）。

弥陀ヶ原火山においては、活動状態を把握するための多項目地球物理観測を開始した。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と GNSS 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を実施している。これまでの観測に比べて観測項目数や観測密度が格段に向上したことから、活動状況に関する重要な基礎

データの蓄積が進み、地盤変動と熱活動の定性的な対応の発見や、噴気音観測による噴気活動の定量的評価の試みなど、新たな成果が得られつつある（富山大学[課題番号：TYM_02]）。

富士山周辺での重力観測網の構築とその活用に関する研究の進展も重要である。富士山研は、標高差を活かした複数観測点による広域重力観測網の構築を進めている。また、重力測定精度向上のため、絶対重力計の個体差の検定や重力の鉛直勾配精密測定などにも取り組んでおり、他機関による富士山における重力観測の拠点の役割も果たしている（山梨県富士山科学研究所[課題番号：MFRI_02]）。

京都大学は、阿蘇山における多項目観測を継続しており、2019年と2021年の噴火活動について、噴火に先行する現象と分岐指標の整理を行った。両者の活動において水蒸気噴火が発生し、その発生前に共通して観測された事象として、マグマ溜まりを挟む基線長の伸び、浅部の昇温、長周期微動の増加、火山ガスの増加、短周期微動振幅の増大を挙げることができる。一方、2つの噴火で異なる観測量もあった。長周期微動の振幅は、水蒸気噴火後にマグマ噴火に移行した2019年噴火では振幅増加が見られたが、マグマ噴火に移行しなかった2021年噴火では振幅増大が見られなかった。（京都大学理学研究科[課題番号：KUS_02]）。

防災科学技術研究所は多項目観測データによる火山現象・災害過程の把握のための研究を進め、基盤的火山観測網（V-net）等のJVDNシステムに集約されたデータの活用を進めている（防災科学技術研究所[課題番号：NIED_01]）。国土地理院は火山活動の監視および現象の理解等に必要となる基礎資料を提供するため、熊本において絶対重力観測を実施した。また、富士山において全磁力連続観測を実施した（国土地理院[課題番号：GSI_06]）。気象庁は、小規模火山噴火に関する研究の推進にむけて火口近傍の観測体制の充実を図っており、活火山の常時監視体制の継続や、地震計や監視カメラの増強を進めている（気象庁[課題番号：JMA_12]）。

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大きな期待が寄せられている。東北大学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行っており、桜島、阿蘇山、浅間山、霧島山での観測を行っている。桜島での観測からは、爆発的噴火だけでなく地震・空振をあまり励起しない灰噴火も検出可能であることが判り、他の観測項目と合わせることで、噴火の検知能力が上がることを期待される。阿蘇山では2021年10月噴火に伴う電界変動を検出した（東北大学[課題番号：THK_03]）。

4) 噴火の予測に関する研究

観測データの解析結果や物質科学的データの分析結果を整理することで、火山活動推移のモデル化や、噴火事象系統樹の分岐判断指標の作成が進んだ。吾妻山や十勝岳を対象とした火山性地震発生域や膨張・収縮源、低比抵抗領域、活動様式についての比較研究の進展、十勝岳の熱水系を念頭においた熱水流動シミュレーションによる地下熱水系の評価、湖水の熱・化学パラメータの数値的検討に基づいた火山活動に対する火口湖の応答評価など、噴火予測に資する基礎的な知見が増した。十勝岳の地質学的調査からは、マグマ噴火は約1800年前までであり、その後は水蒸気噴火および小規模な山体崩壊が散発

的に発生していることがわかったものの、小規模噴火の発生については不確実性が高く、現在活発な活動を示す火口以外も対象として、調査・評価する必要があることが改めて示唆された（東北大学[課題番号：THK_11]）。

噴火・災害ポテンシャル評価のためのモデリング研究の一環として、水蒸気噴火を駆動した熱水量の見積を行った。また、火道を上昇するマグマの振る舞いを調べるため、高粘性流体中の発泡シミュレーション手法の開発も進めている。このような、噴火ポテンシャル評価を目指す研究の成果は、小規模水蒸気噴火においても活用できると考えられる（防災科学技術研究所[課題番号：NIED01]）。

富山大学が進める、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も重要な成果である。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、従来の露頭調査などからは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、地表露頭のための観察からは把握できない小規模噴火は多数存在するため、「真の噴火履歴」の解明は極めて難しい。火口内や火口近傍の湖沼堆積物に噴火堆積物が保存されている可能性があり、微小な噴火の新たな情報源として有望である。弥陀ヶ原で実施した調査で得た縞状硫黄層と縞状粘土層のサンプルからはテフラ層の化学的特徴を持つ層が複数見出された（富山大学[課題番号：TYM_01]）。

5）小規模噴火災害の資料収集

ドローンの小型化、高性能化とともに、災害発生時の被害情報把握へ応用するための研究が進められている。ドローン調査により得られる「噴出物の飛散範囲等の動的情報」と「人・家・施設等の静的情報」を組み合わせ、被害情報を迅速に把握することが期待される。ドローンの飛行範囲や運用コストは、本研究のターゲットである小規模噴火に対し、過大でも過少でもない適度な規模であり、将来的な活用が期待される（富山大学[課題番号：TYM_03]）。

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

5か年の研究を総括すると、1) 災害情報の発信に関する研究に関しては、問題点の整理がある程度進み、火山の活動段階をわかりやすく示す指標の作成も進んでいる。しかしながら、いずれも更なる研究が必要な段階に留まる。2) 小規模噴火の発生する場の把握に関しては、様々な調査・研究により水蒸気噴火の発生場の構造に関する理解が大きく進み、発生場を特徴づける構造が見えつつあり、今後も研究の継続が望まれる。3) 観測による火山の活動把握に関しては、観測項目の増加と噴火事例の積み重ねにより、小規模噴火につながる活動状態の変化の特徴が捉えられてきている。この項目についても研究の長期的な継続を期待したい。4) 噴火の予測に関する研究は、観測データの増加と比較研究の進展により、火山活動推移のモデル化や分岐判断指標の作成が進んでいる。また、噴火現象の背後にある物理機構を数値シミュレーションなどによって理解するための研究も進められている。5) 災害発生状況の調査・整理に関しては、本総合研究内では十分に進展したとは言い難い。

個々の研究課題はそれぞれ重要な成果を出しており、課題間の連携もうまく行っていると見えるが、火山研究における学術的成果と火山防災の実現について社会が求める情報との乖離はまだ非常に大きい。高リスク小規模火山噴火の研究においては、社会がどのような情報をどのような形で受け取りたいのかを知る努力がますます必要とされており、そのためには情報の出し手と受け手の関係構築が必須である。最終年度には、研究者と社会が問題点を共有する場としてシンポジウムを活用する試みが行われたが（東京工業大学[課題番号:TIT_03]）、これは情報の出し手と受け手の関係構築において非常に有効な手段の一つと考えられる。令和6年度から始まる新たな5か年計画においては、このような試みの更なる発展に期待したい。

成果リスト

関係各課題が属する部会報告において報告されているため、本報告では特に挙げない。

表 1. 令和 5 年度成果報告会 発表タイトル

本多 亮	富士山重力観測網の構築とその活用
大湊隆雄	総合グループ成果 取りまとめの方向性について
阪本まゆみ	噴火警戒レベルに基づく災害対応を考える
齋藤さやか	観光客の防災意識—箱根来訪者を対象としたアンケート調査をもとに
橋本武志	「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(その2)
高木朗充	想定火口から居住地域までの距離と噴火頻度によるリスク
寺田暁彦	地域と共催の火山防災シンポジウムの試み
大倉敬宏	阿蘇火山における水蒸気噴火の予測と防災対応
石崎泰男	湖沼堆積物を用いた噴火履歴解明の試み
堀田耕平	富山県弥陀ヶ原火山におけるこれまでの地球物理学観測と今後の展望
西村太志	大地震による火山活動の誘発

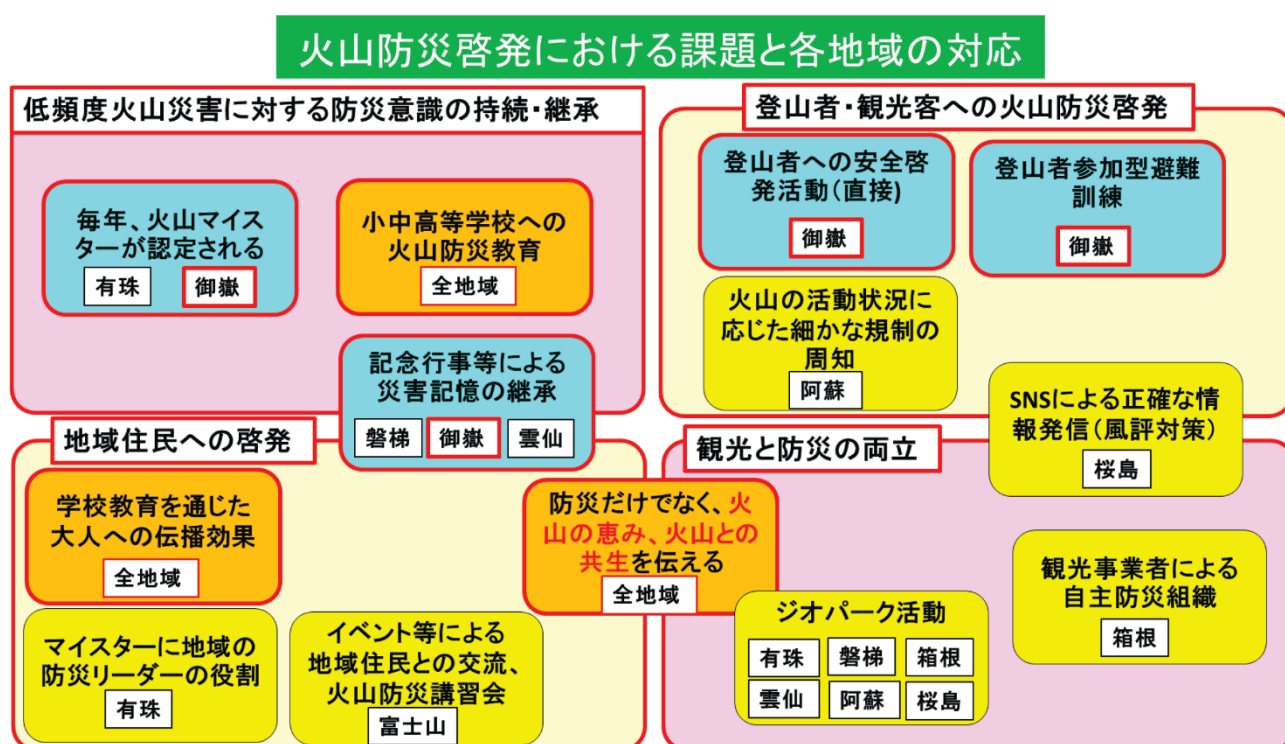


図 1. 火山防災啓発における課題と、各地域における対応の状況

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 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

5年間の成果の概要

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、(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。

総括研究では5年間の間、一貫して南海トラフ沿いで巨大地震が発生した際の地震リスク評価の方法論や、実際のリスク評価やその影響について検討を行った（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C01]）。特定研究として、令和元年度には前述9分野のうち、（8）ステークホルダの参画に関する研究（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C02]）と（2）伝播・深部地盤構造に関する研究（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C03]）を進めた。令和2年度には前述2分野に加え、（6）リスク評価に関する研究（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C14]）において、斜面災害発生箇所のリスク評価について検討した。令和3年度には、令和2年度に新型コロナウイルス感染症対策の影響により十分に研究が進められなかったこともあり、令和2年度の特定研究を継続しつつ、（4）浅部地盤構造に関する研究（拠点間連携共同研究[研究課題CT0C20]）と（5）構造物被害予測に関する研究（拠点間連携共同研究[研究課題CT0C021]）を加え、5つの特定研究を実施した。令和4年度には、令和3年度に追加した2分野に加え、（6）リスク評価に関する研究（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C31]）と（7）プラットフォーム構築グループによる研究（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C32]）を実施した。令和5年度には、令和4年度に追加した2分野に加え、（6）リスク評価に関する研究（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C41]）をもう一つと（3）強震動予測に関する研究（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C42]）について研究を推進した。

平成31年度/令和元年度から令和5年度までの各年度において、重点推進研究の総括研究と特定研究に申請された研究提案について、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により審査され、重点推進研究の趣旨に適合するものが採択された。

令和5年度の成果の概要

（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、2022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]、藤本・他、2023a, Chida and Mori, 2023, Morgado et al., 2023, Zhang et al., 2024, 泉・他、2023, 泉・友清, 2024）。

震源過程について、プレート境界面における反射係数の違いから摩擦強度の分布を推定し、将来発生する南海トラフ地震の地震像に迫るために、解析に用いる地震波形記録の整理作業を行った。強震動予測に関しては、南海トラフ巨大地震のリスク評価の向上を目指し、2016年4月1日に紀伊半島沖で発生した地震(Mj6.5)について、瀬戸内海側、日本海側での違いを見るために、岡山市、鳥取市でのHi-netで観測された地震動スペクトルの比較検討を行った。深部地盤・伝播経路については、南海地震震源域西端にあたる、豊後水道沖の海域における地殻内地震波速度構造の詳細な解析を進めた。その結果、地震波構造調査で取得した海底地震記録に対して走時トモグラフィおよび全波形イン

バージョン法を適用し、沈み込んだフィリピン海プレート上の海山に対応するように、P波速度の遅い領域が認められた。また、S波速度構造については地震波干渉法による解析を進めており、これまでにS波速度構造0.5~1.0 km/sを持つ海底下浅部の構造を明らかにしている。さらに本海域周辺での広い範囲における地殻構造の高度化を進めている。浅部地盤構造に関しては、液状化地盤上に構築された隣接する2つの直接基礎建物の間隔が、地震時の建物傾斜角に及ぼす影響について、遠心力場における一連の模型振動実験により調べた。実験では、建物の幅に対する間隔の比率（0.05, 0.4, 0.7, 1.0）を変化させたケースに加え、比較対象として1つの建物に対する振動実験も実施した。その結果、建物の幅に対する間隔の比率が小さいと、隣接する2つの建物は互いに向かい合って倒れ込むように傾斜するのに対し、比率が大きくなると互いに離れるように傾斜する（比率0.7で相対傾斜角が最大となる）ことがわかった。構造物被害予測については、 fragility 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。リスク評価高度化に関しては、これまでに高精度姿勢位置情報が付与された写真と、緯度・経度・高度によって表現された点群データや3次元ポリゴン等を、幾何学的情報や特徴点に関する情報などを用いて多角的に照合することにより、撮影された写真から建物および建物の部位を自動的に判別する手法を開発してきた。今年度の研究では、これらを地理空間情報システム上で統合することで、リスク評価や被害分析に資する曝露の情報および被害情報に関するデータベースを構築し、高精度なデータベース構築に向けた課題を抽出した。具体的には、（1）デジタルツインを活用し仮想空間内に被害画像のデータベースを構築するとともに、（2）UAV空撮画像から生成した点群をもとに屋根形状を有する3D建物ポリゴンの作成を試みた。その結果、特定の条件下で、点群生成の精度が低下すること、スマートフォンやタブレットのGNSSおよび9軸センサの測位・位置推定の誤差が大きくなることにより、曝露対象の位置や形状推定や画像の3D建物ポリゴンへのマッピングが正しく行われなかったことが明らかになった。また、能登半島地震で土砂災害により道路の分断によって集落が孤立した件について、地震の前後の50 cm-DEMを用いた土砂災害予測基本図を用いて、道路被害があった箇所近傍の地形解析を珠洲市逢坂トンネル付近で実施した。土砂が崩落した箇所には、傾斜が大きく斜面下部に上部の土塊を支持する構造がない地形的特徴（遷急点や遷急線）があった。道路設置の際の切り取りが原因と考えられる箇所や、既往の地すべり地を横断する部分での変位が大きい例があった。さらに、津波被害について、南海・東南海地震津波に対して断層パラメータの不確実性に対する津波波高のばらつきに対する感度解析を実施した。ついで、津波によって発生する漂流物の挙動について実験結果をもとにモデリングを行い、津波漂流物の漂流特性を明らかにした。プラットフォーム構築に関しては、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による建物被害の推定方法について、令和4年度までに木造建物に対して実施してきたが、鉄筋コンクリート造（RC造）と鉄骨造（S造）によるものを実施できるように高度化を行った（図1, 図2）。これにより、木造、RC造、S造の建築物被害推定を同時に行うことで、それぞれの構造形式に与える影響について検討することができるようになった。今後、実際に存在してい

る建築物の位置と構造種別を把握することにより、実在する建物を考慮した建物被害推定を実施するための準備ができた。また、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津波の災害について、震源パラメータの不確実性を考慮した確率論的評価を実施した。コンピュータサイエンスについては、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。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。

（２）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：CTOC31], 筒井・齊藤, 2023, 筒井・齊藤, 2024）。

2016年熊本地震、2018年胆振東部地震の前後の詳細数値地形図を用いて地形変化部を抽出し、地震により斜面の土塊が移動を始める箇所とその移動様式を検討した。その結果、傾斜が大きく斜面下方に支持する構造のない箇所が最大傾斜方向に移動することが崩壊、土石流や地すべりの端緒となっていることが明らかになった。また、尾根に亀裂の出現する箇所と、尾根をはさむ斜面の土塊は、最大傾斜方向に変位してその間に位置する尾根で土塊が両側に移動するために陥没や亀裂が生じていることが明らかになった。これまで集合的に土塊が移動したように考えられていた大規模な崩壊でも、斜面下方に位置する、斜面の下部に支持する構造がない部分から順に上部に破壊が遡上する形式と考えると、非常に合理的な場合があることが明らかになった。このような下部に支持する構造のない箇所は、地形学的には遷急点あるいは遷急線に相当し、この付近の傾斜が大きい方が不安定で遷急線の場合は線の長さが長く、その遷急線をはさむ線状構造が斜面上方に延びている場合は不安定度が高いと考えられる。豪雨の場合もこのような地形的特徴を有する箇所に落水線が集中する場合に、不安定度が高いことがわかっているので、このような箇所を抽出することが、位置予測すなわちハザードマップ作成の出発点となる。この箇所は、土砂災害予測基本図を用いると容易に特定することができる。土砂の移動開始箇所を特定し、次にその土塊が下方に流動または移動する過程を再現し、堆積する範囲を特定することが、ハザードマップ作成にとって重要である。そのために、土砂流動再現モデルであるiRICを用いて試算をおこなった（図3～6）。土塊が流動し流下する際の側岸、流路底面からの取込量は一律と仮定して計算を実施するケースが多いが、今回の計算を実施する際には、この仮定を緩める改善をおこなった。この結果、堆積域の建築物も考慮し、被害範囲のみならず避難方向や経路を考察できる情報を得ることが可能となった。

（３）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：CT0C32]，Miyake et al.，2023，Scowthorn et al.，2023，Muhammad et al.，2024）。

令和５年度で100年を迎えた1923年関東地震について、震源・地下構造・強震動予測等の歴史的経緯を踏まえて最新の知見を収集し、今後のハザード・災害リスク評価に必要な課題をまとめた。1923年の関東大震災から100年を契機として、我が国の歴史的な地震火災の教訓を国際的に広く共有し、地震の多い国々での今後の防災に活かすべく、カリフォルニア大学、香港大学、国際基督教大学の研究者らと共同（土木工学、建築火災安全工学、歴史学の国際文工異分野連携）で、東京で発生した同時多発大規模火災の実態を多面的に整理した。また、近年の地震火災の傾向や国外の地震火災事例も参照し、現代においても潜在する地震火災リスクを見落としてはならないことを強調した。

確率論的な津波ハザードとエージェントベースの避難モデリングを組み合わせた統合津波リスクフレームワークを開発した。この枠組みを、人口約2,200人がM9クラスの地震により重大な津波現象に遭遇すると予想される高知県黒潮町佐賀のケースに適用した。まず、2つのマグニチュード（M8.8とM9.0）の確率的震源モデルを生成し、確率論的津波浸水シミュレーションを実行した。次に、MATSimによるエージェントベースの津波避難モデリングを、4つの異なるモード、単一モード（歩行者もしくは自動車）と2つのマルチモードシナリオ（自動車と歩行者の混合）、によるシナリオを考慮して実行した。確率論的津波シミュレーションとエージェントベースの避難モデリング結果を統合してリスクを推定した。また、既存の津波避難場所と津波避難タワーがリスクの軽減に与える影響も評価した。このような統合枠組みは最終的に、津波危険度の高い地域での津波被害軽減戦略を推奨するために使用する。結果として、佐賀地区では重大な津波危険度（最大15メートルの津波深さ）が予想され、到達時間は5分から30分であることを示した。さらに、高台にある避難場所は、特に歩行者モデルとマルチモードモデルの場合は影響を受ける人数が少なくなる（10～100人）ことから、地域住民の人命救助に効果的であることが分かった。ただし、避難手段が車のみの場合は最大1,000人が影響を受ける可能性がある。したがって、沿岸地域の住民には徒歩での避難が推奨される。この研究により、津波被害リスクを軽減するには、十分な高台と垂直避難の場所を特定して確保することが不可欠であることを定量的に示した。

（４）特定研究（その８）

「巨大地震・津波を起因とする火災リスク評価の高度化」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：CT0C41]，Nishino，2023，Nishino et al.，2024，Akizuki，2024，北後，2023）。

テーマ１：地震火災・津波火災のリスク評価手法の高度化

地震火災については、地震火災の出火件数予測における認識論的不確実性について検討した。具体的には、1995年から2022年までに日本で発生した6つの地震の出火記録を用いて、人口一人あたりの出火確率と地震動強さ指標の統計的な関係（出火モデル）を推定した。その結果、出火モデルは地震イベントによって大きく変動すること、および、この出火モデルの不確実性は地震火災リスク評価におけるポートフォリオ損失超過曲線を

大きく変動させることが分かった。津波火災については、不確実性を考慮した津波起因の石油流出火災の定量的ハザード評価手法を開発した。提案する手法は確率論的津波ハザード評価の拡張であり、津波による石油貯蔵タンクの移動、それに伴う石油の流出、津波による石油の拡がりと燃焼の拡大、火災の熱放射を組み込んでいる。また、断層すべり分布、石油貯蔵タンクの液面高さ、出火の時刻と位置の不確実性を考慮する。確率的に生成される多数のシナリオについて数値シミュレーションを実施し、火災ハザードの定量的尺度である最大放射熱流束の超過確率を面的に表示する。大阪湾岸の石油コンビナートに適用し、南海トラフ地震を想定したケーススタディを通じて、火災がもたらし得る影響に関して理解を深められることが示された。

テーマ2：地震後火災リスク軽減のための避難路照明計画に関する研究

直進以外のルートで出口まで移動しなければいけない実験空間を設定し、床から900 mm高さの壁面に連続して有機ELを設置した上で、光源輝度を蓄光型誘導標識レベルの1 cd/m²から高濃度下でも視認可能な1000 cd/m²まで4段階設定し、白煙濃度を0（無煙）～2.0 m⁻¹の濃度での様々な点灯パターンでの避難経路の視野輝度分布を計測した。有機ELを連続的に点灯させることで高濃度下でも迷わずに避難経路をたどれるが、その光源輝度が高すぎると誘導灯に散乱重畳して、誘導灯と周囲との輝度対比が減少し視認距離が短くなるため、有機EL光源輝度を適正レベルに設定する必要があることを明らかにした。

テーマ3：地震火災・津波火災の発生・被害拡大を抑制する対応行動モデルの策定

近年の調査研究の傾向としては、阪神・淡路大震災以降の通電火災、電気火災の増加に対応して、地震後の出火危険への対応行動に関する調査研究・検討事例が多い傾向があり、これらに基づいた地震火災の発生予防の施策が展開されている傾向があることを示した。一方、令和6年度には、激震災害となった令和6年1月1日に発生した能登半島地震で現地調査を実施したところ、建物倒壊が起因となった火災の発生が見られ、激震による初期消火の困難性や消防活動の阻害条件の発生によって、大規模延焼火災となった事例が発生した。これは、阪神・淡路大震災時に見られた出火原因が不明とされた大規模火災と同様に激震による消防活動の阻害条件等によるものであったことが想起される。

（5）特定研究（その9）

「地震ハザードにおける地下構造の影響の定量的評価の研究」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：CT0C42]，野口・河野，2023，野口・他，2023）。

関西における大都市は、堆積盆地等比較的柔らかな地盤の上に大きな都市が発達している。ここでは、まず盆地である京都盆地を対象の一つとして研究を進めた。京都盆地は、東西約10 km南北約25 kmの、大阪層群、段丘堆積物相当層、沖積層に埋積された堆積盆地である。自治体や研究機関等によって実施された地下構造調査によると、堆積層の厚さは盆地中央部を北東-南西方向に延びる宇治川断層より北側では100～300 m程度、南側では400～700 m程度である。対象とする地震は、京都盆地の北西約15 kmで発生した2022年3月31日のMw4.2の地震を用いた。この地震では、最大震度4を亀岡市、京都市で記録している。地震動シミュレーションは、差分法を用いた。最小S波速度は350 m/sまで考慮し、堆積層中のグリッド間隔を25 mとして、2Hzまでを有効周波数とした。計算さ

れた波形の時空間分布を見ると、京都盆地の地震動応答は、直達波の後、多重反射、盆地縁部で発生する表面波が、狭い盆地内を交差し、複雑な様相を呈することがわかった。盆地縁の形状は出入りが多く複雑であり、盆地縁で発生した表面波が強め合う尾根が、盆地縁の屈曲部を始点として形成されていることが示唆された。

瀬戸内海沿岸には、岡山や広島等大きな都市が存在している。またそれらの都市は、海拔の低い海岸から山地に向かって広がっており、堆積層の厚さが変化し、地域の特徴の変化が予想される。そのため、それらの地盤構造の特徴を知ることは災害の予測を行う上で非常に重要である。そこで、岡山県内において広範囲な領域で高密度な震度観測点における地盤増幅率と地盤構造の推定をおこなった。この研究では、岡山県内にある自治体の震度計観測網（岡山県震度情報ネットワーク）と気象庁の震度観測点や防災科学技術研究所のK-NET、KiK-netなどの強震観測点の計119地点で観測された地震の波形記録からその各地点の地盤特性を抽出した。地震は、中国地方、四国地方、近畿地方で発生し、岡山県震度情報ネットワークの観測波形記録が入手できたイベント約20個を用いた。地盤特性は地震基盤からの地盤増幅率で、スペクトル・インバージョンによって求めた。その結果、岡山県のほぼ全域において様々な地点の地盤特性を抽出することができた。また、児島湾周辺を中心とする地点の地盤構造の推定や岡山大学津島キャンパスにおける微動探査も行った。これら岡山県における地盤増幅特性や地盤構造モデルは、南海トラフの地震を含む巨大地震に対する防災や減災のための重要な情報となり得ると期待される。

中国四国地方は山間部も多く、南海トラフの巨大地震発生時の地すべりの発生が懸念される。そのため、鳥取県の地すべり地域において中山間地域の不整形地盤が想定される地すべり地域及び断層近傍において、微動および重力探査を実施し、地盤震動特性の把握及び地盤構造の推定を行った。島根県多伎町内の小田地区と田儀地区の地すべり地域では微動探査と重力探査、徳島県三好市の地すべり地域では微動探査、三野断層近傍では動探査と重力探査を実施した。地すべり地域では、すべ落崖やその周辺でH/Vの卓越周期が長くなる傾向やピークが大きくなる傾向がみられた。多伎町では大きな移動体ブロック内で複雑に変化する様子、三好市では小ブロック毎に形状が異なることがわかった。

2. 一般課題型研究

令和5年度の成果の概要

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。

一般課題型研究については、令和元年度は新規10課題、令和2年度は新規5課題、継続・期間延長7課題、令和3年度は新規9課題、期間延長4課題、令和4年度は新規8課題、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。令和5年度は、6件の新規課題と5件の継続課題が採択された。5年間で、のべ58課題が採択された。

令和5年度の成果の概要

(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

「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、以下の成果が得られた（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C35]，松島・他，2023，山本・他，2024）。

図7に微動のアレイ観測及び単点観測を行った地点と水田・鏡味(2013)における震度7の地点を示す。アレイ観測は計6地点で行ったが、その内3地点は背斜構造が見られる余目周辺で行った。アレイの形状は原則、一辺が45 m, 15 m, 5 m, 1.67 mである同心円の正三角形とした。単点観測は主として東西方向に7測線84地点で行い、間隔が狭い所では1 km間隔，広い所では2 km間隔で観測点を配置した。さらに測線間を補完するように測線外に11か所の観測点を設けた。また、観測には加速度地震計SMAR-6A3PとJU410を用いた。サンプリング周波数は200 Hzとし、単点観測では30分以上、アレイ観測では大きさに応じて最低10分以上の計測を行った。

単点微動観測記録からは各地点での水平上下（H/V）スペクトル比を算出した。まず、得られた加速度時刻歴データを50%オーバーラップさせて40.96秒の小区間に区切り出し、NS・EW・UDの3成分の振幅二乗和が小さい15区間を抽出した。区間の前後1秒にコサインテーパーによる処理を施し、高速フーリエ変換を用いて各区間のフーリエスペクトルを求めた。さらにバンド幅0.1 HzのParzenウィンドウを用いて平滑化した後にH/Vを求め、15区間の幾何平均をとった。微動アレイ観測記録からは微動アレイ解析ツールBIDO(ver. 3.2))を用いてSPAC法によりレイリー波の位相速度を求めた。解析パラメータは、セグメント平均の際のセグメント長、セグメント数はそれぞれ10.24秒、10個であり、Parzenウィンドウのバンド幅は0.3 Hzとした。解析結果の一例として図8にEWD測線におけるH/Vスペクトル比を示す。位相速度は0.4 Hzから12 Hz程度まで得られた。H/Vスペクトル比については盆地構造に起因する方位依存性や卓越周期の変化を期待したが、空間的傾向を明確には確認できなかった。

「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、令和4年度に建物被害に関する資料及び論文より決定した強震動評価地点のうち、地盤の微動観測を遂行できていなかった地点での観測を引き続き行い、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)の提案した地震動微動補正係数EMRをMHVRに乗じることで擬似地震動水平上下動比pEHVRを求め、それにIto et al. (2021)で提案された上下動補正係数VACFを乗じることで観測地点全地点における疑似サイト増幅特性pHSAFを求めた。

その上でまず、建物倒壊率とpHSAFの一次ピーク振動数を確認した。図9にその結果を示す。多くの地点で一時ピーク振動数は建物の大被害に直結する0.5～2 Hzの間にあることが分かった。さらに建物倒壊率と0.5～2.0 Hzにおけるピーク振幅の関係性を確認した。

図10にその結果を示す。20地点では0.5～2.0 Hzでの振幅が10を超えており、大きな増幅があることが分かった。また、両者には正の相関があり、サイト増幅特性が建物の大被害に寄与したことは明らかだといえることが分かった。一方で、ピーク振幅が大きくななくても、建物被害が大きかった地点もあり、このような地点では、サイト増幅特性以外の要因、すなわちSMGAとの距離やディレクティブティ効果といった震源の影響を建物被害の要因の可能性として考える必要がある。

震源モデルについては、上記で得られたサイト増幅特性が大きくなっても建物被害が大きかった地点の位置関係を拘束条件としてSMGA配置を置き換えたモデルを複数構築した。当初の計画4の建物被害率計算については、令和6年に入り実行予定であったが、元日に発生した能登半島地震の調査・データ解析のため、着手に至っていない。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支持する構造がない。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46 km 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2020年12月29日01:47、深さ35 km 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：CTOC39]、伊藤・他、2023a、伊藤・他、2023b、Ito et al., 2023）。

「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、以下の成果が得られた（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC40]、藤田・境、2023、汐満・他、2023）。

令和4年度に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、過去の震度6弱以上を記録したKiK-net観測点の強震記録を対象として検討を行った結果、AVS30（表層30 mの平均せん断波速度）が小さい軟弱地盤で発生していることがわかったが、その条件を満たしても、該当地震動が発生していない場合もあったため、更に、条件の絞り込みを行った。その結果、表層地盤については、AVS30が140 m/s以下、等価一次周期が1-1.5秒、基盤動（KiK-net観測点の地中記録）の地動最大速度（PGA）が30 cm/s以上だと、そのような地震動が発生していることがわかった（図11, 12）。そして、そのような条件を満たす表層地盤を探すと、埼玉県北西部など、多数存在することがわかった。

一方、開発した実大1層縮約試験体に入力した振動実験は、昨年度、KiK-net厚真を入力して、大きな被害となった試験体に、震度6強で短周期が卓越した2003年十勝沖地震のK-NET広尾の強震記録を入力したところ、ほとんど被害が生じないことを確認するとともに、KiK-net厚真と同様の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である、2007年新潟県中越沖地震のK-NET柏崎を入力し、こちらも大きな被害となることを確認した。

「コミュニティ断層モデルの試作」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：CTOC43]、安藤・他、2023、吾妻・他、2023）。

本年度は試作版の作成として、地震本部の示した全国の主要活断層帯から半数にあた

る平均変位速度の高い上位50断層を選定し、3次元断層形状モデルを作成した。モデル作成は、以下の手順で行った。1) 産総研活断層データベースの地表トレースをもとに、副次断層や細かな屈曲を単純な表現にした、単純化地表トレースを作成する。2) 長期評価およびJ-SHISモデルでの傾斜角のカタログ値を用いて、一様傾斜角を仮定して、地表トレースから断層面を地下に延長することで、非平面の3次元断層形状を得る。また、地震活動データを用いて、地震発生層下限を定義して、各断層の下限を与える。モデル作成にあたっては、今回の試作版は、米国での例(15年以上更新を続け最新はVer. 6.0 (2023))のように、今後の観測や解釈の発展によりモデル更新していくものの端緒として位置付けられる。

今後、ワークショップ形式などで、試作モデルの評価と修正を広くコミュニティに公開して行うことを検討している。

「確率論的津波漂流物評価手法構築に向けた数値的検討」では、令和5年度は、沖合観測網と多数の津波シナリオを用いた沿岸域の津波予測システムの構築、津波波源の不確実性を考慮した漂流物の影響評価に関する基礎的検討や漂流物モデルの高度化などにより、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。

まず、沖合観測網S-netが密集して設置されている東北沿岸に着目し、深層学習アルゴリズムの一つであるノイズ除去オートエンコーダ(DAE)モデルにより津波予測システムを開発・構築した。確率論的震源モデル(M7.0-8.8)にもとづく800の津波シナリオの計算を教師データとした。44のS-net観測点における合成津波波形を入力とし、4つの沿岸潮位計における波形を出力とした。別の200の津波シナリオや、2016年福島県沖地震の津波でモデルの性能を検証した結果、構築モデルは沿岸の時系列波形を良好に再現した。将来的には、より多くの津波シナリオを学習し、正断層型や気象津波など異なる種類の津波に対する頑健性を高める見込みである。この成果は、Earth, Planets and Spaceに掲載されている。南海トラフ想定震源域における断層パラメータの不確実性が津波高さに及ぼす影響についても検討を行った。断層パラメータのうち、断層深さを4種類、すべり角を5種類、確率津波モデルにより生成した100種類のすべり量分布により初期津波波源を生成した。生成した津波波源を用いて津波伝播計算を実施し、西日本沿岸での津波高さを比較した。内閣府モデルに対して断層深さを5 km深くした場合に沿岸の津波波高の中央値が外洋で1 m程度、内湾で0.4 m程度大きくなることなどが分かった。この成果は、土木学会論文集に掲載され11月に行われた海岸工学講演会で口頭発表された。津波漂流物の影響評価に関する基礎検討として、確率津波モデルを用いて南海トラフ沿いの津波波源を多数生成し、東京湾、伊勢湾を対象にした津波伝播計算を実施し、漂流物の挙動に対して大きな影響を及ぼす津波流速についてばらつきを評価した。今後これらのばらつきが漂流物に及ぼす影響について調査する。津波漂流物の挙動を推定する数値計算モデルに関して、水槽実験との比較を通じた津波漂流物モデルの改良と精度検証を実施した。実地形のような複雑な海底地形と漂流物底面との局所的な接触や多数陸上構造物との接触による漂流挙動の変化を追跡できるような改良を行うことで、水槽実験における平均的な漂流挙動やそのばらつきを表現可能であることを示した。さらに、津波漂流物の挙動推定における作用力推定方法や漂流物と流体の相互作用方法の精度について検証を行い、これらの手法間の違いについて定量的な評価を行った。これらの成果の一部は11月に行われた海岸工学講演会で口頭発表された。また、1月に発生した能登半島地

震では複数の漁船が能登半島から新潟県沿岸に到達した。1月後半時点で提案されているいくつかの断層パラメータを用いた津波計算及び漂流物計算を実施したところ、津波の伝播だけでは新潟県沿岸への移動を説明できず、潮汐や風の影響を考慮する必要があることを示唆する結果を得た（拠点間連携共同研究[課題番号:CT0C44], Nishino et al., 2024, Fukui et al., 2024, Miyashita et al., 2023, Wang et al., 2023, 藤本・他, 2023a, 西野・他, 2023a, 千田・森, 2023, 宮下, 2023, 藤本・他, 2023b, 西野・他, 2023b, 宮下・他, 2023)。

5月に開催された津波漂流物に関するワークショップでは、津波漂流物の挙動推定に関する計算精度、予測手法の高度化、今後の国際的な取り組みについて国内外の津波漂流物研究者と議論した。9月には東京大学地震研究所の佐竹グループと京都大学防災研究所の森グループによる合同セミナーを開催した。

「地盤と建物特性を考慮した建物被害分析と後発地震への応答予報モデルの構築」では、以下の成果を得た（拠点間連携共同研究[課題番号:CT0C45]）。

対象地域の平均的な敷地地盤特性と拠点建物で観測された強震記録を用いて、その地域の任意の地点における入力地震動（地表面地震動）と被害を評価する手法について検討した。評価方法は、地表面－建物間の伝達関数を用いた周波数応答解析により、強震記録から地表面地震動を逆算する方法である。令和5年度は、解析モデルに不可欠な基礎－地盤間のインピーダンスを評価した。図13に、対象建物の3D-FEM解析モデルを示す。対象建物の基礎版のみを無質量でモデル化し、インパルス加振によりインピーダンスを算定する。地盤は線形弾性でモデル化する。解析モデルの底面部および側面部には無反射境界を設定し、地盤の半無限性を考慮する。本モデル化手法により、半無限地盤におけるインピーダンスの理論解と概ね整合するインピーダンスを評価できることを別途確認している。図14に得られたインピーダンスのうち、水平成分の実部の特性を示す。今後、得られたインピーダンスを用いた周波数応答解析により地表面地震動を推定し、観測記録との整合性を検討する。

建物特性を考慮した病院建物被害分析として、構造躯体だけではなく、医療機器・非構造部材の評価も含めて病院の機能維持性を評価する手法を構築し、花折断層地震を想定した地震動に対する京都市内の病院機能維持性を評価した。構造躯体についての被害推定では、対象建物について、Google Earth, PLATEAUでの事前調査と現地調査を実施して、建物階数や建物の高さやエキスパンジョイントの有無などを調査した。また、自治体の被害想定に使用されている構造特性係数と建物の等価1次固有周期に対応する加速度応答スペクトルの関係から被害を判定した。図15に構造躯体のみを考慮した場合の被害推定結果を示す。次に、構造躯体の被害判定に、応答スペクトル法と損傷確率関数を利用した非構造部材の被害推定を組み合わせた建物被害の総合判定を実施した。図16に示す総合判定結果では、構造躯体が無損傷の30病院のうち、総合判定で小破に変わった病院が17病院、構造躯体が小破の27病院のうち総合判定で中破に判定が変わった病院が11病院存在し、被災度区分が変化することを確認した。さらに非構造部材まで評価に加えると、構造躯体のみで評価した被害程度に比べて被害程度が大きくなるが、さらに医療機器の評価を加えることでは、被害程度はあまり変化しなかった。ただし、実験結果や実際の被害との対応については、更に検証が必要である。

後発地震の発生確率を評価するため、過去の地震カタログに基づいた地震の発生のし

やすさ（space-time ETAS model, Ogata 2022）を求めるプロトタイプシステムを構築した。時空間 ETASモデルでは、過去の地震カタログを利用して翌1日に、あるマグニチュード以上の地震が何個発生するかを求めている。本課題では1日ごとに時空間ETASモデルを計算し、その空間分布を分析した。例として、図17に令和5年1月1日に発生した能登半島地震前後における、マグニチュード4以上の後発地震発生数の予測結果を示す。本震発生を受けて、能登半島の震源域及びその周辺で後発地震の発生予測数が大幅に増加している。

「土砂災害のサイレントキラーとなる地震による地表変状の研究 2022年12月31日山形県鶴岡市西目の斜面崩壊に与えた2019年山形県沖地震の影響評価」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：CT0C46]，齊藤，2023，古谷・齊藤，2024）。

1970年代に行われた土砂採取によって出現した急傾斜の平坦な切り取り斜面には、2019年山形県沖地震によって生じたと考えられる斜面上部の亀裂と斜面下部の小崩壊があることが、1m-LiDAR DEMを用いた土砂災害予測基本図によって確認された。斜面上部の亀裂は、斜面に浸透する降水や融雪の鉛直浸透を助長し、2022年12月31日に発生した崩壊性の地すべりの発生原因となったと考えられる。斜面下部に存在した小崩壊は、この地震によって生じたと考えられ、今回の崩壊性地すべりの規模を大きくした可能性がある。これは、切り取り斜面の下部に認められる遷急線の上部が破壊され移動していることと関連している。図18内の赤枠の範囲が崩壊後の土砂災害予測基本図から読み取った崩壊範囲で、斜面下部に上部斜面を支持する構造がなく、これはいわゆる遷急線と一致する。切り取り斜面や盛り土斜面などは、地震後に発生する亀裂の有無、斜面下部の崩壊などのモニタリングを実施する必要があると考えられる。

「社会の要請に基づく首都圏における災害の誘因予測のための官民連携のフレーム検討・構築」では、日本学術会議が主催した持続可能な社会のための科学と技術に関する国際会議2023「壊滅的災害に対してレジリエントで持続可能な社会への変革」において、過去に壊滅的地震災害のあったトルクメニスタン等国内外の有識者からの知見を得た。また、台湾・国家災害防救科技中心（NCDR: National Science and Technology Center for Disaster Reduction）とのワークショップ及び台湾・国家地震工程研究中心（NCEE: National Center for Research on Earthquake Engineering）の研究者・技術者との会議において、社会のレジリエンス強化のため、地震災害を含む自然災害に関する観測とそのデータの活用方策と情報共有、防災対策のあり方や官民連携、社会的課題の抽出、地震工学の動向や及び地震減災に関する建造物の構造研究について議論を踏まえ、次に関する研究成果を得た：1）災害リスクについての理解の深化と展開，2）災害に対処する新しいガバナンスの確立，3）災害に対する財政支出・人材育成・技術開発投資の確実な実行，4）より良い復興（Build Back Better）を可能にするための事前方策の確立（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C47]，Ahmedova，2023，Lee，2023，Tabata，2023）。

（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

「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」では、令和5年度には、合計4回のワークショップを行った。通算で6回目のワークショップでは、大規模噴火が迫った段階での避難対応行動について参加者各自に検討してもらうために、「何とか生き残るシナリオ」を考えるというテーマを設定した。大規模

噴火の予兆現象の発生から大規模噴火に至るまでの状況設定を専門家側で作成し、参加者各自で各段階でどのような避難準備あるいは避難を行うかについて検討を行ってもらった。通算7回目のワークショップでは、参加者が各自で検討した生き残るためのシナリオを専門家側でレビューを行い、その問題点や改善点を考えるためのフィードバックを行い、さらに各自でどのような改善点や自らで解決できない課題についても参加者に検討してもらった。通算第8回のワークショップでは、これまで行ってきた検討の内容を取りまとめ形に残すための検討を行った。とりわけ、住民が主体となって成果を取りまとめる点、さらに取りまとめの枠組みについても広報の専門家を交えて検討を行った。通算第9回は、大正噴火の際に降り積もった軽石を掘削したトレンチを実際にワークショップ参加者に見てもらい、身体的に軽石が降り積もった状態を実感する機会を設けた。この通算第9回のワークショップは事前に計画をしていなかったが、大規模噴火の様相を身体的に理解する重要な契機であると考え追加的に実施した（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC34]，矢守・他，2023，大西・他，2023，Onishi，2023，大西，2023）。

「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、以下の成果が得られた（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC38]）。

地震に関する質問紙調査の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、地震に係る用語の認知と備えや準備の状況とした。用語の認知については、ハザード（震度、マグニチュード、震源、震央、本震、余震、長周期地震動、海溝型地震、活断層型地震）、情報（緊急地震速報、津波注意報、津波警報、大津波警報、南海トラフ地震臨時情報、北海道・三陸沖後発地震注意情報、長周期地震動に関する観測情報）、その他（地震予知、地震動予測地図、ローリングストック、フェーズフリー）の20用語を取り上げた。備えや準備については、耐震化・家具固定や飲料水の備蓄などである。

調査対象は、太平洋側、日本海側の地域をできるだけ幅広く選定する方針の下、8市区（仙台市、秋田市、東京23区、新潟市、金沢市、名古屋市、大阪市、鳥取市）を選定した。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（サンプル数は各市200、年齢性別で均等割付を行った。なお、鳥取市のみ190である。）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。調査期間は、2024年1月10日～15日である。1月1日に発生した能登半島地震の直後に行われているため、直近に発生した地震の影響が反映されている可能性が高いことに留意する必要がある。

調査結果の一部として、「震度」、「緊急地震速報」、「南海トラフ地震臨時情報」についての認知を図19～21に示す。内容を含めて良く知っている、ある程度知っているをあわせると、全体で震度92.5%、緊急地震速報91.5%、南海トラフ地震臨時情報46.9%であった。南海トラフ地震臨時情報については、名古屋市55.5%が最も高く、新潟市38.0%が最も低かった。

地震への備えや準備として、ここでは家具固定（図22）と食料の備蓄（図23）について調査した。家具固定は、大部分固定、一部固定をあわせて仙台市71.0%が最も高く、新潟市43.0%が最も低かった。食料の備蓄は、備蓄がないと回答したのは仙台市26.0%が最も低く、鳥取市43.2%が最も高かった。全体的な傾向として太平洋側の地域では用語の認

知や地震への備えや準備が進んでおり、日本海側の地域で低調な傾向が示された。

詳細な分析は今後行う必要があるが、設計した調査票は地震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、地域間の地震に関する住民意識や備えや準備の状況について比較が可能であることが確認された。

「長寿命化改修を実施した高経年建物の被害把握のための地盤と建物の地震観測に関する基礎的検討」では、長寿命化改修を実施した高経年建物の被害把握を目的とした。対象とした建物は平面が9 m×84 mと細長い平面を有する板状建物であり、振動時にねじれて東西で異なる挙動を示すことが予測されることから、頂部は東西2か所にセンサーを設置している。また、近傍の地盤においても強震観測を続けており、この地盤観測点は建物改修に関係なく今後も観測を継続予定である。改修工事後に再度建物内にセンサーを設置し、改修を繰り返した高経年建物の改修前後における地震入力、および上部構造の固有振動数の変化、地震時挙動を明らかにすることで、高経年建物の地震時被害把握の精度向上を目指す。

改修工事が遅延しており現在まだ改修中である。改修前に実施した強震観測、および微動の結果を分析しつつ、既存鉄筋コンクリート建物の観測記録に関する文献調査、改修後の観測を充実させるために準備を行った。既に発表してきた通り、本建物の卓越周期は季節変動しており、その変動幅はコンクリートの剛性の変化だけでは説明がつかないほど大きい。また文献調査の結果によると、サンプル数はとても少ないが、古い建物ほど、且つ大きな地震を受けているほど変動幅が大きくなっている可能性もある。本建物は今回の改修に伴い行ったコンクリートのコア抜き試験ではコンクリート強度が非常に小さいことが判明したため、それを反映した解析モデルを作成して比較した（図24、図25）（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C48]）。

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ーへの伝達までを一貫して行い、さらにステークホルダー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、特定研究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とともに、さらに総括研究で新たに出た課題を特定研究で掘り下げる、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。また、最近の地震後の災害では、地震発生にともない災害誘因は強震動に留まらず、津波、地盤変状、地すべり、火災などが相互に影響を与えたり、連鎖的に起こるようなマルチハザードに対する災害リスクを評価することの重要性が明らかとなっている。さらに、地震発生前後の降雨状況が地盤変状や地すべりに与える影響は大きく、地震時の災害リスクを評価する上で重要となっていることも明らかとなっている。このため、これらのマルチハザードによる災害リスク評価を行うためにはより広範な研究領域の研究者と協働することと、災害の軽減のための対策を考える、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

- Ahmedova, S., 2023, Focus zones of strong earthquakes occurring in Turkmenistan - Disaster and recovery after Ashgabat earthquakes of 1948, International Conference on Science and Technology for Sustainability 2023 -Transforming Society to Become Resilient and Sustainable beyond Catastrophic Disasters-, Science Council of Japan
- Akizuki Y, 2024, Evacuation route design based on visibility for reducing evacuation delays, Fire Safety Journal, 144, 104099
- 安藤亮輔・吾妻崇・コミュニティ断層モデル有志グループ, 2023, コミュニティ断層モデルの構築に向けて, 日本地震学会秋季大会, S19P-01
- 吾妻 崇・安藤亮輔・コミュニティ断層モデル有志グループ, 2023, 日本の主要活断層帯のコミュニティ断層モデルの構築, 日本活断層学会秋季学術大会, 0-01
- Chida, Y., N. Mori, 2023, Numerical modeling of debris transport due to tsunami flow in a coastal urban area, Coastal Engineering, Elsevier, 179, 104243, <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2022.104243>
- 千田優, 森信人, 2023, 実地形への適用性向上を目指した漂流物モデルの開発と検証, 第70回海岸工学講演会
- 藤本健太, 宮下卓也, 森信人, 志村智也, 2023a, 南海トラフ地震の断層パラメータの不確実性が西日本沿岸の津波波高に与える影響, 土木学会論文集, 79(17), 23-17048, <https://doi.org/10.2208/jscej.23-17048>
- 藤本健太, 宮下卓也, 森信人, 志村智也, 2023b, 南海トラフ地震の断層パラメータの不確実性が西日本沿岸の津波波高に与える影響, 第70回海岸工学講演会
- 藤田雄大, 境有紀, 2023, 表層地盤と基盤動に着目した周期2秒程度で揺れの数が多い地震動の発生条件, 日本建築学会大会
- Fukui, N., Mori, N., Kim, S., Shimura, T., Miyashita, T, 2024, Application of a subgrid-scale urban inundation model for a storm surge simulation: Case study of typhoon Haiyan, Coastal Engineering, 188, 104442, <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2023.104442>
- 古谷 元・齊藤隆志, 2024, 土砂災害のサイレントキラーとなる地震による地表変状 -鶴岡市西目

- で発生した地すべりを例として, 令和5年度 京都大学防災研究所 研究発表講演会, P17
- 北後明彦, 2023, 地震火災・津波火災の発生・被害拡大を抑制する対応行動の事例研究の整理, 第16回日本地震工学シンポジウム, Day1-G414-11
- 泉都喜嗣, 友清衣利子, 西嶋一欽, 中嶋唯貴, 2023, 被害調査資料データベースの構築のための建物3次元ポリゴン作成の試み, 日本建築学会大会学術講演(近畿), 20079
- 泉都喜嗣, 友清衣利子, 2024, 複雑な屋根形状を有する建物の3次元ポリゴン作成の試み, 日本建築学会九州支部研究発表会, 208
- 伊藤恵理・長嶋史明・孫紀凱・川瀬博, 2023a, 1923年関東地震の大被害地域におけるサイト増幅特性の評価, 2023年度日本建築学会大会, 構造II 21393
- 伊藤恵理・長嶋史明・孫紀凱・王 自謙・川瀬博, 2023b, 1923年関東地震の大被害地域における微動観測データを用いたサイト増幅特性の評価, 第16回日本地震工学シンポジウム, Day3-G415-03
- ITO, Eri, Fumiaki NAGASHIMA, Jikai SUN, Ziqian WANG and Hiroshi KAWASE, 2023, Evaluation of the site amplification factors on the severely damaged sites during the 1923 Kanto earthquake for delineating the complex source process, 2023 Seismological Society of America Annual Meeting
- Lee, W.S., 2023, Enable an Information Supply Chain for Disaster Risk Management - Innovation, Inclusion and Intelligence, International Conference on Science and Technology for Sustainability 2023 -Transforming Society to Become Resilient and Sustainable beyond Catastrophic Disasters-, Science Council of Japan
- 松島信一, 山本耕平, 周宇廷, 長嶋史明, 大邑潤三, 加納靖之, 吾妻崇, 石瀬素子, 2023, 1894年庄内地震の地震被害の原因解明のための常時微動に基づく庄内平野の地盤構造の推定, 第16回日本地震工学シンポジウム, Day3-G415-02
- 宮下卓也, 2023, 複雑形状をもつ湾における長周期波の応答振動解析, 第13回巨大津波災害に関する合同研究集会
- 宮下卓也, 森信人, 志村智也, 2023, ヘルムホルツ方程式を用いた日本主要湾における長周期波の振動応答特性の数値的評価, 第70回海岸工学講演会
- Miyashita, T., Nishino, A., Ho, T.-C., Yasuda, T., Mori, N., Shimura, T., Fukui, N., 2023, Multi-scale Simulation of Subsequent Tsunami Waves in Japan Excited by Air Pressure Waves Due to the 2022 Tonga Volcanic Eruption, Pure and Applied Geophysics, 180(9), 3195-3223, <https://doi.org/10.1007/s00024-023-03332-9>
- Morgado, Y., O.S. Areu Rangel, O.S, R. Silva-Casarrín, T. Miyashita, N. Mori, T. Tomiczek, 2023, Using the SPRC methodology to assess tsunami risk in Zihuatanejo, Mexico, Coastal Engineering Journal, Taylor & Francis, 65(2), 256-276, <https://doi.org/10.1080/21664250.2023.2172992>
- 西野藍, 宮下卓也, 安田誠宏, 志村智也, 森信人, 2023a, 2022年フンガトンガ火山噴火に伴う日本沿岸における最大水位の要因推定, 土木学会論文集, 79(17), 23-17032, <https://doi.org/10.2208/jscej.23-17032>
- 西野藍, 宮下卓也, 安田誠宏, 志村智也, 森信人, 2023b, 2022年フンガトンガ火山噴火に伴う日本沿岸における最大水位の要因推定, 第70回海岸工学講演会
- Nishino T, 2023, Post-earthquake fire ignition model uncertainty in regional

- probabilistic shaking-fire cascading multi-hazard risk assessment: A study of earthquakes in Japan, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 98, 104124
- Nishino T, Miyashita T, Mori N, 2024, Methodology for probabilistic tsunami-triggered oil spill fire hazard assessment based on Natech cascading disaster modeling, *Reliability Engineering & System Safety*, 242, 109789
- 野口竜也・河野勝宣, 2023, 微動観測に基づく地すべり地域ー島根県多伎町ーの地盤震動特性と地盤構造, 日本地震学会2023年度秋季大会, S16P-04
- 野口竜也・西村武・香川敬生, 2023, 1943年鳥取地震における吉岡断層近傍の地盤震動特性と地盤構造, 第16回日本地震工学シンポジウム, Day1-G417-21
- 大西正光, 鈴木駿介, 矢守克也, 井口正人, 山泰幸, 中野元太, 竹之内健介, 2023, 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, 令和4年度防災研究所研究発表講演会
- Masamitsu Onishi, 2023, Implementation Gap: Case of Evacuation from an Inexperienced Hazard, The 13th International Conference of the International Society for the Integrated Disaster Risk Management
- 大西正光, 2023, 次なる桜島大規模噴火に向けた専門家と地域の共同活動: 現在の立ち位置, 2023年度桜島大規模火山噴火総合研究グループ研究集会
- 齊藤隆志, 2023, 土砂災害のサイレントキラーとなる地震による地表変状ー鶴岡市西目で発生した地すべりを例として, 第43回日本自然災害学会予稿集, p. 125-126
- 汐満将史, 日塔未来, 境有紀, 五十田博, 江口直希, 藤田雄大, 2023, 2003年十勝沖地震におけるKiK-net厚真を入力した木造建物の振動実験および地震応答解析, 第16回日本地震工学シンポジウム
- Tabata, K., 2023, Achievements and Future Prospects Contributing to the Research Infrastructure for Disaster Risk Reduction with E-Defense, 3rd Workshop between the National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience of Japan and the National Science and Technology Center for Disaster Reduction of Taiwan
- 筒井和男・齊藤隆志, 2023, 侵食量に着目した土石流被害予測計算の高度化, 第43回日本自然災害学会予稿集, p. 11-12
- 筒井和男・齊藤隆志, 2024, 侵食量に着目した土砂流動モデルによる被害範囲の予測, 令和5年度 京都大学防災研究所 研究発表講演会, P18
- Wang, Y., Imai, K., Miyashita, T., Ariyoshi, K., Takahashi, N., Satake, K, 2023, Coastal tsunami prediction in Tohoku region, Japan, based on S-net observations using artificial neural network, *Earth, Planets and Space*, 75(1), 154, <https://doi.org/10.1186/s40623-023-01912-6>
- 山本耕平, 松島信一, 長嶋史明, 周宇廷, ティンザーヤダナー, 五熊大, 2024, 微動のアレイ観測及び単点観測記録に基づく庄内平野の地盤構造推定, 令和5年度京都大学防災研究所研究発表講演会, P25
- 矢守克也, 大西正光, 鈴木駿介, 2023, 火山災害からの避難に関する基礎的考察, 令和4年度防災研究所研究発表講演会
- ZHANG, Zhuocheng, Kyohei UEDA, Yuko SERIKAWA, 2024, EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON SEISMIC RESPONSE OF ADJACENT STRUCTURES ON LIQUEFIABLE GROUND, DPRI Annual Meeting 2024, P13

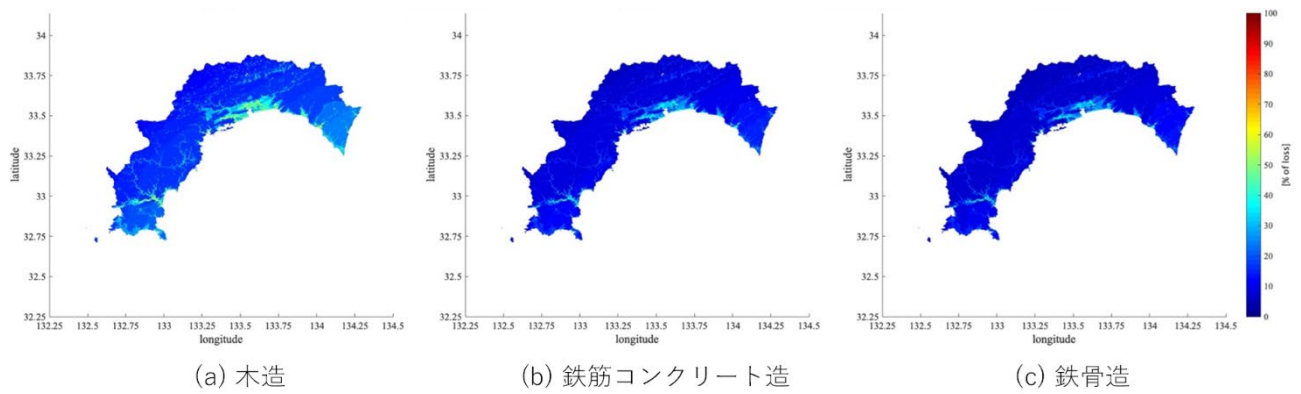


図 1．高知県における建物損失率。南海トラフ沿いの巨大地震が発生した際に高知県において生じる構造種別ごとの建物損失率の期待値を示す。最大で、木造では60%，鉄筋コンクリート造と鉄骨造では30%程度である（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C01]）。

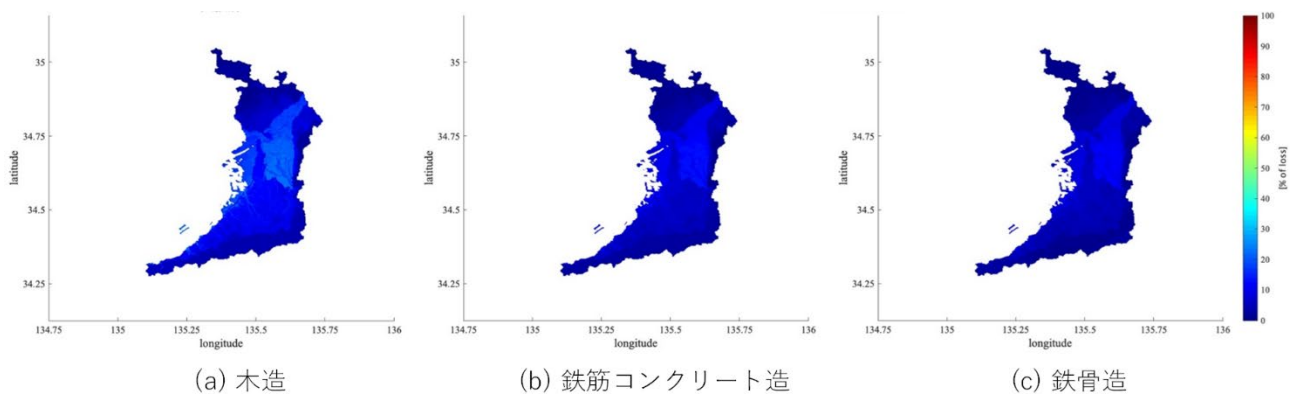


図 2．大阪府における建物損失率。南海トラフ沿いの巨大地震が発生した際に大阪府において生じる構造種別ごとの建物損失率の期待値を示す。最大で、木造では35%，鉄筋コンクリート造と鉄骨造では20%程度である（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C01]）。

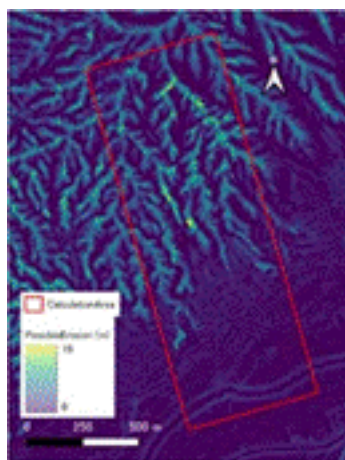


図 3．iRIC 計算範囲内の可能
侵食量の分布

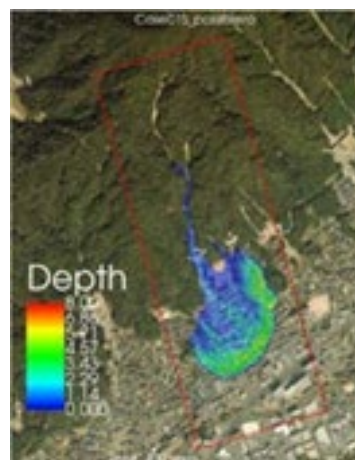


図 4．流動深の空間分布の
与え方の例(100 秒後)

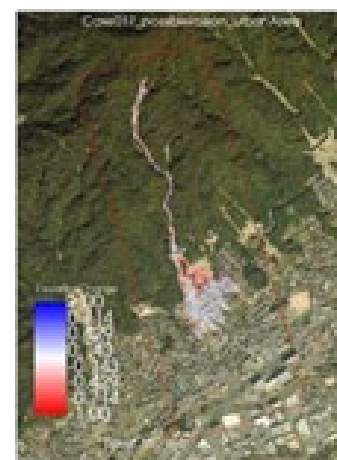


図 5．標高変化
(150 秒後)

（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C31]）

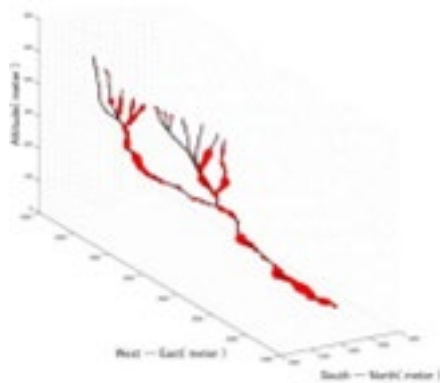


図 6．土石流発生後谷線での侵食量 赤丸の大きさが侵食量を示す（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC31]）。



図 7．微動観測点地点。庄内平野で実施した微動観測地点の分布（青マーカは単点微動観測地点，黄マーカは微動アレイ観測地点，赤丸は，水田・鏡味(2013)による震度7地点を示す）（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC35]）

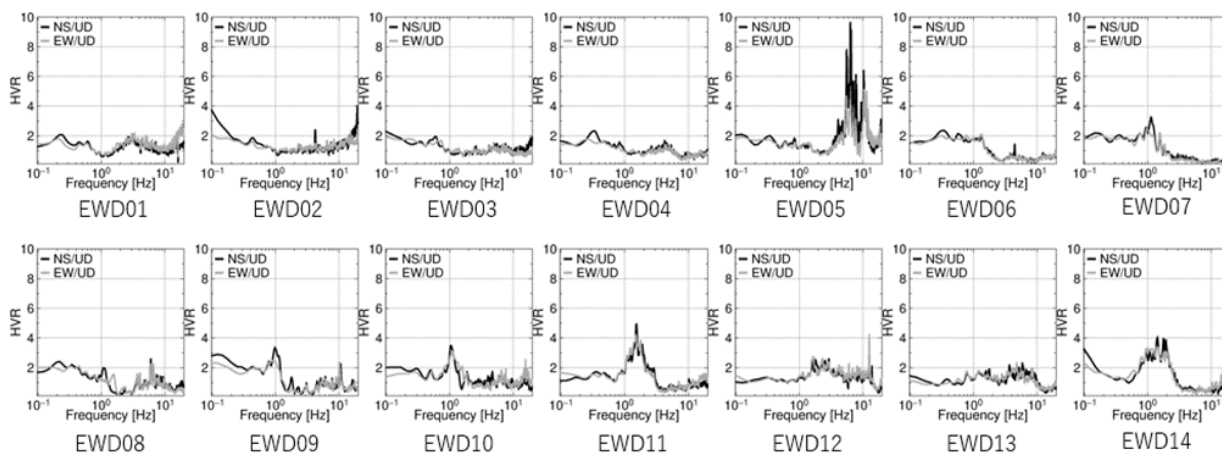


図 8．EWD測線の微動水平上下スペクトル比。EWD測線における微動水平上下スペクトル比（水平 2 成分をそれぞれ上下成分で除したもの）（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC35]）

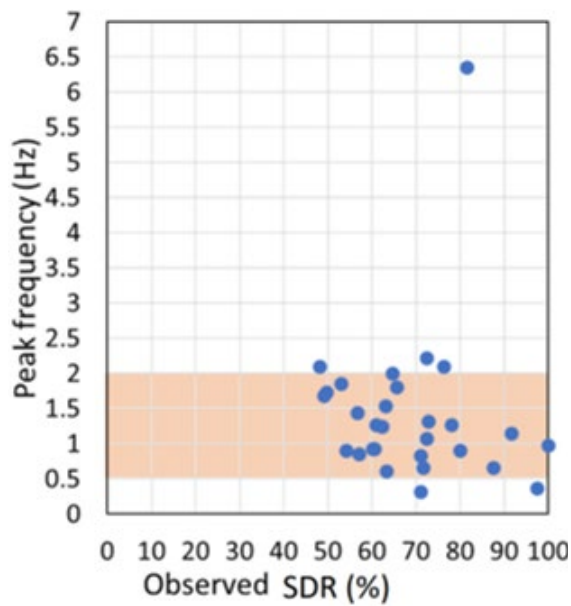


図 9. 建物被害率と擬似サイト増幅特性の一次ピーク振動数の関係（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C39]）

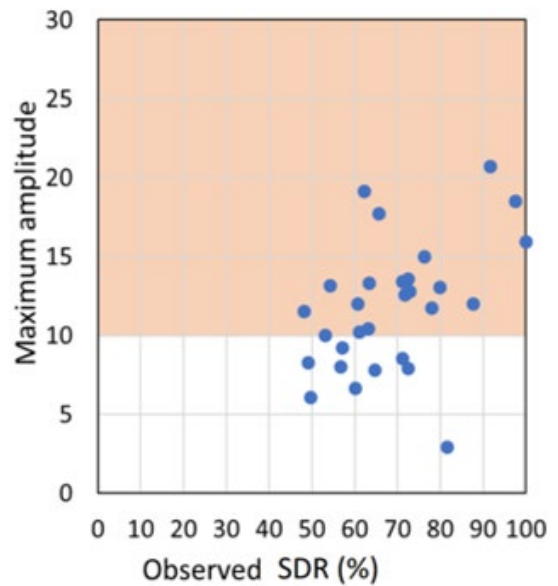


図 10. 建物被害率と 0.5～2.0 Hz におけるピーク振幅の関係（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C39]）

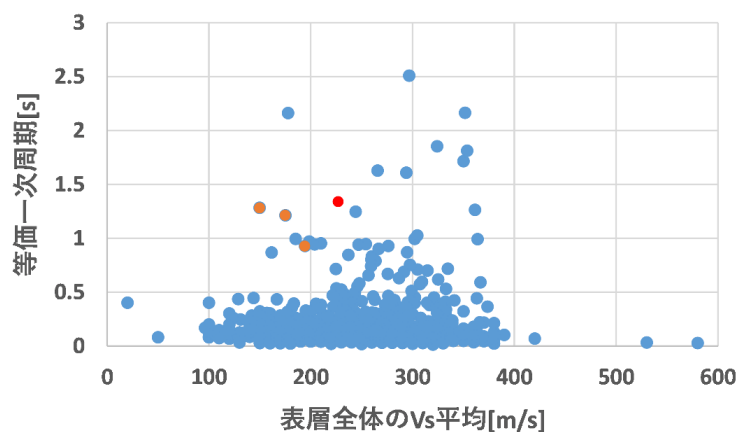


図 11. KiK-netで震度 6 弱以上を記録した地震動の表層全体のVsと表層地盤の等価一次周期（赤とオレンジは、該当地震動）（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C40]）

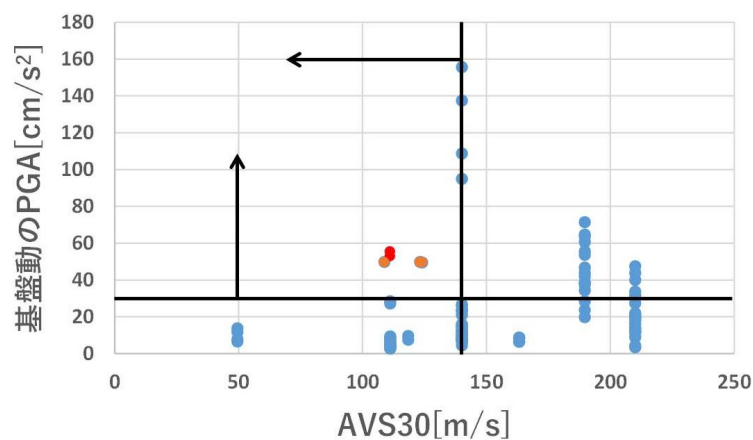


図 12. 表層全体のVsが250 m/s以下で等価一次周期が1-1.5秒の表層地盤におけるAVS30と 基盤動（KiK-netの地中記録）のPGAの関係（赤とオレンジは、該当地震動）（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C40]）

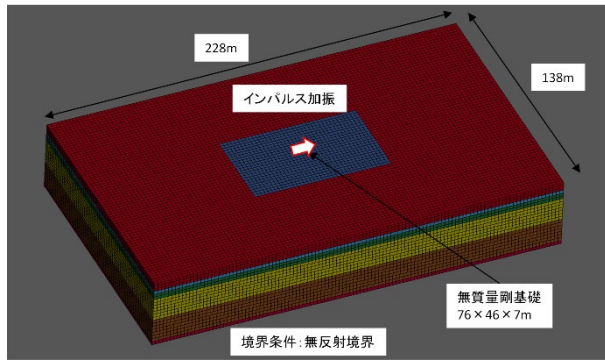


図 13. 地盤の FEM 解析モデル（直接基礎）
（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C45]）

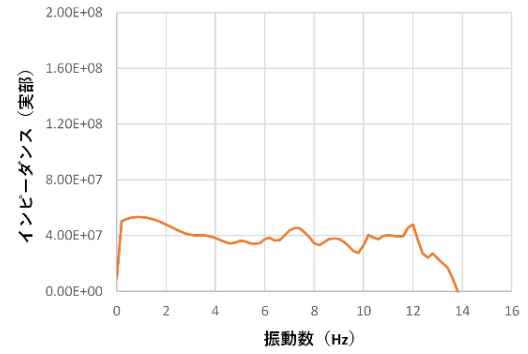


図 14. 算定されたインピーダンス（実部）
（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C45]）

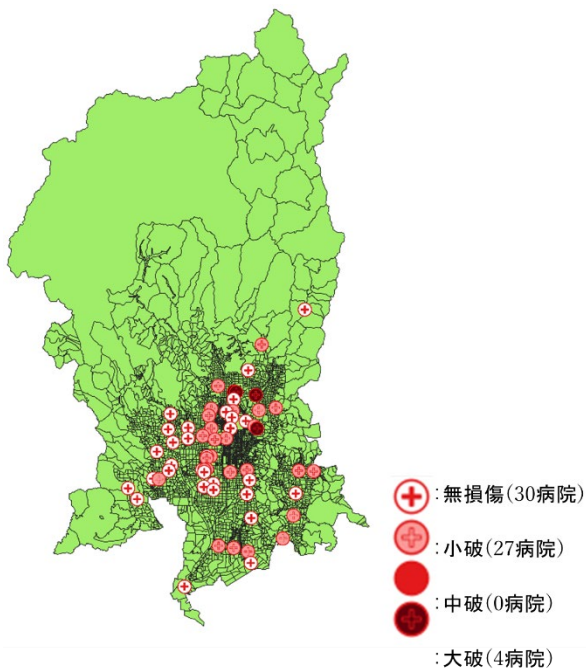


図 15. 構造躯体の被害（全 61 病院）（拠点間
連携共同研究[課題番号：CT0C45]）

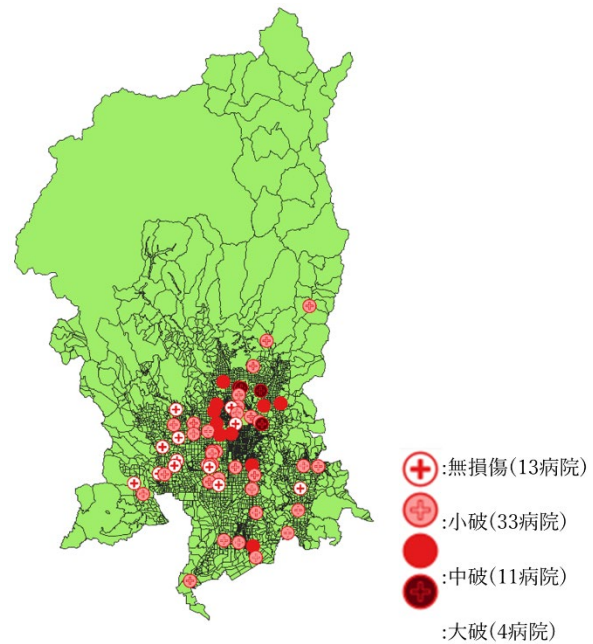


図 16. 非構造部材を含めた地震被害推定
の総合判定（全 61 病院）（拠点間連携
共同研究[課題番号：CT0C45]）

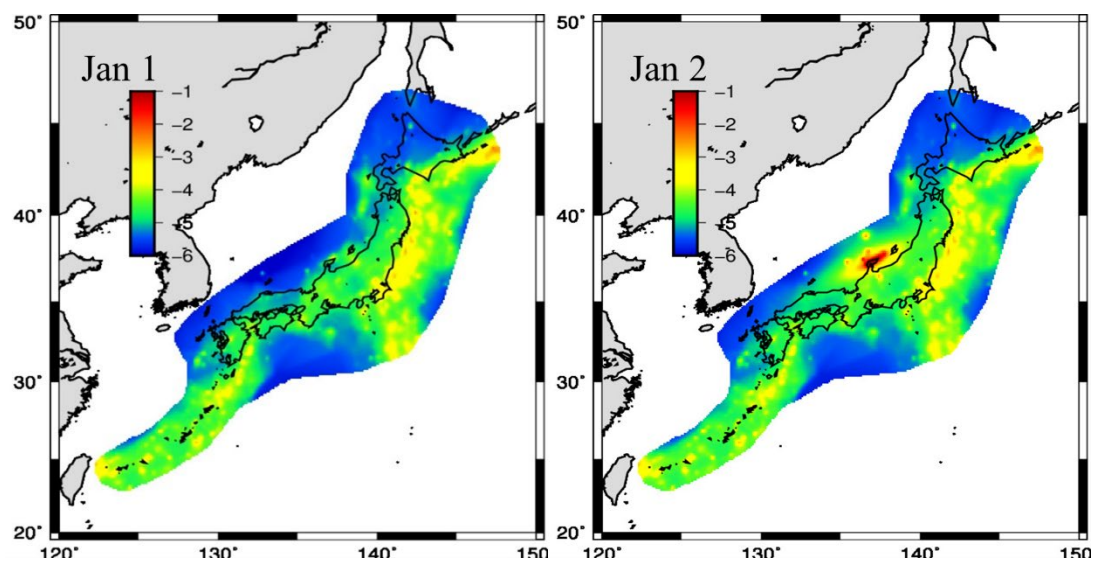


図17. $M > 4$ の地震の発生数の予測（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C45]）

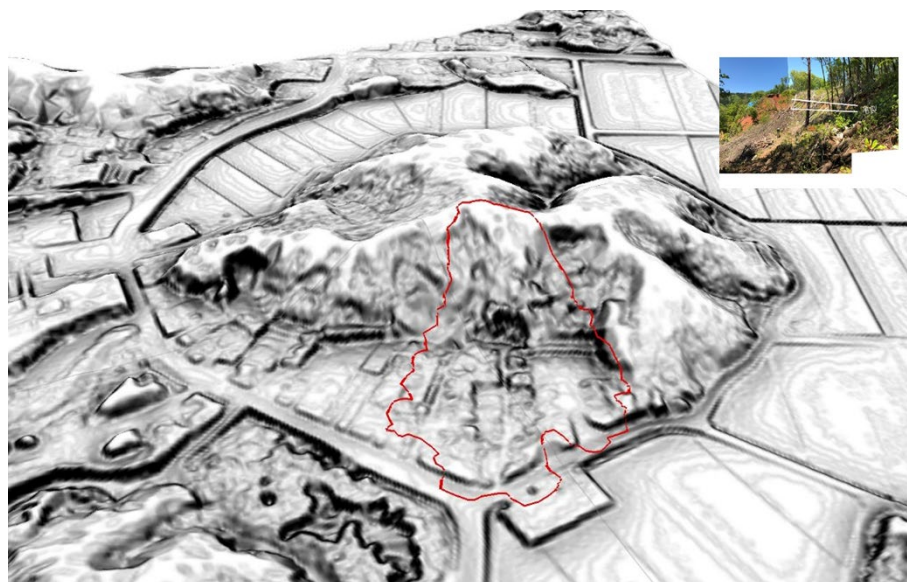


図18. 土砂災害予測基本図鳥観図（2019年6月測量実施）赤実線は地すべり部[課題番号：CT0C46]

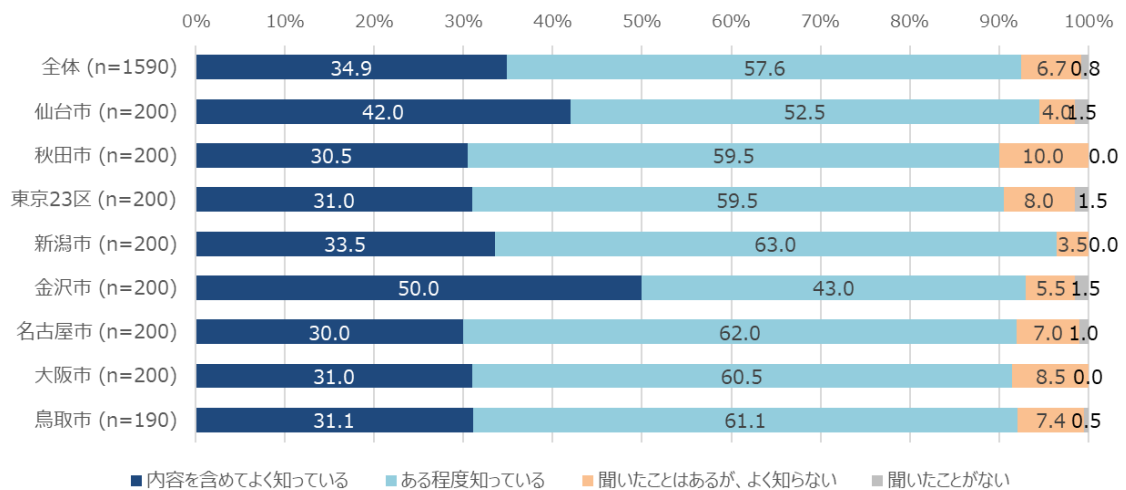


図19. 各地域住民の火山災害に関する意識についてオンライン調査による、震度の認知（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC38]）

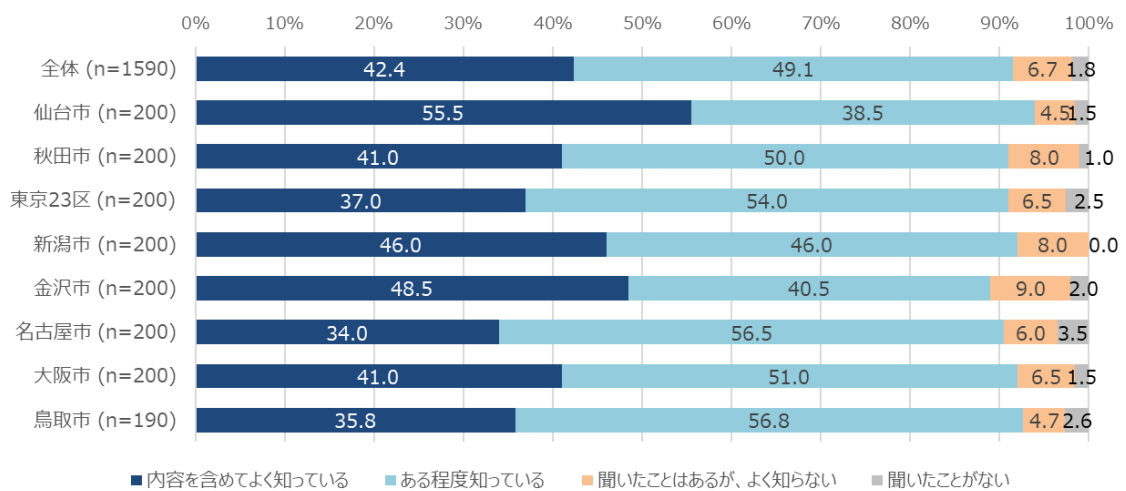


図20. 各地域住民の火山災害に関する意識についてオンライン調査による、緊急地震速報の認知（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC38]）

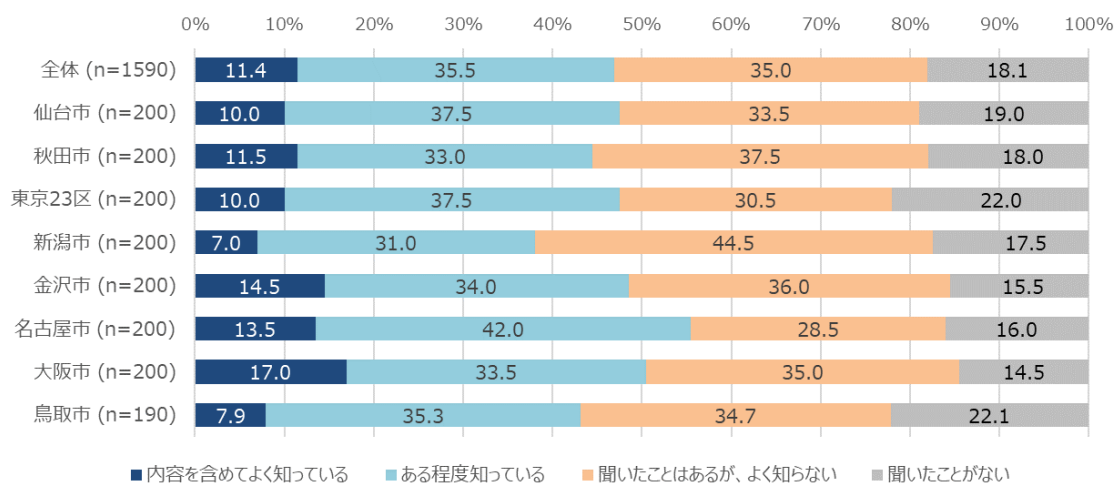


図21. 各地域住民の火山災害に関する意識についてオンライン調査による、南海トラフ地震臨時情報の認知（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC38]）

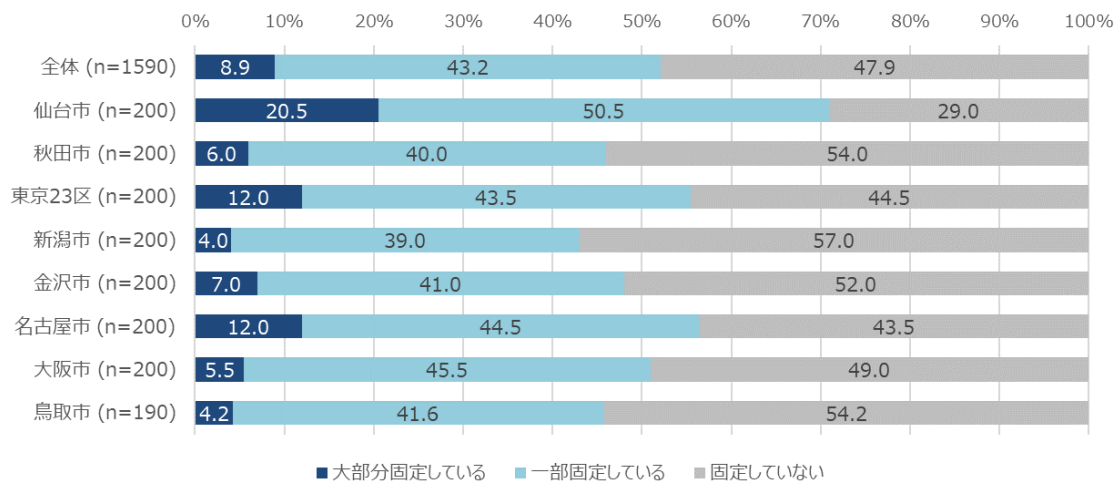


図22. 各地域住民の火山災害に関する意識についてオンライン調査による、家具固定の実施状況（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C38]）

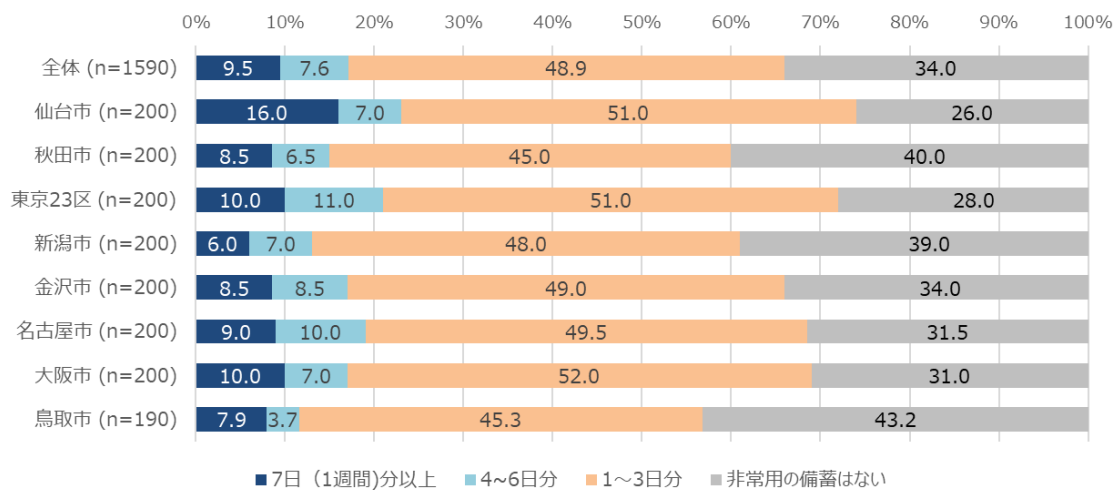


図23. 各地域住民の火山災害に関する意識についてオンライン調査による、食料の備蓄状況（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C38]）

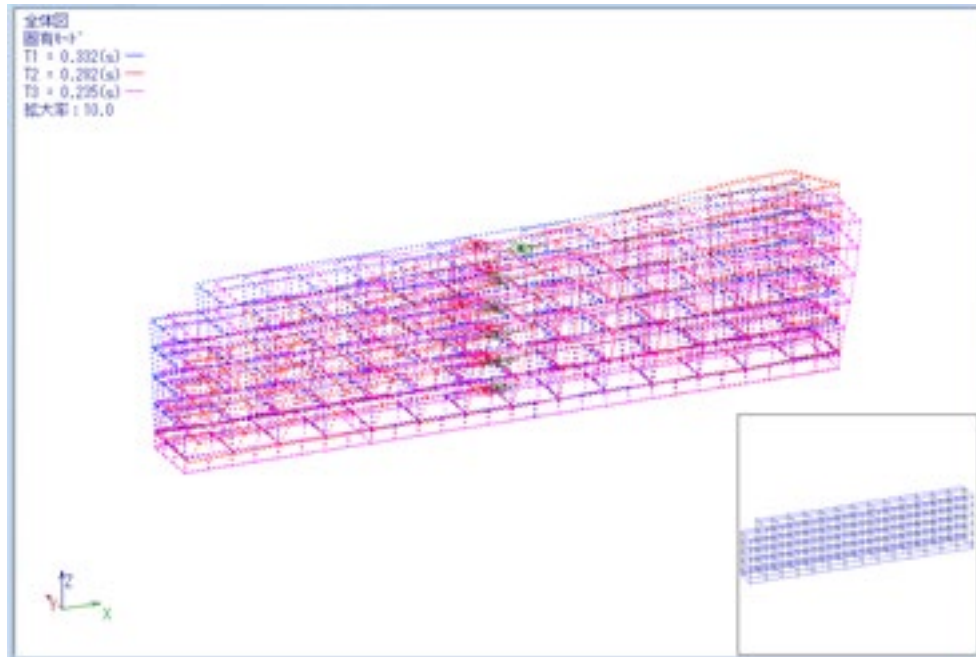


図24. 対象建物_3次元解析モデル_モード図。コンクリートの弾性係数は設計基準強度より算定。
1次固有周期は0.332秒（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC48]）

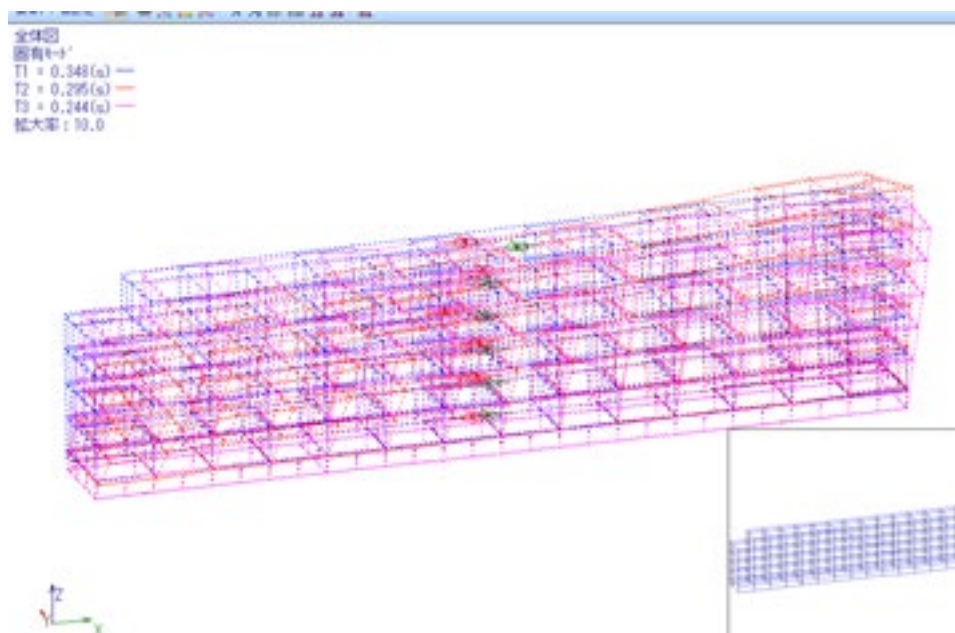


図25. 対象建物_3次元解析モデル弾性係数修正_モード図。コンクリートの弾性係数は各層ごとのコア抜き試験で最小であった15.43より算定。1次固有周期は0.348秒となったが振動モード形に大きな違いはなかった（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC48]）。