

8. 部門・センター・連携研究ユニット の研究活動

8.1 社会防災研究部門

【部門の活動概要】

(1) 研究対象と活動方針

社会の変遷と災害の歴史を踏まえ、災害に強い生活空間、都市、地域、世界を目指し、長期的展望に立つて総合防災研究のための方法論を構築する。社会の発展・複雑化とそれに伴う災害の複合化の過程を科学的に分析・予測するとともに、現代社会の災害に対する脆弱性やリスクを総合的に診断し、安全性、快適性を備えた文化的で持続可能な社会を構築するための防災設計・防災計画・災害マネジメントの技術や方法論を研究開発する。人間生活とそれを支える自然・社会環境を考慮し、高度な情報システム、先端的な実験・観測技術を活用しながら、災害リスクに対する人間の思考・行動原理を的確に取り入れた研究を実施する。また、災害過程と社会経済環境との相互作用を究明し、開発、環境保全、安全の三者が調和しうるような防災政策論を展開する。さらに、局所的な災害事象が世界の政治経済に波及するようなグローバルな現代社会における国際的な防災研究戦略を提案する。本研究部門は、巨大災害研究センターとともに「総合防災研究グループ」を構成して、防災に関する総合研究推進と社会還元のために貢献する。

(2) 研究分野と役割

社会防災研究部門は、下記の4分野と1つの外国人客員分野、1つの連携研究分野、1つの寄附研究部門で構成されている。

都市空間安全制御研究分野では、安全・安心なまちづくりのための技術と方法論の開発を行うことを目指し、都市空間の大地震による危険度評価法の研究とともに、安全性と快適性を備えた質的に高度な生活空間を実現するための空間安全制御手法に関する研究を行っている。

都市防災計画研究分野では、都市の被害軽減対策および災害リスクの評価に関する研究を行っている。特に、大災害時の災害対応、復旧復興、都市防災計画のためのリスク評価結果の利用手法、巨大災害後の住宅再建、および大・巨大地震の揺れの生成メカニズムを調べる理学的研究などを推進している。

防災技術政策研究分野では、時空間モデリング、計算機集約型分析、リモートセンシングな

どの領域における新技術を考究し、災害事象の監視・予測精度向上、リスクマネジメント・危機管理政策のために応用を目指している。また、地球規模から流域規模の社会変動と水循環・水災害の相互作用を解析し、持続可能な社会実現のための政策展開、国際防災戦略に関する研究も推進している。

防災社会システム研究分野では、安全で安心な社会の形成を目指した総合的施策を合理的に策定・実施するためのマネジメントシステム構築の方法論に関する研究を実施している。特に、社会・経済システムと災害過程との相互作用の解明、リスクコミュニケーションの促進のための方法論構築、参加型防災計画の支援のための情報システムの構築を通じて、災害に強い社会を実現するための防災システムを探索している。

国際防災共同研究分野は、外国人客員教員が担当する研究分野であり、世界の災害を予測・制御するために、本研究分野では他の研究分野・部門・センター等と共同して多面的な国際共同研究を行う。すなわち、災害科学の先端的研究者との共同研究、社会・文化が異なる諸国の災害機構の解明と災害軽減の技術、及び情報の国際運用に関する共同研究を行っている。

地域医療BCP連携研究分野は、京都大学附属病院との連携研究分野であり、防災学、医学関連分野の連携により災害発生直後の超急性期の災害医療の確保、その後の地域単位での医療体制維持を可能とする医療システムの構築、地域医療BCPに関する研究を行っている。

地震リスク評価高度化（阪神コンサルタンツ）研究分野は、寄附研究部門であり、複雑化している地震災害のリスク評価とその低減策に関し、近年の地震及びそれに伴う被害事例調査や地球物理学的・地形地質学的調査に基づき理論的・実証的な評価体系の高度化を図ることを目的としている。特に、震源破壊過程と表層地盤増幅特性を考慮した強震動予測の高精度化を図るとともに、過去の地震災害調査結果を再現する震源のモデル化を行い観測被害を再現することを通して、平均的な地震像に対する検証を行い、地震リスク評価の更なる高度化に必要な戦略の構築を進めている。

災害リスクファイナンス（SOMPO リスクマネジメント）研究分野は損保ジャパン、

SOMPO リスクマネジメントとの共同研究部門である。ファイナンスを活用した自然災害に対する企業の事業継続リスクの低減と、自治体や住民の減災活動の支援を目的として、自然災害リスクモデルの高度化とリスクファイナンス手法の開発に関する研究に取り組んでいる。

(3) その他（横断的な活動等）

1996 年以来、年 1 回、教職員及び学生が集う合宿形式の研究発表会である「総合防災合宿」を実施してきた。現在は、巨大災害研究センターと共に総合防災グループとしての活動として継続している。また、総合防災グループとして、総合防災セミナーを月 1-2 回程度の頻度で実施し、分野横断的な学術交流を推進してきている。

地球規模での気候、水循環、社会変動に伴って変化する自然災害、水資源、生態系・生物多

様性に対する影響を最小限に抑える適応策などを提案するためのリスク予測や評価を実現することを目指して、文部科学省「21 世紀気候変動予測革新プログラム（平成 19～23 年度）」に引き続き、文部科学省「気候変動リスク情報創生プログラム（平成 24～28 年度）、領域テーマ D 課題対応型の精密な影響評価」において、防災社会システム研究分野、及び、防災技術政策研究分野が参画し、様々な影響を考慮した適応戦略の開発等に従事した。

S I P『国家レジリエンス（防災・減災）の強化』防災研究に関する投資効果分析手法の研究開発」を推進しており、当部門の研究者が中核となり、防災研究所の多くの研究部門と協力して、研究成果を社会実装した場合の効果の計量化手法に関して研究を進めている。

【研究分野の研究内容】

I. 都市空間安全制御研究分野

①地震動と建物被害の関係に関する研究

耐震性能が低い古い木造家屋に甚大な被害を引き起こす可能性がある周期 2 秒程度で繰り返し回数が多い地震動である 2007 年新潟県中越沖地震の K-NET 柏崎と、同じ震度 6 強で短周期が卓越した 2003 年十勝沖地震の K-NET 広尾を、開発した箱型試験体に入力し、前者は、大きな被害となる一方、後者は、大きな被害は生じないことを確認した。また、過去の強震記録を用いて、発生条件について検討し、該当する箇所を特定することができた。

2024 年能登半島地震の地震動の分析と被害調査を行った。輪島、珠洲、穴水で発生した地震動は、建物に大きな被害を引き起こす 1-2 秒応答が大きいことに加えて、特に古い木造家屋に厳しい地震動であったことがわかり、実際の被害状況もこれに対応していることを調査によって確認した。一方、震度 7 を記録した志賀町の記録は、大きな被害を引き起こさない地震動で、実際の被害も大きくなかった。

②地震発生直後の被害推定に関する研究

地震発生直後の被害推定を行う際に使用する観測点密度を上げるため、震度計の計測震度と過去の記録による 0.1-1 秒応答と 1-1.5 秒応答の比を用いて、建物被害と相関が高い 1-1.5 秒震度を震度観測点において求める方法において、マグニチュード、震源距離、計測震度による影響を検討した。その結果、震源距離、計測震度の影響は小さいことがわかり、マグニチュードによる補正で精度を向上させることができた。

地震被害推定を行う際の建設年、開口の大きさなどによってカテゴリー分けした 250m メッシュの建物数を国勢調査による人口データから求める方法について検討し、推定式を作成した。

地震被害推定をより精緻化する非線形木造建物群について、木造建物を建設年や開口の大きさ、屋根の軽重などでカテゴリー分けしたものを耐震性能によって再グループ分けし、集約することで、計算速度と精度を向上させることができた。また、収集した建物の微動データの分析を行うことで、建物の性能を評価する際に考慮すべき経年劣化曲線を導くことができた。

③地震火災のリスク評価手法の高度化

地震火災のリスク評価手法を高度化するため、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。

④津波火災の確率論的ハザード評価手法の開発

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や燃焼の拡大、火災の熱放射を組み込んでいる。また、断層滑り分布、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。

⑤関東大震災 100 年のアニバーサリー研究

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、建築工学、歴史学の国際文工異分野連携）で、東京市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論文を米国地震学会の学術雑誌 BSSA で発表した。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。これは、外国で地震防災に係わる科学者・工学者・政策立案者が関東大震災の火災実態・教訓を参照できる初めての専門的な英文章であり類例がない。

⑥建築物の地震レジリエンス評価に関する研究

建築物の地震レジリエンスの定量的評価手法の構築を目指し、そのために必要な非構造部材・設備の脆弱性関数および復旧曲線を過去の地震の調査データを基に作成した。

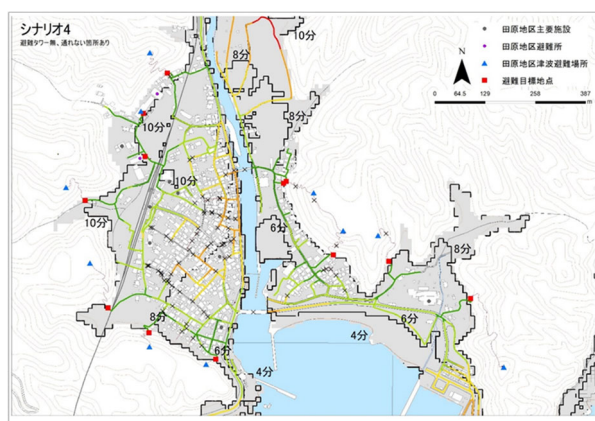
⑦その他

2023 年度は 8 編の完全査読付論文（うち 6 編は国際ジャーナル論文）を発表した。2024 年能登半島地震の被害調査を行い、その結果をメディアや様々な報告会などで情報発信した。

Ⅱ. 都市防災計画研究分野

① 南海トラフ地震の防災対策に関する研究

令和 2 年度に開始した「防災対策に資する南海トラフ地震調査研究プロジェクト」他の研究プロジェクトにおいて南海トラフ地震の防災・復興に関する研究を進めている。津波到達地震が短い地域において命を守ることができるまちづくりについての検討を行っている。和歌山県串本町田原地区において「逃げ地図」ワークショップを開催し、地域の避難についての検討を行った。「逃げ地図」とは、住民が地図に避難時間を色鉛筆で着色し、避難に必要な時間を確認するワークショップである。「逃げ地図」に津波到達時間の結果を重ね合わせ、地区の避難可能性の検討を行い、地震時に通行不可となる通路の解消が重要であることが明らかになった。

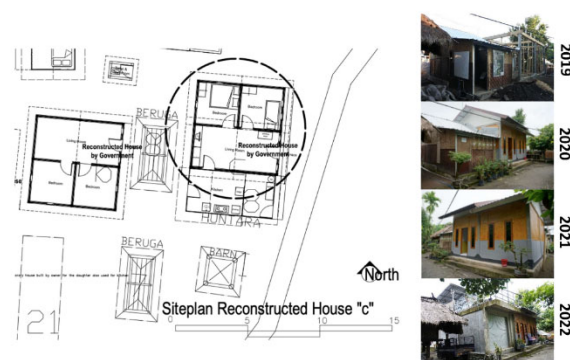


津波遡上時間の重ね合わせ結果（津波遡上時間は京都大学防災研究所がシミュレーションで再現したデータを利用）

② 災害後のすまいに関する研究

科学研究費基盤研究（A）「応急仮設住宅「学」の確立」（令和 3—7 年）他の研究プロジェクトにおいて災害後のすまいに関して様々な視点から分析を行っている。科学研究費の研究においては 1923 年関東大震災以降の応急仮設住宅の変遷についての資料収集を行うとともに、温熱環境、配置計画といった多様な視点から応急仮設住宅のあり方についての総合的な検討を行っている。

またインドネシアの 2004 年インド洋津波以降の住宅再建支援スキームの変遷について分析を行い、2004 年インド洋津波以降、住宅再建の政策的仕組みが整備され、2006 年中部ジャワ地震、2010 年ムラピ山噴火災害を通じ、住宅再建の仕組みが制度化されていくプロセスを明らかにした。



2018 年ロンボク島地震後の住宅再建

③ 盆地の堆積層構造のモデル化に関する研究

「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第 2 次）」においては、大阪盆地地盤構造モデルの修正を行った。反射法地震探査が示すように、大阪盆地の堆積層は積み重なる同時代面が大局的に相似的な変形形状を示すため、建築土木構造物の建造時に実施されてきた多数の浅層ボーリングに含まれる海成粘土層（Ma12）の深度データと、より深い海成粘土層（Ma10）の数少ない深度データから Ma10 の深度分布を推定した。深度モデルの修正量が最大数十 m となり、小さい空間スケールの Ma10 層の形状変化がモデル化された。拠点研究 2202A-02 においては、互いに近距離で実施された反射法地震探査と微動探査のデータの整合性の確認を行い、多数かつ多種類のデータ用い様々な仮定を設定してモデル化を進める上での問題点を整理した。

Ⅲ. 防災技術政策研究分野

安全で持続可能な社会の実現に向けて、水災害リスクを管理するための防災技術政策論に関する研究を進めている。水文学・水工学・災害リスクマネジメントを基軸に、① 洪水流出の現象解明とモデリングに関する基礎研究、② 水災害の予知・予測に関する技術開発研究、③ 社会変動・気候変動を踏まえた水災害リスクの評価と軽減に関する応用研究を三本柱として研究を進める。

① マルチハザードの評価に向けた統合ハザードモデルの構築

気候変動の適応策を検討するうえでは被害と対策を総合的に分析する必要があり、マルチハザードの視点が不可欠である。2022 年度より開始した文部科学省の気候変動研究プログラム「先端プログラム」では、学内外の研究者と共同し、様々なハザードモデルを統合するプロジェクトを推進している。これまで開発を進めてきた洪水予測モデル(降雨流出氾濫モデル:

Rainfall-Runoff-Inundation: RRI Model)の発展を進めるとともに、他の研究者が開発した様々なハザードモデル、具体的には、高潮・波浪モデル、大気陸面モデル、土砂モデルなどを統合する共通プラットフォームの開発を地球シミュレータを活用して進めている。

全国を対象とした RRI モデルと気候変動の予測情報(d4PDF-5km)を活用して、中小河川を含む全ての河川で確率流量を推定する手法を提案し、気候変動の影響評価に関する研究を進めた。

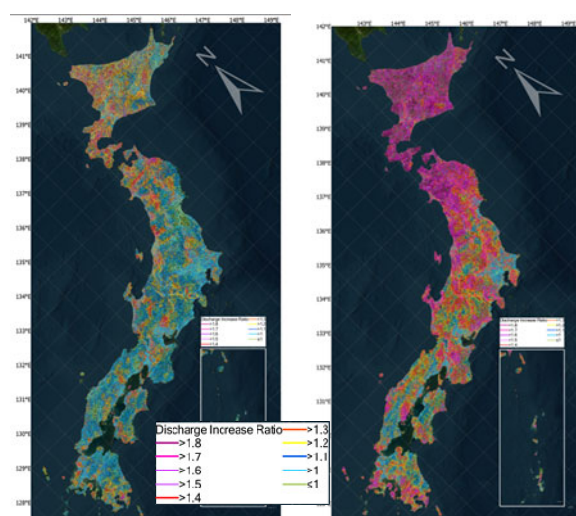


図:確率洪水流量(再起年 100 年)の変化推定左:
2 度, 右: 4 度上昇時の変化率

② 洪水流出の現象解明・モデリングと水災害予測

内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(第 3 期 SIP)「スマート防災ネットワークの構築」に参画し、研究課題「水理インフラ施設群を反映した全国規模の降雨流出氾濫モデルの開発と広域氾濫リスク評価」の研究に取り組んでいる。日本全国を対象に、空間解像度約 150 m で、分布型の降雨流出氾濫モデルを構築し、中小河川を含む河川流量および水位を簡易的に予測するための技術を開発した。水理施設としての水門などの影響を反映するとともに、水田の貯留効果も反映できるようにモデルの改良を進めた。京都府や民間企業との共同研究も進め、開発技術の応用に取り組むとともに、環境省のプロジェクトでは、2018 年西日本豪雨の擬似温暖化実験とその結果の公表も進めた。

③ 土地利用・気候変動が流域水循環に及ぼす影響の評価と適応策に関する研究

主にアジアの河川流域を対象に、森林伐採や大規模プランテーション開発などの土地利用変化が流域水循環や水災害に及ぼす影響を評価するための方法を検討している。上記の「先端プロ」では、泥炭火災の推定手法についても検討し、洪水災害と泥炭火災との関係についても検討を進めた。スマトラ島を対象にした気候変動の影響評価では、雨季と乾季の気候変化を推定した。また、JST 国際科学技術共同研究推進事業「日 ASEAN 科学技術イノベーション共同研究拠点-持続可能開発研究の推進」(JASTIP)に参画し、マレーシア、ベトナム、カンボジア等においても各地域が抱える課題を留学生が主体となって現地政府や研究機関とも協働しながらその解決に向けた実証的な研究を進めた。

④ その他

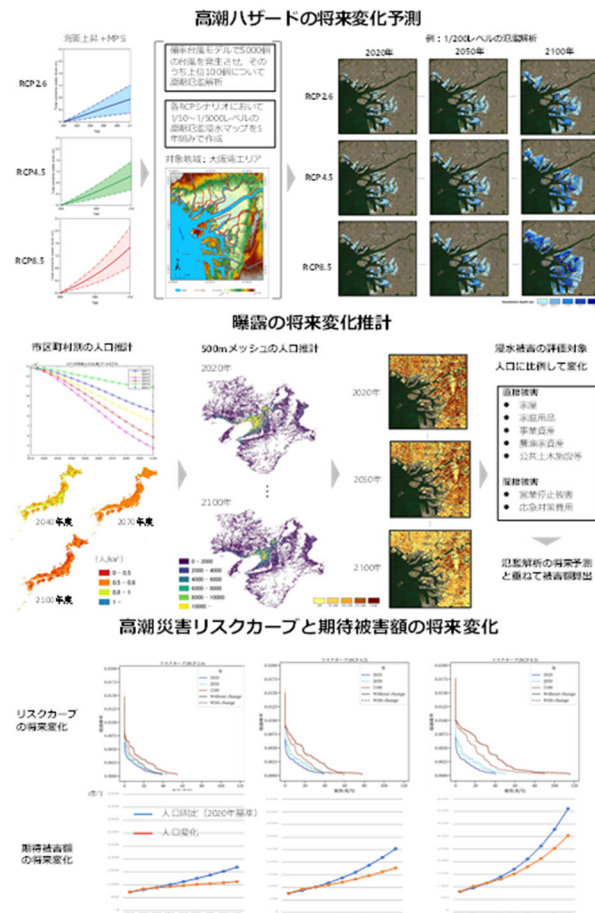
2023 年度は、7 編の完全査読付論文(うち 5 編は国際ジャーナル論文)として学術雑誌に発表した。7 件の招待講演・特別講義・市民向け講演を行い、研究内容の紹介や減災のための啓蒙活動に努めた。『水・エネルギー・災害に関するユネスコチェア(WENDI)』の活動を継続した。平成 30 年 4 月より始動した系統的・学際的な大学院レベルの持続可能教育(HESD)プログラムを進め、令和 6 年 3 月時点で 61 名の大学院生が修了した。令和 5 年 3 月から約 3 か月間にわたり米国から外国人客員教員(教授)を、令和 6 年 1 月から約 2 か月半にわたりカナダの教授を、また中国からの交換留学生 2 名を受け入れた。

IV. 防災社会システム研究分野

① 人口変化を考慮した高潮被害リスク予測

気候変動による高潮災害ハザードの増大が危惧されている。一方で、将来の人口は減少傾向にあり、エクスポージャーの減少も予測される。前者は高潮被害のリスクを増大する方向に、後者はリスクを減少させる方向に影響する。そのため、将来のリスクがどのように変化するかを明らかにすることは重要な課題である。

本研究分野では、大阪湾岸エリアを対象に、気候変動と人口減少の両方の影響を考慮したもとの高潮被害リスクの将来変化を推計した。その結果、RCP2.6 シナリオのケースでは、期待被害額は人口減少を考慮すると 2100 年時点でも現状と同程度であった。RCP4.5 と RCP 8.5 では人口減少を考慮しても期待被害額は増大することが示された。

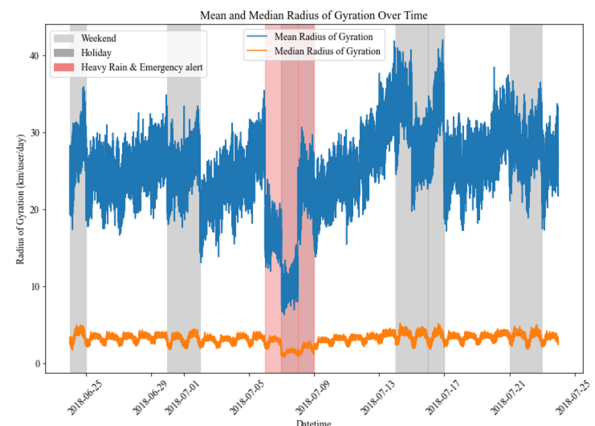


将来人口変化を考慮したリスクカーブ推計

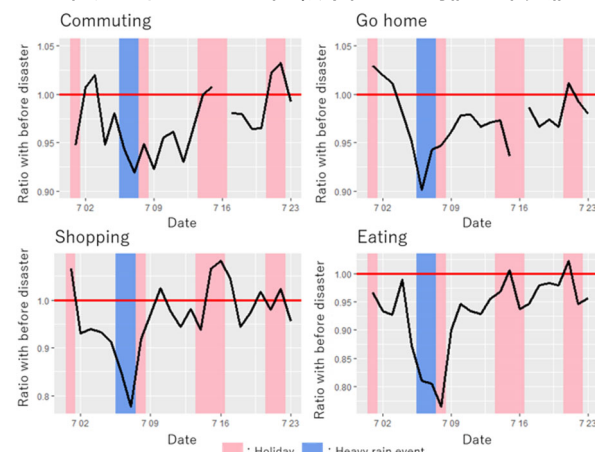
② メッシュ流動人口データを用いた水害による交通行動と日常活動パターンの変化

水害リスクの増大により、災害時の交通中断が人々の交通行動や日常活動に及ぼす影響を把握する必要がある。そのため、本研究で

は個人の一日の移動経路を追跡できるポイント型流動人口データを用いて、平成 30 年豪雨を例に、災害が人々の交通行動や日常活動に与える影響を分析した。分析の結果、暴雨期間中に住民の自宅からの回転半径が著しく減少し、平均値は災前に比べて 30km から 10km へと大幅に減少した；中央値は、災前の 4km から 0.5km へと減少した。さらに、移動目的ごとに分類することで、通勤交通なら労働量の減少、買い物交通なら消費の減少というように、経済活動が特に減少したことが明らかになった。研究で提示した枠組みにより、スマートフォンの位置情報データを用いることで交通ネットワークパフォーマンス及びそれに応じた目的別交通行動、そしてその両者の関係を分析することが可能なことを実証している。



住民の自宅からの回転半径の平均値と中央値



目的別交通量における災害前後の比率の推移

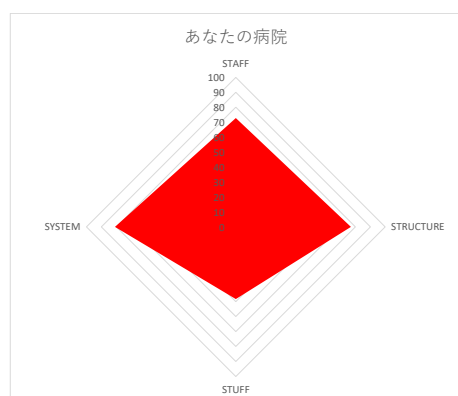
③ その他

11 編の査読付論文として学術雑誌に発表した。加えて 15 件の一般向け講演を通して、社会貢献に努めた。

V. 地域医療 BCP 連携研究分野

① 病院の BCP 評価に関する研究

『BCPの考え方に基づいた病院災害対応計画作成の手引き』（平成25年3月）に示される「病院災害計画チェックリスト」の内容を構造化し、災害時の病院の業務継続をする上での課題を容易に把握できる仕組みの開発を行った。チェックリストの結果を見える化することで各病院の取り組み、各病院が取り組むべき課題を容易に把握することが可能になると考える。チェックリストの項目を、医療供給力 Surge Capacity を構成する 4S(Staff, Stuff, Structure, System)の各要素に分類し、「チェックリスト」の質問項目について「ある業務が可能になる」（例：医療人員の適切な配置ができる）という観点から質問項目についての構造化の成果をもとに病院のリジエンス性能を定量的に分析することが可能な仕組みの検討を行った。

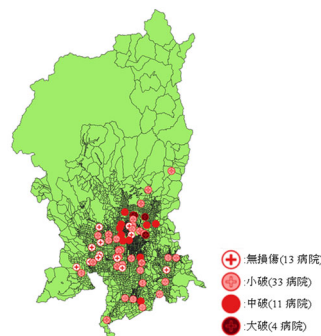


病院のリジエンス性能評価

② 医療機器の地震時挙動評価

地震時に防災拠点として機能することが期待される病院では、建物の構造部材が損傷していても、非構造部材が損傷すると、医療機能は低下する。そこで、建物の構造部材に加えて非構造部材と医療機器を評価の対象とした、地域レベルの病院地震被害推定に関する基礎検討を実施した。公開されている入手可能な情報をもとに、想定される地震動に対して、非構造部材と医療機器の被害を考慮した場合の機能低下を評価し、被害の空間分布を確認した。構造躯体、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では、構造躯体の被害推定が無損傷の 30 病院のうち、建物被害の総合判定で小破に変わった病院が 17 病院、構造躯体の被害推定が小破の 27 病院のうち、建物被害の総合判定で中破に判定が変わった病院が 11 病院

存在し、半数近くの病院で、被災度区分が変化することを確認した。医療機器の損傷可能性について評価したが、その整合性の確認や、構造躯体、非構造部材の被害推定と組み合わせた評価には至っていない。



非構造部材を含めた病院被災度推定（京都市）

③ 病院の被災調査

2023 年 2 月に発生したトルコ・シリア地震後にトルコ南部の病院施設を調査した。病院等の重要施設は重要度が高い用途区分であったため、一般の建物に比較して倒壊・全壊に至る構造被害が少なかった。一方で、外壁や間仕切り壁、天井などの非構造部材の被害が原因で事業継続性が低下した例が多く確認された。過去の地震被害を受けて、備蓄や災害対策マニュアル、訓練などの備えは適切に更新されていたが、押し寄せた患者数が圧倒的に多かったこと、被災した病院関係者が多かったこと、病院施設の事業継続性が低下したことが相まって、医療需給が崩れた。後発地震の続くなか医療活動に従事した医療関係者が PTSD を発症し、病院避難に陥ったケースも確認された。免震構造の病院は構造・非構造部材ともに被害はなく、地震後も機能を維持出来ていた。エキスパンション部分では一部修復が必要な損傷がみられた。

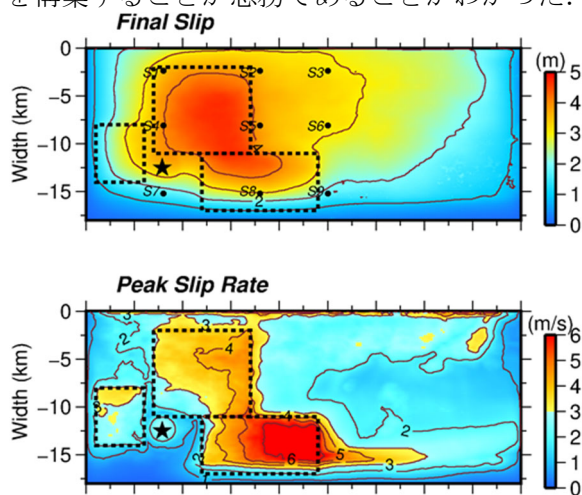


被災した病院の例（トルコ南部）

VI. 地震リスク高度化（阪神コンサルタンツ） 寄附研究分野

① 震源の動的破壊シミュレーションに基づいた新しい強震動予測レシピのプロトタイプ構築

本研究では昨年度に引き続き、動的破壊シミュレーション解析と三次元地下構造モデルを用いて熊本地震の際の震源域の強震動波形を再現する最適な動的破壊モデルを構築することを目的として検討した。すなわち応力アスペリティ（高応力降下領域、HSDA）内外の応力降下量や浅部の応力降下量分布を変化させたパラメトリック解析を実施し、得られたアスペリティ内外の滑り量と滑り速度の時間関数形状と内部のピーク値分布を把握した。その結果震源近傍のアスペリティ(SMGA)パルスは、滑り変位の大きい領域ではなく、滑り速度関数が Kostrov 型となる大滑り速度領域(High Slip-Velocity Area; HSDA)として抽出し直され、そのスケーリングを構築することが急務であることがわかった。



得られた最適モデルの滑り量と最大滑り速度

② 硬質岩盤上の観測記録を用いた速度構造・サイト特性の抽出

硬質岩盤上での速度評価とサイト特性評価はスペクトルの変動幅が小さいだけに、軟弱地盤の場合よりもむしろ困難である。ここでは一般化スペクトルインバージョンで得た硬質岩盤上の水平動増幅特性 HSAF と水平上下スペクトル比 EHVR を対象とした速度構造インバージョンを行い、硬質岩盤の地下構造に対する情報をできるだけ精度よく抽出する方法を確立することを目指して、「10 電力共通研究 震源近傍における基盤地震動特性評価に関する研究」で整備した「近畿地方の硬質地盤アレー」および

「関東地方の硬質地盤アレー」に手法を適用し、構造がよく拘束された結果であることを検証した。

③ 海溝型巨大地震のスケーリング則の再評価

海外の内陸地震の運動学的震源インバージョン結果からアスペリティを抽出して、断層面積とアスペリティ総面積などのスケーリング則の定量的比較を行ってきたが、アスペリティの断層全体における位置（走向と深さの長さとの幅に対する相対値）の統計的分布について十分な検討がなされていないのでこれを SRCMOD に基づき把握した。

④ 被害インバージョンによる強震観測以前の地震の断層パラメタ評価

仲野・川瀬(2021)の統計的 G 関数法と関口・他(2008)の不均質震源モデルによる再現強震動を用いた観測被害率の再現により、強震データのない地震の短周期域の震源像を明らかにするため、昨年度実施した東南海地震の被害再現性を向上させる追加検討を実施した。また関東地震の検討にも着手した。

⑤ 経験的地盤非線形性評価手法の開発

経験的 G 関数法では線形仮定の地表面上の波形が推定されてくるが、現実の地震動は表層地盤の非線形性により大きく影響を受ける。そこで日本の強震観測網で得られた最大加速度が大きかった多数の記録に注目し、その経験的補正関数 NCF を求めた。

⑥ 経験的な S 波部以降の後続動評価手法の開発

これまで物理的関係を確立するため S 波部に着目してサイト特性を分離してきたが、波形予測のために全継続時間のフーリエ・スペクトルを対象に、S 波部との比 WSR を導入し、そのモデル化を図った。

⑦ 速度構造・サイト特性推定手法の国際展開

我々の推定手法を国際標準として展開するため、海外の適用事例を増やす必要があり、フランス・スイス・イタリア・米国・イラン等で展開した。

⑧ 研究実績

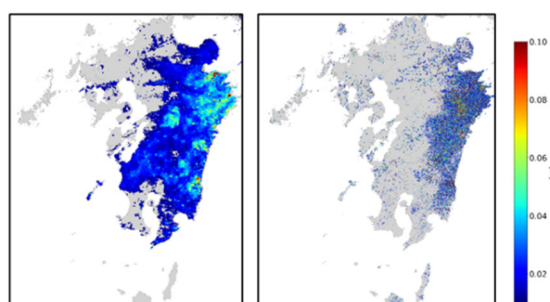
2021 年度は 13 編、2022 年度は 12 編の査読付論文を発表した。各年度に 2 回研究室主催のセミナーを開催し、毎回 50 人以上の参加者を集めた。

VII. 災害リスクファイナンス（SOMPO リスクマネジメント）研究分野

① 階層的な水災リスクモデリングの高度化

洪水等の自然災害による企業活動への影響を適正に評価・管理するためには、個々の事業拠点における影響を分析できるような高解像度モデルが必要である。現状の水災リスク評価モデルは 1km～250m メッシュ程度の粒度であるのに対し、少なくとも街区レベル＝50m メッシュ程度の空間解像度に基づくリスクモデルの構築を目指した。また、比較的防御レベルの低い 1 級河川以外の中小河川も可能な限り考慮したモデルの構築を目指す。そのために、従来の全国モデルと連動し、指定したエリア（流域）を詳細かつ高速に解くモデル設計に取り組んだ。

従来モデル(1km) 高解像度モデル(250m)

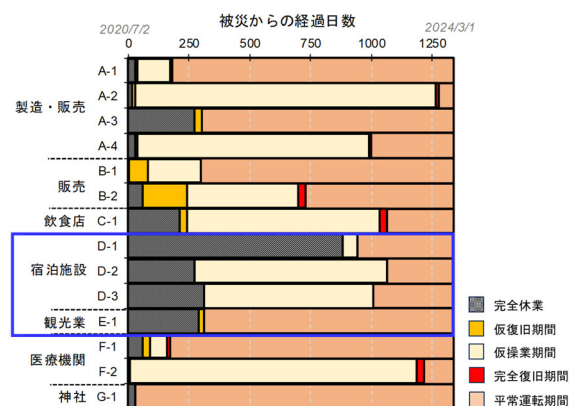


浸水計算の例（2017 年台風 18 号）

② 直接損害・波及損害のモデル高度化

個別事業所の操業停止期間・売上への影響期間を把握するため、現地調査による災害後の企業活動に関するデータを取得した。今年度は被災後からの復旧過程を詳細に明らかにすること、復旧の阻害要因の特定、保険をはじめとする各種ファイナンス対策の課題点の特定、有効な財務支援の在り方を検討するための基礎データの取得を目的として、令和 2 年 7 月の球磨川水害で被災した企業を対象としたヒアリング調査を実施した。

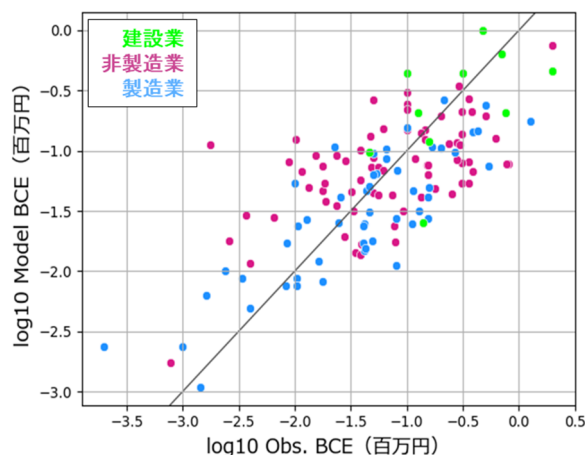
その結果、「製造・販売」と「販売」は、被災を免れた在庫の販売、配達・ネット通販を活用することで、災害後も短い期間で操業を開始できる場合がある一方、「宿泊施設」や「観光業」は他の業種に比べて復旧が遅い傾向があるなど、復旧のスピードは業種によってかなり違うことや、復旧のために用いられる各種ファイナンス制度が相互に関係していることに起因して、政府による補助金の支払いが遅れたり金額が不十分なものになったりしている可能性があることなどが判明した。



個別企業の復旧経過

③ 事業継続リスクを対象とするファイナンス手法の開発

企業が持続可能な事業継続体制を構築することに資するファイナンス手法の開発を目指して、「企業属性」「BI（事業中断損失）や BCE（事業継続費用）などといった被災企業の各種支払い」「復旧速度や被害額」という 3 項目相互の因果関係を明らかにすることを目指して、防災社会システム研究分野が以前実施した平成 30 年 7 月の西日本豪雨災害における事業所アンケートデータと、東京商工リサーチによる企業の財務情報に関するデータを用いた。事業継続のために BCE を支出するかどうかに関する選択と、支出した企業の中でその必要額をどのように決めたかを統一的に分析するために、Type II の Tobit モデルを用いた解析を行った。結果として、BCE 支出の有無に対しては業種（製造業ダミー）や浸水の有無などが、BCE 支出額に対しては企業規模（売上高や従業員数）や地域ダミー（土砂災害が顕著だった地域）などが有意に効いていることが判明した。



BCE の推定値と実測値の比較

8.2 巨大災害研究センター

【センターの活動概要】

(1) 研究対象と活動方針

東日本大震災（2011 年）の発生を受けた想定外の大規模災害対策，次の南海トラフ巨大地震や首都直下地震に対する被害想定の見直しに加え，気候変動の進行による極端気象現象の頻発（集中豪雨の多発・激化，豪雪の発生や台風，ハリケーンの強化など）が加わり，現代社会は激動期を迎えている．特に先進国での近年の急激な産業・経済構造の複雑化・高度化，情報環境の激変，急速な少子高齢化，途上国での急激な都市化や産業化によって，単体の自然災害による直接的な影響ばかりでなく，社会的要因による自然災害の拡大・連鎖，複数の自然災害が関係する複合災害など，社会的要因によって被害が拡大して，社会に未曾有の衝撃を与える構図が明確になりつつある．巨大災害研究センターは，このような構図を明らかにし，その上で，巨大災害による被害の軽減に関する研究を，自然科学と社会科学を融合した視点から進め，総合的な減災システムの構築を目指している．

当センターの重点的な研究課題は以下となる．

- 1) 国内外での巨大地震・津波災害における避難計画・防災教育に関する学際的研究
- 2) 気候変動に伴う風水害対策に関する学際的研究
- 3) 大規模火山噴火時の航空交通の危機管理体制に関する学際的研究
- 4) Natech（Natural Disaster Triggered Technological Accident，自然災害が誘発する人為災害）に関する学際的研究
- 5) 防災研究のアウトリーチ
- 6) 災害情報システムの高度化と社会実装に関する研究
- 7) 中米地域における地震・津波複合災害に関する学際的研究
- 8) 防災に関する情報技術を高度化するための防災 IT テストベッドに関する研究

(2) 研究分野と役割

巨大災害過程研究領域では，巨大災害による被害を軽減するための研究を，社会科学・自然科学（文理工）を融合して，また，理論と実践の往還を重視して行っている．特に，社会科学の立場から，地域コミュニティ，自治体，学校といった防災・減災の第一線の当事者との共同

的实践研究（アクションリサーチ）をベースに，災害情報，防災教育，災害文化のあり方を提案し，同時に，現代思想，社会学，経済学，心理学など，社会科学に関する最新の理論的知見を広く参照しながら，真に「実践的な」防災学とは何かを探っている．

災害情報システム研究領域では，時空間情報を効率的に処理できる地理情報システムを核とし，総合防災システム，総合減災システムを確立するために求められる情報システムに関する基礎研究を行うとともに，行政・民間企業・地域防災を担うコミュニティ・災害支援ボランティア組織などを対象に，多種の自然災害における災害対応を想定した情報システムの構築方法論と評価手法を構築することを目指している．研究対象とする情報システムは，核となる地理空間情報の収集・管理・運用を内包しているものとし，情報収集のための情報通信技術やロボット技術の適用，災害対応過程で必要となる地理空間情報のモデル化，システム運用のための体制作りについても研究課題としている．

災害リスクマネジメント研究領域は，世界が直面している複雑な災害リスクに対する社会のレジリエンスの向上に貢献するために，技術社会システムの戦略的リスクガバナンスを促進することを目的とし，学際的で理論的，応用的な方法を組み合わせて，災害リスク管理の課題に取り組んでいる．特に，Natech 災害に着目し，Natech リスク評価と管理システムの開発，近隣地域の技術的および組織的レジリエンスの体系的モデリング，熱帯低気圧に関連した Natech 事故の発生率の空間的・時間的変動の分析を，理論的・実践的に推進している．

歴史災害史料解析研究領域（客員）では，過去に発生した災害とその対応の記録や生活におよぼした影響，先人が残した災害の教訓や培われた文化・風習などのデータを収集・整理・解析し，次の災害への備えに適用・活用していくことが喫緊の課題であるとの認識から，特に，ローカルな社会（都市や中山間地，沿岸部など）における災害伝承・情報共有のありかたに照準して，社会学，心理学，情報学，教育学など，様々な観点から研究を推進している．

地域災害研究領域（客員）では，東日本大震災からの復興まちづくりの効果と課題に関して，

これまでの短期的な視点からの評価に加えて中期的な視点から評価を行うことにより、時間的に総合的な復興まちづくりの評価を行うための研究を推進している。また、水害をはじめとした災害リスクに対する空間計画的対応の可能性に関する研究も推進している。

国際災害情報ネットワーク研究領域（外国人客員）では、自然災害に関する世界各国の様々な領域の研究者を客員教授もしくは准教授として招聘し、現地資料の収集および数値、映像、文献データの交換とインターネットなどによるデータベースや防災地理情報などの相互利用を推進することで効率的な国際共同研究を実施している。

アートイノベーション（凸版印刷）研究領域は、2022 年 5 月に産学共同研究部門として設置された。本研究領域では、アート、文化、テクノロジーを融合した日本文化のコンピューティングを方法論として、人や社会にイノベーションをもたらすとともに、人の「生きる力」を豊かにかつ強靱にすることで総合的な防災につなげることをめざしたアートイノベーション研究を進めている。

(3) その他（横断的な活動等）

以下の研究および実践的活動を実施して、研究・教育の推進を図っている。

- 1) IDRiM Society(Integrated Disaster Risk Management Society, 国際防災総合学会)の実施
- 2) 阿武山地震観測所サイエンスミュージアムプロジェクトの実施
- 3) 南海トラフ地震調査研究プロジェクト（文部

科学省）の実施

サブ課題 2「地震防災情報創成研究」(d)「臨時情報発表時の人々の行動意思決定に資する情報の提供」に関する研究を推進した。

4) 防災計画研究発表会の実施

5) 災害コミュニケーションシンポジウムの実施

6) 総合防災セミナーの開催（隔月）

（構成メンバー）

	氏名	部門・センター	役職
1	矢守克也	巨大災害研究センター	教授
2	中野元太	巨大災害研究センター	助教
3	岡田夏美	巨大災害研究センター	特定研究員
4	畑山満則	巨大災害研究センター	教授
5	廣井慧	巨大災害研究センター	准教授
6	藤田翔乃	巨大災害研究センター	JSPS 特別研究員
7	Ana Maria Cruz	巨大災害研究センター	教授
8	土佐尚子	巨大災害研究センター	特定教授
9	PANG Yunian	巨大災害研究センター	特定助教
10	櫻井繁樹	巨大災害研究センター	特任教授
11	中村伊知哉	巨大災害研究センター	特任教授
12	中津良平	巨大災害研究センター	特任教授

【研究領域の研究内容】

I. 巨大災害過程研究領域

① 防災・減災に関するアクションリサーチ

津波防災、豪雨防災の領域を中心に、数件のビッグプロジェクトを軸に、防災・減災に関するアクションリサーチを実施した。具体的には、文部科学省科学技術試験研究委託事業「防災対策に資する南海トラフ地震調査研究プロジェクト・臨時情報発表時の人々の行動意思決定に資する情報の提供」、科学研究費補助金（基盤研究 A）「起こらなかった豪雨災害に関する研究：ポテンシャル事例の同定と防災情報への応用」、科学研究費補助金（挑戦的開拓研究）「天変地異のオープンサイエンス」、などの補助による研究である。

主な研究テーマとしては、津波避難訓練支援アプリ「逃げトレ」および「逃げトレ View」の開発と社会実装、高知県黒潮町における地区防災計画活動の推進、南海トラフ地震の臨時情報対応に関する研究、黒潮町および四万十町を中心とした防災教育の推進、京都府福知山市などをフィールドとした「ポテンシャル災害」（発生しなかったが発生の潜在性が高かった災害）の客観的同定手法の開発研究、防災研究所阿武山観測所におけるサイエンスミュージアムプロジェクトや学校に設置した小型地震計を用いた防災学習を軸とした災害科学アウトリーチ手法に関する研究、桜島の大規模噴火による大量軽石火山灰降下に対する広域避難に関する研究などである。

これらの成果をまとめた論文や発表により、国際総合防災学会、災害情報学会、自然災害学会、質的心理学会などで、研究チームメンバー（研究室所属の研究員や大学院生）が計 5 件の表彰を受けた。

② 災害応急対応のための応援協定に関する研究

国土交通省や地方自治体など、多くの行政機関は、災害時により被災した道路や堤防等の公共インフラを応急的に復旧するための技術、労働資源を確保するために地元の建設業協会等と災害時応援協定を締結している。災害時応援協定は、行政の依頼を受けて、建設業者が迅速に行動に移ることを可能にする仕組みである一方、

協定自体は契約でなく、応急復旧工事では、平常時のような入札契約手続きを経る時間的余裕がない。すなわち、災害応急復旧工事は、互いに法的拘束力が働かない関係の下で実施されているのが現状である。現状の官民関係に基づく災害対応システムでは、災害対応リソース確保が不確実であり、災害時特有のリスクが考慮されないなどの問題が存在するため、望ましい災害応急復旧工事のための官民関係及び、制度的仕組みの実装プロセスを検討する。

③ 国際・学際研究の社会実装と映像表現

本研究室で展開してきた様々なアクションリサーチの成果の表現手法や、国際・学際研究の社会実装の方法論を検討してきた。具体的には、科学研究費補助金（若手研究）「支援者と被支援者との間の災害観の差異を克服する国際防災教育支援の理論と実践」や、地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム「メキシコ沿岸部の巨大地震・津波災害の軽減に向けた総合的研究」への参画、JST 持続可能開発目標達成支援事業「海底地震観測と構造物脆弱性の知見を活かした津波避難教育プログラムのパイオニアの実証実験」への参画を通して、メキシコにおける海底地震観測や地震・津波モデリング、避難シミュレーションといった研究成果を地域の減災対策に活用する取り組みを進めた。その結果、地域社会全体の防災教育・地域防災活動の活性化や科学研究成果に基づく避難戦略策定、避難標識設置が進んだ。

さらに国際・学際研究の経時的な発展的成果を映像エスノグラフィとしてまとめ、一連の活動に参画・関与したステークホルダーの多声的・多角的な活動の見方を表現し、さらなる防災活動の展開を目指した。こうした映像研究の成果は、高知県黒潮町をフィールドとした各種の映像教材制作（「まねっこ防災シリーズ」・「防災やってみたシリーズ」）へも活用されている。

④ その他

57 編の完全査読付論文として学術雑誌に発表した。加えて 143 件の一般向け講演や、203 件の新聞・テレビ等のメディア出演を通して、社会貢献に努めた。

Ⅱ. 災害情報システム研究領域

① 平常時/災害時を連続的に扱うことができる地理情報システムに関する研究

災害発生前、発生時、および発生後の社会の対応を情報処理過程としてとらえ、効果的な被害軽減、災害対応、復旧・復興を実現するために時空間情報を効率的に処理できる地理情報システムの研究を進めている。本研究領域では地理情報システムについて、基盤、応用の両面から研究開発を行なっている。

2023 年度は応用研究として、地理情報システムを活用した上町断層帯地震発生時の京阪神圏における帰宅困難者誘導計画に関する研究を実施した。2011 年の東日本大震災発生以降、大規模地震発生後の帰宅困難者対策にはガイドラインが策定されているものの、首都圏とは異なる地理的特徴をもつ京阪神圏では、独自の帰宅困難者誘導計画の方針が必要と考える。京阪神圏における帰宅困難者の徒歩帰宅段階に注目し、徒歩帰宅シミュレーションを構築し徒歩帰宅者の行動を解析するとともに、上町断層帯地震における帰宅困難者誘導計画について、実運用上想定される課題とその解決方針を検討した。本研究は、地理情報システムとシミュレーションを応用して、より効果の高い戦略を定量的な根拠データから導き出す、解析の道筋を示した研究と言え、地理情報システムを用いた応用例として、防災に関する情報システムの飛躍的発展を根幹から支える技術となると期待できる。

② 効果的な災害対応を実現するための情報システム開発手法に関する研究

急激な進化を遂げる情報システムの先端的な技術を積極的に利用し、実務面からの意見も踏まえた新しい災害対策手法を検討している。本研究領域では、AI（自然言語解析、機械学習）、プラットフォーム学等、最先端の ICT を使った効果的な災害対応手法について、主に 3 つの観点から研究を行っている。

AI を用いた災害対応手法として、地震発生直後の住家の高解像度空撮画像・映像を用いた建物被害検出モデルを開発した。これは、高解像度空撮画像・映像から深層学習による画像認識技術を用いて建物被害を検出することで、防災時に人員が不足する対応機関において、広域に存在する建物の被害情報収集を目的としている。空撮画像を用いた高精度での屋根被害の検出、被害認定調査における屋根調査の迅速化と正確化を目的とした空撮画像を用いた、屋根損

傷率の自動算出モデルおよび倒壊建物・被害建物の検出モデルを開発し、被害認定調査における本モデルの利用方法を提案し、高精度で倒壊建物数を推計し、より詳細な被害状況の推測が可能であることを示した。こうした工夫が評価され、情報処理技術と防災をテーマとする主要国祭会議への論文採択等、多くの成果を得た。

プラットフォーム学に関連した研究として、災害対応ガバナンス醸成のためのシミュレーション型プラットフォームを開発した。本プラットフォームは、大規模水害時の救助活動のような時間的・空間的に離れた他の災害対応を対象に、自然災害モデル・災害対応モデルをひとつのシステム上に統合的に管理することで、俯瞰的な視点での新たな解決策や諸課題を検討可能にすることを目的としている。長期浸水想定領域の住民の避難意識に関する質的調査をもとに課題を設定したうえで、プラットフォーム上での検証を行い、救助活動の限界が住民に与える影響や住民間での影響関係について示した。避難行動の変容が、救助活動の改善と住民自身の負担軽減に影響するという知見を明らかにし、救助活動と排水処理による強力な救助戦略や、住民避難へのより具体的かつ的確な要求などの新たな救助戦略の提案と有効性の検証を行った。

さらに、防災に関する情報技術を高度化するための防災 IT テストベッドに関する研究として、既存の優れた防災技術をフルに活用した、漸進的かつ柔軟に連携させる基盤技術の研究開発を実施した。これは防災に関する情報技術、情報システムの開発スピードを向上させるため、コストの大きい解析技術やシミュレータの性能評価が可能なテストベッドの提供を目的としており、2023 年には事前検証およびリアルタイム動作に必要な基幹機能の開発が完了し、防災に関わるシステムやアプリケーションの開発促進の準備が整った。これらの先端的な ICT を用いた研究は各分野で活発になりつつあるものの、精度の低さや運用面の考慮不足など、実用に至るまでに数多くの課題が残されている。本領域では、上記の研究実績をつくることで、ICT を用いた防災研究の指針を示し、この分野をリードするべく、研究開発を進めた。

③ その他

研究成果は、7 編の完全査読付論文、21 件の講演、17 件の国際・国内会議発表を通じて行われた。

III. 災害リスクマネジメント研究領域

① Research Study on Natech Protection Motivation of Industry Managers: Evidence from Colombia

Every year, chemical facilities are threatened by flooding. Flooding can not only cause damage to industrial installations, but they can also cause supply chain disruptions. Damage to chemical industry can be further exacerbated when they trigger chemical accidents (known as Natech). The accidents and the disrupted supply chains can have detrimental effects on an area's economy and daily life.

To make recommendations on how to improve the protection motivation of supply chain managers when faced with flood-related Natech risk, the study proposes a revised conceptual model of the Protection Motivation Theory (PMT)" (Rogers, 1983). The model aims to understand how managers perceive flood-related Natech accidents and the cognitive mediating processes of protective motivation intentions. We developed a survey instrument, and partnered with Colombian Safety Council (CSC) for its distribution among supply chain managers at the chemical industries in Colombia. The questionnaire survey was followed by industrial visits and a workshop with safety managers.

The analysis of the results included structural equation modeling (SEM). The findings contribute to the identification of factors that serve as barriers and facilitators in adopting protective measures, offering valuable insights into proactive behavioral antecedents. These insights can aid in enhancing managers' motivation for proactive planning in anticipation of flood disasters, could help to strengthen industrial resilience.

② Research Study of Earthquake-induced Domino Effect Propagation at a Storage Tank Farm to Estimate Industrial Downtime

Following the Great East Japan Earthquake, several industrial installations suffered damage, resulting in fires, oil spills, and explosions. This was the case of

a refinery in Chiba Prefecture where a fire at a liquified petroleum gas (LPG) storage tank farm resulted in the complete destruction of 17 tanks due to the earthquake and domino effect propagation. The refinery was shut down from 11 March (when the fire was extinguished) until September 30, 2011, marking a total downtime of 193 days.

In this study, we develop a model to estimate downtime due to earthquake-induced Natech accident chains, including potential domino accidents and their dynamic consequences, using a Markov Chain Monte Carlo approach. In order to verify the feasibility of the model, it was applied to a case study tank farm at a refinery in Osaka Bay. Future work will involve collecting data for model validation, and model improvement.

③ 7th Natech Symposium and International Natech Network Launch

The 7th International Symposium on Natural Hazard-Triggered Technological Accidents (Natech 2023): "Strategies to Address Challenges of Climate Change under a Post-Covid-19 Era," was hosted by the Institute for Disaster Management and Reconstruction at Sichuan University, Chengdu, China on 29-30 June 2023. During the conference, the International Natech Network (INN) was launched on 30 June 2023. INN aims to promote networking and bringing together scientists, administrative organizations, industries, and communities to exchange scientific knowledge in the field of Natech risk management through sharing experiences, good practices, innovative risk assessment methods, sustainable risk management strategies, and comprehensive risk reduction measures on Natech. The 8th Natech symposium (Natech 2024), will be hosted by the Norwegian University of Science and Technology (NTNU) in Strondheim on 1-2 July 2024.

④ Others

In 2023, research results were published in 6 fully refereed papers and 2 refereed book chapters and presented at 13 international and domestic conferences.

Ⅳ. アートイノベーション産学共同研究部門

① アート思考を持った人材の育成及びメタバース内でのアートミュージアムの研究 (TOPPAN との共同研究)

組織や社会にイノベーションを起こすために必要なアート思考を持った企業人材を育成するプログラムを継続して行なっている。生け花、能の家元の講義や実演を通して対象者の感性を磨いてもらう試みを行った。また研修プログラム実施側の人材を対象とした研究会を毎月開催している。中北所長（当時）に防災研究の重要性、アートを組み込むことの重要性を講義してもらい、大変好評であった。

また、TOPPAN が開発したメタバース内に土佐アートを展示する土佐アートミュージアムを構築する試みを開始した。第一次のプロトタイプが完成し、今後はその改良を行うとともに、TOPPAN の新しいビジネスとするための検討を行う予定である。

② アートのファッションへの応用研究およびプロジェクターの新しい利用法の研究 (エプソンとの共同研究)

エプソンのデジタル捺染技術と土佐アートを組み合わせることによるアートファッションの創出に向けたプロジェクトを継続して行なっている。SNS 上にあげていたアートファッションが、ニューヨークファッションウィーク (NYFW) の実施団体の目に留まり、NYFW での展示に招待された。これに应运 2013 年 9 月および 2024 年 2 月の NYFW でアートファッションを披露し大変好評であった。

並行して、ビデオアートの持つ特徴の評価やプロジェクターの新しい活用法の検討を行った。前者に関しては、土佐ビデオアートの動きを被験者を用いた心理実験で評価し、上下、左右、回転などの運動が独自の効果を持つことを明らかにした。後者に関しては、プロジェクターの投影空間に鑑賞者が入ることがコンテンツとの一体感を生むという仮定のもとに、被験者が投影空間の外部と内部で鑑賞する場合の違いを心理実験によって評価する実験を行い、投影空間内での鑑賞が持つ一定の効果を確かめた。

③ アーティスティックな照明を用いた仕事空間が仕事に対して与える効果の研究 (三菱電機との共同研究)

今後の創造性が求められる仕事空間ではアーティスティックな照明が求められる。ガラスアートと光源を組み合わせたアート照明を用いた仕事空間環境で人の創造性が高まるか否かを、被験者を用いた心理評価と創造性テストの両面から評価した。心理評価の結果ではアート照明を用いた環境が通常の LED 照明環境より、人の心を前向きにして創造性が高まるという結果が得られた。一方、創造性テストの結果ではアート照明環境と LED 照明環境の違いは明白ではなく、さらに詳細な分析が必要である。

④ アート表示に適した没入空間の研究 (AGC との共同研究)

鏡とディスプレイの機能を持つミラーディスプレイを用いた無限に続く空間の感覚を与える没入空間システムに関し、2025 年大阪万博に展示するため、空調の設置などの改良を行った。

⑤ アートが人に与える心理・生理的な効果の研究 (島津製作所との共同研究)

上記の没入空間と土佐アートの組み合わせが人の創造性を高める効果があるという仮定のもとに、それを心理・生理実験を通して確認する研究を継続して行った。心理実験結果からは創造性が高まるという結果が得られたため、国内学会・国際学会で発表して研究成果のアピールを行なった。引き続き同時に測定した生理データ（心電・脳波・皮膚電位）の解析を行った。心電データの解析からは、アート鑑賞時に幾何学図形提示やコンテンツ無しの場合に比較して、人の交感神経活動が活性化するという仮定を裏付ける結果が得られた。

⑥ その他

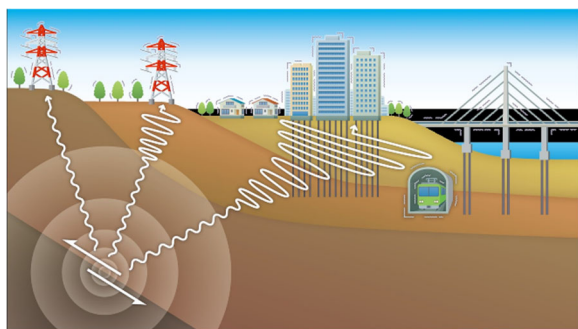
研究成果は、2 編の防災研年報、2 編の完全査読付論文、10 件の国際会議発表、5 件の国内会議発表を通して行われた。

8.3 地震防災研究部門

【部門の活動概要】

(1) 研究対象と活動方針

地震防災研究部門は、地震発生機構、強震動、耐震基礎、耐震機構の4研究分野で構成され、地震発生場、震源断層、地震の発生、地震波の伝播、強震動の生成、地盤・構造物基礎の動特性、構造物の地震時応答、耐震対策・モニタリング、耐震設計・施工という地震防災に関わる研究課題に対して、理学および工学的アプローチを融合し、科学的かつ総合的に取り組み、その帰結として地震防災を通じた社会の安全安心に貢献することを目的として研究を実施している。



部門の研究対象

(2) 研究分野と役割

地震発生機構研究分野では、地震波形や地殻の歪み変化などの地球物理学的記録の解析に基づいて、地震震源の物理的メカニズムと地震発生の物理過程に関する理解を深め、地震の発生予測、強震動の評価および地震早期警報に貢献する研究を推進している。特に地震発生メカニズムの解明と応力の蓄積・解放の定量的評価を行うために、地震のスケール則、応力レベル、動的破壊過程に注目しており、様々な規模の地震について地震発生のエネルギー収支を明らかにしてきている。地震の震源過程を理解することによって、地震による被害を評価し、地震の長期予測に貢献することを重要な目的としている。

強震動研究分野では、大地震時の強震動を予測するための震源モデルと地下速度構造モデルの高度化に資する研究を行っている。強震動観測記録と震源の物理・地震波動理論に基づいた、

断層破壊過程や各種震源パラメータの推定、大規模堆積盆地における長周期地震動特性の分析、極大強震動と震源および地盤特性との関係、強震動の生成・伝播機構に関する基礎研究を行っている。強震観測や微動観測、ボーリングなどに基づく地盤構造調査を行っている。また、合理的かつ信頼性の高い強震動予測のため、過去の地震の震源パラメータの整理などをもとにした強震動予測手法の高度化に関する研究を行っている。

耐震基礎研究分野では、多様な土木構造物で構成される都市インフラ施設に対し、耐震性能の向上や地震後の早期機能回復に資する研究を進めている。具体的には、土木構造物の耐震性能評価のための合理的な地震作用および入力地震動のモデル化に関する研究、実験や数値解析を活用した土木構造物の動的応答特性および破壊メカニズムに関する研究、都市のリスクを把握するためのハザード分析およびライフラインネットワークの脆弱性評価に関する研究等を進めている。機械学習等の周辺分野における先端技術を取り入れた次世代の地震防災技術に関する研究も進めている。

耐震機構研究分野では、建物の耐震性能を高度化する技術と高精度に評価する手法の研究開発を、理論と実験の両面から推進している。人命確保のみならず地震後の機能維持や事業継続を考慮した耐震性能の評価、建物の状態を把握するモニタリング技術、地震後の建物機能を左右する非構造部材の性能評価にも取り組み、建物の使用目的に見合った耐震評価法を再検討している。設計で想定しなかった大振幅地震動に対する構造性能評価および既存建物の有効利用を目指した耐震補強技術の開発も行っている。部材・骨組から建物全体までの耐震性能を、解析と実験、静的手法と動的手法、順問題と逆問題を組み合わせながら進めている。

【研究分野の研究内容】

I. 地震発生機構研究分野

① 2024 年能登半島地震に関する研究

2024 年 1 月 1 日に発生した能登半島地震では、150 km に及ぶ断層と強い地震動により多くの建物・地盤被害が発生した。我々のグループでは現地調査をおこない、被害の概況や緊急対応の状況を明らかにした。調査の結果は速報としてウェブサイトで公開した。また、気象庁や防災科学技術研究所が公開する強震動波形を利用して、断層破壊領域や震源推定を行った。この地震の破壊過程は複雑であり、複数の地震が短時間に発生した。このように同時に地震が多発する場合には、P 波の相分離が重要となる。

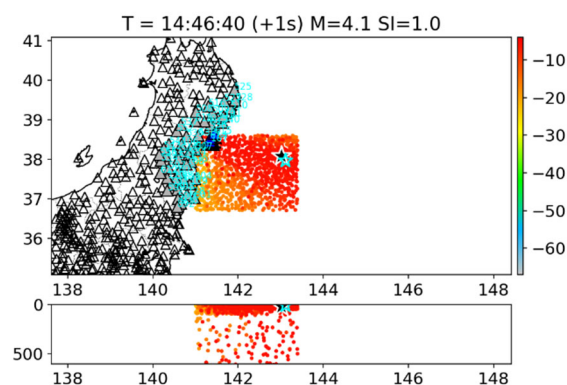
② リアルタイム地震情報と地震被害

大地震の情報を素早く供給できる技術的システムについて研究した。緊急地震速報システムの高度利用に向けて、正確で高速なアルゴリズムを開発し、緊急地震速報を利用してリアルタイムで地震被害を推定することを目標としている。これまでに発信された緊急地震速報の解析を行う傍ら、断層の有限性を考慮した大地震に対する緊急地震速報システムの開発、都市直下で発生する地震に対する緊急地震速報システムの開発、緊急地震速報を利用した建造物の即時地震被害予測手法の開発などを行っている。研究成果の一部は実際の気象庁の緊急地震速報に導入された。また、インドネシアや台湾などの海外の研究機関と共同研究を行い、開発したアルゴリズムの国際展開を図っている。

③ ETAS モデルを利用した震源推定の精度改善

2021 年より統計数理研究所 STAR-E プロジェクト「長期から即時までの時空間地震予測とモニタリングの新展開」に参画している。このプロジェクトの一環として、ETAS 地震活動モデルを緊急地震速報の事前情報として導入する手法を研究した。ETAS 時空間予測データは、一日にある閾値以上の地震が何個発生するかを予測値として提供する。この情報を活用することにより地震発生直後にトリガデータが少ない時に震源推定の精度向上に役立てることができる。気象庁が作成する一元化震源カタログを毎日自動的にダウンロードし、ETAS 時空間予測をサーバ上で計算するシステムを作成した。この情報を利用して震源決定手法の一つである拡張 IPF 法で試験したところ、2011 年東北地方太平

洋沖地震のように、震源が沖合にあり観測点分布に偏りがある場合には大きな改善が見込めることが分かった。



ETAS モデルを利用した 2011 年東北地方太平洋沖地震の震源推定

④ 強震動包絡線の距離減衰式の構築

STAR-E プロジェクトの一環として、強震動包絡線の距離減衰式の構築を行った。強震動の距離減衰式は通常、最大振幅値を推定するが、本研究の特色は強震動の包絡線を推定する点である。様々な数学的関数を検討し、実際の観測記録の包絡線を最もよく説明する関数を選択した。構築した包絡線関数を震源パラメータで回帰し、強震動包絡線の距離減衰式を求めた。距離減衰式から推定される包絡線と観測された包絡線を比較することで、最大振幅の到来を待つことなく、P 波到達後の早い段階で震源パラメータの精度を評価することができる。

⑤ 地すべり地震学

地すべり発生時の地震波形記録を解析することにより、地すべりの物理的パラメータ（速度や継続時間、摩擦係数）や運動のメカニズムを明らかにした。地震波形インバージョンを用いて、深層崩壊の運動履歴を明らかにした。この解析により得られたパラメータに基づいて、粒状体シミュレーションを行い、地すべりの運動を再現することができた。このような知見の積み重ねにより、地すべり発生の物理やメカニズムの解明が可能となる。

II. 強震動研究分野

① 震源特性に関する研究

地震活動が続く能登半島北部において、2023 年 5 月 5 日に M6.5 の地震が発生し、珠洲市正院町では震度 6 強を観測、珠洲市市街地では建物倒壊などの地震被害が生じた。M6.5 の地震の震源過程を、低周波数帯域の強震波形を用い、マルチタイムウィンドウ線形波形インバージョン法によって推定した。既存の 3 次元地下構造モデルを用いて、相反定理に基づいて計算した 3 次元グリーン関数を用いた。破壊開始点より北の浅部に向かって、主として破壊が進行したと推定された。また、M6.5 の地震の震源断層は、2022 年 6 月 19 日の M5.9 と同じ断層面（南東に下がる断層面）に載っており、2022 年 6 月 19 日の M5.9 の地震よりも浅い部分を破壊したとみることができる。

M6.5 の断層破壊過程モデルを参照し、震源近傍の観測点の広帯域シミュレーションに基づく強震動生成域モデルを求めた。観測波形からは初期破壊過程があると判断されることから、破壊開始点から浅い場所のやや離れたところに強震動生成域を設定することで、広帯域強震波形モデリングを行った。この位置は波形インバージョンによるすべりの大きい領域に対応している。この強震動生成域モデルで、広帯域強震波形の主たる特徴を再現することができた。

引き続いて、2024 年 1 月 1 日に発生した令和 6 年能登半島地震（M7.6）の震源過程を、強震波形記録を用いて推定した。最初の破壊が、主として能登半島北岸に沿って南西方向に進行し、その後、時間差をもって能登半島から富山トラフへ向かう北東方向の破壊伝播が生じるといった複数の断層面が複雑に連動する破壊過程が推定された。地震活動の評価や関連研究等に資するため、震源過程推定結果を地震調査委員会や防災研究所の調査速報会等で報告した。

② 地震波のサイト特性に関する研究

令和 6 年能登半島地震時に穴水町穴水（震度 7 相当）や珠洲市正院町（震度 6 強）で観測された記録は、1995 年兵庫県南部地震や 2016 年熊本地震で観測された震度 7 の記録に比べ、擬似速度応答スペクトルが周期 1~3 秒の周期帯で同等あるいはそれ以上の揺れであった。時刻歴波形で比較すると、最大水平地動速度では後者が前者を上回るものの、震動継続時間は、後者は 10 秒程度であるのに対し、前者は 1 m/s レベルの震動が 20~30 秒も継続していた。この

ような震動特性は、M7.6 という大地震が直下で起きたことで、震源断層からの地震動が長く継続した上、当研究分野による過去の地盤震動調査等から、当該地域の地盤は周期 1 秒程度で増幅しやすかったが、大振幅地震動により地盤の非線形化が起きることで地盤の卓越周期が長周期化し、結果的に周期 1~3 秒の揺れが長時間継続して一般家屋には厳しい揺れとなった。

昨年度以前に続き、強震波形記録の自己相関関数を用いた堆積層／盆地基盤での反射波相の検出及び 3 次元地盤構造モデルの検証を行った。本年度は、京都・奈良盆地及び熊本・八代平野を主たる研究対象とした。京都・奈良盆地の多くの地点では、観測往復走時と理論往復走時の差異は 20%以内であるが、山科盆地と京都盆地の境界付近の狭窄部や基盤形状急変部などでは顕著な差異がみられ、より詳細な調査が必要とされる地点が見出された。八代平野の多くの地点でも、最新の地盤構造モデルによる理論往復走時と観測往復走時の一致は良好であった一方、東部の平野端部に近い観測点などで走時差が相対的に大きいなど、今後の課題を抽出した。

③ 強震動予測に関する研究

令和 4 年度から 3 ヶ年の予定で、文部科学省委託研究「森本・富樫断層帯における重点的な調査観測」を、東京大学地震研究所、金沢大学、産業技術総合研究所、防災科学技術研究所などと協力して継続している。当分野では、強震動予測の信頼性向上のために重要な断層帯近辺の地盤構造（地下速度構造）の高度化と強震動予測を担当している。地盤構造モデルの高度化のため、金沢平野での微動アレイ観測の実施、および昨年度からの臨時強震観測を継続した。この観測では、2023 年 5 月 5 日 M6.5、2024 年 1 月 1 日 M7.6 をはじめとする能登半島北部を震源とする地震などが観測された。また、金沢市内 2 地点においてボーリング掘削試料を用いた動的変形特性試験を行った。

また、関係自治体やライフライン関係者と情報交換や研究成果の普及のため、対面での地域勉強会を 2023 年 8 月に金沢市で開催した。地震への関心の高さもあり、石川県内の新聞・テレビ等でも報道された。

④ その他の活動

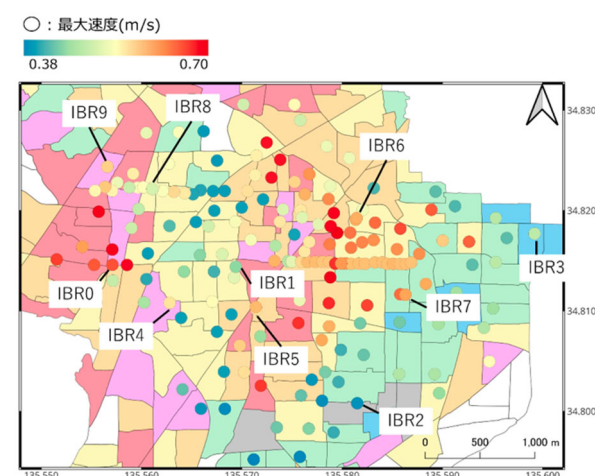
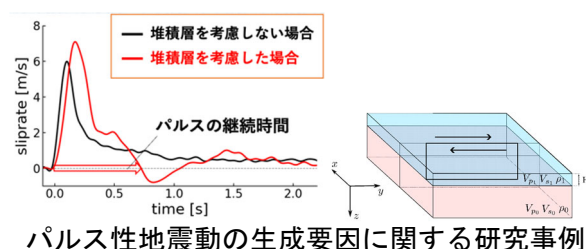
査読論文 3 件。森本・富樫断層帯における重点的な調査観測における地域勉強会実施。地域勉強会や能登半島地震に関係する新聞報道 7 件。

III. 耐震基礎研究分野

① 地震災害事象のメカニズムの解明

地震による災害は、構造物の崩壊による直接的な人的被害をはじめ、道路・鉄道・港湾等の被害による応急対応の阻害やサプライチェーンの途絶、広域的な水道・電気・ガス等のライフラインの被害による持続的生活の困難さ、社会全体での経済活動の停滞など、多くの事象が同時に生じる。これら事象のメカニズムを理解するためには、どのような揺れが都市を襲い、そして構造物や施設に作用したかを十分に理解し、構造物、施設、そして町の状況が想定され得るものだったのかを把握する必要がある。本分野では、このような地震災害における多様な事象について、そのメカニズムを研究している。

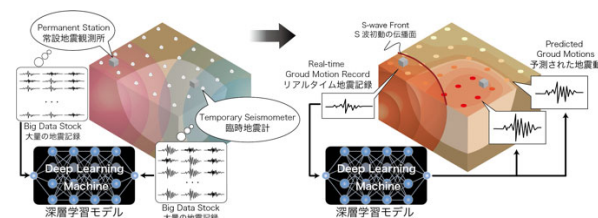
例えば、震源断層の近傍ではパルス状の速度波形が観測されることがあり、規模の大きな構造物に対して厳しい地震作用となる可能性が考えられる。このようなパルス性地震動には様々な生成要因があるが、断層が地表に表れた箇所の近くで観測される断層平行成分のパルス性地震動の生成メカニズムについて検討した。また、2018 年大阪府北部の地震において特徴的な被害分布であった茨木市について、地盤震動特性を稠密に把握することによりそのメカニズムを明らかにした。



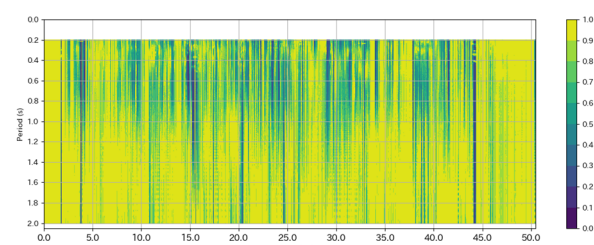
② 地震災害軽減に向けた次世代技術の研究

現代社会では機械学習（AI）や高度センシング技術等の新しい技術が台頭し、生活のさまざまな場面で活用されつつある。これら技術を高度数値解析技術と組み合わせることにより、地震災害の軽減に活用し、地震に強い新しい都市のあり方を創造するための次世代技術の研究を進めている。

本分野で進めている機械学習を利用した地震波動場の生成技術は、情報科学分野の先端技術を取り入れた地震防災技術の開発研究と言える。また、インフラ施設の既設光ファイバーケーブルを活用した DAS 観測による振動計測に関する研究も進めている。この他、既存ボーリング等の大量の地盤情報データを活用し、ベイズ推論、機械学習、高度数値解析技術等を統合した新たなハザード評価技術の開発も進めている。



機械学習を利用した地震波動場の生成技術



光ファイバーケーブル DAS 観測による地盤震動特性に関する研究事例

③ その他

本分野の研究成果は査読付き論文（5 編）他、国内外の学術会議において公表している。また、2024 年能登半島地震における土木学会および地盤工学会調査団の一員として被害の実態調査を行うとともに、報告会を通じて調査結果を広く社会に還元している。この他、土木関連施設の耐震設計指針の改訂や関連学会・業界団体等の委員を務め、学術上・実務上の指導を行っている。

IV. 耐震機構研究分野

① 建物振動の統一的理解の Maxwell モデルへの拡張

建物の耐震・免震・制振を極配置法に基づいて閉じた数式で統一表現する研究は、令和 2 年度に中間層免震の複雑な動特性を理解することから始まった。その後、基礎免震および同調型マスダンパや層間粘性ダンパによるパッシブ制振でも、同じ式の存在を確認した。令和 4 年度には、ダンパが層剛性と並列配置される Voigt 型モデルをもつ多質点系 1 本棒せん断振動型モデルで表現を一般化した。統一式は、免震・制振装置のパラメータの値が制御目標で制約されることを意味しており、実現不可能な目標設定を回避し、免震・制振効果を物理的に理解し易くした。免震と制振で試行錯誤的な設計を改善する成果にもなっている。建物 1 棟で得られた統一式は、隣合う建物 2 棟を繋いだ連結ダンパに拡張され、それまで難しかった 2 棟の同時振動制御を達成するダンパ設計式を提案した。令和 5 年度には、多質点系 1 本棒せん断振動型モデルによる表現の一般化を国内論文として、連結制振への拡張を海外論文集として発表し、これらの共著者である大学院生は日本建築学会優秀修士論文賞を令和 5 年度に受賞した。

ダンパは接合部材を介して構造部材に取り付けられるため、より現実的な効果を理解する目的で、令和 5 年度にはダンパと接合部材を直列に繋いだ Maxwell 型モデルに統一式を拡張した。その結果、独立に議論されていた複数の最適ダンパ容量の関係を明らかにし、Maxwell 型モデルが効果を制約する現象を実現可能なパラメータの範囲で考察して、同一効果を得る接合部材剛性に最小値が存在することを発見した。

② 地震被害調査

2023 年 2 月に発生したトルコ・シリア地震で被害を受けた建物と機能継続性の関係を分析するため、日本建築学会の現地調査団に参加して病院施設と工場施設のヒアリング調査を実施した。多くの病院では構造部材の被害が軽微であっても、外壁や間仕切りに使用される無補強の中空レンガを用いた組積壁やアルミニウム下地を利用しパネルが固定していない天井に被害が顕著であった。診療を継続した場合も、後発地震による非構造部材の損傷の進行や損傷部のこすれ音などで医療関係者が外傷性ストレス症候群を発症する例が確認された。工業団地では、鋼構造の被害が軽微であった一方で、PC 造が甚大な被害を受けており、従業員の被災を合わ

さって稼働率が 6 割まで低下していた。調査内容は日本建築学会が 2024 年に刊行する調査報告書、国際会議 1 編、国内会議 2 編にまとめた。

2024 年 1 月に発生した能登半島地震の現地調査を実施した。特に、鋼構造の被害、非構造部材の被害、基礎滑動と上部構造の損傷の関係を中心に調査し、防災研究所の報告会、日本建築学会の災害委員会や専門誌などで報告した。

③ 非構造部材を含めた建物使用継続性評価

間仕切り壁の地震時損傷における境界材の影響を、実大実験や数値解析で検証し、損傷メカニズムの違いによる被害関数や損失の期待値の変化を定量的に評価した。また、病院内のクリーンルームの機能性評価を目的として、実大病院建物実験における手術室の天井と間仕切り壁のデータを分析し、通常の病室に比べて中地震程度でも機能性が著しく低下することを示した。次に、地震動と医療機器の転倒や移動量との関係について、要素実験及び実大病院建物の振動台実験で得られた結果を分析した。医療機器の管理区分などを考慮して、転倒や衝突、回路のはずれなどによる医療継続性への影響を分析し、設計目標とする応答指標や被害低減方法を提案した。天井裏配管と屋上置き配管の脆弱性分析を目的とした京都工芸繊維大学との共同研究では、配管およびその接合部の準静的実験の結果を分析し、数値解析モデルを提案した。

一連の研究を通して、令和 5 年度に国際学術誌 2 編、国内学術誌 3 編を発表した。

④ 鋼構造骨組の耐震性向上に向けた連携

鋼構造分野において国内外の有力な大学や実務者との連携に努めた。建物応答と基礎連結部の反力情報を基に地震被害を受けた鋼構造建物の健全性を評価する指標を提案し、実大実験結果に照らしてその妥当性を検証した。次に、鋼柱脚の損傷が全体応答に与える影響を実大振動台実験やハイブリッド実験により検証した。柱脚の補強方針として簡易な増し締め構法の適用範囲を信頼性指標に基づき判定する手法をニュージーランドとメキシコの研究者と共同提案し、曲線部材を用いた工法を提案した。また、米国との共同研究では、制振部材を適用した鋼構造建物において、モデルパラメータにおける不確実性が応答予測に与える影響を分析した。

連携研究の成果として、国際学術誌 5 編を発表した。また、鋼構造協会関西地区小委員会の主査として、「鋼部材の施工・製作における情報技術利用と 3 次元造形」に関するテクニカルレポート（2024 年 3 月発刊）をまとめた。

8.4 地震災害研究センター

【センターの活動概要】

(1) 研究対象と活動方針

地震災害研究センターでは、応力蓄積過程の把握等に基づく地震発生長期評価を行うとともに、地震発生や破壊過程の普遍性および多様性の理解を深め、地震に伴う地震動・津波などによるリスクの評価につなげることを目的として、地殻活動のモニタリング、地震発生場および地震発生過程の解明、津波や地震動による建築物や社会インフラの被害推定など地震リスク評価に資する研究を実施している。とくに数十年以内に発生が危惧される南海トラフ沿いでの巨大地震とその発生前後に活性化する西南日本の内陸地震などを主な対象として、地震発生とそれに伴う災害の予測と軽減に資する研究課題について取り組んでいる。

当センターは、8 研究領域（地震情報、宇宙測地、内陸地震、海域地震、地盤震動、地球計測、断層物理、地球物性（客員））から構成され、8 観測所（上宝、阿武山、宮崎、北陸、鳥取、徳島、逢坂山、屯鶴峯）と約 50 点の地震・地殻変動等の観測点を維持している。地震・火山研究グループを構成する地震防災研究部門と火山活動研究センターとは連携して研究を行っている。

さらに、科学技術・学術審議会測地学分科会の建議に基づく「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）」の下で、東京大学地震研究所等との共同研究に参画するとともに地震・地殻変動の定常観測とデータ流通の一端を担っている。

(2) 研究領域と役割

地震情報研究領域では、地震波形や地殻変動などの観測データを収集・蓄積・流通するシステムの開発・運用を通して構築されたデータベース等を利用し、地殻活動のモニタリングとその情報のオープン化を通じて、防災・減災に資する情報発信等に関する研究を進めている。定常観測の運営・計画において中心的な役割を担い、地震学や測地学などのコミュニティと連携し、持続可能な観測体制を検討している。

宇宙測地研究領域では、GNSS や InSAR 等の宇宙測地技術を中心とした地殻変動データを活用し、プレート運動に伴う長期的・広域的スケ

ールの変動場の解明、地震・断層運動・火山活動に伴う km スケールまでの地殻変動場の解明及び変動のモデル化を行っている。長期間の地殻変動や地震活動などの地殻活動モニタリングデータに基づいて海溝型地震や地殻内地震の地震発生確率を算出する予測モデルを構築・検証することにより、地震長期予測の高度化を進めている。

内陸地震研究領域では、活断層等で発生する内陸地震の発生予測の研究を推進するため、稠密地震観測に基づく 3 次元地下構造や応力分布の高精度推定ならびに地殻変動データなどを総合することにより、内陸地殻の変形を通した活断層への応力蓄積過程と地震発生過程の研究を進めている。また、ダブルアポイントメントで配置されている情報学系の教授を中心に理学と情報学の連携を図り、アウトリーチと市民参加型のオープンサイエンスの研究を行っている。

海域地震研究領域では、海域における地震・地殻変動等の定常および臨時観測データを利用し、海底下で発生するスロー地震～大地震の震源像の高度化に向けて、様々な地震活動の特性やそれらの震源域周辺の地下構造を高精度で推定する観測および手法の開発を行っている。津波災害の研究は、地震津波連携研究ユニットによるグループを跨ぐ共同研究として行っている。

地盤震動研究領域では、不整形・不均質・非線形特性を考慮した強震時の地盤震動特性の究明に関する研究、地盤－基礎－構造物の動的相互作用を考慮した建築構造物による震害評価およびその予測手法の高度化に関する研究、巨大地震発生時の確率論的地震ハザード・リスク評価に関する研究を進めている。具体的には、地盤構造同定、震源近傍の盆地における地盤増幅特性評価、南海トラフ沿いでの巨大地震発生時の確率論的地震リスク評価等を行っている。

地球計測研究領域では、地殻活動の時空間的特徴を調査するために、地震計で記録された地震動や雑微動等の広帯域波動場に関する大規模データの解析を、解析手法の開発と共に行っている。また地象測定のために、既存の地震計による観測に限らない新たな物理計測の技術開発に関する研究や、それに基づく観測・解析を行っている。

断層物理研究領域では、地震をはじめとする

断層運動やそれに伴う諸現象の多様性や普遍性を理解し、将来の予測や大地震発生の可能性を評価するために、断層帯やその構成物質の構造や物性を観察や実験により明らかにし、力学や電磁気学に基づいた理論や数値計算を用いて、断層運動の理解・予測・評価に資する研究を進めている。

地球物性研究領域（客員）では、地殻・マントルを構成する物質の性質や挙動を調べ、地震発生場周辺の特徴を解明し、海溝沿いおよび内陸での地震発生にいたる準備過程を解明するための研究を行っている。とくに内陸大地震による強震動等の予測のための震源モデルにおける断層位置の推定等に関する研究を活断層・活構造や第四紀地質等の研究を通じて進めている。

上宝観測所では、地殻変動連続観測や GNSS 観測による地殻歪の調査、地震観測による地震活動の調査、および傾斜変化と地震発生の関連の研究などを実施している。焼岳火山を対象とする研究は、穂高砂防観測所と連携して行っている。

阿武山観測所では、近畿北部、とくに丹波山地の活発な微小地震活動を対象として、観測坑での地震・地殻変動観測と 10 観測点での地震基盤観測を実施している。稠密地震観測の満点計画の基地として、また、市民参加のオープンサイエンスの拠点として活用されている。

宮崎観測所では、海溝型地震に関する研究の拠点観測所として、陸域・海域での地震・地殻変動等の観測を行い、日向灘周辺での地震発生と地殻変動の関連を明らかにする研究を推進している。

北陸観測所では、滋賀、福井、石川の 3 県に 6 点の地震基盤観測点を有し、北陸地方の微小地震活動と地震テクトニクス、福井地震断層の深部構造と地震発生過程、および北陸地方に根ざした活動・情報発信などを行っている。

鳥取観測所では、中国地方東部～近畿地方西部の地殻活動を研究するために、地震等の諸観測を行っている。鳥取、兵庫、岡山の 3 県に 8

点の地震基盤観測点を維持している。

徳島観測所では、四国東部の地震活動とテクトニクスを研究対象としている。徳島と香川の 2 県に 4 点の地震基盤観測点を維持し、そのデータは気象庁等にリアルタイムで伝送されている。

逢坂山観測所では、観測坑内において地殻変動と地下水位の高精度連続観測を行い、近畿北部における地震活動と当観測所での歪変化・水位変化の関係を研究してきたが、現在は観測を中止している。

屯鶴峯観測所では、観測坑内において地殻変動の高精度連続観測を行い、近畿中部における地震活動と当観測所での歪変化の関係を研究してきたが、現在は観測を中止している。

(3) その他（横断的な活動等）

所内に設置された地震津波連携研究ユニットでは、南海トラフ沿いの巨大地震による津波災害を軽減するため、所内の 4 研究グループを横断する共同研究が進められている。当研究センターからも 4 人の研究者が参画するほか、宮崎観測所を活用したプレート境界周辺の地殻活動のモニタリングや地域社会との連携に関する研究を行っている。

「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第 2 次）」（2019 年建議）に基づく 5 か年計画（2019～2023 年度）では、当センターの教員が研究代表者となっている 5 課題と分担者になっている 3 課題について、東京大学地震研究所をはじめとする研究機関との共同研究を推進している。

アウトリーチ活動では、研究成果を社会に還元するため、講演会のほか新聞などのマスメディアを通して、定期的に情報を発信している。また、現在起こっている地震活動や観測記録などの情報をホームページ上でほぼリアルタイムで公開している。とくに阿武山観測所では地元のボランティアサポーターの活動により、オープン・ラボや見学会等を頻繁に開催している。

I. 地震情報研究領域

① 地震・地殻変動記録の収集とデータベース構築

当センターの8 観測所とその地震・地殻変動観測点で構成される観測網を維持するとともに、宇治のセンターにおいてデータを集中処理して、データベースを構築し、当センターの各研究領域および各種プロジェクトにおける観測研究の基礎データとしている。地震データについては、他大学や気象庁、防災科学技術研究所等との間でデータ流通・交換を行い、また共同利用・共同研究にも供することにより、全国的な各種研究における効率的な利用を図っている。

② 地震波形データ収録・処理システムの効率化

当センターでは、各観測点と観測所あるいは宇治センター間はNTT の常時接続回線を使用してデータ伝送し、また、センターと他大学、気象庁、防災科学技術研究所等の他機関との間はJGN-X/SINET5 および京都デジタル疎水ネットワーク等の高速バックボーン回線を利用して、全国大学のリアルタイム地震データ流通システムの一部を担っている。現在、間近に迫ったISDN回線によるデータ通信サービスの終了に備えて、引き続き、各観測点の回線の光回線化及びモバイル化を進めた。同時に、将来も必要とされる観測施設を取捨選択する作業を進め、老朽化して歴史的使命を終えたと判断される観測施設の整理を開始した。R5年度は9観測施設について撤収準備手続きを開始し、そのうちの2か所の撤去作業を完了した。今後数年間をかけて同様の作業を進めていく予定である。また、R4年度より、関与できる人員の減少に対応したタスクの単純化及びデータ流通経路の冗長化を図るためのシステムの刷新を実施している。R4年度の宮崎観測所のシステム刷新に続き、R5年度は当センター研究棟のテレメータ室で稼働するシステムについても、新規のシステムを導入し、現在試験稼働中である。

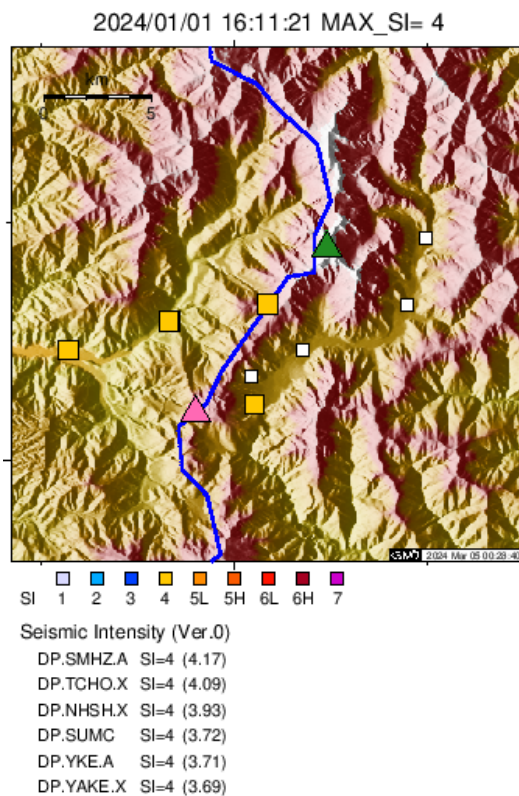
③ 地殻変動連続観測とデータの一元化と流通

地殻変動連続観測について、宇治のセンターに一元化し、連続観測データの集中処理・モニタリングを実施している。また、上記の地震観測と同じデータ流通ネットワーク(JDXnet)を利用した全国大学間での流通にも参加している。

④ 飛騨山脈地域の防災に資する地震情報の発信

飛騨山脈南部の奥飛騨・上高地における、2020年の活発な群発地震の発生を受けて、観光

立地を目指す同地域の主たる利害関係者と協議を行い、同地域で必要とされる地震情報についての検討をおこなった。これに基づき、2022年度から防災研の地域防災実践型共同研究の枠組により、群発地震時の同地域の面的な震度情報を即時的に共有可能にするシステムの構築・運用のFSを進めている。R5年度末現在で対象地域にて約10点から成る簡易震度観測網を設置・運用しており、2024年1月1日の能登半島地震発生時の飛騨山脈脊梁地域の面的な震度分布を把握するなど、一定の成果が得られつつある。



2024年1月1日の令和6年能登半島地震発生時の
飛騨山脈脊梁部での計測震度の分布

▲は穂高岳、▲は焼岳を示す

⑤ 地震・AEデータ処理における機械学習の利用

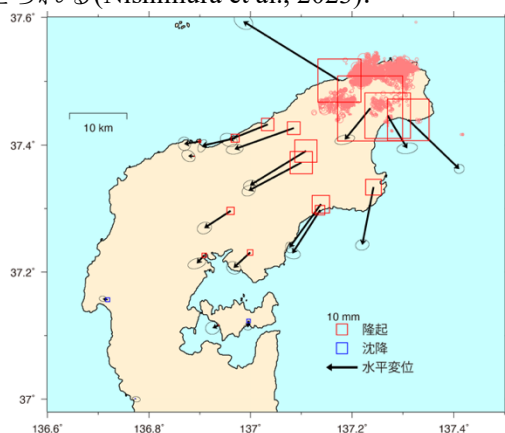
引き続き、地震・AEデータ処理における機械学習の利用手法の研究開発を実施した。R5年度には、計算コストが大きく、大規模データセットへの適用が困難であった類似波形探索を、深層学習Hashingと呼ばれる画像認識分野で用いられている近似近傍探索を応用し、効率的に処理する手法に関する論文を発表した。

II. 宇宙測地研究領域

① 宇宙測地技術による地殻変動に関する研究

南海トラフ巨大地震や内陸地震へ向けたひずみ蓄積過程を詳細かつ長期的に捉えるために、紀伊半島周辺域、日向灘沿岸域（宮崎観測所との共同研究）、大阪府・京都府などで計 45 点の GNSS 観測点を設置し、連続観測を行っている。これらのデータは、関係機関の GNSS データと合わせて、自動処理して Web で公開している。

2020 年から群発地震が発生している能登半島においては、2021 年から臨時 GNSS 観測及びソフトバンク株式会社から提供された GNSS 観測点のデータ解析を行って、非定常地殻変動の詳細分布を明らかにし、2024 年 1 月 1 日に発生した能登半島地震に伴う地殻変動の解析も行った。能登半島では、深部からの流体の上昇により、非地震性断層すべりが促進され、それがさらに浅部の群発地震や大地震を誘発したと考えられる(Nishimura et al., 2023)。



2020 年 11 月から 2023 年 4 月までの
能登半島における非定常地殻変動

測地データを用いた断層すべりインバージョンの新しい手法を考案し、2016 年熊本地震の GNSS データに適用した。断層すべりインバージョンは、従来本質的に解が一意に存在しないと報告されることが多かったが、実際は数学的には一意の解を持つことを証明し、十分な観測データが存在すれば、断層すべり分布を適切に推定できることを明らかにした。開発したインバージョン手法では、解の不等式制約条件を導入し、物理的により一般的な拘束条件を課した複数の断層上でのすべり分布を推定することが可能になった。熊本地震の GNSS データを用いて推定した滑り分布から、この地震の M_w は 6.7 であり、約 90% のすべり（モーメント）が深さ 10km 以浅に集中していることがわかった

(Xu, 2023)。さらに最適化問題の理論的改良に取り組み、位置の推定や円をフィティングする問題についても、新たな手法を考案した(Xu and Shi, 2023; Xu, 2023)。

スロー地震と通常地震の相互作用を理解するために、干渉 SAR データから地殻変動を自動的に検出する深層学習モデルの構築を行なった。干渉ペアから変動の時系列モデルと構築する手法として最適輸送理論に基づく方法を用いることにより、地震に関連した断層での変形をよりよく捉えられるようになった。

② 地震活動と地殻変動の関連性に関する研究

スロースリップによる地震活動誘発効果を、世界標準の地震活動統計モデル（ETAS モデル）に組み込む研究に取り組んだ。具体的には、ニュージーランド・ヒ克蘭ギ沈み込み帯のプレート境界面で発生しているスロースリップのモーメントレート関数を GNSS データから推定し、それを ETAS モデルに明示的に組み込んだ(Nishikawa and Nishimura, 2023)。これにより、スロースリップに伴う地震活動の確率予測精度向上を達成した。加えて、スロー地震の一種である低周波地震の活動を記述する新たな統計モデルの作成にも取り組んだ。

さらに、日本列島で発生する余震などを除去した背景地震活動の分布と GNSS 観測によって観測されるひずみ速度分布の比較を行った。両者の間には弱い相関が認められたが、応力場とひずみ速度場の方向を考慮した剪断ひずみエネルギー速度を用いることにより、ひずみ速度そのものを用いるよりも高い相関を得ることができた。

③ その他の活動

人工衛星によるマルチスペクトルデータを用いて、温室効果ガスであるメタンガス放出を検知する深層学習モデルの開発に世界で初めて成功し(Rouet-Leduc and Hulbert, in press)、今後世界中のデータに適用する予定である。

国際学術誌の編集委員会や政府の地震調査研究関連の委員会に参画して、研究コミュニティや行政の行う地震防災に対する貢献を行った。西川助教は、地震活動等によるこれまでの研究活動が高く評価され、日本地震学会若手学術奨励賞を受賞した。一般向けや高校生向けの講演や新聞・テレビ等のメディア出演、プレスリリースによる研究成果の広報など、メディアを通じた普及啓発活動を行った。

Ⅲ. 内陸地震研究領域

① 能登半島地震の震源過程ならびに発生前の地殻変形場の推定

2024 年元旦に M7.5 の能登半島地震が発生した。地震破壊は、能登半島北岸から北東沖の長さ約 150 km に及び、複数の活断層を破壊する複雑な地震であったと考えられている。その破壊過程を、グリーン関数の誤差を明示的に取り入れた Yagi & Fukahata (2011, GJI) の方法をベースにした PDTI 法 (Shimizu et al., 2020) によって解析した。PDTI 法は、断層面を仮に定めはするが、断層面と平行な方向以外に滑ることができ、自由度が高いという利点がある。その結果、初めの 10 秒間は滑りが非常に小さく、15 秒～25 秒に震源の南西側でやや大きな滑りが発生し、25 秒～35 秒にさらにその南西側および震源の北東で大きな滑りが発生したことが分かった。また断層面の走向は、15～25 秒のイベントでは N50°～60°E だが、25～35 秒のイベントでは、震源の南西側および北東側で共に N30°～40°E とかなり南北寄りになることも分かった。

能登半島地震が起こった地域では、数年前から群発地震が発生しており、地下から流体が上がってきたことが原因と考えられている。そのため、地下からなぜ流体がこのタイミングで上がってきたかが問題となる。そこで、GNSS データを解析し、2003 年以降の地殻変形場を推定したところ、2010 年までは短縮場であったが、2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震の影響で、2012 年以降は顕著な伸張場に転換していたことが分かった。これまで圧縮場であったところが伸張場となったことで圧力が弱まり、地下深部から水が上がってこれるようになったものと考えられる。試みに、東北地方太平洋沖地震後にモホ面から群発地震下限域まで水が上昇したとして、その拡散係数を見積もったところ、地殻浅部の典型的な値よりも 1～3 桁ほど小さい値が得られた。

② スパースモデリングを用いた地殻の歪み速度場の推定

日本列島が現在、どのような変形運動をしているのか明らかにすることは、地震発生予測の高度化に重要である。GNSS データから歪み速度場が求められてきたが、その観測点間隔は 15～20 km と十分に狭くはない。そのため、安定かつ高い解像度で歪み速度場を推定するためには、先験情報を利用する必要がある。先験情報として、これまでは何らかの平滑化が課され

ることが普通だった。しかし、例えば活断層周辺に大きな歪みが局在していた場合、平滑化条件を課すと歪みを過小評価してしまう方向にバイアスがかかる。その問題を解決するため、先験情報として平滑化条件に加え新たにスパース条件を導入した。スパース条件は、パラメタの多くがゼロでデータに寄与するものが僅かであることを要請し、適切に使用すれば、少ない情報から全体像を的確に引き出すことができる。簡単のため 1 次元で定式化し、数値実験により新手法の有効性を調べたところ、データの間隔が広い場合に、また観測誤差が小さい場合に特に有効であることが分かった。そこで、この方法を有馬高槻構造線を横切る測線に対して適用したところ、断層周辺で従来に比べ 2～3 割ほど速い歪み速度が推定されると共に、推定固着深度が従来法の 17 km から 11 km へと浅くなり、この地域の地震発生深度 (D90) の下限との対応が良くなった。本研究結果を発表した学生は、国際研究集会 (20th WEGENER Assembly 2023) で Best Oral Presentation 賞を受賞した。

③ 島弧の形成と沈み込み帯各種パラメタとの関係

島弧では一般にフリーエア重力異常が高くなっているが、その成因については決着が付いていない。そこで、沈み込み帯の各種パラメタ (スラブの年齢、収束速度、沈み込み角など) を収集し相関分析を行うことで、この問題にアプローチした。その結果、島弧の重力異常との相関係数で見ると、浅部のスラブ傾斜角は 0.5 を辛うじて越えたものの、スラブの年齢、収束速度、曲率等との相関は、0.3 前後に留まった。その一方、収束速度と傾斜角の正弦の積を取ると、相関係数は 0.7 以上に跳ね上がった。収束速度と傾斜角の正弦の積は、沈み込む海洋プレートによる地球深部への物質輸送量に対応しており、海洋プレートの沈み込みと島弧の隆起について、第一近似的には作用 (プレート沈み込み)・反作用 (島弧の隆起) の法則が成り立っているように見える。

④ 阿武山観測所でのアウトリーチ活動

阿武山観測所では、阿武山 NPO 法人が中心となり、48 件の定例一般見学会、27 件の団体見学会に加え、10 件の京大ウィークスやペットボトル地震計作りなどの特別講座、16 件の防災講演などの出前講座を開催し、合計 2096 名の参加者を得るなどして、社会貢献に努めた。

Ⅳ. 海域地震研究領域

① 環太平洋地域の沈み込み帯のスロー地震研究

環太平洋地域の沈み込み帯に設置された海陸観測網を用いて沈み込み帯で発生するスロー地震、スロー地震と巨大地震の関係の理解に向けた研究を進めている。今年度は特に、メキシコに設置された海陸に設置された地震計記録の解析を進めた。また、「災害軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」および科研費において国際共同海底圧力・地震観測をニュージーランド北島沖にて実施し、その記録を解析した。

地震発生帯のスロー地震と巨大地震の時空間的特徴の把握とその成因の理解は地震学における基本的な課題である。太平洋東岸のメキシコ合衆国の太平洋側のゲレロ州沖合では 1911 年以来、マグニチュード 7 以上の大地震が発生していない。我々は、2017 年 11 月から 2019 年 11 月、及び 2021 年 3 月から 2022 年 3 月までにメキシコ沖のゲレロ地震空白域に 9-10 台の海底地震計を設置し、この空白域内の広い範囲で微小地震とスロー地震の両方が発生していることを確認した。ニュージーランド海底圧力計は、大地震による地殻変動や津波観測の目的に加えて、沈み込み帯の海底下で発生するスロースリップ (SSE) や海嶺近傍における造構性の微小な地殻変動の観測を目的として広く利用されている。2019 年 3 月から 6 月にかけてニュージーランド北島東方沖で発生した大規模な SSE の検出に成功した。本領域では、同地域で発生するテクトニック微動の検出・モニタリングも実施し、得られたテクトニック微動のカatalogをニュージーランドの研究機関と共有した。

② 日向灘～南西諸島海溝における地震研究

「災害軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」および「防災対策に資する南海トラフ地震調査研究プロジェクト」において、日向灘～南西諸島海溝で継続的に海底地震観測を実施している。今年度は浅部スロー地震と通常地震の活動域境界部における地震活動について、気象庁カatalogに掲載されているイベントの震源再決定を実施した。海底地震計を用いたことで、震源決定精度が格段に向上し、気象庁カatalogより実際はもっと西側に通常地震の活動域があることが明らかとなった。日向灘～南西諸島海溝の観測では、本学および他大学の学生に対して、長崎大学水産学部練習船「長崎丸」による海底地震観測実習による人材育成を行っている。今年度は 12 名の学生の指導を行った。なお、本実習の枠組みに参加した学生で、2016

年に取得した海底観測データを解析した論文が、2023 年度日本地震学会論文賞を受賞した。

科研費において 1662 年日向灘地震に関する研究を産総研・道総研と共同で進めた。昨年度に引き続き宮崎県都農町や新富町で津波堆積物調査を実施しサンプルを取得した。また、新たな歴史資料の発掘と検証を宮崎市安井息軒記念館と宮崎市、宮崎大学の協力のもと実施した。

③ 防災教育・地域防災への取り組み

地震津波連携研究ユニットにおける活動の一環として、巨大災害研究センターと連携し、宮崎市立青島小学校の小学 3・4 年生を対象に防災授業とフィールドワーク (ストリートウォッチングと逃げトレ) を実施した。また、今年度は宮崎県と連携協定を締結した。宮崎県庁において、沿岸市町の防災職員を対象とした南海トラフ地震臨時情報セミナーを実施した。

宮崎県立五ヶ瀬中等教育学校の教養講座の一環で、校内にオンラインの地震観測点 (高感度地震計と強震計) を設置し、地震波形をリアルタイムでモニタリングできる仕組みを整えた。これらのデータを用いた解析実習も実施し、生徒が日本地理学会にて発表を行った。

宮崎公立大学との共同研究で、学生有志 8 名の協力のもと、青島地区において逃げトレを用いた避難訓練 (観光客を想定) を実施した。避難場所や避難ルートの妥当性や誘導看板のよりよいあり方について、宮崎市職員も同席のもと議論と検証を宮崎観測所において行った。宮崎公立大学とは学術交流協定を締結した。

④ 四国下のフィリピン海スラブの形状の推定

四国下に沈み込むフィリピン海スラブの形状をレスナー関数解析により推定した。中西部の高知県須崎市から愛媛県今治市に至る測線では、フィリピン海スラブは、須崎市の下で上面が深さ 26 km にあり、深部低周波地震発生域までは 5° で、それより深い側では 10° の角度で沈み込んでいることがわかった。スラブ形状を四国中西部の上記の測線、東部の徳島県海陽町から香川県綾川町に至る測線、および西部の高知県土佐清水市から愛媛県八幡浜市に至る測線で比較すると、深部低周波地震発生域より浅部では 3 測線でほぼ一致しているが、深部側では西ほど傾斜が急になっていることが明らかになった。南海トラフ巨大地震の断層面となるフィリピン海スラブ上面が、四国下において浅い深度 (20 ~ 30 km) に緩い傾斜 (約 10°) で存在するという知見は、強震動をはじめとする災害の予測やその対策において重要である。

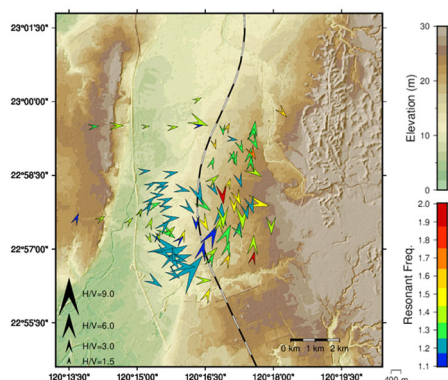
V. 地盤震動研究領域

① 微動観測に基づく地盤構造推定に関する研究

1984 年庄内地震で発生した建物被害分布を説明できるような庄内平野の地盤構造を推定するため、山形県酒田市を中心に庄内平野内で微動アレイ観測や単点微動観測を実施した。微動アレイ観測は 9 カ所で行い、空間自己相関 (SPAC) 法により位相速度を推定した。多くのアレイで 0.5Hz 程度の低振動数帯まで位相速度を推定することができた。単点微動観測では東西に伸びる測線を庄内平野の北端近くから南部まで広域にわたり配置し、各観測点での微動水平上下スペクトル比 (MHVR) を求め、MHVR の形状の変化やピーク振動数の推移、方位依存性の有無について検討した。得られた MHVR は多くの観測点で複雑な形状をしており、またその空間変動も単純な地盤構造モデルでは説明することが難しく、断層運動や最上川の影響により庄内平野の地盤構造が 3 次元的な複雑さを有していることが推察された。

② 台南市における微動水平上下スペクトル比の方依存性に関する研究

既往の研究により、二次元的に基盤構造が変化している場合、その周辺における観測 MHVR に方位依存性が見られることが分かっている。前年度に引き続き、中華民国 (台湾) 国立成功大学との共同研究により、台南市域の 4 カ所で微動アレイ観測を行った。その結果、既往研究と整合的かつより長周期帯の位相速度を求めることができた。また、波が到来する方向による位相速度の変動も観測された。MHVR の方位依存性には地域性が見られ、大湾低地東部において方位差が最大となる方向が円形に並ぶ現象も観測され、方位差が観測された周波数に対応する深さに局所的な不整形が存在することが示唆された。

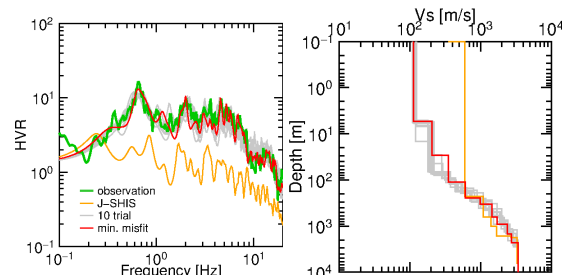


観測 MHVR の方位差が最大となる方向と最大振幅

今後はこれらの観測結果を用いて地盤構造を推定し、台南地域の地盤構造の先験情報との関係について調査する。

③ 海底地震観測記録を用いた地盤構造推定

近年整備された海底地震津波観測網 S-net の観測記録を用いて、まだ詳細な調査が行われていない海域の地盤構造を地震動水平上下スペクトル比 (EHVR) の逆解析により同定した。地震計を内蔵するケーブルを深さ 1m に埋設している水深 1500m 以浅の観測点で、海水層や 1m の埋没が地盤構造同定に与える影響について評価した。1m の埋没を考慮すると最表層の S 波速度が拘束され、海水層の影響度は観測点によって異なる結果が得られた。今後は上述のような海底観測点の特性についてより詳しく検討しながら、S-net がカバーする関東から北海道にかけての太平洋沖の地盤構造を同定する。



S2N12 観測点での同定結果
(左: EHVR, 右: S 波速度)

④ 地震被害予測の不確実性評価に関する研究

地震被害予測に係る多様な要素の不確実性が予測結果に及ぼす影響度を評価するため、震源モデルから建物被害推定モデルまでの各要素にばらつきを与えつつ被害予測を行い、結果のばらつきや空間変動について評価した。その結果、地表最大速度の大きさと被害予測結果のばらつきに相関がみられた。また、今回考慮した要素の中では地震動予測式と地盤増幅モデルのばらつきが予測結果のばらつきへの影響が大きいことが分かった。

⑤ その他

文部科学省科学技術・学術審議会測地学分科会地震火山観測研究計画部会専門委員、京都府戦略的地震防災対策推進部会委員、日本建築学会、日本地震工学会、日本地震学会、日本地球惑星科学連合、IAEE/IASPEI Joint Working Group on ESG の委員を務め、地震工学に関わる学術的・実務的な指導を精力的に行っている。

VI. 地球計測研究領域

① 分布型音響センシング技術による観測

近畿地方整備局京都国道事務所と京都大学との間で締結した「光ケーブルをセンサーとした観測の共同研究に関する覚書」に基づき、光ファイバセンシング技術の一つである分布型音響センシング(Distributed Acoustic Sensing; DAS)を用いた地震動測定に関する研究を行なった。京都駅付近の京都国道事務所建物から京丹波町までの一般国道 9 号沿いの光ファイバケーブル約 50 km を、約 5m 間隔という超高密度で測定した記録を解析し、下部地殻構造や地震のメカニズム推定に関する研究を行った。

これらの研究は、科研費学術変革領域研究 (A)「内陸スロー地震の光ケーブルによる測定と動的誘発過程を利用した発生過程の解明」の助成に基づき行った。また DAS を利用した関連する共同研究として、「高密度地震・振動モニタリングおよび地震早期検知に関する研究」を、東海旅客鉄道株式会社・産業技術総合研究所・東京大学と共に実施した。

② 能登半島群発地震域における調査研究

能登半島北東部では、2020 年末から地震活動が増え群発地震活動が活発化し、2023 年 5 月 5 日には M6.5 の地震が発生し被害を伴った。更に 2024 年 1 月 1 日には M7.6 の能登半島地震が発生し、甚大な災害が発生している。この地震活動に関する地殻活動調査を、昨年度に引き続き東京大学及び海洋研究開発機構と協力して行った。

既存の観測装置としての地震計や GNSS 観測では観測されていない可能性のある、極微小な広帯域地殻活動を高精度に捉える目的で、廃線となった春日トンネル(石川県珠洲市)を、のと鉄道から借用し、トンネル壁面にドロップケーブルを敷設してトンネル長の歪み測定を 2022 年 11 月から行なっている。また記録の比較のために短周期地震計による並行観測も行っている。データはモバイル Wi-Fi を通じて、リアルタイムに宇治の防災研究所に送られている。本年度も引き続き観測を継続したが、新たに床面にケーブルを設置した観測も開始し、設置方法の違いによる歪みの変化の違いを捉える試みを行ったほか、分布型での測定を実施した。M7.6 の地震に伴う停電後には数時間ほどバッテリー駆動により測定が継続されていたが、その後は電源が供給されず、観測が停止していた。復電後も安定して観測を継続すべく、予備電源

供給システムの構築による復旧作業を行なった。

また NTT 西日本の提供する、石川県能登町から珠洲市までの約 27km の光ファイバケーブルを利用し、DAS による観測を、昨年度の 1 月～3 月に引き続き、本年度は 7 月～9 月にかけて実施した。空間サンプリングを 2m と超高密度にしたほか、通常の DAS による地震観測よりも 1～2 桁大きな地震動を捉えられる仕様を試みた。昨年度実施した測定では多くの地震波形が振り切れてしまっていたが、本年度は大きな地震動でも振り切れず観測できることを実証したほか、珠洲市街地での地盤による揺れの違いを高密度に捉えることに成功した。

本研究は、科研費特別研究促進費「2023 年 5 月 5 日の地震を含む能登半島北東部陸海域で継続する地震と災害の総合調査」の助成を受けて実施した。



能登半島における DAS 測定の様子

③ プレート境界の状態モニタリングに関する研究

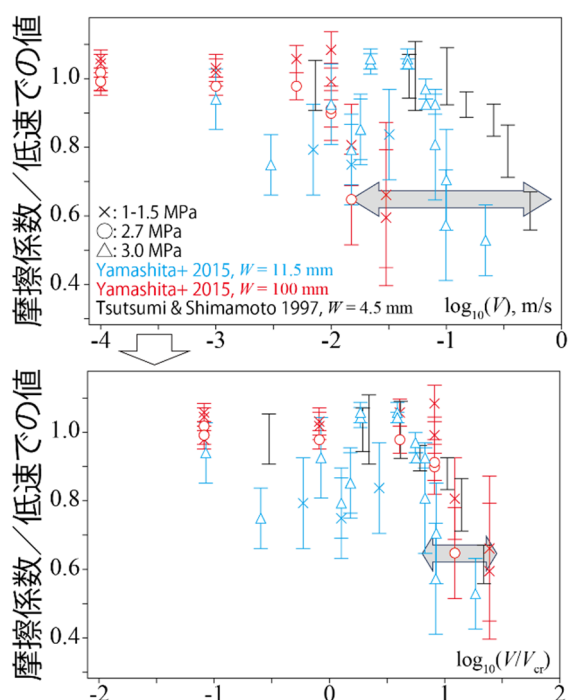
南海トラフ等で将来発生が懸念されているプレート境界大地震について、プレート間の状態をモニタリングするための新たなアプローチの開発に取り組んだ。これまでプレート間については測地学的データを用いた滑り欠損の推定や、固有地震を利用した固着度合いが推定されていた。それらを検証し時空間分解能を高めるため、定常観測網の地震波形記録からプレート間の摩擦強度を推定するための手法の開発を行なった。

本研究は、科研費基盤 (B)「地震波動論的アプローチによるプレート間摩擦強度の分布推定と巨大地震発生過程の解明」の助成を受けて実施した。

VII. 断層物理研究領域

① 岩石摩擦の試料寸法依存性と熱弾性不安定

近年の大型試料を用いた摩擦実験において、高速摩擦時の動的弱化が従来の実験結果よりも低速で発生する事が報告されている。要因として垂直応力の不均質による、局所的な高い摩擦仕事率による動的弱化が考えられる。1970 年代からトライボロジーの分野で摩擦発熱と熱膨張の不均質による自発的な垂直応力不均質の増大 (Thermoelastic instability, TEI) が研究されており、長波長の不均質ほど低い滑り速度で不安定化する特徴がある。TEI の数値計算を効率的に行う計算手法を考案し、単一フーリエモードの不均質について解析を行った。TEI では臨界滑り速度は試料サイズと反比例する事が期待され、岩石の熱弾性的物性値を鑑みると、室内実験で用いる実験条件において本機構が重要な役割を果たす事が示唆される。過去の複数の試料寸法を用いた実験結果を規格化してプロットすると、無次元滑り速度 10 程度で動的弱化が発生する事がわかる。本成果は今年度国際誌 (Earth, Planets and Space) に掲載された。



異なるサイズの摩擦実験の滑り速度の無次元化

② 速度・状態依存摩擦則の種類によるクリープ挙動の違い

ゆっくりと滑る地滑りが加速し、破局的なイベントを起こす例が多く報告されている。その

変形の加速度は変形速度のべき乗則 (冪: α) に従う事が知られている。地滑りの α は概ね 2 だが、場合によっては 1 以下となり、 α を決める要因は理解されていない。地滑りの摩擦面には断層の力学分野で確立された速度・状態依存摩擦則 (RSF) を適用できる可能性が高い。Aging law を適用して $\alpha = 2$ を導出した既往研究は存在するが、本研究では他の多くの種類の RSF を適用して α を比較した。これまで岩石摩擦に対してあまり行われていないクリープ実験を実施する事で、RSF の定式に関する新たな知見が得られる可能性を指摘した。対数的な直接効果が存在する場合、滑り依存の弱化では $\alpha = 2$ 、時間依存の弱化では $\alpha = 1$ となる事を見出した。本成果は今年度国際誌 (Earth and Planetary Science Letters) に掲載された。

③ 地震動と電磁場変動の結合法則

地震動は、間隙流体の相対運動に起因する界面導電現象などによって電場・磁場の変動に変換される。界面導電現象による地震動から電磁場変動への変換を記述する方程式はすでに提唱されており、その方程式で多くの観測事実の説明が試みられてきた。しかし、従来の方程式では定量的に説明がつかない事例も多い。また、従来の方程式では、定性的には確実に含まれるはずの地磁気による電磁誘導効果を別の方程式で扱わなければならないという欠点があった。もし従来の方程式に、含まれるべき何らかの項が欠けているのなら、その項を追加した方程式は、これまで知られていなかった地震動と電磁場の結合メカニズムを記述し、観測されるより広範囲の観測事実を説明できるかもしれない。本研究では、従来の方程式の導出過程を再検討することで、界面導電現象を考慮した従来の方程式には含まれていなかった地球磁場による電磁誘導の効果が自然に取り込まれることになる、より正確な方程式を導出した。また、この新しい方程式の解の性質を、スケール解析によって評価し、新しい方程式から未知の結合効果が予測されるのか否かを検討した。その結果は、新しい方程式からは、確かにこれまで知られていなかった地震動と電磁場の結合効果が予測されるものの、地殻を想定したパラメータを設定する限り、その新しい結合効果は観測可能な大きさの電磁場変動の原因とはなりえない、というものであった。本成果は今年度国際誌 (Geophysical Journal International) に掲載された。

VIII. 地球物性研究領域（客員）

内陸大地震が引き起こす強震動等による被害予測を高度化するためには、震源モデルにおける断層位置の推定等に関する研究を進める必要がある。今年度は、活断層・活構造や第四紀地質等の研究の第一人者である堤浩之教授（同志社大学理工学部環境システム学科）を客員教授として迎え、共同研究を行った。また、野島断層の巡検，集中講義，および特別セミナーなど学生も対象とした教育・研究活動を行った。

8.5 火山活動研究センター

【センターの活動概要】

(1) 研究対象と活動方針

本研究センターは、昭和 35 年に設置された桜島火山観測所が平成 8 年 5 月の防災研究所の全国共同利用研究所への改組に伴い改編された組織であり、火山噴火予知研究の単独領域から発足した。わが国でもっとも活動的な火山である桜島と諏訪之瀬島、口永良部島などの薩南諸島の活火山を全国的レベルでの野外観測拠点として、学際的実験・観測を総合的に推進し、島弧火山活動のダイナミックス、噴火予知、火山災害の予測および防止・軽減に関する研究を行うことを研究目的としている。学内外の関連分野の研究者で構成される「火山活動研究センター運営協議会」を定期的に開催し、研究計画やその実施に関する助言を得ている。学内外の研究者の協力を得て、噴火機構、噴火予知、マグマ供給系、火山体構造、火山の成長史に関する共同研究を行ってきた。平成 28 年度には火山テクトニクス研究領域を増設し、研究対象を巨大カルデラ噴火に拡張した。令和 4 年 8 月には、地震・火山研究グループ改組により、地震防災研究部門地震テクトニクス研究分野が地殻流体研究領域として加わり、火山テクトニクス研究領域は巨大噴火研究領域に改称した。火山噴火予知研究領域と巨大噴火研究領域の教職員は桜島火山観測所、地殻流体研究領域は宇治地区に勤務している。

(2) 研究分野と役割

火山噴火予知研究領域は、火山活動推移に関する研究、火山噴火事象分岐に関する研究、マグマ供給系および火山活動評価に関する研究、噴火ハザードの予測に関する研究を推進している。これらは、火山噴火予知計画に基づく共同研究、防災研究所共同研究、プロジェクト研究、国際共同研究として実施されたものも多い。

火山噴火予知計画は、平成 21 年度から「地震及び火山噴火予知観測研究計画」（平成 21～25 年度）に統合され、その後、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」（平成 26～30 年度）、「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）」（令和元～5 年度）に引き継がれた。火山噴火予知研究領域では、桜島を対象とする「桜島火山における多

項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」、「桜島火山におけるマグマ活動発展過程の研究」、「桜島火山における火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測のための総合的観測研究」を中心課題として全国の研究者と連携して研究を進めてきた。

地殻流体研究領域は、地殻内の水に着目し、地球電磁気学・地震学などの地球物理学的手法を駆使して深部から浅部までの構造を解明し、火山噴火と地震発生場の理解の上にその関連性と火山噴火の発生予測研究を行う。沈み込むプレートからの脱水・移動、地殻内での流体分布およびその動態、火山浅部での熱水系の把握などを通じて、火山活動の理解を進め活動のモニタリングにつなげることを目指している。水に代表される地殻流体は、火山活動のみならず地震発生場にも重要な役割を持つため、その類似性・相違点を明らかにし、また、火山活動と地震発生との相互作用の理解を進める。

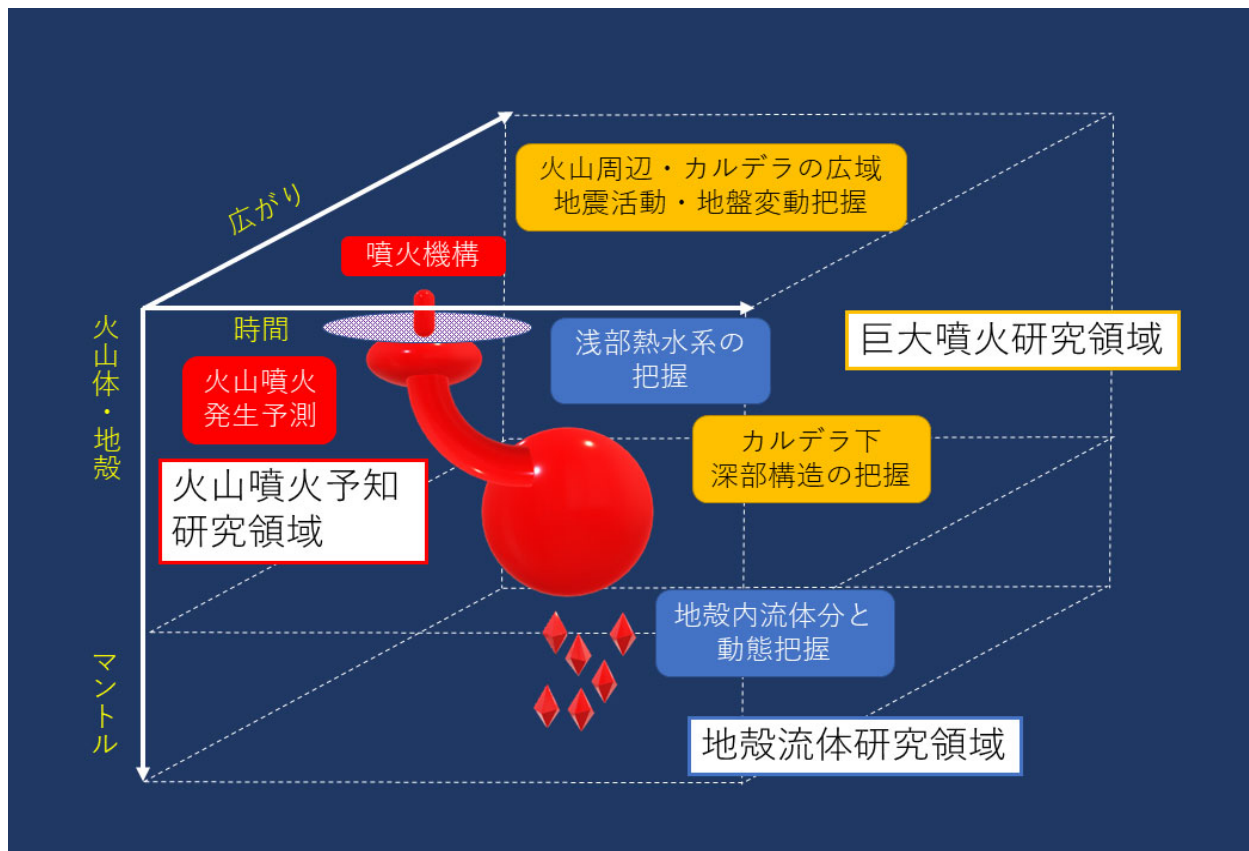
巨大噴火研究領域ではカルデラ火山の直下および周辺の地殻およびマントル内の地震等の活動や構造を研究することにより深部流体（マグマ）の動態を把握し、テクトニクスを背景とした火山活動を理解することを目指している。現在重点的に研究対象としている始良カルデラは、2.9 万年前に発生した始良火砕噴火で現在の姿が形成されたとされている。カルデラを形成する始良火砕噴火級の火山活動は近代的な観測研究にとって未経験な自然現象であり、始良火砕噴火級の噴火活動がふたたび現代に発生すれば日本の社会に深刻な影響を与えることであろう。これまでの観測研究では始良カルデラ中央部にはその南縁の桜島の活動に伴う地盤変動力源が推定され、依然として始良カルデラは活動を続けていることを示している。巨大噴火のポテンシャルを有する始良カルデラの姿を理解するとともに現在の火山活動の状況を把握することにより、長期的な火山噴火発生予測、特に近代文明がまだ経験したことのない巨大カルデラ噴火に関する科学的知見の集積に寄与することが期待される。

(3) その他（横断的な活動等）

火山活動研究センターは令和 3 年に防災研究所の研究グループを超えた研究を推進するため

に設置された火山防災連携研究ユニットにおいて中心的な役割を果たす。同ユニットは火山観測データに基づく噴火発生予測をもとに、ハザード予測、リスク評価、対策研究までを一貫通貫で進める。すなわち、火山観測から得られるデータから複雑な推移を示す火山噴火の様式と規模を逐次予測し、火山噴火発生に起因する災害の要因ごとのハザード評価研究を行う。さらに、交通など様々なインフラ等へのリスク評価と対策研究を行う。発生予測にもとづく火山噴火の切迫性評価を避難等の対策に活用する研究

を行う。これまで構築されてきたインドネシア等との国際協力関係を発展・拡充し、世界の火山災害の軽減に資することを目指す。特に、文部科学省の「次世代火山研究推進事業（平成 28 年度～令和 7 年度）」については、所内においては気象・水象災害研究部門と、所外では、東北大学理学研究科、東京大学地震研究所、筑波大学生命環境科学研究科、鹿児島大学、国立環境研究所、日本気象協会等の研究者らと連携して研究を進めている。



センターにおける研究の全体像

【研究領域の研究内容】

I. 火山噴火予知研究領域

① 火山活動推移に関する研究

桜島や諏訪之瀬島など噴火活動が継続している火山を対象に多項目観測に基づいて火山活動の推移について研究した。噴火活動の推移を決める最も重要な要因は揮発性成分である。桜島南岳の噴火活動最盛期（1970 年代から 1990 年代前半）においては、地盤沈下から予想される重力増加量以上に重力値が増加したが、活発な噴火活動とともにマグマからの脱ガスが進行し、その結果、揮発性成分に乏しいマグマが蓄積して重力値が増加したものと解釈できた。

最近の桜島火山でも半年程度に及ぶ一連の噴火活動期の後半は脱ガスしたマグマが火山灰として放出されるが、多量のマグマが貫入した場合は、脱ガスしたマグマをまず排出し、その直後に揮発性成分に富むマグマがストロンボリ式噴火として噴出されることが分かった。

諏訪之瀬島の噴火が激しい時は、揮発性成分に富む活動は一連の活動の初期段階で、強い空振を伴って爆発が頻発するが、火山灰の放出は少ない。一方、脱ガス後に多量の火山灰が放出される活動では、空振は弱い。火山灰の量の多少は、レーダ観測により確認でき、爆発期には噴煙からのエコーはほとんど帰ってこないが、火山灰放出期は強い反射体が噴煙として観測された。

災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第二次）においては火山活動推移モデルの構築が最も重要なテーマである。これまで行ってきた桜島、口永良部島、諏訪之瀬島に加え、インドネシアのメラピ、ケルト、シナブン火山における火山観測データを加え、地盤変動から火山性地震発生に推移する過程、水蒸気噴火からマグマ性噴火へ推移する過程、揮発性成分が卓越する噴火から脱ガスマグマの噴出する過程への推移などを明らかにした。

② 火山噴火の確率的発生予測に関する研究

桜島の昭和火口と南岳噴火活動期の前駆地盤変動を解析することにより、その統計的特性を明らかにした。噴火に前駆する膨張継続時間とその量の頻度は、Log-logistic 分布を示す。このことは、噴火の発生時刻と膨張量に関係する噴火規模を Log-logistic 関数により確率的に予測することが可能であることを意味する。また、噴火に伴う地盤変動を励起する圧力源の体積変

化量の見積もりを高精度化させるために、深部及び浅部の 2 圧力源モデルを提唱するとともに、圧力源の粘弾性効果を検討した。

③ 噴煙と火山灰の即時把握に関する研究

火山噴火に伴う噴煙は気象レーダにより確実に観測把握できる。反射強度と降灰量の経験式の確立により、レーダにより観測される反射強度の分布から降灰量をナウキャスト的に表示することも可能となった。また、ディストロメータにより火山灰の粒径と落下速度毎の粒子数を計測できるが、これを実地サンプル降灰量と比較することにより経験式が確立され、降灰量の計器観測ができるようになった。このことにより降灰速度に時間情報を付与することが可能となった。このように気象観測において発展したレーダとディストロメータは火山監視においても実用段階となった。

④ 噴煙ダイナミクスに関する研究

スキャン速度の速い船舶レーダを用いることにより、噴煙塊の上昇と下降といった動きがリアルタイムで把握できるようになった。また、火山灰放出率の時間変化に基づいて移流拡散シミュレーションを行い、降灰量の時間変化と照合することにより、火山灰粒子の多くは、噴煙頂部から分離することがわかった。桜島の小規模噴火はプリニー式噴火と同様の噴煙形成メカニズムを持つことが示された。

⑤ 地球物理学的観測の噴出物量評価への適用

桜島においては、地震動と地盤変動データは噴出物量評価に適用されている。これを諏訪之瀬島やシナブン火山の噴火に適用して、その妥当性を検討した。また、直接的に噴煙量の増大を反映する空気振動観測も噴出物量評価への適用が可能であることが桜島や口永良部島噴火で示された。

⑥ ロバストな火山観測機器開発に関する研究

位相シフト光パルス干渉法を用いた振動観測システムを開発して、悪環境における地震観測において極めて有効であることを示した。火山における地震観測では雷による被災が大きな問題であったが、この装置は雷災を受けにくいことを桜島における長期観測によって示した。

Ⅱ. 地殻流体研究領域

① 焼岳の浅部熱活動モニタリングのための全磁力連続観測

地震災害研究センター上宝観測所と共同して、岐阜県と長野県の県境に位置する焼岳において火山活動のモニタリングのために、全磁力連続観測を継続した。直近に発生した焼岳周辺での地震活動に伴って、顕著な全磁力変化は検出されていないが、火山活動の評価に際しては、浅部の熱活動に直結する全磁力変化の有無は有力な情報となり得るため、引き続き連続観測を継続する。

② プレート拡大軸周辺における比抵抗・磁化構造に関する研究

プレートの発散境界であるエチオピア・アファール凹地では、2000 年代にダイク貫入イベントが発生するなど、プレート拡大に伴う火成活動を陸上で観測可能な非常にユニークな地域である。一方で、この地域では急速に都市化が進み、プレート拡大に伴う諸現象の理解は防災上も非常に重要な知見となり得る。国際共同研究プロジェクト（富山大・九州大・Addis Ababa 大・山形大・熊本大・極地研との共同研究）において、2023 年度は無人固定翼機を用いた空中磁気探査を広範囲で実施した。この空中磁気探査データと既取得の陸上磁気探査データの統合解析を行うとともに、地下比抵抗構造調査の解析を進め、これまで明らかになっていた直近のダイク貫入の延長部に下部から浅部に連続する熱活動を示唆する構造について、空間的連続性や範囲の推定精度を高める予定である。

③ 島弧火山分布と地下流体分布に関する研究

同一のプレートが沈み込んでいる島弧の火山列（火山フロント）には非火山地域が形成されることがある。一方で、その要因は未解明のままである。従って、沈み込み帯での火山形成メカニズムの解明には、火山地域のみならず非火山地域をも含めた大局的な地下構造の理解が不可欠となる。そこで、本研究では、異なる島弧（九州とニュージーランド北島）の地下構造を対比し、火山地域と非火山地域の地下の流体分布の特徴の抽出を目指す。2023 年度は、ニュージーランド北島（ヒ克蘭ギ沈み込み帯）において、地殻からマントルの深度に至る構造を推定するために、長周期 MT 法の機動観測を実施した。当該観測では、ニュージーランドの国立研究所 GNS Science と協力して、図に示した

300km×200km の領域で 28 点の長周期 MT データを取得した。

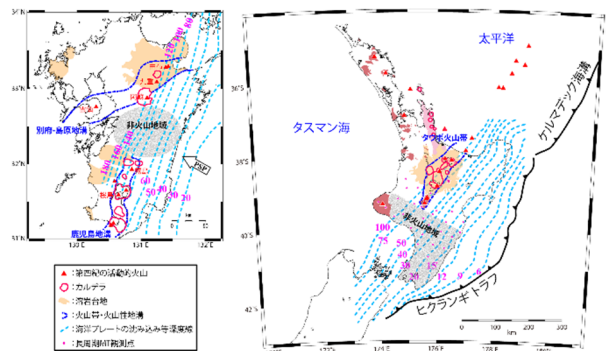


図 島弧における火山地域（火山性構造物）と非火山地域の分布。

④ 奥能登地域の群発的地震域の地下構造の解明および地下構造変化検出の可能性の検証

能登半島北東域では、2018 年ごろから群発的地震活動が見られ、2021 年よりその範囲を広げつつ活動が顕著に増加した。加えて、この活動に同期して地殻変動も生じている。2021-2022 年度に金沢大・兵庫県立大・JAMSTEC と共同して実施した陸域 57 か所・海域 3 か所における広帯域 MT 観測に加え、2023 年度には海域 2 か所での観測を追加実施した。得られたデータをもとに、群発地震域下部に顕著な低比抵抗領域を検出し、この活動に流体が関与している可能性を指摘していたが、2024 年 1 月 1 日の M7.6 地震の発生を受け、海域に観測領域を広げ計 7 か所での緊急観測を実施中である。また、奥能登全域での構造の不均質性と地震との寒冷性を理解するために、2007 年度に取得済みの 26 か所のデータを含めた統合解析を実施中である。加えて群発地震活動の消長や巨大地震の発生に伴う地下構造変化の検出の可能性を検証する目的で、陸上 4 か所で長期連続観測を継続している。

⑤ カフラマンマラシュ地震に関する研究

2023 年 2 月に発生したトルコ南東部の地震について、JST の緊急共同研究・調査プログラム（J-RAPID：東工大・Bogazici 大との共同研究）に参加し、この地震と地殻流体との関係性を明らかにするための広帯域 MT 観測を実施した。

Ⅲ. 巨大噴火研究領域

① カルデラ火山の地殻構造の解明

本領域では始良カルデラの地下構造に関する研究にとりくんでいる。火山とその周辺の地殻構造を明らかにし、その中に胚胎するマグマ等の広がりや体積を知ることは、その火山の噴火規模の上限を知ることにつながる。

2023 年度は始良カルデラの地下を通過する経路上の地震波振幅減衰について調査した。その結果、振幅減衰が生ずる波線経路はいずれもこれまでに明らかになった始良カルデラ中央部の深さ 15km を中心とする S 波低速度異常領域と桜島直下の深さ 20-40km の S 波低速度領域の中を通過し、低速度領域中心部を通過する波線上では確実に減衰の生じていることを明らかにした。

② カルデラ火山の活動に関する研究

本領域では始良カルデラの火山活動の推移と規模を把握することを目的として、始良カルデラ内およびその周辺に展開した GNSS 観測にもとづいた地盤変動の研究を行っている。火山活動に伴って移動し蓄積する物質量を把握することは、火山活動の規模の把握と予測に欠かせないことである。本研究では地盤変動量に加えてさらに桜島からの火山灰噴出量も考慮して始良カルデラへのマグマ供給量の評価にとりくんでいる。始良カルデラの地下ではおおむね 10^7 立方メートル／年の割合でマグマの蓄積が継続していることがこれまでの観測データの蓄積によって明らかにされている。

2023 年度も前年度に引き続きマグマ蓄積量の推定と有限体積地盤変動力源モデルの検討を行った。新たに追加された 2023 年度のデータからは 2021~2023 年までの 2 年間では $6.0 \times 10^6 \text{m}^3/\text{年}$ のマグマ蓄積が進行中であることと、始良カルデラ西部の地震波低速度領域を力源とした場合の地盤変動モデルでも 2017 年~2022 年の期間の地盤変動がよく説明できることを確認した。

③ 火山活動観測手法の開発

既往の研究では始良カルデラにおける火山性地盤変動の力源は海域に推定されている。陸上に比べて海域は火山活動に伴う地盤変動の直接観測に困難が伴う場所であることから、海域における地盤変動観測手法の開発に取り組んでいる。

2023 年度には 2022 年度に設置された海底地盤変動観測装置のデータ回収および自動処理システムを構築したうえで、観測運用を継続してデータを蓄積した。同観測装置では大きな欠測が発生せずに観測が推移するとともに、設置後 10 ヶ月の経過により約 2 cm の沈下の傾向が観測されたが今後圧密効果による沈下と本来観測すべき地盤変動の上下変動との分離が課題である。なお 8 月に台風 6 号の暴風圏の襲来を経験したが、暴風波浪による漂流がなく起きることがなかった。

今後の観測運用のさらなる継続により水没カルデラにおける火山性地盤変動観測のノウハウ蓄積が期待される。



海底地盤変動観測装置

また、始良カルデラの火山活動に伴う地下構造変化を、これまでよりさらに精度よく人工地震波を用いて検出する長期連続反射法地震探査の開発研究にも取り組んでいる。これまでの取り組みでは検出精度を左右する振源波形の再現性の検証を行う段階に達している。

2023 年度には振源波形の再現性を左右する発振条件の安定化を目的に試験発振坑を建造して発振実験を行った。発振実験の結果、発振坑の構造と強度、発振坑内部の圧力挙動等の重要なデータを得ることができ、今後の本格的な発振設備の設計に有益な情報を得た。

今後は条件の制御が可能な発振設備を得ることで、安定して同じ波形が得られる高品質の振源波形とより高頻度の地震波反射データ取得の実現が期待される。

④ その他

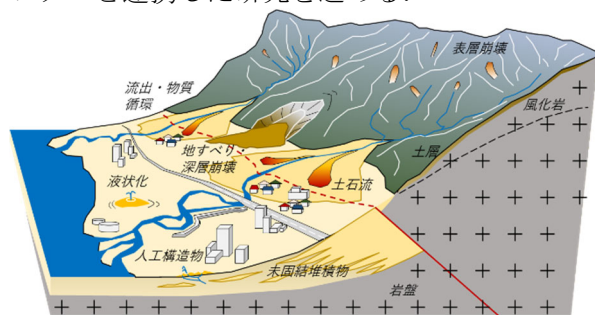
本領域の研究成果は 2 編の研究報告を年報 66 号に掲載した。今後は始良カルデラ中央部におけるより詳細な地盤変動の解明が期待される。

8.6 地盤災害研究部門

【部門の活動概要】

(1) 研究対象と活動方針

地盤災害に関連する基礎学理に根ざし、地盤災害の予測と軽減を目指した研究を展開し、さらに、学際領域を分野横断的に開拓して行く。液状化、地盤沈下、斜面崩壊、地すべり、土壌侵食、建設工事等に伴う斜面や基礎地盤の変形等について、地盤工学、地質学、地球物理学、地形学、水文学等の考え方と手法を用いて研究する。水際低平地に広がる都市域の災害脆弱性診断、地盤・土構造物の性能向上技術に関する研究、平野から丘陵地にかけての開発に伴う人—地盤環境—物質循環の相互作用を対象として、いわゆる「人新世」における傾斜地の地盤災害の研究、さらに山地での風化や崩壊等に起因する災害の研究を行う。それぞれについて、多様な地盤災害現象の発生と挙動の研究、地盤災害ハザードマップの作成手法と災害軽減手法の開発を主要課題として掲げ、さらに、先進的な理工融合型横断基礎課題研究と防災研究所内で連携した学際領域研究を進める。特に、「地すべり」に特化した研究を推進する斜面災害研究センターと連携した研究を進める。



対象とする地盤災害

(2) 研究分野と役割

地盤防災解析研究分野では、人間活動が集中する平野部や盆地といったいわゆる低平地における各種の地盤災害に焦点を当て、軟弱地盤の変形解析と対策工法の開発等による都市脆弱性に起因する地盤災害の防止と軽減のための研究を行うとともに、地震時における水際低平地に展開する都市域の地盤・構造物系の耐震性向上のための研究を推進している。これらの研究成果に基づいて対象とする地盤災害に対する合理的な対策工を提案し、さらには設計法に結びつけることにより、都

市が集中する水際線低平地における地盤災害を低減することを目指している。

山地災害環境研究分野では、山地災害の発生ポテンシャルを評価するために、災害発生に関わるプロセス、例えば地形構成物質の風化、自重による岩盤・山体の変形、斜面の崩壊と侵食、土砂の運搬・堆積について研究を進めている。研究のアプローチは多角的で、野外での地質・地形踏査をはじめ、地理情報システムを用いた空間情報解析、宇宙線生成核種の分析に基づく年代論および速度論、斜面水文観測、鉱物・化学分析や土質試験などを駆使した斜面における多様なマスマーブメントの要因解析や過程追跡により、山地災害を長期的地質現象として位置付けた研究を行うとともに、短期間の力学的現象として位置付けた研究を進めている。

傾斜地保全研究分野では、傾斜地における次のような研究課題について、様々な学問分野を連携・融合することで、基礎的研究とともに問題解決型の研究を進めている。傾斜地の保全には、水圏・地圏・気圏及び生物圏を含め、相互に作用する地球表面に関する理解が必要である。例えば、降雨や融雪、地震等を誘因として発生する地すべりや崩壊、土石流などの斜面における土砂移動現象は、土砂はもちろんのこと、水や化学物質の移動なども含め、下流域への影響を検討しなければならない。すなわち、傾斜地で発生する物質移動は、その発生域ばかりではなく、流域全体での影響までを理解するというセンスが重要となる。鍵となるのは『水文地形学』という学問で、地形あるいは様々な物質と水文学的なプロセスの相互作用、あるいは、表層付近の水の流れと地形変化プロセスの時間的・空間的な相互作用を扱う分野である。

(3) その他（横断的な活動等）

上記の個別的要素研究を進めるとともに、地震や豪雨などで新たに生じた地盤災害の調査に関連学協会と連携をとって行い、災害発生の原因を追究するとともに、今後の災害低減への提言を行ってきた。これらの成果は、学術論文、学術研究発表会、ホームページ、著作などを通じて情報発信している。

EG セミナーと称した大学院生らの研究発表を通じて、斜面災害研究センターとともに地盤研究グループ内で地盤災害に関する最新の研究

成果を議論している。

研究者相互の情報共有を進め、地盤災害への多面的取り組みを発展させるべく、斜面災害研究センターとともに地盤研究グループの会議を月 1 回行い、適宜グループ内で情報を交換し共

有してきた。また、国、自治体、学会、その他協議会などと連携し、研究成果を現実に直面している諸問題の解決策に盛り込むことで、国土の社会基盤整備や防災対策に貢献している。

【研究分野の研究内容】

I. 地盤防災解析研究分野

① 地震時の多様な地盤軟化機構の解明とその対策（上田，渦岡）

近年の地震被害における新たな問題に対処するため，構造異方性が地震時挙動に与える影響，粘性土地盤の地震時挙動，難透水性層を有する多層地盤の挙動，地下水位以浅の不飽和地盤挙動など，強震動継続時間の長い地震で顕在化する多様な地盤軟化機構の解明を目指し，遠心模型実験や数値解析を用いた研究を行っている。

② 地震・津波・降雨による複合災害における地盤・構造物系の被災メカニズムの解明（渦岡，上田）

本震と余震，地震と津波，地震と降雨のような外力が比較的短時間の間に複数回作用することで地盤・構造物系の被災はより深刻なものとなる可能性がある．このような複合災害における地盤・構造物系の被災メカニズムを明らかにすることを目的として，遠心模型実験や数値解析を用いて，地震が作用した後に地盤・構造物系が有している残留性能を評価している。

③ 液状化の国際研究プロジェクト（上田，渦岡）

地盤・構造物系の液状化被害を対象に，従来の個別・単独プロジェクトの限界を打破し，結果の普遍性・客観性を確保することで予測精度の向上を目指す国際プロジェクトが LEAP (Liquefaction Experiments and Analysis Projects) である．本年度は自立式矢板護岸の地震時挙動を対象に，米国・英国・中国・韓国・台湾等の研究機関とともに，遠心力載荷装置を用いた一斉実験と種々の構成モデルを用いた一斉解析を実施した．また，これらの結果をオンラインワークショップで共有し，一斉実験におけるばらつきの定量化や予測精度に及ぼす要因分析を行った。

④ 液状化地盤における地盤－杭－構造物系の地震時相互作用の解明（上田）

液状化地盤における地盤－杭－構造物系の地震時応答を精緻に予測するには，地盤や杭の材料非線形性に加えて，幾何学的な非線形性を考慮した相互作用のモデル化が必須である．系統的な遠心模型実験により液状化程度が杭の曲げ破壊や座屈に及ぼす影響を評価するとともに，地盤や杭のモデルパラメータの感度分析や幾何学的非線形性の影響評価のため，米国の研究機関と共同で 3 次元有限要素法および個別要素法

による数値シミュレーションを実施した。

⑤ 個別要素法およびベイズ統計モデリングを用いた室内土質試験に及ぼす要因分析（上田）

土の複雑な応力－ひずみ関係を表現できる構成モデルのパラメータは一般に室内土質試験に基づき決定されるが，試験結果は種々の要因の影響を受け，例えば，中空ねじり試験で異方圧密した試料の液状化強度は等方圧密した試料より高くなる．このメカニズム解明のため 3 次元個別要素法により試験をシミュレートし，異方圧密時の液状化強度に及ぼす微視的な要因（粒子配位数等）について考察した。

また定量化が難しい要因として実験者の違いを取り上げ，複数の実験班による同一条件での液状化試験を実施し，ベイズ統計モデリングによる分析を行った．非階層ベイズでは実験者の個体差を適切に反映できない（もしくは過度に反映する）のに対し，階層ベイズでは全体のトレンドと個体差の両者を考慮した合理的な推定が可能であることが示された。

⑥ 現場観測と遠心模型実験に基づくダブルデータ駆動型リアルタイム豪雨地盤災害予測（渦岡）

遠心模型実験から得られる実験データおよび現場で日常的に得られる観測データに対する二つの統計情報の組合せ（ダブルデータ駆動型と呼ぶ）によって，ダブルデータ駆動型のリアルタイム豪雨地盤災害予測手法を構築する．斜面の地下水浸透および降雨浸透に伴う変形を再現した遠心模型実験などを対象としてデータ同化手法を構築した．今後は現場観測データを対象としてデータ同化を実施し，データ同化結果に基づいて豪雨時の事前予測やリアルタイム予測を実施する。

⑦ スリランカにおける降雨による高速長距離土砂流動災害の早期警戒技術の開発（渦岡）

現地斜面土層への降雨浸透と土砂流動の発生，流動土砂の運動予測モデルの構築を目指す．斜面上流からの地下水浸透と斜面表面からの降雨浸透を再現できる装置を開発した．遠心力載荷試験装置内にシルト質砂から作成した不飽和斜面モデルを作成し，様々な地下水浸透と降雨パターンが斜面挙動に与える影響を検討し，その挙動を土－水－空気連成有限要素解析結果と比較した。

II. 山地災害環境研究分野

① 宇宙線生成核種を用いた山地の地形発達論（松四）

地表近傍の造岩鉱物中に蓄積する宇宙線生成核種を用いて、流域の削剥速度を推定したり、岩盤崩壊の発生年代を決定したりすることで、大起伏山地におけるテクトニクスあるいは気候変動といった外部強制力に対する応答としての地形形成過程を検討した。日本をはじめ、チベット高原東縁部、ネパールヒマラヤ、スイスアルプスなどを対象とし、地形地質踏査やデジタル地形モデルの定量的解析を行った。また、侵食基準面の低下に対する流域地形の応答をモデル化し、山塊の隆起と削剥をシミュレートした。うえ、湖沼や海域のような山麓堆積場のボーリングコアに残された宇宙線生成核種濃度の記録から、地形発達史復元の妥当性を検証するという新しい試みを実施した。

② 斜面における風化帯形成モデリング（松四）

付加体や花崗岩類からなる岩盤対象として、風化の進行と風化帯構造の発達、および物性の変化を、露頭あるいはボーリングコアの観察や、試料の化学・鉱物分析および水理・力学的試験によって探求した。岩盤の強度低下と地形の削剥をつなげる理論モデルを提唱し、それを地形量とカップリングさせることで、風化帯性状の空間分布を定量化・可視化した。さらに、この風化帯モデリングを流域における土砂生産および降雨流出予測に援用するべく統合モデルの構築を進めた。また、降下火砕物の風化と粘土鉱物の生成について、主として胆振東部地震の発災地を対象に、斜面災害の原因物質となるハロイサイトの蓄積に関する研究を行った。

③ 表層崩壊の動的ハザードマッピングと土砂・流木生産量の確率論的評価（松四）

小起伏山地における表層崩壊について、長期的な素因条件の成立と短期的な誘因の作用をそれぞれモデル化しカップリングすることで、場所・時刻・規模の三要素が予測可能なハザード評価システムを樹立した。斜面における長期的な土層の生成・集積をパターン分けして計算し、土層および立木の空間分布と土層内での樹木根系の伸展を考慮したせん断強度のモデル化を行った。うえ、複数パターンの降雨浸透に対する間隙水圧上昇と組み合わせることで、地理情報システム上で斜面ハザードのアンサンブル解析を実現した。これにより表層崩壊を引き起こす降雨の閾値や、小流域単位での土砂および流木生産の定量的評価が可能となった。

④ 断層活動度の新しい評価法の開拓（松四）

岩盤中に蓄積している宇宙線生成核種の深度分布を援用することで、断層によって切られる上載層や地形面がない場合であっても、断層の上下変位を定量的に評価できる手法を考案し、いくつかのサイトにおいて検証した。その結果、従来の方法では断層活動の有無や履歴を復元することが困難な条件においても、宇宙線生成核種を用いたアプローチにより、数千年から万年スケールでの断層活動度が議論できることが示された。

⑤ 土砂災害予測基本図を用いた土砂災害発生箇所予測の研究（齊藤）

京都大学から出願した特許（特許番号 7153330 号）による手法に基づく、外力が豪雨・地震動のいずれにも適用できる土砂災害発生位置予測の方法開発を継続した。1m-LiDAR DEM を用い、地形を視覚的に理解しやすく表示し、危険度に優先順位を付して狭い範囲を示すことができる。さらに、iRIC の手法で、崩壊した土砂が流動・到達する被害範囲を示し、ハザードマップ作成の高度化を実施している。

⑥ PIV(Particle Image Velocimetry) 手法による地震前後の 3 次元地表変位の可視化（齊藤）

地震で出現した地表変位検出を、土砂災害基本図と PIV 手法により実施した。地震前後の地表変位を 3 次元のベクトルで図示することが可能で、InSAR 解析よりも詳細な結果を得た。国土地理院あるいは各航測企業等から高解像度 LiDAR DEM の提供を受け、2016 年熊本地震や 2024 年能登半島地震の発災地での解析を実施している。

⑦ 土砂災害発生事前避難情報発信リアルタイムモニタリングシステムの開発と検証（齊藤）

土砂災害の発生事前避難情報発信については、崩壊発生の可能性の高い箇所で崩壊を引き起こす諸量のリアルタイムモニタリングを実施するためのセンサ開発を進め、避難情報発信のためのシステム構築の開発と検証をおこなった。

III. 傾斜地保全研究分野

① リアルタイム斜面モニタリング技術の開発と表層崩壊発生時刻の予測（寺嶋）

斜面崩壊では確度の高い危険情報の不足により、避難指示・勧告の発令に関する対応が後手に回り被害が拡大することが多い。これらのことから、市町村、住民等から避難勧告・指示の発令に関する「客観的な基準」の作成が強く要望されている。すなわち、土砂災害の「発生場」の予測とともに、その「発生時刻」を正確に予測するための防災・減災システムを早急に構築することが必要とされている。

液相と固相が複雑に入り交じる陸域環境下では、その相境界面で「電気浸透、電気泳動、流動電位、沈降電位」の界面動電現象が生じる。このうち「流動電位」とは、水圧差（水理ポテンシャル差）により水の流動が生じ、正電荷が運搬されて電位が発生する現象である。地盤内において、この電位は自然電位として出現することになる。すなわち、自然電位を計測すると地下水の動態把握が可能になるということである。降雨時の斜面崩壊の多くは地下水流による地盤の破壊・移動現象であるため、破壊をもたらす水環境変動のモニタリングに対しても、電位現象の把握が有効になる。現在取り組んでいる自然電位計測法は、その使用に際して地形的制約が少なく、電源等の大がかりな施設も必要ない。斜面水文環境の把握に関して実績・知見の集積がある水文学・地盤工学的な手法と電磁気学的手法を連携・融合させることで、より実用的なレベルでのリアルタイム斜面災害環境モニタリング手法（早期警戒システム）の確立を目指している。

② 融雪期に発生した地すべりの発生機構（寺嶋、松浦）

融雪期に発生し移動体が著しく流動化した地すべりについて、素因と誘因の両面から発生機構を検討した。素因としては、キャップロック状の地質構造や接統斜面における崖錐の存在が主要な要因で、過去の応力履歴やすべり面の風化による現状安全率の低下の可能性も排除できないと指摘した。一方、最も大きな誘因は強風による融雪現象と考えられ、とくに、後背斜面の地形的な特徴による風下側、および森林植生の存在による林縁付近における乱流の発生が、これまでの予測を上回る急速な雪解けをもたら

した可能性が高いことが分かった。また、頭部に堆積したなだれデブリが頭部载荷として力学的な安定性を低下させた可能性についても言及した。

③ 大変位した地すべりの変位特性（寺嶋、松浦）

崩壊予測で重要なことは、最大速度の推定とその時刻、および総変位量である。このため、大変位した地すべりの観測結果をもとに、一連の変位特性を詳しく解析した。その結果、累積変位量の経時変化はシグモイド曲線と呼ばれるS字カーブを描き、変位特性は5つのステージに分類することができた。それぞれのステージは3種類の関数型から構成され、移動開始直後と最大速度以降がべき関数型、べき関数に接続する区間が指数関数型、そして、最大加速度が出現する区間が二重指数関数型になることを明らかにした。また、シグモイド曲線の中で、最も基本的なロジスティック関数とゴンペツル関数を用いて変位特性の近似を行ったところ、前者の方が最大速度の出現時間差が7分と、後者よりも良い結果となったものの、最大速度の予測精度は低かった。今後、理論的根拠はもちろんのこと、地すべり現象を十分に説明しうる記述性を備えるとともに、最大速度とその発現時間、ならびに移動距離を推定可能な予測式の開発が必要なことを指摘した。

④ 海水面状態の変化が汀線に接統した斜面の変動に及ぼす影響（松浦）

汀線に接統した斜面の変位特性を明らかにするため、最大計測範囲が10mの長距離伸縮計を開発するとともに、精度が $\pm 0.1\text{mm}$ で50Hzの高時間分解能観測を実施した。この観測システムを用い、降雨を誘因とした累積変位量が10mに及ぶ地すべりの変位量観測に成功した。地すべりはわずか4分間で約9,800mmも移動したが、高精度・高頻度観測により、従来では検出できなかったすべり面の縦断勾配やアスペリティに起因すると思われる急加速や急減速などの変位特性を捉えることができた。なお、本地すべりは波浪などにより汀線接統斜面の侵食が進行し、斜面の安定性が徐々に低下したことが遠因と考えられる。このため、下部斜面に超音波距離計やタイムラプスカメラなどを用いた侵食観測装置を設置した。

8.7 斜面未災学研究センター

【センターの活動概要】

(1) 研究対象と活動方針

地すべり研究に関係の深い、地すべり等防止法の成立は、昭和 33 年である。昭和 36 年には、宅造法が成立している。一方、当センターの前身である「地すべり研究部門」は、昭和 34 年に設立された。すなわち、昭和 30 年代の高度経済成長に伴う中間山地から都市への人口移動を背景として、出口（中山間地）と入口（都市）の環境を整備する必要があり、それを支える研究体制の確立の一環として、防災研究所に地すべり研究の拠点が設置された。また、後に同センターに合流することとなる徳島地すべり観測所は、当初、地すべり研究部門の一部として昭和 41 年に徳島県池田町に設置された。

地すべり部門は平成 8 年の改組で地盤災害研究部門地すべりダイナミクス分野となり、その後、地すべりダイナミクス研究分野と旧災害観測実験研究センターに所属していた徳島地すべり観測所を母体として、2 研究領域からなる斜面災害研究センターが平成 15 年（2003）に設立された。令和 5 年（2023）には、新しい研究領域（未災情報研究領域）の増設および斜面災害研究センターの改組により、3 研究領域からなる斜面未災学研究センターが発足した。設立の目的は、「地すべりによる斜面災害に関する基礎的研究を行うとともに、斜面災害を対象とした災害予測や防災リテラシー向上につながる「斜面未災学」を学問領域として体系化し、国内外の研究者が横断的に共同研究を促進する。」ことにある。

当センターは、わが国の大学に設置された唯一の斜面災害専門の研究ユニットである。世界的に見てもユニークな組織で、大学における斜面災害研究ユニットとしては、最も古く、かつ最大規模である。

(2) 研究領域と役割

当センター（および、その前身）は、昭和 34 年の設立以降、それぞれの時代の変化に応じて、わが国の斜面災害研究を牽引する役割を与えられ、それ

を果たしてきた。現在、当センターは、3 研究領域（未災情報研究領域、斜面災害予測研究領域、および斜面モニタリング研究領域）と主に斜面モニタリング研究領域がおかれている徳島地すべり観測所からなる。



地すべり運動の連続観測装置群

現在まで続く具体的な重点課題としては、(1) 地球表層における地すべり現象の分布と実態の解明、(2) 地すべりの発生・運動機構の解明、(3) 天然ダムの形成機構と決壊危険度調査、(4) 斜面地震学の確立、(5) 人間活動と斜面災害関係史の解明と災害予測、(6) 人口密集地、文化・自然遺産地域等を災害から守るための信頼度の高い地すべり危険度評価と災害危険区域の予測、(7) 地球規模での斜面災害の監視警戒システムの開発、(8) 地すべりのフィールドにおける現地調査・計測技術の開発、(9) 気候変動に合わせた斜面災害の分析、(10) 斜面基礎情報調査・探査手法の開発、(11) 斜面可視化・モデリング、(12) 土地利用と斜面災害リスク評価、(13) 国際斜面災害と地域特性、(14) 省庁・自治体・一般住民に向けたカスタマイズされた避難情報の確立と即時発信手段の開発および斜面災害軽減のための教育・能力開発の実施などである。

世界的な人口増大、都市開発の進展により、都市周辺地域における地震時や豪雨時に発生する高速長距離運動地すべり・流動性崩壊による災害が激化

している。特に近年大規模地すべりにより形成される天然ダムによる二次災害も多発している。また、重要な遺跡など、一旦破壊されれば復旧の困難な文化・自然遺産が地すべりによる破壊の危険性にさらされている例が注目されるようになってきた。また、都市開発は、盛土や建設残土といった不安定で危険な新しい斜面リスクをもたらしている。令和3年の熱海土石流災害で注目された災害は、まさに新しい公害とも言えよう。斜面未災学研究センターでは斜面地域に迫る災害に対して、「未災」の時点で調査や対策、社会体制や教育のあり方を議論する学問「斜面未災学」を提唱している。

センターが持つ徳島地すべり観測所は四国地域に防災研究所が持つ唯一の有人拠点である。観測所のある徳島県三好市は歴史的にも大比高山地内に位置する地すべり地の上に居住してきたユニークな文化があり、さらに地すべり災害にも悩まされてきた。山間地にある地すべりと共存してきた文化も人類史的に重要であり、地域で推進されているジオパーク活動も地すべりを含む防災教育として重要である。さらにこのような地すべり集落はヒマラヤや台湾などの温暖多湿の大比高地域に共通するものであり、何も日本、四国のみにユニークなものでは無い。徳島地すべり観測所を拠点として気候変動などで変化してゆく世界の山岳環境・山岳地小集落の防災における斜面災害の分析と研究開発が期待されている。

(3) その他（横断的な活動等）

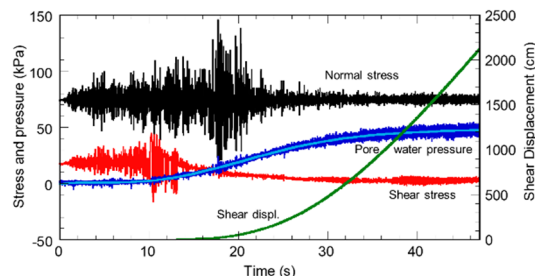
センターは、地すべり研究に特化した地すべり再現試験機を保有している。そのため、世界各地の大学や研究機関および民間団体による実験施設の見学やセンターへの訪問が多く、国内外の地すべり研究や災害軽減に貢献している。

また、西日本で大規模な斜面災害が発生した際には、キーステーションとして情報を集約し、調査研究活動をマネージする機能を担っている。

地すべりを研究する国際的枠組みとして、国際斜面災害研究機構 (International Consortium on Landslides = ICL) が設立されたが、その設立と運営には当センター構成員が深く関与してきた。また、センター教員が Federation of International Geo-Engineering Societies

(FedGIS) の Joint Technical Committee JTC1: Natural Slopes and Landslides の委員長を務めており、国際の斜面災害研究および軽減に貢献している。

特筆すべきアウトリーチ活動として、平成 27 年度から京大ウィークス（京大全体の施設公開行事）に参加し、徳島地すべり観測所と所属研究者による地形・地質見学会を行っている。また、毎年 10 月に実施される宇治キャンパスのキャンパス公開においても、近年の斜面災害に関する調査結果や写真の展示とともに、地すべり再現試験機を用いた実験を公開し、多くの訪問者から好評を得ている。



可視型地震時地すべり再現試験機と実験結果



京大ウィークス（徳島地すべり観測所）での地すべり・地質見学会（令和5年10月28日）

【研究領域の研究内容】

I. 未災情報研究領域

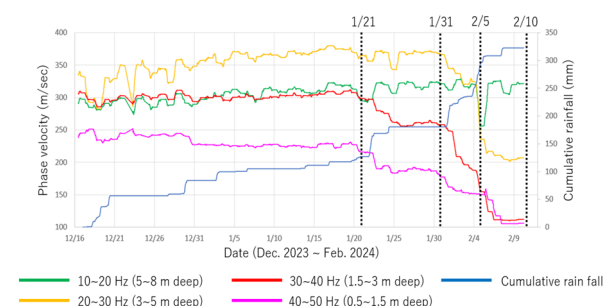
① 斜面基礎情報調査・探査手法の開発

複雑な斜面の地盤構造を地表から非破壊で三次元的に把握することを目的として、物理探査手法を用いて複雑な地盤構造を調査する手法を開発している。令和 5 年度は、常時微動を用いて地盤の二次元もしくは三次元的な構造を把握する手法を実用化し、国内外各地の地盤調査に適用した。また、これらの探査手法を誰でも容易に実施できるように解析プログラムを開発し、マニュアルの取りまとめや国内外で講習会などを実施した。



宮城県加美町における調査

② 斜面可視化・モデリング



常時微動のモニタリングにより得られた表面波の位相速度の変化と累積降雨量の関係

降雨や地震動に伴う地盤の剛性の変化を地表から非破壊でモニタリングすることを目的とし、常時微動を連続的に測定し自動解析することにより地盤の S 波速度の変化を連続的に把握するシステムを開発している。このシステムは、複数の単点の地震計、もしくは多チャンネルの地震探鉱器で測定した常時微動のデータをインターネット回線を用いてサーバーにアップロード

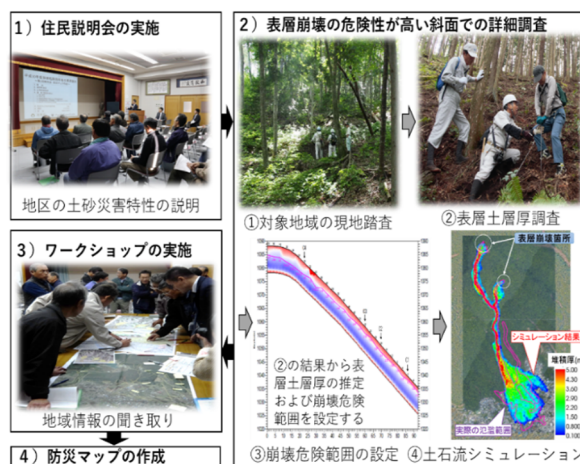
し、サーバーで自動解析してデータベース (DB) 化するものである。このシステムを用いることにより、誰でも Web を通して地盤の剛性の変化を閲覧することができる。令和 5 年度は、本システムを用いて米国カリフォルニア州において二か月間の連続観測を行い、降雨に伴う地盤の S 波速度の低下を検出した。

③ 土地利用と斜面災害リスク評価

土地利用と斜面災害リスクの関係について分析・評価を行い、省庁・自治体・一般住民に向けた精細な斜面災害リスク情報の創出手法の開発と効果的な提供方法の研究を進める。

また、広域の地盤の災害リスクを推定することを目的として、DEM や微地形区分、深部地盤モデルなど一般に公開されている地形や地盤情報を用いて、機械学習により統計的に地盤構造や災害リスクを推定する手法を開発している。令和 5 年度はボーリングや常時微動測定など原位置で取得したデータも合わせて学習し、浅部地盤の S 波速度構造を推定する手法を開発した。

従来の土砂災害ハザードマップの欠点を補完するために、長野県辰野町・諏訪市で地形判読により崩壊危険箇所を抽出し、さらに住民との対話に基づき土砂災害ハザードマップを作製した。今後、さらなる成果の社会実装を目指し、関連する実務者と連携して研究を実施する。



住民参加型の土砂災害ハザードマップの作成

④ 国際斜面災害と地域特性

斜面災害の地域特性を国際的に比較することを目的として、世界各地の地盤構造の DB 化を進めている。令和 5 年度は表層地盤の平均 S 波速度 (AVS30) の DB 化を行い、1 万点以上のデータを登録して Web 上で公開した。

⑤ 避難情報の確立と即時発信手段の開発

一般住民に向けた精細な斜面災害リスク情報の創出手法の開発と効果的な提供方法の研究を進める。

大雨や地震などの災害時のリスク情報を広く一般に発信する手段を確立することを目的として、地盤の変位や水位、比抵抗、振動などをサーバーで DB 化しリアルタイムで解析して情報発信するシステムを開発している。令和 5 年度は地盤の振動をリアルタイム解析して、振幅や位相速度の変化をメールで即時発信するシステムを実用化した。

深層崩壊の危険性を把握する手法を開発することを目的に、崩壊の恐れがある重力変形斜面にリアルタイム計測が可能な傾斜計を設置した。観測データは、地域住民と共有しており、リアルタイムで観測データをみることで、安心感があるとの感想を得た。今後、深層崩壊の切迫度を長期から短期の時間軸で評価する手法を構築し、一般住民に向けてカスタマイズされた避難情報の確立と即時発信手段の開発等の研究を行う。



地域住民への深層崩壊の危険性の説明状況

Ⅱ. 斜面災害予測研究領域

① 地すべりの発生・運動機構の解明

本センターで開発した「地すべり再現試験機」を用いて、地震や降雨による地すべりの発生機構の解明および崩壊土砂の運動予測に関する研究を進めている。特に高速・長距離運動する地すべりを対象とした研究を推進している。令和 5 年度は、(1) 岩石や土試料などのせん断挙動と大規模岩盤崩壊や地すべりの発生・運動機構、(2) すべり面粘土のせん断挙動と降雨や地震による地すべりの発生・運動機構、(3) 降雨による山地斜面におけるクリープ変形特性および崩壊予測、(4) 火山砕屑物（特殊土）や異なる粒径を持つ土試料のせん断挙動と高速運動機構に関する研究を継続的に進め、重要な知見を得た。

② 斜面地震学の研究

斜面現象と地震学を融合する学問「斜面地震学」の構築を進めている。各地の地すべりにおいて、地震計や傾斜計による多項目連続観測を継続し、地震時地すべり発生メカニズムの解明を目指している。さらに、斜面の地震時安定計算の新しい枠組みの確率を目的として、地すべり内の地震波伝播の多様性を稠密地震観測や地形・地質調査、内部構造の探査から調べている。令和 5 年度は、ある閾値以下の波長を持つ地震波は地すべり内において不均質な挙動を示すことを実証的に明らかにした。また、地震学の知見や技術を斜面現象に適用することで、その発生メカニズムの理解を進める研究の開発も進めており、令和 5 年度は雪崩によって励起された地震動を自動検知するアルゴリズムを作成し、イベントの検出をおこなった。これらの成果は、地震学の専門性と斜面現象の理解が融合して初めて得られるものであり、さらなる学問としての成熟が期待される。

③ 都市域における斜面災害危険度評価手法の開発と「宅地の未災学」に関する研究

谷埋め盛土型地すべりの予測手法の高度化を図るため、谷埋め盛土における地震動、地表傾斜、地中傾斜、間隙水圧の高時間分解能連続観測を実施している。これらはわが国では初めての事例である。また、10 m 間隔で稠密常時微動観測を実施し、谷埋め盛土内外で微動の特徴が異なることを示した。

本領域では、都市域に迫る災害に対して、「未災」の時点で調査や対策、社会体制や教育のあり方を議論する学問「宅地の未災学」を提唱している。今後の宅地の防災を考える上で、災害列島に住むわれわれ日本人にとって、長いタイムスパンを扱う「地学」が、生存のための必須の教養であると位置づけ、理学・工学だけでなく、教育、法学、報道、法曹、考古学などの最前線で活躍する第一人者と議論を進めている。

④ 広域の斜面災害危険度評価手法の研究

2018 年 9 月 6 日の北海道胆振東部地震では、厚真町や安平町を中心に、多数の地すべり（広義の意味）がこれまで経験したことがない密度で発生し、甚大な人的・物的災害を与えた。当研究領域では、こうした斜面災害の発生メカニズムを、地形・地質学、地盤工学、土質力学、地震学という多角的観点から明らかにし、国内

の地震活動の活発化を受け喫緊の課題である内陸直下型地震による斜面災害の予測・減災の高度化に資することを目的とする研究を実施した。具体的に、2016 年熊本地震および 2018 年北海道胆振東部地震時に火山砕屑物堆積斜面において発生した数多くの地すべりの斜面土層構造特性およびすべり面を形成する土層の土質力学特性を明らかにし、地すべりの発生・運動機構の解明を進めた。

また、2018 年北海道胆振東部地震において、大規模岩盤地すべり地における稠密連続地震動観測を行い、すべり面土層に対する土質せん断実験を実施し、地すべりの発生・運動機構の解明を進めた。

⑤ 大規模天然ダムの安定性評価に関する研究

天然ダムの形成・決壊に関する防災学上の問題点を明確化すると共に、「ダム堤体の内部構造および物性特性に基づいた天然ダム決壊危険度評価」という新しい切り口から、天然ダム決壊危険度評価の高度化研究を継続的に推進した。

Ⅲ. 斜面モニタリング研究領域

① 大比高山地の降雨・地震斜面研究と防災活動

斜面モニタリング研究領域は徳島県三好市の徳島地すべり観測所を拠点としている。四国山地では地すべりが多発し、歴史的にも地すべり地が居住地として利用されてきた歴史があるが、地すべりの発生は河川の閉塞といった形で、山間地に居住する住民のみならず下流域全域に被害をもたらす可能性があり、継続的な観測研究が重要である。また、四国地域は台風の常襲地域であり、南海トラフ巨大地震の想定震源域の直上にもあるため、地すべり防災は山間地の人口が減少する中でも重要であり続ける。

本研究領域では、四国山地中央部の地震性および降雨によって発生した深層崩壊地や地すべり地の調査を進めており、そのメカニズムの解明を進め、地質学的な発生環境を探ろうとしている。さらに、高知県大豊町のトウジ山、愛媛県西条市千町地区に集中観測モデル斜面を設定して地震波や降雨が斜面にどのように作用するかを観測している。また、衛星観測データも活用し、地すべり・深層崩壊の発生場と発生過程を明らかにしようとしている。

斜面モニタリング研究領域の教員は国土交通省や日本地すべり学会とも協力し、活動中の地すべり地である三好市有瀬・善徳・大豊町怒田

八畝地区で住民の防災活動に講師、アドバイザー、技術専門家として協力している。その他、前述の千町地区ではセンターが独自に地すべりの観測とともに、防災講演会等を実施し、地域防災活動にも協力しながら、四国山地に共通する過疎・高齢化といった社会変化に即した山間地集落の防災のあり方を地域と模索する試みを開始した。

また、他にも重視している地域防災への取り組みの内容に三好ジオパーク構想の支援がある。同構想は国内ジオパークの候補であり、徳島地すべり観測所がある三好市が専門員を配置して地域住民と進めている。前述した地すべり地にある集落「傾斜地集落」は人類と地形・地質、そして災害が絡み合った伝統的で美観に優れる景観であり、観光面のみならず地学および防災の教育面としても重要な標本である。本観測所の山崎がジオパーク構想の学術顧問を担当しており、多くの関連イベントに関わっている。



愛媛県西条市千町地区での防災講演会（令和 6 年 1 月 30 日）

② 水中調査で切り開く過去の巨大斜面災害の解明と水中調査技術の応用

本領域では、浅水域や調査が困難な狭小水域を調査目標として海洋開発研究機構・東北大学と協力の下に手法の開発と調査を実施している。特に不可視で調査手段が限られる水中および水底は音響技術の導入が重要である。さらに、その分析には地質学的な知見が不可欠である。徳島地すべり観測所では、浅水域に特化したサブボトムプロファイラ、サイドスキャンソナー、専用艇といった音響調査装置群を整備しており、様々な科学調査に利用している。令和 4 年度においては、1888 年磐梯山噴火・巨大地すべりがきっかけとなって水没した水域を調査し、巨大斜面災害の過程解明のための情報を収集して

いる。これにより水没した旧宿場町を発見し正確に位置を特定した。また、濁り水が度々発生し、火山活動か地すべりが原因であるのか議論がある蔵王山の御釜火口湖の水底地形・地質構造調査を実施している。この調査では火口湖の水底地質構造を初めて可視化することに成功し、濁り水との関係は現時点で不明であるが、水底地すべりなどの構造も発見している。

③ 環境変動の続く北極圏の斜面災害環境分析

氷河の急速な後退と降雨の増加が顕著になってきている北極圏、特にグリーンランドを対象としてその斜面災害メカニズム解明、小集落の防災活動に協力している。グリーンランドでは 2017 年の地すべり津波災害以降、地すべり防災に関心が高まってきている。北極圏にあるフィヨルドは斜面の比高が大きく、水深も大きい。ため大規模な地すべりの発生とそれによる津波の発生が懸念されている。また、2016 年には北西部のシオラパルクで豪雨があり、過去に例の無い土石流災害が発生した。山崎はそれらの調査を進めている。

8.8 気象・水象災害研究部門

【部門の活動概要】

(1) 研究対象と活動方針

大気や水に関する現象には、人間の周りのごく微小な大きさから地球全体に至る様々な空間スケールのものが存在する。時間スケールも、竜巻のように激烈で時間の短いものや、ブロッキング現象のように一カ月以上の長期にわたって持続して広い地域に異常天候をもたらすものなど様々である。これらの現象は、人間活動とも複雑に絡み合いながら、時にはすさまじい破壊力で人々の安全を脅かしてきた。近年では、人間活動の飛躍的増大とともに大気・水環境も大きく変貌し、地域規模から地球規模まで数多くの環境問題が生じている。

6つの研究分野から成る当部門では、大気と水に関する様々な現象の発現機構の解明と予測に関する研究を通じて、大気災害や水災害の軽減と防止のために、また、様々な規模の環境問題の解決に資することを目指している。また、地球温暖化に関連して、地球規模の気候変動や環境変化に伴う大気・水循環の変化予測の研究、水災害環境対策技術の開発に資する研究、極端化・異常気象に起因する降雨・流出・河川氾濫や暴風・高潮・高波災害に関する研究も行っている。さらに、近い将来発生が予想される南海・東南海地震による津波災害の防御に係わる研究も進めている。現象の解明や予測手法のみならず、建築物・構造物の設計法など具体的な防御方策の研究までを6分野で連携して進めている。



部門の全体像

(2) 研究分野と役割

災害気候研究分野では、人間活動の影響に伴う地球温暖化によって、集中豪雨、熱波や干ば

つなど、経済・社会に甚大な影響を及ぼす異常気象が近年頻発する傾向にあるため、異常気象の発現メカニズムやその予測可能性、さらに、気候システムの維持や変動のメカニズムについて詳細に検討することが必要であり、大気組成、海洋・大気循環変動による異常気象の発現メカニズムと予測可能性、気候変動の実態とメカニズムの解明を目標に研究を進めている。

暴風雨・気象環境研究分野では、台風・豪雨・暴風など極端気象の構造や発生・発達物理機構を解明し気象災害の軽減に資することを目的とし、気象データ解析・データ同化・数値モデリングなどの手法を用いた研究、それらの災害外力の気候変動影響といった将来変化に関する研究、大気境界層や乱流の素過程、大気汚染物質や火山灰など大気輸送過程と環境への影響に関する研究等を進めている。

耐風構造研究分野では、工学的な面から強風が構造物に与える影響とそれに伴う強風災害発生機構を明らかにするとともに、建築物の耐風設計方法や強風災害の危険度予測など、強風災害低減に寄与する研究を進めている。

沿岸災害研究分野では、沿岸災害の防止・軽減を図るため、「高波、高潮、津波災害の防止と軽減—高度な沿岸災害予測法の開発と減災に向けて—」をミッションとして、研究・教育活動を行っており、海岸工学の観点から21世紀末までの長期的な国土保全の将来像について提言を行うことを目標としている。地球温暖化による海岸災害や津波減災は世界共通の問題であり、得られた研究成果が世界各国で利用されることを目指している。

水文気象災害研究分野では、豪雨災害軽減に資するため、流域場と大気場との相互作用ならびに人間活動をベースとした水・熱・物質循環系の動態解析・モデル化と予測、ならびに人間・社会と自然との共生を考慮した健全な水・物質循環システムの構築に向けた研究を行っている。リモートセンシングを用いた豪雨の予測から地球温暖化に伴う豪雨の将来変化解析に至る様々なスケールの降雨事象から流域で発生する洪水の制御、都市および地域レベルの水文現象を対象とした調査研究を進め、豪雨災害と関わる人間の生活場に関して考究している。

気象水文リスク情報（日本気象協会）研究

分野は、平成 25 年 10 月 1 日に一般財団法人日本気象協会と京都大学防災研究所が寄附研究部門として設置された。当分野では、大学における気象・水文現象の観測や予測技術に関する研究成果を一般社会に対して的確に発信するとともに、一般社会とコミュニケーションを取りながら研究成果の具体的な活用方策を提示することを目的としている。気象水文に関連する災害情報について、観測技術の高度化や予測情報の不確実性を考慮した活用方策を検討し、革新的な気象水文気象情報の創生と利用に関する研究を行っている。主に、気象・水文に関連した「観測技術の高度化」「予測情報の高度化」「情報利活用の高度化」に取り組んでいる。

(3) その他（横断的な活動等）

地球規模での気候、水循環、社会変動に伴って変化する自然災害、水資源、生態系・生物多様性に対する影響を最小限に抑える適応策などを提案するためのリスク予測や評価を実現することを目指して、文部科学省の気候変動予測に係る研究プロジェクトである「21 世紀気候変動予測革新プログラム（平成 19～23 年度）」、「気候変動リスク情報創生プログラム・領域テーマ D 課題対応型の精密な影響評価（平成 24～28 年度）」、「統合的気候モデル高度化研究プログラム・領域テーマ D 統合的ハザード予測（平成 29～令和 3 年度）」、そして「気候変動

予測先端研究プログラム・課題 4 ハザード統合予測モデルの開発（令和 4～8 年度）」において、研究部門が一丸となって進めている。「気候変動予測先端研究プログラム」では、東京大学大気海洋研究所・生産技術研究所、気象庁気象研究所、名古屋大学宇宙地球環境研究所、北海道大学大学院地球環境科学研究院等と、所内では、社会防災研究部門、流域災害研究センター、水資源環境研究センター、学内では工学研究科の研究者らと連携して研究を進めている。さらに、「気候変動リスク予測・適応研究」連携研究ユニットでは当部門が中心となり、大気・水研究グループと総合防災研究グループ、地盤研究グループとが協働して横断的な研究を実施するとともに、防災研究所を中心として温暖化予測・適応研究の所内・所外の連携を図り、先端研究を推進している。

令和 4 年度からは、ムーンショット型研究開発事業目標 8 において、コア研究「ゲリラ豪雨・線状対流系豪雨と共に生きる気象制御」を開始した。当部門が中心となり、学内の工学研究科、学外の関係研究機関と共同で、ゲリラ豪雨と線状対流系豪雨を対象に、豪雨の発生・発達過程に介入することによって豪雨の強度や発生頻度を抑制するための研究開発に取り組んでいる。

【研究分野の研究内容】

I. 災害気候研究分野

① 船舶・航空機・陸上観測

線状降水帯に対する気象庁と大学・研究機関の大規模な共同研究の下、梅雨期の東シナ海における大気海洋相互作用を解明するため長崎大学・鹿児島大学・三重大学の研究船による観測が行われた。うち学生 1 名が乗船し、榎本教授・吉田准教授は陸上からの支援を担当し、観測計画の策定に関わるとともに、観測期間中は船舶の観測位置の決定に必要な気象・海況の情報を提供した。

引き続き吉田准教授と学生 2 名が東京大学/海洋研究開発機構の新青丸に乗船し、マイクロ波放射計と雲カメラによる水蒸気・雲観測及び GPS ゾンデによる高層気象観測を行った。また、大学実習船・研究船及び白浜海象観測所・潮岬風力実験所にマイクロ波放射計・雲カメラを設置し、海上・沿岸での水蒸気高頻度観測を実施した。



新青丸に設置したマイクロ波放射計と雲カメラ

榎本教授は名古屋大学がチャーターした航空機に搭乗し、台風第 14 号に対するドロップゾンデ観測に参画するとともに、領域大気モデルを用いた予報やアンサンブル予報を用いた感度解析を提供して航路やドロップゾンデの投下位置の決定に貢献した。

京都大学×大阪ガス包括連携の下で井口助教と榎本教授、学生 1 名は、関西の複数の地点で

ドローンを用いた地表付近の二酸化炭素の鉛直分布の観測を実施し解析を行った。

② 顕著現象の予測可能性研究

2021 年に地中海発生し熱帯低気圧に類似する構造をしたメディケーンや、2022 年の梅雨期の船舶観測で観測されたメソ低気圧、同年 8～9 月における温帯低気圧や台風に対して、領域スペクトル大気モデルを用いた予報実験を行い、海面からのフラックスや水蒸気の摂動に着目し、成長モードの特性や形成メカニズム、予測可能性について調査した。また、潮岬風力実験所に設置したマイクロ波放射計・雲カメラによる高頻度水蒸気・雲・雨観測データから降水直前の水蒸気変化を解析し、降水前に水蒸気量が減少する事例の要因について解析した。

③ モデル・データ同化手法開発

気象庁全球大気モデルや領域大気モデルとアンサンブル手法に基づくデータ同化システムを用いて、台風やメソ低気圧の発達や進路に対する影響について調べた。データ同化実験においては、鳥に装着した GPS による位置情報データから風向風速を推定したバイオリギングデータを用いた実験も行い、このデータの有用性を示した。

アンサンブル変分法に用いられる最適化手法の検討を行い、非線型観測演算子の最適化におけるニュートン法や共軛勾配法の特性を明らかにした。

動径基底函数により一般化された差分法を水平離散化に用いた傾圧大気モデルの力学コアを構築し、既存のスペクトル変換法を用いたモデルとの比較を行った。

時間順方向に粒子を追跡する手法を非内挿セミ・ラグランジュ移流スキームに適用し、既存の非内挿スキームに比べて高速かつ高次の内挿スキームに匹敵する精度が得られることを示した。

火山活動研究センターが計画している軽石のハザードマップ作成に向けて、ラグランジュ移流モデルを構築し、福岡岡ノ場の事例に対するシミュレーションを行い、海流よりも海面付近の風の影響が大きいことを明らかにした。

II. 暴風雨・気象環境研究分野

台風・豪雨・暴風などメソ異常気象の構造や発生・発達 の物理機構を解明し気象災害の軽減に資するため、気象観測・気象データ解析・数値モデリング・データ同化などの手法を用いた研究を進めた。メソ異常気象の災害外力の将来変化に関する研究も合わせて進めた。また、大気境界層や乱流、乱流による熱輸送・物質輸送に関する研究も進めた。令和 5 年度に実施した研究は以下の通りである。

① 熱帯気象・台風に関する研究

数値気象モデルを用いた数値実験・数値シミュレーションにより、積雲対流の組織化の物理過程とメカニズムの解明、熱帯低気圧の発生や発達 の物理機構の解明といった基礎研究から、台風による風水害ハザードの評価といった応用研究を進めた。特に、放射対流平衡の場という理想化した条件設定での数値実験により、積雲集団や熱帯低気圧の進路や形成過程について研究を進めた。さらに、モンスーン期における中国大陸での降水の日変化過程とそのメカニズム、降水発生と環境条件に関する研究を進めた。

② 集中豪雨・暴風などメソ異常気象研究

梅雨期の集中豪雨や台風による局地的な豪雨・強風・暴風の発生機構を解明する研究をデータ解析や数値モデルにより進めた。特に、都市域での強風・突風の定量的評価を可能とするため、乱流・拡散予測に関する数値モデル研究を進めた。同時に、雷雨の予測可能性に及ぼす地形効果や環境条件に関する基礎研究を進めた。局地豪雨や集中豪雨に関しては、平成 29 年 7 月九州北部豪雨、平成 30 年 7 月豪雨、平成 30 年台風 21 号による暴風、令和元年 7 月九州南部豪雨、令和元年東日本台風、令和 2 年 7 月豪雨など近年の災害事例について実態と発生機構の研究を進めた。また、高分解能気象モデルによる複雑地形での気流の数値解析による局所的な森林災害に関する研究など、メソ異常気象研究を進めた。

③ 観測による気象災害監視の研究

気象衛星データにより、台風眼の周辺部での対流バーストや台風の急発達に関する研究を進めた。また、衛星に基づく台風強度解析の大幅な改善に成功したほか、航空機観測等の直接観測手法に関する国際共同レビューに参画した。さらに、宇宙航空研究開発機構と「超広帯域電波デジタル干渉計利用検討に関する共同研究」に関する契約を結び、次世代の顕著現象の監視に向けた取り組みを進めることとなった。

④ 温暖化環境下での気象災害研究

文部科学省「気候変動予測先端研究プログラム」に参画し、地球温暖化時の気象災害の研究を進めた。温暖化時の台風による被害を推定する目的で、領域気象モデルを用いた擬似温暖化実験を実施し、極端台風・極端豪雨による気象外力を推定し、その温暖化影響を評価した。特に、沿岸災害、森林災害など他分野と共同で、高潮・森林被害を推定した。また、温暖化実験データを用いて、東アジアにおける梅雨期の極端降水の将来変化と大気場の変化を調べた。

⑤ 気象制御に関する研究

ムーンショット型研究開発事業「気象制御による極端風水害の軽減」「データ同化システムを用いた航空機・船舶による改変影響の最適化」に参画し、都市型豪雨や台風の制御に係る研究を進めた。都市型豪雨の発生の要因の一つである熱源を操作・改変することにより、熱源の制御による豪雨の操作手法を開発することを目的として、建物解像 LES モデルを用いて都市の熱輸送制御に関する数値モデル研究を進めた。台風制御については、台風強度にインパクトの大きな物理量を探知する感度解析システムの開発を行い、近年の顕著台風事例に対し適用する研究を行った。

⑥ 大気境界層・大気環境に関する研究

原子力研究開発機構と共同で、現実気象条件で建物周りの微細規模の気流・拡散計算の精度向上のため、新たな乱流生成手法の開発を進め、都市域での大気境界層中の乱流・拡散予測研究を実施した。また、気象庁・気象研究所と「極端気象・海象の予測精度向上に資する次世代海面水温解析システムの開発に向けた共同研究」を結び、新たな海面水温解析プロダクトの構築に着手した。火山活動研究センターとともに文部科学省「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト」に参画し、桜島からの降灰予測に関する研究を実施した。

⑦ その他

京大防災研究集会・都市極端気象シンポジウム/台風研究会・台風セミナーを主催するとともに、新聞・TV 等メディアを通して気象災害に関する研究成果発信や気象災害発生時の解説等を行った。また、海外の大学において講義をしたり、一般向けや高校生向けの講演会を行ったりするなど、教育普及活動にも注力した。期間中の完全査読付論文発表数は 19 編である。

III. 耐風構造研究分野

① 強風被害メカニズム解明に関する研究

強風被害の主たる要因の一つである強風時の飛散物の空気力学的特性を風洞を用いた縮尺模型実験により明らかにした。具体的には、有風下で6自由度運動する正方形平板に着目し、実験結果に基づいて、回転運動による付加的な空気力の大きさと向きに関する仮説を提唱し、検証した。また、回転運動による付加的な空力モーメントは、空力モーメントの方向に影響を及ぼさないことを明らかにした。これらの知見により、回転しながら飛散する正方形平板の飛散経路の数値シミュレーションに必要な空気力学的情報を大幅に削減できることを示した。

住宅密集地に位置する、周囲を他の低層建築物で囲まれた低層建築物の屋根面に作用する風圧力を評価するために、約400m×800mの実街区を模擬した風圧計測実験（幾何学的縮尺比1:200）を行った。平均的には、先行研究で示されている風圧力の低減率に整合する結果が得られる一方、個別の建築物に着目すると、周囲の状況に応じて単体建築物の場合とは異なる風圧力性状を示すことが実験的に確認され、周囲の状況に応じた風圧力データベース構築の指針となる情報を得た。

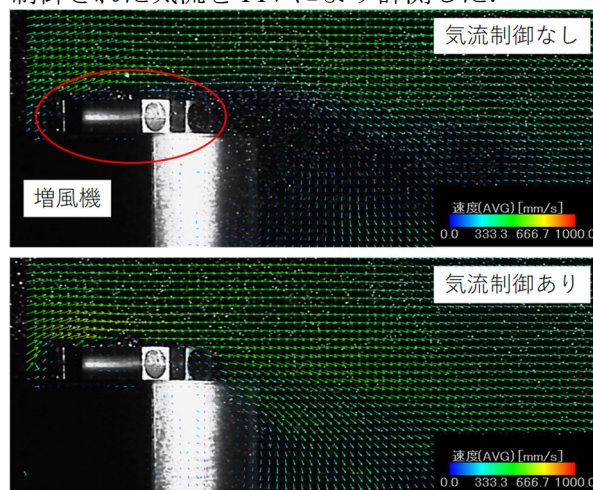
② 強風リスク評価の高度化に関する研究

ムーンショット目標8傘下の研究開発課題「台風制御による被害軽減の推計」のもと、複数の研究機関や企業等の研究者らと共同で、個々の建築物（エクスポージャ）の特徴と周辺状況を反映した広域強風リスク評価に資する研究を行った。具体的には、（1）リモートセンシングデータおよび地理空間統計情報を用いたエクスポージャのモデル化、（2）周辺環境を考慮した風圧モデリング、（3）破壊過程と部材耐力を陽にモデル化した工学的被害関数の構築、（4）それらを統合しリスクを計算するためのプラットフォームの構築を推進した。

③ 豪雨抑制に資する気流制御に関する研究

ムーンショット目標8傘下の研究課題「室内実験による工学的手法に対する要求性能の特定」のもと、風洞実験における建築物および都市模型周辺の3次元3成分風速場計測に関する計測パラメータの検討、気流制御デバイス模型の製作と模型を用いた気流制御に関する研究を行った。特に、粒径0.3mm程度のトレーサ、レーザー光源あるいは高輝度LEDを用いて、最大5m×1.5m×1m程度の大空間を対象とした3次元3成分PIV（Particle Image Velocimetry）およ

び3次元PTV（Particle Tracking Velocimetry）による気流計測を行う際の光源と撮影に関する条件を明らかにした。また、1m/s程度の風速を生成できる20mm×20mm×50mmの「増風機」模型を製作したうえで、建築物を模した模型頂部に設置し、風洞実験を行い、気流を制御し、制御された気流をPIVにより計測した。



④ 新たな風速風圧計測・風洞実験手法の開拓

円柱状物体から放出されるカルマン渦列の放出周期の逆数 f 、風速 U および円柱状物体の断面の直径 D で定義されるストローハル数($St=fD/U$)が、レイノルズ数 $5 \times 10^2 \sim 2 \times 10^5$ の範囲で0.2になるという事実に基づいた、音の録音・解析による風速計測が可能であることを実証した。また、建築物を構成する外装材の応答を計測することで建築物に作用する風圧を推定することが可能であることを部分模型実験及び実大実験により明らかにした。さらに、航空写真等で得られた画像から3次元点群を生成し、生成された点群データから3Dプリンタ用ファイル(STLファイル)を生成することで実街区の風洞実験模型を製作する技術を開発した。

⑤ 風リテラシー向上に資する教材開発

初等教育課程の中で風に関して学習する機会が少ないこと、風に関する教材が少ないことから、小学生を対象とした風に関する教材（容易に入手可能なマイコンとセンサーおよび3Dプリンタで製作できる三杯風速計と計測した風速をマッピングし考察するツール）を開発し、小学生を対象に授業を実施した。

⑥ その他

火山噴出物の飛散・拡散に関する数値シミュレーションに資する要素研究を行った。

2件の査読論文、5件の会議発表、2件の記事、3件の一般向け講演、メディア報道2件。

IV. 沿岸災害研究分野

① 気候変動による沿岸災害変動評価

「文部科学省・気候変動予測先端研究プログラム；領域課題 4：ハザード統合予測モデルの開発」等のサポートのもと、気候変動に伴う波浪・高潮・海面上昇による沿岸災害リスクの変化を解析した。

非構造格子有限要素法モデル ADCIRC を用いて、北西太平洋を対象とした高潮解析を実施した。高解像度大規模アンサンブル気候データ d4PDF5km の台風特性を精査すると共に、日本全国の高潮将来変化について明らかにした。

短期的な海洋の影響を考慮しつつ計算コストを抑えるため、台風と海面での 1 週間程度の相互作用を簡易に考慮できるスラブ海洋モデルを MRI-AGCM と結合させた AGCM-Oslab を用いて、温暖化の台風への確率評価を可能とする温暖化気候実験を実施した。温暖化に加えて、海面水温条件の違いが台風の自然変動と与える影響を確率的に評価した。台風の自然変動に対する支配的な海面水温パターンを同定した。

② 津波・高潮災害リスクに関する研究

市街地スケールの津波や高潮の挙動を詳細に評価する数値モデルの開発研究、起こり得る海溝型地震すべり分布を人工的に生成する確率津波モデルの開発、地震・津波・火災の複合ハザード・リスク評価手法の開発を行っている。

効率的な津波・高潮浸水シミュレーションのために、個々の建物を解像しないサブグリッドスケールモデルを開発した。このモデルでは、計算グリッド内の複数の建物構造に関する空間情報を考慮し、計算グリッド内の建物抗力の総和が流れ場にフィードバックされる。モデルの性能を評価するため、2011 年の東日本大震災で被害を受けた女川町における津波浸水や、2013 年の台風 Haiyan による高潮浸水の再現実験を実施した。その結果、開発したモデルは、建物を詳細に解くモデルよりも効率的に浸水深や浸水限界などの浸水特性を表現できることがわかった。

断層深さ等の断層パラメータが沿岸の津波高さに与える影響を定量的に評価した。内閣府中央防災会議の南海トラフ想定震源域の断層モデルを基本に、Mw9.1 のすべり量分布をランダムに 100 ケース生成し、日本の太平洋沿岸域を対象に津波計算を実施した。このほか、すべり量分布は同一で断層深さのみを置き換えた 100 ケースで津波計算を行い、津波高さの統計量を比

較することでパラメータの変化が沿岸の津波に与える影響を評価した。中央防災会議のモデルから断層深さを 5 km 深くすることで沿岸域の外洋に面した地点で津波が 1m 程度高くなるなど、断層深さの誤差に対する津波高さへの感度を定量化した。

既存の津波・高潮モデルを拡張し、気圧波の進行とともに海面が励起され増幅する気象津波の計算モデルの開発を行った。このモデルを用いて 2022 年 1 月のトンガ火山噴火に伴う気象津波の再現計算を行ったところ、火山から 8,000 km 以上離れた日本沿岸域で最大津波振幅や時系列波形を良好に再現した。この結果から、最大振幅をもたらした増幅要因が日本各地で異なることが明らかになった。

③ グリーンインフラによる適応策の提案

気候変化およびそれに伴う海面上昇により、高波・高潮や津波は東南アジア・南太平洋の国々における深刻な課題になることが懸念されている。一方で 2004 年のインド洋津波では、マングローブによる減災効果が観測され、沿岸災害の軽減策として「グリーンインフラ」の価値が注目されてきた。当研究分野では、インドネシアを対象とした「SATREPS：沿岸でのレジリエント社会構築のための新しい持続性システム」プロジェクトにおいて、近年沿岸部の脆弱性が増すインドネシアを対象に、沿岸環境のモニタリング、沿岸ハザードのモデリング、グリーンインフラを用いた沿岸地域の防御機能向上および社会実装手法の構築について研究を進めている。複雑なマングローブの樹形をパラメタライズし、マングローブによる波浪減衰効果を評価する数値モデルの開発を行った。

④ その他

上記の研究の他、台風高波の先進的な観測の実施、波浪結合気候気象モデルの開発、巨大波の発生メカニズムのモデル化等の研究を実施した。

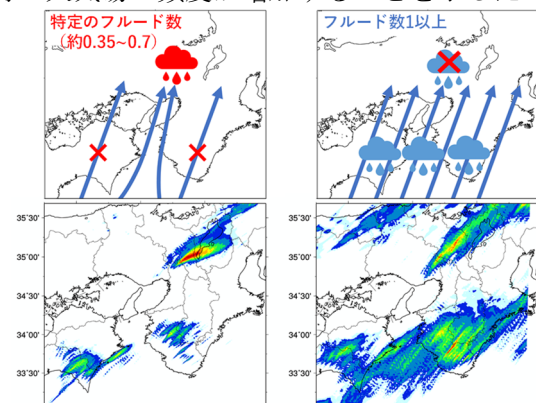
研究成果を広く社会に周知するため、1961 年より毎年の研究論文を論文集録としてまとめ、全国の大学および研究機関の関連研究者に配布している。

V. 水文気象災害研究分野

① 21 世紀気候変動による豪雨災害変動評価

令和 4 年度に開始した「気候変動予測先端研究プログラム」において、同部門をはじめとする多くの研究室と協働して研究を進めた。

5km 解像度の大量アンサンブルデータ d4PDF を用いて停滞前線に伴う線状対流系を対象に解析を行い、5km という解像度でも局所的な線状対流系豪雨を定性的にも定量的にも良く表現可能であることを確認した。その上で、将来は線状対流系豪雨の発生頻度が増加し、強度も増すことを明らかにした。また、線状対流系に水蒸気が輸送されるプロセスと大気フルード数に着目して解析を行った結果、特定のフルード数の値が内陸への水蒸気輸送及び局所的な線状対流系の発生に重要な意味を持つことを明らかにするとともに、将来はその特定のフルード数を持つ大気場の頻度が増加することを示した。



フルード数と水蒸気輸送及び線状対流系の関係

② 豪雨生成・発達メカニズムの解明

豪雨の生成・発達に関するメカニズムを、観測及びモデル解析の両面から行った。

線状対流系に関して、その生成・発達に重要な自己組織化構造に着目し、定量的パターン解析手法であるマルチフラクタル解析により大気場構造の遷移を解析した結果、豪雨発生の予兆をリアルタイムに捉えることができる可能性を示した。また、LES モデルを用いて偶然性が線状対流系に与える影響を解析した結果、水平渦管を中心とした気流構造を介して、偶然性が線状対流系に影響を与えることが明らかになった。

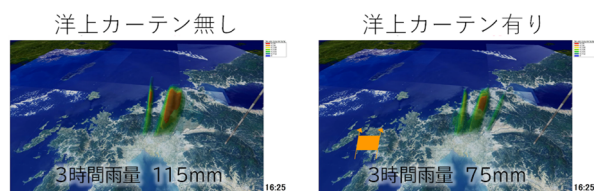
マルチセル豪雨に関して、雲・降水粒子を詳細に表現可能な bin モデルを用いてシミュレーションを行うことで、二峰性の雨滴粒径分布の形成過程について解析を行った結果、二峰性分布はマルチセルの成熟期に発生し、上昇流域と下降流域の間に形成されるという事を示した。

③ 防災利用を意識したモデル開発・応用研究

メカニズム解明と並行して、防災利用を意識した研究も進めた。まず、ライフステージという概念を「ゲリラ豪雨」だけでなく、「ゲリラ豪雨」と「線状対流系」を統合した概念に発展させた。積乱雲の結合が進行途中であり上昇流の維持機構が主にバックビルディングによるものである前半と、積乱雲の結合が進み、系内で組織化した強い渦管が系内の上昇流の維持・強化に寄与している後半の大きく二つに分け、さらに後半においては、渦度の作用による上昇流の維持機構が消滅することで系の衰退が始まる段階をさらに後ろの段階として捉えることで、計 3 つのステージによって構成されるライフステージを提案した。また、気象モデルの雲微物理過程に凍結粒子を 4 種類目の氷粒子として導入した新たな雲微物理スキームを開発し、凍結粒子が霰よりも大きな落下速度を持ち、速く融解することによる降水強度の強化や、それに伴うコールドプールの強化が降雨域の移動や対流の強化を引き起こしうることを示した。その他、鉄道の安全運行に資するものとして、地形性降雨を考慮したレーダー雨量予測手法や、降雪量推定のための新雪密度推定手法を開発した。

④ 豪雨制御シミュレーション

ムーンショット型研究開発事業目標 8 のコア研究「ゲリラ豪雨・線状対流系豪雨と共に生きる気象制御」において、線状降水帯の一例である 2017 年九州北部豪雨を対象として豪雨制御シミュレーションを行った。数値計算で、1km 四方の洋上カーテンを想定した水蒸気流入の抑制を行うことで、線状対流系の 3 時間雨量が 34%抑制することを示した。洋上カーテンの設置位置に関する感度実験を行い、特に大気下層の水蒸気流入を抑制することによって、豪雨の抑制効果が大きいことがわかった。



九州北部豪雨に対する 3 時間雨量の抑制

⑤ その他

9 編の完全査読付論文として学術雑誌に発表した。加えて 23 件の一般向け講演や、14 件の新聞・テレビ等のメディア出演を通して、社会貢献に努めた。

VI. 気象水文リスク情報（日本気象協会）研究分野

① ドローンを活用した観測技術の高度化

現実の気象で生じている気象・大気現象の把握や、これらを予測するためのシミュレーションモデルの高度化のためには、上空の気象を正確に測り、時間・空間的に密な観測データを得ることが重要である。そこで、桜島をフィールドとして、ドローンを利用して地上から高度 1000m 程度までの下層大気の気温・湿度、風及び火山ガス濃度と火山灰濃度の観測を実施した。平均風速、乱流強度ともにドップラーライダー観測値とよく一致し、ドローンによって乱流強度の観測が可能であることが確かめられた。一方、2023 年 5 月 17 日の観測では、地上のドップラーライダーで測定された鉛直的な風の分布と比較することで、2 種類の風速計センサーの移動中の観測精度の検証を行った。その結果、ドローンが下降中に行われた計測では、風速変動の影響がより顕著であることが明らかになった。

加えて、土砂災害発生時の早期探知に向けて斜面微地形と植生をより精密的に測量するため、現地でドローンライダーによる観測を行い、検証した。

② 気候変動に伴う土砂災害リスク将来変化の評価

近年極端降雨が頻発し、気候変動に伴いその傾向はさらに強化されており、特に急傾斜の山地の周辺地区では、将来の土砂災害の発生状況を把握することが重要となっている。土砂災害を防止及び軽減するため、関西地区において人口が稠密する六甲山地を対象として、気候変動による土砂災害発生の将来変化の解析を行った。現地観測データと領域気候モデルのデータを用いて六甲山地の各水系における降水強度、継続時間及び発生頻度の将来変化傾向の空間分布が明らかになった。また、各 3 次メッシュにおけるスネークラインの特徴と土砂災害警戒情報発表に相当する CL 超過回数の将来変化が得られた。さらに気候モデルのメッシュサイズの違いが CL 超過回数の傾向に与える影響を降雨成因ごとに分類し詳細な解析を行った。本研究の実施にあたり、国土交通省六甲砂防事務所との連携を深めることができた。

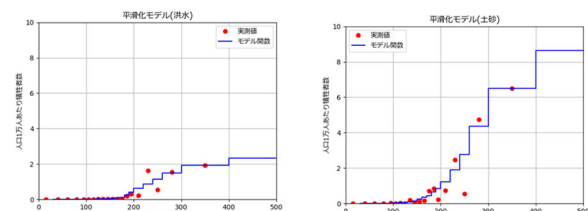
③ 市町村の視点を考慮した洪水予報モデルの精度評価

京都府全域を対象に、1)平成 25 年台風 18 号、2)平成 30 年 7 月豪雨、3)平成 26 年 8 月豪雨、

4)平成 26 年台風 11 号における解析雨量+降水短時間予報を降雨流出氾濫モデルに入力し、河川水位予測の精度評価を行った。市町村の防災担当者を対象としたアンケートの結果、全ての回答者が避難判断水位に着目しており 1~3 時間前に水位の予測情報が必要であることがわかった。アンケート結果をもとに、過去の 4 出水事例を対象に、実況水位が避難判断水位に達する時刻の 1 時間以上前に洪水予測システムが避難判断水位に達すると予測できていたか、という観点で適中率を計算した。1)と 2)の適中率は 80.7%、77.4%であった。1)と 2)は避難判断水位を超過した事例が多く、広域で豪雨が発生した事例であり、洪水予測システムの精度はよかった。また、出水規模が小さい 3)と 4)の適中率は 80%と 54.6%であった。このように洪水規模に応じた出水規模を明らかにし、実用的な評価指標の作成を行った。

④ 豪雨災害における犠牲者数推定とその活用

各関係機関や住民に対して防災対応行動を促すためには、気象予測に留まらず発生し得る被害規模についての情報提供も必要である。本研究では、過去の雨量観測最大値との比である「既往最大比」と災害危険区域、人口分布、居住形態の各データを使用し、過去の豪雨事例から水害犠牲者数を推計するモデルを構築した。その際、河川・洪水と土砂災害のそれぞれで推計モデルを構築し、2010-2022 年の豪雨 78 事例の雨量データと犠牲者発生位置データで分析を行った。その結果、土砂災害は洪水に比べて災害リスク区域内人口当たりの犠牲者数が多くなる結果が得られた。土砂災害では遭難時の致死率が高くなる傾向が示された。一方で、洪水災害では 2018 年や 2020 年の大雨事例において人的被害を過小評価する傾向にあった。洪水災害については、流域を考慮した被害推計モデルの検討も必要であることが示された。



構築した洪水災害と土砂災害の犠牲者数推計モデル

⑤ その他

4 件の査読付き論文、10 件の国内外学会発表。

8.9 流域災害研究センター

【センターの活動概要】

(1) 研究対象と活動方針

流域災害研究センターは、「流域の視点にたった災害の予測・防止・軽減に関する研究を実験や観測、解析から総合して行う」ことを目的に発足し、流砂災害、都市耐水、河川防災システム、沿岸域土砂環境、流域圏観測の5研究領域からなる組織である。また、本センターは、宇治川オープンラボラトリーおよび穂高砂防観測所、白浜海象観測所、潮岬風力実験所、大潟波浪観測所を有し、水理実験や立地条件を活かした特色のある幅広い観測研究を行っている。これらの施設を利用した実験、観測および数値シミュレーションなどにより、災害現象を総合的に明らかにし、災害の予知・予測、防止、軽減に結びつく先導的な研究を推進している。多数の実験・観測施設を有する本センターの研究活動の基本方針は、防災研究所の連携研究推進機能を支える重要な役割を受け持つという認識のもと、実験・観測施設を学内外に広く開放し、学際的な実証研究を推進することである。

研究対象は、山地災害、土砂災害、河川災害、都市災害、海岸災害、風災害、火山災害など、流域において豪雨や地震、津波、台風、強風、火山噴火などによって起こる自然災害全般に及び、物理的な現象解明を通して災害を予測し、軽減するための研究を行っている。また、山地から沿岸域までの流域を通して水や土砂などの物質輸送過程を解明し、大気、水、土砂などの不均衡によって、流域・沿岸域で生じる様々な災害過程を究明している。

本センターでは、今後我々の脅威になる自然現象に焦点を当て、プロジェクト研究を行っている。まず、気候変動の影響による降雨量の増加により、流域治水プロジェクトが日本各地で策定されているが、本センターでもこのような社会的背景に鑑み、流域治水に関連する幅広い研究を重点課題としてとらえている。また、南海トラフ地震に代表されるような巨大地震による大津波、火山の大規模噴火や突発的な噴火による災害に対する対策の強化も強く求められている。これらに関する研究も重点課題として取り上げている。また、上記の重点課題と関係のある現象について隔地施設を使った観測研究を行っており、実証学的手法からも重点課題の解

決に向けて研究を推進している。以上のように重点課題として、流域治水に関する研究、地震津波災害に関する研究、火山防災に関する研究、これらと関係する大気海洋観測研究、山岳地域観測研究を実施している。

(2) 研究領域と役割

流砂災害研究領域では、山地から海岸までを包含する流砂系における土砂災害の予測、山間部からの水・土砂の流出動態の把握、さらに安全と環境の両面で健全な流域の土砂環境を維持するための土砂流出制御方法などに係わる諸問題に対して、実験や観測による現象の素過程の力学的機構の解明や、それらを組み合わせたシミュレーションおよび土砂流出制御技術の開発を主体として研究を行い、流砂系の総合的土砂管理技術の確立を目指している。

都市耐水研究領域では、特に沿岸域・河川流域の低地帯に発展した都市域での地震・津波・水害など多様な災害事象に対する安全性・性能の評価と工学的な対策技術の確立を目的として、都市水害の防止・軽減を図る方策の提言、構造物・流体あるいは両者が関わる複雑な連成力学現象の解析、実験的評価、都市基盤施設の設計や維持管理技術に関する研究を行っている。

河川防災システム研究領域では、豪雨によって河川流域内で発生する洪水氾濫災害、内水氾濫災害、土砂災害等に対して、その発生機構を明らかにし、被害の防止・軽減のための対策に関する研究を行っている。そのため、数値解析や水理実験や現地観測を駆使して、降雨を外力とした内・外水氾濫の機構解明と被害予測、土石流・斜面崩壊等の機構解明と被害予測、水・土砂の相互作用による氾濫被害の予測、ハード対策による被害軽減効果の評価などに関する研究に取り組んでいる。

沿岸域土砂環境研究領域では、流域の総合的な水の管理と防災の一環として沿岸域の管理と防災を課題としている。令和2年度には、これまでも取り組んできた可動型津波防波堤システムを補佐する可動型の津波低減装置“防波扉”を提案し、その適用性と効果を模型実験と数値解析で明らかにしている。令和3年度には、海岸砂丘背後に位置する防潮堤に作用する津波波力の特性を実験と数値解析から明らかにし、引

き続き沿岸における土地利用と防災の関係についても考察を行った。令和5年度から植生帯と流れの関係、流域の流木動態、沿岸域の自動観測システムの研究にも取り組んでいる。

流域圏観測研究領域では、流域圏を構成する大気、河川、土砂、沿岸を対象として、4つの現地観測実験施設（潮岬風力実験所、白浜海象観測所、穂高砂防観測所、大湊波浪観測所）において自然災害研究の最前線での現地観測・実験を展開している。潮岬風力実験所では大気現象を対象に、白浜海象観測所では沿岸域・河口域を対象に、穂高砂防観測所では山地流域の流域土砂動態を対象とした観測研究、ならびに所内、学内外との共同研究を実施している。

(3) その他（横断的な活動等）

流域災害研究センターの教員は、防災研究所の3つの連携研究ユニット、気候変動リスク予測・適応研究連携研究ユニット、地震津波連携研究ユニットおよび火山防災連携研究ユニットに参画し、これらの連携研究ユニットを活用して、本センターの重点課題に関する研究を他の部門・センターと連携して実施している。気候変動リスク予測・適応研究連携研究ユニットについては、将来の気候によって内水氾濫や土砂災害の発生するリスクを、予測された降雨強度を入力条件に数値解析を用いて評価している。地震津波連携研究については、西日本最大の津波再現水槽を用いて、原子力規制庁の受託研究を継続して行っている。

隔地観測所においては、それぞれの特徴を生かした共同研究や共同観測を幅広く実施している。白浜海象観測所の田辺中島高潮観測塔や潮岬風力実験所を活用した気象・海象に関する共同観測、穂高砂防観測所での流砂観測の国際展開などが特筆される。

宇治川オープンラボラトリーおよび隔地観測所は京大ウィークスに積極的に参加している。また、学部・大学院の教育プログラム、SSHなどの高校の教育プログラム、小中学校の教育プログラム、技術者を対象とした研修などにおいても、センターの施設の利活用が図られている。このように、施設を活用して、防災技術や防災政策の発展のために、教員の持つ防災に関する知見を行政組織や技術者に還元することや、一般市民や学生への防災啓発活動や防災教育を行っている。

【研究領域の研究内容】

I. 流砂災害研究領域

① 豪雨による土石流の氾濫・堆積による被害 予測方法と防災・減災対策に関する研究

山間部から発生する土石流は流動性が高く、発生すると氾濫・堆積により山麓の住宅地や交通インフラにも重大な被害を及ぼす恐れがある。豪雨時に発生し得る土石流の規模や流出過程を検討するとともに、氾濫・堆積の範囲や深度、流体力などの詳細な危険度分布を把握するための被害予測方法や、防災・減災対策について、実災害を対象とした土石流シミュレーションにより検討する。特に、砂防堰堤以外の対策として、マルチシナリオを考慮した警戒区域内での詳細な危険度分布の把握や、住宅地内での空き地や道路などの土地利用を変化させることで、砂防堰堤の土砂捕捉と異なり下流側に流出させるが、土石流による土砂や流れによる被害が生じないように誘導して、無害化を目指した減災対策を検討した。

警戒区域内で空き地や道路、谷出口周辺を土地改変することで、砂防堰堤以外にも土石流による建物の全壊や半壊のリスクを減らす対策を提案する手法を示した。減災効果が大きいのは、谷出口付近の上流側にスペースを設けて空き地を作り、遊砂地として利用することである。一方、土地利用の変化により土石流挙動が変化し、下流側の被害が大きくなる可能性もあるので、土地利用変更による影響までを考慮した減災対策が必要である。道路を利用して土石流を誘導する際は、斜面と垂直方向に伸びる道路ではなく、斜面方向に伸びる勾配の急な道路を利用することが効果的であった。

② 土石流の構成材料や河床条件が土石流挙動に及ぼす影響の検討

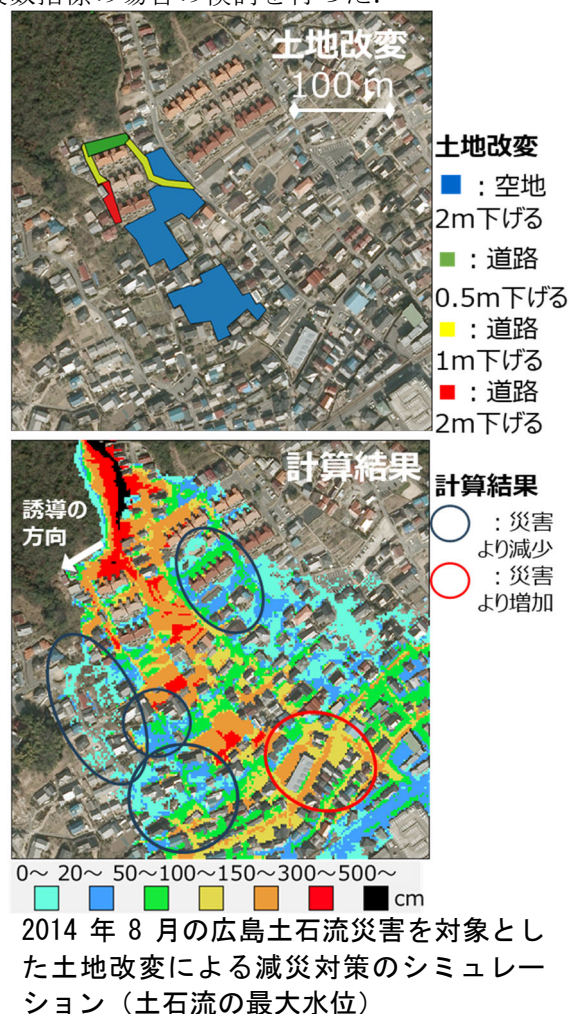
土石流の影響範囲の推定にはシミュレーションが有効なツールだが、適用モデルの多くは河床底面の凹凸が大きな自然河道を基に提案され、代表粒径が採用される。一方、山間部の住宅地では急勾配の道路や流路が設置されて、土石流の流下経路となる場合もある。道路は底面の凹凸が少なく、自然河道と同様の土石流挙動を示すのか知見が十分でない。そこで、宇治川オープンラボラトリーの可変勾配の直線矩形水路等を用いて山間部の溪流と道路を模した河床形状での実験を行った。

河床形状が流速分布や土砂の移動過程に及ぼす影響を明らかにして、粒子衝突が内部応力と

なる既往の石礫型土石流モデルの適用性に関する知見を得ることを目指した。結果から、舗装路など底面の凹凸が小さい条件では、自然斜面のような凹凸が大きい条件と比較して、土石流内部での土砂の跳躍や衝突により生じる抵抗が少なく、流速が上昇して、流出流量や土砂濃度の増加が発生することから、被害拡大の恐れがあることが明らかになった。

③ 山地河川での流木流出が橋の閉塞に及ぼす影響と防災対策に関する検討

流木による橋の閉塞に伴う被害を軽減するためには、流木が橋に集積して閉塞が起こる条件を明らかにする必要がある。山地河川の射流域を対象にした水路実験を実施して、従来の時間変化を考慮しない指標と比べて、流木流出の時間変化に着目した指標を用いることで高精度な橋の閉塞・非閉塞を判別することを目指した。実験結果の閉塞・非閉塞は同じ流木量でも混在領域が存在するため、ロジスティック回帰分析による統計的手法を用いて、単一指標の場合と複数指標の場合の検討を行った。



II. 都市耐水研究領域

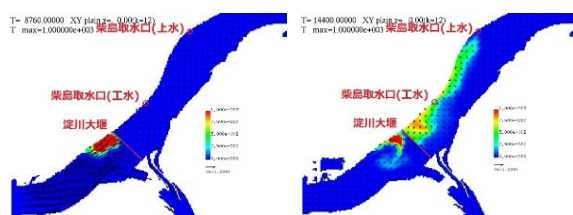
① 巨大津波発生時の都市域における複合災害に関する研究

我が国の大都市の多くは臨海部で発達している。これらの都市では、巨大津波が発生した場合、津波本体の波力による被害だけでなく、それに伴う漂流物被害、人や物品の流出被害、河川遡上に伴う塩水および有害物質の拡散被害などが複合的に発生することが懸念されている。また、津波力を低減させる方法として、必要ときに起き上がり津波から沿岸を守る可動式防波堤が提案されている。この防波堤の基本特性などについては十分検討しておく必要がある。

本研究領域では、このような津波に伴う複合被害の予測・評価に関する研究を行っている。

そのうち、津波漂流物の被害に対しては、陸上や河川を遡上する津波に伴う漂流物の挙動を精度よく予測するため数値解析モデルを開発している。このモデルを遡上津波に押されて移動する陸上設置物を対象とした水理実験に適用して、設置物の移動速度を適切に再現できることを確認している。

また、河川を遡上した津波が河口堰を越流することにより発生する河口堰上流での塩水や有害物質の拡散に対し、平面二次元—三次元ハイブリッド津波挙動解析手法を活用して河口堰上流での塩水及び有害物質挙動解析を予測評価できる解析モデルを構築している。これを淀川大堰に適用し、大堰上流に位置する浄水場を対象に津波発生時の取水影響について議論している。



流出直後 拡散の様子
南海トラフ巨大地震発生時の淀川における
有害物質拡散挙動

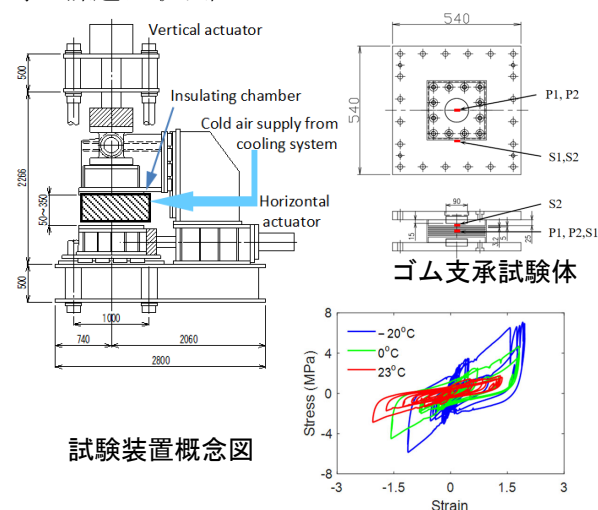
② 極端事象に対する構造物の性能評価と設計法に関する研究

地震・津波等の災害時における構造物の安全性を確保する上で重要となる、極端事象時の外力に対する性能評価と構造設計法に関して、i) 水平 2 次元内での地震動特性のモデル化、ii) 構造物の非線形弾塑性応答を評価するための入

力地震動の設定、iii) 応答低減装置の経年劣化による特性変化と動的応答評価の検討などの項目の研究を実施した。

③ 構要素の災害に対する性能評価と維持管理

長期間供用された社会基盤施設構造物では、経年劣化や低温環境などの要因による性能の低下対策や維持管理が重要な課題となる。特に道路橋の地震防災を考慮した設計の観点から広く用いられているゴム支承の性能評価および維持管理に関して i) 寒冷地への橋梁への適用を前提とした、高減衰ゴム支承 (HDR-S, SPRS) の低温時の復元力特性の実験的検討とモデル化、ii) 免震ゴム支承の経年劣化による特性変化の評価、等の課題に取り組んだ。



試験装置概念図

温度による復元力特性の相違

橋梁用高減衰ゴム支承の低温環境载荷試験

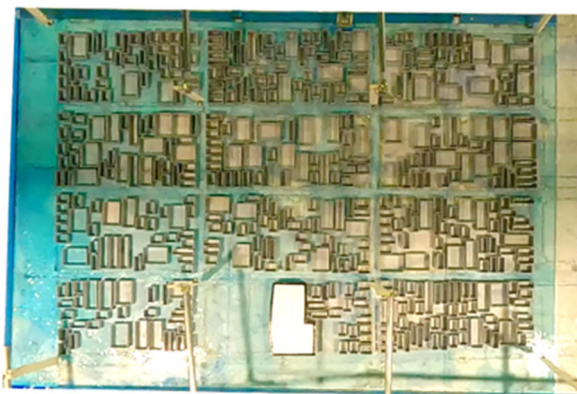
④ 長多径間連続桁渡河橋の常時動態観測データに基づく挙動分析

河川を跨ぐ規模の大きい橋脚には免震支承およびダンパーを用い、他の橋脚および京大では低摩擦すべり支承を用いた新しい形式の長多径間連続桁渡河道路橋として建設された実橋梁に関して、常時および地震時挙動には未解明の部分がかった。維持管理および将来の設計法の合理化への応用を目的として実施された常時動態観測のデータに基づき、温度変化・風等の作用による伸縮挙動や地震動下での応答の検討を行った。

III. 河川防災システム研究領域

① 豪雨による内・外水氾濫の予測モデル

昨年度に続き、氾濫解析モデルにおける建物のモデル化について、建物内の浸水を考慮した氾濫実験の再現計算を行った。非構造格子によって道路と街区を分割し、街区内の建物には内部水深を変数として与えて格子内の空隙率に応じて建物内外の水深をそれぞれ解析するモデルを適用することで、道路に沿った氾濫水の流れ、建物内浸水による氾濫水の伝搬の遅れ、建物による氾濫水への抵抗などの影響が表現できた。さらに、このモデルは構造格子を用いた国交省モデルと計算速度が大きく変わらないことがわかり、都市域の道路・建物を考慮した実用的な解析モデルを提案することができた。

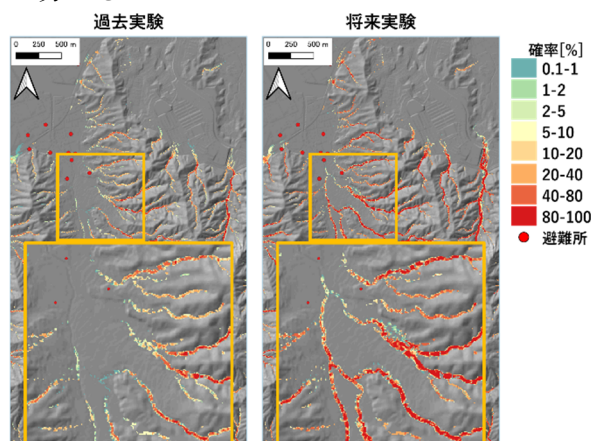


建物内の浸水を考慮した都市域の氾濫模型実験

島根県松江市を対象として、内水氾濫軽減のための貯留施設による浸水被害軽減効果の定量評価を試みた。まず、松江市街地の氾濫解析モデルを構築し、2006年と2021年の豪雨を用いて再現計算を行いモデルの妥当性を検証した。つぎに、流域内にある水田、ため池、公園・校庭、住宅・事務所においてそれぞれ雨水のオンサイト貯留を考慮し、浸水深の解析結果がどの程度軽減されるかを検討した。結果として、流域内の各施設の貯留容量を雨水貯留ポテンシャルとして評価し、相当する雨量に換算することでどの程度の降雨に対応できるかを定量的に評価することができた。また、貯留容量に対する稼働率を求めることで貯留施設の特徴と浸水軽減への貢献度についても評価した。さらに、予測降雨量の時間変化に応じて貯留開始時刻を判断することで、より効率的に流出抑制を行うことが可能になることを示すことができた。

② 土石流被害領域の確率的予測に関する研究

土砂災害の被害領域を決定論的ではなく、確率論的に予測する方法論の構築を行っている。本年度は、順序ロジスティック回帰に基づく地形・降雨条件を入力とした土砂生産量の確率的予測モデルと、土石流の流動・堆積モデルを統合したアンサンブルシミュレーション手法を提案した。この手法により、流域内任意の地点において、降雨条件に応じた流動深や堆積深等の確率的な情報を得ることができる。また、d4PDF から得られる現在・将来の100年確率降雨条件を入力することで、土石流被害領域の将来変化を評価した。これにより得られた、堆積深さ10cm以上となる確率の空間分布を下図に示す。将来条件だと、流域内の土砂生産量が増加し、より下流まで堆積域が到達していることが分かる。



過去と将来の100年確率降雨を入力した場合の10cm以上の土砂堆積が生じる確率の空間分布

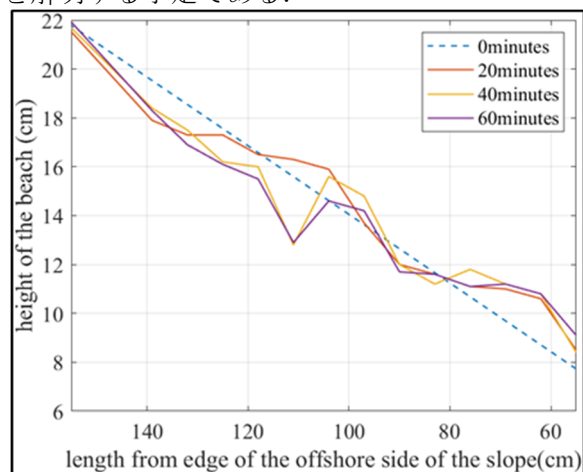
③ 不均質な堤体材料と堤外の流れを考慮した越流破堤実験

堤体材料の相違が破堤特性に与える影響を明らかにすることを目的として、堤体材料の不均質性と堤外の流れを考慮した越流破堤実験を実施した。その結果、不均質な構造を有する堤防と単一の材料で作られた堤防とでは、破堤過程の中で、破堤口の形状に違いがみられ、また、前者では後者に比べて、裏法面の破堤口の拡幅速度が早い段階で上昇し、それに伴い、越流量が大きくなることが確認された。また、堤外の流れがあることにより、堤防の下流側では、上流側よりも侵食が進行しやすいことがわかった。

IV. 沿岸域土砂環境研究領域

① 海浜変形プロセスの実験的説明

海浜保全とその対策を考えるためには、波による土砂輸送のメカニズムを明らかにする必要がある。古くより海岸工学の基幹テーマとして国内外の多くの研究者が取り組んでいるが、複雑な現象や実験のスケール相形の制約等の課題のため、多くの未解明点がある。宇治川オープンラボラトリーにある長さ 34m、幅 0.4m、深さ 1.2m の造波水路とピストン型造波機を再整備して、移動床の造波実験を行った。時間とともに砕波領域でトラフが形成される（図-1）。またこの領域での流速計測より、沖方向の底面流れの存在が示された。これによりトラフから沖側で土砂が堆積する。厳密には砕波に伴う乱流が重要な役割を果たしていると思われる、今後は可視化計測も含めてより詳細な現象の素過程を解明する予定である。



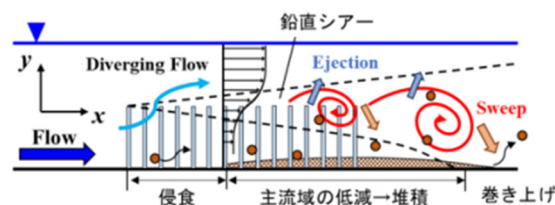
模型海浜の時間発達の様子

② 植生粗度による乱れ生成と物質輸送の研究

河川や沿岸域の植生帯は流れに影響を及ぼすだけでなく、水生生物のハビタットとしての役割をもつ。またブルーカーボンとしても期待されている。植生によって乱れの生成が促進されるため、土砂や栄養塩、さらには溶存ガスの輸送動態にも大きなインパクトを与える。

特に植生群落を有する開水路流れを対象に、室内水路実験を通じて運動量・物質輸送メカニズムの解明を試みた。河道内植生の発生要因である礫河床への細粒土砂・種子の輸送過程を想定し、粗面上および内部における乱流の組織構造および浮遊粒子の輸送過程を考察した（図-2）。また河道内に剛体植生群落が遍在する流れ場を対象に植生高さおよび群落幅を変化させた幅広い実験条件の下で PIV 流速計測を実施し、

植生群落近傍の三次元的な乱流構造および物質輸送過程を解明した。さらに柔軟性を有する植生帯と浮遊砂堆積についても水理実験について研究を進めている。



植生帯と土砂堆積の現象モデル

③ 沿岸域の自動水理観測ロボットの開発

これまで開発した河川流速の自動計測ロボットを沿岸域の観測に適用できるように改良した。沿岸域における波浪諸元を正確に計測することは、適切な防災対策を行う上で重要である。GPS で自律航行して波高や周期を計測するロボットボートの開発を継続している。



沿岸域で観測中のボートロボット

④ 流域における流木・沈木の輸送特性

河床の沈木が流下すると、ゲートや堰などの河川構造物が閉塞等の重大な事故を引き起こすことがある。そのため、沈木の正確な動態予測を考慮した河川管理が必要となる。しかしながら、沈木は一般的な河床構成材料の砂礫よりも比重が小さく指向性がある形状をもつため、その掃流特性は従来の土砂水理学の知見のみではカバーできない。そこで、流下特性の基礎的知見を得るために水路試験を行った。実験水路の路床に設置した円柱型の沈木モデルの流下特性を、カラートラッキング法によって画像解析した。主流軸に対する沈木の姿勢角（ヨー角）と沈木の軌道や、側壁に接触するまでの移動距離を実測した。特に実験データに基づいて沈木長さや根の影響を考察した。

V. 流域圏観測研究領域

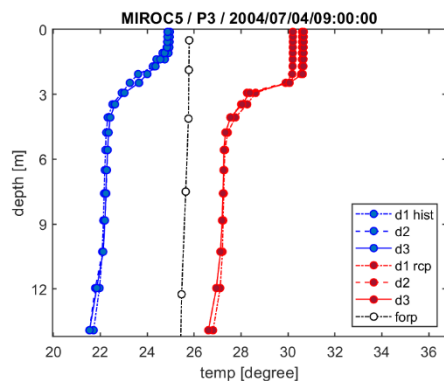
①潮岬風力実験所

実験所で観測されている気象データの提供、所有のゾンデ観測装置を用いた気象観測および観測テストなどを実施した。2023 年度夏期には、実験所南側のエリアで雨量計のフィールド試験を実施した。適切な雨量計の使用は正確な雨量観測にとって重要であり、海に近い地点で台風による強風、塩害による雨量計への影響を調査するための実地試験を実施した。

②白浜海象観測所

(1) 大気海面境界素過程の解明に向けた共同観測：田辺中島高潮観測塔を沖合観測のプラットフォームとして、所内、所外の研究者とともに共同観測を実施した。2023 年度より海面近くで発生する乱流による混合層の形成およびその深度と海面水温変化の応答特性を計測する流向流速計および鉛直方向の多点に水温計に設置した長期観測を継続中である。

(2) 沿岸域を対象とした気候変動による海洋水温構造の将来変化予測：領域海洋モデル ROMS を用いて、和歌山県田辺湾を中心とした沿岸域を対象に流動解析を行い、精度検証に田辺中島高潮観測塔の観測データを活用した。計算は、大気境界に CMIP5（第 5 次結合モデル相互比較プロジェクト）の大気モデルおよび海洋（側方）境界に FORP（領域海洋将来予測データセット 2 km 解像度）を用い、2 段階ネスティングによるダウンスケーリング（DS）計算（450m->150m->50m 解像度）を行った。水温鉛直分布（下図）から、親モデル FORP（黒線）に比して高解像度化した ROMS（青・赤線）で躍層が良く表現されていること、現在（青線）・将来（赤線）気候計算の比較から、将来は躍層傾度が大きくなることが示唆された。



親モデル vsROMS:水温鉛直分布の比較（黒:モデル現在, 青:ROMS 現在, 赤:ROMS 将来）

③穂高砂防観測所

(1) 土石流後の土砂流出：長期土砂流出観測結果を用いて 2019 年、2020 年に発生した土石流による流域土砂動態への影響を評価した。

(2) 流砂計測の精度評価：河川の掃流砂輸送量を計測するためのハイドロフォンの計測精度を評価するための現地実験を行った。幅をもたせた計測精度を表すモデルを提案し、均一粒径実験結果をもとに構築したモデルが混合粒径実験結果を良好に再現することを確認した。

(3) 観測成果の土砂動態シミュレーションへの活用：流砂水文観測と流砂の生産源推定結果を土砂動態シミュレーションに有効活用するための検討を行った。土砂動態シミュレーションでの土砂供給条件の設定方法を改良することができた。

(4) 防災教育と児童による積雪観測の協働：地元小学校に対して雪氷災害に関する授業を行い、雪崩予測で重要となる積雪の結晶構造の変化を把握するための写真撮影を防災教育の一部として児童が行い、それを用いてモデル検証を実施した。

④大湊波浪観測所

(1) 日本海沿岸域の冬期の強風と暴浪の相乗による海岸波浪および漂砂の特性を明らかにするために、専用観測栈橋を活用して研究を進めてきた。2008 年の栈橋撤去後も、地下水観測やカスプ地形内の粒度分布解析を進めた。2010 年からは定期的に海岸の地形測量を実施しており、2023 年は 9 月と能登半島地震発生後の 1 月の計 2 回、大湊海岸の四ツ浜において砂浜の断面測量を実施した。

(2) 大湊海岸には海岸砂丘上の松樹木林が豊富に存在する。それらは、高波・津波から背後地域を防護するグリーンベルトとしての役割を期待できる。2020 年と 2021 年には、松樹木林において樹木の密度を調べ、基礎データを取得した。2023 年度は能登半島地震による大湊海岸の津波の痕跡調査や上越市の津波遡上に関する災害調査を行った。

8.10 水資源環境研究センター

【センターの活動概要】

(1) 研究対象と活動方針

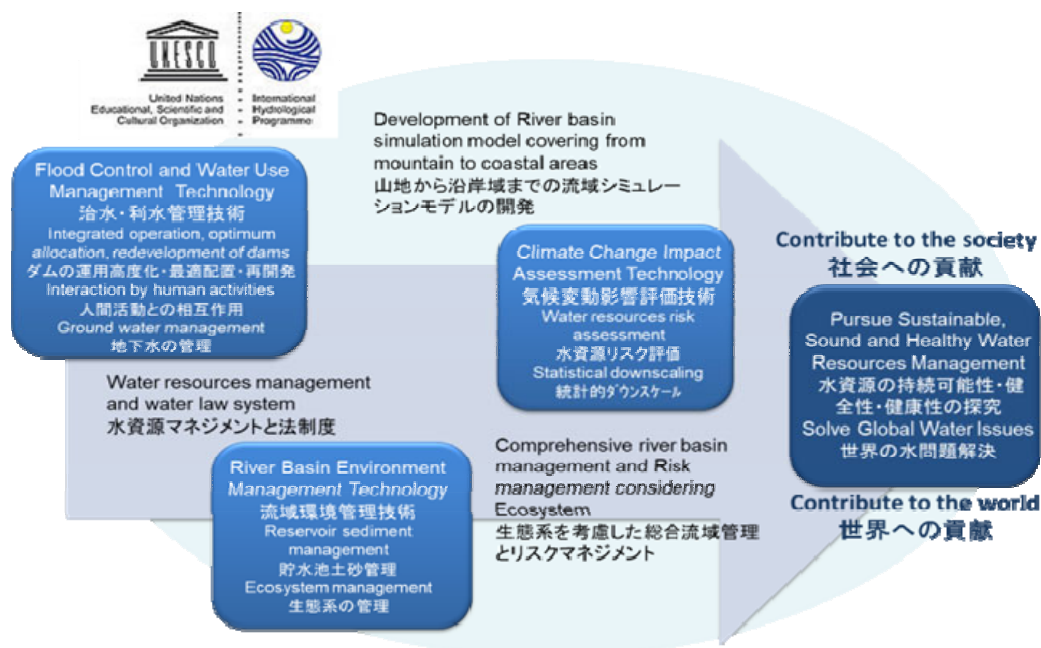
水資源環境研究センターは、水資源問題に関わる自然・社会現象を理解する目的で、昭和53年（1978年）に設立された。水の循環を様々なスケールにおいて理解することは、地球温暖化や生態システムの攪乱など深刻な環境問題の解決の鍵となる。当センターでは、リモートセンシングや全球気候モデル、大気－陸面過程モデルなどの技術を用い、ミクロな水文素過程から地球規模のマクロな現象までのマルチスケールにおいて水・物質の循環と社会システム、生態システムとの関係の解明を進めている。さらに、その結果に基づき、巨大災害や地球温暖化、地域開発に伴う深刻な環境問題のリスク評価、およびその対策としての社会基盤整備に活用するための方法論について研究を進めてきた。

今後も、水循環の深い理解に基づく、社会、生態システムの統合的管理について革新的な研究を進めていく。水とかかわる社会、生態システムの効果的・持続的な管理を実現するためには、気候や社会の変化レベルに立脚したパラダイム構築が不可欠である。当センターでは、ジ

オ（地球物理システム）、エコ（生態システム）、ソシオ（社会システム）の統合として水資源問題にアプローチしてきた蓄積を生かしつつ、こうしたパラダイムの構築に、物理学的、社会科学的双方の視点から取り組んでいく。

(2) 研究領域と役割

地球水動態研究領域では、水循環システムと社会システムとの持続可能な関係を実現するため、水利用システムの計画と制御、水災害リスクの評価と管理、水関連災害時の人間行動に関する研究を進めている。具体的には、人間の社会・経済活動と地球上の水動態との相互作用を分析し、水資源問題の解決に資するために、経済－社会活動を組み込んだ水資源ダイナミクスモデルの開発や、数値作物成長モデルとダムによる灌漑補給モデルを核とした水利用システムのモデリングに取り組んでいる。また、水災害を防止・軽減する具体的施策を、人間行動を含めて分析するため、水災害リスクの高解像度での把握・可視化や、水災害軽減のための地域対応のモデル化と計画手法について研究を進めている。



水資源環境研究センターの活動

地域水環境システム研究領域では、社会条件と自然条件の双方を考慮した総合的な水資源管理を可能とするべく、降雨流出、陸面過程、地下水の量と質のダイナミクスを記述するとともに、作物生育などの生産系、貯水池操作などの水管理系を取り込んだ統合水資源管理モデルの開発を進めている。本モデルは物理的水循環モデルをベースに、自然の水循環だけでなく、貯水池による洪水流量の調節、各セクターからの水需要の推定、その需要を満足する貯水池からの放流といった人工系の水循環も合わせて記述する統合モデルある。地域規模から全球規模まで様々なスケールでの解析を可能とすべく、世界の様々な機関で整備公開されている各種地理情報、統計情報、衛星観測情報、地上観測情報、気象モデル出力情報を統合することができる。現在の水循環システムの信頼性の診断、水資源管理支援、将来の気候変動下での洪水リスク、渇水リスク、生態系リスクの評価並びにリスク低減策の検討など様々な問題への応用を目指している。

社会・生態環境研究領域では、水資源における中長期的な環境的課題に取り組むために、自然的（ジオ・エコ）・社会的（ソシオ）環境変化が水資源システムにどのような影響を与えるかを分析し、リスクマネジメントの観点から研究を行っている。また、水域の生態系サービスの持続的享受を目的とした、治水・利水・環境のバランスのとれた統合的流域管理手法に関する研究も進めている。具体的には、1) 水資源開発ダムのアセットマネジメント手法と貯水池土砂管理技術の開発、2) 生息場構造を介した生態系-土砂水理連携モデルの開発、3) 水辺環境の利用と生態系の相互作用に関する研究な

どの基礎的課題に取り組んでいる。

水資源分布評価・解析研究領域は客員教員で構成され、水・熱・物質循環系の動態解析や人間・社会と自然との共生を考慮した水資源システムの評価・計画・管理研究の推進に際しての知識提供や技術支援のため、また、社会的要請の大きな時事的課題に対応するために、適した研究者が招聘されている。

(3) その他（横断的な活動等）

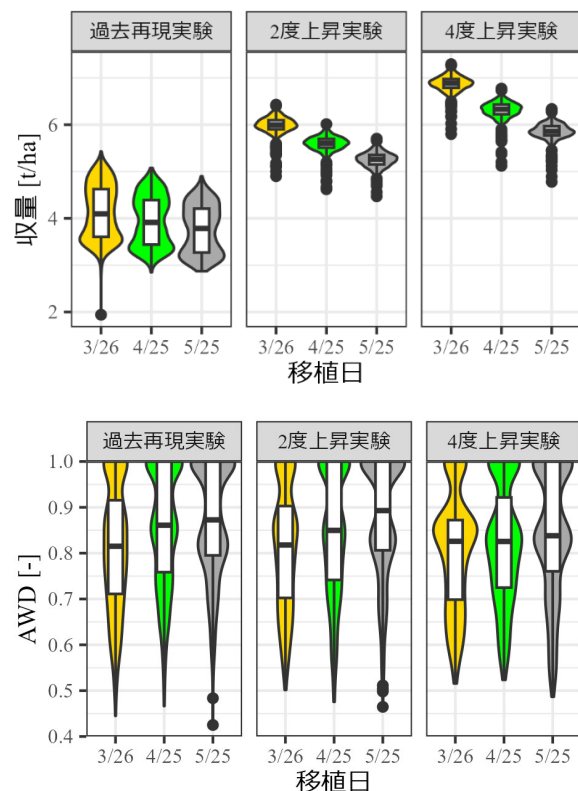
国連水文学計画（UNESCO-IHP）への貢献と、国際的に活躍できる若手水文学研究者、実務者の養成に資するため、英語による集中講義、UNESCO-UHP Taring Course “Integrated Basin Management under Changing Climate” を主催している。本トレーニングコースは、学際融合教育研究推進センターの水・エネルギー・災害教育研究ユネスコチェアユニットにおける主要科目にも位置付けられ、毎年 30 名程度の修了生を送り出している。主要な講義科目は、以下の通りであり、講義内容に即した演習も行っている。1) Fundamentals of basin-scale hydrological analysis, 2) Hydrological measurements of large river basins, 3) Fundamentals of land-surface processes, 4) Fundamentals of rainfall-runoff-inundation modelling, 5) Integrated sediment management for reservoir sustainability, 6) River habitat responses to flow and sediment changes in the basin, 7) Fundamentals of optimum reservoir operation, 8) River ecosystem featured by abiotic and biotic interaction, 9) Bias correction of GCM output, 10) Climate changes impact prediction on disaster environments, 11) Machine Learning Approaches and Hydrological Modeling for Flood Risk Assessment

【研究領域の研究内容】

I. 地球水動態研究領域

① 灌漑水稲作への影響を考慮した 渇水に関する気候変動影響分析

水稻生育モデルとダム灌漑モデルを組み合わせたモデルを構築したうえで、1950 年から 2099 年までの 150 年連続気象実験結果を用いて収量・品質・水資源逼迫度に関するトレンドの変化を分析した。次に、アンサンブル気候実験結果 (d4PDF) を用いて渇水の統計的評価を行い、先の分析の妥当性を検証した。2 実験の結果はともに気候変動によって収量増加と品質低下、および水資源逼迫度の上昇を示し、連続実験の結果と整合した。加えて、収量増加傾向は実験期間中に頭打ちになることが確認された。また、適応策として移植日の変更を評価すると、収量増加・品質向上の観点からは早い移植日が、灌漑供給逼迫防止の観点からは遅い移植日が推奨されることがわかった。また、2023 年夏季に極端渇水が発生した早出川ダム灌漑域について、渇水特性の分析を行った。



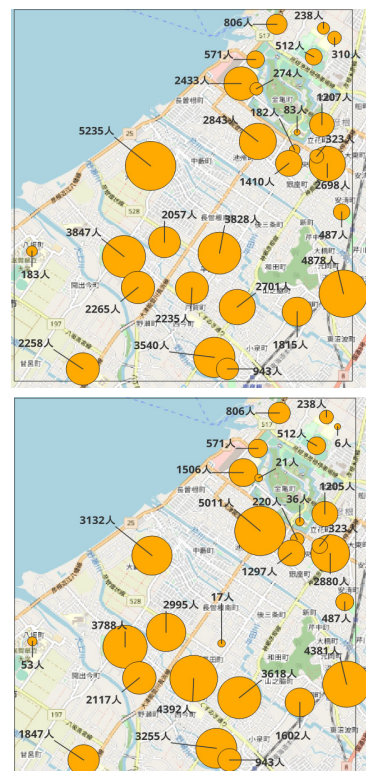
移植日が収量と AWD に与える影響 (AWD: 圃場日需要量に対するダム日供給量の比の灌漑期間平均値)

ム街における河川洪水位の気候変動評価

エルサルバドルの首都サンサルバドル大都市圏には 792 のスラムがあり、人口の 32%が居住している。スラムの 26%が水害に脆弱なエリアに位置しており、その対策が重要な課題となっている。そこで、特徴の異なる 4 つのスラムを取り上げ、4 K 温暖化シナリオによる大規模気候シミュレーションデータセット (d4PDF) を用いて、各スラムの洪水リスク評価を行った。その結果、最も変化が大きいスラムでは洪水確率が 109%上昇することが分かった。

③ 道路の潜在的危険性が避難経路に与える影響についての検討

水路への近接性・浸水可能性といった道路の潜在的危険性を考慮した場合に避難経路がどう変化するかについて分析を行った。潜在的危険性のある道路を通らないと避難できない地域、距離的最短経路と安全に避難できる時間的最短経路が異なる地域とそうでない地域について、その地理的分布を明らかにした。さらに、人口データを加味することで、対象地域の総人口の半数が避難経路変化の影響を受けることも分かった。



潜在的危険性を考慮しない場合の各避難所への避難者数 (上) と考慮した場合の避難者数 (下)

II. 地域水環境システム研究領域

① 灌漑農地を考慮した気候シミュレーション

気象庁気象研究所の全球大気大循環モデル MRI-AGCM3.2 と陸面過程モデル SiBUC のオンライン結合モデルを開発した。開発したモデルを用いて、土地利用として灌漑農地を考慮した場合に気候シミュレーションにどのような影響があるかを分析した。

灌漑農地を考慮した場合、土壌水分が湿潤に保たれるので流出量と蒸発散量が増加することが予想される。シミュレーション結果によると、たしかにその傾向が確認できた。一方で、灌漑農地を考慮した場合の実験の方が、流出量が減少した地域も存在した。これら地域は、灌漑農地を考慮した場合の実験において、降水量が減少した地域であった。これら地域では、灌漑農地の考慮によって地域あるいは領域スケールの循環場が変化することで降水の生成にも影響がおよび、降水量が減少したために流出量が減少したと考えられる。

② 林野火災統計データの分析

林野火災の極値性について、焼損面積拡大と火災件数増加の両者を同列に評価するための二変量火災特性(Wildfire Bivariate Characteristics)を提案した。全球を対象に、火災件数・焼損面積に寄与する気象条件が異なる事を示した。加えて、6種の機械学習手法で林野火災の極値性の予測を行ったところ、深層学習手法である NTFS が最も精度が高いことを示した。

日本国内で 1995-2021 年に生じた計 5 万件の林野火災事例の時空間的な特徴を調べ、その自然・社会背景を考察した。例えば、国内の林野火災の大部分が人為的な着火を原因としており、対象期間内で顕著な減少傾向が示された。件平均の焼損面積には長期的トレンドが限定的であったものの、その年変動が大きいことが示された。面積上位 10% の林野火災事例により総焼損面積の約 90% が焼失していることを踏まえ、少数の大規模な林野火災の影響と考察された。

③ 太陽光・風力発電ポテンシャルの将来変化推計

本研究では、解像度 5km の d4PDF を用いて工業化以前からの平均気温が 2℃ および 4℃ 上昇した場合の気象シナリオ (720 年分) から太陽光および風力発電の平均年間発電量と平均月間発電量を算出した。太陽光発電システムでは温暖化の影響によって全国的に年間発電量がわずかに減少した。特に北海道、北日本の太平洋側では日射量の低下に伴い発電量が大きく減少した。

また、月別発電量は 6 月、7 月に西日本で増加するが、12 月から 2 月にかけて北海道、北日本の太平洋側で大きく減少した。風力発電システムの年間発電量は、温暖化の影響によって西日本での平均風速が低下することで、太平洋側の海岸沿いでは増加するが、西日本の内陸部で大きく減少した。月別発電量は温暖化の影響によって 12 月から 4 月にかけて増加し、特に北海道、北日本の太平洋側で増加率が大きくなった。

④ 多変量時系列衛星データと農業統計資料に基づく生育時期分類手法の開発

農事暦の把握のためには統計資料の活用や衛星データのフェノロジー解析などといった手法が用いられるが、本研究では統計資料から作成した農事暦に衛星データをフィッティングさせる手法を提案する。本研究では、タイを対象として農業経済局の統計資料を用いて新たに農事暦を作成した。世界のコメ輸出量の 2 割程度を占めるタイでは、豊富な水資源と広大な灌漑水路を活用して雨期と乾期の二期作が行われているが、乾期における水田灌漑は水資源に大きな制約を受けるため、適切な灌漑計画を作成する上で農業水需要量の正確な把握が不可欠である。本研究では、作成した農事暦を用いて陸面過程モデルで農業水需要量の分析を行い、乾期におけるタイの水需要量分布を算出した。統計資料と比較することで、水資源がコメ収量に影響を及ぼすことが明らかになった。

⑤ 松遼平原の地下水貯留量偏差の総合的解析

本研究は、中国の主要な穀倉地帯のひとつである松遼平野を対象として、GRACE データと陸面過程モデルを組み合わせて地下水貯留量偏差を再構築し、線形トレンド、経年的、季節的、準季節的成分に分解した。2011 年の気象学的干ばつは、地下水、土壌水分貯留量、陸水貯留量に大きな影響を与えた。地下水の急激な減少は、耕作地の継続的な増加を伴うハルビンにおいて特に顕著である。土壌水分量の変化と陸域総貯水量(TWS)の変化には中程度の正の相関があり、地下水貯留量の変化は TWS の変化に重要な役割を果たしている。さらに、1990 年から 2020 年までの土地利用の種類と面積を分析し、耕作地と都市部の変化が地下水に与える影響を評価した。水田面積は、2000 年から 2010 年にかけての連続的な干ばつにより大幅に減少し、その後北部地域で増加した。

III. 社会・生態環境研究領域

① 気象予測を活用したダム運用高度化

SIP2 期の成果である長時間アンサンブル降雨予測を用いたダムの事前放流の強化や水力発電の最大化を含めた「治水・利水の WIN-WIN」を目指したダムの高度運用手法について、2023 年度から開始した BRIDGE「ダム運用高度化による流域治水能力向上と再生可能エネルギー増強の加速化プロジェクト」や SIP 第 3 期「スマート防災ネットワークの構築」を通じて検討を進めた。特に BRIDGE では、「適用するフェーズを増やす（出水前から洪水調節後の後期放流までの全体のステージで治水および増電効果を向上）」ための研究開発を推進した。具体的には、矢作ダムの洪水調節操作の最適化のために、分布型流出モデル 1-KDHM と最適化スキーム SCE-UA 法を用いて洪水発生前 1 週間程度からダムからの最大放流量や発電無効放流量を最小化する検討を行い有効な検討手法を提案した。SIP3 期のスマート防災では、多目的ダム・発電ダムに加えて、農業ダムやため池、田んぼダムなどの流域内の施設群の貯留能力の最大化を目指した検討を進めた。

② 生態系-土砂水理連携と河床地形管理手法

河川の生態系機能を保全・再生するために、1)生物多様性や物質循環などの生態系機能を発揮するために必要な生息場条件、2)生息場構造を形成維持する土砂水理条件、3)好適な河川環境を維持するための河床地形管理手法などに関する研究を行った。特に、那賀川・長安口ダム下流において、ダムによる砂礫供給遮断によって劣化した河川環境を改善するために、土砂還元（置き土）を行った場合の瀬淵構造やハビタットの多様性の変化を評価する手法を開発した。さらに、河川環境保全に必要な河床地形を形成・維持するために、木津川に伝統的河川工法である中聖牛を設置し、砂州上の土砂の捕捉や流れ構造の変化、中聖牛の変形や中聖牛周辺に形成されるたまりの生態的特徴について研究を行った。また、大規模な河床変動が進行中の小渋ダムの土砂バイパストンネル下流の河床地形についても継続的に現地調査を実施した。

③ ワジ流域のフラッシュフラッド統合管理

中近東・北アフリカ地域の乾燥・半乾燥地域のワジ（涸れ谷）流域に近年頻発するフラッシュフラッドに対して、減災と水資源開発を複合目的とするハード対策（洪水貯留－水資源涵養施設など）およびソフト対策（降雨－流出モデ

ル高度化と予警報システムなど）を組合わせた統合的管理方策を検討した。オマーンのワジ・サマイルにおいて、洪水発生を把握するための監視カメラと土砂流出を認識するインパクトセンサーを設置して、リモートでの観測を開始した。また、2022 年より開始した JSPS Core to Core Project では、2023 年 6 月にアルジェリアで第 7 回「フラッシュフラッド統合管理国際シンポジウム (ISFF)」を開催するとともに、近年頻発している林野火災と土砂生産の関係について研究を開始した。

④ ASEAN 諸国の河川流域の統合的管理

「日 ASEAN 科学技術イノベーション共同研究拠点」(JASTIP) の WP4（防災分野）の一貫として「メコンデルタの統合水資源管理」を検討した。また、APN (Asia Pacific Network for Global Change Research) の Integrated Flood and Sediment Management in River Basins for Sustainable Development (FSMaRT) プロジェクトとして、フィリピン・イザベラ州立大学と共同で、ルソン島のカガヤン川流域の洪水対策・ダム堆砂対策について、さらに、ベトナム・ダナン大学やチュイロイ大学とともに Vu Gia - Thu Bon 川の洪水・土砂管理対策について検討を実施した。これら成果を共有するために 2024 年 12 月にフィリピンにおいて WS を開催する準備を進めた。

⑤ セルフライニング水路による摩耗対策

堆砂対策としての土砂バイパストンネル内を高速で流下する土砂に伴うコンクリート底面の摩耗損傷問題の解決策として、栈粗度を一定間隔で設置し、その間に流下してくる土砂を捕捉することで底面を保護する「セルフライニング」手法について、土砂水理学の観点から再評価する研究を開始した。具体的には、直線水路に栈粗度を高さや設置間隔を複数組み合わせで設置し、清水および流砂実験を行い、水路底面が供給土砂で良好に保護される条件、保護されない条件とそのメカニズムに関して考察を行った。

その他

26 編の完全査読付論文、約 80 件の国内外の学会発表、講習会、講演、また 4 件のマスコミ掲載などを通して研究成果を発信した。また、ダム工学会論文賞および研究発表会優秀発表賞、関西土木工学交流発表会優秀学術発表賞などを受賞した。

8.11 気候変動リスク予測・適応研究連携研究ユニット

(1) 設立の経緯

気候変動が災害環境に及ぼす影響の予測や適応に関する研究において、2007 年から防災研究所の多くの教員が参加し、自然災害や水資源に関する影響評価研究の主幹研究機関として我が国をリードする研究を実施してきた。

- 2007 年～2011 年に文部科学省「気候変動予測革新プログラム」
(略称革新プログラム)
- 2012～2016 年に文部科学省「気候変動リスク情報創生プログラム」
(略称創生プログラム)
- 2017～2021 年に文部科学省「統合的気候モデル高度化研究プログラム」
(略称統合プログラム)

革新プログラムを大気・水研究グループおよび工学研究科社会基盤工学専攻の一部でスタートし、創生プログラムからは総合防災研究グループ、地盤研究グループとも協働することにより、統合プログラムまで温暖化予測・適応研究を防災研究所が一体となって研究を進め、国内外をリードしている。また、大気・水グループの一部のメンバーは、文部科学省「気候変動適応技術社会実装プログラム」や環境省環境研究総合推進費による研究プログラム、さらには様々な科学研究費研究等の活動を行ってきている。

特に上記の文部科学省「気候変動リスク情報創生プログラム」と「統合的気候モデル高度化研究プログラム」では、大気・水研究グループ、総合防災研究グループ、地盤研究グループの多くの研究室・教員・研究員が協働して研究を進めており、防災研究所における大規模かつ横断的な研究活動を実現している。また、得られた研究成果をもとに、多くの社会貢献も実現している。

このような背景を踏まえ、防災研究所を中心とした気候変動研究の所内および所外の連携をより強固なものとするため、気候変動にかかわるバーチャル研究組織として「気候変動リスク予測・適応研究 連携研究ユニット」を設置した。

気候変動リスク予測・適応研究 連携研究ユニット

(英文) Joint Research Unit for Climate Change Risk Projection and Adaptation Strategies

(設立期間)

令和 2 年 6 月～令和 7 年 3 月 (延長あり)

(ユニット長)

令和 2 年 6 月～令和 7 年 3 月 中北英一

ユニットメンバー

(防災研究所)

教授: 中北英一 (兼) 教授: 多々納裕一 (兼)

教授: 矢守克也 (兼) 教授: 畑山満則 (兼)

教授: 渦岡良介 (兼) 教授: 榎本 剛 (兼)

教授: 丸山 敬 (兼) 教授: 森 信人 (兼)

教授: 堀 智晴 (兼) 教授: 角 哲也 (兼)

教授: 渦岡良介 (兼) 教授: 竹見哲也 (兼)

教授: 田中賢治 (兼) 教授: 川池健司 (兼)

教授: 佐山敬洋 (兼)

特定教授: 山路昭彦 (兼)

特任教授: 渡邊紹裕, 特任教授: 井上智夫

准教授: SAMADDAR Subhajyoti (兼)

准教授: 西嶋一欽 (兼) 准教授: 志村智也 (兼)

准教授: 山口弘誠 (兼) 准教授: 竹林洋史 (兼)

准教授: 吉田 聡 (兼) 准教授: 藤見俊夫 (兼)

講師: 萬 和明 (連携)

特定准教授: 呉 映昕 (兼) 特定准教授: 峠嘉哉

助教: 山野井 一輝 (兼) 助教: 宮下卓也 (兼)

助教: 仲ゆかり (兼)

特定助教: 山本浩大 (兼) 特定助教: LIU Huan (兼)

(工学研究科)

教授: 立川康人 (連携) 教授: 市川 温 (連携)

准教授: KIM Sunmin (連携)

助教: 田中智大 (連携)

(総合生存学館)

教授: 山敷庸亮 (連携)

(農学研究科)

教授: 中村公人 (連携) 教授: 濱 武英 (連携)

(2) 活動の内容

2022 年 3 月には、文部科学省「統合的気候モデル高度化研究プログラム」修了し、4 月からは新たに「気候変動予測先端研究プログラム」領域課題 4「ハザード統合予測モデルの開発」が、これまでの中北英一ユニット長に変わり新たに森 信人ユニット教授によるリードのもと、佐山敬洋ユニット教授、竹見哲也ユニット教授、田中賢治ユニット教授、立川康人ユニット教授、藤見俊夫准ユニット教授を図 1 A～E のサブ課題代表として研究活動を継続している。第 1 目標として、多様な時間スケールの極端気象・海象データを必要とする風水害、水資源等を主対象として、高度なプロセスモデルの開発、さらにモデルの統合化を実施し、第 2 の目標として、

風水害等の防災気候情報、水資源や生態系等について、温暖化に伴う日本およびアジア太平洋地域への影響を明らかにするとともに、気温上昇に対するハザード変化の分析を行う予定である。ユニット研究会の位置づけももった研究連絡会が 2 回開催され、加えて他の領域課題と一緒に公開シンポジウムも開催されている。

また、次ステップとしてバーチャルユニットを発展させて令和 6 年 7 月には気候変動適応研究センターを設立し、令和 7 年度には適応に向けた人員強化を実現すべく、宇治地区事務部経理企画、本部事務部企画、経理企画との密接な議論を踏まえ、すでに京大本部への申請を行っている。

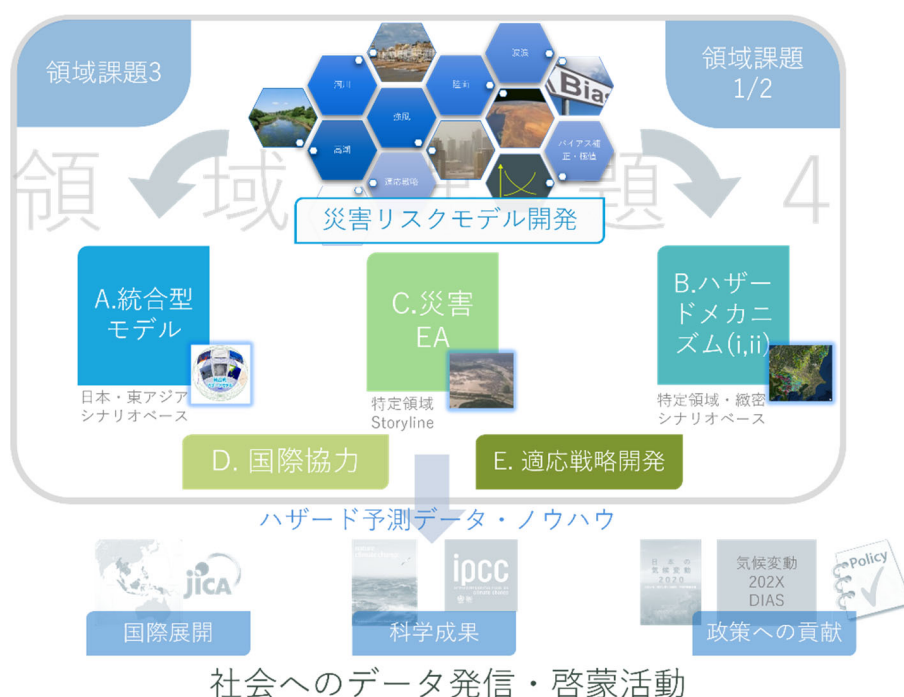


図 1 2022 年から 5 年計画で開始した文部科学省「気候変動予測先端研究プログラム」の研究構成

8.12 地震津波連携研究ユニット

(1) 設立の経緯

我が国では、津波災害は1万人を超える死傷者を出す大災害を度々引き起こしてきた。これまでの研究により、想定された津波高さについての一次的被害とこれに対するハード・ソフト対策効果については、ある程度の正確な予測ができる知見が得られている。さらに過去の観測記録から地震に応じてどの程度の津波が発生するかを予測する知見もある程度得られている。一方で、想定を超えた津波についての予測および不確実性についての十分な知見は得られていない。特に、巨大津波を発生させる海溝軸に沿った地震と津波生成過程の科学的知見は不足している。

防災研究所では津波をメインに掲げる研究室が存在せず、理学、工学、社会科学の研究者が組織的に連携することなく上記の個別研究が進められてきた。各個別研究では大まかな成果は挙がっているものの、対外的に津波研究の大枠が俯瞰できる窓口が見えておらず、主な自然災害をカバーする防災研究所のラインアップとしては大きな問題であった。そこで、津波連携研究センターを設立し、総合的に津波ハザードのリスク評価とその対策を確立することが必要とされた。ユニットは令和3年8月に設立され、令和4年度は2年目にあたり、現地調査と実務的な国際ワークショップを中心に活動を行った。また、令和5年度も、前年後に引き続き国際ワークショップ(第2回)、南海トラフ地震の臨時情報に関する自治体対象のセミナー、および、令和6年元日に発生した能登半島地震に関する調査活動などを実施した。

地震津波連携研究ユニット
(英文) Joint Research Unit for Tsunami Hazard
(設立期間)
令和3年8月～令和8年7月
(ユニット長)
令和3年8月～令和5年3月 平石哲也
令和5年4月～現在 矢守克也

(ユニット経費)
一般共同研究費など

(構成メンバー)(令和6年3月)

	氏名	部門・センター	役職
1	矢守克也	巨大災害研究センター	教授
2	米山望	流域災害研究センター	准教授
3	森信人	気象・水象災害研究部門	教授
4	宮下卓也	気象・水象災害研究部門	助教
5	馬場康之	流域災害研究センター	准教授
6	伊藤喜宏	地震災害研究センター	准教授
7	西村卓也	地震災害研究センター	教授
8	宮澤理稔	地震災害研究センター	准教授
9	山田真澄	地震防災研究部門	准教授
10	山下裕亮	地震災害研究センター	助教
11	多々納雄一	社会防災研究部門	教授
12	藤見俊夫	社会防災研究部門	准教授
13	牧 紀男	社会防災研究部門	教授
14	西野智研	社会防災研究部門	准教授
15	中野元太	巨大災害研究センター	助教
16	ア・マリヤ・クルース	巨大災害研究センター	教授
17	渦岡良介	地盤災害研究部門	教授
18	西川友章	地震災害研究センター	特定助教

(2) 活動の内容

令和 5 年度は、主に、以下の 3 つの活動を実施した。

第 1 は、地震・津波災害に関する国際シンポジウム（ワークショップ）である。令和 5 年 5 月 15-16 日に実施したもので、テーマは、「Workshop on Trajectories of Disaster Building resilience to Natural Hazards and Risks」であった。日本の他に、米国、英国、フランス、カナダ等の研究者が参画して、地震津波災害に関する国際研究の可能性等について議論した。

主な結果は以下の通りである。本ワークショップには、異なる研究機関や大学から、バックグラウンドの異なる研究者が参加したが、津波と地震という共通のトピックを共有していることを確認した。今後フランス、日本等の研究費助成に申請し、カナダ、メキシコ、ニューカレドニアなどにおいて、当該地域で発生した歴史災害にも留意しながら、文理工融合の地震・津波研究を推進することとなった。

第 2 は、令和 6 年元日に発生した能登半島地震に関する調査活動である。地震や津波の発生メカニズム、地震動による建物被害、液状化などの地盤災害による被害、津波による被害（図 1）、火災被害、道路やライフラインの途絶による沿岸部や山間部の孤立集落の発生と緊急災害対応の困難など、本災害には多様な、かつ重要な課題があり、本ユニットとしても多角的な観点から調査活動を行った。

その成果は、令和 6 年 1 月 28 日に、本ユニットのメンバーを含む防災研究所のスタッフが報告者となって実施した緊急報告会（京都大学防災研究所報告会「令和 6 年能登半島地震災害を理解する」）において速報した。ここでは、本ユニットの構成員による報告だけをリストアップしておく。

- ・GNSS 観測による M7.6 地震前・地震時・地震後の地殻変動（西村卓也）
- ・能登半島における津波災害の特徴（宮下卓也）
- ・新潟県上越市における津波河川遡上による氾濫被害および沿岸部の津波被害（馬場康之）
- ・2024 年能登半島地震に伴う地震火災・津波火災について（西野智研）
- ・能登半島地震から見た南海トラフ地震対

策（矢守克也）

なお、能登半島地震については、今後も、地震発生メカニズムの解析、複合災害や連鎖災害の分析、および、復旧・復興過程の検証という観点から本ユニットによる研究活動を継続する予定である。



（図 1）地震と津波による被害を受けた集落（石川県珠洲市，矢守克也撮影）

第 3 は、南海トラフ地震の「臨時情報」に関する自治体を対象としたセミナーの開催である。本セミナーは、京都大学防災研究所（本ユニット）と宮崎県が共催して、令和 5 年 8 月 30 日に実施した。対象は、宮崎県内の沿岸 10 市町の自治体職員であり、「臨時情報」の理解増進や、自治体における「臨時情報」発表時の対応計画に関する議論の促進を目的としたものである。

南海トラフでは、たとえば東海沖などで大規模地震（先行地震）が発生すると、特にその後 1 週間程度の間、四国・九州沖などで続けて大規模地震（後発地震）が発生する可能性が高まることが知られている。

「臨時情報」は、この後発地震に対する警戒を呼びかける情報であるが、1 週間程度の間以後発地震が発生しない場合も多く不確実性が高い情報であるため、後発地震に対する備えと日常の社会経済活動の維持との間のバランスを自治体としてどう取るか、難しい舵取りを迫られる。こうした現実的な課題について、地震・津波に関する自然科学的な研究、および、自治体の防災マネジメントやリスクコミュニケーションに関する社会科学的研究、両方の成果をわかりやすく伝えるセミナーを実施した。

「臨時情報」についても、今後もユニットとして研究と実践を継続予定である。

8.13 火山防災連携研究ユニット

(1) 設立の経緯

火山災害は火砕物の地表へ噴出を伴うために、多様な災害を引き起こし、そのハザード評価においては大気、地形、水などを考慮する必要がある。本ユニットは火山観測データに基づく噴火発生予測をもとに、ハザード予測、リスク評価、対策研究までを一気通貫で進める。すなわち、火山観測から得られるデータから複雑な推移を示す火山噴火の様式と規模を逐次予測し、火山噴火発生に起因する災害の要因ごとのハザード評価研究を行う。さらに、交通など様々なインフラ等へのリスク評価と対策研究を行う。発生予測にもとづく火山噴火の切迫性評価を避難等の対策に活用する研究を行う。これまで構築されてきたインドネシア等との国際協力関係を発展・拡充し、世界の火山災害の軽減に資することを目指す。

本ユニットにおいては桜島火山観測所及び穂高砂防観測所をフィールド観測拠点とし、周辺自治体との連携によって研究成果の社会実装を意識した研究を進める。火山活動は静穏期→前駆活動期→噴火活動期→後活動期→静穏期のサイクルを繰り返すと考えられる。南岳において噴火を繰り返す桜島は噴火活動期にあるが、マグマの蓄積状態から予測される大規模噴火発生の視点に立てば、前駆活動期にあるともいえる。一方、焼岳周辺の最近の活発な地震活動は、昭和 37 年～38 年の噴火活動後の土砂流出と静穏期を経て再び前駆活動期に入ってきたとみなすことができる。桜島においては、大規模噴火に備えた研究を、焼岳においては新たな活動期に備えた研究を進める必要がある。

火山防災連携研究ユニット
(英文) Joint Research Unit for Volcanic
Disaster Risk Reduction

(設立期間)
令和 3 年 12 月～令和 8 年 3 月

(構成メンバー)

	氏名	部門・センター	役職
1	井口正人	火山活動研究センタ ー	教授
2	多々納裕 一	社会防災研究部門	教授
3	矢守克也	巨大災害研究センタ ー	教授
4	吉村令慧	火山活動研究センタ ー	教授
5	竹見哲也	気象・水象災害研究 部門	教授
6	丸山 敬	気象・水象災害研究 部門	教授
7	中谷加奈	流域災害研究センタ ー	教授
8	森 信人	気象・水象災害研究 部門	教授
9	榎本 剛	気象・水象災害研究 部門	教授
10	大見士朗	地震災害研究センタ ー	教授
11	西村卓也	地震災害研究センタ ー	教授
12	王 功輝	斜面未災学研究セン ター	教授
13	山路明彦	気象・水象災害研究 部門	特定 教授
14	中道治久	火山活動研究センタ ー	准教授
15	為栗 健	火山活動研究センタ ー	准教授
16	竹林洋史	流域災害研究センタ ー	准教授
17	吉田 聡	気象・水象災害研究 部門	准教授
18	山田大志	火山活動研究センタ ー	助教
19	井口敬雄	気象・水象災害研究 部門	助教
20	大西正光	工学研究科	教授
21	宮田秀介	農学研究科	准教授
22	竹林幹雄	神戸大学	教授

23	眞木雅之	ユニット専任	特任教授
24	石井杏佳	ユニット専任	特定助教

(ユニット長)
令和3年12月～令和6年3月 井口正人

(ユニット活動費)
文部科学省科学技術試験研究委託事業
「課題D：火山災害対策技術の開発」、
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）など

(2) 活動の内容

令和5年度は研究集会（鹿児島市，30名出席）を開催するとともに，本研究所の研究発表講演会における特別セッションで研究発表を行った。

①リアルタイムの火山灰ハザード評価手法の開発

噴煙の成長，火山灰の移流・拡散と降灰の状況をレーダーやディストロメータによりリアルタイムで把握し，火山観測データに基づく噴出率と火山体周辺の複雑な気象場を考慮して拡散と降下について即時的かつ高精度に予測する。また，レキ等の落下による被害予測研究を行う。

②火砕流の発生と流下予測

地盤変動観測から推測される火砕流の体積とシミュレーションを結合したオンライン火砕流ハザードマップシステムの開発研究を行った。

③噴火後の土石流および泥流の発生に関する観測と予測手法の開発

火山灰堆積後の降雨による土石流・泥流および噴火時の融雪型火山泥流の発生の危険度や規模を予測する手法の確立を目的として，桜島火山，焼岳火山等の火山を対象に観測と予測モデル開発を行う。

④大規模火山噴火による航空輸送への影響把握のための予測システムの開発

桜島を対象として，想定されうる航空輸送への影響を噴火シミュレーションとフライトデータとの連動により時空間レ

ベルで把握し，噴火情報の更新に伴う最適フライトコントロール方法，航空機の被災回避行動と空港の収容能力を検討する。

⑤桜島大規模火山噴火を対象とした事前避難を実現するためのリスクコミュニケーション方法に関する実践的研究

桜島大規模噴火の大量降灰をシナリオとする鹿児島市街地の避難行動を対象に，専門家，行政，市民が対話を通してフレームを共創するシステムの構築を目指す。リスクコミュニケーションの環境づくりの方法を検討する。

⑥大規模噴火リスク評価モデルの構築

火山灰の広域拡散をもたらす大規模噴火を対象に，火山灰噴出量・噴煙上昇・拡散予測モデルと，航空機への安全性評価や国際的な人流・物流分析モデルを統合したリスク評価手法を構築する。

⑦地域との連携による火山災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

地域の行政機関やステークホルダーと連携して火山観測研究から得られる知見と災害を整理し，社会に適切に発信する手法を研究する。

⑧噴火活動サイクルを考慮した火山地域の土砂流出予測

焼岳を対象に新たな活動期に備えて観測体制の在り方を検討するとともに，降雨，降雪，地表水，地下水など複雑な水環境を考慮した土砂流出予測研究を行う。

⑨火山噴火時の飛散物の運動のモデル化

噴石・火山灰などの噴出物の移流，拡散，飛散運動を再現するため，噴火時の火山周囲の気流性状を再現する気流解析プログラムに実装した。また，空気振動を解析することにより火山岩塊の初速度を決める火道浅部の破壊モデルを提案した。

⑩海域噴火による軽石の漂流予測

⑪海底噴火による津波の予測

8.14 技術室

【室の活動概要】

① 技術室の組織

技術室は、それまで防災研究所の部門やセンターなどに所属していたすべての技術職員を集約組織化して平成 8 年度に発足した。発足当時の技術職員の定数は 33 名だった。その後の定数削減によって令和 5 年度末の技術職員の定数は 21 名にまで減っている。同年度末時点で、実際に在籍しているのは、現員 19 名、シニア職および再雇用職員 0 名の計 19 名（欠員 2 名）である。

令和 5 年度中の新規採用者および退職者は 0 名であった。技術職員の平均年齢は 40.3 歳、女性比率は 15.8%となっている。団塊世代の一斉退職後、これまで若手の採用を積極的に取り組んできたが現在、大学本部が進めている技術職員改革により技術職員の新規採用を令和 4 年から止められている。これにより技術室の年齢構成が上昇傾向にある。今後、この状況が続くと組織として維持していくことに不安が残る。定員未達の 2 名枠については、有期の派遣職員や特定職員の代替措置が認められていることから、公募をおこなったが応募者も皆無であり適材が見つからず、職員採用は次年度以降に持ち越しとなった。

技術室の組織は、技術職員の世代交代が進んだこともあり何度か改組を重ねた。平成 23 年 4 月が最も至近の改組であり、観測技術グループ、実験技術グループ、機器開発技術グループ、情報技術グループの 4 グループ体制へと変更になった。この 4 グループ体制は令和 5 年度末時点でも継続している。

各技術グループにはそれぞれグループ長、副グループ長、主任を配置する体制となっている。それぞれの技術職員は、いずれかのグループに所属している。ただし、所属する技術グループの枠にとらわれることなく広範囲な技術支援を実施する体制が構築できている。

また、令和 5 年度末時点で技術職員を配置した隔地観測所は、桜島火山観測所 2 名、宮崎観測所 1 名、白浜海象観測所 1 名、穂高砂防観測所 1 名、阿武山観測所 1 名、宇治川オープンラボラトリー 2 名となっている。

② 技術室の活動

(1) 技術支援活動

技術職員の主たる業務である技術支援は、主に支援期間の長短によって、概ね 3 か月以上にわたる技術支援を指す長期支援と、3 か月未満の技術支援を指す短期支援の 2 つに区分している。

長期支援は、各部門・センターなどで実施している研究や実験など、日常的に継続している技術支援を対象とする。長期支援は年間を通じた技術支援が多い。各部門・センターにおける年間を通じた観測データの収集や整理、分析、サーバーの保守のほか強震応答実験室、遠心力載荷装置、境界層風洞実験室などにおける各種実験の支援などが挙げられる。このほか、広報出版企画室の支援も長期支援で行っている。

隔地観測所に配置した技術職員が継続的に実施している技術支援についても長期支援に含まれる。各種の観測業務などをはじめとして、施設の維持管理や公用車の保守点検、地域連携と技術支援の内容は広範囲にわたっている。短期支援は、比較的短期間で終了する技術支援を対象としている。集中観測のサポートや観測機器の設置などである。また、技術室には工作室があり、機械工作や電子工作など各種の工作支援をおこなっている。工作室には技術職員 1 名が常駐している。技術室に所属する技術職員は年間を通じた長期支援を抱える一方でスポット的にいくつかの短期支援を担うケースがほとんどである。

技術支援については、原則として支援を希望する教員などから、技術支援依頼票を事前に技術室に提出していただき、技術室が技術支援を実施する技術職員を決め、その技術職員が支援依頼を要請した教員の指示のもとで、技術支援を実施するという方式を採っている。平成 22 年度からは技術室ホームページ上からウェブ申請ができる仕組みを導入しているので、支援依頼を 24 時間受け付ける体制となっている。

技術支援依頼票の提出実績は以下のとおり、令和 5 年度の短期支援依頼は 37 件、長期支援依頼は 10 件の合計 47 件となっている。

(2) 委員会活動

技術職員は、防災研究所の多くの所内委員会

に委員として関与し前述の技術支援以外に、情報ネットワークや労働安全衛生の技術などを生かして防災研究所全体の研究・教育活動に関与し、また、福利厚生に至る所内運営全般を補助している。

令和 5 年度末時点で技術職員が委員として参加した委員会は、将来計画検討委員会（技術専門委員会）広報国際委員会（広報・出版専門委員会、行事推進専門委員会、情報基盤整備専門委員会）、情報セキュリティ委員会、自己点検・評価委員会、厚生委員会、安全衛生委員会である。

これらのうち、技術専門委員会は、技術室の組織技術支援、人事など活動全般に関して、教員と技術職員が意見交換、協議する場として重要なものとなっている。また、技術支援において生じる課題などを解決する場としても有効である。安全衛生委員会には令和 5 年度末時点で、所内の衛生管理者として 2 名の委員を選出し、防災研究所の安全衛生巡視、安全衛生活動の啓発で重要な役割を担っている。

国立大学の法人化以降、労働衛生関連法の縛りから大学にも労働安全衛生管理者を置くことが義務付けられたことに対応し、技術室として第一種衛生管理者の資格取得に努めてきた。採用後 1 年以上経過した技術職員は、全員が第一種衛生管理者の資格を取得することを目標としている。

(3) その他の活動

技術支援の対象は防災研究所だけではない。所内の教員が共同で研究を進める学内他部局、ほかの大学や研究機関なども対象になることがある。令和 5 年度は九州大学を中心とする富士箱根広帯域 MT 探査に 9 名が参加した。SSH (Super Science High school) 高等学校を対象に宇治川オープンラボラトリーなどが実施している高大連携授業にも技術職員を派遣し教育の支援にあたっている。また、小学校への地震計や雨量計の設置などにも協力している例もある。

毎年の宇治キャンパス公開では、宇治地区だけでなく、宇治川オープンラボラトリーにも多くの技術職員を派遣し開催に協力している。隔地観測所が開催する京大ウィークスも同様である。

技術職員は各種の学会などに参加し知識の習得に努めているほか、技術支援で得た成果を技術職員向けの研究会などで発表してきた。主な発表実績は以下のとおりである。

令和 5 年度東京大学地震研究所職員研修会、令和 5 年度近畿地区国立大学法人等教室系技術職員研修、令和 5 年度京都大学防災研究所研究発表講演会、令和 5 年度技術職員研修（第 2 専門技術群：システム・計測系）。

前述の学会などのほか、さまざまな講習会や研修にも参加し、各種の資格取得や技能の習得に励んでいる。

令和 5 年度に新たに取得した資格等は、第一種衛生管理者、二等無人航空機操縦士、第二種電気工事士、危険物取扱者乙種 5 類、フォークリフト運転講習などである。このほか、毎年度、所内の教員の協力を得ながら 2 日間程度でテーマを決め技術室独自で研修を実施している。令和 5 年度は、Fusion360 による 3D モデリング研修を行った。



写真：技術職員が操船する観測船「海象」