

## 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、長期的展望に立っ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3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。なお、令和6年7月に気候変動適応研究センターが設置され、従前は社会防災研究部門に属していた防災社会システム研究分野が、同上研究センターに移籍した。

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。

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（2007～2011 年）」に始まり、現在は文部科学省「気候変動予測先端研究プログラム（2022～2026 年）」において、領域テーマ D 課題としてマルチハザードに対する気候変動の影響を評価するための統合ハザードモデルの開発など、分野横断的な研究テーマに取り組んでいる。

さらに、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、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、水害リスク評価等の社会実装を目標とした研究開発に取り組んでいる。

## 【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

2024 年能登半島地震の木造建物被害の分析を進め、年代判定を行って、非線形地震応答解析を行ったところ、被害が大きくなった要因として、木造家屋に大きな被害を引き起こす 1-2 秒の成分が大きかっただけでなく、耐力が低い古い木造家屋により厳しい地震動であったこと、2023 年の地震の影響は、ほとんどないことがわかった。

世界で広く使われている MM 震度階を計測震度が対応する 0.1-1 秒応答と建物の大きな被害が対応する 1-1.5 秒応答の組み合わせで算定する方法を開発した。

#### ② 地震発生直後の被害推定に関する研究

地震発生直後に木造建物の被害推定を行うことを想定した非線形建物群について、靱性能は一定とされてきたが、壁量が少なく軸組優位になる耐力の低い建物は、靱性能が大きくなることからそのようなモデルを提案し、実際の被害をより高い精度で推定できることを示した。また、壁量と靱性能の関係を確認するため壁量の多い試験体で振動実験を行い、これまで行った壁量の少ない試験体と合わせて分析することで、靱性能が壁量に依存することを確認した。

地震発生直後に面的被害分布を推定する際に用いる強震記録として、地震発生直後に公開される K-NET に加えて、震度のみが公開される震度計情報を使って、観測点密度を上げることで推定精度を上げる検討を行った。

木造建物の被害推定を行う際の耐力について、経年劣化を考慮するため、微動データを使った分析を行い、降伏点剛性低下率が低下して行くことで耐力が低下して行くモデルを提案した。

地震被害推定を行う際の建物データを推定するメッシュデータを分析したところ、総道路延長が新旧木造比率と相関があることがわかり、これを説明変数に加えた推定式を作成した。

被害推定をする際の低層から中層の鉄筋コンクリート造建物の実耐力について、設計で想定される耐力を大きく超える余剰耐力を有する要因について分析したところ、最小配筋規定、長期応力、接合部通し配筋によることがわかった。

#### ③ 地震火災・津波火災のリスク評価の高度化

石川県・富山県・新潟県の消防本部にアンケート調査を行い、2024 年能登半島地震に伴う個々の火災の正確な情報を収集した。この火災

記録を分析し、次のことを明らかにした。(1) 今回の地震で発生した 12 件の地震動起因の建物火災のうち、発火源が不明な 2 件を除けば、大半は電気器具・電気設備や電気配線を発火源とする火災で、その他は石油ストーブや工場の溶融金属などを発火源とする火災であった。電気関連の火災が多いという点については、過去 30 年間に日本で発生した地震火災の傾向と同様である。(2) 火災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を推定した。今回の地震の出火確率は過去 30 年間の地震の中でも比較的高い値となっており、例えば PGV が 80cm/s の場合を考えると 100 万人あたり約 30 件であり、これは 2011 年東北地方太平洋沖地震の約 2.2 倍、1995 年兵庫県南部地震の約 0.4 倍である。(3) 今回の地震で発生した 2 件の津波火災の発生要因を 1993 年北海道南西沖地震や 2011 年東北地方太平洋沖地震のデータと合わせて見ると、建物や自動車を大量に流失させるような強い津波を受けた地域では、津波ガレキが火災の発生に強く関与するが、建物や自動車がさほど流失しない弱い津波を受けた地域では、主に浸水した建物や自動車の電気系統（電気部品・電気設備や電気配線）が火災の発生に関与する。(4) ある地域における津波火災の出火確率は、その地域の建物流失率の関数として表され、平均では浸水建物 1 万棟あたり約 2~6 件まで変動する。さらに、建物流失率以外の様々な要因の影響で地域によりばらつくが、1 $\sigma$  の範囲ではその約 1/3~3 倍となる。

2014 年に国土交通省の調査検討会から報告された F43 断層モデルを用いて、輪島市中心部を対象に地震火災リスク評価を行った。具体的には、地震動強さの空間分布、地震動による建物の構造被害、出火の数と場所、風速と風向、消防隊の覚知時間の不現実性を考慮した 6000 通りのシナリオを作成し、消防力の実態を反映した物理的な延焼シミュレーションを行った。その結果、(1) 今回の地震の焼失棟数（約 240 棟）はリスク評価結果の条件付き超過確率 1.9%に相当し、想定される火災被害の中でもかなり大きなクラスに相当すること、(2) 焼失確率の相対的に高い建物が集中する範囲がいくつか浮き彫りになり、今回の地震で焼失した範囲はそれらの一つと概ね対応することが分かった。

#### ④ その他

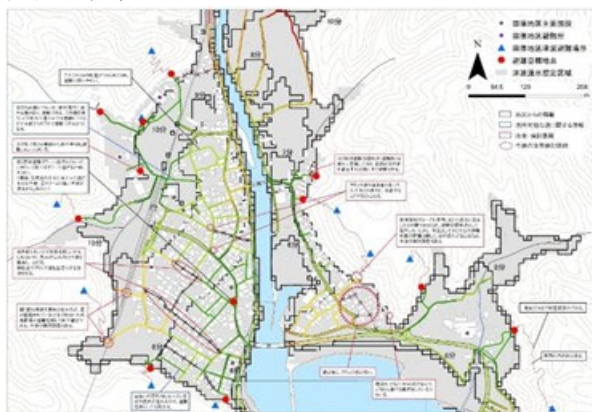
2024 年度は 2 編の完全査読付論文（うち 2 編は国際ジャーナル論文）を発表した。



## 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を対象に、住民や小学生とともに「逃げ地図」づくりや現地調査（まち歩き）を実施し、高齢化や地域特性を踏まえた避難可能なまちづくりの検討を行った。多様な歩行速度を想定した避難シナリオに基づき、畑や空き地を通る抜け道の活用、老朽ブロック塀の撤去・整備等により避難時間を短縮できる可能性が確認できた。検討結果をふまえ住民の意見を反映した避難目標地点の見直しや、安全・安心な道の共有を通じて、地域の実情に即した避難計画の見直しが進められた。



田原住民が考える「避難可能なまち」のイメージ図

### 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完了し、関東大震災以降で応急仮設住宅が建設された自然災害のリスト化を完成させた。

また 2024 年能登半島地震の応急仮設住宅で建設された様々な形式の応急仮設住宅についての調査も実施した。



2024 年能登半島地震の応急仮設住宅

### 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 3 次）」においては、大阪盆地地盤構造モデルの修正に資するパラメータを得るための解析を行った。既往モデルは堆積年代と深さを、経験式を用いて物性値に変換している。泉大津市の湾岸部で実施された反射法地震探査の区間 P 波速度データ、および、微動アレイ観測の表面波位相速度については、いずれも、堆積層の比較的深部において、既往モデルで採用している物性値変換式とは大きくずれる可能性を示唆した。そこで、これらのデータを説明するような新たな物性値変換式を求めた。また、科学研究費基盤研究（C）「堆積盆地速度構造モデルの地震波形による改良」（令和 2-6 年）においては、3 次元地盤構造モデルのうち特に盆地底部の堆積層-基盤岩境界の形状を修正する情報を得るための手法の開発を行った。シミュレーションで得られた計算波形における多重反射波に注目し、その波束についてセンブランス解析で伝播方向を求め、その伝播方向を空間的に追跡することで伝播経路を求めた。

### 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との統合を進めている。気候予測の予測情報(d4PDF-5km)の中で高潮と洪水が同時生じた事例を対象に、その再現期間の組と対応する規模の将来変化倍率を分析した。また、全国を対象とした RRI モデルと d4PDF-5km を活用した中小河川を含む全ての河川での気候変動の影響評価を進めている。同時に、マルチハザードの発生確率の推定に向けて多変量極値理論の適用方法を検討した。

#### 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。ボーリング調査を進めて山地斜面における雨水貯留の機構に関する理解を進めるとともに、斜面流出の物理的な機構を反映する RRI モデルの改良に取り組んでいる。また、京都府や民間企業との共同研究も進め、開発技術の応用や浸水に伴う家屋被害の推定手法に関する研究に取り組んだ。

#### ③ 土地利用・気候変動が流域水循環および水災害リスクに及ぼす影響の評価と適応策に関する研究

日本やアジアの河川流域を対象に多様な社会

と水災害との関係に関する研究を進めている。インドネシアでは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。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。フィリピンでは農村(下図)の貧困に着目し、農家の洪水時に経済状況の悪化に関する社会調査を行うとともに、マルチエージェントモデルによって気候変動下の農家の資産形成や営農形態の変化を予測した。



図:フィリピン農村部の浸水常襲地帯における高床式住居

JST-NSF 戦略的国際共同研究プロジェクト(SICORP)研究課題「洪水—社会—個人の双方向カップリングによる包摂性の高い洪水リスク管理モデリング」の日本側 PI として、日本と米国の流域を対象に災害後の住民の移住行動および適応行動に関する研究を遂行した。

#### ④ その他

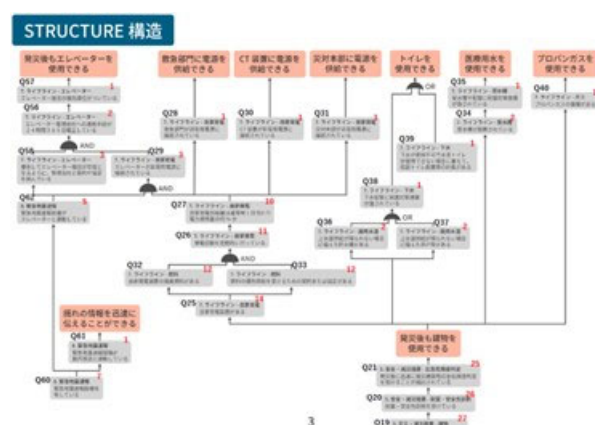
2024 年度は、22 編の完全査読付論文(うち 14 編は国際ジャーナル論文)として学術雑誌に発表した。8 件の招待講演・特別講義・市民向け講演を行い、研究内容の紹介や減災のための啓蒙活動に努めた。『水・エネルギー・災害に関するユネスコチェア(WENDI)』の活動を継続した。大学院レベルの持続可能教育(HESD)プログラムを進め、令和 7 年 3 月時点で延べ 63 名の大学院生が修了した。ユネスコ政府間水文学計画(IHP)アジア・太平洋地域運営委員会の事務局長として運営委員会を韓国にて開催した。令和 7 年 1 月から約 3 か月間、カナダから外国人客員教員(教授)を、令和 7 年 1 月から約 7 か月、米国から招へい外国人学者を、また中国からの交換留学生 2 名、フランスからの交換留学生 2 名を受け入れた。



#### IV. 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開発を行った。



病院のリジエンス性能評価  
(赤数字は各質問項目の点数)

##### ② 病院の被災調査

2024 年 1 月に発生した能登半島地震後に被災地域の 8 つの病院施設を調査した。躯体について被害が発生したのは 1 施設であったが、外壁や間仕切り壁、天井などの非構造部材、また地盤変状、エレベーターの停止、配管設備の被害、受水槽の被害で事業継続性が低下した例が多く確認された。能登半島地震では医療・福祉サービスに携わる職員も被災し、医療・福祉サービスを維持するため、被災地域から要支援者を金沢他、十分な医療・福祉資源がある地域へと転送し、被災地域の医療・福祉サービスへの負荷を下げる対応も行われた。



被災した病院における被害例(奥能登)  
左：倉田真宏撮影，中：公立能登総合病院喜多医師提供，右：輪島市民病院提供

##### ③ 地震による医療機能低下度の推定

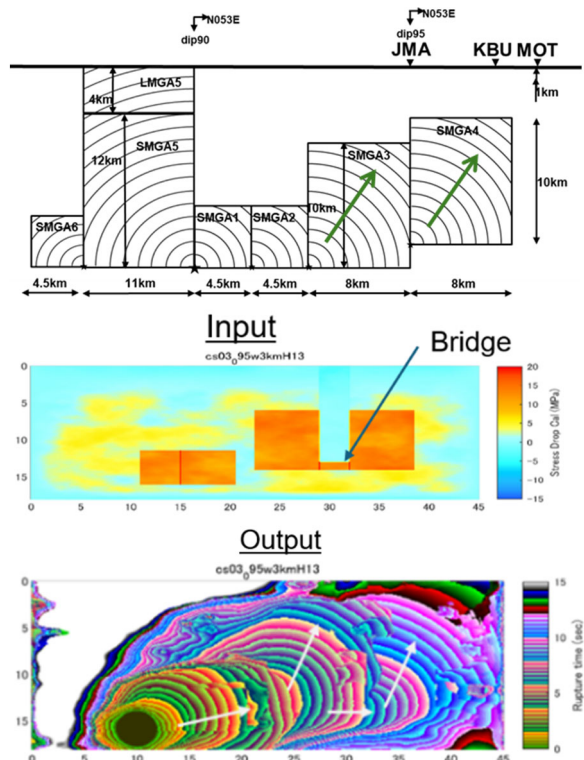
地震時に防災拠点として機能することが期待される病院では、建物の構造部材が損傷していても、非構造部材や医療機器が損傷すると、医療機能は低下する。そこで、建物の構造部材に加えて非構造部材と医療機器を評価の対象とした、地域レベルの病院地震被害推定に関する基礎検討を進めてきた。今年度は新たに医療行為を行う室全体の被害推定方法を提案した。最大加速度(PFA)、最大速度(PFV)に加えて、床応答加速度が  $150 \text{ cm/s}^2$  を超えた時間の床応答加速度累計値を指標として、被害ランクを A から D に分類する。ランク B で機器が移動し、ランク C で移動による衝突や転倒が生じ、ランク D で衝突や転倒などによる機能損失の可能性が高まる。

令和 6 年能登半島地震において、地震観測網から得られた地震動を用いて病院の地震被害を推定し、実被害との比較から推定手法の妥当性を確認した。病院の実被害は、令和 7 年夏に実施した現地でのヒアリングやアンケートに基づいて分析した。構造被害は推定と実被害が良く対応し、非構造部材や設備の被害も概ね良く対応していた。ただし、推定で考慮していない設備の被害も多く確認された。医療行為を行う室全体の被害は、推定ではすべてランク C となり、多くの施設で実被害と対応したが、ランク D となった 3 病院で対応しなかった。現状は機器の衝突や転倒などに基づき判定指標を構築しているが、室被害の要因は多岐にわたるため、考慮していない被害について引き続き分析を進める。

## V. 地震リスク高度化（阪神コンサルタンツ） 寄附研究分野

### ① 1995 年兵庫県南部地震の動的破壊モデル化

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兵庫県南部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。特に、松島・川瀬(2000)の強震動生成域（SMGA）によって同定されたアスペリティの連鎖を通じて破壊を導く現象に注目した。SMGAでほぼ平行な上向きの破壊（波形における周期1秒の速度パルスの成因）を生成するために、アスペリティ間にバリアを追加するとともに、SMGA以外については、強度超過（strength excess）の設定による破壊速度（ $V_r$ ）のチューニングによって生成されるパルスのタイミングを調整した。



得られた最適モデル（上：SMGAモデル，中：動的モデルの設定，下：破壊伝搬）

### ② 浅部に着目した動力破壊モデリング：震源パラメータに関する知見

地震サイクル（横ずれ断層）から得られた検証済みの破壊セットを使用して震源時間関数（SRF）を調査し、規格化 Yoffe 関数（RYF）を SRF に適合させることで破壊をパラメータ化し、RYF パラメータの空間分布を強震動生成

域の主要パラメータの空間分布と比較し相関があることを確認した。また、震源インバージョン等では十分に推定できない破壊伝播速度と応力降下量を調査するとともに、それらの主要パラメータとの相関関係も確認した。最後に、地震動生成に関与するパラメータの深さ依存性を分析し、地表の非地震層では非常に小さな地震動しか生成されないことを示した。

### ③ 硬質岩盤上の観測記録を用いた速度構造の抽出

地下 S 波速度構造インバージョンには、大域最適化アルゴリズムとして粒子群最適化（PSO）アルゴリズムを採用した。インバージョンの対象は、観測された強震動に対して一般化インバージョン法を用いて抽出した水平サイト増幅係数（HSAF）とした。PSO の収束性を検証し、いくつかの現地地震観測点に適用した。

### ④ 横ずれ断層、逆断層、正断層におけるスケールリング則の違い

これまで、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、断層面積やアスペリティ総面積等のスケールリング則を定量的に比較してきた。しかし、震源メカニズムによるアスペリティにおける統計的な違いについて検討がなされていないため、これを SRCMOD に基づき把握した。

### ⑤ 浅部領域を含む新しい強震動予測手法の構築

現在のレシピでは、浅部の非地震性領域を暗黙のうちに考慮してない。しかし、大規模地震（ $M_w > 6$ ）の破壊は地表まで伝播しており、地震発生層と地表の間の浅部非地震性領域での破壊の影響をレシピに含める必要がある。本研究では、動的シミュレーションの結果を、「レシピプロトタイプ（案）」としてまとめた。レシピプロトタイプの考え方は、動的シミュレーションの結果を最大限に活用し、物理ベースの地震動予測のための新しいレシピを構築することである。ただし、現在のレシピによる予測が必ずしも誤っているわけではないことに注意する必要がある。さらに、SMGA と背景領域の破壊伝播速度と  $F_{max}$  に違いがあることを示し、現在のレシピで考慮することについても提案した。

### ⑥ 研究実績

2024 年度中の成果は 4 編、以前から実施中のものは 5 編の論文を発表した。このうち、4 編は査読付き論文である。

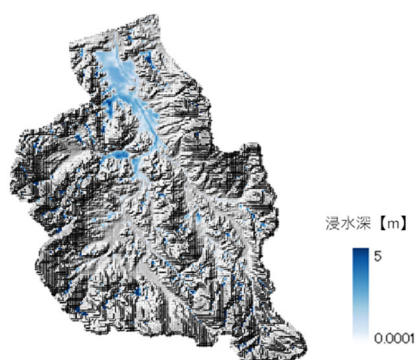
## Ⅵ. 災害リスクファイナンス（SOMPO リスクマネジメント）研究分野

### 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が望ましい。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ものとした。

本検討の成果として、従来 1km メッシュで洪水氾濫計算を行っていた九州地方のメッシュ解像度を 250m メッシュまで高解像度化した。今後は本モデルを標準機能として全国各地域に実装するとともに、250m 以上の解像度への対応についても、HEC-RAS をベースとした領域モデルとの連携を進める予定である。

■2次元氾濫解析の例 ※遠賀川



九州モデル（250m メッシュ）による計算例

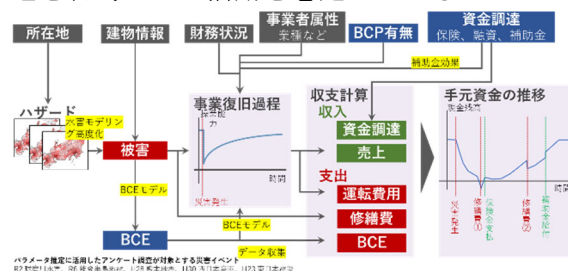
### ② 事業継続のための財務シミュレーションツールの開発

災害リスクファイナンスと事業復旧の関係については、データの制約などから定量分析が進んでいない。

本研究では、京都大学防災研究所、公益財団法人地方経済総合研究所、人吉商工会議所が共同で実施したアンケート調査や先行研究の成果を統合することで、災害後の財務状況の推移をシミュレーションするツールを作成した。本ツールを活用することでリスクファイナンス手法の選択によって災害後の財務状況がどのように変化するかを可視化し、探索することが可能となる。

本ツールのユースケースとしては、商工会議

所や地銀、信用金庫などの事業者支援の現場での利用や災害融資枠や保険などの事前対策の促進を目的とした活用を想定している。

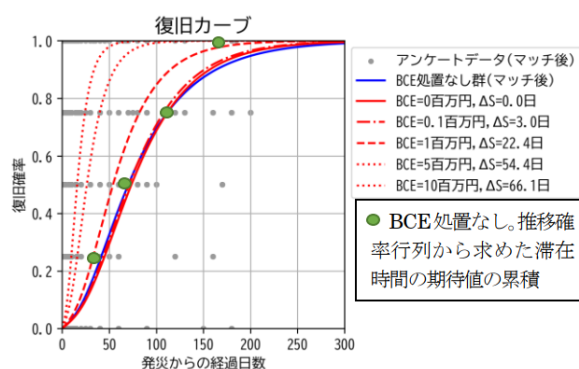


財務シミュレーションツールの構成

### ③ 事業継続費用が企業の復旧過程に与える影響の検討

事業継続費用（BCE）が事業復旧過程に与える影響を定量的に評価することは、復旧の迅速化や事業継続リスクの低減に寄与する重要な課題である。特に、BCE が復旧日数の短縮に及ぼす効果を明らかにすることで、最適な予算化や適切な財務対策の検討が可能となり、企業の財務的耐性が向上する。また、行政や金融機関にとっても、この知見を基に効果的な支援策を構築し、社会全体のレジリエンス強化に貢献できる点で意義が大きい。

本検討では、BCE を支出した企業（支出有群）と支出していない企業（支出無群）の復旧過程を比較し、それぞれの復旧期間との関係性を評価した。さらに、BCE 支出量（連続量）と復旧過程の関係について、セミマルコフ過程の滞在時間および推移確率を用いて分析し、BCE 支出が早期復旧に及ぼす影響や適切な支出タイミングについて考察した。本検討の成果は、BCE の有効性を示し、企業の災害対応戦略や財務計画の高度化に資する知見を提供するものであり、さらには行政や金融機関による支援策の最適化にも寄与することが期待される。



BCE 支出額に伴う復旧カーブの比較



## 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) 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
- 4) 住民参加型防災計画に関する研究
- 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) 研究領域と役割

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の実践研究（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．また，防災計画における多様な主体のコミュニケーション過程に着目し，住民参加型の防災まちづくりに関する研究を行っている．

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(～2025年1月31日) 准教授(2025年2月1日～)
3	岡田夏美	巨大災害研究センター	特任助教/ 特定研究員
4	Carlos Rodrigo Garibay Rubio	巨大災害研究センター	特定研究員 (2024年9月16日～)
5	畑山満則	巨大災害研究センター	教授
6	廣井慧	巨大災害研究センター	准教授
7	Ana Maria Cruz	巨大災害研究センター	教授
8	松田曜子	巨大災害研究センター	准教授
9	土佐尚子	巨大災害研究センター	特定教授
10	PANG Yunian	巨大災害研究センター	特定助教(～2024年9月)
11	櫻井繁樹	巨大災害研究センター	特任教授
12	中村伊知哉	巨大災害研究センター	特任教授
13	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」、文部科学省「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第 3 次）」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地域防災や防災教育の推進、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、災害情報学会で、研究室所属の大学院生 2 名が表彰を受けた。

また、こうした実践的かつ理論的な研究の成果は、防災実務の領域でも活用されている。たとえば、矢守克也教授は、内閣官房「防災庁設置準備アドバイザー会議」委員、気象庁「防災気象情報に関する検討会」座長などとしても活動した。

#### ② アクションリサーチの国際化

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を、国際的に展開するための方法論を検討してきた。具体的には、メキシコ・チアパス州において大雨による災害リスクが高く貧困地域とされる村落での、知識中

心型防災教育と参加・体験型防災教育との間の効果の比較研究や、防災教育と避難意思決定のタイミングの関係について検討した研究がある。また、災害時あるいは防災活動の実践現場で、多様な文化が会うことによって、一方では備えや災害対応を効果的に推進し、他方では阻害することに注目し、Space of Encounter という概念を導入して、インドネシアの異なる信仰を持つ人々がともに防災に取り組む際のジレンマの可視化やその解消方法の検討を行っている。ここで得られた知見を活かして、愛媛県松山市において在留外国人と松山市在住住民らがともに防災に取り組むための場づくりや、高知県四万十町興津地区での技能実習生を対象とした津波防災教育などの実践研究を推進した。

#### ③ 地震・津波複合災害と国際的な研究プラットフォーム

地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム「北中米太平洋沿岸部の地震津波複合災害軽減」を 2024 年度より正式スタートした。メキシコ国立自治大学とエルサルバドル国立大学を主要なカウンターパートとし、両国の大学や政府機関が参画している。本研究プロジェクトの目的は、国際港湾都市を対象に、地震・津波に起因してドミノ式に発生する火災や化学物質流出、経済サプライチェーンといった複合災害リスク評価を行って、ソフト・ハード両面での対策を推進することである。複合災害リスク評価とその社会実装の方法論を創出するための研究プラットフォーム創出を目指している。

さらに、この研究プラットフォームを強固なものにするため、京都大学 On-site Laboratory「地震・津波未災学国際 Lab」の立ち上げに深く関与し、メキシコ国立自治大学内および本学防災研究所内に研究拠点を設置した。またこれら取り組みは、地震津波連携研究ユニットとも連携している。

#### ④ その他

矢守克也教授が令和 6 年防災功労者内閣総理大臣表彰を受賞した。また、中野元太助教が、第 6 回復興デザイン研究賞優秀研究賞を受賞した。

当該年度は、14 編の完全査読付論文として学術雑誌に発表した。加えて 60 件の一般向け講演や、約 130 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。

特に応用研究として、地理情報システムを扱ううえでの最も大きな課題のひとつである、効果的な災害対応、復旧に役立てるための、道路復旧計画モデルについて継続的に研究開発している。2024 年度は大規模災害時の道路復旧計画として、人流情報を用いた災害発生直後の交通時系列変化について、交通需要と道路の復旧状況の関係性を時系列分析することで道路復旧や道路規制施策の効果分析を行った。人流情報としてスマートフォンから得られる位置情報を使用して、トリップ経路推定や交通量算出を行い、発災直後に特有の交通・緊急車両の移動を推定した。さらにその結果と、被災地でのイベントや道路復旧状況を合わせて分析することで交通需要との関係性や道路復旧効果を定量的に算出した。分析の結果から、緊急車両専用の迂回路の設定が物資輸送時間短縮に有効であることなどを示し、道路復旧戦略の事前対策立案を提案した。

情報技術の進展により扱われるデータは大規模化、高分解能化が進んでおり、道路復旧の研究においても、定量的な根拠データからより効果の高い戦略を導き出すことが可能になりつつある。本研究は、このようなデータを用いて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 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、大規模言語モデル）を導入し、最先端の ICT を使った効果的な災害対応手法について、主に下記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、2024 年度は大規模言語モデルを用いた防災訓練シナリオ生成システムの研究開発に着手した。通常、自治体において行われる防災訓練は、自治体職員が職員へのインタビューをもとに訓練用の災害シナリオを作成し、そのシナリオに基づいて実施される。しかし、訓練シナリオの質を担保するには職員の専門知識が重要であるうえ、異なるシナリオを毎年作成し続けることは非常に難しく、訓練の質や効果の維持が問題となる。さらにこうした訓練は大規模に行われることが多く、参加者の参画調整や事前準備が必要であり訓練を実施すること自体にも大きな負荷が伴う。

そのため、防災訓練シナリオ生成システムとして、大規模言語モデルを用いて、訓練シナリオに必要な災害時の状況を自動生成するシステムの研究開発を行っている。災害対応の業務と依存関係、地形情報、想定を超える事態への対応等を加味し、実際のシナリオとしたうえで、シミュレータと組み合わせることで、参加者以外の役割はシミュレータ内のエージェントが担うようになり、大規模な下準備を要せず、実質的な訓練が実施できる特徴がある。このような AI を用いた先駆的な災害対応手法を実務に役立てるために、実際に自治体で行われている訓練を鑑み、学習機構や実務での運用方法などへの様々な面からの研究を重ねている。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、多くの成果を得ている。

そのほか、モバイル空間統計データを利用した避難行動モデルを定量評価手法、災害中間支援組織で扱う災害情報システムについて支援者のニーズを取り入れる設計方法、土砂災害時の地域住民の自主的な避難体制の継続活動モデルなどを提案し、最先端の ICT を使った効果的な災害対応手法について実践研究を推進した。

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、3 編の完全査読付論文、6 件の講演、12 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 Offshore wind to hydrogen production: Identifying Natech related threats for disaster risk management

Large-scale offshore renewable energy development will be increasing globally to combat global temperature rises, while the repurposing of offshore oil and gas infrastructure for wind to hydrogen generation can reduce their carbon footprint. However, the safety of offshore wind-to-hydrogen (WiTH) systems under natural hazard threats remains a challenge. This aligns with Natech (Natural hazard-triggered technological accident) risks, where natural hazards trigger failures in industrial systems, that could lead to severe consequences such as structural damage, hydrogen leak and explosions (Cruz et al., 2004).

In order to gain a better understanding of the operational dynamics and risks associated with these new technologies, in 2024, we collaborated with the Norwegian University of Science and Technology (NTNU) in an effort to prepare an initial inventory and prioritization of elements at high risk in the production, storage, and distribution of offshore wind to hydrogen systems. The work involved several on-line meetings, a short-term graduate student exchange, and in-person visits of researchers from and to both universities.

The results of the analysis have allowed the team to clarify the main components of the WiTH system which include wind turbines, water electrolyzers, hydrogen storage tanks, and hydrogen transportation systems including via pipelines or ships. While these systems may be exposed to many types of natural hazards, storm and typhoon-induced wind and wave loads were of particular concern. High wind loads may cause turbine failure or operational shutdowns, while strong waves may induce excessive platform motion, and structural stress, and could lead to platform drifting causing rupture of connected pipelines and other systems. Future work will focus on systemic failures and potential accident chains triggered within three key subsystems—wind turbines, electrolyzers in particular the proton exchange membrane type, and hydrogen storage tanks, with the aim of proposing an integrated methodology for Natech risk assessment of semi-submersible floating platforms.

#### ② Learning from recent disaster experiences

A visit was carried out to Suzu and Wajima areas in Noto Peninsula devastated by the Mw 7.6 earthquake on 1 January 2024. Visits and interviews with local community leaders were carried out at Teraya, Shimode, and Otanigawa communi-

ties, among others. Through the interviews we found that these communities had taken disaster preparedness actions before the earthquake, and were able to swiftly respond to the earthquake, and tsunami cues (water receding from coastline) evacuating quickly to higher ground. They were self-reliant and self-organized which helped them to cope with the lack of communications, electrical power and water for almost 10 days. Furthermore, they were able to account for everyone in both areas, and take care of the sick and elderly people mostly on their own.

Overall, the above finding are in agreement with previous studies on disaster resilient communities. According to Imperiale and Vanclay (2016), during times of disaster, qualities such as cooperation, togetherness and self-organization emerge. The authors note that community resilience is embedded in communities and emerges in times of crisis. The above examples can confirm that this was the case in these two areas. Paton (2013), in a study of an all hazards conceptual theory, observes that resilient communities are able to adopt hazard preparedness activities to respond to hazard events that can occur suddenly with little warning, and are self-reliant. Future research is needed to better understand how these communities became resilient, and if there are differences between these and other communities in Noto Peninsula.

#### References

Imperiale, Angelo Jonas and Vanclay, Frank (2016).

Experiencing local community resilience in action: Learning from post-disaster communities.

*Journal of Rural Studies*, 47 (Part A): 204-219.

Paton, Douglas (2013). Disaster Resilient

Communities: Developing and testing an all-hazards theory. *IDRiM Journal*, 3 (1): 1-17.

#### ③ Research on resilient communities based on human independency

Research on evacuation policies and community planning is conducted based on the assumption that all human beings are vulnerable and need to depend on others. As a case study, a web survey is carried out to evaluate how people are reacted to show the willingness to evacuate when they see the neighbors' conversation about evacuation, rather than see official evacuation information on their mobile phone screens.

#### ④ Others

In 2024, research results were published in 9 international journals, 1 peer-reviewed book chapter, and 10 oral presentations at international 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なっている。また研修プログラム実施側の人材の育成をめざしたアートイノベーション研究会を毎月開催している。さらに最近進歩の著しい AI を企業内でいかに使いこかすかに関する議論を行うための AI 研究会を、数ヶ月に 1 回の割合で開催している。

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し、TOPPAN 側が新しいビジネスとするための検討を行なっている。

##### ② アートのファッションへの応用研究およびビデオアートの持つ特徴の研究 (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。ニューヨークファッションウィーク(NYFW)の実施団体である Global Fashion Collective から引き続き NYFW での展示に招待された。これに応じて 2014 年 9 月および 2025 年 2 月の NYFW でアートファッションを披露した。特に 2025 年 2 月の NYFW では、難燃性の生地を使ったファッションや災害時の視認性に優れた LED 埋め込み型などの防災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検討を行った。アートコンテンツを床全体に投影する没入空間を構築し、被験者が異なる複数の場所から鑑賞する際に受ける感覚の違いを心理実験によって評価する実験を行った。その結果、アートが人の心に正と負の感情を同時に与えるという新しい知見を得ることができた。

##### 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)

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のが心理実験で確かめられたので、アート照明に関する特許を三菱電機との共同で出願した。また被験者を用いた心理評価と創造性テストの結果に関しては、複数の国際会議で発表し、仕事とアートの組み合わせに関する新しい研究として高く評価された。

##### ④ アート表示に適した没入空間の研究 (TOPPAN、島津製作所との共同研究)

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ことをめざし、鏡の改良、空調の設置などを行った。

##### 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ことはすでに心理実験・生理実験で確かめた。この没入空間(没入空間 1)は無限に続く空間の感覚を与えると同時に自分の姿が映り込むため没入感が減じるという欠点も持つ。そこで比較対象として大型の LED ディスプレイ 4 面で構成される別の没入空間(没入空間 2)を構築し、50 名の被験者を用いて没入空間 1, 2 の比較を心理・生理実験を通して行った。まずは心理実験結果を分析したところ、没入空間 1, 2 という鑑賞環境の違いはアート鑑賞結果には影響しないが、比較対象として用いた単純な幾何学図形の鑑賞結果は鑑賞条件の違いに大きく影響されるという結果が得られた。これはアートが鑑賞環境を超えた価値を有することを示しており、興味深い結果である。今後は生理データ分析を行いこの結果を確認する。

##### ⑥ その他

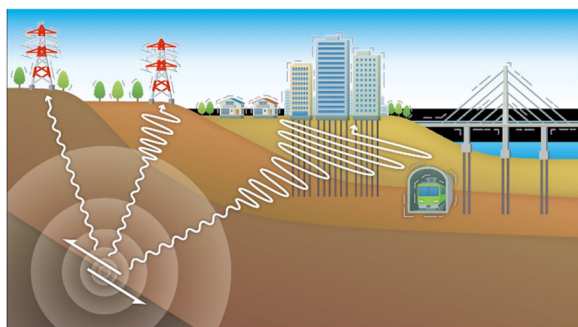
研究成果は、1 編の防災研年報、1 編の完全査読付論文、10 件の国際会議発表、7 件の国内会議発表を通して行われた。

## 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。

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」に基づき、奥能登において調査研究を行った。2022 年より群発地震を対象とした地震計と光ファイバ歪み計による地殻活動連続観測を実施していたが、本年度もこれを継続した。2024 年能登半島地震の余震観測を全国の大学と共同で行ったほか、同地震に伴う日本列島の誘発地震調査を行った。

#### 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構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。

#### 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 光ファイバーセンシング技術による地震研究

国道沿いに敷設された光ファイバーケーブルを分布型音響センシング (DAS) 技術で測定し、地震波動場を超高密度に捉えた。京都府南部で測定された地震の DAS 記録から、下部地殻に存在し地震波を反射する特徴的な構造を詳細に調査した。また地震のメカニズム解の推定を手法の開発とともにを行い、これに成功した。これらの研究は、京都国道事務所との共同研究、科研費学術変革領域研究(A)「Slow-to-Fast 地震学」および「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画 (第3次)」に基づき行った。

#### ⑥ プレート間の摩擦状態推定に向けた研究

科研費基盤研究(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」の研究を進めた。巨大地震の発生が危惧される南海トラフ地震発生領域を対象として、プレート間の摩擦状態を波動論的に推定するために、地震波干渉法を用いてプレート境界で反射する地震波の抽出を試みた。

## II. 強震動研究分野

### ① 震源特性に関する研究

時空間的に複雑な断層破壊過程と地震被害に直結する震源域の強震動特性の関係解明やその事前評価手法の高度化や震源断層破壊の物理解明に繋げるため、強震記録を用いた大地震の震源破壊過程の解析を継続的に行った。特に、能登半島の地震活動に対しては、科学研究費助成事業特別研究促進費「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」(研究代表者：平松良浩金沢大学教授)に参加し、主要な大地震の震源過程の解析とその特徴の分析を実施した。

能登半島北東部において、2023 年 5 月 5 日に発生した M6.5 の地震については、昨年度に三次元地下構造モデルと強震波形記録を用いて推定した震源過程解析結果では、深さ 8~11 km の範囲に最大すべり量 0.8 m のすべりの大きな領域が見られている。この最終すべり量分布と Matsubara et al. (2022)による不均質地殻構造モデルの比較を行った、すべりの大きい領域と低  $V_p/V_s$  比の領域が空間的に対応し、すべりの大きな領域の周囲は比較的高い  $V_p/V_s$  比の領域で取り囲まれていることが分かった。現在、論文投稿中であり、次年度早々の公表を予定している。これらは、強震動予測のための震源モデル設定に繋がる知見であり、今後もそういった知見を系統的に蓄積し、整理していく必要がある。

2024 年 1 月 1 日に発生した令和 6 年能登半島地震の本震 (M7.6) の震源過程についても、地震後の詳細な海陸の余震分布や海域活断層の情報などを参照し、解析結果の更新を行った。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。特に能登半島北西部から南部での強震動には、最初に南西方向へ破壊した断層面の寄与が大きかったものの、能登半島北東部の珠州市周辺での強震動には、遅れて北東方向へ破壊した断層面の寄与が大きいことを説明した。

強震波形記録を用いた動力学的震源インバージョン手法についても、海外での先行研究を参考にしつつ、解析コードの開発を進めた。平成 28 年熊本地震の最大前震 (M6.5) を模擬した手法のテスト及び改良を進め、主要な特徴を再現できることを確認したとともに、今後の課題を整理した。

このほか、令和 5 年度に長期滞在型共同研究として当分野へ招へいたウクライナの研究者との共同研究の成果を査読論文として公表した。

### ② 地震波のサイト特性に関する研究

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に関わる研究を継続した。京都・奈良盆地を対象とした研究成果について取りまとめ、査読論文として公表した。

令和 6 年能登半島地震を含む、石川県及び富山県内 160 地点の長期間にわたる強震観測記録の H/V スペクトル比を分析し、強震時のサイト特性の非線形化に伴うピーク周波数の低周波数化やその時間変化(急激なピーク周波数変化やその回復過程)を定量的に明らかにした。成果をまとめた論文を投稿中であり、次年度早々の公表を目指している。

当分野が京都盆地内外に設置している強震観測点の維持管理を行うとともに、観測データの整理を継続した。旧塔南高校の観測点は、教育財産使用許可終了に伴い 2025 年 2 月に撤去した。連続記録を学内ネットワーク経由でリアルタイム受信している京都大学宇治構内及び京都大学百周年時計台記念館で観測された有感地震の波形記録はホームページで公開している。

### 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た。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)モデルの高度化と強震動予測を担当している。このため、金沢平野、砺波平野や氷見平野での微動アレイ観測の実施、および金沢平野での臨時強震観測を継続した。当研究プロジェクトや既往の調査結果を統合し、石川県から富山県西部にかけての地域を対象にした浅部ー深部統合地盤モデルを新たに作成した。また、関係自治体やライフライン事業者等と情報交換や研究成果の普及のため、地域勉強会を 2024 年 11 月に金沢市で開催した。

### ④ その他の活動

査読論文 3 件。日本地震学会広報誌「なみふる」にて「内陸地震の地震ハザード評価のための震源像の理解」と題した解説記事を執筆した。



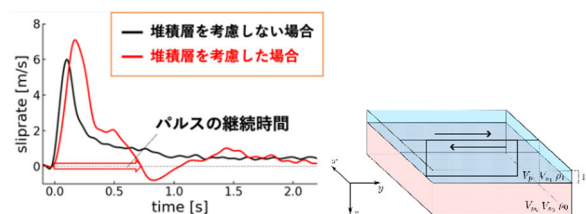
### Ⅲ. 耐震基礎研究分野

#### 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。

この他、地震被災地におけるインフラ施設被害、液状化被害のメカニズム分析のため、被害調査や余震観測を実施している。



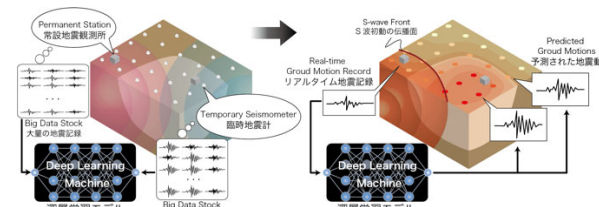
パルス性地震動の生成要因に関する研究事例

#### ② 地震災害軽減に向けた次世代技術の研究

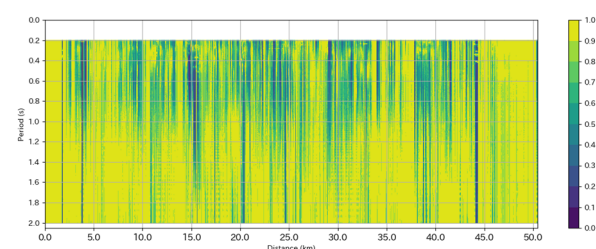
現代社会では機械学習（AI）や高度センシング技術等の新しい技術が台頭し、生活のさまざまな場面で活用されつつある。これら技術を高度数値解析技術と組み合わせることにより、地震災害の軽減に活用し、地震に強い新しい都市のあり方を創造するための次世代技術の研究を進めている。

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 観測による地盤震動やインフラ施設の振動計測に関する研究も進めている。

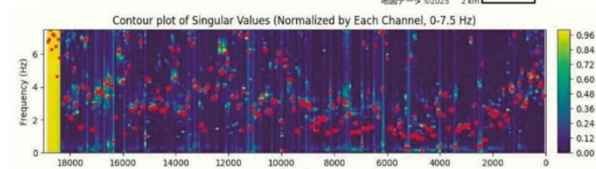
この他、既存ボーリング等の大量の地盤情報データを活用し、ベイズ推論、機械学習、高度数値解析技術等を統合した新たなハザード評価技術の開発も進めている。



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



光ファイバーケーブル DAS 観測によるインフラ施設の健全性把握に関する研究事例

#### ③ その他

本分野の研究成果は査読付き論文（7 編）他、国内外の学会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

令和 2 年度から、建物の耐震・免震・制振を極配置法に基づいて統一表現する研究を実施している。すでに基礎・中間層免震、同調型マスダンパ、ダッシュポットで粘性ダンパを表現した場合の層間ダンパと連結制振を、統一的に支配する式を誘導していた。得られた式は、免震・制振装置の諸元が制御目標で制約されることを意味し、実現不可能な目標設定を回避して、免震・制振効果を物理的に理解しやすくしている。設計の試行錯誤を改善する成果にもなっている。

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、より現実的に効果を理解する目的で、令和 6 年度にはダッシュポットで表現するダンパと剛性で表現する接合部材を直列に繋いだ Maxwell モデルに統一式を拡張した。その結果、建物に同じ減衰効果を与える場合に、接合部材の剛性に最小値が存在することを発見し、それを多質点系建物に拡張した統一式と統合して、層間粘性ダンパの初期見積もりを手計算で実施できる簡易な最適化手法を提案した。すでに海外論文集でも報告済である。

##### ② 煉瓦壁の振動解析モデルの提案、連続地震時の建物被害曲線の把握

令和 4 年度には、研究所の長期滞在型共同研究者として Federico II Naple 大学の研究員を、令和 5 年度には、長期・短期滞在型共同研究者としてイランの Razi 大学の准教授を迎え、その後も研究を継続した。前者とは、煉瓦造の壁の新たな振動解析モデルとして、過去にほとんど無視されてきた煉瓦接着面の引張力と摩擦力を考慮する提案した。後者とは、大地震を建物が連続して受けた場合に、単一の地震よりも被害の可能性がどの程度高くなるかを調べた。連続地震を単一地震と比較すると、地表最大加速度の中央値で被害超過確率が約 15% 高くなり、被害確率の増加はガウス関数に従っていた。単一地震で得られた被害率曲線を連続地震のために調整する方向性が今後考えられる。これらも海外論文集に報告済である。

##### ③ 建物の機能維持性とクリフエッジの評価

令和 2 年度から 5 年間に亘って実施した医工連携の科研費プロジェクトにおいて、耐震工学の観点から、医療施設の脆弱性評価と対策、ならびに機能性が著しく低下する閾値となるクリフエッジの把握に挑戦した。トルコ・シリア地震や熊本地震における医療施設の現地被害調査

では、構造躯体の被害が限定的でも、非構造部材や設備の被害によって機能を損失し、部分避難を余儀なくされた例が数多くあった。地震被害が比較的多い非構造部材や医療機器の実大実験や数値解析を実施し、損傷が増大する閾値や安全余裕度、フラジリティ曲線を導出した。また、機能維持の観点から室内被害を総合的に判定する指標を提案した。これらの成果は国内外の学術論文誌と国際学会に報告している。

京都市内や能登半島の病院群を対象とした地域レベルでの機能維持性評価においては、非構造部材を考慮した総合的評価指標ならびに室内被害ランクを推定した。入力地震動レベルを漸増させることにより、被害が増大するクリフエッジを把握した。実被害との比較では、一部の非構造部材や設備の被害において経年劣化や累積損傷の影響による乖離が見られた。これらの評価指標は、京都市内で構築している病院観測網への導入を予定しており、評価指標の精度向上、ならびに建物モデルや地盤特性などの不確定性の影響分析、について検討を続ける。

##### ④ 耐震性向上に向けた提案

令和 4 年度から実施している構造実務者や鋼材メーカーとの共同研究では、低層工場建物を対象とした耐震補強法として曲線部材を利用した工法を提案し、曲げ加工における鋼材機械特性の変化を分析した。また、建材メーカーとの連携では、間仕切り壁の被害軽減対策を複数提案し、実大実験と数値解析により、性能目標を満たす対策の組み合わせを検証した。これらの成果は国内外の論文集に報告している。

##### ⑤ 複合災害評価における連携

天津大学の研究者を迎え、低層工場建物の屋根に設置される太陽光パネルシステムについて、繰り返し風荷重による接合部の劣化が耐震性に与える影響を評価した。有限要素法解析により風荷重の影響を分析し、実大試験体を用いて風疲労と地震による過荷重の複合実験を実施した。風疲労により損傷メカニズムおよびその程度が変化することを明らかにした。

令和 6 年夏に開催された第 18 回世界地震工学会では、地域被害シミュレーション・モニタリング・複合災害に関するセッションを提案し、座長を務めた。社会科学・心理学の研究者、米国・中国・ニュージーランドの研究者などと今後の重点課題を議論した。令和 7 年 1 月には同セッションに参加した研究者と能登半島地震被災地の復旧状況を視察し、中長期的な復旧に妨げとなっている要因分析を進めている。

## 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防災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 3 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、福井の 2 県に 5 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 7 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 3 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 3 次）」（2023 年建議）に基づく 5 か年計画（2024～2028 年度）では、当センターの教員が研究代表者となっている 3 課題と分担者になっている 1 課題のほか、拠点間連携共同研究の重点研究および一般課題型研究の計 3 件について、研究代表者、同分担者、担当教員等として、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、不定期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、多くの見学者を迎えている。

## 【研究領域の研究内容】

### 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・処理システムの運用とその効率化

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 の常時接続回線や衛星通信回線を使用してデータを伝送し、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TDX (Tokyo Data Exchange center) を介して、SINET6と、JGN-X 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た回線の二重化（冗長化）により、全国大学のリアルタイム地震データ流通システムの安定運用の一部を担っている。このシステムにより、当センターは京大防災研火山防災研究センター（桜島）や京大理学研究科附属地球熱学施設火山研究センター（阿蘇）等を始めとする、西日本地区の関係大学機関へのデータ流通を担うハブ的機関として機能している。なお、京都デジタル疎水ネットワークについては、運用コストの面から2025年3月末を以て使用を終了し、これを用いて完全二重化を図っていたJGN-X回線については、大阪のJGN-XのAPから京大吉田キャンパスを経て宇治キャンパスまでの間のみSINET6回線に相乗りする形態での二重化に変更した。

また、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回線化を進めた。

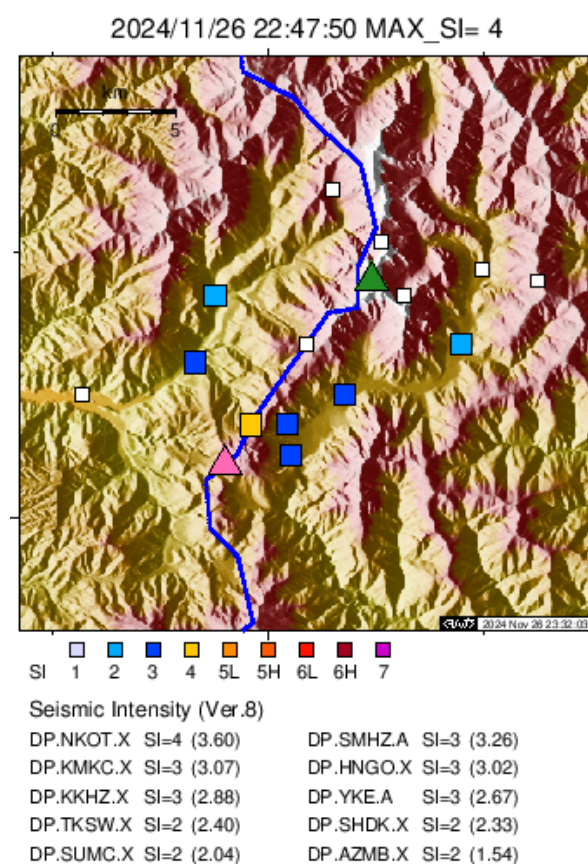
加えて、将来も必要とされる観測施設を取捨選択する作業を進め、老朽化して歴史的使命を終えたと判断される観測施設の整理を引き続き実施した。R6年度は老朽化した観測室3か所および観測所建屋1か所について撤去作業を完了し、R7年度以降の作業の準備を進めた。

#### 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、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・上高地において、観光立地を目指す同地域の主たる利害関係者との協働で、同地域で必要とされる地震情報の発信についての検討と実装をおこなっている。2024年度は、前年度に引き続き、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。R6年度末現在で対象地域には約15点から成る震度観測網が稼働しており、情報の共有範囲や運営形態等の検討が進んでいる。



2024年11月26日の能登半島を震源とする地震（M6.6）発生時の飛騨山脈脊梁部での計測震度の分布。一部観測点では施設の冬季閉鎖のため機器が停止中である。▲は穂高岳、▲は焼岳を示す

## 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・京都府などで独自の GNSS 観測点を設置し、連続観測を行っている。2021 年からは、地震が活発化した能登半島において臨時 GNSS 観測を実施しており、これらの独自観測点の数は 2025 年 3 月現在で 55 点である。これらの観測点のデータは、関係機関の GNSS データと合わせて、自動処理を行い、変位ベクトル図や時系列を Web で公開している。また、これらのデータを用いて、2024 年 1 月 1 日の能登半島地震(M7.6)の余効変動、2024 年 8 月 8 日の日向灘の地震(M7.1)、2025 年 1 月 13 日の日向灘の地震(M6.6)について、速報的に断層モデルや粘弾性緩和モデルなどの変動メカニズムの推定を行い、地震調査委員会に資料提出を行なった。

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。SAR 干渉画像のペアから変形時系列を推定するために、最適輸送理論に基づく新しい方法を開発した。この新しい変形推定手法は、既存の手法を大幅に上回る性能であることが確認され、地震の多い断層における変形を、より正確に検出できるようになることが期待される。

GNSS などによって計測された変位速度データから、地殻のひずみ速度場を推定することは地殻変動を理解するために重要である。ヨーロッパは変位速度が大きな領域と非常に小さな領域が隣接しており、観測点ごとの変位速度の推定誤差も大きく異なっている。このような地域でひずみ速度を推定する場合、従来のひずみ速度推定手法では、ひずみ速度分布の平滑化強度を解析対象領域に対して 1 つだけ仮定するが、変動量が大きく異なる領域が含まれる場合、最適なひずみ速度場の平滑化強度は場所によって異なる可能性がある。そこで、領域を複数に分割して推定する手法を考案して、ヨーロッパの地殻変動データに適用した結果、ヨーロッパ中東部において擾乱が小さくなり、統計的にも、複数に分割して推定した結果がもっともらしいことを示した。

### ② 地震活動と地殻変動の関連性に関する研究

低周波地震活動を予測する統計モデルの構

築を行うため、低周波地震の後続イベント発生レートを記述する経験式を初めて提案した。得られた経験式を点過程の地震活動モデルに組み込むことで、既存のモデルを上回る予測性能を実現した(Nishikawa, 2024)。

中米海溝沈み込み帯において、全域における群発地震活動検出を行い、それに基づくスロースリップ発生地域の候補の特定に取り組んだ。地震活動の解析では、時空間 ETAS モデルを適用し、群発地震活動（通常の余震活動では説明できない地震発生レートの上昇）を網羅的に検出した。さらに、群発地震活動と GNSS データの比較を通して、メキシコ・チアパス沖とコスタリカ・パナマ国境のブリカ半島において群発地震を伴うスロースリップが発生している可能性を指摘した。

### ③ その他の活動

地震計などで広く用いられる現行の加速度センサーから得られる加速度データは、極めてノイズが大きく、数値的に不正確で物理的にも問題があることを指摘した。厳密に計算で高精度高分解能の加速度データを得るために、コンピュータ化された加速度センサーの概念を提案した(Xu, 2024)。

メタンガスは、二酸化炭素に比べてもはるかに高い温室効果があり、大気中での寿命は二酸化炭素よりも短いものの、現在の地球温暖化の 3 分の 1 の原因を占めると言われている。メタンの排出は、配管等からの漏洩や燃焼機器からの放出によるものがあるが、人工衛星によるマルチスペクトルデータを用いて、世界規模で網羅的にこれらのメタン排出を自動検出できる深層学習手法の開発を行なった。今年度は、規模の拡大に対応できるアルゴリズムを初めて実装することが完了し、メタンを大規模に検出する作業を開始した。

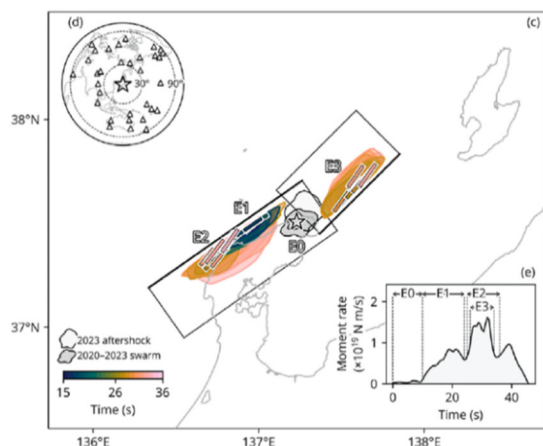
研究領域の構成員は、国際学術誌（Journal of Geodesy, Geophysical Journal International, Acta Geodaetica et Geophysica）の編集委員長や編集委員として学術論文の出版に貢献するとともに、国内外の学協会（International Association of Geodesy, 日本測地学会、日本地震学会）の役員として、学術活動への貢献を行なった。また、研究成果の広報・普及啓発活動として、京都大学や地方公共団体、各種団体が主催する一般向けや高校生向けの講演や新聞・テレビ等のメディア出演・解説を積極的に行った。



### 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。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、2024 年能登半島地震は、長く静かに始まり、その後向きや傾斜の異なる断層を次々と破壊する非常に複雑な地震であったことが分かった (下図左)。具体的には、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  $N50^{\circ}\sim 60^{\circ}E$  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  $N30^{\circ}\sim 40^{\circ}E$  とかなり南北寄りになることも分かった。逆断層成分が主であるが、断層が湾曲していることを反映してか、非ダブルカップル成分がやや大きいことも特徴として挙げられる。本研究結果は *Geophysical Research Letters* 誌から出版され (Okuwaki et al. 2024)、筑波大学と共同でプレスリリースした。



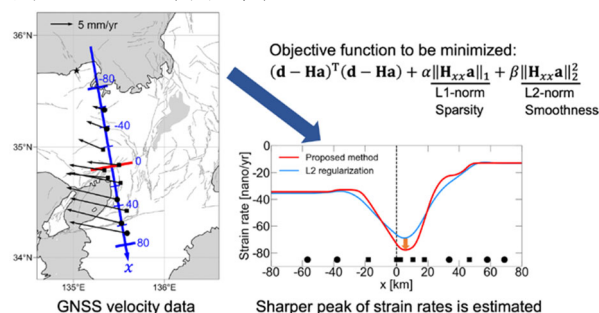
2024 年能登半島地震の破壊過程の概略。Okuwaki et al. (2024)より。

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上がってきたのかが問題となる。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 年までは短縮場にあったが、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。これまで圧縮場にあったところが伸張場となったことで地殻内の圧力が弱まり、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。本研究は *Earth, Planets and Space (EPS)* 誌に投稿し revise 中である。

#### 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、先験情報として平滑化に加えて新たにスパース条件を導入することにより、活断層周辺等での歪みの局在をより適切に推定する方法を開発した (Nozue & Fukahata, 2025)。同手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 (下図右)。



GNSS velocity data  
Sharper peak of strain rates is estimated  
スパース条件を取り入れた有馬高槻構造線を横切る測線に沿う歪み速度の推定。

#### ③ 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、42 件の定例一般見学会、32 件の団体見学会に加え、9 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、17 件の防災講演などの出前講座、4 件の公開講座 (まんてんてらこや) を開催し、合計 2478 名の参加者を得るなどして、社会貢献に努めた。中でも、10 月に開催した京大ウィークスでは、2 日間で 400 人を上回る参加者があった。

#### IV. 海域地震研究領域

##### ① 環太平洋地域のスロー地震研究

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。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た。

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 年以來、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で取得された海底地震計記録に対してマッチドフィルター法を適用して低周波地震を検出した。低周波地震の検出はこの地域では初めてである。

ニュージーランド北島東方沖のヒ克蘭ギ沈み込み帯は、比較的規模の大きなスロースリップが頻繁に発生する地域である。我々は、2019 年 2 月～7 月にニュージーランド・ヒ克蘭ギ沈み込み帯で発生したスロー地震（SSE）の時空間的なすべり挙動を、陸上 GNSS、海底圧力計、InSAR を用いて時系列インバージョンにより解析した。

##### 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。2023 年の浅部スロー地震活動の解析により、その活動様式が 2015 年のスロー地震活動と非常によく似ていることが示された。

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 23 名の学生の指導を行った。

日向灘において 2024 年 8 月 8 日 Mj7.1 および 2025 年 1 月 13 日 Mj6.6 に発生した地震について、日向灘の地震活動に関するこれまでの知見を生かして自治体や報道機関への情報提供を行った。NHK 宮崎放送局より 2024 年度放送記念部外感謝状の贈呈された。

##### 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、今年度は宮崎市立青島小学校、広瀬小学校、西池小学校、日南市立鶴戸小中学校において防災教育を行った。巨大災害研究センターと連携し、和歌山県庁、高知県庁、宮崎県庁において自治体向けの南海トラフ地震臨時情報研修を実施した。観測所見学の受け入れや一般向けの講演・セミナーなどのアウトリーチ活動は 41 件実施した。

宮崎公立大学との共同研究（令和 6 年度地域貢献学術研究助成金）において、学生有志 105 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、データを宮崎市に提供した。2024 年 8 月 8 日の地震から 2 ヶ月に合わせて一般向けの公開講座を実施した。

##### ④ 四国下のフィリピン海スラブの形状の推定

海陽一米子測線、須崎ー今治測線、土佐清水ー八幡浜測線、および徳島ー西予測線に対して、レシーバ関数解析により推定されたフィリピン海スラブの形状について総括的な検討を行った。その結果、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、とくに東部において浅い深度に緩い傾斜で存在するという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な知見が得られた。

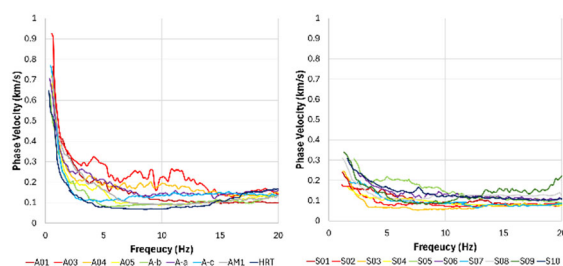
##### ⑤ 比較地震津波災害科学の推進

理学ー工学ー人文・社会科学を総合した研究領域としての「比較地震・津波災害科学」の研究推進と関連情報の集約に向けた環境整備を進めた。京都大学では海外機関等と活発な研究交流を行い、世界をリードする最先端研究を推進することを目的に、世界各地に現地運営型研究室(On-site Laboratory)を設置している。我々は、巨大災害研究センター及び地震津波連携研究ユニットと連携して、学際的な視点から地震・津波災害の比較研究に取り組む「比較地震・津波災害科学」の研究拠点「地震・津波未災学国際 Lab(iLETs)」を設置した。iLETs のラボをメキシコ国立自治大学と京都大学宇治キャンパス内に開設した。またエルサルバドル大学内にも iLETs のサテライトオフィスを設置した。今後、メキシコ及びエルサルバドルとの国際共同研究の発展に加えて、チリ、コロンビアなどの中南米の研究機関との新たな共同研究も含めた地震・津波災害とリスクの理解の高度化を進める予定である。

## V. 地盤震動研究領域

### ① 観測記録に基づく庄内平野の地下構造と地盤増幅特性の推定に関する研究

常時微動および地震動観測記録から庄内平野の地下構造および地盤増幅率を求め、1894 年庄内地震の被害分布との関係を調べた。東大地震研、山形大理学部と協働して、庄内平野において 132 地点での単点と 20 箇所でのアレイで微動観測および 10 地点で地震動観測を実施した。微動観測記録からは微動水平上下スペクトル比 (MHVR) とレイリー波位相速度を求めた。MHVR とレイリー波位相速度をターゲットとしたインバージョン解析により、観測点ごとに地下構造を推定した。推定した地下構造から求めた地盤増幅率の分布は、1.0 Hz まわりにおいて 1894 年庄内地震の被害分布とよく対応した。近年の内陸地殻内地震の特徴を考慮すると、1894 年庄内地震においても建物被害に 1.0 Hz の速度パルスが寄与した可能性が示唆された。



推定したレイリー波位相速度

### ② 台湾南東部における微動観測および地盤構造推定

台湾南東部で発生した 2022 年 Taitung 地震の際に出現した地表地震断層と震源断層との関係を理解し、地表地震断層が出現した際の強震動を把握するために、震源域周辺の地盤構造を同定することを目的とした常時微動アレイ観測を台湾南東部の 3 箇所 (南から池上 (G020)、富里 (F042)、玉里 (EYUL)) において行った。常時微動観測は 2024 年 7 月に、清水建設、大崎総合研究所、台湾国立成功大学と共同で行った。その観測波形に対して周波数一波数スペクトル法を適用して数秒から数 Hz までの幅広い周波数範囲において位相速度を求めた。その結果、G020 アレイでは 0.45~9 Hz、F042 アレイでは 1.7~10 Hz、EYUL アレイでは 0.4~6 Hz の幅広い周波数範囲で 0.4~3 km/s 程度までのレイリー波位相速度が得られた。今後は本研究で求めた位相速度を用いて、震源域周辺の地盤構造を推定する。



台湾南東部における常時微動観測メンバー

### ③ 予測地震動のばらつき評価のための強震動推定

花折断層帯で発生する地震に対する京都盆地における推定地震動の不確実性を導出するために、京都盆地の東側を南北に走る花折断層帯に対して、物理学的アプローチ (ハイブリッド法) と経験的アプローチ (地震動予測式) を用いて地震動推定を行った。ハイブリッド法による工学的基盤岩上の推定最大地動速度 (PGV) と地震動予測式による推定 PGV の不確実性から、対象地点の地下構造などの条件に基づいて地震動予測式に適用できる不確実性の提案に結びつけるための検討を進めている。

### ④ 海底地震観測記録を用いた地盤構造推定

房総半島沖から北海道南部の間の太平洋沖に敷設されている海底地震津波観測網 (S-net) で観測された地震動記録を用い、S-net 直下の地下構造の推定を試みた。観測地震動の水平上下スペクトル比 (EHVR) には地震計の設置状況 (埋設・非埋設) に起因すると思われる鋭い谷形状や方位差が見られた。これらの特徴については今後詳細に分析していくものとし、これらの特徴を含まない 0.1~3.0 Hz を対象に埋設・非埋設観測点でそれぞれ共通の条件で S-net 全 150 点で EHVR インバージョンを行い、地下構造を同定した。どの観測点でも観測 EHVR をよく説明できる構造が同定できたが、S-net 全体での空間的ばらつきは大きかった。

### 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、日本自然災害学会、防災学術連携体の委員を務め、地震工学・地震災害に関わる学術的・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

本研究領域では、令和 6 年 3 月 1 日に前任者が異動したのち、令和 6 年度は教員が不在だったため、今回の報告は下記の一つのみである。令和 6 年能登半島地震の余震観測は、本研究領域の前任者が中心となり、地震災害研究センターと地震防災研究部門の地震発生機構研究分野とが共同で行ったので、双方から報告がなされる。

### ① 令和 6 年能登半島地震の余震観測

2024 年 1 月 1 日に発生した M7.6 能登半島地震に関して、所内関係者および他大学と連携し、奥能登地域で合同の臨時余震観測を行った。観測中は定期的なメンテナンスを行い、2024 年末に観測機材の撤収作業を行った。これらの記録は合同観測の記録として、今後研究に利用される。

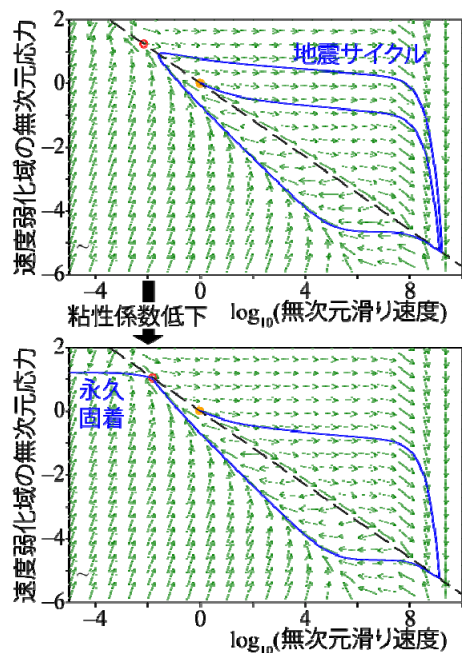
この観測は、科学研究費助成事業（特別研究促進費）「2023 年 5 月 5 日の地震を含む能登半島北東部陸海域で継続する地震と災害の総合調査」、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第 3 次）」、所内共同研究「長期間継続する群発的地震活動の予測可能性の検証と地元自治体・住民への情報共有」の補助により行った。

## VII. 断層物理研究領域

### ① 粘弾性体中の断層挙動の homoclinic 分岐による地震性・非地震性遷移の発見

断層の地震性・非地震性は約 40 年間、定常滑りの解の安定性に基づいて理解されてきた。すなわち、定常解の線形安定性解析で現れる Hopf 分岐、具体的には速度弱化和系のスティフネスの競合により断層が地震性か非地震性かが決まるとされてきた。一方 Noda and Miyake (2019) は、媒質の粘弾性変形を考慮した動的地震サイクルシミュレーションを実施し粘性係数を低下させると地震の再来周期が発散し断層が永久固着する、新しいタイプの地震性・非地震性遷移を発見した。これをさらに発展させ、永久固着に至る過程を非線形動学的に説明した。

Maxwell 線形粘弾性体中の断層挙動を速度弱化パッチ内外での空間平均を用いて粗視化すると、2 自由度のバネ・ブロック・ダッシュポットモデルに近似できる。実際に 2 自由度モデルの挙動と連続体モデルの挙動を比較すると、定量的に非常によく似ている事を見出した。このため、低自由度モデルを用いて連続体モデルを「理解」することができる。低自由度モデルで地震サイクルが実現されるとき、不安定な渦状点（図中黄●）と鞍点（図中赤○）が存在する。粘性係数を低下させるとこれらが近付き最終的には対消滅するが、その前に鞍点が地震サイクルを表すリミットサイクルに衝突する。このと



粘性係数を低下させた際の homoclinic 分岐による速度弱化パッチの永久固着。

き地震の再来周期が発散し、その後は軌道が滑り速度ゼロの方へ吸い込まれ、断層の永久固着に至る。これは homoclinic 分岐と呼ばれる大域的な分岐であり、本研究では既知の Hopf 分岐とは異なる分岐で断層の地震性・非地震性の遷移が起こる事を初めて発見した。本成果は国際誌 (Earth, Planets, and Space) に掲載された。

### ② 脆性塑性遷移領域における剪断帯の構造から塑性変形の寄与を定量化する試み

地下深部で高温高压になると、造岩鉱物の流動（例えば結晶塑性変形）が卓越し、岩石が割れる脆性変形を起こらなくなる（脆性塑性遷移）。この遷移領域では脆性変形と流動が混在した S-C マイロナイトと呼ばれる岩石が生じる。1980 年代に多くの大地震が遷移領域を破壊開始点とする事が指摘され、その力学特性が地震発生の物理を理解する上で重要と考えられる。

混在する脆性変形と流動の寄与については、遷移を特徴付ける基礎的な量であるにも関わらず、これまで定量化すらされてこなかった。Noda (2021) は傾いた滑り面と全体的な流動が共存する系を仮定した剪断帯の構成則を提案したが、実験的検証がなされていない。広島大学で実施された石英多結晶体の変形実験の内部構造（鉱物粒子の長軸方向の分布）から、塑性変形の寄与を世界で初めて推定し、上述のモデルとの整合性を議論した。流動が有意となる領域では、塑性変形の寄与が温度と共に上昇する、期待された結果が得られたが、流動がほぼ効かない低温において異常に高い塑性変形の寄与が得られた。これは脆性領域における粉体流や破碎流動による粒子の定向配列がモデルでは考慮されていないため、新たな課題と言える。本研究成果は複数の学会で学生が報告を行い、地質学会において学生優秀発表賞を受賞した。

### ③ 断層の粗さの消長を考慮した摩擦構成則を用いた地震サイクルシミュレーション

大地震ほど強靱な、すなわち破壊面の生成に必要な破壊エネルギーが大きい領域を破壊する。90 年代に摩擦面の self-Affine 的な形状に着目し、マルチスケール性を有する摩擦の強度則が提唱された。これに滑り速度依存性を導入し速度・状態依存摩擦構成則の形に整え、動的な地震サイクルシミュレーションに実装した。その結果、一つの地震サイクルシミュレーションに複数のサイズの地震が現れ、その破壊エネルギーが地震のサイズにスケールする結果が得られた。本研究成果は複数の学会で学生が報告を行い、地震学会において学生優秀発表賞を受賞した。

#### **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、昨年度に引き続き、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、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 火山防災研究センター

### 【センターの活動概要】

#### (1) 研究対象と活動方針

昭和 35 年に設置された桜島火山観測所は平成 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火山活動研究センターに改編され、火山噴火予知研究の単独領域となった。平成 28 年度には火山テク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、火山テクニクス研究領域は巨大噴火研究領域に改称した。昭和 42 年に防災研究所の附属施設となった穂高砂防観測所は改組によって、平成 8 年に災害観測実験センターの一部として改編された。平成 17 年に流域災害研究センターの流域圏観測研究領域の一部を構成し、令和 6 年 7 月に火山砂防研究領域として火山活動研究センターに合流し、火山防災研究センターとなった。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、火山砂防研究領域は穂高砂防観測所に勤務している。

火山防災研究センターは、火山噴火の発生機構と発生場の理解を進めるため、観測や調査に基づく火山噴火発生予測の研究、火山砕屑物などの流動による災害の発生機構の理解と、観測および予測手法の開発といった火山災害軽減のための研究を推進している。我が国で最も活動的な火山である桜島に所在する桜島火山観測所と焼岳の山岳地域に位置する穂高砂防観測所を国際的なフィールド研究拠点として共同研究を進めるとともに、国内外の活動的な火山も研究対象として、標準的な火山活動および火山災害の推移原理の解明を進めている。

学内外の関連分野の研究者で構成される「火山防災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、研究活動を行っている。

#### (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。

火山砂防研究領域は、活火山・焼岳に隣接する穂高砂防観測所を活用して、豪雨による侵食・崩壊や火山活動に伴う土砂の生産過程、ならびに融雪や地下水を考慮した土砂災害とその流出過程に関する観測研究を推進している。そして、豪雨や火山・地震活動を誘因とする土砂災害のメカニズム解明とその発生予測に関する研究、山地域の土砂動体のモニタリング技術の高度化や流域環境に与える影響などに関する研究を推進している。

### (3) その他（横断的な活動等）

火山防災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してきた。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。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、所内においては気候変動適応研究センターと、所外では、東北大学理学研究科、東京大学地震研究所、鹿児島大学、防災科学技術研究所、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。

## 【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 2 次および第 3 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、ケルート、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 桜島の地下比抵抗構造探査

桜島における火山噴火を支配する地下構造モデルの精緻化を目的に、2024 年度は桜島島内計 35 地点において広帯域 MT 観測を実施した。高品質な MT 応答を得るため、各観測地点ではおおよそ 3 週間の長期間測定を実施した。現時点の解析では、約 3/4 の観測点にて良質な MT 応答を推定できているが、引き続き処理を進め、質の改善に取り組むとともに、3 次元構造の推定を行う。なお次年度はより深部の構造推定に向け、桜島島外に観測域を広げ MT 観測を実施する予定である。

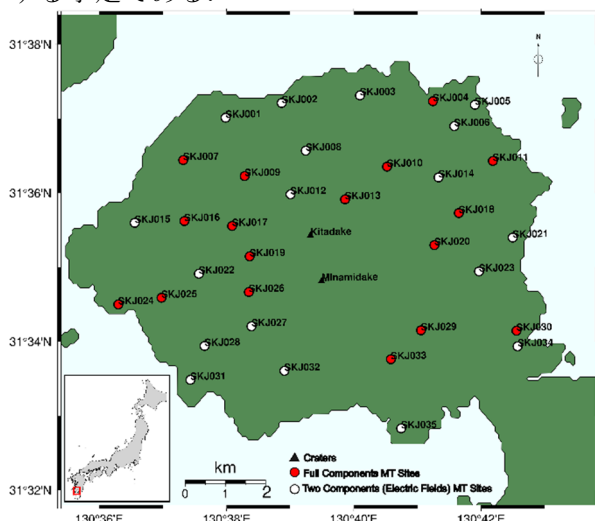


図 広帯域 MT 観測点分布図。赤・白丸は、それぞれ 5 成分・2 成分観測点を示す。

### ② 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。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。

### ③ 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、これまで取得した空中磁気探査および MT 探査データの解析を進め、拡大方向に加え軸方向においても不均質性が存在する可能性が明らかになりつつある。

### ④ 島弧の火山形成メカニズムに関する研究

同一のプレートが沈み込んでいる島弧の火山列には非火山地域が形成されることがあるが、地下構造としてこの違いをとらえることは島弧の火山形成メカニズムを解明するために重要である。本年度は、GNS Science・東京大学と共同で 2023 年度にニュージーランド北島（ヒ克蘭ギ沈み込み帯）で取得した長周期 MT 法観測の 28 点のデータの解析を進め、1 次元比抵抗構造解析を行った。火山／非火山地域で異なる様相を示す結果を得たが、より直接的に他の解析結果と比較可能にする 3 次元解析を進めている。

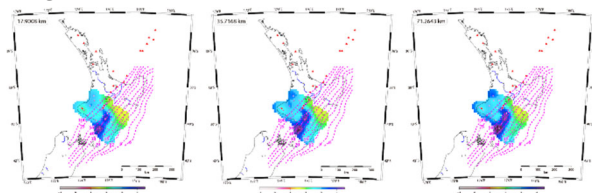


図 MT 応答関数の回転不変量（SSQ インピーダンス）を用いて求めた各サイトの 1 次元比抵抗構造解析の結果。

### ⑤ 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。さらに、2024 年 1 月 1 日の M7.6 の巨大地震が発生した。この地震発生を受け、これまで海陸で取得した MT データに加え、2024 年に海底 12 点で観測を実施した。現時点では、2021 年以降に取得したデータに加え、2007 年のデータを含めた統合解析を実施中である。2022 年末より継続中の長期連続観測では、地磁気変換関数の変化が確認できているが、地下構造情報と比較することで変化源について検討を進める。



### 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周辺に設置した地震観測点のデータを基に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が、その火山の噴火規模の上限を知ることにつながる。

2024 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は顕著に減衰が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取り組んでいる。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。

2024 年度も前年度に引き続き始良カルデラ地下のマグマ蓄積量の推定を行った。新たに追加された 2024 年のデータからは  $2.0 \times 10^6 \text{m}^3/\text{年}$  のこれまでの平均的な年間蓄積量を下回るマグマ蓄積が推定され、始良カルデラの地下におけるマグマ蓄積の進行が停滞していたことを確認した。

#### 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。

2024 年度には 2022 年度に設置された海底地盤変動観測装置の維持および自動処理システムの運用を継続して観測データを蓄積した。同観

測装置では大きな欠測が発生せず観測が推移するとともに、設置後 22 ヶ月間に約 5 cm の圧密効果と考えられる沈下が観測されたが、2024 年にはいつから沈下速度は落ち着きつつある。今後は局所的な圧密効果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 2024 年 8 月に発生した M7.1 日向灘地震による水平加速度約 20Gal を経験し、海底のアンカーの約 35cm の移動が発生した。また、同月末に台風 10 号の暴風圏の襲来を経験したが、漂流は発生しなかった。

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ひきつづき取り組んでいる。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い、発振専用水槽の試験にも取り組んだ。

2024 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と発振実験の高頻度化を目的に発振施設構成の検討と始良カルデラ北側地域における用地取得をすすめるとともに予備調査を行い、後年度の建造が予定されている本格的な発振設備の設計に有益な情報を得た。

#### ④ その他

本領域の研究成果は2編の研究報告を防災研年報67号に掲載したほか、1編の英文技術報告を国際雑誌に掲載した。

#### Ⅳ. 火山砂防研究領域

##### ① インドネシア・マラピ火山の災害調査

2023 年 12 月 3 日、インドネシア・スマトラ島に位置するマラピ火山で、火山爆発指数 (VEI) 2 に相当する噴火が発生し、噴煙は山頂から約 3 km の高さに達した。この噴火により、登山者 75 名のうち 23 名が死亡するなど、甚大な被害が生じた。さらに、2024 年 5 月 11 日の大雨により、マラピ火山周辺では泥流や流木が発生し、下流域では土砂と水の氾濫によって少なくとも 58 名が死亡、35 名が行方不明となった。こうした火山地域における土砂災害の実態を把握するため、2025 年 2 月 15 日から 23 日にかけて、砂防学会調査団の一員としてマラピ火山周辺のアナイ川、カティック川、マラナ川において現地踏査を実施するとともに、地方自治体や地域住民へのインタビューを行った。

調査の結果、各河川における下流域への土砂流出の粒径分布には明確な違いが見られた。これは、火砕流堆積物、火山灰堆積物、溶岩など、土砂の供給源となる地質の違いを反映していると考えられ、火山地域における地質調査の重要性が示唆された。また、インタビュー調査を通じて、各河川の降雨や災害発生タイミング、早期警戒システムの導入状況や運用実態についての情報も得られた。一方で、噴火が土砂災害の発生に与えた影響を定量的に評価するためには、降雨データの解析が不可欠であり、地上雨量計データや衛星降雨データの取得・解析が今後の課題としてあげられる。



火砕流堆積物起源の土砂流出 (マラナ川)

##### ② 土石流発生ポテンシャルの評価

土石流発生の要因である恒常的な土砂生産と火山噴火による浸透能の低下が、どのように土石流の発生ポテンシャルに影響を与えるかを、数値解析を用いて検討した。まず、穂高砂防観

測所の観測流域である足洗谷流域を対象とし、継続的に供給される土砂によって溪床に堆積する土砂の層厚が年々増加する過程を再現し、これが降雨時の土石流発生に与える影響を評価した。流域土砂動態解析モデル SiMHiS を用いたシミュレーションの結果、層厚の増加が土石流の発生頻度や降雨に対する感度を高めることが確認され、短期的な気象条件だけでなく、土砂の長期的な蓄積状況を考慮することの重要性が示された。

また、火山噴火による急激な浸透能の低下が土石流に与える影響についても検討した。焼岳の地形条件を想定し、火山灰堆積によって浸透能が低下した地表に対し、さまざまな降雨条件を与えた解析を行った。その結果、浸透能の低下により表面流が発生しやすくなり、短時間の弱い降雨でも土石流が発生する可能性が高まることが明らかとなった。さらに、火山噴出物によって河道の土砂が厚く堆積した場合には、滑動によって土石流が発生しやすくなることも確認された。

これらの結果から、土石流の発生ポテンシャルを適切に評価するためには、降雨条件だけでなく、堆積土砂の層厚や地表の浸透特性など、時間的・空間的に変動する要素を的確に捉える必要があることが明らかとなった。火山地域においては、噴火後の迅速な地表調査と数値シミュレーションを組み合わせることで、面的なリスク評価が可能となり、より実効性の高い防災対策へとつながることが期待される。

##### ③ LiDAR による広域地形計測

山地溪流における土砂生産および土砂流出の実態を把握し、これらを定量的に評価することを目的として、足洗谷流域においてドローン LiDAR による定期的な地形計測を実施している。ドローンによる高密度かつ広範囲な三次元地形データの取得により、土砂移動や堆積の空間的分布を把握することを試みている。加えて、出水イベントなど短期間で顕著な地形変動が発生する可能性があることから、ハンディ型 LiDAR を併用し、より高頻度かつ柔軟な計測による地形変化の定量化を試みている。これにより、流域内の土砂動態の時間的変化を捉えると同時に、流出量評価に向けた高解像度な観測体制の構築を目指している。

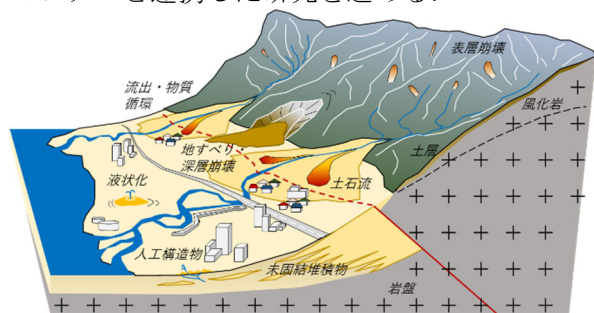


## 8.6 地盤災害研究部門

### 【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未災学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、山地災害のハザードを評価するために、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、斜面における多種のマスムーブメントの要因解析や過程追跡を行っている。これにより、山地災害を、多階層的な構造をもつ地表近傍境界域における多様な時空間スケールでの現象と位置付けた研究を進めている。

傾斜地保全研究分野では、沿岸から山地に至る人間の居住域近傍の傾斜地を対象に、応用地質学、水文学、地形学などを基礎として、人為的影響を含む様々な誘因を考慮した地盤災害の監視・予測・対策技術に関する研究を推進している。特に、現地調査および観測、室内試験、数理解析などのアプローチにより、地盤変状の検知や地盤構成物の物性評価、そして斜面の安定解析に関する先進的な研究を展開し、それらを組み合わせて傾斜地のモニタリングとモデリングの高度化を進め、成果の社会実装も目指した研究を進めている。

#### (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、斜面未災学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、斜面未災学

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、地盤作製方法に起因する土粒子構造の違いが地盤液状化挙動に与える影響や、地下水位以浅の不飽和領域が地盤挙動に及ぼす影響など、継続時間の長い大規模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 液状化に関する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。次年度の一斉実験・一斉解析に向けて、本年度は盛土や建物直下のような異方応力状態にある地盤挙動を対象に、中空ねじりせん断試験機による液状化試験を実施し、液状化挙動に及ぼす異方応力状態の影響分析を行った。

#### ④ 令和 6 年能登半島地震における液状化に伴う側方流動被害の解明（上田，渦岡）

令和 6 年 1 月 1 日の能登半島地震では、石川県や富山県等で多くの液状化被害が発生した。特に石川県かほく市および内灘町では、砂丘と干潟に囲まれた緩傾斜地盤において、液状に伴う顕著な側方流動被害が見られた。このような被害の発生メカニズムを明らかにするため、液状化を考慮できる土の構成モデルを用いた有効応力解析を実施し、地表面形状や地下水位形状が側方流動被害に及ぼす影響について定量的な

評価を行った。また、遠心場での模型振動実験および有効応力解析により、道路構造物が側方流動変位に及ぼす影響についても分析した。

#### ⑤ 水平 2 方向入力地震動を受ける砂地盤の液状化特性の解明（上田）

水平 2 方向入力地震動が描く複雑な加速度軌跡が、地盤や斜面の非線形動的応答特性に及ぼす影響を定量的に評価し、地盤災害の危険度評価に反映させることを目的に、強震応答実験装置（振動台）を用いた砂地盤の加振実験を実施した。また、砂地盤の液状化挙動に及ぼす水平 2 方向地震動特性の影響評価のため、様々な 2 方向スペクトル適合波を用いた 3 次元有効応力解析を実施した。これらの結果より、2 方向スペクトルが同じでも、過剰間隙水圧に代表される地盤の液状化挙動に水平 2 方向地震動の軌跡特性が大きく影響することが示された。

#### 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。今年度は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、水理・力学パラメータを同定した。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。今年度は Athwelthota で 2017 年 5 月に発生した地すべりを土-水-空気連成有限要素解析を用いて再現した。また、2024 年 7 月に新たに発生した地すべりについてデータ整理を実施し、データ同化解析の準備を行った。さらに、最終年度として報告書のとりまとめを行った。



## 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、テクトニクスの変遷や気候変動あるいは地震動といった外部強制力に対する応答としての山地の地形形成過程を検討した。日本の中部山岳をはじめ、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の大起伏山地を対象とし、地形地質踏査およびデジタル地形モデルの定量的解析を行った。こうした研究により、河川の下刻が斜面の不安定化の要因となることや、退氷や降水量の増加が岩盤崩壊の誘因となることを示した。さらに、大イベント時には岩盤崩壊の発生に伴う土砂供給により河川堆砂中の宇宙線生成核種濃度に希釈が生じることを明らかにし、その程度がイベントの規模指標となりうることを示した。

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、湖盆や浅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。これにより、山地流域の地形が、その各部位における条件の下、それぞれ内的営力と外的営力の競合による動的平衡へと至り、その結果、全体として過渡的変遷を遂げるという地形観の妥当性が確認された。

### ② 斜面における風化帯形成モデリング (松四)

深成岩類や堆積岩類からなる斜面岩盤を対象として、化学物理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的モデルを提唱し、それを流域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・可視化する新しい方法を提案した。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、土砂輸送や森林機能あるいは地下水流動といった諸現象とカップリングさせた統合的モデルの構築を進めた。これにより、地形の削剥速度と風化帯の厚みおよび斜面構成物の物性が数理的に結合され、それを地理情報システム上に具現化したモデルが、土砂移動を伴う地形変化や洪水流出といっ

た災害予測に資するシミュレーションに援用できるようになった。

また、火砕物の風化過程と粘土鉱物の生成について、主として地震による斜面変動の発生場を対象に、斜面災害の原因物質となる特定の粘土鉱物の蓄積に関する研究を行った。特にハロイサイトの生成については、母材から溶脱した鉄が、還元的な環境下で二価のイオンとして遊離し、アルミニウムを同型置換することでアルミノケイ酸シートに取り込まれ、層電荷の発生をもたらすことの重要性を指摘した。

### 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の定量評価・可視化システムを樹立した。斜面における長期的な土層の発達を、土粒子の生成・集積と表層崩壊による除去を一つのサイクルとするシミュレーションにより計算する方法を提案した。さらに、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の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。また、気候変動に対する発生事例のイベントアトリビューションや流域からの土砂生産量の将来予測について確率論的な評価を行うための基盤整備を達成した。

### 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。さらに、地下での宇宙線生成核種濃度の深度分布の成立について、宇宙線強度の変動を考慮したモデリングを考案し、解釈の拠所となる地表削剥速度の評価精度を高めることができた。

### 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）

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）

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 令和 6 年能登半島地震時の隆起海岸に露出した軟岩の風化特性評価（小暮）

令和 6 年 1 月 1 日に発生した地震に伴う能登半島北部および西部の海岸隆起について、構成岩石の諸物性の測定およびスレーキング試験を行った。XRD 分析の結果、ほぼ全ての岩石中に膨潤性粘土鉱物であるスメクタイトが含まれることがわかった。スメクタイトを示す回折の強度は、火砕岩・凝灰岩類で珪質泥岩に比べ 2-3 倍程度大きかった。また、水銀圧入法による細孔径分布測定結果からは、火砕岩と珪質泥岩ともに細孔径分布が二峰性を示した。

スレーキング試験の結果、3 サイクル終了時の重量減少率が大きかった岩石は大きい方から順に縄文層凝灰岩、道下層凝灰岩、馬縞層デイサイト火砕岩であり、珪質泥岩に比べ明らかにスレーキングしやすいことがわかった。これらの火砕岩では、水浸と同時に細片化が始まった。縄文層凝灰岩と道下層凝灰岩には、乾燥中に割れ目が形成された。また、岩石の種類に関わらず、乾燥時間の増加に伴い重量減少率が増加した。

## 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。斜面防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「斜面防災学」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）

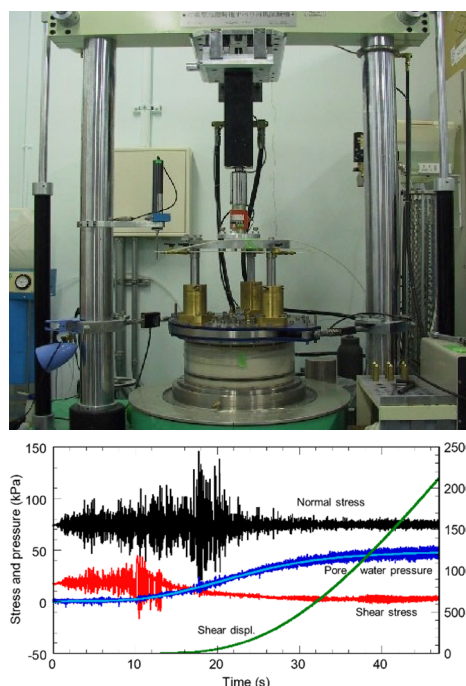
センターは、地すべり研究に特化した地すべり再現試験機を保有している。そのため、世界各地の大学や研究機関および民間団体による実験施設の見学やセンターへの訪問が多く、国内外の地すべり研究や災害軽減に貢献している。

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



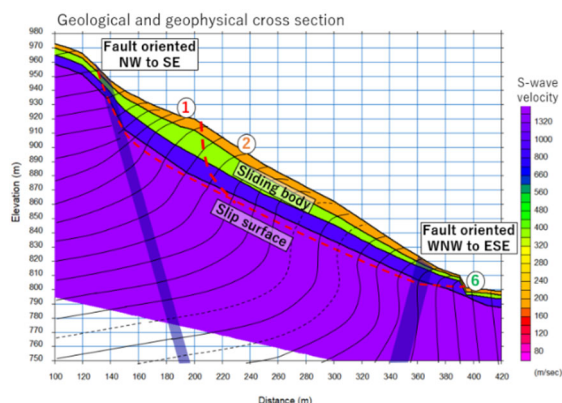
京大ウィークス（徳島地すべり観測所）での地すべり・地質見学会（令和6年11月9日）

## 【研究領域の研究内容】

### I. 未災情報研究領域

#### ① 斜面可視化手法の開発とモデリング

複雑な斜面の地盤構造を地表から非破壊で三次元的に可視化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 6 年度は、表面波探査や微動アレイ探査、常時微動水平上下振幅比 (H/V) 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、能登半島地震の被災地や米国ロサンゼルスなど国内外各地の地盤調査に適用した。調査結果はデータベース化して一般公開している。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。



長野県辰野町における重力変形斜面での地震波の調査結果

#### ② 斜面リアルタイムモニタリング手法の開発



諏訪東京理科大学と協力した  
土石流監視システムの設置

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や、降雨に

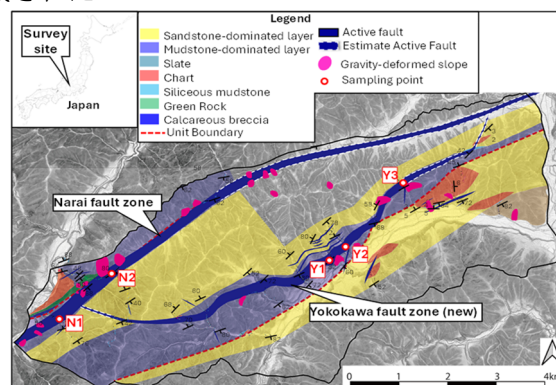
伴う土石流の発生を早期に検出することを目的とし、常時微動を連続的に測定し自動解析することにより地盤の S 波速度の変化や河川の状態を連続的に把握もしくは監視するシステムを開発している。このシステムは、複数の単点の地震計、もしくは多チャンネルの地震探鉱器で測定した常時微動のデータをインターネット回線を用いてサーバーにアップロードし、サーバーで自動解析してデータベース (DB) 化するものである。このシステムを用いることにより、誰でも Web を通して地盤の剛性の変化を閲覧することができる。令和 6 年度は、本システムを用いて京都府宇治市や長野県茅野市において 10 か月間の連続観測を行い、降雨に伴う地盤の S 波速度の低下を検出した。また、諏訪東京理科大と協力して長野県茅野市の土石流発生危険河川に本システムを設置し土石流の監視を行っている。

#### 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 6 年度は、重力変形斜面の深層崩壊発生危険度を地質・地形情報および時間軸で評価する手法の研究を進めた。また、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、長野県辰野町赤羽地区で住民参加型の防災マップの作成を進めた。この取組は、地域の関心を集め、関連記事がたつの新聞 (2024 年 8 月 4 日) に掲載された。



地質分布と重力変形斜面の関係



#### 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 年度に引き続き、令和 6 年度は表層地盤の平均 S 波速度 (AVS30) の DB 化を進め、1 万点以上のデータを登録・整備し、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

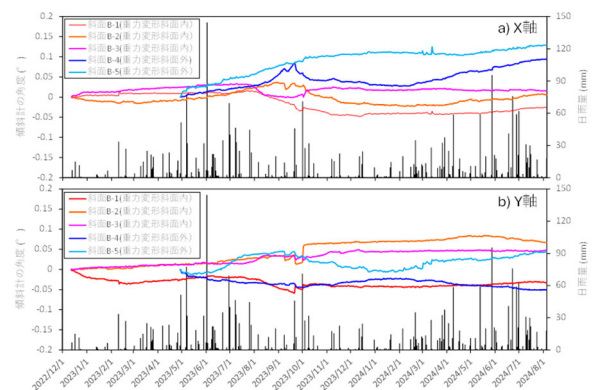
一般住民に向けた精細な斜面災害リスク情報の創出手法の開発と効果的な提供方法の研究を進める。

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 年度に引き続き、令和 6 年度には地盤の振動をリアルタイムで解析して、振幅や位相速度の変化を即時にメールで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（長野県辰野町）にリアルタイム計測が可能な

傾斜計と地震計を設置した。観測データの観測から、現状、すぐに深層崩壊が発生する可能性は低いが、重力変形斜面の中と外では変動傾向が異なることが明らかとなった。地震計の設置は、地域の関心を集め、関連記事がたつの新聞（2024 年 6 月 21 日）に掲載された。

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、一般住民に向けたカスタマイズ型の避難情報の確立と即時発信手段の開発等に関する研究を進める。



表層傾斜計による深層崩壊危険斜面の  
リアルタイム観測結果

## 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、地震や降雨など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 6 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立を目的として、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 6 年度は、稠密地震観測のデータの解析を通じて、微地形と震動特性の関係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 6 年度は、岩盤崩落や雪崩によって励起された地震動の解析し、その特徴について理解を深めた。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、過去の地震における宅地の被災地域において、谷埋め盛土の被災の有無を分けた要因を探るため、常時微動計測や表面

波探査、地下水面探査などを実施している。

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および 2024 年能登半島地震において、規模や地質・地形背景の異なる地すべり地における稠密な連続地震動観測を実施するとともに、すべり面土層を対象とした土質せん断実験を行い、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

天然ダムの形成および決壊に関する防災学上の問題点を明確化するとともに、「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」という新たな視点から、その高度化に向けた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・加茂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。



愛媛県西条市千町・加茂地区での防災講演会  
(令和 7 年 3 月 27 日)

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の支援がある。本ジオパークは令和 6 年度に初認定された。このジオパークの構成資産には地すべり地にある集落「傾斜地集落」が含まれる。これは、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。



三好市防災士会での地震斜面災害等に関する講演  
(令和 7 年 1 月 26 日)

令和 6 年 1 月に発生した能登半島地震は四国山地と同じく山間地の集落が被害に遭った地震であった。山崎と荒井はこの災害の調査を地質学的に検討し、災害の発生メカニズムを分析し、減災に役立てる研究も目指している。この成果は四国山地の集落の防災にも役立つと思われる。



令和 6 年能登半島地震で被災した  
石川県穴水町での地すべり災害地調査  
(令和 6 年 5 月 27 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ークで豪雨があり、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。



音響調査による磐梯山岩屑なだれ堆積域の調査  
(令和 6 年 6 月 26 日)

## 8.8 気象・流域災害研究部門

### 【部門の活動概要】

#### (1) 研究対象と活動方針

気象・流域災害研究部門は、気象・水象災害研究部門の2つの研究分野および流域災害研究センターに所属していた3つの研究領域が再編され、令和6年7月に新たな研究部門として発足した。

山地から沿岸域および都市域など大気・森林・河川・海と人間活動圏が接し交じり合う領域で生じる様々な自然現象およびそれらに起因する被害の発現機構の解明と予測から、建築物・構造物の設計法など具体的な制御方策に至るまでの研究を通じて、風水害・土砂災害・津波災害などの防止・軽減を図ることを気象・流域災害研究部門の目的としている。特に、顕著な気象や循環異常の発現機構や予測可能性、強風被害メカニズムの解明やリスク評価および低減、流砂系における土砂動態や土石流の発生予測及びその対策、都市域での地震・津波等に伴う複合災害の予測と対策技術の開発、並びに河川・海岸域の水災現象の実験及び観測に関する基礎的な研究を、災害気候、耐風構造、流砂・砂防、都市震水災防御、水災先端計測の5分野で連携しつつ進めている。

#### (2) 研究分野と役割

災害気候研究分野では、大気組成、海洋・大気循環などの変動による異常気象・異常天候の発現過程や予測可能性、気候変動の実態とその機構を解明することを目指し、観測・モデル・データ同化手法の開発、大循環モデルや領域モデルなどを用いた数値実験、長期再解析及び現象アンサンブル数値天気予報の解析などによる研究を進めている。

耐風構造研究分野では、風や竜巻などの強風による災害リスクの低減のために、強風被害の発生メカニズムの解明と被害予測手法の確立、強風災害に強い建築構造物を設計するための合理的な耐風設計法の提案、強風リスク分析手法の高度化による効果的な被害軽減対策の立案などの研究を、観測、実験、数値シミュレーション、災害調査などによって実施している。さらに、社会的な意思決定支援への貢献も研究ビジョンと位置づけ、研究を進めている。

流砂・砂防研究分野では、流域における土砂

生産流出現象を個々の現象としてだけでなく、流砂系全体の現象として捉え、流域一貫した土砂動態の解明と予測手法の開発を推進している。また、地球温暖化が流域の土砂動態や森林の土砂災害に及ぼす影響について検討する。山地、河川、海岸、都市における様々な土砂災害の防止軽減策の開発、流砂系全体を通して治水と環境の両面に適切な土砂環境を創造する手法および安全な土砂流出を把握して制御する手法の開発を行うとともに、長期的に見た流域の土砂環境の変化などについての検討を行う。

都市震水災防御研究部門では、高度化・多層化した都市域での水害・地震・津波など多様な災害事象に対する安全性の評価、およびそうした事象への工学的な対策技術の確立を目的として、都市域および施設構造物に対する津波の作用、複合災害・2次災害の予測とメカニズムの解明ならびに災害防止・低減のため、流体・構造連成力学系の動的挙動の実験的／数値的評価法の開発、災害時の極端事象に対する構造物の設計法、および都市施設の災害に対する設計、性能評価と維持管理に関する問題を扱う。

水災先端計測研究分野では、実験および観測を通じて、河川・河口・沿岸域における水災害の発生機構とその防止軽減策を扱う。河床変動や海浜変形を伴う土砂輸送機構、風波場の乱れと波の相互作用、気候変動問題に関わる大気・水のガス交換現象のモデル化、河道植生の流れ特性と樹林化過程、流木・沈木の輸送動態の特性評価と捕捉技術、津波や洪水の流体力評価の研究を行っている。さらにこれらの諸問題をブレークスルーする高度な水理計測手法の開発を進めている。

#### (3) その他（横断的な活動等）

気象・流域災害研究部門の教員は、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、本部門の重点課題に関する研究を他のセンターと連携して実施している。

宇治川オープンラボラトリーは京大ウィークスにも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、部門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の行政組織や技術者への還元や、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。

## 【研究分野の研究内容】

### I. 災害気候研究分野

#### ①気候のモニタリングと解析

海上水蒸気量は豪雨、豪雪をもたらす要因であり、その正確な把握が予測精度の向上に繋がる。我々は近年豪雨災害が頻発し始めた日本海を対象に小型マイクロ放射計やラジオゾンデによる船舶での海上水蒸気の観測を実施した。6 月には新青丸 KS-24-10 航海で梅雨期の日本海西部を集中観測し、島根半島を迂回する水蒸気の流れを捉え、5 km 解像度の気象庁メソモデルでは地形が粗く、この流れを解像できていないことが明らかになった。また、9 月には苫小牧～敦賀間を定期運航する近海郵船の RORO 船「ひだか」にマイクロ波放射計を搭載し、日本海北部の水蒸気通年連続観測を開始した。一方、海鳥のバイオリギングから得られた海上風データのデータ同化が、日本海の台風解析精度の向上させる可能性を示した。

ドローンを用いた二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 濃度の鉛直プロファイルの観測では、ドローンのプロペラによる空気のかき混ぜや、搭載した CO<sub>2</sub> センサーの濃度変化に対する応答の遅れ (タイムラグ) が測定値に影響を与えていることが明らかになった。プロペラによるかき混ぜ効果について、宇治川オープンラボラトリの鉄塔を用いてドローンと定点観測値との比較を行い、ドローンの適切な上昇速度について知見が得られた。その一方で、センサー間のバイアスを精密に評価することが難しく、課題を残した。センサーのタイムラグについても室内実験で評価を行ったが、風速やドローンの上昇速度が与える影響についても今後調べていく必要がある。

#### ②顕著現象のメカニズムと予測可能性

梅雨前線帯上のメソ対流系は、非線型性の強い湿潤過程で特徴づけられ、海面からの水蒸気や熱の供給と南寄りの暖湿流の収束の影響を受けているため、予測にはこれらの過程における不確実性が影響を及ぼす。船舶観測などから、黒潮に伴い高温の水塊や大きな水温勾配が存在し、予測に用いられるデータはこれらを適切に表現できないことが明らかになってきた。領域大気モデルを入れ子状にしたアンサンブル変分法データ同化システムを構築し、2022 年 6 月に実施された船舶による高頻度ラジオゾンデ観測を同化した。その結果、メソ対流系の発達過程の違いにより、再現性が異なることが明らかになった。大気の不確実性の影響を受けるもの

は、データ同化により再現性が向上した。一方、海面水温の影響が大きい事例では、再現性が向上しなかったが、水温勾配の大きなところで海面からの影響が大きいということが分かった。

大阪ガスとの共同研究では、気象庁のアンサンブル予測データを用い、2023 年 1 月の寒波の事例に対して、アンサンブル随伴感度解析を行った。この手法は、注目している時刻と領域に対して、その時刻より前のどの領域のどの変数が最も大きな影響を与えたかを特定することができる。日本付近の対流圏下層の気温に対しては、日本の東海上で発生したブロッキング高気圧や偏西風を西から伝播してきた惑星規模の波動の影響が特定された。

#### ③予測精度向上のためのモデル及びデータ同化手法の開発

大気大循環モデルにおいて流れの計算を行う力学コアについて、動径基底函数やフーリエ級数を用いた新たな手法を考案し、浅水波モデルなどで検証した。新たな手法はいずれも、極など特異点での影響を極めて少なく、既存の手法と匹敵する精度が得られただけでなく、高速化も実現することができた。

データ同化については、領域モデルが全球モデルよりも精度が低下する問題に取り組んだ。簡単なカオスモデルを用いて、前述のアンサンブル変分法に基づき、全球モデルの誤差情報を領域モデルに適切に与える新たな手法を新たに考案した。検証の結果、既存の手法と同等以上の改善を実現しただけでなく、極軌道衛星観測のような密で移動する観測については、解析だけでなく予測精度も向上することを示した。

#### ④ハザードマップ作成に向けた軽石のシミュレーション

独自に開発した軽石漂流モデルを用いて、2021 年の福德岡ノ場と、1924 年の西表の二つの海底火山の爆発についてシミュレーションを行った。福德岡ノ場については、噴出した軽石が漂流し南西諸島や奄美群島に到達する過程において風による効果が重要な役割を果たしていることが示された。また、西表海底火山については詳細な再解析データが無いため 1980 年代のデータを用いてシミュレーションを行ったが、実際に観測されたように爆発から数か月遅れて日本各地に漂着するためには東シナ海にしばらく滞留してから海流に乗って北上した可能性が高いことが示唆され、年々変動する黒潮のコースによっては一気に日本列島に押し寄せていた可能性もあったことが示された。

## Ⅱ. 耐風構造研究分野

### ① 建築物回りの風速場および建築物に作用する風圧に関する研究

低層建築物の被害メカニズムの解明のために、地表面付近の建築物周辺の風速場への理解が必要不可欠である。このため、超音波風速計などの既存の風速計とは異なる原理で風速を計測するための技術の開発に取り組んでいる。令和 6 年度は特に PTV(Particle Tracking Velocimetry)技術を利用した雨滴およびソープバブル追跡による風速場の推定手法(図 1) (科研費 23K17786)、カルマン渦列による弦の振動に伴う発生音を利用した風速計測手法の開発に取り組んだ。また、建築物に作用する風圧の実測に資する研究として、建築物に実装された複層ガラスの風荷重応答関係を利用した風圧実測手法の確立に向けた研究に取り組んだ。

竜巻通過時に地表面付近の物体に作用する風圧力を実測することは極めて困難であり、未解明な点が多い。今年度は、2023 年 8 月 3 日に福島県で発生した竜巻によって自動車が横転した事例に着目し、当該自動車の運動を仮想空間上で再現することで(図 2)、横転する自動車の加速度を算出し、竜巻通過時に作用した外力を推定した。



図 1. 追跡ソープバブル群の軌跡



図 2. 仮想空間上に再現し、仮想投影面上に投影した自動車の運動

### ② 縮尺模型実験を用いた研究

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、風洞実験における気流の計測に関して、比較的大きな領域内の気流を 3 次元 3 成分計測するための手法について、運用に向けた準備を進めた。また、建築物及び地表面の熱が都市空間内の乱流構造に与える影響を検討するための実験・計測環境を構築した(図 3)。



図 3. レーザーシートで可視化した加熱された建物模型後流の流れ

### ③ 強風リスク評価および低減に関する研究

我が国の強風被害では低層建築物の外装材・屋根ふき材の被害が顕著である。建築物以外では、カーポートの被害が多くみられる。多くの被害が確認されているにも関わらず、その被害メカニズムは不明な点が多い。そこで、本年度は試験体(市場に流通しているカーポート)を用いて実大圧力載荷実験を行い、風圧力により屋根ふき材が破損に至る過程を明らかにするとともに、そのモデル化を行った(科研費 24K01020)。

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、個々の建築物の特徴と周辺環境を考慮したリスク評価が可能なプラットフォームを構築した。

### ④ 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として、水槽内に火山を含む地形を再現した模型の火口部から、噴出物を模擬した溶液を噴出させたときの拡散場を PIV(Particle Image Velocimetry)にて計測を行い、数値シミュレーションによるモデル化のための基礎資料を得た(科研費 22H00248)。

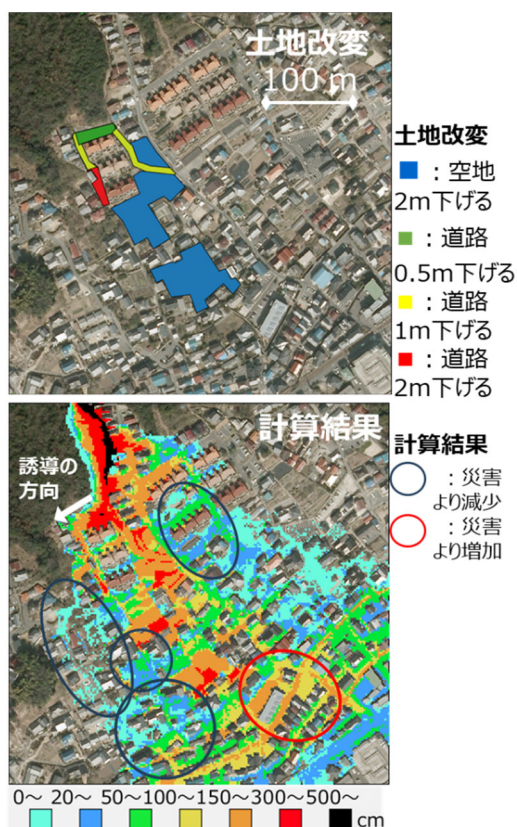
これらを含めた研究成果を以下の通り公表した。査読論文 5 編(うち国際論文 1 編)、会議発表 7 件、取材協力 1 件、一般向け講演 1 件、メディア報道 2 件。また、所属学生の受賞 3 件。



### Ⅲ. 流砂・砂防研究分野

#### 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

豪雨によって発生する土石流は山麓の住宅地や交通インフラに甚大な被害を及ぼす恐れがある。本研究では、土石流の規模や流出過程、氾濫・堆積範囲などの危険度分布を把握するためのシミュレーションを行い、従来の砂防堰堤に依存しない減災対策を検討した。特に、空き地や道路などの土地利用を変化させ、土石流を無害な経路へ誘導することで、被害を軽減する方法を提案した。また、谷出口近くに遊砂地を設けることが効果的である一方、土地利用の変化による被害増加の可能性もあるため、その影響も考慮した対策が必要である。道路を活用する際は、斜面方向に伸びる急勾配の道路が有効であることが確認された。



2014 年 8 月の広島土石流災害を対象とした土地  
改変による減災対策のシミュレーション  
(土石流の最大水位)

#### 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

多くのシミュレーションモデルは自然河道を基にしているが、山間部では道路が土石流の流下路になる場合もある。本研究では、宇治川オ

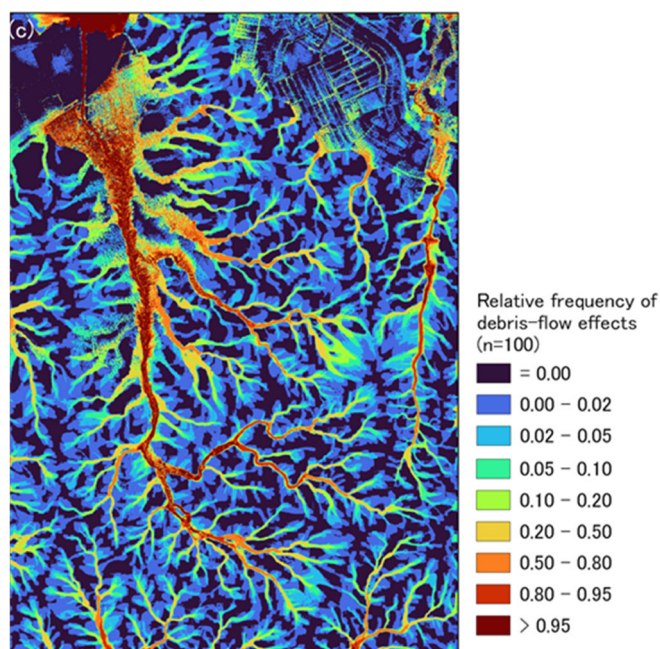
ープンラボラトリーの水路実験を用いて、自然河道と舗装道路に見立てた河床形状の違いが土石流に及ぼす影響を調査した。舗装路では底面の凹凸が少ないため流速が増加し、流出流量や土砂濃度が高くなる傾向があり、被害が拡大する可能性が示された。

#### 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

橋の閉塞による被害を軽減するためには、流木が橋に集積する条件の把握が重要である。水路実験を通じて、流木流出の時間変化を考慮した新たな指標を用いることで、橋の閉塞判別の精度向上を目指した。さらに、流木量が同じでも閉塞・非閉塞が混在するため、ロジスティック回帰分析により、複数指標による判別精度の向上が確認された。

#### ④ 土砂災害ハザードマップの高度化に関する 研究

現状国内で実装されている土砂災害警戒区域は、経験的な範囲指定方法がとられており、シミュレーションに基づく手法とはなっていない。また、警戒区域内でも、危険性や土石流到達の蓋然性が異なる。これらの問題点を解決のため、土石流アンサンブルシミュレーションに基づいた土砂災害ハザードマップの確率化や、その効果検証に関する研究を進めている。



広島県総頭川流域を対象とした土石流アンサンブルシミュレーションに基づく土石流到達の相対頻度の空間分布 (Yamanoi et al., 2025, JFHM)

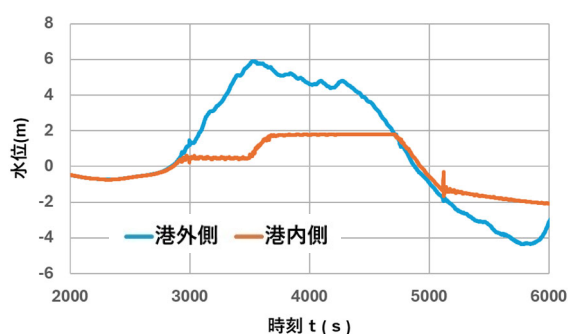
#### IV. 都市震水災防御研究分野

##### 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、流れのみにより起き上がり津波を防ぐ、流起式可動防波堤の挙動を対象に、南海トラフ発生時において有効に機能するかどうかについて、津波波源からの平面二次元解析と同防波堤周辺の三次元解析を組み合わせた解析により実地点を対象に検討している。



流起式可動防波堤による港外と港内の水位差

また、令和 6 年能登半島地震津波を対象に、その波源を推定するとともに、能登半島周辺における特異な津波挙動の原因について解析的に議論するとともに、同地震津波で発生したとされる、津波と地震（余震）の重畳現象について取り上げ、その被害予測・評価手法に関する検討も行っている。

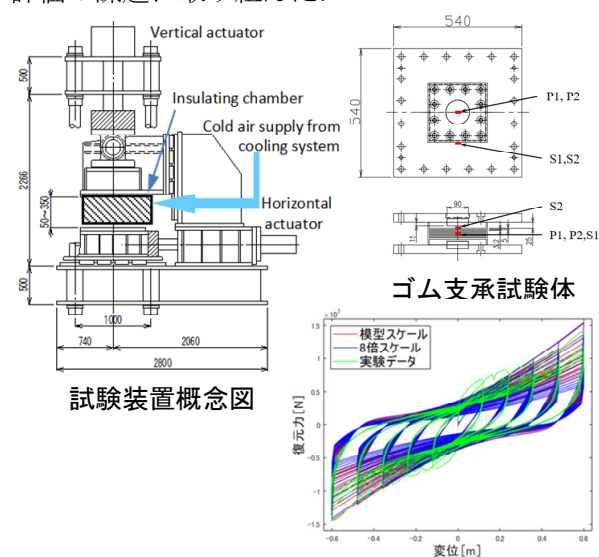
##### ② 極端事象に対する構造物の性能評価と設計法に関する研究

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) 周辺構造物が存在する地形において建物に作用する津波荷重の水平 2 次元面上での振幅・方向特性の評価、ii) 単純化された構造物の 2 次元非

線形弾塑性耐荷挙動モデルを用いた影響の検討などの項目の研究を実施した。

##### ③ 構造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、高減衰ゴム支承の熱-力学連成モデルを利用して、支承内部の熱伝導および外部への熱放射の効果を考慮した、縮小ゴム支承供試体の寸法が復元力特性評価に与える効果の評価の課題に取り組んだ。



復元力評価の供試体寸法依存性

橋梁用高減衰ゴム支承の復元力評価

##### 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

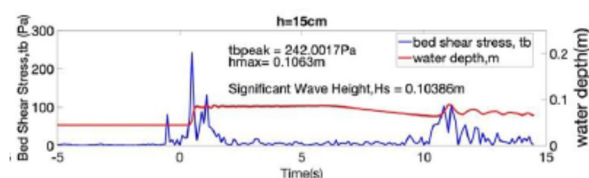
河川を跨ぐ規模の大きい橋脚には免震支承およびダンパーを用い、他の橋脚および橋台では低摩擦すべり支承を用いた新しい形式の長多径間連続桁渡河道路橋として建設された実曲線桁橋梁に関して、常時および地震時の挙動には未解明の部分がかった。維持管理および将来の設計法の合理化への応用を目的として実施された常時動態観測のデータに基づき、温度変化の作用による長多径間鋼桁の伸縮に伴う構造システムの特異な挙動の検討を行った。



## V. 水災先端計測研究分野

### ① 河川遡上津波の底面せん断力の実験的解析

津波は河川を数十 km 遡上する事例が報告されている。能登半島地震では、上越地方で遡上津波によって河川堤防が越水し氾濫被害が発生した。したがって津波の遡上予測はハザードマップの構築において非常に重要となる。精緻なシミュレーションを実現するには、底面の摩擦応力のモデル化が求められる。本研究では水理実験によって底面せん断応力の評価を試みた。宇治川オープンラボラトリーにある直線開水路で実験を行った。ゲートを取り付けて急開することで津波を発生させた。トラフレベル以下の流速分布、水位の時間変化を計測した。計測値とサンブナンの式から底面せん断応力の時間変化を得た。今後は津波の規模によってせん断応力の最大値と強いせん断摩擦状態の継続時間を分析する。



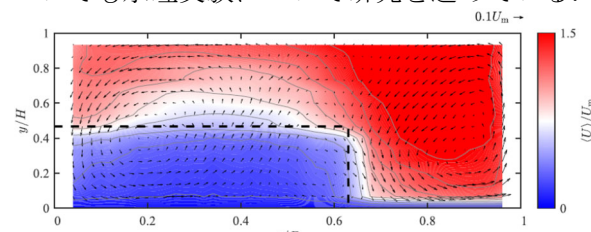
遡上津波の水理実験で得られた底面せん断応力と水深の時間変化

### 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。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 3 次元的な乱流構造および物質輸送過程を解明した。

今年度は、鉛直面および水平面の PIV 計測を組み合わせることで、横断面の 2 次流構造の解明に取り組んだ。実河川では植生域が部分的存在することがしばしば観察される。植生域と非

植生域には流速差が生じ、大きな 2 次流が生じることがわかっている。本研究では植生パッチの下流側に形成される 2 次流を捉えた。特に今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。



植生パッチ下流側に形成される 2 次流

### ③ 潜堤による気液界面のガス交換促進の研究

造波水槽によって潜堤砕波の基礎実験を行った。乱れおよびそれらによる溶存ガス輸送を定量的に考察した。特に複数の光学式 DO 計による再曝気係数の時空間変化や PIV 可視化計測による砕波乱流の構造を明らかにした。これらの情報をもとに造波周期、波形、乱れ統計量など現象を支配すると思われる水理量を整理するとともに、潜水砕波によるガス輸送の促進メカニズムの現象モデルを提案した。

### ④ 流域における流木・沈木の輸送特性

本研究では砂のセルフライニングの起きやすい三角柱粗度の間隔を明らかにすることを目的とし、水路実験を通じて三角柱粗度の流れ構造、粗度背後の砂の堆積量について考察した。PIV 計測によって跳水発生時に水深が下がっている領域では大規模な下降流が起きていることがわかった。フルード数が大きいケースでは砂が巻き上がっていることが明らかとなった。

### ⑤ 大渦波浪観測所

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स्प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、2022~2024 年は大渦海岸の上下浜において砂浜の断面測量を実施した。遠隔で PTZ 制御ができるカメラを設置し、大渦海岸をリアルタイムで観測できるシステムを構築した。今後、波浪の緒言を定量評価することを目指す。

## 8.9 気候変動適応研究センター

### 【センターの活動概要】

#### (1) 研究対象と活動方針

これまで、防災研究所は気候変動に関する国プロの中核機関として大きな成果を挙げ、我が国の気候変動の極端気候および風水害評価に関する研究および科学政策を先導してきた。すでに温暖化の影響が顕在化し、気候変動がもたらす地球規模のリスクが急激に増し、2 度上昇が予測される 2050 年に向けた影響予測と適応計画の立案は緊急の状況となっている。風水害に加えて、複合災害、交通等のインフラ、農業といった更に広い分野への対応が必要であり、研究の多角化が喫緊の課題となっている。

本センターは、2024 年 7 月 1 日に設立され、気候変動に伴い将来激甚化が懸念される気象災害・水災害の予測や社会の適応についての研究を行うとともに、同研究についての学内外の研究者による共同研究や成果の社会還元を推進するものとする。

このことから気候変動に精通した研究者を戦略的に集結させ、研究の活性化を自ずと促進させることで幅広い分野への多角化を図り、その研究成果を国や地方自治体へ適切に橋渡しするノウハウを確立させることをミッションとする。

#### (2) 研究領域と役割

気候変動適応研究センターは、下記の 6 研究領域と 1 つの寄附研究部門で構成されている。

適応計画管理研究領域は、気候変動への適応戦略の計画・管理に関する研究、総合的災害リスク軽減施策を合理的に策定・実施するための方法論に関する研究、人間の行動を中心に据えた社会・経済システムと災害過程との相互作用の解明、効果的な災害リスクコミュニケーションやガバナンスに関する研究を展開する。

暴風雨・極端気象研究領域は、社会への影響が大きい台風・豪雨・竜巻など暴風雨災害や都市や山間部での局地気象災害を対象に、それら極端気象の発生過程・物理機構について、観測・データ解析・数値モデリングなどの手法を用いて研究を行っている。局地規模への力学的ダウンスケーリング、データ同化と数値予測、局所規模の乱流・拡散解析といった科学的手法の開発とともに、暴風雨災害を主とした極端気象について気候変動の影響評価と適応に係る研

究を進める。

沿岸リスク研究領域は、人口が集中し、高度に利用されている沿岸部を海からの脅威に備える沿岸災害に対するリスク評価についての研究を行っている。特に、地球規模の気候変動に伴う台風特性の変化や海面上昇および高潮を考慮した極端海面水位の予測とこれらが沿岸災害リスクに及ぼす影響を研究している。また、高潮、波浪や津波など海洋波動についての理論的研究、室内実験・現地観測による現象解明、数値モデル開発等の科学技術開発を進めるとともに、マングローブなど自然を活用した災害軽減の技術開発に関する研究を進めている。

水文気象研究領域は、豪雨災害に対して人命や未来の笑顔を守るための水文気象学的戦略の構築を目指して、レーダー等を用いたフィールド観測実験や高解像度数値実験によって豪雨のメカニズムを解明し、地球温暖化に伴う豪雨の将来変化予測や適応策としてのリアルタイム豪雨予測手法の開発を行っている。そこでは、人間活動圏を含む流域場と大気場の相互作用を考慮して、人間社会と自然の共生に向けた研究を志向している。

河川防災システム研究領域は、河川流域を対象として、豪雨によって発生する内・外水氾濫や土砂災害などの災害現象について、発生メカニズムの解明と被害の防止軽減に関する研究を進めている。とくに、気候変動に伴う降雨外力の将来変化を考慮して、内・外水氾濫による浸水被害、堤防決壊、ダム堆砂、流域環境などへの影響を評価する。さらに、基礎的実験や水理模型実験、災害現場の調査を行い、数値シミュレーションをこれらと結びつけることにより、将来リスクや被害軽減効果を評価するための研究を行っている。

大気海洋モニタリング研究領域は、大気・海洋を対象に、潮岬風力実験所および白浜海象観測所において実スケール実験や現地観測を展開している。気象・海象の多項目について連続・集中観測を実施し、風工学・気象学・海岸工学・海洋物理学をベースとした基礎・応用研究を進め、大気・海洋の流体にまつわる現象の理解や災害や気候変動の影響評価につながる研究を進めている。各施設の実験・観測用の施設・設備および計測データは、学内外の研究者との

共同研究に広く用いられている。

気象水文リスク情報（日本気象協会）研究領域は、寄付研究部門であり、観測技術の高度化や不確定性を考慮した予測情報の活用方策を検討し、革新的な気象水文情報の創生とその利用、気象水文情報の不確定リスクを考慮した気象情報の活用方策に関する研究を実施している。

### (3) その他（横断的な活動等）

2024 年 7 月 1 日の気候変動適応研究センター設立にあたり、同年 9 月 6 日にオープニングミーティングを開催した。本オープニングミーティングでは、気候変動に伴い将来激甚化が懸念される気象災害・水災害の予測や社会の適応についてのこれまでの研究を紹介するとともに、本センターの今後の展開についてゲストの方から講評を頂き、参加者からの質疑応答と総合討論を行った。

大型研究プロジェクトとして、文部科学省「気候変動予測先端研究プログラム：テーマ 4 ハザード統合予測モデルの開発」に本センター

の多くのメンバーが参画し、学内外の研究機関とも共同して、風水害、水資源およびいくつかの特徴的な生態系をターゲットに、これまでの気候変動研究をさらに発展させ、プロセスモデルの高度化・統合化と極端現象の将来予測、社会経済リスク評価に取り組んでいる。

また、JST「ムーンショット型研究開発制度・目標 8 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」においても、本センターの多数のメンバーが参画し、学内外の研究機関とも共同して、豪雨制御による影響評価と社会受容性を考慮した制御システムの構築を目指して、ゲリラ豪雨と線状対流系豪雨の強度を抑制するための研究開発に取り組んでいる。

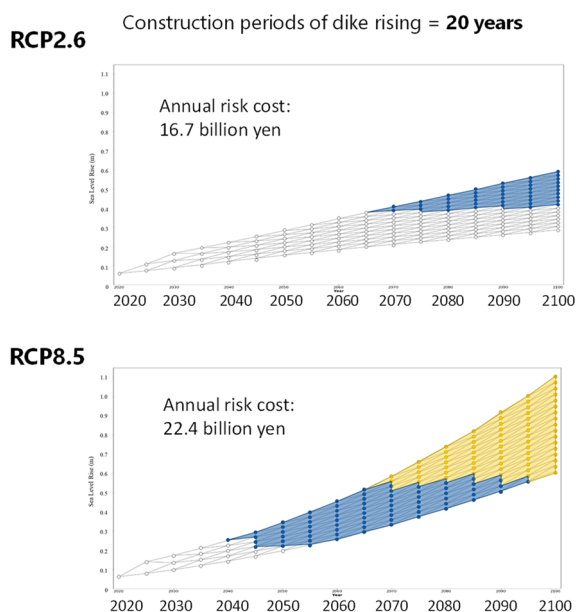
また、JST/JICA「地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム」においても、本センターの多数のメンバーが参画し、学内外の研究機関とも共同して、気候変動を考慮し、自然機能を活かしたインドネシア海岸保全を目指した研究開発に取り組んでいる。

## 【研究領域の研究内容】

### I. 適応計画管理研究領域

#### ① 気候変動と人口減少を考慮した堤防嵩上の動計画

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。そうしたなか、大阪湾岸エリアを対象として高潮氾濫リスクに対する最適な堤防嵩上計画を明らかにした。



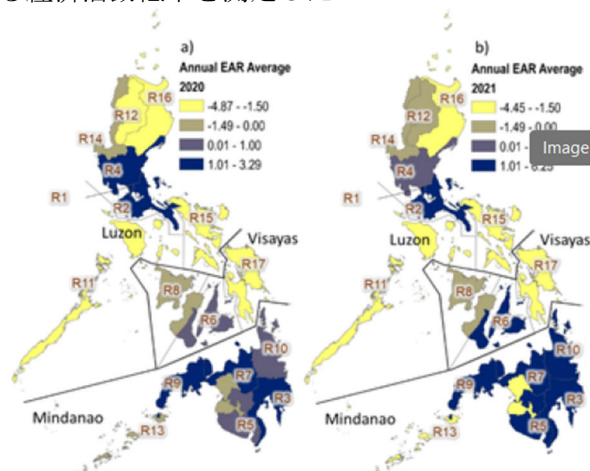
図：堤防嵩上の最適計画

堤防嵩上計画の立案から完成までの期間が短ければ、気候変動や人口減少の状況に応じて柔軟に計画を変更できるが、その施工期間が長ければ堤防化下げの規模は小さくなり、実施時期は遅くなることが分析から明らかになった。施工期間が 20 年の場合、RCP2.6 シナリオのケースでは多くの状況で堤防嵩上をしないことが最適になっており、RCP 8.5 のケースでも嵩上規模が小さく、時期は遅くなっている。それに伴い、高潮氾濫による経済被害と堤防嵩上費用の合計であるリスクコストは、施工期間が短い場合と比較して大幅に高くなっている。

#### ② 衛星画像データを用いた災害被害推計手法の構築

災害の経済被害の実態を空間的かつ時間的に高解像度で把握するため、夜間の衛星画像データを用いて災害による経済活動低下状況を測定

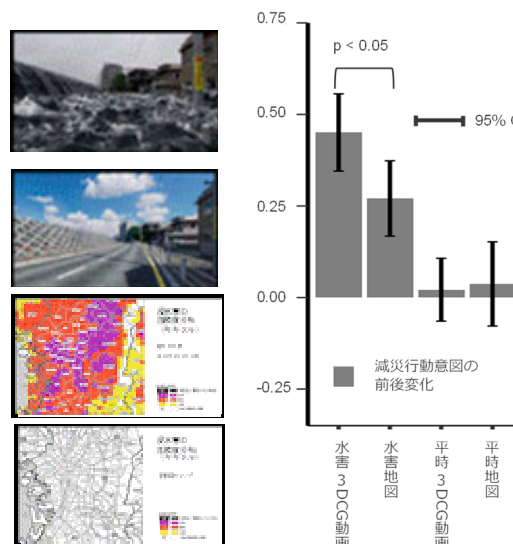
する手法を開発し、フィリピンの Covid 19 による経済活動低下を測定した。



図：災害による経済活動低下の空間分布

#### ③ 水害の仮想体験が減災行動意図に及ぼす影響の定量評価

従来の災害リスクコミュニケーションでは水害地図が用いられることが一般的であるが、水害地図から危険を感じるには、地図内容を解釈して、水害状況の心的イメージを構成するという複雑な心理過程が必要である。3DCG 動画は、この問題を解決するための有力な情報伝達手段の一つである。本研究では水害状況の 3DCG 動減災行動意図を向上させ、減災行動の実施を促すかどうかを実験的に検証した。



図：実験刺激と減災行動意図の変化

#### ④ その他

期間中の研究活動として 17 編の査読付論文を学術雑誌に発表した。また、一般向け講演を通して社会貢献に努めた。



## II. 暴風雨・極端気象研究領域

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・気候変動適応に資するため、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や気象制御研究も進めた。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 6 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

観測・データ解析・数値実験により、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。台風の北上による温帯低気圧化に至る物理過程やメカニズムについて、対流圏上層での寒冷渦との間の力学過程に着目し、事例解析や数値実験による研究を進めた。また、台風内部コア構造に関して国際共著によるレビュー論文を執筆したほか、AI に全球モデルの解析値を与えることで台風の進路予報を最大で 20%程度改善できることを示した。

### ② 集中豪雨・暴風などメソ異常気象研究

梅雨前線や台風に伴う暴風雨、竜巻のような局所的な暴風現象に係る研究を進めた。集中豪雨の発生機構については、平成 30 年 7 月豪雨の事例を対象とし、対流圏上層での気圧の谷がメソ対流系の発達に及ぼす影響について研究を進めた。暴風については、平成 30 年台風 21 号による強風ハザードを近畿地方の各都市で評価する研究を実施した。また、北海道での台風による森林災害の影響を、過去の極端事象を対象に、気象解析と森林被害調査を組み合わせた研究を進めた。竜巻を対象に、滑面から粗面に移動する際の竜巻渦の構造・強度変化の物理過程を数値実験により調べた。降水予測について、超高解像度モデルを用いることにより、島嶼域での予測性能を高められることを明らかにした。

### ③ 観測による気象災害監視の研究

都市の暑熱災害の実態を把握するため、国内の機関と協力して、大阪市内で暑熱環境の観測に参画した。夏季には、都市域における局地的大雨の環境場の高層気象観測や南大東島に接近した台風のインナーレインバンド付近での集中観測に成功した。また、冬季の吹雪による雪粒子の移動や堆積の仕組みを調べるために、北海道で積雪内部の特徴や吹雪中の雪粒子の移動量を観測した。

### 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、特に過去において甚大な被害をもたらした極端台風を対象として、台風の構造・強度の将来変化を調べ、温暖化時に想定される気象外力を推定する研究を進めた。南太平洋における台風事例の研究を行い、長期的に見て、急発達率が増加傾向にあることを示した。極端降水を対象として、温暖化実験データを用いて、東アジアにおける夏季極端降水や梅雨期降水の将来変化と大気場変化の役割について研究を進めた。また、過去の気候変動研究を推進するため、1850 年以降の長期再解析データ OCADA の作成に協力した。

### 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目標 8 の台風・豪雨等の気象制御に関する研究に参画し、都市型豪雨や台風の制御に係る研究を進めた。都市型豪雨を対象に、都市排熱の制御による豪雨の制御可能性を探るため、建物解像 LES モデルとメソ気象モデルを組み合わせることで都市の熱輸送制御と局地降水の変化に関する数値モデル研究を進めた。台風制御については、東京湾の湾口において船舶・防風ネットなどの抵抗体により摩擦を増加させることにより、湾内の強風や沿岸域の高潮災害を抑制できることを示した。

### 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乱流・拡散予測のため、新たな乱流生成手法の開発研究を進めた。境界層乱流に係る基礎研究として、街路樹や屋根面形状に見られる都市の幾何学的複雑さが、都市境界層での乱流・拡散に及ぼす影響に関する数値解析を実施した。接地境界層での輸送過程に係る研究として、吹雪に伴う雪粒子の移動および堆積を推定する数値モデルを開発し、積雪の形状が接地境界層内の乱流に与える影響を調べた。

### ⑦ その他

京大防災研研究集会・都市極端気象シンポジウム/台風研究会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 20 編、著書（分担執筆）は 4 冊である。

### Ⅲ. 沿岸リスク研究領域

#### 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へ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。

また、可能最大高潮モデルを用いた太平洋沿岸全ての海岸について、海面上昇と高潮による影響人口を推計した。三大湾以外の影響人口は三大湾に比べて小さく、高潮偏差が最も大きい有明海で三大湾の次に大きい。2100 年に向かうに従い、ほとんどの地域で影響人口は減少する傾向にあるが、東京湾は例外的に SSP126 および SSP585 でも増加する成果を得た。

#### ② 津波・高潮・波浪災害リスクに関する研究

南海・東南海地震津波を対象に、確率論的津波ハザード・リスク評価 (PTHA, PTRR) の手法にもとづいた多数のシナリオを生成し、同一の断層モデル群を用いて強震動被害と津波被害を系統的に推定した。兵庫県南あわじ市福良地区等の代表 3 地域を対象に、建物被害特性を調べた。強震動と津波による建物被害の比較を行った結果、MW8.0 程度では強震動による全壊棟数が支配的であるが、MW9.0 の場合にはいずれの対象地域でも津波による全壊棟数割合が上回ることがわかった。

波浪については、漂流ブイから得られた観測波浪データを波浪モデルに同化するシステムを開発し、台風到来時期を対象に波浪推算実験を実施した。波高データ同化システムにより、台風近傍の有義波高の誤差を最大 2.50 m、平均周期の誤差を最大 4.0 秒減少させることがわかった。漂流ブイは、その位置によってデータ同化に対する役割が異なり、台風付近の漂流ブイは

大域的な波浪場の修正、沿岸付近の漂流ブイは沿岸部近傍だけの修正となることがわかった。

また、過去 20 年間の陸上地震観測網による常時微動および台風高波の関係を解析することにより、直接観測のできていない外洋の台風高波を評価した。これにより日本周辺の過去最大クラスの台風高波イベントを同定することができた。

#### 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、マングローブや砂浜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。

まず、海面上昇が海浜変形に及ぼす長期的な影響を定量的に評価した。将来気候条件において、養浜、突堤、離岸堤等の対策の効果を評価した。その結果、養浜や突堤、離岸堤などの対策を適用することによる海浜消失の抑制量を定量的に確認した。

また当研究領域では、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。

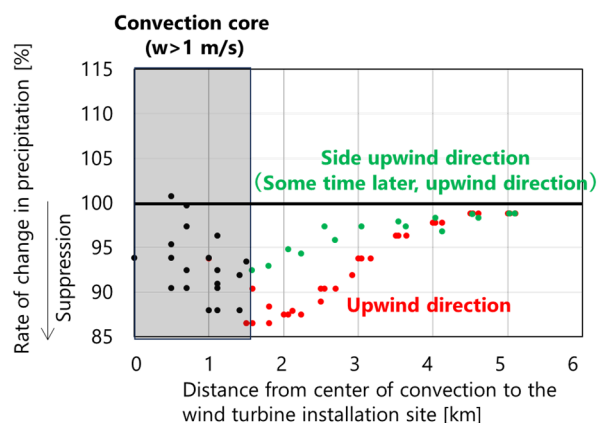
## IV. 水文気象研究領域

### ① 地形性降雨算定手法の高度化

Seeder-Feeder 機構がもたらす鉛直降雨強化量の推定に関して、既往研究では、捕捉率 $c$ の推定手法において過去の限られた事例数における統計情報から推定していた。そこで、今回、新たに多数事例における情報を付加した推定手法を構築した。その新しい推定手法をもとに、地上雨量推定精度を検証した結果、過去手法では過大推定していた時間帯において精度が向上したことを示した。また、Seeder-Feeder 機構を実事例で捉えることを狙った観測基盤の構築を三重県尾鷲市と鹿児島県屋久島町で整えた。次年度以降、粒子ゾンデとレーダーの同期観測によって、Seeder-Feeder が起こっている様子を直接捉えることで、その知見を推定手法にフィードバックできるように研究を展開する。

### ② 風車による豪雨制御シミュレーション

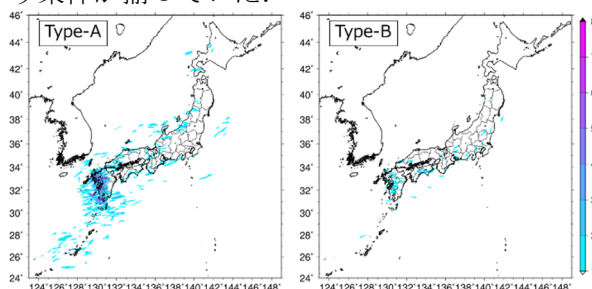
ムーンショット型研究開発事業目標 8 のコア研究「ゲリラ豪雨・線状対流系豪雨と共に生きる気象制御」等のサポートのもと、風速場操作の想定デバイスである風車をどの位置、どの時間で風速場に介入させることで高い豪雨抑制効果を得られるのかを検証し、対流コアの中心から外れた風上側で風速場操作を行うと最も降水強度を抑制でき、対流コアの中心に近い位置で操作を行うほど降水強度のピーク出現時間が遅延することがわかった。他にも 2 つの顕著事例で検証し、全 3 事例に共通して、現実的な風車 2 台を設置することで、降水強度を最大で 10% 弱ほど抑制できることを示した。



図：対流コア中心から風速操作位置までの距離と降水抑制の度合い。

### ③ 線状対流系の機構理解と気候変動影響

「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、過去に発生した停滞前線性の線状対流系を抽出し、前線付随型の A タイプと孤立局所型の B タイプに分類し、A タイプは特に海沿いの地域で全国的に発生していたのに対し、B タイプは主に太平洋側の内陸部という限られた地域で、A タイプに季節的に遅れを取る形で発生していることを示した。加えて、気候変動の影響が、特に降雨強度対して現れ始めていることを明らかにした。また、A タイプは、梅雨前線からの大規模な収束が外部強制力として働き、梅雨前線帯の北側で線状の積乱雲群を形成していた。一方で B タイプは、最初の積乱雲の発生と自己組織的な発達において理想的な位置と考えられる梅雨前線帯の南縁で起こった。梅雨前線帯の南縁は、下層への大量の水蒸気流入、その流入による対流不安定度の強まり、その強まりに伴う CAPE の増大、下降流との衝突を避ける鉛直方向の風向変化という条件が揃っていた。



図：日本における線状対流系の空間頻度分布図。左が A タイプ、右が B タイプ。

### ④ シングルセルとマルチセルの発生機構比較

関西地方と関東地方の解析から海風の収束がマルチセルのゲリラ豪雨の発生につながるという結果を得た。この結果から関東地方でマルチセルのゲリラ豪雨の発生頻度が高い理由は夏季の太平洋高気圧の張り出しの内側に関東地方が位置し、局地風が支配的になり、関東地方がほとんど平野部であるために海風が内陸に侵入して収束域を形成しやすいためであると考察した。

### ⑤ その他

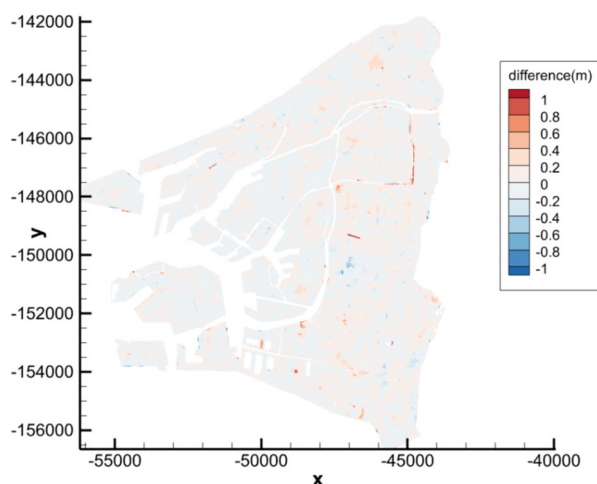
4 編の完全査読付論文として学術雑誌に発表した。加えて 24 件の一般向け講演や、22 件の新聞・テレビ等のメディア出演を通して、社会貢献に努めた。

## V. 河川防災システム研究領域

### ① 汎用的な内水氾濫解析に向けた道路網を基にした仮想下水道網の構築

内水ハザードマップがいくつかの自治体で公表されているが、降雨を入力条件とした内水氾濫解析による浸水予測を行っている自治体は多くない。その理由はいくつか考えられるが、下水道網のデータの把握・整備状況が自治体によって異なっていることが挙げられる。そこで、内水氾濫解析の全国展開を目指して、地上の道路網をベースに、管径と管底高を仮定することで仮想の下水道網の整備を試みた。

下水道網データが整備されている大阪市西部の 6 つの処理区を対象に、実際の下水道網データを用いて内水氾濫解析を行った結果を真値として比較を行った。比較対象ケースは、地表面から一律に 4m 下げた管底高、および管渠容積と管渠延長から算出した平均管径を一律に用いるケースと、ポンプ場からの距離に応じて管底高と管径を変化させるケースとした。その結果、仮想下水道網の管径の分布により再現精度が大きく変化することや、ポンプ場から一定の距離に範囲を限定して、その距離に応じて管径を設定すれば実下水道の結果にかなり近づくことなどがわかった。



図：ポンプ場からの距離に応じて管径と管底高を設定したケースと実下水道を用いたケースの最大浸水深の差

### ② 土砂粒径と建物配置を考慮した洪水氾濫時の土砂堆積に関する実験

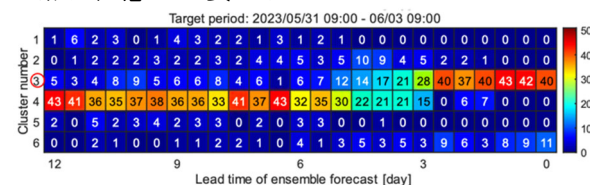
河川堤防が決壊した際には、氾濫水とともに大量の土砂が堤内地に流れ込み、災害後は堆積土砂となって市街地や農地の復旧の妨げとなることが問題となっている。そこで、数値解析により土砂堆積リスクを精度よく予測することを

目指して、その数値解析モデルの検証データとして活用することを目的に氾濫実験を行った。実験では、堤防で仕切った河道と氾濫原を設置して、破堤点付近から土砂を供給した。土砂は混合粒径として、氾濫原には建物を想定した立方体模型を複数配置した。その結果、粒径ごとに土砂の堆積する位置に違いがみられ、混合粒径土砂の場合もそれぞれの粒径の堆積する位置は同じであった。また氾濫原に建物が存在する場合、建物群内部の空隙と建物群の周辺に堆積する土砂が見られ、建物間隔と粒径の条件によっては建物群内部の空隙に堆積が見られない場合もあった。

### ③ d4PDF とアンサンブル降雨予測の時空間的マッチングによる降雨パターンの推定

近年ダムでは洪水調節（治水）と発電（利水）の両立が求められ、降雨予測を活用した事前放流が注目されている。つまり、豪雨が予測された際にあらかじめ放流を行うことで洪水貯留機能を拡大しつつ、発電量の確保を図る。アンサンブル予測はその切り札となり得るが、高度活用はダム管理者の負担増につながるため、操作パターンをあらかじめ型紙化しておき逐次的な予測に応じて最適な操作を選択する方法が望まれる。そこで本研究では d4PDF の大雨データをクラスタリングでパターン化し、リアルタイムのアンサンブル降雨予測をそれらクラスターにマッチング（分類）する仕組みを提案した。

7 つの一級水系から 2017 年以降の顕著な豪雨を 4 例ずつ選定し、d4PDF の 732 年間分のデータから抽出した 2196 の降雨を 6 クラスターに分けた。次に、各予報（雨量ベクトル）の類似度を測り、最も近いクラスターに振り分ける。分析の結果、空間分布より時間分布の差が顕著に表れた一方、リードタイムが 3 日未満になると降雨パターンを高精度で推定できる可能性が示唆された。またコサイン類似度のほうがマッチング精度は高いが、雨量の絶対値は反映しにくい点に注意が必要とわかった。



図：各クラスターに分類されたアンサンブル降雨予測のメンバー数の推移(天竜川水系)。正解となるクラスタ(解析雨量が分類されたクラスタ)は No.3.



## VI. 大気海洋モニタリング研究領域

### 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活動を行っている．その他，マイクロ波放射計と雲カメラを潮岬風力実験所の屋上に設置し，移動中の直上の大気中に含まれる水蒸気量の高さ分布および雲の水平分布の連続観測，微気圧計測などが実施されている．

### 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．2024 年度に実施した主な活動内容は以下の通りである．1. 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，2. 波浪と海上風鉛直構造観測によるうねりの存在下で下層風への影響，3. 白波砕波面を介した大気海洋輸送現象の解明のための海表面の可視化，4. マルチハザード対応型浮体式波浪計の開発のための実海域実験．

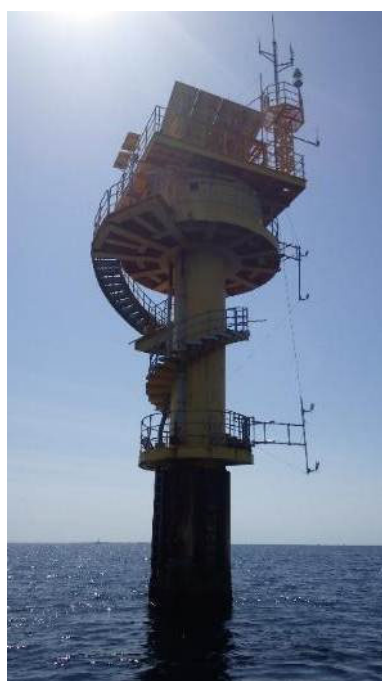
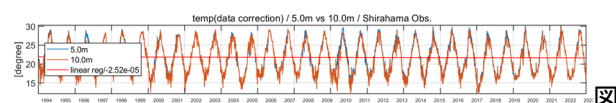


写真 観測塔西側に超音波風速計 4 台設置して風速の鉛直分布を計測

(2) 長期観測データによる海洋物理環境の気候変動影響評価：1994～2023 年の 30 年間を対象（水温以外のデータは 2007～2023 年）として，田辺中島高潮観測塔の観測データの解析を行い，

海洋物理環境の気候変動影響評価を行った．1994～2023 年の 30 年間の水温データ（図 1）から，線形回帰直線の係数はほぼ 0 で，水温トレンドはほぼ横ばいとなっている．直近 5 年間のデータを除くと，係数は  $10^{-2}^{\circ}\text{C}/\text{年}$  の上昇傾向が見られた．水温のスペクトル解析からは季節変動以外の有義な結果は得られなかった．一方，2007～2023 年の気温観測データ（図 2）は， $0.05^{\circ}\text{C}/\text{年}$  の上昇傾向が見られる．気圧については長期的なトレンドは見られなかった．水温上昇の停滞および気温の上昇傾向が観測されたことから，田辺湾では，海洋におけるハイエタスの影響が示唆される．



1：1994 年～2023 年（30 年間）水温観測データ，青・水深 5m，オレンジ・水深 10m，赤・水深 5m 水温の線形回帰直線

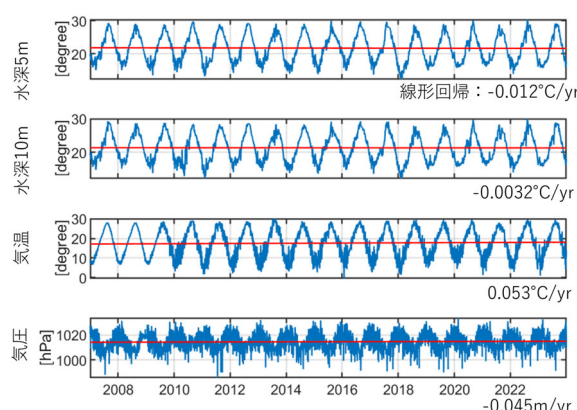


図 2：2007～2023 年について上から水温（5m），水温（10m），気温，気圧の観測データ．

## VII. 気象水文リスク情報（日本気象協会）研究領域

### ① ドローンを活用した観測技術の高度化

土砂災害及び洪水氾濫の予測と分析の精度をさらに高めるため、ドローンに搭載された LiDAR 観測技術を活用し、森林流域における微地形および河道断面の高分解能現地測量を実施した。また、生産土砂量をより精密に把握するため、森林流域における微地形および植生分布をドローン LiDAR により観測し、信楽試験地における対象流域および穂高砂防観測所における土砂生産が活発な 5 つの斜面において測量を行い、高分解能の 1m 解像度の数値標高モデルデータを取得した。国土地理院が公開している 5m の標高モデルと比較した結果、谷筋では過小評価、尾根筋では過大評価傾向が明らかにした。来年度には現地測量を継続し、1 年間における地形の変化に加えて、年間降雨による水文的影響の特定と、生産土砂量の定量的把握を進める予定である。一方、河道断面に関する成果については④に記載している。

### ② 気候変動に伴う土砂災害将来リスクの評価

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、土砂災害の将来リスクを把握することが重要となっている。兵庫県六甲山地を対象として、気候変動による土砂災害リスクの将来変化の解析を行った。1988 年以降の解析雨量データ、及び大量なアンサンブルメンバーを有する 5km 解像度の d4PDF 領域気候モデルデータを用いた。それぞれの気候シナリオにおいて、六甲山地の各水系における極端降雨の降水強度、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も評価した。さらに、超過事例の中から台風影響を受けた降雨事例を判別し、将来気候において 1.3 倍の事例数の増加傾向が明らかにした。加えて、旬別と地質に基づく地域別の土砂災害に関わる年平均面積も明らかにした。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と考察

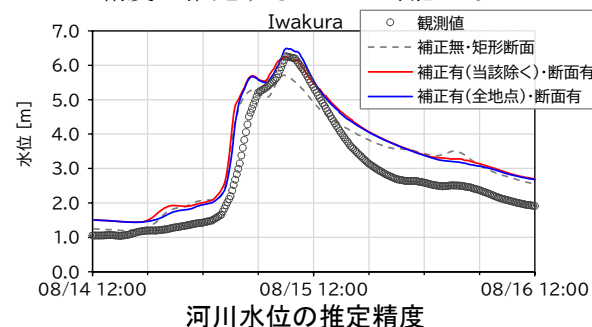
昨年の研究で提案した手法に基づいて、過去の 4 出水事例における京都府の 42 水位観測所を対象とした予測雨量と降雨流出氾濫モデルに基づく水位予測システムの予測可能性を評価した。流域面積が 100km<sup>2</sup> 以下の小河川の場合、リ

ードタイムを 1 時間と想定すると適中率が 0.8 である。また、100km<sup>2</sup> 以上 500km<sup>2</sup> 以下の流域面積の場合、リードタイムを 2 時間と想定しても適中率は 0.7 である。さらに、500km<sup>2</sup> の大河川の場合は 3 時間のリードタイムを想定しても、適中率は 1 である。以上の結果から流域面積に応じて洪水予測システムの精度は異なるが、100km<sup>2</sup> 以下でも避難判断水位の超過を事前に予測できる可能性が示唆された。さらに予測雨量を解析雨量に置き換え予測システムの予測システムの評価を行った。出水規模によらず予測雨量を入力した場合に比べて全体的に適中率が改善し、最大で 6 時間前に避難判断水位を予測できることがわかった。また、各出水事例で見逃しの事例は相対的に少ない。以上の分析結果より、予測雨量を入力した場合の誤差の主要な要因は降雨の精度によるものであることがわかった。

### ④ 洪水予測の高度化に関する研究

リアルタイムで河川水位観測所における流量実況値と RRI モデルによる計算値の誤差をもとに、上流域の水分量（雨量）補正する実況補正手法を開発した。また、ドローン測量による河道断面データを取得し、RRI モデルに取り込む方法を検討した。その上で、上記①と③を組み合わせた河川水位予測手法を開発した。この手法では、河川管理者によって観測されている水位や流量の観測データを使用しつつ、水位・流量が観測されていない、また、断面データが存在しない特定地点における河川水位を精度よく推定することを目的としている。

開発した実況補正手法では、10 分更新の実況補正が実用現可能となった。ドローン測量によって河道断面データを数 10cm 以下の精度で取得できるようになった。これら実況補正手法とドローン測量による河道断面データの反映を取り入れた結果、特定地点での水位を 0.2～0.8m の精度で推定することが可能となった。



### ⑤ その他

5 編の完全査読付き論文，1 編の記事，10 件の国内外学会発表である。

## 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

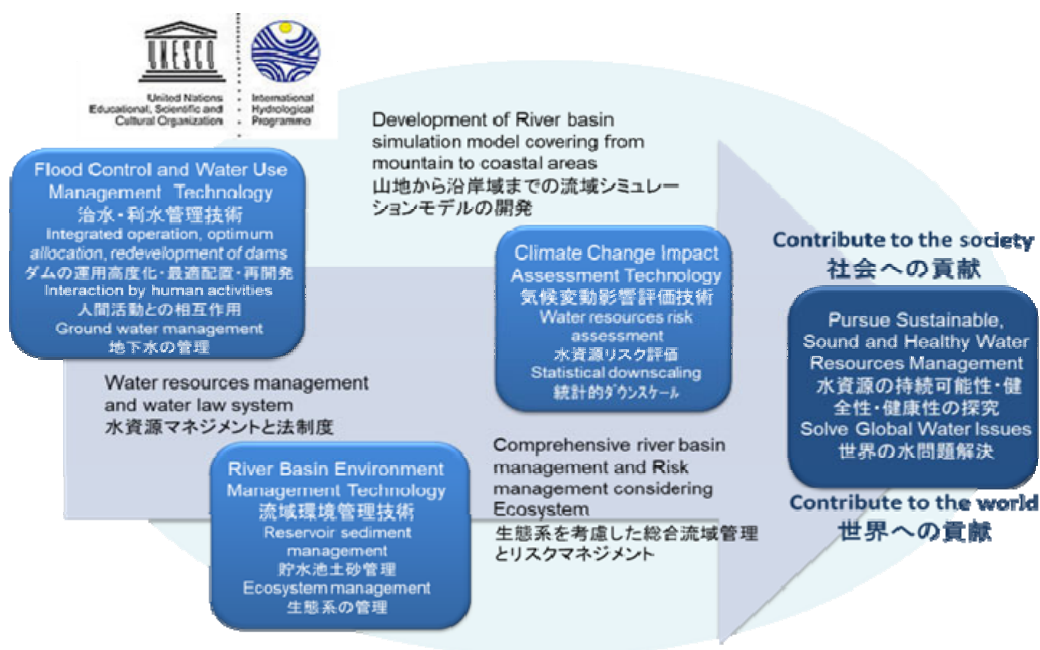
水資源環境研究センターは、水資源問題に関わる自然・社会現象を理解する目的で、昭和53年（1978年）に設立された。水の循環を様々なスケールにおいて理解することは、地球温暖化や生態システムの攪乱など深刻な環境問題の解決の鍵となる。当センターでは、リモートセンシングや全球気候モデル、大気－陸面過程モデルなどの技術を用い、ミクロな水文素過程から地球規模のマクロな現象までのマルチスケールにおいて水・物質の循環と社会システム、生態システムとの関係の解明を進めている。さらに、その結果に基づき、巨大災害や地球温暖化、地域開発に伴う深刻な環境問題のリスク評価、およびその対策としての社会基盤整備に活用するための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

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



水資源環境研究センターの活動

理を可能とすべく、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。

気候変動下で激甚化する豪雨災害に備えたダムの洪水調節機能の強化や、国産の再生可能エネルギーとして改めて評価が高まっている水力

発電の拡大に向けて、これまで築き上げられてきた既存のダム群をベースに、大きな社会課題である「治水」と「利水」の WIN-WIN の関係を構築するための研究領域を 2024 年 4 月に設置した。本研究領域は、ダムを「賢く」、「増やして」使うための「ダム再生技術」、さらには、ダムを「永く」使うと同時に、河川や海岸環境の改善のためにダムから効果的に土砂を下流に供給する「流砂環境再生技術」を開発することを目的としている。具体的には、①流域における既存ダムの現状評価と「ダム再生」ポテンシャル評価技術の開発、②ソフト技術（気象予測、土砂流入予測、貯水池内や下流河川における土砂動態予測、AI を用いた洪水・土砂管理技術など）の開発、③ハード技術（放流設備や排砂設備などの施設改造）の開発、④ダムの土砂管理と流砂環境の再生を調和させる応用生態工学的なアプローチの開発などを実施している。

### (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 個々の住民にカスタマイズされた水害時避難開始基準

住民が水害時に使用できる情報として、本川水位、過去の観測雨量（過去 T 時間雨量）、現在の大まかな雨の強さ（体感雨量）、2 時間先の予報雨量の 4 種類を想定し、「本川の水位が 1.5 m を上回る」のような「情報と閾値のペア」が与えられたとき、そのペアの避難開始基準としての適切性を「避難頻度」と「被災率」によって定量評価した。そして、避難頻度と被災率の片方を制約条件、もう片方を目的関数とする最適化問題を解くことで、最適な情報と閾値を求める手法を提案した。この手法は滋賀県芹川氾濫原に位置する滋賀県多賀町久徳地区および一円地区において適用され、その結果、制約条件ごとに各世帯が使用すべき情報と閾値を求めることができた。特に、避難頻度を制約条件にした場合では、許容できる避難頻度に基づいた、現実的な避難開始基準を設定することが可能になった。

#### ② 寺院の災害時緊急避難場所としての活用可能性

災害リスク地域居住人口について、実際の道路網データを用いて寺院および指定緊急避難場所までの最短避難距離を求めることを通じて、寺院を指定緊急避難場所に加えることの効果を全国規模で定量的に評価した。その結果、2020 年の日本総人口 1 億 2614 万人のうち、20.5 % に相当する 2591 万人が床上浸水リスクまたは土砂災害リスク地域に居住していることが確認された。災害リスク地域に居住する人口の 19.1 % に相当する 495 万人が、徒歩避難の限界距離である 2 km 以内に到達できる安全な指定緊急避難場所が存在しないという結果が得られた。そのうちの 44.8 % (222 万人) は、寺院が新たに指定されることにより避難困難が解消される可能性が示された。また、寺院の追加指定により 762 万人（災害リスク地域居住人口の 29.4 %）にとって避難距離の短縮が期待できることが示唆された。高齢者の割合に着目した分析からは、災害リスク地域、避難困難地域には相対的に多くの高齢者が居住している傾向が見られ、高齢者に配慮した避難計画や防災対策の必要性が浮き彫りとなった。標高に着目した分析からは、寺院が周辺より標高の低い場所を避けて立地していることが示唆された。そして、

873 万人（同 33.7 %）は避難先に寺院を選択することで、比較的標高が高い避難先への避難が可能となり、安全性の向上が期待された。

#### ③ 日本の全自治体公式ウェブサイトにおけるハザードマップ提供ページへの経路分析による到達可能性評価

自治体の公式ウェブサイトにおけるハザードマップ掲載ページへの到達可能性について、日本の全自治体のトップページから経路分析を行い、クリックや語彙、構造に関する特徴を把握することを試みた。分析の結果、90 % 以上の自治体ではクリック数が 3 以内にハザードマップ掲載ページまで到達することができることが分かったが、一部の特に人口の少ない自治体を中心に到達までに多くのクリックを要することが分かった。また使用されている語彙は、地図そのものを表す単語として「ハザードマップ」と「防災マップ」の割合が多く、到達経路上では「防災」「くらし」などの単語の出現頻度が大きいことが分かり、掲載ページまでのクリック距離ごとに出現回数を整理すると、各単語で出現の多いクリック距離に違いがあることが分かった。また最短経路の構造は、経路数が 1 つである直線型となった自治体は全体の半数近くの 47 % であり、経路数が複数の自治体についてはツリー構造となっているツリー型の自治体や経路があるページで集約されている集約型の自治体などで分類することができた。

#### ④ 市町村合併による複合災害被災可能性変化に関する定量的分析

ハザードマップを用いて 1995 年以降の日本における各合併前後の災害区域面積を計算したうえで市町村内の災害種数や水系数を比較し、合併パターンや合併前の地理的特性がどのように災害リスクに影響するかを検討した。その結果、編入合併において編入される側の災害種数増加や水系数増加が大きい傾向が確認された。また、内陸市町村が海に面した市町村と合併した場合に、津波や高潮など沿岸特有の災害リスクが新たに生じ、災害リスクを考慮する必要が生まれる傾向が顕著であった。さらに、洪水や急傾斜地崩壊については、内陸市町村同士や海に面した市町村同士の合併でも一定のリスク増加が確認された。土砂災害については、内陸市町村同士の合併において災害リスクを新たに考慮する必要が生まれる傾向が少し見られた。

## Ⅱ. 地域水環境システム研究領域

### ① 気象制御による流出・水資源への影響評価

内閣府が進めるムーンショット目標 8 では、台風や豪雨を制御し極端風水害による被害を軽減するための研究開発が実施されている。豪雨制御の実現により洪水被害の低減効果が期待される一方で、水資源確保の観点からは年最大規模の供給源の消失が危惧される。そのため、豪雨制御による流出・水資源への短期的・長期的な影響評価を実施している。

一例として、平成 29 年九州北部豪雨における寺内ダムの貯水量に注目し、豪雨制御がもたらす効果について述べる。実現可能な豪雨制御として、1-2 時間の制御時間、時間雨量に対して 5-15%の抑制強度を想定して降雨-流出計算を実施した。その結果、豪雨制御による積算ダム流入量の低減効果が確認でき、その効果は豪雨制御の実施時刻よりも制御の継続時間や豪雨の抑制強度に依存することが示された。

### ② 林野火災後の残存有機物の示差熱分析

林野火災後の残存有機物の特性は燃焼性状や可燃物の状態により異なる。国内の林野火災の特徴を記録するためにも分析事例の蓄積が必要である。本研究では、2021 年に栃木県足利市で生じた西宮林野火災における焼損試料を基に、熱重量示差熱分析を実施した。

空気雰囲気における分析で、燃焼温度毎に得られる強熱減量を確認したところ、未焼損試料では約 300, 400 °C の二種類、焼損試料では約 400 °C で燃焼する有機物が多く確認された。一般的な植物体の構成を踏まえると、焼損試料からはセルロースが焼失していたと考えられた。

また、示差熱分析のための機器は高額なため、マッフル炉等のように燃焼温度を限定した一般的な強熱減量試験でも同様の結論を得られるように燃焼条件を探した。示差熱分析で 300, 400 °C に温度固定する燃焼実験を実施したところ、強熱減量値は未焼損・焼損試料間で 400 °C での違いが少なく、300 °C では 20-30 % の違いを示した。残存有機物の特徴を表現できた。

### ③ 国内の林野火災に適切な乾燥指標の評価

日本国内の火災に向けた注意報は実効湿度に基づく。日本は湿潤な気候下にあるが、林野火災が多い冬から春にかけては太平洋側で乾燥傾向、日本海側は湿潤傾向である上に多雪地帯も多い。全球を対象としたこれまでの分析の中でも地域により適切な乾燥指標が異なる事が示さ

れてきた。そこで、日本で一律に使用されている実効湿度の有効性を、陸面過程モデルで計算される土壌水分量と比較することで、適切な乾燥指標の空間的特徴を調べた。

消防庁が取りまとめている火災報告に基づき、1995-2012 年の計 45,070 件の林野火災を対象として、月別の火災件数・焼損面積をそれぞれ、実効湿度と土壌水分量との相関を調べた。その結果、特に火災件数については気候帯を反映した結果となり、日本の西部や太平洋側で相関が高くなった一方で、東北西部等では実効湿度の相関が高いことが示された。焼損面積も総じては同様の傾向を示したが、より複雑な空間分布となった。これは少数の大規模事例の影響が大きいと考えられた。

### ④ 中央アジア大規模水体の熱・水収支特性の分析

周辺に海域が存在しない中央アジアでは、水蒸気供給源として大規模水体が大きな役割を果たしている。しかし、それら大規模水体が水循環に果たす役割は未解明な点が多い。そこで、衛星観測による地表面温度を用いて、水体と陸域における熱収支特性の違いを分析し、その陸面過程モデルによる再現可能性を評価した。

衛星観測データとして MOD11C3 プロダクトを、陸面過程モデルには SiBUC をそれぞれ用いた。衛星観測データの分析から、イシクル湖では冬季の夜間において周辺の陸域よりも水面温度が高く保たれることがわかった。また、陸面過程モデルによる推定から、水面温度が高く保たれることにより、冬季においても一定の蒸発があり、大規模水体が局地的な水循環に寄与していることが示唆された。

### ⑤ D4PDF5km による日本全国の水資源量評価

d4PDF5km を用いて、陸面過程モデル SiBUC により、日本全国の水資源量を評価した。過去実験、2°C 上昇実験、4°C 上昇実験の全 12 メンバーの 720 年分の解析を実施して、それぞれの期間の気候値のアンサンブル平均値を算定した。特に温暖化に伴い積雪期間が減少することから、積雪地域では、蒸発散量の増加が他の地域に比べて大きくなることが示された。また、基底流量は、降水量が増加する北海道の一部を除き、全国的に減少する。無降雨期間の増加、蒸発散量の増加により、土壌水分が下がりやすくなり、基底流量の減少につながっていることが示された。

### Ⅲ. 社会・生態環境研究領域

#### ① 気候変動下における持続可能な水資源管理 と高度ダム運用

2024 年度に開始された Nexus プロジェクト（極端気候変動下における持続可能な水資源とダム管理のための相乗的戦略）を通じて、フィリピン・カガヤン川流域のマガットダムに焦点を当て、気候レジリエンスと持続可能なダム運用を強化する統合的かつ科学的戦略の開発を進めた。洪水マッピングと流域の時空間的変動分析のため、現地調査と関係者との意見交換会を実施し、RRI モデルを用いて降雨流出氾濫モデルを構築、多様なダム運用シナリオを検討した。台風 Ulysses 時に流域ごとの流出特性が大きく異なることが判明し、洪水軽減と渇水備えの両立のために事前放流の最適化が急務であると確認された。さらに、貯水池容量を回復し、ダム本来の機能を取り戻すための土砂管理戦略も提案している。

#### ② 河川生態系健全性の評価と河床地形管理手法の検討

河床地形や生物群集に基づく生態系健全性の評価、水・土砂連続性回復のための技術開発を推進した。宇治川では、河床安定性とトビケラの個体数の関係を明らかにし、生態系回復に必要な土砂供給量を推定。木津川では濃淡河床パターンに注目し、その形成過程と生態学的意義を解明し、望ましい河床条件を提案した。那賀川・天竜川上流では横断測量データから河床変動と土砂収支を評価する手法を開発。全国の流水型ダムを対象に、ダムの空間分布と降水量、出水と土砂収支、ゲートと谷地形の重要性、下流生態系への影響を整理した。小渋ダムの土砂バイパス運用に伴う河床・生物群集の応答を調査し、放水量・土砂供給量・河道幅の重要性を明示。伝統工法「聖牛」の効果を数値解析により検証。メコンデルタでは堤防、砂利採取、養殖池が水質へ与える影響の調査を開始。

#### ③ 乾燥地域における水災害評価

中東・北アフリカの乾燥地域では、気候不確実性を踏まえた洪水・森林火災・土砂災害の複合的評価が必要である。近年の干ばつと極端洪水は、アルジェリア・オマーン・サウジアラビアなどのワジ流域で洪水被害と土砂浸食を悪化させている。オマーン・サマール渓谷では、監

視カメラとインパクトセンサーを設置し、洪水と土砂流出の遠隔観測を開始。2022 年に開始した JSPS Core-to-Core プロジェクトの一環として、2024 年 11 月には UAE で第 8 回突発洪水国際シンポジウム (ISFF) を開催した。今後は、森林火災・洪水・土砂災害の複合災害や、人間活動の都市レジリエンス・持続可能な発展への影響に関する研究を予定。

#### ④ メコンデルタにおける自然ベースの解決策 (NbS)

ベトナム・ドイツ大学、バタンバン国立大学 (カンボジア)、コロンビア大学、NASA 水文学研究所と連携し、メコンデルタで食料安全保障と気候レジリエンス強化のための NbS 研究を実施。上流ダム建設や砂採取による地盤沈下、塩害、土砂枯渇が進行する中、伝統農法と最新水理知識、NbS の統合適応策を模索。重点分野は土砂管理、氾濫原の再連結、河岸保護、適応的灌漑。ADCP を用いた流速・河床調査や 2 次元数値モデルにより、水田への土砂堆積を最大化する水門操作の最適化を試みた (APN, JASTIP, DPRI の国際連携資金による支援)。

#### ⑤ 洪水・土砂・摩耗リスクマッピングにおける機械学習の活用

科研費 (基盤研究 C) 「機械学習 (ML) を活用した洪水リスクマッピングのためのグローバルモデル開発」において、ベトナムのヴァーザ川流域、サウジアラビアのワディ・コウス、アルジェリアのワディ・メジャルダ、日本の美和・小渋ダムにおいて ML 手法を検討。約 50 回の独立計算により、1D・2D・3D 枠組みに基づく小渋ダムの土砂バイパストンネル摩耗損傷予測モデルを構築し、精緻な工学対策へ貢献。ML とメテオリックアルゴリズム、気候変動シナリオの統合により、ワディ・メジャルダでの土壌浸食評価も実施。

#### ⑥ その他

査読付き論文 40 報を発表し、複数の WS やメディア発信を行った。以下の国際シンポジウムを主催し、学術交流と政策提言の場を提供：

- FSMaRT：持続可能な流域開発のための洪水・土砂管理国際シンポジウム

- ISFF：ワジにおける突発洪水に関する国際シンポジウム

#### IV. ダム再生・流砂環境再生技術研究領域

本研究領域の設置を記念したキックオフシンポジウムを、2024 年 5 月 30 日に京都大学宇治キャンパスで開催した。本研究領域では、産学連携の枠組みを活かしながら、参画機関の電力会社や建設コンサルタント、ダム関係の財団とともに、ダム再生・流砂環境再生を実現するための共同研究を開始している。また、ダム再生・流砂環境再生技術の海外展開として、日本発の技術の優位性を明らかにするための関連技術のデータベース化を日本大ダム会議と連携して進めている。さらに、新しい技術開発を担う次代の人材育成を目的として、参画機関からの若手技術者が参加する「ダム再生研究会」を立ち上げ、現役学生を交えた交流を進めている。

共同研究テーマは、(1)ダム再生、(2)流入予測、(3)堆砂対策（発電排砂、流砂観測、濁水影響低減、流砂環境再生）などである。以下に主要な研究テーマを示す。

##### ① 気象予測を活用したダムの運用高度化

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、高山ダムを含む木津川縦列ダム群の高度運用手法に関する検討を行った。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のために、d4PDF を用いた洪

水シナリオと長時間アンサンブル予測から得られるリアルタイム洪水特性を踏まえた操作オプションの組み合わせに関する検討を進めた。

##### ② 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実施した。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、水路底面が供給土砂で良好に保護される条件とそのメカニズムに関して考察を行った。さらに、粗度形状を四角と三角にした場合の局所的な渦の形成がセルフライニングに与える影響について検討した。

##### ③ 発電排砂

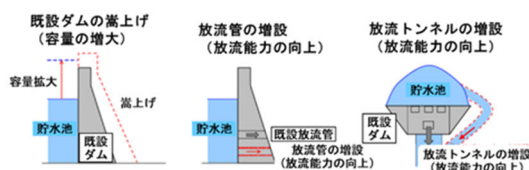
ダム堆砂対策の一手法として、貯水池の堆積土砂のうち 1mm 程度以下の細粒土砂を発電水車を通じてダム下流に排出する手法について検討を開始した。まずは、貯水池からの土砂の吸引、発電水圧鉄管～水車の発電システム内の土砂の通過、土砂の排出先の下流河川までの一連の系統の中での技術的課題について整理を行った。

##### ④ 流砂環境再生に資する貯水池土砂管理

ダム通砂を実施している耳川などを対象に、ダムからの供給土砂が下流河道内を間欠的に流下する「土砂波」の考え方と、それに伴って形成される河道地形（砂州や瀬淵構造）と生息場（ハビタット）の関係について検討を行った。また、熊野川や天竜川の土砂管理について、土砂資源有効活用を含めた新たな総合土砂管理に関する政策提言について検討を行った。

#### ダム再生技術

- ソフト対策（賢く使う）
  - 最新の気象予測を用いた降雨・流量予測手法の高度化（長時間アンサンブル降雨予測）
    - （効果）事前放流の精度向上（洪水調節容量の効率的利用）
    - （効果）貯留水を水力発電に有効活用
- ハード対策（増やして使う）
  - 既設ダムの嵩（かさ）上げ
    - （効果）洪水調節容量の増大
  - 放流設備の増設、放流トンネルの増設
    - （効果）洪水調節容量の有効活用



#### 流砂環境再生技術

- 堆砂対策（永く使う）
  - 掘削およびダム下流への土砂還元（置き土）
  - 土砂バイパス、通砂（スルーイング）など
    - （効果）ダムの貯水容量の維持
    - （効果）下流へ土砂供給（流砂遮断の解消）（河床低下・海岸侵食対策、河川環境改善）





## 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)
- 2022～2027 年に文部科学省「気候変動予測先端研究プログラム」(略称先端プログラム)

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

(構成メンバー)

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: 吳映昕 (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 Summin (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 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、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進めている。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。令和 6 年 7 月には気候変動適応研究センターが設立し、ユニットをこの気候変動適応研究センターと融合すべく、組織改革を進めている。

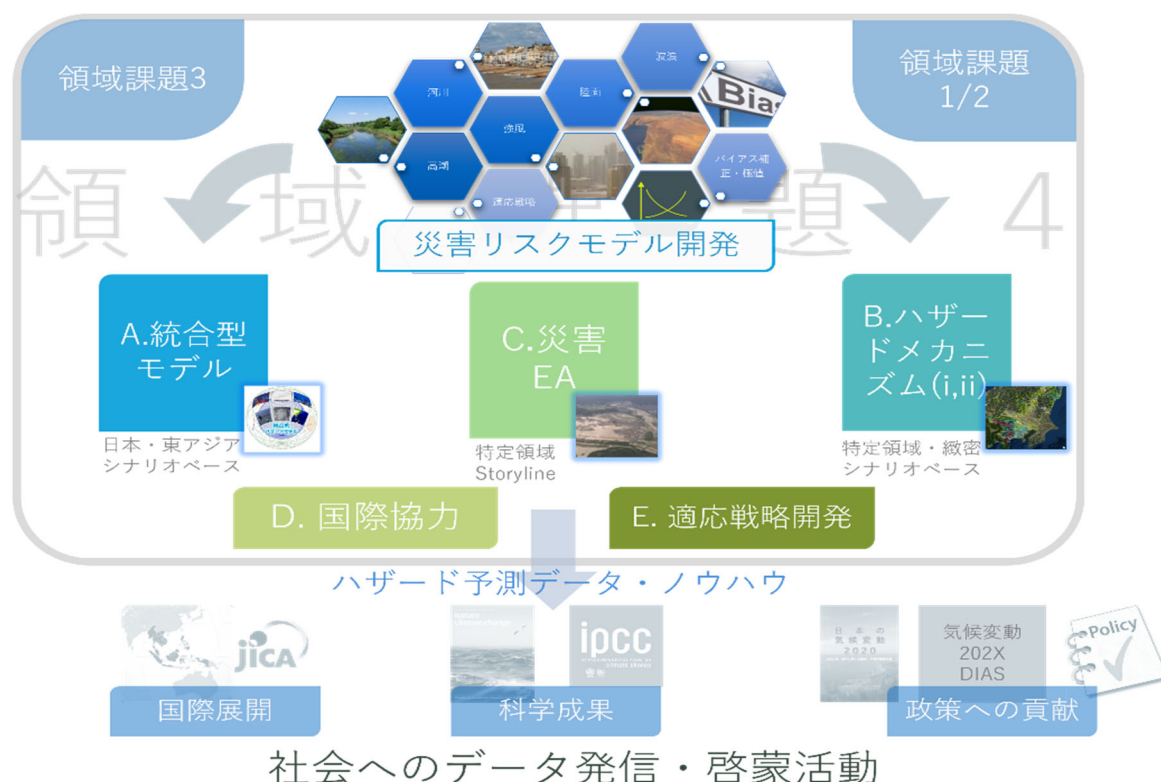


図 1 2022 年から 5 年計画で開始した文部科学省「気候変動予測先端研究プログラム」の研究構成

## 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ミッショ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年度には、被災地の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。令和5年度は、前年後に引き続き2回目の国際ワークショップ、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。さらに、令和6年度は、京都大学 On-Site Laboratory「地震・津波未災学国際 Lab」(英語名: International Research Laboratory for Earthquake and Tsunami Risk Congnition and Reduction) (通称 iLETs)を、京都大学およびメキシコ自治大学に開設され、SATREPS メキシコプロジェクトが開始されるなど、新たなステージへと入った。

### 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～同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)

	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 裕一	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	准教授
16	ア・マリ・ア・クルス	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 6 年度は、主に、以下の 3 つの活動を実施した。

第 1 は、京都大学 On-Site Laboratory「地震・津波未災学国際 Lab」（英語名：International Research Laboratory for Earth-quake and Tsunami Risk Congnition and Re-duction）（通称 iLETs）の開設である。京都大学は世界をリードする最先端の研究を海外の研究機関と共同で推進することを目的に On-site Laboratory を国内外に設置してきた。iLETs は令和 6 年 11 月 29 日にクロスバウンド型の On-Site Laboratory として、メキシコ国立自治大学中央キャンパスと京都大学宇治キャンパスの両方に開設された（図 1）。



図 1 iLETs の開所式  
（メキシコ国立自治大学中央キャンパス）

iLETs においては、理・工・社会科学による学際的な視点から、地震・津波のハザードとリスクの解明、工学的及び社会科学的視点によるリスク対応法に関する国際共同研究に取り組む。特に、日本とラテンアメリカ地域で得られる地震・津波災害に関する知見に基づく比較研究を行う。双方の研究者や政府機関の防災担当者及び民間との連携によって、巨大地震と津波災害のリスク軽減に向けた学際的研究と成果の社会実装を目指す。

令和 6 年度に iLETs に関連したシンポジウムおよびセミナーを開催した。2024 年（令和 6 年）11 月 29 日の iLETs の開所式および地震・津波防災に関するシンポジウムをメキシコシティ国立自治大学中央キャンパス（メキシコシティ）で開催した。2025 年（令和 7 年）1 月 23 日には、エルサルバドル国立大学（UES）において地震・津波未災学セミナーを開催した。その後の協議でエルサルバドル国立大学内に iLETs

のサテライト（iLETs-UES Satellite）を活動拠点として設置することで同意を得た。さらに、教育及び普及活動の一環として、メキシコ国立自治大学のケレタロ州フリキージャキャンパスにおいてセミナーを開催したほか、iLETs の普及活動に加えて優秀な学生の獲得に向けたリクルーティング活動も行った。

第 2 は、地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）「北中米太平洋沿岸部における巨大地震・津波複合災害リスク軽減に向けた総合的研究」に伴う研究である。同プログラムには、本ユニットの教員が多く参画しており、ユニット活動の一部となっている。

同プロジェクトは、メキシコ・マンサニョ港と、エルサルバドル・アカフトラ港を含む国際港湾都市を研究対象地域として、海底・陸上・測地観測に基づく地震シナリオの作成、地震・津波複合災害リスク評価の実施、ハード・ソフト両面からの対策の提案と実装を目指すプロジェクトである。

令和 6 年度は、同プロジェクト開始初年度にあたり、プロジェクト開始式を 2024 年（令和 6 年）6 月にメキシコ国立自治大学とエルサルバドル国立大学で行った。メキシコ国立自治大学で開催した開始式では、同大学とユニット教員に加えて、在メキシコ日本大使館、JICA メキシコ事務所、メキシコ外務省国際協力開発庁、メキシコ国立防災センター、メキシコ日本商工会議所、メキシコ海軍津波警報センター、在メキシコ・エルサルバドル大使館、エルサルバドル国立大学から出席があった。エルサルバドル国立大学で実施した開始式では、同大学とユニット教員に加えて、環境天然資源省環境監視総局、総務省市民防災局、JICA エルサルバドル事務所、UNAM、メキシコ国立防災センターから出席者があった。

同年 11 月 5 日には、メキシコ・マンサニョにおいて、国連世界津波の日を記念するセミナーを開催した。本ユニットからも 2 名が登壇したほか、メキシコ国家港湾システム管理局（ASIPONA）、メキシコ海軍津波警報センター、コリマ州市民防災局も登壇し、主に基礎自治体の市民防災局職員や防災に取り組む若者ら 200 名を対象に講演を行った。また、マンサニョが位置するコリマ州知事とマンサニョ市長も出席した。

メキシコ・マンサニョ港は日本企業も多く使用しており、地震・津波災害リスクの共有のため、メキシコ日本商工会議所と連携して、



メキシコに拠点を持つ日本企業（50 社～60 社、約 140 名）を対象として講演を行った（図 2）。



図 2 日本企業対象の講演会  
（メキシコ・マンサニージョ港）

第 3 は、2024 年（令和 6 年）8 月 8 日に発生した日向灘沖地震に関する調査を含む南海トラフ地震に関連する調査研究である。特に、焦点を当てたのが、日向灘地震であり、この地震に伴って、2019 年（令和元年）の運用開始以来初めて発表された「南海トラフ地震臨時情報（巨大地震注意）」に関する研究を重点的に進めた。

具体的には、第 1 に、偶然、地震発生日に避難訓練を実施していた高校生や地元住民の地震直後の避難行動と臨時情報発表後の対応行動に関する研究、そうした高校生（主に宮崎県内）を対象に事前に実施していた地震・津波防災教

育の成果と課題に関する研究がある。これらの研究からは、たとえば、発災直後に避難を行った住民は、臨時情報発表後に備蓄の強化や避難方法の再確認など具体的な行動を起こし、逆に実際に避難しなかった人は臨時情報発表後も特段の行動変容を起こしていない傾向があるなど、両者が関連していることが見いだされた。

第 2 に、今回の情報発表前から臨時情報発表時の対応について準備していた自治体（高知県黒潮町）において実施した事前の対応計画と実際の臨時情報対応の異同に関してもリサーチを進めた。その結果、黒潮町は全国で最も先進的な津波防災に取り組む地域の一つであるが、それでも臨時情報の「前」と「後」で想定の違いが複数生じたことがわかった。また、平常通りの行政業務と臨時情報対応のための業務を両立させるため、職員が平日夜間・祝休日の多くの時間を費やしていたこと、平日日中の勤務時間内でも 2 割程度の時間を避難所における対応に充てていたことがわかった。

以上の他にも、昨年度に引き続き、能登半島地震に関する地殻変動に関する研究、津波遡上計算に伴う不確実性に関する評価研究、および、防潮堤や防波堤など津波防災に関わるハード施設の構造特性や有効性に関する研究などが、本ユニットによる研究成果として、防災研究所研究発表講演会などで公表された。

## 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

(ユニット長)

令和 6 年 4 月～令和 8 年 3 月 吉村令慧

(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 3 次）など

(構成メンバー)

	氏名	部門・センター	役職
1	吉村 令慧	火山防災研究センター	教授
2	中道 治久	火山防災研究センター	教授
3	多々納 裕一	気候変動適応研究センター	教授
4	矢守 克也	巨大災害研究センター	教授
5	竹見 哲也	気候変動適応研究センター	教授
6	中谷 加奈	気象・流域災害研究部門	教授
7	森 信人	気候変動適応研究センター	教授
8	榎本 剛	気象・流域災害研究部門	教授
9	大見 士朗	地震災害研究センター	教授
10	西村 卓也	地震災害研究センター	教授
11	王 功輝	斜面未災学研究センター	教授
12	為栗 健	火山防災研究センター	准教授
13	山野井 一輝	気象・流域災害研究部門	准教授
14	竹林 洋史	気候変動適応研究センター	准教授
15	吉田 聡	気象・流域災害研究部門	准教授
16	山田 大志	火山防災研究センター	助教
17	井口 敬雄	気象・流域災害研究部門	助教
18	大西 正光	工学研究科	教授
19	宮田 秀介	農学研究科	准教授
20	石井 杏佳	理学研究科	助教
21	竹林 幹雄	神戸大学	教授
22	眞木 雅之	ユニット専任	特任教授

## (2) 活動の内容

令和6年度は研究集会（鹿児島市，34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．DAS を用いて土石流モニタリングを行う．

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

## 8.14 地震・津波未災学国際 Lab

### (1) 設立の経緯

京都大学は海外機関等と活発な研究交流を通じて世界をリードする最先端研究を推進することを目的に、世界各地に現地運営型研究室(On-site Laboratory)を設置している。この枠組みを利用して、学際的な視点から地震・津波防災研究を実施する On-site Laboratory「地震・津波未災学国際 Lab」(英語名: International Research Laboratory for Earthquake and Tsunami Risk Congnition and Reduction) (通称 iLETs) を防災研究所が設置した(図 1)。iLETs では、理・工・社会科学による学際的な視点から、地震・津波のハザードとリスクの解明、工学的及び社会科学的視点によるリスク対応法に関する国際共同研究に取り組む。

1970-80 年代以降、理学的な視点から沈み込み帯における大地震を地震テクトニクスの視点から比較研究する「比較沈み込み帯学」が実施されてきた。ここでは、限られた地域の低頻度高リスクの現象である大地震を、沈み込み帯という大きなシステムの中の共通の現象として捉えてそれらの発生様式の共通性や相違性を比較して論じた。結果、特に沈み込み帯における大地震の発生場とそのメカニズムの理解において一定の進展があった。

日本と中南米地域を含む環太平洋地域は、地震テクトニクスや地震・津波災害において共通の経験を有する。それぞれの地域に特化した地震・津波災害の研究はこれまで多くの地域で実施されてきた。一方で地理的な距離や文化の違いなどを要因として、それぞれの地域の共通性や相違性に着目した体系的な比較研究はこれまでに実施されていなかった。このような現状を鑑み、学際的な視点から沈み込み帯における地震・津波災害科学を比較研究として取り組む「比較地震・津波災害科学」の研究拠点の着想を得た。

iLETs においては、クロスバウンド型の On-site Laboratory として、メキシコ国立自治大学のメキシコシティキャンパスと京都大学宇治キャンパスの両方に On-site Laboratory のオフィスを開設し、それぞれを「比較地震・津波災害科学」のフィールド研究拠点とした。日本とメキシコのそれぞれに活動の拠点を利活用し、メキシコ国立自治大学を主とするメキシコ側研究者

や双方の政府機関の防災担当者及び民間と本学との連携によって、巨大地震と津波災害のリスク軽減に向けた学際的研究と成果の社会実装を目指す。

iLETs では、防災研究所がこれまでに西南日本で得た地震・津波防災研究の成果を未災学の視点から見直した上で、メキシコなどで得られたラテンアメリカでの知見との比較研究を進める。地域性を考慮した比較研究に基づき、地震・津波現象の理解の加速のみならず、両地域に顕在、潜在する地震・津波防災の実施に伴う共通または地域的な課題の把握とその解決手法やリスク軽減手法を検討する。これらは、将来の南海トラフ沿いの巨大地震の災害軽減の新たな取組みとして還元される。

### 地震・津波未災学国際 Lab (英文)

International Research Laboratory for Earthquake and Tsunami Risk Congnition and Reduction  
(設立期間)

令和 6 年 11 月～

(On-site Laboratory 活動費)

地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)「北中米太平洋沿岸部における巨大地震・津波複合災害リスク軽減に向けた総合的研究」、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画 (第 3 次)」など  
(構成メンバー)

	氏名	部門・センター	役職
1	伊藤 喜宏	地震災害研究センター	准教授
2	中野 元太	巨大災害研究センター	准教授
3	西川 友章	地震災害研究センター	助教



## (2) 活動の内容

2024年11月29日に、iLETsの開所式及び地震・津波防災に関するシンポジウムをメキシコ国立自治大学中央キャンパス（メキシコシティ）で開催した。エルサルバドル国立大学、コスタリカ大学およびコロンビア国家危機管理局の関連研究者らも登壇し、本清耕造在メキシコ日本国大使、小林千晃国際協力機構（JICA）メキシコ事務所長、エンリケ・ゲバラ・オルティスメキシコ国立防災センター総局長、ホセ・アルフレド・ガルバン・コロナメキシコ外務省メキシコ国際協力開発庁メキシコプロジェクトオペレーション総局長他、約50名が参加した。

2024年11月28日に、メキシコ国立防災センターにおいてセミナーを開催し、堀智晴教授（防災研究所所長）が登壇する特別セミナーを開催した。メキシコ国立防災センターの職員に加えてメキシコ国立自治大学の研究者や学生ら約50人が参加した。iLETsの研究成果をメキシコの

防災政策に活用することを目指す共同声明を、防災研究所、メキシコ国立防災センター、メキシコ外務省国際協力開発庁、JICAメキシコ事務所の間で締結した。

エルサルバドル国立大学(UES)において地震・津波未災学セミナーを2025年1月23日に実施した。セミナーにはファン・ロサ・キンタニーヤ学長、ネルソン・グラナドス農学科学部長ら、約40名が参加した。エルサルバドル国立大学でのセミナーの開催及びその後の協議によりエルサルバドル国立大学のキャンパス内にiLETsのサテライト（iLETs-UES Satellite）を活動拠点として設置することで同意を得た。

iLETsの教育及び普及活動の一環として、メキシコ国立自治大学のケレタロ州フリキージャキャンパスにある地球科学研究所において地震・津波未災学セミナーを実施し、iLETsの普及活動に加えて優秀な学生の獲得に向けたリクルーティング活動も行った。

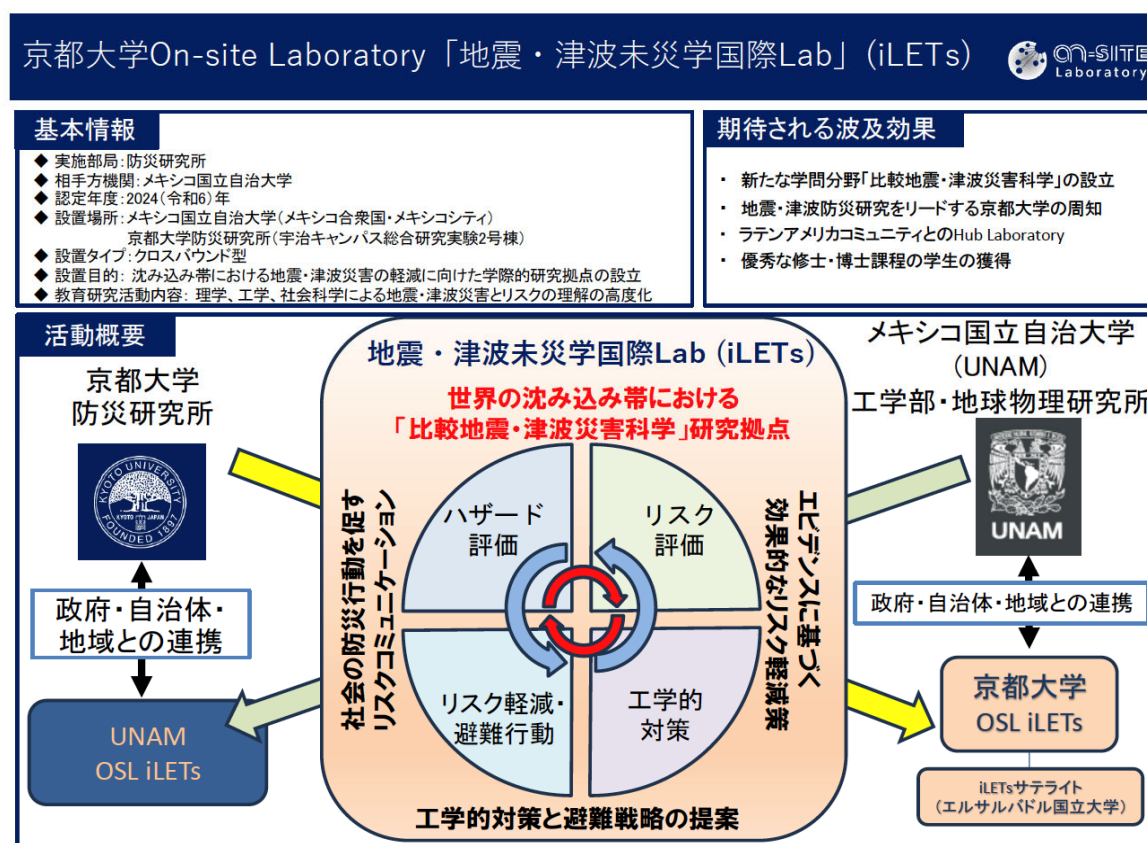


図1 京都大学 On-site Laboratory「地震・津波未災学国際 Lab (iLETs)」の研究概要

## 8.15 技術室

### 【室の活動概要】

#### ① 技術室の組織

技術室は、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 6 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 6 年度中の新規採用者は 1 名（工作室担当：上村文敏派遣職員）で年度末退職者は 1 名（中川潤）、役職定年者 1 名（吉川昌宏）であった。技術職員の平均年齢は 41.3 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が、正規職員採用は次年度以降に持ち越しとなった。

令和 6 年 10 月からスタートした技術職員改革により、技術職員の総称が、教室系技術職員から専門職（技術）に変更され、評定区分に応じた役職名は、技術室長（A1）、技術室長補佐（A2）、技術係長（A3）、技術主任（A4）、専門職（技術）（A5,A6）となった。また、技術職員数の定員管理は、部局から本部管理と完全に移行された。加えて、技術職員の新規採用についても部局から本部の一括採用の方向性が打ち出された。次年度以降に本部による定員不足分の採用活動が本格的に再開されるが、大きな課題であった新規採用者の希望と実務とのミスマッチなどが、これまで以上に大きくなると想像される。有能な人材の定着は、今まで以上に厳しくなるのではないかと想像する。

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

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 6 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 3 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 6 年度の短期支援依頼は 53 件、長期支援依頼は 10 件の合計 63 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 6 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 6 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。一例として令和 6 年度は三宅島 GNSS キャンペーン観測などに参加した。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。

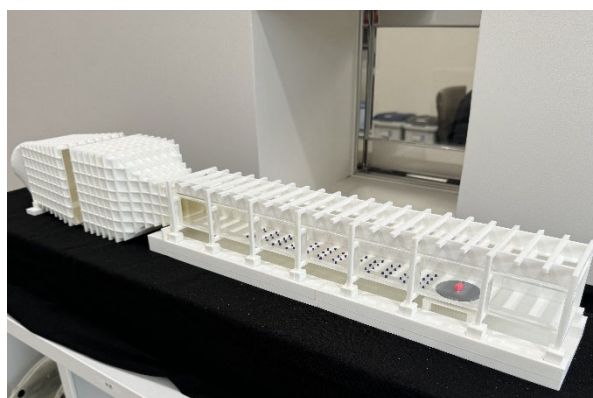
毎年の宇治キャンパス公開では、宇治地区だけでなく、宇治川オープンラボラトリーにも多くの技術職員を派遣し開催に協力している。隔地観測所が開催する京大ウィークスも同様である。

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 6 年度東京大学地震研究所職員研修会、令和 6 年度京都大学防災研究所研究発表講演会、令和 6 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。

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 6 年度は、各種計測器やセンサー類を市場に送り出している民間企業において現地研修を実施し品質管理などの研修を行った。



写真：技術職員が 3D プリンタで製作した境界層風洞実験装置（1/50 スケール）