

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

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

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

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

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

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

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。

(3) その他（横断的な活動等）

1996年以来、年1回、教職員及び学生が集

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

地球規模での気候，水循環，社会変動に伴って変化する自然災害，水資源，生態系・生物多様性に対する影響を最小限に抑える適応策などを提案するためのリスク予測や評価を実現することを目指して，文部科学省「21 世紀気候変動予測革新プログラム（平成 19～23 年度）」に

引き続き，文部科学省「気候変動リスク情報創生プログラム（平成 24～28 年度），領域テーマ D 課題対応型の精密な影響評価」において、防災社会システム研究分野、及び、防災技術政策研究分野が参画し、様々な影響を考慮した適応戦略の開発等に従事した。

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

【研究分野の研究内容】

I. 都市空間安全制御研究分野

① 周期 2 秒程度で繰り返し回数が多い地震動の破壊力とその発生条件

耐震性能が低い古い木造家屋に甚大な被害を引き起こす可能性がある周期 2 秒程度で繰り返し回数が多い地震動について、過去に発生した 2003 年十勝沖地震の KiK-net 厚真（周辺に建物無し）を開発した箱型試験体に入力し、大きな被害となることを確認した。また、過去の強震記録を用いて、その発生条件について検討したところ、表層地盤のせん断波速度が 150m/s 程度以下の軟弱地盤、かつ、等価 1 次周期が 1-1.5 秒程度であれば、KiK-net の地中記録程度の深さの加速度が 30cm/s^2 であってもそのような地震動が発生することがわかった。

② 地震発生直後の被害推定において震度情報を活用する方法

地震発生直後の被害推定を行う際に使用する観測点密度を上げるために、震度情報から建物被害と相関が高い 1-1.5 秒震度を求める方法の検討を行った。具体的には、震度と対応した 0.1-1 秒応答と 1-1.5 秒応答の比がほぼ一定になることを過去の記録から確認し、その比を予め求めておけば、地震発生直後の震度計での 1-1.5 秒震度を ± 0.5 程度の精度で求めることができた。

③ 地震被害推定を行う際の建物データの推定

地震被害推定を行う際の建設年、開口の大きさなどの建物データを国勢調査による人口データから求める方法について検討した。開口の大きな建物は、家族従業員者数から高い精度で求めることができた。

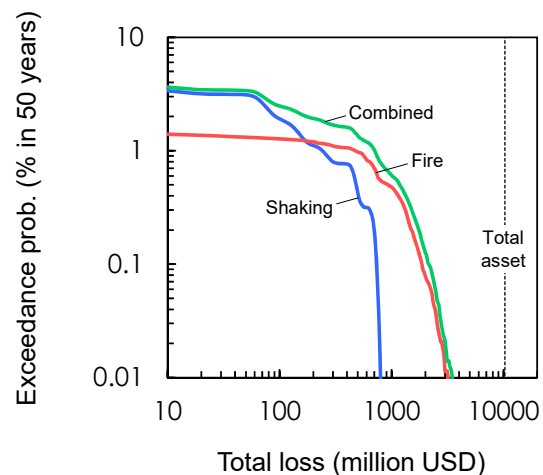
④ カテゴリー分けをした非線形木造建物群の構築

木造建物を建設年や開口の大きさ、屋根の軽重などでカテゴリー分けすることで、非線形木造建物群を構築し、従来の平均的非線形木造建物群から推定精度がどの程度上がるか確認した結果、開口の大きな建物が多く被害率が大きかった 2007 年能登半島地震の K-NET 穴水周辺などで推定精度が向上した。

⑤ 地震動・火災のマルチハザードリスク評価

確率論的地震リスク評価を地震動に起因して発生する火災（地震火災）を含めた手法に拡張

し、京都市上京区の木造密集市街地を対象に様々な不確実性を考慮した地震動と火災のマルチハザードリスク評価を実施した。対象とした地震は、琵琶湖西岸断層帯、花折断層帯、有馬一高槻断層帯、生駒断層帯、京都西山断層帯、六甲一淡路断層帯の 6 断層帯で発生するものである。火災関連の偶然的な不確実性として、出火の数・場所、気象条件（風速や風向）、消防隊の火災覚知時間、地震動による家屋の構造被害に伴う防火性能の低下を考慮しており、認識論的不確実性として、経験的出火予測式の不確実性（地震間の変動性）を考慮した。その結果、地震動と火災によるリスク（損失額）の 50 年超過確率が図に示すように推定された。地震動と火災の複合効果を考慮した損失超過確率曲線は、超過確率が高い領域では地震動だけを考慮した時の曲線に、超過確率が低い領域では地震火災だけを考慮した時の曲線に支配され、超過確率が中位の領域では両方の曲線に大きく依存する。すなわち、地震動だけを考慮した従来のシングルハザードのリスク評価では、損失の超過確率が過小評価され、特に、頻繁には起こらないものの地震火災が地域に壊滅的なインパクトを及ぼし得る点が見落とされることになる。



京都市上京区の木造密集市街地における地震動と地震火災の複合効果を考慮したマルチハザードリスク（建物損失額の 50 年超過確率）

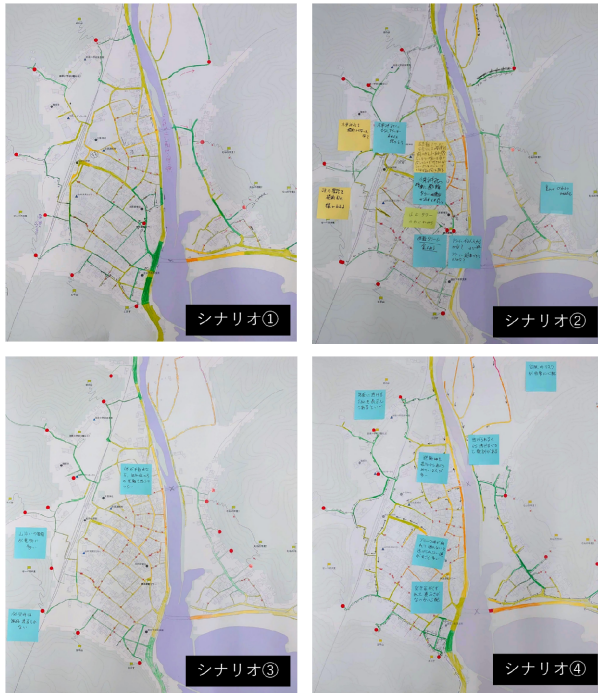
⑥ その他

内閣府の地震防災情報システム（DIS）の被害推定手法の改訂に対して助言を行った。

II. 都市防災計画研究分野

① 南海トラフ地震の防災対策に関する研究

令和 2 年度に開始した「防災対策に資する南海トラフ地震調査研究プロジェクト」他の研究プロジェクトにおいて南海トラフ地震の防災・復興に関する研究を進めている。津波到達地震が短い地域において命を守ることができるまちづくりについての検討を行っている。和歌山県串本町田原地区において「逃げ地図」ワークショップを開催し、地域の避難についての検討を行った。「逃げ地図」とは、住民が地図に避難時間を色鉛筆で着色し、避難に必要な時間を確認するワークショップである。ワークショップを行った結果、津波がこない場所・避難タワーまでの避難時間を確認し、住民の意識づけ、避難可能なまちづくりのための基礎データの構築を行った。



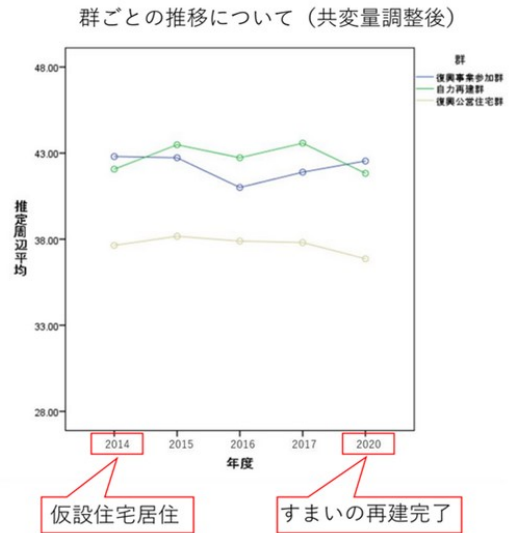
逃げ地図の成果

- シナリオ 1 避難タワー有・道は通行可、
- シナリオ 2 避難タワー有・通れない道も有、
- シナリオ 3 避難タワー無・道は通行可、
- シナリオ 4 避難タワー無・通れない道も有

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。東日本大震災の被災者についての分析を行い、復興事業は生活復

興感にマイナスの影響を与えていないが、災害公営住宅の居住者については生活復興感が低いという結果が明らかになった。



復興事業の違いによる生活復興感
 (被災者特性調整済)

③ 盆地の堆積層構造のモデル化に関する研究

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

Ⅲ. 防災技術政策研究分野

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

① マルチハザードの評価に向けた統合ハザードモデルの構築

気候変動の適応策を検討するうえでは被害と対策を総合的に分析する必要があり、マルチハザードの視点が不可欠である。2022 年度より開始した文部科学省の気候変動研究プログラム「先端プログラム」では、学内外の研究者と共同し、様々なハザードモデルを統合するプロジェクトを推進している。これまで開発を進めてきた洪水予測モデル(降雨流出氾濫モデル: Rainfall-Runoff-Inundation: RRI Model)の発展を進めるとともに、他の研究者が開発した様々なハザードモデル、具体的には、高潮・波浪モデル、大気陸面モデル、土砂モデルなどを統合する共通プラットフォームの開発を地球シミュレータを活用して進めている。

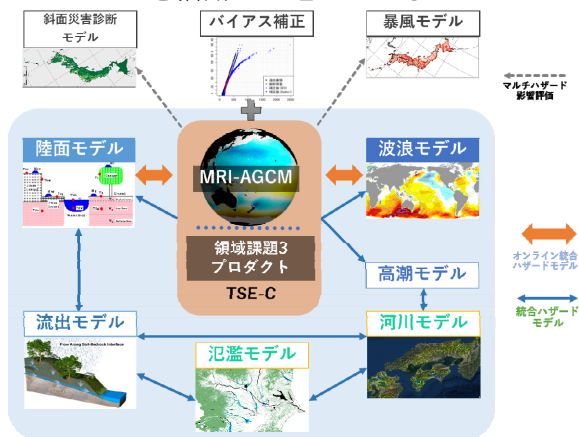


図: 気候変動予測先端プログラムで開発を進める「統合ハザードモデル」の構成

② 洪水流出の現象解明・モデリングと水災害予測

地形・土地利用・降水などの空間分布情報を入力し、流域内部の様々な地点で水移動を再現・予測する分布型流出モデルの開発を進めて

きた。内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「国家レジリエンス(防災・減災)の強化」に参画し、研究課題「日本全国の中小河川を対象とする洪水予測手法の開発」に取り組んだ。日本全国を対象に、空間解像度約 150 m で、分布型の降雨流出氾濫モデルを構築し、中小河川を含む河川流量および水位を簡易的に予測するための技術を開発した。京都府や民間企業との共同研究も進め、開発技術の応用に取り組むとともに、環境省のプロジェクトでは、2018 年西日本豪雨の擬似温暖化実験とその結果の公表も進めた。

③ 土地利用・気候変動が流域水循環に及ぼす影響の評価と適応策に関する研究

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

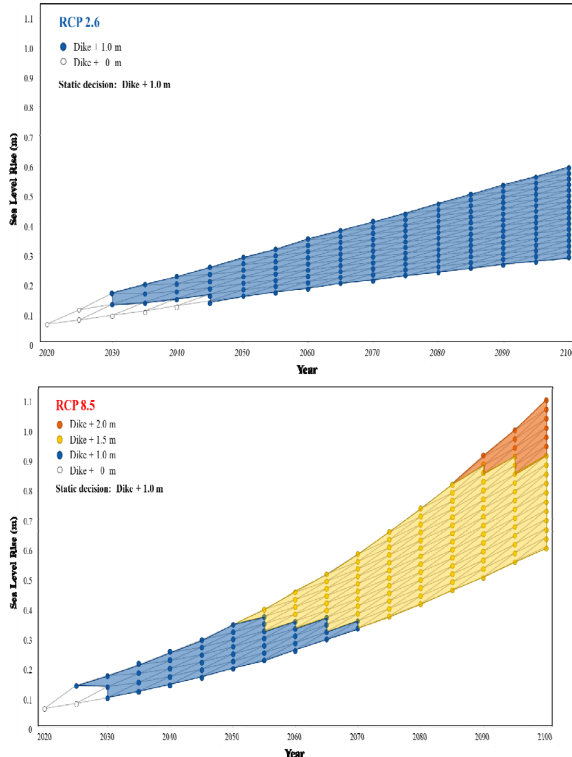
④ その他

2022 年度は、7 編の完全査読付論文(うち 3 編は国際ジャーナル論文)として学術雑誌に発表した。7 件の招待講演・特別講義・市民向け講演を行い、研究内容の紹介や減災のための啓蒙活動に努めた。『水・エネルギー・災害に関するユネスコチェア(WENDI)』の活動を継続し、佐山敬洋と Florence LAHOURNAT が事務局を務めた。平成 30 年 4 月より始動した系統的・学際的な大学院レベルの持続可能教育(HESD)プログラムを進め、令和 5 年 3 月時点で 54 名の大学院生が修了した。令和 3, 4 年度に JSPS 外国人特別研究員(カンボジア出身)、中国からの交換留学生を受け入れた。

IV. 防災社会システム研究分野

① 気候変動適応の最適計画の検討

気候変動による高潮災害リスクの増大が危惧されるなか、どのようなタイミングで堤防嵩上を実施するかは重要な課題である。そのため、気候変動の進展状況をモニターしながら、堤防嵩上の計画立案から整備完了による効果発現までのタイムラグを考慮したもとの、最適な堤防嵩上の規模とタイミングを求める計画手法を構築した。分析の結果、動的モデルは静的モデルに比べて年間のリスクコストを減少させることが明らかになった。また、タイムラグや割引率は堤防嵩上の規模やタイミングに大きな影響を及ぼすことが示された。特に、RCP2.6 のケースでは、タイムラグが長くなると、堤防嵩上が効果を発現する最適なタイミングを逃すことにつながり、堤防嵩上を実施しないという決定につながることを示唆された。

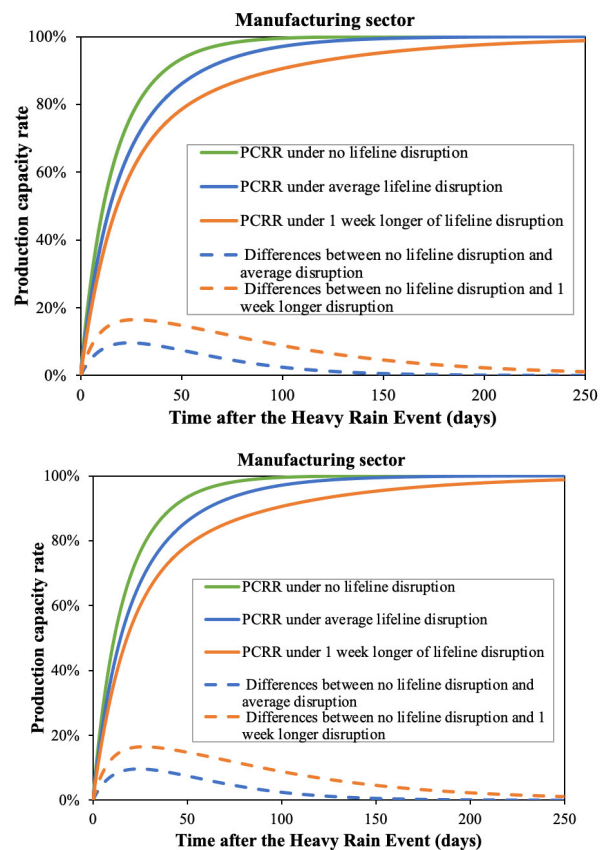


RCP2.6 と RCP8.5 シナリオでの最適堤防嵩上計画

② 水害後の業種別生産能力回復モデルの構築

水害の経済被害を推定するには、直接の資産被害だけでなく、生産が回復するまでの機会損失も推定する必要がある。そのために、マルコフおよび半マルコフ復旧モデルに基づき、業種別の回復モデルを構築した。この回復モデルは、災害後の任意の時点での産業部門生産能力を推定することができる。さらに、初期の損害、浸

水深度、堆積物、インフラの機能不全の影響を回復関数に含めている。分析の結果、水害が発生した際には産業生産の継続性と復旧に総合的なアプローチが必要であることが明らかになった。具体的には、2018年西日本豪雨の事例から、企業が洪水災害後に生産能力を回復するために洪水排水と堆積物の除去を優先する必要があることを示された。また、ライフラインの復旧時間が1週間遅れた場合、製造業部門では最大で16.6%、非製造業部門では16.4%のより高い生産能力損失が生じることが明らかになった。



ライフライン状況による産業生産能力回復の影響

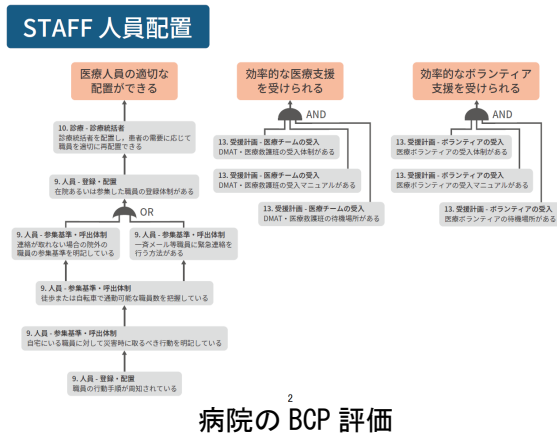
③ その他

18編の査読付論文として学術雑誌に発表した。加えて10件の一般向け講演を通して、社会貢献に努めた。

V. 地域医療 BCP 連携研究分野

① 病院の BCP 評価に関する研究

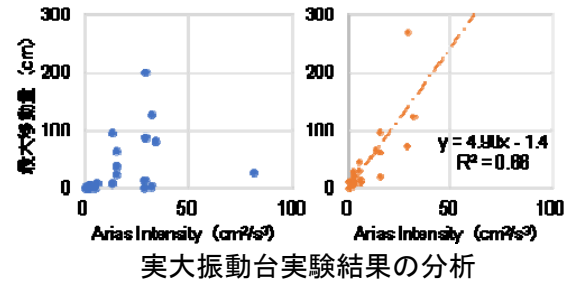
『BCPの考え方に基づいた病院災害対応計画作成の手引き』（平成25年3月）に示される「病院災害計画チェックリスト」の内容を構造化し、災害時の病院の業務継続をする上での課題を容易に把握できる仕組みの開発を行った。チェックリストの結果を見える化することで各病院の取り組み、各病院が取り組むべき課題を容易に把握することが可能になると考える。チェックリストの項目を、医療供給力 Surge Capacity を構成する 4S(Staff、Stuff、Structure、System)の各要素に分類し、「チェックリスト」の質問項目について「ある業務が可能になる」（例：医療人員の適切な配置ができる）という観点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



② 医療機器の地震時挙動評価

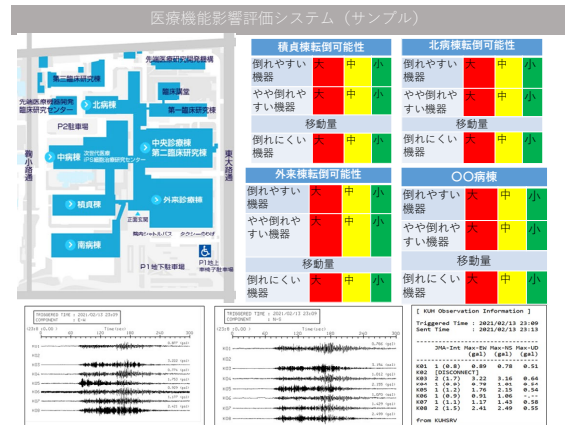
地震動と機器の転倒や移動量との関係について、要素実験及び実大病院建物の振動台実験で得られた結果を分析した。要素実験として、キャスター付き台車の引張試験から、移動量と相関のある転がり摩擦係数、沈み込み係数、摩擦係数には床材の厚さが影響し、いずれも厚みとともに増大することが分かった。最も一般的な床材に対してやや柔らかい床材では、転がり摩擦係数は 2 倍程度大きくなった。病院での作業効率を考えると厚さの限度があるが、やわらかく厚みのある床を採用することで、沈み込み係数や転がり摩擦係数を増やし地震時の移動量を低減できる可能性を示した。振動台実験から、機器の移動量について、下図に示すとおり床応答加速度および継続時間の影響を考慮した Arias Intensity との相関を評価した。設計時の参考として、全点ロックでないケースが多い患者が載らない機器について、移動量と Arias

Intensity の相関式を提示した。



③ 病院の地震リアルタイムモニタリング研究

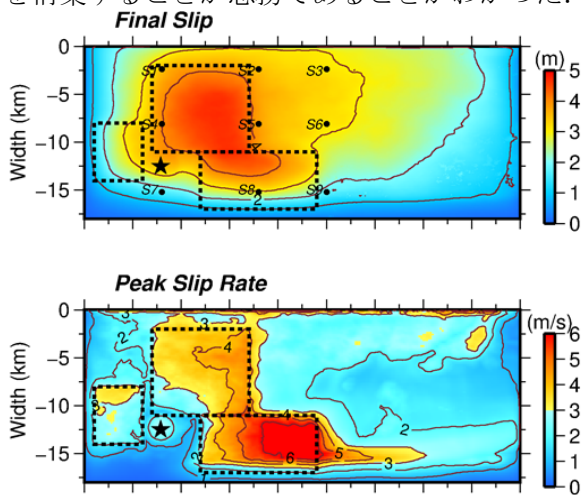
京都市内の 3 つの総合病院に地震計を設置し、地震発生時に病院間の連携を支援するシステムの構築を進めている。システムでは、下図のようにホームページを通じて建物の応答情報と医療機器の被害診断結果を配信している。今年度は、後発地震が連続する場合にサーバーの動きが重くなる問題を解決した。また、平時からの利用方法として、救急科の病床数を病院同士で共有する方法や防災訓練への利用方法を検討した。



VI. 地震リスク高度化（阪神コンサルタンツ） 寄附研究分野

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

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



得られた最適モデルの滑り量と最大滑り速度

② 硬質岩盤上の観測記録を用いた速度構造・サイト特性の抽出

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

における基盤地震動特性評価に関する研究」で整備した「近畿地方の硬質地盤アレー」および「関東地方の硬質地盤アレー」に手法を適用し、構造がよく拘束された結果であることを検証した。

③ 海溝型巨大地震のスケーリング則の再評価

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

④ 被害インバージョンによる強震観測以前の地震の断層パラメタ評価

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

⑤ 経験的地盤非線形性評価手法の開発

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

⑥ 経験的な S 波部以降の後続動評価手法の開発

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

⑦ 速度構造・サイト特性推定手法の国際展開

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

⑧ 研究実績

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

8.2 巨大災害研究センター

【センターの活動概要】

(1) 研究対象と活動方針

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

当センターの重点的な研究課題は以下となる．

- 1) 国内外での巨大地震・津波災害における避難計画・防災教育に関する学際的研究
- 2) 気候変動に伴う風水害対策に関する学際的研究
- 3) 大規模火山噴火時の航空交通の危機管理体制に関する学際的研究
- 4) Natech (Natural Disaster Triggered Technological Accident, 自然災害が誘発する人為災害) に関する学際的研究
- 5) 災害リスクの経済評価研究
- 6) 防災研究のアウトリーチ
- 7) 災害情報システムの高度化と社会実装に関する研究

(2) 研究分野と役割

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

歴史災害史解析研究領域（客員）では，発生頻度の低い巨大災害を対象とした減災のために，過去に発生した巨大災害とその対応の記録や先人が残した災害の教訓を収集，整理，解析し，次の巨大災害への知見として活用することが重要と考え，歴史時代に発生した災害像，それに対する災害対応，復旧・復興の様子，およびそれらの歴史的な変遷を，地理学，考古学，史学，社会学，行政学，法学，情報学どの様々な角度から明らかにし，現代の防災へ活用するための研究を推進している．

地域災害研究領域（客員）では，地域的条件を考慮しながら，施設整備により災害による被害軽減を図るハード対策と，まちづくり，避難，ソーシャルキャピタルの醸成による被害軽

減を図るソフト対策の両方を効果的に組み合わせた総合的防災政策の立案に資する研究と、その知見を社会実装するための研究を推進している。

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) 戦略的イノベーション創造プログラム（SIP, 内閣府）「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」の実施
 研究開発課題「産官学協働による広域経済の減災・早期復旧戦略の立案手法開発」、「避難・緊急活動支援統合システムの研究開発」に参加し、並行時空管理システム（STeP）と道路復旧優先順位付けモデルの開発を行った。
- 3) 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
- 4) 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。

- 5) 防災計画研究発表会の実施
- 6) 災害コミュニケーションシンポジウムの実施
- 7) 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	大西正光	巨大災害研究センター	准教授
3	中野元太	巨大災害研究センター	助教
4	岡田夏美	巨大災害研究センター	特定研究員
5	杉山高志	巨大災害研究センター	非常勤研究員
6	松原悠	巨大災害研究センター	非常勤研究員（～R4.10.31）
7	大門大朗	巨大災害研究センター	学振特別研究員
8	畑山満則	巨大災害研究センター	教授
9	廣井慧	巨大災害研究センター	准教授
10	藤田翔乃	巨大災害研究センター	JSPS 特別研究員
11	Ana Maria Cruz	巨大災害研究センター	教授
12	土佐尚子	巨大災害研究センター	特定教授
13	PANG Yunian	巨大災害研究センター	特定助教
14	櫻井繁樹	巨大災害研究センター	特任教授
15	中村伊知哉	巨大災害研究センター	特任教授
16	中津良平	巨大災害研究センター	特任教授

【研究領域の研究内容】

I. 巨大災害過程研究領域

① 防災・減災に関するアクションリサーチ

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

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

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

② 災害応急対応のための応援協定に関する研究

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

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

③ 国際・学際研究の社会実装と映像表現

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

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

④ その他

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

II. 災害情報システム研究領域

① 平常時/災害時を連続的に扱うことができる地理情報システムに関する研究

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

2022 年度は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を開発した。被害が広域にわたる豪雨災害では、広範囲に道路閉塞をもたらし、平時の交通サービスレベルへ戻るまでに多大な時間を要する。その後の復旧にかかるまでの物流や人流起因の変化が社会に及ぼす影響を軽減するため、道路規制データを用いた復旧期間への要因の分析と、その分析結果に基づく復旧期間の予測モデルを開発した。

近い将来、情報技術の進展により防災研究が扱うデータはより大規模に高分解能になる。本研究は、道路復旧に関する研究について、より効果の高い戦略を定量的な根拠データから導き出す、解析の道筋を示した研究と言え、地理情報システムを用いた応用例として、防災に関する情報システムの飛躍的發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）、プラットフォーム学等、最先端の ICT を使った効果的な災害対応手法について、主に 3 つの観点から研究を行っている。

AI を用いた災害対応手法として、地震発生直後の住家の被害認定調査における屋根調査を自動で行う画像認識モデルを提案した。これは、航空写真から深層学習を用いて屋根損傷率を自動算出することで、従来方法より正確かつ効率的な調査を行い、被災者の生活再建を迅速化さ

せることを目的としている。災害データへの機械学習の適用はデータ収集の困難さに起因する精度の担保や対応への活用など多くの課題がある。そのため、深層学習ベースの生成モデルを使用し、少量の被害あり屋根画像からクオリティの高い合成画像の生成モデルの研究開発に挑戦した。高い精度で被害データを生成し、画像認識モデルに取り込むとともに、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、全国自治体職員を対象としたアンケート調査を実施し、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た。こうした工夫が評価され、情報処理技術と防災をテーマとする主要国祭会議への論文採択等、多くの成果を得た。



深層学習で生成した建物被害の合成データの例

プラットフォーム学に関連した研究として、避難行動モデルを定量評価するプラットフォームを提案した。前年度までに引き続き、避難行動モデルの妥当性検証を目的とした、モバイル空間統計データを利用した定量評価のプラットフォーム化を進めるとともに、継続的かつ比較分析の成果を最大化するためモデルの根拠データとなる水害時避難行動調査の標準化に着手した。

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、8 編の完全査読付論文、48 件の講演、8 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 Investigating experiences and protective actions against flooding in the chemical industry

This study aims to understand past experiences and preparedness of oil and gas industry managers concerning flood and flood-triggered chemical accidents (Natech) hazards. Also, the study investigates managers' proactiveness in preparing against floods and Natechs through the lens of a "revised" Protection Motivation Theory (PMT) conceptual model. Distinguishing from the original model, the proposed model considers three types of risk perceptions, namely deliberative, affective, and experiential (Ferrer et al., 2016). The proposed model also integrates rational analysis, negative emotions, and heuristic intuition into the measures of risk perception. Furthermore, this study analyzes five cognitive biases that could reduce risk perception and protective intention. To test the conceptual model, an online questionnaire survey was developed and applied to industry in Colombia. Data for the study was also collected in Colombia in March 2022 through nine industrial visits and interviews in Bucaramanga, Bogota, Barranquilla and Cartagena, and a workshop in Bogota with safety managers from fifteen oil and gas companies. The preliminary results of the study have provided interesting findings on the steps that companies are taking to assess and prepare for these types of hazards, but they also highlight industry's need for guidance on how to protect their installations against the potential negative effects due to climate change. Thus, future work will involve the preparation of recommendations based on the study findings including guidance on flood disaster prevention and mitigation measures.

② An integrated model for the simulation of debris flow impact on oil and gas transmission pipelines

Landslides represent the number one natural hazard impacting oil and gas transmission pipelines in Europe and the United States (U.S.), often with huge economic losses. In this study, we developed a novel quantitative-mechanistic methodology to

simulate the cascade process from the rainfall infiltration in areas subject to debris flow, to the debris flow process, the impact of debris flow loads on oil and gas transmission pipelines, and to the estimation of pipeline failure probabilities at both the regional scale and in the near-field. The study provides a valuable tool that is computationally efficient, and can support the decisions of local authorities, stakeholders, and operators for risk assessment, prioritization of hazard mitigation measures and emergency planning, or decisions regarding pipeline siting.

③ The effect of subjective well-being on risk perception and disaster preparedness actions

Subjective well-being (SWB) may be an influential factor in disaster risk management, along with other psychological factors relevant to disaster preparedness. To examine these relationships, a conceptual model was built based on a review of the literature. This study investigated the relationships between SWB, trust in government, risk perception, direct past disaster experience, and disaster preparedness actions based on data from an online survey in Japan. The proposed model was analyzed by employing structural equation modelling. The results show that SWB and risk perception have positive effects on preparedness behavior. The results were consistent with previous studies and the degrees of the observed effects were similar between SWB and risk perception. This implies that SWB or Well-being, in general, may play a crucial role in the process of ensuring that citizens are adequately prepared against hazards. However, our study did not determine specifically which are the most important factors for well-being at this stage due to the limited explanatory power of the variables like risk perception and direct experience. Thus, further research is needed to explore this influential factor with a survey on a larger scale.

④ Others

Research results in 2022 were presented in 5 fully refereed papers, and 14 international and domestic conferences.

IV. アートイノベーション産学共同研究部門

アート思考を持った人材の育成及びアートの防災への応用研究（凸版との共同研究）

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人材を育成するプログラムを企業の中間管理職の人材育成に応用する試みを継続して行なっている。それに加え、京大オリジナルと共同で一般企業人を対象としても実施した。さらにシンガポールのマネジメント関連の大学と共同でシンガポールの一般企業人を対象として実施した。

アートの防災への応用に関しては、流体に振動を与えて生成するアート（土佐アート）を用いて、防災研究所の津波シミュレーターの津波の音で津波アートを制作し、それを防災看板にする試みを行った。同時に、AR マーカーを読み取るとスマホ上に津波アート動画が現れる仕組みを作り、津波アート看板と AR 看板を京阪電車の線路に面した宇治川オープンラボラトリーの壁面に設置した。この試みは、京阪電車に興味を持ってもらい、3.11 のメモリアルとして 3.11 を挟んだ期間中に京阪電車の 1 編成を貸切り、本看板の宣伝を中吊り広告により行った。

アートのファッションへの応用研究およびアートに適した表示方法の研究（エプソンとの共同研究）

アートは、美術館やギャラリーなどの空間でのみ展示され、一般人の日常生活からは切り離されていた。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たアートファッションを人々に日常生活で纏ってもらおうプロジェクトを開始した。ファッションを内製できる環境を構築し、学生と共に土佐アートをベースとしたアートファッション作りを行った。その成果は 2022 年 8 月にエプソンの丸の内ギャラリーで展示した。さらに、10 月にはニューヨーク、ブルックリンでファッションショーを行った。

並行して、プロジェクターと LED ディスプレイのいずれがアートを含めた情報の提示に適しているかに関する研究を行った。これに関しては、反射光（プロジェクター）と透過光（ディスプレイ）が人に与える影響の観点から多くの議論が行われてきたが、研究として実証したものは少ない。ここでは、プロジェクターとディスプレイの輝度・コントラストなどの条件をできる限り一致させた上で、感性評価と論理評価の両方の観点から、プロジェクターとディス

プレイの比較を行った。その結果、条件を一致させれば、人に与える心理効果に有意な差はないという結果が得られた。

アート表示に適した没入空間構築の研究（AGC との共同研究）

映像アートは、大きな空間を利用して表示・展示すると、没入感を生み人の心に強く訴える。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六角柱の空間を構築し、小さな空間を無限に続く巨大な没入空間にするシステムを開発した。

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は人の創造性を高める効果があると考えられ、心理・生理実験を通して確認する研究を開始した。上記の没入空間内に土佐アートを表示し、心理評価によって評価してもらおうと同時に、生理データ（心電・脳波・皮膚電位）を計測する実験を行った。心理評価データの分析は終了し、創造性が高まるという結果を得たている。

アートを用いた SDGs への貢献の研究（大阪ガスとの共同研究）

大阪ガスは、メタンガスの燃焼によって生じる CO₂ を水素と化学反応させてメタンガスを生み出し、CO₂ の循環サイクルを作り出す技術を社会実装しようとしている。この技術を一般人に理解してもらうため、メタン燃焼による CO₂ 生成、CO₂ と水素の化学反応によるメタンガス生成という CO₂ の循環サイクルを土佐アートで表現する試みを行った。

その他

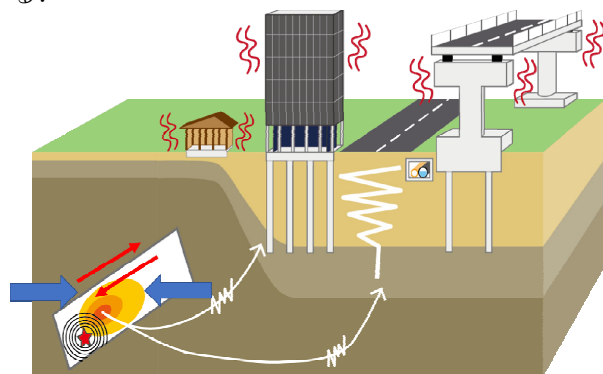
研究成果は、3 編の完全査読付論文、14 件の国際会議発表、7 件の国内会議発表を通して行われた。

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。また、機械学習のように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 前震の特性に関する研究

日本国内で発生した地震のカタログを用いて前震の発生特性を調べた。陸上の地震の 38%、海上の地震の 24% で 1 回以上の前震が発生している。前震は水深 0~30km の浅い場所で多く発生している。また前震は正断層で多く発生し、横ずれ断層では減少し、さらに逆断層では減少する。前震と本震のマグニチュードには明確な関係はない。この研究から分かった前震の特性は、前震の前兆過程やスロースリップではなく、トリガーモデルやカスケードモデルとより整合的である。

② 2015 年ネパール地震の解析と地震観測網の整備

ネパール大地震 (M7.8) の余震と地質構造について研究した。10 カ月間の余震観測記録を用いて、15000 の余震の震源決定を行った。地震地域の 3 次元速度構造を計算し、ほとんどの余震は Main Himalayan Thrust の断層面上か、その上の地表までの間にあることがわかった。また、三次元地震波速度構造トモグラフィと三次元地震波減衰構造トモグラフィを実施し、断層沿いの様々な不均質構造と、地震前の断層域のカップリング、ゴルカ地震の断層の破壊域、地震後の変形等との議論を行った。ネパールの SATREPS プロジェクトにも参画し、定常地震観測点を設置して、ネパールの地震防災の向上に協力した。

③ 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。

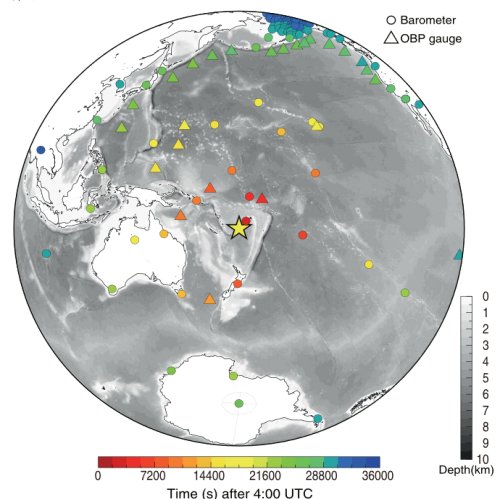
④ 地すべり地震学

地すべり発生時の地震波形記録を解析するこ

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

⑤ 火山噴火に伴う衝撃波の研究

火山の大規模な噴火に伴って衝撃波が発生し、様々な被害をもたらす。2022 年 1 月 15 日に発生したトンガのフンガ・トンガ=フンガ・ハアパイ火山の噴火では、非常に強い衝撃波が発生したため、世界各地で被害が発生した。特に顕著だったのは、大気と海面のカップリングによって、太平洋を伝播した衝撃波が津波を励起したことである。そのため、日本の太平洋岸でも 1m を超える津波が観測され、気象庁によって津波警報が発表された。我々は地震計、気圧計、海底津波計のデータを利用して、津波と火山の衝撃波を分析した。その結果、津波はトンガから同心円状に伝播し、その速度は概ね音速と一致することが明らかになった。また、沿岸災害研究分野と協力して津波のシミュレーションを行い、日本近海の海底地形で変化する津波の挙動を調べた。



津波の到達時刻 (△印) と衝撃波の到達時刻 (○印)

II. 強震動研究分野

① 地震波の伝播・サイト特性の研究

令和 3 年度まで実施した文部科学省委託研究「奈良盆地東縁断層帯における重点的な調査観測」によって作成された京都盆地から奈良盆地にかけての 250 m メッシュの浅部地盤構造 (S 波速度構造) モデルを用いた浅部地盤の地震波応答特性を評価した。このモデルは、ボーリングデータベースを活用して作成した浅部地層モデル (深さ 1 m 刻みで、代表土質、平均 N 値をモデル化) と、小半径微動アレイ観測によって得られた浅部地盤の S 波速度構造モデルを使って、代表土質、N 値、有効土被り圧と S 波速度の関係式をモデル化することで作成された。対象地域では大阪平野に比べ、浅部地盤が比較的薄いことから、周波数 1 Hz では、調査対象領域全体で、浅部地盤構造による地盤増幅率は小さい一方、2 Hz では、京都盆地南部の三川合流域周辺や奈良盆地南部での増幅が顕著となり、さらに、3 Hz 以上となると、京都府南部の木津川低地帯も含め、ほぼ対象領域全体で地震動の増幅が見られることがわかった。

2020 年 12 月より地震活動が継続している能登半島北部において、2022 年 6 月 19 日 15 時 8 分に M_J 5.4 の地震が発生し、K-NET 正院 (ISK002) では最大加速度 606 cm/s^2 (3 成分合成値)、震度 6 弱を計測し、周辺で被害が生じた。この記録において水平動の卓越周波数は約 1 Hz であった。当該サイトにおいて微動アレイ探査を実施し、浅部地盤構造を推定すると、工学的基盤面相当以浅の浅部地盤構造モデルにより約 1 Hz の卓越周波数を持つことがわかった。

また、2022 年 11 月 9 日 17 時 40 分に M_J 4.9 の地震が深さ約 51 km で発生し、震央距離約 37 km の茨城県城里町小勝で最大加速度 722 cm/s^2 (3 成分合成値)、震度 5 強を観測した。観測記録は周波数約 8 Hz の成分が卓越した。防災科学技術研究所により浅部地盤構造調査が実施され、工学的基盤面相当以浅の構造によってこの周波数帯域が大きく増幅することがわかった。

② 震源モデル・パラメータ特性に関する研究

将来発生する地震の震源断層モデルパラメータの設定に活用するため、既往の震源断層モデルのすべり角のばらつきの程度を求めた。震源インバージョンに強震波形記録が使用されているもので、不均質震源断層モデルデータベース SRCMOD または防災科学技術研究所から、各

要素断層のすべり角の情報を含むデジタルデータが公開されていること、を条件に不均質断層モデルを選び出した。すべり角は $[-\pi : \pi]$ の有界かつ循環性をもつ情報であることから、方向統計学の方法に基づいた平均および標準偏差を得た。また 1 地震ですべり角の異なる複数の断層面が設定されている場合はそれぞれの断層面において平均値と標準偏差を求めた。

③ 強震動予測に関する研究

令和 4 年度から 3 ヶ年の予定で、文部科学省委託研究「森本・富樫断層帯における重点的な調査観測」を、所内他部門・他センターの教員の他、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開始した。本分野では、強震動予測の信頼性向上のために重要な断層帯近辺の地盤構造 (地下速度構造) の高度化と強震動予測を担当する。地盤構造の高度化のため、当該地域の既往研究成果を踏まえ、当該断層帯が活動した場合に強い揺れに見舞われる金沢平野を中心として観測点での地震波増幅特性把握のための臨時の強震観測点の設置、長尺ボーリング地質柱状図の収集、浅部地盤の動的変形試験の収集、深部地盤の S 波速度構造を推定するための微動アレイ観測と単点微動観測、石川県等の既存強震観測記録の収集と整理、強震観測点での微動観測を実施した。これらのデータ、及び研究グループで実施される人工地震探査や重力探査結果、浅部地盤の構造調査を踏まえて浅部・深部地盤構造モデルの構築を進める。

また、関係自治体やライフライン関係者と情報交換や研究成果の普及のため、対面での地域勉強会を金沢市で開催し、石川県内の新聞等でも報道された。

④ その他の活動

査読論文 1 件。森本・富樫断層帯における重点的な調査観測における地域勉強会実施、関係新聞報道 3 件。

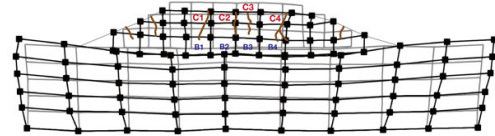
III. 耐震基礎研究分野

① 地震動の発生・伝播メカニズムの研究

土木構造物に作用する地震動は、地震が発生してから地中を波が伝播して表層の地盤を揺らすまで長いプロセスを経たものである。本分野では、力学的な観点から地震の発生メカニズムや地震動の伝播メカニズムについて研究している。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付近で観測される断層平行成分のパルス性地震動の生成要因について、平成 28 年熊本地震 本震を例に検討した。地震波形の再現解析の結果、地表や地表近くの低速度層の存在により波動場と破壊プロセスが相互作用した結果として、パルス性地震動を説明できることを示した。

② 土木構造物の地震時破壊メカニズムに関する研究

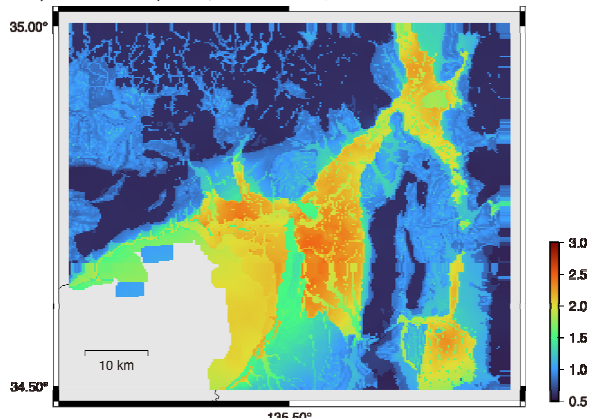
地震の揺れに対して土木構造物がどのように応答するのか、またどのような揺れに耐えることができるのかを把握するためには、小さな視点から大きな視点まで様々なスケールで構造物の動的特性を把握する必要がある。本分野では、実験や数値解析を利用して土木構造物の地震時破壊メカニズムの解明に取り組んでいる。盛土構造物は地震時に大きく崩壊するなど、機能が失われる事例の多い構造物である。地震被害事例によれば盛土天端部や法面に縦断方向に開口クラックが発生する事例が多く認められている。一方、耐震設計を行う上での盛土の破壊性状はすべり面を仮定した照査が一般的である。地盤材料の破壊という側面で要素レベルでの振る舞い考えれば、前者の実事例は引張破壊によるものであり、後者はせん断破壊を仮定したものであり考え方が異なる。そこで、遠心場振動台実験により開口クラックの生成メカニズムについて検討を行った。下部地盤の液状化により盛土が概ね一様に水平方向に引張されることが画像解析により確認され、これにより天端からクラックが発生しやすいことが明らかとなった。



遠心場振動台実験による
盛土開口クラックの発生事例

③ 次世代の耐震／防災技術の開発研究

多様な分野の先端技術を取り入れた新たな耐震／防災技術を開発することは、次世代の防災・減災対策において重要である。本分野で進めている機械学習を利用した新しい緊急地震速報に関する研究は、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、地震ハザード評価をはじめとして、空間統計量を適切に表示することは重要である。表示対象となる量（揺れやすさや超過確率）はばらつき（不確定性）を持つため、値が有意である場合に強調されるような表示法（Uncertainty Projected Mapping や Uniform Uncertainty Mapping）を提案している。理論的背景の深化や、より広範な問題への拡張を進めている。



UUM による地盤増幅度の表示例

④ その他

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・実務上の指導を精力的に行っている。

IV. 耐震機構研究分野

① 建物振動の統一的理解の連結制振への拡張

令和 2・3 年度には、多質点系 1 本棒せん断振動型モデルに制御工学で広く利用されている極配置法を適用して、建物の振動を共通に支配する数式が存在することを明らかにした。この支配方程式は統一式とも呼ばれ、基礎免震、中間層免震、同調型マスダンパによるパッシブ制振、層間ダンパによるパッシブ制振で振動モードに対応する極を指定すると、免震・制振装置を表現するパラメータの値が自動的に制約されることを意味している。この式を得たことで、理論的に実現不可能なため無意味である制御目標の設定が回避できるようになり、閉じた表現のため免震・制振効果が物理的に理解し易くなった。中間層免震構造の複雑な動特性の理解と、同調型マスダンパの試行錯誤的な設計の改善にも貢献した。

令和 4 年度は、これまで 1 棟の建物で得られた統一式を、隣合う建物 2 棟を繋いだダンパによって振動低減を図る連結制振に拡張して一般化を進めた。その結果、連結制振でもダンパのパラメータを制約する同様の式が存在することを明らかにした。その式をすでに提案されている定点理論と統合して、これまで難しかった 2 棟の同時振動制御を誘導するダンパの設計式を提案することができた。

② 地震被災度即時判定に利用する微動計測に基づく地震応答解析モデル

不整形、平面的広がり、吹抜空間という特徴により複雑な振動特性を示す低層建物でも地震被災度即時判定ができるように、設計図面や構造計算書を用いずに一日程度の微動計測だけで、振動解析モデルを作成する方法をすでに提案している。この手法は、入力地震動を計測できれば、一時的に微動計測した全点で加速度、速度および変位の応答を提供できる。

前年度までの手法の検証は、数値解析、4 層鉄骨造試験体の振動台実験および大規模商業建物 1 棟に限られていたため、令和 4 年度は京都市内の鉄筋コンクリート造 4 層病院建物の実地震記録により手法を検証した。中小地震時であったが、手法は最大応答値をよく予測していたが、固有振動数の振幅依存性が水平 2 方向で異なる建物では、応答予測時のモデルの更新に注意が必要である点も明らかになった。

③ 病院施設を対象とした事業継続性評価

2016 年の熊本地震や 2017 年の大阪北部地震における医療施設の被害、2022 年に実施した医療施設の実大振動台実験結果をもとに、地震災害時の医療機能に対する影響評価を分析した。建物内の非構造部材や設備の被害が増大する地表速度の閾値、建物内の医療機器などの転倒被害や移動量が大幅に増大する床応答加速度や継続時間を考慮した応答指標の閾値を提案した。得られた知見を共同で課題に取り組む医療従事者らと議論し、生命維持などの医療行為の継続性と建物応答の相関や被害を受けた病院居室の復旧方針を検討した。構築を進める病院建物の地震観測網においては、同定した閾値や被害率曲線を取り入れて早期被害把握システムを高度化した。また、病院などの重要施設の事業継続性に大きく影響する天井、間仕切壁、配管システムといった非構造部材の地震被害について、損傷メカニズムの分析、周辺部材の被害率曲線への影響評価、画像モニタリングシステムの構築に実験と解析から取り組んだ。

一連の研究を通して、令和 4 年度に国際学術誌 3 編、国内学術誌 4 編、国際学会論文 4 編、研究機関研究資料 1 編、を発表した。

④ 鋼構造骨組の耐震性向上に向けた国際連携

鋼構造分野においては、省資源耐震補強工法の開発を主軸としつつ、部材開発や設計法の整理、損傷同定法の提案において国内外の有力な大学や実務者との連携に努めた。耐震性が不足する鉄骨工場建物の長寿命化を目指し、誘導加熱技術を適用して曲線加工した形鋼を用いた柱脚の耐震補強法を実務者と共同提案した。数値解析および実験により柱脚のじん性向上効果を実証し、曲線部材の弾性および弾塑性挙動を予測する設計式を提案した。メキシコ自治大学やニュージーランドの構造設計事務所とは、鋼構造の普及が遅れている地震多発地域に日本式の設計施工法を普及する際の課題について検討した。また日本特有の露出柱脚の塑性化を先行させる設計において、地震後の柱脚残存性能を統計データに基づいて評価し、想定される後発地震に対して適切な補修法を選択するアプローチを検討した。

連携研究の成果として、国際学術誌 3 編と国際学会論文 3 編を発表した。

8.4 地震災害研究センター

【センターの活動概要】

(1) 研究対象と活動方針

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

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

さらに、科学技術・学術審議会測地学分科会の建議に基づく「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第 2 次）」の下で、東京大学地震研究所等との共同研究に参画するとともに地震・地殻変動の定常観測とデータ流通の一端を担っている。

(2) 研究領域と役割

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

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

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

内陸地震研究領域では、活断層等で発生する内陸地震の発生予測の研究を推進するため、稠密地震観測に基づく 3 次元地下構造や応力分布の高精度推定ならびに地殻変動データなどを総合することにより、内陸地殻の変形を通じ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、北陸地方の微小地震活動と地震テクトニクス、福井地震断層の深部構造と地震発生過程、および北陸地方に根ざした活動・情報発信などを行っている。

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

点の地震基盤観測点を維持している。

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

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

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いる。

(3) その他（横断的な活動等）

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

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

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

I. 地震情報研究領域

① 地震・地殻変動記録の収集とデータベース構築

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

② 地震波形データ収録・処理システムの効率化

当センターでは、各観測点と観測所あるいは宇治センター間はNTTの常時接続回線を使用してデータ伝送し、また、センターと他大学、気象庁、防災科学技術研究所等の他機関との間はJGN-X/SINET5および京都デジタル疎水ネットワーク等の高速バックボーン回線を利用して、全国大学のリアルタイム地震データ流通システムの一部を担っている。現在、間近に迫ったISDN回線によるデータ通信サービスの終了に備えて、各観測点の回線の光回線化及びモバイル化を進めている。また、関与できる人員の減少に対応したタスクの単純化及びデータ流通経路の冗長化のため、宮崎観測所のシステム刷新を行った。

③ 地殻変動連続観測とデータの一元化および流通

地殻変動連続観測について、宇治のセンターに一元化し、連続観測データの集中処理・モニタリングを実施している。また、上記の地震観測と同じデータ流通ネットワーク(JDXnet)を利用した全国大学間での流通にも参加している。今期は観測を終了した複数の観測点の撤収準備を進めた。

④ 近畿地方北部における稠密地震観測

2008年末以降、近畿地方北部においてオフライン臨時点80点以上を設置し稠密地震観測を2022年秋まで実施した。稠密地震観測および定常の高感度観測網のデータを用いて近畿地方北部の発震機構解と応力場について解析を進めた。観測網内ではM0.5程度の極微小地震の発震機構を求めることができ、詳細な応力場の空間分布を求める等の解析を進めている。3次元地震波速度構造を高解像度で推定したと

ころ、微小地震発生層の下半部にあたる深さ9~15kmは顕著な低速度であり、地殻内流体の分布との関係が示唆された。また深さ3kmの地殻浅部においても帯状の顕著な低速度帯が存在することが示された。さらに、近畿地方北部の下部地殻には顕著なS波反射面の存在が知られていたが、稠密地震観測のデータの大量の波形データを用い反射面の形状を直接イメージングし、流体の存在と同地域深部で局所的に発生している深部低周波地震および定常的に活発な浅部の微小地震活動との関連性について解析した。

⑤ 途上国における地震活動監視観測網構築の支援

2012年度より、防災研共同研究をはじめとして各種の研究資金を投入して、ヒマラヤ山脈南山麓のブータンにおいて、同国の地震防災に資するために、同国初の地震活動監視観測網の建設と維持管理等の技術の移転を実施してきた。2022年度は、これらのひとつであるSATREPSの最終年度にあたり、約10年間に徐々に蓄積されてきた観測データを解析した震源マップの作製を試みた。

⑥ 飛騨山脈地域の防災に資する地震情報の発信

飛騨山脈南部の奥飛騨・上高地における、2020年の活発な群発地震の発生を受けて、観光立地を目指す同地域の主たる利害関係者と協議を行い、同地域で必要とされる地震情報についての検討をおこなった。これに基づき、2022年度から防災研の地域防災実践型共同研究の枠組により、群発地震時の同地域の面的な震度情報を即時的に共有可能にするシステムの構築・運用のFSを進めている。

⑦ 地震・AEデータ処理における機械学習の利用

定常・臨時地震観測や室内実験で得られる大量の地震・AE波形データを高効率・高精度で処理するため、深層学習の手法を用いた地震カタログ作成の実装、および改善を実施した。本年度は、室内実験で誘発される大量のAEのモーメント・テンソル解析を深層学習を用いて実現し、それを利用した震源パラメータ推定結果をまとめた論文を出版した。また、計算コストが大きく、大規模データセットへの適用が困難であった類似波形探索を、深層学習Hashingと呼ばれる画像認識分野で用いられている近似近傍探索を応用、効率的に処理する手法を開発した。

II. 宇宙測地研究領域

① 地震活動と地殻活動に関する研究

南海トラフ巨大地震や内陸地震への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）、静岡・愛知県境付近、山陰地方、近畿北部などで計 60 点の GNSS 観測点を設置し、連続観測を行っている。これらのデータは、関係機関の GNSS データと合わせて、自動処理して Web で公開している。

スロー地震と通常地震の相互作用を理解するために、深層学習を InSAR データに適用し、自動的に地表変動を検出する手法の開発に取り組んだ。トルコの北アナトリア断層と米国カリフォルニア州のサンアンドレアス断層沿いの地殻変動について手法の改良と変動の検出を行った。

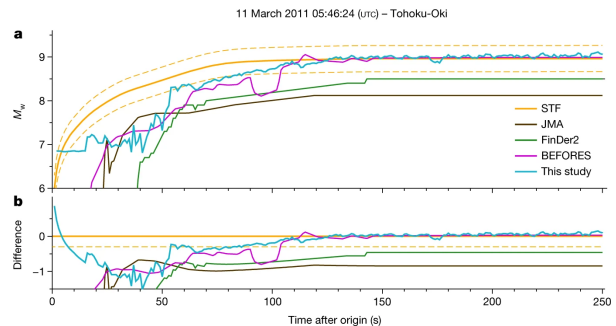
陸海域の地震・測地データを使用して、日本海溝沿いのスロー地震の検出を行うとともに、同海溝におけるスロー地震活動と通常地震活動の関係を調査した。その結果、スロー地震活動と群発的な地震活動の同時発生現象が、関東地方東方沖で繰り返し発生していることがわかった。この成果に加え、日本海溝沿いのスロー地震研究について広範なレビューを行った (Nishikawa et al., 2023)。全世界の地震統計データおよび南海トラフの巨大地震活動履歴に基づいて南海トラフ巨大地震が連続発生する確率を評価する共同研究に取り組んだ (Fukushima et al., 2023)。

2020 年から群発地震が発生している能登半島北東部において、臨時 GNSS 観測を継続・増強するとともに、民間 GNSS 観測点のデータ解析を行って、非正常地殻変動の詳細分布を明らかにした。これらのデータを用いた地殻変動源の推定結果を考察すると、能登半島では、深部からの流体の上昇により、非地震性断層すべりが促進され、それがさらに浅部の群発地震を誘発したと考えられる。

② 大地震の早期検知、長期予測と地震動観測の高度化に関する研究

即時弾性重力変動の検知に基づく緊急地震速報システムの高度化に取り組んだ。この手法は大地震の規模を、リアルタイムで正確に推定することが可能であり、津波早期警報としても用いることができる。2011 年東北地方太平洋沖

地震（以下、東北沖地震）に本手法を適用した結果、他の緊急地震速報システムと比べて、本手法がより早く正確にマグニチュードの推定が可能であることが明らかになった (Licciardi et al., 2022)。



2011 年東北沖地震のマグニチュード即時推定結果

GNSS によって観測される地震間地殻変動を用いて、内陸地殻内地震の長期予測手法を開発した (Nishimura, 2022)。開発した手法を西南日本と北海道に適用し、過去の大地震の分布と比較し、両者の相関を示すことによって、予測手法の有効性を検証することができた。

大地震における地震動を GNSS で観測するため、高サンプリング GNSS の理論を研究し、2013 年 Lushan 地震の強震動へ適用した。この研究の応用として、加速度センサーの技術革新を行い、特許を取得した（日本国特許第 7221562 号、発明者：徐培亮）。

③ その他の活動

地球物理学データにおける逆問題の数理理論と InSAR データを含む観測データの統計学理論の研究を行った。特に、ランク落ち変数誤差モデルに関する先行研究の成果に誤りがあることを証明した (Shu et al., 2022; Xu and Shi, 2022)。また、マルチスペクトルデータを用いて、温室効果ガスであるメタンガス放出を検知する深層学習モデルを開発した。

国際学術誌の編集委員会や政府の地震調査研究関連の委員会に参画して、研究コミュニティや行政の行う地震防災に対する貢献を行った。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、一部の研究成果では、プレスリリースを行うことによって、メディアを通じた普及啓発活動を行った。

Ⅲ. 内陸地震研究領域

① 下部地殻の不均質構造による内陸断層への応力集中過程の解明

近畿地方中北部における満点計画による地震観測データを用いた応力逆解析により、有馬高槻断層帯近傍において、最大主圧縮力の方向が東西から時計回りに回転していること、および断層の深部延長におけるゆっくりすべりによりその回転を説明可能なことを見出した。

② 内陸地震の 3 次元的な物理モデルの構築

2016 年鳥取県中部地震の京大・九大・東大地震研合同余震観測班によるデータを解析して、余震域周辺の応力場を高分解能で推定し、断層端、特に断層の下端付近において、地震前に地震を起こす力が小さかった可能性を見出した。

③ S 波の反射面の実体の推定

深層学習を活用して S 波の反射波の自動読み取りプログラムを開発し、満点計画で得られた大量のデータを解析することにより、有馬高槻断層帯の北側に存在する S 波の反射面の geometry を推定した。さらに、レシーバ関数解析と組み合わせることにより、反射面が地震波低速度の薄い層であることを明らかにした。

④ 地震の規模別頻度分布の深さ変化

満点計画による地震観測データを用いることにより、大阪府北部の地震前に、その震源域とその周辺の地震発生域深部において、地震の規模別頻度分布がグーテンベルグ・リヒター則では説明できない可能性を見出した。

⑤ フルベイズ推定における同時事後分布の適切な縮約法

フルベイズ推定において、モデルパラメータと超パラメータの同時事後分布から解を求める際に、これまで確率最大 (MAP) や平均値 (EAP) が採用されることが多かったが、モデルパラメータ数が多い場合には、MAP は不適切な解となること、EAP は組み合わせ爆発により計算困難となること、その一方、モデルパラメータについて周辺化 (積分) し、その周辺尤度最大から超パラメータの最適値を求めた後にモデルパラメータを推定する ABIC が、実は適切な解を与えることを解析解と数値計算を組み合わせ示した (Sato et al., 2022, GJI)。この成果は、インバー

ジョン解析全体に及ぶ大きな波及効果を持っている。

⑥ GNSS データの解析による日本列島の歪み速度場の推定

ABIC に基づく基底関数展開法を、新たに 1997 年 1 月からの 3 年間、2017 年 10 月からの 3 年間の GNSS データにも適用することで、時間変化も含めた日本列島の変形場を明らかにした (深畑ほか, 2022, 地学雑誌)。その結果、日本列島では強弱はあるものの遍く変形が生じており剛体近似に基づくプレートテクトニクスに立脚して地殻変動を解釈することは無理があることを主張した。代わりに、日本列島が千島弧や東北日本弧などの島弧の集合体から成ることに注目し、島弧間の変動と島弧内の変動とに整理・分類することで日本列島のテクトニクスがより簡明に理解できることを論じた。

⑦ 島弧の形成と沈み込み帯各種パラメータとの関係

プレート沈み込み帯で普遍的に観察される島弧の形成について、プレート収束速度や沈み込み角度など沈み込み帯の各種パラメータとの相関を調べることでその原因を探った。本研究を発表した学生は、測地学会および防災研発表講演会において優秀発表賞を受賞した。

⑧ スパースモデリングを用いた地殻の歪み速度場の推定

GNSS データから地殻の変動速度を推定する問題に新たにスパースモデリングを導入した。まず 1 次元について定式化を行い、さらに数値実験によって、観測誤差が小さいとき、観測点間隔が大きいために従来手法に比べ優位性が増すことが分かった。有馬高槻断層帯周辺の GNSS 観測データに適用したところ、従来手法と比べて 10%ほど大きな歪み速度が推定され、断層帯近傍における歪みの局在がより大きくなる結果が得られた。本研究成果を発表した学生は、防災研発表講演会の優秀発表賞を受賞した。

⑨ その他

阿武山観測所では見学会等を 67 回行い、2774 名の参加者を得た。加えて 10 件の一般向け講座などを通して、社会貢献に努めた。

IV. 海域地震研究領域

① 環太平洋地域の沈み込み帯のスロー地震研究

平成 27 年度に開始した「地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム；メキシコ沿岸部の巨大地震・津波災害の軽減に向けた総合的研究」について、地震災害研究センターをはじめとする防災研の多くの研究室と協働して進めた。当領域ではメキシコに設置された海底地震計記録を解析した。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。地震発生帯のファスト及びスロー地震活動の時空間的特徴の把握とその成因の理解は地震学における基本的な課題である。太平洋東岸のメキシコ合衆国の太平洋側のゲレロ州沖合では 1911 年以来、マグニチュード 7 以上の大地震が発生していない。我々は、2017 年 11 月から 2019 年 11 月までの二カ年でメキシコ沖のゲレロ地震空白域の西部に 10 台の OBS を設置し、この空白域内で微小地震とスロー地震の両方が発生していることを確認した。令和 4 年度 5 月にプログラムは終了し、プログラム終了後の評価として、SATREPS の防災プログラムとして初の S 評価を得た。海底圧力計は、大地震による地殻変動や津波観測の目的に加えて、沈み込み帯の海底下で発生するスロースリップ (SSE) や海嶺近傍における造構性の微小な地殻変動の観測を目的として広く利用されている。当領域では SSE 検出における非潮汐変動の除去方法をニュージーランドのヒ克蘭ギ沈み込み帯浅部で発生する SSE の検出を事例として開発した。

② 日向灘～南西諸島海溝における地震研究

「災害軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」および「防災対策に資する南海トラフ地震調査研究プロジェクト」において、日向灘～南西諸島海溝で継続的に海底地震観測を実施している。今年度は日向灘で取得された海底地震計データの方位推定を実施した。推定精度に水深依存があり、海底流が Rayleigh 波の水平動成分の SN 比を下げるとともに、コンプライアンスノイズが Rayleigh 波の上下動波形自体を歪めたことによるものであると結論づけ、国際学術誌に発表した。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として人材育成を行っている。今年度は 14 名の学生の指導を行った。科研費において日向灘で過去最大級とされている 1662 年日向灘地震に関する研究を産総研・道総研と共同で進めた。宮崎観測所を拠点に、津波堆積物調査を宮崎県沿岸において 2017 年度より実施しており、今年度は新たに宮崎県都農町や新富町で調査を実施しサンプルを取得した。既存の地球物理観測の結果を考慮しつつ断層モデルの構築を行い、津波の浸水シミュレーションを行って、発見された津波堆積物が説明できるか検証し、M7.9 の巨大地震であったことを確かめ国際学術誌に発表した。本研究内容は宮崎観測所および宮崎県庁で記者レクを実施し、大きく報道された。

③ 防災教育・地域防災への取り組み

地震津波連携ユニットにおける活動の一環として、巨大災害研究センターと連携し、宮崎市における学校防災教育に今年度より参画している。今年度は宮崎大学工学部とも連携し、宮崎市立内海小学校で防災授業を実施し、避難訓練・地域安全マップ作成に際し視察と助言を行った。また、宮崎市防災教育リソースブックを作成し、宮崎市内の小中学校に配布された。宮崎観測所ではコロナ禍ではあったが、4 件の視察・見学訪問を受け入れ、自治体・各種団体から 14 件の講演・講師依頼を受けた。

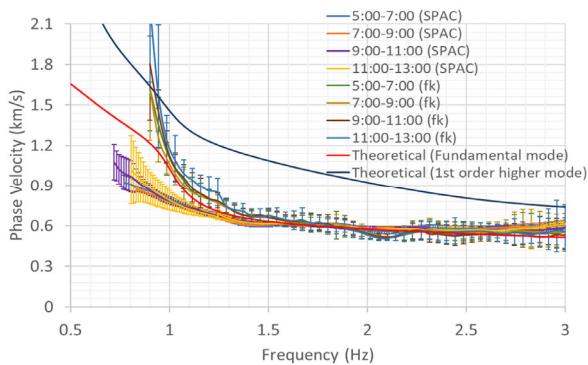
④ 四国下のフィリピン海スラブの形状の推定

四国下に沈み込むフィリピン海スラブの形状をレスナー関数解析により推定した。西部の高知県土佐清水市から愛媛県八幡浜市に至る測線では、フィリピン海スラブは、土佐清水市の下ですラブ上面が深さ 17 km にあり、深部低周波地震発生域までは 10° で、それより深い側では 20° の角度で沈み込んでいることがわかった。四国東部の徳島県海陽町から香川県綾川町に至る測線より少しだけ大きい角度で沈み込んでいることになる。このようなレスナー関数解析のためにリニアアレイ観測を行ってきた。令和 4 年度には高知県須崎市から愛媛県今治市に至る測線上に 7 か所の地震観測点を設け、臨時観測を行った。

V. 地盤震動研究領域

① 微動観測に基づく地盤構造推定に関する研究

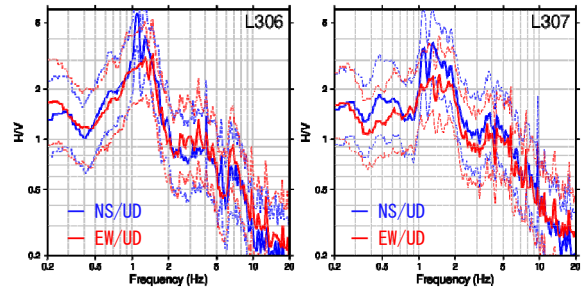
地震動や微動の回転成分から地盤構造を推定する方法について検討するため、大阪府堺市、京都府宮津市、京都府宇治市などで回転地震計による微動観測を実施した。一方、京都大学宇治キャンパスは盆地端部に位置するため、基盤構造が二次元的に変化している。このような環境下における基盤構造を推定することを念頭に、微動アレイ観測を実施し、空間自己相関 (SPAC) 法と周波数一波数解析 (FK) 法の 2 種類の解析手法により位相速度を推定した。その結果、時間帯により微動の到来方向が異なることがわかった。また、図に示すように、FK 法と SPAC 法で推定される位相速度は 1.6Hz よりも高周波数域ではキャンパス内で調査された地盤速度構造から求められる理論位相速度と整合する一方で、1.6Hz 以下では理論位相速度に比べ FK 法ではやや速く、SPAC 法では遅く推定されることが分かった。



宇治キャンパスにおける微動から FK 法と SPAC 法で推定された観測位相速度と理論位相速度

② 台南市における微動水平上下スペクトル比の方依存性に関する研究

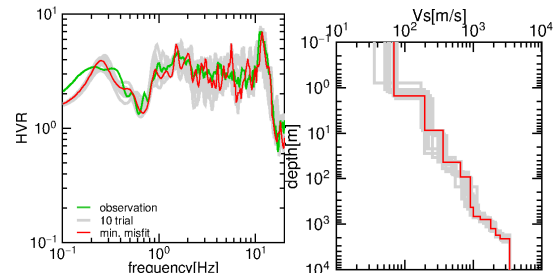
既往の研究により微動水平上下スペクトル比 (MHVR) は二次元的に基盤構造が変化している場合、MHVR に方位依存性が見られることが分かっている。中華民国 (台湾) 国立成功大学との共同研究により、台南市域における 4 測線 (東西方向 3 測線、南北方向 1 測線) で数百 m 間隔に観測点を配置して微動観測を実施した。その結果、山間部での測線 1 では MHVR に方位依存性が見られる地点が何点かあった。一方、盆地内では隣り合う複数の観測点で MHVR に方位依存性が見られた。これらの情報と台南市内の地盤構造との関係について調査する。



台南市内で観測された微動水平上下スペクトル比

③ 海底地震観測記録を用いた地盤構造推定

近年整備された海底地震津波観測網 S-net での観測記録を用いて、まだ詳細な調査が行われていない海域の地盤構造を地震動の拡散波動場理論に基づき推定した。まず試解析として最も水深の浅い S2N01 観測点を対象とし、海面からの反射波の影響が地震動水平上下スペクトル比 (EHVR) に見られないことを確認した。その後地盤構造の同定を行い、幅広い周波数帯で EHVR を再現する構造を推定できた。今後は解析観測点を増やし、S-net がカバーする関東から北海道にかけての太平洋沖の地下構造を推定する。



S2N01 観測点での同定結果

④ その他

文部科学省 科学技術・学術審議会 測地学分科会 地震火山観測研究計画部会 専門委員、京都府戦略的地震防災対策推進部会 委員や日本建築学会、日本地震工学会、日本地震学会、日本自然災害学会等の委員を務め、地震工学に関わる学術的・実務的な指導を精力的に行っている。

VI. 地球計測研究領域

① 分布型音響センシング技術による観測

近畿地方整備局京都国道事務所と防災研究所との間で締結した「光ケーブルをセンサーとした観測の共同研究に関する覚書」に基づき、光ファイバセンシング技術の一つである分布型音響センシング(Distributed Acoustic Sensing; DAS)を用いて、京都駅前の京都国道事務所建物から京丹波町までの主として一般国道9号線沿いの光ファイバケーブル約50kmの振動を、約5m間隔という超高密度で測定した。DAS計測には異なる機材を使いながら3度の連続測定を実施し、計測日数は合計156日間に及んだ。この間、京都府南部で発生したM3を超える有感地震や微小地震、遠地地震などを多数捉えることに成功し、DAS技術の地震計としての有用性が確認された。2022年3月末から5月初めにかけて京都府南部で発生した群発地震に鑑み、DAS測定から得られた地盤の揺れやすさに関する詳細な情報を、地震調査研究推進本部地震調査委員会の定例会に報告した。光ケーブル沿いの地盤増幅率に関する研究を東北大学と共にを行った。この地域で観測される下部地殻からの特徴的な反射波についての解析を、DASによる地震観測記録を用いて進めた。

これらの研究は、科研費挑戦的研究(萌芽)「光ファイバ通信ケーブルが拓く新しい活断層調査と構造のリアルタイムモニタリング」及び、科研費学術変革領域研究(A)「内陸スロー地震の光ケーブルによる測定と動的誘発過程を利用した発生過程の解明」の助成に基づき行った。またDASを利用した関連する共同研究として、「高密度地震・振動モニタリングおよび地震早期検知に関する研究」を東海旅客鉄道株式会社・産業技術総合研究所・東京大学と共に実施した。

② 能登半島群発地震域における調査研究

能登半島北東部では、2020年末から地震活動が増え、2021年半ば頃から急激にその活動が活発化しているが、この群発地震に関する地殻活動調査を、東京大学及び海洋研究開発機構と協力して行った。地震計やGNSS観測では観

測されていない可能性のある極微小な地殻活動を高精度に捉える目的で、光ファイバセンシングによる観測を開始した。廃線となった春日トンネル(石川県珠洲市)を、のと鉄道から借用し、短周期地震計を設置した地震観測のほか、トンネル壁面にドロップケーブルを敷設した光ひずみ測定を、2022年11月から開始した。データはモバイルWi-Fiを通じて、準リアルタイムに宇治の防災研究所に送られている。またNTT西日本の提供する、石川県能登町から珠洲市までの約28kmの光ファイバケーブルを利用し、DAS観測を2か月間実施した。これらの観測により、群発地震活動に伴う地殻活動が、高い精度で観測された。なお本研究は、科研費特別研究促進費「能登半島北東部において継続する地震活動に関する総合調査」の助成を受けて実施した。



春日トンネル内での観測

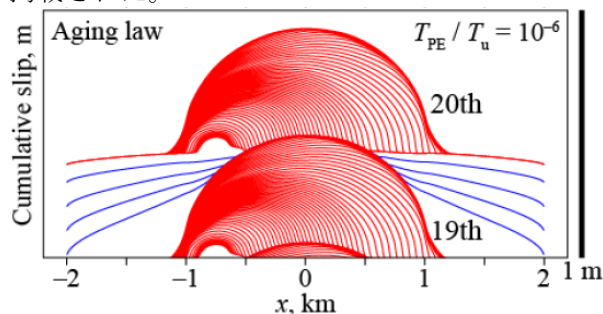
③ 巨大地震による強震動予測に関する研究

プレート間巨大地震の発生に伴う強震動の距離減衰式について、個別の強震動生成域に着目したモデルを提案し、論文発表した。2003年十勝沖地震、2011年東北地震のデータを用いて検証し、線形混合効果モデルにより評価を行い、これまでのモデルに比べて誤差が小さく、距離に対する分布に偏りも見られないことを報告した。

VII. 断層物理研究領域

① 多孔質弾性反発 (PER) の地震サイクルへの影響

多孔質体である岩石中の水の移動は、地震発生過程を理解するうえで重要である。動的地震サイクル計算はこれまで、線形弾性体や線形粘弾性体について実施されていた。本研究ではこれを多孔質弾性体へ拡張、多孔質弾性反発 (PER) の地震サイクルへの影響を調べた。弾性体を扱うスペクトル境界積分法のプログラムに、少数の内部変数の微分方程式を逐次積分する形で PER の影響を導入し、計算速度を犠牲にすることなく拡張することに成功した。地震時の急激な応力低下は PER により 10%程度時間と共に回復するが、断層強度の回復 (healing) が遅いと本震滑り域で余効滑りを生じる可能性がある。室内実験から提案された速度・状態依存摩擦則を仮定した断層の挙動をシミュレーションしたところ、healing が支配的であり PER の影響は非常に限定的である事がわかった。本成果は今年度国際誌 (Earth, Planets and Space) に掲載された。



地震サイクル計算例、赤:高速滑り、青:地震間滑り

② 沈み込みの物理化学過程を考慮した流体圧分布

スロー地震は高压流体の存在に関連して議論される事が多いが、沈み込む堆積物の脱水や圧密との関係に関する議論はしばしば定性的の域を出ない。海洋掘削により得られた堆積物の圧密実験結果、及びスメクタイトの脱水の反応速度論を考慮した水理学的モデルを作成し、定常状態の沈み込みにおける流体圧分布を計算した。その結果、脱水反応による水の放出の影響は無視できる程度であり、水のソースとしては圧密による間隙の現象が支配的である事、水のソースの分布よりも透水係数の分布の方が遙かに流

体圧分布に影響を与える事、が明らかとなった。本研究はスロー地震の観測結果の解釈に貢献するとともに、沈み込み帯を対象とした地震サイクル計算等に有用な流体圧分布の初期値・境界値を与える事ができる。本成果は今年度国際誌 (Journal of Geophysical Research) に掲載された。

③ 地震発生と電磁場変動の関連の統計解析

地震の発生に前後して特徴的な電磁場信号が観測された例がこれまでに多く報告されている。そのうち、特に地震発生に先行するものは存否自体が明らかではない。しかし、もしもそれらが実在し、かつ震源から生じているのならば、それらは高速滑りや破壊に至る直前の断層の物理状態を反映していることになり、地震の発生予測あるいはメカニズムの理解に大きな役割を果たすと期待できる。そこで地震発生に先行する電磁場変動の存否を明らかにすることが重要となる。この問題への取り組みとして、2016年鳥取県中部の地震の直後から実施された電磁気観測データの再解析を行った。もともとこの観測は地下構造探査を目的としたものであったが、電磁場時系列を改めて精査したところ、特徴的な波形が多数含まれていることが確認された。目視の結果から抽出された特徴的な波形をスタッキングすることでテンプレート波形を定義し、このテンプレートとのパターンマッチングによって電磁気信号発生時刻を自動検出した。そして電磁場信号発生時刻と余震発生時刻との関連が見かけに過ぎないのか統計的に有意なのかを調べた。その結果、余震発生時刻の前後のある時間場において、電磁場信号の発生頻度が有意に増加あるいは減少することを確認した。

④ 横穴式地殻変動観測記録による震源推定

宮崎観測所の地殻変動観測坑内では、観測所設置以来、伸縮計および水管傾斜計を用いたひずみ観測を継続している。2019年5月10日に日向灘のプレート境界で発生したふたつの地震の際のひずみ記録を精査した結果、先に起こった地震が後で起こった地震よりも浅いところで起こったことがひずみ記録だけから推定された。海域のプレート境界の滑り、特に地震波を発生しないスロー地震は、海底地殻変動観測を行っていない限り震源の推定が難しいが、今回の結果から、高精度のひずみ観測記録が震源の相対的な位置推定に用いることが示唆される。

VIII. 地球物性研究領域（客員）

2000 年以降，世界の地震研究者が注目するスロー地震は，平成 28-32 年度の新学術領域研究「スロー地震学」で新たな学術領域として創成し，現在は令和 3-7 年度学術変革領域研究「Slow-to-Fast 地震学」へと展開している．これらのプログラムは，防災研の多くの研究室と協働して進めている．当領域では，2 つのプロジェクトにおいて中心的役割を果たした小原一成教授（東京大学地震研究所）を客員教授とし，国内外におけるスロー地震の先端研究及び研究の今後の方向性について集中講義やその後の議論を通じて，所内の研究者らと検討した．

8.5 火山活動研究センター

【センターの活動概要】

(1) 研究対象と活動方針

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

(2) 研究分野と役割

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

火山噴火予知計画は、平成 21 年度から「地震及び火山噴火予知観測研究計画」（平成 21～25 年度）に統合され、その後、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」（平成 26～30 年度）、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第 2 次）」（令和元～5 年度）に引き継がれた。火山噴火予知研究領域では、桜島を対象とする「桜島火山における多

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

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

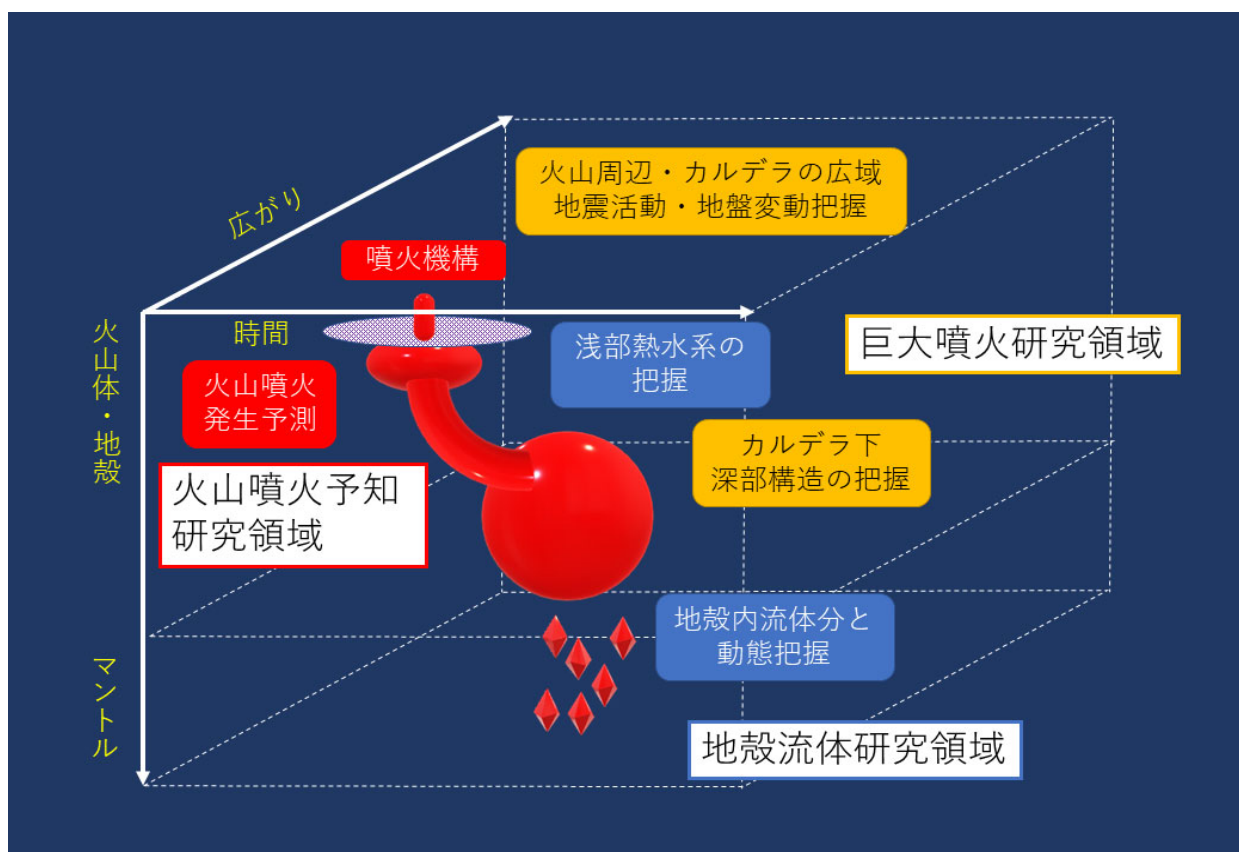
巨大噴火研究領域ではカルデラ火山の直下および周辺の地殻およびマントル内の地震等の活動や構造を研究することにより深部流体（マグマ）の動態を把握し、テクトニクスを背景とした火山活動を理解することを目指している。現在重点的に研究対象としている始良カルデラは、2.9 万年前に発生した始良火砕噴火で現在の姿が形成されたとされている。カルデラを形成する始良火砕噴火級の火山活動は近代的な観測研究にとって未経験な自然現象であり、始良火砕噴火級の噴火活動がふたたび現代に発生すれば日本の社会に深刻な影響を与えることであろう。これまでの観測研究では始良カルデラ中央部にはその南縁の桜島の活動に伴う地盤変動力源が推定さ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

(3) その他（横断的な活動等）

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

に設置された火山防災連携研究ユニットにおいて中心的な役割を果たす。同ユニットは火山観測データに基づく噴火発生予測をもとに、ハザード予測、リスク評価、対策研究までを一気通貫で進める。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、所内においては気象・水象災害研究部門と、所外では、東北大学理学研究科、東京大学地震研究所、筑波大学生命環境科学研究科、鹿児島大学、国立環境研究所、日本気象協会等の研究者らと連携して研究を進めている。



センターにおける研究の全体像

【研究領域の研究内容】

I. 火山噴火予知研究領域

① 火山活動推移に関する研究

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

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

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

② 火山噴火の確率的発生予測に関する研究

桜島においては、爆発に前駆して火山体の隆起・膨張が傾斜計や伸縮計により検出できる。昭和火口活動期と最近の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。噴火現象は発生事例が少ないため、従来、火山噴火の発生予測において確率的予測は行われていないが、桜島の様に頻繁に噴火が発生する火山では確率予測が可能となる。また、Log-logistic分布の規則性を表現するパラメータは、揮発性成分の卓越する噴火活動では大きくなり、先に述べた揮発性成分の寄与も関連していることが分かった。

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ノ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 空気振動観測の噴出物量評価への適用

地震動と地盤変動は噴出物量評価に適用されているが、より直接的に噴煙量の増大を反映する空気振動観測も噴出物量評価への適用が可能であることが桜島や口永良部島噴火で示された。

⑥ ロバストな火山観測機器開発に関する研究

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

II. 地殻流体研究領域

① 焼岳の浅部熱活動モニタリングのための全磁力連続観測

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

② 阿蘇カルデラ地下の流体分布の解明

カルデラ形成噴火に多大な影響を及ぼす地殻深部のマグマ供給系の存在有無・規模を評価することを目的に、阿蘇カルデラの下部地殻（～15km 以深）の構造を詳細にイメージングすることを目指したネットワーク MT 法観測網を完全にカルデラを覆う 40km 四方にわたって 2019-2021 年度の 3 カ年で構築した。取得したデータを用いて導出した 3 次元比抵抗モデルは、阿蘇カルデラの下部地殻に、顕著かつ巨大なマグマ供給系が存在しないことを示した。

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（富山大学・Addis Ababa 大学・山形大学・熊本大学・九州大学・JAMSTEC との共同研究）の一部である地下比抵抗構造調査、および陸上・空中磁気探査データの解析を進め、直近のダイク貫入の延長部に下部から浅部に連続する熱活動を示唆する構造が得られた。

④ 島弧火山分布と地下流体分布に関する研究

沈み込むプレートが同一であっても、火山フロントに非火山地域が形成されることがあるが、その要因は解明されていない。沈み込み帯での火山形成メカニズムの解明には、火山地域のみならず非火山地域をも含めた大局的な地下構造の理解は不可欠である。そこで、本研究では、異なる島弧（九州とニュージーランド北島）の

地下構造を対比し、火山地域と非火山地域の地下の流体分布の特徴の抽出を目指す。令和 4 年度は、ニュージーランド北島（ヒ克蘭ギ沈み込み帯）における長周期 MT 法観測の実施に向け、ニュージーランドの国立研究所 GNS Science との協議や長期観測のための機器の動作試験など、令和 5 年度の観測実施に向けた準備を行った。

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モニタリングの可能性の検証

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。令和 3 年度に金沢大・兵庫県立大と共同して実施した 32 か所における広帯域 MT 観測により、群発地震域下部に顕著な低比抵抗領域を検出し、この活動に流体が関与している可能性を指摘した。より高分解能の構造情報を得るために、令和 4 年度は、金沢大・兵庫県立大・JAMSTEC と共同して、海域 3 か所、陸域 25 か所で補充観測を実施した。また、群発地震活動の消長に伴う地下構造変化のモニタリングの可能性を検証する目的で、陸上 6 か所で長期連続観測を継続している。

⑥ 地震すべりの多様性と不均質構造の関連性に関する研究

地下構造の不均質性、特に流体の存在に敏感である電気物性の不均質性が、地震滑りの様態を規定しているのか否かを追究することを目的に、クリープ運動の存在が指摘されている国内の跡津川断層系とトルコ共和国・北アナトリア断層帯・Bolu-Gerede セグメントでの比較研究を実施した。令和 4 年度は、Bolu-Gerede セグメント周辺において、Kocaeli 大・Istanbul 大・Bogazici 大・東京工業大と共同して、合計 36 か所で広帯域 MT 観測を実施した。

Ⅲ. 巨大噴火研究領域

① カルデラ火山の地殻構造の解明

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

2022 年度は自然地震観測によって得られた走時データを用いた地震波速度トモグラフィーを前年度よりも深い領域に拡張し、カルデラ西部の深さ 15km 付近の顕著な S 波低速度領域の下方延長について検討するとともに、カルデラ南部の深さ 35 km 付近に別の S 波低速度異常が存在することを明らかにした。また S 波低速度領域の下方延長部を追加した場合その中に含まれるであろうメルト量はさらに多く見積もられることになった。

② カルデラ火山の活動に関する研究

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

2022 年度は前年度までの研究成果をもとに、地震学的構造として明らかになった地震波低速度領域全体を地盤変動力源としたモデル（有限体積力源モデル）でも観測で得られた地盤変動を説明できることを示した。有限体積力源モデルでは同じ地盤変動量を示す点力源モデルよりおよそ 2 割大きな体積変化が要請されることと、力源直上付近では点力源モデルと異なる変動パターンを示すことが明らかにされた。また後述の海底地盤変動観測装置による観測も始まり、今後は始良カルデラ中央部におけるより詳細な地盤変動の解明が期待される。

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。

2022 年度にはこれまでの検討の成果をもとに設計された海底地盤変動観測装置の建造と設置に取り組んだ。海底地盤変動観測装置は水深 30 m の海底に定置されたアンカーと、それにユニバーサルジョイントで結合されたピラーで構成され、ピラー頂部に設置された GNSS 観測装置で測位を行う構成である。海底地盤変動観測装置は 2023 年 3 月中旬に設置され観測を開始した。今後の観測運用の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手法の開発研究にも取り組んでいる。

この取り組みでは検出精度を左右する振源波形の再現性の検証を行う段階に達している。2022 年度にはふたたびエアガンを用いて 2020 年度と同じ発振条件のもとで基礎実験を実施し、人工地震波形の再現性について検討を加えた。

④ その他

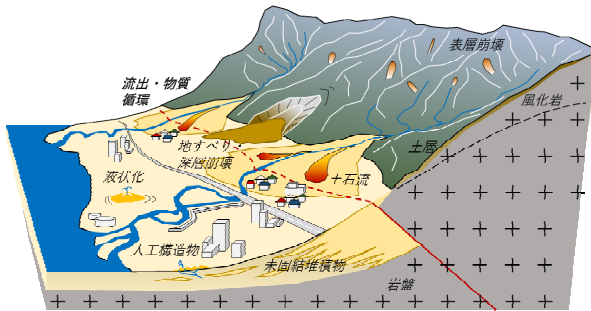
本領域の研究成果は 3 編の研究報告を年報 65 号に掲載した。

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、水文学等の考え方や手法を用いて研究する。水際低平地に広がる都市域の災害脆弱性診断、地盤・土構造物の性能向上技術に関する研究、平野から丘陵地にかけての開発に伴う人—地盤環境—物質循環の相互作用を対象として、いわゆる「人新世」における傾斜地の地盤災害の研究、さらに山地での風化や崩壊等に起因する災害の研究を行う。それぞれについて、多様な地盤災害現象の発生と挙動の研究、地盤災害ハザードマップの作成手法と災害軽減手法の開発を主要課題として掲げ、さらに、先進的な理工融合型横断基礎課題研究と防災研究所内で連携した学際領域研究を進める。特に、「地すべり」に特化した研究を推進する斜面災害研究センターと連携した研究を進める。



対象とする地盤災害

(2) 研究分野と役割

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

市が集中する水際線低平地における地盤災害を低減することを目指している。

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

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

(3) その他（横断的な活動等）

上記の個別的要素研究を進めるとともに、2020年7月熊本県を中心とした集中豪雨、2021年8月の集中豪雨などによって生じた土砂災害および2021年7月に発生した伊豆山土砂災害など、地震や豪雨などで発生する地盤災害の調査を関連学協会と連携をとって行い、災害発生の原因を追究するとともに、今後の災害低減への提言を行ってきた。これらの成果は、学術論文、学術研究発表会、ホームページ、著作などを通じて情報発信している。

EG セミナーと称した大学院生らの研究発表

を通じて、斜面災害研究センターとともに地盤研究グループ内で地盤災害に関する最新の研究成果を議論している。

研究者相互の情報共有を進め、地盤災害への多面的取り組みを発展させるべく、斜面災害研究センターとともに地盤研究グループの会議を

月 1 回行い、適宜グループ内で情報を交換し共有してきた。また、国、自治体、学会、その他協議会などと連携し、研究成果を現実に直面している諸問題の解決策に盛り込むことで、国土の社会基盤整備や防災対策に貢献している。

【研究分野の研究内容】

I. 地盤防災解析研究分野

① 地震時の多様な地盤軟化機構の解明とその対策（上田，渦岡）

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

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

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

③ 液状化の国際研究プロジェクト（上田，渦岡）

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

④ 液状化地盤における地盤-杭-構造物系の地震時相互作用の解明（上田）

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

による数値シミュレーションを実施した。

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

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

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

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

極端外力を再現できる遠心模型実験を用いて極端外力下での統計情報を適切に設定することで、豪雨時の地盤災害に対するデータ駆動型のリアルタイム予測の実現を目指す。現場で日常的に得られる観測データと遠心模型実験から得られる極端外力下での実験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、新しい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。

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。非定常降雨を再現できる装置を搭載した遠心力载荷試験装置内にシルト質砂から作成した不飽和斜面モデルを作成し、その変形過程を土-水-空気連成有限要素解析結果と比較した。

II. 山地災害環境研究分野

① 宇宙線生成核種を用いた地形発達論 (松四)

地表近傍の造岩鉱物中に蓄積する宇宙線生成核種を用いて、流域の削剥速度を推定したり、岩盤崩壊の発生年代を決定したりすることで、大起伏山地における地形形成過程を検討した。日本をはじめ、チベット高原東縁部、ネパールヒマラヤ、スイスアルプスなどを対象とし、地形地質踏査やデジタル地形モデルの定量的解析を行った。また、侵食基準面の低下に対する流域地形の応答をモデル化し、山塊の隆起と削剥をシミュレートしたうえ、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、地形発達史の妥当性を検証するという新しい試みを実施した。

② 斜面における風化帯形成モデリング (松四)

付加体や花崗岩類からなる岩盤対象として、風化の進行と風化帯構造の発達、および物性の変化を、露頭あるいはボーリングコアの観察や、試料の化学・鉱物分析および水理・力学的試験によって探求した。また、降下火砕物の風化と粘土鉱物の生成について、主として胆振東部地震の発災地を対象に、斜面災害の原因物質となるハロイサイトの蓄積に関する研究を行った。

③ 表層崩壊の動的ハザードマッピング (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、カップリングさせることで、場所・時刻・規模の三要素が予測可能なハザード評価システムを樹立した。斜面における風化帯の発達と長期的な土層の生成・集積を計算し、それらの空間分布と水文地形学的な機能をモデル化した。土層内での樹木根系の伸展を考慮したせん断強度の評価を行い、それらの素因条件と、降雨浸透に対する間隙水圧の応答(すなわち誘因作用)をカップリングさせたモデルを構築した。これにより、地理情報システム上で斜面ハザードを可視化し、複数の発災事例に対する再現解析を実施した。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生産量の定量的評価が可能となった。

④ 断層活動度の新しい評価法の開拓 (松四)

宇宙線生成核種による露出年代測定や削剥速度決定などを援用することで、たとえ断層によって切られる上載層や地形面が見い出せない場合であっても、断層の上下変位量を定量的に評価できる手法を考案し、いくつかのサイトにおいて検証した。その結果、従来の方法では断層活動の有無や履歴を復元することが困難な条件

においても、宇宙線生成核種を用いたアプローチにより、数千年から万年スケールでの断層活動度が議論できることが示された。

⑤ 土砂災害予測基本図を用いた土砂災害発生箇所予測の研究 (齊藤)

京都大学から出願した特許申請が認められ(特許番号 7153330 号)、この手法で、外力が豪雨・地震動のいずれにも適用できる土砂災害発生位置予測の方法開発を継続した。1m-LiDAR DEM を用い、地形を視覚的に理解しやすく表示し、危険度に優先順位を付して狭い範囲を示すことができる。手法開発には、2011 年台風 12 号による大規模な崩壊災害、2014 年広島市安佐南区の土石流災害、2017 年九州北部の豪雨による斜面災害、2016 年熊本地震による地すべりや斜面崩壊、2018 年北海道東胆振地震による斜面災害の前後の地形変化比較を用いた。さらに、iRIC の手法で、崩壊した土砂が流動・到達する被害範囲を示し、ハザードマップ作成の高度化を実施している。

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

2016 年熊本地震で出現した地表変位検出を、土砂災害基本図と PIV 手法により実施した。地震前後の地表変位を 3 次元のベクトルで図示することが可能で、InSAR 解析よりも詳細な結果を得た。国土地理院から 1m-LiDAR DEM の提供を受け、カルデラ内に加え白川下流域での解析を実施している。

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

土砂災害の発生時刻予測は、現状では難しいと判断し、崩壊発生の可能性の高い箇所で崩壊を引き起こす諸量のリアルタイムモニタリングを実施するためのセンサ開発と避難情報発信のためのシステム構築の開発と検証をおこなった。

III. 傾斜地保全研究分野

① リアルタイム斜面モニタリング技術の開発と表層崩壊発生時刻の予測（寺嶋）

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

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

② 融雪期に発生した地すべりの発生機構（寺嶋、松浦）

融雪期に発生し移動体が著しく流動化した地すべりについて、素因と誘因の両面から発生機

構を検討した。素因としては、キャップロック状の地質構造や接続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載荷として力学的な安定性を低下させた可能性についても言及した。

③ 大変位した地すべりの変位特性（寺嶋、松浦）

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

8.7 斜面災害研究センター

【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山間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) に発足した。設立の目的は、「地すべりによる斜面災害から人命、財産や文化・自然遺産を守るために、地震・豪雨時の地すべり発生運動機構の解明、地球規模での斜面災害の監視システムの開発、地すべりのフィールドにおける現地調査・計測技術の開発及び斜面災害軽減のための教育・能力開発を実施する」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、2 研究領域（地すべりダイナミクス研究領域、地すべり計測研

究領域）と主に地すべり計測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) 斜面災害軽減のための教育・能力開発の実施、(10) 気候変動に合わせた斜面災害の分析である。

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目ようになってきた。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。斜面災害研究センターでは

斜面地域に迫る災害に対して、「未災」の時点で調査や対策、社会体制や教育のあり方を議論する学問「斜面未災学」を提唱している。

センターが持つ徳島地すべり観測所は四国地域に防災研究所が持つ唯一の有人拠点である。観測所のある徳島県三好市は歴史的にも大比高山地内に位置する地すべり地の上に居住してきたユニークな文化があり、さらに地すべり災害にも悩まされてきた。山間地にある地すべりと共存してきた文化も人類史的に重要であり、地域で推進されているジオパーク活動も地すべりを含む防災教育として重要である。さらにこのような地すべり集落はヒマラヤや台湾などの温暖多湿の大比高地域に共通するものであり、何も日本、四国のみ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）

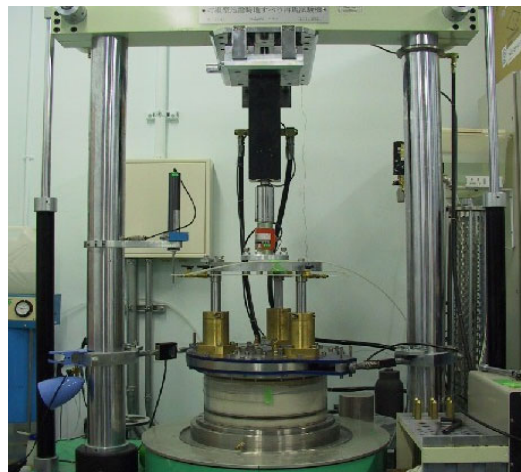
センターは、地すべり研究に特化した地すべり再現試験機を保有している。そのため、世界各地の大学や研究機関および民間団体による実験施設の見学やセンターへの訪問が多く、国内外の地すべり研究や災害軽減に貢献している。

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。特に、ICL の機関紙で学術雑誌でもある「Landslides」は平成 16 年より独・Springer Verlag 社で印刷、配本されているが、センター職員は雑誌立ち上げ期の編集、事務局作業を担っていた。

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

【研究領域の研究内容】

I. 地すべりダイナミクス研究領域

① 地すべりの発生・運動機構の解明

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

② 斜面地震学の研究

斜面現象と地震学を融合する学問「斜面地震学」の構築を進めている。各地の地すべりにおいて、地震計や傾斜計による多項目連続観測を継続し、地震時地すべり発生メカニズムの解明を目指している。さらに、斜面の地震時安定計算の新しい枠組みの確率を目的として、地すべり内の地震波伝播の多様性を稠密地震観測や地形・地質調査、内部構造の探査から調べている。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いる。斜面現象が励起した地震波動を用いた斜面災害減災の手法開発においては、中規模（1万立米程度）の斜面崩壊であっても定常地震観測網によって過去に検知されていた事例が複数明らかとなった。

これらの成果は、地震学の専門性と斜面現象の理解が融合して初めて得られるものであり、さらなる学問としての成熟が期待される。

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

谷埋め盛土型地すべりの予測手法の高度化を図るため、谷埋め盛土における地震動、地表傾斜、地中

傾斜、間隙水圧の高時間分解能連続観測を実施している。これらはわが国では初めての事例である。その過程で、盛土によって過剰間隙水圧の地震動に対する応答の特徴が大きく異なることを明らかにした。

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

④ 広域の斜面災害危険度評価手法の研究

2018年9月6日の北海道胆振東部地震では、厚真町や安平町を中心に、多数の地すべり（広義の意味）がこれまで経験したことがない密度で発生し、甚大な人的・物的災害を与えた。当研究領域では、こうした斜面災害の発生メカニズムを、地形・地質学、地盤工学、土質力学、地震学という多角的観点から明らかにし、国内の地震活動の活発化を受け喫緊の課題である内陸直下型地震による斜面災害の予測・減災の高度化に資することを目的とする研究を実施した。具体的に、2016年熊本地震および2018年北海道胆振東部地震時に火山砕屑物堆積斜面において発生した数多くの地すべりの斜面土層構造特性およびすべり面を形成する土層の土質力学特性を明らかにし、地すべりの発生・運動機構の解明を進めた。また、2018年北海道胆振東部地震において、大規模岩盤地すべり地における稠密連続地震動観測を行い、すべり面土層に対する土質せん断実験を実施し、地すべりの発生・運動機構の解明を進めた。

⑤ 大規模天然ダム の 安定性評価に関する研究

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

II. 地すべり計測研究領域

① 大比高山地の降雨・地震斜面研究と防災活動

地すべり計測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に集中観測モデル斜面を設定して地震波が斜面にどのように作用するかを荒井が中心になって観測している。

さらに、山崎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。また、防災面で重視している関連の内容に三好ジオパーク構想の支援がある。同構想は国内ジオパークの候補であり、徳島地すべり観測所がある三好市が専門員を配置して地域住民と進めている。前述した地すべり地にある集落「傾斜地集落」は人類と地形・地質、そして災害が絡み合った伝統的で美観に優れる景観であり、観光面のみならず



四国内大学の斜面災害関係研究室および地すべり学会有志による現地学習会
(R4/10/28, 29 開催)

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。

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・巨大地震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。

8.8 気象・水象災害研究部門

【部門の活動概要】

(1) 研究対象と活動方針

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

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



部門の全体像

(2) 研究分野と役割

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

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

暴風雨・気象環境研究分野では、台風・豪雨・暴風など異常気象の構造や発生・発達物理機構を解明し気象災害の軽減に資することを目的とし、気象データ解析・数値モデリングなどの手法を用いた研究、それらの災害外力の将来変化に関する研究、大気境界層や乱流、放射性物質や火山灰など大気汚染質の環境中移行と影響に関する研究等を進めている。

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

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

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

気象水文リスク情報（日本気象協会）研究分野は、平成25年10月1日に一般財団法人日

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

(3) その他（横断的な活動等）

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

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

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

【研究分野の研究内容】

I. 災害気候研究分野

① 船舶・航空機・陸上観測

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

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



新青丸に設置したマイクロ波放射計と雲カメラ

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

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

ドローンを用いた地表付近の二酸化炭素の鉛直分布の観測を実施し解析を行った。

② 顕著現象の予測可能性研究

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

③ モデル・データ同化手法開発

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

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

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

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

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

II. 暴風雨・気象環境研究分野

台風・豪雨・暴風などメソ異常気象の構造や発生・発達物理機構を解明し気象災害の軽減に資するため、気象観測・気象データ解析・数値モデリングなどの手法を用いた研究を進めた。メソ異常気象の災害外力の将来変化に関する研究も合わせて進めた。また、大気境界層や乱流、放射性物質や火山灰など大気汚染物質の環境中移行に関する研究も進めた。令和 4 年度に実施した研究は以下の通りである。

① 熱帯気象・台風に関する研究

数値気象モデルを用いた数値実験・数値シミュレーションにより、積雲対流の組織化過程とそのメカニズムの解明、熱帯低気圧の発生や発達の物理機構の解明といった基礎研究から、台風による風水害ハザードの評価といった応用研究を進めた。特に、放射対流平衡の場における積雲集団の形成過程、熱帯低気圧の強度や構造に及ぼす対流圏の安定度や圏界面高度また大気放射の影響について数値実験により研究を進めた。さらに、モンスーン期における中国大陸での降水の日変化過程とそのメカニズム、降水発生と環境条件に関する研究を進めた。

② 集中豪雨・暴風などメソ異常気象研究

梅雨期の集中豪雨や台風による局地的な豪雨・強風・暴風の発生機構を解明する研究をデータ解析や数値モデルにより進めた。特に、都市域での強風・突風を定量的に評価することを可能とするため、都市域や複雑地形での乱流・拡散予測に関する数値モデル研究を進めた。同時に、雷雨の予測可能性に及ぼす地形効果や環境条件に関する基礎研究を進めた。局地豪雨や集中豪雨に関しては、平成 29 年 7 月九州北部豪雨、平成 30 年 7 月豪雨、平成 30 年台風 21 号による暴風、令和元年 7 月九州南部豪雨、令和元年東日本台風（台風 19 号）、令和 2 年 7 月豪雨、令和 3 年 8 月の豪雨など近年の災害事例について実態と発生機構の研究を進めた。また、高分解能気象モデルによる複雑地形での気流の局所性の数値解析、複雑地形での強雨・強風と森林災害との関係に関する研究など、メソ異常気象研究を進めた。

さらに、ムーンショット型研究開発事業「ゲリラ豪雨・線状対流系豪雨と共に生きる気象制御」に参画し、ゲリラ豪雨の発生の要因の一つである熱源を操作・改変することにより、熱源の制御によるゲリラ豪雨の操作手法を開発することを目的として、建物解像 LES モデルを用いて都市の熱輸送制御に関する数値モデル研究

を進めた。

③ 気象衛星による気象災害監視の研究

気象衛星データにより、台風眼の周辺部での対流バーストや台風の急発達に関する研究を進めた。

④ 温暖化環境下での気象災害研究

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

⑤ 大気境界層乱流とそれによる輸送過程

安定度が中立に近い時と不安定な時の大気境界層を対象として、乱流構造とそれに伴う運動量と熱の輸送についての研究を進めた。都市近郊での境界層乱流を宇治川オープンラボラトリーにおける観測により調べ、大規模乱流構造の出現と、安定度変化や大気境界層発達との関係について解析した。

⑥ 大気環境に関する研究

原子力研究開発機構と共同で、現実気象条件で建物周りの微細規模の気流・拡散計算を可能とする数値モデルやデータ同化手法の開発を進め、都市域での乱流・拡散予測研究を実施した。

火山活動研究センターとともに文部科学省「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト」に参画し、桜島からの火山灰の大気輸送過程と大気環境への影響、桜島からの降灰予測に関する研究を実施した。

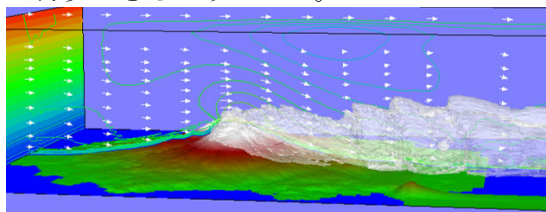
⑦ その他

京大防災研研究集会・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、一般向けや高校生向けの講演会を行ったりするなど、教育普及活動にも注力した。期間中の完全査読付論文発表数は 16 編である。

III. 耐風構造研究分野

① 火山噴出物の飛散運動の解析

科学研究費基盤研究 (A)「火山噴出物の飛散・拡散挙動に関する新たな解析手法の開発と火山災害対応への統合」のもと、噴石や火山灰、火山ガスなどの火山噴出物の運動を記述する物理モデルを、非定常な温度流れ場を再現できるラージエディシミュレーションを用いた数値計算法に組み込み、火山周辺の気流場とともに計算で再現できるようにした。



桜島噴火時の噴煙の変動気流中の拡散解析

噴石の飛散計算に関しては、噴石の空力特性を知る必要がある。噴石の空力特性は形状に依存するため、国内外の幾つかの火山の火口付近において噴石を採集し、本研究経費で新たに購入した形状読み取り装置により、噴石の3次元形状を数値データとして読み取り、不整形な噴石の形状の特徴を明らかにし、空力特性を知るための風洞実験等の基礎資料となるデータが得た。さらに、「火山災害の防災・減災対応策の実効性向上」に貢献するために、採取した噴石を、ガラスや、瓦など、建築物の外装材に衝突させて、噴石落下時の衝撃力を明らかにした。

② 植物キャノピー周辺気流の解析手法の開発

地面付近の気流性状に影響を与える植物キャノピーモデル周辺の気流性状を、乱流場を数値的に再現できるラージエディシミュレーションを用いて解析する計算手法の開発を行っている。本年度は、植物キャノピーを模擬した模型を用いた風洞実験により、計算で再現する際に必要となる抗力パラメータを明らかにするための、風速および植物が受ける抗力を測定した。得られた測定値を、開発した計算で求められた風速場と抗力の値と比較し、用いたモデルの適応性を検証し、また、モデルパラメータの最適化を行った。

③ 強風リスク評価の精緻化

科研費基盤研究 (B)「台風時の実測に基づく都市部の低層建築物に作用する風圧特性と影響因子の解明」のもと、台風通過時に計測した低層建築物屋根に作用する風圧および近傍の風速データを分析した。分析によれば、これまでの建築物風荷重評価に資する風洞実験では想定

されていない3次元的な風の乱れと連動した局所的な風圧発生を示唆する結果が得られた。また、実街区を対象として、周辺の遮蔽物（隣接建物、植生、フェンス、低木等）の存在が屋根面の風圧力に及ぼす影響を風洞実験により定量的に評価した。その結果、周辺の遮蔽物の影響により風圧力が半分程度に減少する場合や通常風洞実験で考慮されていない地上付近の事物が風圧に無視できない影響を及ぼしていることが明らかになった。

ムーンショット目標8傘下の研究題目「台風制御による被害軽減の推計」のもと、強風リスク評価の精度を格段に向上すべく、対象地域の個別エクスポージャの特徴推定に関する研究を行った。具体的には、航空機より撮影された写真を用いて、大規模点群データおよびオルソ画像を作成し、エクスポージャの輪郭・高さ・屋根形状・屋根ふき材の種類を半自動的に推定する手法を検討、大阪府南部地域（約35km²）に適用し、良好な結果を得た。

④ 新たな風速計測手法・風洞実験手法の開拓

エオルス音に基づく風速計測手法（京都大学防災研究所一般共同研究 2022G-06 および大成学術財団研究助成）に関して、風洞および屋外にて人工的に発生させたエオルス音の周波数解析により風速を推定できる可能性を示す結果が得られた。雨滴軌跡解析に基づく風速推定手法（京都大学防災研究所一般共同研究 2021G-04）に関して、画像解析により得られた水滴の軌跡を運動方程式に代入することにより風速ベクトルを推定できることを明らかにした。これらの結果をさらに発展させることで、新たな原理に基づく「風速計」の開発が期待される。

また、磁性粒子制御による縮尺模型実験の乱流制御（科研費萌芽研究（開拓））に関する研究を行った。

⑤ その他

6件の査読論文、3件の会議発表、2件の一般向け講演、1件の書籍（分担執筆）、1件の雑誌記事、メディア報道3件。

IV. 沿岸災害研究分野

① 気候変動による沿岸災害変動評価

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

全球気候モデルにより再現した温暖化した将来の波浪を解析することにより、温暖化によって変化しやすい波浪の種類および地域的ホットスポットを明らかにした。温暖化に伴い、極域および南大洋の波浪のパワーが増大し、太平洋等の大洋の西部に位置する沿岸では東から波浪が伝搬する波浪の頻度が、東部の沿岸では南から伝搬する波浪気候タイプの頻度が増加することがわかった。

台風の可能最大強度理論(MPI)にもとづき、可能最大高潮(MPS)モデルを用いて、日本三大湾における最大クラスの高潮偏差の将来変化予測を行った。大阪湾での MPS の変化量が最も大きく、2050 年までに+0.56 m の上昇が予測された。日本の太平洋沿岸部を対象に、気候変動に伴う大気や海面水温変化に対する MPS の感度分析を行い、海面上昇に加えて高潮偏差の変化を考慮することが適応策にとって重要であることを示した。

② 津波災害リスクに関する研究

起こり得る海溝型地震すべり分布を人工的に生成させリスク評価可能な確率津波モデルの開発、市街地スケールの津波挙動を詳細に評価する数値モデルの開発研究を行っている。

メキシコの太平洋側海岸における海底地形効果による津波増幅係数を推定した。確率的震源モデルにより地震すべり分布を計 200 ケース生成し津波シミュレーションを行った。震源域の初期津波分布と沿岸地点における津波振幅との関係を解析した。回帰分析の結果、初期津波分布の代表的なパラメータが対象地域周辺の津波振幅を適切に説明することを示した。これをもとに、津波振幅の簡易予測モデルを開発した。このモデルは、沿岸地域の確率的津波ハザード/リスクの 1 次近似マッピングに有用である。

効率的な津波浸水シミュレーションのために、個々の建物を解像しないサブグリッドスケールモデルを開発した。このモデルでは、計算グリ

ッド内の複数の建物構造に関する空間情報を考慮し、計算グリッド内の建物抗力の総和が流れ場にフィードバックされる。モデルの性能を評価するため、いくつかの単純な建物レイアウトを仮定した理想化数値実験と、2011 年の東日本大震災で被害を受けた女川町における津波浸水再現実験を実施した。結果、開発したモデルは、建物を詳細に解くモデルよりも 100 倍以上効率的に浸水限界などの浸水特性を表現できることがわかった。

③ グリーンインフラによる適応策の提案

気候変化およびそれに伴う海面上昇により、高波・高潮や津波は東南アジア・南太平洋の国々における深刻な課題になることが懸念されている。一方で 2004 年のインド洋津波では、マングローブによる減災効果が観測され、沿岸災害の軽減策として「グリーンインフラ」の価値が注目されてきた。当研究分野では、インドネシアを対象とした「SATREPS：沿岸でのレジリエント社会構築のための新しい持続性システム」プロジェクトにおいて、近年沿岸部の脆弱性が増すインドネシアを対象に、沿岸環境のモニタリング、沿岸ハザードのモデリング、グリーンインフラを用いた沿岸地域の防御機能向上および社会実装手法の構築について研究を進めている。例えば、マングローブの 3 次元モデルを作成し、複雑な樹形を高精度に再現した水槽実験を行った。マングローブの周囲流速とモデルの作用波力を直接に測定し、複雑なマングローブの支柱根の鉛直構造を考慮し、マングローブに対する作用力の新しいパラメタリゼーションを行った。本研究成果は、マングローブによる高潮・波浪や津波の減衰効果を評価する数値モデルへの適用など幅広い活用が期待される。

④ その他

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

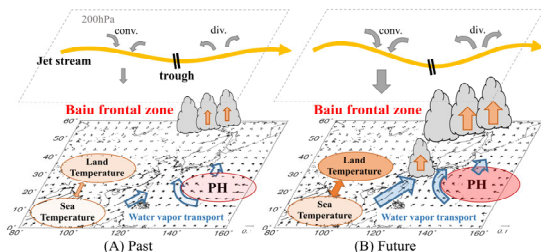
研究成果を広く社会に周知するため、1961 年より毎年の研究論文を論文集録としてまとめ、全国の大学および研究機関の関連研究者に配布している。

V. 水文気象災害研究分野

① 21 世紀気候変動による豪雨災害変動評価

令和 4 年度に開始した「気候変動予測先端研究プログラム」において、同部門をはじめとする多くの研究室と協働して研究を進め、当分野では国内における豪雨について、梅雨豪雨を対象に解析した。

20km の全球気候モデル 150 年連続計算データの解析から、将来は梅雨前線がより活発化し、日本全域で同時期にもたらされる雨量が増加することを示した。これは、アジアモンスーンと太平洋高気圧の強化及び水蒸気量の増加により日本への水蒸気輸送量が増大するためである。また、梅雨前線に伴う線状対流系は前線による収束起因か自己組織起因かで複数のタイプが存在し、それぞれ将来変化傾向が異なることを示した。また、過去の大量の線状対流系事例を解析することで、各タイプの発生環境場の違いを示した。これらの研究成果により、令和 4 年度京都大学防災研究所研究発表講演会での優秀発表賞および水文・水資源学会／日本水文学会 2022 年度研究発表会での優秀発表賞を受賞した。



地球温暖化による梅雨前線構造の将来変化

② ゲリラ豪雨及びマルチセルのメカニズム解明

豪雨の生成・発達に関するメカニズムを、観測及びモデル解析の両面から行った。ゲリラ豪雨に関しては、神戸市におけるマルチセンサー観測データを用いてゲリラ豪雨発生初期の熱的上昇流の解析を行った結果、熱的上昇流の段階でも渦管構造を確認するとともに、熱的上昇流が積雲に影響を与えるまで少なくとも 2 分の時間を要することを確認した。また気象モデルによるシミュレーションから、先行する上昇流が上空へ持ち上げた水蒸気が、後行の積乱雲発達に寄与していることを示し、関東地方における地デジ水蒸気観測情報からもその傾向を確認した。

マルチセル豪雨は、気象レーダーの偏波パラメータを用いて単独セルがマルチセルへ併合される過程を解析し、セルが併合した後には正の渦度が大きく増加する特徴的なパターンを明らかにした。また、渦度の増加は上昇流と強い相関があることを示した。

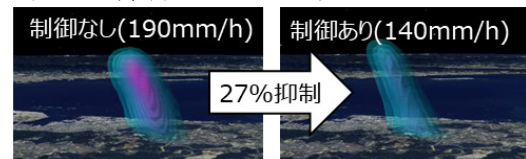
③ 防災利用を意識した豪雨研究

メカニズム解明と並行して、防災利用を意識した研究も進めている。2019 年台風 19 号を対象として、実時間レーダー情報を用いて雨粒による雲粒の捕捉率の値を推定し、その値を用いて地形性降雨モデルで地上雨量を推定した結果、地上雨量の推定精度を向上させることができた。さらに、地形性モデルを用いて降雨予測の精度も向上させることができた。

ゲリラ豪雨に関しては、ゲリラ豪雨の発達ステージを時間ごとに区切り、鉛直渦度などの様々な力学的指標を用いてステージ毎に地上最大降雨強度の予測式を作成することで、より精度の高い定量的予測が行えることを示した。さらに、これを出水のリスクレベル予測に応用することを目指し、神戸市都賀川を対象に Flash Flood Guidance (FFG) をベースにした流出再現計算モデルの構築を行った。

④ 豪雨制御シミュレーション

ムーンショット型研究開発事業目標 8 のコア研究「ゲリラ豪雨・線状対流系豪雨と共に生きる気象制御」において、防災研の他の研究室とも連携して研究を開始した。都賀川豪雨を想定した LES シミュレーションを行い、大気下層で風速を弱めることによって鉛直渦度も弱まって気圧の鉛直勾配が小さくなること、加えて、水平収束位置が変化することによって力学場と熱力学場のバランスが崩れることで、結果、豪雨の発達が抑制されるということを示した。



都賀川豪雨におけるピーク降雨強度の抑制効果

⑤ その他

8 編の完全査読付論文として学術雑誌に発表した。加えて 20 件の一般向け講演や、2 件の新聞・テレビ等のメディア出演を通して、社会貢献に努めた。

VI. 気象水文リスク情報（日本気象協会）研究分野

① ドローンを活用した観測技術の高度化

現実の気象で生じている気象・大気現象の把握や、これらを予測するためのシミュレーションモデルの高度化のためには、上空の気象を正確に測り、時間・空間的に密な観測データを得ることが重要である。そこで、桜島をフィールドとして、ドローンを利用して地上から高度 1000m 程度までの下層大気気温・湿度、風及び火山ガス濃度と火山灰濃度の観測を実施した。平均風速、乱流強度ともにドップラーライダー観測値とよく一致し、ドローンによって乱流強度の観測が可能であることが確かめられた。一方、2022 年 6 月 28 日の観測では、上空の火山ガス濃度と火山灰濃度を初めて同時に計測することができた。火山ガス濃度は上空まで 1 ppm でほぼ一定だった状況から地上側のみ 3 ppm まで増加・減少していた。火山灰濃度は標高 700m 付近にピークを計測し、火口から北向きに流れる上空の噴煙を捉えた。

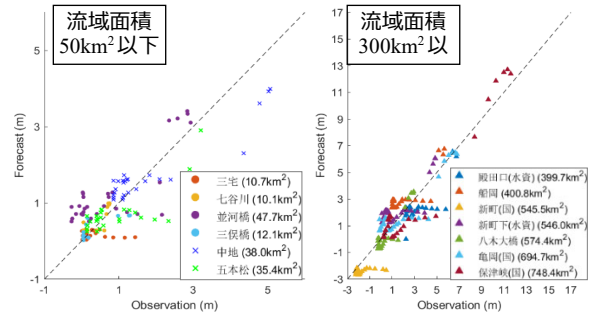
② 気候変動に伴う土砂災害リスク将来変化の評価

近年極端降雨が頻発し、気候変動に伴いその傾向はさらに強化されており、特に急傾斜の山地の周辺地区では、将来の土砂災害の発生状況を把握することが重要となっている。土砂災害を防止及び軽減するため、関西地区において人口が稠密する六甲山地を対象として、気候変動による土砂災害発生の将来変化の解析を行った。本研究では、現地観測データと領域気候モデルのデータを用いて六甲山地の各水系における降水強度、継続時間及び発生頻度の将来変化傾向の空間分布を明らかにした。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の発令状況の将来変化が得られた。さらに降雨の発生と関連性がある地上気温がスネークラインの変化に与える影響について検討を行った。本研究の実施にあたり、国土交通省六甲砂防事務所との連携を深めることができた。

③ 洪水予報モデルの精度評価

洪水による人的被害を軽減するためには、予測した水位を基に事前に避難判断をする必要がある。本研究では、京都府の洪水予報指定河川である鴨川・桂川流域に降雨流出氾濫モデルを適用し水位の予測可能性を検証した。平成 25 年台風 18 号を対象に予測降雨を用いて計算し

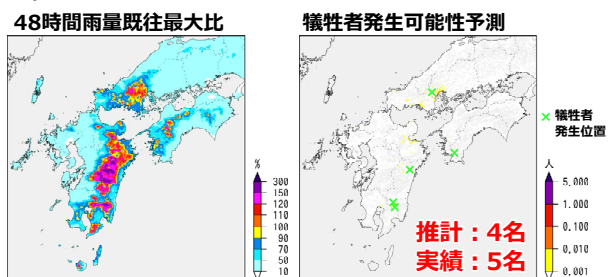
た予測水位と観測水位を比較したところ、流域面積が 50km²以上の流域において 2 時間先までの水位を精度よく予測できることがわかった。また、その他の台風事例や前線事例においても水位の予測精度の分析を行った。本研究は、京都府と京都大学の共同研究の成果として報告書に記載された。



2 時間先の予測水位と観測水位の比較結果

④ 豪雨災害における犠牲者数の推定とその活用

各関係機関や住民に対して防災対応行動を促すためには、気象予測に留まらず発生し得る被害規模についての情報提供も必要である。そこで、実況または予測される雨量規模をもとに人的被害の発生規模を推計する手法を開発した。具体的には、平成 30 年 7 月豪雨、令和元年台風 19 号、令和 2 年 7 月豪雨における犠牲者の位置データと 1km メッシュでの降雨観測データを分析し、降雨に関する指標の過去観測最大値との比である「既往最大比」を用いた人的被害推計評価関数を構築した。その推計手法を令和 3 年 8 月の大雨や令和 4 年の豪雨事例に適用し、実証を行ったところ、概ね一致する推計精度が得られた。本手法で得られた成果をもとに、実際に豪雨が予測される際には、予測雨量から人的被害の発生可能性を評価し、日本気象協会からの情報発信にも活用しており、社会実装を実現している。



令和 4 年台風 14 号の人的被害推計結果

8.9 流域災害研究センター

【センターの活動概要】

(1) 研究対象と活動方針

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

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

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

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

(2) 研究領域と役割

流砂災害研究領域では、山地から海岸までを包含する流砂系における土砂災害の予測、土砂動態の予測および安全・利用・環境上健全な流砂系構築のための土砂流出制御方法などに係わる諸問題に対して、現象の素過程の力学的機構の解明とそれらが組み合わさったシステムとしての現象のシミュレーションおよび土砂流出制御技術の開発を主体として研究を行い、流砂系の総合的土砂管理技術の確立を目指している。

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

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

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

いても考察を行った。

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

(3) その他（横断的な活動等）

流域災害研究センターの教員は、防災研究所の3つの連携研究ユニット、気候変動リスク予測・適応研究連携研究ユニット、地震津波連携研究ユニットおよび火山防災連携研究ユニットに参画し、これらの連携研究ユニットを活用して、本センターの重点課題に関する研究を他の部門・センターと連携して実施している。地震津波連携研究については、西日本最大の津波再現水槽を用いて、原子力規制庁の受託研究を継続して行っている。火山災害連携研究ユニットに関しては、地震火山観測研究計画（第二次）に参加して、桜島火山活動観測所や穂高砂防観測所を拠点に、噴火後の土石流発生ポテンシャルの変化という課題について研究を進めている。

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

令和2年度から開始された第Ⅱ期末踏科学研究ユニットの一つである持続可能社会創造ユニットにも参加し、ミャンマーの河川流域を対象にして、持続可能な流域の構築に資する河道整備の考え方を東南アジア地域研究研究所と学際研究として進めている。

流域災害研究センターでは、災害調査を積極的に実施し、個々の災害現象に関与する自然条件や社会・経済条件の変化過程の影響を的確にとらえることで、対象とする災害の現在の特徴や今後の発生形態についても究明し、将来にわたる的確な防災対策を導くことができるような研究を行っている。2020年は、球磨川流域の水害、2021年は熱海土石流災害調査、青森県下北半島土石流災害調査などを実施した。

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

【研究領域の研究内容】

I. 流砂災害研究領域

① 複合土砂災害シミュレータの開発と適用

豪雨時には、がけ崩れ、斜面崩壊、土石流、浸水、河川の氾濫など大小様々なハザードが発生し、土砂災害の規模を拡大させる。このような複合的な土砂災害に対する効果的な警戒避難体制を構築するためには、連続して発生するハザードの予測を行い、避難のタイミングや適切な避難場所情報を提供することが重要であると考えられる。そのためのツールとして開発を進めていたマルチスケール流域土砂動態モデルを2011年に和歌山県那智川流域で発生した複合土砂災害の事例に適用し、急激な土砂流出現象に対する効率的・効果的なハード対策について検討した。

② 家屋の破壊を考慮した平面二次元土石流・泥流解析モデルの開発

斜面崩壊などによる土砂と水の混合物の流れを起源とした土石流・泥流の流動・発達・堆積過程を解析する平面二次元土石流・泥流解析モデルを開発している。解析モデルは、土石流から泥流まで広い粒径範囲の現象を再現できるように、層流層の上に乱流層が存在する二層モデルとしている。また、土石流が家屋に作用する応力として土圧・水圧による静的な応力も考慮することにより、流速が遅くても土砂の堆積厚や流動深が深い土石流・泥流による家屋の破壊を評価できる数値シミュレーションモデルを開発した。

③ 河道内の物理環境の多様性を長期的に維持できる方法の開発

治水を目的とした河川整備は河道内の物理環境を単調化する傾向がある。一方で、多くの種類の動植物が河道内に生育・生息するためには、河道内の物理環境が多様である方がよい。そのため、水制などを用いて河道の物理環境に変化を付けることがある。しかし、水制などの固定河川構造物は、設置時点では良好な物理環境を提供するが、土砂の堆積などによって時間とともに物理環境は悪化する。そこで、形状を容易に変形できる水制を考案し、数年ごとに形状や設置位置を変化させて土砂の交換を促し、多様な物理環境を長期的に維持できる方法を開発した。

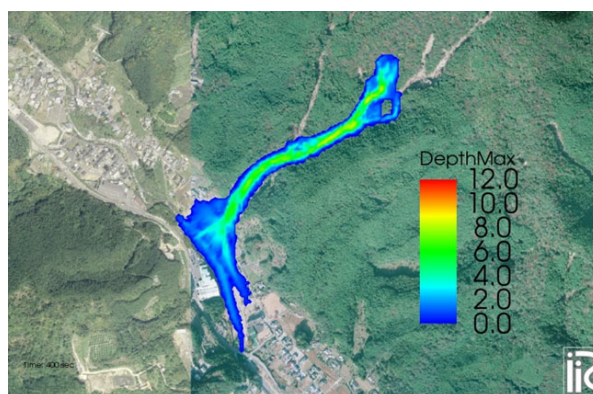
④ 火山流域で発生する粘着性土石流・泥流の動態に関する研究

融雪火山泥流など、微細土砂を多く含む流れ

は土質力学的な粘着性を含む材料が含まれており、粘着性により氾濫域が大きく変化する。そこで、粘着性を考慮した土石流・泥流の数値シミュレーションモデルを構築し、土石流・泥流中の固体材料の粘着性が土石流・泥流の流動特性に与える影響について検討した。その結果、土砂の粘着性が強くなると、平衡勾配は急となり、土石流・泥流の発達には土砂の粘着性によって抑制され、氾濫範囲が狭くなることが示された。また、濃度の増加に伴い粘着性の影響が強くなるため、不飽和の条件で発生した濃度の高い土石流・泥流の場合、土石流・泥流はあまり発達せず、非粘着性材料の場合と比較して斜面勾配が急な場所で土石流・泥流が停止することが示された。

⑤ 一般座標系による基礎式を用いた雪崩の数値解析モデルの開発

雪崩災害を防ぐためには、雪崩の深さ、速さ、体積など雪崩の流動に関する物理量を精度良く予測する必要があり、数値シミュレーションはこれらの物理量を予測する上で有効である。雪崩の数値シミュレーションは雪崩の流動域と非流動域の境界を有する解析であり、雪崩の流向と数値シミュレーションの格子の方向が一致、もしくは近い方が解析精度が高い。そこで、一般座標系で記述した基礎方程式を用いるとともに、斜面・溪流の平面線形適合型の解析格子を用いることにより、雪崩の流動現象の再現性を向上させることに成功した。



那智川流域で発生した土石流の数値シミュレーション（土石流の最大流動深）

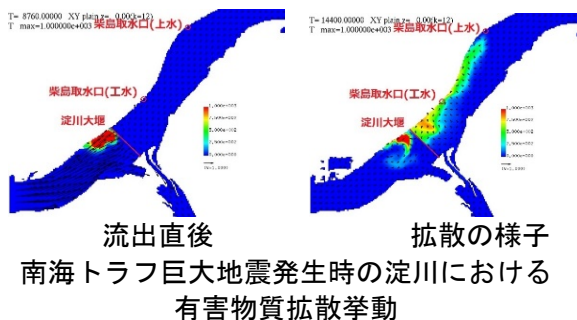
II. 都市耐水研究領域

① 巨大津波発生時の都市域における複合災害に関する研究

我が国の大都市の多くは臨海部で発達している。これらの都市では、巨大津波が発生した場合、津波本体の波力による被害だけでなく、それに伴う漂流物被害、人や物品の流出被害、河川遡上に伴う塩水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、津波力を直接低減させる方法として、必要な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今後十分検討しておく必要がある。本研究領域では、このような津波に伴う複合被害の予測・評価に関する研究を行っている。

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

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



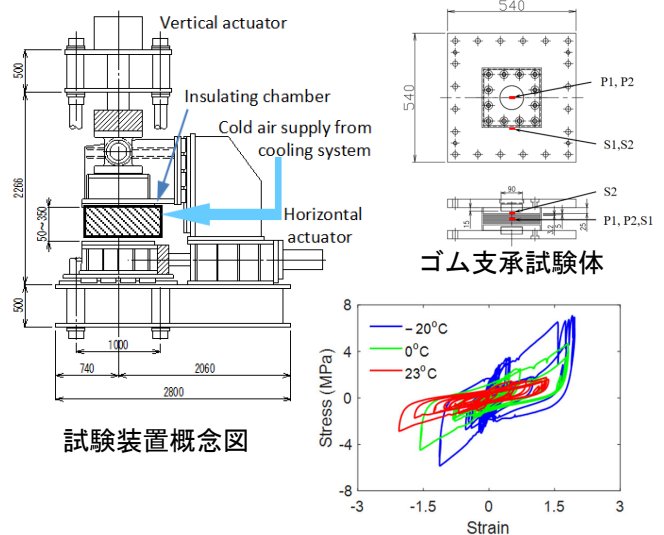
② 極端事象に対する構造物の性能評価と設計法に関する研究

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) 流体—構造の動的連成系としての実現象に即した流体力の構造物への作用の評価を行うことを目的とした、計算機による構造物の動的応答解

析と水理実験を併用した実験システムの検討
 ii) 水平 2 次元内での地震動特性のモデル化、
 iii) 構造物の非線形弾塑性応答を評価するための入力地震動の設定、iv) 応答中の部材破断を考慮した構造物の動的応答評価の検討などの項目の研究を実施した。これらは動的な現象であることから、構造物の特性としての多次元的・動的な応答特性のモデル化についても併せて検討している。

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 i) 新たに開発された高減衰ゴム支承 (HDReX) の実務設計に適用するための復元力モデルを開発、ii) 寒冷地への橋梁への適用を前提とした、高減衰ゴム支承 (HDR-S, SPRS) の低温時の復元力特性の実験的検討とモデル化、iii) 廃タイヤゴムパッド支承 (STRP) を適用した構造物の耐震性能の検討、iv) 免震ゴム支承の経年劣化による特性変化の評価、等の課題に取り組んだ。



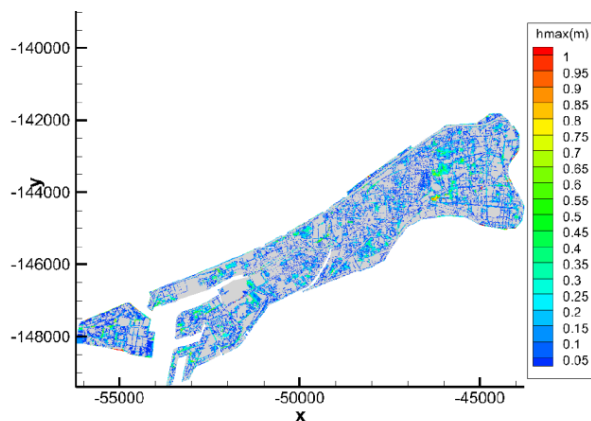
試験装置概念図
 ゴム支承試験体
 温度による復元力特性の相違
 橋梁用高減衰ゴム支承の低温環境載荷試験

III. 河川防災システム研究領域

① 豪雨による内・外水氾濫の予測モデル

氾濫解析モデルにおける建物のモデル化について、建物内の浸水を考慮した氾濫実験を昨年度に追加して行い、その再現計算を行った。その結果、非構造格子モデルによって、道路に沿った流れが再現されるなど、浸水深、浸水域ともに実験結果に近い結果が得られた。国交省モデルを改良したモデルでは、時間遅れを持った建物内への浸水を考慮するため、国交省モデルと差が生じ、新推進の時間変化は非構造格子モデルの結果により近い結果が得られた。

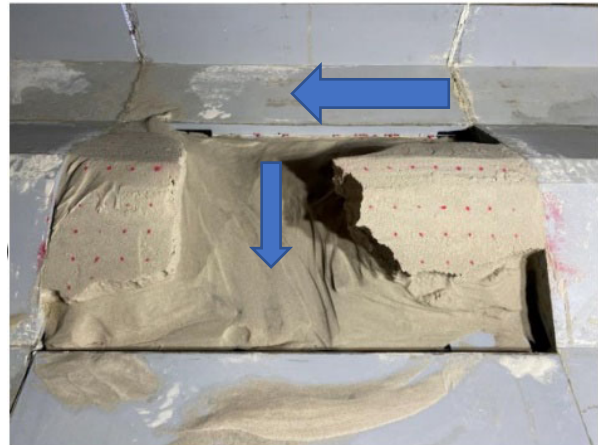
大阪市の6つの下水処理区を対象として、将来の内・外水氾濫リスクを予測した。まず、d4PDFの5kmメッシュによる予測降雨データを用いて、各処理区の10年確率降雨強度の将来変化を分析したところ、総降雨量がおおむね1.1倍、10分降雨量がおおむね1.4倍になることなどがわかった。また、大阪市の現在気候と将来気候のモデル降雨を作成して、内水氾濫リスクの将来変化を予測した結果、浸水面積はあまり変化しないものの氾濫水量が増大する結果となったことから、従来から氾濫に対して脆弱だった地域の浸水深がより増大する状況が予想されることなどがわかった。さらに、現在気候と将来気候の降雨を与えて計算された淀川の洪水流量を用いて、大阪市の海老江・此花処理区で破堤氾濫が起こった時の解析結果を比較したところ、将来気候の洪水時には処理区のほぼ全域が浸水する結果となった。



将来気候の降雨を海老江・此花処理区に与えたときの内水氾濫解析結果

② 不均質な材料からなる河川堤防の越流決壊実験

河川堤防の越流決壊過程を明らかにすることを目的として、堤外地の流れを含めた2次元の氾濫台での実験を行った。まず堤外地の流れの影響を考慮することで、下流側堤体の侵食がより進む結果となった。また、単一の材料で作られた堤防と不均質な材料で作られた堤防で決壊過程を比較したところ、破堤口の形状や拡幅速度に違いがみられた。とくに不均質な材料からなる堤防では、堤体の内側と外側の材料で侵食されやすさが異なるため、裏法面の破堤口の拡幅速度が早い段階で上昇し、それに伴い、越流量が大きくなることが確認された。



堤外地の流れを考慮した河川堤防の越流決壊実験

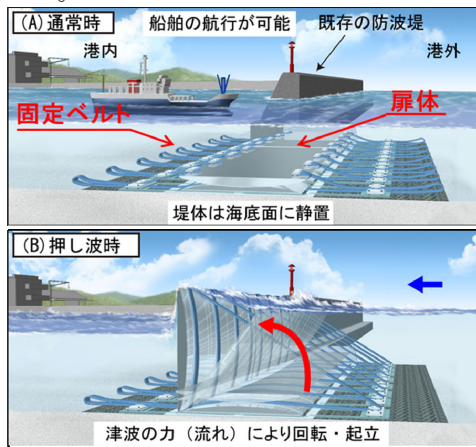
③ 水制による河岸侵食の防止・軽減効果

洪水流によって河岸侵食が進み、堤防の決壊につながるのみならず、地域によっては土地の流亡によって住居や農地が失われることにもつながる。河岸侵食を抑制するための対策として水制工が用いられる場合があるが、河川の湾曲部に複数の水制工を設置するための適切な設置位置と設置間隔は重要な要素である。OpenFOAMを用いた3次元数値解析モデルを用いて検討を行ったところ、剥離流の接岸点は湾曲率と水制工の設置位置によって異なることがわかり、下流に設置するほど水制工先端部の洗掘は深くなることなどがわかった。

IV. 沿岸域土砂環境研究領域

① 流起式可動型津波防波堤の実海域適用性に関する検討

通常時に海底に沈んでいて、津波来襲時に起立できる可動型津波防波堤は、港湾や漁港へのアクセスを阻害せず、かつ大きな津波抑止効果を発揮するものとして注目されていて、試験的に岩手県大船渡漁港なので設置が進められている。京都大学では、大阪工業大学、関東学院大学、国立研究開発法人港湾空港技術研究所、(財)沿岸技術研究センター、および民間の丸島アクアシステム、ニュージェック、みらい建設と共同で図-1に示す流起式可動型防波堤を提案し、その能力と適用性を実験と数値解析で数値解析で検討してきた。令和4年度には、実際の海域での設置に向けて、漁港やマリナを対象に実設計を行い、試験施工に向けた準備を行った。また、高潮への適用を図るため、これまで、すべて自動化してきた流起メカニズムを一部機械化した場合のオペレートの手順について見直しを行った。

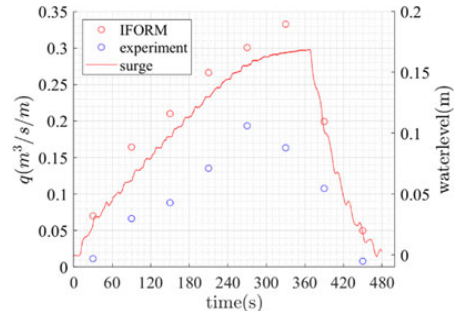


流起式可動型防波堤のイメージ図

② 越波・越流の遷移領域を考慮した越波実験

海岸や港湾域での護岸は背後地を高潮や高波による浸水から守る重要な施設であり、その越流流量や越流量を推定することは防災面から最も重要な項目の一つである。これまでは、高波による越波流量と高潮による越流量は別個に計算されていて、その相乗効果については検討が不足していたが、近年、数値計算によってその重要性が明らかになっている。ただし実験施設の制約で模型実験による検証はなされていない。そこで、本研究では、宇治川オープンラボラトリーの津波再現水槽を用いて、高潮による潮位変動（水位変動）とも高波を同時に作用させ、越波・越流の遷移課程を再現し、護岸を越える

水量を連続して測定し特性を検討した。そして数値計算モデル(IFORM)との結果との比較を行い、計算結果はやや過大であるものの実験の変化を適切に再現できることを明らかにした。



越波量における計算○と実験○の比較

③ グリーンベルトによる津波・高波防災に関する検討

マングローブ林等を中心とするグリーンベルトを活用して津波や高波のエネルギーを低減しようとする試みは、これまでに東南アジアや南アジアで試みられていて、実際に2004年のインド洋大津波ではマングローブ林背後の家屋の被害が小さかったことが分かっている。しかし、数値的な検討は十分になされていないので、本研究では、まず1本のマングローブ（ヤエヤマヒルギ）に作用する波力を測定し、その抗力係数と慣性力係数を求めた。次に、現地スケールで約30m幅に16本のヤエヤマヒルギが植林された状況を再現して（図-3）、波を造波し、その低減率を明らかにした。また、数値計算モデル(CADMAS-SURF2D)を用いて低減率を予測し、モデルの検証を実施したのちに、数値解析で波力の低減率や仮想防潮堤への波圧の低減効果を求めた。



マングローブ実験の様子と単体模型

V. 流域圏観測研究領域

①潮岬風力実験所

(1) 古野電気株式会社との共同研究で、地上・船舶設置型マイクロ波放射計・雲カメラ・GNSS 受信機を潮岬風力実験所と公用車に設置し、海上水蒸気量の高頻度観測と高層気象観測による精度検証を実施した。2022 年 11 月には白浜海象観測所屋上にもマイクロ波放射計・雲カメラ・GNSS 受信機を設置し、観測体制を拡張した。



白浜海象観測所屋上に設置されたマイクロ波放射計（右）と雲カメラ（左）。大気中に含まれる水蒸気量の高さ分布、雲の水平分布を連続的に観測する

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。パーティクルカウンターによる海洋性エアロゾルの連続観測および Sodar による観測塔直上の風速の鉛直分布の計測を実施した。

(2) トンガ海底火山噴火に伴う気圧、水位変化：2022 年 1 月 15 日午後 5 時 10 分（日本時間午後 1 時 10 分）にトンガで海底火山の大規模な噴火が発生した。白浜海象観測所・田辺中島高潮観測塔では大規模噴火に伴う気圧および水位の変化が観測され、気圧の上昇幅は約 2hPa、最大の津波波高は約 0.35m であった。水位変動が顕著な時間帯には 10~20 分程度の変動が強いことが確認され、過去の遠地津波の水位変動では確認されていないことから、トンガの火山噴火に伴う気圧変動により励起された水位変動に特徴的なものであることが確認された。

(3) (2) 海面からの運動量輸送に起因する海上風鉛直構造変化の評価：本研究では、境界層内の海上風鉛直構造の対数相似則がうねりの存在下で成立しない可能性を、田辺湾における観測

塔を利用した観測により実証することを目指す。田辺中島高潮観測塔に超音波風速計 4 台を鉛直方向に並べて取り付け、試験観測結果から十分な精度で風速データを取得できることを確認した。引き続き、数ヶ月程度の本観測を複数回実施する予定である。

③穂高砂防観測所

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

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

(3) 融雪型火山泥流：泥流発生・流下モデルに加えて泥流氾濫予測手法を提案し、焼岳の下流域に適用することで種々の条件下での被害予測を行った。

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

④大潟波浪観測所

(1) 日本海沿岸域の冬期の強風と暴浪の相乗による海岸波浪および漂砂の特性を明らかにするために、専用観測栈橋を活用して研究を進めてきた。2008 年の栈橋撤去後も、地下水観測やカスプ地形内の粒度分布解析を進めた。2010 年からは定期的に海岸の地形測量を実施しており、2022 年は大潟海岸の上下浜において砂浜の断面測量を実施した。

(2) 大潟海岸には海岸砂丘上の松樹木林が豊富に存在する。それらは、高波・津波から背後地域を防護するグリーンベルトとしての役割を期待できる。2020 年と 2021 年には、松樹木林において樹木の密度を調べ、基礎データを取得した。

8.10 水資源環境研究センター

【センターの活動概要】

(1) 研究対象と活動方針

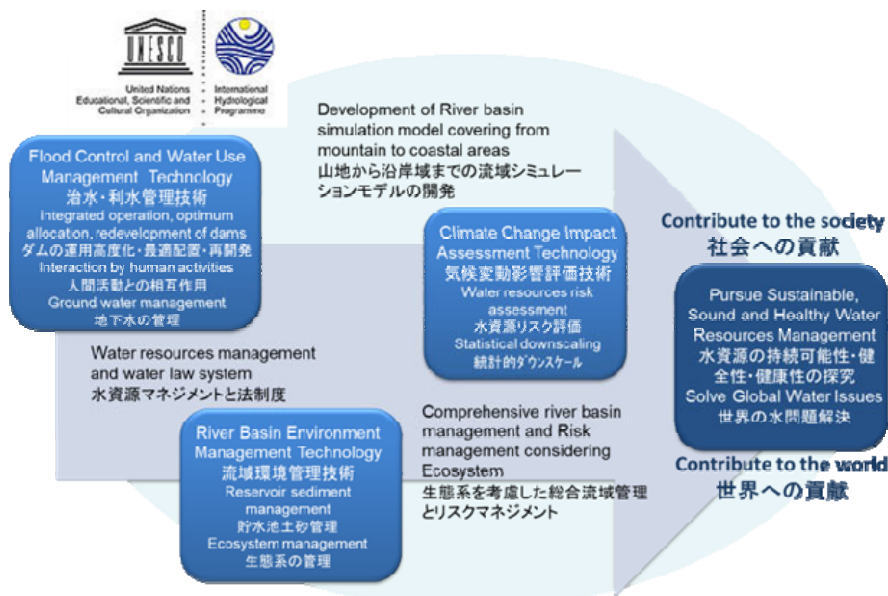
水資源環境研究センターは、水資源問題に関わる自然・社会現象を理解する目的で、昭和53年（1978年）に設立された。水の循環を様々なスケールにおいて理解することは、地球温暖化や生態システムの攪乱など深刻な環境問題の解決の鍵となる。当センターでは、リモートセンシングや全球気候モデル、大気-陸面過程モデルなどの技術を用い、ミクロな水文素過程から地球規模のマクロな現象までのマルチスケールにおいて水・物質の循環と社会システム、生態システムとの関係の解明を進めている。さらに、その結果に基づき、巨大災害や地球温暖化、地域開発に伴う深刻な環境問題のリスク評価、およびその対策としての社会基盤整備に活用するための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

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

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

(2) 研究領域と役割

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



水資源環境研究センターの活動

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

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

どの基礎的課題に取り組んでいる。

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

(3) その他（横断的な活動等）

国連水文学計画（UNESCO-IHP）への貢献と、国際的に活躍できる若手水文学研究者、実務者の養成に資するため、英語による集中講義、UNESCO-UHP Taring Course “Integrated Basin Management under Changing Climate” を主催している。本トレーニングコースは、グローバル生存学大学院連携プログラムや、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) Resilient society development under changing climate, 4) Fundamentals of rainfall-runoff-inundation modelling, 5) Fundamentals of land-surface processes, 6) Integrated sediment management for reservoir sustainability, 7) Management of river ecosystem under changing climate, 8) Climate change impact assessment on disaster environments, 9) UNESCO-IHP and climate change adaptation strategy in Asia, 10) Fundamentals of optimum operation of reservoir systems

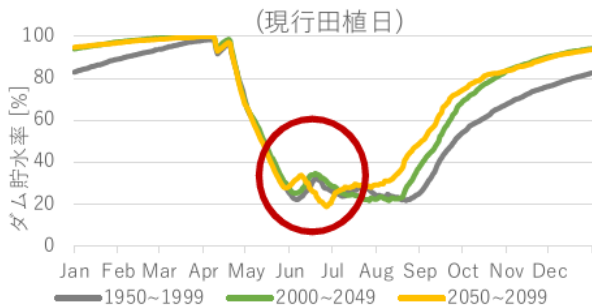
【研究領域の研究内容】

I. 地球水動態研究領域

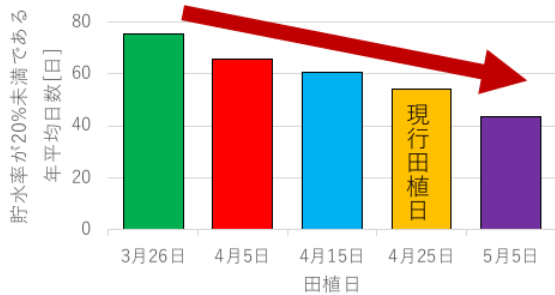
① 21 世紀気候変動による豪雨災害変動評価

稲の成長を考慮して灌漑需要量を推定するモデルとダムから農業用水を補給するモデルを組み合わせた利水需給シミュレーションモデルを構築し、安濃ダムからの補給に依存する稲作灌漑域（中勢用水地区）において、RCP8.5 シナリオに基づく日本域 150 年連続実験データの 1 シナリオについて、気候変動に伴い生じうる水資源利用リスクの評価を行った。

その結果、2050 年~2099 年の 50 年間では、それまでに比べてダム貯水量が 20%未満となる時期が早期化する傾向があること、田植日を現在より遅くすることで、渇水影響の軽減が期待できることが明らかとなった。



50 年間平均ダム貯水量日別値の推移



田植日別の貯水率 20%未満日数

② 強化学習を用いた河川水位による避難判断基準の獲得モデル

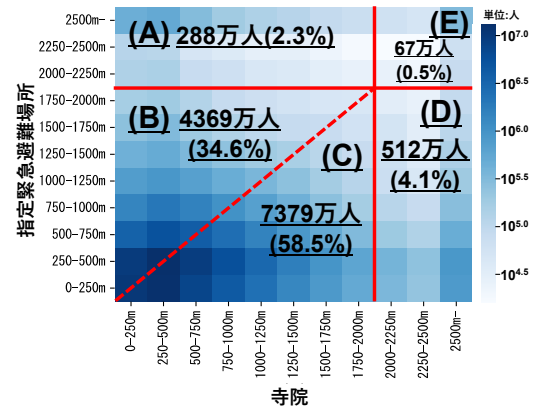
河川水位を通して水害避難判断基準を学習するモデルを用い、参照する水位と避難成功確率の関係性を求めた。その結果、エージェントは最遅避難時刻に比べて、著しく早い段階で避難するよう学習することが分かった。また、現在水位だけでなく過去水位を判断材料とすることで、エージェントは水位の上がり方を認識するようになり、急激に水位が上昇した際の避難確率が

上がることが明らかになった。

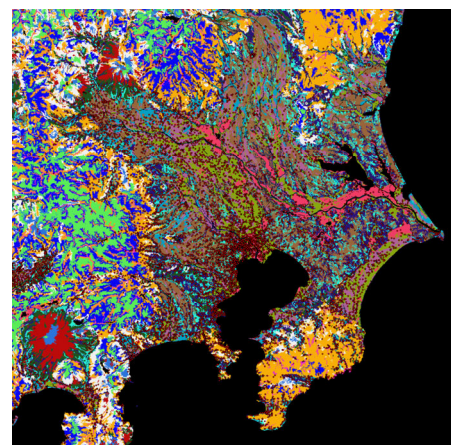
③ 仏教寺院の水害時緊急避難場所としての利用可能性評価

日本の仏教寺院約 7 万件の位置情報データベースを新たに作成し、浸水想定区域とのオーバーレイ分析、及び周辺人口の分析から、各寺院の水害時緊急避難場所としての利用可能性を、施設の安全性・住民からの代替不能性の両側面にに基づき評価した。

その結果、2022 年 11 月時点で指定済みの指定緊急避難場所が徒歩避難可能圏の半径 2 km 以内に存在しない人口は全国で 355 万人に上る一方、その約 8 割にあたる 288 万人は、寺院を緊急避難場所として追加指定することで徒歩避難が可能となることが明らかになった。また、4369 万人は、寺院への避難により避難距離が短縮されることも示された。



各施設への最短距離に関する人口ヒートマップ



寺院と地形分類(wahashi et al.,2021)の重ね合わせ

II. 地域水環境システム研究領域

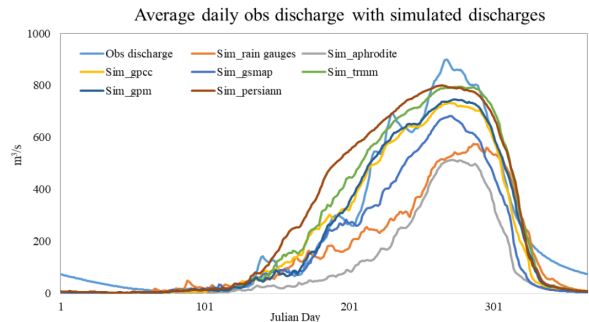
① アラル海集水域における多様な農業水消費を考慮した長期高解像度陸面過程解析

アラル海流域の中流・下流域には水路が張り巡らされ、灌漑農業が盛んに行われており、農業用水は水利用量の 9 割を占める。灌漑地拡大に起因する河川からの大量取水によってかつて世界 4 位の大きさを誇ったアラル海が 2000 年代にかけて消滅の危機に直面した。現在でも、周辺国間における効率的な水利用の実現には至っておらず、科学的根拠に基づいた水資源管理へ向けた議論の必要性は高まっている。本研究では、アラル海集水域における水循環を正確に表現する陸域水循環モデルを構築し、様々な農業水消費が流域の水資源に与える影響について評価することを目的とした。陸面過程モデル SiBUC を基本とした上で、新しく畝間灌漑・点滴灌漑スキーム、カラクム運河・サリガミシュ湖による流域外取水、アラル海を動的に取り扱うアラル海消長モデルを導入することで、アラル海流域に特化した解析を可能にした。1961 年から 2010 年までの 50 年間にかけて空間解像度 30 秒で解析を行った結果、アラル海の縮小を高精度で再現することに成功した。また、このモデルを用いて灌漑手法と灌漑地拡大が流域の水資源に与える影響を評価したところ、1990 年以降に畝間灌漑に適さない農地が増加していることを確認できた。また灌漑地拡大がなければアラル海は 2010 年時点で 1961 年時の体積の約 5.5 割にあたる約 600km³の体積を残した状態で保全されること、開発を止めたとしてもある程度の縮小は避けられなかったことが明らかになった。

② ストンセン川流域の洪水氾濫解析における複数降水量プロダクトの評価

洪水は、ストンセン川流域で最も一般的かつ頻繁に起こる災害であり、人命に大きな損失を与え、社会、インフラ、環境、経済システムに大きな破壊を与えている。気候変動により降雨パターンが変化することに加えて、過去数十年の間に、急激な人口増加、都市化、森林伐採、農業拡大、水力発電開発などの人間活動が、水循環を変化させてきた。降水は水循環の主要な構成要素の一つであるにも関わらず、対象流域の上流域には雨量計が存在しないため、洪水特性を解釈するには限界がある。そこで、APHRODITE、GSMaP、GPCC、GPM、PERSIANN、TRMM という異なる空間・時間

分解能を持つ複数のグリッド降水データセットを用いて、河川流量と洪水氾濫に対する RRI モデルの再現精度を分析した結果、本対象地域においては TRMM が最適であることが明らかとなった。



各降水プロダクトによる計算結果の比較

③ 氷河涵養流域における水文モデリングの改良と流出成分（降雨、融雪、融氷）の解明

氷河の雪解け水の流出を正確にモデル化することは、気候変動が山岳地帯の水資源、自然災害、生態系動態に与える影響を理解する上で重要である。本研究では、氷河涵養流域の流出成分を解析するために、氷河熱収支モデルを統合した陸面過程モデルを使用した。キルギス共和国の氷河 2 地点 (Karabat-Kak, Bordu) で得られた気象要素や積雪水量、河川流量、基準氷河の質量収支の観測データとモデルによる解析結果を比較した。氷河消失量の観測値と計算値の比較では、入力データに起因する融解速度の大きな差異が明らかになった。そこで、地形と雲量により下向き短波放射データを補正することで、氷河質量収支の季節変化が大幅に改善された。したがって、氷河からの雪氷融解水の流出量とタイミングを予測する上で、正確な地形の効果を組み込むことが不可欠である。氷河融解水の寄与は、主に流域の氷河の割合と地域の気候に依存し、対象流域では 7-8 月に 54%の最大値、年平均で 27%であることが明らかとなった。また、標高帯別の流出成分（降雨、融雪、融氷）の割合の季節変化も明らかにした。

III. 社会・生態環境研究領域

① 統合ダム防災支援システムの開発

SIP2 期の国家レジリエンス（防災・減災）の強化「テーマVI：スーパー台風被害予測システム開発」課題の一環として、欧州中期予報センター（ECMWF）の 15 日間 51 メンバーの長時間アンサンブル降雨予測を用いて、ダムの異常洪水発生危険性および出水後の水位回復の可能性の両者を踏まえたダムの事前放流操作、さらには、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開発を行った。特に、大井川の大規模縦列ダム群を対象に、事前放流に伴う治水と水力発電機能の評価を、また、太田川の温井ダムを対象に、洪水調節後の後期放流を用いた水力発電運用の高度化について検討を行った。

② 生態系-土砂水理連携と河床地形管理手法

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

③ ワジ流域のフラッシュフラッド統合管理

中近東・北アフリカ地域の乾燥・半乾燥地域のワジ（涸れ谷）流域に近年頻発するフラッシュフラッドに対して、減災と水資源開発を複合目的とするハード対策（洪水貯留-水資源涵養施設など）およびソフト対策（降雨-流出モデル高度化と予警報システムなど）を組合わせた統合的管理方策を検討した。オマーンのワジ・サマイルにおいて、洪水発生を把握するための監視カメラと土砂流出を認識するインパクトセンサーを設置して、リモートでの観測を開始し

た。また、2022 年より開始した JSPS Core to Core Project のキックオフとして、つくばで開催された ICFM 9 に合わせて特別セッションを開催し、今後の研究協力、特に、2023 年 6 月にアルジェリアで開催予定の第 7 回「フラッシュフラッド統合管理国際シンポジウム（ISFF）」について討議した。

④ ASEAN 諸国の河川流域の統合的管理

「日 ASEAN 科学技術イノベーション共同研究拠点」（JASTIP）の WP4（防災分野）の一貫として「メコンデルタの統合水資源管理」を検討した。また、APN（Asia Pacific Network for Global Change Research）の Integrated Flood and Sediment Management in River Basins for Sustainable Development（FSMaRT）プロジェクトとして、フィリピン・イザベラ州立大学と共同で、ルソン島のカガヤン川流域の洪水対策・ダム堆砂対策について、さらに、ベトナム・ダナン大学とともに Vu Gia - Thu Bon 川の洪水・土砂管理対策について検討を実施した。これら成果を共有するために 2022 年 12 月にベトナム Da Nang 大学において WS を開催した。

⑤ 災害拠点病院の水害対応 BCP に関する研究

2020 年 7 月豪雨で被災した災害拠点病院の人吉医療センターを対象に、防災研（土木）と清水建設（建築）、人吉医療センター（医療）の 3 者による共同研究を実施した。病院の建築・設備の実態に基づき水害リスクを評価し、それをベースに必要な災害対応業務と実施判断基準（トリガー）、および担当者間の連携方法を整理し、7 段階の災害ステージに合わせて時系列的に順次実行する「水害対策タイムライン防災計画」を策定した。実施判断には、SIP2 期で開発した「全国版 RRI モデル」を活用し、球磨川水位予測と追加降雨の組み合わせで段階ステージを上げる方法を提案し、実地訓練により有効性を検証した。

⑥ その他

21 編の完全査読付論文、80 件の国内外の学会発表、講習会、講演、また 4 件のマスコミ掲載などを通して研究成果を発信した。また、土木学会関西支部講演会優秀発表賞などを受賞した。

8.11 気候変動リスク予測・適応研究連携研究ユニット

(1) 設立の経緯

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

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

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

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

このような背景を踏まえ、防災研究所を中心とした気候変動研究の所内および所外の連携をより強固なものとするため、気候変動にかかわるバーチャル研究組織として「気候変

動リスク予測・適応研究 連携研究ユニット」を設置した。

気候変動リスク予測・適応研究 連携研究ユニット

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

(設立期間)

令和2年6月～令和7年3月(延長あり)

(ユニット長)

令和2年6月～令和7年3月 中北英一

(ユニットメンバー)

(防災研究所)

教授: 中北英一(兼) 教授: 多々納裕一(兼)

教授: 矢守克也(兼) 教授: 畑山満則(兼)

教授: 渦岡良介(兼) 教授: 榎本 剛(兼)

教授: 丸山 敬(兼) 教授: 森 信人(兼)

教授: 藤田正治(兼) 教授: 平石哲也(兼)

教授: 堀 智晴(兼) 教授: 角 哲也(兼)

教授: 竹見哲也(兼) 教授: 田中賢治(兼)

教授: 川池健司(兼) 教授: 佐山敬洋(兼)

特定教授: 山路昭彦(兼) 特任教授: 渡邊紹裕

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) 特定准教授:

呉 映昕(兼) 特定准教授: 峠嘉哉

助教: 山野井 一輝(兼) 助教: 宮下卓也(兼)

助教: 仲ゆかり(兼) 特定助教: 山本浩大(兼)

特定助教: LIU Huan(兼)

(工学研究科)

教授: 立川康人(連携) 教授: 市川 温(連携)

准教授: KIM Sunmin(連携)

講師: 萬 和明(連携)(2023年4月から防災

研究所准教授)、助教: 田中智大(連携)

(総合生存学館)

教授: 山敷庸亮(連携)(農学研究科)

教授: 中村公人(連携) 教授: 濱 武英(連携)

(2) 活動の内容

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

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

また、次ステップとしてバーチャルユニットのセンター化に向けた議論を実施している。

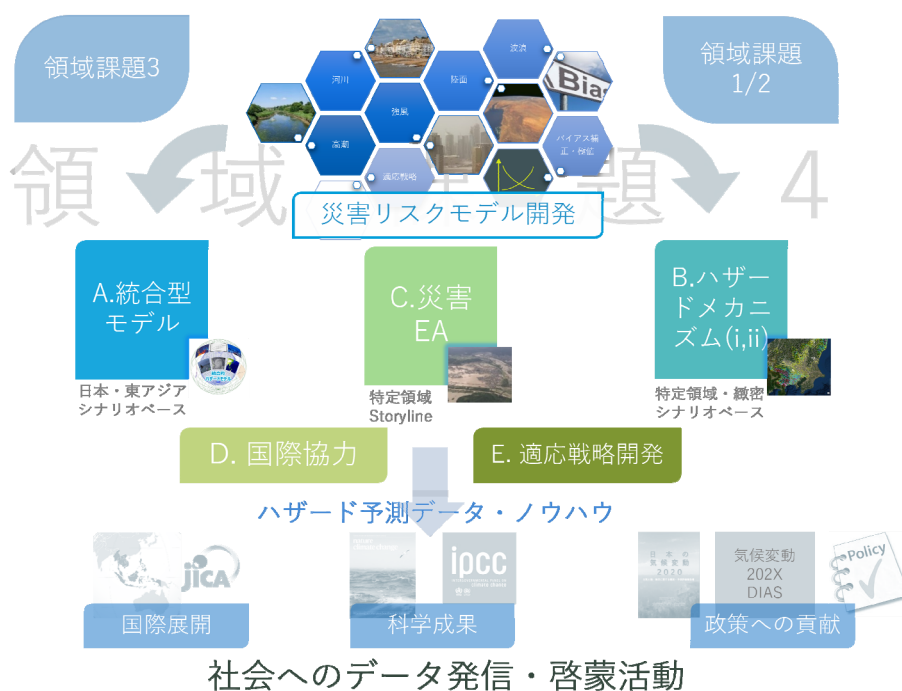


図 1 2022 年から 5 年計画で開始した文部科学省「気候変動予測先端研究プログラム」

8.12 地震津波連携研究ユニット

(1) 設立の経緯

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

防災研究所では津波をメインに掲げる研究室が存在せず、理学、工学、社会科学の研究者が組織的に連携することなく上記の個別研究が進められてきた。各個別研究では大まかな成果は挙がっているものの、対外的に津波研究の大枠が俯瞰できる窓口が見えておらず、主な自然災害をカバーする防災研究所のラインアップとしては大きな問題であった。そこで、津波連携研究センターを設立し、総合的に津波ハザードのリスク評価とその対策を確立することが必要とされた。ユニットは令和3年8月に設立され、令和4年度は2年目にあたり、現地調査と実務的な国際ワークショップを中心に活動を行った。

地震津波連携研究ユニット
 (英文) Joint Research Unit for Tsunami Hazard
 (設立期間)
 令和3年8月～令和8年7月
 (ユニット長)
 令和3年8月～令和5年3月 平石哲也
 令和5年度以降 矢守克也
 (ユニット経費)
 一般共同研究費など

(構成メンバー) (令和5年3月)

	氏名	部門・センター	役職
1	平石哲也	流域災害研究センター	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	地震予知研究センター	准教授
7	西村卓也	地震予知研究センター	准教授
8	宮澤理稔	地震予知研究センター	准教授
9	山田真澄	地震防災研究部門	准教授
10	山下裕亮	地震予知研究センター	助教
11	多々納雄一	社会防災研究部門	教授
12	藤見俊夫	社会防災研究部門	准教授
13	牧 紀男	社会防災研究部門	教授
14	西野智研	社会防災研究部門	准教授
15	矢守克也	巨大災害研究センター	教授
16	中野玩夫	巨大災害研究センター	助教
17	アナ・マリア・クルス	巨大災害研究センター	教授
18	渦岡良介	地盤災害研究部門	教授
19	張 哲維	流域災害研究センター	特定助教
22	石井杏佳	ユニット専任	特定助教

(2) 活動の内容

令和 4 年度は、令和 3 年度末の令和 4 年 3 月 23 日に実施した「緊急成果報告会-トンガ津波を中心として」において議論されたトンガ海底火山爆発によって励起された津波に関する取りまとめを手始めに、現地の災害調査を実施して緊急提言を行った。災害調査は、5 月 17 日~18 日に高知県東部海岸を中心に漁船の被害について調べた。

さらに、令和 4 年 9 月 5 日には、国際会議をはじめ主催し、吉田キャンパスの時計台記念館国際ホール III において、「津波連携研究ワークショップ—国際連携研究の最前線と今後の課題および地域避難戦略の構築に向けて—」を開催した。ここでは、現地調査の詳細と国際会議の概要を示す。

(i) トンガ津波の現地調査

令和 4 年 1 月 15 日（日本時間 13 時 14 分）トンガ国フンガトンガ・フンガハアパイ火山（以下トンガ火山）の大規模な爆発が生じた。この爆発により強い衝撃波が発生し、それに伴って励起された海面変動が遠方へ伝わった。この海面変動は周期が長く、伝播してきた海岸では津波のように振る舞う。爆発に伴う火山の山体崩壊や地滑りによって励起される通常の津波とはメカニズムが異なるので、ここでは“津波”と表現する。この“津波”は、日本では通常の津波より早く到達し、予想される高さもずっと高かった。白浜海象観測所の沖合 2 km に位置する中島高潮観測塔ではトンガ火山噴火約 7 時間半後（日本時間 20 時 30 分）に急激な気圧上昇を観測し、その上昇幅は 2hPa であった。水位の変動は、22 時ころから確認でき最大偏差は 1 月 16 日 1 時ころで 0.35m になった。この“津波”は大気ラム波と呼ばれる強い衝撃波が海面を伝播することで強制的に励起される海面変動と考えられ、その速度は音速とほぼ同じで 310m/s である。通常の津波の伝搬速度は、水深 1000m で 100m/s である。津波到達時刻は気象庁の予測よりも早く、振幅も大きかった。

津波注意報等の警戒を促す事前情報がないうまま約 1m の“津波”が来襲したことに

より、高知県東部では養殖施設の被害はなかったものの、係留漁船の転覆や漂流・座礁が生じた。室戸市佐喜浜港で被害が大きく、JF 高知県佐喜浜支所で確認した限りでは、その数は港内で 4 隻、港外で 2 隻の合計 6 隻であった。

また、本事象に関する情報提供のあり方に問題があったとの認識から、気象庁は「火山噴火等による潮位変化に関する情報のあり方検討会」を発足させた（本ユニットからは、矢守、森が委員として参加）。防災対応上の利便性を考慮し、津波警報・津波注意報など、「津波」として情報提供することや、火山現象や地震により発生する潮位変化（津波）に対する情報発表シナリオ及び防災上の留意事項を、「リードタイムの長短」「揺れの有無」に分けて整理することなどについて協議された。



座礁後に引き上げられた漁船（佐喜浜漁港）

(i) トンガ津波の現地調査

令和 4 年 9 月 5 日の国際ワークショップでは、午前中に、メキシコとの SATREPS 関係の話題を中心に、これまでの津波災害のメカニズムや伝播ソースに関する連携研究ならびに避難計画の策定とその試験運用について報告がなされた。特に、メキシコより招へいた 2 名の自治大学の先生方からは、防災研との共同による貴重な発表等を頂き、連携研究がメキシコにおいて実際の避難計画に活用されていることが示された。

この研究では、また沿岸の潮位観測ネットワークが紹介され、メキシコにおける津波監視網の拡充も今後の課題であることが強調された。

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

(構成メンバー)

	氏名	部門・センター	役職
1	井口正人	火山活動研究センター	教授
2	多々納裕一	社会防災研究部門	教授
3	矢守克也	巨大災害研究センター	教授
4	吉村令慧	火山活動研究センター	教授
5	竹見哲也	気象・水象災害研究部門	教授
6	丸山 敬	気象・水象災害研究部門	教授
7	藤田正治	流域災害研究センター	教授
8	平石哲也	流域災害研究センター	教授
9	森 信人	気象・水象災害研究部門	教授
10	榎本 剛	気象・水象災害研究部門	教授
11	大見士朗	地震災害研究センター	教授
12	山路明彦	気象・水象災害研究部門	特定教授
13	大西正光	巨大災害研究センター	准教授
14	西村卓也	地震災害研究センター	准教授
15	中道治久	火山活動研究センター	准教授
16	為栗 健	火山活動研究センター	准教授
17	竹林洋史	流域災害研究センター	准教授
18	宮田秀介	流域災害研究センター	准教授
19	吉田 聡	気象・水象災害研究部門	准教授
20	井口敬雄	気象・水象災害研究部門	助教
21	眞木雅之	ユニット専任	特任教授
22	石井杏佳	ユニット専任	特定助教

(ユニット長)

令和3年12月～令和6年3月 井口正人

(ユニット活動費)

文部科学省科学技術試験研究委託事業
「課題D：火山災害対策技術の開発」、
災害の軽減に貢献するための地震火山
観測研究計画（第2次）など

(2) 活動の内容

令和4年度は研究集会（鹿児島市、30名出席）を開催するとともに、本研究所の研究発表講演会における特別セッションで研究発表を行った。

① リアルタイムの火山灰ハザード評価手法の開発

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

② 火砕流の発生と流下予測

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

③ 噴火後の土石流および泥流の発生に関する観測と予測手法の開発

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

④ 大規模火山噴火による航空輸送への影響把握のための予測システムの開発

桜島を対象として、想定されうる航空輸送への影響を噴火シミュレーションとフライトデータとの連動により時空間レベルで把握し、噴火情報の更新に伴う最適フライトコントロール方法、航空機の

被災回避行動と空港の収容能力を検討する。

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

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

⑥ 大規模噴火リスク評価モデルの構築

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

⑦ 地域との連携による火山災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

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

⑧ 噴火活動サイクルを考慮した火山地域の土砂流出予測

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

⑨ 火山噴火時の飛散物の運動のモデル化

噴石・火山灰などの噴出物の移流、拡散、飛散運動を再現するための飛散運動モデルを開発し、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て、種々の条件下の飛散運動を求め、降灰予測や、噴石の落下によるハザードマップの作製に役立てる。

⑩ 海域噴火による軽石の漂流予測

⑪ 海底噴火による津波の予測

8.14 技術室

【室の活動概要】

① 技術室の組織

技術室は、それまで防災研究所の部門やセンターなどに所属していたすべての技術職員を集約組織化して平成 8 年度に発足した。発足当時の技術職員の定数は 33 名だった。その後の定数削減によって令和 4 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、再雇用職員 0 名の計 19 名（定数換算 19 名）である。

新規採用者は、令和 4 年 4 月に 1 名（達山康人）になっている。退職者は、令和 4 年度は 0 名であった。技術職員の平均年齢は、団塊世代の一斉退職後、若手の採用を積極的に取り組んだことで急速に若年化した。現状 39.3 歳とバランスが取れてきている。定員未達の 2 名枠については派遣職員や特定職員の公募をおこなったが適材が見つからず、職員採用は次年度以降に持ち越しとなった。

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

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

また、令和 4 年度末時点で技術職員を配置した隔地観測所は、桜島火山観測所 2 名、宮崎観測所 1 名、白浜海象観測所 1 名、穂高砂防観測所 1 名、阿武山観測所 1 名、宇治川オープンラボラトリー 2 名となっている。

② 技術室の活動

(1) 技術支援活動

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

る。

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

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

技術支援については、原則として支援を希望する教員などから、技術支援依頼票を事前に技術室に提出していただき、技術室が技術支援を実施する技術職員を決め、その技術職員が支援依頼を要請した教員の指示のもとで、技術支援を実施するという方式を採っている。平成 22 年度からは技術室ホームページ上からウェブ申請ができる仕組みを導入しているため、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 4 年度の短期支援依頼は 38 件、長期支援依頼は 10 件の合計 48 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 4 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 4 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。また、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 SSH (Super Science High school) 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 4 年度東京大学地震研究所職員研修会、令和 4 年度京都大学防災研究所研究発表講演会、令和 4 年度技術職員研修（第 2 専門技術群：システム・計測系）。

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

令和 4 年度に新たに取得した資格等は、第一種衛生管理者、特定化学物質作業主任者、危険物取扱者乙種 4 類、フォークリフト運転講習、玉掛け作業者、床上操作式クレーン運転技能講習、応急手当普及員、統計士などである。このほか、毎年度、所内の教員の協力を得ながら 2 日間程度でテーマを決め技術室独自で研修を実施している。令和 4 年度は、阿武山観測所を訪れてその歴史や地震波形を使ったアナログ的な震源決定等の研修を行った。



写真：技術室研修の様子