

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术を考究し、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、分野横断的な学术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）」、「気候変動リスク情報創生プログラム（平成 24～28 年度）」に引き続き、「統合的気候モデル高度化研究プログラム（平成 29～令和 3 年度）」、領域テーマ D 統合的ハザード予測」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。

令和 2 年度「S I P『国家レジリエンス（防災・減災）の強化』防災分野の研究開発の全体俯瞰に関する調査」においては、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、防災科学技術政策の変遷や、国、地方自治体、民間の防災研究予算やその取り組みの内容に関して俯瞰的把握を進めるとともに、防災研究のあるべき姿に関して提言を行った。

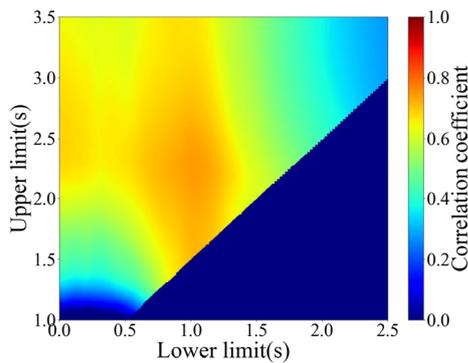
また、令和 3-4 年度には S I P『国家レジリエンス（防災・減災）の強化』防災研究に関する投資効果分析手法の研究開発」を推進しており、当部門の研究者が中核となり、防災研究所の多くの研究部門と協力して、研究成果を社会実装した場合の効果の計量化手法に関して研究を進めている。

【研究分野の研究内容】

I. 都市空間安全制御研究分野

① 地動最大速度にけるフィルタの検討

地震動強さ指標として用いられる地動最大速度のフィルタを建物被害と対応させる検討を行い、1~2秒以外をカットするフィルタをかけると建物被害との対応が向上した。特に、対応が悪かった長周期地震動についてその効果が顕著であった。また、その結果を振動実験によって検証、確認した。



フィルタの上限下限と被害との相関係数の関係

② 木造建物の靱性能の設定に関する検討

現存する木造建物を模擬した非線形建物群モデルで地震応答解析を行って地震被害推定を行う際、全壊する塑性率は一定値とすることが多いが、壁量が多く耐力が大きくなれば、靱性能が低下するのではないかと考え、過去の振動実験結果から耐力と靱性能の関係からモデルを設定して地震応答解析を行い、強震観測点回りの被害データと照合した。その結果、被害推定精度が向上することがわかった。

③ 一層箱型木造試験体の開発

地震動の破壊力を測るための一層箱型木造試験体の開発を行った。静的試験を行ってその結果を重ね合わせ、錘の重量、二層から一層になることによる周期を地震動の時間刻みを調整することで振動実験を行い、実際の被害を再現できることを確認した。

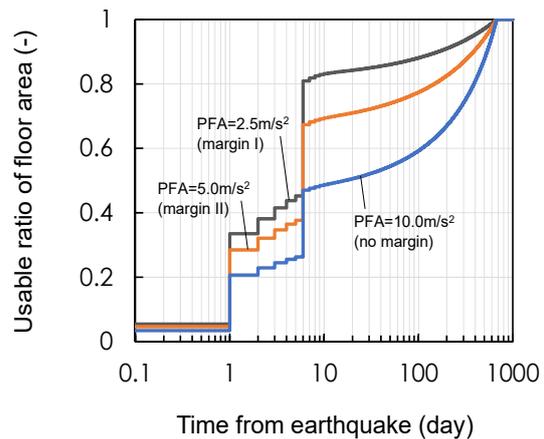
④ 過去の強震記録と震度から建物被害と対応した1-1.5秒震度を推定する方法の開発

地震発生直後の被害推定を行う際、震度ではなく建物の大きな被害と対応した1-1.5秒震度を用いることで精度が向上するが、震度計では、震度情報しかない。そこで、周辺の過去の強震記録のスペクトル

ルの形状が類似すると考え、地震発生直後の震度計での1-1.5秒震度を推定する方法について検討した。その結果、震度にして±0.5程度の精度で震度から1-1.5秒震度を推定できることがわかった。

⑤ 火災リスクの観点からの建築物の地震レジリエンスの定量化

地震による被災を想定した事業継続計画に火災時の避難安全性の観点を導入するため、地震で被害を受けた建築物の火災リスクを評価する手法を開発した。具体的には、建築物の火災リスクを、複数の防火関連設備の奏功・不奏功の組み合わせから成る各火災シナリオの生起確率と各火災シナリオで生じる死傷者数の積の和、すなわち、日間火災死傷者数の期待値と定義し、地震後の火災リスクの評価に必要な、(1)地震後の出火率、(2)防火関連設備の地震被害率、(3)防火関連設備の地震後復旧率、を予測するモデルを作成した。また、地震後の継続使用においては、地震後の火災リスクが平常時のレベルに制御されていることが重要であると考え、地震後の火災リスクが地震前のそれと同等になるような利用可能床面積の割合を継続使用性の定量的尺度として採用し、それを地震からの経過日数の関数として評価したものを地震レジリエンスカーブと名付け、その評価例を建物の耐震余裕度レベル別に示した。



火災リスクの観点からの建築物の地震レジリエンスの評価例
 (建物の耐震余裕度レベル別)

⑥ その他

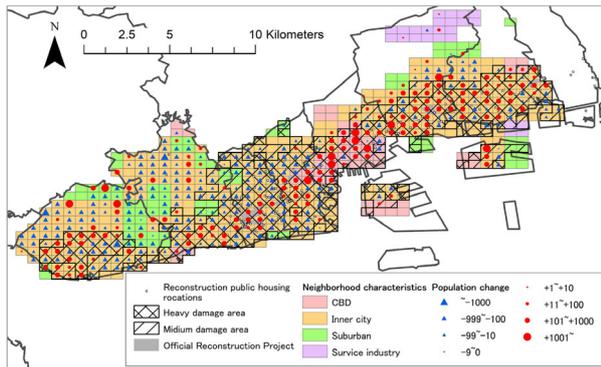
2021年、2022年の福島県沖の地震の被害調査を行い、その結果を広く公開するとともに、新聞・テレビ等のメディア出演を通して、社会貢献に努めた。

II. 都市防災計画分野

① 南海トラフ地震の事前復興に関する研究

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。特に復興については、災害が地域に与える影響のシミュレーション手法の開発を行っており、阪神・淡路大震災（1995）、新潟県中越地震（2004）、東日本大震災（2011）のデータを用いて被害／地域特性と人口変動の関係を明らかにし、地域固有の人口トレンドが災害後の人口変化の決定要因となっていることを明らかにした。

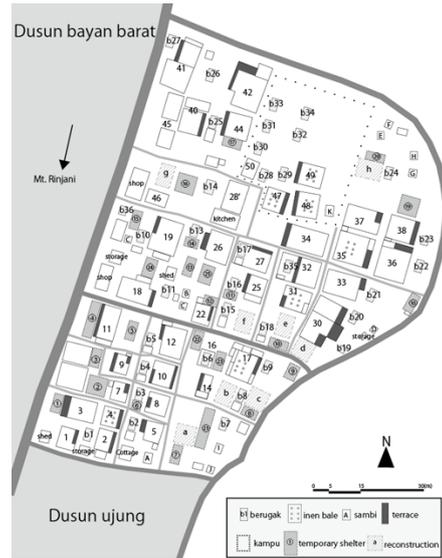
また、南海トラフ地震の被災が想定される自治体において事前復興計画策定の取り組みを進めるとともに、計画策定のためのツール開発をおこなっており、復興まちづくりについて考える啓発ツールとしてのボードゲームの開発も行っている。



災害による長期影響評価（2005年～2015年）

② 災害後のすまいに関する研究

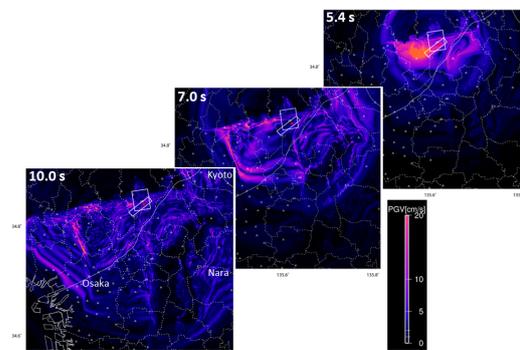
科学研究費基盤研究（A）「応急仮設住宅「学」の確立」（令和3～7年）他の研究プロジェクトにおいて災害後のすまいに関して様々な視点から分析を行っている。東日本大震災の被災地における質問紙調査から復興事業に参画する、復興公営住宅に入居する居住者の特性についての分析を行っている。またインドネシア・ロンボク島地震（2018）のすまい再建プロセスについての分析を行い、仮設住宅が伝統的な居住形式に対する影響評価を行い、その影響は限定的であることを明らかにした。



災害1年後の集落配置（仮設住宅期）
 （2018年ロンボク地震、バヤン村）

③ 盆地の堆積層構造のモデル化に関する研究

「奈良盆地東縁断層帯における重点的な調査観測」の下で、地震動予測計算に用いるため、奈良盆地～京都盆地の堆積層構造のモデル化を進めた。同重点研究では反射法地震探査やボーリング調査、微動アレイ探査などの地下構造調査が実施されたが、さらに過去に自治体等で実施された調査結果も集約し、堆積層の3次元構造モデルを構築した。また、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」においては、大阪平野を擁する大阪盆地について、既往堆積層構造モデルの検証や修正を進めた。2018年大阪府北部地震の再現シミュレーションによるモデルの検証では、盆地内を複雑に反射する多数の後続波の再現度や堆積層の減衰定数の周波数特性に関する知見を得ることができた。

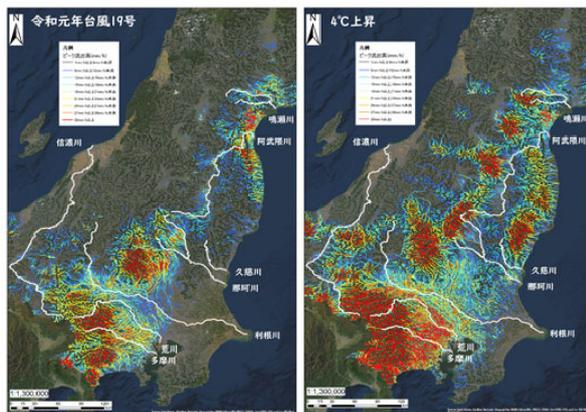


地震波伝播の再現シミュレーション

Ⅲ. 防災技術政策研究分野

① 流域水循環のプロセス解明・モデル化・予測に関する研究

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。主として、Rainfall-Runoff-Inundtion (RRI)モデルの開発・応用に関する研究を進め、国内外の河川流域を対象として、中小河川も含めた流域一体型の降雨流出、洪水氾濫の解析を進めている。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(平成30年度～令和4年度)。この課題では、日本全国を対象に、空間解像度約150m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ている。全国版のRRIモデルを用いてリアルタイムで洪水を予測するためのシステムを開発するとともに、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んだ。さらに、環境省のプロジェクトにも参画し、2019年台風19号の擬似温暖化実験とその結果の公表も進めた。



東日本台風の擬似温暖化実験：河川流量変化

② 水災害の現地調査と浸水分布推定

災害の実態を把握し、今後の減災を検討するために水災害の現地調査や解析を実施している。令和2年球磨川豪雨を対象に、①で開発したモデルを用いた降雨流出・洪水氾濫の一体解析を進めた。モデルで推定された流量データを他の研究機関にも提供し、

詳細な氾濫解析の実施にも寄与した。また、気象庁から提供されるメソアンサンブル予報(MEPS)や降水短時間予報を用いた洪水予測精度の可能性について研究を進めた。

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。特にスマトラ島のバタンハリ川流域においては、熱帯雨林における豪雨時の地下水変動を観測し、その現象解明と水文モデルへの反映について検討した。文部科学省「統合的気候モデル高度化研究プログラム」に参画し、気候変動と土地利用変化の影響分析と適応策について検討を進めた。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一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調査によって明確化し、現地政府や研究機関とも協働しながらその解決に向けた実証的な研究を進めた。

④ その他

27編の完全査読付論文(うち16編は国際ジャーナル論文)として学術雑誌に発表した。8件の招待講演・特別講義・市民向け講演を行い、研究内容の紹介や減災のための啓蒙活動に努めた。アジア太平洋地域における水文・水資源研究の我が国の国際的リーダーシップを確保し、今後の防災研究に繋がる広範な人的ネットワークを構築するために、ユネスコ国際水文計画(IHP)の活動を継続的にリードした。

『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4年3月時点で50名の大学院生が修了した。令和2年度、令和3年度にそれぞれ1名のJSPS 外国人特別研究員(インド出身、カンボジア出身)を受け入れた。

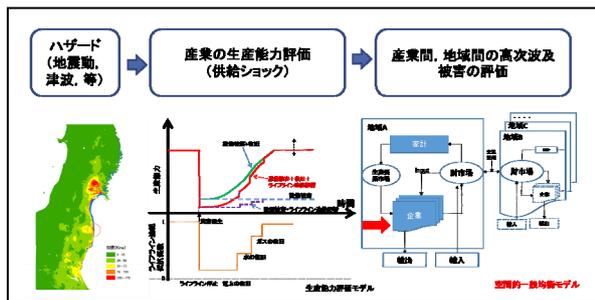
IV. 防災社会システム研究分野

① 自然災害による経済影響の計量化

自然災害による経済影響評価の方法論の開発を進めてきている。ハザードの観測結果を所与として、災害後のアンケート調査に基づいて産業の生産能力を推計する方法や、その能力の回復過程の推計、さらにはライフラインの機能停止の影響が産業の生産能力の低下をもたらす割合の推計方法を開発し、災害をもたらす直接的な生産能力低下の推計を進めてきている。

ライフラインの機能停止が生産能力の低下に及ぼす影響をライフライン途絶抵抗係数は、従来、専門家意見にもとづいた値が用いられてきたが、東日本大震災時に行ったアンケート調査に基づいて、推計することに成功した。また、熊本地震及び東日本大震災時の調査結果に基づいて、生産能力の回復過程をより精度よくモデル化することにも成功している。

SCGE モデルの地域間弾力性の設定や、被災地外での労働の下方硬直性等を盛り込んだ境界条件を設定することにより、従来再現が十分な精度で行われていなかったサプライチェーンインパクトの再現にも成功している。この成果により 2020 年 8 月 International Input-Output Association (国際産業連関分析学会) から Sir Richard Stone Prize, International Input-Output Association を受賞した。

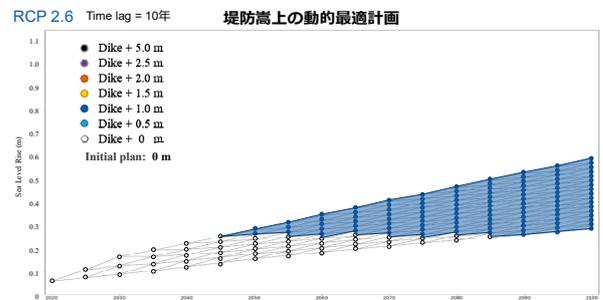


サプライチェーンインパクトの推計枠組

② 極端現象の増加を考慮した気候変動適応戦略

本研究では大阪湾を対象に、不確実な温暖化および高潮リスク増大への適応策として動的意思決定モデルを構築し、想定される経済損失を最小化するための堤防嵩上げ高さやタイミングを試算した。対象期間を 2000~2100 年に設定した上で、5 年毎に意思

決定を行える動的計画を検討した。IPCC による温暖化シナリオ、割引率、そして施工期間によるタイムラグが変化することで、これらの堤防嵩上げ計画とその効果へどのような影響が及ぶのかについて比較を行った。その結果は下記のとおりである。まず、動的計画では、割引率が低いほど将来の高潮被害が高く見積もられ、早期から嵩上げを実施する傾向が見られた。意思決定から嵩上げ完了までのタイムラグが長いほど推定される経済損失は大きくなり、より遅い時期に嵩上げが意思決定された、タイムラグ短縮による経済損失の軽減については、割引率が低いほど大きな効果が期待され、RCP8.5 ではさらに大きく軽減された。



RCP2.6 シナリオでの最適な堤防嵩上げ計画

③ 災害リスクコミュニケーション

気候変動適応策 (CCA) プログラムについて、地域コミュニティがどのように、またどの程度参加すべきかについての理解は少ない。そのため、グラウンデッド・セオリーの質的研究手法を用いて、気候変動の影響を受けているガーナ北部の 5 つの農村コミュニティにおいて、50 人の回答者を対象に調査を実施した。その結果、CCA プロジェクトにおけるコミュニティの参加は、そのプロジェクトがコミュニティの生活の安定に寄与している場合に成功したとみなされることが明らかになった。また、プロジェクトの成果は目に見えるものでなければならず、プロジェクトがコミュニティのスキルやトレーニングを向上させること重要である。

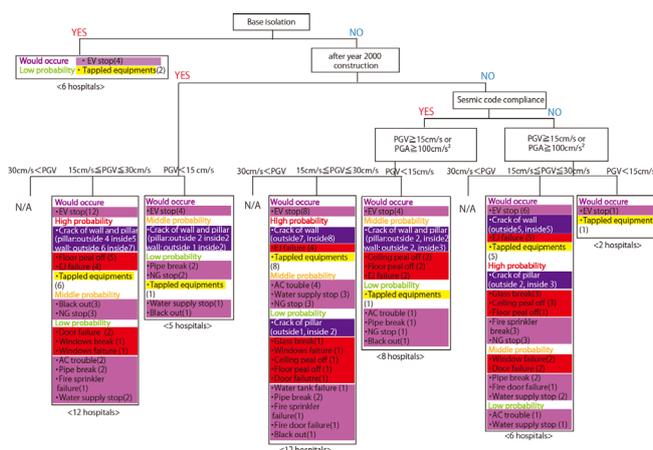
④ その他

18 編の査読付論文として学術雑誌に発表した。加えて 15 件の一般向け講演や、3 件の新聞・テレビ等のメディア出演を通して、社会貢献に努めた。

V. 地域医療 BCP 連携研究分野

① 地震時の病院機能に対する影響評価に関する研究

災害拠点病院で近年事業継続計画(BCP)策定が義務化されるなど、災害時の医療機能継続については喫緊の課題であるが、病院施設が被災した際の医療機能への影響評価手法は確立していない。大阪北部地震時の病院の建物・設備に対する被害と地震動の関係を明らかにするとともに、その結果をもとに京都市内の病院を対象に南海トラフ巨大地震等の発生時に病院施設が受ける被害の可能性を明らかにした。その結果、発生確率が高いとされる南海トラフ地震では、京都のように震源から大きく離れた地域においても、大阪北部地震以上の揺れが想定され、建築構造的な被害が発生しなくても医療機能の継続という観点からは、大きな問題となるような影響が発生する可能性があることを明らかにした。



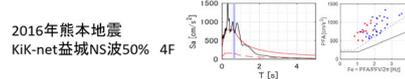
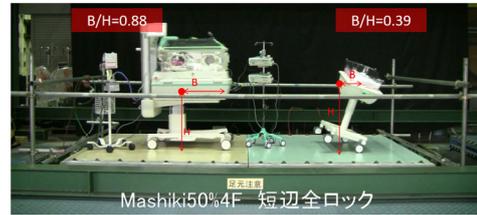
病院の地震影響評価モデル

② 医療機器の地震時挙動評価

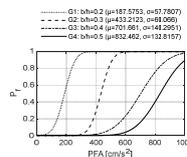
地震時における医療機器のロッキング・転倒対策の提案を目的として、防災研究所の保有する振動台を利用して獲得した医療機器の振動台実験と数値解析を分析し、機器の挙動を予測する被害関数や対策法を検討した。重心幅高さ比 b/h をパラメータとしたロッキングや転倒の被害確率曲線を構築したうえで、極稀な地震（再現期間 500 年程度）による建物内の床応答を想定した場合に、転倒確率を目標以下となる重心幅高さ比 b/h を明らかにした。また、抑

える対策として、現行機器の脚部に設置するセーフティウエイトの計算式を示した。

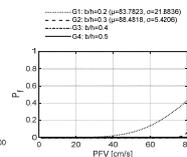
B/Hと転倒しやすさ



ロッキングする確率



転倒する確率



転倒確率低減用錘の計算式

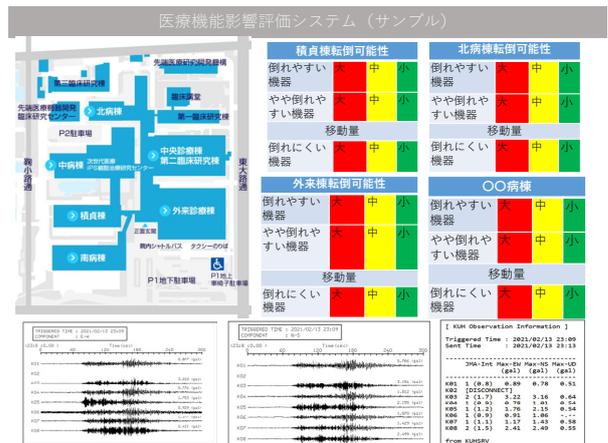
$$\alpha = \left(\frac{b}{h} \right)^{-1} - R_{target}^{-1} \times 100 [\%]$$

$$m = \frac{\alpha}{100} \times M$$

振動台実験結果の分析

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。データ保管の堅牢性確保や維持管理の労力低減を念頭に、防災研にデータを転送していたシステムからクラウド対応型に変更した。また地震応答推定システムに医療機器の転倒可能性を診断する機能を導入し、ホームページを通じて上記診断結果と地震観測情報を配信する「医療機能影響評価システム」を開発した。

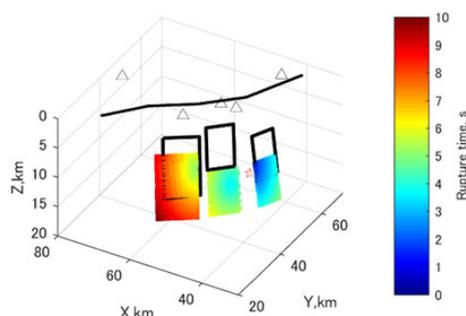


病院被害評価システム

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 熊本地震に対する運動学的インバージョンに基づく震源特性に関する検討

以下の4つはPhase-Iの研究テーマであり、本研究では、被害の集中した益城町において、西向きやや短周期パルスを再現できるモデルを相反定理を用いて推定した。既往のモデルを参考に3つのSMGAを仮定し、断層近傍4観測点での波形を対象に滑り速度関数のインバージョンを行った。益城町での再現性を重視するようとしたところ、観測記録をよく再現する震源モデルを同定できた。



同定したSMGAの位置と破壊伝播

② 熊本地震に対するバックプロジェクション法に基づく短周期生成領域の同定

熊本地震において短周期生成領域に関して有用な情報を得ること目的に、震源近傍の観測データを用いてバックプロジェクション解析した。震源スペクトルから震源位置相当での速度波形を求め、震源での短周期発生強度を求めた。その結果、布田川断層側では途中強度が下がった後に8km~13km付近で再び強度が上昇するが、そこでの短周期生成域は皆深くなく、深さ依存性が明らかとなった。

③ 熊本地震の強震動波形の再現性及び建物被害に関する検討

益城町での液状化を考慮した面的強震動予測を行い、建築年代を考慮した被害予測を行った。液状化を考慮した強震動予測では益城町南部で加速度は小さいが速度は大きい領域が生じた。建物被害予測では、古い年代の建物で大きな被害が発生していることが分かり、帯状の被害分布を再現できた。

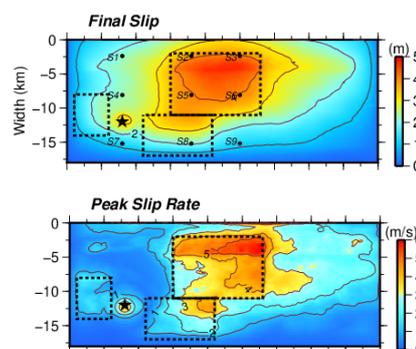
④ 運動学的インバージョンに基づく滑り量と地震規模との関係に関する検討

海外の内陸地震の運動学的震源インバージョン結果にトリミングを施し、アスペリティを抽出して、記録の種類や地震モーメントによりスクリーニングをかけた後、断層面積とアスペリティ総面積のスケールリング則の既往提案の定量的比較を行った。その結果3ステージモデルの妥当性が示された。

⑤ 動的破壊シミュレーションに基づく断層幅と地震発生層との関係に関する検討

動的破壊シミュレーションによる2016年熊本地震本震の強震動波形の再現を試みた。その結果、KMMH16における1秒以上の長周期域の速度波形と変位波形において3成分とも観測値の主要部を再現することができた。

得られた最適モデルの滑り量と最大滑り速度



⑥ 海溝型巨大地震のスケールリング則の再評価と滑りの不均質性を考慮した強震動予測

国内外の海溝型地震の運動学的震源インバージョン結果を用いて断層面積や平均すべり量などに関して既往のスケールリング則と比較し評価した。M0-L関係ではスケールリング則と整合的な結果となった。

⑦ 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

近畿地方の硬質岩盤観測点で地震動の水平上下比に対する理論解で地盤構造を同定した。いずれの地点でも観測結果をよく再現できる構造が得られたが、その多くの地点でかなりの増幅が生じていた。

⑧ その他

2020年度は3編、2021年度は13編の査読付論文を発表した。各年度に1回ないしは2回研究室主催のセミナーを開催し、50人以上の参加者。

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、ハリケーンの強大化など）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) 研究領域と役割

巨大災害過程研究領域では、巨大災害による被害を軽減するための研究を、社会科学・自然科学(文理

工)を融合して、また、理論と実践の往還を重視して行っている。特に、社会科学の立場から、地域コミュニティ、自治体、学校といった防災・減災の第一線の当事者との共同実践研究(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、情報学な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。

(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) IDReM 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)

【研究領域の研究内容】

I. 巨大災害過程研究領域

⑦ 防災・減災に関するアクションリサーチ

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

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

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

⑧ 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。

⑨ 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。

⑩ 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

⑪ 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。

基盤研究として、地理情報システムを扱ううえで最も大きな課題のひとつである、大規模な時空間データの管理手法を研究開発した。近年の情報システムの高性能化に伴って、次世代の地理情報システムには、高時間・高空間分解能のデータを効率的に処理することが求められる。そのため、高時間・高空間分解能のデータを高速な格納、入出力する機構を研究開発した。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。本技術は防災に関する情報システムの飛躍的発展を根幹から支える技術となると期待できる。

さらに応用研究として、地理情報システムを活用した効果的な災害対応策に関する研究を行った。荒川と隅田川に挟まれ大規模水害発生時に多数の住民が長期間孤立することが想定される江東デルタ地域を対象に、長期間孤立する住民を減らすための救助戦略を検討した。高層階への一時避難や排水施設の稼働など様々な条件を加味し、より効果の高い戦略を定量的に調査した。本研究は、状況の複雑さ等の理由から未だ事例の少ない災害救助に関する研究について、解析のひとつの道筋を示した研究と言える。

⑫ 効果的な災害対応を実現するための ICT に関する研究

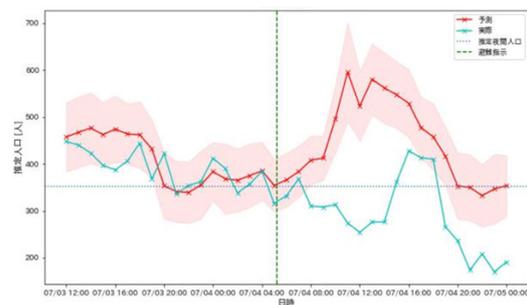
急激な進化を遂げる情報システムの先端的な技術を積極的に利用し、実務面からの意見も踏まえた新しい災害対策手法を検討している。本研究領域では、AI（自然言語解析、機械学習）、プラットフォーム学等、最先端の ICT を使った効果的な災害対応手法について、主に 3 つの観点から研究を行った。

自然言語解析を用いた災害対応手法として、自然言語処理技術を用いて災害廃棄物処理に関する内容

を対象に地域防災計画における記述の不備を抽出する課題発見支援手法を提案した。これは、災害経験の少ない自治体であっても発災時に問題なく災害対応を行うための支援技術であり、全国の自治体の 3445 文書をデータベース化、手法を研究開発するとともに、自治体での活用可能性を検討した。また、機械学習を用いた研究として、発災直後の被害状況の把握は困難である建物被害について、空撮映像を利用した検出手法を提案した。災害データへの機械学習の適用は精度の担保や対応への活用など多くの課題があるが、学習機構や実務での運用方法などへの様々な工夫が評価され、情報処理学会の主要シンポジウムでの最優秀論文賞等、多くの賞を受賞した。

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。これまで数多くの避難行動モデルが開発されてきたが、評価用データ収集の難しさから再現性以外のモデルの妥当性検証は困難であった。この研究では、実データとしてモバイル空間統計データを利用した定量評価を提案するとともに、モデル比較のための必要要件を検討した。

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。



モバイル空間統計データを利用した災害時人口推定

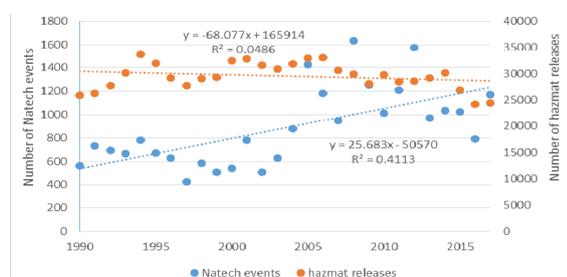
⑬ その他

研究成果は、24 編の完全査読付論文、28 件の講演、29 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

⑭ 気象ハザードと関連した Natech 事故の検証

Natech とは、自然災害を契機とした有害物質の流出を伴う技術的な事故を指す。2020 年には熊本の金属加工業におけるカーボン工場火災の調査を行った。その結果に基づいて、Natech リスクに対するガバナンスとマネジメントの欠陥を示し、技術事故のリスクマネジメントのパラダイムシフトの必要性を指摘するとともに、新しい Natech リスクマネジメントのフレームワークとパフォーマンス評価システム、Natech-RateME を提案した。このフレームワークは、レジリエンス工学と確率的リスクアセスメントの概念に沿ったもので、領域内のハザードとリスクをシステムの分析する指針となり、工業団地のパフォーマンスを評価するツールとなる。また、2020 年には、熱帯低気圧に関連した Natech (TSNatech) の発生率や変動と気候変動の関係について、米国を対象に分析した(下図参照)。また、大阪大学との共催によって第 5 回国際シンポジウム「大規模工業団地における自然災害と技術的リスクの軽減に関する国際シンポジウム」を開催し、20 カ国以上から 120 人以上の参加者を得た。



米国で NRC データベースに報告された危険物 (ハズマツト) 放出と Natech 事象の件数 (1990~2017 年)

⑮ リスクの評価、管理、コミュニケーション

2021 年に、地中の石油・ガス輸送パイプラインに対する土石流の影響に関する、簡略化された統合型ハザード・脆弱性モデルを開発し、Natech リスク評価と管理をサポートした。また、EGNARIA と名付けたシリアスゲームの最初のプロトタイプを開発し、学生を対象に試験運用した。また、大阪大学との共

同プロジェクト「沿岸部における大規模産業災害の自然災害によるリスク低減のための統合的アプローチ」(2019-2021)が完了した。同プロジェクトでは、2022 年 3 月に第 6 回国際シンポジウム「Natech リスクマネジメントのためのグローバルな視点」(ボゴタ、コロンビアとオンライン)を共催し、1000 人を超える参加者を得た。

⑯ 巨大災害リスク下の経済成長分析

開発途上国や島嶼国で発生する大規模自然災害がもたらす経済成長への影響や、防災政策の効果を議論するための経済成長モデルを開発した。モデルは洪水や干ばつなどの複数の災害を同時に対象とし、堤防やダム、土地利用や、保険や政府のレイヤー型資金調達戦略などの複数の防災対策を考慮する。そして数値シミュレーションを通じて、マクロ経済変数の変化過程と併せて、実際に災害が発生しなくても投資の誘導をもたらす防災対策の事前効果や、平常時には防災以外の働きをする共便益生産拡大効果などを計算する。モデルは国際応用システム分析研究所(オーストリア)との共同で開発され、Dynamic Model of Multi-hazard Mitigation Co-Benefits (DYNAMMICS)と名付けられ、アフリカとカリブ海の 4 か国に適用された。結果の一部は、国連防災オフィスが発行する Global Assessment Report 2022 の基礎論文として採択された。

⑰ COVID-19 への対応に関する社会工学的研究

新型コロナウイルス(COVID-19)のパンデミックへの社会の反応や対策に関して複数の視点から研究した。具体的には、コロナ禍において地域商店街を災害避難所として活用する提案を行う地域フィールド研究や、「新しい生活様式」と伝統的慣習の混在を儀礼の形成問題と捉えた数理社会学的研究、クルーズ船における感染拡大過程と防止対策を分析する確率モデルの開発などを行った。

⑱ その他

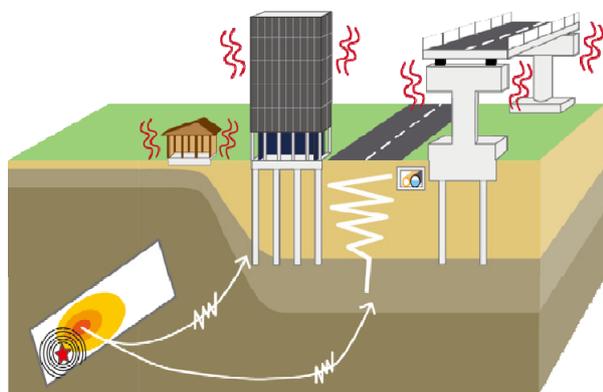
研究成果は、24 編の完全査読付論文、2 冊の書籍(編著)、19 件の国際・国内会議発表を通じて行われた。

8.3 地震災害研究部門

【部門の活動概要】

(1) 研究対象と活動方針

地震災害研究部門は、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→耐震設計・施工という、地震災害・防災に関わる主要研究課題に対して、理学および工学的アプローチを融合することによって科学的かつ総合的研究を推進する。その目的の為、本部門は、以下の3研究分野（強震動、耐震基礎、構造物震害）で構成されている。



部門の全体像

(2) 研究分野と役割

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を目的として、強震動観測記録と震源の物理・地震波動理論に基づいた、震源からサイトに至るまでの強震動の生成・伝播機構に関する基礎研究を行うとともに、それらに基づいた合理的かつ信頼性の高い

強震動予測手法に関する研究を行っている。

耐震基礎研究分野では、都市基盤施設の耐震性評価における入力地震動の設定を目的とした地震動特性の分析、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に関する研究、また多様な分野の先端技術を取り入れた次世代の耐震/防災技術に関する開発研究を進めている。

構造物震害研究分野では、建物等に作用する地震動とそれによる地震応答特性および地震危険度を適確に把握することを目的として、地震動に影響を及ぼす要素の特性およびそれらの影響度を把握する研究、より実体に即した建物耐震性向上に関する研究、不確実性を考慮した地震被害リスクに関する研究などを行っている。

(3) その他（横断的な活動等）

地震災害軽減や、地震現象の理解に関する社会への啓蒙活動を、国・地方自治体等の地震調査研究や地震被害想定に関する委員会、関連学会での各種委員会、講習会等を通じて行っている。

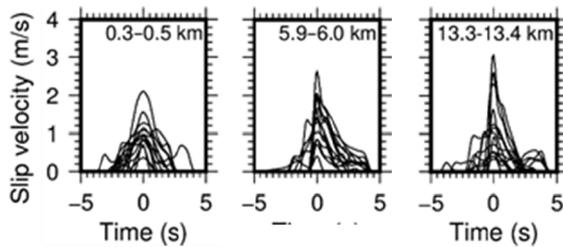
また、本部門の教員が核となって、地震災害研究に関する理学、土木工学、建築学の研究コミュニティの連携を図るため、各分野の最新の研究内容や被害地震に関する調査研究報告を、特に若手研究者に話題提供をしてもらい、常に情報共有を図っている。

【研究分野の研究内容】

I. 強震動研究分野

① 震源での強震動生成機構の研究

2016年熊本地震(本震)を対象に、震源インバージョン解析時の断層モデルの表現方法を改良し、再解析を行うことで、震源近傍地震動の再現性を向上した。また、深さ約3 kmを境に、浅部と深部でのすべり速度関数の形状の違いを議論した。



深さによるすべり速度関数の違いの例

② 地震波の伝播・サイト特性の研究

大阪平野及び京都盆地における強震観測記録の自己相関解析を行った。解析時のデータ選択規準やスペクトル白色化やフィルタの係数などを適切に調整することで、堆積層-基盤岩境界で生じた多重反射を検出し、堆積層厚と関係するS波走時情報を得た。両盆地の多くの地点で、観測反射波走時は現在の深部地盤モデルから計算される走時と整合していることを示して、現モデルの妥当性検証を行うとともに、盆地縁辺部等で基盤深度の見直しが必要となる地点を特定することもできた。

近江盆地南部の14地点で、大半径の微動アレイ探査を実施し、浅部地盤から盆地基盤面までの堆積層部分のS波速度構造を推定した。

強震記録から震源特性、地震波伝播特性、サイト特性を分離するスペクトルインバージョン法を北陸地域及び静岡地域の各データセットに適用し、各特性を求めた。震源特性である応力降下量が深さ依存性を示していることを改めて示した。また、サイト特性を観測点直下の地下構造による増幅と対応づけることで、観測点直下の地下構造モデルの推定を実施し、浅部・深部の地盤構造に関する情報を得た。

③ 強震動予測に関する研究

令和元年度から3年度まで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」を、所内他部門・他センターの教員の他、同志社大学、産業技術総合研究所などと協力して実施した。本分野では、断層帯近辺の地下構造を知るための奈良市及び天理市での反射法地震探査の実施、奈良盆地において長尺ボーリング調査と堆積層の地震波速度を直接計測するVSP探査の実施、奈良盆地と京都盆地南部での微動アレイ探査による地盤構造調査を実施した。

既往研究成果やこれらの調査結果をもとに、奈良盆地東縁断層帯が活動した場合に強い揺れに見舞われる、近江盆地南部、山科、京都南部、山城、奈良盆地地域の浅部・深部地盤構造モデルを構築、高度化するとともに、重点的な調査観測で得られた情報を集約し、奈良盆地東縁断層帯を想定した強震動予測を実施した。

また、対象地域のやや長期の地震活動を知るため、中世の京都及び奈良地域で地震被害に関する歴史史料の分析を行い、内陸で発生した中規模地震の可能性が高いことを示した。

加えて、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、オンライン形式の地域勉強会を開催した。

日本海側の地震・津波ハザード評価の高度化を目的とした文部科学省委託研究「日本海地震・津波プロジェクト」(代表機関:東京大学地震研究所)では、富山平野及び津軽平野の深部地盤構造モデルを新たに作成したとともに、東北地方日本海沿岸域や陸域の活断層を対象とした強震動予測を行い、震度分布の特徴を調べた。

④ その他の活動

地震調査研究推進本部委員や自治体等の地震被害想定等委員会、関連学会等の委員を務め、地震被害に直結する強震動の評価や学術的な指導を行っている。

II. 耐震基礎研究分野

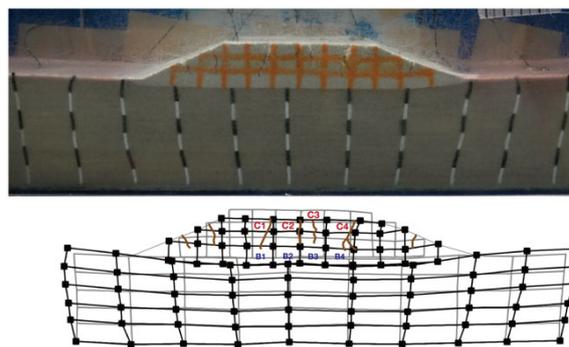
① 地震動の発生・伝播メカニズムの研究

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、震源断層の破壊プロセスは入力地震動を設定する際の重要な要素の1つである。分岐部を持つような断層（分岐断層）では、分岐部に向かって破壊が進展するという考え方が一般的であったが、平成 28 年熊本地震本震では、分岐部より破壊が進展するという従来の考え方と異なる現象がみられた。そこで分岐断層における破壊メカニズムを明らかにするため、拡張有限要素法（XFEM）を用いた数値解析によって分岐断層における破壊の進展方向について考察した。

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。

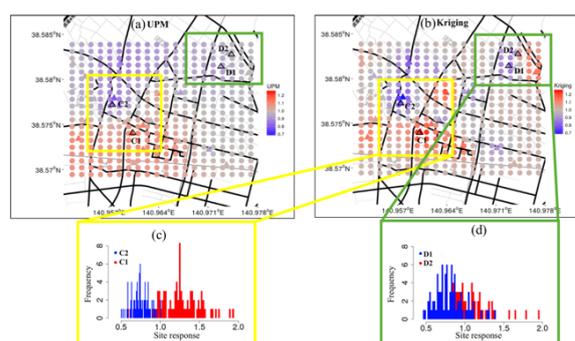
盛土構造物は地震時に大きく崩壊するなど、機能が失われる事例の多い構造物である。地震被害事例によれば盛土天端部や法面に縦断方向に開口クラックが発生する事例が多く認められている。一方、耐震設計を行う上での盛土の破壊性状はすべり面を仮定した照査が一般的である。地盤材料の破壊という側面で要素レベルでの振る舞い考えれば、前者の実事例は引張破壊によるものであり、後者はせん断破壊を仮定したものであり考え方が異なる。そこで、遠心場振動台実験により開口クラックの生成メカニズムについて検討を行った。下部地盤の液状化により盛土が概ね一様に水平方向に引張されることが画像解析により確認され、これにより天端からクラックが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）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。



UPM 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。

Ⅲ. 構造物震害研究分野

① 微動観測に基づく地盤構造推定に関する研究

微動観測記録に基づき、アレイ解析および微動水平上下スペクトル比 (MHVR) から邑知瀉平野の地盤構造を推定するため、盆地を横切る方向に7測線、盆地に沿う方向に1測線、南東側の山中で14地点を設定し、計113地点で独立した30分の常時微動単点観測を行った。また、平野内の3箇所でも微動アレイ観測を実施した。防災科学技術研究所 (NIED) の強震観測網 (K-NET) のK-NET七尾とK-NET羽咋の土質データおよび地震ハザードステーション (J-SHIS) の深部地盤モデルデータを参考に全地点共通の層構造の物性値を定めた。次に、アレイ観測地点での観測 MHVR と位相速度分散曲線に基づき各層の層厚を決め、それを推定地盤構造モデルとした。アレイ地点での推定地盤構造モデルを基準とし、単点微動観測点において観測 MHVR から層厚を決め、地盤構造を推定した。推定地盤構造モデルを用いた強震動シミュレーションを実施したところ、J-SHIS モデルに比べて、邑知瀉平野内でモデル最上面での最大速度 (PGV) が大きくなる範囲が広くなり、特に邑知瀉平野の中部から南西部の盆地南東端に沿って PGV が大きくなることが分かった。

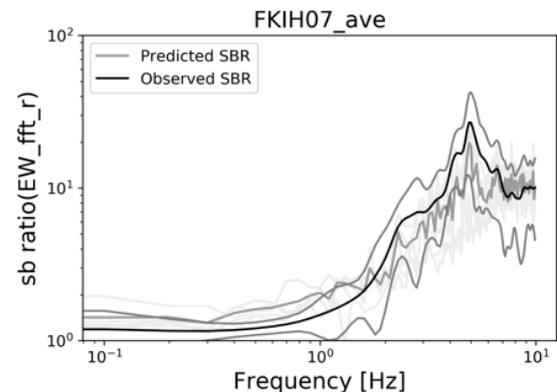
② 微動水平上下スペクトル比の方依存性と地盤増幅特性の関係に関する研究

既往の研究により MHVR は二次元・三次元の地盤・基盤構造がある場合、一次元の構造を想定して計算される理論 MHVR と比べて、振幅にして30~40%ほど異なる場合がある事が指摘されている。また、拡散波動場理論に基づいて、二次元の基盤構造がある場合は MHVR に方位依存性が見られることから、MHVR の特性と基盤構造との関係を把握し、それが地震動の地盤増幅特性に与える影響について検討した。対象地域としては、基盤構造について京都市による既往の調査結果がある京都盆地と東山山地部境界で形成される地域とした。京都盆地において微動観測を実施した結果、二次元・三次の基盤構造に対応する MHVR の方位依存性が確認された。一方、5つの基盤構造モデルを考慮した数値解析によるパラメトリック解析を実施したところ、基盤構

造の違いより盆地境界からの距離が同様でも、MHVR の形状や振幅特性に違いがあることが分かった。さらに、基盤構造の違いによるエッジ効果による地盤増幅特性の違いを確認した。

③ リカレントニューラルネットワークを用いた地盤増幅特性のデータ駆動型推定

1996年以降、わが国においてはNIEDにより、K-NETとKiK-netが構築され、多量の地震動記録が蓄積されている。これらのデータを活用して、データ駆動型推定により直接地盤増幅特性を推定するためのリカレントニューラルネットワーク (RNN) を構築した。最終的な目標は微動観測記録からその地点の地盤増幅特性を推定することであるが、まずはS波コーダ部分を用いた検討を行った。S波コーダは地震動の後続部の小さな震動であり、その時刻歴を地震動記録から大量に入手できる。RNNは、S波コーダ部分を入力として、その地点の地盤増幅特性を推定するように構築し学習させることで、多くの地点において地盤増幅特性を機械学習により正しく予測できることを示した。



KiK-net 小浜 (FKI07) において構築した RNN により推定した地盤増幅特性

④ その他の活動

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・実務的の指導を精力的に行っている。

8.4 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、耐震機構研究分野、地震テクトニクス研究分野および地震発生機構研究分野の三研究分野で構成されている。地震の発生メカニズム、地震波の伝播ならびに建築構造物の地震時の性能評価に関わる研究課題に対して、理学的・工学的アプローチで科学的・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た。

特に、地震発生ポテンシャルの長期予測と地震災害の長期予防法の構築は、本部門の最終目標であった。地震防災のうち「災害の長期的予防」を念頭に、大地震が起こる過程を長期的予測に沿って検討する研究と、来るべき大地震に向けて社会が息長く続けるべき耐震対策を提案する研究を展開した。

(2) 研究分野と役割

耐震機構研究分野では、建築構造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た。人命確保という従来からの耐震性能だけではなく、地震後に生活の質を確保するという機能維持や事業継続を考慮した耐震性能の評価、地震直後に構造物の状態を把握するためのモニタリング技術の開発にも取り組んだ。地震後の建物機能が構造部材の損傷だけに依存しないことから、非構造部材の性能評価も視野に入れるようになった。技術のグローバル化と建物の使用目的に見合った学術的知見の提供という観点から、耐震評価の再検討も実施した。地震動予測の近年の進展を受けて、設計で想定しなかった大振幅地震動に対する構造性能を評価するとともに、成熟社会における既存建物の有効利用を目指して新構法による耐震補強技術を開発した。一連の研究は、部材・骨組から建物全体までの構造性能を、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た。地震時の建物挙動が時間に依存する現象であることから、振動台実験、

振動計測および振動解析といった動的な視点をより積極的に取り入れると同時に、工学分野として得られた研究成果が一般社会に組み込まれ易い発表に努めた。

地震テクトニクス研究分野では、地球電磁気学、地震学などの地球物理学的手法に基づいて、沈み込むプレート境界の周辺、内陸の下部地殻および火山周辺における地殻構造の不均質性を明らかにして、地震発生場への応力蓄積過程の解明を目指した研究を推進した。これらの研究により、長期予測の視点に立った地震発生ポテンシャルの評価や地震発生準備過程の理解を深め、地震災害の軽減に寄与することを目標とした。

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た。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いた。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た。

【研究分野の研究内容】

I. 耐震機構研究分野

① 耐震・免震・制震建物の動特性の統一的表現

中間層免震建物は、免震層を挟んだ上部構造物と下部構造物の連成効果により複雑な動特性を示すが、これまでの数値解析ではその一般的性質を抽出できなかった。そこで3質点系モデルに極配置法を適用して、免震装置の固有振動数と免震層のダンパが、建物全体系の固有振動数とモード減衰比にどのように関係しているのかを閉じた式で表現した。その結果、複雑な動特性が一つの式で説明できるようになった。この表現は基礎免震建物、同調型マスダンパ（TMD）や層間ダンパを有するパッシブ制震建物、さらには多質点系モデルに拡張され、耐震・免震・制震の動特性を統一的に表現する式の存在を明らかにした。層間ダンパでは、ダンパが取り得る組み合わせが、質点数を次元数とする空間の超平面として理解できる。この統一式は、TMDの試行錯誤的な設計を解消するほか、達成が不可能なために検討が無意味になる振動制御目標の設定を回避することに役立つ。本研究を国際誌2編と国内誌1編に発表し、中間層免震の論文は、Structural Control and Health Monitoring 誌の2021年の最優秀論文として The IASCM Takuji Kobori Prize を2022年7月に受賞した。

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

すでに高層建物ならば、3~5の階に振動計測器を常時設置すれば、地震被害と相関性が高い各階の加速度と各層の変位の最大値を、許容できる誤差で推定できる。しかし、その方法は基準階をもつ整形な建物形状を暗に仮定しているため、不整形な形状、平面的広がり、吹抜空間という特徴を有する大規模低層建物には適用できない。そこで、設計図面や構造計算書を用いずに、一日程度の微動計測で得たモード情報だけで、振動解析用の等価線形モデルを作成する方法を提案した。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情報を提供できる。その方法と振動台実験による検討は、国際誌1編と国内誌1編の査読論文として発表した。

③ 病院施設を対象とした事業継続性評価

京大病院と共同で、医療施設内の被害程度を評価する指標や病院施設の早期被害把握システムの開発に取り組み、生命維持などの医療行為に支障をきたす室内被害が増大する建物応答の閾値を整理した。医師や臨床工学技士、医療機器メーカーや関連学会の積極的な参画を得て、床材の特性やキャスターの固定度による被害差に関するデータを収集し、応急危険度判定士と災害派遣医療チーム（DMAT）隊員からなる合同調査チームの可能性を検討した。

防災科学技術研究所からの研究委託を受けて、耐震構造・免震構造の2診療棟を模擬した実大建物を同時に揺らす実験を世界で初めて実施した。事業継続性の評価に向けて、天井材の損傷によるクリーンルームの機能低下度、間仕切り壁の損傷やドアの開閉支障による機能被害度、貯水槽や配管設備の破損による水損度、などの他に類を見ない精緻なデータセットを収集した。また、JSPSの2国間連携研究助成を受けて、ニュージーランドのオークランド大学・ワイカト大学と病院被害のシミュレーション技術を検討した。

一連の研究を通して、国際学術誌4編、国内学術誌2編、国際学会論文7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との連携に努めた。米国ミシガン大学と、鋼管ブレースに発泡材料を注入し局部座屈を防ぐ構法を開発した。英国バーミンガム大学とは、ハイブリッド実験を利用して、骨組の塑性化後に1方向に変形が進行する鋼骨組の崩壊挙動を評価した。京都大学工学研究科とは、誘導加熱技術を適用したブレースや梁の設計方法の確立に取り組んだ。米国ジョージア工科大学や中国重慶大学とは、モデル更新法を利用した鋼骨組の損傷同定手法を開発した。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角形鋼管を柱に用いた鋼骨組を普及する際の課題について設計と施工の両面から検討した。連携研究の成果として、国際学術誌11編と国際学会論文2編を発表した。

II. 地震テクトニクス研究分野

① 地震滑りの多様性と不均質構造の関連性の解明に関する研究

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ている。跡津川断層周辺にて東京工業大学・九州大学と共同で実施した広帯域 MT 観測のデータ解析を進めるとともに、新型コロナウイルス感染拡大のために延期せざるを得なくなったトルコ国内での調査研究について、国内・現地研究協力者ら（東京工業大学・北海道大学・Kocaeli 大学・Istanbul 大学・Bogazici 大学）とオンラインで綿密な打ち合わせを継続した。

② 焼岳での全磁力連続観測

地震発生機構研究分野・地震予知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ける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するとともに、機器の更新と運用強化を行った。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。

③ 岩石試料の電気物性に関する研究

フィールド調査において推定される地下比抵抗構造の解釈の高度化を目指して、岩石試料の電気物性に関する室内実験の手法開発を行った。電気物性は、測定環境に非常に敏感であることを示すと同時に、その測定環境依存性軽減のための方策を考案・提示した。実験の過程において、その存在は従来より指摘されていたものの、定量的に評価されていなかった岩石試料の電気物性の湿度依存性の詳細を明らかにした。

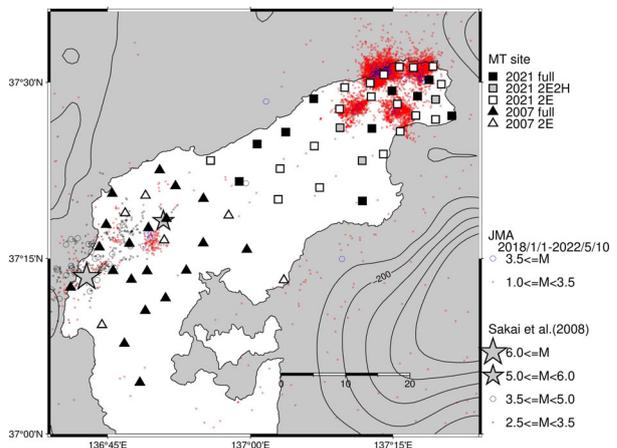
④ プレート拡大軸周辺における電磁気学的構造の解明

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、近年ダイク貫入イベントが発生するなど、地球科学的には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、他項目の調査結果と対比し、その解釈を高度化した。

⑤ 奥能登地域における群発的地震活動に関する地下構造調査

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。この群発的地震活動の原因を明らかにするために、金沢大学・兵庫県立大と共同して、広帯域 MT 観測を計 32 か所において実施した。予察的な 3 次元解析結果では、初期の活動域に相当する南側クラスタの直下および震源域に顕著な低比抵抗領域が検出され、その低比抵抗領域はその後に最も活動的となった北側クラスタに向かい連続する様相が明らかになった。より高分解能の構造情報を得るために、継続調査の計画を検討した。



奥能登群発地震活動域における
広帯域電磁場観測点分布図

Ⅲ. 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 飛騨山脈南部の地震火山防災への貢献

日本有数の山岳観光地である、飛騨山脈南部の上高地・奥飛騨は、群発地震の頻発する地域でもある。当地域の地震防災に資するために、我々は平成20年代初頭より山岳地帯での地震観測を強化し、得られた情報を地域の防災行政担当者と共有する試みを続けていた。そのような中で平成26(2014)年9月に近隣の御嶽山で死者行方不明者63名を出す噴火災害が発生し、これを受けて、当地域の活火山焼岳では文科省予算などにより火山観測の充実が図られ、地震・火山双方の防災に資するための観測研究を強化した。ここでは、既存の手法にとらわれない解析研究を指向しており、たとえば、地震観測網から得られる連続波形データに地震波干渉法を適用し、地震発生や火山活動の活発化に伴う地下構造の変化の検出を試み、これらの現象との関係を考察するなどの研究を実施している。また、火山周辺の地震の発生機構の研究も実施しており、2020年の上高地群発地震の波形解析により、その地震活動が通常断層活動のみによるものではなくマグマ貫入を伴うものであった可能性を示した。

③ ブータンの地震防災への貢献

活発な地震帯に属しながら定常的な地震観測網を持たないブータンの地震防災に資するため、地震観測網の建設と維持管理の技術を移転し、地震活動の解析などを通じて地震リスクの評価を行うことをSATREPSプロジェクトの枠組みの中で試みている。SATREPSで設置した地震観測点と、それ以前のデータを含めた試験的な解析によれば、ISCカタログに

よる同地域の1990年以来的の震央分布と整合性を持つ結果が得られており、観測網の本格稼働の後には同国のサイスマテクトニクスに関する新たな知見が得られることが期待されている。

④ 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ている。

⑤ 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ている。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。

⑥ 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する。地震波形インバージョンを用いて、深層崩壊の運動履歴を明らかにした。この解析により得られたパラメータに基づいて、粒状体シミュレーションを行い、地すべりの運動を再現することができた。このような知見の積み重ねにより、地すべり発生の物理やメカニズムの解明が可能となる。

8.5 地震予知研究センター

【センターの活動概要】

(1) 研究対象と活動方針

地震予知研究センターでは、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され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ため、地殻活動履歴の的確な把握と地震発生過程の理解を目指して、観測・実験・解析・理論研究を行っている。海溝型地震の研究、内陸地震の研究、および研究成果のアウトリーチは、当センターの3本柱と位置付けられている。

当センターは、7研究領域(海溝型地震、内陸地震、地震予知情報、地殻活動、リアルタイム総合観測、地球計測、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、地震災害研究部門、および火山活動研究センターとは連携して研究を行っている。とくに地震防災研究部門とは観測所等の運営においても協力して行っている。

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

海溝型地震研究領域では、南海トラフ沿いの巨大地震の発生予測の高度化に向け、世界の沈み込み帯を対象に地震観測、衛星測地観測等の観測を基盤に据え、プレート境界の大地震震源域における歪蓄積過程のモデル化を目標に研究を推進している。

内陸地震研究領域では、南海トラフ沿いの巨大地震の前に、西南日本で活発化することが知られている内陸地震による被害を軽減するために、現在まだよく分かっていない内陸地震の発生過程を解明し、

新たな発生予測手法を開発する研究を進めている。

地震予知情報研究領域では、地震・地殻変動等の観測データを効率的に処理・蓄積・流通するシステムの高度化とデータベースの構築を行い、それらを活用して、地震等地殻現象の理解と予測に貢献する研究を推進している。

地殻活動研究領域では、地震活動や地殻変動などの地殻・マントルに発現する諸現象とプレート境界地震や内陸地震の発生との関連性について究明し、さらにその成果に基づき地震発生予測手法の高精度化を図る研究を推進している。

リアルタイム総合観測研究領域では、大地震発生後の震源域や、定常観測網で異常が認められる地域などに機動的に出勤し、効率的かつ多種目の臨時観測を行い、定常観測より高精度かつ高解像度のデータを取得し、その解析を行う。

地球計測研究領域では、地震に伴う地学的現象を理解するための新たな解析手法の開発と実記録への適用、および観測手法の開発を行い、これらを通じて地震発生場の理解や地震の発生に至る準備過程の解明を目指している。

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の研究を推進することを目的として、国内から客員教授を招いて、共同研究を実施している。

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う。

「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。

【研究領域の研究内容】

I. 海溝型地震研究領域

① 南海トラフ巨大地震の発生の準備過程

次の南海トラフ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）、及び静岡・愛知県境付近に 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。

GNSS データを用いた沈み込み帯におけるスロースリップイベント(SSE)の検出手法を逐次改良し、東海及び関東地方の短期的SSEの発生分布を明らかにすることで、地域的な特徴とスロー地震を含む地震活動との関連について考察した（Nishimura, 2021）。さらに、東海地方においては約 20 年間にわたるプレート境界における固着と滑りの時間変化を明らかにし、断層のすべり速度がさまざまな時間スケールで変化していることがわかった。

日向灘から南西諸島海溝にかけてのプレート境界浅部において、海底観測機器を用いた浅部スロー地震の長期連続観測を行うとともに、陸上観測点のデータを用いたモニタリングを行っている。日向灘における浅部低周波微動活動について、2014 年から 2016 年の観測データの解析を行い、領域による移動速度の違いや、規模の大きな浅部超低周波地震との棲み分けなどを明らかにした（Yamashita et al., 2021）。

日向灘において最大級とされている 1662 年日向灘地震について、産総研・道総研と共同で津波堆積物調査を宮崎県沿岸において実施している。既存の地球物理観測の結果を考慮しつつ、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を説明する断層モデルの構築を行ったところ、地震の規模が従来よりも大きく M8 クラスに近い可能性を指摘した。これらの解析結果は、2022 年 3 月に発表された日向灘の地震活動の長期評価にも反映された。

② 宇宙測地や地震観測によるプレート境界地震等の研究

ニュージーランド・ヒ克蘭ギ沈み込み帯において、GNSS データ解析と地震活動統計解析と合わせて行い、プレート境界面における SSE に伴う地震活

動を初めて網羅的に検出した。さらに、SSE の数日前に地震活動がしばしば活発化しており、SSE に先行する地殻内流体の移動が当該地震活動の誘発に関係する可能性を明らかにした（Nishikawa et al., 2021）。また、東京大学地震研究所・GNS Science、ピクトリア大などと共同で、ニュージーランド・ヒ克蘭ギ沈み込み帯における海底地震観測を継続して実施している。Porangahau 沖における初めての海底地震観測を実施し、この領域で約 5 年毎に繰り返し発生する SSE に伴う低周波微動現象の観測に成功した。

日本海溝では、GNSS および地震波形データから推定された東北地方太平洋沖地震の大規模余震の滑り分布とスロー地震分布を比較し、両者が空間的に相補的であることを明らかにした。この結果にもとづき、スロー地震発生領域がプレート境界大地震の破壊伝播を阻害する可能性を指摘した（Kubo and Nishikawa, 2020）。

メキシコやインドネシアの研究者と共同研究を行い、その地域の沈み込み帯で発生した地震や SSE に関して多くの知見が得られた（Gunawan et al., 2020; Cruz-Atienza et al., 2021; Tago et al., 2021 など）。

③ その他の活動

本領域では、全国の SAR 研究者のコンソーシアム PIXEL や地震予知連絡会 SAR 解析 WG に参画し、継続的に共同研究を行っている。ALOS-2 の SAR データを用いて、2020 年の上高地群発地震や能登半島群発地震による地殻変動検出を試みるとともに、京阪神地方から和歌山県北部にかけての地域の長期間の地殻変動を追跡し、有馬一高槻断層帯周辺や和歌山県北部などに特異的な上下変動を見出した。

2018 年に相次いで M6 クラスの内陸地震が発生し、既存の観測からひずみ集中帯であると認識されている山陰ひずみ集中帯西部や有馬一高槻断層帯周辺において、変動帯を横断する GNSS 観測点を設置し、連続観測を開始した。

また、地震研究成果が社会に与える影響等に関する議論や政府の地震調査研究関連の委員会に積極的に参画するとともに、地域防災に関する行政への助言などを行なっている。加えて、一般向けや中学生向けの講演及び新聞・テレビ等のメディア出演を通して、社会貢献を行なっている。

II. 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

長野県西部地域では、1984年長野県西部地震(Mj6.8)の発生後、余震活動が続いていたが、1993年頃から地震活動が活発化し、2017年6月21日はMj5.6の地震が発生した。防災科学技術研究所の経常研究「直下型地震のダイナミクス」により1995年に開始された10kHzサンプリング地震観測データおよび、2008年に開始された満点計画による地震観測データを用いて、これらの地震断層付近の応力場を高分解能で推定し、地震発生域の直下に存在する東傾斜の逆断層におけるゆっくりすべりにより、推定された不均質な応力場を説明できること、およびM5.6の断層に応力集中が起こることが分かった。

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、断層の両端において、地震前に地震を起こす力が小さかったことを見出した。この結果は、地震の大きさはどうやってきますのか？地震破壊はどうして止まるのかといった地震学においてまだ解かれていない重要な問題の答えとなる可能性のある重要な知見である。さらに、破壊の停止のみならず、同時に、そのそもこの場所でどうして大地震が発生したのかという問題にも関係している可能性がある。

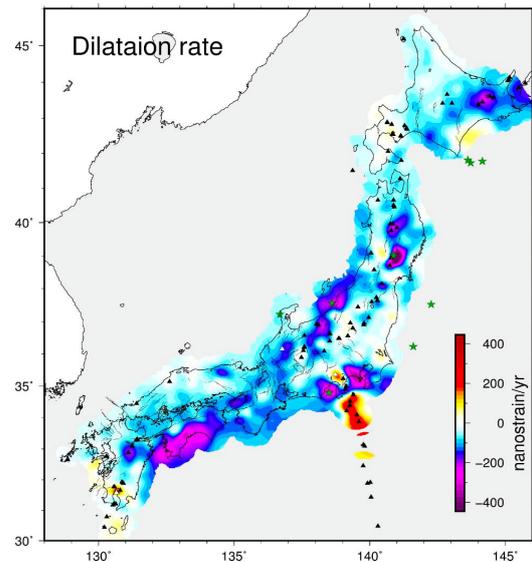
③ 深層学習によるP波の到達時刻と初動極性の自動決定

P波の検出・到達時刻決定・初動極性決定を行う3つの畳み込みニューラルネットワーク(CNN)モデルを作成し、地震波の連続記録データに順次適用することで、専門家と同等以上の精度で自動的にP波の到達時刻と初動極性を決定することに成功した。これらのCNNモデルの作成により、今後読み取りの手間が劇的に減ることが予想され、地震学的研究の推進に弾みが付いた。

④ GNSSデータの解析による日本列島の歪み速度場の推定

GNSSなどの空間的に離散的な測地データから、空間的に連続な歪み速度場をどのように求めるかは古くからの重要な課題である。Shen et al. (1996)が提

案した方法がこれまで日本の研究(新潟神戸歪み集中帯の存在を指摘したSagiya et al. (2000)など)では広く使われてきたが、その方法を仔細に検討すると、推定される歪み速度場と変位速度場の関係が不整合(速度場を微分しても歪み速度場とならない)、場の相関距離を決める適切な指標がない、誤差の推定が不正確、といった問題があることが分かった。そこで、Fukahata et al. (1996)の方法を応用したABICを用いた基底関数展開に基づく方法を新たに開発した。この方法により、上述の3つの問題が全て解決されることに加えて、より滑らかで且つfitting誤差が少ない変位速度場を得ることに成功した。図は2006年1月から4年間のGNSSデータを解析した結果である。新潟神戸歪み集中帯や奥羽脊梁歪み集中帯、さらには茨城県北部から北関東を経て愛知県北部に至る前弧域の低歪み帯などがこれまでの解析よりもより明確に得られることとなった。後者の低歪み帯について、常陸一三河前弧低歪み帯と名付けた。



日本列島の面積歪み速度場(正が膨張)

⑤ その他

阿武山観測所では見学会等を117回行い、3718名の参加者を得た。16編の完全査読付論文として学術雑誌に発表した。加えて10件の一般向け講演や、10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。

III. 地震予知情報研究領域

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はかる。

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（フレッツISDN・ADSL・光等）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/SINET4 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を構築している。間近に迫ったISDN回線を利用した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化及びモバイル化を進めているところである。また、老朽化しつつある宇治センターにおける収録システムの刷新を行い、関与できる人員の減少に対応したタスクの単純化に取り組んでいる。

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。今期においては役目を終了したと考えられる複数の点での観測を終了し、撤収の準備を進めている。

④ 地震波形データベースの解析による地殻内不均質構造と地震活動特性の研究

蓄積された地震波形データベースを用いた研究として、近地震のコーダ波（散乱波）のインバージョン解析を行い、地殻・最上部マントルにおける地震波散乱強度の三次元空間分布を推定している。山崎断層帯周辺における解析では、臨時に実施された

稠密地震観測網の波形データも合わせて用い、断層帯の浅部に沿う散乱構造と微小地震活動との対応などを明らかにした。

⑤ 海底観測記録のデータベースの構築

日本、ニュージーランド、メキシコで実施された海底地震・圧力観測記録のデータベース化を行った。さらに、これらのデータベースを用いて観測記録に含まれる地震波形やスロースリップに伴う地殻変動の解析を進めた。具体的には、ニュージーランドで観測された海底圧力記録に含まれる非潮汐成分が圧力計の設置深度に依存する相関を示すことを指摘した。また、海底圧力記録の解析からニュージーランドで2016年に発生したカイクウラ地震後に、そこから北方に500km以上離れた北島東方沖合で、表面波により微弱な津波が生成された可能性を指摘した。メキシコに設置された海底地震記録からグレロ地震空白域内で発生するテクトニック微動の検出に成功した。南海トラフ沿いの沈み込み帯浅部で発生するスロー地震が周囲で発生する地震の地震動により動的に誘発される条件を提案した。

⑥ 機械学習等による地震・AE カタログ作成の効率化の検討

定常・臨時地震観測や室内実験で得られる大量の地震・AE（アコースティック・エミッション）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。従来困難であった室内実験で誘発されるAEのモーメント・テンソル解析を実現し、深層学習を利用することで数万個のイベントに対してその推定に成功した。また、AEセンサの感度特定や設置状態における感度の違いを丁寧に補正することで、それらの地震モーメント及びコーナー周波数を推定したところ、室内水圧破碎実験中に生じるAEの中には、地震に対して繰り返し確認されている応力降下一定則から予想されるものに比べて低周波が卓越するイベントが多数存在することを見出した。また、従来は多大な計算コストが必要だった類似波形探索を効率良く行える手法として、コンピュータビジョンの分野で利用されている近似近傍探索の技術の地震波への応用可能性を検討している。

IV. 地殻活動研究領域

① 四国下のフィリピン海スラブの形状

四国下に沈み込むフィリピン海スラブの形状をレシーバ関数解析により推定した。徳島県海陽町から鳥取県米子市に至る測線では、スラブ上面(下図 ST)と海洋モホ面(下図 OM)を示すレシーバ関数のイメージが $10^{\circ}\sim 4^{\circ}$ という緩い角度で中国地方の中ほどまで見られた。徳島市から愛媛県西予市に至る測線では、スラブ上面は東端で深さ 23 km, 西端で深さ 34 km, 中央部で尾根状を呈する。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 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$ の角度で沈み込んでいることがわかった。このようなレシーバ関数解析のためにリニアアレイ観測を行ってきた。令和2年度と3年度には高知県の土佐清水市から四万十市西土佐奥屋内までの測線上に7か所の地震観測点を設け、臨時観測を行った。

② 断層運動の数値シミュレーション

断層の動的破壊およびその繰り返しのシミュレーション手法において、半解析的な境界積分方程式法は重要な手法であるが、数値安定性などにおいて課題があった。これを大幅に改善する新たな時間発展スキームおよび、スペクトル法における人為的な周期境界を取り除く手法を提案した。また流体移動によって励起される断層滑りと群発地震の発生のモデル化を行った。研究成果は3編の論文を国際誌に発表した。また断層の変形機構の遷移を考慮した地震サイクルシミュレーションに関する総説を出版した。

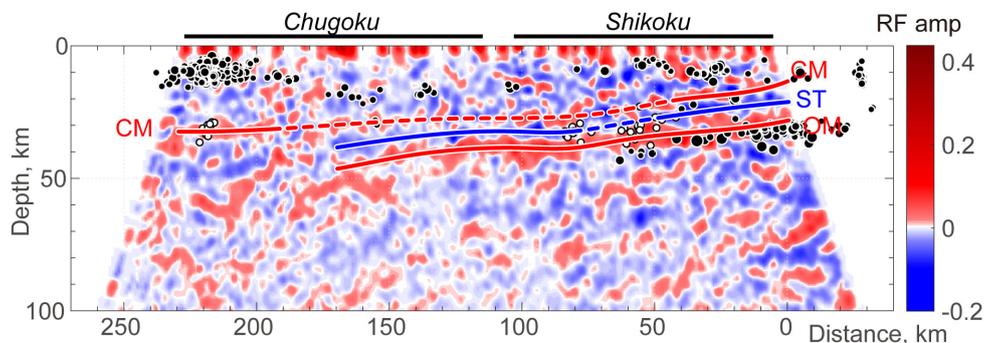
③ 断層岩の変形機構と材料科学

脆性・塑性両変形機構における岩石の変形に関して、脆性・塑性両変形機構による歪のテンソルとしての合成を考慮して、断層構成則の定式化を行った。断層ガウジの非晶質化が滑り速度によらず摩擦仕事量に対して良い相関を見出した。地質温度計として用いられるビトリナイトの反射率のモデルに関して、既存の近似式の誤りを指摘するとともに、新たな近似式を提唱した。研究成果は3編の国際誌論文と1編の和雑誌英語論文として発表した。

④ 地殻変動データの解析手法の理論的研究

宇宙測地学分野において、GNSS 測位データから地動の速度と加速度を推定することについて研究した。高速 (50 Hz) サンプルングの GNSS 測位データから最小平均二乗誤差に基づいて、地動加速度の波形を推定する手法を考案した。2013 年 Lushan 地震 (Mw6.6) へ適用した結果、得られた最大地動加速度 (PGA) が強震計の値より2桁ほど小さいことがわかった。

逆問題理論の研究において広く使用されている赤池ベイズ情報量基準 (ABIC) の統計的研究を進め、その原理が観測データと事前データの正規分布の仮定の下でそれらのデータの分散値を統計的に推定することであることを明らかにした。また、ABIC は事前分布に敏感であり、無情報 (non-informative) 事前分布の場合は従来の重み付き最小二乗推定になり、不良設定 (ill-posed) の逆問題を解くために使用することはできないことを明らかにした。研究成果は4編の論文を国際誌に発表した。



海陽-米子測線でのレシーバ関数イメージ

V. リアルタイム総合観測研究領域

① 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（いわゆる『満点観測』）を継続中である。

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および応力場について解析を進めている。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。

また、3次元地震波速度構造を高解像度で求めた。微小地震発生層の下半部にあたる深さ 9~15km で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。現在継続中の稠密観測のデータを順次追加していくことにより、より高精細な構造を求めようとする。

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ている。

② 大阪府北部の地震合同余震観測

平成 29 年 6 月 18 日大阪府北部の地震 (M6.1) の直後から、東京大学地震研、九州大学と合同で新たに稠密余震観測網を展開した。大阪平野北部の人口密集域においても地震計を高密度に配置することにより、高感度観測網として十分機能させることに成功した。得られたデータを基に、高精度の震源分布、発震機構、地殻構造の解析を行なった。その後、観測装置の置き換えや観測網の整理を行ないつつ、令和 4 年前半に至るまで約 30 点の臨時観測点で継続して観測を行なった。

③ 新燃岳噴火活動に先行するひずみ変動検出

霧島連山新燃岳の北西約 18km の伊佐観測室において、伸縮計・水管傾斜計によるひずみ観測を継続している。2011 年噴火の際には噴火に先行するひずみ変化が確認されたが、過去にさかのぼって解析を行い、2009 年に深部からのマグマの注入による急速な膨張が生じていたことが明らかになった。

④ 日向灘の地震発生とひずみ変動の関連

宮崎観測所の横穴式地殻変動観測と日向灘沿岸域に多数設置した GNSS 観測点により、南九州における地殻変動のモニタリングを研究解析を行なっている。日向灘では、数十年間隔で M7 級の地震が発生するほか、頻繁にスロー地震が発生している。1996 年日向灘地震発生前のひずみ速度の変化と同様の変化が次の地震発生時にも再現されるかを注視している。また、GNSS の観測記録からスロー地震のメカニズムおよび時間変化を明らかにするべく解析を進めている。

⑤ 四国西部における地球電磁気観測

スロー地震発生域である四国西部で地球電磁気の連続観測を実施し、過去のキャンペーン観測で得られた記録とあわせて解析を進め、同地域の電気比抵抗構造とスロー地震の滑り分布の対応を示す結果が得られつつある。加えて、地球電磁気連続観測では地震動に伴う電磁場変動が稀に記録されるが、そのメカニズム解明に向け観測研究を継続実施している。

⑥ 東北地方太平洋沖地震合同余震観測

2011 年 3 月の東北地方太平洋沖地震の発生直後から、同地震に誘発されたと考えられる東北地方内陸部の地震活動の変化が見られた。同年から行なわれた全国の大学との合同臨時地震観測が現在も継続中である。本研究領域では 2011 年 4 月に秋田県内陸部に 3 点のオフライン観測点を設け、以後年 2 回メンテナンスとデータ回収を行なっている。データは東北大学に送付し、誘発地震活動や地殻構造の解析が進められている。



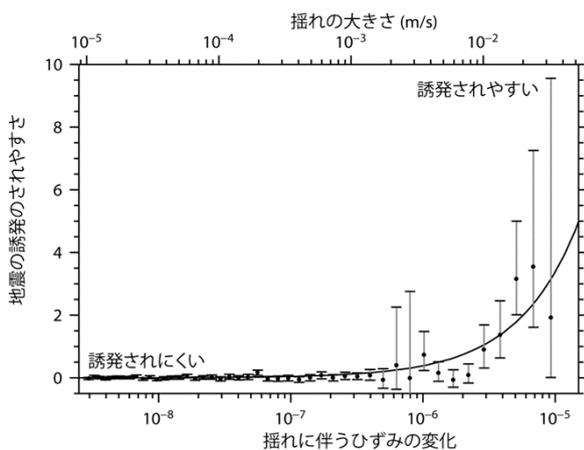
稠密地震観測用の地震計とデータロガー

VI. 地球計測研究領域

① 遠地地震による地震の誘発に関する国際研究

SATREPS「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」に基づき、メキシコ自治大学（メキシコ）と共同研究を行った。2017年にメキシコ南部で発生した M8.2 テワンテペク地震により発生した地震波が、1,000 km 以上も北西に離れたメキシコ沿岸部で、沈み込むプレートとの境界で発生していると考えられているスロー地震を誘発していたことを発見した。その発生メカニズムを、現地記録の解析と数値波動シミュレーションを通じて調査を行い、この結果を *Earth Planets Space* 誌に論文発表した。

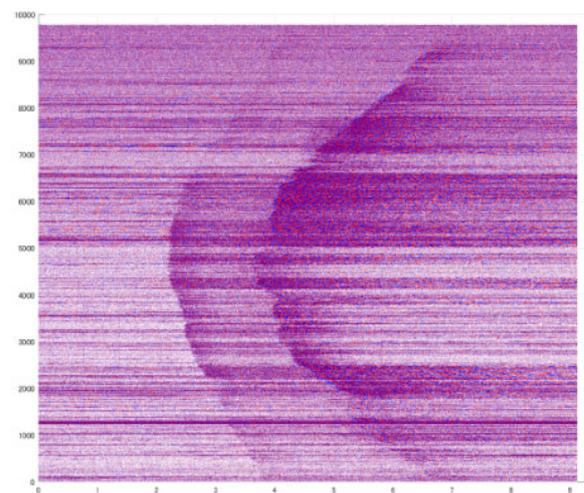
カリフォルニア大学サンタクルーズ校（米国）と共同研究として、世界規模で発生する地震による様々な揺れの強さに対し、南カリフォルニアにおける地震活動がどのように変化するかを、2008年から2017年までの十年間に蓄積された地震の大規模データを用いて調べた。その結果、揺れの強さに応じて地震活動度がべき乗則で増えること、地熱・火山地帯等でその傾向が強いこと、動的誘発作用により一度増加した地震活動は通常の余震活動に比べると時間経過に伴いゆっくり減衰するなどの特徴が分かった。遠地地震による、地震ハザード予測に資する成果である。この研究成果は *AGU Advances* 誌に論文発表され、更に *Editor Highlight* に選出されたことが *EOS* 誌に紹介された。



揺れの強さに応じて増える地震活動

② 光ファイバ通信ケーブルを利用した地震観測

本所と国土交通省近畿地方整備局京都国道事務所との間で「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」を令和3年2月16日に締結し、一般国道9号沿いに敷設された光ファイバケーブル一芯を借用した振動分布の連続測定を行った。この研究は、防災研究所令和3年度拠点研究（一般推進）「光ファイバ通信ケーブルをセンサーとする革新的技術を用いた自然地震観測と活断層調査、インフラ構造のモニタリング」及び、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」に基づき実施された。令和3年度は8月から9月にかけての約1ヶ月間、京都駅付近の京都国道事務所から丹波IC付近までの約50 kmの光ケーブルに対し、約1万か所で振動の測定を行なった。この間、亀岡付近で発生する地震活動や、能登半島での群発地震、北アルプスでの群発地震活動を捉えることに成功した。また、橋梁部の振動や降雨によるノイズの時間変化を捉えた。



光ファイバケーブルで測定された微小地震

③ 強震動生成域に対する距離減衰の特徴

拠点間連携共同研究重点推進研究（総括型）に基づき、M8を超えるプレート間巨大地震の強震動生成域に対する、地震動の距離減衰の特徴を推定した。断層距離を用いた既存の予測式に比べて、強震動生成域に特化した距離減衰式の方が、残差が少なく地震動の予測が可能な事が分かった。

VII. 地球物性研究領域（客員）

学生および教職員向けの地球内部物性等に関連する講義を行うとともに、研究等に関して個別に議論等も行った。令和2年度は「地殻のイメージングと時空間構造推定、その物性の理解」と題した集中講義を行った。また分布型音響センシング技術を用いた振動測定に関する共同研究に取りかかった。令和3年度は、「スロー地震の発生様式に関する新たな描像～普遍性と多様性の視点から～」と題した特別セミナーを含む、スロー地震全般に関するレビューを主テーマとした二日間の集中講義を行った。

8.6 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。センターの教職員は桜島火山観測所において勤務している。



桜島火山観測所

(2) 研究領域と役割

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。

火山テクトニクス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

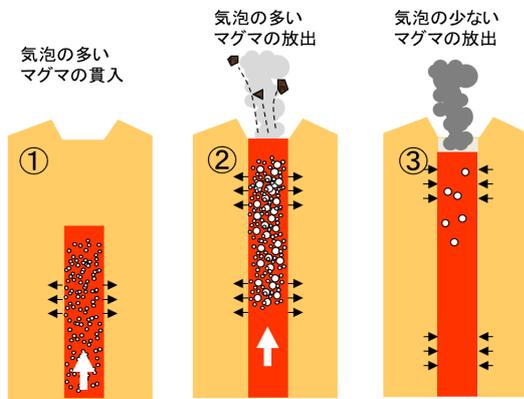
と対策研究を行う。発生予測にもとづく火山噴火の切迫性評価を避難等の対策に活用する研究を行う。これまで構築されてきたインドネシア等との国際協力関係を発展・拡充し、世界の火山災害の軽減に資することを旨とする。特に、文部科学省の「次世代火山研究推進事業（平成28年度～令和7年度）」については、所内においては気象・水象災害研究部門と、所外では、東北大学理学研究科、東京大学地震研究所、筑波大学生命環境科学研究科、鹿児島大学、国立環境研究所、日本気象協会等の研究者らと連携して研究を進めている。

【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

桜島火山では噴火活動が 2017 年 11 月に南岳山頂火口に戻った。2019 年 9 月から 2020 年 6 月までの噴火活動期について観測坑道に設置された高感度伸縮計のデータを解析し、空気振動等の噴火現象と対比することにより、火山ガス放出が卓越する地盤変動を見出すとともに、火山ガスが多量に含まれている活動から火山ガス量が低下し火山灰が主体となる噴火に推移していったことを示した。



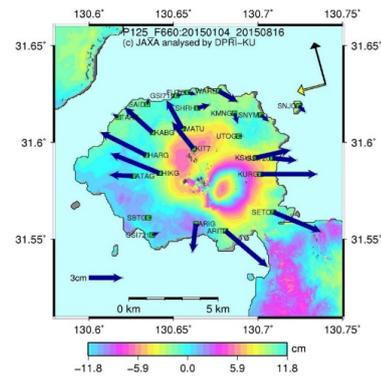
火山噴火活動の推移

② 火山噴火事象分岐に関する研究

桜島やインドネシアの火山を対象に、噴火に前駆する現象と噴火の規模・様式との間の関係に関する知見を蓄積し、火山噴火事象分岐論理として整理した。桜島では、大正 3 年噴火以降に発生した噴火と前兆現象をマグマの貫入速度と貫入位置の観点から整理し、火山噴火事象分岐の経験則としてまとめた。

③ マグマ供給系および火山活動評価に関する研究

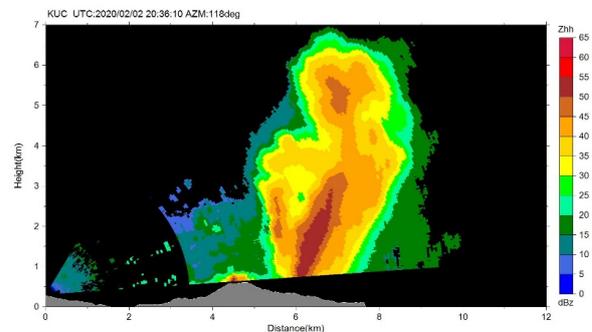
桜島へは始良カルデラ下のマグマ溜まりから南岳下へマグマが移動すると考えられてきた。移動経路上の北岳下にもマグマが一時的に貯留されている場所が発見された。一方、従来知られていないダイク状のマグマの貫入も平成 27 年 8 月 15 日の群発地震活動と急激な地盤変動から見出された。



平成 27 年の桜島のダイク貫入に伴う地盤変動

④ 降灰ハザードの予測に関する研究

火山噴火に伴う噴煙の上昇と移流・拡散は X バンド MP レーダーや GNSS 電波の遅延と SNR の低下により検知できることを示した。X バンド MP レーダーは噴煙が目視できない冠雲時に噴煙高度やその形状を知ることにより有効であり、桜島をはじめとする 5 火山の噴火による噴煙を捉えることに成功した。降下火山灰の粒径と落下速度を計測できるディストロメータにより、降灰観測が連続観測として行えるようになった。火山近傍の複雑地形においては風速場を忠実に再現するために WRF を用いて 3 次元で高精細化することにより、高精度で火山灰拡散シミュレーションを行うことが可能となった。一方、噴出については、地震動と地盤変動の観測から特定の周波数帯域の振動エネルギーと圧力源の体積変化量の線形結合により求める経験式が提案された。これにより、高時間分解能の噴出率の把握ができ、リアルタイムで火山灰の拡散と降下を予測することが可能となった。



レーダーにより捉えられた口永良部島噴火の噴煙

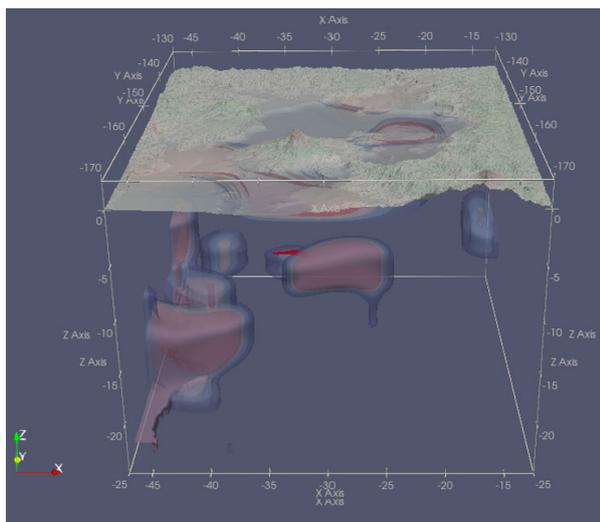
II. 火山テクトニクス研究領域

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。

2020 年度はこれまでに行われた人工地震実験の観測記録をとりまとめ、始良カルデラ西部の中部地殻に明瞭な PS 変換波を生ずる明瞭な S 波速度コントラストが始良カルデラ中央部から桜島に向かって広がっている可能性を示した。

2021 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の成果をとりまとめ、始良カルデラ北東部の浅部の P 波低速度体の存在、カルデラ西部の中部地殻内の深さ 15km 付近に顕著な S 波低速度体があることを示し、その中に含まれるメルトの量についての議論を発表した。



南から見た始良カルデラ地下の S 波低速度領域 (為栗他, 2022)

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。

2020-2021 年度は継続して観測網強化に重点的に取り組み、2021 年度は測地的な地盤変動力源の位置と地震学的構造として明らかになった地震波低速度領域のそれが一致しないことが明らかにされたことをうけて、有限体積地盤変動力源による地盤変動の説明に取り組んだ。

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。

2020 年度には海底地盤変動観測装置の設計と測位方法検討の為に基礎的な実験を実施し、当該装置の基本的な構成を決定した。また、観測装置設置予定地点の底質調査を行った。

2021 年度には前年度の成果を反映させるための改良設計を実施するとともに、測位精度の確認を目的とした測位実験を 2 軸実験台で実施して海底地盤変動観測装置の測位データ補正手法について検証を行った。

また、始良カルデラの地下を通過した人工地震波の火山活動に伴う変化をこれまでよりさらに精度よく検出するための開発研究にも取り組んでいる。

2020 年度にはエアガンを用いて基礎実験を実施し、最適な発振容量および発振パラメータに対する知見を得た。2021 年度には観測波形から発振波形の影響を取り除く手法について検討を加えた。

④ その他

本領域の研究成果は 2 編の完全査読付論文として学術雑誌に発表された。加えて 2 編の研究報告を年報に掲載した。さらに 1 件の一般向け講演を通して、社会貢献に努めた。

8.7 地盤災害研究部門

【部門の活動概要】

(1) 研究対象と活動方針

地盤災害に関連する基礎学理に根ざし、地盤災害の予測と軽減を目指した研究を展開し、さらに、学際領域を分野横断的に開拓して行く。液状化、地盤沈下、斜面崩壊、地すべり、土壌侵食、建設工事等に伴う斜面や基礎地盤の変形等について、地盤工学、地質学、地球物理学、地形学、水文学等の考え方と手法を用いて研究する。水際低平地に広がる都市域の災害脆弱性診断、地盤・土構造物の性能向上技術に関する研究、平野から丘陵地にかけての開発に伴う人—地盤環境—物質循環の相互作用に関連する災害の研究、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。

(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軽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 大地震時の地盤・構造物系の被災程度予測と合理的設計方法の確立 (渦岡, 上田)

大地震時には、土木構造物、特に軟弱地盤や液状化する可能性の高い地盤上に建設される港湾施設などの水際線構造物は甚大な被害を受ける。既往の被害調査から、施設の被災状況を地盤のすべり土塊と仮定する方法で説明することは困難であり、連続体の初期値・境界値問題として扱うべきであることが明らかとなってきた。また、入力地震動と地盤・構造物の動的相互作用の問題を解明することにより、合理的な設計法を確立することができるものと考えられる。そのため地盤・構造物系の変形予測手法の高度化を図り、信用性を高めた手法を構築することを目的として、遠心力载荷装置を用いた再現実験、有効応力に基づく非線形有限要素法、土の室内試験、現地調査などの研究を行っている。

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)

2011年東北地方太平洋沖地震では、地震後に東北沿岸を襲った津波により湾口津波防波堤、海岸堤防、河川堤防などの構造物が壊滅的な被害を受けた。また、東京湾岸の埋立地では余震による液状化が発生した。2016年熊本地震では、震度7を二度観測するなど大きな地震動が比較的短い時間に複数回作用することで地盤・構造物の被害を大きくした可能性がある。また、地震で損傷を受けた斜面は6月の豪雨で多数崩壊している。以上のように、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 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)

2011年東北地方太平洋沖地震では、東京湾沿岸の埋立地において多くの住宅が傾くなど、深刻な液状

化被害が発生した。この地震では、強震動継続時間が長い地震動が作用した場合の地盤挙動、埋立地のような構造異方性を持った若齢砂質土地盤の挙動、粘性土地盤の地震後の長期変形、液状化地盤内の過剰間隙水圧伝播による地下水位以浅の不飽和土の軟化など、新たな問題が提起されている。このよう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。

④ 液状化の国際研究プロジェクト (上田, 渦岡)

液状化に代表される地盤災害予測に関する研究は、これまで個別の研究機関において、個別の実験施設や数値解析手法を用いた単独プロジェクトと実施されてきた。このようなアプローチでは、単一機関内における結果の整合性・再現性は確保されるが、仮に他の研究機関が同一課題に取り組んだ場合、その結果に整合性や再現性が担保されるか？ という観点での普遍性・客観性についての検討は皆無であった。このような既往の研究アプローチの限界を打破するため、室内土質試験装置と遠心力载荷装置を用いた一斉実験および種々の構成モデルを用いた一斉解析を通じて、結果の普遍性を確保し、地盤災害予測精度の向上に寄与すべく立ち上げられた国際プロジェクトが LEAP (Liquefaction Experiments and Analysis Projects) である。本プロジェクトには、当分野の他に、カリフォルニア大学デービス校、レンセラー工科大学、ジョージ・ワシントン大学 (以上、米国)、ケンブリッジ大学 (英国)、IFSTAR (フランス)、浙江大学 (中国)、国立中央大学 (台湾)、KAIST (韓国)、東京工業大学、愛媛大学、関西大学が参画している。各機関での成果については、京都大学防災研究所 (2017年5月)、カリフォルニア大学デービス校 (2017年12月)、関西大学 (2019年3月) などで議論している。

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、堆積物コアに残された宇宙線生成核種濃度の記録から、そ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、降下火砕物の風化について、主として胆振東部地震の発災地を対象に、粘土鉱物の生成・蓄積に着目した研究を行った。

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。斜面における長期的な土層の生成・集積を計算し、樹木根系の効果を考慮したせん断強度および降雨浸透に対する間隙水圧の応答をモデル化した。地理情報システム上でハザードを可視化し、複数の発生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。

⑤ 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)

システムは、土砂災害発生前に避難情報を発信するために緊急危機管理型水位計に用いた通信方式と、斜面土層内の飽和帯の拡大センサ、表面流発生センサ、水分ポテンシャルを三次元で把握するセンサ群、雨量計、土層移動開始感知センサで構成されている。

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年熊本地震で地表に出現した地表変位検出を、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。

⑦ 地震時火山砕屑物斜面における地すべりの発生機構の解明 (王)

2016年熊本地震時に廃滅的な斜面崩壊が生じた斜面において、異なる火山灰土層に土壌水分計を設置し、土層の長期含水量変化を計測した。また、2018年北海道胆振東部地震時に発生した斜面崩壊地から採取したテフラ試料を用いて、振動台土槽実験を行った。斜面土層内における加速度、斜面変形と変位、土壌水分および間隙水圧の計測結果より、強い地震時に不飽和状態におけるテフラ斜面の不安定化過程および崩壊土砂の運動機構について検討を行った。

⑧ 大規模天然ダム の安定性評価に関する研究 (王)

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。

⑨ 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 (王)

地すべりクリープ変動現象の実態を解明すると共に、降雨や斜面の地形改変に伴う応力変化による斜面のクリープ挙動に注目し、室内実験によって土層のクリープ変動機構を検討した。三次クリープ変形時の速度と加速度の間に確認されたべき乗則におけるべき数 α と比例係数Aは、試料、せん断方法およびせん断履歴によって異なることが分かった。得られた成果により、より信頼性の高い地すべり崩壊時刻予測手法の開発は可能となった。

III. 傾斜地保全研究分野

① 融雪期に発生した地すべりの発生機構 (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。

② 大変位した地すべりの変位特性 (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たとともに、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。

③ 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。

8.8 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 (1958 年) である。昭和 36 年 (1961 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 (1959 年) に設立された。すなわち、昭和 30 年代の高度経済成長に伴う中間山地から都市への人口移動を背景として、出口 (中山間地) と入口 (都市) の環境を整備する必要があり、それを支える研究体制の確立の一環として、防災研究所に地すべり研究の拠点が設置された。また、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 (1966 年) に徳島県池田町 (現在の三好市池田町) に設置された。西日本で最も地すべりが多発する地域である四国山地で集中的に観測研究を行うためである。

地すべり研究部門は平成 8 年 (1996 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 年) 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、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。

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、(2) 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) 気候変動を考慮した世界各地の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されるようになってきた。また、都市開発は、盛土や建設残土といった不安定で危険な新しい斜面リスクを

もたらしている。令和 3 年の熱海土石流災害で注目された災害は、まさに新しい公害とも言えよう。斜面災害研究センター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。

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、世界的にみてもユニークな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。



徳島地すべり観測所の施設公開
地すべりの連続観測装置群

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、事務局作業を実質的に担っていた。ICL は、期間内も当センターの一部 (UNITWIN 本部棟) を「Landslides」の実質的な事務所として、継続的に使用した。

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その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。

【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、高速長距離運動地すべりの発生、運動機構の研究を推進している。特に高速運動が発生する過程についての研究を実施しているが、令和2～3年度は、(1) 岩石のせん断破碎と巨大地すべり・地震断層すべりの運動機構、(2) すべり面粘土の繰り返しせん断挙動と地震時地すべりの変動現象、(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）のせん断挙動と高速運動機構に関する研究を実施し、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、この過程で地すべりの安全率の低下に伴ってすべりを開始する臨界加速度が低下することを実証した。さらに、地すべり内外における地震動の相関が周波数依存性を示すことを例証した。地震学の知見や技術を斜面現象に適用することで、その発生メカニズムの理解を進める研究の開発も進めている。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、定常地震観測網が過去に斜面崩壊を検知していたことが複数例明らかとなり、また、斜面崩壊の形態による検知限界距離の違いも示唆された。

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。

令和3年7月に発生した熱海市の盛土斜面や同年8月の大津市の斜面崩壊および土石流などの調査をおこない、「新たな公害」として、残土斜面のリスクが都市域に迫ってきたことを改めて示した。

本領域では、都市域に迫る災害に対して、「未災」の時点で調査や対策、社会体制や教育のあり方を議論する学問「宅地の未災学」を提唱している。今後の宅地の防災を考える上であり、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た。釜井は令和2年4月には、『宅地の防災学 都市と斜面の近現代』（京都大学学術出版会）を上梓した。そして、令和4年3月には、京都大学防災研究所特定研究集会として「宅地の未災学」の確立に向けてを開催した。

④ 地盤災害考古学的視点からの都市域斜面の長期安定性評価

大都市とその周辺に分布する遺跡における災害の痕跡を調べることにより、地盤災害における土地と人間の関係史を明らかにする研究を継続している。

⑤ 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、基盤地質が斜面崩壊に与えた影響について明らかにした。

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。同観測所がある四国山地は大比高の山地であり、谷底から山頂部までの比高は1000mに達する場合もある。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、地すべりの再活動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



三好市有瀬における防災検討会

る景観であり、観光面のみならず地学および防災の教育面としても重要な標本である。本観測所の山崎がジオパーク構想の学術顧問を担当しており、多くの関連イベントに関わっている。

② 水中で発生する地すべりと発生条件の研究

水中の地すべりは特に堆積学的な視点から深海底で発生する極端に規模の大きなものが研究されてきたが、人間の生活圏に近い沿岸・浅水域のものに関しては研究が少なくその実態が明らかになっているとは言いがたい。本領域では、浅水域を調査目標として北見工業大学、海洋開発研究機構などと協力の下に調査手法の開発と共に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、浅水域に特化した音響調査装置群を整備しており、様々な科学調査に利用されている。令和2～3年度にかけては、福島県猪苗代湖、北海道屈斜路湖などで沿岸浅水域に地すべり地形が残されている事例を調査した他、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、また、沿岸で島が数十年かけて水没していったことが確認されている長崎市沖の横島で調査を行った。これらの調査の過程で地すべりの構造や発生メカニズムに関する多様な知見が得られている。

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ルクで豪雨があり、過去に例の無い土石流災害が発生した。山崎はそれらの調査を進めている。

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

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



部門の全体像

(2) 研究分野と役割

災害気候研究分野では、人間活動の影響に伴う地球温暖化によって、集中豪雨、熱波や干ばつなど、経済・社会に甚大な影響を及ぼす異常気象が近年頻発する傾向にあるため、異常気象の発現メカニズムやその予測可能性、さらに、気候システムの維持や変動のメカニズムについて詳細に検討することが必要であり、大気組成、海洋・大気循環変動による異常気象の発現メカニズムと予測可能性、気候変動の実態とメカニズムの解明を目標に研究を進めている。

暴風雨・気象環境研究分野では、台風・豪雨・暴風など異常気象の構造や発生・発達の物理機構を解明し気象災害の軽減に資することを目的とし、衛星データ解析・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 日付けで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したものである。当研究分野では、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。現在、気象水文に関連する災害情報について、観測技術の高度化や予測情報の不確実性を考慮した活用方策を検討し、革新的な気象水文気象情報の創生と利用に関する研究を行っている。主に、気象・水文に関連した「観測技術の高度化」「予測情報の高度化」「情報利活用の高度化」に取り組んでいる。

(3) その他（横断的な活動等）

地球規模での気候、水循環、社会変動に伴って変化する自然災害、水資源、生態系・生物多様性に対する影響を最小限に抑える適応策などを提案するためのリスク予測や評価を実現することを目指して、

文部科学省の気候変動予測に係る研究プロジェクトである「21 世紀気候変動予測革新プログラム（平成 19～23 年度）」、「気候変動リスク情報創生プログラム・領域テーマ D 課題対応型の精密な影響評価（平成 24～28 年度）」、そして「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）」において、研究部門が一丸となって進めた。

当部門では、「統合的気候モデル高度化研究プログラム」に関連して、東京大学大気海洋研究所、気象庁気象研究所、東京大学生産技術研究所、東北大学大学院環境科学研究科、名古屋大学地球水循環研究センター、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た。さらに、令和 2 年度には「気候変動リスク予測・適応研究ユニット」を創設し、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。

【研究分野の研究内容】

I. 災害気候研究分野

① 衛星観測 CO₂ データのバイアス補正の研究

逆転法による CO₂ フラックスの推定精度向上には、バイアスをより良く補正された衛星観測 CO₂ 濃度データの活用が必要である。そこで TCCON 観測による CO₂ データをリファレンスとした、GOSAT 衛星の CO₂ データのバイアスについて解析を行った。その結果、 ΔXCO_2 (GOSAT XCO_2 - TCCON XCO_2) の分散と TCCON 観測点の高度との間に高い相関が見られた。その因果関係が明らかになれば、バイアスの改善につながる可能性がある。

② エルニーニョ・ラニーニャ現象と中緯度の天候

熱帯東部太平洋の海面水温が平年よりも高くなるエルニーニョ現象が発生した時に、極東域における天候がどのように影響を受けるか調査し、テレコネクションパターンとの関連について調べた。エルニーニョ現象発生時に典型的な暖冬の場合西太平洋パターンが、非典型的な寒冬の場合は太平洋・北米パターンが卓越することが長期再解析から明らかになった。このような遠隔影響には、ハドレー循環やウォーカー循環の変調が関わっており、インド洋からの影響も示唆された。さらに、日付変更線付近の海面水温勾配が極東域の冬の天候の前兆となることが明らかになった。米国気象学会 J. Climate に掲載。

一方、ラニーニャ発生時で極東に典型的なときは寒冬北太平洋振動・西太平洋パターンが、非典型的な暖冬のときは太平洋・北米パターンが卓越していることが分かった。エルニーニョ発生時と同様に局所はドレー循環がテレコネクションの発生に重要な役割を果たしていることが明らかになった。ラニーニャとエルニーニョ現象に伴う遠隔影響のメカニズムは共通しているものの、シグナルに非対称性も存在することが分かった。日本気象学会 SOLA に掲載。

③ 台風の進路予測

令和元年東日本台風は各地に大きな災害をもたらした。この顕著な事例に対して4つの現業機関による予報を比較したところ、気象庁が上陸6~4日前までの予報については卓越して誤差が小さいことが分かった。上陸3日前からの予報から大きくなった要

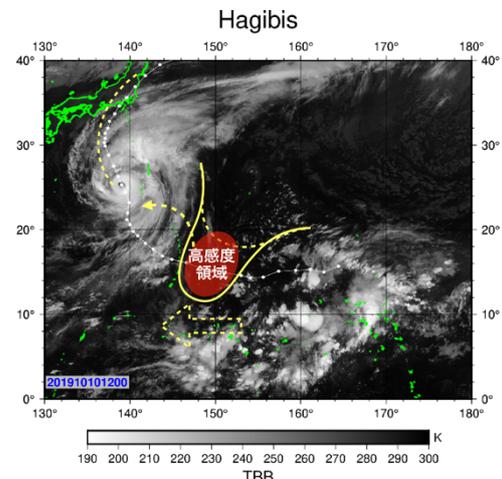
因を、アンサンブル感度解析を用いて特定した。解析結果は、台風の南東にあった気圧の峰が弱かったために発達中の熱帯擾乱が速く西進し、台風の西偏に寄与していたことを示している。日本気象学会 SOLA に掲載。

また、2009年に西太平洋で発生した台風22事例に対して、3つの現業機関の台風進路予報の比較を行い、それぞれの特徴について明らかにした。さらに、米国の現業数値予報モデルに気象庁など異なる機関が作成した初期値を与える「たすき掛け」実験を行い、台風の進路予測に対するさらにモデルの不完全性と初期値の不確実性の寄与を明らかにした。日本気象学会 SOLA に掲載。

④ その他

球面螺旋を用いた数値計算手法や非線型観測の同化手法、自己組織化マップを用いた大気循環パターンの分類、北半球夏季ダブルジェットの力学について研究を行い、防災研究所年報に8編にまとめた。

また、京都大学防災研究所一般研究集会2020K-09及び2021K-05をオンラインで実施した他、短期滞在型共同研究2020S-01及び2021S-2により、気候変動や異常気象のメカニズムや予測可能性に関する共同研究を進めるとともに、大阪ガスとの共同研究を開始した。ラジオやテレビに榎本教授が出演したり、新聞にコメントしたりして異常気象に関する解説を行うとともに、滋賀県立膳所高校SSHの特別授業を行った。加えて、令和元年東日本台風に関する研究は京都大学からプレスリリースした。



アンサンブル感度解析により特定された台風の進路に影響する領域

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、衛星データ解析・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。これら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2~3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る解析を進めた。熱帯低気圧の発生や発達物理機構の解明など基礎研究から、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。また、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、海大陸域の気象・気候と季節内変動との関連性に関する国際研究計画・海大陸年(YMC)に参画し、海大陸域での日スケールの大気変動と降水との関係、東アジアでのモンsoon降水と環境条件に関する研究を進めた。

② 強風災害や集中豪雨などメソ異常気象研究

台風や冬季の爆弾低気圧による局地的な強風・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。複雑地表面上の大気乱流・拡散予測を行う新しい乱流計算手法・データ同化手法を開発し、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。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。さらに、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。

③ 気象衛星による気象災害監視の研究

ひまわり8号データから地表面温度を算出するアルゴリズム開発を確立した。台風の急発達に関連して、台風眼周辺の Overshooting Cloud Top 検出や対

流バースト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「統合的気候モデル高度化研究プログラム」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。この結果を応用して、水災害、沿岸災害、森林災害など他分野と協力して台風に伴う洪水・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、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、安定度の変化および大気境界層の発達との関係について解析を行った。さらに、大気境界層構造の日変化が地表近くの風に及ぼす影響について調べた。

山地災害研究分野と協力して、新潟県伏野試験地において融雪時の大気雪面間エネルギー交換に関する現地観測とデータ解析を実施した。

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

京都大学防災研究所一般研究集会「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や講習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22編である。

III. 耐風構造研究分野

① 強風災害の調査と強風被害発生機構の解明

強風によって生じる強風被害の低減方法のためには、強風時にどのような被害が生じたかを把握することは極めて重要であり、甚大な強風災害に対して被害調査を継続的に行っており、令和3年9月18日と歌山県美浜町等で発生した竜巻に対する被害調査では、比較的新しい住宅においてもカーポートに多くの被害が見られることなどを明らかにした。

② 飛来物による外装材の耐衝撃性能試験

台風、竜巻等の強風被害では、飛散物による2次被害が多く、これらの被害に対する防備、すなわち、衝突によって壊れない外装材の開発のために、ISO 16932 を基にした建築用ガラスの飛来物衝突試験方法に基づく各種窓ガラスの衝撃試験を行った。

③ 強風災害低減のための耐風設計方法の開発

強風被害を低減するために、強風に強い構造物を実現する方法を開発することを目的とし、強風時に建物に作用する風力とそれによる建物の応答を正確に求めるために、低層、高層建物など、各種構造物の風洞実験を行い耐風安全性能を評価するとともに、これまで蓄積された風速の観測値や、自然風中の各種の大型構造モデルによる風圧測定結果と比較した。

④ 飛散物の挙動と衝撃力の解明

建物の強風災害だけでなく、火山噴火時の噴石のらっか衝突による被害の推定のために、砂利や噴石など不整形物体の有風下の飛散性状を明らかにするために、自然風中での噴石模型落下実験を行い、不整形物体の大気中移動シミュレーションに必要な空力特性を明らかにした。(令和2,3年度「課題D：火山災害対策技術の開発(サブテーマ2：リアルタイムの火山灰ハザード評価手法の開発)」)。さらに、風洞実験との比較により、自然風中での落下実験結果の検証を行うとともに、数値シミュレーションを用いて、種々の形状を持った飛散物の挙動を調べた。また、衝撃試験装置を用いて、噴石や小石がガラスや瓦などに衝突する際の衝撃力を明らかにした。

⑤ 強風災害の防止・低減および被害予測とリスク評価

台風などが襲来したときにどのような強風が生じるか、それによってどれくらいの被害を蒙るかを予

測することは災害の防止・低減のために重要である。これらに関して、観測や計算により得られた強風場の情報をもとに、風速と建物被害率との関係を精度よく求める手法の開発や、確率台風モデルを用いた強風場の統計的評価、強風による種々の被害リスクの評価手法の開発と高精度化を進めた。(京都大学防災研究所一般共同研究2021G-07, G-10)。

⑥ 地上付近の強風時の気流性状の解明

耐風設計に際して建物に吹き付ける地上付近の風速を精度よく予測・評価することは風荷重評価の基本となるが、地上付近の自然風は、地表面粗度だけでなく、気象現象の影響を受けて変化する。特に、積雲対流下において下降流がある場合には、上空の速い空気塊が下りてくるため、地面付近の風速が増加して、風荷重が増大する場合があるので、令和2年度科学研究費助成事業、基盤研究(A)(一般)ではドップラーライダーによる観測を行い前線通過時の強風の気流性状を明らかにするとともに、数値シミュレーションによる再現を試み、積雲対流下の地面付近の強風性状を再現し、検証した。一方、科研費基盤研究Bでは、台風通過時に低層建築物に作用する圧力変動と近傍の風速の同時計測を行い、建築物屋根に被害をもたらすような急激な負圧が、間欠・突発的に生じる水平風速の増速と連動していることを明らかにした。また、京都大学防災研究所一般共同研究2020G-05, 2021G-04では、地表面近傍から大気境界層下部にかけての風況観測に関する技術開発研究も開始した。

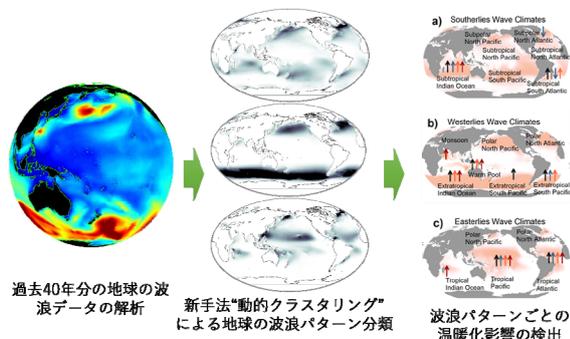
⑦ その他

境界層風洞実験装置および衝撃試験装置を用いて、9件の委託研究を実施し(令和2年度は文部科学省先端研究基盤共用促進事業「風と流れのプラットフォーム」の一員として)、令和3年度は2件の委託研究を実施した。また、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、6件の一般向け講演や、21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。

IV. 沿岸災害研究分野

① 温暖化シナリオ下における沿岸災害の長期的変化予測

予想される気候変動のシナリオの下では、地球規模の気候の変化や大気および海面の温度分布の大規模な変動が予想されている。沿岸部では、海面上昇、波浪、高潮が現在と異なる振る舞いをするのが予想され、今後どのような変化をするのかの予測が必要とされている。当研究分野では、これまでの研究成果を生かし、波浪と高潮の規模が今世紀末までにどのように変化していくのか、また海面上昇を加えてこれらの沿岸災害が長期的にどのように変化していくのかの予測を行っている。



地球全体の波浪特性の変化傾向と自然変動の関係を解明—地球温暖化の沿岸域への影響を定量化—
 (2021年6月15日京都大学プレスリリース)

② 高波・高潮予測モデルの開発

高波は、強風時に海面が風から受けるエネルギーによって発生する波動現象であり、台風のような巨大な移動性低気圧による吸い上げと、強風に伴う吹き寄せで生じる流れによって発生する異常な海面上昇である。高潮には強風によって発生した高波が必ず伴い、高潮は異常な水位上昇を、高波は防潮堤に非常に強い力を作用させ、沿岸部に破壊的な力をもたらす。このような高潮・高波の複合災害を防御するためには、事前に起こるべき規模を的確に予測し、避難情報や減災方法を考慮することが必要である。そのため、極端な気象条件をターゲットに高潮や波浪の数値予測モデルの開発を行っている。

③ 全球/領域の大気・海洋・波浪結合モデルの開発

気候変動予測には全球気候モデルによる気候計算

が不可欠であり、精緻な全球気候モデルが必要とされている。そこで波浪を介した大気海洋相互作用の気候システムへの長期的なフィードバックについての理解を進め、大気・海洋・波浪結合全球気候モデル開発についての研究を進めている。領域大気・海洋・波浪結合モデルでは、台風などをターゲットとして波浪を介した大気海洋相互作用の気候システムへの短期的なフィードバックについての理解を進め、モデル開発を行っている。結合モデルの開発とともに、高潮等の沿岸ハザードモデルと気象および気候モデルの統合モデルについても開発を進めている。

④ 津波の長期評価および予測法の開発

東北地方太平洋沖地震津波が多くの人命を奪い、海岸施設に損害を与えた。こうした地震津波災害を防止・軽減するためには、従前の決定論的なシナリオを想定した評価ではなく、震源過程の不確実性を考慮し、多数のシナリオに基づいた確率論的な評価が重要である。このため、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。

⑤ グリーンインフラによる適応策の提案

世界中で気候変動等に伴う豪雨、高潮、高波、巨大地震に伴う津波等、想定を超えた自然災害が頻繁に生じている。今後、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、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。

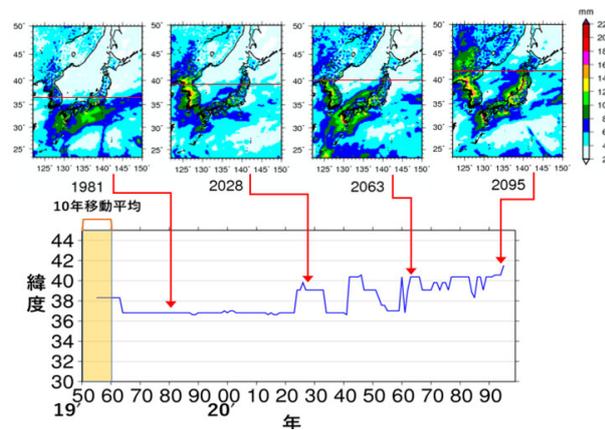
以上の研究成果を広く社会に役立つようにするため、1961年より毎年の研究論文を海岸工学論文集録としてまとめ、全国の大学および研究機関の関連研究者に150部を配布している。

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

文部科学省「統合的気候モデル高度化研究プログラム」(2017~2021)において、同部門をはじめとする防災研の多くの研究室と協働して研究を進めた。

5km 解像度の領域気候モデルを解析して梅雨期の線状降水帯の将来変化を統計的に解析した結果、21 世紀末ではその総雨量が統計的に有意に増加することを示した。また、線状降水帯には梅雨前線の近くで大規模な収束によって発生する空間スケールの大きな“前線付随型梅雨豪雨”，前線から南に離れた場所で発生する空間スケールの小さな“孤立局所型梅雨豪雨”が存在することを明らかにした。さらに、20km 解像度で 150 年間連続計算されたデータを用いて梅雨前線の振る舞いの時間連続的な将来変化を解析した結果、徐々に梅雨前線による影響範囲が北日本まで拡大し、21 世紀末になると梅雨が無いと言われる北海道までその影響が拡大することを示した。



梅雨前線の北限緯度の 150 年間連続将来変化

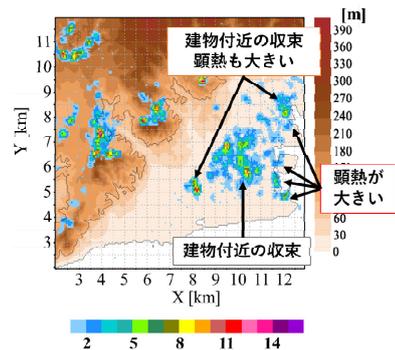
② ゲリラ豪雨及び線状対流系のメカニズム解明と偶然性・必然性の解析

神戸市のマルチセンサー観測及び都市気象 LES (Large Eddy Simulation) モデルを用いて、境界層内における熱的上昇流の周期特性と雲生成との関わりを明らかにし、また、熱的上昇流の段階でも渦管構造が確認されるとともに、熱的上昇流の発生要因(建物付近の収束や顕熱)を明らかにした。

線状対流系の勃発メカニズムを解析した結果、六甲山付近における線状対流系の勃発には六甲山と淡路島の地形効果による山岳波が重要である一方、そ

の勃発には偶然性が高いことを示した。また、線状対流系の降水と水蒸気フラックスについて、発達ステージ毎にフラクタル構造が変化することも示した。

さらに、山間部及び平野部の豪雨におけるシーダーフィーダー効果による降水強化機構が大きいことを評価し、また、上空における降水粒子の粒子判別情報が地上における降雨強度推定精度を向上させるポテンシャルが高いことを示した。これらをレーダー降雨量の精度向上に向けて国土交通省に提示した。



神戸市の熱的上昇流発生数のシミュレーション結果

③ 防災利用を意識した豪雨予測研究

渦度を用いたゲリラ豪雨の危険性予測手法を“定量的な”手法へ発展させた。特に、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。この研究成果により、令和3年度水工学論文の Best International Paper Award を受賞した。

線状対流系に関して、“予測が外れることを予測する”というアイデアをもとに、アンサンブル予測の予測幅の時間的な更新履歴の解析を行った。その結果、極端な事例では予測が新たな初期値を用いたものに更新されてもその予測幅は小さくならず、予測幅の増幅が“予測が外れるリスク”という防災上の新しい情報となり得ることを明らかにした。

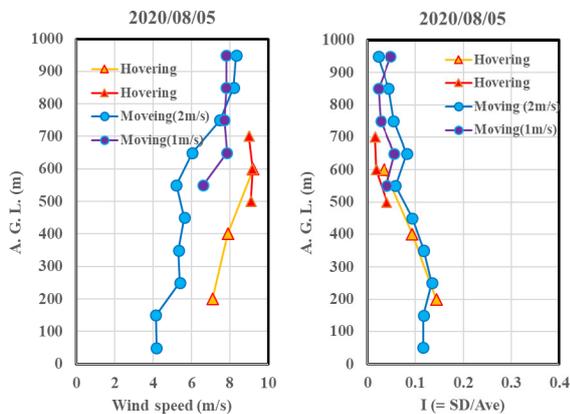
④ その他

36 編の完全査読付論文として学術雑誌に発表した。加えて、40 件の一般向け講演や 48 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・気象現象の把握や、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、近年様々な分野で利用されている無人航空機（ドローン）を活用して、地上から高度 1000m 程度までの下層大気の気温・湿度、風向・風速、風の乱流強度の鉛直プロファイルを計測し、ドップラーライダー観測との比較により観測精度の評価等を行った。また、火山ガスや火山灰センサをドローンに搭載することにより、桜島における上空の火山ガスや火山灰濃度の計測も実施した。



風速および乱流強度の鉛直プロファイル

② 気候変動に伴う土砂災害リスク将来変化の評価

近年豪雨や台風等の極端降雨による土砂災害が多くの場所でしばしば発生した。地球温暖化の影響で将来土砂災害の発生数が増大すると考えられており、災害の早期警戒や防災対策のために土砂災害発生の将来変化を予測する必要がある。そこで、領域気候モデルの高い空間解像度のデータを用いて、各 1km 解像度の 3 次メッシュにおけるスネークラインのパターン変化を解明することで将来の土砂災害を予測した。特に降雨の発生に依存する地上気温がスネークラインの変化に影響を与える関連性の検討を行った。また、土砂災害の将来変化のトレンドの解明とともに、力学的な斜面崩壊予測モデルの高度化を行い、合わせて気候変動による土砂災害の将来変化予測と影響評価を実施した。

③ 洪水リスク評価・予測モデルの開発

気候変動を考慮した流域治水、防災・減災対策が進められ、洪水リスクの評価手法や洪水予測の高度化が求められている。近年、土地利用変化を考慮した洪水リスクの評価モデルが提案されているが、洪水ハザードが脆弱性の空間分布に及ぼす影響は考慮されていない。特に、人口や社会経済が急速に成長している地域では、気候変動の影響により立地が柔軟に変化するため、洪水ハザードが人口や土地利用の空間分布に強く影響を与える。そこで、湿潤熱帯流域を対象に、気候変動による浸水変化を加味した土地利用分布を求め、気候変動が油椰子の洪水被害に及ぼす影響を評価した。また、当該地域の低地における油椰子農場への適応策と泥炭湿地の環境保全に関する提言を行った。また、京都府と京都大学防災研究所の共同で、洪水予測の高度化に関する研究を実施した。具体的には、京都府京都市に位置する鴨川流域を対象に実河川断面を反映した降雨流出モデルを用い、危機管理型水位計を含めた上流の観測地点の水位の再現性を検証した。

④ 豪雨災害における犠牲者数の推定とその活用

豪雨が予想される際に、正確な雨量予測値が得られたとしてもどの程度の人的被害が発生しうるのか推定することは難しい。危険度を伝えて各主体に対応行動を促す上で、降雨規模と想定される人的被害規模の関係性を明らかにしておくことは重要である。そこで、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することにより、降雨に関する各種指標から「推計犠牲者発生数」を算出する可能性について検討を行った。3, 6, 12, 24, 48, 72 時間の降雨継続時間雨量や土壌雨量指数といった 7 つの降雨指標について犠牲者発生数との関係性を分析した結果、降雨指標そのものではなく過去の観測最大値との比である「既往最大比」を算出することで豪雨災害における犠牲者の発生数を大局的に推計できることを示した。本手法に基づき実際の予測雨量から人的被害の発生可能性をリアルタイムに評価するシステムを開発し、日本気象協会から情報発信を行うことで社会実装を実現した。

8.10 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を鑑み、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、大瀧波浪観測所）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（吉田聡）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が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、SPPや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土砂災害シミュレータ (SiMHIS) に土石流の数値シミュレーションモデル (Morpho2DH) を結合し、土砂の生産・流出過程の高精度化を試みた。改良したモデルは、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、その妥当性を確認した。

② 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、家屋の破壊・非破壊を考慮した解析モデルを開発しており、宅地における土石流・泥流の氾濫特性の検討を行うとともに、土石流・泥流からの効果的・効率的な避難方法について検討を行った。

③ 掃流砂・浮遊砂による平面二次元河床変動解析モデルの高度化

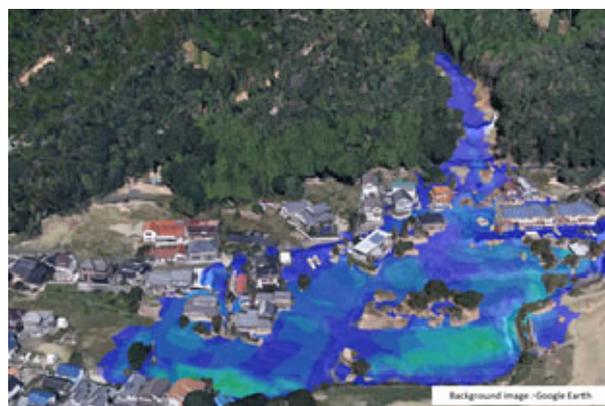
高度かつ多目的な掃流砂・浮遊砂による平面二次元河床変動解析モデルの開発を行っている。すなわち、治水・利水だけでなく、河川環境の保存・創生などの目的のために使用できるように、表面流と地下水の相互作用、植生の消長、河床の間隙率の時空間的な変化を考慮した河床変動解析モデルを開発しており、生物の生息場の物理環境に対する新たな情報を提供することができた。また、流木や土砂の堆積などによる橋梁断面での河道閉塞時の洪水及び土砂の氾濫特性についての検討なども行った。

④ 火山噴出物堆積域におけるガリの形成と土砂流出特性

火山性地質斜面を有する流域は、豪雨時に土砂災害が発生しやすい。一方、火山性地質斜面ではガリの発達に伴う土砂流出が見られ、斜面表層におけるクラストの形成・破壊がガリの発達及び土砂流出に強く影響を与えていると考えられる。本研究では、斜面表面における火山噴火堆積物のクラスト化及びクラストの破壊に着目した降雨実験と数値解析を実施し、クラストの形成及び破壊が斜面からの土砂流出特性に与える影響について検討した。その結果、クラストの有無を変化させた実験や数値シミュレーションによって、降雨強度やクラスとの破壊強度の空間的なばらつきによってある場所でクラストが破壊されて洗掘孔が形成されると、クラスト破壊領域の上流側の境界で土砂が崩落してクラストが破壊されることによってガリが発達する様ことが明らかとなった。

⑤ 雪崩の数値解析モデルの開発と適用

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る。本研究では、固気混相流である雪崩の発達・減衰過程を考慮した数値シミュレーションモデルを開発し、2020年2月に北海道のピンネシリ岳及び2019年3月に栃木県の茶臼岳で発生した雪崩に適用し、雪崩の流動現象の再現を試みた。その結果、ピンネシリ岳の雪崩では、堆積場所、堆積域の大きさなどが現地と近い値となった。茶臼岳の雪崩については、雪崩の流下速度が再現できることが確認された。



土石流の数値シミュレーション

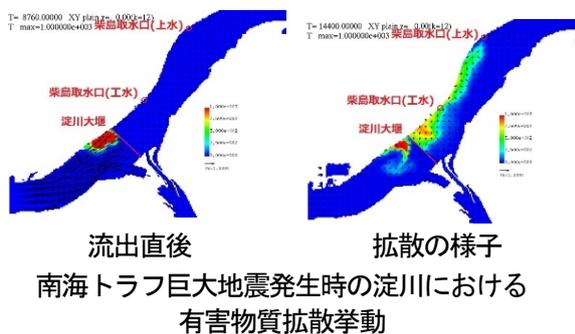
II. 都市耐水研究領域

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。

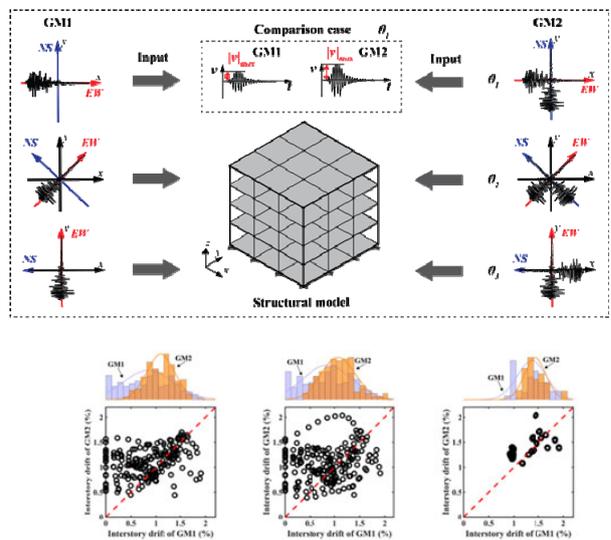
また、河川を遡上した津波が河口堰を越流することにより発生する河口堰上流での塩水や有害物質の拡散に対し、平面二次元～三次元ハイブリッド津波挙動解析手法を活用して河口堰上流での塩水及び有害物質挙動解析を予測評価できる解析コードを構築している。このコードを淀川大堰に適用し、大堰上流に位置する浄水場を対象に津波発生時の取水影響について議論している。



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-構造物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。



地震動の方向成分設定による構造物応答評価の比較

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。

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

将来の気候変動によって、降雨強度の増大が予測されている。そこで、気象研究所のNHRCM2kmによる予測降雨データを用いて、全国15ブロックの代表地点における10年確率降雨強度の将来変化を分析したところ、地域によって変化倍率に差が生じ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、氾濫面積や氾濫水量は将来にかけて1.1倍程度大きくなり、被害額を指標とすると最大で1.4倍程度大きくなることがわかった。

豪雨災害対策として全国で進められている「流域治水」では、集水域からの雨水流出を抑制する対策が重要な役割を果たす。島根県松江市を対象として、非構造格子による2次元氾濫解析モデルの中に、流域内にある水田、ため池、学校・公園での貯留を考慮して、その氾濫被害の軽減効果を評価した。その結果、これらの貯留機能を組み合わせて使用することで、2006年7月の豪雨に対して氾濫水量を3割程度にまで抑えることが可能になることがわかった。

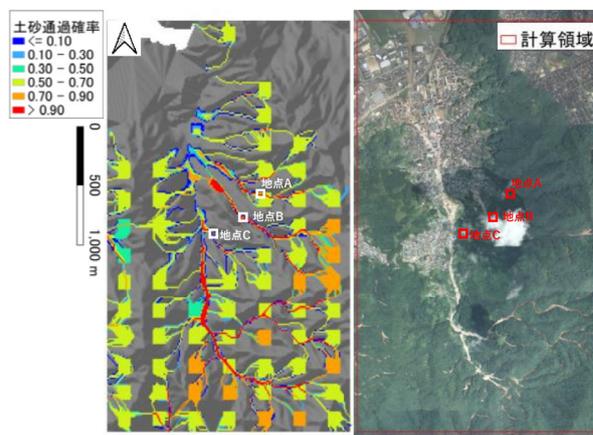
氾濫解析に用いられるモデルでは、建物による抵抗は考慮されていたものの、建物内部への浸水過程による影響についてはこれまで詳細に検討されてこなかった。そこで、内部が浸水する建物模型を実都市の配置にしたがって再現した都市域模型を用いて、氾濫実験を行った。その氾濫流の挙動を再現する数値解析を試みたところ、建物内部への浸水過程を考慮することで、建物の内部が瞬時に浸水する従来モデルよりも氾濫流の伝播が速くなるという影響を定性的に再現することができた。



都市域模型を用いた氾濫実験

② 豪雨による土石流被害の確率的評価

従来の土石流の被害領域を予測するシミュレーションでは、降雨データを入力とした予測が難しいという問題点があった。そこで、降雨データから土砂の生産量を統計的に予測し、これを土石流の流下シミュレーションと組み合わせることで、土石流の被害が生じる確率の空間分布を予測する手法を開発した。広島県坂町を対象に平成30年7月豪雨の条件を対象に解析を行い、土砂が通過する確率を推定する解析を行った。ここでは簡易的なシミュレーション手法を用いたため、下流部の被害は再現されていないものの、地点ごとの被災確率の差を評価することができた。



土砂通過確率と災害後空中写真の比較

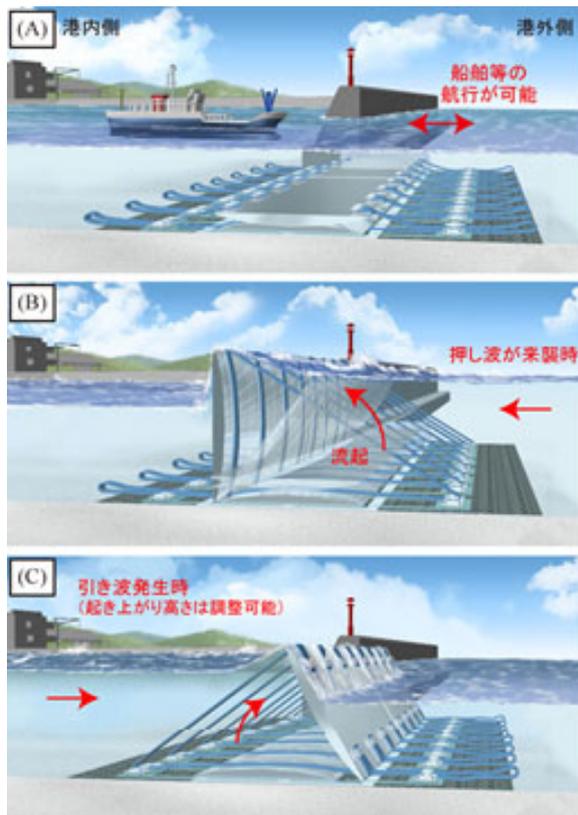
③ 水制による河岸侵食の防止・軽減効果

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、透過型と不透過型水制工を上下に組み合わせたハイブリッド型の水制工周辺での3次元河床変動解析を行い、模型実験との比較を行うことでモデルの再現精度を検証した。また、透過部の開度毎に水制工周辺の土砂堆積量を計算した。その結果、透過部の存在によって浮遊砂を背部へ取り込むだけでなく、水制工間の流速を低下させることで効率的な土砂堆積を実現していることが示された。

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開発

港口部において通常時は倒伏し、津波来襲時には自動的に立ち上がる防波堤を可動型津波防波堤という。流起式は、フィン型の可動部を耐水ゴム式ベルトで係留した本体が可動するもので、当研究領域は開発の中心機関として当初から携わり、模型実験と理論的な解析を行ってきた。現在、産官学の7者で共同研究を行っており、実用化を目指している。下記に流起式可動型防波堤のイメージ図を示す。本防波堤の特徴の一つは、引き波時にも立ち上がることで、港内からのコンテナや家屋の流出を防ぐ。令和2年度には、実験・解析を取りまとめ、技術マニュアルの執筆を開始した。令和3年度には技術マニュアルを出版し、広報を行い、地方公共団体へ有意性を説明した。令和2年度には、これに加えて可動型の防潮施設として”防波扉“を開発し、その適用性を模型実験と数値解析で明らかにしている。



流起式可動型防波堤のイメージ図

② 海岸浸食の防止と海岸砂丘の形成過程に関する研究

我が国の海岸は、防波堤や港湾施設の建設や、河川からの土砂供給の減少などの影響を受け、侵食性の海岸が増えている。そこで、海岸浸食の実態を把握するために大潟波浪観測所（新潟県上越市）を起点として定期的に海岸線の調査を行い、海岸浸食の実態と浅海における海底小型砂丘の変化を調査している。この成果は、周辺海岸の浸食防止に活用されている。なお、大潟波浪観測所自体は令和4年度末に本館基盤を撤去し、将来的には廃止の方向を目指すことになるであろう。

③ マングローブ林を代表とするグリーンベルトの高波・津波防御効果の検討

2011年のインド洋大津波においてはマングローブ林背後の村落が比較的被害が小さかったことが報告されており、海岸尾植生（グリーンベルト）が津波減災に効果があったことが知られている。本研究では、平面的にグリーンベルトを配置して、その効果を調べることを目標として、令和2年度には基礎的な実験として、断面水路で植樹帯背後の汀線変化に関する模型実験を実施した。令和3年度には、これまでの関連文献を整理したレビュー論文を著述している。令和4年度以降も研究領域のメインテーマとして取り組む予定である。

④ 海上のエネルギー開発に関する研究

浅海域は、風力ならびに波力発電の可能な場所が多く点在し、今後わが国で広く活用されていく可能性が高い。当研究領域は、琉球大学との共同研究をはじめ、各種の海洋エネルギー媒体の開発実験に携わってきた。令和3年度には、着床式風力発電装置の支柱の支持に関して波の洗掘問題に取り組み、洗掘防止ユニットの安定性について模型実験を実施した。この成果は現場の設計に生かされている。引き続き、同年度には波エネルギー活用円筒ブイの適用性を調べ、模型段階であるが波浪中での発電に成功した。

⑤ その他

当研究領域は、地震津波連携研究ユニットの事務局として2回の研究会、1回のワークショップの事務局を務めた。対外発表は国際ジャーナル5編、国内ジャーナル3編である。

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、三重大「勢水丸」、海洋研究開発機構/東大「新青丸」・「白鳳丸」、海洋研究開発機構「みらい」、東海大「望星丸」、水産大学校「耕洋丸」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。



マイクロ波放射計（左）と雲カメラ（右）。移動中の公用車直上の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) 爆弾低気圧の長期変動と将来変化：気象庁長期大気再解析データ JRA-55C とアンサンブル気候予測データベース d4PDF を用いて、北太平洋の爆弾低気圧活動の長期変動と将来変化を調査し、近年の北西太平洋域の温暖化が北太平洋中央部の爆弾低気圧増加に寄与していることを示した。

②白浜海象観測所

(1) 大気海面境界素過程の解明に向けた共同観測：田辺中島高潮観測塔を沖合観測のプラットフォームとして、所内、所外の研究者とともに共同観測を実施した。本期間中には、海塩粒子等の観測を行うパーティクルカウンターを設置したほか、観測塔上の風速を計測する Sodar の観測を開始した。

(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を観測した。気圧の上昇幅は約 2hPa、最大の津波波高は約 0.35m であった。水位変動の結果から、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を確認した。

(3) 観測塔付近の水温変動特性と黒潮の離接岸との関係：田辺湾湾口部で観測された水温データに基づき、黒潮の接岸、非接岸時期別に水温の変動傾向を比較し、30 日周期程度の水温変動が確認された。2017 年~2019 年の冬期水温データの比較から接岸時期には黒潮の影響が支配であること、同じ黒潮離岸時期でも平均水温に差のあることを確認した。

③穂高砂防観測所

(1) 河道、河床変動：2020 年 7 月に発生した土石流を含め土砂流出と地形変化の観測調査に基づき土砂流出における河床形態の役割を評価した土砂流出予測モデルの開発を行った。さらに、土砂流出による河床変動の予測モデルに関して検討を行った。

(2) 土砂流出の河川環境への影響評価：土砂生産・流出が河川環境に与える影響を評価するため、土砂生産・堆積形態および生態の観測・調査を実施し、影響評価モデルを構築した。

(3) 融雪型火山泥流：基礎的な実験を通して、発生機構の解明を進めると同時に、泥流流下モデルの開発を行い、泥流氾濫予測手法の確立を実施した。

(4) 観測結果に基づく学校防災と防災教育：土砂災害の危険性が高い立地にある学校に対して危険度情報を提供するとともに土砂災害や避難に関する授業を行い、教育効果に関する検証を実施した。

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、その変遷を整理している。

(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。

8.11 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

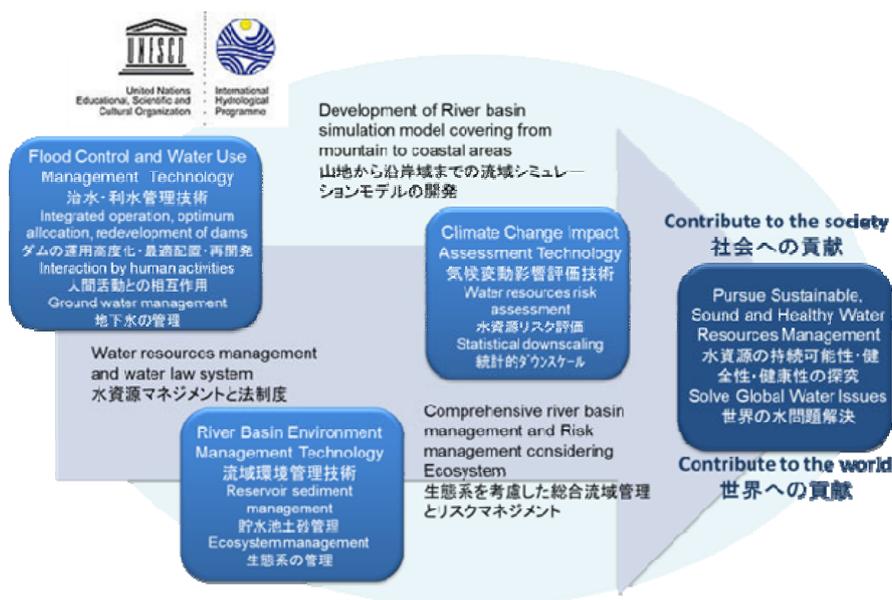
水資源環境研究センターは、水資源問題に関わる自然・社会現象を理解する目的で、昭和 53 年 (1978 年) に設立された。水の循環を様々なスケールにおいて理解することは、地球温暖化や生態システムの攪乱など深刻な環境問題の解決の鍵となる。当センターでは、リモートセンシングや全球気候モデル、大気-陸面過程モデルなどの技術を用い、ミクロな水文素過程から地球規模のマクロな現象までのマルチスケールにおいて水・物質の循環と社会システム、生態システムとの関係の解明を進めている。さらに、その結果に基づき、巨大災害や地球温暖化、地域開発に伴う深刻な環境問題のリスク評価、およびその対策としての社会基盤整備に活用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

今後、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、京都大学工学研究科のRSDC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 ダム補給に依存する稲作灌漑域の水利用リスク評価

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、気候変動に伴い生じうる水資源利用に関するリスク評価を試みた。RCP8.5 シナリオに基づく灌漑配水シミュレーションを行った結果、対象とした中勢用水地区では冬季のうちにダムの貯水量は十分に回復することが確認でき、前年度の渇水が翌年度の灌漑操作に大きな影響を及ぼさないことが示された。将来気候下ではダムの貯水量が十分でない日が増加することが予測された一方で、田植日を適切に選択することで渇水リスクを減少させることができる可能性が見いだされた。

② 水害経験が避難の意思決定過程に与える影響に関する研究

水害時の避難に関する意思決定に水害経験が及ぼす影響について、経験からの自律的学習プロセスに着目する方法と、教師付き学習の二つのアプローチを用いて検討した。

まず、水害経験が住民の避難行動に関する意思決定に与える影響を分析するため、コンピュータ上で模擬された水害経験から強化学習により避難判断基準を獲得していく様子をシミュレートするエージェントモデルを作成した。複数の確率規模の洪水に対し、作成されたエージェントモデルは、近傍の河川水位を避難スイッチとして参照しつつ様々なタイミングで避難を開始し、その適切さに従った報酬を受け取ることを繰り返す。その過程で報酬を最大化するような避難開始タイミング（河川水位の基準値）を学習する。報酬の与え方と洪水規模を複数設定して実験を行った結果、自宅が浸水するケースについて浸水に合わずに避難所に到達できた場合にのみ報酬を与える学習方法が、最も確実な避難基準を獲得できる可能性が高いことが分かった。

一方、教師付き学習アプローチでは、洪水が進行していく中で、時々刻々の避難の必要性を統一的に表すためのスコア関数を提案した。次いで、降雨規模が与えられた際に初期位置に応じた避難タイミングを出力するタイプと、自宅や避難所の位置情報に加えて、現在時刻までの累加雨量を入力とし、その時刻における避難の必要性を与えるタイプの二つの深層学習モデルを構築した。

③ 機械学習を用いたダム流入量リアルタイム推定手法の検討

ダム操作を適切に行うためには、時々刻々の流入量を正確に把握することが欠かせない。しかし、ダム流入量を直接計測することはできず、貯水池の水位と放流量から推定せざるを得ない。この推定プロセスには種々の誤差が入り込むため、それに対応して、時間間隔方式、水位変化方式、最小二乗方式といった推定法が提案されてきた。実際の操作では、これらの方式による推定値の動きや特徴から、適切と思われる推定値を実務者が選択している。

本研究では、実務者による推定値の選択を、深層学習によって模擬するモデルの構築を試みた。具体的には、現在と過去の貯水量、放流量、仮想流入量、最大流入量、各推定法式による流入量推定値等を入力とし、現時刻の流入量を選択するニューラルネットワークを構築した。一庫ダムの 2015 年 7 月から 2020 年 7 月までの 21 出水を用いて学習を行った結果、どの方式による推定量を採用するかどうかについてはいまだ改善の余地があるものの、切り替えのタイミングはほぼ実務者の判断を模擬できているという結果となった。

④ 洪水予防と訴訟研究会

令和元年度一般研究集会で取り上げた福知山市造成地水害訴訟の京都地裁判決についての検討会を 2020 年 11 月 10 日に開催し、地方公共団体としての情報提供義務と、土地の売り主としての情報提供義務という観点から検討を加えた。

II. 地域水環境システム研究領域

① POT の閾値選定

水文極値資料の頻度解析は、水工施設計画において重要な役割を果たしている。年最大値資料を用いる AMS 解析は広く慣用されているが、年間の第二位の極値が他の年の年最大値より大きくても使われないことや年最大値が極端に小さいものが含まれている場合に外挿極値が影響を受けるなどの課題も有している。この課題を解決できる閾値超過資料を用いる解析法を適用する際に必要となる閾値の推定方法について、複数の母数の関係を満たす L 積率比を条件に閾値を探索する手法を開発した。

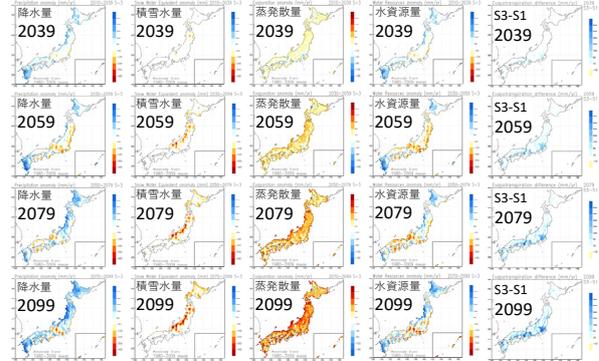
② 雨量とは異なる流量の確率水文量

災害をもたらすような大規模洪水は、氾濫戻しやダム戻しをしたピーク流量の年最大値を直接頻度解析して外挿により推定したピーク流量と、地点上流域平均雨量を頻度解析して外挿により推定した流域平均雨量を用いて流出計算により求めたピーク流量は同等となることが期待されるが、多くの場合、この2種類のピーク流量はかなり乖離することが多い。この原因は、総降雨量の一部が総雨量のレベルに応じて非線形な損失が起こることであり、既往最大値より小さな生起確率で起こる場合の確率水文量を外挿推定する場合に大きく影響を受けることがわかった。このため、降雨由来の災害事象を頻度解析する場合、降雨量を用いた解析を行うべきであることがわかった。

③ 日本の水資源賦存量の長期変化予測

気象研究所の超高解像度気候モデル (MRI-AGCM3.2S) の 150 年連続ランを用いて日本全国の水資源賦存量の長期変化を予測した。気候変動と土地利用変化の影響を切り分けるため、複数の土地利用シナリオに対して算定したところ、人口変化が大きな地域において水資源量は 500 mm 程度の差が表れた。気候条件の変化の地域的な分布に対応して、北日本などで水資源賦存量が大きく増加する一方で、全国的に蒸発散量の増加も顕著であり、特に中部山岳地域で大幅に水資源賦存量が減少することが予測された。各流域別に調べたところ、長期的な

変化パターンは流域により様々であり、現在から将来にかけて気候値が一方向的に変化するとは限らず、世紀末よりも早い時点で水資源賦存量がより厳しくなる流域がいくつか存在することが明らかとなった。



水文諸量の 2039 年から 2099 年における気候値と現在気候の差

④ 氷河観測による雪氷水文プロセスの改良

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の実測値を用いて、陸面過程モデル SiBUC の雪氷水文プロセスの改良を行った。雪面と氷面の境界となる積雪水量値 SiBorder という新たな変数を定義し、モデル内で積雪部分と氷部分を区別できるようにした。また、滑らかな雪面とデブリが露出する氷面の条件で2種類の粗度を使い分けるようにした。これらの変更により、雪面温度及び各熱収支項目が格段に実測値に近づいた。アルベドに関しては、SiBorder を用いてグリッド内の雪と氷の割合を随時計算して、雪と氷のアルベドを組み合わせるアルベドを算出するように定式化を行った結果、実測値のアルベドを良く再現できており、モデルによる融雪時期が改善した。また、再解析データの短波放射に周囲の地形による直達光の遮断、斜面の向きと勾配、開空度による散乱光の補正をすることで、氷河融解量を改善することができるが、ローカルに立つ雲の効果については考慮できていないので、今後の課題である。

⑤ その他

20 編の完全査読付論文として学術雑誌に発表した。加えて 50 件の国内外の学会発表、講習会、講演を通して、研究成果を発信した。

III. 社会・生態環境研究領域

① アンサンブル降雨予測を考慮したダム操作手法

SIP 国家レジリエンス「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の 15 日間 51 メンバーの長時間アンサンブル予測を用いて、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量決定方法を開発した。また、淀川水系桂川の日吉ダムを対象に、d4PDF を用いた確率規模や時空間パターンが異なる複数の降雨シナリオに対して、ダムの治水操作手法の変化に伴う下流の亀岡盆地の氾濫原への効果や影響を分析した。また、霞堤の洪水時の機能評価についても検討を行った。

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。具体的には、天竜川下流域において、上流ダム群による砂礫供給遮断と濁水長期化によって劣化した河川環境を改善するために、濁度の低減に寄与する砂州の濾過機能を最適化させる河床変動量を推定した。また、減少したアユを増やすために、好適な繁殖場となる湧水流路の形成・維持条件を検討した。これら成果は、耳川ダム通砂後、小浜ダム排砂バイパスの下流河道に形成された砂州の機能評価にも適用された。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、砂州上にたまりを形成し生物

木津川の中聖牛設置と土砂堆積/たまりの形成



多様性維持に機能することを示した。

③ ワジ流域のフラッシュフラッド統合管理

中近東・北アフリカ地域の乾燥・半乾燥地域のワジ(涸れ谷)流域に近年頻発するフラッシュフラッドに対して、減災と水資源開発を複合目的とするハード対策(洪水貯留-水資源涵養施設など)およびソフト対策(降雨-流出モデル高度化と予警報システムなど)を組合わせた統合的管理方策を検討した。また「フラッシュフラッド統合管理国際シンポジウム(ISFF)」第5回(2020年京大)、第6回(2021年ヨルダン)を開催し、世界遺産ペトラ遺跡の洪水リスク対策を討議した。

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。メコン川では、上流ダム群の建設などにより水量・土砂供給量の両者に大きな環境変化が生じており、長期的な流量・流砂量データの分析、現地観測(濁度、塩分、河道内の水深、流速など)を Thuy Loi 大学と共同で実施するとともに、メコン川下流部の水理モデルを構築し、将来の流量や流砂量減少による河床低下・農業用水に対する塩水影響などを検討した。

⑤ 感染症指定医療機関の浸水想定状況調査

全国 372 の感染症指定医療機関の大規模洪水時における浸水想定状況調査を行った結果、河川計画の基準となる規模の洪水で約 1/4、想定最大規模の洪水で約 1/3 で浸水が想定されることを明らかにした。対策として、設備配置の工夫や垂直避難などの自衛的対策に加えて、医療機関と行政の治水・防災部局、厚生・保健部局の連携が重要と指摘した。さらに、2020年7月豪雨で被災した人吉医療センターについて詳細な水害タイムライン策定に協力を行った。

⑥ その他

25 編の完全査読付論文として学術雑誌に発表した。加えて 90 件の国内外の学会発表、講習会、講演、また 10 件のマスコミ掲載などを通して、研究成果を発信した。また、ダム工学会論文賞・著作賞、土木学会関西支部講演会優秀発表賞などを受賞した。

8.12 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)

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) 特定教授: 山路昭彦(兼)

特任教授: 渡邊紹裕 准教授: 佐山敬洋(兼)

准教授: SAMADDAR Subhajyoti(兼)

准教授: 西嶋一欽(兼) 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) 教授: 藤見俊夫(兼)

特定准教授: 渡部哲史 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)

<地球環境学堂>

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)



写真 時計台でのワークショップの様子

(2) 活動の内容

2021 年度には、気候変動リスク予測・適応研究連携研究ユニットワークショップを 11 月 26 日に開催した。

ワークショップは、連携研究ユニット内での意見交換を目的に行った。前半では、竹見哲也先生と榎本

先生から台風の風水害に着目したシミュレーションと台風経路予測に関わる不確実性についての講演があった。後半では気候変動リスク予測・適応研究がこれからどのような方向に向かっていくのかという論点について、フリーディスカッションを行った。普段のプロジェクトベースの目的志向の議論から離れて、自由に議論ができたことは良かったと思います。農学部や外部の方からも参加いただいた。

- 日時：11 月 26 日 16 ～ 18 時
- 場所：ハイブリッド形式・時計台国際交流ホールⅡ(2F)/Zoom
- 内容：話題提供 (2 件) 竹見, 榎本
 気候変動研究のこれまでと動向：中北 / 気候変動ユニットが目指すところ (自由討論)

なお、翌日の創立 70 周年年記念式典パネルディスカッションでは、中北所長からユニットの紹介があった。

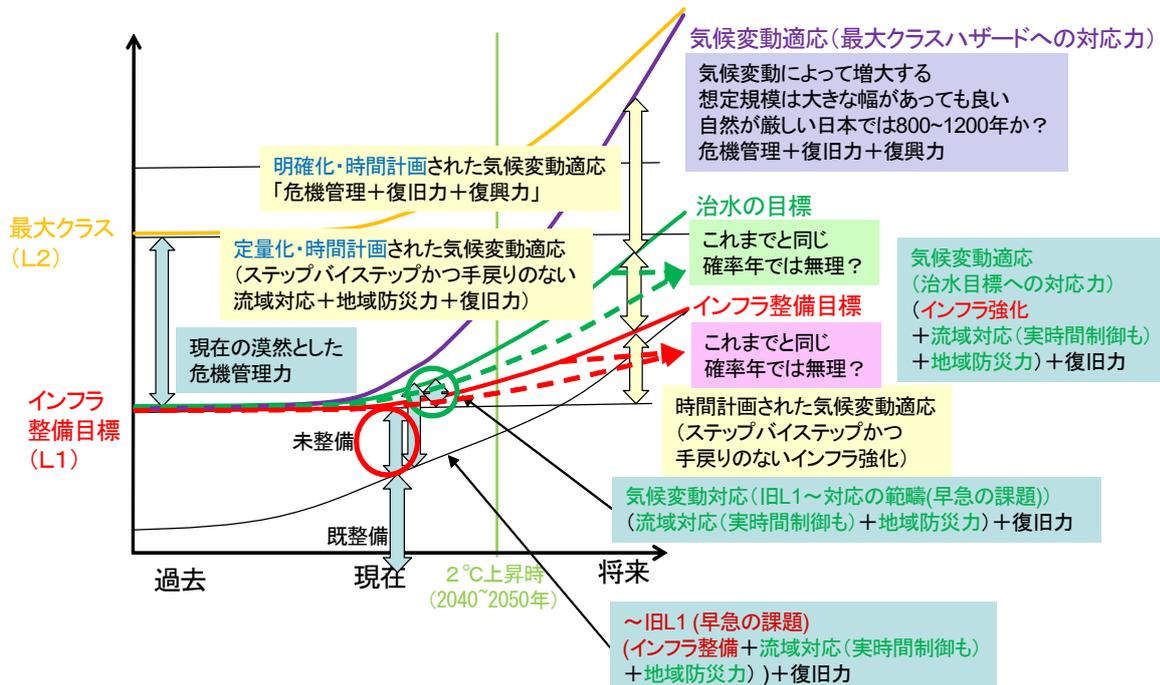


図 議論した気自然並びに社会の変化に応じた気候変動適応 (中北, 2020, 2021)

8.13 地震津波研究ユニット

(1) 設立の経緯

2011年の東日本大震災における津波災害は、予想をはるかに超える規模で、津波災害の脅威を改めて認識させられるものとなった。西日本でも、南海地震およびそれに伴う津波対策は喫緊の課題である。防災研究所においては、地震対策については地震災害研究センターが中心となって複数の研究分野、領域が日々集中的に対応している。津波観測、津波防災、津波避難等については、各グループの関係研究分野および領域がそれぞれ研究範囲を設けて、それぞれが単独で研究を実施しており、横の連携は比較的緩い。ただし、SATREPSメキシコのように地震部門とも連携して、総合的に地震・津波・避難及び復旧という視点で統一的な検討を行っている例もある。そこで、2021年8月に防災研究所内の津波研究を行っている研究分野および領域を取りまとめて、全体を横断する組織である研究ユニットを設立した。このユニットでは地震をはじめとする数々の原因で発生する津波を取り上げ、全所的に津波発生原因の究明、津波観測データのとりまとめと解析、津波浸水モデルの導入、浸水被害予測、港湾内火災予測、産業被災想定と避難所の経営問題および避難シミュレーションと避難訓練などに取り組む。その成果は、公開ワークショップを使ってできるだけ短期間で発信する。設立メンバーは、令和3年度にすでに津波に関する数値計算、模型実験ならびに現地調査や解析を実施してきたメンバーを中心にしており、メンバーが主催する研究室の研究員等も協力している。また、ワークショップの運営には、静岡大学、関西大学の協力を得ている。

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3年7月(延長あり)

(構成メンバー, 全員 兼務)

	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	地震災害研究センター	准教授
7	西村卓也	地震災害研究センター	准教授
8	宮澤理稔	地震災害研究センター	准教授
9	山田真澄	地震防災研究部門	准教授
10	山下裕亮	地震災害研究センター	助教
11	多々納裕一	社会防災研究部門	教授
12	藤見俊夫	社会防災研究部門	准教授
13	牧 紀男	社会防災研究部門	教授
14	西野智研	社会防災研究部門	准教授
15	矢守克也	巨大災害研究センター	教授
16	中野元太	巨大災害研究センター	助教
17	ア・マル グル ズ	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

(ユニット長)

令和3年8月～令和5年3月 平石哲也

令和5年4月～令和8年7月 矢守克也

(ユニット活動費)

各研究グループの自己資金

(2) 活動の内容

ユニット設立にあたって、メンバーの研究活動の相互理解を図るため、設立プレミーティングを令和3年8月10日に実施した。引き続き相互の連携研究を進めるため、研究テーマを調査することを企画し、9月30日に「キックオフ・ミーティング」を行った。ここでは、議論のポイントを連携研究集中し。たとえば、可動型津波防波堤の設置に伴う港内の津波リスクの軽減とその便益等に関する議論を行った。ここまでは、メンバー間の非公開ミーティングである。ここで、研究方針を決めて成果を逐次公開し、成果の発信を図っていた。

以降のユニットの成果報告である2回のワークショップは公開ワークショップである。

① 防災研設立75周年記念-地震津波連携研究ユニット設立ワークショップ-

防災研究所設立75周年記念行事のサイドイベントとして、令和3年11月24日吉田キャンパス時計台記念館国際ホールIで開催した。オンサイト出席23名、オンライン出席15名である。内容は、連携研究の成果として、津波波源特定と津波伝播特性および避難支援ツールの高度化や地元普及などである。

② トンガ津波の緊急調査ワークショップ

南太平洋の島国トンガで、2022年1月15日午後5時10分（日本時間午後1時10分）海底火山が大規模な噴火を起こした。この爆発に伴う空振による長周期の水位変動が日本各地に‘津波’となって伝播した。そのメカニズムをユニットでは協力して解明し、緊急の調査報告会3月23日に開催した。参加者はオンサイト15名、オンライン21名である。

プログラムを以下に示す。

10:05-12:05 調査報告

(司会：宮澤理念)

10:05-10:25 「トンガ火山噴火後に観測された気圧、水位変化（仮題）」馬場康之

10:25-10:45 「トンガ火山の噴火で観測された津波衝撃波」

山田真澄, Tung-Cheng Ho, Jim Mori, 西川泰弘,

山本真行

10:45-11:05 「Tsunami Induced by Atmospheric Pressure Wave After the 2022 Tonga Volcanic Eruption」
Tung-Cheng Ho, Nobuhito Mori

11:05-11:25 「トンガ火山噴火と日向灘地震に伴う津波避難の課題：遠地津波・臨時情報・冬の夜」
矢守克也

11:25-11:45 「警報が出なくても大丈夫。流起式津波防波堤の開発」 米山望

11:45-12:05 「火山活動と津波」 井口正人

また、トンガ津波とほぼ同時期に生じた小笠原海底火山噴火に伴う軽石漂流について、高知県沿岸での対策の詳細を平石が現地調査で検討しており、その結果から今後の対策として以下のような提言を行っている；津波は流れとして作用するので、港口部にバリアを設ければそのエネルギーを減衰させることが可能である。軽石対策用に各港湾の港口部に対応したオイルフェンスが常備されているので、海中に垂らす膜を付けることにより、効果的に津波対策にも活用できるのではないかと考える。

以上のように今回の“津波”や軽石漂流等の予期できない災害については、これまでの事例をデータベース化することによる、いち早い被害程度の予測が重要である。また発災直後の伝搬あるいは漂流シミュレーションモデルの高精度、高速化も必要であろう。さらに対策として、1.0m以下の津波には耐え得るような船の係留方式、港口部をふさぐ可動型の津波防波堤の設置、加えてオイルフェンスの迅速な展開を可能とするオペレーション計画の策定も検討を要する課題である。

8.14 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

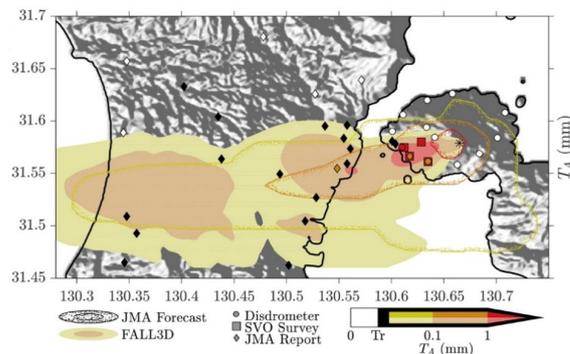
(ユニット活動費)

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

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。



降下火山灰のシミュレーション

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。その上で，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

8.15 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3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2年4月に室長（吉川昌宏）、令和3年4月に1名（名田彩乃）になっている。退職者は、令和2年度に1名（西村和彦）、令和3年度末に2名（加茂正人、波岸彩子）の退職があった。技術職員の平均年齢は、団塊世代の一斉退職後は急速に若年化したが、現状39.0歳と以前に比べてバランスが取れてきている。

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3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。

令和3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、宮崎観測所、白浜海象観測所、穂高砂防観測所、阿武山観測所、宇治川オープンラボラトリーとなっている。

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した技術支援が多い。各部門・センターにおける年間を通し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した長期支援を抱える一方でスポット的にいくつかの短期支援を担うケースがほとんどである。

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

技術支援依頼票の提出実績は以下のとおり、令和2年度の短期支援依頼は20件、長期支援依頼は14件の合計34件。令和3年度の短期支援依頼は30件、長期支援依頼は11件の合計41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3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3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2年度東京大学地震研究所職員研修会、令和2年度京都大学防災研究所研究発表講演会、京都大学技術職員研修(第46回)、令和3年度東京大学地震研究所職員研修会、令和2年度京都大学防災研究所研究発表講演会。

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2年度および令和3年度に新たに取得した資格等は、第一種衛生管理者、危険物取扱者乙種4類、第二種電気工事士、フォークリフト運転講習、玉掛け作業員、床上操作式クレーン運転技能講習、JUIDA 無人航空機操縦技能、フルハーネス型墜落制止用器具使用従事者、自由研削砥石取換業務特別教育、足場の組立て等作業従事者、刈払機取扱作業従事者である。

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2年度は新型コロナウイルス感染症から開催を見送った。令和3年度は、汎用プログラミング言語Pythonについて技術職員を初級、中級に分けて研修を行い、技術室全体のプログラミング能力の底上げを行った。

このような技術職員の積極的な自己研鑽もあり令和3年度には、地震火山災害予防賞の受賞者1名を輩出している。