

8. 部門・センターの研究活動

8.1 社会防災研究部門

8.1.1 部門の活動概要

(1) 部門の研究対象と活動方針

社会防災研究部門は、4つの専任研究分野（都市空間安全制御、都市防災計画、防災技術政策、防災社会システム）、寄附研究部門・地震リスク評価高度化研究分野（阪神コンサルタンツ）（平成30年4月に設置）、地域医療BCP連携研究分野（平成30年12月に設置）、ならびに1つの外国人客員研究分野（国際防災共同研究）から構成されている。部門全体のミッションは「社会の災害安全性向上のための総合防災に関する方法論の構築」である。社会の変遷と災害の歴史を踏まえて、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ことを目的としている。

(2) 現在の重点課題

都市空間安全制御研究分野

- 1) 強震動予測のための地盤増幅の推定
- 2) 木造建築物の耐震性能評価法の開発
- 3) 地震火災や津波火災の性状予測とリスク制御

都市防災計画研究分野

- 1) 災害復興シミュレーションの研究
- 2) 事前復興計画策定手法の開発に関する研究
- 3) 災害後の住まいに関する研究
- 4) 震源の物理を考慮した強震動予測手法の開発

防災技術政策研究分野

- 1) 社会・環境変動と水循環・水災害の相互作用解析および政策展開
- 2) 持続可能社会実現のための国際防災研究戦略

防災社会システム研究分野

- 1) ライフラインの機能損傷が及ぼす経済被害の計量化に関する研究
- 2) 統合型災害リスクコミュニケーション支援システム (iFricSS) の開発

地震リスク評価高度化研究分野（阪神コンサルタンツ）

- 1) 熊本地震の被害集中の原因究明と予測手法の高度化
- 2) 震源の物理を反映した相似則の高度化とリスク評価の高度化

地域医療BCP連携研究分野

- 1) 災害時の医療機関における業務継続性に関する評価手法の開発
- 2) 災害時の地域医療連携のための情報共有システムの開発
- 3) 地域医療BCP構築手法の開発

(3) 研究活動

都市空間安全制御研究分野

「安全・安心なまちづくりのための技術と方法論の開発」を目指し、都市空間の大地震による発災リスクおよびインパクト評価法の研究とともに、安全性と機能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。また、地震や津波に伴う大規模火災の性状を数値的に予測可能な手法を開発するとともに、火災リスク評価への応用やリスクの制御に関する研究を行っている。

都市防災計画研究分野

総合的な防災を実施するため災害復興シミュレーション、事前復興計画策定手法の開発、災害後の住まいに関する研究を行っている。また、地震危険度評価法の開発や都市に潜在する災害危険の評価および被害軽減対策に関する研究を推進している。

防災技術政策研究分野

時空間モデリング、計算機集約型分析、リモートセンシングなどの領域における新技術を考究し、災害事象の監視・予測精度向上、リスクマネジメント・危機管理政策のための応用を目指した研究を行っている。また、地球規模で流域規模の社会・環境変動と水循環・水災害の相互作用を解析し、持続可能・生存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実施している。

防災社会システム研究分野

安全・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・実施するために、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。具体的には、空間応用一般均衡モデルを用いた地震による経済被害の計量化法の開発や、気候変動リスクの社会・経済影響と適応策の評価手法の構築に関する研究、参加型防災計画に関する研究等を行っている。

地震リスク評価高度化研究分野（阪神コンサルタンツ）（平成 30 年 4 月から）

地震リスク評価の高度化に向けて、平成 28 年熊本地震における被害集中の原因を究明し、それを地震動予測手法に反映させる手法について研究するとともに、より一般的に震源の物理則を反映した規模と微視的特性の間の相似則の定量的評価と、それから想定される地震リスク評価のさらなる高精度化に関する研究を実施している。

国際防災共同研究分野

世界各国における災害問題と現象の解明、防災・減災の方策に関する情報交換、技術開発、さらには政策展開など、多面的な国際共同研究を行っている。

平成 29 年度から令和元年度の 3 年間では、下記の客員教員を招聘した。

平成 29 年度

- ・ Prof. Liping Fang (Ryerson University)
- ・ Prof. Michèle Companion (University of Colorado Colorado Springs)
- ・ Prof. John Anderson (University of Nevada, Reno)

平成 30 年度

- ・ Prof. Van-Thanh-Van Nguye (McGill University)
- ・ Prof. Anuradha Mukherji (East Carolina University)

令和元年度

- ・ Prof. Anuradha Mukherji (East Carolina University)
- ・ Prof. LuisAngel Dalguer (3Q-Lab GmbH : スイス・スリーキューラボ有限会社)
- ・ Assistant Prof. Sudip Roy (Indian Institute of Technology (IIT) Roorkee)

(4) その他の活動

研究者相互の情報共有を進め、部門会議を月 1 回行っている。また年 1 回合宿を行い、学生を含む部門全員が参加して、研究発表・討議を行う機会を継続的にもっている。

8.1.2 研究分野の研究内容

I. 都市空間安全制御

教授：川瀬博（平成 29 年度まで）

准教授：西野智研

○ 研究対象と研究概要

阪神・淡路大震災や東日本大震災などの地震による大災害は、建築構造物の耐震安全性や都市における地震災害のリスク管理に関する研究の重要性を示している。当研究分野では、建築物と都市の地震災害管理および火災安全に関する研究を総合的に行い、安全・安心な都市、まちづくりを目指した理論・実験・調査・観測による様々な研究を行っている。

第 1 に、大地震が発生した際の地震動を精度良く予測する手法や、実存する建築物の被害を予測する手法の開発に関する研究を行ってきた。次に、実建築物の耐震安全性を評価する耐震性能評価法や合理的な耐震設計法の開発などの研究を行ってきた。さらに、保有設備を活用して、木造建物、免震建築物等の微動観測と実大・模型建物の振動台実験を行い、その耐震性能の定量化手法を開発してきた。また、地震や津波に伴う大規模火災の性状を数値的に予測可能な手法を開発するとともに、火災リスク評価への応用やリスクの制御に関する研究を行ってきた。

これらの研究をもとに、建築物の集合体としての都市空間全体の災害安全性を調べる都市リスク診断に関する研究を行い、より安全な都市空間を構築することを目指している。

主な研究課題は、以下の通りである。

(1) 地震動と建築物被害の予測手法に関する研究

- ・ 発生した大地震の観測記録と建築物被害の分析

平成 28 年（2016 年）熊本地震で観測された大加速度記録と大破・倒壊家屋の生成原因について、震源特性、伝播経路特性、地盤特性などの要因に分解して分析し、解明を行ってきた。特に平成 30 年度には被害の多かった擁壁の被害の原因分析を目

指して、模型擁壁の振動台実験とその数値シミュレーションを行い、擁壁の崩壊挙動は裏籠めモルタルの健全性に依存していることを明らかにした。

・ 観測に基づく地盤増幅の推定と強震動予測

地震観測記録や常時微動観測記録を分析し、地盤構造の詳細な特性を精度良く把握する新しい手法を開発した。特に地表面上の1点の記録から評価できる地震動の水平上下スペクトル比を用いて大加速度入力時の地盤非線形性の抽出を試み、それを用いた経験的地盤増幅評価法の開発を行った。

(2) 木造建築物の耐震性能評価法の開発に関する研究

低価格で効率的な新しい耐震補強法を開発し、振動台実験および応答解析により、その耐震安全性を評価してきた。また、実建物にこの新しい耐震補強を施した場合に、補強前と補強後に常時微動観測を実施してその補強効果を測り、その有効性について検証してきている。特に平成30年度には、築後100年以上経過した古民家を検討対象として、微動観測データの分析および廃棄古民家の引き倒し実験を通して、その特性を把握し、被害予測モデルを構築した。

(3) 地震火災の経時的な発生予測モデルの開発と出火防止対策の有効性評価

地震火災の発生件数を予測するため、人口1人あたりの出火確率に着目し、これを計測震度や電力の供給率から説明するモデルを定式化するとともに、2011年東北地方太平洋沖地震の出火記録を再現できるよう、モデルの未知パラメータを同定することによって、プレート境界地震に伴う火災の発生件数の予測に利用可能な統計モデルを開発した。また、開発した出火モデルと地震動指標の距離減衰式を用いて、南海トラフ地震の不確実性を考慮した日本全域での確率論的な出火シミュレーションを行い、地震火災の発生件数と条件付き超過確率の関係を表す出火ポテンシャルカーブを消防本部の管轄範囲ごとに推定した。その結果、南海トラフ地震が発生した際、保有するポンプ車の台数を上回る数の火災が発生する確率が10%以上の消防本部は、全国の731の消防本部のうち27あることが明らかになった。また、出火防止対策である感震ブレーカーの普及率が今後

向上した場合に、出火ポテンシャルカーブがどのように変化するかを評価した。

(4) 津波に起因する石油流出火災性状の予測手法の開発と火災ハザードの評価

津波に起因する石油流出火災の性状を数値的に予測可能なシミュレーションモデルを開発した。開発したモデルの妥当性を検証するため、モデルを宮城県の気仙沼湾に適用し、2011年の東北地方太平洋沖地震津波により発生した石油流出火災の再現計算を行った。その結果、モデルは調査や映像記録から判明した当時の火災拡大の傾向を概ね説明できることが分かった。また、開発したモデルを大規模な石油コンビナートを有する大阪港に適用し、南海トラフ地震を想定した津波シミュレーションとそれに基づいた石油流出火災シミュレーションを行って、①流出した石油が津波でどのように流されるのか、②石油に火が着いた場合に火災が海上をどのように拡大するのか、③燃焼領域から放射される輻射熱の影響がどこまで及ぶのか、を評価した。さらに、火災により危険が及ぶ可能性のある津波避難ビルを明らかにし、必要な対応を検討した。

Ⅱ. 都市防災計画

教授：牧紀男

准教授：関口春子

○ 研究対象と研究概要

日本では近い将来、南海トラフ地震・首都直下地震といった東日本大震災を超える規模の巨大災害に見舞われることが予想されている。災害の被害をゼロにすることは難しく、想定される被害をどのようにして減らすのか、発生した災害にどのようにして対処していくのかについて、技術的な観点だけでなく、歴史的・社会的視点も踏まえた研究を行っている。また、被害想定に用いられる予測地震動の信頼性向上のために、地震と地下構造の科学的分析と予測への適用に関する研究を行っている。

主な研究課題は、以下の通りである。

(1) 災害復興シミュレーション技術に関する研究 (牧)

国勢調査・事業所統計調査等のメッシュデータを用い、物理的被害、災害対応、復旧・復興という全

ての側面から総合的に影響評価を行う手法の開発を行っており、阪神・淡路大震災を事例に災害前の社会状況から災害後の社会状況を定量的に推計する方法の開発を行っている。

(2) 事前復興計画策定手法の開発に関する研究 (牧)

南海トラフ地震で大きな被害が予想される和歌山県、兵庫県の淡路島、愛知県といった地域をフィールドに事前復興計画策定手法の開発を行っている。模型を用いた地域の復興ビジョンの構築、発災直後から復旧・復興までの地域の土地利用の検討手法の開発を行った。また、災害復興計画策定時に津波浸水範囲を決定するために、数千の津波シミュレーション結果を重ね合わせて表示するシステムの開発も行った。

(3) 災害復興に関する調査研究 (牧)

復興シミュレーション、復興研究の基礎データとするため阪神・淡路大震災で被災を受けた神戸市長田区、東日本大震災で被災を受けた宮城県石巻市、岩手県陸前高田市、大槌町において CCD カメラを用いた復興モニタリングを実施している。

災害復興の継続的・長期的なモニタリング調査も実施しており、1991 年に噴火災害を引き起こしたフィリピン・ピナツボ火山、阪神・淡路大震災、新潟県中越地震、東日本大震災、2018 年インドネシア・ロンボク島地震を事例に継続的に現地調査の実施を行っている。

(4) 効果的な防災対策を可能にする地域防災計画に関する研究 (牧)

日本において防災対策は一義的に市町村が担うこととなっており、市町村における防災対策の基本的な考え方を整理した地域防災計画の重要性は高い。大学研究者や防災の実務者とともに、効果的な防災対策、災害対応を可能にする地域防災計画のあり方についての研究会を、定期的の実施している。

(5) 災害後のすまいに関する研究

東日本大震災で大きな被害を受けた宮城県名取市を事例として、質問紙調査結果を用いて災害復興事業が被災者のすまいの再建に与える影響を定量的に評価し、安全なまちとして再建するための災害復興事業と被災者の迅速なすまいの再建をどのように調整していくのが良いのかの検討を行っている。

(6) 都市域の地震ハザードマップ (関口)

大阪平野や関東平野など都市域を主たるターゲットとして、プレート境界巨大地震や内陸活断層の大地震を想定した地震動予測計算を行い、被害予測に供するために地震動強さのマッピングを行っている。また、地震動の予測の信頼性を向上させるために、地震動予測計算に用いる想定地震の震源モデルと地下構造のモデルの精度および信頼度の向上のための研究をしている。

内陸地震の震源モデル作成手法に関しては、活断層近傍の地形・地質学的データに基づいて断層面の 3 次元的形状と不均質応力場を推定し、その条件下で物理的に起こり得る地震シナリオを数値シミュレーションで求めるという方法を開発した。また、プレート境界地震の震源モデルの高精度化のために、過去のプレート境界地震について求められた強震動生成域のパラメータの分布に基づいて、強震動生成域内の応力降下量等のフラクタル的不均質の度合いを推定し、予測モデルへ適用した。

堆積平野では、基盤の形状や堆積層地盤の地震波速度構造が地震動評価における重要な要素である。大阪平野では、豊富な地下構造調査データに基づいて、地下構造モデルの作成・提示に関して新たな方法の開発を進めた。これまでに構築した大阪平野～京都盆地～奈良盆地にかけての堆積層構造モデルを用いて平成 30 年 (2018 年) 大阪府北部の地震の地震動シミュレーションを行い、地震動の増幅や後続波の生成の分析や堆積層構造モデルの検証を行った。

Ⅲ. 防災技術政策

教授：寶馨 (平成 29 年度まで)

准教授：佐山敬洋

講師：Florence LAHOURNAT

○ 研究対象と研究概要

時空間モデリング、計算機集約型分析、リモートセンシングなどの領域における新技術を考究し、国内外の水災害に着目して、災害事象の監視・予測・軽減に関する研究を行っている。流域水循環と社会変動の相互作用、気候変動の影響分析を踏まえて、持続可能な社会実現のための技術と方法論の研究開発に取り組んでいる。加えて、土地利用管理を含む

総合的な災害対策を考究するとともに、伝統文化・地域文化を利用したコミュニティのレジリエンス向上に結び付く防災技術政策の研究を進めている。

平成 23 年度から博士課程教育リーディングプログラム「グローバル生存学大学院連携プログラム」(プログラムコーディネーター: 寶馨) を主導し, 3 研究所, 9 研究科 25 専攻の協力のもとに 5 年一貫の博士課程教育を実施して, グローバルリーダー人材の育成に努めている。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てきた。さらに, 平成 30 年度より寶馨がチェアホルダー, 佐山敬洋と Florence LAHOURNAT が事務局を務め, 「水・エネルギー・災害に関するユネスコチェア (WENDI: Water, Energy and Disaster Management)」を発足させた。平成 30 年 4 月には系統的・学際的な大学院レベルの持続可能教育 (HESD) プログラムを開始し, 令和元年 3 月時点で 79 名の履修登録者を有している。グローバル COE プログラム「極端気象と適応社会の生存科学」を契機に開始した世界気象機関 (WMO) フェローシッププログラムでは, 平成 30 年度と令和元年度にミャンマーよりそれぞれ 1 人ずつ受け入れている。

以下に, 研究概要を示す。

(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。平成 30 年度より, 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」にも参画し, 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」に取り組んでいる。この課題では, 日本全国を対象に, 空間解像度約 150 m で分布型の降雨流出氾濫モデルを構築し, 中小河川を含む河川

流量および水位を簡易的に予測するための技術を開発している。さらに, RRI モデルで再現する流出機構を精緻化するため, 滋賀県の桐生水文試験地で土壌や基岩部の水分量変化を観測し, 山体地下水の流動に関する現象解明を進めている。

(2) 極端事象の統計解析と水資源管理政策

豪雨・洪水の年最大値などの極値データを収集し, その確率分布, 頻度解析などを行っている。特に, 近年, 統計年数が 100 年を超える標本 (データセット) が多数の地点で収集可能になってきたことから, 従来のような確率分布を当てはめるパラメトリックな手法ではなく, 観測データを直接使う経験分布によるノンパラメトリックな手法により確率水文量を推定し, その推定精度をブートストラップ法で明らかにした。この手法を気候変動問題に適用する方法も提案している。可能最大降水量, 可能最大洪水などの推定法を提案し, 上記の頻度解析手法と組み合わせ, 水資源管理の計画や政策への応用を取り扱っている。

(3) 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を実施している。平成 29 年 7 月九州北部豪雨, 平成 30 年 7 月豪雨 (西日本豪雨), 令和元年台風 19 号 (東日本台風) を対象に, 科学研究費特別研究促進費や土木学会調査団の枠組みの中で, 現地調査と数値シミュレーションを行い, 災害の対策について提言を行っている。また, 九州北部豪雨では, 可搬型モービルマッピングシステムを駆使した浸水痕跡調査を実施して, 大規模な水・土砂氾濫による地形変化が生じる際に, 地形変化や浸水痕跡を迅速に調査する上で, 同上技術の有効性を示した。さらに, 西日本豪雨, 東日本台風では, 気象庁によるメソアンサンブル気象予測情報を活用した, 長時間のリードタイムを有する洪水予測の可能性について研究を進めてきた。

(4) 情報通信技術 (ICT) の防災活用によるリアルタイム浸水予測に関する研究

リアルタイム浸水ハザードマッピングの実現を目指して, ICT の活用を前提としたデータ同化手法を開発した。具体的には, 事前に実施する多数の浸水シミュレーション結果と自治体職員や消防団等によ

る現場からの浸水関連情報を組み合わせることによって、リアルタイムで浸水深の分布を推定するための手法を開発した。開発した手法は、「リアルタイム浸水ハザードマッピングのための現地情報同化技術」という名称で特許出願し、より実用的な技術開発を民間企業との共同研究によって進めている。

(5) 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」にも参画し、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てきた。その他、マレーシア、ベトナム、中国、パキスタン、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ている。さらに種々の温暖化予測情報を元に水循環への影響を評価し、各地域の温暖化適用策に関する研究を進めている。

IV. 防災社会システム

教授：多々納裕一

准教授：畑山満則（平成28年4月まで）、

Subhajyoti SAMADDAR

○ 研究対象と研究概要

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・実施するために、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た。この際、情報・組織論的なアプローチと経済学的なアプローチを駆使し、社会・経済システムと災害過程との相互作用の解明、リスクコミュニケーションの促進のための方法論構築、参加型防災計画の支援のための情報システムの構築を通じて、災害に強い社会を実現するための防災システムを探索している。また、この防災システムを支える情報処理基盤となり得る時空間データベースに関して、コンピュータ処理と

社会環境への適用の両面からの検討を行い、情報化社会における新たなインフラと考えられる空間情報を生み出した独創性の高い防災情報理論の確立を目指している。

主要な研究テーマは以下である。

(1) 大規模災害の経済的被害の総合的評価に関する研究

大規模災害に対する社会のレジリエンシーを高めるためには、災害に対する「抵抗力」や「復元力」を改善するための総合的災害リスク管理方策を効果的に導入していくことが必要である。これらの施策に対応して災害発生後から復旧・復興に至る災害の全過程を通じて経済にもたらされた被害の変化を総合的に評価し、効果的な代替案を設計・評価するための方法論の開発が求められている。被害の二重計算や計算漏れが系統的に生じないような総合的な被害評価方法に関して研究を推進するとともに、経済被害計量化のための方法論を整備してきた。さらに、サプライチェーンの寸断、復興需要に伴う消費行動の変化などの東日本大震災で明らかになった問題点を取り込み、実態調査結果などの現実的な入力条件のもとで、被害を総合的に評価し得る経済分析モデルを構成する方法の構築を進めている。

(2) 気候変動リスクの経済影響と適応策評価手法構築に関する研究

気候変動リスク管理のためには、リスクの特定と確率の把握とともに、その影響をより精密に評価することが重要である。気候変動に伴う災害環境の変化が引き起こす経済的影響を把握するために必要な経済モデルの構築および適応策の効果を分析するための分析枠組みの構築を目的とし、浸水に伴う生産能力低下、ライフラインの途絶・機能低下、交通ネットワークの損傷などの影響をも考慮した経済被害の計量化方法の構築に加えて、避難計画、土地利用、多重防御、リスク移転策等、既存の施設計画を上回る外力発生時においても一定の被害軽減機能を発揮しうる総合的な減災施策の評価方法を検討し、その経済評価の方法論の構築についても検討する予定である。

(3) 時空間処理と自律協調型防災システムの実現

本研究は、阪神・淡路大震災を契機に提案した被災時にも確実な動作を実現するための「リスク対応型地域管理情報システム」の概念と、その実現のために継続的に開発してきた時空間情報処理をさらに拡張し、地域の生活に安心感をもち、我が身の安全を実感できるようにするための情報システムを実現することを目的としている。対象地域において、安全安心と地域活性化に関するニーズ分析を行い、時空間情報基盤技術、自律分散型情報連携技術、リスク対応型自治体システム構築技術および広域モニタリングと環境計測技術の開発した。さらに、安全安心情報システムの定着化プロセスについて考察を行った。

(4) リスクコミュニケーションや住民主体の災害リスク管理計画の促進

災害リスク管理や災害対応計画への住民や住民組織の参加は、災害に対してレジリエント（強靱な）社会を作り上げるための礎である。しかし、実際には、多くの国や地域で、地域社会はこの種の計画から置き去りにされ、災害に対する社会的備えは充分なものとはなっていない。より望ましいリスクコミュニケーションとリスクガバナンスを地域社会で実現していくためには、この点に関する改善が必要である。このような問題意識のもと、個々の世帯における災害に対する備えとリスクコミュニケーションを対象として、住民の個々人の災害に対する備えの意思決定における認知知覚プロセスの解明に取り組んだ。この研究では、リスク認知の形成、災害リスクに対する反応、災害に対する備えの形成意図などに関して心理学的側面から研究し、行動意図や態度が社会的共同学習を通じて、コミュニティに広がっていく機構に関して考究し、望ましいリスクコミュニケーションのあり方を探求している。

V. 地震リスク評価高度化研究分野（阪神コンサルタンツ）（平成30年度から）

特定教授：川瀬博

特定助教：長嶋史明

○ 研究対象と研究概要

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、近年の地震およ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とともに、その知見を世界に発信し、地震リスク評価手法の国際化を目指している。

主要な研究テーマは以下の通りである。

(1) 熊本地震の震源特性と地盤特性・建物被害に関する研究

・レシピによる運動学的震源インバージョン

従来のインバージョンでは断層変位運動に伴う速度パルスに引きずられて、滑らかな階段関数状の観測記録の再現は良くできているが、その出現前に付随している断層変位とは逆方向のパルスは再現できていない。そこで震源域での観測強震動波形と矩形強震動生成領域を用いた運動学的震源インバージョンにより、逆方向パルスと断層変位運動を同時に説明できる震源モデルを構築する。

・バックプロジェクション法による短周期生成領域
熊本地震の短周期生成領域に着目し、観測波形を震源にそのまま引き戻す強震動バックプロジェクション法により生成領域に関して有用な情報を得ることが可能かを検討する。

・益城町の強震動と被害シミュレーション

益城町役場を中心とした被害集中帯では、地震動の空間変動に対してサイト特性がどのように寄与したのかについて明らかになっていない。既に地震基盤から上部の3次元地下構造モデルを構築して、別途求めた地震基盤露頭相当層での推定入射波形と非線形1次元地盤応答から、益城町役場周辺の強震波形を再現しているが、本研究では、さらに得られた地下構造モデルを2次元地盤モデルに統合してその非線形有効応力解析を行い、面的に強震動波形を再現する。

(2) 強震動予測手法に立脚した地震リスク評価手法に関する研究

・拡散波動場理論による地震基盤での地震動評価

上下動の伝達関数が大きく非線形化しないとの仮定の下で、単独強震動波形に対して拡散波動場理論を適用して地表記録の水平上下比から露頭入射地震動スペクトルを直接求める方法を用いて、地中記録もある強震観測点での基盤地震動を求める。次に、通常の地表と地中のスペクトル比から等価線形手法に

よる剥ぎ取り解析で求めた基盤地震動と比較して、その妥当性を検証する。

- ・運動学的インバージョン結果によるスケーリング
公開されている過去の運動学的インバージョン結果がを用いて、起震断層の長さ・幅・すべり量との関係を整理する。次に、そこに最近の日本における震源インバージョン結果を加え、強震動予測レシピで提案されている断層パラメタのスケーリング則がこれらのデータに対しても妥当であることを検証する。

- ・動的破壊シミュレーションによるスケーリング
動的断層パラメタのうち断面の微視的構成則を支配するパラメタの平均値とその深さ方向分布に関してパラメトリック解析を行い、破壊が進展した断層面の長さ・幅、アスペリティの平均滑り量、およびその深さ方向分布について、理論計算結果と事前設定情報の関係を整理し、スケーリング則を確立する。

(3) 新しい地盤増幅率評価手法の開発

日本の強震観測データを分析することにより、水平動と上下動の各地点でのサイト増幅特性を把握し、その性質を平均化することにより、水平上下スペクトル比から地盤増幅率を直接評価する方法を開発する。

(4) 地震による建物被害を考慮した津波避難シミュレーション

地震による災害リスクには、津波による被災リスクも含まれている。従来の津波避難シミュレーションには地震によって引き起こされる建物被害は考慮されてきていないが、実際にはそれが道路閉塞を引き起こし、避難の妨げになることが想定される。そこで、建物被害率を推定強震動から求め、それを考慮して倒壊建物棟数を推定し、それによる道路閉塞確率を考慮した津波避難シミュレーションを行うという手法を開発しいくつかの地域に適用してきている。

VI. 地域医療 BCP 連携研究分野

教授：小池薫（連携）

牧紀男（兼任）

准教授：大鶴繁（連携）、

倉田真宏（兼任）

○ 研究対象と研究概要

現在、災害時の医療機能の維持が新たな課題となっており、熊本地震と大阪北部の地震では病院機能が停電・被災して、大規模な入院患者の転院が行われるという事態が発生した。熊本地震の反省を踏まえ厚生労働省は災害拠点病院に対して病院 BCP 作成の義務化を行う等、災害時の医療機能の維持は非常に重要な課題となっている。総合防災学の共同利用・共同研究拠点である防災研究所と、災害拠点病院である医学部附属病院とが共同で「地域医療 BCP 連携研究分野」を平成 30 年 12 月に設置し、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 について下記のような研究を行っている。

主要な研究テーマは以下である。

(1) 災害時の医療機関における業務継続性に関する評価手法の開発

熊本地震、大阪府北部の地震について業務継続という観点から見た病院の被害、ならびにその後の対応についての現地調査を行い、業務継続という観点から求められ医療機関の対応について明らかにしている。

(2) 病院における地震応答速報システムの開発

医療従事者や患者の安全確保を念頭に、京大病院の建物に地震計を設置し、建物の損傷度と医療機能の低下度を評価する仕組みについて試験運用を続けている。災害拠点病院は複数の建物からなる大規模複合施設であるため、地震計を設置する建物数を限定的に抑えつつ敷地内全体の被害を推定する手法の開発が望まれる。また、建物の地震応答を正確に計測できたとしても、建物の状態に関する評価結果には高い不確定性が含まれる。不確定性の高い情報を、医療関係者が多数を占める災害対策本部で効果的に活用してもらうためには、情報伝達の在り方や方法を慎重に検討しなければいけない。災害急性期の混乱の中、地域医療の最後の砦を自負する医療関係者に、病院避難という現実を突きつけることができるか、連携の強みを生かして、議論とシステムの更新を続けている。

(3) 医療機器の耐震実験

防災研究所の施設や資源を有効活用して、振動台を用いた医療機器の耐震性評価・分類に関する研究を遂行している。医療機器の耐震性を評価した過去の研究を参考にして、医学部附属病院との連携という強みを生かした現場をリアルに再現することに注力して、実験を実施した。手術室の床を模擬した架台上に設置した手術台の振動台実験では、地震時における手術患者の体位ごとの転落リスクを検討し、手術体位として仰臥位、頭低位などを対象にして、従来の術中の患者固定方法や手術台のブレーキ仕様の影響を検証した。

一連の実験には、特に病院内の医療機器の維持管理および運用を引き受ける臨床工学部門との連携および医療機器メーカーの協力が不可欠であり、災害時の対策について現在も議論を継続している。

(4) ニュージーランドとの連携

JSPS2 国間連携プログラムの国際共同研究（2019－2020 年度）を受けて、「医療施設の地震への備え及び損傷診断法の向上」についてニュージーランド

のオークランド大学とワイカト大学の研究者と共同研究を進めている。

日本とニュージーランドの病院施設の災害対策マニュアル、災害時の事業継続性計画などの資料を収集して、その比較から両国における耐震対策の利点・欠点を分析した。ニュージーランド側研究者の京都訪問では、京都大学医学部附属病院の災害訓練状況やBCPについて議論を交わすとともに、京都市消防局の消防指令センターを訪問して地域の高齢者などへの対応方法について、情報を収集した。ウェリントン市とオークランド市の訪問では、ニュージーランド官邸のもとで災害対応を主導する National Crisis Management Centre や両市域全体の地域医療を支える Wellington Regional Hospital や Auckland City Hospital を視察し、災害時対応マニュアルなどに関する情報を収集した。

8.2 巨大災害研究センター

8.2.1 センターの活動概要

(1) センターの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た上で、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。

(2) 現在の重点課題

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（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

(3) 研究活動

巨大災害研究センターでは、以上の研究を発展させるべく、3 つの柱、すなわち巨大災害過程、災害情報システム、災害リスクマネジメントを構成して研究の推進を図っている。これらの研究分野において、専任教授 3 名、准教授 2 名、助教 1 名は、本学の工学研究科、情報学研究科にそれぞれ協力講座の形で所属しており、常時、20 名程度の修士・博士課程の大学院生の研究指導を実施している。なお、これ以外に国内客員教授、准教授各 2 名、外国人客員教授 1 名の定員の他、現在、非常勤講師 3 名、学内研究担当教官若干名、研究員若干名によって共同研究を実施してきている。

特に特筆すべきは、平成 30（2018 年）年 7 月豪雨、2019 年東日本台風など、近年、日本社会を襲った大災害に関する調査研究である。災害情報、避難行動、経済被害、Natech（自然災害が誘発する人為災害）など、多様な観点から多くの研究を推進し、国際的学術誌への成果公表など学術的成果だけでなく、政府、地方自治体における各種委員会への貢献、防災教育ツールの開発など社会貢献の面でも多くの成果をあげた。

(4) その他の活動

さらに、当センターでは、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) 国際防災総合学会の実施
- 2) SIP（内閣府戦略的イノベーション）プロジェクトの実施
- 3) 阿武山観測所サイエンスミュージアム・プロジェクトの実施
- 4) 文部科学省南海トラフ地震調査研究プロジェクトの実施
- 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）

8.2.2 研究領域の研究内容

I. 巨大災害過程研究領域

教授：矢守克也

准教授：大西正光

助教：中野元太（令和元年12月から）

① 領域の研究対象

実践的な防災学の構築

巨大災害に対する総合減災システムの確立と実践的防災学の構築をメインミッションとして、安全・安心な社会を実現するために、巨大災害による被害を軽減するための研究を社会科学・自然科学を融合して行っている。特に、社会心理学を中心とした社会科学の立場から、災害情報、防災教育、減災文化のあり方を提案し、真に「実践的な」防災学とは何かを探っている。災害に対する都市や社会の脆弱性、防災力、異常な自然力の発生とそれに対する社会的反応について、定量的・定性的に評価する方法を開発している。

社会現象としての災害の学理と被害低減を目指した実践的防災学の構築を図るためには、単に現場における実用的な研究を志向しているだけでは不十分である。代わって、防災学が社会の中に産み落とした知識・技術—その中には、防災に関する自然科学的な研究が生産した知識・技術はもちろん、防災に関する人間・社会科学的な研究（防災心理学や災害社会学など）が生産した知識・技術も含まれる—を前提として、自然災害へと立ち向かう社会における自分自身の立場を再帰的に眼差す学術的視線（「防災人間科学」）を、防災学はもつ必要がある。

本研究室では、ワークショップ、ゲーミング、科学教育（アウトリーチ）など、地域社会、学校、地方自治体などにおける地域防災実践や防災教育の具体的で実践的なとりくみを通して、防災・減災に関する implementation science（実践適用科学）を、理論的かつ学術的に確立することを目指している。

持続的な防災教育と減災文化の形成

災害はしばしば、人びとが防災のための知識・経験を忘れた頃に発生する。また災害は、それがもたらす被害が巨大であるほど、その時代の人びとや社会に伏在している問題を、避けて通ることができな

い課題として露呈させる。このため、大災害の再来までの平穏期においても、来るべき大災害による被害を軽減するために、また、社会のありようを根本的に問い直し改革するためにも、防災教育やアウトリーチ活動を通じて、減災文化の形成に不断に取り組んでいくことが必要となる。このような社会を実現するために、本領域は、総合的な減災学を確固たる学術的領域として構築し、世の中に浸透させるための研究を行っている。

以上に関する研究・実践の成果は、この3年間だけでも、「Disaster risk communication: A challenge from a social psychological perspective」（Springer）「アクションリサーチ・イン・アクション—共同当事者・時間・データ—」（新曜社）、「天地海人—防災・減災えっせい辞典—」（ナカニシヤ出版）などの単行本（書籍）、100本以上の学術論文、300件以上にのぼる多数の新聞記事、テレビ・ラジオ報道などにより、広く社会に発信され、また利活用されている。

② 現在の主な研究テーマ

個別具体的な研究課題は、以下の通りである。

- 1) 突発災害調査と被災地に対する支援活動をベースにした実践的被災地研究、災害復興研究（阪神淡路・大震災、東日本大震災、熊本地震、西日本豪雨、東日本台風、メキシコ地震（2017年）など）
- 2) ゲーミング技法を中心とした参加型の防災教育・訓練技法の開発研究（防災ゲーム「クロスロード」の開発と実践的運用、評価など）
- 3) 津波避難訓練手法の開発研究（「個別避難訓練タイムトライアル」、スマホアプリ「逃げトレ」など）
- 4) 内陸地震観測に関する「満点計画」と連動した防災教育とアウトリーチに関する研究
- 5) ナラティブ研究、アクションリサーチ、社会構成主義など、最新の社会心理学的研究と防災研究との融合研究
- 6) 防災教育・減災教育に資する教材、ツール、カリキュラム、手法開発に関する研究
- 7) 地域住民、行政（自治体）、専門家、マスメディアなど多様な関係者の一体的協働に基づく

防災実践に関する実践的研究とネットワーク形成

- 8) 内閣府戦略的イノベーションプログラム (SIP) 第2期による研究 (地域BCP関連研究)
- 9) 内閣府戦略的イノベーションプログラム (SIP) による研究 (津波避難関連研究)
- 10) 金融経済学に基づく減災ファイナンス制度に関する研究
- 11) 地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (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」における科学コミュニケーションと社会実装研究
- 12) 国際文化比較に基づく防災文化と国際防災支援に関する研究
- 13) 桜島大規模噴火時における航空交通網の危機管理体制構築に関する研究

II. 災害情報システム研究領域

教授：畑山満則

① 領域の研究対象

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、情報収集へのICT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取り扱っている。

② 現在の主な研究テーマ：

- 1) 効果的な災害対応の実現の基盤となる並行時空間情報管理に関する研究

地理空間情報は一般的に静的な情報の集約に利用されてきたが、災害発生時には状況が時々刻々と変化するため、空間情報と時間情報を同時に取り扱う必要がある。さらに、意思決定を支援するためには、

その根拠となるシナリオ評価やシナリオシミュレーションの結果を一元的に管理することが求められる。これを実現するために、現実の時間軸に加えて並行時間軸をも管理可能な空間データベース管理手法に関する研究を行っている。

- 2) 災害対応時のAI、ドローン活用に関する研究

ドローンによる空撮画像から得られる災害後のオルソ画像と、オープンコミュニティで作成される被災地の建物ポリゴンデータを用いて、深層学習を用いた被災地域の屋根被害推定手法を開発した。これらの処理により罹災証明発行のプロセスの一部を大幅に効率化できる可能性を示した。

- 3) ハザードマップの定期更新のための地理空間情報管理技術に関する研究

ハザードマップのもととなる浸水想定区域図は、大規模な開発や治水対策、災害復旧工事などが行われるたびに更新すべきであるが、現状ではコスト面の問題から頻繁な更新は行われていない。この原因が、浸水シミュレーションを行うためのデータ整備にあると考え、その管理手法について、滋賀県を対象として、具体的な検討を行っている。

- 4) IoT デバイスを用いた土砂災害に強い地域づくりに関する研究

土砂災害は、早期警戒情報の発表が難しいため、危険地域のコミュニティによる自主的な行動が求められる。近年、通信環境の整備とセンサや通信ユニットの安価化により現場での利用が期待されるIoTデバイスを使って、様々な地域での気象情報を観測することで、タイムリーな自律的避難ができるコミュニティづくりのための情報システムの構築を行っている。

- 5) 災害対応時に機能する地域防災計画や災害協定の在り方に関する研究

災害対応時には地域防災計画や災害協定に基づいた対応活動が行われることになるが、これらの文書に齟齬があったり、関係する人や組織間で認識のずれがあったりすると、想定されていた効果的な活動が行えない場合がある。このような事態に陥らないためには、これらの文書がどうあるべきかについて、情報技術（テキストマイニング）を用いた分析と法

制度や契約の在り方といった視点からの分析を行っている。

6) エージェントモデルを用いた津波避難計画策定に関する研究 (畑山満則)

津波リスクの高い地域の避難計画の策定を支援するエージェントシミュレーションの構築と、避難施設や地区防災計画策定に関する研究を行っている (高知県黒潮町・四万十町, 静岡県焼津市, メキシコゲレロ州シワタネホなど)。

7) 帰宅困難者の避難誘導手法に関する研究 (畑山満則)

大都市圏での災害発生時における帰宅困難者について、被災地を安全に効率よく被災地外に移動させるための方策について検討を行っている。

Ⅲ. 災害リスクマネジメント研究領域

教授: アナマリア・クルーズ

准教授: 横松宗太

① 領域の研究対象

都市の人口増加や産業化は、多くの人々や資産を自然災害リスクや Natech (自然災害が引き金となって産業事故が発生するかたちの複合災害) に曝している。災害リスクマネジメント研究領域では、このような複合災害の物理的かつ社会経済的インパクトを評価して、それらを軽減して持続可能な発展や社会的レジリエンスを実現するための対策について分析している。災害リスクマネジメントと復興の戦略について、学際的で総合的な視点から研究を展開している。

② 現在の主な研究テーマ

1) 自然災害と産業事故 (Natech) の複合災害リスクのマネジメント

a. 2019 年 8 月下旬に西日本を襲った大洪水によって佐賀県の製鉄所から近隣の農地・住宅・灌漑運河に大量に流出した油汚染の分析と、市民、応急対応者、非営利組織による緊急対応の取り組みの実態分析を行った。

b. 2019 年に台風 15 号が千葉県と茨城県の産業施設に及ぼした影響の調査と分析を行った。千葉県警察本部付近の突風速度は 53 m/s に達し、袖ヶ浦・姉ヶ崎地域では 42 m/s を超えるものであ

った。報告された損傷には、冷却水塔の崩壊、足場や踏み台および機器の断熱材の損傷が含まれている。

- c. 2018 年 7 月 6 日 23 時 30 分に洪水が引き金となって発生した岡山県総社市のアルミ工場での爆発事故の調査を行った。この事故は、工場近くの住宅地に影響を与え、下原地域の住民の避難を必要とした。総社市消防署の初動対応者、下原町地域防災組合連合会の市民、および数人の個人住民を対象に、現地視察とインタビューを行った。
- d. 2018 年 11 月 4~11 日にインドネシアのチレゴンシティにて開催された ASEAN 地域災害緊急対応シミュレーション演習 (ARDEX) に参画した。そこで私たちは、Natech リスク評価と過去の Natech 事故に関する研究に基づいて構築されたケースをシナリオに追加するなどの貢献をした。
- e. 地震に関連した Natech リスクを評価するための、広域対応の定量的な方法を開発した。さらに、ブリティッシュ・コロンビア大学の研究者との共同によって、信念 (主観的確率) に関するベイジアン・ネットワーク・モデルを用いた地震関連 Natech リスクアセスメントを提案した。

2) 安心・安全な災害リスク軽減のための参加型リスクマネジメントに関する実証的研究

コミュニティの安全とセキュリティを包括的に強化するためには、市民による参加型リスク管理が不可欠である。当領域では、海外フィールドにおける住民参加型の活動を対象とした研究を行っている。それらには、アフガニスタンの都市と地域におけるジェンダーと防災に関する研究や、モンゴルにおける大気汚染と住民のリスク認知に関する研究等が含まれている。

3) 災害リスク下の経済成長分析

巨大災害リスク下にある開発途上国の経済成長モデルを開発し、災害が経済成長に与えるインパクトや、防災投資の長期的な効果について分析している。2018 年に発表した論文では、防災投資の経済成長効果を「事後的被害減少効果」と「事前のリスク軽減効果」の二つの効果に分解した。後者は、結果的に災害の発生がなかったとしても、事前のリスクその

ものの減少によって生産投資が促されて経済が成長するという効果であり、従来は指摘されてこなかったものである。実際のある途上国を対象としたケーススタディでは、その効果が全防災投資効果の約40%を占めることが判明した。また、2018年3月から1年7か月間「国際的な活躍が期待できる研究者の育成事業」(日本学術振興会)によって国際応用システム分析研究所(IIASA, オーストリア)に滞在して、国際共同研究として本分野のモデルを発展させた。そのモデルはDYNAMMICS(Dynamic Model of Multihazard Mitigation Co-benefits)と名付けられて、

国連のプロジェクトに採用され、アフリカ3国のケーススタディに適用された。

4) 社会ネットワークモデルを用いた地域資産の価値評価に関する研究

地域コミュニティの伝統的な祭りや地域資産に着目し、地域住民のアイデンティティが、地域資産や他の住民との共同実践の中でどのように形成されるのかを分析している。神戸市長田区の商店街を対象とした地域研究や、災害救援物資の備蓄戦略の研究も進めている。土木計画学や社会心理学、経済学の知見を用いた分野横断的研究である。

8.3 地震災害研究部門

8.3.1 部門の活動概要

(1) 部門の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している。この目的のために、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。

(2) 現在の重点課題

強震動研究分野では、発生確率の高いプレート境界巨大地震である東南海・南海地震によって近畿圏をはじめとする人口集中域がどのような地震動に見舞われるかを定量的に予測すること、また、これまでの知見から、西日本地域においては東南海・南海大地震に先行して、活断層に関係した内陸地殻内地震が頻発する可能性があることから、そのような都市直下の地震による強震動を精度よく予測することを重点課題としている。

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、地盤と構造物の地震時破壊メカニズムの解明および新たな耐震・制震構造の研究に重点をおいている。

構造物震害研究分野では、表層地盤や地盤－基礎－構造物連成の影響による地震動増幅減衰特性の定量化を通じ、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した上で、安全性、損傷性、機能性等の性能評価手法を構築するとともに、実効力の高い耐震安全性向上施策を提案することに重点をおいている。

(3) 研究活動

強震動研究分野では、強震動予測をするための震源モデル及び地下速度構造モデルを高精度化するため、大地震の震源過程の解析、不均質震源特性と広

帯域強震動生成の関係解明、特性化震源モデルの高度化、長周期地震動の伝播・増幅特性、表層地盤における地震動伝播・増幅特性などの研究を進めている。

耐震基礎研究分野では、地震動の発生・伝播メカニズムの研究、土木構造物の地震時破壊メカニズムの分析研究、次世代耐震化技術の研究などを進めている。

構造物震害研究分野では、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進めている。

(4) その他の活動

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もらい、常に情報共有を図っている。

8.3.2 研究分野の研究内容

1. 強震動

教授：岩田知孝

准教授：浅野公之

非常勤講師：三宅弘恵（東京大学）

研究担当：釜江克宏（平成29年度）、
上林宏敏（複合原子力科学研究所）

(1) 研究対象と研究概要

災害に強い都市づくりをめざして、都市の地震災害に対する脆弱性を定量的に評価することを目的とした強震動予測の高精度化に関する研究を進めている。また、稀にしか発生しない大地震の震動特性や震源・地下構造のモデル化に関する知見を拡大・共

有するため、国外の研究者との共同研究や交流も進めた（フランス、台湾、インド、チェコ、メキシコなど）。

- ・ 大地震の震源インバージョン解析に関する研究
平成 30 年（2018 年）大阪府北部の地震、平成 30 年（2018 年）北海道胆振東部地震を対象に、強震記録を用いた震源インバージョン解析を実施した。

2014 年大阪府北部の地震（ M_{JMA} 6.1）について、強震波形記録を用いたセントロイドモーメントテンソル解析によるダブルカップル震源の分解、強震波形記録（0.1～2 Hz）を対象とした震源インバージョン解析を実施した。初めにほぼ南北走向の逆断層でのすべりが生じ、約 0.3 秒後に北東－南西走向の横ずれ断層でのすべりが始まり、その主たるすべりが南西上向きに伝播することにより、大阪平野北部に指向性パルスを生じさせたと推定された。多数の余震のモーメントテンソル解から応力場を推定した結果、中間応力と最小主応力の大きさがほぼ等しく、逆断層すべりと横ずれすべりが同時に発生した主たる要因が明らかとなった。また、当分野を中心とする研究チームで永年にわたり大阪・京都周辺の地盤モデルを高度化してきたことで、従来の震源インバージョン研究よりも高周波数成分（2 Hz まで）まで信頼できる解析が行え、本地震の震源像を詳細に解明し、周辺の活断層帯との関連性を議論できた。解析結果は地震調査委員会等へ提出し地震活動評価に資するとともに、地震動評価、地震活動、活断層研究、水道管被害メカニズムなど周辺分野の理工学的研究に活用された。

日高衝突帯の複雑な地殻構造で発生した平成 30 年（2018 年）北海道胆振東部地震では、3 次元速度構造モデルを用いた理論グリーン関数を用い、強震波形（0.05-0.5 Hz）による震源インバージョン解析を行った。主要なすべりは下部地殻で生じ、上部地殻には断層破壊が及んでいないことを明らかにした。震源過程モデルと 3 次元速度構造モデルを用いて、地震動シミュレーションを実施し、不均質な震源破壊過程と地下構造の両者が地震動の空間分布に及ぼす影響を評価した。震源よりやや南方に位置するアスペリティの破壊が上向きに進行することにより生じた指向性パルスが、勇払平野東部の厚い堆積層に

より増幅したことで、厚真町やむかわ町を中心とする地域で強震動が生じたと結論づけた。（浅野公之・岩田知孝）

- ・ 広帯域強震動シミュレーションによる特性化震源モデルの高度化に関する研究

平成 28 年（2016 年）熊野灘の地震、平成 28 年（2016 年）鳥取県中部の地震、平成 28 年（2016 年）台湾美濃地震、平成 30 年（2018 年）北海道胆振東部地震、気仙沼沖の繰り返しプレート境界地震を対象に、経験的グリーン関数法を用いた広帯域強震動シミュレーションを行い、各地震の強震動生成域をモデル化し、強震動予測のための特性化震源モデル高度化に必要な知見を発展させた。

2016 年熊野灘のプレート境界地震（ M_{JMA} 6.5）では、陸上の観測記録に加え、震源域に設置されていた海底地震観測網（DONET）の強震記録を活用することで、破壊様式や応力降下量などの震源特性情報を拘束することができ、従来求めていた日本海溝のプレート境界地震と南海トラフのその震源特性の差異を明らかにした。気仙沼の $M6$ 級繰り返しプレート境界地震では、4 回の地震の強震記録が同一観測点で得られていることに着目し、伝播特性の違いが震源特性評価に及ぼす影響を抑えた上で、繰り返し発生するプレート境界地震の応力降下量が、4 回の平均値±25%程度の範囲で揺らいでいることを明らかにした。強震動予測の震源モデル設定において不確かさを入れるための有力な知見が得られたと考えている。

2016 年鳥取県中部の地震と 2018 年北海道胆振東部地震では、複数の SMGA からなる震源過程を精緻に表現するため、各 SMGA の位置を波群の到着時刻情報を用いて同定した上で、SMGA をモデル化し、観測された地震動と各 SMGA の寄与などを議論した。（浅野公之・岩田知孝）

- ・ 長周期地震動の伝播特性に関する研究

2 地点の地震計で観測されている連続震動記録の相互相関関数を長期間スタックすることにより観測点間グリーン関数を求めることができる地震波干渉法を、紀伊半島（陸上）の Hi-net 観測網および南海トラフ震源域上の海底地震観測網（DONET）の間で適用し、周期 4～10 秒の周期帯域の観測点間グリー

ン関数を求めた。得られた観測点間グリーン関数の妥当性は、DONET 直下で起きた 2016 年熊野灘の地震の Hi-net 記録と比較することで確認した。違う観測点ペアの観測点間グリーン関数を含め、これらのグリーン関数は、想定東南海・南海地震の長周期地震動の予測や、現存する地下構造モデルの検証に用いることができる。

地震波干渉法は 2 観測点の周りに震動源が均一に分布していることが理想で、その場合には時間軸に対して対称（相反定理）となる。実際の陸域と海域のこの周期帯の震動源は波浪によるものと考えられ、求められた観測点間グリーン関数は、震動源が空間的に偏っていることや、季節変化がある結果として時間軸対称性がいつも成り立っているわけではなかった。そこで、似通った形状や時間軸対称性を持つような相互相関関数を機械学習により選別することで、観測点間グリーン関数の推定精度を向上させる枠組みを構築した。（岩田知孝）

- ・ 表層地盤での地震動伝播・増幅特性に関する研究

京都盆地南東部の京都大学宇治構内に設置している 3 次元小スパンアレイ地震観測システムや京都市内のリニアアレイ強震観測網、京都大学百周年時計台、大学院理学研究科附属地球熱学研究施設等における強震観測を継続した。2018 年大阪府北部の地震及び余震の強震記録などが得られ、盆地内の震動特性の研究に活用した。

K-NET, KiK-net, 気象庁震度計波形データに加えて、自治体震度情報ネットワーク波形データ等を収集して、スペクトル・インバージョン法を適用し、震源特性、伝播経路特性、観測点サイト増幅特性を分離した。自治体震度計観測点は、人口集中域にある場合が多いため、地震ハザード高度化のための有効な情報を得ることができる。加えて、得られたサイト増幅特性を使って、整備されつつある強震動予測のための浅部・深部地盤構造モデルの妥当性検証を行った。対象地域は、2016 年 4 月の熊本地震の余震を、熊本県を中心とした強震観測点で記録したもの（熊本データセット）、及び静岡県下の SK-net（東京大学地震研究所）等で得られた地震記録（静岡データセット）である。

熊本データセットでは、各観測地点の地震波サイト増幅特性と熊本地震系列の震源パラメータを推定した。既往の浅部・深部地下構造モデルに基づいて、観測サイト直下の構造モデルによる理論的増幅特性を観測サイト増幅特性と比較し、多くの観測点で 2Hz 程度以下の周波数帯で両者が類似していることがわかった。また、ある地震に対して、多数の観測点での観測スペクトルと合成スペクトルの差が系統的に方位特性をもっていることを見出し、それを利用した震源パラメータ推定精度の高度化に着手した。

静岡データセットでは、熊本データセットと同様のサイト増幅特性の特徴を得たほか、解析したイベントの応力降下量が深い地震ほど大きいといった特徴を知ることができた。地球物理学的な方法に基づいて作成された浅部・深部地下構造モデルの有効性、妥当性を示す方法の一つとして、実地震記録を用いたサイト増幅特性との比較が有用であることを示すことができた。（岩田知孝・浅野公之）

- ・ 地下構造のモデル化に関する研究

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、地下構造情報の不足する函館平野及び津軽平野において微動アレイ観測や単点微動観測を行い、平野内の速度構造をモデル化した。

将来発生する南海トラフ巨大地震へ備える研究を理学・工学・社会学の連携で行う文部科学省委託研究「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」（代表機関：海洋研究開発機構）では、熊野灘周辺の DONET 広帯域地震計記録を用いた地震波干渉法と群速度トモグラフィに基づき、熊野海盆周辺の S 破三次元速度構造をモデル化した。長周期地震動シミュレーションのほか、DONET 地震計を用いた震源決定や緊急地震速報のための走時・振幅補正への今後の活用が期待される。

2001 年に Bhuj 地震が発生し、大きな被害に見舞われた当時は強震観測が行われていなかったインド・カッチ盆地において、地震後にインド国立地球物理学研究所によって展開された強震観測網の記録やインドでの地震学的研究成果を用い、インドの研

研究者との二国間共同研究として、カッチ盆地の3次元地盤構造をモデル化した。2001年 Bhuj 地震の地震動シミュレーションを行い、Bhuj 地震の震源断層近傍で 50 cm/s 以上の極めて大きな地震動となることを示した。(浅野公之・岩田知孝)

- ・熊本地震を踏まえた総合的な活断層調査

平成28年4月の熊本地震に関連する布田川―日奈久断層帯の活動評価や強震動評価の高度化を目指し、平成28年度から平成30年度の3カ年計画の「総合的な活断層調査」が、九州大学大学院理学研究院、(研)産業技術総合研究所、鹿児島大学大学院理工学研究科、熊本大学大学院先端科学研究部とともに実施された。防災研究所は「断層帯周辺における強震動予測の高度化のための研究」を担当し、所内では社会防災研究部門の川瀬博特定教授、関口春子准教授、地震災害研究部門の松島信一教授が参画し、布田川断層帯布田川区間と日奈久断層帯高野―白旗区間の活動とみられる熊本地震を踏まえ、当該断層帯の残りの区間が活動した場合の強震動予測の高度化を目指し、人工地震探査、微動調査等を断層帯周辺で実施して地下構造モデルの更新と強震動予測を行った(岩田知孝・浅野公之・三宅弘恵)。

- ・奈良盆地東縁断層帯における重点的な調査観測

令和元年度から3カ年計画での標記断層帯の重点観測を、同志社大学、(研)産業技術総合研究所などと協力して実施している。防災研究所では、社会防災研究部門の関口春子准教授、地震災害研究部門の松島信一教授、地震予知研究センターの飯尾能久教授、巨大災害研究センターの大西正光准教授が研究に参画している。本分野では、令和元年度に宇治市および奈良市において断層帯を横切る反射法探査を実施し、本地域の盆地基盤面に至る地下構造に関する情報を入手した。京都府南部において極小半径から大半半径の微動アレイ探査による地盤構造調査を実施した。自治体やライフライン関係者と情報交換のために地域勉強会を開催した。(岩田知孝・浅野公之・上林宏敏)

(2) その他の活動

岩田知孝：文部科学省地震調査研究推進本部地震調査委員会強震動評価部会長(平成30年4月から)、関連分科会委員として、全国地震動予測地図の作製

に関して助言を行っている。また、関西地震観測研究協議会座長(平成30年6月から)を務めている。また、(公社)日本地震学会強震動委員会委員として強震動研究の最先端の研究成果討論の場としてシンポジウムの企画、強震動予測手法の普及のための講習会企画、講師を積極的に行っている。

浅野公之：(公社)日本地震学会強震動委員会委員、(公社)日本地震工学会会誌編集委員会委員、17WCEE 組織委員会広報委員会委員として、学会運営に貢献した。(一社)日本建築学会地盤震動小委員会委員として、研究シンポジウムの企画等を行った。英文論文誌 Earth, Planets and Space の Editorial Board Member を務めている。

II. 耐震基礎

教授：澤田純男

准教授：後藤浩之

非常勤講師：金治英貞((株)阪神高速道路、平成29年度)

坂井公俊((公財)鉄道総合技術研究所、令和元年度)

研究担当：清野純史、高橋良和、古川愛子
(京都大学工学研究科)

(1) 研究対象と研究概要

都市基盤施設の地震災害現象を解明しそれを軽減するために、強震動の特性を把握し耐震設計用の入力地震動を設定する研究、地盤の非線形震動特性や土木構造物の地震時破壊メカニズムを解明するための研究、次世代耐震化技術に関する研究、ライフラインの耐震性を向上するための研究などを推進している。

- ・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。このプロセスの間に様々な影響を受けるために、地震動は地震の特徴や伝播する地殻構造・地盤構造によって異なる特徴をもち、この特徴が構造物の被害に影響を与える。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。

地盤震動に関わる基本的な物理量として、新たに Normalized Energy Density (NED) を提案し、その保存性について立証した。NED の保存性によれば、表層地盤による平均的な増幅はインピーダンス比によって一意に定まる。この性質を利用して、地盤増幅率の簡易評価手法の提案や、その実現に向けた表層のインピーダンス測定技術の開発研究を、数値実験と観測・実験の両面から展開している。(後藤浩之)

また、東北地方太平洋沖地震により地震動被害の顕著であった宮城県大崎市古川地区において高密度地震観測プロジェクトを展開した。市街地に世界最高クラスの密度で強震計を設置し、表層地盤と地震動との関連性等の研究を進めている。(後藤浩之・澤田純男)

- ・ 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などを把握するためには、地盤材料、コンクリートなど構造物を形作る基本的な材料の力学的な挙動や、個々の要素の破壊性状について分析すること、構造物全体が構成するシステムの応答を知ることなど、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、地盤材料(砂)のせん断・引張破壊をともに考慮した弾塑性モデルと、クラック発生後の挙動をモデル化する拡張有限要素法を用いた数値解析手法を提案し、数値シミュレーションを実施した。解析結果から、縦断クラックの動的な生成過程の再現に成功している。(澤田純男・後藤浩之)

- ・ 次世代耐震/防災技術の開発研究

阪神・淡路大震災をはじめとする近年の地震災害の教訓を受けて、構造物に要求される耐震性能のレベルは増加を続けている。従来の耐震化手法に基づいて対策を考えると、部材の断面を増やす、高強度の材料を使用するなど建設コストが増加する傾向にある。本分野では、今までにない新しい機構を研究・開発して、安価で高性能な耐震対策の実現を目指して研究を進めている。

柱構造に対する提案として、矩形断面の柱を鉛直軸方向に分割し、さらに側方からの拘束力を与えて分割面で摩擦力を発揮させることにより大きな変形性能と減衰を付加する新しい構造について研究を進めた。RC 柱に対する静的載荷実験、および振動台を用いた動的載荷実験を行ってその性能を調べた。(澤田純男)

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、防災・減災対策において重要である。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)をもつため、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。(後藤浩之)

(2) その他の活動

本分野では国際地震工学学生セミナーを年1回開催し、学生の国際交流活動を支援している。報告書の期間ではウェリントン(GNS Science)で実施した。

澤田純男：土木学会地震工学委員会の委員長、および関西ライフライン研究会の座長を務めた。また、阪神高速道路公団技術審議会委員、水道施設耐震工法指針・解説改訂特別調査委員会委員などを務め耐震設計実務の問題に対して学術上の指導を行った。

後藤浩之：地盤工学会関西支部の総務幹事を務めた。また、水道施設耐震工法指針・解説改訂特別調査委員会委員、高圧ガス設備耐震設計手法の標準化・高度化WG委員などを務め耐震設計実務の問題に対して学術上の指導を行った。関西地震観測研究協議会幹事・地震防災教育のWG主査として、京阪神における小中高校生を対象とした地震防災教育に関する活動も行っている。

Ⅲ. 構造物震害

教授：松島信一

非常勤講師：関口徹（千葉大学工学研究科）

研究担当：西山峰広，林康裕（平成 30 年度から）

（京都大学工学研究科）

(1) 研究対象と研究概要

建築構造物の耐震安全性や地震災害リスクを定量的に評価し，より安全安心な社会の構築に貢献するために，建築構造物に被害を及ぼす地震動の特性に関する研究，地震基盤以浅の地盤構造の不整形性評価に関する研究，地震災害リスク評価手法に関する研究，ライフライン等の地震被害推定などを進めている．

- ・ 地震被害を受けた地域における地下構造の同定

平成 28 年（2016 年）熊本地震の本震時に益城町宮園と西原村小森において震度 7 が観測され，西原村小森では周期 3 秒の揺れが卓越した．西原村は布田川断層帯上またはその周辺に位置し，一部地域では建物の倒壊率も高かった．このため，断層近傍における地震動分布の推定のための地盤構造モデル構築に関する研究を行った．西原村およびその周辺において臨時余震観測を行い，得られた地震動記録の地震動水平上下スペクトル比（EHVR）と拡散波動場理論に基づく理論 EHVR により，各臨時余震観測点において観測 EHVR をよく説明する 1 次元地盤構造が得られた．また，推定した単点での地盤構造モデルから同一速度構造モデルを構築した．

平成 30 年の大阪府北部の地震においては，建物の構造体への被害は少なかったものの，非構造部材や屋根の被害が多く見られた．また，震央距離が同程度の場所でもその被害の様相が大きく異なる場合が見られたため，臨時余震観測を行い，それらの地震動記録を用いて地下構造の推定を行った．

平成 30 年（2018 年）北海道胆振東部地震では，震度 7 が観測されるなど，強震動による建築構造物被害や土砂災害が多く発生した．建築構造物の被害と強震動の関係を調べるために，被害が顕著に見られた，安平町の早来地区と追分地区およびむかわ町において微動観測を行い，地下構造を同定した．さらに，同定した地下構造を用いてそれぞれの地域に

おいて北海道胆振東部地震の本震時の強震動シミュレーションを行った．（松島信一）

- ・ 強震動シミュレーションおよび予測のための地下構造モデルの推定

1896 年に発生した陸羽地震（M7.2）では，横手盆地東縁断層帯の北部，その北方の駒ヶ岳西麓断層帯及び東方の真昼山地東縁断層帯の一部が活動したものであると考えられている．しかし，陸羽地震の際には活動していない横手盆地東縁断層帯南部付近に位置する現横手市において，震源域から離れているにも関わらず住家全壊率が 10%以上となった地域がみられた．この原因として，地盤構造による影響が考えられ，横手盆地東縁断層帯の南部で地震が発生した場合には大きな影響が出ること推測される．そこで，横手盆地南部において常時微動観測を行い，その速度構造と形状の推定を行った．その結果，横手盆地は従来考えられているより複雑な形状をしていることを明らかとなった．また，1896 年陸羽地震の強震動シミュレーションを行ったところ，地下構造の影響により，震源域から離れた横手市の西側において被害分布と対応するように揺れが強くなることが分かった．さらに，横手盆地東縁断層帯南部を震源断層とする地震による強震動予測を行ったところ，横手市西部の基盤構造が急変する地域で地震動が大きく増幅されることが分かった．（松島信一）

- ・ 不整形基盤構造と地震動増幅特性の関係に関する研究

平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震では，神戸市須磨区から西宮市にかけての幅 1km，長さ 20km にわたって震度 7 の領域が現れた．この「震災の帯」の生成原因は盆地端部の基盤の段差構造に起因する「エッジ効果」であるが，この現象は神戸地域に限ったものではないと考えられることから，この現象の定量的な把握が重要である．エッジ効果による波の増幅的干渉を定量的に評価するために，さまざまな基盤の段差構造を想定して地盤応答解析を行い，地震動が最も増幅される位置やその大きさが，段差構造の形状と入射する波動の周波数特性に依存することを示した．また，これらの関係を用いることにより，基盤の段差構造を調査することで「エッジ効

果」がどのように出現するかを簡便に推定できる方法を提案した。(松島信一)

- ・ ミャンマー・ヤンゴン市における強震動予測に関する研究

ミャンマー連邦共和国の最大都市であるヤンゴン市は、国内を南北に縦断する Sagaing 断層南部の西方約 20 km に位置しているため、今後発生する地震による強震動を適切に評価し、その情報を建築物の設計に反映させる必要がある。複数の地点におけるアレイ微動観測記録に基づいて推定した地下構造と 100 点以上の単点微動観測に基づく水平上下スペクトル比を用いて地下構造モデルを構築した。また、Sagaing 断層南部で想定される地震について、日本の強震動予測レシピの考え方に基づき、複数の不均質断層モデルを構築した。構築した地下構造モデルと不均質断層モデルを組み合わせて、Sagaing 断層南部で地震が発生した際の強震動予測を行った。その結果、ヤンゴン市中心部で基盤が深くなっており、地震動が大きくなることが予測されることが分かった。(松島信一)

- ・ 微動水平上下スペクトル比の方位依存性に着目した地盤構造推定に関する研究

熊本県の八代平野において地下構造を調べ、盆地端部における地盤の不整形性がおおよぶ範囲を把握するために、常時微動観測を行った。八代平野は日奈久断層帯によって盆地と山地部が隔てられており、八代平野は日奈久断層帯から南西方向の沿岸部に向かって、大局的には二次元構造をしていることが推測される。このため盆地端部付近を加速度計で、そして平野全体を速度計で観測を行い、微動の水平上下スペクトル比(MHVR)の方位依存性から盆地端部の不整形性の推定を試みた。その結果、方位依存性は盆地端部近傍で最も大きくなるが、平野内でも見られる地点があること、また、ピークが2つある地点では、片方のみが方位依存性を示すこと、から地盤の深さによって地盤の不整形性が異なる可能性が考えられることを示した。(松島信一)

- ・ 南海トラフ沿いの地震による地震被害リスク評価の不確実性に関する研究

南海トラフ沿いの超巨大地震が発生した際に予測される地震被害リスクは、用いるモデルの違いやモデルに内在するはらつきにより、不確実性がある。地震による被害に対し有効な対策をするためには、この不確実性の幅を考慮して様々な被害状況を想定することが重要である。このため、地震被害リスクおよびその不確実性を定量的な評価を行った。また、不確実性をわかりやすく示す方法についても検討した。さらに、地震リスク評価の適応事例として、震災時の病院の医療機能の低下には、病院の建物の構造的被害よりも、水道や電気、ガスなどのライフラインの供給が絶たれることによる影響が大きいことから、人命に大きく関わる緊急医療において清潔な水がとりわけ必要不可欠な要素であることを踏まえ、南国市の水道管網が受ける被害に注目した影響評価を行った。(松島信一)

(2) その他の活動

松島信一：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部会専門委員，京都府国土強靱化地域計画有識者会議委員，京都府戦略的地震防災対策推進部会委員，(国研)防災科学技術研究所の実大三次元震動破壊実験施設利用委員会委員などを務め、助言や評価などを行った。また、(一社)日本建築学会の地震荷重外力小委員会幹事・委員，地盤震動小委員会委員，災害本委員会委員，(公社)日本地震工学会の強震動評価のための深部地盤モデル化手法の検証に関わる研究委員会委員長，強震動評価のための深部地盤モデル化手法の最適化に関する研究委員会委員長，原子力発電所の地震安全の基本原則に関わる研究委員会 WG3 委員，論文集編集委員会委員，(公社)日本地震学会の理事，災害調査委員会委員長，強震動委員会委員，広報委員会委員，大会実行委員会委員，防災学術連携体連絡員，(公社)日本地球惑星科学連合の環境災害対応委員会委員として、各委員会活動を通じて学会運営に貢献している。

8.4 地震防災研究部門

8.4.1 部門の活動概要

(1) 部門の研究対象と活動方針

本部門は、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を命題とし、地震テクトニクス、地震発生機構、耐震機構の三研究分野から構成されている。地震災害の長期的予防を念頭に、地球物理学的な各種手法を用いて、地殻構造がもつ不均質性、地殻内で歪が蓄積してゆく過程、活断層構造を考慮した地震発生過程等、地震発生ポテンシャルの長期予測に関する基礎研究を進展させるとともに、長期予測の高度化を図っている。一方、これらの長期予測研究を受けて、地震発生時にも人命保全と生活の質を確保し、また物的被害を最小限にとどめるための建設技術の洗練を、既存建物の地震時脆弱性評価法、耐震改修技術、安全性・機能性新材料や構法開発を基軸として推進している。

(2) 現在の重点課題

地震テクトニクス研究分野では、沈み込むプレート境界周辺や内陸部での下部地殻周辺の構造の不均質性を明らかにすることにより、地震発生場への応力蓄積過程の解明をめざした研究を推進している。

地震発生機構研究分野では、地震の発生メカニズムの解明と、地震発生の要因となる応力の蓄積とその解放過程を明らかにするために、地球物理学的記録と手法を用いた定量的な研究を推進している。加えて、地震防災に直接貢献できる地震に対する強震動評価にも研究を展開している。

耐震機構研究分野では、技術のグローバル化と建物の使用目的に見合う学術的知見の提供といった視点で耐震評価を再検討し、人命保護といった安全性はもとより、機能性、事業継続性、快適性を確保するための学術情報の提供に取り組んでいる。地震時の建物挙動が時間に依存する物理現象であることから、動的な視点を積極的に研究遂行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も努めている。

(3) 研究活動

地震テクトニクス研究分野では、主に、電磁気学的手法を活用してさまざまな地域での観測研究を実施した。特に、比抵抗構造の研究においては、豊後水道で発生するスロー地震を対象とした四国西部域における観測研究、地震滑りの不均質性を明らかにすることを目的とした跡津川断層周辺での観測研究、九州全域における電磁場グリッド観測を他機関との共同研究として推進している。火山周辺においても、箱根火山の群発地震域周辺の稠密可聴域 AMT 観測データの3次元比抵抗構造解析をさらに進めたほか、焼岳火山での広帯域 MT 共同観測も行った。また、1995年兵庫県南部地震の発生後に、野島断層南端部分で掘削された3本のボアホールを用いた観測施設（野島断層観測室）における注水実験に伴う自然電位変化の推定を共同研究により実施してきた。加えて、上宝観測所蔵柱観測室、宮崎観測所宿毛観測室において3成分磁場観測を継続しており、主に他地域での電磁気調査における参照磁場としてデータの提供を行っている。

地震発生機構研究分野では、近年国内外で発生した被害地震について、地震波、地殻の歪み変形、及び他の地球物理学記録を解析することで、地震震源の物理的メカニズムを調査している。特に地震発生の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、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る。

耐震機構研究分野では、建築構造物の耐震性を高度化する技術と高精度に評価する手法の研究に多面的に取り組んでいる。部材・骨組から建物全体までの構造性能を、解析と実験、動的手法と静的手法、順問題と逆問題を組み合わせながら評価している。災害時の建物機能が構造特性だけに依存しないことから、最近是非構造部材の性能評価も推進している。この3年間の活動は、振動計測に基づく実現象の把握とその耐震性高度化への利用、非構造部材や重要機器の耐震性と損傷確率の評価、局所的な材料特性

変化を利用した耐震要素の開発、低負荷耐震補強機構の開発とその設計法の構築、に大きく分類できる。

(4) その他の活動

国内外研究機関との共同研究も積極的に展開し、(独)防災科学技術研究所等と大型耐震構造実験に関する共同研究、イタリア・ナポリ大学と余震ハザードを考慮した事業継続性判断に関する共同研究、ニュージーランド・カンタベリー大学とスマート耐震補強に関する共同研究、東京大学地震研究所・名古屋大学・高知大学等との断層注水実験に関する共同研究、トルコ・ボアジチ大学カンディリ観測所・イスタンブール大学・コジャエリ大学・東京工業大学、北海道大学との北アナトリア断層周辺 Bolu-Gerede セグメント周辺の不均質構造と地震活動との関係性の解明に関する共同研究を立ち上げた。

さらに、プレート発散境界における縞状磁気異常の獲得形成過程を明らかにするためにアディスアベバ大学・富山大学・山形大学・熊本大学・九州大学・極地研究所との磁気探査・電磁気探査共同研究をエチオピア Dabbahu Rift の南部延長域において実施、日本国内での地震観測の技術をブータン王国に移転し同国の地震防災に資するための共同研究を SATREPS の枠組み等で実施している。また衛星観測磁場変動データを用いた全球的な電気伝導度構造に関する共同研究などを実施している。

国・地方自治体等や関連学会における各委員会への参画や協力を通じて、地震現象や地震災害に関する啓発活動や、地震災害軽減のための普及活動に従事するほか、マスメディアを通じた一般国民への成果還元にも努めている。

8.4.2 研究分野の研究内容

I. 地震テクトニクス

教授：大志万直人

准教授：吉村令慧

非常勤講師：川方裕則（平成 29 年度）

○ 研究の基本理念

沈み込むプレート境界周辺や内陸部での下部地殻周辺において、地球電磁気学、地震学等の地球物理学的な手法をもちいた不均質構造推定の研究を通し

て、地震発生場への応力蓄積過程の解明を目指し、長期予測の視点に立った地震発生準備過程の理解を進め、地震発生のポテンシャル評価に寄与することを目的としている。

○ 研究対象と研究概要

地震テクトニクス研究分野では、地殻・マントル上部の不均質性を明らかにするため、主に地球電磁気学的手法を活用してさまざまな地域での観測研究を実施した。特に、比抵抗構造の研究においては、面的・稠密な観測を展開し三次元的な構造の推定を行っている。また、グローバルな規模での電磁誘導現象（グローバル・インダクション）を利用した惑星の電気伝導度構造に関する基礎研究も実施してきた。

(1) 内陸活断層周辺での電気比抵抗構造の不均質性の解明（吉村令慧、大志万直人）

これまで実施した内陸地震震源域周辺（2007 年能登半島地震）、群発地震発生域（長野県西部、近畿北部）、活断層調査（中央構造線：和泉山脈南縁、金剛山地東縁セグメント）での広帯域マグネトテルリクス（MT）および可聴域 MT 探査のデータを用い、対象地域の地下不均質構造を明らかにするための三次元逆解析を進めた。

令和元年度には、東京工業大学・九州大学との共同研究により、跡津川断層周辺において断層に沿った不均質構造の解明を目指した面的な観測を実施した。実施に際しては、平成 29 年度より開発を進めていた低消費電力・低コストの電場観測装置ならびに電磁場観測装置の実践投入を行い、その性能を確認した。

平成 30 年度には、トルコ・北アナトリア断層帯の Bolu-Gerede 地域で広帯域 MT 観測の実施に向けて、コジャエリ大学・イスタンブール大学・ボアジチ大学の研究者との協議を進め、国際共同観測研究を立ち上げた。

(2) 火山周辺での比抵抗構造の研究（吉村令慧）

東京工業大学・神奈川県温泉地学研究所などとの共同研究により取得した箱根火山周辺の可聴域 MT データについて、三次元比抵抗構造を推定した。また、北海道大学との共同研究により実施した焼岳火山における広帯域 MT 観測について二次元比抵抗構

造を推定した。同時に実施した磁気探査の結果を総合して、頂上と中尾峠の間にキャップ状の不均質構造が存在することを明らかにした。上宝観測所が運営する焼岳でのプロトン全磁力観測点の維持にも協力している。

(3) 広域比抵抗構造の研究 (吉村令慧, 大志万直人)

東京大学地震研究所をはじめとする全国大学共同で、専用電話回線を電位差測定ケーブルとして利用するネットワーク MT 観測を、四国西部域において継続した。これに併せて、上宝観測所蔵柱観測室および宮崎観測所宿毛観測室で地磁気 3 成分連続観測を継続運営し、主に他地域での電磁場観測の参照磁場としても提供している。また、九州地域におけるネットワーク MT 法データの解析を進め、霧島火山などの地下深部の比抵抗構造に関する研究を進めた。

広帯域 MT 観測による広域比抵抗構造解明のための共同研究も、九州全域のカバーを目指すグリッド観測 (九州大学などとの共同研究) に参画した。また、四国西部域においては、豊後水道で発生するスロースリップを対象に、その発生場の不均質構造を明らかにするために実施した広帯域 MT 観測 (東京工業大学との共同研究) データを用いて、三次元構造解析を進めた。

(4) 断層の回復過程の研究 (大志万直人, 吉村令慧)

断層回復過程を透水性の時間変化という観点から理解するために、野島観測室における既存の注水実験に伴う地表電位差記録のデータ解析を進めるとともに、平成 30 年度に行われた同観測室における最終注水実験に際して地表電位差データを収録し、時間変化について検討した (高知大学などとの共同研究)。

(5) 長基線での地電位差連続観測の実施 (吉村令慧)

1984 年長野県西部地震震源域周辺で、現在に至るまで活発な微小地震活動が確認されている。この地震活動の消長を流動電位の変化としてとらえることを目指して、長基線の電位差連続観測 (NTT の専用電話回線を利用) を継続していたが、令和元年度に観測を終了した。今後、観測期間中に観測網内で発生した中規模地震によって励起された変動について解析・検討を進める。

(6) グローバル・インダクションに関する研究 (大志万直人, 吉村令慧)

衛星観測データを基にした惑星等の全球電磁誘導現象を用いた惑星等の内部電気伝導度構造を推定する手法を開発するための研究の一環として、月周回衛星であるかぐや衛星が観測した磁場データを用い、惑星間空間磁場の磁場変化により励起される電磁誘導現象に関する研究を継続した (東京大学地震研究所・東京工業大学などとの共同研究)。また、球座標系での差分法により海洋を地球規模でモデル化するため、薄層近似に基づく薄層球殻電磁誘導モデルに関する研究を、一様外部磁場変動と環状電流減による磁場変動の場合に関して実施した。さらに、有限要素法を基にしたモデル化の際に薄層構造を組み込むことができるように基礎的な検討も行った。

(7) 海洋底拡大軸での磁気異常の研究 (吉村令慧)

2005-2009 年にかけてダイク貫入イベントのあったエチオピア・アフール州の Dabbahu Rift において、縞状磁気異常の獲得形成過程を明らかにするため、無人機による空中磁気探査および地上における広帯域 MT 観測を実施した (富山大学、アディスアベバ大学、山形大学、熊本大学、九州大学、極地研究所との共同研究)。

(8) 電気物性理解のための岩石実験 (吉村令慧, 大志万直人)

岩石の電気比抵抗が、こういった物性により規定されているのかに迫るために、他の物理計測と比較が容易なハンドサイズの岩石試料に対して、構造イメージング手法の構築を行っている。多電極による比抵抗法を円筒形岩石試料に適用するために、電極の選定、電流印加・電位測定に必要な測定器の性能の把握、測定の安定化・高度化など行った。

II. 地震発生機構

教授: Mori James Jiro

准教授: 大見士朗

助教: 山田真澄

非常勤講師: 前田拓人 (平成 30 年度),

桑谷立 (平成 31 年度)

○ 研究対象と研究概要

地震発生の物理過程を研究している。地震の震源過程を理解することは、地震による被害を評価することと、地震予知に向けた研究とに貢献することになる。地震波、地殻の歪み変形、及び他の地球物理学記録を解析することで、地震震源の物理的メカニズムを調査している。特に地震発生の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、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る。さらに地震防災を強化も目指している。

(1) サウジアラビア距離減衰式

最近の Saudia Arabia Seismic Network のデータを使ってサウジアラビアにおける距離減衰式を開発した。速度と速度のデータから、マグニチュード、距離、地震発生機構、サイト特性に関する強震動のレベルを推定した。これはサウジアラビアで初めて開発された距離減衰式である。

(2) リアルタイム地震情報と地震被害

大地震の情報を素早く供給できる技術的システムについて研究している。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等を行っている。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（平成 28 年 12 月）。

(3) 震源での物理的特性の解明

多数の大地震の観測記録を利用して、震源での物理的特性を反映した動的パラメータである地震波エネルギーや静的な応力降下量を推定し、地震の物理的特性の統計的な特徴を明らかにする。

(4) 地すべり地震学

地すべり発生時の地震波形記録を解析することにより、地すべりの物理的パラメータ（速度や継続時間、摩擦係数）や運動のメカニズムを明らかにする。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。

(5) ブータンにおける地震観測

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、地震活動の解析等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。2018 年には構築中の 6 点のオンライン地震観測点が稼働を開始し、これに加えて 2017 年秋より北部国境地帯での 3 点のオフライン地震観測も開始されている。SATREPS 開始以前のデータを含めた 2018 年 6 月までのデータの試験的な解析によれば、1 年半強という短期間のデータであるにも関わらず、ISC カタログによる同地域の 1990 年以降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モ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る。

(6) 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 か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。地震地域の三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、断層沿いの様々な地質構造が大地震の破壊の特性につながっていることも示した。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。

(7) 地震波干渉法による地下構造の時間変化の検出

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している。

Ⅲ. 耐震機構

教授：池田芳樹

准教授：倉田真宏

特任助教：Konstantinos A. SKALOMENOS（平成 29
～30 年度）

○ 研究の基本理念

本研究分野では、主として建築構造物を対象に、その耐震性能を理論と実験の両面から明らかにするとともに、より高度な耐震設計法の確立を目指すことを研究の命題としている。この 3 年間は、情報分野の進展に伴う耐震技術のグローバル化、および建物使用目的に見合う細やかな学術的知見の提供といった視点で耐震評価を再検討し、人命保護といった従来からある安全性はもとより、機能性、事業継続性、快適性を確保するための情報の提供にも取り組んできた。地震時の建物挙動が時間に依存する物理現象であることから、研究の遂行にあたり振動実験、振動計測および振動解析を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も努めている。

○ 研究対象と研究概要

(1) 大規模低層建物に固有の振動特性の解明

2011 年東北地方太平洋沖地震を受けて、地震直後に建物からの避難の必要性和建物の当面の使用性を判断する地震被災度判定が強く求められるようになった。すでに高層建物では判定システムが普及しつつある一方、不特定多数が利用する大規模低層建物には判定法が提案されていない。その理由として、大規模低層建物の平面が不整形で内部には吹抜空間があり、振動特性が中高層建物に比較して複雑であることが挙げられる。建物の設計で振動解析が法的に要求されておらず、実特性が把握されてこなかったことも理由の一つである。

そこで、限られた数の振動計測器の配置換えを繰り返して建物全体の振動モード特性を評価する方法により、平面形状と構造的特徴が互いに異なる大規模低層商業建物の微動計測から一般特性を解明した。次に、設計図面などの資料がなくても、微動計測と建物基礎部の加速度計測のみで建物応答を推定する方法を検討し、2018 年大阪北部の地震を受けた建物の被害状況を再現していることを確認した。これらの成果を大規模低層商業建物の地震被災度判定法の開発に展開し、地震直後に建物の避難所としての利用と商品の避難用品としての活用に繋げていく。

(2) 設計で考慮されていない鉄骨造建物の振動特性の振幅依存性の評価とその利用法の開発

鉄骨造高層建物の多数の振動記録の分析から、等価線形系として評価した低次振動モードの固有振動数が、応答最大値の対数と高い相関性をもつことが知られている。しかし、その振幅依存性は本震と多数の余震を用いて得られるため、本震直後に余震時の動特性を推定できなかった。モード減衰では振幅依存性が複雑なために、建物応答との関係を推定することは難しかった。さらに建物の地震時の動特性が設計時とは異なるだけではなく、地震時に変化することも示されていた。

振動計測記録の有効利用に資する目的で、本震記録のみから低次モードの固有振動数を推定する方法を提案し、その妥当性を記録が公開されている鉄骨造高層建物で検証した。次に、モード減衰の振幅依存性は、固有振動数を介した方が近似表現し易いことを示した。建物の実特性を本震直後に予測できれば、建物の残余耐震性能評価に有用な情報が余震を待たずに得られる可能性があり、今後さらに検討を進めていく。

(3) 振動計測に基づく建物と地盤の動的相互作用の評価

建物と地盤の動的相互作用の研究の歴史は長い、現象解明では理論的研究による順解析が先行しており、地震観測に基づく報告は少ない。この現象を地震観測から明らかにするためには、建物内と建物周辺で多数の計測点を必要とする。観測記録のある建物や地震記録の数が少ない、記録された地震動が小さい、解析モデルのパラメータを多数仮定する、地盤の計測記録や情報がそもそもない、という制約下で評価せざるを得ない状況は今も続いている。

本研究では、建物内外で地震記録がある整形な耐震建物を選び、地盤との動的相互作用を等価振動モードの特性変化として評価し、その一般的性質を抽出した。分析に 2011 年東北地方太平洋沖地震の前震、本震および余震を主に利用し、計測点数が限られている実建物でも適用可能なモード同定により、質点系モデルなどを一切介さずに相互作用を評価した。計測に建物の質量情報が加われば、モード同定結果から水平地盤ばねを評価できることも提案した。相

互作用の効果によっても、建物の見かけの固有振動数は低下し、減衰が増加することが定量的に計測のみで確認された。実建物の地震被害の推定に有用な情報であり、本研究も制約のある振動計測からいかに建物情報を引き出せるかという観点に立脚している。

(4) 鋼構造を対象とした損傷度評価技術の開発

被災建物の健全性を即時に評価するために、広範囲省電力無線通信やピエゾ素子などの先端センシング技術を利用した損傷評価システムを開発した。また数値解析モデルの更新や地震ハザード解析などを利用して、非専門家にも“馴染みある”判定指標の提案を目指した。得られた成果は、SCI 国際学術誌 2 編に発表した。

(5) 災害時重要施設の機能損失や事業継続性の評価

都市の中核をなす建物（拠点病院、大型商業施設など）の機能維持（事業の継続や生活の確保）と速やかな回復（損傷の同定や修復）を目的として、天井や間仕切壁などの非構造部材や、特定機能を有する設備・機器（配管、高架水槽、医療機器など）の耐震性評価を進めた。エキスパンションジョイントおよびシステム天井の損傷状態の分類および損傷確率の評価について、有力な SCI 国際学術論文誌に 3 編の論文を発表した。

特に、医療施設の地震時脆弱性評価においては、京都大学医学部附属病院と連携して重要機器に関する実験および解析研究を進めた。同病院の初期救急科の医師や技師、ソーシャルワーカーなどと共に京都 iMED 防災研究会を立ち上げ、月例の研究会を継続し、提案する研究テーマには、京都大学防災研究所の熊本地震緊急共同研究、同一般共同研究、三菱財団などから研究助成を受けた。また、JSPS2 国間連携プログラムの助成を受けて、ニュージーランドのオークランド大学・ワイカト大学と地震時挙動のシミュレーション技術の向上と脆弱性評価マトリックスの開発に取り組んでいる。

(6) 初期偏心を与えた鋼管ブレースの提案

鋼構造建物に広く用いられる座屈ブレースは、高い耐力と剛性によって地震に抵抗する耐震部材であるが、ブレース降伏後の剛性が著しく低下することで変形が建物の特定層へ集中する、局部座屈発生位

置での変形集中による破断が起り易い、などの課題を抱えている。そこで、ブレースの耐震性能をさらに向上させる手段として初期偏心の導入、ならびに高周波熱錬（IH）技術の利用を提案した。

初期偏心を与えたブレースは曲げと軸力の組み合わせ応力の影響により早期に降伏し地震エネルギーを効率よく吸収する。さらに、IH 技術により部材の一部を硬化させて、部材の塑性化域と終局メカニズムを制御することに成功した。準静的実験により、提案する初期偏心 IH ブレースの優れた履歴特性と変形性能を実証した。研究成果は、有力な SCI 国際学術論文誌に 3 編を発表し、さらに一部の成果は日本建築学会鋼構造座屈小委員会から 2020 年に刊行される書籍への掲載が決まった。

(7) 低負荷耐震補強機構とその設計法の開発

鋼骨組では、変形追従性能を発揮して大地震時に高い耐震性能を示すことが、過去の地震被害と実大建物の実験から確認されている一方で、特徴的な地震被害として梁端部の塑性変形集中と破断も認められている。梁をコンクリート床スラブと一体化させた合成梁では、床スラブが大きな圧縮力を負担した結果、梁端部の梁下フランジ付近から破断が進行する現象が多く報告されてきた。ブレースや壁を新設する従来からの耐震補強法には、工事が大掛かりとなり、開口部における視界や使用者の通行が妨げられ易い傾向があり、それを解決する目的で補強負荷を低減する構造機構を低層鋼骨組に対して提案している。今期は、骨組の損傷を多段階に制御する方法を新たに提案し、大型試験体を用いた構造実験と数値解析で検証した。また、補強による効果を利用者が定量的に把握する方法として、損傷低減効果を確率的に評価したフラジリティ曲線を構築し、実骨組を対象にケーススタディを実施した。一連の研究から SCI 国際学術誌で 2 編、国内学術誌で 1 編の論文を発表した。

この 3 年間に、耐震機構研究分野から発表した査読付き論文は 29 編であり、前期に発表した倉田准教授による「Piezoelectric Dynamic Strain Monitoring for Detecting Local Seismic Damage in Steel Buildings」の論文は、2017 年に日本建築学会奨励賞を受賞した。

8.5 地震予知研究センター

8.5.1 センターの活動概要

(1) センターの研究対象と活動方針

地震予知に関する基礎研究を行うとともに、学内外の研究者との共同研究を推進、地震発生の原因と機構を解明、そして最終的に地震予知手法を確立し、地震災害の軽減のための基礎的な方法の確立を目的として、7研究領域（客員1）と8観測所の構成により研究を進めている。地震・火山研究グループを構成する部門・センター、特に、地震防災研究部門と密接に連携して共同研究を進めている。この研究は、科学技術・学術審議会測地学分科会の建議「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画の推進について」（2013）および「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第2次）の推進について」（2019）と、京都大学第1期中期計画の中の「地震や火山噴火の予知研究等、全国的な連携が不可欠な分野については、全国共同研究並びに学内共同研究を推進する」に対応する。

今世紀半ばには、南海トラフ沿いのプレート間巨大地震の発生確率がピークに達するとされている。それに向けて、内陸被害地震も増えると予想される。このような地震による被害の軽減を目指して、南海トラフ沿いの巨大地震の予知研究、内陸地震の予知研究、および研究成果の社会への効果的な普及・教育を当センターの3本柱として強力に進めている。

(2) 現在の重点課題

「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画の推進について」（2013年建議）に基づく5年計画（2014～2018年度）では、「史料の収集・翻刻・解析による過去の大地震および自然災害の調査」、
「南海トラフ巨大地震の予測高度化を目指したフィリピン海スラブ周辺域の構造研究」、日本列島変動の基本場解明：地殻とマントルにおける物性、温度、応力、流動－変形、「注水実験による内陸地震の震源断層の詳細な構造と回復過程の研究」、「横ずれ型の内陸地震発生の物理モデルの構築」、「短スパン伸縮計等を活用した西南日本における短期的SSEの観

測解析手法の高度化」ならびに「歴史記録の電子化」の7研究課題について、当センターの教員が中心となって研究を推進している。

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の推進について（第2次）」（2019年建議）に基づく5カ年計画（2019～2023年度）では、「津波生成過程の理解に向けた浅部スロー地震の活動様式・発生場の解明とモデル化」、「南海トラフ巨大地震の予測高度化を目指したフィリピン海スラブ周辺域での総合的観測研究」、「内陸地震の発生機構と発生場の解明とモデル化」、「日本列島の地震－火山噴火の基本場解明：地殻とマントルにおける応力、流体・マグマ、温度・流動－変形場」ならびに「測地観測データに基づく内陸地震長期評価手法の開発」の5研究課題について、当センターの教員が中心となって研究を推進している。これらの詳細については、3.2のプロジェクト研究の章を参照されたい。

(3) 研究活動

7研究領域（海溝型地震、内陸地震、地殻活動、地震予知情報、地球計測、リアルタイム総合観測、地球内部）と8観測所（上宝、北陸、阿武山、逢坂山、屯鶴峯、鳥取、徳島、宮崎）を中心に、地震防災研究部門や地震災害研究部門等とも有機的に連携しながら、上記の重点課題を推進している。

中部から西南日本に展開している50点余の微小地震観測点は政府の基盤観測網に組み込まれ、常時、地震データを気象庁・大学・防災科学技術研究所などに送信している。これらのデータの処理解析などの運用は地震予知情報研究領域が主に担当している。これまで、これら観測点の維持管理は各観測所を拠点に行われてきたが、近年のデータ伝送技術の進歩等のため、観測所の役割を見直し、研究資源を新たなプロジェクト等に効果的に集中する体制をとっている。具体的には、上宝観測所および宮崎観測所、阿武山観測所は、関連する組織と連携して観測研究基盤施設として運営し、プロジェクト研究や研究成果の社会への還元等に活用している。

平成 30 年 (2018 年) 6 月に発生した大阪府北部の地震 (M6.1) では、東京大学地震研究所や九州大学とも連携して衛星テレメータ観測点 (4 点) および稠密オフライン観測点 (最大約 80 点) を設置して、リアルタイムでの地震活動推移の把握とともに高精度の余震深さ分布や、詳細なメカニズム解、反射波構造等の解析を行った。

(4) その他の活動

Outreach (情報の効果的伝達) を積極的に進めている。研究成果を社会に還元するため、講演会のほか新聞などマスメディアの協力を得て定期的に情報を発信し、社会に効果的に伝達するよう努めている。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はほぼリアルタイムで公開している。特に、2012 年からは、地元のボランティアによる阿武山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、Outreach 活動を強化している。

以下の方々に客員教授を依頼した。

平成 29~30 年度

片山郁夫 (広島大学大学院理学研究科地球惑星システム学専攻)。

平成 31 年度

辻健 (九州大学大学院工学研究院地球資源システム工学部門)。

8.5.2 研究領域の研究内容

(1) 海溝型地震研究領域

(2) 教授：橋本学

准教授：西村卓也

助教：山下裕亮

(3) 研究対象と研究概要

海溝型地震は海のプレートが沈み込む海溝に沿って起き、強い揺れと津波により広範囲にわたり大きな被害をもたらしてきた。また、海溝型地震は内陸地震に比べ、繰り返し間隔が短く、これに対する備えは我が国にとって喫緊の課題である。この代表である南海地震等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、以下の研究を推進している。

① 南海トラフ巨大地震の発生の準備過程 (橋本学、西村卓也、山下裕亮)

南海トラフの地域の変動をより詳細に捉えるため、潮岬・白浜・十津川村・和歌山県日ノ御碕と徳島県伊島、日向灘沿岸域 (宮崎観測所山崎助教らとの共同研究) 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 連続観測網のデータと合わせて、自動解析処理し、Web にて変位ベクトルと日座標値の時系列を公開している。

さらに西村は、上記の GNSS データを用いて南海トラフに発生するスロースリップイベント (SSE) の検出手法を逐次改良し、東海地方から南西諸島に至る SSE の発生分布を明らかにした。また、近年公開された朝鮮半島及び日本海の島嶼に位置する GNSS 観測点のデータも定期的に入手して GNSS 自動解析に組み込むことで、朝鮮半島から対馬、隠岐にかけては内部変形が極めて小さいことを示した。このことは、大陸プレートとフィリピン海プレート間の相対運動の 7 割が南海トラフで解消され、山陰ひずみ集中帯と中央構造線から新潟・神戸ひずみ集中帯につながる 2 つの帯状の領域が残りの大半を担っていて、平成 30 年 (2018 年) 大阪府北部の地震のような内陸地震の多発帯になっていると解釈される。このような地殻変動場を詳細に明らかにするため、山陰地方と京阪地方に GNSS 連続観測点を設置し、連続観測を行っている。

山下は、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は、領域によって地震波エネルギー解放量に空間不均質が存在し、それらが日向灘の下に沈み込む九州パラオ海嶺によってコントロールされている可能性を示した。また、山下は東京大学地震研究所・GNS Science、ビ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実施し、2014 年以来の大規模 SSE に伴う浅部低周波微動や微小地震

活動の観測に成功した。さらに、山下は日向灘において最大級とされている 1662 年日向灘地震と、浅部スロー地震震源域との関係を明らかにするため、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。これまでに、日南市において 1662 年地震の津波で運ばれたとみられるイベント堆積物を発見しており、浸水シミュレーションの結果や既存の地球物理観測データを合わせて断層モデルの構築を行っている。

② 衛星測地による世界のプレート境界地震等の研究 (橋本学)

橋本は、2006 年の「だいち」打ち上げから、全国の SAR 研究者のコンソーシアム PIXEL の主要なメンバーとして共同研究を行っている。さらに、2008 年から宇宙航空開発研究機構による「陸域観測技術衛星の防災利用実証実験」地震 WG に参画し、世界の大地震発生時には緊急解析を行い、その結果を公表して来た。2014 年 5 月の「だいち 2 号」打ち上げ後も、前記地震 WG を引き継いだ地震予知連絡会 SAR 解析 WG に参加し、2017 年 7 月のレイテ島の地震、2018 年大阪府北部の地震、2016 年熊本地震の余効変動などによる地殻変動検出と断層モデルの推定を行なった。特に熊本地震の余効変動の観測においては、L-バンド SAR に見られる電離層擾乱の影響を除去して、詳細な変動分布を明らかにした。

これまでに引き続き、ALOS-2 データを用いて、京阪神地域および中央構造線断層帯を含む大阪南部～和歌山北部地域の変動を追跡している。

2015 年～2017 年の間、国土地理院・防災科研の研究者との共同研究として、1995 年阪神・淡路大震災直後からの測地データを再解析し、兵庫県南部地震による余効変動の検討を行った。この一環として六甲山系の三角点の GPS 測量を実施し、地震後約 20 年間に顕著な隆起がないことを明らかにした。

③ その他の活動

橋本は、2015 年 7 月から 2019 年 7 月まで国際測地学協会 (IAG) 第 3 部会 (地球回転・動力学) 部会長をつとめた。2017 年 7 月に開催された国際測地学協会と国際地震学および地球内部物理学協会 (IASPEI) の合同科学総会では、IAG および合同セッションのコンビーナーを務めた。さらに、2014 年

7 月に開催された International Symposium on Geodesy for Earthquake and Natural Hazards の会議録を IAG Symposia Series の第 145 巻として 2017 年に発刊した。

橋本・西村は、政府の南海トラフ巨大地震やその他の地震発生評価等に関する委員会に参加した経験を踏まえ、地震研究成果が社会に与える影響等についての議論に積極的に参画している。橋本は、2017 年 3 月から、京都大学グローバル生存学の清水助教と共同で、地震情報の不確実性と社会のリスクの捉え方に関するワークショップを行った。また、産業技術総合研究所大谷主任研究員を中心とする科研費および防災研共同研究に参画し、南海トラフ地震の臨時情報の発信と活用に関する研究を行っている。

(1) 内陸地震研究領域

(2) 教授：飯尾能久

准教授：深畑幸俊

助教：宮崎真大(平成 31 年 5 月まで)

(3) 研究対象と研究概要

南海トラフ沿いで発生する海溝型巨大地震の前に、西南日本内陸で地震活動が活発化することが知られている。これらの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。

主な研究テーマと成果の概要は下記のとおりである。

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 (飯尾能久)

内陸地震の発生過程に関して、沈み込む海洋プレートとの相互作用に起因して内陸プレートに加わる応力の下で、内陸地震の断層の直下の下部地殻内の Weak zone (やわらかい領域) の変形により、直上の断層に応力集中が起こるという仮説の検証を進めている。山陰地方の地震帯の直下の下部地殻において見出されている地震波速度の低速度異常域と、地震分布の下限との関係を調べ、三瓶山付近から東においては、低速度異常域と下限が浅い領域の空間的な対応が非常に良いことを見出した (Tsuda *et al.*, 2019)。三瓶山より西側においてはその傾向は顕著でないことから、下部地殻の低速度異常の原因として、地殻

流体の存在に加えて、東部においては周辺の山陽地方などに比べて下部地殻が高温であることが示された。ニュージーランドの南島北部において、東北大・九大・カンタベリー大・オタゴ大・GNS・VUW 等と共同で臨時地震観測を行っており、2016 年 11 月に発生したカイコウラ地震の余震域とその直下の下部地殻において、P 波速度 (V_p)、S 波速度 (V_s) が小さくその比 V_p/V_s が大きいことが明らかになった (Okada *et al.*, 2019)。沈む込むプレートから活断層の直下へ繋がる V_p/V_s の大きな領域の最浅部に相当し、沈み込む海洋プレートから脱水した水が下部地殻を弱化して Weak zone (やわらかい領域) を形成するという内陸地震の発生過程に関する仮説と調和的な結果である。

② 内陸地震の 3 次元的な物理モデルの構築 (飯尾能久)

内陸地震は一般に単発であり、隣接領域で引き続き大地震が続発することは稀であるが、その理由は全く不明である。均質に近い弾性体であれば、大地震が起こると、その断層の両端部に大きな応力集中が発生するからである。平成 30 年 (2018 年) 10 月鳥取県中部の地震の臨時余震観測により、断層の南端部において、正断層型の地震は本震による応力変化の大きな領域に集中して起こっているに対して、横ずれ型の地震は断層端における応力集中にも関わらず、そこでは非常に少ないことが明らかになった。この観測結果は、断層端においては、本震前に既に応力緩和が発生していたことにより解釈可能である。山陰の地震帯においては、近年発生した顕著な地震の余震域の両端に低速度域が推定されていたが、これらも応力緩和に関係している可能性が考えられる。特に、鳥取県西部地域においては、満点計画の稠密地震観測データを用いた地動ノイズの S 波 3 次元構造トモグラフィーにより、断層端浅部の低速度異常域が詳細にイメージングされた (Suemoto *et al.*, 2020)。

③ 地殻流体と地震発生との関係の解明 (飯尾能久)

近畿地方中北部では、レシーバ関数解析と S 波の反射法解析により、沈む込みフィリピン海プレートから脱水した水が、深部低周波地震の発生域付近から地殻内に入り、南上ガリの S 波の反射面を形成し

て、有馬-高槻断層帯の深部へ上昇したと考えられる知見を得ていたが (Aoki *et al.*, 2016)、反射面の傾斜を考慮した解析により、花折断層帯近傍も含めた幅広い領域における反射面を検知することが出来た (Katoh *et al.*, 2018)。

地殻流体と地震発生との関係を解明するために、満点観測のデータを活用して、島根県東部地域において、断層の見かけの強度を詳細に調べた。その結果、従来言われているように断層の摩擦係数を 0.6 程度と仮定した場合、多くの地震に関して、断層に働く間隙流体圧が最小圧縮応力よりも大きいという結果となることが明らかになった (Iio *et al.*, 2018)。このことは、高い間隙水圧により断層の強度が下げられているのではない可能性を強く示唆している。

余震の発生と地殻流体との関係も、未解決の重要な問題である。本震の大すべり域付近で起こる余震は、本震による応力変化によっては説明が難しいからである。それらは、本震による断層破壊のために、深部から高压の流体が上がってきて、余震の断層の強度を下げたために発生するという仮説が存在する。鳥取県中部の地震に関して、本震発生の次の日の早朝から稠密余震観測が行われた。仮説の検証のためには、本震発生直後のデータが非常に重要であるので、このデータを活用して仮説の検証を行ってみた。深部から高压の流体が上がってくる場合、その流体は地震発生域で拡散してゆくため、余震の空間分布が時間変化すると考えられる。余震の空間分布の時間変化を詳細に検討した結果、時間変化が見られるのは限られた領域であり、ほとんどの領域では余震分布は時間的に非常に安定していることが明らかになった (Iio *et al.*, 2020)。余震活動に関する流体の役割は、直後から行われた稠密な臨時観測によっても検知することはできなかった。このことは、自然地震の余震の発生は、注水実験等での誘発地震の発生過程とは異なっている可能性を示唆している。

④ 断層に働く応力との断層の強度の解明 (飯尾能久)

ビーチボールと呼ばれる地震のメカニズム解は、断層の向きやすべり方向の情報を示すものであるが、ある狭い領域の中で起こる地震群においても、地震メカニズム解は結構バラバラで勝手な方向を向いている

場合が多いことが知られている。この現象の解釈には、(i) 断層に加わる応力場がバラバラである、(ii) 断層の強度がバラバラであるという両極端の解釈があり、実際はその中間だろうというやや諦めの境地に見える解説もある。長野県西部地域における高精度の地震観測データを詳細に解析して、応力場がバラバラなのではなく、断層の（見かけの）強度がバラバラであることを明瞭に示すことが出来た (Iio *et al.*, 2017)。このことは、応力場を用いた地震の発生予測の研究の妥当性を示す重要な知見である。

⑤ 日本列島の東西短縮速度とその時間変化 (深畑幸俊)

日本の本州の大部分は強い東西圧縮の場にある。しかし、非常に基本的なパラメータであるにも拘わらず、その短縮速度は良く分かっていない。具体的には、測地学的手法で得られる歪み速度は $1\sim2\times 10^{-7}/\text{yr}$ である一方、活断層の変位速度など地質学的手法で推定された短縮速度は一桁近くも小さいという歪み速度パラドックス (池田, 1996) の問題がある。

この問題に対する全く新しいアプローチとして、日本列島下で顕著な変形をしているフィリピン海スラブに着目した (Fukahata, 2019)。フィリピン海スラブは、沈み込む前はほとんど変形していないため、現在観察される変形は全て沈み込み開始後に生じたものと見なせるので、その変形速度を比較的精度良く推定できるのがポイントである。また、フィリピン海スラブの変形は、中部・近畿地方下で大きい一方、四国・中国地方下で小さい、太平洋沖合から沿岸部で小さい一方、内陸部で大きいという特徴を持ち、地表の変形パターンと非常に整合的である。そこで、フィリピン海スラブの変形速度を地表の変形速度の代替指標 (プロキシ) として用いることができるのではないかと考えた。得られた歪み速度は、四国地方では小さい ($0.2\times 10^{-8}/\text{yr}$ 以下) 一方、中部・近畿地方では $4\sim7\times 10^{-8}/\text{yr}$ となり、測地学的歪み速度より小さい一方、地質学的歪み速度よりも大きい値となった。なおこの見積もりは、紀伊水道下でフィリピン海スラブが断裂していた場合には20%ほど小さくなる。

GNSS データの解析に基づき、新潟付近の新潟神戸歪み集中帯 (NKTZ) において、2011 年東北地方太平洋沖地震前の方が地震後よりも非弾性歪み速度 (地質学的歪み速度に対応) にほぼ相当する短波長の歪み速度が顕著に速いことを見出した (Fukahata *et al.* 2020)。この地域における東北沖地震による応力変化は 0.5 MPa 程度と絶対応力レベルと比較して十分小さいため、この非弾性歪み速度の変化は、塑性歪みに起因すると考えられる。即ち、地震前には塑性歪みが生じていた一方、地震後には応力低下により塑性歪みが停止したと想定される。具体的な短縮速度としては、地震前については、弾性歪み速度が約 $6\times 10^{-8}/\text{yr}$ 、粘性歪み速度が約 $3\times 10^{-8}/\text{yr}$ 、塑性歪み速度が約 $3\times 10^{-8}/\text{yr}$ であった一方、地震後については粘性歪みがほぼ同じ速度で継続する一方、塑性歪みは停止し、弾性歪みは伸張に転じたと考えられる。測地データの弾性歪み・粘性歪み・塑性歪み各速度成分への分離はおそらく世界初の業績である。これまで、巨大地震サイクルの中で歪みの蓄積速度は単純に一定と仮定されることが通例であったが、この研究の結果、弾性歪みだけでなく非弾性歪みについても顕著な速度変化があることが明らかとなり、歪み速度パラドックスについても大きな見直しが必要となった。

⑥ 機械学習を用いた P 波の検出と到達時刻及び初動極性の決定 (深畑幸俊, 飯尾能久)

P 波の到達時刻と初動極性は地震の震源位置やメカニズム解を決定する上で基礎となる非常に重要な情報である。従来は、人間の専門家が読み取り手動で決定してきたが、近年観測データ量の増加は著しく、精度の良い自動処理アルゴリズムの開発の重要性が高まってきている。これまでも、波形の特徴に注目した自動処理アルゴリズムが提案され利用されてきたが、専門家の能力には及ばず、最終的に人間のチェックを必要としていた。この問題に、近年進展の著しい深層学習の一種の CNN (畳み込みニューラルネットワーク) を利用することで、accuracy が 95 %以上という専門家と同等以上の能力を発揮する自動処理モデルの作成に成功した (Hara *et al.*, 2019)。この 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くと考えられる。

(1) 地震予知情報研究領域

(2) 教授：西上欽也

准教授：伊藤喜宏

助教：寺石眞弘（平成 30 年 3 月まで）

加納靖之（平成 30 年 6 月まで）

直井誠（平成 31 年 1 月から）

(3) 研究対象と研究概要

地震、地殻変動、および関連する地球科学観測データを収集し、大容量データを効率的に処理・流通・蓄積するシステムの開発を行い、データベースの構築を行う。それらに基づいて、地震発生の理解と予測に有効となる、地震発生場や地殻活動パラメータの情報を抽出する解析手法の開発、各パラメータの時間変動の検出と評価手法の研究等を行っている。また、地下構造調査、活断層調査など地震発生予測のための基礎的な調査研究を他の研究領域とも協同して推進している。実施した主な研究活動の概要は以下のとおりである。

① 地震・地殻変動観測データの収集およびデータベース構築

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っている。

観測およびデータ処理システムの維持については、防災研究所技術室からの長・短期および継続的な技術支援を得て実施している。

② 地震波形データ収録・処理システムの効率化

当センターでは、各観測点と観測所あるいは宇治センター間は NTT の常時接続回線（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。各観測所・観測点から伝送されるデータの処理・解析の一元化を進めるとともに、地震活動等に関するデータ処理の効率化と統合処理による震源決定の高精度化等を進めた。観測点の機能向上および観測所の常駐職員数の減少あるいは無人化への対応のため、現地収録容量の増加、無停電電源装置や電源の遠隔監視機器の導入などの対策を進めた。また、全国的な合同地震観測による波形データについても、オンラインで検索・利用できるシステムを構築した。これらにより、データベースへのアクセス・利用を効率的・安定的に行えるようになった。

③ 地殻変動連続観測とデータの一元化および流通

地殻変動連続観測について、宇治のセンターに一元化し、連続観測データの集中処理・モニタリングを実施している。これまでに開発した保守の容易なセンサとデータ収録装置を各観測室に設置し、センサとデータ収録方式の統一化を図った。また、過去の観測データも含めて一元的に収集、保管し、種々の地殻変動イベントの検出、解析等の研究を進めている。また、上記の地震観測と同じデータ流通ネットワーク（JDXnet）を利用した全国大学間での流通にも参加している。

④ 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（西上欽也）

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、特に断層セグメント構造と散乱強度の分布特性および微小地震活動との対応などを明らかにした。NMO 補正処理を用いた波形解析も行い、モホ面上部付近における強い不均質構造の分布性状も示した。また近畿地方中央部における解析では、丹波山地周辺の活発な微小地震活動域の直下、下部地殻内に強い散乱領域が存在すること

を見だし、長期的な地震活動の消長との関係に着目して地震発生予測の観点からも調査を行っている。

⑤ 海底観測記録のデータベースの構築 (伊藤喜宏)

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、これまでに観測されたスロースリップのすべり速度を再現した摩擦試験を実施することで、スロースリップそのものがすべりに依存して断層上の摩擦弱化を引き起こす作用(促進作用)を指摘した。日本海溝に設置された海底地震計記録を用いた解析により、東北地方太平洋沖地震発生に先行して本震の震源域周辺で観測された低周波微動活動の時空間履歴を明らかにした。また、海底地震計記録を用いた地震波干渉法解析により、本震発生前後に生じた震源域近傍の地震波速度構造の変化の可能性を指摘した。日向灘で発生する浅部低周波微動の地震波形の解析により、特に微動活動の後半では潮汐による応力変化により活動が促進されることを示した。海底圧力記録から微弱な地殻変動を抽出するための手法開発を行った。

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 (直井誠)

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に、深層学習の手法を用いた地震カタログ作成手法の検討を行った。定常観測データを対象に、ノイズ除去、イベント検出、P 波・S 波の走時検出の自動処理を試験的に実施した。また、室内実験で記録された AE の波形に対して P 波初動極性の自動読み取りを深層学習を用いて実施し、10 供試体の実験において計 5 万イベントもの震源メカニズムの推定に成功した。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近年提案されている、局所性鋭敏化ハッシュを用いたイベント探索プログラムの実装もおこなった。

(1) 地殻活動研究領域

(2) 教授：澁谷拓郎

准教授：野田博之

助教：徐培亮

(3) 研究対象と研究概要

地殻活動研究領域は、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ことを目標に掲げている。最近の研究活動の概要は以下のとおりである。

① 西南日本下に沈み込むフィリピン海プレート周辺の構造の研究 (澁谷拓郎)

澁谷らは、西南日本下に沈み込むフィリピン海プレート周辺の地震学的な構造を調べるために、リニアアレイ地震観測、レシーバ関数解析およびトモグラフィ解析を行っている。南海トラフ巨大地震の震源断層面であるフィリピン海プレート境界面付近の流体の分布や、震源域から大阪や京都などの大都市域への地震波の伝播経路に当たる地域下の地震波速度不連続面の形状および 3 次元地震波速度構造を精度よく推定し、将来の地震の発生予測や強震動予測の高度化に寄与するためである。

紀伊半島においては、スラブ傾斜方向に 4 本とそれに直交する方向に 2 本のリニアアレイ観測により得られた遠地地震の波形データを用いたレシーバ関数解析により、紀伊半島の下に沈み込むフィリピン海プレートの形状を推定した。速度構造モデルに、レシーバ関数解析により推定した大陸モホ面、海洋地殻上面および海洋モホ面の 3 次元形状を組み込み、さらに、定常観測点に加えて、稠密リニアアレイを構成する臨時観測点の読み取り値も使用して、紀伊半島下の深さ 60 km までの地震波速度の 3 次元速度構造をトモグラフィ解析により求めた。この結果は日本地震学会 2018 年度秋季大会で発表した。

四国では、香川県綾川町から南南東方向に徳島県海陽町に至る測線上に、定常観測点の間を埋めるように 7 か所に臨時観測点を設置した。さらに、徳島県神山町から高知県大豊町までの区間に 7 点の臨時観測点を展開した。2 年間の観測の後、最初の 7 点を、高知県の町から愛媛県西予市の区間の 7 か所に移設した。これらの観測点と測線近傍の定常観測点で記録された遠地地震の波形を用いてレシーバ関

数解析を行い、四国下に沈み込むフィリピン海プレートの形状を推定した。この結果は、日本地震学会 2019 年度秋季大会と令和元年度京都大学防災研究所研究発表講演会で発表した。

南九州では、リニアアレイ観測で得られた遠地地震波形を用いてレシーバ関数解析を行い、宮崎ー阿久根測線と宮崎ー桜島測線のレシーバ関数イメージの更新を行った。その結果、南九州下に沈み込むフィリピン海スラブの海洋モホ面を明瞭にイメージできた。また、リニアアレイの臨時観測点と周辺の定常観測点におけるローカルな地震の P 波走時を用いたトモグラフィ解析を行い、3 次元地震波速度構造を推定した。この結果は京都大学防災研究所年報 62 号に掲載された。

② 深部延性剪断帯を持つ断層の性質と応力擾乱に対する挙動に関する研究 (野田博之)

大断層の深部には岩石が流動的に変形する延性剪断帯が存在する事が地質学的研究から明らかとなっており、大地震の多くは (必ずではないが) 脆性塑性遷移域の近くから破壊が開始すると考えられている。脆性塑性遷移を考慮した断層構成則に関して、アナログ実験結果に基づく経験則を用いた断層の数値モデルを作成し、その力学的性質および応力擾乱に対する反応を調べた。

地殻は地表近くに存在するため、その挙動は人間活動にとって重要である。しかし地球全体からするとその厚みは大変薄く、惑星スケールの運動について考える際には地殻に入った弱線として断層を粗視化したモデルが有用かもしれない。上述した大断層の数値モデルを人為的に制御した条件で駆動して、粗視化した断層の力学特性を調べた。その結果以下の事が明らかとなった。[1] 大断層は全体として剪断応力 τ と長期的滑り速度 V の間には冪乗則 $V \sim \tau^n$ が成立し、 n は 18~20 程度である。[2] 有効垂直応力と剪断抵抗の間には線形な関係が存在するが、その傾きは脆性領域の摩擦係数の数分の 1 程度である。[3] 上述の線形関係は原点から有意にずれており、見かけ上 cohesion が存在する。本結果は日本地球惑星科学連合 2017 大会および日本地震学会 2017 年度秋季大会で発表した。

内陸地震には、海溝型巨大地震の繰り返しの伴う

「活動期」が存在すると考えられており、その原因として大規模な地震サイクルによる準周期的な応力擾乱が考慮されている。内陸大断層を模した脆性塑性遷移を考慮した断層の数値モデルに、準周期的な鋸波関数的な応力擾乱を加え、内陸大地震のタイミングについて調べた。その結果、海溝型地震によって ΔCFF が減少する断層については、擾乱の振幅が大きいほど、また周期が短いほど、内陸大地震が海溝型地震の周期の後半に集中する事を見出した。地震発生率に関してはこれまでに、 ΔCFF 増加率に比例するとしたモデルや、速度・状態依存摩擦構成則に則ったモデルなどが提唱されている。今回の計算では速度・状態損摩擦構成則を用いているにもかかわらず、前者によりよく整合する。後者で説明するには、実際に用いた摩擦構成則のパラメータを大幅に過小評価しなければならない。本結果は日本地球惑星科学連合 2018 大会で発表した。

③ 粘弾性体中における動的地震サイクルシミュレーション手法の開発 (野田博之)

近年、沈み込み帯のプレート境界断層や幾つかの大断層の地震性・非地震性遷移域において、スロー地震が発見されている。特に地震発生帯層より深部では、断層の摩擦の力学的性質、高い間隙流体圧、媒質の非弾性変形の影響、といった複数の要因が提唱されている。本研究では既存の弾性体における動的 (慣性項を無視しない) 地震サイクルシミュレーションに粘弾性緩和を実装し、その影響を系統的に調べた。

スペクトル境界積分方程式法を用いた地震サイクルシミュレーションは、単純な形状の断層のみを扱えるといった制約はある物の、高速フーリエ変換を利用した省メモリーかつ省計算回数の利点のため、数多くのシミュレーションが必要なパラメータスタディに最適である。メモリー変数を用いる事により、数値計算コストの増大を無視できるレベルに抑えてマクスウェル粘弾性を実装する事に成功した。パラメータスタディの結果、以下の事が明らかとなった。弾性体の場合に地震を繰り返す速度弱化パッチを置いた場合、非弾性変形が顕著になると地震の再来周期が増大・発散し、ついには永久に固着した状態となる。断層の摩擦パラメータを変化させた場合は、

地震性・非地震性遷移では、ゆっくり地震を繰り返すパラメータ領域が存在する。今回見つかった遷移は新しいタイプの遷移である。また次元解析によって、短い緩和時間は速度弱化パッチが大きい事と同値であることが示された。これは、非弾性変形の影響により大きい地震の頻度が相対的に小さくなることを意味する。本結果は学会発表に加えて、国際誌 (Earth, Planets, and Space) で発表した。

④ 地殻変動データの解析手法の理論的研究 (徐培亮)

宇宙測地学分野において、この 60 年間に進展した衛星追跡重力学の基礎数学理論を検証し、再構築した。中国・武漢大学の全地球航法衛星システム研究センターと共同研究を行い、GNSS 精密 PPP 測位により地震波形を mm レベルの精度で理論的に計測できることを証明した。2011 年東北地方太平洋沖地震に適用して、突然の大規模な変動が起きた可能性を指摘した。また、GNSS 回転地震学の研究を初めて提唱した。

(1) リアルタイム総合観測

(2) 准教授：片尾浩

助教：山崎健一

(3) 研究対象と研究概要

本研究領域では、大地震発生前後の震源域や、定常観測網で異常が認められる地域などに機動的に出動し、効率的かつ多種目の臨時観測を行う。また、構造探査、特定地域を対象とした臨時観測等を、他大学や研究諸機関と連携して実施する。これらの機動的な臨時観測により、定常観測網からは得ることが困難な高精度高解像度のデータ取得・解析を行う。

平成 29 年度から令和元年度の主な研究は以下の通りである。

① 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) の発生を受けて、即日緊急余震観測網の展開を開始し、翌 19 日には高槻市域の震源域直上に、オフライン観測点を約 20 点設置した。さらに 20 日には高槻市および茨木市など淀川北岸域から、淀川対岸の枚方市・八幡市方面へと設置範囲を広げた。その後順次観測点を増強し 6 月中に約 50 点の臨時観測網を展開

した。これらのオフライン観測点は京都大学防災研と九州大学が合同で設置したものである。同時にオフライン観測との連携のもと東京大学地震研究所が衛星通信によるテレメータ観測点 4 点を震源域周辺に設置しリアルタイムで地震データの発信を行った。西日本豪雨による中断期をはさみ、オフライン臨時観測網は 7~8 月にも順次増強を続け最大 80 点以上設置された。今回の震源域は大阪平野北部の人口密集域にあり、大きな都市ノイズがあるため高感度地震観測点は従来ほとんど設置されていなかった。今回の臨時観測では設置条件を大幅に緩和して多数の地震計を高密度に配置したことにより、それらのうちノイズが低い観測点・時間帯を選択して利用することで、高感度観測網として十分機能させることが可能であった。得られたデータは、高精度の震源分布、発震機構、地殻構造を求める基となった。平成 29 年 9 月以降は臨時観測点を整理し、観測機材も当初の上下動 1 成分のみのものから、3 成分観測できる装置への置き換え進め、令和 2 年現在も約 30 点で継続して観測している。

② 新燃岳噴火に伴うひずみ変動観測

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、噴火過程に伴う明瞭なひずみ変化が記録され、噴火の開始に数時間先行するひずみ変化が含まれていることが確認された。

③ 日向灘の地震発生とひずみ変動の関連

宮崎観測所施設内で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観測研究を進めている。同観測所近傍では数十年間隔で M7 クラスの逆断層地震が発生しているほか、スロー地震が繰り返し発生している。1996 年日向灘地震の発生前には同観測点においてひずみ速度の変化が記録されており、同様のひずみ速度変化が次の地震発生時にも再現されるのかを注視するとともに、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べく、過去のデータを含めたデータ解析を進めている。

④ 四国西部における地球電磁気観測

他部門の研究者とともに、スロー地震発生域である四国西部で地球電磁気のキャンペーン観測および連続観測を実施した。キャンペーン観測の記録からは、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。これに加えて、地球電磁気連続観測記録には地震動に伴う電磁場変動が稀に観測される。そのメカニズムを解明するための観測研究を継続実施している。

⑤ 近畿地方北部における稠密地震観測

2008 年末以降、文科省受託研究『ひずみ集中帯における重点的調査観測』ならびに『地震・火山噴火予知のための観測研究計画』の課題「近畿地方北部における地殻活動異常と地震先行現象の関係の解明」の一環として、近畿地方北部においてオフライン臨時点 80 点以上を設置し稠密地震観測を継続中である。

⑥ 近畿地方北部における発震機構解および応力場の研究

上記稠密地震観測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した。観測網内においては M0.5 程度の極微小地震であっても発震機構を精密に求めることができることを示した。同地域を 1 辺 5km に分割した小領域について応力テンソルインバージョンを行い、丹波山地から琵琶湖西岸地域にかけての応力場の空間変化を詳しく求めた。

⑦ 近畿地方北部 3 次元地震波速度構造

上記稠密地震観測のデータを用いて近畿地方北部の 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ることが示され、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。

⑧ 近畿地方北部の地殻深部反射面

近畿地方北部の下部地殻に存在することが知られていた顕著な S 波反射面について、上述の稠密地震観測のデータを用いて詳細な解析を行った。大量の波形データを用いることで反射面の形状を直接イメージできるようになった。これは下部地殻の流

体の存在を強く示唆するもので、深部低周波地震や通常の地震活動との関連を考察している。

⑨ 東北地方太平洋地震合同余震観測

平成 23 年 (2011 年) 3 月の東北地方太平洋地震の発生後、『地震・火山噴火予知のための観測研究計画』の課題「超巨大プレート境界地震による内陸域の応力変化及び応力集中メカニズムの解明」の一環として、全国の大学と合同で臨時地震観測を行っている。本センターでは平成 23 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 回のデータ回収とメンテナンスを継続している。データは東北大学に送付し、東北地方太平洋沖地震によって誘発された内陸地殻内の地震活動の解析に利用されている。

(1) 地球計測研究領域

(2) 准教授：宮澤理稔

助教：森井互（平成 31 年 3 月まで）

(3) 研究対象と研究概要

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、及び観測手法の開発を行っている。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。最近の研究活動概要は以下の通りである。

① 地震およびスロー地震の誘発現象の研究

大地震の発生に伴い励起された表面波が通過する際に、スロー地震の一種である超低周波地震が誘発されている可能性があるが、発見に至った事例がないため、その検出に取り組んだ。通常の信号処理手法では期待される極微小シグナルを検出できないため、ベイズ推定を用いた確率論的な検出方法を新たに開発した。この手法を 2016 年 4 月 1 日に紀伊半島沖（三重県沖）で発生した M6.5 の地震の観測記録に適用したところ、この地震の表面波が通過している際に、四国で M4 前後の超低周波地震が少なくとも 6 回誘発されていた可能性があることを発見した。表面波による超低周波地震の直接的な誘発に関する初めての発見であり、これによってすべての種類のスローイベントが、動的に誘発されることが確かめられた。

2017 年メキシコ南部で発生した Mw8.2 のテワンテペク地震により、約 1,000km 以上北西に離れたメキシコ中部のプレートの沈み込み帯で、表面波の到来に対応して低周波微動が誘発される現象を発見した。この発生メカニズムを調べるために、大型計算機を用いた全波動場シミュレーションを通じ、プレート境界での応力変化の状態を調べた。

地震波による地表の揺れが強い程、地震活動が活発化されやすいことが知られている中で、南カリフォルニアの地震観測で得られた大規模データを解析することで、誘発地震活動の統計学的特徴を調べている。この 10 年間のデータの解析に依ると、それ以前の記録と近似的手法を用いて得られた過去の結果と整合的であることや、地震活動が見られるところではどこでも誘発地震が起き得ることが分かった。

2014 年 4 月にソロモン諸島で Mw7.6 の地震の約 16 時間後に Mw7.4 の地震が発生した双子地震の事例について、その発生過程を調べた。遠地実体波解析から 2 つの地震の震源過程を明らかにし、さらに Mw7.6 の地震から Mw7.4 の地震の震源域への応力変化の作用や、余震活動の変化を調べた。

② ノイズ解析手法を応じた構造調査の試み

地震計で観測され続けるノイズを地震波干渉法により解析することで、観測点間を伝わる地震波を抽出し、断層の地下構造の時間変化を捉えることを目指している。山崎断層帯のセグメントの一つである安富断層（兵庫県）を貫く地下坑道内に地震計アレイを設置し、坑道直上を断層の走向に沿って走る中国自動車道からの交通ノイズの連続観測を継続している。

(1) 地球物性研究領域

(2) 客員教授

平成 29～30 年度：片山郁夫（広島大学大学院理学研究科地球惑星システム学専攻）

平成 31 年度：辻健（九州大学大学院工学研究院地球資源システム工学部門）

(3) 研究対象と研究概要

地球内部物性研究領域は、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

たる準備過程の解明の高度化を計ることを目的として、国内から客員教授を招いている。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。平成 29～30 年度には、地球内部の水分布と地震発生プロセスの解明に関する講義および野外巡検等を行った。令和元年度には、地殻のイメージングと時空間構造推定およびその物性の理解に関する講義等を行った。

(1) 上宝観測所

(2) 観測所長・准教授：大見士朗

助教：宮崎真大（平成 30 年 4 月より宇治勤務、令和元年 5 月まで）

協力教員 教授：飯尾能久

准教授：野田博之

助教：森井互（平成 31 年 3 月まで）

加納靖之（平成 30 年 6 月まで）

山田真澄

(3) 研究対象と研究概要

地震予知研究推進のための観測・研究を実施している。主な研究テーマは、地殻変動連続観測、GPS 観測による地殻歪、傾斜変化と地震発生の関連、および、地震観測による地震活動調査などであり、それぞれに対応する連続観測、臨時観測等が実施され、結果は地震予知連絡会などに報告されるとともに、内外の研究に提供されている。平成 16 年度から平成 20 年度までの地震予知事業計画における歪み集中帯における地震、GPS および電気比抵抗の全国的な共同観測では、観測の基地としての役割を果たした。焼岳火山の観測では、平成 26 年 9 月の御嶽山の火山災害を受け、後述のように平成 26 年度に「機動的集中観測研究システム」の一部として焼岳山頂近傍にあらたに 3 点のオンライン観測点が整備され、精力的に観測研究を実施している。さらに、焼岳火山という共通の研究対象をもつ穂高砂防観測所との連携を深めている。

① 地殻変動連続観測による地殻歪、傾斜変化と地震発生の関連

当観測所は第 1 次地震予知計画に基づき、1965（昭和 40）年に上宝地殻変動観測所として設立された。

それ以来、蔵柱観測坑において、歪計、傾斜計、水位計による観測が継続されている。また、GPS 観測も当地域で実施されており、跡津川断層を横切る稠密 GPS 観測網のデータ収録も行われている。この観測によって、跡津川断層を境として、変位ベクトルの向きが変わる結果が得られ、新潟-神戸歪み集中帯の一部の詳細な解析、活断層の運動の解明のために、有用なデータが蓄積されている。

② 地震観測による地震活動調査

当観測所では微小地震の観測も開始され、1976 年にはテレメータによる短周期高感度観測網が設置された。当初 3 点で開始された観測網は、徐々に観測網が拡充され、1996 年には 9 点になった。さらに、周辺観測網とのデータの交換が行われ、衛星通信利用の観測網の設置によって、2002 年度からは地震予知推進本部が建設した Hi-net の観測データも収録するようにし、現在では約 100 観測点、300 チャンネルのデータを取得している。

③ 焼岳火山の地殻活動の研究

飛騨山脈脊梁に位置する焼岳火山は、1962 年の噴火を最後に表面活動は静穏な状態が続いているが、深部低周波地震活動が見られることや、時折浅部の群発地震活動が見られる等、次の噴火活動への準備過程にあることが推察される。焼岳火山については、本観測所の地元の防災対策への協力という意味からも、必要に応じて観測結果を地元自治体等に供給する等の協力を行っている。

また、平成 26 (2014) 年 9 月 27 日の御嶽山の噴火により甚大な被害の発生を受け、急遽文科省の予算措置がなされ、平成 26 年度に「機動的集中観測研究システム」の一部として焼岳山頂近傍に新たに 3 点のオンライン観測点が整備された。これらの観測点は、水蒸気噴火の予測研究に資することを目的として、火口近傍に従来の地震観測のみならず温度計や磁力計等の多項目の機材を設置したことが特徴である。現在、設置地点の過酷な自然環境を克服して次第に定常的にリアルタイムでデータが得られるようになりつつあり、今後の火山活動の研究監視観測に資することが期待されている。これらの観測網により、平成 29 (2017) 年 8 月や令和元 (2019) 年 7 月の焼岳山頂付近での空振を伴う低周波地震の発生

時や、平成 30 (2018) 年 11 月から 12 月にかけての焼岳西麓における活発な群発地震活動の詳細なデータを得ることができ、解析が進めると同時に、火山噴火予知連絡会への定例の報告も実施している。

④ 地震予知・火山噴火予知研究の推進に資するプロジェクトの実施

観測所は全国の大学による合同観測のための基地としても重要な役割を果たしており、平成 16 年 (2004 年) から平成 20 年 (2008 年) まで行われた跡津川断層歪み集中帯の合同観測では主要な役割を担った。これに引き続く、平成 21 年度からの地震予知・火山噴火予知研究計画においては、地震予知と火山噴火予知の統合がひとつの重要なテーマとなった。上宝観測所の研究対象地域には、焼岳等の火山と跡津川断層等の活断層の双方が位置していることから、このような研究テーマに最適であり、本計画では、「飛騨山脈における地殻流体の動きの解明」と銘打ったプロジェクトが進められ、飛騨山脈とその周辺において、「地殻流体」をキーワードに、歪集中帯の活断層と活火山の関係を解明する観測研究が実施された。また、平成 26 年度 (2014 年度) からの「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、焼岳火山の噴火準備過程の研究をテーマとして計画が実施され、期間中に発生した御嶽山の噴火後の追加の予算措置により、焼岳近傍での観測網の整備が進捗したことは前述のとおりである。

(1) 北陸観測所

(2) 観測所長・教授：西上欽也

協力教員 准教授：宮澤理稔

(3) 研究対象と研究概要

北陸地方の微小地震活動、地殻活動および活断層を含む地殻構造の特性を主な研究対象とし、研究テーマとしては、① 約 40 年間にわたる北陸地方の微小地震活動と地震テクトニクス、② 福井地震断層の深部構造と地震発生過程、③ 観測坑道内における地殻活動特性の計測、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。各研究テーマの概要は以下のとおりである。

① 北陸地方の微小地震活動と地震テクトニクス

テレメータ観測データにもとづく、約40年余りの長期間におよぶ微小地震の活動特性を調べている。福井地震断層から温見断層、根尾谷断層系に繋がる活発な地震活動域、琵琶湖北部の柳ヶ瀬断層、湖北山地断層帯等に沿った活動域、白山等の火山直下の活動、および観測所（鯖江市）を中心とする半径約10kmの明瞭な地震空白域等、この地域の微小地震活動特性を明らかにした。北陸地方全体の長期的な地震活動度は1995年兵庫県南部地震の1年あまり前からの活動低下と地震後の活動の活発化を示す。また、これらの地震観測データにもとづいて北陸地域の地殻構造、地震のメカニズム解等についても調べている。

② 福井地震断層の深部構造と地震発生過程

福井地震（1948年、M7.1）の震源断層とその周辺における活発な微小地震の発生特性は本観測所の重要な研究課題である。これまでに蓄積された微小地震データベース、特に波形データを用いて、精密な震源分布、応力降下量の空間分布、小地震（M4～5クラス）の震源パラメータの推定、断層周辺の地震波散乱強度の三次元分布などを調べてきた。散乱波の解析からは、福井地震断層に沿った強い散乱体の分布、鯖江周辺の地震空白域と散乱の弱い領域との対応等を明らかにした。

③ 坑道内における地殻活動緒特性の計測

観測坑内において、地震・地殻変動の連続観測の他、地電位計、ラドン測定器、等による連続観測も行われ、北陸地域の地殻・上部マントル構造の推定、地殻活動の緒特性の調査等に幅広く利用されてきた。2005年10月には、坑道内にあらたに伸縮計（長さ約7m）を設置して観測を開始した。三次元相対変位計など、観測坑を利用した新しい観測機器の開発についても、学内外研究者との共同研究により行ってきた。

(1) 逢坂山観測所

- (2) 観測所長・教授：飯尾能久（平成31年3月まで）
准教授：片尾浩（平成31年度から）
協力教員 教授：飯尾能久（平成31年度から）
准教授：片尾浩（平成30年度まで）
助教：森井互（平成30年度まで）

直井誠（平成31年度から）

(3) 研究対象と研究概要

観測所坑道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。本観測所は、琵琶湖西岸断層と奈良盆地東縁断層へと繋がる花折断層南部（黄檗断層）の結節点に位置し、今後もこれらの観測量に注目していく必要がある。

① 歪の年周変化量の減少

逢坂山観測所の歪記録には、これまで 10^{-6} 程度の年周変化が見られたが、2013年の終わりころから急に年周変化の振幅がそれまでの5～3割程度まで減少していることを検知した。このような長中期のトレンドの変化は過去にも観測されており、1995年兵庫県南部地震、2011年東北地方太平洋沖地震との関係性も議論されているが、詳しいメカニズム等はいまだ解明されていない。

(1) 阿武山観測所

- (2) 観測所長 教授：飯尾能久
技術職員 富阪和秀
協力教員 教授：矢守克也（兼任）
准教授：片尾浩、深畑幸俊

(3) 研究対象と研究概要

近畿北部、特に丹波山地の活発な微小地震活動と地殻変動の精密な観測を行っている。全国的な地震基盤観測には10衛星点の地震データが寄与している。当観測所地下観測室（坑道内）では高精度地殻変動連続観測と地震観測が行われている。また防災科学技術研究所の広帯域地震観測点にもなっている。

2008年頃より、満点規模の稠密地震観測を可能とする次世代型稠密地震観測システム（満点システム）を開発し（京都大学、株式会社近計システム等の共同研究）、国内外の余震観測やや長期の臨時観測等で運用している（満点計画）。阿武山観測所はそのための基地として位置づけられ活用されている。

① 活断層集中域における地震発生メカニズムの解明（飯尾能久、片尾浩、澁谷拓郎）

近畿地方は全国的に見ても活断層が集中している地域であるが、近畿地方中北部の活断層集中域にお

ける地震発生メカニズムを解明するために、文科省「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」により、2014年から満点地震計によるオフライン稠密多点地震観測を行っている。得られたデータ等を用いたレシーバ関数解析および自然地震を用いたS波の反射法解析や地震メカニズム解の解析等により、近畿地方中北部における地殻構造の詳細な推定などを行い、下記のような成果を得た。S波の反射法解析とレシーバ関数解析を組み合わせ、S波の反射面の水平方向の広がりだけでなくその鉛直方向のイメージングにも成功し、反射面は地震波低速度の薄い層であることが確認された。反射面は北落ちで、その走向は有馬-高槻断層帯に平行であり、また水平方向の広がりも断層帯と同程度であると推定された。これらのことは、反射面が有馬-高槻断層帯の深部延長である可能性を示唆している。反射面の北端付近に、深部低周波地震の発生域が存在することから、レシーバ関数で検知されている沈み込むフィリピン海プレートから脱水した水が、深部低周波地震の発生域から地殻内に入り、有馬高槻断層帯に向かって移動している可能性が考えられる。

② 大阪府北部の地震についての調査研究（飯尾能久，片尾浩，澁谷拓郎）

2018年6月18日に発生した大阪府北部の地震の余震観測を、九大・東大地震研・関大との合同で実施した。臨時地震観測点は、0.1満点システムによる1成分観測点約100点とオンライン方式の3成分観測点4点からなっていた。その後2018年12月頃に3成分観測である満点システムに置き換え、2020年3月時点では約30点が稼働していた。大阪府北部の地震は、北側の逆断層および南側の横ずれ型の断層の2つの断層が関係しているといわれているが（地震災害研究分野浅野准教授による）、予備的な解析によると、北側の断層付近では逆断層的な応力場、南側では横ずれ型の応力場となっており、強震動からの推定と調和的である。この付近では、微小地震の線状配列があることが知られていたが（京都大学防災研究所, 1996）、余震分布は線状配列に沿って西方へ伸びている。また、上記の断層面より北側へも遠くまで伸びているが、余震分布の下限の形が下に凸のお椀型をしていることから、余震域の端において

応力集中が起こっている可能性は低いと推定された。

大阪府北部の地震の断層は、既知の有馬-高槻断層帯や生駒断層帯の向きとは調和的でないが、既存のデータを再解釈することにより、有馬-高槻断層帯を構成する真上断層の東の延長は男山丘陵の南側の地質境界へ延びること、生駒断層帯の北方延長は淀川低地帯の南西縁を限って、上記の真上断層の東方延長部まで延びることが新たに提唱された（堤・飯尾, 2019）。

阿武山観測所の地殻変動連続観測記録においては、2009年頃から、それまでの傾向と異なり東西短縮となっていた。また、地震発生の約1日前の6月17日4時ごろから顕著な異常変動が記録されているが、その原因についてはさらに注意深い検討が必要である。

③ サイエンスミュージアム計画（矢守克也，飯尾能久，片尾浩）

防災のための知識や技術の高度化に伴って、近年防災といえば専門家が担うもので、非専門家はそれに従っていればよいとの考えが拡大してきた。こうした考え方のもとでは、専門家が非専門家に指導・伝達することが中心となるが、これが両者の間の障壁を高め、専門家依存や情報待ちといった問題を引き起こす恐れがあった。非専門家が、防災を自分たちも専門家と共に担う活動だと実感する形式の防災教育が重要であり、専門家（大学）と非専門家（一般市民）が共同してサイエンスミュージアムを運営しようとする計画を行っている。これまでも、一般市民のサポーターが、観測所ツアーガイドとして見学者の対応を行うだけでなく、自らツアープログラムの新規開発等を行ったり、出前型の地震授業などの観測所外の活動を行ったりするなど、専門家と非専門家の間の存在として、その活動を上げてきた。さらに、自治体等の依頼により、簡易型のペットボトル地震計の工作講座や防災に関する市民向け講座を行ったり、満点計画関連では、稠密地震観測に参加し、地元のボランティアとともに、観測点選定調査や土地交渉、観測点の設置などを実際に担ったりしている。大阪府北部の地震の余震観測においては、観測点の土地交渉から設置まで大車輪の働きをした。市民が専門家の領域に近づき、自ら行動して、地震

や防災に関する取り組みを行っている。

(1) 屯鶴峯観測所

(2) 観測所長・教授：飯尾能久，

助教：森井互（平成30年度まで）

協力教員 教授：西上欽也（平成31年度から），
准教授：片尾浩（平成31年度から）

(3) 研究対象と研究概要

観測所坑道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。

これら定常観測に加え，地下水位と間隙水圧の試験的観測，従来よりも基準尺が短かく設置が容易な新たな短スパン伸縮計の開発を行った。開発の段階では，屯鶴峯観測室の観測坑道を使用して機器の性能試験を行った。既に簡易型伸縮計による観測を行っていた紀伊半島中部の2カ所にこれを配置して，より信頼性の高いひずみ観測を行った。

(1) 徳島観測所

(2) 観測所長・准教授：片尾浩

協力教員 教授：西上欽也，澁谷拓郎

(3) 研究対象と研究概要

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。主な研究テーマは以下の通りである。

① 四国東部の微小地震活動

徳島観測所では石井，上那賀，池田，塩江の4カ所の高感度地震観測点を維持・管理している。これらのデータはテレメータにより宇治の微小地震観測システム SATARN に取り込まれて一括処理される他，国の基盤観測網の一翼として気象庁の一元化処理等に利用されている

② 石井観測室の整備

現地勤務職員の定年退職により平成25年4月以降は常駐職員が居なくなった。平成24年度中に観測所建物内のデータ伝送および処理装置を隣接する観測坑道内に移設し，通信線や電源線なども経路変更し観測坑道単独でも石井観測室として従来の観測が継続可能のように整備した。現在は，3カ所の衛星観測室とともに，通常は無人で運用し，定期あるいは必要な場合に宇治から人員を派遣することで，順調

に維持されている。

このほか，防災科学技術研究所への協力として，上那賀，塩江での速度型地震計による強震観測および石井本所でのSTS-1による長周期地震観測が行われている。

(1) 鳥取観測所

(2) 観測所長・教授：澁谷拓郎

協力教員 准教授：吉村令慧

(3) 研究対象と研究概要

中国地方東部～近畿地方西部の地殻活動の観測・解析を研究対象としている。対象地域内の鳥取，兵庫，岡山の3県に8点の定常地震観測点（鳥取，鹿野，多里，大屋，氷上，三日月，古法華，久米）を維持し，波形データをオンラインで一元化データネットワークに送信している。また，山崎断層の近傍に位置する安富と大沢では，観測坑道内において伸縮計による地殻変動の連続観測が行われている。研究活動の概要は以下のとおりである。

① 山陰地方の地震活動に関する観測・研究（澁谷ほか）

山陰地方の海岸に沿って，地震が帯状に分布する地震帯があり，そこではひずみが大きいことが知られている。この山陰ひずみ集中帯ではマグニチュード6～7の地震が発生している。

鳥取県中部では，平成28年（2016年）10月21日14時7分にM6.6（気象庁マグニチュード）の地震が発生し，震源域で震度6弱の強い揺れを引き起こし，20数名の負傷者および数棟の全半壊などの被害を生じさせた。この地域では，2015年10月18日にもM4.2とM4.3の地震が発生し，どちらの地震でも震央に近い湯梨浜町で震度4を観測した。さらに，約10km東で1983年10月31日にもM6.2の地震が発生している。1976年6月から2000年9月までの鳥取観測所の読み取りデータと2000年10月以降の気象庁一元化データの読み取り値を用いて連結震源決定法による再決定を行い，これらの地震と2016年の本震，前震，余震の時空間的關係を調べた。また，震源域に展開されていたGNSS観測点で観測された地殻変動データを用いて，本震の断層運動を推定した。結果は地震予知連絡会の刊行物に掲載され

た。

島根県西部では、2018年（平成30年）4月9日1時32分にM6.1の地震が発生した。震源域で最大5強の震度を観測するとともに、負傷者9人、建物被害710棟（全壊17棟、半壊58棟）が報告されている。震源域付近の三瓶山東麓から南東方向の広島県北部にかけては、比較的地震活動が活発な地域である（澁谷，2004）。2018年のM6.1の地震は、この活動域の北西端付近で発生したこと、および、M6を超える地震の発生は、1978年6月4日以来、40年ぶりであったことを地震予知研究センターのウェブサイトで速報した。さらに、読売新聞にも記事が掲載された。

② 山崎断層の地震・地殻変動の観測・解析（澁谷ほか）

山崎断層を取り囲むように、大屋、氷上、古法華、三日月の地震観測点が配置されている。このうち、三日月と古法華において、観測システムの故障の対応を行った。

③ 山陰地域の電気比抵抗構造推定のための観測・研究（吉村ほか）

2016年10月21日に発生した鳥取県中部の地震では、直後に広帯域MT臨時観測を実施した。臨時観測では、余震活動に対応する地震動到達に伴い記録した電磁場変動を用いて、地震動－電磁場変動のカップリングについて検討を行った。また、収録したMTデータについては、地下比抵抗構造解析のために他機関にデータ提供を行った。

④ 鳥取観測所の過去の地磁気観測データの電子化（大志万ほか）

鳥取観測所では、1967年～2007年の期間、プロトン磁力計を用いた地磁気全磁力観測が実施されていた。1980年以前の収録データは、紙記録としてのみ保管されていたが、その紙記録の整理および電子化作業を実施した。

(1) 宮崎観測所

(2) 観測所長・教授：澁谷拓郎

助教：寺石眞弘（平成30年3月定年退職）、

山崎健一、山下裕亮

技術職員：小松信太郎

協力教員 教授：大志万直人

准教授：西村卓也

助教：森井互（平成30年度まで）

(3) 研究対象と研究概要

宮崎観測所は、主に日向灘地域の地震活動と地殻変動の関係を研究する目的で1974年度に宮崎地殻変動観測所として設立された。現在では、南海地震のような海溝型地震に関する研究の拠点観測所として位置づけられている。具体的実施している定常的観測は、横穴式観測坑の伸縮計・傾斜計による地殻変動連続観測、宮崎平野での全地球衛星測位システム（GNSS）稠密観測（平成25年で一旦終了したのち、平成28年に範囲を宮崎県全域に大幅に拡大して改めて開始）、および高感度地震観測である。日向灘では同一地域に数十年間隔でM7クラスの海溝型地震が発生し、隣接地域ではスロースリップ等のスロー地震活動が見られるが、こういった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ことなどが現在の観測研究の主要な目的である。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」（平成26～30年度、平成31年度～令和5年度）によるプロジェクト研究や、文部科学省委託研究「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」（平成27～31年度）、科研費新学術領域研究「スロー地震学」（平成28～32年度）にも参加している。最近の研究活動の概要は以下のとおりである。

① 横穴式地殻変動連続観測（寺石眞弘，山崎健一，小松信太郎，山下裕亮）

宮崎観測所の庁舎に隣接して敷設された延べ約260mの観測坑道では、昭和49年度の観測所設立以来、伸縮計および水管傾斜計による地殻変動連続観測、ならびに地震観測を継続している。観測値には、長期および短期のひずみ速度の変化が記録されている。その多くは降雨の影響によるものだが、降雨と対応しないものも含まれている。短期ひずみ速度変化の中には、日向灘におけるスロー地震と対応する可能性のあるものも含まれている。また、主たる研究対象の地震以外にも、火山噴火と対応する変化も記録されている。伊佐観測点においては、霧島火山群の新燃岳の平成23年1月26日から27日の噴火に関連して、噴火過程に伴う明瞭なひずみの時間変化

に加えて、噴火の開始に数時間先行する変化も記録された。なお、これまで観測を続けてきた高城観測点と串間観測点については、外気温の影響が大きく、かつ一方向の伸縮しか計測していないために、地殻変動観測としての精度が低くて維持コストに見合った成果が期待できないと判断したため、平成29年度末に観測を終了した。串間観測点は地震観測点として再整備し、高城観測点は令和元年度に撤収した。

② 日向灘沿岸域・南九州の変位場解明（西村卓也，山崎健一，小松信太郎，山下裕亮，寺石眞弘）

GNSS 観測によって得られる地殻変動（変位）場は、数日から数年以上の時間スケールにおいて、日向灘におけるプレート間相互作用や南九州におけるプレート内変形、火山性地殻変動の変動源に関する情報をもたらし、変動メカニズムを解明するために重要である。宮崎平野の3カ所におけるGNSS観測網は平成25年度でいったん終了したが、これらの観測網のデータと国土地理院による定常GNSS観測網のデータから、日向灘ではプレート間カップリングが南部に行くほど弱くなることが示唆され、九州南部を東西に横断するひずみ集中帯の存在も指摘されていることから、平成28年度より観測網の再構築を行い、宮崎県と鹿児島県の14カ所（令和2年度現在）において観測を行っている。これらの観測データは、テレメータされており、日座標値はホームページでの公開を行っている。令和元年5月10日の日向灘の地震（M6.3）では、地震時及び地震後の明瞭な地殻変動が観測され、断層モデルの推定を行ったほか、スロースリップやプレート間カップリングの研究に用いられている。

③ 南九州における地震観測（山下裕亮，澁谷拓郎，寺石眞弘，小松信太郎，山崎健一）

地震観測として、当初は各地殻変動観測坑道内に独自に地震計を設置して連続観測を実施していた。平成7年以降は全国基盤観測点による観測網が充実してきたために常設観測点は整理縮小し、宮崎観測所および宿毛観測点のみで継続してきたが、平成28年度に串間観測点での観測を再開し、現在は3観測点において地震観測を継続している。この3観測点での波形データは準基盤観測点として全国配信している。また、1984年から2005年までのイベント波

形データについて、旧フォーマットから現在の標準であるWINフォーマットへの変換を完了させ、過去の地震活動に関する解析を進めている。

平成22年度～平成29年度には、南九州の地下構造を明らかにすることを目的として、宮崎－阿久根測線と宮崎－桜島測線において24点の臨時地震観測を実施した。臨時点で収録された地震波形記録を基盤観測点で得られた記録と合わせて解析することにより、沈み込むフィリピン海プレートの形状やその周辺地域の地震波速度構造を推定した。この結果は京都大学防災研究所年報62号に掲載された。

大地震が発生した時に高感度地震計では振り切れてしまうため、平成30年度に宮崎観測所新館1Fの基礎へMEMS強震計を設置した。強震計データから震度を算出することができるため、観測所での震度をすぐに把握することで、有事における非常対応に生かす事も可能となった。令和元年5月10日に発生したM6.3の地震では、宮崎観測所1階の計測震度は3.1（気象庁震度3）であったが、2階の揺れ方は明らかに大きかったため、2階の研究室にも強震計を設置した。今後、高感度地震観測を実施している串間観測点および宿毛観測点（すでに強震計は設置されているが上下動成分が故障中）においてもMEMS強震計を設置する予定である。

④ 九州・四国西部における地球電磁気観測（山崎健一，小松信太郎，山下裕亮）

他大学・学内他部局・および部局内他部門の研究者と共同で、九州および四国西部地域での地下電気伝導度構造を推定するための臨時および定常地球電磁気観測を実施している。九州および四国での臨時観測からは、これまでに、平成28年熊本地震の震源の広がりや比抵抗構造と対応していることや、豊後水道スロースリップの滑り域の境界に特徴的な比抵抗構造がみられることなど、電磁氣的構造と地震発生との関連を示唆する結果が得られつつある。四国に設置した定常観測点での連続観測は、繰り返し発生するスロースリップに対応する比抵抗の時間変化の検出を主要目的として実施しているが、今後、他地域での地球電磁気観測記録解析時の参照点としての役割を果たすことも期待できる。

⑤ 観測計器の開発・製作(小松信太郎, 山崎健一, 寺石眞弘)

観測に必要な計器および周辺機材の開発・制作, 老朽化した部品の修繕, 改良を進めている。坑道内地殻変動観測で用いられる計器類は, 多くの場合標準化がなされておらず, 相互利用に支障があるため, センサー部・電気変換部等を標準化するための開発・製作作業を進めている。また, 坑道内の伸縮計記録に大きな影響を与える温度の時間変化およびその空間分布を明らかにすることを目指して, 安価な温度計アレイ配置システムの開発も進めている。地球電磁気観測用の機材としては, 既製品よりも安価で, かつ様々な環境での観測に対応できる非磁性磁力計固定具の開発や電場測定用データロガーの筐体を改良した。完成品は, 海外を含む各地での観測で利用されている。

⑥ 平成 28 年熊本地震(山下裕亮, 西村卓也, 澁谷拓郎, 寺石眞弘, 山崎健一, 小松信太郎)

熊本地震の発生を受け, 地震発生直後より全国の大学・関係機関合同の臨時観測班に参加し, 地震・GNSS 観測を実施した。地震観測は平成 29 年度中に多くの観測点が撤収されたが, 一部臨時観測のオンライン化などを経て, 九州大学や東京大学によって継続されている。阿蘇市・産山村に地震直後に設置した臨時 GNSS 観測点については, 余効変動はほぼ収まったことから, 平成 31 年 3 月までに撤収したが, そのうち 1 か所は阿蘇火山の地殻変動観測のため, 理学研究科附属火山研究センターへ移管した。

⑦ 日向灘における浅部スロー地震観測(山下裕亮, 小松信太郎, 山崎健一, 西村卓也, 寺石眞弘)

日向灘のプレート境界浅部で発生する浅部スロー地震について, 海底地震計を用いた観測を他大学の研究者と合同で実施している。平成 28 年度から科研費新学術領域研究「スロー地震学」の A01 班(地震観測班)「海陸機動的観測に基づくスロー地震発生様式の解明」において, 16 台の海底地震計・圧力計・広帯域地震計を設置し, 平成 30 年度に観測機材の入れ替えを実施して観測を継続中である(令和 2 年現在)。宮崎観測点においては, 平成 27 年度に坑道内に九州大学と共同で広帯域地震計を設置し観測を継続中である。また, 屋上に設置した GNSS 観測点と

坑道内の伸縮計を活用することで, 数 Hz から数カ月 にわたる時定数をカバーする観測態勢を構築し, スロー地震のモニタリングを実施している。令和元年 5 月 10 日 M6.3 の地震発生直後からは, 日向灘における浅部スロー地震活動が活発化したことが陸上観測網から確認され, 地震発生から 3 週間ほど断続的に継続した。

⑧ 南西諸島海溝における海底地震観測(山下裕亮, 小松信太郎)

日向灘で観測される現象が, プレート境界として接続している南西諸島海溝においても見られるのか, 違いがあるのかを理解すること, 日向灘における地殻活動の特徴を知るためにも重要である。このような観点から, 屋久島以南の南西諸島海溝において, 鹿児島大学・東京大学・九州大学・長崎大学と共同で長期連続海底地震観測を実施している。毎年 4 月と 7 月に長崎大学練習船・長崎丸にて実施している本観測航海は, 学生が海底観測の実習に参加できる数少ない場にもなっており, 本学の学生も毎年数名が乗船し実習に参加している。また, 平成 29 年度～令和元年度には, 文部科学省委託研究「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」においても, 広帯域海底地震・測地観測を海洋研究開発機構・東京大学と共同で実施した。日向灘で観測される浅部スロー地震は南西諸島海溝の浅部プレート境界域でも発生していることが確認され, 通常の地震やスロー地震活動の特徴などを比較するための情報が集まりつつある。

⑨ 平成 30 年新燃岳噴火(山下裕亮, 山崎健一, 小松信太郎, 寺石眞弘)

平成 30 年 3 月に発生した霧島山・新燃岳のマグマ噴火に際し, 伊佐観測坑道に設置している伸縮計において噴火活動に伴う地殻変動を観測した。3 月 1 日の噴火活動開始以降, 主な噴火発生に伴って 10^9 オーダーの微小な変化を観測しており, これらはすべてマグマだまりの収縮を示す地殻変動であった。これは, マグマだまりから新燃岳の噴火に伴ってマグマが新燃岳方向に移動した事を示していると考えられる。3 月 5 日～3 月 9 日には, 10^7 オーダーの大きな地殻変動が観測された。この大きな地殻変動は平成 23 年に観測された地殻変動と同程度であった。

また、観測された時期には、新燃岳の山頂火口でストロンボリ式噴火が確認され、新たな溶岩が蓄積された時期と重なっており、地下深部のマグマだまりから新燃岳火口へ大量のマグマが移動した事を示している。一方で、平成23年の新燃岳噴火で見られた準プリニー式噴火は平成30年噴火では見られず、対応する数時間程度の急速な地殻変動も観測されなかった。噴火発生時に見られた 10^9 オーダーの微小な地殻変動は、平成30年5月14日の噴火時まで観測されたが、徐々に地殻変動は小さくなる傾向が見られ、平成30年6月22日の噴火ではノイズレベルを超える有意な地殻変動は観測されなかった。その後は、火山活動に伴う地殻変動は観測されていないが、引き続きモニタリングを継続している。これらの情報は随時火山噴火予知連絡会に報告するとともに、宮崎県やマスコミへも情報提供され、防災研究所HP上にも掲載した。

平成30年噴火に先立って、平成29年10月にも噴火が発生した。伊佐観測坑道においては、この噴火に先立って発生した火山性微動に伴い、マグマだまりの収縮を示す地殻変動が観測されたが、平成29年10月噴火時までには、データをリアルタイムでモニタリングする体制になっていなかった。そこで、高感度地震観測と同様にWINシステムによるテレメータ方式に変更したことで、リアルタイムモニタリングが可能となった。また、平成30年4月には絶対値デジタル気圧計を導入し、定量的な評価が可能となった。

⑩ 宮崎県沿岸部における津波堆積物調査(山下裕亮、小松信太郎)

平成29年度より、日向灘において最大級とされているものの、詳細が分かっていない1662年日向灘地震の震源域を明らかにするため、産業技術総合研究所・北海道立総合研究機構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。平成29年度から平成31年度にかけて宮崎県延岡市～串間市沿岸

において検土杖を用いた簡易調査を実施し、一部調査地点においてはハンドオーガーによる詳細調査を実施するとともに、地質学的な調査分析を実施した。これまでに、日南市において1662年地震の津波で運ばれた可能性があるイベント堆積物を発見したほか、延岡市および串間市でも何らかのイベント堆積物を発見した。一方で、津波堆積物のデータだけでは震源域の推定における拘束条件が不足するため、宮崎県内における神社等を訪問し、伝承や史料に関する聞き取りを実施している。今後、調査浸水シミュレーションの結果や既存の地球物理観測データを合わせて断層モデルの構築を行っている。

⑪ アウトリーチ活動の実施(山下裕亮、山崎健一、小松信太郎、澁谷拓郎、西村卓也)

宮崎地方気象台の台長および地震・火山関係の職員らと情報交換会を年数回実施している。主な目的は、日向灘や九州内における地震活動および霧島山における火山活動についての意見交換の実施と、有事の際に備えた協力体制の構築である。また、宮崎県危機管理局危機管理課と勉強会を実施するとともに、有事の際の協力体制を構築するため連携協力協定の締結に向けた協議を進めている。平成29年度からは京大ウィークスにも参加している。平成29年度は台風の影響で実施できなかったが、平成30年度に第1回、平成31年度に第2回を実施した。

宮崎県内を中心とするテレビ局、ラジオ局、新聞社等のマスコミからの取材依頼に対応し、自治会の自主防災組織や地元各種団体からの防災研修・講演依頼等にも対応した。宮崎観測所における各種団体の見学・研修・講演実施数は、平成29年度は1件、平成30年度は6件、平成31年度は6件で、平成31年度の延べ来所者数は360名であった。令和元年からは、宮崎県防災会議地震部会の委員を委嘱され、日向灘および南海トラフ巨大地震の宮崎県における被害想定等の策定に携わっている。

8.6 火山活動研究センター

8.6.1 センターの活動概要

(1) センターの研究対象と活動方針

火山活動研究センターは桜島に代表される南九州の火山群を全国レベル・世界レベルでの火山学および火山災害に関する野外研究拠点として位置づけており、観測に基づく火山活動現象の理解に関する研究に基づき、火山噴火の発生予測研究に力を入れてきた。本センターでは、各々の研究者がその専門性を活かすとともに、複数の観測研究手法を習得し、多岐にわたる火山の研究手法の意義と成果を理解して、新たな研究を展開することが期待されている。火山現象を理解するための観測研究には、地球物理学的手法のほか、物質化学の分野（地球化学、地質学、岩石学等）の研究者の協力も必要であることから、他大学や他研究機関との連携協力を図りながら研究活動を行うこととしている。具体的には、専門分野の外部の研究者との共同研究を推進すること、特定の対象火山における他分野の研究者との共同観測への積極的参加を推奨している。

本センターが研究対象とする南九州の火山群では噴火活動が活発である。2009年から噴火活動が活発化した桜島の昭和火口の噴火活動は、南岳の噴火活動に2017年に移行して、現在も繰り返されている。また、2015年に噴火が発生し、噴火警戒レベルが5に引き上げられて全島避難が行われた口永良部島では、2018年、2019年、2020年にも火砕流を伴う噴火が発生した。桜島や口永良部島では火山近傍に住民が居住しており、噴火活動や火山災害と隣り合わせである。このことは、火山活動の理解に関する研究を災害軽減の研究に発展させる必要性を意味する。

このような背景から近年は、発生予測のうち、規模の予測に重点を置き、シミュレーションを用いたハザード予測に発展させるとともに、火山灰量などの即時的把握や降灰予測研究を行っている。さらに、火山噴火の発生や火山噴火の影響範囲の予測を災害の軽減に生かすためには、活火山を抱える自治体・住民との連携が不可欠であることから、観測データをリアルタイムで提供した上で、研究成果や火山活

動評価結果を積極的に発信することとし、避難対策等への活用、住民の避難行動予測、火山災害のインフラへの影響評価の研究も進めている。これらの研究は火山活動研究センターだけでは実施できないので、従来からの地震・火山研究グループ内の連携に加え、流域災害研究センター、気象・水象災害研究部門、社会防災研究部門、巨大災害研究センターなど異なる防災研究所内の研究グループとの連携強化を積極的に推進している。

火山噴火は草津本白根山噴火や2014年御嶽山噴火など火口周辺で犠牲者を出してしまう小規模噴火から、日本列島を壊滅に追い込む巨大カルデラ噴火まで幅広いレンジの規模をもつ。特に巨大噴火においては発生以前に、その発生可能性を巡って新たな社会問題となっている。本センターの火山噴火予知研究領域は、火山観測坑道での超精密地盤変動観測により桜島の噴火の90%を事前に予測するなど、野外フィールドでの火山噴火予知研究においては世界のトップレベルにある。実践的な火山噴火の発生予測研究に主眼を置くため、歴史時代に発生した大規模噴火までを研究対象としている。一方、社会問題化している巨大噴火については、火山噴火活動に関する観測データがないために知見が不足している。そこで、平成30年度に本学からの定員の再配置を受け、本センターに新たに火山テクニクス研究領域を新設した。この研究領域は、巨大カルデラ噴火についての知見を集積するために、再配置された准教授および外部資金による特定教授、特定助教により構成し、火山帯下および周辺の地殻及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、深部流体の動態を把握、長期的な火山噴火発生予測、さらに、地震と火山噴火の連動メカニズムの研究を行う。具体的には桜島の北方海域に相当し、29,000年前に巨大噴火が発生した始良カルデラを研究対象とする。

防災研究所では、桜島等の火山群をフィールドラボラトリーと位置付ける火山活動研究センターと、日向灘からのプレート沈み込み帯をフィールドとす

る宮崎観測所を有する地震予知研究センターが連携して観測研究を進めているが、火山活動研究センターは 10km 以浅のマグマ動態、地震予知研究センターはプレート周辺の活動を研究対象としているので、火山テクトニクス研究領域は、その間を埋めるマントルから地殻の中間領域におけるマグマの動態に関する研究が進展させることが期待される。

なお、当センターの研究活動及び運営方針については、年 1 回開催する火山活動研究センター運営協議会で意見や助言を受けることとしている。

(2) 現在の重点課題

- ① 火山活動の推移に関する研究
- ② 火山噴火の発生予測に関する研究
- ③ 大規模火山噴火発生予測に関する研究
- ④ 噴出物の即時把握とハザード予測に関する研究
- ⑤ 災害軽減のための地域連携研究
- ⑥ カルデラの深部地下構造とその時間変化に関する研究
- ⑦ 深部マグマ溜まりへのマグマ供給に関する研究
- ⑧ 海域火山観測の技術開発に関する研究

(3) 研究活動

上記の研究課題は防災研究所の共同利用に係る共同研究や、災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画および同計画（第 2 次）や SATREPS および J-Rapid に基づくインドネシアとの国際共同研究、次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト、原子力規制庁の受託研究などの外部資金により推進されてきた。

災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画および同計画（第 2 次）における火山活動の推移に関する研究および発生予測に関する研究では、2009 年～2015 年まで爆発的噴火が頻発した桜島の昭和火口の噴火活動は 2017 年 10 月に終息したが、11 月からは 1955 年から 2002 年まで活動的であった南岳において再び噴火が発生するようになった。地震・地盤変動・火山ガス・噴出物の分析・火山体構造変化など総合的な観測を強化して、統合的な研究を行った。特に、2017 年は昭和火口から南岳に噴火活動が回帰する過渡期であり、溶岩噴泉などの特徴

的な噴火イベントが捉えられ、その特性が明らかにされた。また、長期的な噴火活動期の火山活動特性が明らかとなった。口永良部島では 2014 年および 2015 年噴火で多くの観測点を失い、噴火活動が継続中であることから観測の復旧も途上にあるが、地震・地盤変動・火山ガスの多項目観測により、2018 年 10 月～2019 年 2 月の噴火活動期に前駆する火山ガス放出量の増加、地震活動と地盤の膨張を捉えた。

SATREPS によるインドネシアとの共同研究では、ジャワ島の 5 火山とスマトラ島のシナブン火山の観測体制が強化された。ケルート火山やメラピ火山の噴火に先行する火山性地震のエネルギーの増加推移やエネルギーの総量から噴火の様式や規模が推定され、また、シナブン火山の地盤変動の圧力源解析から噴火活動の推移が推定された。また、地震活動などの先行現象から予測される噴火規模からシミュレーションにより、リアルタイムで噴火ハザードを予測するシステムが構築された。SATREPS 終了後は、スンダ海峡の津波災害を対象とした J-Rapid プロジェクトを実施し、津波発生源であるアナク・クラカタウ火山の噴火活動特性と山体崩壊について研究を進めた。

始良カルデラ周辺の地盤の隆起および膨張量から大正噴火で噴出したマグマ量に匹敵するマグマが始良カルデラ地下の深さ 10km 付近に蓄積されたことが示されているが、近い将来に発生が予測される大規模噴火の活動中においても観測を継続して火山活動評価と活動の推移予測ができるデータを取得するために、無線搬送によるデータ伝送路の二重化と電源強化を基本とするレジリエントな火山総合観測システムを設置した。

次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトには、気象・水象災害研究部門も参画し、「リアルタイムの火山灰ハザード評価手法の開発」に取り組んだ。火山噴火による放出される噴煙は X バンドレーダー、ライダー、GNSS など様々なリモートセンシングにより検出する手法が開発された。特に、レーダーは冠雲により噴煙を目視できない場合でも噴煙高度を把握できる手法として、火山灰拡散シミュレーションの初期値を決定するのに有効である。また、WRF により火山体周辺の風速場の分解能を向上させたシ

ミュレーションにより、降下火山灰量の予測精度を向上させた。さらに、火山レキの落下による屋根材等の耐衝撃実験により、ハザード評価を行った。

原子力施設等防災対策等委託費（火山性地殻変動と地下構造及びマグマ活動に関する研究）事業を受託し、始良カルデラを対象として、地下構造探査、地殻変動観測等の最新知見に基づく調査から、原子力施設に影響を与える火山活動の可能性をより定量的に評価するための評価基準・指標及び火山活動モニタリング評価基準・指標を作成することを目的とする研究に着手した。

(4) その他の活動

桜島及び薩南諸島に観測施設を有し、観測データ、岩石や噴出物試料、写真・映像、研究試料等の蓄積があるため、研究者、自治体、教育、出版、報道機関等からの施設および資料等の利用および提供依頼が多い（2.4.2（6）参照）。

火山活動の評価に関する資料等は、火山噴火予知連絡会および関係自治体に定期的に報告・配布している。また、桜島および南西諸島の火山において異常現象が発現した際には、鹿児島県、気象台、第十管区海上保安本部と連携して調査に当たっている。

2014 年御嶽山噴火を踏まえて、活動火山対策特別措置法の一部が改正され、警戒避難体制の整備を特に推進すべき地域が国により指定され、対象となる活火山地域では火山防災協議会の設置が義務付けられた。火山防災協議会では、国・地方自治体に加え、火山専門家の参加が必須とされ、本研究所の研究者も弥陀ヶ原、焼岳、桜島、薩摩硫黄島、口永良部島、諏訪之瀬島の火山防災協議会に参加している。

桜島等の活火山において火山防災協議会の実体を担うのが火山防災連絡会であり、桜島においては鹿児島県、鹿児島市、大隅河川国道事務所、鹿児島地方気象台及び火山活動研究センターが構成メンバーであり、火山防災協議会のコア・グループを形成している。火山活動研究センター教員も学識経験者として火山活動の評価の解説と災害軽減対策の立案に積極的に関わっている。

本センターが所有するハルタ山観測坑道と高免観測坑道（平成 28 年度竣工）に大隅河川国道事務所の

有村観測坑道のデータを加えて、統合的に解析することにより噴火予知精度の向上を推進する研究を大隅河川国道事務所より受託し、砂防従事者の安全確保の活動に参画している。また、これらのデータを火山活動評価のために、自治体、気象庁、火山噴火予知連絡会に提出している。

国際共同研究にも積極的に取り組んでいる。平成 5 年からインドネシアの火山地質災害軽減センターとの共同研究を継続しているが、令和元年度に火山ハザード研究としてさらに 5 年間継続することとした。平成 25 年度に採択された SATREPS の研究課題を実施（3.2.11（1）参照）するとともに、スンダ海峡の津波発生に緊急的に対応した J-Rapid にも参画した。研究プロジェクトの遂行に加え、日本火山学会および防災科学技術研究所とともに、アジア火山学コンソーシアムのフィールドキャンプをインドネシア（平成 30 年）、台湾（令和元年）に開催し、インドネシア、フィリピン、シンガポール、中国、台湾、韓国と共同研究の立案と若手研究者の育成を行った。また、桜島は噴火活動が活発であり、本センターの観測体制が整っていることから海外の研究機関から共同研究の申し出が多い。平成 29～31 年度は、ドイツ、米国、イギリス、イタリア、オーストリアなどの研究者と共同観測と研究を実施した。

8.6.2 研究領域の研究内容

Ⅰ. 火山噴火予知

教授：井口正人

大志万直人、藤田正治（併任）

准教授：中道治久

大見士朗（併任）

堤大三（併任、平成 30 年 3 月まで）

助教：味喜大介（平成 31 年 3 月まで）

山本圭吾、為栗健（平成 31 年 3 月まで）

山田大志（令和元年 9 月から）

宮田秀介（併任）

非常勤講師：清水厚（平成 29 年度）

真木雅之（平成 30～31 年度）

○ 研究対象と研究概要

① 研究対象

主な研究対象火山は、桜島、薩摩硫黄島、口永良部島、諏訪之瀬島、およびインドネシアのグントール、メラピ、シナブン、アナク・クラカタウ火山などである。

② 研究概要

(1) 火山活動の推移に関する研究

目的・方法：桜島、口永良部島またインドネシアの火山など、噴火活動が活発な火山における長期的火山活動過程と噴火直前現象を地震、地殻変動、火山ガス、噴出物の分析、火山体構造変化などの多項目観測によって明らかにし、火山活動原理を解明する。

成果概要：2009 年から 2015 年にかけてブルカノ式噴火が昭和火口において頻発した桜島では、2017 年 10 月に昭和火口の噴火活動は終息し、およそ 20 年ぶりに南岳において噴火が頻発するようになった。昭和火口から南岳の噴火活動への過渡期には溶岩噴泉やハーモニックな振動を伴う噴火など特徴的な活動が現れ、その特性が明らかになった。地震活動、地盤変動、噴火活動からは、2015 年 8 月 15 日のアンレスト・イベントを除いて桜島への緩やかなマグマ供給が続いていることが示された。昭和火口と南岳における噴火活動を比べると火山ガス量は増加し、噴煙高度は高くなる傾向にあるが、火山灰量は減少しており、発泡度の高いマグマが噴出していることが推定できた。

2014 年 8 月に始まる口永良部島の噴火活動は 4 つの活動期に分けられ、2014 年 8 月 3 日に 34 年ぶりに新岳火口において発生した噴火、2015 年 5 月 29 日の噴火、2018 年 10 月～2019 年 2 月、2020 年 1 月以降の噴火活動である。いずれの場合も噴火活動の前兆現象として、火山ガス量の増加と地盤の膨張、火山性地震活動の活発化があげられる。2018 年 12 月以降、火砕流を伴う爆発的な噴火化が繰り返され、噴火活動が長期化している。

2010 年に水蒸気噴火が発生し、2013 年 12 月にマグマ性噴火に移行したインドネシアのシナブン火山では、GNSS 観測によりマグマ性噴火に先行する圧力源の浅部への移動と火砕流を繰り返す継続的な噴火による圧力低下の深部への波及が明ら

かになった。また、地盤変動率から噴火活動の終息時期を予測し、概ね良好な結果が得られた。

(2) 火山噴火の発生予測に関する研究

目的・方法：噴火に先行するマグマの蓄積・上昇過程の解明と火山活動の評価および直前及び長期的予測を目的に、桜島において地震、地盤変動、火山ガス、噴出物の解析などの多項目観測を継続している。

成果概要：桜島において過去 100 年間に発生した噴火に前駆する地盤変動を解析し、マグマの貫入速度がその後に発生する噴火の規模と様式を決定するという噴火事象分岐論理を構築した。また、インドネシアのケルト火山噴火に前駆する地震活動を解析し、前駆地震のエネルギーの増加量と増加率が噴火の様式・規模と関係することを示した。このような考え方は、さらに、メラピ火山など多くの火山に適用することができ、噴出物量の上限を与える経験式を求めた。

(3) 大規模火山噴火発生予測に関する研究

目的・方法：桜島大正級大規模噴火に至るマグマの桜島への貫入を早期に検知するために、地盤変動観測を強化するとともに文献調査により、大規模噴火ポテンシャル評価と噴火へのプロセス解明を行う。

成果概要：桜島の大正噴火に至るプロセスを明らかにした。地下からの二酸化炭素ガス量の増加、地盤の隆起・膨張によるひずみの蓄積、応力集中の結果として発生する火山性地震の群発現象という経過を経て、噴火に至った。このような、地盤変動の卓越から火山性地震多発が示す破壊過程への遷移は最近の昭和火口噴火の前駆過程でも見られる。

(4) 噴出物の即時把握とハザード予測に関する研究

目的・方法：レーダーおよびライダー観測や GNSS を用いて火山灰量を推定する技術を開発するとともに、シミュレーションを用いて大気中を浮遊拡散する火山灰粒子密度分布と降下する火山灰の堆積分布を予測する。予測においては、さらに即時性を高めるために、地盤変動量、噴火微動振幅を用いて予測の即時性を高めるとともに、高分解能の風速場により、高精度化を図る。

成果概要：XバンドMPレーダーによる噴煙検知は実装段階まで検証できた。特に、火山に雲がかかり噴煙を目視できない時でも噴煙を可視化することができ、レーダー観測の有効性が示された。地盤変動量と噴火微動振幅からリアルタイムで、火山灰放出率と噴煙高度を見積もる手法を開発した。さらに、ブルカノ式噴火を自動的に検知することにより、見積もられた火山灰放出率をもとに、火山灰拡散シミュレーションを自動的に起動するシステムを開発した。また、メソ気象モデルから風速場を高分解能化して地形効果を評価し、火口の風下側で下降流が卓越することが示された。さらに、噴火に前駆する地盤変動量から見積もられる火山灰放出予測と気象場をもとにシミュレーションを行い、噴火発生前の降灰予測を行った。

(5) 災害軽減のための地域連携研究

目的・方法：桜島火山をモデルケースとして、地方自治体の防災担当者、一般住民、報道機関など様々な層を対象に、これまでの火山噴火予知研究の成果を知ってもらうためのセミナーを定期的に開催する。そのうえで、これまでの予知研究の成果を、自治体の地域防災計画や住民の防災意識へ反映することの可能性を検討するとともに、よりよい地域防災計画策定や危機的状況における住民行動の改善のためにはどのような研究成果や火山活動に関する情報が必要であるか、予知研究のニーズ調査を行う。

成果概要：大規模噴火時の降灰による被害想定を高度化させ、広域避難の可能性について検討した。また、航空路への影響評価を行った。

II. 火山テクニクス

特定教授：筒井智樹（平成31年4月～）

准教授：為栗 健（平成31年4月～）

特定助教：味喜大介（平成31年4月～）

○ 研究対象と研究概要

① 研究対象

29,000年前に巨大噴火が発生し、鹿児島湾北部海域に対応する始良カルデラを研究対象とする。

② 研究概要

(1) 始良カルデラの地下構造に関する研究

目的・方法：始良カルデラ及びその周辺の南九州に稠密地震観測点を設置し、主に地震波を用いて、3次元地震波速度トモグラフィ解析やレシーバー関数解析により、始良カルデラ地下深部の構造を皆目知る。

成果概要：始良カルデラ周辺に設置されている48地震観測点のP波、S波到達時から3次元地震波速度構造解析を行なった。始良カルデラ中央部の深さ15kmにおいて顕著なS波低速度異常が見られ、速度は2km/s以下となっている。S波低速度異常の領域はグリッドサイズ4km以上の大きさをもっている。同領域においてP波速度は周辺と比べて特に低速ではなく、S波速度のみが低速であることが分かった。レシーバー関数解析では主に始良カルデラとその周辺における深さ20km以深に低速度層の存在が示され、深部低周波地震発生領域との一致から流体の存在が推察される。

(2) 海域カルデラの地下構造の時間変化把握技術に関する研究

目的・方法：始良カルデラ深部のマグマだまりの内部状態の把握を目的として、始良カルデラ沿岸で繰り返し人工地震波を発生し、その対岸で得られた人工地震記録に含まれるカルデラ深部からの反射地震波の振幅および走時等の変化を評価することによって、深部マグマだまりの状態変化を把握する。

成果概要：人工地震実験実施の前段階として始良カルデラの深部地震反射面分布を調べるとともに、利用可能な既存の人工地震震源装置の適性の検討を行った。始良カルデラの深部における地震波反射面を複数検出し、その位置と深さを推定した。特に始良カルデラ西部では深さ14km付近の地震波変換反射面の存在が明らかになった。また、始良カルデラとその周辺で行われた既存の観測データを用いて人工地震震源の方式と出力エネルギーについて検討し、所記の目的に最適な人工地震震源装置を決定するとともに、人工地震実験方式について決定を行った。また実験を実施するための予備調査を始良カルデラ沿岸で行った。

(3) 始良カルデラへのマグマ供給に関する研究

目的・方法：始良カルデラを含む南九州に稠密に展開した GNSS 観測網と水準測量データにより始良カルデラ深部における圧力源の体積増加量を把握するとともに、桜島からのマグマ噴出量を求めることにより、マグマの供給率を見積もり、巨大カルデラ噴火のポテンシャルを評価する。

成果概要：始良カルデラの中央部地下 10～12km に圧力源が求められ、最近 10 年間のマグマの供給率は 1000 万 m³/年をやや下回って、マグマは定常的に供給されている。それよりもやや深部にも圧力源が見出され、カルデラ地下深さ 15km 付近の低速度層に対応することがわかった。

(4) カルデラ海底地殻変動観測の技術開発に関する研究

目的・方法：最も上下変動が大きいと推定されるが、通常の GNSS 観測による地盤変動観測を行うことができない始良カルデラ中央部の海域において、海域の海象・気象を理解することにより、海底面

から立ち上がる観測塔による GNSS 観測の設計を行うとともに、その有効性を検証する。

成果概要：すでに類似の装置を建造して観測運用を行っているイタリア国に赴き関係方面を訪問して情報収集を行った。建造業者の訪問では類似装置の構造や設計に関する情報収集を、ユーザーの訪問では観測装置の仕様や運用方法に関する情報収集も行った。さらに始良カルデラの海底変動観測装置の設置地点を想定したうえで現地の特徴的な海象条件および気象条件も考慮した基本設計を立案し、設置工程案とともに検討を行った。

8.7 地盤災害研究部門

8.7.1 部門の活動概要

(1) 部門の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。

(2) 現在の重点課題

地盤防災解析研究分野

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低減のための研究を行うとともに、地震時における水際低平地に展開する都市域の地盤・構造物系の耐震性向上のための研究を推進している。これらの研究成果に基づいて対象とする地盤災害に対する合理的な対策工を提案し、さらには設計法に結びつけることにより、都市が集中する水際線低平地における地盤災害を低減することを目指している。

山地災害環境研究分野

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、重力による山体の変形、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・地形調査に最大の重点を置き、地理情報システムを用いた空間情報解析、宇宙線生成核種分析による年代測定および削剥速度決定、斜面水文観測、鉱物・化学分析や土質試験などにより、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

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。本研究分野では、傾斜地におけるこ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。

(3) 研究活動

上記の個別的要素研究を進めるとともに、2017年九州北部豪雨、2018年西日本豪雨、2018年北海道胆振東部地震、および2019年東日本台風などによって生じた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来た。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た。

また、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。

(4) その他の活動

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進展させるべく、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。これらの対外的活動については、別途社会貢献のところで列挙したとおりである。

8.7.2 研究分野の研究内容

I. 地盤防災解析

教授：渦岡良介

助教：上田恭平

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、遠心力載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載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、当分野のほか、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

教授: 千木良雅弘

准教授: 松四雄騎

助教: 齊藤隆志

① 斜面の重力による変形と岩盤崩壊の発生機構に関する研究 (千木良, 松四)

大規模な斜面変動の前段階としての山体の自重変形と, 豪雨および地震による岩盤崩壊の発生機構を研究してきた. 西南日本の付加体を基盤岩とする山地を対象に, 過去の豪雨および地震によって発生した岩盤崩壊の事例とその周辺斜面を調査し, 地質構造との関係を調べた. 西南日本外帯において, 豪雨によって発生した岩盤崩壊は, 地層の付加作用時に形成された厚い破碎帯を持つ衝上断層にすべり面を持つことが多いことが示された. また, これらの岩盤崩壊は, 事前に自重によって変形を生じた斜面に発生しており, 重力変形の結果として地表に現れた微地形の特徴と地質構造から, 岩盤崩壊の発生場を予測する見通しが得られた. 内帯の付加体山地では, 十分に大起伏な斜面において, 高角の活断層とその付随断層に収斂するかたちで多様な規模の変形が生じていた. また, 曲げトップリングを生じた斜面において, 高角断層が変形の発生や山向き小崖の形成に重要な役割を果たす場合があることも明らかになった. 岩盤崩壊の発生機構の理解とその予測のためには, 斜面の地質構造, 特に断層破碎帯の水理・力学的な機能に対する再評価が必要であることが示唆された. 斜面の重力変形の進行時間スケールや岩盤崩壊の発生年代についても, テフクロロジーや宇宙線生成核種による年代測定を駆使して研究を展開した.

② 変動帯における流域地形の発達に関する研究 (千木良, 松四)

湿潤変動帯の山地における主要な地形形成過程である河川の下刻と斜面の崩壊について, その相互作用の定量化に関する研究を行った. 山間地を穿入蛇行する河川の形状や河床の侵食速度を地理情報システムや宇宙線生成核種の分析を用いて明らかにした. また河川の下刻と側刻を制御する要因を, 斜面からの土砂供給と河道での掃流可能量とのバランスの視点から議論した. さらに河川や氷河の侵食による下部切断が斜面の安定に及ぼす影響を, 日本の中部山岳, 西南日本外帯, 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における地形地質踏査およびシミュレーションやデジタル地形モデルの定量的解析によって検討した. また, 上下変位のある活動的な断層を前縁に有する山地を対象に, 侵食基準面の低下に対する流域の応答を隆起—侵食の平衡と, その平衡の破れの考え方を基にモデル化し, 土砂のソースである山塊の隆起と削剥をシミュレートしたうえ, シンク側の堆積物コアに残された宇宙線生成核種濃度の記録から, モデリングの妥当性を検証するという新規性の極めて高い試みを実施した.

③ 斜面構成物質の風化と風化帯の成立および風化に伴う物性変化に関する研究 (千木良, 松四)

斜面構成物質の風化は, 崩壊発生の基本的な素因となるため, 多様な風化の過程について機構論と速度論を両輪とした研究を進めている. 砂岩や泥岩, 花崗岩類からなる岩盤を対象として, 風化の進行過程と風化帯構造の発達, および強度や透水性・保水性の変化を, 露頭あるいはボーリングコアの観察や, 岩石試料の化学・鉱物分析や水理・力学的試験によって探求した. また, 岩盤の風化に伴う土層の形成について, その過程のモデル化や速度の定量化を行った. 斜面に成層構造をつくって堆積する降下火砕物の風化について, 熊本地震や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. 地中での不均質な水文過程に由来する元素の不均一的な溶脱・滞留および二次生成物の沈殿が, 特定の層準への粘土鉱物の集積に関与していることを示した. これらの知見は, 降下火砕物に覆わ

れた斜面における地震時の崩壊発生場の予測に資するものとなった。

④ 表層崩壊の発生場所・降雨閾値・土砂生産量の定量的評価（松四）

風化土層や降下火砕物の表層崩壊について、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、地理情報システム上でカップリングさせることで革新的な予測システムを樹立した。このシステムでは、精度・確度に向上の余地はあるものの、豪雨による表層崩壊の場所・時刻・規模の三要素予測が達成された。まず宇宙線生成核種の分析によって得られる土層の生成法則と航空レーザー測量に基づく細密地形情報を組み合わせ、表層崩壊の素因となる土層の谷頭凹地への長期的集積をシミュレートするプログラムを構築した。また、斜面が降下火砕物で覆われている場合は、給源火山の噴火史の復元にに基づき、火砕物の降下と再堆積による累積をモデル化する手法を提案した。得られる崩壊予備物質の厚みの空間分布と、せん断強度および樹木根系の補強効果の定量化により、表層崩壊の発生場所と土砂生産量の予測が実現した。また、降雨浸透に対する間隙水圧の応答をモデル化し、表層崩壊の発生に至る降雨閾値の算出も可能となった。この統合的な水文地形プロセスモデルを用いて、地理情報システム上でハザードマッピングを行い、2010年代に西南日本や関東東北地方で発生した複数の豪雨災害について再現解析を実施して、予測の確度と精度を検証した。その結果、流域内における全ての表層崩壊を予測的中させることは不可能であるものの、崩壊発生時の降雨閾値や土砂生産量の定量的評価が可能となったことが示された。

⑤ 山地流域からの長期的な土砂流出評価（松四）

山地流域からの長期的な土砂生産速度を高空間解像度で知ることができれば、適切な土砂災害対策や流砂管理を行ううえで有用な情報となる。こうした観点から、溪流堆砂に含まれる宇宙線生成核種の分析によって、日本列島における花崗岩類を基盤とする流域の、千年から万年スケールでの空間平均削剥速度を系統的に調査した。現在までに得られた流域斜面の削剥速度は、 10^2 - 10^4 mm/kyr の値を示し、流域斜面の平均傾斜角が大きくなると、削剥速度は非

線型的に増大するが、傾斜があまりに大きい場所では削剥速度がかえって減少するような閾勾配が存在することを指摘した。また、山地の地形が一定以上の大起伏になると、流域の平均削剥速度が、その地域における土層の生成速度の上限を超えて増大することを発見し、テクトニックな強制力の大きい大起伏山地では、岩盤の直接削剥が地形形成プロセスとして重要であることを指摘した。得られた値の一部は、数十年スケールでのダム堆砂データと比較し、溪流堆砂中の宇宙線生成核種を分析すれば、人工構造物への土砂流入量がある程度予測できることを示した。

⑥ 断層活動度の新しい評価法の開拓とダイナミック地形学の構築（松四）

活断層は、山地の侵食基準面を規定したり、その活動時の地震動によって山地災害の直接的原因となったりするため、その活動度を評価することが望まれる。しかし、断層活動の復元に利用できる年代既知の上載層や地形面が侵食作用などによって失われている場合には、活動の再現周期や正味の変位量の推定は困難であった。また、山地における土砂災害関連現象を、地形形成過程の一部として捉えることで、大局的な見地からのハザードゾーニングが可能となる。この研究では、地表近傍の造岩鉱物中に生成する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、たとえ侵食の活発な山地域であっても、テクトニクスとその応答としての削剥を定量的に評価できる手法を複数考案し、いくつかのサイトにおいて検証した。これは従来別個に行われてきたきらいのある変動地形学とプロセス地形学を融合させ、それぞれに時間変化をもつ内的営力と外的営力の作用が、空間的に伝播して地形を形成するという動的な地形観を打ち立て、それに基づいて災害につながる現象を予測するという、応用地形学の新たなパラダイムを作ろうとする試みでもある。

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

・緊急危機管理型水位計の開発・運用・検証

国土交通省の満足すべきスペックを有する緊急危機管理型水位計を開発した。従来の計測方式（圧力・超音波）と異なる方式で省電力・ネットワーク運用が可能な水位計を開発し、大阪府枚方市天野川の二点（禁野橋、藤田橋）で運用し、現在、従来の方式の水位計データと比較検証中である。

- ・土砂災害発生が予測される地点の斜面内水分状況と移動開始を検知するセンサの開発・運用・検証

前年度までの成果である土砂災害予測基本図（特許出願中）で斜面崩壊や土石流が発生する可能性のある地点の位置を予測し、災害発生前に避難情報を発信可能にするためにその地点の水分状況と移動開始に関わる傾斜を検知するセンサを開発した。緊急危機管理型水位計に用いた通信方式に組み込み、リアルタイムで伝送・サーバ上で情報確認することが可能なシステムを構築し、実証実験を行った。

⑧ 熊本地震で多発した斜面崩壊の地形的特徴と地震動、特に地表の振動方向の関連の研究（齊藤）

2016 年熊本地震において多発した斜面崩壊について、京都大学阿蘇火山研究センター付近を中心に、詳細数値地形図を用い発生した箇所としなかった箇所の地形的特徴と、地表の振動方向の関連を調査した。斜面崩壊を起こした箇所の地形的特徴は、前年度までの成果である土砂災害予測基本図により抽出可能で、地震に対する危険箇所の特定が可能であることが明らかになった。

Ⅲ. 傾斜地保全

教授：松浦純生

准教授：寺嶋智巳

① 強風による融雪と地すべり（松浦）

積雪層は短波放射や顕熱・潜熱フラックスなどによって解けるが、後 2 者は大気と積雪表層との熱交換となるため、気温や風速に大きく依存する。このため、気温が高く強い風が吹くと、融雪が急激に進行し、地すべりなどの土砂災害を引き起こす場合がある。そこで、地すべり地帯で強風によって急激な融雪現象が観測され事例につき、風が融雪に及ぼす影響について検討した。強風は夜間に発生したため、短波放射の影響を排除することができ、地表面到達

水量から風に依存する顕熱・潜熱フラックスを逆算することが可能となった。その結果、バルク係数は一様な積雪面の約 2.3 倍以上の値となることが明らかになった。これは、強風時の山地斜面では、従来の予測以上に雪が解け、地すべりなどの発生危険度が高まることを示す。強風時に多量の雪が解ける原因については、森林植生や地形的な要因が考えられた。今後、超音波風向・風速計のデータを用い、乱流構造と融雪の関係などについて詳細な検討を加え、融雪予測に用いる見かけのバルク係数などを求めたい。一方、多量の融雪が発生したことによって周辺地域では数カ所の地すべりが発生した。しかし、地すべり試験地での間隙水圧の上昇量は限定的で、しかも変位量は観測されなかった。この理由について検討したところ、 10 kN/m^2 に及ぶ積雪荷重によって十分な有効応力が発揮されていたことや、残置する積雪層のせん断抵抗力が付加されたことなどにより、地すべりの安定性が保たれていたことが明らかとなった。

② 海象現象と汀線に接続した地すべりの変位特性（松浦）

我が国の地すべり研究は、ほとんどが内陸の山間地を対象としてきたため、海岸斜面における地すべりの発生機構に関しては未解明な点が多い。今後、温暖化の進行に伴い、波浪や潮位などの海象条件が大きく変化すると予想される。そこで、海象および気象現象と斜面変動の関係を明らかにするため、北海道東部の汀線に接続した再活動型の地すべりを対象に、地表伸縮計などによる観測を行った。その結果、最寒期である 2019 年 2 月に発生した大きな変位を伴う地すべりの高頻度観測に成功した。当日はやや強い北西の風が吹いていたものの、気温は終日 0°C 以下で降水量も観測されていない。したがって、降雨や融雪が誘因とは考えにくい。変位量の観測記録をみると、大変位する約 5 ヶ月前から微少な変位の累積が始まっていた。これら秋期から冬期までの微少な変位は降雨時に観測され、実際、間隙水圧も上昇していたことから、この期間中の変位は降雨に起因すると考えられた。ところが、12 月頃からは 2 月にかけて、以前よりも大きな変位が記録されるようになった。当然のことながら、この時期は降水のほ

とんどが固体であり、間隙水圧の顕著な上昇もみられない。そこで、天文潮位および風速と変位量の関係を調べたところ、潮位の上昇時と強風が重なった時に変位が出現することが分かった。さらに、タイムラプスカメラなどによる画像解析を行い、移動体末端が風浪やうねりなどによって侵食され、斜面が徐々に不安定化し、地すべりの変位が発生したことを明らかにした。

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の予測（寺嶋，松浦）

2013 年 10 月の伊豆大島での台風災害や 2014 年 8 月の広島豪雨災害では、確度の高い危険情報の不足により、斜面崩壊に対する避難指示・勧告の発令に関する行政側の対応が後手に回り被害が拡大した。これらのことから、市町村長、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、災害発生 of 切迫度（発生時刻）をより科学的かつ高精度に判断して住民に提示するシステムを喫緊に整備する必要性が大きくクローズアップされており、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強く要望されている。

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意味になる。降雨時の斜面崩壊は地下水流による地盤の破壊・移動現象である。そのため、破壊をもたらす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可能性がある、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水文環境モニタリング手法の確立と、斜面監視による土砂災害環境の把握を目指している。

④ 流域物質循環に及ぼす腐植物質の役割と重要性（寺嶋）

これまで、Na, Mg, Ca などの主要金属は溪流水中では90%以上が自由イオン状態で流動していると考えられてきた。そこで、広葉樹林からなる小流域とスギ・ヒノキの針葉樹林からなる小流域で、溪流水の Na, Mg, Ca の流出量を計測したところ、無降雨時では全流出量の 10~30%、降雨出水時では 40~60%が自由イオンではなく何らかの化合物として流出していることが判明した。この原因は、これら金属元素が粘土鉱物や腐植物質、シュウ酸・酢酸・リン酸・ギ酸・クロロフィルなどと結合しているためであると考えられるが、それら化合物の流出量は、無降雨時ではシリカと、降雨出水時ではフルボ酸との相関が高くなっていた。したがって、基底流出時は全流出量の20%前後が粘土鉱物との化合物として、降雨出水時は全流出量の50%前後が腐植物質または粘土鉱物と結合して流動している可能性があった。

これら溪流水中の化合物は、pH、酸化還元電位、塩分濃度等の周囲の水環境の変化により、配位子と金属元素との結合状態が変化して、金属イオンの濃度が変動する。したがって、流域での物質循環の解明、生物の代謝に関わる必須元素としての存在比、降雨の浸透に伴う岩盤の風化などといった地球化学的プロセスの解明においては、錯体化合物のような自由イオン以外の物質の動態を考慮することが重要であることがわかった。

8.8 斜面災害研究センター

8.8.1 センターの活動概要

(1) センターの研究対象と活動方針

地すべり研究の歴史とセンターのミッション

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

地すべり部門は平成8年の改組で地盤災害研究部門地すべりダイナミクス分野となり、その後、地すべりダイナミクス研究分野と旧災害観測実験研究センターの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・計測技術の開発およ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。

センターの構成と内容

当センター（及び、その前身）は、昭和34年の設立以降、それぞれの時代の変化に応じて、わが国の斜面災害研究を牽引する役割を与えられ、それを果たしてきた。現在、当センターは、2研究領域（地すべりダイナミクス研究領域、地すべり計測研究領域）と徳島地すべり観測所からなる。

(2) 現在の重点課題

当センター設立時のミッションを受けて、具体的な重点課題としては、

- 1) 地球表層における地すべり現象の分布と実態の解明
- 2) 地すべりの発生・運動機構の解明
- 3) 天然ダムの形成機構と決壊危険度調査
- 4) 斜面地震学の確立
- 5) 人間活動と斜面災害関係史の解明と災害予測
- 6) 人口密集地、文化・自然遺産地域等を災害から守るための信頼度の高い地すべり危険度評価と災害危険区域の予測
- 7) 地球規模での斜面災害の監視警戒システムの開発
- 8) 地すべりのフィールドにおける現地調査・計測技術の開発
- 9) 斜面災害軽減のための教育・能力開発の実施である。

(3) 研究活動

世界的な人口増大、都市開発の進展により、都市周辺地域における地震時や豪雨時に発生する高速長距離運動地すべり・流動性崩壊による災害が激化している。特に近年、大規模地すべりにより形成される天然ダムによる二次災害も多発している。また、重要な遺跡など、一旦破壊されれば復旧の困難な文化・自然遺産が地すべりによる破壊の危険性にさらされている例が、注目されるようになってきた。斜面災害研究センターでは所内および国内外の斜面災害関連分野と協力しつつ、平成29年度からの3年間は、様々な研究・企画調整課題に取り組んだ。具体的には、研究分野ごとに解説する。

(4) その他の活動

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。期間内では、平成30年7月の西日本豪雨の際、地すべり学会関西支部（当センターに事務局）と協働して災害調査団特設ページを開設し、多くの調査報告を集約することで、状況の把握と研究のその後の進展に大きく貢献した。このほか、平成29年7月九州北部豪雨、平成29年台風21号豪雨、平成30年大阪北部地震、平成30年胆振東部地震といった顕著な災害では、斜面災害の調査結果を速報としてセンターのサイト上に公表している。

地すべりを研究する国際的枠組みとして、国際斜面災害研究機構（International Consortium on Landslides: ICL）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、配本されており、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、継続的かつ独占的に使用した。

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（京大全体の隔地施設公開行事）に参加し、徳島地すべり観測所と観測施設の公開を行っている。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。

8.8.2 研究領域の研究内容

A. 地すべりダイナミクス研究領域

教授：釜井俊孝

准教授：王功輝

助教：土井一生

○ 研究対象と研究概要

主に、地すべりの発生機構の解明と広域の斜面災害危険度評価手法の研究を行う。前者では、特に高

速長距離運動地すべりの発生機構、すべりから流動への相転換のメカニズム、及び発生した地すべり、斜面崩壊土塊の拡大・運動継続機構と停止条件に関する研究を実施する。後者においては、都市域における斜面災害危険度評価手法の研究、遺跡や歴史資料に基づく地すべり災害史の編纂のための研究、および文化・自然遺産等の重要施設を含む地域の危険度評価に関する研究を行う。

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、平成29～31年度の主要な研究としては、

- (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) 異なる地下水環境下におけるすべり面粘土のせん断挙動と地すべりの変動機構
- (4) 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
- (5) 火山碎屑物（特殊土）のせん断挙動と高速運動機構

が挙げられ、それぞれ重要な知見を得た。

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。この3年間においては、体系化が大きく進み、具体的な成果とともに学問の輪郭がはっきりとしてきた。以下に詳述する。

まず、斜面地震学の重要な柱となる地震に伴う斜面現象の発生メカニズムの理解とその防災・減災の高度化について、独自に構築したフィールド観測および被害地震の現地調査によって研究を進めた。平成29年度と30年度には、太平洋プレートの沈み込みに伴う地震が頻発する北海道南東部の海岸地すべり2か所に、強震計をはじめ伸縮計や傾斜計などの観測局を設営し、連続観測を開始した。観測データから、地震動の大きさと斜面の変形量との関係や波浪浸食に伴う斜面不安定度の変化について定量的に見積もることができた。東京都内の盛土においては、

地震動と間隙水圧の連続観測データから、過剰間隙水圧の発生、上昇量、上昇継続時間と地震動の各種パラメータとの対応関係を調べ、そのメカニズムの考察をおこなった。平成28年熊本地震では、阿蘇谷北西部において、湖成層が広く水平移動することによって生じたとされる大規模な亀裂が連続して広範囲に出現する、世界的に珍しい現象が発生した。この原因を明らかにするためにボーリング調査を実施し、湖成層の層序と形成年代を明らかにして、水平移動との関係の可能性が指摘される深さ7-8mに粘土化した軽石層、深さ41-42mにデュプレックス構造とみられる乱れを検出した。平成30年大阪府北部の地震と平成30年北海道胆振東部地震では、被害の悉皆調査を実施し、被害の大小と旧地形との対応について明らかにした。

続いて、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をおこなった。基盤に新鮮な固い岩盤をもつ地すべりにおいて稠密常時微動計測を行い、H/Vの卓越周波数の変化がすべり面深度の変化に対応することを明らかにした。徳島県三波川帯の大規模地すべりにおいても同様の計測を行い、地質調査から推定される移動体、地すべりブロックとは異なる地震学的な緩み域をイメージングした。先述の阿蘇谷北西部においては微動アレイによる観測データにSPAC法を適用し、水平移動域の分布と湖成層の厚さが対応することを得た。また、弾性波を砂層の中を透過させることにより、土中水分量の変化に伴う弾性波挙動を明らかにした。

さらに、斜面現象が励起した地震波動現象を用いた斜面災害減災の手法開発も行った。平成29年長野県飯山市の地すべり・土石流、平成29年九州北部豪雨に伴う大規模地すべりによって励起され、定常地震観測網によって記録された地震波形記録について、火山性微動などに実績がある振幅震源決定法を適用することで、事前情報なしに地震波形記録のみから5km程度の精度で震源を推定できることを明らかにした。

これらの成果は、地震学の専門的な知識や解析手法と斜面現象の理解や調査・計測手法を融合して初めて得られるものである。このような観測や調査を

継続することで、現時点での個別の事象に対する理解が有機的につながり、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、平成20～21年度から組織的な研究を開始した。平成23年東北地方太平洋沖地震の発生を受け、直ちに仙台市の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た。わが国では初めての事例である。その結果、地震動、間隙水圧、地すべり変動の三者の関係が、明らかになった。このような精密な動的観測は、強震時における谷埋め盛土地すべりの挙動を知る上で、基礎的な知見を提供し、ダイナミック地すべり現象学の構築に資する試みとして重要である。そこで、新たに横浜市ガーデン山団地を中心とする地域に地震、間隙水圧のアレイ観測網を構築し、現在も観測を継続している。これらの観測の結果、崖際での顕著な増幅や谷埋め盛土に特徴的な増幅特性が明らかになった。

一方、期間内では、平成29年台風21号豪雨、平成30年大阪北部地震、平成30年7月の西日本豪雨、平成30年胆振東部地震のそれぞれで、顕著な都市型斜面災害が発生した。特に、平成29年台風21号豪雨による奈良県三郷町における宅地盛土の崩壊と擁壁の倒壊は、長期間にわたって近鉄生駒線の障害となり、地域社会に大きな影響を及ぼした。この災害では、災害メカニズムの究明が復興の鍵となり、センターがその判断を担うという重要な役割を果たした。また、この豪雨による岸和田市大沢町の残土斜面の崩壊や平成30年7月の西日本豪雨による京都市山科区小栗栖の残土斜面崩壊と土石流の発生は、建設残土斜面のリスクが都市域に迫ってきたことを示すものであった。谷埋め盛土地すべりに続く、「新たな公害」の兆候として注目に値する。

平成31年4月には、上記の様な調査研究の成果を取りまとめ、『宅地崩壊—なぜ都市で土砂災害が起こるのか—』（NHK出版新書）を上梓した。

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で、地盤災害における土地と人間の関係史を明らかにする。期間内には、京都府、元興寺文化財研究所との共同研究として、主に城郭遺構の地球物理学的探査を行い、成果を挙げた。伏見城では、具体的な構造が不明のままであった指月伏見城時代の縄張りを推定するため、多数の測線で探査を行った。その結果、未確認であった堀跡と思われる軟弱部分を発見し、その延長が現代の都市域に存在する事を明らかにした。また、津城や大和郡山城では、過去の災害で傷んだ石垣の探査を実施した。その結果、石垣の変形や改修・崩壊履歴を理解するには、石垣の構造だけでなく、基礎地盤の特性の把握が重要であることがわかった。このことは、現代都市の石垣（石積み・ブロック積み擁壁）にも言えることである。

また、成果の一つとして、平成28年9月に京都大学学術出版会から学術選書シリーズの一冊として出版された、『埋もれた都の防災学―都市と地盤災害の2000年―』が、令和元年（2019年）年度第7回古代歴史文化賞優秀作品賞に選ばれた。このことは、新たな学術分野である「防災考古学」の普及を図るうえで、重要な一歩となった。

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。その結果、地すべり多発地帯の北域では、支笏火山由来の降下軽石堆積物 **Spfa** の上面や下面付近を、南域では、樽前火山由来の降下軽石堆積物 **Ta-d** の底面をすべり面として発生した地すべりが多いこと、**Ta-d** 土層から検出された粘土鉱物ハロイサイトは、南阿蘇村・高野台の地すべり地から検出したハロイサイトと全く異なった形状をしていること、同じ地域でも、崩壊土砂が落ち切っている斜面

と一定の変動が発生したものの、壊滅的な崩壊が発生しなかった斜面もあることが分かった。また、多量の水を含んだ降下軽石堆積物 **Ta-d** が破壊されると、水が絞り出される。そうすると、すべり面付近の強度は低下するので、地すべりはますます進行する。地すべり斜面の傾斜が緩いにもかかわらず、土砂が長距離輸送されて人的被害を出した背景には、こうしたメカニズムがあったと考えられている。

今回の震災は、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事を示している。

⑥ 大規模天然ダムの安定性評価に関する研究

地すべりや土石流などにより形成された天然ダムの決壊による二次災害の発生を防止するため、天然ダムの形成・決壊機構の解明は不可欠である。2008年汶川大地震以来、国内外の大規模天然ダムを対象に、その地質・地形特徴を調査し、天然ダムの地域性や特異性および物性変化特性を調べた。それぞれ重要な知見を得た。現在、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、今までの評価方法とは全く異なる「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ている。

B. 地すべり計測研究領域

准教授：山崎新太郎（平成30年4月着任）

○ 研究対象と研究概要

センター設立以来、当領域の主な研究対象は、① 徳島地すべり観測所をフィールドステーションとして、結晶片岩地すべりの長期移動計測および地下水観測研究。② 四国で発生する斜面変動の現地調査に基づく、力学特性ほか各種要因の計測技術の開発。③ 大学院生、社会人、海外からの研修生等に対して地すべりに関する教育・能力開発、等であった。

末峯章准教授の定年退職（平成27年3月）と王功輝助教の昇任（平成28年3月地すべりダイナミクス准教授に転出）に伴い、一時的に専任の教員が不在となったが、上記の研究を実施する機能は維持された。平成30年4月の山崎新太郎准教授の着任

に伴い、上記の対象に加え、④ 南海地震および内陸地震（例えば、中央構造線沿いの山地直下地震）による斜面変動のメカニズムの解明とリスク評価、⑤ 水底における斜面変動メカニズムの解明とリスク評価の研究が開始され、領域の機能が強化された。

期間内では、1) 阿津江地すべりにおける稠密地震観測および斜面変動計測に基づく、斜面地震学的研究（上記 A②で詳述）。2) 平成 30 年 7 月の西日本豪雨における宇和島地域の災害に関する研究について、領域として重要な成果が得られた。

平成30年7月豪雨によって宇和島市周辺には斜面崩壊が多発したが、岩盤崩壊は宇和島市吉田町および西予市明浜町のある法華津湾周辺のみに集中していた。この地域は四万十帯北帯に属する砂岩・泥岩の分布地域である。地質調査の結果、当地域には斜面を縦断・横断する分離面が頻出し、それらが岩盤崩壊の滑落崖やすべり面を形成していたことが判明した。滑落崖に露出した露頭には数 cm 間隔の高密度で亀裂が観察され、ローモンタイトなどの脆弱鉱物脈を含む場合があった。そして断層などによる変形も認められた。そして、深部まで風化が進行していた。以上の諸点から、岩盤崩壊を発生させる前の

斜面は、微視的にも巨視的にも強度が低下していたと考えられる。

強度が低下した斜面岩盤では、重力変形によるゆるみが進行した。その結果、分離面や亀裂は一層拡大して開口し大量の降水の流入経路が形成された。そして、この豪雨がもたらした大量の水の岩盤への浸透が、誘因となって、低起伏山地における岩盤崩壊というやや特異な災害を発生させたと考えられる。さらに、強く風化した砂岩の岩盤では、崩壊後に岩石が粒子化して泥流化し、高速で流下したことで被害が拡大した。

以上の諸点から、宇和島の岩盤崩壊は、岩盤の風化が岩盤崩壊の発生場を決定するだけでなく、被害を拡大させたという点で重要な示唆に富んでいる。同様の地質的特徴（岩相・風化特性）をもつ低起伏の山地は、四国全域を貫いて東西に連続する仏像構造線のすぐ南側に、幅 5 km 程度以下の幅で細長く認められる。山地災害のリスク評価という点からは、従来の様な高起伏域だけでなく、脆弱な「低起伏域」も調査することが必要であることがわかった。

8.9 気象水象災害研究部門

8.9.1 部門の活動概要

(1) 部門の研究対象と活動方針

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

6つの研究分野からなる当部門では、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研究を進めている。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。

(2) 現在の重点課題

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「21世紀気候変動予測革新プログラム（平成19～23年度）」と「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、「気候変動予測統合化プログラム」（平成29～令和3年度）

領域テーマD課題「統合的ハザードモデル」において、研究部門が一丸となって進めた。

本研究部門が推進した研究テーマは以下の2つに大別できる。1つ目は「自然災害に関する気候変動リスク」で、日本の気象災害のなかで最も深刻な被害をもたらす台風を柱に、梅雨なども含め、その頻度、規模、それに伴う雨量、暴風、高潮、高波、土砂崩れなどの事象について、最悪の場合も含めた予測を実施した。2つ目は「水資源に関する気候変動リスク」で、地球温暖化によって気候が変化した際の日本列島の主な河川における水の流れや供給の変化、稲作などへの影響、ダムなどの治水の必要性などの予測・評価を行った。アジアをはじめ、世界の主な河川についても、同様の予測・評価を行った。

以上の取り組みは、防災研究所の大気・水研究グループ、総合防災研究グループ、地盤研究グループは言うに及ばず工学研究科、地球環境学、総合生存学館との横断的な研究活動に発展しており、令和2年6月に防災研究所に設置された「気候変動リスク予測・適応研究連携研究ユニット」という横断的な連携研究ユニットの大きな礎となった。

(3) 研究活動

以下の研究対象について、部門で協力体制を敷いている。

- 1) 熱帯気象・台風に関する研究
- 2) 強風災害や集中豪雨などのメソ異常気象研究
- 3) 気象衛星による気象災害監視の研究
- 4) 温暖化環境下での気象災害研究
- 5) 大気境界層乱流とそれによる輸送過程
- 6) 南アジア・アフリカの気象災害と気象環境
- 7) 大気環境に関する研究
- 8) 強風災害の調査と強風被害発生機構の解明
- 9) 飛来物に対する耐衝撃性能の解明
- 10) 飛散物の挙動と衝撃力の解明
- 11) 突風性状の解明
- 12) 強風災害低減のための耐風設計方法の開発

- 13) 強風災害の防止・低減および被害予測とリスク評価
- 14) 新たな風洞実験・風圧計測手法の開発
- 15) 在来知を活用した持続可能な防災に関する実践的研究
- 16) 温暖化シナリオ下における沿岸災害の長期的変化予測
- 17) 高波・高潮予測モデルの開発
- 18) 全球および領域の大気・海洋・波浪結合モデルの開発
- 19) 津波の長期評価および予測法の開発
- 20) 21 世紀気候変動による豪雨災害変動評価
- 21) 豪雨災害調査と地球温暖化影響に関する考究
- 22) ストームジェネシス観測と渦管メカニズム解明
- 23) 雨雲情報のデータ同化による線状降水帯予測
- 24) LES モデルによる熱的上昇流の発達解析
- 25) アンサンブルによる予測が外れることの予測
- 26) ドローンを活用した観測技術の高度化
- 27) 気象水文リスク情報の利活用の高度化
- 28) 気候変動予測情報の高度化
- 29) 防災教育

(4) その他の活動

当部門では、「気候変動リスク情報創生プログラム」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などと、所内では、流域災害研究センター、水資源環境研究センター、工学研究科の研究者らと連携して研究を進めた。

8.9.2 研究分野の研究内容

I. 災害気候研究分野

教授：向川均（平成 30 年 3 月まで）

准教授：榎本剛

特定准教授：時長宏樹（平成 31 年 3 月まで）

助教：井口敬雄

○ 研究対象と研究概要

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る。このため、災害気候研究分野では、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。平成 29～令和元年度に実施した研究の概要を以下に示す。

(1) 異常気象の発現メカニズムと予測可能性

長期間再解析データを用いて熱帯季節内振動に対する冬季中高緯度大気の応答特性について解析を行った。一方、東京大学大気海洋研究所など全国の研究機関と協力して、平成 15 年度より「異常気象と長期変動」研究集会をほぼ毎年開催している。この研究集会には、延べ 1000 名以上の研究者や大学院生が参加しており、日本における異常気象研究に関する研究コミュニティの発展と若手研究者の育成に大きく寄与している。また、本研究分野は、気象庁と日本気象学会との共同研究である「気象庁データを利用した気象に関する研究」や、気象庁異常気象分析検討会にも積極的に関与している。

(2) 成層圏循環が対流圏に及ぼす影響と予測可能性

平成 25～29 年度に、本研究分野は気象研究所との共同研究「成層圏対流圏結合の力学的化学的予測可能性の研究」を実施し、成層圏循環が対流圏に及ぼす影響と、その予測可能性に関して、以下の成果を得た。長期再解析データを用いた解析により、対流圏中高緯度大気で最も卓越する変動成分である対流圏環状モード変動を駆動する波動は、北半球では主に停滞性波動、南半球では総観規模波動であることや、成層圏突然昇温の終了時における惑星規模波の鉛直伝播特性が環状モードの形成と関連することを明らかにした。また、本研究課題で構築した気象研究所アンサンブル予報実験システムを用いて実施したアンサンブル再予報実験結果などの解析から、対流圏環状モードと関連する成層圏循環の予測可能性変動のいくつかの特徴を明らかにした。

(3) 大気大循環モデルの開発

球面上で多数の点を準一様に分布させることが容易な球面螺旋を用いた数値手法を開発した。球面螺旋

旋節点は、最小エネルギー節点や正二十面体を再分割し最適化した節点などと比較して、一様性が高いことが分かった。また、節点からの距離のみに依存する動径基底函数による展開を用いた浅水波モデルを構築し標準実験で検証したところ、球面螺旋節点の有用性が明らかになった。

(4) 大気大循環モデルを用いた予測可能性に関する研究

気象庁、気象研究所、海洋研究開発機構、大学と共同で、複数の大気大循環モデルと複数の解析値を組み合わせて予報実験を行なうためのシステムを開発した。気象庁の現業予報に西進バイアスが見られた台風第3号（Yagi）や、フィリピンに大きな被害をもたらした2013年台風第30号（Haiyan）を含む2013～2014年の台風のアンサンブル実験、西日本豪雨直前に接近した2018年台風第7号など多数の事例について実験を行い、初期値やモデル、解像度依存性を明らかにした。アンサンブルデータ同化システムを改良し、北極圏のラジオゾンデ観測が台風を含む予報の改善に寄与することを示した。本課題の成果の一部は、気象庁の台風コンセンサス予報や発生予報の開発に利用された。

(5) 20世紀前半に生じた北極温暖化に関する研究

20世紀前半に起こった北極域温暖化の要因を解明するため、(1) 大気海洋の歴史的観測データセットを用いた統計解析、(2) 大気大循環モデルを用いた数値実験、および(3) CMIP5の計37個の大気海洋結合モデルによる長期コントロール実験を用いた統計解析を実施した。その結果、太平洋数十年規模振動と大西洋数十年規模振動が共に負から正へと位相変化したのに伴い、アリューシャン低気圧とユーラシア大陸北部における西風が強化されることが分かった。これらの大気循環の変化により北アメリカとユーラシア大陸の高緯度帯において暖気移流が強化され、北極圏全体が温暖化することを突き止めた。この成果は、米国科学アカデミー紀要（PNAS）に掲載され報道発表を行った。

(6) 太平洋－大西洋海盆間相互作用に関する研究

気候変動に重要な役割を果たすと考えられている太平洋－大西洋海盆間相互作用のメカニズムについて、20世紀再解析データと大気海洋結合モデルを用

いて研究を実施した。その結果、北半球冬季に複数年連続して発生するエルニーニョ/ラニーニャ現象は、熱帯太平洋西部から中央部にかけて持続的に大気対流偏差を維持させることが分かった。この持続的な対流偏差により、熱帯大気における東西循環偏差が継続し、夏季の赤道大西洋域で大西洋ニーニャ/エルニーニョ現象を発生させることを明らかにした。この持続的な対流偏差は日本の初夏の天候にも影響を及ぼす可能性があるため、今後の研究の進展が期待される。

(7) 大気中における二酸化炭素（CO₂）の収支の研究

衛星観測に基づくCO₂濃度データのバイアスを補正することを目指し、GOSAT衛星観測とTCCON地上観測から導出されたCO₂カラム量（XCO₂）データの差異について、その現状と、関連する大気パラメータおよび地理的パラメータとの相関を、TCCON観測点毎に解析を行った。衛星CO₂濃度データを高い精度で補正する事が出来る様になれば、地球上におけるCO₂定点観測の疎らな領域を補い、それを用いることで逆転法による地表面CO₂フラックスの推定精度を向上させ、未だ不明な点が多い陸上生態系と大気との間の炭素交換の実態を解明する事が期待される。

II. 暴風雨・気象環境

教授：石川裕彦

准教授：竹見哲也

助教：堀口光章

特任助教：NAYAK Sridhara

特任助教：DUAN Guangdong (R1)

（学内研究担当）理学研究科教授：余田成男

生存圏研究所教授：橋口浩之

（博士研究員）POULIDIS Alexandros-P.

（平成29・30年度）

（技術補佐員）中前久美（平成30・令和元年度）

○ 研究対象と研究概要

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質の環境中移行と影響に関する研究も進めた。平成 29～令和元年度に実施した研究の概要を以下に示す。期間中の完全査読付論文発表数は 39 編である。

(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ている。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、放射対流平衡の場合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の解明を目的とした国際研究計画・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について観測や数値モデルによる研究を実施し、アジアモンスーンのオンセットとの関連性を探る研究を進めた。

(2) 強風災害や集中豪雨などのメソ異常気象研究

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。また、乱流計算モデルを高速化し、都市域での気流の大規模計算を実施した。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) による豪雨など年々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、日本域春季の降水特性と総観規模条件の統計解析、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完成した。南アジアのストーム研

究に関連した画像解析、台風の急発達に関連して、台風眼周辺の Overshooting Cloud Top 検出を進めた。

(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」(平成 29～令和 3 年度) に参画し、地球温暖化が進んだとき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、台風経路アンサンブル手法と局地気象モデル (WRF) を用いた擬似温暖化実験を組み合わせ、伊勢湾台風、1991 年台風 19 号、2004 年台風 18 号、2011 年台風 12 号、2018 年台風 21 号など極端台風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・倒木被害を推定した。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、気温上昇と極端降水との熱力学的な関係を調べた。

(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、大規模乱流構造の出現と大気境界層構造の日変化との関係についての研究を進めた。また、都市上空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集中観測と、そのデータを検証に使用した高精度数値モデルにより解析し、建物の占める面積や建物高さのばらつきなどの複雑な地表面の状態が乱流輸送過程に与える影響を調べた。

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を実施した。

(6) 南アジア・アフリカの気象災害と気象環境

共同利用研究として、南アジア地域への VLF 帯落雷検知センサの展開 (平成 29・30 年度)、ヒマラヤ南麓に発生するクラウドバーストの早期警戒に関する国際協力研究 (平成 30・令和元年度) を推進した。また、世界銀行出資による西アフリカ諸国気象局職員の研修を神戸大学と共同で実施した (平成 29 年度)。

(7) 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開発やデータ同化手法の開発を進め、都市

域での乱流・拡散予測や東日本大震災時の福島第一原子力発電所周辺の局所規模気流の計算を実施した。また、医学研究科、工学研究科他と協力し、「福島復興関連研究連携推進ユニット」を立ち上げ、福島県浜通り地域の復興を支援する事業も進めた。

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、高分解能気象モデルによる桜島からの降灰予測に関する研究を進めた。

Ⅲ. 耐風構造

教授：丸山敬

准教授：西嶋一欽

○ 研究対象と研究概要

本研究分野は、工学的な側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。主な研究テーマは下記の通りである。

(1) 強風災害の調査と強風被害発生機構の解明

強風被害を低減させるためには、強風時にどのような被害が生じたかを把握することが極めて重要である。本研究分野では、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、「平成 30 年度・科学研究費特別研究促進費：平成 30 年台風 21 号による強風・高潮災害の総合研究」および「令和元年度・科学研究費特別研究促進費：令和元年台風 15 号による停電の長期化に伴う影響と風水害に関する総合調査」により、平成 30 年 9 月に関西地方を中心に全国に被害を及ぼした台風 1821 号、および令和元年 9 月に関東地方を襲った台風 1915 号に関して建物被害を中心に調査を行った。台風 1821 号の調査では被害の多かった大阪府泉佐野市を、台風 1915 号では千葉県鋸南町を中心に、現地調査、衛星画像解析により強風と被害の関係を調べ、家屋の強風被害と電力施設の被害の特徴を明らかにした。また、平成 30 年 6 月 29 日に米原で発生した竜巻に関して、被害調査および分析を行い、竜巻経路および最大風速、最大風速半径に関する考察を行った。

(2) 飛来物に対する耐衝撃性能の解明

台風、竜巻等の強風被害では、建物に作用する風圧や風力による建物の倒壊、屋根瓦や窓ガラス等の破壊に加えて、飛散物による 2 次被害が多い。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は、外装材の耐衝撃性能を明らかにすることが必要である。本分野では JIS R 3109 に基づいた試験ができる衝撃試験装置を所有しており、「平成 30～令和元年度・文部科学省次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト、次世代火山研究推進事業、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」により、衝撃試験装置を用いた屋根ふき材や太陽光パネルへの飛来物に対する試験を行って、耐衝撃性能を明らかにした。そのほか、航空機からの落下物に対する屋根ふき材および自動車の耐衝撃性能も明らかにした。

(3) 飛散物の挙動と衝撃力の解明

日本における強風災害としては台風に起因するものが大半であるが、竜巻による被害も少なくない。そこで、竜巻による飛散物のもつ衝撃力を推定するために、ラージエディ・シミュレーションを用いて竜巻状の渦を数値的に生成し、渦の形状、風速、半径、移動速度の異なる種々の条件を作り出し、種々の空力特性をもった単純化された物体を放出して飛散運動を計算し、飛散物の飛散性状を求めた。一方、風向風速が時々刻々変化する中で飛散する、自然風中での実物の飛散運動における物体の空力特性を明らかにするために、「平成 30 年度・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特定利用課題：噴石などの不整形物体の空力特性の解明」により風洞実験および数値実験を実施し、噴石などのように不整形な物体がもつ空力特性を明らかにした。また、「平成 30～令和元年度・京都大学防災研究所一般共同研究 30G-10：噴石の落下性状の直接観測」、および、「平成 30～令和元年度・文部科学省次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト、次世代火山研究推進事業、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」では、加速度、角速度および気圧を測定するためのセンサを組み込んだ噴石模型をドローンで上空に持ち上げ、自然風中で落下さ

せる実験を桜島で行った。ドップラーライダーを用いた風速観測とビデオカメラによる同時撮影も行っており、落下運動を画像解析により求めた。これにより、噴火時の噴石の飛散運動を解析し、落下時の衝撃力の推定に用いるための噴石の空力特性を明らかにした。さらに、飛散時の風況場を再現するために変動風速場を計算できる数値計算手法も開発した。

(4) 突風性状の解明

強風被害の発生は風力の最大値に依存するので、最大瞬間風速の特性を知ることが重要である。風速の大きな変化は、地面粗度による乱れだけでなく、竜巻やダウンバーストなど、積雲対流下の鉛直方向流れに深くかかわっている。「平成 30 年度・京都大学防災研究所共同研究・長期滞在型共同研究 30L-01 : Study on surface roughness effect to flow characteristics in tornado」により、合衆国における竜巻研究の中心を担うオクラホマ大学先進レーダー研究センターと共同研究を行い、竜巻による強風被害の解明と予測精度の向上を目指して、数値竜巻シミュレーターに地表面粗度の影響を取り込む機能を追加し、観測結果と合わせて、竜巻時の地面付近の気流性状に与える影響を明らかにした。また、「平成 30～令和元年度・科学研究費助成事業（科学研究費補助金）基盤研究（A）（一般）：新たな建物強風被害ハザード提案に向けた積雲対流下のドップラーライダー観測」では、積雲対流下における突風性状の解明を目指して、積雲対流下の上昇・下降気流に由来するダウンバーストや竜巻などの「突風」現象を観測するために、ドップラーライダーとレーダーを組み合わせた立体的フィールド観測を実施し、寒冷前線通過時の突風の観測結果を得た。また、接地境界層内の変動風速場を解析するために、地形や植物や建物などの地表面キャノピーの影響を取り込んで解析できる手法を構築した。

(5) 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は、強風に強い構造物を実現する方法を開発することが必要である。このためには、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調べる必要がある。本分野では、住宅、太陽光パネルなど、種々の構造物の風洞実験を行い、構造物の耐風安全性能を評価すると

もに、これまで蓄積された風速の観測値や自然風中における測定結果と比較した。さらに、「平成 29 年度・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特定利用課題：耐風性に優れたネットハウスの開発」では、沖縄などで用いられるネットハウスの空力特性を風洞実験、数値流体解析、野外での実測を踏まえて明らかにし、ネットハウスの耐風設計法の開発を進めた。

また、近年の免震建築物の超高層化に伴い免震装置の風による疲労が無視できなくなっている現状を踏まえ、「京都大学防災研究所共同研究・一般共同研究 G28-03（平成 28・29 年度）：免震装置の交換を考慮した超高層免震建物の維持管理計画手法の確立」および「東京工業大学応用セラミックス研究所共同利用研究：免震構造用鋼材ダンパーの疲労損傷度に対する簡易推定手法（平成 30 年度）」では強風による免震装置の疲労損傷評価に資する設計維持管理手法に関する研究を行い、確率論に基づき合理的に設計時に想定すべき台風及び地震を設定する手法を提案した。

(6) 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・低減のための基本となる。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。これらの研究成果を踏まえ、2018 年台風 21 号の保険支払分析と火災保険リスク評価手法の高度化に関する研究を実施した（東京海上日動火災・東京海上日動リスクコンサルティング受託研究）。

「平成 30 年度・科学研究費特別研究促進費：平成 30 年台風 21 号による強風・高潮災害の総合研究」および「令和元年度・科学研究費特別研究促進費：令和元年台風 15 号による停電の長期化に伴う影響と風水害に関する総合調査」で実施した調査では、

(1) 住宅における強風災害は築年が古い住宅で被害率が高く、築年が新しい住宅では被害率が低い、従

って日本における強風被害を低減するためには既存の住宅ストックの耐風性能を向上させることが有効であること、(2) しかしながら、強風被害を受けた住宅の補修は部分補修にとどまり、耐風性能向上につながっていないこと、を現地調査およびアンケート調査によって明らかにした。さらに、強風被害を受けた住宅が耐風補強を行った場合の、将来時点における強風リスク低減量を台風リスクモデルで分析し、気候変動による強風ハザードの増加を考慮しても耐風補強効果が十分に見込まれることを明らかにした(文部科学省「統合的気候モデル高度化研究プログラム領域テーマD「統合的ハザード予測」および戸田育成財団研究助成「都市型強風災害のホットスポット分析」の成果)。

「平成29年度・京都大学防災研究所一般共同研究29G-12：熊本地震の被害情報データベースを利用した住家の京都大学防災研究所性能要素の抽出」では、熊本地震による被害情報データベースを利用して、広範囲の防災性能要素を抽出した。これにより、自治体が災害リスクを想定するための情報を得ることができ、建物の防災性能を把握し、事前の減災対策、災害後の被害対応に活用できることを示した。

(7) 新たな風洞実験・風圧計測手法の開発

「平成28～平成29年度・科学研究費助成事業(科学研究費補助金) 挑戦的萌芽研究：光応答性ナノ粒子を用いた圧力計測法開発を核とした風洞実験オンデマンド化への挑戦」および後続研究である「令和元～令和2年度・京都大学防災研究所一般共同研究2019G-07：テーブルトップ風洞実験における圧力計測を目的とした液晶-ナノ粒子ハイブリッド型光応答材料の開発」では、ナノ粒子分野の研究者らと共同で圧力に対して光応答性を有する塗料を新たに開発し、その塗料を風洞模型表面に塗布し可視光領域での色の変化を観察することで、風洞実験時に模型表面に作用する圧力の変化を計測する技術を開発した。

(8) 在来知を活用した持続可能な防災に関する実践的研究

「平成28～平成30年度・科学研究費助成事業(科学研究費補助金) 若手研究(A)：強風災害にみる、在来知が有する自然災害対応力の工学的再評価」で

は、2015年にバヌアツ共和国を襲ったサイクロンPamの強風被害調査結果を踏まえ、伝統的建築様式の耐風性能を科学的に検証することでその有用性を再評価し、また建築的な改良を加えることで伝統建築様式を継承しつつ、現地の社会文化に根差したサステイナブルな防災建設技術を実現するための研究を行った。また、「JICA 草の根技術協力事業：バヌアツ共和国タンナ島における在来建設技術の高度化支援(平成28年9月～平成30年9月)」により、上記研究成果を実装した。さらに、これらの研究および事業を通じて伝統的な建築様式の基盤である森林資源が枯渇しているという問題が明らかになったことを受け、令和元年度より「住総研助成：包摂的アプローチによる伝統建築ニマラタンの建設持続性評価」において、伝統建築の持続可能性を評価するための基礎資料収集および人口動態・土地利用を基本とした建材需要と供給に関するシミュレーションモデルの構築に関する研究を開始した。

(9) 防災教育

本研究分野では、研究により得られた知識、情報を社会に還元すべく、防災教育にも取り組んでいる。

「平成30年～令和元年度・京都大学防災研究所地域防災実践型共同研究(一般) 30P-02：子供たちの自助意識を高める実践可能な防災教育プログラムの提案と実践」では、熊本県宇城市内の小中学生を対象に、地震だけでなく風水害など、さまざまな災害に対して自分の命を守ることでできる子どもを育てること、および、教育プログラムの開発を目的として、防災教育プログラムの作成と実践を行った。そこから得られた知見により、現場に導入しやすいプログラム作成への知見、教員へ提供すべき情報等を明らかにし、防災教育の提案に資する情報を得た。

(10) その他

社会との連携に関しては、雑誌、機関誌などでの成果発表(26件)、講演会、講習会、フォーラムなどでの発表(14件)、教材、インターネット用の教材用映像など、マスコミなどから聴取、協力、研究成果の提供などの要望に応え、テレビ、ラジオ、新聞などマスコミへの情報提供(55件)など、研究成果の社会還元に努めた。

IV. 沿岸災害

教授：森信人

特任教授：間瀬肇（平成 28 年 4 月から）

助教：宮下卓也（令和 2 年 2 月から）

特任准教授：Adrean Webb（平成 29 年 9 月から令和 2 年 3 月まで）

特任助教 Che-Wei Chang（平成 29 年 9 月から）

○ 研究対象と研究概要

周囲を海で囲まれているわが国は、津波や高潮、高波によって多くの人命と貴重な財産が奪われるという苦い経験を幾度もしてきている。こうした沿岸災害の防止・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。具体的に行っている研究テーマを以下に示す。

(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ことが予想され、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。

(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) 全球および領域の大気・海洋・波浪結合モデルの開発

沿岸ハザードの高精度予測のため、短期および長期的な大気海洋間の相互作用を考慮可能な、全球および領域の大気・海洋・波浪結合モデルの開発を進めている。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。

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

教授：中北英一

准教授：山口弘誠

特任助教：Ying-Hsin Wu（平成 28 年 10 月から、平成 30 年 9 月までは JSPS 外国人特別研究員）

○ 研究対象と研究概要

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て研究を行っている。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。具体的な研究テーマは以下である。

(1) 21 世紀気候変動による豪雨災害変動評価

平成 19～23 年度に実施した文部科学省「21 世紀気候変動予測革新プログラム」、平成 24～28 年度に実施した「気候変動リスク情報創生プログラム」に引き続き、平成 29 年度から「統合的気候モデル高度化研究プログラム」のもと「領域テーマ D：統合的ハザード予測」につ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進めている。当分野では国内における豪雨の将来変化特性について、梅雨豪雨とゲリラ豪雨のそれぞれについて解析した。

まず梅雨豪雨に関して、大気場（メソ α スケール）と梅雨豪雨（メソ β スケール）、そして 2 つの中間スケールである水蒸気の流入経路のマルチスケールの観点から将来変化解析を行った。その結果、現在気候では太平洋高気圧が東偏し南西海上に水蒸気補給のポンプ役となる低気圧擾乱が存在することで東日本太平洋側に豪雨が発生するパターンが多いことが特徴であり、一方、将来気候では太平洋高気圧が西に張り出し、その西縁に沿って南西から水蒸気が多量に流入し豪雨が発生するパターンが増加する特徴があることを示した。さらに、将来気候で発生する梅雨豪雨は同じ持続時間あたりの積算雨量が多くなる傾向があることを示した。近年に発生した豪雨災害におけるレーダー雨量と比較した結果、2017 年の九州北部豪雨の雨量は現在気候の範疇ではあるもののかかなり上位クラス事例であり、将来気候では標準

的に発生し得る雨量であることを明らかにした。これらの研究成果は、平成 30 年度水工学論文賞を受賞した。

次いでゲリラ豪雨に関して、将来気候の特徴である大気上層の気温上昇による大気安定化と下層水蒸気量増加による大気不安定化という豪雨形成におけるトレードオフについて不安定指標 SSI を用いて解析した。その結果、8 月全体、特に 8 月下旬で顕著な下層水蒸気増加があることを示し、その理由として地上比湿が近畿周辺全域で増加する効果、および含み得る水蒸気量が多い南からの下層風が起こる頻度が増える効果があることを解明した。これらの研究成果は、令和元年度水工学論文賞を受賞している。

(2) 豪雨災害調査と地球温暖化影響に関する考究

2017 年九州北部豪雨、2018 年西日本豪雨、2019 年台風 19 号について、土木学会調査団として豪雨災害の被害調査を行うとともに、地球温暖化影響に関する考究を行った。九州北部豪雨のような線状降水帯事例では将来、より頻繁に・より強力に・初めての地域にも起こり得ること、西日本豪雨の前線豪雨事例は広域で長時間であり南からの下層水蒸気フラックス量が特異であったこと、台風 19 号では大気中層の水蒸気量が現在気候の範疇を越えていたこと、という今までの常識が通用しないという教訓を提言した。後悔しない地球温暖化への適応としてこれらの科学的知見に基づく施策が重要であることを国土交通省へ指針を示した。

(3) ストームジェネシス観測と渦管メカニズム解明

平成 22～26 年度に実施した科学研究費基盤研究 (S)「最新型偏波レーダーとビデオゾンデの同期集中観測と水災害軽減に向けた総合的基礎研究」、および平成 27～令和元年度に実施した科学研究費基盤研究 (S)「ストームジェネシスを捉えるための先端フィールド観測と豪雨災害軽減に向けた総合研究」のもと、豪雨の生成と発達に関するメカニズム解明を目的としたマルチセンサー観測を神戸で実施した。その結果、観測時間空間解像度、ならびに観測対象の異なる、雲レーダー（高詳細空間観測 Ka バンド）、フェーズアレイレーダー（高詳細時空間観測 X バンド）、XRAIN（偏波 X バンド）レーダーにより同時観測された積乱雲（群）の重要な詳細構造を明らか

にした。すなわち、発達初期以降のエコーや鉛直渦度の時空間構造に階層構造があることが明らかにした。XRAIN 観測結果からでは一房であるかのように見える積乱雲も実は幾つかの房よって構成させること、逆に、高詳細観測で観測ノイズのように見られる鉛直渦管の水平分布は物理的に有意な水辺分布であることが、LES による詳細数値シミュレーション結果との比較から明らかにした。これらの気象レーダーの土木分野への利用に関する長年の研究が評価され、令和元年に土木学会研究業績賞を受賞した。

(4) 雨雲情報のデータ同化による線状降水帯予測

国土交通省レーダー網の XRAIN を用いること氷粒子混合比推定とそのアンサンブルカルマンフィルタ同化による豪雨予測手法を高度化し、融解層の氷粒子の空間分布の連続性を考慮することで、線状降水帯の予測精度が向上することを示した。加えて、将来的に静止気象衛星ひまわり 8 号や雲レーダーによる雲観測がますます拡大していくことを想定し、雲情報のデータ同化が積乱雲スケールの予測に効果的であること、特に積乱雲が発達するポテンシャルの大気場をうまく生成する可能性があることを示した。

(5) LES モデルによる熱的上昇流の発達解析

都市ヒートアイランドが要因となって発生する豪雨の起源のメカニズム解明を目的とした都市気象 LES (Large Eddy Simulation) モデル開発を進めて、神戸市における建物を解像する 60m 格子での積雲生成シミュレーションを行った。その結果、熱的上昇流が境界層を突破する十分条件として、都市からの大きな熱を得ること、熱的上昇流が組織化すること、豊富な水蒸気によって潜熱を得ることを示した。さらに、複数の熱的上昇流熱が隣り合って位置すると渦管がもたらす気流場によって熱的上昇流が併合するプロセスを明らかにした。

(6) アンサンブルによる予測が外れることの予測

アンサンブル気象予測情報の水工学的利用手法の考案を目的として、最新の予測情報だけでなく過去からの更新履歴を用いた解析を実施した。線状降水帯のような極端事例では予測が更新されてもアンサンブル予測のスプレッドが大きくなる傾向があることを示し、さらに降雨予測の外れ方との相関解析か

ら、もともとのアンサンブル予測を超える最悪シナリオの提示方法について考案した。

以上の成果を、28 編の完全査読付論文として学術雑誌に発表した。加えて 84 件の一般向け講演や、52 件の新聞・テレビ等のメディア出演を行い、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

特定教授：辻本浩史（平成 29 年 9 月まで）

特定准教授：佐々木寛介（平成 29 年 10 月から）

特定准教授：竹之内健介（平成 30 年 9 月まで特定助教）

特定助教：志村智也

特任助教：本間基寛

○ 研究対象と研究概要

本研究分野は、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。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」に取り組んでおり、具体的には以下の研究テーマを掲げて活動した。

(1) ドローンを活用した観測技術の高度化

現実の大気で生じている気象・大気現象の把握や、これらを予測するためのシミュレーションモデルの高度化のためには、上空の気象を正確に測り、時間・空間的に密な観測データを得ることが重要である。そこで、上空の風や気温などの気象観測のために、近年様々な分野で利用されている無人航空機（ドローン）を活用する技術を開発した。気象観測センサを搭載したドローンを開発し、屋内試験や様々なフィールドでの実証試験を行い、地上から高度 1000m 程度まで下層大気の気温湿度や風向風速の鉛直プロファイルの計測プロトコルの最適化およ

び観測精度の評価等を行った。また、ドローンの機動力を生かし火山調査にも活用の範囲を広げ、火山ガスや火山灰センサを搭載したドローンにより、桜島や新燃岳などの活火山を対象に上空の火山ガスや火山灰濃度の *in situ* 計測を実施した。これらのフィールドで得られたドローンによる観測データはモデルや他の観測機器との相互比較等を行い、妥当性を検証した。

(2) 気象水文リスク情報の利活用の高度化

近年、気象情報や河川情報は、情報内容・伝達手段・災害対応など、様々な視点から利活用の促進に向けた高度化が行われている。しかしながら、実際の災害時にそれらが十分に機能していないなどの課題も確認される。そこで、全国の地域や学校と連携し、地域防災や防災教育などのフィールド研究および災害調査を通じて、気象水文リスク情報の利活用の促進に向けた方策を検討した。主に、日常との関係を加味した生活防災、時系列の対応行動を示したタイムライン、利用者の行動タイミングを確認する

防災スイッチ、非被災地における災害発生確率を議論する災害ポテンシャルなどについて研究を実施し、気象水文情報の利活用のための技術の高度化を図った。

(3) 気候変動予測情報の高度化

気候変動が顕在化し台風や豪雨などの極端な気象現象による災害の深刻さが増大するなか、適応策としてのインフラ整備計画・防災対策のために将来気候変動予測の重要性が増している。気候変動予測研究の核である全球気候モデルの改善が望まれている。そこで、これまで考慮されてこなかった波浪を介した大気海洋間作用を全球気候モデルに導入することにより、気候変動予測情報の高度化を図った。特に波浪依存の運動量フラックスや海洋上層混合に関する検討を行った。また、全球気候モデルの高度化と同時に、全球気候モデルの気候計算にもとづき気候変動に伴う沿岸ハザード（波浪・高潮）の将来変化予測・影響評価を実施した。

8.10 流域災害研究センター

8.10.1 センターの活動概要

(1) センターの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、大湊波浪観測所を有し、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。

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、風災害など、流域において豪雨や地震、津波、台風、強風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。最近では、社会科学や生態学の領域にも踏み込んだ学際的研究も行っている。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生じる流域・沿岸域で生じる様々な災害過程を究明していることは、本センターの特色の一つである。

多くの実験・観測施設を有する本センターの研究活動の基本方針は、共同利用・共同研究拠点である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。なお、研究活動の方針は所内外の委員からなる運営協議会で検討され、本センターの運営に反映させている。

(2) 現在の重点課題

短時間局所的豪雨や総降雨量の極めて大きい豪雨により、都市河川で突発的な出水、都市域での内水

氾濫、破堤氾濫、土砂災害などが発生しており、このような気候変動に伴う災害現象の変化とその対策が研究面での重要課題である。海外においても異常豪雨の発生による大災害が発生しており、この問題は世界共通の重要課題と考えている。また、巨大津波や高潮の河川遡上・氾濫や火山噴火とその後の出水に伴う土砂流出現象の解明やこれらの現象による人的・物的被害の防止・軽減に資する研究も重点課題と位置付けている。

重点課題の一つである沿岸域における津波・高潮防災に対して、平成26年度より大型の津波再現水槽が稼働し、実績をあげている。平成29年度において津波再現水槽では、前年度に引き続き、原子力規制庁からの要請を受けた受託調査として、流木と小型船舶が津波で流され漂流した場合に、原子力発電所の防潮堤に衝突したことを想定して、その衝突力を調べた。そして津波による衝突力を求める実験式を導いている。次に港口部において津波を抑止する流起式可動防波堤の適用範囲を拡大するために、大阪市内の安治川水門に作用する津波力の減勢工としての適用性を実験で調べた。

平成30年度は原子力発電所関係の試験として、海浜砂丘が防潮堤前面にある場合の津波波力の変化についての検討を行った。ただし、当該年度は固定床による試験であったので令和元年度(2019)に、実際に砂を用いた移動床による実験を行い、全面砂丘が津波の流れを加速する場合があります。防潮堤基部における波圧を平坦地形に比べて大きくする可能性があることを示した。また、平成30年度には木製の折り畳み式防波ゲートの実用化実験も津波再現水槽で行っている。令和元年度は水害時の避難を補助する目的で開発した寝具としても使える浮きマットレスの適用性試験を行った。

研究以外では、宇治川オープンラボラトリーで開催するオープンキャンパス等での災害体験学習などによる研究成果の社会への還元、JICAなどとの連携による国際研修の実施、各隔地施設を利活用した学

部・大学院教育等の実施、SSH などの高大連携事業などが重点課題として挙げられる。

(3) 研究活動

各研究領域が掲げる研究課題の遂行に加えて、2017 年から 2019 年には、九州北部豪雨災害、西日本豪雨災害、東日本台風災害などの甚大な災害が発生しており、所内の調査団、砂防学会や土木学会などの調査団に参加してこれらの災害調査研究を実施した。所内での共同研究や研究集会も実施し（平成 29 年度 4 件、平成 30 年度 3 件、令和元年度 6 件）、科学研究費などの外部資金を財源とした研究やセンターの諸実験観測施設を利活用した民間などとの共同研究も精力的に推進している。隔地観測所においてもそれぞれの特徴を生かした共同研究が遂行された。田辺中島高潮観測塔、潮岬風力実験所を活用した共同観測、穂高砂防観測所での焼岳地域の噴火災害に着目した融雪型火山泥流の実験とシミュレーションの実施などが特筆される。

一方、国際的な活動としては、センター主催あるいは共催の国際シンポジウムの開催、科学研究費（国際学術調査）や科学技術振興機構を財源とした国際共同研究の実施を積極的に推進してきている。平成 25 年度からインドネシアを対象とした「火山噴出物の放出に伴う土砂災害軽減に関する研究」と、バングラデシュ国を対象とした「高潮・洪水被害の防止軽減技術の研究開発」の 2 つの SATREPS（地球規模課題対応国際科学技術プログラム）が受託研究としてスタートし、センターの多くのメンバーがこれらに参画して研究活動を行っている。また、国際的な研究拠点の構築も積極的に進めており、穂高砂防観測所では流砂観測研究に関する国際的な連携を深めるために、宮田助教が 2018 年 10 月から 10 か月間イタリアの研究者と流砂観測に関する共同研究を行った。また、インドネシア、台湾、ネパール、日本の間の複合土砂災害ネットワークの活動も継続しており、ワークショップ等の活動を行い、アジアにおける土砂災害の研究者の連携を深めた。

(4) その他の活動

技術室や関連部門・センターの教員と連携し、宇治川オープンラボラトリーでは宇治キャンパス公開時に災害体験学習を実施している。同様の取組は、消防・警察、地域の自治会などに対しても行い、積極的に社会貢献を図っている。他の隔地観測所でも京大ウィークスの期間に、施設を利活用した同様の体験学習を実施している。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においても、センターの施設の利活用が図られており、多大の貢献をしている。さらに、外国人留学生の受入、JICA 研修への協力、外国人研修員の指導を行うなど、国際貢献も積極的に行い、中期目標・中期計画に沿った教育活動、国際貢献、社会貢献を果たしている。

8.10.2 研究領域の研究内容

1. 流砂災害

教授：藤田正治

准教授：竹林洋史

助教：宮田秀介

○ 研究対象と研究概要

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。

本研究領域の主な研究課題を以下に示す。

- (1) 複合土砂災害シミュレータの開発と適用
- (2) 流域規模の土砂動態モデルの開発と適用
- (3) 平面二次元土石流解析モデルの開発
- (4) 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
- (5) 融雪型火山泥流シミュレーションモデルの開発
- (6) 山地河川における土砂流出観測手法の開発
- (7) 学校防災への簡易な土砂災害危険度指標の適用

平成 29 年から令和元年度における各研究課題の研究内容を要約すると次のようになる。

(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) に改良を加え、土砂災害の事例に適用し、その妥当性を確認した。また、地区防災のモデル地域における住民参加の土砂災害対策のワークショップにおいて、このシミュレータの解析結果が活用された。

(2) 流域規模の土砂動態モデルの開発と適用

流域において土砂生産から河道への土砂供給、土砂輸送、堆積までを総合的に計算できるモデル **Sediment-K** を開発してきたが、これを山地河川の水生生物の生息場の動的特性の解析に応用した。穂高砂防観測所の試験流域において、毎年土砂生産されるフレッシュな砂礫の移動特性から、生息場条件の変化を色彩で表現する手法を提案した。

(3) 平面二次元土石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の流動・発達・堆積課程を解析する平面二次元土石流解析モデルの開発を開発している。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、地震動や地盤の飽和・不飽和の条件などを考慮した解析モデルを開発しており、豪雨時と地震時に発生する土石流・泥流の流動特性などの検討をした。

(4) 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、植生の消長、河床の間隙率の時空間的な変化を考慮した解析モデルを開発しており、生物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、潮汐蛇行流路内の流砂特性や蛇行の形成機構の検討なども行った。

(5) 融雪型火山泥流シミュレーションモデルの開発

融雪型火山泥流とは、火山噴火による噴出物が山体の積雪を融かして大量の水を発生させ、泥流となり、高速で流下する現象である。日本の火山の多くは降雪地域に位置しており、発生時の流下範囲やそのタイミングの予測は防災面で非常に重要である。既往のハザードマップで用いられている融雪泥流モデルでは、融雪から泥流の発達については詳細に検討されておらず、モデル化されていない。そこで、積雪層に高温土砂を供給する融雪・鉛直浸透実験をもとに発生域での融雪・融雪水流出・泥流発達過程をモデル化し、泥流の流下・氾濫モデルと組み合わせる融雪型火山泥流シミュレーションモデルを開発した。このモデルにより、時期により異なる積雪の条件（積雪深、積雪密度）が融雪型火山泥流の流下範囲に及ぼすタイミングを検討することができた。

(6) 山地河川における土砂流出観測手法の開発

流域の土砂管理および土砂災害防止軽減のために流域内土砂移動の把握が必須である。下流域の河川では土砂輸送量の予測モデルが確立し実用に供されている。一方、急峻な山地河川ではこれらのモデルをそのまま適用できず、土砂流出量を計測する必要がある。山地河川は出水時に河床地形と水深が大きく変化するため、特に大規模出水時には、正確な土砂流出量観測は難しいのが現状である。そこで物質の比誘電率を計測することができる時間領域反射法 (Time Domain Reflectometry ; TDR) を利用し、1) 河川水中の土砂濃度、2) 堆砂池の堆砂面変動（もしくは河床変動）とその空隙率を計測する手法を開発した。

本手法は室内実験によりその有効性を確認し、現地観測により河床上の高土砂濃度層と洪水時の河床変動・新規堆積土砂の堆積濃度を得ることができた。これらの情報は、土砂輸送モデルを急勾配河川への適用するための基礎的な情報となる。

(7) 学校防災への簡易な土砂災害危険度指標の適用

中山間地では公共施設の立地に適した土地が限られており、学校が災害に脆弱な場所にあることもある。雨量および対象地に隣接する斜面での湧水量の

観測結果から、リアルタイム雨量のみを入力値として対象地の土砂災害危険度を示す関数を構築している。この結果は、豪雨時などに学校での生徒の登下校の判断に利用されるだけでなく、防災教育にも利用し、その効果について評価している。

II. 都市耐水

○ 研究対象と研究概要

教授：五十嵐 晃

准教授：米山 望

○ 研究対象と研究概要

本研究領域では、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。主要な研究内容は以下のとおりである。

(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被害に対し、三次元津波挙動解析結果を活用して河口堰上流での

塩分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設計法

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、こうした極端事象時の外力に対する構造設計法が重要となる。中でも、想定外事象に対する危機耐性を構造設計法に考慮する上で重要となる、地震外力の2方向性を考慮したスペクトル適合多次元入力地震動を用いた性能照査法の開発、複雑な形状や大変位を許容する構造物の不確定性の高い外力に対する性能評価のための漸増動的解析 (IDA) の適用法など、より合理性の高い方法論の開発と検討を行っている。

(3) 長多径間橋梁のためのデバイス特性解明と性能向上および長期的挙動の検討

長多径間橋梁は今日では橋梁建設においてしばしば採用される構造形式であるが、その実現にあたって免震支承やダンパーなどのデバイスが特に道路橋の地震防災を考慮した設計に有利であることから広く用いられている。こうしたデバイスの適用性を高めるため、高減衰ゴム支承の減衰性能の向上、大ひずみ領域におけるハードニングの緩和など、さらなる新たな技術開発とそのメカニズムの解明に向けての研究課題に取り組んだ。また、今後の新たなゴム支承の設計および維持管理方法の確立のため、温度伸縮に伴う長多径間橋梁橋梁の挙動に関するモニタリングデータの解析と解析、ゴム支承の経年劣化に伴う性能低下に対する補強対策の評価、試作支承を対象とした載荷実験や材料試験による性能の検証、有限要素法等の数値解析を援用した挙動予測手法の開発検討を行った。

(4) 洪水・津波等に対する橋梁被災と挙動の評価評価のための実験手法

2011 年東日本太平洋沖地震の際に大きな課題となった津波や近年頻発の度を増している洪水による落橋・流出等の橋の被災は継続的に生じており、構造工学分野における水害対策や安全性向上策の検討の重要性が着目される。被災事例の収集を行うとともに、そうした検討の実施に有効と考えられる実時

間ハイブリッドシミュレーション手法の実現に関する検討を行った。

Ⅲ. 河川防災システム

教授：中川一

准教授：川池健司

助教：山野井一輝（平成 31 年 4 月から）

特任助教：橋本雅和（平成 30 年 3 月まで）

特任助教 長谷川祐治（平成 30 年 3 月まで）

○ 研究対象と研究概要

河川防災システム研究領域では、河川の上流から河口とその周辺の海域までを対象に、河川災害や土砂災害の防止・軽減を目指すとともに、河川生態環境や景観に配慮したより良い親水空間の創成を目的として、研究に取り組んでいる。このような研究を進めるには、河川を取り巻く水理現象を理解することが必要になる。そのため、宇治川オープンラボラトリーの大規模な水路を用いた模型実験をはじめ、現地での観測や各種災害調査を行うことによって現象を見るとともに、数値解析によって、災害発生機構の分析・解明と、さまざまな想定の下での現象予測を行っている。このように実験、現地観測・調査、数値解析のあらゆる面から水理現象にアプローチし、それらをバランスよく行うことで、河川災害・土砂災害の防止・軽減や河川環境整備に役立つ方策を研究している。

主な研究課題には、以下のようなものがある。

(1) 氾濫水理解析法に関する研究

洪水氾濫モデルにおいて、建物内部への浸水を考慮するため模型実験を行い、トリチェリの式によって氾濫水の建物内部への流入を考慮したモデルを作成した。模型実験により検証された統合型の内水氾濫解析モデルについて、道路側溝からの排水を考慮したモデルへの高度化を試みている。また、このモデルを実領域に適用し、土地利用ごとに各戸貯留、建物屋根面の雨水の貯留、駐車場、公園、校庭などの表面貯留、あるいは各種浸透施設などを仮定して、それによる浸水被害の軽減の影響を比較したり、浸水による被害額を用いた浸水軽減効果の評価手法について検討した。また、数値解析により河川の洪水氾濫に伴う堤内地への土砂の堆積被害を再現し、計

算手法を提案するとともにその影響の重要性を指摘した。

(2) 洪水氾濫被害の防止軽減技術の研究開発

本研究課題は平成 25 年度から暫定的に採択され、平成 26 年度からは正式に研究を始めた SATREPS の分担課題であり、バングラデシュ国における水害脆弱性の現状に鑑み、洪水氾濫被害の防止・軽減対策の研究開発を実施し、その成果の社会への実装を試みるとともに、同国の研究協力機関等と協働して、水害脆弱性の分析と被災後のしなやかな回復力を実現する新たなアプローチを開発提案するものであった。大河川での洪水氾濫、フラッシュフラッドを対象とし、ハザードマップやダメージマップを作成し、地元の NGO や住民等とワークショップを開催して普及と改善を試みた。感潮区間での Tidal Flood（潮の干満によって発生するポルダー内での浸水）に関しては、潮の干満を利用したポルダー内での効果的な土砂堆積の評価手法を提案し、ポルダーに洪水を引き込む水路の最適な形状や、浸水させるポルダーの計画的な決定手法などを提案した。

また、近年の国内の水害において多発している、洪水流に伴う土砂の流出による河床上昇を対象として、洪水氾濫発生危険性を評価するモデルを作成した。対象とする河川流域において、浸透モデル、無現庁舎面における斜面安定モデル、Godunov スキームを適用した 2 次元土砂・洪水氾濫モデルからなる統合モデルを九州北部豪雨の被災地や大阪府大東市に適用し、土砂の流出を考慮することによって洪水氾濫の危険度評価が大きく変化することを示した。

(3) 河川構造物の水理機能に関する研究

本研究課題も SATREPS の分担課題であり、流路変動が著しい大陸河川において砂州の安定化を目指して現地に水制を設置するための基礎実験を重ねてきた。透過型、不透過型、バンダル型の水制の形状によって形成される砂州がどのように異なるか、浮遊砂を考慮した 3 次元数値解析モデルを開発して実験結果との比較により検証を行い、高い精度で再現できることを示した。また、実際にバングラデシュの現地に水制を建設し、生成された地形と周辺の流速分布などの計測結果を分析して、効果的な水制の設置に関する知見をまとめた。

(4) 土砂災害の被害予測手法に関する研究

土砂災害や土砂を伴った洪水氾濫災害を対象に、統計的手法と数値シミュレーションの双方を用いた被害予測手法確立に向けた研究開発を行なった。まず、平成30年7月豪雨で発生した広島県内の土砂生産量（侵食量）を、降雨と地形データから予測する確率モデルを、順序ロジスティック回帰に基づいた手法によって構築した。次に、これを簡易的な土砂移動モデルと組み合わせ、被害発生確率を推定する手法を提案した。

また、既往の土石流モデルに基づいて、同時多発的に発生する土石流の大規模二次元シミュレーションモデルを構築した。これは多数の土石流始点を入力条件として、ここからの土石流の侵食・堆積・氾濫を解析するものである。これを用いて、平成29年九州北部豪雨や平成30年7月豪雨で被害が発生した複数の流域を対象にした再現シミュレーションを実施した。さらに、統計的斜面崩壊予測モデルと組み合わせた予測シミュレーション手法を提案した。ここで予測される被害のばらつきが、集水面積の大きい下流ほど低減するという性質を持つことを数値的に示した。

(5) 災害調査

日本各地で発生した地震、洪水、土砂災害のみならず中国やバングラデシュなど、国内外の各種災害調査を行い、災害現象の分析・解明を行った。

IV. 沿岸域土砂環境

教授：平石哲也

○ 研究対象と研究概要

人口、資産、社会資本が集中するとともに、豊かな生態系が存立している河口沿岸域や内湾の多くは、臨海低平地である。そのため、洪水流出、高潮、高波そして津波等による氾濫浸水、ならびに河口閉塞、海岸侵食等による沿岸災害のリスクが高い。地域の個性ある景観と調和し、環境に過度な負荷をかけない地域の防災力の向上には、その土地のなりたちと推移を精度高く観察し、かつ予測・適用できる学術体系が非常に重要である。本研究領域では、地形環境アプローチと海岸工学的アプローチの緊密な融合

のもとに、以下のような研究課題を推進し、国際レベルの研究を目指している。

- (1) 偶発海象外力に対するカウンターウェイトブロック等の減災工法の開発
- (2) 津波による海岸侵食と構造物基礎の洗掘メカニズムの解明と対策法の提案
- (3) 流起式可動型防波堤の実用化に向けた応用研究
- (4) 津波による海浜砂丘の変形と砂丘による大型防潮堤作用波力の変化に関する研究

平成29年から令和元年度における各研究課題の研究内容を要約すると以下のようである。

- (1) 偶発海象外力に対するカウンターウェイトブロック等の減災工法の開発

海岸堤防や沖合の防波堤はおおよそ50年に1回来襲する波浪を設計外力として建設されている。最近では構造物の老朽化とともに、温暖化や地球活動の活性化に伴い設計値を超える偶発波浪荷重にさらされる危険性が高い。そこで、既存防波堤背後に容易に設置できるカウンターウェイトブロック等の対策が重要である。研究では実験及び数値解析によりカウンターウェイトブロックの適用性を検証した。

2011年東北太平洋沖地震津波による沖合防波堤の滑落や洗掘による倒壊の事例に関して、想定を超えるレベル2津波に対する粘り強い防波堤の提案が急務となった。カウンターウェイトブロックは対策法の一環となり、カウンターウェイト用の腹付け工とともに全国の港湾で採用され、設置が進められている。

- (2) 津波による海岸侵食と構造物基礎の洗掘メカニズムの解明と対策法の提案

我が国では従来から1983年の日本海中部地震津波のように、津波によって多くの海岸構造物が流出あるいは破壊された。破壊メカニズムの中では基礎地盤の洗掘による支持力崩壊の状況が注目されており、基礎地盤の安定性を高める必要がある。そこで、パワーユニット等の柔軟性に富んだ膜式洗掘防止工やマイコマ基礎等の流体力軽減式基礎の開発が重要で、実験や現地実証試験を実施している。平成30年度および令和元年度には共同研究として、防波堤基部の洗掘防止工となるパワフルユニットの安定性

実験を多目的造波水路で行い、その活用法を明らかにした。

(3) 流起式可動型防波堤の実用化に向けた応用研究

流起式可動型防波堤は平常時は海底に埋伏しており、津波来襲時に浮上して港口部において津波の侵入を防止するものである。押し波時だけでなく引き波時においても浮上し、港内からのコンテナや漁具等の漂流物の拡散を食い止めることが可能である。平成 28 年度までに実用化に向けた基礎研究はある程度実施している。平成 29 年度以降は以下の課題を検討してきた；

平成 29 年度：1/50 縮尺模型を用いて大阪市内の安治川水門の沖側に津波力減勢工として設置された可動型防波堤を想定し、その適用性を検討した。

平成 30 年度：実験データをまとめ、論文等に発表するとともに、共同研究会でマニュアルを作成した。

令和元年度：技術マニュアルの完成を目指した。

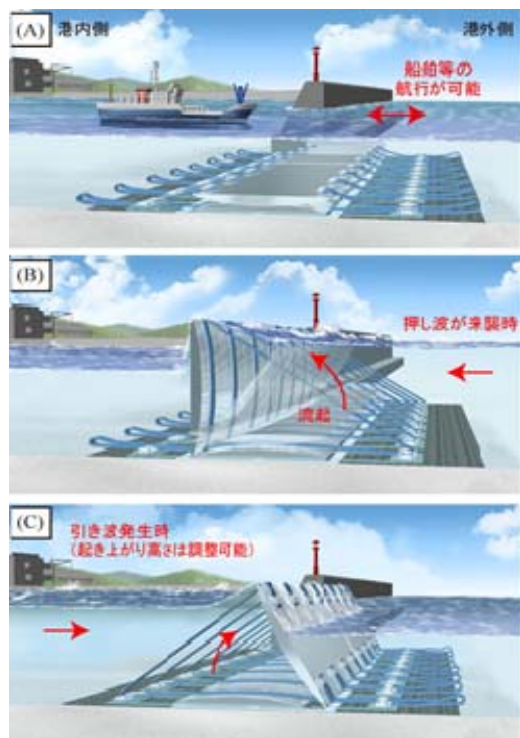


図 8.10-1 流起式可動型防波堤イメージ図

(4) 津波による海浜砂丘の変形と砂丘による大型防潮堤作用波力の変化に関する研究

我が国の原子力発電所の多くは沿岸に立地し、その多くが津波来襲リスクを有している。そこで、2011 年の東日本大震災以降防潮堤の高上げ等の強

化が図られてきた。また津波時の漂流物である船舶の衝突力についても当研究領域において実験的研究がなされてきた（平成 26 から 28 年度）。一方、防潮堤の前面は砂丘が広がっている地形もあり、砂丘そのものの変形と、砂丘の存在が津波作用力に及ぼす効果についても検討が必要である。そこで、本研究領域では、平成 29 年度より津波再現装置を用いて大規模な実験を来ない、砂丘の変形メカニズムとそれが津波波力に及ぼす影響を調べてきた。各年度の活動は以下の通りである。なお、実験は令和 2 年度も引き続き実施され総合的な取りまとめを行う予定である。

平成 29 年度：津波による流木および小型船舶の衝突力に関する実験

平成 30 年度：固定床による砂丘上の津波変形実験

令和元年度：移動床を用いた砂丘変形とそれによる津波波圧変化実験。津波波圧は、防潮堤の基部で平坦地形の場合よりも大きくなることが判明。

V. 流域圏観測

准教授：堤大三（平成 30 年 3 月まで）

馬場康之，吉田聡

○ 研究対象と研究概要

流域圏を構成する大気，河川，土砂，沿岸を対象として，4 つの現地観測実験施設（潮岬風力実験所，白浜海象観測所，穂高砂防観測所，大湊波浪観測所）において自然災害研究の最前線での現地観測・実験を展開している。

潮岬風力実験所（吉田聡）では，大気現象を対象として，以下の研究を実施した。

- (1) 潮岬沖大気・海洋・海底相互作用：海洋研究開発機構地球深部探査船「ちきゅう」の熊野灘長期掘削期間に合わせて，海洋研究開発機構・東京大学「新青丸」と三重大学「勢水丸」，地震・津波観測監視システム「DONET」，当実験場での大気海洋境界層の集中観測を実施し，海底水圧計による大気海洋変動の抽出の可能性を調査した。
- (2) バイオロギングを用いた大気海洋観測：生態学で用いられている海鳥やウミガメに観測測器を取り付け，環境情報を得る「バイオロギング」

による大気海洋観測実験を実施し、バイオロギング観測の精度検証とデータ同化における観測インパクトを調査した。

- (3) 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 と地球温暖化対策に資する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。

白浜海象観測所（馬場康之）では沿岸域・河口域を対象として以下の研究を実施した。

- (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、波、流れの観測に加えて、海塩粒子等の飛散状況を観測したほか、観測塔から約 2km 南の地点に X バンドレーダ（水平、鉛直の 2 基）を稼働させ、降雨、波浪の面的データを並行して観測した。
- (2) 海洋表層における波・流れ相互作用に関する現地観測：海洋表層の混合特性に一定の役割を持つラングミュア循環の実態を捉えるための現地観測を学内共同研究者と実施し、観測された鉛直流速と相互作用の関係性を明らかにした。
- (3) 台風接近時の強風、高波浪条件に関する検討：2018 年に台風 21 号、24 号が相次いで接近し、最大瞬間風速 55.8m/s、最大 11m に達する有義波高を伴う強風・高波浪条件下の観測データが収集された。観測データから、高波浪となった期間の前半はうねり成分が卓越し、その後吹送距離が長くなると風波成分が発達し、風波成分とうねり成分が重畳して高波浪状態が継続されることを確認した。
- (4) 観測塔付近の水温変動特性と黒潮蛇行、非蛇行との関係：黒潮の非蛇行期（2017 年）および蛇行期（2018 年）における水温の変動特性について、観測塔で冬期に観測された水温データに基づいて考察を行い、非蛇行期の暖水波及や約 30 日周期の水温変動の存在を確認した。

このほか、(5) 音波測深機を用いた沿岸地形の現地観測を行い、夏期の台風や低気圧に伴う高波浪による地形変化を捉えると同時に、数値シミュレーションによる評価を行った。また、(6) 関西大学と共同で地元小学校での防災教育を実施し、防災に関する講義と体験型実習を組み合わせた防災教育の効果についても検討した。

穂高砂防観測所（堤大三、宮田秀介（兼務））は、土砂環境を対象として、以下の研究を進めた。

- (1) 土砂生産と流出：凍結・融解や降雨による土砂生産とその流出に及ぼす役割に関する現地観測・調査と土砂生産・流出の予測モデルの構築を進めた。
- (2) 河道、河床変動：2019 年 8 月に発生した土石流を含め土砂流出とそれによる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。
- (3) 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。
- (4) 山地の降雨・流出特性：山地降雨の時空間的な特性を解明するため、高密度な地上雨量観測を行ない、山岳微地形と降雨特性との関係の検討を行った。
- (5) 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。
- (6) 流砂計測手法の開発：土砂流出等の観測に寄与するため、掃流砂計測手法や河床位変動の計測手法の開発を進めた。

大湊波浪観測所では、以下の研究を進めた。

- (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 年には栈橋を撤去したが、引き続き、カस्प地形内の粒度分布解析で海岸砂丘の特性解明に努めた。

(2) 大潟海岸においては砂浜の侵食が顕在化し、広域海浜変形のマネジメントに関する研究を重要な課題として取り上げ、その取り組みの基盤として、砂浜—海岸砂丘—潟湖システムの地形変化を高解像度かつ体系的にとらえるフィールド

観測研究を推進した。また、新潟西海岸を含めた広域の土砂生産及び土砂移動現象の解明を目指した。

各観測実験施設では、上記の独自の研究課題を推進するとともに、研究面での連携を図った。

8.11 水資源環境研究センター

8.11.1 センターの活動概要

(1) センターの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。本センターを構成する3つの専任研究領域と客員教員による水資源分布評価・解析研究領域は互いに連携をとりながら、ジオ・ソシオ・エコシステムの統合としての水資源を保全・開発するためのマネジメントシステムについて研究を進めている。具体的には、水資源環境の評価・予測のため、気圏—水圏—地圏を連続体として扱い、流域規模から地球規模までの水循環・物質循環を科学的、定量的にモデル化することを試みている。それらに基づいて、気候変動、地球温暖化、都市化、東日本大震災のような大規模災害などがもたらす水資源の社会的・生態的リスクを評価し、水資源の持続可能性・健全性・健康性の探究を行っている。さらに、ナイル川やアラル海、メコン川流域などを対象とした研究プロジェクトを通じて具体的な問題解決に貢献することを目指している。

また、UNESCO-IHP 研修コースを毎年開催するとともに、アジア・メガシティの人間安全保障工学拠点（GCOE-HSE）、グローバル生存学大学院連携プログラム（GSS）、日 ASEAN 科学技術イノベーション共同研究拠点—持続可能開発研究の推進（JASTIP）、大学の世界展開力強化事業「気候変動下でのレジリエントな社会発展を担う国際インフラ人材育成プログラム（RSDC）」などのプログラムに参画している。

(2) 現在の重点課題

現在の重点課題は、以下の3テーマに体系付けられる。

- 1) 統合水資源管理モデルの開発：分布型流出モデル、陸面過程モデル、地下水モデル、作物生育モデル、貯水池操作モデル、社会経済モデルなど等から構成され、雪氷圏から乾燥地まで全球の陸域を対象としたモデル開発を進めている。

- 2) 生態系を考慮した総合流域管理とリスクマネジメント：種々の GCM, RCM 出力のダウンスケール結果を入力とし、分布型水文モデル、陸面過程モデル、貯水池操作モデルを用いた数値シミュレーション結果から、水資源リスク評価及び適応策を検討

- 3) 水資源マネジメントと法制度：水管理に関する法制度の国際間比較研究、および氾濫被害軽減や損失の回復・復興のための社会的枠組みとしての洪水リスクマネジメントを検討

こうした課題を総合する形で、気候変動が水資源環境に及ぼす影響を定量的に評価し、その適応策を探ることにも取り組んでいる。

(3) 研究活動

個別研究としては、農作物の成長過程を考慮したダム灌漑用水補給の高度化、水害避難行動のシミュレーション分析、豪雨の時空間分布と洪水リスク評価、APHRODITE-2 プロジェクト、d4PDF を活用した気候変動が日本の水文循環に与える影響の評価、d4PDF を用いた日本の水資源量解析の精度評価、キルギス共和国における氷河観測データを用いた雪氷熱収支モデルの改良、陸面過程モデル SiBUC による地表面温度の衛星データとの比較、環境影響の少ない都市計画の新たな総合的評価モデルの開発、地下水資源量変化を考慮した全球陸域水循環モデルの改良、d4PDF を用いた空間平均降水量極値の将来変化、平成29年7月九州北部豪雨、平成30年7月西日本豪雨および令和元年台風19号による豪雨の極値評価、ダム貯水池堆砂のアセットマネジメント、貯水池土砂管理技術とモニタリング手法、フラッシング排砂や排砂バイパストンネルによる排砂技術の高度化、地球温暖化による水力エネルギーへの影響評価手法、地球温暖化とダム堆砂の複合影響による水資源リスク評価、流木・沈木リスクマネジメント、河川環境保全のための河床地形管理手法、天竜川下流域の河床地形管理手法開発、流況・土砂管理を組み合わせたダム下流の自然再生事業の生態学的評価、

深泥池生物群集保全のための生態系管理, 流域圏(河川・沿岸) 統合モデルによる生態系影響評価, 乾燥・半乾燥地域におけるフラッシュフラッド統合管理, 中東および北アフリカの考古学的ワジ流域の世界遺産の洪水リスクアセスメントと対策, メコンデルタの統合水資源管理, 流域の自然環境保全と地域振興を考慮した小水力発電システムの開発, 将来の河川流量変化に伴うダム治水操作への影響の評価と適応策に関する研究, 水文予測情報を考慮したダム治水操作の定量的評価手法の開発, 総合水資源管理のための意思決定支援システムの開発, 洪水時の危機対応における制度的課題の検討, アンサンブル予測を用いたダムの最適事前放流手法の検討, 下流域の氾濫解析に基づくダムの治水操作手法の検討などの研究を進めている。

(4) その他の活動

平成 29 年より毎年 12 月に 2 週間の UNESCO-IHP 研修コース“Integrated Basin Management under Changing Climate”を主催・実施しており, 平成 30 年からは UNESCO Chair “Wendi”の活動にも位置付けている。また, 世界防災研究所連合 (GADRI) の地域課題として, エジプト・オマーン・モロッコなどと連携して「フラッシュフラッド統合管理に関する国際シンポジウム (ISFF)」, JASTIP-WP4 (防災分野) の一貫としてベトナムを対象とする「メコンデルタの統合水資源管理」, スイス・台湾と連携して「排砂バイパス国際ワークショップ (SBTWS)」などの国際プロジェクトを進めている。

当センター主催の水資源セミナーを随時開催しており, 「スリランカの伝統的水資源施設の持続的管理の鍵を探る」, 「ダム洪水操作はどこまで高度化できるか?—ダム再生ビジョンを実現させるための気象予測の活用とダム洪水操作実務への展開—」ならびに「ダム貯水池における流木の統合的管理とリスクマネジメント」についてセミナーを開催した。一般市民に水資源問題を身近に感じてもらうため, 毎年秋に行われている宇治キャンパス公開においてラボ公開を行っており, 好評を博している。

さらに, 国際会議の運営にも積極的に参画し, ICWRER, APHW, Flood Defence, AsiaPEX, ICOLD,

ISRS などの実行委員会に参加している。また, 水文・水資源学会, 土木学会, 国際水圏工学会, 国際水文科学会, 国際水資源学会, 日本地球惑星科学連合, アメリカ地球物理学連合, 応用生態工学会, ダム工学会, 日本自然災害学会に理事や委員として参加し, 研究者コミュニティの維持・発展に貢献している。学術行政との連携としては, 国土交通省および地方整備局委員会委員, 環境省, 経済産業省, 水資源機構外部評価委員, 流域委員会, 府県など地方自治体の設置する審議会や委員会の委員を務めている。

8.11.2 研究領域の研究内容

I. 地球水動態

教授: 堀智晴

○ 研究対象と研究概要

社会システムと水循環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を主な切り口として, 研究に取り組んでいる。具体的には, 作物成長過程を考慮したダム灌漑用水補給の高度化や, 豪雨の時間的・空間的分布を考慮した水害リスク評価, 経路上の障害に関する情報が水害時の避難行動に与える影響や水害経験が避難行動に及ぼす影響, 水害リスク管理と社会制度について, 重点的に検討を行った。

(1) 作物成長過程を考慮したダム灌漑用水補給の高度化

作物成長—灌漑配水の数値モデルから推定された灌漑需要量に基づき, 圃場への配水過程を考慮したダムからの灌漑用水補給モデルを構築する。次に, 構築したモデルに対して過去の実気象データを適用して灌漑補給シミュレーションを行うことで, 利水システムのリスク分析を行った。その際の定量的な評価手法として, 営農者・水利組織・ダム管理者それぞれの視点における被害を推定する方法を開発した。この手法を用いて, d4PDF の過去の再現実験データを適用し, リスク分析を行った。最後に, d4PDF の将来 4℃上昇実験データを適用し, 将来の気候変動下における利水システムのリスク分析を行った。シミュレーションの結果, 将来の気候変動下におい

ては、水稻生育の初期段階の貯水量が圃場や貯水池に大きな影響を与える可能性が示唆された。

(2) 豪雨の時間的空間的分布を考慮した水害リスク評価

洪水をもたらす豪雨には、時間雨量 100 mm を超えるような短時間で局所的な豪雨もあれば、時間雨量としてはそれほど強くはないが、流域全体に長時間にわたって降るような豪雨もある。こうした豪雨の時間・空間スケールや時間・空間分布によって、総雨量が同じでも、河川流域内の位置によって異なる洪水リスクがもたらされる。

そこで、解析雨量をもとに面積・継続時間毎に確率規模別の雨量強度を求め、これをもとに洪水リスク評価のためのモデル豪雨を、DAD 関係を保持した時空間分布を持つ形で多数発生させる手法を開発した。次いで、多数発生させられた豪雨シナリオから、水系内の任意の地点の流量の頻度分布を計算するセル分布型流出モデルを構築した。

こうして開発した水害リスク評価モデルを大和川流域に適用し、集水面積の比較的小さい河川上・中流域や支川流域に位置する地点の洪水危険性は、豪雨の時間分布や空間分布の影響を受けやすく、総雨量や面積平均雨量が同じでも、時空間分布によってより危険な状態にさらされるケースがあることを示すとともに、その頻度を定量的に評価することを可能にした。

(3) 経路上の障害情報が住民の避難行動に及ぼす効果に関する分析

近年、現に進行する水害の情報（道路の冠水情報など）を住民が SNS 等を通じて共有するなど、水害時にリアルタイムで情報を収集できる環境ができつつある。そこで、水害が進行する中で避難する住民が遭遇した浸水などに拠る経路障害情報が他の地域住民と共有されることで、全体としての避難行動がどういった影響を受けるのか、当研究領域が従来から開発を進めている水害避難ミクロモデルを用いてシミュレーション分析を行った。

その結果、こうした経路情報がいわゆる九死に一生を得るといった極限状態で助かる人数を確かに増加させるものの、全体の避難成功率の上昇には経路

障害が少ない間の早期避難が格段に重要であることが定量的に示された。

(4) 水害経験が水害避難行動の意思決定に及ぼす影響に関するシミュレーション分析

人は、自己の経験に基づいて、同様な状況に直面した際の行動指針を確立していく。水害時に危険な目に遭った経験のある人がそれ以降早期避難をすることや、避難したものの被害がそれほどでもない経験が続くと次第に逃げなくなるなどの事例は、よく知られている。こうした経験と個人の避難行動指針の形成との関係を分析するため、住民が避難経験と被害を何度も経験することで、自身の行動ルールを変化させていく様子を模擬するエージェントモデルを深層学習と強化学習の手法を用いて開発した。

(5) 水害リスク管理と社会制度に関する考察

主として水害リスク管理の種々の方法を社会に実装するための方策を考えるため、洪水リスク情報の公開に関する現在の制度を整理するとともに、その問題点について考察した。特に、各地先の現在の降水に対する安全水準を定量的に把握できる情報が必ずしも入手できるわけではないことを指摘し、それを改善するための情報作成手法について考察した。また、土地の売買取引に際して、水害リスク情報を持つ契約主体と、持たない主体との間の情報格差をできるだけなくすにはどうすべきかといった点について、具体的な訴訟事例を参考にしながら検討した。

II. 地域水環境システム

教授：田中茂信

准教授：田中賢治

○ 研究対象と研究概要

開発している「統合水資源管理モデル」は分布型流出モデル、陸面過程モデル、地下水モデル、作物生育モデル、貯水池操作モデル、社会経済モデルなどから構成され、物理的水循環モデルをベースに、貯水池による洪水流量の調節、各セクターからの水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記述でき、社会・自然条件を考慮した総合的な水資源管理が可能になる。現在の水循環システムの信頼性診断、水資源管理支援、将来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等への応用を目指している。

(1) APHRODITE-2 プロジェクト

弘前大学、千葉大学と共同して環境省環境研究総合推進費プロジェクト「極端降水評価と気象解析のための APHRODITE アルゴリズムの改良 (APHRODITE-2)」を実施し、当研究室ではサブテーマ 2「統計的極端現象の評価と日界補正データの作成」を担当した。日本域については、降水量プロダクトと陸面モデルの蒸発散量を元に、ダム集水域の水収支をチェックしており、特に積雪地域の降水量捕捉率補正の改良に取り組んだ。

APHRO_JP_V1207R1 は、APHRODITE-1 と 2 の活動によってすでに公開している日本域 0.05 度グリッドデータである。2015 年以降も頻繁に各地で過去数十年で最大規模といわれる豪雨イベントが発生しており、中でも 2018 年の西日本豪雨は広範囲にわたり長時間激しい降水が続き、各地に大きな災害をもたらした。そこで、V1207R1 を 2018 年 7 月までデータ期間を延長し、アメダスネットワークが構築された 1977 年以降の年最大日、2 日、3 日降水量を求め、その値の更新状況に着目して解析した。

(2) d4PDF を活用した気候変動が日本の水文循環に与える影響の評価

本研究では、2015 年に公開された高解像度 (20km) で多数のアンサンブル (将来：90 メンバー、現在：50 メンバー) を有する d4PDF の NHRCM20km を陸面過程モデルである SiBUC に入力することで、複数の将来のシナリオについて計算を行い、日本域について気候変動がもたらす陸域水文諸量の変化およびそれらの不確実性を評価した。また分布型流出モデル Hydro-BEAM を用いて、日本全国の主要な流域を対象に河道流下過程の計算を行い、流量の将来変化とその不確実性を評価した。結果としては、地球温暖化に伴う気温上昇の影響は、東北以南の地域では降雪量、積雪水量共に減少するが、北海道では積雪水量のみ減少する。特に本州の豪雪地帯では積雪水量が大きく減少し、雪解けの時期の河川流量を大きく変化させる。研究対象とした 19 流域全てにおいて降水量は現在気候ではなかった降り方が増える。吉野川など西日本の多くの河川では夏季に大きく流量が

減少し、またこの時期の気候値のばらつきがとて大きく不確実性が大きい。

(3) d4PDF を用いた日本の水資源量解析の精度評価

本研究では、d4PDF_NHRCM20km を用いた陸域水文諸量並びに大規模河川の河川流量の解析結果の現在気候と観測値を比較し、どの程度まで精度良く日本の水文所領を解析できているのかを評価した。観測値との比較に際し、本研究では雨量計による観測データは降雪の捕捉精度の悪さなどの理由から、河川流量と蒸発散量を用いて流域単位の水収支から降水量を逆算するという手法をとった。ある程度精度良く解析できている流域について、水ストレスを解析したところ、気候変動によって北海道以外で水ストレスが増加することが分かった。特に淀川流域は解析対象流域最大の水ストレスをかかえていたが、淀川流域には琵琶湖があり、高い治水・利水能力をもつため高い水ストレスをかかえていても渇水被害は受けにくい。しかし、将来気候においては、25 年に一度の渇水年に琵琶湖からの放流のみで流域内での断水を免れようとしても、琵琶湖の流量調整機能のみでは賄えないことが示された。

(4) キルギス共和国における氷河観測データを用いた雪氷熱収支モデルの改良

中央アジアにおいて、雪氷融解水は貴重な水源である。近年の地球温暖化に伴う氷河の縮小により将来の水利用が懸念されており、氷河の質量変動の正確な把握が必要とされている。本研究では、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、水収支・熱収支・放射収支を考慮した陸面過程モデル 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、常に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アルベドを算出するように定式化を行った。その結果得られたアルベドは、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観測と合うようになった。

(5) 陸面過程モデル SiBUC による地表面温度の衛星データとの比較

気候変動により、特に低緯度地方においては、蒸発量の増加や洪水と渇水の頻度の増加により、今後水資源管理がより困難になる恐れがある。適切に水資源管理を行う上で、水収支を正しく解析することが必要であり、特に亜熱帯地域においては、蒸発量をより正確に求めることが水収支を正確に解析する上で重要な要素となる。

本研究では蒸発量の推定を行う上で必要かつ、直接観測可能な地表面温度について、陸面過程モデル SiBUC と衛星データ MODIS で比較を行い、モデルの検証および MODIS の妥当性について検討した。分析の結果、都市、水体、緑地それぞれにおいて、基本的に SiBUC が地表面温度を過大評価しているものの、入力データに補正を加えることで SiBUC の地表面温度が MODIS の値に近づいた。また MODIS が乾燥地域以外においては雲の影響を除き切れておらず不正確な値が多く含まれていることも明らかとなった。

(6) 環境影響の少ない都市計画の新たな総合的評価モデルの開発：中国天津市を例として

従来の都市開発では、不浸透域の割合を増加させた結果、水循環を大きく変え、洪水発生リスクを増大させた。これを受けて、スポンジのように水を吸収し、自然の水循環を回復する“Sponge City”構想が近年注目されている。

本研究では、中国の 30 ある試験 Sponge City の一つである天津空港経済区を対象に、3 種の LID (Low Impact Development: 環境影響の少ない開発) 技術 (生物学的調整池、草地、透水性舗装) の効果を水文学的、経済的に評価するモデルを新たに開発した。降雨波形分析では、時間雨量極値が近年増大していることや、上位 10% の豪雨において降雨イベントの序盤に降雨が集中していることなどが明らかになった。ライフサイクルコスト解析では、LID 技術により一定規模の豪雨については都市洪水を効果的に軽減できるものの、短期集中型の豪雨に対する効果には限界があることを示すとともに、実行可能な 7 種の LID 案の中で、3 技術を組み合わせた案が最良で

あることを示した。また、AHP (Analytic Hierarchy Process : 階層分析法) でも同様の結果が示された。

(7) 地下水資源量変化を考慮した全球陸域水循環モデルの改良

世界有数の穀倉地帯では地下水の過剰取水による地盤沈下が発生してきている。このままでは地下水が枯れる恐れもあり、持続可能な水資源利用を行うためにも地下水資源量の変化を推定することは必要不可欠である。

本研究では全球陸域水循環モデルを改良し、地下水資源の持続可能性を考慮可能とすることを目的とする。全球陸域水循環モデルは大きく分けて陸面過程モデル SiBUC と河道流下過程モデル kinematic-wave から構成される。そこで地下水資源量評価のために SiBUC において地下水涵養量を推定した。地下水資源量を直接、全球規模で観測することは現段階では不可能であるが、重力観測衛星 GRACE によって観測される TWS (Terrestrial Water Storage: 陸域総貯水量) の変化量を用いることで間接的に地下水資源の過剰取水を検出することができる。ここで検出した値と SiBUC の出力を比較し、地下水涵養量を推定する手法を開発した。

(8) d4PDF を用いた空間平均降水量極値の将来変化

気候変動が洪水や土砂災害などの降雨に起因する水関連災害に与える影響が懸念されており、将来予測に関する研究が盛んに行われている。大雨による災害の危険度を考えるに当たっては、時空間的な広がりごとに気候変動による降雨の変化傾向を把握することが重要である。

本研究では、空間的な広がりのみによって年最大日降水量の発生状況がどの程度異なるか、およびその将来変化を d4PDF を用いて調べた。一般に山間地で大雨が増強されることがあるので、山地の影響を極力除くため、関東平野の中央部の春日部や加須を中心とする半径 10, 20, 30, 40km のエリアについて検討した。その結果、過去実験に比べ将来実験は、加須中心の半径 10~40km のエリアで 46~30mm (平均 36mm)、春日部中心エリアで 30~23mm (平均 26mm) 増加となった。また、1/100 確率水文量の将来実験と過去実験の差分は、加須中心エリアで 96~88mm (平均 93mm)、春日部で 57~46mm (平

均 54mm) となった。年最大日降水量や 1/100 確率水文量の面積平均値の著しい増加により災害規模も大きくなることが示唆された。

(9) 平成 29 年 7 月九州北部豪雨の極値評価

平成 29 年 7 月九州北部豪雨により、筑後川右岸に流入する中小河川において、土砂流出による地形変化を伴う甚大な洪水被害が発生した。この被害をもたらした豪雨を、気象庁の朝倉（観測期間 1976 年 1 月から 2017 年 12 月まで）と日田（1942 年 8 月から 2017 年 12 月まで）の時刻雨量を用いて 1～48 時間の降水量について解析した。その結果、朝倉では 2 時間以上の継続時間について、2017 年九州北部豪雨の値が既往最大を更新しており、4～20 時間の値は過去の最大値の 2 倍を超えていた。朝倉 9 時間、日田 6 時間の 2016 年までの年最大降水量で評価した 2017 年豪雨の再現期間は、Gumbel 分布で評価すると、それぞれ 4 千 5 百万年、3 万 1 千年と非常に稀な事象と評価された。一方、朝倉 9 時間雨量が 25mm、日田 6 時間降水量 20mm の閾値を超過する降水量の解析により、1970 年代後半以降、事象あたりの降水量は増加傾向にあることがわかった。

(10) 平成 30 年 7 月西日本豪雨の極値評価

平成 30 年西日本の広域を襲った豪雨の極値特性について時系列変化と頻度に注目して解析した。記録的な豪雨となった日吉ダム流域および淀川水系の主要 6 地点上流の流域面積雨量について頻度解析を行うとともに、西日本一帯の AMeDAS を対象に、本豪雨での記録更新状況を調べた。また、日本域高解像度グリッド降水量 APHRO_JP を用いて広域的な極値の発生状況についても調べた結果、日吉ダム流域では近年大きな極値が観測されているものの、時系列は有意水準 5% で有意な増加傾向とは判断されないこと、淀川水系の主要 6 地点上流の流域面積雨量の再現期間は、桂川羽束師の 10 年余りが最大であることが明らかとなった。今回、日吉ダム流域の 2 日降水量がこれまでの記録を大きく更新しており、再現期間が 160 から 170 年であることが示された。AMeDAS の 48 時間および 72 時間降水量ともに記録を更新した地点が 106 地点あり、それぞれの地域で経験したことのない豪雨となり多くの場所で洪水・土砂災害が発生した。グリッド降水量の解析から、

災害前の降雨記録が周囲に比べて小さい地域が被災している例も見られ、外力設定にあたり広域的な視点が必要であることが示された。

(11) 令和元年台風 19 号による豪雨の極値評価

令和元年台風 19 号により東日本を襲った豪雨の極値特性について解析した。AMeDAS よると、箱根の日降水量は 922.5mm で歴代全国ランキングの最高記録を更新するとともに湯ヶ島 689.5mm、浦山 635mm もそれぞれ 13 位、18 位となった。平成 30 年までの年最大値で評価すると箱根の記録の再現期間は約 1 万年であった。平成 30 年の西日本豪雨では 48 時間や 72 時間といった長時間での降水量の記録が多く、多くの地点で更新されたが、今回は 6～24 時間の記録更新地点が多数であった。左岸本川堤防が決壊し大規模な氾濫が発生した千曲川について、立ヶ花基準点上流の流域平均 2 日降水量を、昭和元年から平成 30 年までの 94 年間のデータで評価すると、令和元年の豪雨の再現期間は 83 年であった。平成 27 年に国土交通省から発表された「浸水想定（洪水、内水）の作成等のための想定最大外力の設定手法」で設定されている地域ごとの最大降雨量を超える事例が発生していることが確認された。

Ⅲ. 社会・生態環境

教授：角哲也

准教授：竹門康弘

准教授：Sameh Kantoush

助教：野原大督

特任助教：小林草平

○ 研究対象と研究概要

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する、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を行っている。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の解明
- 4) ワジ流域のフラッシュフラッド統合管理に関する研究
- 5) 地域に貢献する総合的水力開発の推進
- 6) アンサンブル降雨予測情報を用いたダム の事前放流の高度化

などをテーマに以下のような研究成果を挙げた。

(1) ダム貯水池堆砂のアセットマネジメント

堆砂による貯水機能低下と水資源リスク増大の関係を全国のダムを対象に検討した。また、流域内に複数ダムが存在する場合の優先度評価手法、貯水池特性を考慮した土砂バイパス、浚渫、置き土などの堆砂対策手法の選定、さらには複数ダム間で連携・機能補間することによるアセットマネジメント手法について、経済と環境のコストベネフィット、リスク評価を通じた最適手法を選定するための検討を行った。さらに、水力発電ダムの堆砂対策の選定手法、長期的な経済評価手法の開発を行った。

(2) 貯水池土砂管理技術とモニタリング手法開発

貯水池や河道における流れ場の把握のための画像解析による LSPIV、衛星画像や航空写真を用いた濁度分布推定、下流河道の砂礫移動追跡のための IC タグを用いた RFID 技術、排砂バイパス操作を支援する濁度流出予測手法や掃流砂量を把握するためのインパクトプレート技術、さらに、ドローンを用いた砂州地形や砂礫の粒度分布の計測、砂州周辺の湧水環境を把握するためのサーモグラフィ画像解析手法など、土砂管理を効果的に進めるためのモニタリング技術の開発を行い、小渋ダム（排砂バイパス）、荒瀬ダム（ダム撤去）、耳川（ダム通砂）、木津川（聖牛まわり）などに適用を図った。

(3) フラッシング排砂や排砂バイパストンネルなどによる排砂技術の高度化検討

黒部川水系出し平ダムや宇奈月ダムにおけるフラッシング排砂や、小渋ダムの排砂バイパストンネルの運用に伴う貯水池内や排砂バイパストンネル内の 3 次元の土砂移動現象の解明と排砂効果を高めるための制御手法の検討、土砂移動に伴うコンクリートの摩耗対策手法に関する検討、さらに、バイパス運

用に伴う下流河川の河床地形や生物環境変化の評価手法について検討を行った。さらに、排砂バイパス技術で世界をリードするスイス、台湾と国際共同研究を進め、各国の現地調査を行うとともに、情報共有のための国際会議（第 3 回排砂バイパス国際ワークショップ（2019.4、台北））を実施した。また、全国に複数存在する「河道外貯水池」の土砂、水質、生態系に及ぼす環境影響についても検討を行った。

(4) 地球温暖化による水力エネルギーへの影響評価手法の検討

地球温暖化に伴いダム流入量に変化し、ダムを利用した水力発電システムへ影響が及ぶ可能性が想定されている。そこで、冬季の降雪に依存する只見川流域や十勝川流域、夏期の台風に依存する新宮川について、約 20km 格子の超高解像度 GCM 出力を用いて将来変化（21 世紀末）の予測を行い、適切なダム操作による適応策の可能性を検討した。

(5) 地球温暖化とダム堆砂の複合影響による水資源リスク評価

水資源の持続可能性評価のために、地球温暖化に伴うダム流入量の変化とダム堆砂の進行に伴う貯水容量の減少の両者の影響が懸念される。既存ダムを活用した気候変動への適応策の検討においては、気候変動がダムの治水機能や利水機能に及ぼす影響を適切に評価し、ダム再生に反映させる必要がある。そこで、気候変動に伴う各ダムの流況変化と堆砂進行予測をもとに、優先度の高いダムをスクリーニングする手法を提案するとともに、利水影響指標について個別ダムでの利水計算に基づき妥当性検討を行った。

(6) 流木・沈木リスクマネジメント

国内外のダムにおいて経年劣化や堆砂の進行に伴って洪水吐の機能不全・低下の事例が発生している。特に、流木が沈木化し、堆砂との複合作用によって常用洪水吐の機能障害を起こすリスクが高まっており、リスクの高いダムの抽出方法、閉塞発生時の洪水調節機能低下の影響評価について検討を行った。

(7) 河川環境保全のための河床地形管理手法開発

河川環境保全に必要な河床地形を形成・維持するための局所対策として、木津川に伝統的河川工法である竹蛇籠や中聖牛を水制として設置し、河床地形

ならびに生息場の変化をモニタリング調査した。その結果、竹蛇籠水制が深瀬やワンド環境を形成し、中聖牛群が砂州上にたまり環境を形成することによって生物多様性維持に機能することを示した。

(8) 天竜川下流域の河床地形管理手法開発

上流ダム群による砂礫供給遮断と濁水長期化の影響によって劣化した河川環境を改善するために、濁度を低減するための砂州の濾過機能に着目し、河床地形の変動履歴と濁度の低減率の関係を調査した結果、砂州地形の濾過機能が最適化する河床変動量を示した。また、資源量の減少が深刻化しているアユについて、好適な繁殖場となる湧水流路の形成・維持条件を追究した結果、本流路が更新する規模の洪水攪乱が機能していることを示した。

(9) 流況・土砂管理を組み合わせたダム下流の自然再生事業の生態学的評価

米国トリニティ川では、ダム下流の自然再生を目的として大規模な土砂還元と大胆なダムフラッシュ放流を組み合わせた先進的な河川管理が行われている。そこで、日本国内で開発したダム下流の河床地形と生態機能を対応させる評価手法をトリニティ川にも適用するために、一連の現地調査を行った。その結果、置き土により形成された砂州や砂礫堆は、サケの産卵床造成や河床間隙水域の形成に役立つものの、砂州の濾過機能に関しては、支川からの土砂供給によって形成された砂州の方が高く評価された。これは人工洪水の規模に比べて還元土砂の粒径が粗いためと考えられた。

(10) 深泥池生物群集保全のための生態系管理

近畿地方の高層湿原を代表する京都市深泥池をモデルとして、気候変動による湿原生物群集への影響予測・評価と適応策を検討した。気候モデルMRI-NHRCM02とシナリオRCP8.5に基づいて21世紀末の深泥池集水域の降水量を予測し、陸面過程モデルSiBUCにより水・熱収支計算を行った結果、将来水位が20cm以上低下する可能性が示された。浮島の地下水位低下に伴うシュレンケの消失と北方系種の減耗を軽減するために、過去の開発によって系外に排水されている集水域の表流水や亜表流水を深泥池に再導水する対策を提案した。

(11) 流域圏（河川・沿岸）統合モデルによる生態系影響評価

淀川下流域に生息する天然アユ個体群を対象に、秋季の産卵・繁殖、仔魚の降下、冬季の大阪湾岸での生息、春季の稚魚の遡上、上流域における成魚の成長までの一連の動態と河川流量や大阪湾の水温・水質環境・一次生産環境等との関係について、現地調査によって検討するとともに、水理モデルによる検証に基づいて、天然アユ個体群を増殖させるため、淀川水系の流量改善対策と淀川大堰の水位操作の改善対策を提案し、そのうち大川からの遡上促進のための水位操作は毎年の実運用に反映された。

(12) 乾燥・半乾燥地域におけるフラッシュフラッド統合管理

エジプト、オマーンなどの乾燥・半乾燥地域のワジ（涸れ谷）流域において頻発するフラッシュフラッド（WFF）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・流出モデルの高度化と洪水調節計画や予警報システムなど）を組み合わせた統合的管理方策を検討した。衛星リモートセンシング画像を用いた降水観測システム（GSMaP）とHydro-BEAMやRRIモデルを用いて降雨・流出の再現を行うとともに、洪水被害の軽減、地下水涵養の観点からのダムの最適配置を検討した。また、洪水時にワジ流域からの発生する土砂生産量の見積もり、ダムでの捕捉率、河床表層に細粒土砂がトラップされることによる地下水涵養量の低下評価など、ワジ洪水に特有の土砂管理問題についても検討を行った。

(13) 中東および北アフリカの考古学的ワジ流域の世界遺産の洪水リスクアセスメントと対策

世界遺産におけるフラッシュフラッドによる洪水リスク問題として、エジプト・ルクソールの王家の谷およびヨルダンのペトラ遺跡を対象に検討を行った。ペトラ遺跡に対して、ユネスコ・カイロ事務所とも連携し、過去の災害履歴の整理、降雨・流出モデルの開発と洪水再現、洪水貯留ダムの提案などを進めており、2020年2月には第5回ワジのフラッシュフラッドに関する国際会議（5th ISFF）において、世界遺産の洪水リスク対策に関する特別セッションを開催した。

(14) メコンデルタの統合水資源管理

メコン川流域においては、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、最下流部のメコンデルタでは河岸・海岸侵食や塩水遡上などが顕在化している。これに対して、ベトナム Tuy Loi 大学に JASTIP のベトナム拠点を整備し、長期的な流量・流砂量データの分析、観測装置の設置（濁度計、塩分濃度計）や河道内の現地観測調査（水深、流速など）を共同で実施するとともに、メコン川下流部の水理モデルの構築を進め、将来の流量や流砂量減少による河床低下・農業用水取水に対する塩水影響などを検討した。また、メコンデルタを対象に学部学生対象の国際交流科目（Conflict Management –Global Water Issues –）を実施し、学部および大学院レベルでの国際交流を行った。

(15) 流域の自然環境保全と地域振興を考慮した小水力発電システムの開発

人口が減少し活力の低下した山間地集落として岡山県津山市阿波地区を対象として、小水力発電事業を契機に、過去の開発により劣化した自然環境の再生保全と小水力発電を含めた生態系サービスの活用を両立させる新しい環境影響緩和対策の方法を提案し、地域振興のための実践的研究を行った。

(16) 将来の河川流量変化に伴うダム利水操作への影響の評価と適応策に関する研究

気象庁気象研究所の高解像度全球気候モデルMRI-AGCM3.2Sの現在気候実験及び21世紀末気候実験の気候推計データを入力値として、ダム群の利水操作モデルを組み込んだ流出計算により、吉野川流域と最上川流域を対象として将来の河川流量の変化がダム貯水池の利水操作に及ぼす影響の分析を行うとともに、将来気候下での適応策の検討へ向けた分析を行った。

(17) 水文予測情報を考慮したダム治水操作の定量的評価手法の開発

水文予測情報を考慮したダム洪水操作計画に資するため、アンサンブル流入量予測情報の統計的な模擬作成手法をベースとして、出水時の予測情報を模擬的に作成する手法を開発した。作成されたアンサンブル流入量予測情報と現業のアンサンブル降水予測情報より推定した流入量予測情報とを比較し、模

擬作成した予測値の実予測値に対する再現性の分析を行った。

(18) 総合水資源管理のための意思決定支援システムの開発

水資源管理上の各政策決定段階における様々な計画・管理手法の選択肢とその効果や影響に関する技術的・科学的な情報を幅広い利害関係者に提供し、各選択肢に想定される効果や影響の程度の共通認識を醸成することによって政策決定時における合意形成の水準の向上を図ることを目的とした意思決定支援システムの開発に取り組んだ。

(19) 洪水時の危機対応における制度的課題の検討

洪水時の危機対応を、豪雨の発生が予測される段階から浸水が発生し進行する段階までに、水害の影響を防除、軽減するために行政や住民によって行われる一連の対応行動であると捉えた上で、特に情報収集や伝達、避難行動、ダム操作などに着目しながら、工学的視点から見た制度上の諸課題についての検討を行った。

(20) アンサンブル予測を用いたダムの最適事前放流手法の検討

現業アンサンブル降雨予測情報を用いたダム事前放流の最適操作手法の開発に取り組んだ。欧州中期気象予報センターの週間アンサンブル予報や気象庁週間アンサンブル予報を考慮して、異常洪水発生の危険性を踏まえた事前放流の開始の意思決定と、出水後の水位回復の可能性を踏まえた事前放流量の決定方法を開発し、ダム操作実務においても利用しやすい事前放流の判断のための方法論の構築を行った。

(21) 下流域の氾濫解析に基づくダムの治水操作手法の検討

淀川水系桂川の日吉ダムを対象に、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を変えた降雨・流出・氾濫解析を行い、ダムの治水操作手法の変化に伴う下流河川や氾濫原への効果や影響を分析するとともに、大規模洪水時であっても亀岡盆地周辺の氾濫被害が軽減されるような治水操作手法について検討した。

IV. 水資源分布評価・解析研究領域（客員）

客員教授：井上素行（平成28・29年度）

杉田倫明（平成 30・令和元年度）
客員准教授：重本達哉（平成 29 年・30 年度）
小森大輔（平成 31 年 4 月から）

○ 研究対象と研究概要

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・管理研究推進に際しての知識供給や技術支援のため、また、社会的要請の大きな時事的課題に対処するために、これらの課題に適した研究者を招聘し、学際的な研究の推進を図っている。実施した主な研究課題は下記のとおりである。

- (1) 地域が主体となった総合的な水力発電システムの構築（井上素行）
- (2) 火山地域に位置する湖の水収支項とその湖流域に係わる水文過程の解明（杉田倫明）
- (3) より実効的な水資源・流域管理に資する公正・公平な誘導措置又は規制の調査（重本達哉）
- (4) 流木の発生－堆積・再移動－流出という一連のプロセスの解明およびモデル化（小森大輔）

8.12 技術室

8.12.1 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組織化し平成 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元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 20 名、再雇用職員 0 名の計 20 名(定数換算 20 名)である。

新規採用者は、平成 29 年度が 1 名、令和元年度が 2 名となっている。退職者は、平成 29 年度に 1 名、平成 30 年度に 1 名、令和元年度に室長の定年退職および 1 名の退職があった。職歴の浅い若手の技術職員 3 名が新たな道に進んだことについては、残念なことであった。また、団塊世代の 10 名を超えるベテラン技術職員が短期間で引退したことは、技術室にとって非常に大きな出来事である。技術室の世代交代が急速に進んだことで技術室が保有していた技術のうち、十分に継承し切れていないものもあることは否めない。これを今後、いかに補っていくかが技術室の大きな課題の一つになっている。

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元年度末時点でも継続している。

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

令和元年度末時点で技術職員を配置した隔地観測所や実験所は、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。

8.12.2 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、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。長期支援のなかに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まで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。

防災研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、まず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入力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。平成 29 年度は短期支援依頼が 35 件、長期支援依頼が 17 件の合計 52 件。平成 30 年度は短期支援依頼が 48

件、長期支援依頼が12件の合計60件。令和元年度は短期支援依頼が46件、長期支援依頼が13件の合計59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でも、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・教育活動に関与している。

令和元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活動に関して、教員と技術職員が意見交換を交わす場として重要なものとなっている。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。また、安全衛生委員会には令和元年度末時点で、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、大学にも労働安全衛生管理者を置くことが法律で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。令和元年度末時点で第一種衛生管理者の有資格者は18名である。

(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、

高等学校や小中学校を対象にした活動もある。例えば、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。小学校への地震計や雨量計の設置などに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。

2017年度機器・分析技術研究会 in 長岡、日本建築学会全国大会、平成29年度東京大学地震研究所職員研修会、京都大学技術職員研修会、総合技術研究会2019九州大学、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。平成29年度から令和元年度に新たに取得した資格等は、玉掛け作業者、床上操作式クレーン運転技能講習、第一種衛生管理者、小型移動式クレーン、特別管理産業廃棄物管理責任者、情報セキュリティマネジメント試験合格、第二種電気工事士である。

このほか、毎年、所内の教員の協力を得ながら毎年度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。平成29年度はプレゼン能力向上を目的とした業務報告会、平成30年度は労働安全確保を目的として安全体感(ヒアリハット)研修、令和元年度は業務マニュアル(手順書)作成研修を行った。これとは別に京都大学総合技術部が主催する各種の研修にも積極的に参加している。