

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）、さらには、寄附研究部門（防災公共政策）（平成27年4月30日まで）、共同研究部門（港湾物流BCP）と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」であり、社会の変遷と災害の歴史を踏まえ、災害に強い生活空間、都市、地域、世界をめざし、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構造探査法の開発
- 2) 建築物の耐震性能評価法と被害率予測
- 3) 木造建築物の耐震補強法の開発

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及び政策展開
- 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

防災公共政策研究分野（平成27年4月30日まで）

- 1) 国土構造や社会システムの脆弱性を考慮した災害リスクの評価方法
- 2) 総合的な防災・減災、社会防災力向上に資する公共政策立案の方法論

港湾物流BCP研究分野

- 1) 物流のレジリエンシーに関する研究
- 2) 港湾の物流機能継続計画（BCP）作成手法の高度化に関する研究
- 3) 緊急支援物流（ERL）に関する研究

(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」をめざし、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と耐震補強工法に関する研究を行っている。また、拡散波動場理論に基づく地盤構造探査法の研究や木造住宅や超高層建築の耐震性能向上に関する研究などを実施している。

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、災害の住まいに関する研究のため研究を行っている。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、地球規模から流域規模の社会・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

安全で安心な社会の形成を目指した総合的施策を合理的に策定・実施するためのマネジメントシステム構築の方法論に関する研究を実施している。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

る研究，参加型防災計画に関する研究等を行っている。

防災公共政策研究分野（平成27年4月30日まで）

財団法人国土技術研究センター（以下 JICE）からの寄附により，平成22年5月1日から5年間の予定で設立された。この研究分野では特に，国土構造や社会システムの脆弱性を考慮した災害リスクの評価方法，総合的な防災・減災に資する国土政策立案の方法論，並びに社会防災力向上のための公共政策に関する研究を行ってきた。より具体的には，水関連災害の計画論，大規模火山噴火に備えるための火山噴煙拡散予測精度向上に関する研究実施してきた。さらに包括的リスクを対象にして，レジリエントな社会創りに資するためのレジリエンス研究も実施してきた。

港湾物流 BCP 研究分野

社団法人日本港湾協会（現公益社団法人），一般財団法人沿岸技術研究センター及び財団法人港湾空港建設技術サービスセンター（現一般財団法人港湾空港総合技術センター）との産官学連携共同研究部門として，平成24年6月1日から5年間の予定で設立された。この研究分野は，災害発生時の港湾における物流機能の継続性確保に関する研究を行う。特に，物流のレジリエンシーに関する研究，港湾の物流機能継続計画作成手法の高度化に関する研究及び緊急支援物流に関する研究を行っている。

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26年度から28年度には，以下のような客員教員を招聘した。

平成26年度：

Ismail Bia Abutan（マレーシア理科大学教授）

那仁満都拉（内モンゴル師範大学地理科学学院講師兼副所長）

平成27年度：

Jonas Eliasson（アイスランド大学教授）

Krishna S.Pribadi（バンドン工科大学教授）

Alcantara Ayara Irasema（メキシコ大学教授）

平成28年度：

Mahua Mukherjee（インド工科大学ルーキー校准教授）

Edoardo Michele Marino（カタルニア大学准教授）

Asthildur Elva Bernhardsdottir（アイスランド大学講師）

Jean-Paul Pinelli（フロリダ工科大学教授）

(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持ってきた。

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，准教授 松島信一（平成27年度まで）

○ 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。

まず，都市空間の地震リスク評価の観点から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いる。また，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，建築物の健全度を調べるヘルスマonitoringの研究を行っている。さらに，近年の社会的な要請を踏まえ，保有設備を活用して，一般建築物，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いる。また，地震動により倒壊した家屋が津波避難時間に与える影響に着目して倒壊に伴う道路閉塞を考慮した避難シミュレーション解析を実施してきている。

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耐震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 (2016 年) 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、解明を行っている。特に被害の集中していた熊本県益城町における地盤構造と強震動レベルの関係に注目した面的被害シミュレーションを実施中である。

- ・地震・微動観測に基づく地盤下構造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。その手法の実用化に向けて、日本や海外における多くの地域で観測を行い、手法の確からしめの検証を行っている。その一環として平成 28 年度から 3 年間の計画でフランス・グルノーブル大学地球科学研究所との共同研究を実施しており、この手法が我が国だけでなく様々な地質環境下でその地下構造を精度良く把握し、将来の大地震による地震動を高い精度で予測することができることを検証中である。

(2) 建築物の耐震性能評価と設計法に関する研究

- ・実構造物の耐震安全性の検証

実構造物の常時微動観測記録や地震観測記録から構造物の振動特性を把握し、将来発生が予測される地震による揺れに対する耐震安全性を向上させるための方法について提案・検証している。

- ・新しい構造形式の開発と検証

摩擦接合構造物の振動台実験と解析に基づき動的性能を把握し、制震効果の検証を行っている。

(3) 建築物のヘルスマニタリングに関する研究

常時微動観測記録から実構造物が持っている耐震性能を評価できる方法を開発している。常時微動の連続観測記録を用いることにより、耐震性能の変化を連続してモニタリングすることが可能となり、実用的なヘルスマニタリングが可能となる。

(4) 一般木造建築物の耐震性能評価・耐震補強法の開発に関する研究

ローコスト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

を評価している。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 27 年度からは、国土交通省の資金提供を受け、偏心率の高い耐震補強壁の配置となった場合のねじれ振動の影響について、解析および実験により、モデル化が可能であることを検証している。

(5) 都市空間の大地震による発災インパクト評価に関する研究

都市空間の大地震による発災インパクトにおいては人的被害をいかに高精度に予測し、これを低減するかが重要である。そのため、ひとつには地震動により倒壊した家屋が津波避難時間に与える影響に着目し、建物倒壊に伴う道路閉塞を考慮した避難シミュレーション解析を実施してきている。また超高層建物内での死傷被害を軽減し避難可能性を向上させるために、室内家具の転倒実験を行いその限界地震動レベルを同定、それに基づいて室内被害シミュレーションを行って改善策の効果の定量化を図っている。

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 0 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為、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

った。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。モデルを用いた地域の復興ビジョン、東日本大震災で行われた復興土地利用計画手法を対比させることで、災害前から災害後の土地利用計画を策定するための計画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 1,000 以上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の実施を行っている。

また災害復興の継続的・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、防災の実務者と共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について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、被害予測に供する為の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、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及び信頼度の向上のための研究をしている。

想定地震の震源モデル作成手法に関しては、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う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、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不均質度合いを推定し、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き、地下構造モデルの作成・提示に関し、新たな方法の開発を進めた。奈良盆地では、中央構造線断層帯（金剛山地東縁－和泉山地南縁）における重点的な調査観測（京都大学防災研究所、京都大学理学研究科、京都大学原子炉実験所）のもと、重力データ、物理探査データ、地震・微動観測データ、地質学情報を総合して堆積盆地の地震波速度構造モデルを構築した。関東平野の中川低地帯では、深さ数十 m 程度までの軟弱地盤の物性や分布形状について、地震観測に基づいて調べた。

Ⅲ. 防災技術政策

教授 寶 馨, 准教授 佐山敬洋(平成27年4月～),
講師 Florence LAHOURNAT (平成 29 年 4 月～)

○ 研究対象と研究概要

時空間モデリングや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・軽減に応用する研究を行っている。また、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、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。實は、平成25年10月には、IHP 東南アジア太平洋地域運営委員会の議長に就任した。また、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を継続し、平成26,27,28年度はガーナ、エチオピア、インドネシアより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。Rainfall-Runoff-Inundtion (RRI)モデルの改良・適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。兵庫県の千種川流域に適用したモデルをデータ統合・解析システム(DIAS)に実装し、1分毎にレーダ雨量情報を入力し流出と氾濫を100m分解能でナウキャストする予測システムを構築した。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て、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27年9月に発生した関東・東北豪雨では、土木学会や科学研究費(特別推進費)の調査団に参画し、高性能GPSを用いた浸水痕跡水位の調査等を実施した。計測された浸水痕跡水位を空間的に内挿し、詳細な地盤高情報を差し引くことによって10mの空間分解能で最大浸水深分布を推定することに成功した。この推定結果は防災研究所ホームページでも公開され、各機関が実施する氾濫解析の結果検証等に用いられている。また災害時に撮影される航空写真から推定された浸水範囲の情報をを用いて、浸水深の空間分布を推定する方法を開発し、鬼怒川洪水の氾濫量を推定した。

(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。その他、マレーシア、ベトナム、

中国等においても各地域が抱える課題を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), Subhajyoti SAMADDAR (平成 28 年 4 月～)

○ 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・実施するためのマネジメントシステム構築の方法論に関する研究を実施した。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う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用い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統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統合的に評価し、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統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、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、被害を統合的に評価す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、確率の把握と共に、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と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す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持ち、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、広域モニタリングと環境計測技術の開発した。さらに、安心安全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. 防災公共政策（平成 27 年 4 月 30 日まで）

（寄附部門：国土技術研究センター）

（平成 25 年度～）特定教授 吉谷純一、特定助教 清水美香

○ 研究対象と研究概要

当研究分野は、地震・水害・火山噴火等の様々な災害を対象に被害軽減に役立つ公共政策の立案・実施方針に関する実践的研究を行うことを目的とした。災害による被害形態は、国土構造や社会基盤の脆弱性だけでなく、国や地域の社会システムの脆弱性にも大きく依存する。これらの要因間の影響を考慮したリスク評価の実施と被害の発生・拡大を防ぐハードとソフト両面の公共政策の立案を行うことが重要となっている。

平成 26 年度から平成 27 年度 4 月にかけて、以下の研究を重点的にを行い、その成果を平成 27 年 4 月 27 日に開催の「防災公共政策研究会 寄附研究部門への期待と成果」で発表・集約した。

(1) 水関連災害分野での低頻度大規模災害及び気候変化に適応する計画論

気候変動適応策も含めた低頻度巨大災害に備える計画論の構築研究を実施している。施設計画は、過去データから推定した超過確率に基づき設計外力を決定し、経済性の分析等から意思決定する。低頻度領域では、確率が不明になること、経済性以外の基準がより重視されること等から、複雑な意思決定が必要となる。また、気候変動予測の大きな不確実性を考慮すると施設計画手法を準用できない。海外のダム付帯施設設計基準の変遷のレビューを参考に、

これらの統一的計画論を構築した。

(2) 大規模火山噴火に備えるための火山噴煙拡散予測精度向上に関する研究

火山噴火時の航行安全性の判断に資するため、空中火山灰濃度の原位置観測方法の開発研究を実施してきた。その方法として、セスナ機で噴煙の中あるいは近辺を飛行しながら粉塵計で濃度計測を行い、計測システムを改善した。大気火山灰濃度が正確に計測されるようになれば、大規模噴火時に、火山灰拡散を予測する気象モデルの境界条件あるいは同化のためのデータとして活用され、また、レーダーやライダー等による火山灰濃度推定手法確立のための基礎情報として活用されることを目指した。

(3) レジリエンス研究

本研究では、包括的リスクを対象にして、レジリエントな社会創りに資するためのレジリエンス研究を推し進め、気候温暖化や都市化や社会経済的变化といったリスクの複合連鎖化といったダイナミックな環境変化を重視し、レジリエントな社会創りのための枠組みや指標づくりに関わる研究を実施した。

これまでも様々なレジリエンス研究が行われている一方で、「公共政策と災害マネジメント」との観点からレジリエンス研究が実施されているものは数少ない。また「公共政策と災害マネジメント」においてレジリエンスをどのように育て、築き、強化するかという「How to」の視点から具体的な提案が未だ限られているという大きなギャップが見られる。こうしたギャップを小さくすることに貢献するため、現場と政策を繋ぎ、国内外の現場知と専門知と政策知を繋ぎ、分野横断的、問題解決型アプローチを重視したレジリエンス研究を実施してきた。特に東北地方やニューヨークの被災地の現場でフィールドワークを行い、また国内のみならず国際的な研究機関（米国 East-West Center 等）と知識共有を図りながら実施した。その成果の一部として近く出版本『協働創出のレジリエンス～隙間をデザイン～』としてまとめられた。

VI. 港湾物流 BCP

（共同研究部門：日本港湾協会、沿岸技術研究センター、港湾空港総合技術センター）

特定教授 小野憲司，特定准教授 赤倉康寛（～平成27年5月），熊谷兼太郎（平成27年6月～）

○ 研究対象と研究概要

当研究分野は，国民生活と経済活動を支える物流の分野において，緊急支援物流，経済復興支援物流の機能継続性向上を目指した物流需要予測や輸送経路分析，政策評価や提言を行うとともに，わが国産業の生産システムやサプライチェーンに潜む災害脆弱性の評価，これらに基づくリスク管理の在り方に係る研究活動を行うことを目的としている．このような災害と物流に関する広範囲にわたる研究を実施するため，平成26～28年度においては，国土交通省の東北，四国，九州地方整備局や四国運輸局等の行政機関，国土技術政策総合研究所や（独）港湾空港技術研究所等の研究機関，東京・横浜・名古屋・大阪・神戸港の埠頭会社，作業船保有会社等の民間企業，チリ国バルパライソ大学との連携を行っている．

主要な研究テーマは，以下のとおりである．

1) 物流のレジリエンシーに関する研究

本研究は，物流に関する東日本大震災等の教訓のモデル化により，今後の南海トラフ巨大地震や首都直下地震に備えることを目的としている．東日本大震災における生産機能の復旧状態や港湾機能の回復過程を分析し，港湾貨物需要の復旧をモデル化を行った．また，被災して機能停止した港湾を代替する港湾・経路の選択モデルを，代替港湾の能力制約を考慮できるように開発している．また，自動車産業のサプライチェーンのモデル化により，東日本大震災における世界各国での生産停滞を再現し，有効な対応策の検討に繋げるべく取り組んでいる．

2) 港湾の物流機能継続計画（BCP）作成手法の高度化に関する研究

本研究は，大規模災害後に物流機能を継続させるべく各港湾において策定中の港湾BCPについて，より有効なものにすべく策定手法の高度化を図るものである．港湾物流のためのビジネスインパクト分析（BIA）やリスクアセスメント（RA）の手法の開発に取り組んでおり，国内では国際コンテナ戦略港湾への適用を念頭に大阪港を対象とし，海外では，SATREPS チリプロジェクトの一環としてチリ国バルパライソ大学と共同で，チリ国イキケ港を対象と

して開発を進めている．

3) 緊急支援物流（ERL）に関する研究

東日本大震災の発災後の初期段階において，搜索救助活動のための要員と車両・重機等の機材が長距離フェリーにより効率的に輸送された．これを踏まえ，災害現場への効率的な大量輸送手段としての長距離フェリーの利便性に着目して，その活用方策を検討している．その中では，現在運航中の長距離フェリーと船型及び輸送能力，フェリーによる緊急物資輸送活動に利用可能な耐震強化岸壁を有する港湾の位置や諸元，フェリーと岸壁の着岸可否のマッチングを検討している．わが国の耐震強化岸壁は，一般貨物船を念頭に整備されているものが多く，岸壁延長の不足により長距離フェリーが着岸できるものは限られている．本研究では，南海トラフ地震により陸の孤島と化す可能性のある高知県を対象に，フェリーによる緊急物資輸送活動の数値シミュレーションを開発している．

○ その他の活動

5 港湾の運営会社，京都大学防災研究所を構成メンバーとし，国土交通省港湾局，一般社団法人日本港運協会，一般社団法人日本船主協会，一般財団法人みなと総合研究所をオブザーバーとする港湾運リスク研究会を，平成26～27年度に計3回開催した（平成25年の開催分も含めると全8回）．その間，BCP作成のための事業影響度分析（BIA）やリスク・アセスメント（RA）実施のケーススタディを大阪港夢洲コンテナターミナル（DICT）で実施するとともに，日本港湾協会と共同で横浜港本牧ふ頭 D5 ターミナル及び南本牧ふ頭 MC3 ターミナルにおいて VBA マクロプログラミングを組み込んだ作業シート・システムを用いた BIA の試行を行った．上記の活動の結果，コンテナターミナルの BCP 作成のための BIA や RA が，当共同研究部門が提唱してきた業務フロー分析や作業シート・システムを適用することによって効率的，効果的に行いうること等を示した．

平成26年度は，国土交通省北陸地方整備局及び中部地方整備局との意見交換会の開催，国土技術政策総合研究所の BCP 講習会及び国際協力機構の港湾開発・計画研修（Sustainable Port Development and Planning）並びに国際航路会議のヤングプロフェッ

ショナル委員会の横浜セミナー（PIANC・YP-Com）における講師，日本港湾協会港湾政策研究所及びコンサルタント会社とのワークショップ2回を開催した。平成27～28年度は，実務者向けの港湾BCP分析手法講習会6回の開催，関西大学社会安全学部における授業「BCPと企業の責任論」を三菱UFJリサーチ&コンサルティングと共同で15回の講義，チリ国バルパライソ大学海洋工学科の港湾物流BCPディプロマコースにおける講義，調査コンサルタントとのワークショップの開催を行った。以上により，港湾物流BCP作成のための分析手法の開発等を促進した。

さらに，産官学共同研究部門の開設後3年が経過

した機会をとらえて，港湾物流BCP研究分野中間発表会を，平成27年度に東京及び宇治において開催し，計約100名の参加があった。

平成26～28年度の3年間の研究成果の学会等への発表は，査読付き論文25編を含む53編であった。

この中で，小野特定教授及び赤倉特定准教授が実施した自動車産業等のサプライチェーンの構造分析に関する研究成果は，平成27年度日本物流学会賞を受賞した。また，同期間の社会貢献活動（委員会等への参画）は計54件であった。平成28年度には，学生・一般向けにBCP研究の成果をまとめた書籍「事業継続のためのマネジメント」（成山堂書店）を作成した。

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、地球温暖化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。この意味で、自然科学と社会科学の学際融合型の継続的共同研究体制が必須であり、それによって初めて総合的な減災システムの構築が可能となる。

(2) 現在の重点課題

当センターの重点的な研究課題は次のとおり、

- 1) 阪神・淡路大震災、東日本大震災など、巨大災害の復興課程の追跡調査と被災者の生活再建
 - 2) 南海トラフ巨大地震や首都直下地震・津波災害を視野に入れた広域巨大災害の被害評価と減災策
 - 3) Natech（自然災害が誘発する人為災害）に関する学際的研究
 - 4) 適応的災害マネジメントシステムの開発
 - 5) 災害リスクの経済評価研究
 - 6) 防災教育や災害リスク・コミュニケーション
 - 7) 防災研究のアウトリーチ
 - 8) 参加型地域防災に関する実践研究
 - 9) 災害情報システムの高度化と社会実装に関する研究
- である。

(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 (Information and Intelligence)、災害情報システム (Preparedness and Societal Reactions)、災害リスクマネジメント (Disaster Risk Management) 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3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、東日本大震災（2011 年）、熊本地震（2016 年）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、復興計画、津波避難、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. 減災社会プロジェクト（文部科学省特別研究経費）の実施
3. SIP（内閣府戦略的イノベーション）プロジェクトの実施
4. 国際重要インフラに関する国際学会の実施
5. 比較防災学ワークショップの実施
6. 災害対応研究会の実施
7. 巨大災害研究セミナー（総合防災セミナー）の開催（隔月）などである。

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 (平成 28 年 2 月～) 助教 鈴木進吾 (～平成 27 年 8 月)

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, 社会科学 (社会心理学を中心として) 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. また, 災害に対する都市や社会の脆弱性, 防災力, また, 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ないし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, 「巨大災害のリスク・コミュニケーション」(ミネルヴァ書房), 「現場でつくる減災学—共同実践の 5 つのフロンティア」(新曜社), 「被災地 DAYS: 時代 QUEST—災害編—」(弘文堂) 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, 中越地震, 四川大地震, 東日本大震災, 熊本地震など)
- 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) 文部科学省特別経費による「減災社会プロジェクト」に関する研究

- 9) 内閣府戦略的イノベーションプログラム (SIP) に関する研究
- 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

II. 災害情報システム研究領域

教授 畑山 満則 (平成28年5月～)

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) 地理空間情報を用いた効果的な災害対応の実現に関する研究 (畑山 満則)

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、状況は時々刻々と変化するため、空間情報と時間情報を同時に扱う必要がある。近年の位置情報取得手段の多様化、リアルタイム化により取得される動的な情報の集約手法に関して、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) 災害対応時のビッグデータ、AI、ドローン活用に関する研究 (畑山 満則)

2016年4月に発生した熊本地震時に、ドローンによる都市部(益城町中心部)の撮影と、撮影画像からのオルソ画像作成の実験を行った。これらの処理により罹災証明発行のプロセスの一部が半自動化できる可能性を示した。また、NTTドコモのモバイル空間統計(ある時間に500mメッシュ内に存在した携帯電話の数から推定したメッシュ内の人口デー

タ)と、IBMのWatson ExplorerによるTwitter分析を利用することで指定外避難所を探索する手法を開発した。この手法は、内閣府の災害情報ハブに提案され、実用化の検討が行われている。

- 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銀術に関する研究 (畑山 満則)

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 (畑山 満則)

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 (畑山 満則)

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。

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

過去3年間に、当領域では自然災害に起因する化学災害（すなわち Natech）に対する知識や、産業プラントや近隣コミュニティのレジリエンスを改善するための効果的な方法とツールの作成を目的とした調査研究を実施した。主な研究は以下の通りである。

a. フランス環境省（MEDDE）が資金提供した国際的フランス＝日本プロジェクト「Natech リスクの領域の技術的・組織的レジリエンスのシステムモデリングへの貢献：ミクロからマクロの視野へ（ResTO TerRIN）」において、2016年に有意義な成果を得た。それらには、洪水リスクに直面した産業施設における Natech リスクと、緊急事態に対処するための工業団地および地方自治体の運用準備状況を一括して評価する2つのソフトウェアツールの開発が含まれる。また、いくつかの国際学術誌に掲載された論文（例。

「2011年東日本大震災と津波による工業団地への影響調査」、Journal of Loss Prevention, 50巻, パートB, 2017）や国際会議におけるプレゼンテーション、学生交流などが挙げられる。

b. 2016年に完了した別のプロジェクトでは、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。そこでは、避難の過程で変化するリスクを推定する方法論を提案している。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、国際学術誌にて発表した。

c. 2015年には、大阪湾における地震、津波、化学および Natech 事故に対する家計のリスク認知と危険対応を評価するための調査研究を実施した。危険対

応とは、防止（例えば耐震補強や耐火材料の選択）および準備措置（例えば水や食糧、マスキングテープの保管）などの災害の影響を軽減するためのリスク削減および緊急管理戦略のことである。本研究では、災害情報や危険度近接性、過去の災害体験および人口統計学的特性が、リスク認知と危険対応にどのような影響を及ぼしているかを調べた。成果は2016年2月の防災研年次研究発表講演会で発表された。

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、都市や農村の自然災害や環境災害に関連する多元的リスクの管理に関する多面的かつ実証的な研究を行っている。以下のような現在進行中の研究プロジェクトがある。

a. 本調査では、アフガニスタンの女性が自然災害に対して脆弱である要因を明らかにすることを目的とする。データは、農村部と都市部の男性と女性の間のフォーカスグループディスカッション（FGD）によって収集した。そして収集したデータを、グラウンデッド・セオリー（Grounded Theory）およびISM法（Interpretive Structural Modeling Method）を使用して分析している。

b. 本研究では、モンゴルのウランバートルの Ger 地区の大気汚染に関する、住民の意識とリスク認知、また住宅暖房用石炭の燃焼をはじめとした、さまざまな問題について調査する。インタビューやアンケート調査を用いて、家計の石炭使用量を低下させる可能性のある、意識の中の、また物理的な障壁を特定した。また、調査やワークショップを通じて、既存の政策と計画された政策や規制との間のギャップを分析し、コミュニティの住民の現状と目指すべき状況について評価した。

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。JICAが主導する「防災の主流化」プロジェクトに参画し、国土技術研究センターやパンフィックコ

ンサルタンツと共同で定量的分析を行い、2015 年の世界国連防災会議（仙台）にて発表した。

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

地域の伝統的な祭りや、産業がつくる文化的景観、インフラなどの地域資産に着目し、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的実

践の中でどのように形成されるのかを分析した。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り、成果の一部は平成 27 年度土木学会論文賞を受賞した。

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する。その目的の為、本部門は、以下の3研究分野（強震動、耐震基礎、構造物震害）で構成されている。

(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、実効力の高い耐震補強方法等を開発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、大地震時の地すべり地域の危険度評価、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してもらい、常に情報共有を図っている。

8.3.2 研究分野の研究内容

I. 強震動

教授・岩田知孝、准教授・浅野公之（平成28年1月～）、助教・浅野公之（～平成27年12月）、非常勤講師：中原恒（東北大学大学院理学研究科、平成26～28年度）、研究担当：釜江克宏・上林宏敏・川辺秀憲（平成26年度）（原子炉実験所）

(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。

・大地震の震源インバージョン解析に関する研究
2014年長野県北部の地震、2016年熊本地震の前震及

び本震、2010年ニュージーランド Darfield 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年長野県北部の地震は糸魚川ー静岡構造線断層帯の北部の一部で発生した地震であり、震源断層の南半分では地表地震断層が出現している。強震記録の解析から得られた震源モデルは、震源断層南部の浅い部分に地表地震断層と関連すると見なせるすべりが見られてはいるが、地震モーメント解放の大きな主要なすべりは北部の4~7kmの範囲に集中しており、地震前に行われていた地震波トモグラフィから示唆される地震発生層の深さ範囲と矛盾しない結果であった。このため、地表地震断層を伴わない破壊のアスペリティは地震発生層内に留まっていると見なすことができる。

2016年熊本地震の前震（4月14日）及び本震（4月15日）の震源破壊過程を強震記録の解析に基づき推定した。本震の震源破壊過程は、布田川ー日奈久断層帯に沿って出現した地表地震断層の分布や断層近傍で記録された長周期パルスの特徴を説明できる震源モデルが得られた。また、断層浅部（地震発生層より上）と深部（地震発生層内）でのすべり速度関数の形状の違い、すべり方向の違い、破壊時刻の遅れなど、地表に断層破壊が達する大地震の破壊様式に関する詳細な知見が得られた。今後は、これらの知見を強震動予測に取り入れていくための研究を継続していく必要があると考えている。解析結果は地震調査委員会等へ提出し地震活動評価のための情報共有に資するとともに、学会発表や論文で成果を公表した。関連する理工学の国内外の研究者や事業者等にも求めに応じ解析結果を提供することで、関連研究の発展に貢献した。

2010年 Darfield 地震については、初期の破壊が逆断層で開始し、約6秒後に長さ約30kmの横ずれ断層（Greendale断層）に破壊が伝播したことが、強震記録の震源インバージョン解析及びクーロン破壊関数の時間変化を計算することにより解明された。近接するが共役ではない複数の断層が連動して破壊したことをデータとシミュレーションに基づき定量的に示した。活断層の地震の地震動を予測する際に、近接する複数の活断層の連動シナリオを想定するた

めの貴重な研究成果が得られた。（浅野公之・岩田知孝）

・特性化震源モデルの高度化に関する研究

既往の地震の震源モデルの分析から、将来発生する地震の強震動予測において震源近傍域の強震動特性を表現するため、震源断層モデル化手法の高度化を継続した。様々な観測データに基づく2011年東北地方太平洋沖地震の震源モデルを比較し、広帯域強震動予測のための震源モデル構築に着手した。（岩田知孝・浅野公之）

・長周期地震動の伝播特性に関する研究

2011年東北地方太平洋沖地震時に周期約7秒の大きな応答を示した大阪府舞洲の地震動特性を解明するため、大阪堆積盆地地域の各機関の強震記録等を収集し分析をした。本震時の長周期地震動は大阪湾岸地域が顕著であるが、盆地の場所によって卓越周期やその最大値はバラエティに富んでおり、堆積盆地構造との関係性を詳細に見ていく必要を指摘した。

また、約30分後の茨城沖地震においても同様の応答値を示していたことを見いだした。これはM8クラスの地震でも十分長周期地震動が発生し、長時間揺れが続くことを示している。（岩田知孝・浅野公之）

・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三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構内等における地震動観測を継続した。これらの観測データを他機関の観測データと統合して解析し、レシーバ関数解析法によるS-P時刻情報に基づき、京都盆地三次元地震波速度構造モデルの基盤深度の検証及び改良のための研究を行った。

大阪堆積盆地を対象に、当部門と社会防災研究部門、

（研）産業技術総合研究所で共同開発した大阪盆地三次元速度構造モデルを用い、2013年淡路島の地震の地震動シミュレーションを行い、三次元構造が盆地内の地震動分布に及ぼす影響についてやQ値の設定法について検討を行い、今後のさらなるモデル高度化が必要な事項を整理した。

大阪平野北西部を対象に、既往の強震観測記録に特徴的に繰り返し出現する孤立的な波群を解析し、

上記の大阪盆地三次元速度構造モデルを用いた地震波動場シミュレーションと併せて解釈することで、これらの波群が、波群が地表と堆積層・地震基盤の境界で起きている多重反射S波であること、基盤の3次元地下構造の影響によって、後続する波群の振動方向が回転すること、盆地端部からの距離に応じて表面波との干渉が見られることを突き止めた。堆積盆地におけるやや小さな空間スケールでの複雑な波動伝播特性についての知見を得ることができた。

(浅野公之・岩田知孝)

・中央構造線断層帯 (和泉山脈南縁-金剛山地東縁) における重点的な調査観測

平成25年度から3ヵ年計画での標記断層帯の重点観測を、理学研究科、原子炉実験所の研究者と実施した。防災研究所では、地震予知研究センター橋本学教授、地震防災研究部門吉村令慧准教授、社会防災研究部門関口春子准教授が研究に参画している。平成25年度には和歌山市及び岩出市において、断層帯を横切る反射法探査を実施し、本地域の地下構造に関する情報を入手した。地震規模や活動時期に関する情報の高度化と、和歌山県北部地域、大阪府南部地域、奈良県中部地域等の震源域に隣接する領域の地震動特性の把握とモデル化、強震動予測を進めていく。(岩田知孝・浅野公之・釜江克宏・上林宏敏・川辺秀憲)

このほかに、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」(委託先：東京大学地震研究所)、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」(委託先：海洋研究開発機構)にも参加している。

(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分科会委員として、強震動予測地図作製に関して助言を行っている。京都府、大阪府等の地震被害想定委員会委員として、各地域の地震被害想定と減災に関する助言を行っている。また、(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の学会特別セッ

ション、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。同学会災害調査委員会委員として災害調査情報発信と関連学会との報告会企画等を行った。また、日本地震学会他5学会が合同出版している英文論文誌Earth, Planets and SpaceのESG特集号のGuest Editorを努めた。

浅野公之：(社)日本地震学会強震動委員会委員として、学会運営に貢献した。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(平成27年度～)、助教：後藤浩之(平成26年度)、非常勤講師：北田奈緒子((一財)地域地盤環境研究所、平成26年度)、金治英貞((株)阪神高速道路、平成27～28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持ち、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)

・次世代耐震化技術の開発研究

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)

(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。平成26年度はパリ(IPGP)、平成27年度は香港(香港大学)、平成28年度はウェリントン(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ている。また、阪神高速道路公団技術審議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として学会運営に携ること、および同研究委員会(関西の地盤情報に基づく防災ハザードマップ開発研究委員会)のWG主査として大阪地域の表層地盤特性に関する調査研究を進めている。また、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を行っている。

Ⅲ. 構造物震害

教授：田中仁史(平成28年3月定年退職)、松島信一(平成28年度～)、非常勤講師：宮本裕司(大阪大学工学研究科、平成26年度)、研究担当：西山峰広(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、鉄筋コンクリート構造における津波浮遊物に

よる衝突破壊に関する研究などを進めている。

- ・RC 建物の津波浮遊物に対する衝撃耐力評価とその改善方法に関する実験的研究（田中仁史・西山峰広）

津波浮遊物に対する RC 造建物の耐衝撃設計法の確立を目的に RC 造壁を対象とした衝撃実験を行った。想定される津波流速で衝撃実験を行った結果、表面破壊・裏面剥離・貫通破壊といった局部損傷を再現できた。また、局部損傷評価式である Hughes 式の評価精度について検証を行い、基準コンクリート強度を用いることで、すべての実験結果において安全に評価可能な局部損傷評価式を提案した。また、補強試験体については、すべての補強方法で裏面剥離が生じず、貫通破壊に至る前まで補強面のコンクリート飛散を完全に防いだ。本研究の成果を用いることで、安全に耐衝撃設計を行うことができるようになると思われる。なお、本研究は、科学研究費・基盤研究 (A) 一般（平成 25 年度～27 年度）により行った。

- ・極表層地盤の不整形性評価手法に関する研究（松島信一）

港湾地域強震観測網の小名浜観測点周辺の地盤構造を調べるために、微動観測や表面波探査による地盤構造調査を行ったところ、強震動観測点周辺の地盤が不整形であることがわかった。そこで、この不整形が及ぶ範囲を調べ、その不整形の原因を探るために、微動の水平上下スペクトル比 (MHVR) の方位依存性から不整形地盤モデルの推定を試みた。また、推定した不整形地盤モデルを用いて微動の拡散波動場理論に基づき理論 MHVR を計算し、観測 MHVR との比較を行い、不整形地盤モデルの妥当性について検討した。その結果、観測 MHVR に明瞭な方位依存性が見られることからその情報に基づき不整形地盤モデルを作成した。この極表層地盤の不整形地盤モデルを用いて拡散波動場理論により理論 MHVR を計算したところ、観測 MHVR に見られる方位依存性を概ね再現することに成功した。

- ・地震被害を受けた地域における地下構造の同定（松島信一）

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を推定し、地震動と建物被害の関係を明確にするための強震動シミュレーションを行うための地盤構造モデル構築のための研究を行った。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、臨時余震観測点での地盤構造を同定した。

- ・強震動予測のための地下構造モデルの推定（松島信一）

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を推測される。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。

- ・微動水平上家スペクトル比と不整形地盤構造の関係に関する研究（松島信一）

地盤構造の急激な変化はその周辺で観測される地震動に大きな影響を与えることから、大阪堆積平野の盆地東端部で段差構造の存在が推定されている生駒断層付近において微動観測を行い、微動水平上下スペクトル比 (MHVR) によって段差構造が詳細に把握できるかどうかについて検討を行った。断層を挟んで MHVR の形状は大きく異なること、段差構造の存在が推定される位置においては MHVR が複雑な形状となることから、地盤構造が不整形性である可能性の箇所を特定することができることが分かった。

- ・強震動予測手法に関する研究（松島信一）

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。アレイ微動観測記録に基づいて推定した地下構造と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、Sagaing 断層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。今後はより詳細な地盤モデルになるように修正を加え、詳細な強震動予測を行う。

・歴史地震の被害シミュレーションに基づく震源断層モデルの推定に関する研究（松島信一）

江戸時代末期に発生した長野市付近を震央とする大地震である 1847 年善光寺地震を対象に、被害分布を説明するための新たな震源断層モデルの推定を行った。

・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（松島信一）

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により不確実性があります。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。

(2) その他の活動

田中仁史：以下に列举する委員会に委員等として参加，研究成果の社会還元を図った。

- ・日本建築センターRC 構造委員会評価員・認定員
- ・日本プレハブ建築協会PC 構造審査委員会委員ならびに性能分化会／構造特別委員会委員
- ・日本総合試験所建築構造性能評価委員会委員長
- ・日本総合試験所建築技術性能認証委員会委員
- ・日本総合試験所評議員・評価員・認定員（議長）
- ・京都府生コンクリート品質監査会議副議長
- ・京都府建築物耐震診断改修判定委員会副議長

松島信一：京都府国土強靱化地域計画有識者会議委員として京都府の国土強靱化地域計画と京都府戦略的地震防災対策推進部会委員として第二次京都府戦略的地震防災対策指針および推進プランの改定について助言を行い、(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として施設利用者の実験研究計画の評価を行っている。また、

(一社) 日本建築学会の地震荷重外力小委員会幹事，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表層地盤モデル化手法研究委員会副委員長，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，(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，(公社) 日本地球惑星科学連合の環境災害対応委員会委員，防災学術連携体連絡員として，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はかる。一方で、これら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する。

(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振動評価にも研究を展開している。

耐震機構研究分野では、グローバル化、高機能化等に代表される近年の社会変化に適合する建築構造物とその耐震設計に着目し、安全性はもとより、機能性、事業継続性、快適性の確保するための構造的要件の同定と、これら性能を向上させるための構造システムの開発に取り組んでいる。

(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、中央構造線断層帯の和泉山脈南縁セグメントにおいて観測研究を進めるとともに、九州全域のカバーを目指す広域比抵抗構造解明のための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他、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）を使用した共同研究も実施してきた。加えて、上宝観測所において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、都市の建物ストックの利活用を目的とした低負荷な耐震補強機構、初期偏心を与えた極めて変形能力の高いブレース、地震時の残留変形を低減するセルフセンタリング架構などの新たな構造システム・部材を開発した。また大地震を受けた建物の健全度（損傷度）を即座に判定するために、動ひずみセンサを利用した損傷評価手法や余震ハザードを考慮した事業継続性判断手法の構築に取り組んだ。

(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・東京工業大学等との北アナトリア断層周辺の不均質構造に関する共同研究を実施した。

さらに、エチオピア・アディスアベバ大学・山形大学・熊本大学・九州大学との共同研究として Dabbahu Rift の南部延長域において、縞状磁気異常の獲得形成過程を明らかにする研究も開始するとともに、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。

さらに、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、マスメディアを通し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. 耐震機構

教授 中島正愛，准教授 倉田真宏（平成 26～28 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めざすことを研究の命題としている。特にこの 3 年間では、都市のグローバル化や高機能化等に代表される近年の社会変化に適合する建築構造物とその耐震設計のあるべき姿という視点から、人命保護を謳う安全性はもとより、機能性、事業継続性、快適性を確保するための構造的要件の同定と、これら性能を向上させるための構造システムや建物継続使用性判断手法の開発に取り組んでいる。

○ 研究対象と研究概要

(1) 低負荷な耐震補強機構の開発

補強部周辺の構造部材や建物使用者への負荷を最

低限に抑えながら耐震性を高めることを目的として、特に鋼骨組の脆弱箇所である梁下フランジの局所変形を制限する低負荷耐震補強機構と名付けた補強機構を開発している。周辺部位への接合力を向上させ、且つ水平 2 軸方向の地震荷重に対して抵抗する新しい接合法を提案し、面外方向の変形が提案機構に対して与える影響を準静的実験及び振動台実験により検証するとともに、その有用性を鋼骨組の地震応答解析により明らかにした。

(2) 地震時の建物使用性モニタリング手法の構築

地震直後の建物の健全度（損傷）診断と評価は、都市地域の被災度の把握・機能の保持・再生計画等にとって重要な課題であるが、現在は専門家による目視点検に依存している。より精度の高い客観的な健全度自律判定システムの開発を目標に、無線センサネットワークや、自動データ処理機能を保持したサイバーインフラを階層的に組み合わせて、大規模建築構造物の長期モニタリングに適した損傷検知システムの開発に取り組んだ。さらには、構造ヘルスマニタリング技術を応用した建物の余震リスク評価に取り組み、被災建物の継続使用性を迅速に判断するシステムへの発展を目指している。

(3) 直置き型構造の挙動特性把握

近い将来その発生が危惧されている首都直下地震や南海トラフ地震などの極めて大きな地震動に対して、建物の損傷を低減させる方法として建物柱脚部の滑りを許容する構造を提案している。上部構造に作用する力は滑り面に発生する摩擦力に依存するため、滑り面に黒鉛潤滑剤を用いることで上部構造の応答を低減させることが可能である。低層建物を模擬した骨組試験体に直置き型構造を適用した場合の性能を評価し、転倒モーメントが滑り挙動に及ぼす影響や柱脚が連結されている場合の挙動を検証した。

(4) ロッキング型セルフセンタリング架構の開発

商業用建築物では、地震後の事業継続性が注目され、主要構造部材の損傷制御や残留変形低減などが重要視されている。建物全体の残留変形を低減させて自ら元の形に戻るセルフセンタリング機構の開発に取り組んだ。特に、セルフセンタリング機構では柱脚に大きな軸力が作用するため、超高強度鋼を用いた PC 鋼棒内蔵型 CFT 柱を採用し、地震時の履歴

特性を有限要素法解析と大型模型を利用した準静的実験により検証した。

(5) 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やすい、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。また降伏後の高い2次剛性により、建物内の特定層への変形集中を防ぐ。準静的実験により、提案する初期偏心ブレースの優れた履歴特性と変形性能を実証した。

(6) 人材の育成と成果の公表

上記の研究を、科学研究費補助金を始めとする競争的研究資金によって遂行したが、これら研究に若手研究者（ポスドク）や大学院生を参画させることによって人材の育成にも努めた。平成26～28年度にわたる3年間に、日本学術振興会特別研究員7名、サマープログラムによる大学院留学生2名、その他の予算による特定研究員2名が研究活動に参画するとともに、4名の大学院生が博士号を、9名の大学院生が修士号を取得した。またこの間27編の査読付き論文を公表、うち13編をSCIジャーナルに発表することができた。

II. 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28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めざし、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）や群発地震発生域（長野県西部、近畿北部）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。

加えて、文部科学省「中央構造線断層帯（金剛山地東縁－和泉山脈南縁）における重点的な調査観測」の受託研究により、和泉山脈南縁セグメントにおいて2測線、金剛山地東縁において1測線の広帯域MT観測を実施した。二次元逆解析により、当該セグメントにおける深さ10kmまでの地下比抵抗構造を明らかにするとともに、断層傾斜の推定を行った。

また、和泉山脈南縁セグメントにおいては、可聴域AMTの稠密観測を実施し、深さ2kmまでの高分解能の比抵抗構造を描像した。2016年10月に発生した鳥取県中部の地震では、発生直後に臨時の広帯域MT観測を実施し、地下構造を推定するとともに、余震に伴う電磁場変動を記録した（鳥取大学との共同研究）。

平成27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観測の実施に向けた予備調査を実施した。

(2) 火山周辺での比抵抗構造の研究（吉村令慧）

これまで東京工業大学・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、より浅部の構造推定の精度を上げるために、地形を計算に組み込むことが可能な逆解析手法により、三次元逆解析を進展させた。

また、文部科学省「火山地域での効率的な機動的

集中観測研究システムの構築事業」や平成 28 年度防災研究所共同研究「運動性の高い火山災害軽減のための総合研究」の一環として、焼岳火山において広帯域 MT 観測ならびに磁気探査を実施した（北海道大学との共同研究）。MT データの二次元逆解析により、頂上と中尾峠の間にキャップ状の良導体が存在し、磁気探査データの二次元順解析により当該領域が低磁化であ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、新潟―神戸至集中帯・四国西部域を対象として大規模比抵抗構造調査を継続した。これに併せて、上宝観測所で地磁気 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しての研究を進めた。

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）やニュージーランド北島のヒ克蘭ギ沈み込み帯を対象としたグリッド観測（JSPS-RSNZ 二国間交流事業：GNS Science, 東京工業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の広帯域 MT 観測（東京工業大学との共同研究）を実施するとともに、構造変化のモニタリングを志向した地磁気地電位連続観測点を宿毛観測室に新設した。

(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注水実験に伴う地表電位差記録のデータ解析を進めた（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を実施・継続している。測定には NTT の専用電話回線を用いており、安定したデータの取得が実現できている。今後もモニタリングを継続する予定である。

(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しての研究を継続した（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、海洋を地球規模でモデル化するための薄層近似に基づく薄層球体モデルの電磁誘導モデルに関する研究も行った。

(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 の南部延長域において、縞状磁気異常の獲得形成過程を明らかにする手始めとして、地上踏査による磁気探査を実施した（JSPS 二国間交流事業および京都大学融合チーム研究プログラム：アディスアベバ大学、山形大学、熊本大学、九州大学との共同研究）。約 60km の測線において全磁力データを取得し、予察的にではあるが縞状パターンの磁気異常の存在を確認した。付随して、アフール州セメラ大学敷地内に磁気点を構築するなど、次段階の無人飛行機による空中磁気探査に向けての準備を行った。

(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、ど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（平成 28 年度防災研究所一般・萌芽的研究）。

III. 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 鶴岡弘 (平成 26~27 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。更に地震防災を強化する観点から、強震動評価に役立つ震源特性の解明も目指している。

(1) 断層温度測定

Japan Trench Fast Drilling Project (JFAST) に於いて、2011 年東北地方太平洋沖地震の断層まで海底を掘削した。海底より 800 メートル付近で断層の滑りの大きい場所からコアサンプルの摂取に成功し、温度測定を行った。また、2008 年四川地震の震源断層においても断層温度測定の解析を行った。地震発生中の断層運動に伴う摩擦熱の残量はほとんど未解明であり、大地震の断層上での摩擦に関する基礎的な地震学に関する知見を得ることができる。

(2) 地震の誘発

遠くで発生した大地震の地震波の通過に伴う微小地震の誘発を研究している。特に南海トラフで発生する低周波地震が誘発地震として観測されている。これらの研究は地震を発生させるメカニズム、特に地震誘発作用における流体の役割をより良く理解するに役立ち、東南海・南海地震等の巨大地震を発生させるプレートの沈み込み帯における物理の一端を解明することができる。

(3) リアルタイム地震情報と地震被害

大地震の情報を素早く供給できる技術的システムについて研究している。緊急地震速報システムの高利用に向けて、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。

(4) 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。

(5) 地すべり地震学

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

(6) 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試みている。

(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。

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し、地震発生の原因と機構を解明し、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)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」「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。詳しくは、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、地震災害部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た。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することとなった。

2016年4月の熊本地震に関しては、九州大学を初めとする全国の大学等と共同で緊急観測等を行うとともに、発生機構の解明と活動の推移把握のためのデータを取得し、精度の高い余震の深さ分布や地下構造、地殻変動等を推定した。2016年10月の鳥取県中部の地震についても、関係の機関と共同で緊急観測を行い、精度の高い余震分布や応力場、地殻変動などの解析を進めた。

(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 26 年度 木下 正高 (海洋研究開発機構)。
平成 27-28 年度 吉岡 祥一 (神戸大学自然科学系先端融合研究環都市安全研究センター)。

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 (平成 27 年 7 月 16 日採用)

(3) 研究対象と研究概要

地震はどこにでも起こるわけではなく、特にマグニチュード 8 を越える大地震は海のプレートが沈み込む海溝に沿って起きる。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)

次の海溝型巨大地震の切迫性が高まっているとされる南海トラフの地域の変動をより詳細に捉えるため、潮岬・白浜および十津川村に GNSS 受信機を設置し、連続観測を行っている。西村は、紀伊水道を挟んだ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 観測点を新設し、連続観測を開始した。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、これらの GNSS 観測データと海上保安庁などによる GPS 音響測距結合方式地殻変動観測データを用いて、西南日本の広域地殻変動を説明するモデルを構築し、大陸 (アムール) プレートと海洋 (フィリピン海) プレートの相対運動のうち、2-3 割が南海トラフ以外の内陸域で解消されていることを明らかにした。内陸域での変形が集中する場所として、山陰地方に

ひずみ集中帯があることを測地データから初めて明らかにし、この地域で内陸地震が多発する原因と考えられることを示すとともにこの地域における GNSS 連続観測も行っている。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。日向灘ではほぼ同じ領域で繰り返し浅部スロー地震活動があることを明らかにし、南西諸島海溝北部～中部域にかけて活動頻度の違いとその特徴を明らかにした。また、山下は伊藤准教授とともにニュージーランドやメキシコにおいて発生する浅部スロー地震についても、同様に海底観測研究も行っている。

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ichi」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ichi 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、2014 年 10 月 22 日の長野県北部の地震、2015 年 4 月 25 日のネパール地震、2016 年 2 月 6 日の台湾美濃地震、4 月 14 日からの熊本地震、8 月 24 日のイタリア・アマトリーチェ地震、10 月 21 日の鳥取県中部地震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。台湾美濃地震については、現地へ赴き、台湾国立成功大学の協力の下、被害と地盤変動の関連について調査した。

平行して、SAR 時系列を京阪神地域および中央構造線断層帯を含む大阪南部～和歌山北部地域に適用し、現地の地盤変動の様相と活断層の分布との関係を示した。

[<http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/activity/215/SAR.pdf>]

2015 年より、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ている。これまでに、SAR デー

タの解析から、特異な変動が生じていたことを明らかにした。合わせて、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、2011 年 7 月から 2015 年 7 月まで国際測地学協会第 3 部会（地球回転・動力学）の地殻変動に関する小委員会委員長をつとめた。この間、同委員会の企画により 2014 年 7 月に開催された「地震と自然災害のための測地学国際シンポジウム」において、実行委員長を務めた。なお、2015 年 8 月からは第 3 部会長を務めている。

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。2013 年度～2015 年度には、鷺谷名古屋大教授を中心とする共同研究に参画し、測地学データを取り込んだ地震発生長期評価手法の検討とともに、地震長期評価に関する情報の社会的影響に関する議論を [https://kaken.nii.ac.jp/ja/file/KAKENHI-PROJECT-25282111/25282111seika.pdf]。橋本は、2017 年 3 月から、京都大学グローバル生存学清水助教と共同で、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ている。

[https://digital.asahi.com/articles/DA3S13080272.html]

(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 27 年 10 月～)

(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を提案していた。山陰地方の地震帯の直下の下部地殻において、地震波速度の低速度異常域が系統的に見出された。また、地震メカニズム解の解析から、島根県東部から鳥取県西部にかけての詳細な応力場を求め、Weak zone の変形による応力集中と解釈できる応力場の回転が推定された。山陰地方の地震帯では、鳥取大学の塩崎一郎氏らにより詳細な比抵抗構造が推定されているが、地震波速度構造および応力場は、低比抵抗域と調和的であることが分かった。熊本地震に関して、M6.5、M6.4 の地震に伴う地震活動が特異であり、本震の深部延長の活動で説明出来る可能性を指摘した。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網を設置し、沈み込むプレートから活断層の直下へつながる V_p/V_s の大きな領域を見出しつつある。

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。下部地殻内の「やわらかい」領域が断層の走向方向に連続せず、ある狭い領域に限定される場合は、「やわらかい」領域の変形による直上の断層への応力集中は限られた領域にしか起こらず、断層全体に十分な応力集中が発生していないため、地震が起こった場合でも局所的な小さな地震になる可能性を示していた。実際に、近年発生した内陸地震はお椀型の余震の深さ分布を示すものが多く、この仮説で説明可能であった。しかしながら、新潟・神戸歪集中帯で発生した 2004 年新潟県中越地震については、下部地殻内に顕著な Weak zone が歪集中帯のトレンドに沿って続いていると考えられるため、上記の仮説では説明が難しかったが、断層両端に応力緩和している領域があると仮定することに

よっても、お椀型の余震の深さ分布は説明可能である。島根・鳥取地域において、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、北端の低速度域の近傍では、応力場が特異であり、応力緩和に関係している可能性が示唆された。

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、沈み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、S波の反射面を形成して、活断層深部へ上昇したと考えられる知見を得た（Aoki et al., 2016）。花折断層の直下の下部地殻内にも反射強度の小さい領域が見出されたが、そこは深部低周波地震が起こっており、微小地震の震源分布が局所的に深くなっているところでもあった。マントルから上昇した高い圧力の水により、断層の強度が低下している可能性を指摘した。

④ 熊本地震のすべり分布の推定（深畑幸俊）

2016年4月14日の前震（MJMA=6.5）に続き、同4月16日に熊本地震の本震（MJMA=7.3）が発生した。熊本地震のすべり分布を求めるため、InSARデータをインバージョン解析した（Fukahata and Hashimoto, 2016）。InSARデータとしては、異なる方向から震源域全体をカバーするように、path135とpath124を用いた。共に北行軌道であるが、前者は衛星進行方向の右側を後者は左側を向いて観測している。path135は2015年2月9日と2016年4月18日に撮影されたペアを、path124は2016年1月26日と2016年4月20日に撮影されたペアを用いた。本震だけでなく前震等の変動も含んでいる。

インバージョン手法としては、Fukahata & Wright (2008) のABICに基づく弱非線形インバージョン解析法を2断層の場合に拡張して用いた。この手法のポイントは、インバージョン解析に先立って高い精度で与えるのが難しい断層傾斜角をスムージングの強さと同様に超パラメータとみなし、ABIC最小の規準で最適値を求めるというものである。断層は平面と仮定し、断層の走向は布田川断層 232° ・日奈久断層 203° 、断層の長さは布田川断層40 km・日奈久断層20 kmで深さは共に16 kmとした。

解析の結果、最適な断層傾斜角は、布田川断層 61°

$\pm 6^{\circ}$ ・日奈久断層 $74^{\circ} \pm 12^{\circ}$ と求まった。両者の依存性は弱く、今回のケースでは別々に最適な傾斜角を求めて差し支えないことが分かった。布田川断層の最大すべり量は5m以上に達した。横ずれ成分が主だが、西原村の東経 130.9° を中心に3mに達する正断層成分も推定された。日奈久断層との交差部よりも西側ではすべりが大きく減少する一方、阿蘇のカルデラ西縁以東には顕著なすべりが推定された。日奈久断層の最大すべり量は約2.5mで、ほぼ純粋な横ずれ運動である。また、地震モーメントの総量は 4.4×10^{19} Nm、日奈久断層の寄与はその約20%であることが分かった。

⑤ プレート間相互作用による島弧地殻の変形の理論的考察（深畑幸俊）

粘弾性の応答関数を用いて、海洋プレートの沈み込みに伴う島弧の変形運動について考察し、新たな知見を得た。これまで、断層面をはさむ変位の食い違いベクトルの大きさや向きが空間的に変化することが断層運動に伴う変形の本質的原因であると考えてきた。しかし、非現実的な例ではあるが、円形の断層面が深部まで続いている場合、その円形の断層に沿うような大きさの変位の食い違いは、断層内部の円柱とその周囲との間に相対的回転運動を引き起こすものの、変形は生じない。要するに、曲率それ自体ではなく、曲率の空間変化が断層運動に伴う変形の本質的原因であることが分かった。簡単のため、沈み込み帯のプレート境界面形状としてリソスフェア内で曲率一定の面を考えると、前述のとおり、曲率一定の面に沿う変位の食い違いは、断層面をはさむ双方のブロックに直接的な変形は引き起こさずに回転運動のみを生じさせる。しかし、沈み込み帯では、回転運動に伴う垂直変位が重力平衡状態を乱すので、重力による二次的な変形が生じることになる。例えば、右上から左下に沈み込むスラブを考えると、重力がない場合、プレート境界に沿う変位の食い違いにより、スラブを含む海洋プレートは時計と反対回りに、陸側プレートは時計回りに、全体的に回転することとなる。重力により両ブロックとも遠方では垂直変位がゼロの状態に戻されるため、プレート境界近傍では共に上に凸のたわみ変形を生じることとなる。この上に凸のたわみ変形が、まさに島弧-

海溝-外縁隆起帯という地形的な凹凸の起源であり、このような変形が生じる物理メカニズムを明らかにすることに成功した(Fukahata & Matsu'ura, 2016).

(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, 加納靖之

(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ーとデータ収録装置を各観測室に設置し, センサー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

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. 例えば, 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, 震源域の不均質構造と地震活動特性の関係を明らかにした. 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, より深部まで含めた散乱構造の時間変化と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

日本およびニュージーランドで実施された海底圧力観測記録のデータベース化の準備を行った。具体的には、Linux を OS とするデータ収録サーバを準備し、HTML を用いた観測記録閲覧用システムの構築を行なった。データベースには、日本周辺およびニュージーランドで実施された自己浮上式の海底観測システムにより得られた海底地震計および圧力計の記録が含まれる予定である。今後は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効率的な抽出に向けたシステムの開発を目指す。

(1) 地殻活動研究領域

(2) 教授 澁谷拓郎, 准教授 野田博之(平成 28 年 4 月 1 日採用), 助教 徐 培亮, 高田陽一郎(上宝)(平成 27 年 3 月 31 日転出)

(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、島弧の地殻とマントルの境界であるモホ面がフィリピン海スラブの上方で南東向きにせり上がっていることを新たに発見した。このようなモホ面形状により紀伊半島南部の深さ 20 km 付近に見られる「中間層の地震」の発生を説明できるモデルを提唱した。本結果は日本地球惑星科学連合 2014 大会で発表した。

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 次元的形状を組み込み、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。フィリピン海スラブの海洋地殻は深部低周波地震の発生域を中心として低速度異常かつ高 V_p/V_s 比を示し、流体の存在が裏付けられた。また、地震活動が活発な和歌山県北部の下部地殻に非常に大きな低速度異常域が存在することが分かった。これも流体が関係する低速度異常と考えられる。下部地殻から供給される流体が、上部地殻においてクラック中の間隙水圧を上昇させ、有効法線応力が減少するので、地震が発生しやすくなるというモデルが考えられる。この結果は日本地球惑星科学連合 2016 大会等で発表した。

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。これらの観測点では、地震観測装置がほぼ順調に稼働していて、良好な地震波形データが蓄積されている。

南九州では、リニアアレイ観測を継続し、新たに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-阿久根測線と宮崎-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、マントルウェッジ部分では大陸モホ面が不明瞭であり、そこではマントルが下部地殻に比べて低速度であることが分かった。

この低速度は流体によるものと考えられ、プレート境界面のこの部分は強く固着していないと考えられる。さらに、火山活動研究センターの桜島島内の観測点のデータも用いたレシーバ関数解析を行うことにより、桜島の直下では深さ 20~40 km に低速度域があり、モホ面が深くなっていることが分かった。この低速度域もマグマ等の流体による可能性があると考えられる。

②高圧三軸変形試験における試料の載荷状態を高精度で決定する手法の研究（野田博之）

高温高圧三軸変形実験は、深部岩石の変形時の挙動を研究する上で基本的な手法である。現在日本に存在するガス圧式高温高圧三軸変形実験の多くは、圧力容器内部で載荷ピストンが試料と分離しておらず、ピストン・圧力容器間の摩擦摺動部における抵抗のため、内部荷重計を用いても軸荷重の絶対値の高精度での推定が困難であった。野田らは、内部荷重計からの出力に加えて圧力容器外部での荷重を合わせて測定し、実験における適切なステージ（載荷前、載荷後、等）における出力をうまく差し引きする事により、摩擦摺動部での抵抗をキャンセルできる事を見出した。この事により、これまで強度の高精度な測定が困難であった高温や高流体圧状態にある弱い試料に対する力学実験の可能性が広がった。本成果は原著論文（英文）として、地質学雑誌に掲載された。

③ JFAST コアサンプルの物性を用いた地震サイクル挙動に関する研究（野田博之）

2011 年の東北地方太平洋沖地震直後に、沈み込み境界断層における温度測定、試料収集等を目的とし、海洋掘削プロジェクトが実施された。野田らは、共同研究者がコアサンプルに対して実測した摩擦物性および既に報告されている実測された水理特性を用い、動的な地震サイクルシミュレーションを行った。実測された各種物性を採用してもなお、地下深くの間隙流体圧など拘束が困難なパラメータが存在する。これらに関してパラメータスタディする事により、観測から推定されている日本海溝沈み込み帯境界断層の挙動（巨大地震時の浅部の滑り量 50 m, 巨大地震の再来周期 500~800 年, 巨大地震時の浅部の摩擦発熱量 19-51 MJm⁻², 長期的な摩擦発熱に相当

する有効摩擦係数 0.025) の全てに合致するモデルを作成できる事を示した。

摩擦構成則モデルは、比較的狭い実験条件についてよく成り立つが、広い実験条件（温度範囲、滑り速度のオーダー）について摩擦実験を行うと、構成則中の「パラメータ」が実験条件に依存する事がしばしばである。JFAST コアサンプルに関しては、トレンチ付近の低温条件下では滑り速度の上昇に伴い速度依存性が負から正へ、100°C 程度以上の温度では正から負へ変化する。このような複雑な物性を、既存の摩擦則を一般化する事で表現する事に成功した。特にトレンチ付近における速度依存性の変化により、局所的に発生した摩擦不安定が 0.1 m/s オーダーの高速滑りに加速する事が抑制され、長さスケール 30 km 足らず、継続時間数 10 s, ストレスドロップ 1 MPa 以下の中途半端なイベントが発生する。このような挙動が実測された物性値から導き出された点は興味深く、いわゆる津波地震の発生機構に関して示唆を与える可能性がある。本研究は海外招待講演を含む学会において発表し、原著論文は 2016 年度内に投稿、2017 年度に Philos. Trans. A に受理・出版された。

④ 地殻変動データの解析手法の理論的研究（徐培亮）

徐は、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、GPS 精密単独測位により地震波形を mm レベルの精度で計る手法を開発し、2011 年東北地方太平洋沖地震に適用した。また、宇宙測地学における新しい衛星重力数理論を提案した。

⑤ 合成開口レーダーを用いた地殻活動の研究（高田陽一郎）

東北地方太平洋沖地震に伴い東北地方の火山（吾妻、蔵王、栗駒山周辺、秋田駒ヶ岳周辺、那須など）に局所的な沈降が引き起こされた。高田らは、ALOS/PALSAR のデータを用いて InSAR 解析を行い、この局所的な沈降を検出した。沈降量は最大約 15cm, 概ね数 cm 程度であった。吾妻山での地震時応力変化を計算した結果、地表付近で約 1.4MPa の東西引張応力変化が引き起こされたことが分かった。楕円体の内部に周囲に比べてヤング率が低い媒質が入っていると仮定して、有限要素法を用いて数値計算を

行い、三軸不等楕円体で、その長軸が地震に伴う引張応力変化の軸と直交する方向に長く伸びている場合に、沈降を説明できることを明らかにした。また、この方向に無限に長く伸びた場合として二次元問題を解き、より定量的な理解を得た。本結果は、J. Disas. Res.に掲載された。

(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、大地震発生地や、定常観測網で異常が認められた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。構造探査、特定地域を対象とした臨時観測を、他大学との連携の上で実施する。これらの機動的な臨時観測により、定常観測網では得ることができない高精度高解像度の観測・解析を行う。

平成 26～28 年度の主な研究は以下の通りである。

①熊本地震合同余震観測：平成 28 年 4 月 14 日熊本地震の前震 (M6.5) の発生を受けて、翌 15 日に緊急余震観測に向け出発し震源域近くで宿泊していたところ、4 月 16 日未明に本震 (M7.3) が発生した。宇治の地震予知研究センターおよび他大学の観測班ともメール等にて緊密に連携しながら、合同で余震観測網を展開することになった。既存の防災科研、気象庁、九州大学の観測点と重複しないように調整しつつ、天草から八代、水俣にかけて震源域を取り囲む地域に、オフライン観測点 5 点を設置した。これらは同年末まで観測を継続し、合同観測に参加する他機関のデータとともに解析され、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。

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 18 キロ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回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るべく、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、スロー地震発生日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ング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：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

(3) 研究対象と研究対象

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地震や地震波の通過によって引き起こされる地震や微動の誘発現象の研究（宮澤理稔）

2011 年東北地方太平洋沖地震の 4 日後に、富士山近傍で Mj6.4 の内陸地震が誘発された。この過程を、東北沖地震や地球潮汐による応力変化の推定、前震活動の検出などを通じて多角的に調べた。この結果、東北沖地震に伴い、誘発される側の地震の断層強度が大きく弱化した地震発生に至ったと考えられる。

2014 年ケルマディック諸島で発生した M6 後半の一連の地震活動による地震波が通過中に、北に約 9,000 km 離れたアリューシャン列島で M7.9 の稍深発地震が発生した。地震活動に関する統合統計モデルを新たに提案し、動的誘発作用が働いた可能性を

調べた。地震波の通過による繰り返し疲労が、断層強度を弱め地震を誘発した可能性が考えられる。

2016 年熊本地震の本震発生の約 30 秒後に、北東に約 80 km 離れた大分でも M6 程度の規模の地震が発生し被害をもたらした。地震波動場を数値実験により再現することで、約 0.7 MPa もの応力変化が働いて、大分で地震を誘発していたことが分かった。

②ノイズ解析手法を応用した構造調査（宮澤理稔）

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、地下構造の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設置された地震計アレイで、坑道直上を断層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た。

③レーザー歪計の開発と運用実験（森井互）

従来の固体基準尺式歪計には、短周期地震動に対する応答性・長期間にわたる感度特性の安定性・分解能の上限等により問題があり、これらの弱点を克服するために、量子標準と高真空光路の長基線を備えたレーザー歪計の運用実験を東京大学の宇宙線研究所及び地震研究所と共同で行っている。基線長 100 メートルのレーザー歪計は 2006 年に本格運用を開始して現在に至っている。また重力波望遠鏡 KAGRA の基線長変化を監視する目的で、基線長 1500 メートルの装置の構築を 2015 年 9 月に開始し、2016 年 10 月に観測を開始した。固体基準尺式歪計では困難であった、近地有感地震の波形と歪ステップの記録や、10 の-11 乗未満の地球自由振動の記録に成功している。

(1) 地球物性研究領域

(2) 客員教授 平成 26 年度 木下 正高 (海洋研究開発機構)、平成 27～28 年度 吉岡 祥一 (神戸大学自然科学系先端融合研究環都市安全研究センター)

(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い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を行った。平成 26 年度には南海トラフにおける断層掘削プロジェクトの成果やメタンハイドレートに関する講義等を行った。平成 27-28 年度には、西南日本の温度構造やマントル対流・滞留スラブなどの数値シミュレーションに関する講義等を行った。

⑥日奈久断層帯周辺で観測される非火山性微動(宮崎真大)

プレート境界の周辺では、スロー地震と呼ばれる通常の地震とは異なる時定数を持ったタイプの地震群が発見されている。非火山性微動は、スロー地震に区分される地震の 1 つであり、遠地地震の表面波の到来時に同期して発生する場合があることが明らかになっていた。一方、同様の現象が内陸の活断層帯周辺や火山の周辺でも発見されており、Miyazaki et al. (2015)では日奈久断層帯周辺で行っていた臨時観測点のデータを用い解析を行った。その結果、非火山性微動の震源域は地震発生層よりも深い場所に求められることや、誤差が大きいものの広域応力場に沿った断層面を持つ可能性を指摘した。

(1) 上宝観測所

(2) 観測所長 准教授 大見士朗

助教 高田陽一郎(平成 27 年 3 月まで)、宮崎真大(平成 27 年 10 月より宇治勤務)

協力教員 教授 飯尾能久、准教授 野田博之(平成 28 年 4 月～)、助教 森井互、助教 加納靖之、助教 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、地震観測による地震活動調査および、全磁力の観測による地磁気変化であり、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共に、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。また、焼岳火山の観測では、神通砂防事務所の観測

点におけるデータを統合処理している。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。これらは温度、気圧、降雨などの影響を受けるので、同時に気象要素の観測も実施されている。また、地殻変動総合観測線として、宮川、西天生、宝立、立山などの観測点でも連続観測が実施されている。さらに、GPS 観測が実施されるようになり、連続観測が実施され、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・解析している。

最近ではこの多数の観測点による観測網によって、跡津川断層を始め、中部地方北部の地震活動が詳細に解析され、応力場なども解明されつつある。跡津川断層では、さらに稠密な臨時観測網が設置され、地震分布、特に深さの分布が精度良く求められ、クリーブ運動との関連が議論されている。また、低周波地震、S 波のスプリティング、Q 値の時間変化、b 値の統計的解析などの研究も実施されている。さらに、広帯域地震計も設置されており、この記録の波形も利用され、低周波地震等の研究が行われている。

③ 焼岳火山の地殻活動の研究

飛驒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。このような観点から、国交省神通川水系砂防事務所による焼岳の地震計のデータを観測所に分岐・収録・解析しているほか、平成 22 年度からは焼岳・上高地を中心とする中部山岳国立公園地域で 7 点の臨時地震観測を実施中で、詳細な地殻活動を明らかにしつつある。

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が発生を受け、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あらたに 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。

④ 全磁力連続観測による地磁気変化の研究

プロトン磁力計を用いた地磁気全磁力の連続観測を、西天生、宝立の 2 観測点で実施している。これらの観測点はノイズが少ない地点を選んで設置されており、全磁力観測の良好な観測点となっており、長期間データを提供している。この全磁力値データは、地震予知研究センターの鳥取、鯖江、天瀬、峰山、北淡町で観測されている全磁力連続観測のデータと合わせて、日本全体の地磁気標準変化モデル(JGRF)の作成のための基礎データとして地球電磁気研究者に活用されている。

⑤ 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)から平成 20 年 (2008) 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、「飛驒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、飛驒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。

(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、④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、根尾谷断層系につな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、等を調べてきた。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。

④ 北陸地方に根ざした活動・交流・情報発信

北陸・中部地方の複数大学や高専と年 2 回の北陸地震研究会を開催してきた。また、地元の小学校で地震についての特別授業を行うとともに、小・中・高等学校や防災関係機関および一般からの観測所施設見学の依頼に対応している。鯖江市の行政連絡協議会にも出席して地震活動の情報提供や解説なども行ってきた。

(1) 逢坂山観測所

(2) 観測所長 教授 飯尾能久、

担当教員 助教 森井 互、

協力教員 准教授 片尾浩、助教 加納靖之

(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。

① 歪の年周変化量の減少を検知（森井）

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 年の終わりの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。この事実に基づいて近畿地方の他の観測所の歪記録を見直した結果、同様

に年周変化の振幅が減少していることが判明した。近畿地方から離れた蔵柱観測室（岐阜県高山市）では同様の変化が見られないことから、近畿地方のローカルな現象と推察される。この現象が何を意味するものであるかは今のところ不明である。

(1) 阿武山観測所

(2) 観測所長 教授 飯尾能久

技術職員 米田 格（平成 28 年 3 月まで）、富阪和秀（平成 28 年 4 月着任）

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、万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を行い、下記のような重要な成果を得た。モホ面の形状に関しては、微小地震の集中している北摂丹波地域では非常にフラットであるが、その南側および東側に向かって浅くなっていることが見出された。反射法解析により、従来は反射波の走時解析から推定されていた S 波の反射

面について、客観的かつ詳細な空間分布のイメージングに成功した。推定された反射面は北落ちで、その北端付近に、深部低周波地震の発生域が存在することが分かった。このことは、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を示唆している。花折断層の直下の下部地殻内にも反射強度の大きい領域が見出されたが、マントルから上昇した高い圧力の水により、断層の強度が低下している可能性が指摘された。

② 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も行うなど、専門家と非専門家の間の存在として、その活動を広げてきた。今回さらに、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、鳥取県西部地域で行われた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するようになった。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うようになった訳である。

(1) 屯鶴峯観測所

(2) 観測所長 教授 飯尾能久,
担当教員 助教 森井互

(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歪み計の開発を行った。また、稠密地震観測網の展開に参画した。

① 短スパン伸縮計の開発 (加納靖之)

既に開発した簡易型伸縮計の問題点を踏まえて、新たに短スパン伸縮計の開発を行った。開発の段階では、屯鶴峯観測所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開始した。

(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处理等に利用されている。

② 石井観測所の整備: 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所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カ所の衛星観測所とともに、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。

この他、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

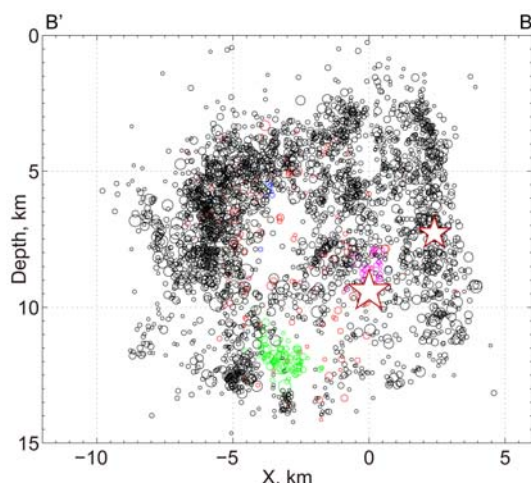
(3) 研究対象と研究概要

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。対象地域内に8点の定常地震観測点を維持し、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。最近の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）

鳥取県中部では、2016年（平成28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、1983年10月31日にもM6.2の地震が発生している。

これらの地震と2016年の本震、前震、余震の時空間的関係を調べるために、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った。



第1図 2016年鳥取県中部の地震の余震分布に沿う断面での地震の深さ分布。大きい星は本震、小さい星は最大余震を表す。マゼンタの○は2時間前の前震活動、緑の○は約1か月前の地震活動である。

その結果、1983年の地震は南東側の深い部分から北西側の浅い部分に向かって破壊し、2015年の活動は、1983年の破壊の終端部分で発生したことが分かった。2016年の8月から9月にかけても2015年の活動域の近傍で小規模の地震活動が発生している。ところが、2016年の本震発生の約1か月前に、それまでの活動域である1983年の余震域から西南西に約5km離れた場所に地震活動が移り、2時間前の小規模な前震活動の後、M6.6の本震が発生した。余震分布は、第1図に示すように1辺が10km程度のひし形をしている。本震の破壊は、余震域の中央に近い前震活動の近傍で開始し、46分後、余震域の南東端でM5.0の最大余震が発生した。この結果は地震予知連絡会で報告した。

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、大屋、氷上、三日月において、観測システムの故障の対応を行った。

安富坑道内で伸縮・傾斜の観測を継続実施している。2000年5月から、約20km西北の山崎町大沢地区に設置された防災科技研の広帯域地震観測施設坑道内で、伸縮計3方向4成分の観測を実施している。同じ山崎断層系にあって、断層帯域内と強固な岩盤の変動を比較する目的である。

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。

(1) 宮崎観測所

(2) 観測所長 教授 澁谷拓郎, 担当教員 助教 寺石眞弘, 助教 山崎健一, 助教 山下裕亮（平成27年度～）、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（平成27年度～）、助教 森井亘

(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。具体的に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の発生が見られるが、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）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 27～32 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。長期ひずみ速度変化のひとつは平成 8 年に日向灘で連続して発生した 2 個の地震(M6.9, M6.7) に約 1 年先行しており、地震発生と長期地殻変動の関連を示唆している可能性がある。また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。霧島火山群の新燃岳の平成 23 年 1 月 26 日から 27 日の噴火に際しては、伊佐観測点において、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、槇峰観測点では、良質なデータが得られなくなったため平成 25 年に観測を終了しており、平成 28 年に撤収した。

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す、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 か所における 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 年度より宮崎県全域を対象に観測点を新設し、観測網の再構築を行った。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。本稿執筆時点では観測開始から間もない状況であるが、従来の観測網では不明瞭であった東西方向の短縮変動が宮崎県南部でも観測され、この地域の変位場が明らかになりつつある。今後、データの蓄積により、日向灘におけるプレート間カップリングやスロー地震の発生履歴が明らかになることが期待される。

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

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、現在は宮崎観測所および宿毛観測点のみで継続している。この 2 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。一方、平成 22 年度以降、南九州の地下構造を明らかにすることを目的として臨時地震観測を順次実施している。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が推定されつつある。

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、2016年熊本地震震源の広がり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記録は、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、非磁性磁力計固定具を開発した、これは海外でも利用された。

⑥2016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)

平成28年(2016年)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。臨時地震観測の取り纏めを行っていた九州大学地震火山観測研究センター(長崎県島原市)において約1週間の後方支援活動を行ったほか、熊本市・菊池市・阿蘇市での臨時地震観測点の設置、阿蘇市・産山村での臨時GNSS観測点の設置を行った。また、理学研究科附属の火山研究所の被災に際し、物資の輸送など研究活動継続を支援した。

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27年度より、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、広帯域海底地震・測地観測を実施してきたが、平成28年度からは新たに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、観測を継続中である。観測実施に際し、宮崎県内マスコミへのプレスリリース発表を行い、マスコミを通じて日向灘での地震活動やスロー地震についての啓蒙活動および宮崎観測所の広報活動も行った。陸上からの監視体制を強化するため、2005年に終了していた串間観測点における高感度地震観測を再開した。串間観測点ではS/N比の高いデータが取得されており、日向灘で発生する浅部低周波微動が記録される数少ない観測点である事が分かった。宮崎観測点においては、坑道内に他機関と共同で広帯域地震計を設置し、屋上にはGNSS観測点を新設した。これら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。海底・陸上の両地震観測データからスロー地震を解析することで、日向灘浅部スロー地震の活動特性が明らかになると期待される。

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は、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、他大学の研究者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いる。これまでの成果として、日向灘で観測される浅部スロー地震が奄美大島東方の沖合でも観測されており、通常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宮崎地方気象台との情報交換会の実施(山下裕亮, 寺石眞弘, 山崎健一, 小松信太郎, 澁谷拓郎)

平成27年度より、宮崎地方気象台の台長および地

震・火山関係の職員らとの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。平成 27 年度と 28 年度は、宮崎地方気象台の活力研修において、講演講師の依頼を受け、日向灘や 2016 年熊本地震に関する最近の研究動向などについて講演を行った。

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及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。当センターでは、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。

一方、2014年に34年ぶりに噴火が発生した口永良部島では、2015年にさらに規模の大きい噴火が発生し、噴火警戒レベルが5に引き上げられ、全島避難が行われた。また、2015年8月の桜島における群発地震活動でも噴火警戒レベルが4に引き上げられ一部の集落では避難する事態となった。戦後最悪の死者数を記録した2014年御嶽山噴火に引き続き、住民の避難までも必要となった噴火が発生したことは、火山活動の理解に関する研究を災害軽減に発展させる研究の必要性を意味する。

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。これらの研究は単一の火山噴火予知研究領域のみからなる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。

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

(3) 研究活動

上記の研究課題は災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画や防災研究所の共同利用に係る共同研究、SATREPS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などにより推進されてきた。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年以降爆発回数が急増している桜島東山腹の昭和火口の噴火活動について、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統合的な研究を行い、マグマの貫入率の増加に同期する噴出率の増加という開口型火道における噴火活動の特性を明らかにした。また、2015年の群発地震活動は、地盤変動の特性から火口割れ目に沿ったダイク型マグマ貫入であることを示した。2014年の口永良部島火山の噴火に先行する長期的噴火の準備過程を明らかにするとともに、2015年噴火の前には、より強く、段階的に進行する前駆過程を捉え

た。

1914年の桜島大正噴火から100年が経過した現在、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た。大規模噴火に先行する多量のマグマの桜島への貫入を早期に捉えるべく、桜島北東部に観測坑道を設置した。

噴火に伴う地盤変動及び地震動から経験的に火山灰量を即時的に見積もるための経験式を考案した。また、Xバンドレーダーやライダーなどのリモートセンシング観測を駆使し、火山灰量の把握のための研究に着手した。火山観測に基づき、噴出量を噴火発生前に予測、あるいは即時的に評価し、シミュレーションと組み合わせることにより、火砕流の到達範囲や火山灰の拡散範囲を予測することが可能となった。

大量の降灰はインフラやライフラインの寸断など都市機能をマヒさせる可能性があるだけでなく、避難の途中において大量の降灰があれば、避難が続けられなくなる可能性がある。そこで、桜島を対象に噴火前に避難を終える事前広域避難について検討した。また、大規模噴火避難に関して住民の意向をアンケート調査したうえで、避難シミュレーションを行い、有効な避難施策を検討した。

(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(3.1.12 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で異常発現の際には、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。

大隅河川国道事務所が桜島にあらたに設置した観測坑道における機器設置と防災研究所所有の観測坑道のデータと併合した噴火予知精度の向上に関する研究を受託し、砂防従事者の安全確保の活動に参画するとともに火山活動評価のために、観測データを自治体、気象庁、火山噴火予知連絡会に提出している。

平成5年からインドネシアの火山及び地質災害軽減局との共同研究を継続しているが、平成26～28年は平成25年度に採択されたSATREPSの研究課題を実施している(3.2.7(1)参照)。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を立ち上げ、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ている。

桜島は噴火活動が活発であり、当センターの観測体制が整っていることから海外からの共同研究の申し出が多い。平成26～28年度は、イギリス、ドイツ、イタリア、米国などの研究者と共同観測を実施した。

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、堤大三(併任)

助教 味喜大介、山本圭吾、為栗 健

宮田秀介(併任)

非常勤講師 清水 厚(平成26～28年度)

○ 研究対象と研究概要

① 研究対象

主な火山は、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、スメル、シナブン山等である。

② 研究概要

(1) 火山活動の推移に関する研究

目的・方法：桜島や口永良部島などの活動的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 年以降ブルカノ式噴火が多発する桜島の昭和火口において、マグマの貫入期に同期して噴火活動も活発化した。これは、開口しているマグマ供給系の特性といえる。桜島のマグマ供給系を記述する圧力源として、これまでに知られている始良カルデラの下の深さ 10km の圧力源と南岳下の圧力源に加え、古い山体である北岳下の深さ数 km の圧力源がマグマ貫入期に活動的であることがわかった。いずれも等方的な微小圧力源としてモデル化できた。一方、2015 年 8 月の群発地震と急激な地盤変動を伴った活動は、地盤変動の特性から火口割れ目に沿ったダイク型マグマ貫入であることがわかった。

口永良部島では、2014 年に 34 年ぶりに新岳火口において噴火が発生した。1999 年以降、火山性地震活動が活発化し、その後、地熱活動の活発化、噴気量の増大という過程を経て、噴火が発生した。噴火発生前の 3 年間に劇的な火山性地震の増加はないが、噴火発生直前の 1 時間に急速な傾斜変化を検知できた。2015 年噴火では、火山性ガスの急増、地盤の膨張、地熱活動の活発化、有感地震の発生という明瞭な前兆現象が段階的に進行した。

(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：桜島の昭和火口において発生するブルカノ式噴火の約 90%について、直前に火山体の膨張が検出される。先行膨張時間は平均 40 分程度であり、

膨張時間の頻度は対数正規分布を示す。噴火により放出される火山灰量に比例する収縮ひずみ量は先行する膨張ひずみ量と正の相関があり、噴火規模を確率的に予測することが可能である。火砕流を伴う噴火の場合、膨張ひずみ量が大きく、時間とともに火山性地震の発生数を増加させながら減速する傾向が認められた。

(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、桜島及び始良カルデラ周辺の地盤変動の観測の多点化と高精度化を行い地下構造の調査により大規模噴火ポテンシャルを評価する。

成果概要：始良カルデラにおけるマグマの蓄積を熱による粘弾性効果や地殻の 3 次元構造を考慮して圧力源をモデル化し、マグマ溜まりの大きさと位置、および始良カルデラへのマグマ供給率を再検討した。得られたマグマ供給率は従来得られたものより 5 割程度大きい。大規模噴火の再来は、今後 20-30 年であるという結論は変わらない。また、桜島北東部に新観測坑道を設置し、傾斜及びひずみ観測を開始した。

(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。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た火山灰噴出率をリアルタイムで把握する手法とそれに基づくシミュレーション技術を開発する。

成果概要：噴煙高度 2,000m 以上の昭和火口のブルカノ式噴火ではレーダーにより噴煙を検知することができた。ライダーは希薄火山灰の検知に適しており、偏光解消度は火山灰と水滴の分離を可能とする。火山噴煙は GNSS からの電波の伝播遅延等を引き起こすので、GNSS 観測も大規模噴火により噴出された火山灰検知への活用が見込まれる。また、地震動及び地盤変動から見積もられる火山灰噴出率に基づき、移流拡散モデルから火山灰量を予測する手法を開発した。一方、高精度の火山灰予測のためには、

火山近傍の風の場の再現が極めて重要であるので、メソ気象モデルを使って、火山地形効果を評価した。

(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：桜島を対象に噴火前に避難を終える事前広域避難について検討した。また，大規模噴火避難に関して住民の意向をアンケート調査したうえで，避難シミュレーションを行い，有効な避難施策を検討した。

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、例えば岩石の風化、重力による山体の変形、崩壊、侵食、運搬、堆積について研究を進めている。研究は、野外での地質・地形調査研

究に最大の重点を置き、また、航空レーザ計測から得られる詳細 DEM の GIS 解析、宇宙線生成核種を用いた年代測定および削剥速度決定、降雨浸透観測、室内での鉱物や地下水の化学分析などにより、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、地表面侵食などの斜面における土砂移動現象は、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、2014 年広島豪雨災害、2015 年ネパールゴルカ地震、2016 年熊本地震の災害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。2015 ネパールゴルカ地震による斜面崩壊災害に対しては、科学技術振興機構（JST）のプロジェクト研究 J-RAPID の研究を主導した。

(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発展させるべく、斜面災害研究センターとともに地盤研究グループの会議を月 1 回行い、適宜グループ内で情報を交換し共有してきた。また、国、自治体、学会、その他協議会などと連携し、研究成果を現実に直面している諸問題の解決策に盛り込むことで、国土の社会基盤整備や防災対策に貢献している。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举したとおりである。

8.7.2 研究分野の研究内容

I. 地盤防災解析

教授 井合進、准教授 飛田哲男、助教 上田恭平

① 地震時の地盤・構造物系の变形予測と合理的設計方法の確立（井合、飛田、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、むしろ連続体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。そのため特に構造物の变形予測手法を構築することを目的に、遠心力载荷装置を用いた再現実験、有効応力に基づく非線形有限要素法、土の室内試験、現地調査などの研究を行っている。

② 遠心力载荷装置を用いた地盤・構造物系の相互作用（井合、飛田、上田）

静的な水平力を受ける群杭基礎の挙動に関してはこれまでに多くの研究がなされているが、大地震時の飽和砂地盤における群杭基礎の挙動については未だ研究途上にある。従来は水平成層地盤での杭基礎を扱った研究が主体であったが、側方流動が生じる傾斜地盤中の杭基礎の地震時挙動を対象として、上部構造物に作用する過大な慣性力と杭体に作用する側方流動地盤からの水平荷重を考慮して、より複雑な挙動を対象としている。防災研究所現有の遠心力载荷装置による模型実験を通して、原位置における上部工の慣性力と、地盤の振動による杭―地盤―杭

間の相互作用を観察した。その際、拡張相似則を適用し、より実物に近い挙動を再現することを試みている。さらに、遠心模型実験の数値解析に関する国際共同研究なども行い、地震時の地盤・構造物系の被害程度の予測精度向上に寄与している。

③ 地震時の多様な地盤軟化機構の解明とその対策（井合、飛田、上田）

2011 年に発生した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。また、東北太平洋沿岸の港湾施設では、岸壁や護岸などの社会基盤施設にも液状化や津波による被害が生じ、その後の救援活動が遅れる原因にもなったとされる。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、地震動と津波外力による複合作用下での地盤挙動といった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、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。

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 山体の重力による变形、および深層崩壊に関する研究（千木良）

大規模な地すべりや崩壊の前段階としての重力による斜面の变形とそれが急激な動きに移り変わる現象を解明してきた。その結果、豪雨によって発生する深層崩壊と地震によって発生する深層崩壊とは、それぞれ特有の地質構造と重力斜面変形のもとに発生することが明らかになってきた。豪雨による深層崩壊は、2005 年の九州山地、2011 年の紀伊山地と、西南日本外帯の付加体で数多く発生した。これらの丹念な調査から、多くの深層崩壊は、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明らかになった。しかも、これらの衝上断層は、従来の数多くの研究でほとんど見出されていなかったものが多かった。将来の深層崩壊

発生場所評価のためには、地質構造自体も再評価が必要なことが示唆された。また、これらの深層崩壊は、事前に重力変形した斜面に発生しており、これらの重力変形の特徴と地質構造から深層崩壊発生場所を予測する見通しが得られた。

一方、地震による深層崩壊の既往事例を調査分析した結果、これらは、厚い破碎帯を伴わず、地層が座屈変形あるいは曲げトッピング変形を被った斜面に発生していることが明らかになった。深層崩壊は、2001 年から施行された土砂災害防止法の区域指定の対象外になっているため、国でも発生場所予測に取り掛かっており、本研究は、その方針作策定に有用であった。

② 変動帯における地形発達と斜面崩壊の発生場に関する研究（千木良，松四）

湿潤変動帯の代表とも言える日本と台湾の山岳地において、重力による斜面過程と流水による河川過程とをリンクして、地形発達史を編み、斜面崩壊の発生場を明らかにした。特に、日本の西南日本の外帯および台湾南部と北部の山地で、高標高部に古い残存地形があり、それを新しく河川が下刻し、谷中谷を作っていることを明らかにした。そして、谷中谷の側壁斜面－特に流れ盤斜面－において、斜面の変形が進み、地すべりや崩壊が集中して発生していることを明らかにした。特に 2015 年ネパールゴルカ地震によって発生した表層崩壊は、このような谷中谷に集中的に発生した。これらの知見は山地を広い範囲で危険度分類する考え方の基礎となり得、ネパールでは土地利用についての提言を行った。上記の地形発達史に、宇宙線生成核種を用いた地表面露出年代法による絶対年代を導入し、速度論的考察を可能にしつつある。

③ 岩石の風化メカニズム、風化帯構造および崩壊に関する研究（千木良）

岩石の風化は、崩壊発生の基本的な素因となるため、様々な岩石の風化について研究を進めている。特に、岩塊が次第に球状になる球状風化は、球体の転動による災害を頻発させてきた。柱状節理の発達した花崗斑岩や玄武岩には球状風化が典型的にみられるが、その原因が、岩石が初期的に持っている構造に起因していることを明らかにした。

2015 年の熊本地震によって多数発生した降下火砕物の崩壊性地すべりの発生場を詳細に調査し、これらのすべり面が特定の層準に形成されていること、そして、それは火砕物からハロイサイトが生成する過程に大きく支配されていることを見出した。これらの知見は、今後の降下火砕物の地震時崩壊発生場の予測に大きな貢献となった。

④ 表層崩壊発生場の予測（松四，千木良，齊藤）

表層崩壊発生場を予測するための物理モデルの作成にあたって、常に大きな問題となっていた表層崩壊予備物質の厚さを推定し、それに基づく斜面安定の概略評価方法を構築し、その検証を行った。まず、宇宙線生成核種を用いて日本列島の多様な気候環境下における花崗岩質岩盤の風化による土層の形成速度関数の決定を行った。また現地での土層試孔調査により、土壌匍行による斜面での土砂輸送係数を経験的に求めた。そしてこれらの土層形成速度関数と土砂輸送係数に基づき、谷頭凹地への土層の集積過程を GIS 上で計算できるアルゴリズムを構築した。これにより崩壊による土層の除去および、風化と土壌匍行による土層の回復過程を含めて、表層崩壊の繰り返しによる斜面の発達過程をモデル化し、小流域内での表層崩壊発生場を確率論的に論じることが可能となった。また、テフラの堆積地で発生する表層崩壊について、伊豆大島および阿蘇カルデラ周辺において現地での表層構造調査および水文観測を行い、水理的・力学的性質の異なる火山砕屑物あるいは二次堆積物が、斜面に準平行な成層構造を形成していることが決定的に重要であることを示した。さらに火山の噴火史を考慮して、斜面における表層崩壊予備物質の分布を計算し、表層崩壊発生場を推定する手法を考案した。

⑤ 長期的土砂生産速度の評価（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、千年スケールでの流域からの土砂生産速度を定量化する研究を行っている。これまでに北上山地、山形朝日山地、阿武隈山地、北・中央アルプス、周琵琶湖地域、六甲山地、山陽地方、屋久島

等の花崗岩山地において試料を採取し、分析を進めてきた。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、GIS 上で求めた流域斜面の平均傾斜角と非線型な対応もつことがわかった。すなわち、流域平均傾斜が約 30 度以上になると、急激に土砂生産量が増大する傾向があることが見出され、土砂生産における斜面崩壊現象の寄与率が地形に依存して変化していることが示唆された。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。また、流域の地形量と土砂生産速度の関係から、テクトニクスによる外部強制がもたらす削剥プロセスの遷移を含めた地形形成過程のモデル化を進めている。

⑥ 断層活動度の新しい評価法の開拓

内陸に位置する活断層は、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、活動度あるいは地震の再現周期を評価することが望まれる。しかし、年代既知の上載層や地形面を欠く場合には、その推定は困難であった。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、断層の活動度を定量的に評価できる手法を複数考案し、中国南部の紅河断層系、日本の根尾谷断層系などを対象に適用を試みた。今後、確度と精度の検証を進めてゆく予定である。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ることにより、より精緻な理解を達成しようとするものでもある。

⑦ ダイナミック地形学の開拓（松四）

山地における土砂災害を、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。これまでに山地における河川の下刻および流域の侵食について、隆起—侵食の平衡と、平衡の破れの考え方を基にモデリングを試みている。このような枠組みは、従来の静的な地形観ではなく、山地の地形を動的に捉え、その地形変化過程の中に山地災害の要因となる土砂移動現象を位置づけようとするものである。こうしたアプロー

チによって、山地災害の発生環境について、包括的な理解を進めることができる。例えば、西南日本外帯の山地を対象として、地形性降雨ならびに大規模なマスマーブメントの偏在性を、GIS を駆使した現地形の分析から復元した地形の発達史と関連付けて解釈した。また、日本の中部山岳地域やネパールヒマラヤにおいて、発生年代不詳であったマスマーブメントの痕跡地形について、地表面露出年代法を適用して万年スケールでの時間情報を付与し、地形発達におけるテクトニクスの変遷と気候変動の影響を考察したりするなど、これまでにない手法によって空間と時間の連結を試みている。これは外的・内的営力の時間変化が、空間的に伝播して地形を形成するというダイナミックな地形観を打ち立て、それに基づいて土砂災害につながる現象を予測するという、山地災害環境学の新たなパラダイムを作ろうとする試みでもある。

⑧土砂災害予測基本図（特許出願中）による斜面に存在する不安定土塊の位置の抽出特定とその不安定土塊のリアルタイムモニタリングシステムの開発と運用（齊藤）

これまでの研究成果である土砂災害予測手法を京都大学の知的財産として申請した結果、京都大学が知的財産の権利を承継する取り扱いとなり、その特許出願を平成 30 年 1 月におこなった。

この手法を用い、斜面に存在する土砂災害の端緒となる不安定土塊の位置を特定し、ハザードマップ作成の高度化を実施している。豪雨時の土砂災害発生の時刻予測は、現状ではきわめてむずかしいことから、前出の位置特定法で抽出された土砂災害の端緒となると考えられる不安定土塊の豪雨時あるいは地震時の挙動をリアルタイムでモニタリングする手法を開発している。たとえば、2016 年熊本地震後に生じた斜面の不安定土塊の危険度をリアルタイムでモニタリングするシステムを、熊本県南阿蘇村立野地区で運用中である。

Ⅲ. 傾斜地保全

教授 松浦純生、准教授 寺嶋智巳

① 季節積雪層が地すべりの変位特性に及ぼす影響（松浦）

豪雪地帯の地すべり変位量のデータを解析したところ、積雪期になると変位が大幅に低下する現象が見られた。この理由として、地面到達水量の減少と積雪量の増加が考えられる。実際の変位は、地表面到達水量から推定した予測値をはるかに下回っていたことから、変位量の減少は積雪荷重の影響によると考えられる。そこで、積雪荷重と地すべり変位量の関係を調べたところ、負の対数関係を示すことがわかった。また、極限平衡法を用いた理論解析を行ったところ、すべり面の平均傾斜角が内部摩擦角より小さい地すべりでは積雪载荷により有効応力が大きくなり安定性が増加することを明らかにした。さらに、実際の斜面で積雪期の安定性を評価するため、現場で採取したサンプルについて土壌試験を行い、得られたパラメータを用いて安定解析を行った。その結果、積雪荷重によって安全率が大きくなり、地すべり変位を減少させることを明らかにした。

②極端気象現象による積雪地帯の土砂災害発生機構の解明（松浦，寺嶋）

積雪地帯の山地斜面では、急激な気温上昇や強風などによって多量の雪が融け、地すべりなどの土砂災害などが発生する。しかし、強風による山地での融雪特性は未解明なことに加え、多量の融雪水が積雪層から斜面地盤内に浸透する過程などにも不明な点が多い。そこで、極端な気象現象の中でも特に強風によって地すべり災害が発生することに着目し、模型斜面や樹木模型を使った室内実験を行った。模型斜面での実験の結果、水平一様な雪面に対応する傾斜 0° で風速 2.5m/s までの場合は、従来のバルク係数を用いた融雪強度と同程度となった。しかし、それ以上に風速が大きくなると融雪強度は非線形的に増加する結果が得られた。一方、気温や風速が同じであれば、傾斜した積雪層別に融雪強度が大きく異なることはなかった。これは、同程度の速さの風はある程度の厚さで雪面上を吹走しているため、傾斜をつけて実験しても雪面と大気との熱交換はほとんど変わらないためと考えられる。樹木模型を使った実験では、植被率の変化が空気力学的粗度や融雪強度に大きな影響を与えることが明らかとなった。実験融雪強度とバルク法による推定融雪強度を比較した結果、推定融雪強度が過小となる傾向が見られ

た。このように、実験で得た空気力学的粗度をバルク法に適用しても実際に発生した融雪強度を十分に再現することはできなかった。したがって、樹冠上部から暖かい空気が模型林内に取り込まれ、鉛直下向きの風が卓越し雪面との熱交換が活発に行われ、融雪が促進された可能性があることがわかった。

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、災害発生の切迫度（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）に発足した。設立の目的は、「地すべりによる斜面災害から人命、財産や文化・自然遺産を守るために、地震・豪雨時の地すべり発生運動機構の解明、地球規模での斜面災害の監視システムの開発、地すべりのフィールドにおける現地調査・計測技術の開発及び斜面災害軽減のための教育・能力開発を実施する」ことにある。当センターは、わが国の大学に設置された唯一の斜面災害専門の研究ユニットである。世界的に見てもユニークな組織で、大学における斜面災害研究ユニットとしては、最も古く、かつ最大規模である。

「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及び国内外の斜面災害関連分野と協力しつつ、平成26、27、28年度は、様々な研究・企画調整課題に取り組んだ。具体的には、各研究分野毎に解説する。

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

の機関紙で学術雑誌でもある「Landslides」は平成 16 年より独・Springer Verlag 社で印刷、配本されているが、センター職員は雑誌立ち上げ期の編集、事務局作業を実質的に担っていた。ICL は、現在も当センターの一部（UNITWIN 本部棟）を「Landslides」の連絡先住所・電話番号として明示し、実質的な事務所として、継続的かつ独占的に使用している。

特筆すべきアウトリーチ活動として、平成 27 年度から京大ウィークス（京大全体の隔地施設公開行事）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。

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 福岡浩(平成 26 年 4 月、新潟大学教授に転出)、王功輝(平成 28 年 3 月着任)、助教：土井一生(平成 25 年 7 月着任)

○ 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、及び文化・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。平成 25 年度からは、土井一生助教が着任し、斜面地震学の発展を図っていくことが期待されている。

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 23～25 年度に実施した主要な研究は(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についての研究、(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に関する研究、(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についての研究、(4) 降雨による地すべり崩土のせん断挙動と高速運動機構に関する研究を実施し、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 年間ににおいては、まず、日本全国に見られる異なるタイプの地すべり地、崩壊地において地震計等の観測網を設営し、地震時の斜面の挙動把握を試みた。また、耐圧、耐水の低電力、安価な MEMS 型加速度計・傾斜計一体型プローブを開発した。その結果、例えば、紀伊山地の重力変形斜面における鉛直アレイにおいては、不動域・移動土塊内部・地表における地震動の比較によって、ある特有の周波数帯の地震波が移動土塊を地震時に不安定化させることを明らかにした。

地すべり、斜面崩壊が作り出す地震動の観測、解析もおこなった。例えば、地震動の特徴から、平成 25 年伊豆大島豪雨では地質によって崩壊発生時刻が異なることを明らかにした。また、北海道の海岸地すべりでは、18 時間かけて 30 m にわたって移動した地すべり上に設置した地震計によって移動中の震動の記録に成功し、地すべりが短周期(<10 秒)地震波をほとんど放射せず「静かに」すべることがわかった。

期間中に発生した被害地震に対する調査もおこなった。2014 年 11 月 22 日長野県北部の地震においては、局所的に大きな被害が見られた堀之内地区の背後斜面における変状調査をおこない、地震時の地すべり性の運動の存在を示唆した。また、平成 28 年熊本地震においては、地すべり性の運動を起こした宅地における地盤調査および地震後の傾斜計測をおこない、地震後も半年間にわたって地すべり挙動が継続していることを明らかにした。

地震波、弾性波を用いた斜面の能動的または受動的モニタリング手法の開発も進めている。水槽実験における能動的モニタリングでは斜面崩壊発生前に弾性波の伝播速度が遅くなることを検出した。滋賀県信楽町においては地震波干渉法を用いた受動的なモニタリングを実施し、降雨後数日間のみに現れる

フェイズを検出するなど地震波による地下水のモニタリングの可能性を見出した。

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 年の東日本大震災の発生を受け、直ちに仙台市、福島市等の斜面について被害調査を実施し、被害実態の把握をいち早く公表すると共に、現地に地震動、地表傾斜、地中傾斜、間隙水圧の観測施設を設置し、平成 24 年 9 月まで、高時間分解能による地すべり斜面の総合観測を実施した。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、平成 25 年度から平成 27 年度には、東京都南部においても同様な観測施設を設置し、高時間分解能の観測を実施した。さらに、平成 26 年度からは、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、連続観測を開始した。その結果、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。

④ 地盤災害考古学的視点からの都市域斜面の長期安定性評価

大都市とその周辺に分布する遺跡における災害の痕跡を調べることにより、地盤災害における土地と人間の関係史を明らかにする。期間内には防賀川(木津川支流)等の南山城地域の天井川地形とその発達過程を調査し、埋もれた都市構造と地盤災害の関係、人為的な環境変化と地盤災害の関係を明らかにした。また、白川上流域の鼠川支流遺跡と周囲に分布する斜面堆積物の年代測定を行い、多くが歴史時代の堆積物である事を明らかにした。これらの成果をまとめて、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、「埋もれた都の防災学—都市と地盤災害の 2000 年—」を出版し、新たな学術分野である「防災考古学」の普及を図った。

また、平成 27 年度には、京都府等の自治体文化財調査担当部局と共同し、高精度表面波探査による京都市聚楽第跡の調査を行い、地中に埋没する新たな堀跡の検出に成功した。この研究成果は、京都市考古資料館における特別展示や世界考古学会議で報告され、考古学の分野や各自治体の文化財関係部局から注目を集めている。

⑤ 広域の斜面災害危険度評価手法の研究

平成 28 年 4 月 14 日に発生した熊本地震においては、斜面の地質と構造、地震断層との関係に依拠して、多様な斜面災害が発生した。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。

一般に火山地域の急斜面は、溶岩や溶結凝灰岩で構成されることが多く、急冷に伴う割れ目が発達するため、大規模で深い崩壊が起きやすい特徴がある。今回、立野口で阿蘇大橋を破壊したカルデラ壁の崩壊がこのタイプである。一方、今回はカルデラ内部の火山群の斜面でも多数の崩壊が発生した。カルデラ内部の地表は厚い降下火山灰で覆われているが、火山灰層には阿蘇山の複雑な噴火史を反映して、軽石や古土壌が何枚も挟まっている。このような地表付近の不均質な地質構造が、多くの崩壊の原因となった。南阿蘇町河陽で発生した地すべりは、このタイプの典型例で、草千里ヶ浜降下軽石と呼ばれるオレンジ色の軽石層をすべり面としている。多量の水を含んだ軽石層が破壊されると、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。

一方、戦後一貫して、わが国では農村の過疎化と都市への人口集中が進行し、都市では膨大な数の人工斜面が形成された。そのため、都市の地震災害では、これらの人工斜面が崩壊し、しばしば深刻な災

害を引き起こしてきた。例えば、1995 年兵庫県南部地震、及び 2011 年東北地方太平洋沖地震では、多くの人工斜面で地すべり・崩壊が発生した。そして今回も、都市化の進展が著しい熊本市とその郊外（衛星都市）において多くの人工斜面が不安定化し、住宅に甚大な被害を与えた。なかでも際立ったのは、益城町での建物被害であった。耐震性の低い建物が強烈な地震動を 2 回も受けたことが主な原因であるが、詳しく見ると、倒壊建物の分布には、表層地盤の影響が強く見られる。例えば、町中心部の安永から木山にかけての被害は、多くが低位段丘崖縁辺部に形成された盛土の地すべりと関係していた。こうした盛土は、町の発展とともに自然発生的に作られてきたものなので、「生活盛土」と呼ぶことにする。一方、益城町周辺の火砕流台地の地表部は非常に軟らかく、古くから人馬の通行によって路面が削られ、道の両脇が崖になっている場所が多く見られる。町の郊外における直線状の被害分布の多くは、こうした古い道路沿いの崖が崩壊したケースであった。いずれも過去の都市構造の一部が、「埋もれた災害リスク」となった例と言える。

一方、阿蘇市西南部では多数の割れ目が、広範囲に出現した。これらの割れ目は沈下を主としたもの（正断層）で、同様の割れ目は、同じ地域内の約 2000 年前の遺跡でも発見されている。同様に南阿蘇町の遺跡でも、約 2100 年前の崩壊堆積物が発見されており、阿蘇地方では約 2000 年前にも今回と同様の地盤災害があったと推定される。すなわち、約 2000 年ぶりに阿蘇地方を襲った今回の震災は、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。

B. 地すべり計測研究領域

准教授 末峯 章（平成 28 年 3 月定年退職）、助教 王功輝（平成 28 年 3 月地すべりダイナミクス准教授に転出）

○ 研究対象と研究概要

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

下水観測を継続実施する。また、国内外で発生する各種のタイプの地すべりの現地調査、力学特性ほか各種要因の計測技術の開発を実施し、地すべりの発生・移動機構を解明するとともに、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・能力開発を実施する。

(1) 徳島県下に広く分布する結晶片岩地すべりと斜面崩壊、(2) 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、(3) 善徳地すべりにおける観測システムの維持管理、(4) 四国で発生したほかの地すべりの物性計測を実施し、(5) 国内の他の地域での地すべり地（新潟県、富山県、京都府、宮崎県、熊本県、奈良県、和歌山県など）での調査、物性計測および移動観測、及び海外の地すべり（ペルー国マチュピチュ、中国レス地域・四川地震被災地域、イタリア国バイオントダム）での地すべり調査・観測も実施した。

平成 22 年度からは、南海地震に対応するため、高知県大渡ダム森山地すべりに広帯域強震計と満点計画地震計を設置し、地震動が地すべり活動に及ぼす影響について新たな観測を開始した。さらに、平成 26 年度以降、徳島県阿津江地すべりに新たな観測網を構築し、斜面における地震動と地すべり変位を高時間分解能で観測している。

共同研究は、東京大学、九州大学、新潟大学、広島大学、千葉大学、富山県立大学、徳島大学、愛媛大学、高知大学、香川大学、(独) 森林総合研究所、消防研究所の国内研究機関の他、米国、英国、イタリア、ニュージーランド、ドイツ、ルーマニア、スロバキア、ロシア、ナイジェリア、エチオピア、イラン、インドネシア、中国、台湾等の研究者、学生と現地調査、実習、共同研究を実施した。

末峯准教授は同支部主催で秋に実施している現地討論会の企画、運営も行っている。また、地域への貢献としては、地域住民向け国土交通省四国山地砂防工事事務所広報誌「しこくさぼう」に「末峯博士の地すべり講座」を 6 年にわたり 59 回連載した。同所管内で突発的に発生した地すべりの緊急調査の実施、対策工設計・施工の相談を受けている。また、同事務所が平成 10 年より毎年 8 月・9 月に実施して

いる大学3,4年生向けのキャンプ砂防の現場での指導を担当している。徳島県からは県内の何箇所かの地すべり監視の指導および突発的に発生した地すべりの緊急調査の実施、対策工設計・施工の相談を受けている。それと最近では、大きな動きを示している地すべりがあり、担当の部署がまたがっているの、その調整のための助言等を行っている。また四国砂防協会からの招待講演も毎年行っている。また、平成18年以降継続して、国交省四国整備局等の地すべり対策検討委員会の委員、四国営林局の地すべり対策検討委員会委員を委託され、治山事業についての討論や効果判定を行っている。それと退職間近や退職した地すべりに関係した職員のための講習等も行っている。

王助教は各タイプの地すべりに対する現地観測を実施するとともに、近年日本国内外で地震や異常気象時に発生した地すべりに対して、現地調査、観測および室内土質実験を行い、地すべりの変形特性、強度特性を調べ、土塊の変動特性と地下水位変化の

関係について検討し、地震豪雨時に発生する地すべりの危険度評価と被害軽減化対策に関する研究を行っている。特に、H23年8月の台風12号による深層崩壊で形成された幾つかの大規模天然ダム、H16年の新潟県中越地震時に形成された東竹沢天然ダム、および富山県内の溜め池堤体に対して、中心メンバーとして、他大学および政府機関と連携し、詳細な物理探査を実施して、異なる誘因および形成機構を有する天然ダム堤体の内部構造を調べている。また、中国上海交通大学や蘭州大学、米国地質調査局およびニュージーランド地質・核科学研究所などと協力し、地震や豪雨および人間活動などにより発生した中国レス地域の地すべり、米国西海岸沿いの地すべりおよびニュージーランドクライストチャーチ地域の地すべりなどに対して地すべり土塊のせん断特性から地すべりの発生・運動機構を解明しつつである。また、イタリアやロシア、韓国、インドネシア、中国などの国際会議からの招待講演を行い、世界の地すべりに関する教育・能力開発に貢献している。

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

6つの研究分野から成る当部門では、大気と水に関する様々な現象の発現機構の解明と予測に関する研究を通じて、大気災害や水災害の軽減と防止のために、また、さまざま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。また、地球温暖化に関連して、地球規模の気候変動や環境変化に伴う大気・水循環の変化予測の研究、水災害環境対策技術の開発に資する研究、極端化・異常気象に起因する降雨・流出・河川氾濫や暴風・高潮・高波災害に関する研究も行っている。さらに、近い将来発生が予想される南海・東南海地震による津波災害の防御に係わる研究を進めている。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「21世紀気候変動予測革新プログラム（平成19～23年度）」に引き続き、文部科学省「気候変動リスク情報創生プログラム（平成24～28年度）」、領域テーマD課題対応型の精密な影響評価」に

おいて、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、土木研究所等と協力し、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、東京大学生産技術研究所と協力し、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。

(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) 異常気象の発現メカニズムと予測可能性
- 2) 成層圏循環が対流圏に及ぼす影響と、予測可能性
- 3) 大気大循環モデルの開発
- 4) 大気大循環モデルを用いた予測可能性に関する研究
- 5) 20世紀全球海上風データセットの作成と気候変化研究への応用
- 6) 1920年代の太平洋気候シフトに関する研究
- 7) 20世紀前半に生じた北極温暖化に関する研究
- 8) 大気中における二酸化炭素(CO₂)の収支の研究
- 9) 放射性物質の長距離輸送シミュレーションにおける誤差の研究
- 10) 熱帯気象・台風に関する研究
- 11) 強風災害や集中豪雨などのメソ異常気象研究
- 12) 気象衛星による気象災害監視の研究
気象衛星による気象災害監視の研究
- 13) 温暖化環境下での気象災害研究
- 14) 大気境界層とその乱流構造

- 15) アフリカ半乾燥地域の気象災害と気象環境
- 16) 大気環境に関する研究
- 17) 強風災害の調査と強風被害発生機構の解明
- 18) 強風によって生じる飛来物による外装材の耐衝撃性能の試験・評価方法の開発
- 19) 竜巻中の飛散物の挙動と衝撃力の解明
- 20) 強風災害低減のための耐風設計方法の開発
- 21) 強風災害の防止・低減および被害予測とリスク評価
- 22) 温暖化シナリオ下における沿岸災害の長期的変化予測
- 23) 気象・沿岸災害のリアルタイム予測技術開発
- 24) 海岸・港湾構造物の変状特性と新しい耐波設計法の確立
- 25) 高波・高潮予測モデルの開発
- 26) 津波影響評価および予測法の開発
- 27) ゲリラ豪雨の早期発見と危険予知手法の開発
- 28) ストームジェネシスを捉えるための基礎観測実験
- 29) 21 世紀気候変動による災害環境変動評価
- 30) 雨雲情報のデータ同化による線状降水帯予測
- 31) 都市気象 LES モデル開発による渦管形成解析
- 32) 大気－地表－地下を通じた水系一環の水・物質の流出機構の解明とその制御
- 33) 気象水文リスク情報の高度化に関する研究
- 34) 高度化された気象水文リスク情報の利活用に関する研究
- 35) 気象水文リスク情報の発信方策に関する研究
- 36) ドローン等を活用した革新的な気象観測手法の開発

(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等と、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,

准教授 榎本剛,

特定准教授 時長 宏樹（平成 26 年 4 月 1 日～），

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 26～28 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等、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 850 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 年度～28 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、以下の研究を推進した。(a)気象研究所アンサンブル予報システムの構築、(b)分裂型成層圏突然昇温の予測可能性の解析、(c)成層圏惑星規模波の下方伝播生起メカニズムと、その予測可能性の解析、(d) 成層圏突然昇温や下方伝播する成層圏惑星規模波が対流圏循環

に及ぼす影響の解析、(e)惑星規模波の3次元波動伝播特性の解析。

3) 大気大循環モデルの開発

大気大循環モデルを水平高解像度で実行できるようにするため、広く用いられているスペクトル変換法において、高次高階のルジャンドル陪函数の誤差特性を精度よく計算する手法を開発した。台風進路予測の誤差の原因を明らかにするため、複数の初期値と複数の大気大循環モデルを様々な組合せた「たすき掛け実験」を行った。

4) 大気大循環モデルを用いた予測可能性に関する研究

予測可能性研究を進めるため、極点付近の観測データを有効利用できるように、データ同化アルゴリズムを改良した。アンサンブル数値天気予報データを用いて、低気圧等顕著な気象の発達予測における初期擾乱の感度が高い領域を特定する手法を定式化する、感度解析手法を開発し検証した。アンサンブル大気データ同化アルゴリズムを大循環モデルに適用したアンサンブルデータ同化システムを用いて、南シナ海や、東シナ海、黒潮続流域で行われたラジオゾンデ観測が大気擾乱に与える局所および遠隔影響について明らかにした。

5) 20 世紀全球海上風データセットの作成と気候変化研究への応用

International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set の海上風速および海上風向観測データを用いて、20 世紀全球海上風データセットを作成した。本研究では、船舶による歴史的な海上風の目視観測および測器観測において時間変化する系統誤差が全球海上風偏差場の第1 EOF モードと強く相関することを発見し、その成分を観測データから除去することによって系統誤差を軽減できることを突き止めた。また、作成したデータセットが過去の主要な気候変動や気候変化を良く捉えていることを示した。

6) 1920 年代の太平洋気候シフトに関する研究

独自に作成した 20 世紀全球海上風データセットを用いて、1920 年代における太平洋気候シフトに伴う下層大気循環の変化について調べた。その結果、アリューシャン低気圧の強化に伴い北太平洋上では西風が強化、熱帯太平洋域では偏東貿易風が弱化した、

太平洋数十年規模振動の負から正への位相シフトと整合的な変化が生じていたことを明らかにした。また、これまでの研究業績が評価され、時長は科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞を受賞した。

7) 20 世紀前半に生じた北極温暖化に関する研究

歴史的気候データセットを用いて 20 世紀前半に観測された複数の気候要素を解析し、20 世紀前半に生じた北極域温暖化に伴う気候変動パターンを明らかにした。また、大気大循環モデルを用いた数値実験により、太平洋および大西洋での海面水温の数十年規模変動が 20 世紀前半の北極圏温暖化を引き起こした主要因であることを明らかにした。

8) 大気中における二酸化炭素(CO₂)の収支の研究

陸上生態系を起源とする CO₂ フラックスの推定値が依然大きな誤差を持つ問題に関し、逆転法の手法を用いてフラックスの推定を行い、植生モデルによって計算されたフラックスとの比較・検討を行った。また、人工衛星による CO₂ 測定データのバイアスを補正することを目指し、バイアスの現状や関連パラメータとの相関を調べた。バイアスを補正された衛星データは逆転法の手法に取り入れられ、CO₂ フラックスの推定精度を向上させることが期待される。

9) 放射性物質の長距離輸送シミュレーションにおける誤差の研究

原子力発電所の事故により放出された放射性物質が地球規模で拡散していく過程について、大気輸送モデルを用いたシミュレーションを行い、モデルで使用する大気再解析データに起因する地表面付近の濃度分布の誤差について評価を行った。本研究は防災研究所「東日本大地震に関する緊急調査」の一環として行われ、結果は英文報告書集に収録されて出版された。

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 Subhajyoti Samaddar (H 26, 27)

(学内研究担当) 理学研究科教授 余田成男

生存圏研究所准教授 橋口浩之

(プロジェクト研究員) 伊東瑠衣(H26, H27), 岡田靖

子(H26,27,28), 志村智也(H27, H28), Alexandros-P. Poulidis (H27,28), 鵜沼昂(H27),大井川正憲(H28)

○ 研究対象と研究概要

気象災害の原因となる台風・豪雨・暴風など異常気象の構造とその発生・発達 の物理機構を解明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ている。また異常気象の背景となるアジアモンスーンの変動、気候変動下の暴風雨現象と気象災害、我が国の大気環境を決めている東アジア域の大気質、気象災害が発現する大気境界層も研究対象としている。平成 26～28 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 の物理機構の解明といった大気物理学的な基礎研究から、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、北西太平洋での台風の発生と総観気象場や季節内振動との関係、インド洋での熱帯低気圧の発生に及ぼす季節内振動との関係をデータ解析により研究を進めた。さらに、マッデン・ジュリアン振動のメカニズム解明を目的とした国際研究計画 CINDY/DYNAMO に参画し、熱帯海上での大気変動と積雲群や熱帯低気圧との関係について観測や数値モデルによる研究を進めた。

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・暴風の発生機構をデータ解析や数値モデルにより研究を進めた。複雑地表面での大気乱流・拡散予測のための新しい乱流計算手法を開発し、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、乱流計算の高速化の研究も進めた。局地豪雨や集中豪雨の実態と発生機構に関する研究も進めた。都市圏で発生する夏期の局地降水の実態と発生環境条件、梅雨期の豪雨の発生環境条件、日本の暖候期の線状降水帯など停滞性降水系の出現特性や形態を全国規模で明らかにした。竜巻や塵旋風といった微細規模擾乱の発生機構に関する研究も進めた。

3) 気象衛星による気象災害監視の研究

中国静止気象衛星「風雲 2E 号」データのデータアーカイブを継続した。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進めた。下記(6)に関連して、衛星算出降水データやマイクロ波センサーによる土壌水分データの利用を推進した。

4) 温暖化環境下での気象災害研究

文部科学省「21 世紀気候変動予測革新プログラム」(平成 19～23 年度)に続く「気候変動リスク情報創生プログラム」(平成 24～28 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。温暖化時に台風によりもたらされる被害を推定する目的で、台風の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、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、他分野と協力して台風に伴う洪水や高潮被害を推定した。また、温暖化実験データを用いて、梅雨期の極端降水の将来変化と大気場の変化を調べた。

5) 大気境界層とその乱流構造

中立に近い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研究をまとめた。また、都市上空での境界層や乱流構造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、複雑粗度面上での境界層乱流の組織構造とそれによる乱流輸送過程の実態を明らかにする研究を進めた。

6) アフリカ半乾燥地域の気象災害と気象環境

SATREPS (地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム)に参加し、ガーナ国北部での気象災害監視と水資源有効利用に関する研究を進めた(3.2.7_(3)節参照)。総合地球環境学研究所が実施する砂漠化に関するプロジェクト(～H26)に参加し、ナミビア北部の乾燥地で大気陸面相互作用観測を進めた。

7) 大気環境に関する研究

医学研究科環境衛生学のグループと共同して、福島原発近隣における里山生態系を含めた除染効果の評価と住民の中期曝露評価に関する研究を実施した。原子力研究開発機構と共同で、現実の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、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

強風によって生じる強風被害の低減方法のためには、強風時にどのような被害が生じたかを把握することは極めて重要である。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いる。平成27年3月にバヌアツ共和国を襲ったサイクロン Pam について、同年4月に同国エファテ島およびタンナ島において強風被害調査を行った。この調査では、工業製品を用いた一般住宅に多くの被害が見られた一方で、タンナ島の伝統的な建築様式であるニマラタンは被害が少なかったこと、ショートメッセージやラジオを効果的に活用しニマラタンを含む比較的頑丈な建物に避難することで、人的な被害が抑えられたことなどを明らかにした。

2) 強風によって生じる飛来物による外装材の耐衝撃性能の試験・評価方法の開発

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の試験・評価方法の開発が急務である。本分野ではISO基準に準ずる試験だけでなく、日本における代表的な飛散物である瓦を発射できるような耐衝撃試験装置を開発し、各種窓ガラスの衝撃試験を行った。それにより、日本で耐衝撃試験を行う場合の標

準加撃体の提案を行った。これらの成果は、高速道路等における車両の石はねによる遮音板の損傷に関する耐衝撃性能試験法（NEXCO 試験方法 第9編 環境関係試験方法 試験法 908-2017）の制定、ISO 16932 を基にした建築用ガラスの暴風時における飛来物衝突試験方法（JIS 申請中）に向けた原案作成等に反映された。

3) 竜巻中の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。竜巻による被害の範囲は台風に比べるとはるかに狭いが、強い竜巻の場合は発生する風速が秒速 100m 近くにも達し、通常の木造家屋などはバラバラに破壊される。そのため、竜巻中の気流性状、および竜巻接近時の建物周りの非定常流れ場と建物に加わる風圧力を明らかにすることは破壊性状を理解するうえで非常に有益であり、そのために竜巻状の回転流中に置かれた建物周りの非定常流れ場の数値解析を行った。さらに、破壊された種々の破片が飛散物となって風下側の建物を破壊するという被害の連鎖が竜巻による被害の特徴であり、飛散物の持つ衝撃力を知ることは竜巻による被害予測や防備にとって重要な情報となる。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。これらの成果は原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（原子力規制委員会）等の策定に反映された。

4) 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。現在の耐風設計では、強風時に建物に作用する風力を、風洞実験によって評価している。本分野では、低層、高層建物から風車に至るまで、多く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ともに、これまで蓄積された風速の観測値や、自然風中の各

種の大型構造模型による風圧測定結果と比較した。

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、「京都大学防砂研究所共同研究・一般共同研究 G28-03（平成 28～29 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った。

5) 強風災害の防止・低減および被害予測とリスク評価

台風などが襲来したときにどのような強風が生じるか、それによってどれくらいの被害を蒙るかを予測することは災害の防止・低減のために重要である。これらに関して、観測や計算により得られた強風場の情報をもとに、風速と建物被害率との関係を精度よく求める手法の開発や、確率台風モデルを用いた強風場の統計的評価、強風による種々の被害リスクの評価手法の開発と高精度化を進めた。文部科学省「気候変動リスク情報創生プログラム（平成 24～28 年度）、領域テーマ D 課題対応型の精密な影響評価」に参加し、課題 i：自然災害に関する気候変動リスク情報の創出、a：気候変動に伴う気象災害リスクの評価、に参加し、強風被害リスクモデルの開発を行い、21 世紀末の温暖化時の日本における台風による風速の変化と強風被害リスクの評価を行った。「京都大学防災研究所共同研究・一般共同研究 G25-08（平成 25～26 年度）、物等構造要素毎の被害評価による竜巻等の突風風速推定指標の策定」では、竜巻やダウンバースト等による突風被害発生時の被害風速の推定精度の向上を目指して、国内の建物等の構造要素毎の被害指標、および、被害程度と風速の関係に関する資料により、竜巻やダウンバースト等の強風場の規模や突風風速を推定する評価指標（日本版 EF スケール）の策定に資する知見を提供し、突風被害の低減に寄与した。

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～）」により、上記研究成果を実装した。

「京都大学防災研究所減災社会プロジェクト所内公募研究（平成 27 年度）、防災マスター育成スキームの開発と実施」では、熊本県宇城市において防災コミュニケーターを養成・指導する能力を持った「防災マスター」を“自ら”養成できる体制を構築し、「防災リーダー」養成講座を開講した。

「京都大学防災研究所共同研究・一般共同研究 G25-08（平成 28～29 年度）、竜巻等の突風による飛散物の空力特性の直接測定法の研究」では、飛散物の飛翔運動を予測し、建物の強風被害の原因である飛散物の衝突による衝撃力を精度よく推定するために、飛翔中のブラフボディのもつ空力特性および運動を直接計測する手法を開発した。

「京都大学防災研究所共同研究・短期滞在型共同研究 G27-S1（平成 27 年度）」では、イリノイ大学州立大学 Dr. Lombardo と共同で、スマートフォンなどのデバイスから発信される SNS 情報を「人間センサ」による「観測値」と捉えることで、災害に関する情報収集を行うシステムのプロトタイプを開発した。

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（3 件）、講演会、講習会、フォーラムなどでの発表（33 件）、教材、インターネット用の教材用映像など（3 件）、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（50 件）など、研究成果の社会還元に努めた。

IV. 沿岸災害

准教授 森 信人

教授 間瀬 肇（～H28.3）早期退職

助教 安田誠宏（～H27.3）関西大学へ異動

○ 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 世紀半ばの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は、以下のようである。

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、またこれらに伴う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) 気象・沿岸災害のリアルタイム予測技術開発

気象・水象災害の防災・減災には、長期的なトレンドの予測以外に、数時間後から数日先の状況の情報から、災害の回避や避難を行うための短期的な対策も重要である。そこで、メソスケールの気象予測モデル、波浪モデルを援用し、これまで難しかった強風・暴波浪のリアルタイム予測技術開発を行っている。このシステムを用いて、実際に起こった船の遭難時に直ちに気象・海象情報を解析し、ホームページに情報提供している。当研究分野の解析結果は、幾つかの海難審判の資料として採用された。また、甚大な波浪災害が生じた場合には高波情報を即座に関係機関に提供し、その後の災害現地調査に貢献している。

3) 海岸・港湾構造物の変状特性と新しい耐波設計法の確立

近年、設計の合理化を図るため、海岸・港湾構造物にも性能設計の概念が導入されつつある。そこで、海岸・港湾構造物の変状特性を調査するとともに、信頼性設計や最適設計といった新しい概念に基づいて構造物を設計する手法を研究している。また、設計過程で現れる不確定要素による値のばらつきに配慮し、ライフサイクルコストを考慮した最適設計法、

構造物の性能を規定することによる性能設計法の確立を目指した研究を行っている。実際に、安定性の優れた消波ブロックを企業と共同で開発して国内や海外で使われている。

4) 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、高潮は、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。

5) 津波影響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。こうした津波災害を防止・軽減するために、事前津波想定のための確率津波モデルの開発、市街地スケールの津波変形予測手法、ねばり強く抵抗できる海岸施設の開発、リアルタイムに防波堤口、水門、胸壁を閉鎖できるゲート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、平成 7 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 城戸由能 (～H27.03)

准教授 山口弘誠 (H28.04～)

招聘外国人講師 Seongsim Yoon (H28.03～H28.04)

特任助教 Wansik Yu (H26.10～H27.09)

特任助教 峠 嘉哉 (H27.04～H28.03)

JSPS 外国人特別研究員 Ying-Hsin Wu (H28.10～)

○ 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た研究を行っている。

1) ゲリラ豪雨の早期発見と危険予知手法の開発

2008年7月兵庫県都賀川と同年8月の東京都雑司ヶ谷における水難事故はいずれも単独の積乱雲による豪雨によってもたらされ，突然発生し，急速に発達して，人命をも奪う可能性のある災害という意味からゲリラ豪雨災害と呼ばれ，5分，10分というわずかな時間先予測の重要性を愕然と認識させられたものであった。気象レーダーの立体観測情報から地上降雨に先行して上空で発生するゲリラ豪雨のタマゴについて，気流の渦管構造を明らかにした。正負それぞれの鉛直渦度を持つ渦管のペアの存在を発見し，渦度による危険度予測手法の有効性を理論的に示した。その成果は，国土交通省での実用化へ結びつき現業利用がスタートしている。平成22~26年度の期間で実施している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27~31年度の期間で実施している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」をベースに実施した。また，国土交通省レーダー網のXRAINを用いることで，降水粒子種類判別情報から積乱雲の発達段階を推定する手法を開発した。カーナビゲーションシステムにおける道路交通情報に豪雨情報の利用手法についても検討した。

XRAINを利用した社会貢献が認められ，中北英一教授がH28年に日本気象学会の岸保賞を受賞している。

2) ストームジェネシスを捉えるための基礎観測実験

平成27~31年度の期間で実施している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」をベースに実施している研究であり，積乱雲の発生過程・発達過程を明らかにするために，ビデオゾンデと偏波レーダーの同期観測を沖縄で継続実施するだけでなく，加えて，偏波レーダー・雲レーダ

ー・ドップラーライダー・GPSなどのマルチセンサーを用いた大規模フィールド基礎観測を京阪神域で実施した。積乱雲のそれぞれの発達段階を特徴的に捉える観測機器を用いて，シームレスに発生・発達を捉えようとしており，先行する積乱雲からの冷氣外出流が暖気をぶつかって持ち上がっている様子を捉えることができた。また，雲レーダーを用いることで降水粒子形成前においても気流の渦管構造があることが確認でき，降水レーダーよりも早期に危険予知へ利用できる可能性があることがわかり雲レーダーの有効性を示した。

3) 21世紀気候変動による災害環境変動評価

平成19~23年度の間実施された文部科学省「21世紀気候変動予測革新プログラム」，及びこれに引き続き平成24年度に開始された「気候変動リスク情報創生プログラム」をベースに，部門共同で実施している課題であり。本分野では主に世界の降雨特性の現気候，近未来，世紀末での変動を明らかにすべく，気象研究所による気候予測情報を用いた解析を実施している。様々な空間スケール，日~月という時間スケールにおいて極値としての異常降雨の出現特性解析を行うとともに，どの空間スケールでなら将来への変化を統計的に有意に語れるかの基礎研究も実施した。一方，国内において，将来梅雨期の集中豪雨発生頻度が特に西日本~東北地方で統計的に有意に増加することを明らかにするとともに，日本を取り囲む大気場の特徴との関連づけを示した。加えて，その梅雨期豪雨をもたらさう大気場の将来出現頻度解析を行い，太平洋高気圧の西縁周りで日本の西側から暖湿流が流入するパターンが危険で，かつ，頻度が増加することを示した。さらに，より局所的な豪雨現象であるゲリラ豪雨に関しても将来変化を調べ，8月下旬において将来有意に増加傾向にあることを明らかにした。

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を用いること水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開発し，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を示した。

5) 都市気象 LES モデル開発による渦管形成解析

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)モデルを開発した。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。建物によって水平風の鉛直シアが強化され、建物風下での水平風の収束と都市の加熱によって熱的上昇流が発生し、渦管が形成される物理プロセスを詳細に明らかにした。

6) 大気―地表―地下を通した水系一環の水・物質の流出機構の解明とその制御

台風事例において、メソアンサンブル降雨予測情報から有意義なメンバーの抽出することで洪水予測手法を高度化した。また、メソアンサンブル情報とレーダー雨量の移流予測手法をブレンドした降雨予測データを作成し、洪水予測へリアルタイム利用手法を提言した。

都市域の雨水貯留施設の実時間制御の実証的研究を進め、負荷削減のための初期貯留水をレーダー降雨予測に基づき豪雨発生が予測される場合には緊急排水を実施する施設操作によって、最新型 X-band レーダー情報に基づく実降雨と移流モデルによる予測降雨を用いた検討を行い、レーダー予測の空間的不確実性を考慮した活用方策の評価を行い、浸水リスクを増加させることなく確実に緊急排水が実施できるよう、京都市を対象としたリアルタイム運用手法を提示した。

京都盆地水系やインドネシアの泥炭地を対象として流域における水・物質循環を水系一環としてとらえるために、平面二次元飽和地下水モデルにより地下水流動解析を行い、流動と水質の時空間特性を水系全体において比較的良好に再現することを示した。また、気候変動下における地下水の将来変化を示し、将来も水利用が可能となるよう水路幅の対応策を提言した。

さらに、中央アジア域を対象として、流域界発や気候変動影響を考慮した陸域水循環モデルの構築を進めた。構築したモデルは、陸面過程モデル SiBUC による流域全体の水熱収支解析を主体として、分布

型流出モデル、受水域の水位変動モデル、灌漑モデルを組み合わせたものであり、気候変動影響予測や水資源開発とともに、人為的な灌漑活動が水循環に及ぼす影響を定量的に評価することができる。

以上の成果は、35 編の完全査読付論文等として学術雑誌に発表している。加えて、79 件の一般向け講演や、34 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 27 年 10 月～)

特定准教授 井上実(～平成 28 年 9 月)

特定助教 本間基寛(平成 27 年 10 月より特任助教)

特定助教 山口弘誠(～平成 27 年 3 月)

特定助教 志村智也(平成 28 年 6 月～)

○ 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。具体的には以下の研究テーマを掲げて活動した。

1) 気象水文リスク情報の高度化に関する研究

近年、集中豪雨や竜巻のような極端現象による被害がしばしば発生している。このような現象は局地的で、かつ短時間のうちに発生するものであり、より細かな時空間スケールで現象を捉える必要がある。そこで、各種気象レーダーやマルチセンサーによるフィールド観測を行い、発達した積乱雲の構造や秒単位での雲物理の挙動を解析した。あわせて、微細な乱流構造を捉えることができる数値シミュレーション手法として、ラージ・エディ・シミュレーション(LES)にもとづく都市気象モデルを開発し、極端現象の早期探知に資する気象水文リスク情報の高度化に取り組んだ。また、気候モデル精緻化に関連し、波浪依存の海面粗度を通じた波浪の気候システムへの影響を明らかにした。

2) 高度化された気象水文リスク情報の利活用に関する研究

現在、災害時の防災対応を支援する目的で様々な気象水文リスク情報が開発され、提供されている。しかしながら、情報の高度化や氾濫により利用者に十分に伝わっていない、または活用されていないことが懸念される。そこで、アンサンブル予測を活用したリスク情報の作成及び実社会への適用方策の検討を行った。具体的成果のひとつとしてはECMWFを利用した台風進路予測手法を開発し、この結果は防災研HPでも公開した。

3) 気象水文リスク情報の発信方策に関する研究

気象水文リスク情報の利用者は、内容の理解とともに当事者意識を持つことが防災行動をとるうえで重要と考えられる。そこで、マーケティングを活用した気象情報提供方策の開発および市民の防災行動を誘発する気象情報提供の社会実験に取り組んだ。一例として、アンサンブル予測結果のような不確実性を伴う情報を、一般市民が理解し、活用するための表現方法を検討した。ここではアンケート調査を

実施し、情報の受け止め方、意思決定および行動に対して、どのような影響を与える可能性があるのかを分析し、自主的な防災対応につながる気象情報の提言等を行った。

4) ドローン等を活用した革新的な気象観測手法の開発

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)を活用する手法を検討した。気象観測センサーを搭載したドローンを開発し、耐風性能の評価、ドローンの姿勢データによる風速推定手法の検討、気象観測鉄塔との比較試験等を行った。

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、強風等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、土砂等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26年度において津波再現水槽では、従来の水路では起こせなかった第1波のピークの後に高い水位が続く実際の津波現象に近い状態を再現できることを確認し、各種の津波波形の特性を調べた。また、平成27年度には和歌山県海南市と宮城県女川町の都市模型を対象とし、沿岸都市における複雑な津波氾濫特性の再現を行い、数値計算モデルのベンチマークテストとしての位置づけも可能とした。さらに、港口部に津波減災効果をもたらす装置として期待されている流起式可動防波堤の1/50縮尺模型を用いて、その適用性を調べた。研究成果は広くマスコミにも公開している。平成28年度には原子力規制庁の要請を受け受託試験として、津波作用時に原子力発電所の防潮堤に作用する小型漂流船舶等の衝突時の力について実験を実施した。実験では高速度カメラを用いて衝突時の船舶の挙動を調べる等の創意工夫を行っている。そのほかバングラデシュ国との協力で高潮と波浪との重畳時の波力特性について検討した試験など、ユニークな実験を続けており、沿岸の津波・高潮防災に大きく貢献している。

研究以外では、宇治川オープンラボ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等による研究成果の社会への還元、JICA等との連携による国際研修の実施、施設を利活用した学部・大学院教育等の実施、SSH等で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、気候変動影響評価に関する創生プロジェクトにも本センターの教員が参画し、プログラムの遂行に貢献している。所内での共同研究や研究集会も年間5件程度実施し、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等との共同研究も精力的に推進している。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、センターの多くのメンバーがインドネシア、台湾、ネパール、日本の間の複合土砂災害のネットワークの構築に貢献した。

(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は以下のようである。

- (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

平成26年から28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) 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、河川の氾濫などなどの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。総降雨量や降雨強度が極めて大きい豪雨の発生頻度が今後増加することが懸念されるなか、このような複合的な土砂災害に対する対策は大変重要になる。これ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。そこで、土砂災害シミュレータ（SiMHIS）の開発を行った。このモデルは、斜面崩壊の発生場所と発生時刻を予測し、崩壊土砂の河道への供給、河床変動、河床変動を考慮した洪水解析を行うことができる。したがって、斜面崩壊の危険性、河床変動を考慮した洪水氾濫の危険性を流域全体で示すことができる。

- (2) 流域規模の土砂動態モデルの開発と適用

これまで土砂生産過程とそのモデル化を図ってきたが、これに加えて土砂供給過程の観測とモデル化を行い、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 を開発した。土砂生産のタイミングと量を考慮することで、山地河川特有の流量と流砂量の関係、土砂流出の季節変動などが説明でき、山地河川の流砂現象を説明することができた。

(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、家屋の存在や破壊過程、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、市街地での土石流の氾濫過程や地震時の水分が少ない条件での土石流・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、網状流路河川における航路維持方法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。

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、必要な

ときに起き上がり津波から沿岸を守る可動式防波堤が提案されている。この防波堤の基本特性などについては今後十分検討しておく必要がある。

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

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

また、河川を遡上した津波が河口堰を越流することにより発生する河口堰上流での塩水被害に対し、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、構造設計法において従来1方向に単純化されている地震外力の2方向性を考慮した入力設定および性能評価法、不確定性の高い外力に対する構造物の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。またこれらは動的な現象であることから、構造物の特性としての多次元的・動的な応答特性のモデル化についても併せて検討している。

(3) 都市施設の災害に対する経年劣化性能の評価と維持管理

長期間供用された社会基盤施設構造物では、経年劣化による性能の低下対策や維持管理が重要な課題となる。例えばゴム支承は特に道路橋の地震防災を考慮した設計の観点から広く用いられているが、その経年劣化損傷の問題が近年注目されている。天然ゴム支承や鉛プラグ入りゴム支承の経年劣化損傷に着目し、損傷のメカニズムと損傷予測、支承機能および性能に与える影響の解明および今後のゴム支承の維持管理方法の確立のため、実際に供用された支

承を対象とした載荷実験や材料試験による経年性能劣化の検証、有限要素法等の数値解析を援用した劣化予測手法の開発検討を行っている。

Ⅲ. 河川防災システム

教授 中川一, 准教授 川池健司, 助教 張 浩 (平成26年9月30日まで), 特任助教 橋本雅和 (平成27年4月1日～), 特任助教 長谷川祐治 (平成28年4月1日～)

○ 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よ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

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、建物屋根面からの排水ならびに建物内部への氾濫水の浸入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、内水排水ポンプの停止事故や浸水対策としての地下貯留槽の設置を仮定して、それによる浸水被害の増加/軽減の影響を考察した。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) 河川・砂防構造物の水理機能に関する研究

近年、望ましい生活環境への要望がますます高まっていることを受けて、下記のような河川構造物に

よる河床地形への影響に関するさまざまな研究を行っている。①複数の砂防ダムがある場での土石流の流動モデルを開発し、数値解析と室内実験を通してモデルの妥当性を検証した。②水制が流れと地形変動に与える影響について検討するため、透過型、不透過型、およびバンダル型水制に関する室内実験、および3次元数値解析モデルの開発を行い、数値解析モデルによって実験時の流れと地形変化を十分な精度で予測することができた。③水制の配置による水制周辺の地形や流れの多様性の創成に関して、水理模型実験と3次元流れと河床変動の数値解析を行い、得られた流れと河床の多様性に関する新たな評価方法を開発した。④ダムのゲート排砂時における堰型構造物周辺の局所洗掘現象を対象として、掃流砂の運動・堆積・浮遊砂遷移をラグランジュ的に扱う手法と、浮遊砂の移流・拡散・沈降をオイラー的に扱う手法をカップリングした3次元河床変動解析モデルを構築するとともに、無次元洗掘率や、流砂の連続式、洗掘孔の長さパラメータ間の関係式を組み合わせた常微分方程式型モデルを提案し、3次元解析では困難な長期間の計算を可能とした。

(3) 河川堤防の決壊に関する研究

近年多発している河川堤防の決壊のメカニズムを解明するため、非粘着性の土砂からなる堤体を対象として、浸透モデルと堤体変形モデルを統合した数値解析モデルを開発し、模型実験結果の再現を試みた。堤体変形においては特にサクシオンによる堤体粒子の結合が影響していると考えられるため、これを考慮した不飽和堤体の侵食モデルを開発し、水理模型実験によりその適用性を検討するとともに、粘土成分を含む堤体の越流侵食破堤に関する水理模型実験やモデルの構築も行っている。

(4) 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ることになった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および温暖化による海面上昇の影響の大きさに鑑み、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る。大河川での洪水氾濫、フラッシュフラッド、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）を対象とし、ハザードマップの作成や公表を地元のNGOや住民等と協働で行うとともに、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の提案などを実施する予定である。

(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，助教 東良慶

○ 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) 高潮や高波などのイベント過程を織り込んだ海岸地下水環境の長期トレンド研究
- (4) 流起式可動型防波堤の実用化に向けた応用研究

平成26年から28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、八戸港で実際に使用されている。さらに 26 年度からは全国の漁港で用いられるようになった。

(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と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。28 年度には原子力規制庁の受託試験として海岸の防潮堤を乗り越えた津波による背後地盤の洗掘現象を多目的造波水路で実験的に検討した。

(3) 高潮や高波などのイベント過程を織り込んだ海岸地下水環境の長期トレンド研究

大潟波浪観測所を拠点として、地下水の長期トレンドを観測し、外海の高潮や高波が海岸砂丘にもたらす長期的な影響を調査している。また、国際共同研究としてインドネシア西スマトラ州のパダン海岸で地下水の変動を観測し、今後の地球温暖化による海面上昇が沿岸域の地下水環境に及ぼす影響を推定している。観測は 23 年度から 25 年度まで実施し、26 年度に取りまとめを行い、陸域での降水の涵養が海岸地下水環境に強く影響していることを確認した。

沿岸域の低平地では、津波や高潮・高波による侵食災害だけでなく、内水氾濫や津波遡上による沿岸帯水層の塩水化も深刻な問題である。そこで、上記の研究以外にも、地方自治体と協力して、水門等の防潮施設のオペレーションシステム、可動式津波防

護システムなどの新しいハードとソフトを融合した総合減災システムの研究にも取り組んでいる。さらにフランス国ストラスブルグ大学とは人的な交流を通じて、津波堆積物に関する国際共同研究を実施している。

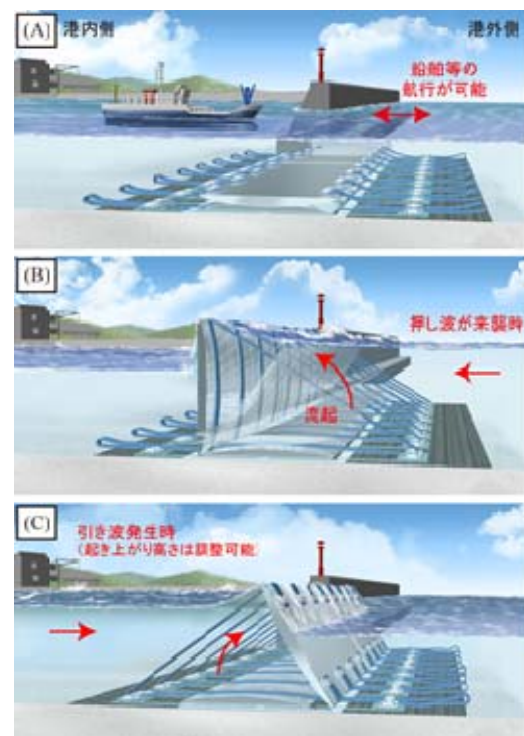
(4) 流起式可動型防波堤の実用化に向けた応用研究

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。流起式可動型防波堤の実用化に向けて、以下の課題を解決した。

平成 26 年度：1/200 縮尺模型を用いた定常流中で起立メカニズムの確認と透過率の測定

平成 27 年度：1/50 模型を用いた津波抑止効果実験

平成 28 年度：1/50 模型による可動防波堤に作用する張力の測定実験ならびに試設計



参考図 流起式可動型防波堤イメージ図

V. 流域圏観測

准教授 林泰一(平成27年3月31日まで), 堤大三, 馬場康之, 助教 水谷英朗

○ 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、大潟波浪観測所）において自然災害研究の最前線での現地観測・実験を展開している。

潮岬風力実験所（平成26年度 林泰一、平成27～28年度 馬場康之）では、大気現象を対象として、以下の研究を実施した。

- (1) 大気境界層における強風時の乱流特性：野外実験場で、乱流計測機器により連続観測されている気象資料を利用して、台風などの強風の乱流特性、強風の性質、非定常特性について検討した。
- (2) 大気・陸面相互作用：大気と陸面の水、エネルギー交換を長短波放射、顕熱、潜熱および二酸化炭素の乱流輸送過程を観測的に解明した。
- (3) 強風の構造物に対する影響：構造物に作用する強風の効果を、実大構造物を用いて周辺気流、風圧特性、振動などについて解明を進めた。

白浜海象観測所（馬場康之、水谷英朗）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・海洋相互作用の基礎的研究：田辺中島高潮観測塔において連続的に観測している気象・海象データ、および台風接近時のような強風・高波条件下に着目した集中観測の結果を利用し、大気・海洋間での水、物質輸送など大気・海面過程に関する種々の検討を行った。
- (2) 田辺湾および周辺海域における流動、波浪解析：田辺湾および周辺海域の波浪、流動を表現する数値計算システムを構築し、観測データを活用しながら精度向上を図った。また、対象海域の流動と環境形成に及ぼす黒潮などの外洋水および陸水の影響を評価するための観測研究を推進した。
- (3) 河口・沿岸域の地形の形成・変形過程：音波・音響探査装置を用いた現地観測を通じて沿岸地形（河口砂州や砂浜海岸）の形成プロセスや洪水、高波浪イベントの影響などの評価を行った。

このほか、(4)巨大津波や集中豪雨による災害の調査研究および減災対策、(5)地域における防災教育の普及と情報の発信に関する活動も展開した。

穂高砂防観測所（堤大三）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：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。

大潟波浪観測所では、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、地下水観測やカスプ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、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一つの寄附研究領域は、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、紅河、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 研修コースを隔年で開催するとともに、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3テーマに体系付けられる。

- 1) 山地から沿岸域までの流域シミュレーションモデルの開発：水量、水質、生態系、環境ホルモンなどの諸要素を同時に計算できる多層メッシュ型流出モデルである長期的環境評価プログラム(HydroBEAM)による流域評価手順の提案
- 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

また、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取り組んでいる。

(3) 研究活動

個別研究としては、種々の予測情報を活用したダム貯水池の洪水調節操作や利水操作手法、農作物の最適作付け管理モデルの構築、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、開空度及び斜面方位を考慮した陸面過程モデルの改善、大規模水体および氾濫を考慮した陸域水循環モデルの開発-白ナイル流域の水資源量評価、d4PDF を用いた日本の積雪水資源量への気候変動影響の評価、地下水取水を考慮した全球陸域水循環モデルによる水逼迫度評価、我が国の降水量の変動状況解析、平成27年9月関東・東北豪雨による鬼怒川流域降水量の極値評価、d4PDF による利根川上流域流域平均降水量の極値評価、ダム貯水池堆砂のアセットマネジメント、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、地域創生に貢献する小水力発電の提案、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、河川環境のための河床地形管理手法や河道内流木管理手法、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、流域圏統合モデルによる生態系影響評価、ナイル川下流域の水資源環境計画、乾燥—半乾燥地域におけるフラッシュフラッド統合管理、メコンデルタの統合水資源管理、気候変動ダウンスケーリングデータベース構築、流域圏災害環境変動予測モデ

ルの高度化，流域圏（河川・沿岸）統合モデルの開発，気候変動予測情報の提供方策，Hydro-BEAM 実行支援ツールなどに関する研究を進めている。

(4) その他の活動

平成 28 年 6 月には，第 7 回水資源と環境研究に関する国際会議(ICWRER)を APHW, IAHS, ICHARM, IWRA, JSCE, JSHWR など 14 組織の後援を得て開催し，32 ヶ国 125 人の外国人研究者を含む 237 人が参加した。本国際会議は世界の水問題解決に向けて，水工学，環境，社会システム，文化を含む分野横断的な議論を行うことを目的に平成 8 年に京都で第 1 回会議を開催して以来，オーストリア，ドイツ，カナダなどにおいて定期的に開催してきたものである。

国際プロジェクトとして，UNESCO-IHP 研修コースを隔年で開催しており，平成 27 年 12 月には“Risk Management of Water-related Disasters under Changing Climate”をテーマとした 2 週間の研修コースを主催している。また，GCOE-ARS の一貫として，エジプト「ナイルデルタの統合水資源管理の高度化に向けた JE-HydroNet の構築」および GCOE-HSE の一貫として，ベトナム「紅河流域の統合水資源管理」を進めており，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，「第 3 回国連防災世界会議への期待と災害統計の重要性について」，「洪水比流量曲線を取り巻く課題とその可能性」，「気候変動による将来流況変化と異常渇水対策について」，「水害と貧困の削減，持続可能な開発に向けた統合的アプローチ：東南アジアでのデータ統融合のケーススタディ」，「地域が主体となった総合的な水力発電システムの構築」，「地域最大規模降雨の DA データに基づく洪水比流量曲線の推定とその評価」，「洪水に着目した貧困の構造説明：タイとミャンマーにおける現地踏査と統合解析」，

「チャオプラヤーデルタにおける治水事業と現地住民の対応」についてセミナーを開催した。

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

助教 野原大督

○ 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，気象・水資源環境を考慮した作物生産管理モデルの構築や，アンサンブル気象・水文情報の貯水池操作への利用可能性に関する分析，豪雨の時間的空間的分布を考慮した水害リスク評価，移動経路上の障害や混雑を考慮した水害避難行動分析モデルについて，重点的に検討を行った。具体的な内容は次の通りである。

(1) 気象・水資源環境を考慮した作物生産管理モデル

日々の気象・水環境条件をもとに作物の日単位の成長をシミュレートする数値作物成長モデルを AquaCrop モデルを参考に構築し，日本国内全域を対象として，同一作物でも品種の違いを考慮できるように調整を行った。現況での日本域における最適作物植付計画を計算機上で表現することや将来的に気候要因に変動があった際にどのように栽培に適した作物品種は変遷するのかということを評価する手法

を提案した。大麦、大豆を例に取り上げ、それぞれ46都道府県がそれぞれ独自品種を持つという仮定のもとで植付組み合わせ最適化を行った。個々の作物の生長過程の再現性といった点ではまだまだ改善の余地があるものの、本モデルのような植付組み合わせを解析するスキームは、各種環境要因は作物生産に与える影響をマクロにとらえることのできる可能性があり、農業生産マネジメントを考えていくためのツールとして利用可能性があることが支援された。

(2) アンサンブル水文予測情報の貯水池操作への利用性分析

近年、現業気象予報に導入されているアンサンブル予測手法は、異なる初期値を用いた複数の数値予測の結果を総合的に解釈することで、将来の流域の状態の不確実性を陽に考慮に入れた高度な貯水池操作に資する可能性がある。しかしながら、アンサンブル予測情報が利用可能であった渇水や洪水の事例は多くなく、系統的・網羅的な分析は未だ困難な状況にある。

そこで、予測精度特性を指定してアンサンブル予測情報を模擬発生させる機構を開発し、多数発生させた模擬予測情報を考慮したダム利水操作のモンテカルロシミュレーションを行い、結果を総合的に分析することによって、ダム操作におけるアンサンブル水文予測情報の利用性と予測精度との関係について定量的に分析を可能にするモデルを開発した。

利水操作への利用性の分析結果については、誤差平均を一定以下に抑えた誤差シナリオについて、気候値を用いた放流戦略決定と比較して被害を抑制することができ、これより誤差が比較的小さい場合のアンサンブル予測の一定の利用性が確認された。また、SSDPの方がDDPと比較してより長期的な視野に立った操作最適化を行う傾向が示された。

(3) 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100mm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。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関係を保持した形で作成する方法を提案した。次いで、流域内各地点の集水面積に対応するモデル豪雨と、集水域におけるリアルタイムの累加雨量を比較することで、流域内各地点の周囲特性に応じた洪水危険度の判定が可能であることを示した。

(4) 移動経路上の障害や混雑を考慮した水害避難行動分析モデル

従来開発を進めてきた個人レベルの水害避難行動をシミュレーションするモデルを拡張し、経路上で障害物や浸水に対する回避行動の表現と、検知した浸水などの障害情報を避難者間で共有できる機能を付加した。改良したモデルを用いて、静岡市清水地区を対象とした津波避難行動シミュレーションを行った。その結果、早期に津波により浸水するエリアに津波避難施設を作ることが、必ずしも避難失敗者の減少につながらないケースがあり得ることを見出し、避難開始時の位置を向かうべき避難場所に関するきめ細かい情報が必要であることを示した。また、滋賀県芹川地域を対象に、浸水情報の共有が避難行動に与える影響に関する基礎的な分析を行った。

II. 地域水環境システム

教授 田中茂信

准教授 田中賢治

助教 浜口俊雄 (H29.7)

○ 研究対象と研究概要

分布型流出モデル、陸面過程モデル、地下水モデル、水質モデル、土砂輸送モデル、食物連鎖モデル、作物生育モデル、貯水池操作モデル、社会経済モデル等から構成される「統合水資源管理モデル」を開発している。本モデルは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の推定、その需要を満足する貯水池からの放流といった人工系の水循環も合わせて記述でき、社会経済モデルにより社会構造の変化を取り入れれば社会条件と自然条件の双方を考慮した総合的な水資源管理が可能になる。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) 開空度及び斜面方位を考慮した陸面過程モデルの改善

中央アジアの乾燥・半乾燥域を流れる河川の水源の大部分は山岳の雪氷からの融解水であるが、陸域水循環モデルにおいて、融雪の時期が春先に集中するなど、河川流量の季節変化の再現性が十分ではない。そこで本研究では、入力気象強制力の短波放射量に流域の地形条件を細かく反映させることにより、地形が複雑な山岳域における積雪、融雪過程の再現精度を改善することを目的とする。斜面方位と勾配によって変化する太陽放射の直達光を単位メッシュごとに、斜面の法線ベクトルと太陽放射の入射ベクトルの内積を取ることで、斜面方位と勾配の効果を表現する。また、メッシュごとの傾きだけでなく、周囲の山岳により直達光が遮られる効果(日陰効果)もモデルに組み込んだ。さらに、散乱光に対しては開空度を用いた補正を行う。短波放射量の補正に関して、開空度を用いた散乱光補正については一定の効果が確認できたが、流域平均では斜面方位や日陰を考慮した直達光補正の効果が十分に確認できなかった。本研究での検討は5km解像度で行ったが、今後はより高解像度でモデルを適用し、山岳域における短波放射量の補正効果をさらに検討する必要がある。

(2) 大規模水体および氾濫を考慮した陸域水循環モデルの開発—白ナイル流域の水資源量評価—

本研究では、特に白ナイル流域において水資源量評価を可能にすることを目的とし、大規模水体や大規模氾濫といった流域の特徴を踏まえた陸域水循環モデルの構築を行った。具体的には、陸面過程モデルSiBUCに対してKinematic wave法をつなげる手法、SiBUCに対して氾濫モデルCaMa-Floodを結合する手法、最後にSiBUCとCaMa-Floodをお互いの出力を考慮して解析できるよう双方向的に結合する手法を用い、それぞれに大規模水体をタンクとした貯水池操作モデルを結合した上で、解析結果を比較検討した。大規模水体の影響が大きい支流域への適用にあたっては貯水池操作の必要な人工湖、本研究ではヴィクトリア湖についてはKinematic wave法との結

合によって合理的な結果を得、水位低下の再現及び水位低下における自然要因と人為要因の比率を評価した。自然湖については、CaMa-Floodによって季節変動の改善を得た。大規模氾濫の影響が大きい支流域への適用にあたっては、陸面過程モデルと氾濫モデルの双方向的な結合が、氾濫域における蒸発損失や地下水涵養を考慮した解析を可能にした。これによって南スーダンのSudd湿地において白ナイル川の約半分の流量が蒸発によって失われる様子を再現することに成功した。一方でなお水収支は流出過大を示し、氾濫域の計算においても再現性に課題を残し、より詳細な双方向的な結合に関する考察や、細かな地形データの解析を今後の課題とした。

(3) d4PDFを用いた日本の積雪水資源量への気候変動影響の評価

日本の豪雪地帯の山岳域において、積雪は「天然のダム」と言われているように、春先の融雪水は貴重な水資源となっており、特に灌漑用水の重要な供給源となっている。温暖化等の気候変動は下流域の農業用水の利用に大きな影響を及ぼす可能性がある。そのため、積雪水資源量の空間・時間分布の将来評価が必要とされている。様々な機関でGCM (General Circulation Model) が開発されており、気候変動影響予測に用いられている。気候変動リスク情報創生プログラムで提供されている気候モデルには、60km, 20km, 5kmといった異なる解像度のモデルがある。将来変化をより適切に予測するためには、多くのアンサンブル情報を活用する必要がある。2015年に公開されたd4PDFは、多数のアンサンブル(最大100メンバー)を有しており、これを活用することで、気候変動による影響について確度の高い結論を導くことを可能とした。解像度60kmは他機関のGCMと比較すると、かなり高解像度であるが、日本のように起伏に富んだ地形を持つ地域では、地形の影響を十分に考慮できるとは言い難い。本研究では、気候変動リスク情報創生プログラムで提供されるd4PDFの60kmGCMアンサンブルメンバーと5kmRCMを用いて、60kmスケール情報から5kmスケール情報へ翻訳する方法を開発した。また、5kmRCM出力を入力した陸面過程計算を実施し、入力値と出力値の関係を分析した。その関係を用いて、

年最大積雪水量及び積雪水量の時間分布を陸面過程計算することなく陸面過程計算と同等の結果を得る方法を開発した。開発した方法と 60kmGCM 出力のアンサンブルメンバーを用いて、60km スケールより細かなダム集水域の積雪水資源量及びその不確実性を評価した。ダム集水域の気温帯と降水量変化によって、年最大積雪量の将来変化度合が異なることがわかった。積雪の大幅な減少が懸念されるダム集水域もあるため、不確実性を考慮した適応策の検討が必要である。

(4) 地下水取水を考慮した全球陸域水循環モデルによる水逼迫度評価

近年の人口増加や経済発展に伴い水需要は急激に増加しており、ほぼ1世紀にわたって世界の水使用量は人口増加のほぼ倍の速度で増えてきた。現在約7億人もの人々が水ストレスの基準値を下回る生活をしているが、2025年には人口が80億人となる中、その数は30億人にまで達すると推測されている。

陸域水循環の理解と把握は、増加する水需要を満たす水資源管理を行う上で非常に重要である。経済発展や人口増加に伴い、農業生産活動、工業生産活動、さらには人間の生活は水循環プロセスに大きな影響を与えるようになってきており、陸域水循環を把握する上で、これらの活動の影響を考慮する事は必要不可欠である。そこで人間活動を考慮した統合水資源モデルの開発及び、将来の気候変動と農業・工業・生活用水需要を考慮した、全球規模での将来の水資源量推計を実施してきた。しかし水逼迫度の計算において取水はすべて河川から行われるものとして仮定され、またメッシュ毎でなく流域毎の計算しかされていなかった。そこで本研究では先行研究において用いられたモデルに改良を加え、メッシュ毎に、河川以外からの取水も考慮した解析を行い、より正確に水不足となる地域を把握するとともに、基底流出量の一部を地下水涵養量として考えることで、地下水からの取水が過剰であり、持続不可能な地下水使用を行っている地域の可視化も行った。

(5) 我が国の降水量の変動状況解析

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。一方、我が

国の降水量、特に極値がこれまでどのように変動してきたかについて明らかにすることも重要である。

19 世紀末から蓄積されている気象官署の日降水量を収集し、変動状況を解析した。多くの気象官署では年降水量が減少し年最大日降水量が増加する傾向にあるが有意水準 5%で有意なものは少ない。全国的には大雨は水害が多発した 1950 年頃のレベルに既に戻ってきている。極値事象はよく大雨が降るところ以外の彦根や瀬戸内の内海（アメダス）などでもこれまで起きており、平年の年最大降水量が小さい地点でも大雨が発生する可能性はある。日降水量 500mm 以上の大雨は紀伊半島南部、四国、九州南部に多いが、関東、東海、南西諸島、山陰、瀬戸内でも発生していることがわかった。また、降水量の極値は 1940 年代以降増加傾向である事がわかった。

(6) 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨による鬼怒川流域降水量の極値評価

国土交通省関東地方整備局による基準点石井上流の流域平均 3 日雨量（1926～2015 年）の資料を使って解析した。2015 年の豪雨は 501mm でそれまでの記録を 80mm も超え、既往最大記録となっている。1950 年代初頭から 2015 年の時系列資料は増加トレンドが有意であるが、それ以外の年から 2015 年までの資料で判断すると有意なトレンドがあるとは言えない。また、100mm 以上の事象の数は増えているが事象あたりの雨量は大きな変化がない。今回の件豪雨は 36 時間で 3 日雨量とほぼ等しくなっており、比較的短時間に集中して降ったと言える。今回豪雨の 36 時間降水量のリターンピリオドはおおむね 100 年であった。Gumbel 分布の 100 年確率 3 日降水量の 95%信頼区間は 428～551mm であった。用いられている資料の観測期間が異なるが、利根川水系河川整備基本方針における石井基準点上流の 100 年確率 3 日降水量は 361.7mm であるので、計画の見直しが望まれる。なお、本研究の対象領域に含まれる気象庁の奥日光（日光）では 1944 年 1 月観測開始以降、17 回も 300mm/日以上記録があり、本土で尾鷲(1938 年 10 月以降 69 回)に次いで多い気象官署となっており、豪雨の多いところである。

(7) d4PDF による利根川上流域流域平均降水量の極値評価

IPCC の第 5 次評価報告書第 1 作業部会報告書政策決定者向け要約では、「世界平均地上気温が上昇するにつれて、中緯度の陸域のほとんどと湿潤な熱帯域において、今世紀末までに極端な降水がより強く、より頻繁となる可能性が非常に高い」と報告されており、将来の災害発生に関する報道などが行われるなど関心が高まってきている。我が国最大の流域面積を有する利根川流域に焦点を当て、d4PDF を用いて、治水計画の基準となる八斗島地点上流（流域面積 5,114km²）の流域平均 3 日降水量の極値事象の発生頻度を調べた。冬季降水量は正のバイアスがあるものの洪水をもたらす下記の降水量は観測値と同様な傾向であり、バイアス補正は不要と判断された。d4PDF は過去実験および将来実験共に 60 年間の降水量がそれぞれ 50 アンサンブルおよび 90 アンサンブルある。過去実験の確率評価で得られた 200 年確率 3 日降水量は現在の河川整備基本方針の計画降雨量 319mm と比べ、70mm ほど大きい。さらに、過去実験から 4 度 C 上昇時に相当する将来実験への増分が 90mm もあることがわかった。

Ⅲ. 社会・生態環境

教授 角 哲也

准教授 竹門康弘

准教授 Sameh Kantoush

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について宮崎県大淀川水系をモデルに検討を行うとともに、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。

(2) 貯水池土砂管理技術とモニタリング手法開発

貯水池上流における濁度流出把握、貯水池内における流れ場と土砂移動把握のための画像解析による LSPIV、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、さらには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った。

(3) 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、さらに、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を行った。さらに、スイスの排砂バイパストンネルの現地調査を行い、バイパス運用に伴う下流河川の河床地形や生物環境の変化を評価する手法について検討を行った。

(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、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 出力を用いて現在気候と 21 世紀末の将来気候の変化の予測を行い、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。そこで、過去に大規模堆砂対策が実施された木曽川水系牧尾ダムを対象に、これらの複合影響による水資源供給および水力発電の両面への影響について検討を行った。

(6) 河川環境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・維持するために局所スケールの対策として、木津川に伝統的河川工法である竹蛇籠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の形成を促し生物多様性維持に機能することを示した。

(7) 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、資源量が減少しているアユに着目し、繁殖の決め手となる好適な産卵床の地形環境条件を評価し、土砂供給条件による生息場改善効果の予測手法を提案した。また、現地の砂州内を掘削しワンド内の湧水量を増加させるとともに、流出部にアユの産卵床に適した瀬を造成する事業を計画実施した結果、アユの繁殖に有効であることを確認した。

(8) 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、トリニティ川の事例と日本国内で進められている事例を比較分析しながら、流況変動と土砂供給量によるダム下流の生物多様性と水質浄化機能を予測する水理生態モデルを構築するとともに、土砂水理学的プロセスを経て形成される早瀬・淵・ワンド等の生息場構造を河川管理指標として、生物多様性と砂州フィルタリングによる水質浄化機能を保全する新たな河川管理手法について検討を行った。

(9) 深泥池生物群集保全のための生態系管理

深泥池の生物群集に影響を及ぼしている外来種の侵入、シカ被害による植生変化、京都市上水配水池から漏水による富栄養化などの現状を評価し、在来生物群集の存続に必要な貧栄養で酸性の水質条件を形成・維持するための対策について検討した。

(10) 流域圏（河川・沿岸）統合モデルによる生態系

影響評価

地球温暖化による生態系への影響評価を進めるための基礎として、淀川～大阪湾における天然アユの遡上を対象に、秋季の仔魚の降下～春季の稚魚の遡上までの一連の動態と河川の水量および大阪湾の水温環境の関係について検討するとともに、実証のための現地調査を行った。

(11) ナイル川下流域の水資源環境計画

アスワンハイダムに滞留する土砂と栄養塩等の物質が、ナイル川下流域ならびにナイルデルタ域の水資源利用、水域環境、水産資源に与える影響を評価し、その対策を進めるための共同研究体制(JE-HYDRONET)を構築した。

(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。

(13) 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おいて大きな環境変化が生じており、最下流部のメコンデルタにおいては、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、ベトナム水資源大学（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やメコン川下流部の水理モデルの構築を進めるとともに、自動観測装置の設置（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。

(14) 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、小水力発電事業を通じて劣化した自然環境の再生保全と生態系サー

ビスを活用した地域振興の方法ならびに事業効果を評価するための方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：小野裕一(H26.4.1~H28.3.31)，井上素行(H28.4.1~)

客員准教授：手計太一(H25.4.1~H27.3.31)，佐藤嘉展(H27.4.1~H29.3.31)

○ 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) アジア太平洋地域のすべての国に水災害を含む被害統計を作るための努力を国連とともに促進（小野裕一）
- (2) 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）
- (3) 流域水循環モデルを用いた社会変動と水循環との相互作用の評価・分析と、アジア域における水資源管理の考察（手計太一）
- (4) 流域水環境モデルを用いた気候・社会変動による流域環境への影響の評価とそれに基づいた新たな水災害シナリオの検討（佐藤嘉展）

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、平成28年度末の技術職員の定数は23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26年度が2名（波岸彩子、田中大資）、平成27年度が1名（長岡愛理）、平成28年度が3名（中本幹大、竹中悠亮、荒上夏奈）となっている。

平成26年度に3名（濱田勇輝、田中大資、関健次郎）の辞職があったほか、平成26年度末に再雇用期間が満了となった者が2名（吉田義則、藤原清司）いる。平成27年度と平成28年度については、退職者などはいない。

職歴の浅い若手の技術職員3名が、新たな道に進んだのも残念なことであるが、いわゆる団塊の世代の技術職員が、だれもいなくなったことは技術室にとって非常に大きな出来事である。

ほんの5年ほどの間に、10名を超えるベテラン技術職員の籍が抜けたため、技術室の世代交代は急速に進んだ形となる。技術室が保有していた技術のうち、十分に継承しきれなかった技術もある点是否めない。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。なお、技術室長は、平成23年1月に着任した高橋秀典のままで変更はない。

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、平成28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。

平成28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カ月以上にわたる技術支援を指す長期支援と、3カ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も多い。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、長期支援という扱いになっている。

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も、この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、以下の通り。平成 26 年度は短期支援依頼が 44 件、長期支援依頼が 18 件の合計 62 件。平成 27 年度は短期支援依頼が 37 件、長期支援依頼が 12 件の合計 49 件。平成 28 年度は短期支援依頼が 36 件、長期支援依頼が 12 件の合計 48 件。技術職員数の減少の影響もあり、依頼件数は、長期的に見てやや減少傾向にある。

(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、前述した技術支援以外でも、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。

平成 28 年度末時点で技術職員が委員として参加した委員会は、技術専門委員会、広報国際委員会、行事推進専門委員会、自己点検・評価委員会、情報セキュリティ委員会、情報基盤整備専門委員会、厚生委員会、安全衛生委員会。このほか、委員にはなっていないが、施設整備専門委員会のもとで防災研究所スペース台帳の維持管理も担当している。

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平成 28 年度末時点で、所内の衛生管理者として 2 名の委員を出し、防災研究所の安全衛生巡視、安全衛生活動の普及などで不可欠な役割を果たしている。さらに、防災研究所を代表し、宇治事業場衛生管理者会議や宇治事業場衛生委員会にもメンバーを送っている。

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 1 種衛生管理者の資格取得に努めてきた経緯がある。採用後 1 年以上経過した技術職員は、全

員が第 1 種衛生管理者の資格を取得するのを目標としている。平成 28 年度末時点で、18 名が第一種衛生管理者の有資格者となっている。

(3) その他の活動

技術支援の対象は、防災研究所だけではない。所内の教員が共同で研究を進める学内の他部局、あるいはほかの大学や研究機関なども対象になることがある。

高等学校、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、毎年技術職員を派遣し、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の際には、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。各年度の主な発表実績は以下の通りである。

平成 26 年度は、2014 年度河川技術に関するシンポジウム、平成 26 年度北海道大学総合技術研究会(4 名が別件で発表)、日本建築学会大会、東京大学地震研究所職員研修会、データ流通ワークショップなど。

平成 27 年度は、2015 年度日本建築学会大会(関東、3 名が別件で発表)、第 40 回京都大学技術職員研修(2 名が別件で発表)、近畿地区国立大学法人等教室系技術職員研修、平成 27 年度九州地区総合技術研究会 in 九州工業大学。

平成 28 年度は、日本建築学会全国大会、平成 28 年度防災研究所研究発表講演会、第 41 回京都大学技術職員研修、総合技術研究会 (5 名が別件で発表)。

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 26 年度～平成 28 年度に、取得した資格などには、玉掛け講習、床上操作クレーン運転技能講習、フォークリフト講習、第二種電気工事士、危

険物取扱者第 4 類, 第二級陸上特殊無線技士, 第二級海上特殊無線技士, 第三級陸上特殊無線技士, 警戒船警戒業務管理者・専従警戒要員, アーク溶接特別講習, 低圧電気取扱業務特別教育, 粉じん作業等の従事者特別教育, JUIDA 無人航空機操縦技能, JUIDA 無人航空機安全運行管理者などがある。

このほか, 毎年, 所内の教員の協力を得ながら技

術室は独自の研修を実施している。平成 26 年度は **arduino** を使った電子工作技術, 平成 27 年度は各種実験におけるノイズ対策技術, 平成 28 年度は第二種電気工事士受験対策技術などを集中的に学んだ。研修は, いずれも 2 日間の日程で実施した。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。