

## 8.1 総合防災研究部門

### 8.1.1 部門の活動概要

#### (1) 部門の研究対象と活動方針

本部門は、阪神・淡路大震災における複合的都市災害の経験と、近年の都市構造の発展・拡大の現実を踏まえ、より総合的かつ長期的な視点に立脚した防災科学の研究を行うことを目的に設置された。特に、災害リスクの評価と防災マネジメントの方法論(安全の質)、多元的な防災社会構造の提示とその形成論(社会の質)、都市空間の安全制御と都市機能の確保の方策(生活の質)、及び、社会開発と環境変化並びに防災施策を共生させる開発企画のあり方(環境の質)を研究することにより、災害対策の総合化課題の達成に貢献することを目指している。当部門は以下の5研究分野(内1分野は外国人客員)から構成されている。

・災害リスクマネジメント研究分野: 自然災害、環境災害などの災害リスクに対して有効な戦略を打ち立てていくためには、災害マネジメントの戦略についてリスク分析的視点から研究を進めることが必要である。本研究分野は、このような視点からリスクマネジメントのための方法論的研究を行う。

・防災社会構造研究分野: 安全で安心な社会システム形成を目指した都市社会基盤の診断及びその総合的施策の策定・実施のための方法論的研究を行う。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社会システムを探索する。

・都市空間安全制御研究分野: 総合防災におけ

る物理的課題と対象として、大地震による都市空間の危険度評価手法の研究とともに、安全性と快適性を備えた質的に高度な生活空間を実現するための空間安全制御手法、都市空間構成要素の信頼性設計法、生活空間防災計画法に関する総合的な「生活の質」向上の研究を行う。

・自然・社会環境防災研究分野: 総合防災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)環境変化が防災または減災にどのような影響を与えるかを分析し、環境保全型の防災都市・地域づくりを研究する。

・国際防災共同研究分野(外国人客員): 21世紀の世界の災害を予測・制御するために、多面的な国際共同研究を行う。すなわち、災害科学の先端的研究者との共同研究、社会・文化が異なる諸国の災害機構の解明と災害軽減の技術及び情報の国際運用に関する共同研究、さらに、災害多発国の若手研究者・技術者との災害科学に関する共同研究を行う。平成14年度～平成16年度に来日した外国人客員教授は以下の4名となっている。①平成14年3月4日～平成14年6月8日の間、ウィーン農科大学水管理・水文・水理工学科・教授兼同研究科長(オーストリア)の Hans Peter Nachtnebel 氏が、水資源システムのリスクマネジメントに関する研究を行った。②平成15年4月1日～平成15年12月31日の間、環境人口研究センター・所長(バングラデシュ)の Bilqis Amin Hoque 氏が、バングラデシュにおける環境防災計画について研究を行った。③平成16年1月12日～平成16年7月31日の間、フロリダ・アトランテック大学・機械工学科・応用確率過程研究センター・準教授(アメリカ合衆国)の Cai Guo-Qiang(蔡 国強)

氏が、非線形構造物の耐震信頼度解析に関する研究を行った。④平成16年8月1日～平成16年12月31日の間、カリフォルニア大学バークレー校・工学部土木環境工学科・准教授(アメリカ合衆国)の Mosalam, Khalid Mahmoud Aly 氏が、鋼構造物の完全崩壊シミュレーションに関する研究を行った。

## (2) 現在の重点課題

各研究分野別の研究課題に加えて、総合防災研究部門では、「都市社会安全システムのためのリスクマネジメントの方法論ならびにシステム技術の構築」を部門全体の研究活動の共通目標とし、「災害リスクに対する『都市診断』科学の構築とその応用に関する総合的研究」を重点課題として研究を進めてきている。複合的な災害リスクに対して都市を守るための予防的で総合的な「都市診断」の科学のパースペクティブと、そのための方法論を構築することを目的としている。本研究部門では、このような目的の下に、都市診断科学の主要な課題として、1.都市リスクに対する抵抗力(災害リスクマネジメント分野)、2.都市基盤の診断(防災社会構造分野)、3.生活空間の安全管理(都市空間安全制御)、4.環境改善による持続的処法(自然社会環境防災)、を取り上げ、総合的な研究を推進している。

## (3) 研究活動

このような研究目的の達成には、個々の研究者が取り組む個別研究課題のみでなく、専門領域を越えた研究者相互間の学際的な協力が不可欠である。学際的な共同研究活動を円滑に進めるために、本研究部門では部門内の研究セミナーを開催し、個々の研究者が抱える問題意識や興味、研究の状況などに関する発表、質疑を通じて問題意識の共有や共同研究の動機づけの契機を提供するとともに、本研究部門における今後の研究の方向性等に関して議論する機会を設けている。

総合的な防災研究には、自然科学にとどまらず社会科学分野との連携が不可欠であるという観点から、非常勤講師や学内研究担当者の人選を行い、法学、経済学、保険学、心理学、情報科学、工学などの広い領域からなる研究者の結集を図り、総合化課題の抽出と共同研究の促進を図っている。

また、アジア・太平洋地域に適した地震・津波災害軽減化技術の開発とその体系化に関する研究(EqTAP)や、大都市大震災被害軽減化特別プロジェクト(大大特)等のプロジェクトに関しても部門として積極的に関与し、総合防災研究の展開を図っている。

## (4) その他の活動

総合防災に関する国際研究集会(IIASA-DPRI Annual Meeting on Integrated Disaster Risk Management)を国際応用システム分析研究所と共催し、総合防災研究の国際的な拠点として活動を続けている。

## 8.1.2 研究分野の研究内容

(1) 研究分野: 災害リスクマネジメント研究分野

(2) 研究スタッフ: 教授 岡田憲夫, 助教授 多々納裕一(平成15年7月31日まで)

### (3) 研究対象と研究概要

#### ① 分野の研究対象と方針

自然災害、環境災害などの災害リスクに対して有効な戦略を打ち立てていくためには、災害マネジメントの戦略についてリスク分析的視点から研究を進めることが必要である。自然・環境等からの外力の発生が被害をもたらす災害と顕在化する過程には人間の様々な活動が介在する。これらの外力と活動との相互作用によって被害の程度や災害からの回復の仕方が異なってくる。人間の活動は民間・社会資本の蓄積を介して被害を受ける客体の分布等を規定するとともに、防災のための社会資本の蓄積や制度等の整備、さらには災害文化の醸成等を介してソフト・ハードの社会基盤が形成される。本研究分野では、社会の「安全の質」を規定するという社会基盤の側面に着目し、ハード・ソフトの社会基盤整備を通じた災害リスクマネジメントの方法論を提示することを目指して研究活動を展開している。

#### ② 現在のおもな研究テーマ

- 1) 災害リスクの分析・評価方法
  - 2) 災害による社会・経済的インパクトモデルの開発
  - 3) 災害マネジメントの戦略論
  - 4) 社会的合意形成過程
  - 5) 安全で安心なまちづくりのための参加型リスクマネジメントに関する実証論的研究
- 1) 災害リスクの分析・評価方法に関する研究  
災害が社会的被害を引き起こす過程には人間の活動分布や住宅・産業の空間的集積状況、

社会基盤の整備状況、さらにはそれらを間接的に規定する法や制度、文化といった重層的な構造が介在する。そこで人間活動の分布と災害のリスクとの関連を分析するためにニッチ分析や空間統計分析を用いた方法論の開発を試みている。また、社会基盤の整備と災害リスクの関連性に関しては、道路網の冗長性解析手法を提案している。また、住居の空間分布のリスク解析のために、都市経済学的なアプローチに基づいて災害リスク情報の利用可能性と被害の発生可能性に関する理論的検討を行っている。

#### 2) 災害による社会・経済的インパクトに関する研究

近年の災害による社会経済的なインパクトは年々増加の一途をたどっている。90年代の平均値と60年代のそれとを比較すると、災害の発生件数は3.2倍に増加し、総経済損失は8.6倍に、保険金支払額にいたっては16.1倍に達している。このことは、災害に対する対処方法を考える際に、社会経済活動への効果を考慮する事が極めて重要であることを示唆している。そこで、当研究室では、ハザードマップの提供による被害軽減の可能性や防災投資の短期・長期効果の計量化および評価方法に関して研究している。また、大規模災害のもたらす間接的インパクトに関する経済評価モデルの開発に関する研究を実施している。

#### 3) 災害リスクマネジメントの戦略論

災害のリスクマネジメントの方法は、災害リスクの「コントロール」と「ファイナンス」に大別される。洪水に備えてダムや堤防を作ったり、建築物や土木構造物の耐震設計を行ったりといった物的なリスクコントロールの他にも、保険、税あるいは情報提供等によって被災危険地域から人口や資産の分散を図るような非物的な手段によるコントロール手段

も存在する。また、大規模な災害では被害の発生は避け得ない。このため、災害のリスクを効率的に分担していく仕組みであるリスクファイナンスも極めて重要である。災害リスクマネジメントを実効あるものにしていくためには、これらの施策を有機的に組み合わせることが不可欠となる。そこで、当研究室では、これら災害リスクマネジメントのための施策をいかに組み合わせ、有効な戦略を導くかという政策分析の方法に関して研究を行っている。

#### 4) 社会的合意形成過程に関する研究

いかに、理想的なマネジメントの方策が立案されようとも、その施策を実現していくためには、その実施に対して社会的な合意を形成していくことが不可欠である。当研究室では、社会的合意が達成されるプロセスを個々の主体が自己の利益の最大化を目指してゲームを行う結果、自発的に協力関係を形成される過程として捕らえる。さらに、分権的・自発的に協力関係が形成されるようなルールに関してゲーム論的な解析を行っている。この過程において情報の非対称性が重要な役割を果たすことに着目し、不完備情報化の交渉や交渉結果が不変となるような選好の構造に関しても検討を加えている。

#### 5) 安全で安心なまちづくりのための参加型

リスクマネジメントに関する実証的研究地域や都市、コミュニティの安全・安心の質を総合的に高めていくためには、市民を巻き込んだ参加型のリスクマネジメントが不可欠である。そこで当研究室は過疎地域などを対象に、都市・地域の安全・安心の質に関わる多元的なリスクのマネジメントに関する多面的かつ実証的な研究を行っている。

### (1) 研究分野：防災社会構造分野

**(2) 研究スタッフ：**教授・多々納裕一(平成 15 年 8 月 1 日～) 助手・田中 聡(～平成 16 年 3 月 31 日)

### (3) 研究対象と研究概要

#### ①分野の研究対象と方針

安全で安心な社会システム形成を目指した都市社会基盤の診断及びその総合的施策の策定・実施のための方法論的研究を行う。併せて、人間の行動を間接的に誘導し、安全で安心な社会を築くための社会構造(制度や仕組み)を見出し、それを実現させていくための方法論体系を構築する。これらの研究を蓄積し、「社会の質」を備えた総合的な防災体系のあり方を示すことを目指している。

#### ②現在の主な研究テーマ

- 1) 社会・経済システムと災害過程との相互作用
- 2) 社会基盤施設の整備戦略と安全性の更新
- 3) 認知リスクと災害対応行動
- 4) 防災情報システム論
- 5) 社会基盤施設の地震時性能規範評価

#### 1) 社会・経済システムと災害過程との相互作用

社会経済システムと災害過程との相互作用を解明することは、災害に強い社会システムの構築を目指す上で先ずもって取り組むべき課題である。この点に関して、理論的・実証的な研究を展開している。内生的経済成長モデルを用いて災害後の復旧過程に関する分析を行った。災害によるストックの損傷が異なる地域や資本の間で不均質に生じることが、事後的な復興過程における回復の速度を規定することや、交易構造によって規定される被害の波及構造が復興の過程にも影響を及ぼすことを明らかにした。また、ライフライン等の社会基盤の機能停止が産業の生産性に及ぼす影響をアンケート調査により明らかにしている。これらの研究がさらに進

展していけば、災害の社会経済的な影響の全体像を明らかにすることも将来的には可能になるものと考えている。

## 2) 社会基盤施設の整備戦略と安全性の更新

交通ネットワークの整備状況や交通施設の耐震性の違いは、地震時に利用可能な交通ネットワークの状況を変化させる。交通ネットワーク内のリンクが機能しなくなった場合に生じる経済被害の大きさをリンクの経済的重要度と呼ぶ。各リンクの経済的重要度を評価指標として交通ネットワークの整備・更新戦略を作り上げることが重要であると考えている。本研究では、まず、地震時の交通ネットワークの損傷と経済被害との関係に関連づけることが重要であると考え、大規模地震による交通ネットワークの損傷が社会経済システムに及ぼす影響を分析しうる空間応用一般均衡モデルの構築を進めている。東海地震警戒宣言シナリオ、東海・東南海地震時の交通ネットワーク損傷シナリオ、中越地震シナリオに対する分析を実施し、交通ネットワークの損傷の経済的影響の定量的を把握し、ネットワーク冗長性の効果等を示した。

## 3) 認知リスクバイアスと災害対応行動

地震災害のようにその発生頻度が低い事象の場合は、客観リスクと主観リスクが一致するまで学習がなされうるとは想定しにくい。特に、大規模な地震のリスクのように、発生頻度が稀で、しかも、自らが居住する住宅等の災害脆弱性に関して十分な知識や情報が得にくい現状においては、主観的なリスクの認知は客観的なそれとは必ずしも一致しない。そこで、まず、ハザードマップ等の災害危険度情報の提供が居住地選択行動やミチゲーシヨンの選択行動に及ぼす影響を分析している。ここで、認知リスクと客観リスクとが一致しない場合、情報提供前の主観的な期待効用は家計の厚生水準を的確に反

映した指標とはなりえない。この点を考慮し、客観的なリスクに基づいて事前の厚生水準を補正する必要があることを指摘し、その補正方法を提示した。その上で、実際の居住地選択行動と認知リスクとの関係を明らかにするためにコンティンジェントバリュエーション法(CVM)による主観的認知リスクの計量化に関する研究にも取り組んでいる。

## 4) 防災情報システム論

防災情報システム論に関しては、阪神・淡路大震災における情報課題を検証するとともに、データベースの構築法や情報技術の問題点の整理を行った。神戸市長田区役所で行った、倒壊家妻屋の解体撤去に関する活動をもとに、行政における情報システムのあるべき姿としてリスク対応型域空間情報システム」の構築を提言している。また、都市型水害の教訓に基づいて、地域コミュニティを対象とした水害リスクコミュニケーションシステムの開発も行ってきている。

## 5) 社会基盤施設の地震時性能規範評価

社会基盤施設の地震時性能規範評価については、地震時における道路交通システムの機能性能評価システムの開発が実施されており、道路交通システムの耐震信頼性を構造損傷と機能被害の両面から検討を行い、評価手法の体系化の研究が行われている。

### (1) 研究分野：都市空間安全制御研究分野

### (2) 研究スタッフ：

教授・鈴木祥之 助教授・林 康裕(平成16年11月まで)

### (3) 研究対象

建築物の耐震安全性向上と災害に強い都市空間・生活空間を目指して、都市空間の大地震による危険度評価と被害推定の研究とともに、建

築構造物の耐震安全性を評価する耐震信頼性解析法や合理的な耐震設計法の開発、先端技術を用いた制震構造システムや構造物の健全度を調べる構造ヘルスマモニタリングに関する研究を行う。また、近年の社会的な要請である木造建築物の耐震性能の評価と向上に関する研究を行い、木造建築物の良さを生かす性能規定型設計法や耐震補強法を開発して、住民の安全・安心を高めるとともに歴史・文化財建造物の保全と創生に役立てる。

- 1) 都市住空間の総合防災に関する研究
- 2) 構造物の耐震信頼性解析法と構造同定法に関する研究
- 3) 制震構造システムと構造ヘルスマモニタリングに関する研究
- 4) 都市/建物の地震危険度評価と被害推定に関する研究
- 5) 木造建物の耐震設計法・耐震補強法の開発に関する研究

#### 1) 都市住空間の総合防災に関する研究

古い木造建築物が集積する歴史的市街地や密集市街地においては、地震危険度が高く住民の安全確保には、住宅の耐震性向上が不可欠であり、また歴史的建築物の文化的価値保全の観点からも古い木造建築物の耐震改修が重要である。戦前の木造建築物が集積する金沢市東茶屋街や主計町、萩市浜崎地区、大阪市福島区野田地区において、また京都市の京町家を対象に、伝統軸組構法を主とする古い木造建築物の集積状況と構造詳細調査を実施して、建築物の耐震性能や地域のリスク評価を行うとともに耐震改修方法の提案と耐震改修の促進に関する研究を行った。これらの調査研究の成果をもとに、木造建築物群の耐震改修を集团的に数多く促進するための実践的手法とその実用化プログラムを技術面と社会制度面の両面から検討することを目的として、研究集会 16K-02「歴史的市街地・密

集市街地における戦前木造建築物群の集团的な耐震改修促進手法の検討」(研究代表者:大阪市立大学大学院工学研究科・中村 仁)を行った。野田地区では戦前長屋密集市街地におけるまちづくりワークショップ、京町家では研究者のみならず大工職人、建築設計者、住まい手とのネットワークの構築など実践的活動を行った。

また、阪神・淡路大震災以後も甚大な被害を与えた2000年鳥取県西部地震、2001年芸予地震などに引き続き、2003年7月26日宮城県北部の地震、2004年新潟県中越地震の被害調査を実施し、都市域のみならず過疎地における地震災害について、建築物群、特に住宅を対象に、居住者の安全性確保の観点から地震被害リスク評価に関する研究を行った。

#### 2) 構造物の耐震信頼性解析法と構造同定法に関する研究

構造物の耐震設計を合理的に行うには、地震外乱、構造物系に含まれる不規則性や不確定性を考慮して地震時の安全性・信頼性を定量的に評価する方法を確立することが基本的に重要であり、履歴構造物の確率論的地震応答解析法、地震時損傷度評価法に関する研究とともに、それらを統合化した耐震信頼度解析法に関する研究を行っている。

不規則地震外乱を受ける非線形構造物の不規則応答解析法を確率平均法によって定式化する方法などを導き、また構造物系に含まれる不規則性、不確定性を考慮した不確定構造物系の地震応答解析法と信頼性設計法の開発に関する研究を行った。

構造物の地震時の安全性・信頼性を評価するには、構造物に含まれる複雑な非線形履歴特性を定量的に同定する方法を確立することが重要となる。木造構造物に特有なスリップ特性を有する履歴特性を定量的に同定するために、ブートストラップ法に基づく非線形同定手法を開発

し、木造軸組の振動台実験で得られるデータを用いて履歴特性の再現を行い、同定手法の妥当性を検証した。次いでウェブレット法やブートストラップ法を発展させ、構造物の地震時損傷の検出と損傷度の推定に応用し、2階建木造住宅の振動台実験で得られるデータを用いて検証した。

### 3) 制震構造システムと構造ヘルスマonitoringに関する研究

1995年兵庫県南部地震では、多くの構造物が被害を受けたが、地震直後に構造物の損傷程度や損傷箇所など詳細に把握することは困難であり、都市機能の回復が遅れた。都市機能を司る都市重要構造物においては、早期に精度良く地震時損傷を検出システムが不可欠となる。また、構造物の経年的な劣化を含めて構造物の健全度を評価することは、構造物の安全性を確保し、都市機能を保全する上で重要となる。このような観点から、都市重要施設・建築物など既存構造物の安全性・信頼性を保全することを目的として、強震時における構造物の損傷程度と損傷位置の検出システムと経年的な構造物の劣化をモニターする健全度評価システムを構築するためにセンサーを含むモニタリング技術の開発、地震時における構造物の非線形地震応答を同定するアルゴリズムの開発ならびに構造物の地震時損傷の評価・検出アルゴリズムを導いた。また、地震時における建築構造物の安全性や機能性・居住性を保持することを目的として、制御アルゴリズムの理論的研究や伝統構法木造建築物に適用可能な制震装置と制震補強法の開発を行った。これらの研究は、文部科学省科学研究費補助金特定領域研究(2)計画研究3-2「構造物のモニタリングと損傷度検出システム」(No. 11209206, 1999年度-2003年度, 研究代表者: 鈴木祥之)に基づいて実施し、それらの成果は、報告書「Monitoring and Damage Detection

Systems of Structures」などにまとめられている。

### 4) 都市/建物の地震リスク評価と被害推定に関する研究

発生確率が高まる大地震に対する都市域の地震危険度を効果的に軽減するためには、リスクを正確に評価し、被害を予測することが重要となる。住民の地域や住宅の危機要因への理解、行政の地域防災の的確な対策の観点から、災害発生前の防災対策促進のための建築物の地震リスク表示とリスクコミュニケーションに関する研究や災害後の被災者への公的支援と生活再建・自立に関する研究を行っている。これらの研究に関連する理学・工学・社会科学等の各専門分野の研究者・実務者が集い、各分野での現状と課題、評価の総合化プロセスでの課題を抽出・認識を共通化した上で、地震リスク評価精度向上のための検討を行うことを目的として、研究集会15S-2:地震リスク評価能力向上のための次世代戦略(研究代表者: 林 康裕)を行った。

都市域の地震被害想定と地震後の早期被害推定を高い精度と信頼性のもとに行うには、都市の広域的な地震動特性と地域の建物特性を把握し、過去の地震被害事例を検証することが基本となる。このような観点から、京都市域における地盤および建物の地震応答を広域的に観測するネットワークを構築して地震応答観測を実施してきた。本観測システムによる観測記録と京都市における地下構造調査の結果等により、京都盆地における建築物の被害予測に関する研究を行った。また、1995年兵庫県南部地震、2000年鳥取県西部地震、2001年芸予地震、2003年7月26日宮城県北部の地震、2004年新潟県中越地震などの建築物被害調査を実施し、地震動特性と建築物被害の関係等について分析を行い、建築物の地域性を考慮した耐震性能評価や被害予測を基に地震リスク評価について研究を行った。

また、地震による負傷者の救済に不可欠な病院の地震被害について調査し、医療機能の地震時損傷に関する研究を進めている。

#### 5) 木造建物の耐震設計法・耐震補強法の開発に関する研究

1995年兵庫県南部地震による阪神・淡路大震災では、木造建物は甚大な被害を受け、木造住宅の倒壊が多くの死傷者を出す原因となった。また、東海地震、東南海地震、南海地震など大地震の発生が予想される状況において、木造建物は、構造設計、施工監理、維持管理の不備などから構造安全性を確保できていないものも多いことが指摘されており、木造建物の耐震性能評価に基づいた耐震設計法・耐震補強法の開発が急務となっている。現在、一般的に広く用いられている耐震診断法や耐震設計法は、伝統構法木造建物に適していないため、伝統構法木造建物の新築や改修が難しい状況におかれてきた。そのために、木造建物、特に伝統構法の耐震設計法および耐震補強法の開発を進めている。

まず、伝統構法の構造力学的なメカニズムを調査し、伝統木造軸組構造物の主要な復元力特性である柱傾斜復元力特性や柱一横架材軸組構造の曲げモーメント特性の理論解析と検証実験を行い、また、伝統構法の建物に多く用いられる土塗壁や土塗小壁の実験を行って耐震性能を評価した。木造軸組は大きな変形性能を有する特徴がある。この変形性能を活かすために、大地震時の大変形領域に至るまでの復元力特性を評価して、限界耐力計算による新しい耐震設計法の開発を進めた。次いで、既存木造建物の耐震補強を行うために、耐震補強用に高い変形性能を持つ新しい構造部材を開発するとともに、耐震補強効果を検証し得る耐震補強設計法の開発を行った。これらの研究成果を実用化するため、(社)日本建築学会近畿支部木造部会および(社)日本建築構造技術者協会関西支部木造部会

が木造軸組構法建物の耐震設計・耐震補強法のマニュアル化とともに設計事例による検証を進め、木造軸組構法建物の耐震設計マニュアル編集委員会(代表：鈴木祥之)編「伝統構法を生かす木造耐震設計マニュアルー限界耐力計算による耐震設計・耐震補強設計法ー」(学芸出版社)として出版している。

我が国には、文化財・歴史建造物として価値の高い木造建築物が多く残されてきている。これらの伝統構法建物の構造詳細調査を実施して構造的特徴を把握し、このような構造的特徴を組み込んだ試験体を製作し振動台実験等を実施して構造メカニズムを解明するとともに、伝統構法木造建物の特質に適合した耐震補強技術の開発を進めている。

#### (1) 研究分野：自然・社会環境防災研究分野

(2) 研究スタッフ：教授・萩原良巳 助手 畑山満則

#### (3) 研究対象と研究概要

総合防災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、防災または減災にどのような影響を与えるかを分析し、環境保全型の防災都市・地域づくりを研究する。

このため、災害を「自然災害」「環境破壊災害」そして「環境汚染災害」の3つに分類し、その相互関連を分析するとともに、防災という視点から見て、より好ましい都市・地域づくりを環境の創成を通して実現する(自然科学と社会科学を結合した)計画方法論を体系化することが重要となる。

本分野では、「社会の変化」「環境の変化」「災害の発生リスク」「社会計画」を一連の循環過程と認識したシステム論的な研究を行っている。

主な研究テーマ



- 1)大都市圏の水循環システム計画に関する研究
- 2)都市域の総合環境防災計画に関する研究
- 3)水資源開発と環境の社会的コンフリクトにおける均衡状態到達プロセス
- 4)京都市市街地における災害弱地域と高齢者のコミュニティに関する研究
- 5)バングラデシュにおける災害問題の実態と自然・社会特性との関連分析

1)大都市圏の水循環システム計画に関する研究  
我が国の都市域の水管理は、河川管理者、水道管理者及び下水道管理者によって別々に行われ、個別の整備率が高いにもかかわらず、震災、環境汚染、渇水などの災害が頻発している。個別管理を高めても十分に対応できない問題であり、被害を防止・軽減する有効な対策を講じる計画作成が難しいという構造的な問題を有している。このような従来の枠組みでは捉え切れないうリスクを軽減するには、個別的な管理の発想でなく、都市内の水の流れを一体とした水循環システムとして捉えたリスクマネジメントを行うことが必要である。以上の立場から、都市域の水循環システムの再編成に関する研究を行った。

2)都市域の総合環境防災計画に関する研究  
従来、個別的に取り扱われてきた防災・減災問題と環境創成問題を総合的に考慮し、総合環境防災計画として地域計画の中で位置付けることが求められている。そのために、これまでの研究成果を踏まえ、地域の自然・社会環境の変化をも考慮した総合環境防災計画の計画方法論をシステムズ・アナリシスで構成する研究を行った。

3)水資源開発と環境の社会的コンフリクトにおける均衡状態到達プロセス  
世界規模での水資源不足が将来的に予想されており、この不足を補うために水資源の開発が急務であると考えられる。しかし、長良川河口

堰問題、吉野川第十堰問題などに見られるように、一般に影響圏が広範で利害関係者が多く存在する水資源開発をめぐってはコンフリクトが生じやすく、社会的なコンセンサスをもって開発に望むことは非常に困難であるといえる。本研究では、このような水資源開発に伴って発生する社会的なコンフリクトに着目し、到達し得る均衡状態について分析を行った。

4)京都市市街地における災害弱地域と高齢者のコミュニティに関する研究

京都市旧市街地に多数存在している伝統的な木造家屋の町屋・長屋の存在は、京都特有の文化や歴史から形成された文化財である。このため減災目的のみによってこれらを整備縮小していくことは困難である。これは同時に、震災時の危険要素となりうる袋小路を無くすことが難しいことも意味する。また現在、我が国では急速な高齢化が進行しており、京都市は特に高齢化率の高い都市の1つである。高齢者は身体能力の低下などにより迅速な行動が困難となる。つまり高齢化社会への移行は、震災時の人的被害は拡大につながると考えられる。これらの震災リスクを軽減するため、地域でのコミュニティ活動の活性化が注目されている。本研究では、高齢者のコミュニティを調査・分析することでソフト面からの震災リスク軽減に関して考察を行った。

5)バングラデシュにおける災害問題の実態と自然・社会特性との関連分析

アジア南部に位置するバングラデシュは、人口1億2800万人、人口密度860人/km、国土147,570km<sup>2</sup>の国である。人口増加はとどまりを見せず、狭い国土には資源が乏しい。季節は雨季と乾季に分かれ、雨季の洪水と乾季の渇水のもたらす被害は非常に深刻である。水に関する問題はこれに加え、飲料水のヒ素汚染問題、気候変動による海岸の浸食および地下水の海水

化問題がある。さらに、バングラデシュ国内には断層が走っており、建築物が耐震を考慮せずに建造されているため、ひとたび地震が発生すれば壊滅的な状況となることが予想される。これらの表象的な問題の将来的な展望をさらに悲観させる要素は、45%という識字率の低さである。このことは災害問題に対処する国内の人材の欠如や、知識や知恵の蓄積と伝播を困難にすることに結びつく。本研究では、ヒ素汚染問題を考えるにあたって、現地の社会環境を十分考慮する必要があるという観点から、ヒ素汚染問題と社会環境を明確化し、現地で受容可能な代替案に関して総合的な考察を行った。

### 8.1.3 その他の活動

土木学会、建築学会、日本 GIS 学会、日本自然災害学会等の領域において、総合防災の進展に不可欠な研究啓蒙活動や共同研究を展開してきた。たとえば、土木学会土木計画学研究委員会の中に、災害リスクマネジメント研究委員会を設置し、その運営に当たってきた。この間、ワンデーセミナーやスペシャルセッション等を企画し、平成 15 年には研究討論会「リスクマネジメントとしての都市再生—密集市街地を巡る課題と展望—」を開催した。また、このような研究活動を通じて得られた成果を取りまとめて、「防災の経済分析」(多々納・高木編著 2005)を刊行している。また、総合防災研究部門での研究成果を「総合防災への道」(萩原・岡田・多々納編著)として京都大学学術出版会から出版する予定である(2006 年刊行予定)。

## 8.2 地震災害研究部門

### 8.2.1 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4研究分野(強震動地震学, 耐震基礎, 構造物震害, 耐震機構)で構成されている。

#### (2) 現在の重点課題

強震動地震学研究分野では、長期評価にもとづいて発生確率の高いプレート境界地震である東南海・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、迫るプレート境界巨大地震に先行して、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り、そのような都市直下の地震による強震動特性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、強震動の特性を把握し耐震設計用の入力地震動を設定、地盤の非線形振動特性や構造物基礎の震動特性を解明するため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-構造物連成の影響による地震動増減幅特性の定量化を通じて、建物、都市基盤諸施設に作用する入力地震動とその地震応答特性を適確に把握した上で、安全性、損傷性、機能性等の多段階性能要求に応える耐震設計・施工法を構築するとともに、実効力の高い既存都市施設の脆弱

性診断法やその再生技術を開発することに重点をおいている。

耐震機構研究分野では、建築構造物の地震に対する安全を確保することを命題に、建築構造物の地震時応答特性、崩壊特性などを理論的・実験的に解明するとともに、より高度な構造物耐震設計法・施工法の確立に重点をおいている。

#### (3) 研究活動

強震動地震学研究分野では、揺れの予測をするための震源モデル及び地下構造モデルを構築し、それらに基づくシミュレーションによって、様々な地震に対する時刻歴波形を作成する手法の構築と高度化をすすめている。

耐震基礎研究分野では、最近の内外の地震被害調査を実施するとともに、耐震設計用の入力地震動を設定、地盤の非線形振動特性や構造物基礎の震動特性を解明する研究、構造物の震動制御とヘルスマニタリングに関する研究、ライフラインの耐震性を向上するための研究、構造物の地震時信頼性に関する研究などを推進している。

構造物震害研究分野では、鉄筋コンクリート構造建物の地盤との地震時連成挙動の解明と耐震設計手法の改善および基礎基礎根入れ部に作用する土圧と側面摩擦力の評価ならびに波の到来方向に基づく局所的軟弱地盤位置の推定法の開発を行っている。

耐震機構研究分野では、鋼構造物の耐震設計法および耐震デバイスの改善、ならびに既存鉄骨建物の耐震性評価およびその耐震性能再生技術の開発などを目的として、実大構造物の地震時加力実験や鋼構造物の耐震性能と品質を保証する機械式接合システムの開発、既存鉄骨建物の

柱梁接合部を高力ボルト主体で補強する技術の開発などを行っている。

#### (4) その他の活動

地震災害軽減や、地震現象に関する社会への啓蒙活動を、国・地方自治体等の地震動予測地図や地震被害想定、関連学会での強震動に関する各委員会の委員長や委員を通じて行っている。

また、日米共同研究プロジェクト「都市地震災害軽減」などに参加し、米国 NEES (Network for Earthquake Engineering Simulation) 計画との連携を行ってきている。第 5 回 SEEBUS (Taiwan-Korea-Japan Joint Seminar on Earthquake Engineering for Building Structures) は、2003 年 10 月に防災研究所で開催した。

## 8.2.2 研究分野の研究内容

### I. 強震動地震学研究分野

教授・入倉孝次郎(平成 16 年 3 月退官)・岩田知孝(平成 16 年 11 月昇任), 助教授・松波孝治, 助手・岩田知孝, 非常勤講師: 竹中博士(九大院理), 研究担当: 釜江克宏・川辺秀憲(京大・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。

- ・不均質震源モデルの抽出に関する研究(岩田知孝)

断層破壊過程の不均質性が、断層近傍の強震動特性を支配している。強震記録を用いた既往の被害地震の運動学的な震源モデルを推定し、不均質震源特性の抽出と、不均質性と震源近傍強震動の関係についての研究を行っている。内陸地殻内巨大地震である 2002 年アラスカ・デナリ地震の震源過程を強震記録から分析し、S 波地震波速度を超える破壊過程の可能性を示した。

- ・動的震源モデルと強震動に関する研究(入倉孝次郎・岩田知孝)

断層の破壊現象の物理を解明するために、運動学的な手法に基づいて推定された断層破壊過程から、動力的な震源パラメータの推定や、モデルに基づいた解釈を行う。伏在断層のアスペリティの応力降下量が、地表地震断層のそれに比べて有意に大きく、応力降下量に深さ依存性があることを既往の地震の分析から推定した。

- ・特性化震源モデルと強震動予測レシピに関する研究(入倉孝次郎・岩田知孝・釜江克宏・川辺秀憲)

既往の震源の分析から、将来起きる地震時の、震源近傍域の強震動特性を表現する震源モデルの構築をすすめている。アスペリティモデルに

もとづく特性化震源モデルの構築手法の提案と、それを核にした「強震動予測レシピ」の構築を行い、方法論の検証と改善を行っている。

・地震波伝播経路特性に関する研究(松波孝治)

中国唐山地域に日中共同で構築した強震動アレー観測記録を用いてS波のQ値(Qs)及びサイト特性を評価した。Genetic Algorithmを用いた基準点を必要としない手法によるサイト特性と、深層岩盤内(-822mのトンネル内)の観測点を基準点として得られた相対的サイト特性と比較して、両者が良く一致する結果を得た。これは地表と観測サイト間の伝播媒質のQsが小さく地表面反射波が急速に減衰するため深層岩盤内サイトにおいて反射波の影響が少ないことによる。また、これらの解析により、地表露岩上の観測点は平坦なサイト特性を示さず固有の増幅特性を持つため、地表露岩点を基準点としたサイト特性は一般に過小評価されることがわかった。

和歌山群発地震記録のSコーダエンベロープを用いて1Hzから48Hz間について散乱減衰と吸収減衰を多重散乱モデルに基づき分離・評価した。2Hz以下では散乱減衰が卓越するが、4Hz以上では吸収減衰が卓越する。いわゆるコーダ減衰(1/Qc)は、全減衰(散乱減衰と吸収減衰の和)と吸収減衰の間にあり、4Hz以上では3者の差は非常に小さくなる。これは、4Hz以上ではコーダ減衰から全減衰を推定できることを示している。全減衰は群発地震域の破砕度の高さを反映して他地域と比較して顕著に大きい。

・長周期地震動の伝播特性に関する研究(岩田知孝・川辺秀憲)

発生確率の高い東南海地震・南海地震などのプレート境界巨大地震時には、京阪神の位置する大阪・京都などの堆積盆地において、長周期地震動が卓越することが予想される。長周期地震動によって長周期構造物が被害を受ける例とし

ては、2003年十勝沖地震時の石油タンク火災があげられ、想定東南海地震の震源域付近で生じた、2004年紀伊半島南東沖地震では、大阪湾岸で長周期地震動が卓越した記録が多数観測されている。このような観測長周期地震動特性を、盆地構造を含む地殻速度構造モデルに基づく波形シミュレーションにより検証し、モデルの高度化をすすめている。

(2)その他の活動

入倉孝次郎：文部科学省地震調査研究推進本部強震動評価部会部会長。強震動予測分科会の委員長として地震動予測地図作製の指導を行っている。

岩田知孝：文部科学省地震調査研究推進本部強震動予測分科会委員として、強震動予測地図作製に関して助言を行っている。

入倉孝次郎・岩田知孝：土木学会・日本建築学会合同連絡会巨大地震対応委員会地震動部会の主査(入倉)と副主査(岩田)として、巨大地震時の地震被害軽減のための地震動評価を行っている。岩田知孝・入倉孝次郎：(社)日本地震学会強震動委員会幹事(岩田)、委員(入倉)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、強震動予測の普及のための講習会企画、講師を積極的に行っている。

入倉孝次郎：京都府、滋賀県、大阪府等の地震被害想定委員会等の地震動部会部会長として、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。

松波孝治：シンポジウムの企画開催「あれから2年、住まいと暮らしは—鳥取県西部地震日野町震災シンポジウム2—」平成14年10月6日鳥取県日野町文化センター、「滋賀県安全快適まちづくりシンポジウム」(平成16年3月20日)において講演を行い、地域防災貢献を行った。

## II. 耐震基礎研究分野

教授：佐藤忠信，助教授：澤田純男，助手：本田利器，非常勤講師：吉田郁政(東電設計，平成14年度)，堀江佳平(阪神高速道路公団，平成15～16年度)研究担当：家村浩和・清野純史(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，地盤の非線形振動特性や構造物基礎の震動特性を解明するための研究，構造物の震動制御とヘルスマonitoring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，構造物の地震時信頼性に関する研究などを推進している。

#### ・設計用地震動の設定に関する研究(佐藤忠信)

鉄道橋や道路橋などの土木構造物の耐震設計規定では，地震動の特性は設計応答スペクトルの形で表現されていることが多い。しかし，地盤や構造物の動的解析を行う場合には，具体的な地震動波形が必要となる。その場合には，設計応答スペクトルに準拠した波形が必要となるので，位相スペクトルのモデル化が必要となる。そのために，耐震設計に用いる標準的な位相特性を群遅延時間を用いてモデル化した。この成果の一部は鉄道の耐震設計標準に反映されている。

さらに進んで，モデル化された位相特性のみから設計用の地震動波形を模擬するための研究を行った。

#### ・動的震源モデルを用いた震源インバージョン手法の開発(澤田純男)

現在広く実施されている震源インバージョン手法は運動学に基づいて断層の滑り分布を推定する手法であり，未知変数が多いために時空間上で平滑化フィルタを施した滑り分布が用いられる。一方で，動力学的な破壊を考慮した震源

モデルでは，その支配パラメタが時間に依存しないため，高解像度な震源像が得られる可能性があり，比較的短周期成分を含む入力地震動の構成に有用な情報を与えると考えられる。

しかし，この動的震源モデルに基づく震源インバージョン手法は，一般に膨大な計算時間を要する。これに対して降伏表面力に代えて破壊開始時刻を推定変数に用いることにより，問題の鋭敏性を除去した高速なインバージョン解析手法を開発した。

#### ・地盤の非線形震動特性を把握するための研究(佐藤忠信)

地盤の液状化の過程において，土要素は液状化発生前の固体的な挙動から，液状化時の流体的な挙動を経て，再び固体的な挙動を示すようになると考えられる。また，実際の液状化現象では固体・流体間の相変化過程が空間的にも時間的にも不均一に発生すると考えられ，ある時刻においては，固体的な性質を持つ領域と流体的な性質を持つ領域が混在することになる。このような問題に対応するには，固体と流体間の遷移領域を表現できる解析手法が必要である。そこで，砂地盤の液状化・流動現象を固体・流体間の相変化過程を含んだ現象と考え，液状化時の相変化過程を表現できる構成式として，簡便かつ多次元解析にも適用可能な砂の構成式を提案した。さらに，地盤の流動時における大変形の解析を行うためのアルゴリズムの開発を行った。

#### ・トルコ・アダパザル盆地の地盤構造と地震動特性に関する研究(澤田純男)

1999年トルコ・コジャエリ地震では，アダパザルの市街地で集中した被害が生じたが，アダパザル盆地の地盤構造がその原因の1つと考えられている。そこで深層地盤構造の解明を目的とした物理探査を実施した。さらに，物理探査記録に基づいたアダパザル盆地の地盤構造モデ

ル化と、これを用いた有限差分法による強震動シミュレーションを行なった結果、盆地効果により増幅された最大速度の大きな島状の領域がアダバザル市街地の周辺に認められた。

・構造物の非線形挙動の同定とヘルスマonitoringに関する研究(佐藤忠信)

都市社会資本が充実するに伴って適切な時期に既存都市施設の補強を行って都市の耐震性を向上する必要があるが、このためには継続的に都市建物群や土木施設の耐震健全度を遠隔操作によりモニターできるシステムの構築が必要である。こうした観点から、構造物の動特性を実時間で同定するための研究を実施し、非線形特性のオンライン同定を可能にするために、予測誤差法、カルマンフィルタ、 $H_{\infty}$ フィルタ、モンテカルロフィルタなどに適応型処理能力を導入した。さらに、ワイヤレスデータ送受信システムの開発を行なって、可搬型構造同定システムを開発した。

・ライフラインの地震時信頼性解析法に関する研究(佐藤忠信)

ライフラインの信頼性解析には常に NP-hard 問題が顕在することになる。したがって、従来の手法を用いてライフラインの信頼性解析を行う場合、ライフラインの構成要素数  $n$  が多くなると計算不可能となり、簡単なネットワークにモデル化するか、モンテカルロシミュレーションによって近似解を求めるしか方法がなかった。そこで、ライフラインの構成要素の破壊・非破壊を規定する領域を地震断層上で表現できる影響域の概念を提唱し、損傷したライフラインネットワークの場合分けの計算量を  $2^n$  のオーダーから  $n^2$  のオーダーに削減できるアルゴリズムを開発した。

・諸条件の不確定性を考慮した合理的な地震応答解析手法に関する研究(本田利器)

非線形動的解析の入力波の重要な特性である

時間周波数特性を考慮しつつ、波形パラメタの不確定性を表現できる波形合成法として、ウェーブレットや Wigner 分布を活用する手法を提案した。そしてその手法を、入力波形の合成や未観測地点の地震動の推定に適用した。

また、上で提案された手法を活用することで、入力波の時間周波数特性を考慮した上で、入力波および構造系が不確定性を有する非線形動的問題を効率的に解析することを可能とする手法を提案した。さらに、その計算の高速化を図るため、提案した手法を効率的に解析できる並列計算アルゴリズムを提案した。

・都市基盤施設のライフサイクルコストに関する研究(佐藤忠信)

供用期間や重要度の異なる都市基盤施設に対し効果的に耐震補強を行うために、「LCC 低減額」という指標を定義し、それに基づいて建物群の耐震補強の必要程度を相対的に評価する方法を提案した。さらに、LCC の計算には、構造物の地震時リスクを精度良く評価する必要があるため、構造物の地震時損傷確率の効率的な計算法を開発する研究を行っている。

## (2)その他の活動

佐藤忠信：以下に列挙する委員会委員長、委員として、研究成果の社会還元を図った。また、平成 14 年度から 16 年度にかけて、14 の国際会議・ワークショップの議長、論文審査委員会委員や基調講演を行うなど国際的な研究支援活動を活発に行った。

土木学会・日本建築学会合同連絡会巨大地震対応委員委員、ガス協会ガス管更生法委員会委員長、日本ガス協会「経年内管対策特別委員会」委員長、京都市地震被害想定策定に関する調査委員会委員、三重県地震被害想定策定に関する調査委員会委員、奈良県地震被害想定調査検討委員会副委員長、阪神高速道路公団耐震設計分科会委員、阪神高速道路公団技術審議会委員

澤田純男：土木学会地震工学委員会レベル 1WG で、主査として「土木構造物の耐震性能設計における新しいレベル 1 の考え方(案)」をまとめ、土木構造物の次世代の耐震設計法を提案した。また、京都市地震被害想定策定に関する調査委員会地震動部会長および第 2 次大阪府地震被害想定予備調査検討委員会委員長として、被害想定のための地震動予測を指導した。さらに、阪神高速道路公団技術審議会専門委員、大阪府地下構造調査委員会委員、国土交通省滋賀道路地震防災検討委員会委員などを努めた。

### Ⅲ. 構造物震害研究分野

教授・田中仁史，助教授・田村修次(平成 16 年着任)，助手・諸岡繁洋(平成 16 年転出)，非常勤講師：倉本洋，研究担当：河野進(京都大学工学研究科)

#### (1) 研究対象と研究概要

・国際耐震設計基準の比較評価と改善(田中仁史)

FIB(世界コンクリート協議会)の Commission7:Seismic Design(耐震設計)に参加、コンクリート構造物の耐震設計について、世界の実情調査と耐震規準改善の提案を行っている。また、ISO/TC71(国際標準化機構、コンクリート技術専門委員会)では、耐震設計に関する小委員会 SC4 と SC5 において世界規準の策定に貢献してきている。

・鉄筋コンクリート造建物の杭基礎との地震時連成挙動の解明と耐震設計手法の改善(田中仁史)

鉄筋コンクリート造連層耐震壁と杭基礎の要素の地震時水平加力実験を行い、基礎スラブを含む基礎梁への杭頭曲げモーメント及び水平せん断力等の応力伝達経路及び伝達機構の解明を行った。

大都市大震災軽減プロジェクトにおいては、

以上の実験結果および FEM 応力解析結果から、耐震壁浮き上がり挙動を再現する振動台実験に用いる動的試験デバイスの開発を行い、その力学的特性評価を行った。

・基礎根入れ部に作用する土圧と側面摩擦力の評価(田村修次)

地震時の杭基礎構造物の基礎根入れ部には、主働面、受働面の土圧、側面の摩擦力が作用する。このうち、側面摩擦力の検討例は極めて少なく、未解明な部分が多い。そこで本研究では、構造物慣性力、杭頭せん断力および受働面・主働面の土圧を計測することで、側面摩擦力を評価する手法を提案した。さらに、動的遠心载荷実験に基づいて、強震時における地盤と基礎部の相対変位と側面摩擦力の関係、相対変位と土圧合力の関係を示すとともに、土圧合力と側面摩擦力の比率を明らかにした。

・波の到来方向に基づく局所的軟弱地盤位置の推定法の開発(田村修次)

欠陥住宅の多くが地盤の不同沈下および基礎工事の不備に起因している。不同沈下の要因としては、局所的軟弱地盤も挙げられる。しかし、既往の地盤調査では、敷地に伏在している局所的軟弱地盤を把握できないケースがある。そこで本研究では、地盤の不連続面で波が屈折する性質を利用し、局所的軟弱地盤の位置を簡便に同定する方法を提案した。さらに、その妥当性を検討し、加振点と観測アレイの間に局所的軟弱地盤があると、波の到来方向がばらつくことを示した。

#### (2) その他の活動

田中仁史：以下に列挙する委員会委員長，委員として，研究成果の社会還元を図った

- ・ fib(国際コンクリート工学会)耐震委員会(Commission7) 委員
- ・ fib(国際コンクリート工学会)耐震委員会 Commission7-TG7.6 委員長



- ・ ISO・TC71(国際標準化機構, コンクリート技術専門委員会日本代表幹事)
- ・ 日本建築学会鉄筋コンクリート構造運営委員会幹事
- ・ 日本建築学会プレストレストコンクリート構造運営委員会委員
- ・ 日本建築学会新プレキャスト構造小委員会委員
- ・ 日本建築学会災害調査マニュアル編集 WG 委員
- ・ 日本建築学会プレストレストコンクリート構造運営委員会委員
- ・ 日本コンクリート工学協会 アジアモデルコード委員会委員
- ・ 日本建築センター RC 構造評定委員会 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 性能分會/構造特別委員会委員
- ・ 日本総合試験所 超高層・免震構造建築物構造性能評価委員会 評価員・認定員
- ・ 日本建築防災協会・構造審査委員会委員
- ・ 京都府生コンクリート品質管理監査会議副議長
- ・ 京都府建築物耐震診断改修等判定委員会判定委員

#### IV. 耐震機構研究分野

教授 中島正愛, 助教授 吹田啓一郎

##### (1) 研究対象と研究概要

本研究分野では, 建築構造物の地震に対する安全を確保することを命題に, 建築構造物の地震時応答特性, 崩壊特性などを理論的・実験的に解明するとともに, より高度な構造物耐震設計法・施工法の確立に関わる研究を実施している。

現在の主な研究テーマは, 下記のとおり

- (1) 鋼構造物の完全崩壊挙動の解明
  - (2) 分散型ハイブリッド実験手法の開発
  - (3) 残留変形制御型構造の開発
  - (4) 鋼構造物の機械式接合システムの開発
  - (5) 既存鉄骨建物の現有耐震性能評価
  - (6) 既存鉄骨建物の耐震性能再生技術の開発
- を中心に研究を展開し, 以下の成果を得るに至った。

完全崩壊挙動解明のための実大構造物実験 (中島正愛)

機能保持, 損傷制御, 安全確保などの多面的な要求に応えうる性能設計の確立をめざし, 建物が自重を支えきれなくなる点と定義される完全崩壊限界を明らかにするため, 繰返し大変形を受ける実大 3 層鋼構造ラーメンに対する崩壊実験を実施し, 下記の知見を得た。通常の耐震設計で想定する大変形挙動に対する数値解析は, 部材塑性化後の歪硬化を適切に反映できれば, 高い予測精度をもつ。代表的外装材である ALC 版は, それを, 剛体変形を吸収できる仕組みを用いて構造体に取りつける限り, 耐震設計で考える大変形の 2 倍程度の変形までほぼ無損傷にとどまりうる。崩壊は主として 1 層柱脚の損傷の進展によって誘発され, 当初は梁崩壊機構を呈して塑性変形するラーメンも, 最終的には 1 層崩壊機構に転じる可能性が高い。

準ニュートン法を用いた分散型ハイブリッド実験法の提案と免震建物地震応答への適用 (中島正愛)

地震応答再現実験手法であるハイブリッド実験の新機軸として, 実験や数値解析を複数の離れた場所で実施し, 互いが獲得する情報を, インターネットを介して交換しあいながら, 大規模構造物への適用をはかる方法を提案した。それぞれの部分(複数の実験と複数の解析)に独自性を持たせるために, 部同士の境界以外の情報は互いに参照しないという条件を課し, 全体系

としての連続性を保持するために、準ニュートン法を用いた繰り返し計算を適用した。また、ここで構築した実験法の妥当性と適用性を、免震建物の地震応答に適用することから検証した。

セルフセンタリング型柱脚システムの開発 (中島正愛)

建築構造物の耐震性能に対する新しい尺度として残留変形を俎上にあげ、大地震下でどの程度の残留変形が起こりうるか、どの程度までの残留変形であれば継続使用性や補修性において許容できるかを、一連の解析と被害調査資料の分析から検討した。また、残留変形の最小化をはかるために、セルフセンタリング柱脚と称する、PC 鋼棒と履歴ダンパーから構成される柱脚形式を提案した。PC 鋼棒、履歴ダンパー、鉛直軸力を主たる変数とした一連の実験から、この形式を実現するための設計情報を獲得した。

鋼構造物の耐震性能と品質を保証する機械式接合システムの開発 (吹田啓一郎)

兵庫県南部地震などの地震で被害を受けた鋼構造物の溶接接合部に、高力ボルトを主体として制振ダンパーを組み込んだ柱梁接合部を採用することで、耐震性能の向上と、特殊な技能を必要としない施工方法による品質の安定化を目指す機械式接合システムを開発した。その性能を実大の部分架構実験で検証し、建築構造物に必要な剛性と耐力、変形性能を確保するための設計法を確立した。さらに基礎構造をも鋼構造として高力ボルト接合主体の柱脚接合システムを開発し、上部構造とあわせて全体を機械式接合で構成する構造システムを開発し、設計法を提示した。

既存鉄骨建物の現有耐震性能評価 (吹田啓一郎)

現在の鉄骨建物とは施工技術が異なる高度成長期に建設された鉄骨建物には、構造技術の発展途上における黎明期に十分な知識と技量を伴

わずに施工されたものがある。1980 年前後に建設され、解体された鉄骨建物の主要構造部を対象に、溶接外観検査やマクロ試験による溶接詳細や施工方法の同定、超音波探傷検査による溶接部の欠陥の調査、構造部材と接合部の載荷実験による現有構造性能評価を行い、当時の施工技術の特徴と、それに伴う固有の構造的な弱点や欠陥発生の特徴、また現有する構造性能との関係を明らかにした。

既存鉄骨建物の柱梁接合部を高力ボルト主体で補強する技術の開発 (吹田啓一郎)

既存鉄骨建物の溶接柱梁接合部の保有耐力が不足する場合に継続使用を妨げずに所要の耐震補強を可能とすることを目的に、高力ボルト接合主体とする補強方法を開発した。溶接やガスなどの火器を使用せず、また補強工事の接合作業で特殊技能を要せずに安定した品質で所定の性能を付与できる方法を考案し、その設計法を構築するとともに、既存鉄骨建物に適用した補強接合部を対象に載荷実験を実施して施工性ならびに力学性能の向上を確認した。

上記研究課題の遂行に関しては、研究担当として京都大学工学部：上谷宏二教授、竹脇出教授、非常勤講師として熊本大学工学部：小川厚治教授、神奈川大学：岩田衛教授の協力を得た。さらに、カナダエコーポリテクニク、R. Tremblay 教授、米国リーハイ大学、C. Naito 助教授、イタリアナポリ大学：E. Mele 準教授、米国カリフォルニア大学バークレー校 K. Mosalam 準教授らが当研究分野に長期滞在し、上記課題を中心とした共同研究を実施した。さらに JSPS 外国人特別研究員として、謝強(中華人民共和国)E. Marino(イタリア)、R. Weitzmann(ドイツ)、また 21 世紀 COE 特別研究員として、P. Chusilp、劉大偉が上記研究を分担した。

## 8.3 地盤災害研究部門

### 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拓や開発に伴う人—地盤環境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、先進的理工融合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軽減のための研究を行うとともに、地震時における水際低平地に展開する都市域の地盤・構造物系の耐震性向上のための研究を推進している。現在の主要な研究課題は以下の通りである。

- ① 遠心力載荷装置を用いた地盤・構造物系の相互作用
- ② 地震時の地盤軟化機構の解明とその対策
- ③ 地震時の地盤・構造物系の変形予測と合理的設計方法の確立
- ④ 都市地盤の長期変形予測手法の開発

#### ⑤ 歴史的地盤構造物の評価と保全

研究の遂行にあたっては、室内土質試験、遠心力載荷装置による室内模型実験、サンプリングや貫入試験による原位置試験によって、実際の地盤材料の物理・力学特性を多角的に把握するとともに、有限要素法による数値解析によって地盤挙動を評価することにより、起こりうる地盤災害のメカニズムを的確に捉えることを基本としている。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

起伏の大きな山地においては、種々のプロセスによって災害が発生している。当分野では、山地災害の発生ポテンシャルを評価するために、これらのプロセス、例えば岩石の風化、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。現在の主要研究課題は次のとおりである。

- ① 山体の重力による変形、および大規模崩壊に関する研究
- ② 岩石の風化メカニズム、風化帯構造、風化帯内降雨浸透、および崩壊の免疫性に関する研究
- ③ 土石流などの急速な土石の移動の現地観測とモデル化に関する研究
- ④ 山地災害のハザードマップ作成手法の研究

研究は、野外での地質・地形調査研究に最大の重点を置き、さらに、空中写真判読や航空レーザー測量によって得たDEMのGIS解析、降雨浸透計測、現地での地形測量、原位置試験、室内における鉍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。

## 傾斜地保全分野

わが国及び周辺アジア諸国では、社会・経済構造の変化を反映した土地利用の流動化が、土砂災害および洪水災害の重大な要因となっている。近年の低地から丘陵地域における無秩序な開発は、傾斜地において地すべり・山崩れ・土石流などを誘発し、住民の生命・財産はもとより道路や送電線、重要建造物などの公共施設にも大きな被害を及ぼしている。特に、丘陵地における植生の改変や道路の建設は、水文地形過程に大きな影響を及ぼし、地すべりの発生要因となっている。ハード的対策は比較的危険度の高い地域では効果的であるが、費用対効果、災害規模の予測精度、さらには環境保護等の多くの問題を内包する。このため、全ての斜面で実施することは困難であり、現在も多くの未対策地域が残っている。そこで当分野では、これらの問題を解決するため下記の研究を実施している。

- ① 都市周辺の傾斜地における地すべり予測、ハザードマップの作成
- ② 水文地形学的観点からの山地源流域における洪水発生過程の検討
- ③ アジア発展途上国における土地利用変化や道路建設が、土砂生産、流送、下流域での土砂災害に及ぼす影響の広域的評価
- 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

研究は、フィールドワークを基本とし、探査(高精度表面波探査、比抵抗マッピング)、簡易動的コーン貫入試験、現地計測(地震、間隙水圧、水文)、室内試験、モデリング等の手法を駆使して行っている。これにより、都市及び周辺地域に分布する傾斜地の安全性評価手法の開発と合理的な対策工法の提案を目指している。

## (3) 研究活動

上記にあげた個別的研究要素を、室内実験、理論解析、野外調査、野外実験などの手法を用いて進めてきた。また、2003年水俣川豪雨災害時には、地盤災害研究部門の3研究分野で合同調査を行い、災害発生に関する多面的な検討を進めた。また、2004年新潟県中

越地震時にも、一部合同調査を行い、また、各専門分野からの研究を行い、低平地から丘陵地、中山間地での一連の地盤災害の特徴を解明し、また、発生メカニズムの研究を進めた。研究成果は逐次国内外学術誌などに発表してきた。その結果は別途あげたとおりである。

## (4) その他の活動

研究者相互の情報共有を進め、地盤災害の多面的見方を発展させるべく、月1回部門会議を行ってきた。また、研究成果を国、自治体、学会、その他協議会などと連携して、現実に直面している諸問題の解決に盛り込み、国土の社会基盤整備や防災対策に貢献している。これらの対外的活動については、別途社会貢献のところで列挙したとおりである。

## 8.3.2 研究分野の研究内容

### 地盤防災解析研究分野

教授 井合進, 助教授 三村衛, 助手 飛田哲男

#### ① 遠心力載荷装置を用いた地盤・構造物系の相互作用 (井合, 飛田)

1995年の兵庫県南部地震の際、沿岸部の埋立地に建設された道路橋や重要港湾構造物などに用いられている杭基礎に、多くの被害が生じたことが報告されている。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。杭基礎の被害要因としては、上部構造物に作用する過大な慣性力によって基礎が大きく変位する場合と杭体に地盤から想定した以上の水平荷重が作用した場合の2つが考えられる。このことは杭基礎の耐震設計においては、上部構造物の慣性力だけでなく、地盤の慣性力をも考慮する必要があることを示唆している。この点について、防災研究所現有の遠心力載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-土-杭間の相互作用を観察し、それらの位相差に着目した研究を行っている。

#### ② 地震時の地盤軟化機構の解明とその対策

(井合, 飛田)

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震は多くの犠牲者を出すとともに、各種ライフラインや橋梁、高架道路、岸壁、護岸などの社会基盤施設にも壊滅的な被害をもたらした。その中で、埋立地の岸壁や護岸あるいは河川堤防などの地盤・構造物系は、基礎地盤の液状化により大きな残留変位が生じて、多数の施設がその機能を失った。また、その復旧には長時間を要し、復旧費用は膨大なものになった。この事態を受け、大地震による地盤・構造物系の被害程度推定を精度よく行うことに対する社会的な要請が高まった。このような地盤災害分野の課題を解決するため、多重せん断機構に基づく砂の力学モデルを有限要素法に組み込んだ数値解析プログラム FLIP を開発し、各種社会基盤

施設の被害解析および被害程度予測に力を発揮している。

#### ③ 地震時の地盤・構造物系の変形予測と合理的設計方法の確立 (井合, 飛田)

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を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変形予測手法を構築することを目的に、遠心力載荷装置を用いた再現実験、有効応力に基づく非線形有限要素法、土の室内試験、現地調査など、あらゆる観点から研究を行っている。

#### ④ 都市地盤の長期変形予測手法の開発(三村)

都市基盤としての水際線平野は軟弱であり、その変形と安定性は社会基盤の安定的な供用と効率的な経済活動にとって不可欠である。本研究では、更新統粘土の有する構造効果によって生じる、特異な挙動を表現できる合理的圧縮モデルを構築し、これを弾粘塑性有限要素法に組み込んだ新しい枠組みを提案した。これにより、大阪港埋立地、関西国際空港埋立地、釜山新港周辺の大規模造成地における軟弱地盤の長期変形を解析し、それぞれの地点で実施されている詳細な現場計測結果と比較することによってその妥当性を検証した。その結果、本研究で提案した解析手法は、過剰間隙水圧の消散遅れ減少、更新統粘土層の大圧縮、ドレーン改良地盤の圧密促進現象が精度良く表現できることが明らかとなった。

#### ⑤ 歴史的な地盤構造物の評価と保全

1000年を越える歴史を有する京阪奈地域には、ヤマト朝廷創立以来の歴史遺産が多数存在している。その中で地盤工学が貢献すべきものとして、土で構築された「古墳」が挙げられる。本研究は、1972年に奈良県・

明日香村において発見された高松塚古墳の人工盛土地盤としての特性を評価するとともに、内部石室の修復に伴う墳丘改変に必要とされる、地盤工学的諸問題を、室内土質試験、模型実験、原位置試験、岩石試験などに基づいて多角的に解明することを目的としている。現在、古墳内部にある国宝壁画、カビや微生物の繁殖、石材の風化による漆喰面の劣化によって危機に瀕している。これに対する緊急、恒久保存対策を立てるにあたり、地盤工学的な知見が必要とされており、そのための各種研究を遂行している。また国宝壁画を良い状態に保持しながら、来るべき東南海・南海地震による古墳の損傷を防止するための対策を策定している。

## 山地災害環境研究分野

教授 千木良雅弘 助教授 諏訪浩

助手 斉藤隆志

### ① 山体の重力による変形、および大規模崩壊に関する研究(千木良)

山体は重力的に不安定な場におかれると、長時間かけて徐々に変形すること、そして場合によってはこの変形が崩壊に至ることがあることが明らかになってきた。また、近年ではこのような変形が徐々に進んでいる地域にダムを建設するなどした結果、湛水池周辺の地すべりが発生して問題になるケースが増加してきた。そのため、山体の重力による変形の実態とメカニズムを明らかにし、大規模崩壊の場と時を予測する研究を進めている。

1999年に発生した台湾集集地震によって発生した大規模崩壊は、発生前に徐々に変形が進行しており、それが地形に現れていたことを入念な解析の後、論文にとりまとめた。また、静岡県大井川流域では、山体の変形が万年オーダーで進むことを示し、また、山体の変形は山体の骨格となる厚い砂岩層などがある場合に大きな単位で進むこと、このような骨格のないメランジュでは小規模な表層崩壊が発生していくことを明らかにした。

### ② 岩石の風化メカニズム、風化帯構造、風化帯内降雨浸透、および崩壊の免疫性に関する研究(千木良、斉)

表層崩壊は主に風化岩石の崩壊であることから、岩石に特有の風化帯構造の解明と、風化帯内の降雨浸透挙動、さらに、それに基づいて崩壊の免疫性について検討している。ある地域が同様の降雨を受けても、風化帯構造の違いによって全く異なる崩壊応答を示すことを、1972年西三河豪雨災害を例として明示した。すなわち、空中写真判読に加えてレーザー航空測量によって、花崗岩地域で崩壊が多発し、そこ同様の降雨を受けた花崗閃緑岩地域では崩壊が少なかったことを明確にし、このような傾向は1972年災害以前から続いていたことを明確にした。

降雨によって発生する崩壊のメカニズム解明のために、風化花崗岩斜面内部の不飽和帯土壌水分と地下水の降雨に対する応答を調べ、強い降雨の場合、最初に降雨が直接地下水に供給され、その後に濡れ前線の低下によって土壌空気が圧縮され、毛管帯にある水が押し出され、その後に降水が地下水面に到達する一連の現象を明らかにした。このことは、崩壊の直前予知に対して重要な示唆を与える。

### ③ 土石流などの急速な土石の移動の現地観測とモデル化に関する研究(諏訪)

豪雨で斜面崩壊が起これ、崩壊土砂が土石流となって長距離移動して集落や道路、鉄道などが被災している。発災後に現地調査を実施して谷筋に残る痕跡や谷出口から広がる堆積物の分布を調べて、土砂移動の実態を復元してきた。その結果、土砂移動は単一事象で終わることは少なく、崩壊の規模が大きいほど数多くの土砂移動事象が反復していることが分かってきた。また、2004年21号台風豪雨で三重県宮川流域において発生した斜面崩壊の中には岩屑なだれを生じたものがあり、その詳細を現地調査で明らかにした。従来の研究では岩屑なだれの詳しい記載は地震や火山活動に伴う崩壊起源のものが主である。豪雨による崩壊起源のものについても解明の展望が開けてきた。

土石流については、災害後の調査からその運動を復元することに限界があるため、土石流頻発溪流を対象とした現地観測を実施している。東ジャワのスメル山斜面における観測では土石流と土砂流、洪水出水の発生条件、流動特性、土砂輸送特性に見られる差異を明らかにしている。長野県焼岳斜面における観測では、移動振動源モデルを構築して、土石流のエネルギー損失に占める弾性波成分を評価するなど、新たな試みを進展させている。これらの成果は土石流振動探知装置の感度基準を決めるために有用であり、土石流発生直後の探知方法の向上と避難警報のより迅速な発令およびその信頼性向上に役立つことが期待される。

#### ④ 山地災害のハザードマップ作成手法の研究(千木良, 諏訪, 斉藤)

山地災害のハザードレベルをスケールに応じて評価する手法を検討した。防災研究所一般共同研究 15K-01「豪雨による表層崩壊発生危険度評価に関する新たな展開」における討論を通じて、表層崩壊のように小規模なものでは、地盤の多様性のために決定論的な発生場所予測に限界があること、また、広域的危険度評価が必要であることを示した。表層崩壊の危険度評価のために、航空レーザー測量による過去の崩壊地の詳細抽出手法を開発した。そして、この過去の崩壊実績によって広域的ハザードレベルを評価する手法を提案した。

一方、2004年新潟県中越地震の時に発生した大規模な地すべりや、2004年宮川豪雨災害や愛媛県西条市豪雨災害の調査の結果、大規模な崩壊や地すべりについては、その前兆的な現象を地質・地形的にとらえることによって、ピンポイントで予測することの可能性の見通しを得た。

### 傾斜地保全研究分野

#### ① 都市周辺の傾斜地における地すべり予測、ハザードマップの作成 (釜井, Sidle)

兵庫県南部地震直後の被災地を詳細な踏査結果に基

づき、西宮市東部から神戸市西部にかけての斜面災害分布図を作成した。この調査結果とその他の地震災害事例に基づき、谷埋め盛土地すべりの地震時災害危険度予測手法を提案し、具体的な成果として東京・横浜地域のハザードマップを作成した。一方、都心部の斜面には、しばしば古い盛土を主体とする小規模宅地の集合体が存在し、過去数十年にわたる開発の結果、様々な年代、様々な様式の人工構造物(盛土、擁壁等)と斜面の自然地盤(地形、地質、地下水等)が渾然と雑じり合った“崖っぷち”が成立している。こうした急斜面の災害については、全体を“崖っぷち”として総合的に捉えることが重要であるため、その実態(地盤の種類と分布、現地形と旧地形、地下水、擁壁の構造、住宅の基礎形式等)に関する具体的調査結果と、それらを基に個々の斜面の実態と安定性を評価した地図「崖っぷちマップ」の作成を目指している。

#### ② 水文地形学的観点からの山地源流域における洪水発生過程の検討 (Sidle)

紀伊半島の4ヶ所にフィールド観測施設を設置し、水文地形学的観測を継続している。林道に沿って観測機器を設置した和歌山県(不動寺山中)内の3ヶ所では、これまで3回の大規模な豪雨による降雨流出と土砂流出のデータを取得し、観測地点よりも上流側の地形と道路からの流入に関連して、流出が変動する事を具体的に明らかにした。宮川ダム流域では広域の空中写真判読とフィールド調査から、急斜面で発生した地すべりと土石流の発生は流水路の発達に規制され、水路内の堆積物の位置と規模によって土砂運搬規模が大きく変動することが明らかになった。また、掃流砂の運搬は水路に堆積している堆積物の量により決定され、またその堆積物の量は時々発生する地すべり、土石流により増加することが半明した。

#### ③ アジア発展途上国における土地利用変化や道路建設が、土砂生産、流送、下流域での土砂災害に及ぼす影響の広域的評価 (Sidle, 釜井)

アジア諸国では長年無計画な土地開発や道路建設が行われてきたが、それと土砂災害との関係を斜面破壊

の時空間的観点から検討している。また、慢性的な土地災害や偶発的な土地災害から引き起こされる長期的な環境への悪影響状況と、その災害が人や土地にあたえる影響も研究課題として位置づけている。これまでの研究の結果、コーヒーの栽培プランテーションが斜面環境に与える付加が最も大きく、東南アジアの山地における深刻な斜面災害の発生要因の一つとなることが判明した。今後は、持続可能な山地利用計画の提案が課題である。

#### 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（釜井）

大都市では、近世初頭における政権の目まぐるしい交代によって、軟弱な土で埋め立てられた大規模な堀や土溝が、都心に分布し、住宅地や道路として使用されている。これらは、直接的な災害要因であるが、これ以外にも例えば、郊外に立地する大規模古墳の崩壊跡(墳丘の変形)を調べることにより、活断層近傍の被害分布を理解し、将来の災害予測に役立てることが可能である。そこで、こうした都市における遺跡の情報を、地盤防災を考える立場から整理し、現地調査結果や試料の室内分析結果とも合わせて、埋もれた都市構造と地盤災害の関係を明らかにする。これまで具体的には、豊臣氏大阪城惣構(外堀)、三島古墳群(高槻、茨木市)、聚楽第址等の調査を行った。



## 8.4 水災害研究部門

### 8.4.1 部門の活動

#### (1) 部門の研究対象と活動方針

土石流や洪水、津波、高潮、高波など、土砂と水に係る災害現象の解明と予知・予測およびこれらの災害の防止・軽減を図る方策の科学的基礎を樹立することを目的として、土砂流出災害分野、洪水災害分野、都市耐水分野および海岸・海域災害分野の4研究分野が有機的な連携の下に研究を進めている。

戦後の混乱期から昭和30年代の中頃までは、大型台風が相次いで上陸し、大規模・激甚な洪水氾濫や高潮災害が発生した。このような災害を防御する対策について研究が推進され、また、行政的な対応も図られ、大規模な災害は着実に減少してきている。しかしながら、近年における予想を超える集中豪雨による洪水氾濫や土石流災害が頻発するとともに、都市特有の地下空間への浸水災害が発生してきている。2004年には10個の台風がわが国に上陸し、各地に高潮・高波災害や洪水による土砂災害を起こしている。このような災害は死者を伴う災害へと発展してきている。そして、死者の多くが災害弱者である高齢者となっており、近年の水災害は、わが国における高齢化社会といった社会構造の変化に密接に係ってきている。さらには、2004年12月26日のインド洋大津波のように津波現象そのものについて認識のない地域に津波が発生すると、未曾有の大災害になることを示しており、市民への災害事象の周知がいかに重要であるかを示している。2005年8月に至ると、最盛時にはカテゴリ5にもなり、上陸時でもカテゴリ4であった巨大ハリケーン'カトリーナ'によって米国のメキシコ湾沿岸とニューオリンズに悲惨な高潮災害起きている。特に、すり鉢

状のニューオリンズでは、運河の防潮壁が高潮の作用で倒壊し、排水ポンプが浸水で使用不能になったこともあって、1ヶ月にもわたる長期間浸水の大惨事となった。防護できると想定していた防潮壁が倒壊すると、想像を絶する大惨事になることをこの高潮災害は示している。

水災害研究部門では、地球温暖化に伴う集中豪雨の頻発化や台風の巨大化といった自然環境の変化と都市化に伴う地下空間への浸水や土砂氾濫といった社会構造の変化に的確に対応しながら、水に係わる災害の低減に向けた研究活動を行ってきている。

#### (2) 現在の重点研究課題

近年におけるこのような水災害の発生は、地球温暖化の影響が一部にあるといわれているが、現在のところ明確な証拠は挙げられていない。しかしながら、設計で想定した以上の外力が発生する可能性もあり、そのような場合にどのような惨事なるか予め想定しておくことが重要となる。米国においては、それぞれの海岸においてカテゴリ1から5のハリケーンが来襲したときに、高潮によってどのように浸水域が広がるかについてのハザードマップが作成されている。わが国ではやっとなり伊勢湾台風級の台風によって生じるハザードマップが作成されようとしている段階に過ぎない。今後は、台風や集中豪雨、あるいは洪水に対しいくつかのシナリオを作成し、それによって生じる災害を予め想定しておくことは、市民の円滑な避難のためにも非常に重要となる。そこで、設計条件以上の外力によって発生する災害が予測できるようにするための基礎技術の開発を行っている。

流域における砂防施設や洪水調節ダム、さらには利水ダムが建設されるにしたがって、河川

流下土砂が減少し、ダム下流部の河床低下や海岸侵食が顕在化してきている。激甚な災害を防ぐ施設が、緩慢ではあるが災害を助長する方向に作用する場合もあり、また、流域や沿岸の環境に悪影響を与えるようになってきている。そのために、災害防護施設の機能や流域と沿岸の環境に配慮して、山間部から海岸までの土砂の適切な一元管理が望まれている。

### **(3) 研究活動**

水災害研究部門では、洪水氾濫や土砂氾濫、津波・高潮・高波などによる被害の予知・予測や対策の開発、都市耐水システム等の研究を各研究分野で集中的に推進するのはもちろんであるが、各分野が得意とする研究を統合する課題を選定して、プロジェクト研究を積極的に推進している。

近年、予想を超える集中豪雨による河川の氾濫で地下空間の浸水や水没事故が急増している。そこで、総合課題「都市複合空間水害の総合減殺システムの開発」(科学振興調整費)の中で「洪水氾濫災害の危険度評価」に関する研究を平成13～15年度の3ヵ年実施してきた。そこで、京都市内の市街地と地下街や地下鉄の模型を用いて水理実験を実施し、地価への氾濫水の流入機構に関してその特性を明らかにするとともに、数値シミュレーションの妥当性についても検証した。

平成14～16年度にわたって、水災害部門が中心となって、「都市域における氾濫災害危険度評価法の研究開発」と題する特定共同研究を実施した。ここでは、都市域での氾濫災害の原因である高潮や洪水、内水氾濫を、相互の影響を考慮しながら統合して解明し、都市域における氾濫災害の危険度評価手法を研究開発しようとしたものである。

### **(4) その他の活動**

平成17年1月12～15日にわたって「水に係

る災害のモニターリングや予測、軽減に関する国際会議を開催し、国内外から約130編の論文が発表され、多くの参加者も得て、活発な討論が行われた。インド洋大津波の大惨事の直後でもあり、インド洋大津波に関する特別セッションも開催され、ここでは、津波災害軽減のための今後の協力体制などについて貴重な議論が関係各国の代表によってなされた。

## 8.4.2 研究分野の研究内容

### I. 土砂流出災害研究分野

教授 高橋 保(平成15年3月31日まで), 教授 井上和也(平成15年4月1日から), 助教授 藤田正治(平成14年7月1日から), 助手 里深好文(平成14年10月1日まで), 助手 堤 大三(平成15年10月1日から)

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軽減, 山地-河川-海岸系の土砂動態の予測およびモニタリング, 防災・利用・環境上健全な流砂系構築のための土砂流出制御方法などに係わる諸問題に対して, 現象の素過程の力学的機構の解明とそれらが組み合わさったシステムとしての現象のシミュレーションおよび土砂流出制御技術の開発を主体として研究を行い, 流砂系の総合的土砂管理技術の構築を目指している。

本研究分野の研究課題を列挙すれば以下のようである。

- (1) 流砂系における土砂災害予測の高度化
- (2) 流砂系の土砂動態の予測とモニタリング
- (3) 流砂現象と関連した生態系の仕組みの解明
- (4) 土砂生産の機構と予測
- (5) 流砂機構とそのモデル化

平成14年から16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) 流砂系における土砂災害予測の高度化

近年, 斜面崩壊や土石流の予測はある程度の精度で行えるようになった。しかし, どの斜面が, いつ, どのような形態で崩壊するのかといったことに対しては十分答えられる状況にあるとは言い難い。この問題を解く鍵は, 詳細な地盤と地下水流構造に関する情報を如何に土砂災害の予測手法に取り入れるかということであると考えられる。そこで, まず, 地下流水音を地表面からハイドロスタットを用いて測定し, その結果から基岩形状や地下の水みちの位置を探

査する方法について検討した。多くの現地観測の結果, この手法によってこれらの情報を簡易に入手することができることが明らかになった。また, 地下水みちの位置に崩壊が発生している事実も多く観測された。また, 地下の水みちが斜面崩壊の発生に及ぼす影響に関する数値シミュレーションも行い, 地下水みちの存在によって地盤内の地下水の流動特性が大きく異なり, 場合によっては局所的に地下水が集中し, その箇所の崩壊の危険性が高まることがわかった。以上のように, 斜面崩壊に関するハザードマップの高度化に向けて, 重要な基礎的研究成果を得ることができた。

#### (2) 流砂系の土砂動態の予測とモニタリング

流砂系の総合的土砂管理のためには, 土砂動態の実態をモニタリングすることと, 将来の予測を行うことが重要である。そこで, まず, 土砂動態のモニタリング手法に関して研究を行った。土砂動態のモニタリングは, 河床条件が洪水中に大きく変化する山地河川ではその必要性は高い。そこで, 穂高砂防観測の試験流域において, 濁度を指標とした土砂生産流出現象のモニタリング手法について検討した。まず, ヒル谷流域源頭部での遠隔操作可能なビデオシステムによって, 降雨強度が強くなると裸地斜面に表面流が発生し, それが裸地の下部に堆積した土砂を侵食する状況が確認され, 河床に堆積した土砂に表面流が浸透し, やがて, それが土塊として移動する過程, その後しばらくして土石流として流下する過程が観測された。また, 下流側では流量と濁度が計測されており, 土砂移動と同時に流出する濁り成分のモニタリングから, 上流で起こっている土砂の移動過程を間接的にモニタリングすることができることも示された。

また, 鳥取県の日野川, インドネシアのブランタス川を対象として, それぞれの持つ土砂管

理上の問題点を明らかにするとともに、日野川では、たたら製鉄が盛んな時期と現在の土砂動態の違い、ブランタス川では、クルド火山噴火前後の土砂動態の違いについて河床変動計算に基づいて明らかにした。

### (3) 流砂現象と関連した生態系の仕組みの解明

流砂系における生態系保全のための土砂管理は、総合的土砂管理の一つの柱である。そこで、土砂移動による魚類のハビタットの消失と回復、濁水が魚類に与える影響評価法などについて研究した。前者では、魚類の生息場所として重要である淵が排砂による流出土砂により埋没したあと回復する過程について、現地実験とシミュレーションの両面から明らかにするとともに、それに伴う魚類生息数の変化を予測するモデルの構築を行った。後者では、排砂後の濁度の上昇により魚類が窒息死する過程をモデル化し、濁水の魚類への影響を定量的に行えるようにした。また、このモデルの基礎となっている「土砂が鰓を閉塞することによる酸素摂取量の低下」について血中酸素濃度の測定を行い、モデルの妥当性も検証している。

### (4) 土砂生産の機構と予測

流砂系の土砂動態の予測において、境界条件として土砂生産の量と質の予測が重要である。土砂生産に関する研究は古くから続けられているが、十分な精度で予測が行えるとは言えない。土砂生産過程の実態、影響因子、物理機構をもう一度整理し直し、検討する必要がある。そこで、凍結融解作用による土砂生産に関して詳細な観測調査を行った。また、穂高砂防観測所での長期にわたる土砂生産に関するデータを活用して、土砂生産過程の実態や確率特性についても検討した。その結果、土砂生産には降雨イベントが不可欠であるが、通常の土砂生産の量と降雨量には明確な関係がなく、むしろ土砂生産

源である裸地斜面の状態の季節的変動が大きな影響を及ぼすことがわかった。また、凍結融解現象が通常の土砂生産量のポテンシャルを決定付けているのではないかという結果を得た。そこで、田上山で凍結融解による土砂生産に関する詳細な観測研究を開始し、風化花崗岩からなる斜面から凍結融解作用によって土砂が生産される過程について貴重な連続写真を得るとともに、現在、そのモデル化を進めている。

### (5) 流砂機構とそのモデル化

掃流砂や浮遊砂に関する研究はこれまで十分進められてきたが、それぞれの運動機構のモデル化を主眼に置いた従来の研究には問題点も多く残されている。浮遊砂の拡散理論についても曖昧な点があり、この点を改善した生成項を考慮した拡散方程式による浮遊砂のモデル化を図った。この研究では、従来の濃度分布式が山地河川には必ずしも適用できないという事実から始められたもので、従来の拡散理論の矛盾点を示したうえで、拡散方程式に生成項を含めることの必要性、生成項の物理的な考え方について述べた。さらに、生成項に先の確率モデルを適用することにより浮遊砂濃度分布を求める方法を提示し、この理論の妥当性を実験値との比較から検証した。

## II. 洪水災害研究分野

教授 宝 馨，助教授 立川康人，助手 児島利治(平成 16 年 7 月まで) 助手 佐山敬洋(平成 17 年 4 月から)

洪水災害の発生要因と発生機構を究明し、その予測手法および洪水災害の防止・軽減を図る方策を得ることを目的として研究・教育を行ってきた。また、洪水災害調査として平成 14 年 8 月～9 月に朝鮮半島を襲った台風 RUSA(15 号)の現地調査研究グループを科学研究費補助金・

特別研究促進費(研究代表者：宝 馨)により組織し、現地調査を実施した。平成 16 年 7 月の福井洪水災害、10 月の円山川洪水災害においても現地調査および洪水流出の再現計算を実施し、災害発生機構の究明に努めた。

一方、水災害の監視・予測・軽減や水文・水資源分野における我が国の国際的リーダーシップを確保するために、平成 14 から 16 年度にかけて 4 回の国際会議・ワークショップを主催するとともに、その実施事務局を運営した。これらの国際交流活動を列挙すると、1) アジア太平洋地域における水文・水資源に関する第 1 回国際会議(平成 15 年 3 月 13～15 日, 京都市), 2) 人工衛星による災害の監視・予測・軽減に関する国際シンポジウム(平成 16 年 1 月 19～21 日, 淡路市), 3) 水災害の監視・予測・軽減に関する国際会議(平成 17 年 1 月 12～15 日, 京都市), 4) 水文観測の不十分な流域における水文予測とその予測の不確かさの評価に関する国際ワークショップ(平成 17 年 1 月 20～22 日, 京都市)である。こうした国際交流活動をリードすることにより、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ことができた。この活動をサポートするために科学技術振興調整費・我が国の国際的リーダーシップの確保「水災害の監視・予測・軽減への貢献」(研究代表者：宝 馨), 「世界の水問題解決に資する水循環科学の先導」(研究分担者：立川康人)を受けた。以下に主要な研究内容をまとめる。

#### (1)洪水流出発生機構の解明とモデル化に関する研究

洪水流出予測モデルの再現・予測精度を向上させるために、地形・土地利用・降水などの空間分布情報を入力とし、流域内部の様々な地点での水移動を再現・予測する分布型流出モデルの開発を継続して行なっている。また、科学技術振興機構・戦略的創造研究推進事業 CREST

による研究「社会変動と水循環の相互作用評価モデルの構築(平成 13 年度～18 年度, 研究代表者：宝 馨)」の一環として、淀川流域を対象とした広域分布型流出予測モデルを構築し、流域の治水安全度におけるダムの効果を定量的に論じた。また、インドネシア・レスティ川流域を対象として洪水土砂流出の観測を継続的に行い、流域レベルでの土砂流出モデルを構築した。さらに、水文モデル評価のための新たなアルゴリズムを開発した。

#### (2)洪水のリアルタイム予測と制御に関する研究

分布型洪水流出システムへのフィルタリング・予測理論の導入手法を開発し、上椎葉ダム流域(宮崎県)を対象としてその有効性を確認した。また、淀川流域を対象として開発を進めている広域分布型流出予測モデルの実時間仕様版を開発した。このモデルは平成 17 年度以降、実時間気象予測システムと結合して、実際の実時間洪水予測システムとして試験運用する予定である。

#### (3)大陸河川流域の水循環に関する研究

GAME(アジアモンスーンエネルギー・水循環研究観測計画)プロジェクトの研究対象流域である中国淮河流域(132, 350km<sup>2</sup>)を対象として開発を進めてきたマクロ水文モデルを利用し、マクロ水文モデルが必要とする水文データの時間空間分解能を分析した。その結果、流域面積の 1/10 程度の空間分解能を有する降水データがあれば、洪水流出の再現計算には十分な空間分解能であることを示した。また、モデルパラメータの空間スケール依存性を克服する手法として、地形のフラクタル性を用いた地形特性のダウンスケール手法を開発した。

#### (4)極値水文現象の確率統計解析と治水計画論に関する研究

洪水防御計画で定められた再現期間(リターンピリオド)より長い極値観測年数(標本サイズ)

の場合に、順序統計学的観点から再現確率水文量を求める方法を考案した。計画降雨量から基本高水が設定されたとき、そのピーク流量(基本高水流量)のもつ不確定性を評価し、洪水防御施設の危険率を推定する手法を提案した。また、非定常過程にしたがって水文量が発生する流域での洪水防御計画に用いる種々の諸元に関して定常過程の場合との違いを示し、非定常過程の場合の計画に対する有効な考え方として、純便益を用いる方法を提案した。さらに、河道とダム最適な流量配分と整備時点を考え、両者の利害得失を定量化した。

#### (5)洪水のモニタリング・予測・制御のためのハイドロインフォマティクスに関する研究

本研究分野で開発を進めているセル分布型洪水流出予測モデルの利便性を高めるためにユーザーインターフェースソフトウェアを開発した。これにより、本モデルが一貫したソフトウェアシステムとなり、洪水災害が発生した場合も容易に対象流域の分布型流出モデルを開発することができるようになった。また、衛星データを用いた 2002 年の台風 RUSA の被災地検出の実地検証研究を行うとともに、衛星データによる被災地検出精度を向上させるために、低空間分解能高時間分解能衛星データと高空間分解能低時間分解能衛星データとを組み合わせた土地分類アルゴリズムを開発した。

### Ⅲ. 都市耐水分野

教授 井上和也(平成 15 年 11 月まで) 教授 戸田圭一(平成 15 年 12 月から) 助教授 戸田圭一(H15 年 11 月まで)

1999 年、2003 年の福岡水害や 2000 年の東海水害に見られるように、大規模な都市水害が顕在化している。また海外でも 2001 年の韓国ソウル市や 2002 年チェコのプラハ市で大規模な水

害が発生している。

本研究分野では、高度化・多層化した都市域での水害のメカニズムを明らかにし、それを予測する方法を開発し、それを基に、今日的な課題である都市水害の防止・軽減を図る方策を提言することを研究のテーマとしている。

都市水害に関して、過去の事例調査や現地調査の実施、様々なシミュレーションモデルの開発とそれを用いた解析、水理模型実験による事象の解明、そしてハード・ソフト両面にわたる防御システムの立案とその評価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)都市水害の予測手法の研究

豪雨による氾濫予測に関して、都市域近郊の山地領域からの流出解析モデル、都市内中小河川からなる河川網モデル、市街地の氾濫解析モデル、および下水道モデルを統合し、降雨という外力に対して、洪水ならびにその氾濫の時間的变化の応答が得られる「都市水害モデル」を提案し、様々な都市流域への適用を進めている。

頻発する内水氾濫に対しては、下水道網を枝線まで考慮するとともに、雨水の地上と下水道とのやりとりを詳細に表現したモデルを構築している。このモデルを大阪市大正区の都市集水区に適用し、内水氾濫の発生過程を明らかにするとともに、排水時の枝線下水道の排水効果を確認している。

また、市内の中小河川からの溢水氾濫については、降雨流出と河道からの溢水・氾濫現象に対して、河川を含む都市流域全体に非構造格子に基づく平面 2 次元の非定常流モデルを適用する手法を新たに開発している。そして、京都府宇治市の河川流域の内水氾濫事象に適用し、その有用性を議論している。

#### (2)地下空間の浸水に関する研究

新しい都市水害として注目されている地下空間内への浸水について、水理実験、数値シミュレーションの両面から研究を進めている。

水理実験では、京都市中心部を対象領域として、縮尺 1/30 の地下街(地下駐車場、地下鉄駅を含む)模型を製作し、地下に流入した氾濫水の挙動を実験により詳細に検討している。実験から、地下空間内では浸水深の上昇が速いこと(場所によっては 10 分間で 1m 以上の水深上昇が見られること)、階段での氾濫水の流速が最大で 4~5m/s に達すること、それらに伴い、地下浸水時の避難可能な時間的余裕はほとんどないことが明らかとなった。

数値シミュレーションでは、多層化・複合化した地下空間を多数の貯留槽が連結している場として捉え、貯留槽間の水の動きを扱える数値解析モデルにより地下浸水を表現している。従来のモデルと比較してデータセットの構築が容易で、かつ計算手法も簡便である。このモデルを用いて福岡市内、京都市内の地下空間を含む浸水解析を実施した。その結果、1999 年 6 月の福岡水害時の地下浸水状況を概ね再現することができた。また鴨川溢水時の京都市内の地下空間の浸水危険性が明らかとなった。

### (3) 水災害の防御システムの研究

地下浸水時の避難行動を取りあげ、地下浸水解析と結合した人間の避難行動シミュレーション・モデルを開発している。

浸水時の地下空間内の人間の避難行動を、ネットワーク上を点群が目的地に移動する動きで表現する避難シミュレーションモデルを開発し、京都市内の地下空間に適用した。解析により、非浸水時に比べて浸水時の避難が危険であることが確認されるとともに、避難発令のタイミングが重要であること、避難時にネックとなる箇所は階段部であることが明らかとなった。また止水板や段差が設置された条件下での解析結果

より、それらの施設の設置が、避難時に大きな時間的余裕を生むことも確認された。

## IV. 海岸・海域災害研究分野

教授 高山知司, 助教授 間瀬 肇, 助手 吉岡 洋(平成 16 年 3 月まで) 助手 安田誠宏(平成 16 年 4 月から)

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何回もしてきている。そのため、沿岸部における高潮や津波の挙動を予知・予測するための研究が精力的に行われるとともに、災害防御の観点から背の高い防潮堤が海岸線に沿って建設されてきた。このような防護施設の整備もあって災害は急激に減少してきたが、従来のような高い防潮堤の建設に対する不満も生じてきた。また、防災施設であっても、投資効果の高さが追及されるようになってきている。

平成 15 年に起きた台風 0314 号による韓国馬山での高潮災害では、地下室への浸水による犠牲者の発生といった都市型災害が発生している。平成 16 年にはわが国に 10 個の台風が上陸し、瀬戸内海沿岸で発生した高潮によって数名の方の生命が奪われるとともに、高知県室戸海岸では沖波で 15m にも達する高波によって護岸パラペットが崩壊し、護岸背後の家屋の崩壊と 3 名の犠牲者が出た。さらに、平成 16 年 12 月 26 日には、スマトラ沖の M=9 の大地震によるインド洋大津波が発生して、近隣諸国において 30 万人にも達する人が犠牲になった。これは近年にない大惨事であった。

このように多発する自然災害に対して、今後どのような考えで災害の軽減を図るかを考えながら、自然や社会の環境変化に対応した研究を進めている。平成 14 から 16 年度の研究成果は、

著書 2 編(共著), 学術論文 75 編(そのうち審査付 46 編)にまとめられている。主な研究内容は以下の通りである。

#### (1)多方向不規則波浪の特性と変形計算法に関する研究

実際の海の波は、波高や周期、波向が異なる数多くの成分波が重なり合った多方向不規則波である。そのために、海底地形による波の変形を算定するに当たっては、波を多方向不規則波として取り扱うことが重要となる。海の波を多方向不規則波として波浪変形計算を行う手法としてエネルギー平衡方程式法がある。この方法では波の屈折と浅水変形、砕波変形が考慮できるが、波の回折現象は考慮できなかった。そこで、回折現象を擬似的に導入する項を付加して、エネルギー平衡方程式法を改良する手法を提案するとともに、計算の過程で現れる数値拡散を抑えた精度の高い計算法の導入を図っている。成分波間の非線形干渉や流れによる波の変形が考慮できる定常的な変形計算法を提案して、その妥当性を検証した。

現地における波浪観測の解析では、多峰型方向スペクトルが得られることは珍しいことではない。このような多峰型方向スペクトル波は、発生要因が異なる不規則な波群が重なった結果であると解釈できるが、このような波が発生する原因やその頻度特性については明らかになっていない。そこで、御前崎沖と御坊沖、高知沖における 1 年間の波浪観測結果を用いて、多峰型不規則波の発生原因と頻度について調べた。

#### (2)海岸・港湾構造物の被災特性と確率設計法に関する研究

海岸・港湾構造物の被災は、海岸工学技術の進んだ現在であっても、毎年数多くの地域で発生している。構造物の被災については、国土交通省でとりまとめられている。この資料を用いて過去 5 年間の防波堤の被災特性を調べ、被災の

形態を明らかにした。防波堤の被災を再現するために、波浪の作用下における防波堤の挙動を再現する数値モデルを開発した。数値モデルとしては個別要素法を用い、捨石を楕円形の個別要素として与え、その大きさには現地と同じようなばらつきを持たせた。ケーソンを円形要素の集合体として表し、楕円形捨石要素で形成されたマウンド上に据え置き、合田式で計算される波浪を作用させてその運動特性を実験値と比較した。

混成防波堤の確率設計法の確立を目指して、従来から開発してきた期待滑動量を用いた信頼性設計法の改良を行った。改良としては、期待滑動量を精度よく算定するために、波力や摩擦係数のばらつきの分布において発生の可能性の少ない部分を切り取った両端切り分布に修正することや重複波圧部分が実験値より大きいこともあって、その部分を提言させること、また、ケーソンの回転運動に伴う抵抗力の増大を考慮できるようにすることなどを行った。

#### (3)高潮と高波の推算精度の向上に関する研究

高潮の計算法はほぼ確立されたと考えられていたが、9918 号台風による周防灘における高潮と高波の推算において既往の推算法では十分な精度で再現することができないことが判明した。この原因としては、台風中心付近のスーパーグラデIENTな状態における風の推算が既往の台風モデルでは再現できないためだと考えられる。そこで、周囲陸上部の地形を考慮した風の推算法の改良を行っている。また、大きな潮位変動は、水深を大きく変化させるために、浅海部において波高や高潮の変形に影響すると考えられ、このことを数値計算によって検討している。

波浪推算法は、計算機の高速化に伴って急激な進歩をしてきた。波浪の成分波をそれぞれが独立であると考えて推算していた第 1 世代モデ



ルから現在では成分波間の非線形干渉までを考慮した第3世代モデルまで発展してきている。これらの推算モデルを用いて、計算精度の判定を行っている。

#### (4)高波浪による海底砂地盤間隙水圧の応答に関する研究

ケーソン前面を被覆した消波ブロックが高波浪の作用時に沈下して、波圧が直接ケーソンに作用してケーソン本体が被災を受けることが生じている。被覆消波ブロックの沈下原因の一つとして高波浪による海底砂地盤の液状化が考えられている。高波浪による砂地盤の液状化の可能性を検討するために、国土交通省四国整備局と協力して、高知港において砂地盤内間隙水圧の現地観測を実施した。現地観測では、防波堤マウンドの法先とマウンド直下、消波ブロック下、ケーソン下の4箇所に加え、自由地盤においても海底面から0.6mと1.0m、2.0m下の3地点に間隙水圧計を設置した。現地計測は平成14～16年度の3ヵ年実施した。

平成12年度における自由地盤の計測では、残留間隙水圧の増大が観測されたが、平成13年度以降は残留間隙水圧の増大は見られなかった。また、残留間隙水圧は周期60秒程度に顕著なピークがそのスペクトル形に見られた。この傾向は観測期間中同じであった。消波ブロック下やケーソン直下では、波浪による間隙水圧の変動成分が鉛直方向に明瞭な位相のずれを起していた。この原因を数値計算によって調べた結果では、消波工やケーソンの運動によるものであることが判明した。しかし、自由地盤を除き、観測地点では地盤の液状化は発生しないことが明らかになった。

#### (5)底質の巻き上がり特性に関する研究

内湾内の微細底質が潮流や波浪の作用で巻き上がる特性を把握することは、干潟の維持と開

発にとって非常に重要である。そこで、超音波流速計である ADCP を底面に向けて反射強度を測定することによって巻き上がった底質の鉛直方向濃度分布が測定できる可能性があることから、この方法による現地観測を実施した。さらに、シルト系海底粘性地盤を模擬して、カオリンを用いて、海底配管周辺における局所洗掘の模型実験を実施した。その結果、砂地盤では海底配管周辺に明瞭なる局所洗掘が見られたが、カオリンを用いた実験では、模型地盤全体が洗掘され、海底配管の影響がほとんど見られなかった。この原因としては、砂地盤に対して行った実験と同じ条件で行ったために、カオリンに対しては非常に大きなせん断力が作用することになり、相対的に海底配管の影響が小さくなったことによると考えられる。海底配管の影響による効果を出そうとすると、砂地盤よりさらに外力を小さくして、実験を行う必要があったのであろう。

## 8.5 大気災害研究部門

### 8.5.1 部門の活動概要

#### (1) 部門の研究対象と活動方針

構造物周りのごく小規模で寿命の短い流れから地球規模で寿命の長い大気大循環・気候変動までの幅広い空間・時間スケールの大気現象とそれに伴う災害を研究対象としている。すなわち、大気乱流・局地気象・豪雨・台風・大気循環・大気組成の変化とそれに起因する異常気象や気候変動の機構、及び強風・乱気流が建物・構造物に与える影響に関する研究を、災害の軽減・防止に資することを目指して、理学・工学の両面から進めている。

災害の軽減・防止には、種々の大気現象の発現機構を解明して、その予測を可能にすることが基本的な要請である。しかしながら、種々の観測的制約などから、現象の実態すら十分明らかにされていないものが多い。それぞれの分野が、各課題毎に、観測・現地調査によって不足データを補いながら、また室内実験や数値モデルによる実験・シミュレーションなどの手法で研究を進めている。すなわち、長期間にわたる観測データ及び特定の現象解明のために実施した集中観測によるデータ、風洞実験などのデータを有機的に活用するとともに、気候モデル・大気-海洋結合モデル・大気大循環モデル・大気メソスケールモデル・海洋波浪モデル・陸面水文モデル・強風被害モデルなど種々のモデルによる数値実験・シミュレーションの実施を通じて、大気現象の発現機構を解明し、大気災害をもたらす現象の予測方法の高度化を目指している。

#### (2) 現在の重点課題

1) 台風や異常発達低気圧とこれに伴うメソ擾乱の構造解明、及びこれらによる災害の予測に関

する研究

- 2) 異常気象・異常天候の発現に大きく関与している大気循環の変動(「ブロッキング現象」の発現過程)とその機構の解明
- 3) 市街地における強風予測及び強風被害発生機構の解明と災害予測手法の開発

#### (3) 研究活動

研究対象とする現象の空間・時間スケールは幅広く、個々の課題について各研究分野が以下に記載する研究活動をしている。災害調査をはじめとした相互に重なる時間・空間スケールの現象に関する課題については、研究計画を立案し、部門全体の協力体制で連携研究の推進を図っている。

平成16年度には「異常気象とそれに伴う災害の実態把握と予測に関する研究」を実施した。

## 8.5.2 研究分野の研究内容

### I. 災害気候研究分野

教授 岩嶋樹也, 助教授 向川均

助手 井口敬雄

(学内研究担当) 理学研究科教授 木田秀次

理学研究科助教授 里村雄彦

(非常勤講師) 寺尾徹(H14), 寺尾徹(H15),

谷本陽一(H16)

(COE 研究員) 塩竈秀夫(H15)

(非常勤研究員) 久保田拓志(H16)

産業革命以後の人間活動の爆発的な進展は気象や気候に大きな影響を及ぼし、種々の大気災害を引き起こすほどになっている。将来の気候の変動・変化によって生ずることが予想される災害に対処するためには、これまでに生じた異常気象の発現機構や気候システムの維持・変動の機構や予測可能性をあらゆる角度から精細に検討することが緊要である。

災害気候研究分野では、大気組成、海洋・大気循環などの変動による異常気象・異常天候の発現過程、気候変動とその機構を解明することを目標にして、次のような研究課題に取り組んできた：

- 1) 大気組成の変化と気候及び災害への影響；
- 2) 大気大循環の変動に伴う異常気象・異常天候の発生；
- 3) 東アジアにおけるモンスーンの変動と異常天候・異常気象との関連；
- 4) 大気と陸面・海面との大規模相互作用とその気候への影響；
- 5) 地域的・局地的大気循環の、災害を伴う局地的強風・豪雨。

平成 14・15・16 年度には、以下の研究を進めた。

対流圏大気微量成分の変化やその気候への影響に関連する次の数課題について基礎的研究を進めた。オゾン・水蒸気・二酸化炭素などの「大

気微量成分が地表付近の気温に与える影響について熱収支モデルを用いた研究」や「気候変動と大陸配置について 2 次元放射モデルを用いた研究」、温室効果気体として重要な大気中二酸化炭素濃度の長期変動を明らかにするために重要な、地球上の植生と大気の炭素交換などの相互作用、植生起源の炭素フラックスに関する研究を行った(「陸上生態系モデルを用いた大気-植生間の炭素交換の研究」, 「数値モデルを用いた植生起源 CO<sub>2</sub> フラックスのシミュレーション」, 「グローバルモデルを用いた植生起源炭素フラックスの季節変化の研究」)。温室効果気体増加に伴う地球上の降水量・蒸発量など全球的水収支の研究は将来の異常気象発現の予測にも関連する重要課題であり、数値気候モデルによる二酸化炭素濃度漸増実験のデータを解析して、二酸化炭素濃度の増大に伴う全地球的な蒸発・降水量の特徴的变化や極端な降水の発生頻度の増加が生ずることなどを示した(「大気中二酸化炭素濃度漸増モデル実験における全球的水収支と降水量極値に関する解析」, 「大気中二酸化炭素濃度漸増モデル実験による降水量極値に関する解析」, 「全球的降水量極値の長期変動に関する解析」)。重要な環境問題の酸性雨に関して、その主要原因物質である対流圏硫黄化合物の季節変化を明らかにするために「3 次元化学輸送モデルを用いた硫酸濃度に対するアンモニアの影響について」, 「冬季ユーラシア上空における硫黄化合物の長距離輸送について(1), (2)」の研究を進めた。また、二酸化炭素の約 20 倍の温室効果を有する気体である大気メタンについて観測的・解析的研究を進めてきた。これは、人間活動が集中し拡大の一途にあり、特有の発生・消滅源が存在する都市や、その周辺域における大気メタンの実態・動態の解明を目差したものである。海上を含む都市域周辺の大気微量成分(バックグラウンド)濃度分布を明らかにするた

めに、独自の観測によるデータや既存の観測網を活用して「都市域とその周辺における大気微量成分濃度とその変動(Ⅲ), (Ⅳ)」の研究を進めた。

大気循環の変動に関しては、下記の課題について研究を進めた：1)環状モードの赤道向き遷移過程；2)環状モードの極向き遷移過程；3)熱帯対流圏の持続性に関する数十年規模変動；4)エルニーニョ終息後の熱帯対流圏温度偏差に数値実験；5)北太平洋十年規模変動の微細構造を伴う中緯度海面水温偏差；6)成層圏突然昇温現象の予測可能性—1998/99年冬季の事例解析—；7)ストームトラックの変動に伴う対流圏界面高度の季節内長周期変動；8)日本付近に到達する空気塊流跡線の季節変化。

大気循環の変動と異常気象の問題に関しては、近年における異常気象の実態把握及び異常気象を含めた大気循環の長期変動のメカニズム解明及び予測可能性の研究推進を目的にして、研究集会の開催や共同研究を実施した：平成15年度には防災研究所特定研究集会(15S-3)「対流圏長周期変動と異常気象」、平成16年度には防災研究所一般共同研究(15G-C1)「東ユーラシア域における異常気象の発生に対する北極振動の影響」を開催した。

熱帯域における特徴的な気象現象関連では、以下の研究を行った：1)積雲対流による物質の鉛直輸送；2)積雲対流による物質の鉛直輸送に関する数値的研究。また、気象庁気候情報課との共同研究契約を結び、熱帯域季節内変動の予測可能性に関する研究を開始した。

局地気象に関しては、近接する「複数の都市で発達する局地循環によるエネルギー輸送」を明らかにするための観測や数値実験的研究を行った。

## II. 暴風雨災害研究分野

教授 植田洋匡, 助教授 石川裕彦

助手 堀口光章

(学内研究担当) 理学研究科教授 余田成男

生存圏研究所教授 深尾昌一郎

(非常勤講師) 宮寄武(H14, 15)

茅野政道(H.16)

(COE 研究員) 徐興奎(H15), 穂積祐(H.16)

(日本学術振興会研究員) 吉野純(H15),

奥勇一郎, 梶野瑞王, 木原直人(H16)

本研究分野は耐風構造研究分野、災害気候研究分野とともに大気災害研究部門を構成している。部門では、自然災害の1つとして重要な大気災害の研究と、人間活動による大気環境変動とこれに伴い生じる大気災害の研究を2つの柱として実施しており、本分野は、リージョナルからメソ、都市スケールの現象を対象としている。すなわち、台風、集中豪雨などによる異常気象現象の構造、発生・発達機構と、乱流、大規模場など様々なスケールの相互作用の研究をひとつの柱にし、地球温暖化、酸性雨などの大気環境変動の研究をもう1つの柱にしている。それらに伴い生じる大気災害を防止、軽減することを目的として、次の課題について研究を行っている。

(1) 様々なスケールの大気運動とそれらの力学的相互作用—乱流、渦運動

乱流、渦運動、非線型波動を対象に、それらの不安定、発達、成層、回転の効果を中心課題とし、これらの基礎研究を通して「環境流体力学」の構築を目指している。平成14-16年度においては、準地衡風扁平楕円渦の安定性に関する数値的研究、大規模山岳における低気圧性渦の形成・剥離に関する数値的研究を行った。

また、環境流体力学や大気環境変動の素過程として重要でありながら、未だに詳細なモデリングが確立していない大気海洋間での界面交

換過程に関して、大気・海洋間での運動量・熱・ガスの交換過程に関する基礎研究を実施してきた。まず、3次元直接数値計算(DNS)を用いることにより、風波上の完全に発達した乱流状態の気流を調べた。その結果、気流中の乱流構造、及び、気・液界面上での運動量・熱交換に対して風波が与える影響を明らかにした。

さらに、気・液界面直下で発達する熱対流混合層を、DNSを実施することにより調べた。そして、界面での熱・ガスの交換過程、及び、熱対流の乱流構造を明らかにした。そして、熱対流によるガス交換の寄与の重要性を示した。

## (2) 大気陸面相互作用とアジアモンスーンのエネルギー水循環

1996年度から開始された国際共同研究特別事業「GEWEX アジアモンスーン観測計画(GAME)」と、これに引き続く「統合地球水循環強化観測計画(CEOP)」に参加し、モンスーンアジアでのエネルギー・水循環の観測研究を実施している。2002年以降、新たに観測点を追加し、乱流計測によるフラックス直接測定を含めた観測強化を行っている。

地上観測については、1997年から通算して8年間の地上観測データが得られている。これらのデータを用いてチベット高原での大気陸面間の熱・水輸送を算出し、その季節変化特性や年々変動を地上観測から明らかにした。また、これに対応して、日本の静止気象衛星「GMS-5」のデータを用いて高原上の地表面温度、各種陸面フラックスを算出するアルゴリズムを開発し、地表面温度分布やエネルギー・水輸送量の面的な分布を、1時間の時間解像度で1996年から2002年までの7年間にわたり算出した。さらに、新たに運用が開始される中国の静止気象衛星FY2シリーズのデータ利用を開始した。

大気陸面相互作用のモデリングに関しては、土壌中の間隙水や水蒸気の移動を詳細に考慮し

た大気陸面モデルを新たに開発した。このモデルにより(半)乾燥地帯の大気陸面相互作用をよりよく表現することができるようになった。

## (3) メソ異常気象現象の構造とその発生・発達機構

メソスケール気象現象として、台風、集中豪雨を重点的に取り上げ、雲・降水現象に含まれる力学素過程、気象システムのエネルギー論を中心とした基礎研究を行ってきた。

台風に関しては、科学研究費「台風の温帯低気圧化とこれに伴うメソ擾乱発達による気象災害の研究(H14-15)」による研究を進め、並列計算機の導入による数値計算手法を確立した。数値シミュレーション結果を解析し、台風の温帯低気圧化過程の力学と、構造変化にともなう気象災害発生メカニズムに関する研究を進めた。またインド洋に発生するサイクロンと背景場の関係に関する研究も行った。さらに、台風の発生に関する数値的研究を新たに開始した。

集中豪雨については、近年の事例について気象データ解析、数値モデルによる再現実験による事例解析を進めた。また、異常発達する温帯低気圧の発達メカニズムの研究も数値モデルを用いて行っている。

## (4) 大気境界層の乱流組織構造、雲物理・降水過程

京都大学生存圏研究所と協力し、リモートセンシング機器であるドップラーソーダ(音波レーダー)、境界層レーダー、RASS(電波音波探測システム)、MUレーダー(中層超高層大気観測用大型レーダー)などによる観測から、大気境界層乱流の構造、対流圏自由大気中の乱流拡散の研究を実施してきた。特に、自由大気中の運動量の渦拡散係数について、大気境界層に従来用いられてきた代数応力方程式モデルによりその値を見積もることができることを観測により示した。

大気境界層乱流に関しては、数値モデルを用いたラージ・エディ・シミュレーションによりその空間構造と時間発展についても調べている。また、宇治川オープンラボラトリー局地異常気象観測解析装置での気象観測鉄塔により大気境界層構造についての観測を継続して実施している。

#### (5) リージョナル・メソスケールの大気環境変動

酸性雨、光化学オゾン、エアロゾル汚染を対象に、これらの輸送、拡散、反応、変質、沈着の素過程の基礎研究を実施してきた。また、気象モデルと結合した、対流圏大気質の輸送、反応、沈着数値モデルを完成させ、これを用いて、大気汚染環境酸性化と地球温暖化への影響の研究を実施してきた。対象領域として、都市、メソスケールから東アジア域に及ぶリージョナルスケールを扱ってきた。“Model Intercomparison Study in Asia Phase II” (MICS-Asia プロジェクト, IIASA-環境省支援, 硫黄化合物を対象とした Phase I に続き, 窒素化合物・光化学オゾン・エアロゾルを対象としたプロジェクト)の研究代表として計画を推進してきた。また, Project on Longrange Transboundary Transport of Air Pollutants in Northeast Asia (大気汚染長距離越境輸送研究プロジェクト)” (日中韓 LTP プロジェクト, 韓国環境省支援), “地球環境研究総合推進費”(環境省支援)などの研究に参加している。これらにより, 東アジアでの対流圏オゾン・酸性雨の特性, 特にこれらの歴史的推移と将来, 黄砂飛散とそれによる酸性雨の中和, 及び三宅島火山噴火に伴うエアロゾルの環境影響などを明らかにしてきた。

#### (6) 人・自然・地球共生プロジェクト

平成 14 年度より, 文部科学省の競争資金, 人・自然・地球共生プロジェクト「広域水循環

予測及び対策技術の高度化」を受託し, 研究を進めた。詳細は, 3. 3. 3?節を参照。

### III. 耐風構造研究分野

教授 河井宏允, 助教授 丸山 敬

助手 荒木時彦

(学内研究担当) 工学研究科教授 松本勝

(非常勤講師) 奥田泰雄(H14, 15)

本研究分野は暴風雨研究分野, 災害気候研究分野とともに大気災害研究部門を構成している。大気災害研究部門では, 自然災害の一つとして重要な大気災害の研究と, 人間活動による大気環境変動とそれに伴って生じる大気災害の研究を 2 つの柱として, 理学・工学の両面から研究を実施している。本分野は, 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災害発生機構の解明と, 市街地における強風災害の危険度予測を含めた強風災害低減のための研究を行っている。主な研究テーマは, (1)市街地における気流性状の解明, (2)強風災害調査方法の開発と災害調査, (3)強風災害発生メカニズムの研究, (4)強風災害低減のための耐風設計方法の開発, (5)市街地における強風災害ハザードマップの作成, (6)強風下における市街地火災の研究などである。

#### (1) 市街地上空の気流性状に関する研究

(丸山敬)

建物の耐風設計や風環境予測を行うために, 市街地のような複雑な粗面上における気流性状を非定常数値計算により予測する手法に関し, 今期はLESを用いた乱流場の解析のための計算コードに, 実市街地における建物等の粗度形状の影響をいかに取り込むかについての検討を行った。そして, 乱流モデルの提案および, 簡単な粗度形状に対するモデルパラメータの値を風洞実験結果との比較により最適化し, 新しく提

案した方法の有効性を検証した。

(2) 自然風中の低層建物に加わる非定常風圧力に関する研究(河井宏允)

建物，とくに低層建物の強風災害防止を目的として大阪湾の舞州において模型を用いた野外観測を行い，地面付近の自然風の性状に関して低層建物に加わる非定常空気力と接近流の気流性状との関係を明らかにした。

(3) 屋根葺き材等の強風による飛散メカニズムの解明とその防止方法の研究(河井宏允)

強風災害の 80 パーセント以上は，瓦の飛散を含めた屋根部分の災害である。瓦などの屋根葺き材は，建築基準法など従来の風荷重基準等で想定されている風力の発生メカニズムとは異なったメカニズムで大きな風力が発生し飛散することが，本分野で長年にわたって行われてきた災害調査などから明らかになっている。本研究では，潮岬風力実験所に設置した観測小屋に瓦及びアスファルトシングルを敷設し，その表裏に作用する風圧力を実測し，瓦の飛散に結びつく大きな風力がどのような原因によって生じるのを明らかにし，これらの屋根葺き材の飛散風速を予測するとともに，飛散防止方法を検討した。

(4) 屋上設置物の強風による飛散メカニズムの解明とその防止方法の研究(河井宏允)

住宅などの低層建築と同様に，高層建築物においても，窓ガラス等の外装材の強風による破壊が飛散物によってもたらされることも多い。高層建築物に当たる飛散物としては，屋根葺き材とともに，屋上に敷設した緑化パネルなどがあげられる。特に，近年，地球温暖化の緩和のために，都市内の高層建築物の屋上を緑化する取り組みがなされており，屋上に敷設した緑化パネルなどの強風による飛散が心配されている。本分野では，風洞実験等によって，敷設パネルに作用する風力とそれによるパネルの挙動を明らかにし，飛散防止方法を検討した。

(5) 強風による物体の飛散経路に関する研究

(丸山敬)

強風により飛散した屋根瓦や窓ガラス等がどのような経路をたどり，どこまで飛散するかを明らかにすることは，飛散物の衝突による人命の喪失などの 2 次災害の予測にとって極めて重要である。本研究では，風洞及び屋外実験において，飛散経路とその分布を計測するとともに，数値計算によって飛散経路をシミュレーションするために必要となる，飛散物の空力特性を測定する手法を開発し，簡単な形状を持つ試験体について空力特性を明らかにした。

(6) 自然風中における高層建築物の壁面に作用する非定常風圧力に関する研究(河井宏允，丸山敬，荒木時彦)

高層建築物の構造設計においては，地震荷重とともに風荷重が非常に重要な荷重となる。特に，窓ガラス等の外装材の設計において風荷重は特に重要で，しばしば強風時に窓ガラスなどが破壊するなどの災害が生じる。これらの強風災害は，通常，局部負圧と呼ばれる非常に大きな風圧力の発生に伴って生じる。従来の耐風設計においては，この負圧の大きさや性状は，風洞実験結果に基づいて定められてきたが，自然風中では時には風洞実験では決して見られないような大きな負圧が発生することが，この負圧は実際の強風災害に大きく関係するのではないかと見られている。本研究では，潮岬風力実験所に設置した，高さ 8m の高層建築物模型の壁面に作用する 180 点の風圧変動を同時測定し，局部負圧の発生を含めた風圧変動の性状を研究した。

(7) ダブルスキンに作用する風力の特性とその耐風設計法の研究(河井宏允)

環境負荷を減らすため，窓を 2 重にするいわゆるダブルスキンをその外装に採用する高層建築物が増えてきている。新しい外装システムにお

いては、内側のスキンに作用する風力は、外側のスキンの開口状況に大きく左右されるとともに、内側の窓ガラスの開閉状況によって大きく異なる。これまで、この種のスキンに作用する風力に関する実験は少なく、その耐風設計は既存のシングルスキンの結果を用いてなされてきた。本研究では、風洞実験により、ダブルスキンに作用する風圧力を測定し、外側及び内側のスキンに作用する風力に及ぼす開口状況の影響を明らかにするとともに、その耐風設計方法を提案した。

#### (8) 市街地における強風災害予測に関する研究 (丸山敬)

台風などが襲来したときの市街地における強風災害を予測するため、メソスケールからマイクロスケールに及ぶ数値計算を実施している。市街地における建物種別などのデータベースと組み合わせ、より正確な強風災害ハザードマップを作成するための準備を進めている。

#### (9) 強風災害調査(河井宏允, 丸山敬, 荒木時彦)

平成 14 年から 16 年に発生した強風被害に関して、現地調査を行い、気象庁、地方行政機関、消防署等から収集した資料を検討し、それらの被害概要をまとめるとともに、建物被害の原因の推定と、その気象状況との関わりを検討した。特に、台風 0314 号による宮古島における被害、及び台風 0418 号による被害等については、他の部門・分野及び他大学・他機関の研究者とも連携して、被害状況を調査するとともに、気象条件等について検討した。特に、台風 0418 号による被害については、暴風雨分野や九州大学と連携して、地形が強風の発生に及ぼす影響を詳しく解析し、台風による強風発生原因解明にとって極めて重要な成果を得た。

上記の研究テーマに加えて、研究成果を強風災害の防止に生かすために、本分野では次の活動

を行った。

(1) 強風被害調査の実施方法に関するマニュアルを制作し、地方自治体などの他の機関での強風災害調査の支援を行うとともに、本部門が実施した強風被害調査とそれに関する研究成果の講習会を地方自治体を中心に実施し、強風災害軽減のための啓蒙活動を展開した。

(2) 2004 年に行われた建築学会の荷重指針の改訂に積極的に参加するとともに、これまでの研究成果を積極的に指針に盛り込み、より安全で合理的な風荷重算定法の確立とその普及に努力した。

(3) 建築構造安全審査などを通じて、高層建築物の耐風設計の審査と指導を実施した。



## 8.6 災害観測実験センター

### 8.6.1 センターの活動概要

#### (1) 部門の研究対象と活動方針

自然災害を防止し、自然と調和した豊かな社会を築くためには、自然災害の発生メカニズムを解明し、災害過程を予測し、対策を行うことが必要である。そのためには、地域に密着した災害誘因・素因の監視機能、観測、モニタリング、高精度の災害発生予測モデルが必須であり、これを可能にするには、災害発生のプロセス研究、観測・実験、シミュレーションの3つの機能が一体となった研究が必要である。さらに、予測された災害ポテンシャルに対して適切な対策を講じるためには、行政、地域住民の参加を得て、地球環境問題に配慮した、地域連携型の防災計画とそれを推進するための学問的、科学的根拠が必要となる。

災害観測実験センターでは、上述の背景に鑑み、災害水象、気象海象、土砂環境、地震動観測実験の4研究領域と所内外の研究者が連携し、宇治川水理実験所(宇治川オープンラボラトリー)、潮岬風力実験所、白浜海象観測所、大瀧波浪観測所、穂高砂防観測所、徳島地すべり観測所の6付属施設の特色ある機能を活用して、気圏、水圏、地圏の災害に関わる自然現象の観測とモデリング及びシミュレーションに関する融合研究を行っている。それとともに、社会における環境共生型防災対策の重要性に鑑み、毎年、複数の専門家を非常勤講師として招聘し、学際的共同研究を積極的に行ってきた。

一方、施設やデータの全国共同利用を原則として、他大学および官・民の研究機関との共同研究を精力的に行なうとともに、実験観測データの公開、一般市民に対する研究成果や施設の公開を通して、成果の社会への還元を推進して

いる。

研究活動方針や予算・人事など、当センターの運営に関わる重要事項については、毎年1~2回開催される、所内外の委員からなるセンター運営協議会で検討し、意見や要望をセンターの運営に反映している。

なお、徳島地すべり観測所は平成16年4月1日に発足した斜面災害研究センターに配置換えとなり、地震動観測実験領域は平成16年3月31日に廃止された。

#### (2) 現在の重点課題

各研究領域が掲げる研究課題に加えて、21世紀COE研究における「山地・河川・海岸系における物質動態に関する研究」の推進、当センターが中心的な役割を担っている共同研究(特定)「光ファイバーネットワークを利用した準リアルタイム水防災技術に関する共同研究」の推進、諸施設を利活用した民間等との共同研究の実施、オープンキャンパス時の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・大学院教育等が重点課題として挙げられる。なお、施設の利活用を図る上で、施設の維持・管理が重要であるが、施設によっては老朽化が進行しているものも多く、また、技術職員の退職後に新たに職員が補充されないなど、施設の維持・管理・運営等に困難をきたしており、隔地観測所の統廃合をも視野に入れた観測所・実験所の運営が喫緊の課題となっている。これについては、各観測所・実験所運営委員会を平成17年度より発足させ、検討することになっている。

#### (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、平成14年度から始まった21世紀COE研究にお

いては、「山地・河川・海岸系における物質動態に関する研究」を COE 特別研究員を含むセンターの教員が有機的に連携して精力的に実施している。また、当センターが中心的な役割を担っている共同研究(特定)「光ファイバーネットワークを利用した準リアルタイム水防災技術に関する共同研究」など、共同研究(一般)や研究集会を実施している。さらに、科学研究費、振興調整費等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産官学連携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、JICA 研修の実施、CREST や科学研究費(国際学術調査)を財源とした国際共同研究、外国人共同研究者の受入等、積極的に国際研究活動を実施するなど、中期目標・中期計画に沿った研究活動を実施している。

#### (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、オープンキャンパス時に災害体験学習を実施して防災研究成果の社会への還元を図っている。また、学部・大学院の教育研究においては、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。

## 8.6.2 研究領域の研究内容

### (1) 研究領域名：災害水象観測実験領域

### (2) 研究スタッフ：

教授 中川 一

助教授 石垣泰輔

助手 上野鉄男, 武藤裕則, 馬場康之

非常勤講師 綾 史郎(平成 14~15 年

度), 道奥康治(平成 14~16 年度)

研究担当 藤原建紀(平成 14~16 年度), 牛

島 省(平成 14~16 年度)

### (3) 研究対象と研究概要

#### ①研究対象

豪雨による洪水・土砂災害・台風による高潮災害、又は地震による津波災害などのいわゆる水災害の発生機構及び被害の防止・軽減方法について、観測・水理模型実験・数値実験の手法を用いた研究を行っている。また、水理学及び水工学に関わる現象に関する基礎的な研究のみならず、防災施設の自然環境や生態系との調和を目指した応用的な研究も進めている。本領域では、宇治川オープンラボラトリー内の実験棟内に設置された種々の水路・平面水槽などを用いた基礎的実験や模型実験を行うとともに、種々の水理現象のモデル化を図って現象の再現および予測を行なうために数値モデルの開発も行なっている。

#### ②研究テーマ

(1) 都市域における洪水氾濫実験と解析

(2) PIV 法による洪水流の現地観測

(3) 河道災害と洪水氾濫災害

(4) 沿岸域における流動の解析

(5) 水制周りの流れと土砂輸送に関する実験と解析

(6) 伝統的な水害対策の効果に関する調査研究

(7) 河川環境の保全と復元

(8) 洪水・土砂災害に関する調査研究

#### ③研究テーマの概要

(1) 洪水流の 3 次元構造とその作用

河川流の観測を精度良く行い、信頼度の高い流量ならびに流砂量データを得ることは今日においても極めて重要な課題である。特に、洪水時の観測を高精度で行うことは、流量の観測精度の向上、水衝部・死水域・局所的な水位上昇部の把握とそれらの現象に伴う危険箇所の特定、あるいは河川環境保全と関連して、洪水時の生物の避難行動の把握や生息場の破壊・更新過程の実証などの点から非常に重要である。これらの課題に取り組むため、本研究領域では実河川を対象とした非接触流速観測法の開発を進めている。この方法では、画像計測法を利用することで流速分布を得るとともに、ADCPによる内部流の計測を同時に行い、両者の対応を照査することで将来の画像のみによる高精度流速・流量観測につなげることをねらいとしている。また同時に、室内実験においても各種プローブを利用して流速分布、水位、流砂量などの計測を行い、洪水流の内部構造と河床変動特性の関係について検討している。

## (2) 氾濫水理と遊水の水理

集中豪雨の発生頻度の増加などによる洪水氾濫の発生は、氾濫域に資産の集中するわが国においては多大な被害と影響をもたらす結果となる。このような氾濫を伴う場合の治水対策の一つとして遊水機能の確保が挙げられ、氾濫現象の解明と遊水機能の把握のために、現地調査、実験的検討、数値シミュレーションが行われている。2004年の足羽川の災害や桂川での洪水時の流況などの現地調査を通じて、氾濫に伴う典型的な水理現象の抽出を行うとともに、霞堤などの治水方法に関する実験的検討による遊水機能の評価などを実施している。また、都市域での氾濫災害の解明を目的として、大型の水理モデルを用いた洪水氾濫に関する実験、ならびに数値シミュレーションモデルによる解析が行われ、人口、社会資産の集中する都市域での水害の危険度評価、シミュレーションモデルの改良が進

められている。

## (3) 土砂移動現象に関する観測実験と解析

山腹斜面崩壊や土石流などの急激な土砂移動現象や、ダム堆砂や水制周りの局所洗掘などの比較的緩慢な土砂移動現象によって災害が発生している。これらの現象を模型実験や現地観測を通して分析するとともに、数値シミュレーションに基づく現象の再現、予測および有効な対策方法の開発を行なっている。すなわち、穂高砂防観測所の足洗谷流域を対象とした降雨・土砂流出の観測を実施するとともに、現象のモデル化と数値シミュレーションモデルの開発を行い、観測データによる検証を行っている。斜面崩壊については飽和・不飽和浸透流解析と斜面安定解析とをカップリングしたモデルを開発し、模型実験によりその妥当性を検証している。また、水制周りの局所洗掘など、水制が配置された移動床場での流れの3次元解析と河床変動解析について、非構造格子を用いた数値解析モデルを開発し、水理模型実験による検証を行うとともに、各種水制による河床変動・河岸侵食制御の利害得失について水理模型実験による検証を行っている。さらに、粘着性を有する微細土砂の存在を考慮した河床変動解析手法を開発するとともに、その適用性について観測データを用いて検討している。海外においては、インドネシアのブランタス川支川、レスティ川流域を対象として、降雨・土砂流出、土砂生産の現地観測を行っており、土砂流出と土地利用や植生指数との関係について研究を行っている。

## (4) 沿岸域における流動解析および地形変形

沿岸域は人間活動との関連の強い水域であり、人間活動の結果(河川流域の開発、海岸構造物の設置等)が反映されやすい領域でもある。また沿岸域は、大気・海底・陸岸・海洋の4つの境界に囲まれた水域であり、風・波・密度、さらには地球自転の効果など数多くの要因の影響を受けることにより、流動は非常に複雑な様相を呈

する。沿岸環境の保全，災害の防止・軽減の観点から，沿岸域での流動場の把握は重要な課題であり，現地観測，シミュレーションモデルの構築を通じての研究が実施されている。特に，沿岸域の広範囲にわたって比較的強い流動場が形成される荒天時を中心に支配的な流動とその要因に関する解析，さらに広域の流動により引き起こされる長期間にわたる地形変形を含めたモデル化が進められている。

#### (5) 河川環境の保全に関する研究

水域環境を保全または改善し，良好な状態で次代に受け渡すことは，水工学分野における今日的な課題である。本研究領域では，水域環境の保全・改善のための方策として，構造物や地形の改変によって現況の河道環境を局所的に改善する方法と，流水や土砂の管理方法に関わるセグメント～流程スケールまでのより大きな領域に及ぶ改善策とに分類し，それぞれの方法による河道への影響と環境保全・改善の期待度および満足度について評価することを試みている。前者の例として，水制工に着目し，水制による流速低減効果，水位かさ上げ効果，土砂捕捉効果ならびに地形擾乱効果などについて実験および現地観測により検討している。また，現地観測では水制群に加えてワンドも対象にし，それらの領域における流動と河床変動が，周辺領域を含む場における生物の生息・生育環境にどのような影響を与えているか，あるいはどのような生息場を創出しているのかに関して検討している。

#### (6) 洪水・土砂災害に関する調査研究

洪水・土砂災害は国内外で毎年のように発生しており，大規模な被害をもたらすものも少なくない。特に近年の水害の特徴であるインパクトの先鋭化・巨大化や被害の長期化・拡大化は地球規模の異常現象との関連で語られることも多く，その防御法の確立については豊富な水害経験を有するわが国の国際協力が最も期待され

る分野の1つでもある。本研究グループでは，洪水・土砂災害の被害実態の把握と災害の発生機構の解明を目的として被災地の現地調査を行うとともに，被害予測の精度向上と的確な防災施策策定のための補助ツールの開発を念頭に洪水・土砂災害を対象とした数値シミュレーションに関する研究を進めている。2004年には全国各地で深刻な洪水・土砂災害が多数発生した。それらの内，破堤や大規模な氾濫が発生した足羽川，円山川および由良川の災害について現地調査を行い，その結果を水理実験や数値シミュレーションに活かすように努めている。

#### (1) 研究領域名：土砂環境観測実験領域

#### (2) 研究スタッフ：

教授 関口秀雄

助教授 澤田豊明，末峯 章(平成15年3月31日まで，平成15年4月1日より斜面災害研究センターへ配置換え)，

助手 小西利史(平成15年3月31日まで，平成15年4月1日より斜面災害研究センターへ配置換え)

#### (3) 研究対象と研究概要

##### ①研究対象

地すべり，山崩れ，土石流，土砂流出などの種々の土砂災害や，山地荒廃および環境劣化を引き起こしている土砂移動現象について研究を行なっている。すなわち，水際における未固結堆積地盤の液状化，流動変形および粒子移動問題を対象として流体-粒状体地盤系ダイナミクスを駆使した研究を行なっている。さらに，丘陵・山地域における斜面土層の風化・侵食などによる不安定土砂の生成過程と滑動・流動などの移動過程の連続観測，並びに各々の過程における各層の特性に関する現地観測を穂高砂防観測所と徳島地すべり観測所で実施し，これらの現象の特性と原因の解明に努めている。特に，

穂高砂防観測所では活火山焼岳を源流とする足洗谷において土砂の生産・流出過程，河道特性の変化ならびに土砂流出の制御調節構造物の機能などに重点をおいた観測を実施している。徳島地すべり観測所では，その立地条件を活かして，構造線沿いの破碎帯地すべりの連続観測および地すべり規模の推定に関する実験などを行っている。

## ②研究テーマ

- (1) 超過外力に対する水際土質構造物の耐水性評価に関する研究
- (2) 河口沿岸域における堆積物動態と地形変化予測に関する研究
- (3) 堆積物の物理化学特性を考慮した流体－底質境界過程の研究
- (4) 不安定土砂の生産と流出に関する観測研究
- (5) 河道，河床変動の観測研究
- (6) 土砂流出の河川環境への影響評価に関する研究
- (7) 山地の降雨特性と流出特性に関する観測研究
- (8) 地すべり地における地下水と土塊移動の観測研究
- (9) 山体変形，土圧変動の計測と山体解体過程の研究

## ③研究テーマの概要

- (1) 超過外力に対する水際土質構造物の耐水性評価に関する研究(関口秀雄)

流域における人々の生命，財産を守るうえで河川堤防システムの果たす役割は大きい。しかし，堤防は地域の土質材料を用いて長年月かけて築造されたものが多く，高水時の耐水性能が十分に検証されていない事例が少なくない。本研究では，飽和・不飽和土の現実的な弾塑性および浸透特性をふまえ，流水に対する堤防の挙動解析法の高度化を目指している。

- (2) 河口沿岸域における堆積物動態と地形変化予測に関する研究(関口秀雄)

河口沿岸域に緩く堆積する未固結土が暴浪などにより液状化すると，大規模な水中マスマーブメントが発生し，海岸の土地流出や異常堆積あるいは津波などの災害をもたらすことがある。本研究では，複雑流体ダイナミクスの視点から堆積物重力流と再堆積過程の予測モデルの開発を行っている。

- (3) 堆積物の物理化学特性を考慮した流体－底質境界過程の研究(関口秀雄)

エスチャリーなどの半閉鎖水域では，水底の流泥層のレオロジーと水質環境に深い関りがある。流泥層の巻き上がり，凝集，沈降，圧密過程には汽水域特有の電解質の分布が深く関与することから，上述の堆積物重力流解析コードを拡張し，汽水域での物質循環過程を考慮し得る数値モデルを開発中である

## ◎穂高砂防観測所(澤田豊明)

- (1) 不安定土砂の生産と流出に関する観測研究

凍結・融解および降雨による土砂生産に関する現地観測・調査に基づき土砂生産の予測モデルの構築を進めている。凍結・融解による土砂生産と降雨による土砂生産が土砂流出に及ぼす役割について観測・調査を行い，土砂流出モデルの構築を進めている。一方，土砂流出量のモニタリング手法の開発および雨滴による斜面侵食による土砂生産に関して共同研究を進めている。

- (2) 河道，河床変動の観測研究

ヒル谷試験流域における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を提案した。さらに，土砂流出による河床変動の予測モデルに関する研究を進めると共に，土砂災害の防止軽減に関する水理実験や数値シミュレーションに活用するための共同研究を進めている。

- (3) 土砂流出の河川環境への影響評価に関する研究

土砂生産や土砂流出が河川環境に与える影響

を評価するために、生産土砂の特性、土砂堆積の形態に関する観測・調査および水生生物の種類、個体数および生息場所の観測・調査実施している。土砂流出が認められる溪流の方が土砂流出のない溪流に比較して生息生物の種類が多いことが認められた。これらの成果を総合的に解析し、河川環境への影響評価モデルの構築の共同研究を進めている。

#### (4) 山地の降雨特性と流出特性に関する観測研究

山地降雨の時間・空間特性を解明するために、地上雨量計と船舶レーダによる雨雲の観測を行い、地上雨量と船舶レーダによる雨雲の関係について解析を進めている。気象タワーをヒル谷試験流域に内に設置し、森林域における気象データの収集と地中の水分測定および表流水の定期採集試料の分析等を総合して融雪出水および降雨流出に関する流出予測モデルの構築の目的とした共同研究を進めている。

#### ◎徳島地すべり観測所(末峯 章, 小西利史)

##### (1) 地すべり移動機構の研究

徳島県下のモデル試験地で、伸縮計、傾斜計、パイプ歪み計、地下水位計の計器を設置して、どのような降雨条件の時どのような地すべり活動をするかと言うことを解明するために観測を行っている。その結果かなり多量の降雨時に地すべり活動が起こることも有るが、クリープ的な動きをする地すべり活動が存在することが分かってきた。また年変化をする動きも存在することが分かってきた。

##### (2) 地すべり地における土圧観測による研究

地すべり地における土圧観測はほとんど行われていない。地すべり活動が引き起こされる時、地すべり斜面の主動土圧地域と、受動土圧地域の確定や、その変化の様相を調べるための観測を行っている。教科書に書いてあるように斜面の上部で必ずしも主動土圧状態でないことが明らかになりつつある。

##### (3) 写真測量による変位観測の研究

岩盤斜面の崩壊予測手法の確立は急いで確立する手法である。岩盤が崩壊しそうな時に、岩盤にのって観測することは非常に危険であることは容易に想像される。このような時にデジタルカメラで写真測量を、違った時期に行って、変位の様子が調査できるかどうかについて研究を行っている。観測の結果ソフトを改良しなければ、精度があがらないことが判明した。

##### (4) 崩壊現場における地下水の流動状況に関する研究

結晶片岩地域における多量の降雨時に崩壊が起こることがよく有る。この崩壊を引き起こす地下水がどこからきているかについての研究事例は多くない。我々はこの地下水の流動状況を把握するために、種々の方法を用いて観測を行い、地表面付近を流れる地下水と、地下深くから上昇している地下水があることが分かった。

##### (5) 排水量の時間変化等に対する研究

地すべり地内で対策工として排水ボーリングや集水井が施行される。これらがどのように変化するかについての観測はほとんど行われてきていない。この排水量を観測することによって、利用可能な量や、道路工事による影響についての知識が得られ、地元や土木工事事務所に提案等を行っている。

#### (1) 研究領域名：気象海象観測実験領域

#### (2) 研究スタッフ：

助教授 林 泰一, 山下隆男

助手 芹澤重厚, 加藤 茂(平成 16 年 3 月 31 日まで)

研究担当 山田道夫, 根田正典, 白土博通, 八木知巳

#### (3) 研究対象と研究概要

##### ① 研究対象

気象・海象に関する環境防災論を進展させるため、白浜海象観測所・潮岬風力実験所(和歌山県)、大潟波浪観測所(新潟県)の3観測施設が共同で、気象・海象災害外力、強風災害、沿岸海域環境に関する、以下のような研究を重点的に行っている。台風的气象学的立体構造、季節風時の日本海の海上風特性、およびそれによる高波浪、広域海浜流、高潮の発生・発達機構の解明と予測に関する研究。構造物に対する強風災害発生機構の研究。海浜保全、沿岸域の環境要因と生態系の変動予測に関する研究。

## ② 研究テーマ

- (1) 高潮のダイナミクスと数値予知
- (2) メソスケール大気・流域・海洋結合モデル
- (3) 大気境界層における強風の観測
- (4) 大気 - 陸面相互作用(エネルギー交換機構)
- (5) 構造物の強風災害
- (6) 広域海浜流・漂砂循環系と海浜地形変化予測
- (7) 沿岸域・湾内環境に関する研究

## ③ 研究テーマの概要

- (1) 高潮のダイナミクスと数値予知(山下隆男)

### (目的・方法)

大気・海洋間の運動量、熱、物質の交換には、風波が重要な役割をする。風波の発生・発達・減衰機構のモデル化には、風波の空力学的な粗度要素、海面抵抗係数をどのようにモデルに導入するかがポイントである。すなわち、wave-induced stress のような風波により発生する比較的大規模な大気乱流による形状抵抗と wavelets による空力学的粗度特性を波齢および大気の安定度との関数で系統的に表現できる理論の構築、breaker stress 等の定義による白波砕波減衰を通しての波浪から吹送流への運動量変換モデル、および波齢の高い fast wave に対する波浪増幅・減衰機構の定式化に関する必要がある。本研究では、波浪推算モデル、メ

ソ気象モデル、海洋モデルを連結系とした高潮(・高波)の数値モデルを完成させる。

### (成果)

高潮・波浪結合モデルを用いて、八代海、周防灘での台風9918号による高潮・高波の追算を行った。さらに、これを用いて1991年のサイクロンによるベンガル湾の高潮の再解析を行った。その結果、極浅海域における高潮の再現計算には、砕波により流れへ移行する運動量流束の効果が極めて大きく、これを考慮した波浪・潮汐・高潮同時計算が必須であることを示した。

- (2) メソスケール大気・流域・海洋結合モデル(山下隆男)

### (目的・方法)

生存圏における流体運動や物質輸送を再現する数値・数値モデルは、各分野で独自に開発され、高いレベルで実用に供されている。これらのソフトウェア資源を結合させ、メソスケールでの「水系一貫」した水循環、物質輸送を数値的に再現することが可能となっている状況である。本研究は、これらのコード公開モデル、開発した数値モデル、漂砂・流砂モデル、粘性底泥モデル、生態系モデル等のモデルを、相互作用を考慮した形で結合し、「大気・陸面・海洋結合モデル」を完成させようとするものである。

### (成果)

河川・海岸系スケールでの大気(気象場)と陸面・流域および海岸・沿岸海洋を対象とした水循環、物質輸送のシミュレーションモデルを構築した。使用した主なモジュールは、メソスケールでの気象場を再現するためのMM5、海洋波浪を再現するためのWave Watch III(WW3)、海洋モデル(POM)、流域での雨水流出、物質生産・変形・輸送を再現するための流域水文モデル(HSPF)、河口での水理・底泥輸送モデル(ECOMSED)、大潟波浪観測所で開発された広域海浜流モデル・海浜変形モデルである。

- (3) 大気境界層における強風の観測(林 泰一)

台風や竜巻などによってもたらされる強風災害は、大部分が大気境界層の下層の大気接地層で発生する。この場所で発生する。潮岬風力実験所の気象観測塔(高さ 25m)を利用して、自然風の連続観測として、いくつかの高度で風向風速を実施している。これは、大気境界層のなかの大気接地層での総合的な気象観測のひとつとして位置づけられ、風向風速、気温、湿度、気圧、雨量、短波、長波放射などの実際に観測することによって、生活圏における流体運動や物質輸送に関連している。

(成果)

自然風の連続観測が得られることから、強風の性質として、突風率、パワースペクトルなどの統計量を求めた。台風や竜巻などに伴う強風、冬期季節風に伴う強風など発生原因が異なる強風について、その違いを明らかにしつつある。

(4) 大気 - 陸面エネルギー交換機構(林 泰一)

(目的・方法)

大気の下層の大気境界層は人間のみならず、動植物の生活が営まれる場所である。潮岬風力実験所において、3次元超音波風速温度計、赤外線湿度変動計を利用して、運動量、顕熱、潜熱および二酸化炭素の乱流輸送量の連続観測を実施している。さらに、風向風速、気温、湿度、気圧、雨量、短波、長波放射なども同時に観測を実施している。

(成果)

大気接地層における水・熱、エネルギー循環に関して観測方法を確立し、その乱流輸送過程を明らかにしてきている。アジアフラックスネットの日本における拠点として、役割を果たしている。

(5) 構造物の強風災害(林 泰一)

(目的・方法)

台風などの強風によって構造物に発生する強風災害を、潮岬風力実験所で実大模型を用いて観測実験を行っている。角柱模型(2mx2mx8m)によ

る周辺気流と風圧測定、プレハブ家屋の屋根瓦の飛散実験、斜張橋のケーブルの振動などを自然風中で強風の影響を測定している。

(成果)

角柱の隅角部に風圧の集中や気流の剥離を定量的に測定することにより、被害発生を軽減できるデザインを計画した。屋根瓦の飛散について、瓦の表面と裏面に作用する圧力差を計測することにより飛散発生メカニズムを明らかにした。斜張橋のケーブルの振動については、強風だけではなく降雨がケーブルの形状を変形させることにより振動モードが変化することを明らかにしつつある。

(6) 広域海浜流・漂砂循環系と海浜地形変化予測(山下隆男, 加藤 茂)

(目的・方法)

一般の3次元海浜流モデルは全て波浪流を対象としたものであり、風(吹送流)の海浜流場に及ぼす影響については考慮されていない。しかし、強風・高波浪条件下での現地観測結果には、沿岸域での流れに及ぼす風の影響が表れており、沿岸域での流れを行う場合に風の影響を無視することはできない。これまでの観測研究成果に基づき、我々は沿岸域での波浪による流れ(波浪流)と風による流れ(吹送流)を合わせて広域海浜流を定義している。本研究では風と波の影響を考慮した沿岸域での流れ(広域海浜流)の3次元数値モデルの開発を行い、現地観測データとの比較を元に、現地への適用性を検証する。

(成果)

広域海浜流の現地への適用性について検討を行った。その結果、風と波の両方を考慮することにより観測結果をほぼ再現でき、本モデルの現地での適用性が示された。また、観測結果から指摘された海浜流場における風の影響の重要性が、数値計算からも確認された。

さらに、広域海浜流場に基づく広域漂砂とそれによる海浜変形に関する検討を行った。その結



果、漂砂・地形変化モデルについては、現象の再現性に検討の余地が残されているが、定性的な漂砂現象は再現できていることが確認された。本モデルの構築により、沿岸域での空間的な物質輸送(漂砂)、地形変化の詳細なシミュレーションが可能となることを示した。

(7) 沿岸域・湾内環境に関する研究 (山下隆男, 芹澤重厚)

(目的・方法)

紀伊水道の底層に外海起源の栄養塩水塊があり、大阪湾や瀬戸内海への栄養塩の供給源となっていることが指摘されている。一方、紀伊水道での水塊構造は黒潮流路により強く影響を受けており、これが外洋からの栄養塩流入の多寡を決めているとの報告もある。紀伊水道での水塊構造の変化は、そこに面する内湾で夏季成層時の内部潮汐や沿岸湧昇と相まって、海水交換や水質分布に大きな影響を及ぼすと考えられる。湾口の田辺・中島観測塔における海象観測(潮位, 波浪, 海上風, 水温)および ADCP や CTD を用いた流れや水質の観測と近畿大学水産研究所の水質テレメトリ(日射量, 水温・塩分・クロロフィル a 濃度等)の研究成果として、次のことが明らかにされている。1) 海水交換には潮流のみならず夏季の内部潮汐としての急潮や季節風が強く影響している。2) 赤潮発生のメカニズムとして、夏季に珪藻類の異常増殖が赤潮を引き起こし、秋季には渦鞭毛藻類のそれが赤潮を引き起こす。これらの湾内環境、生態系を予測するモデルを構築する。

(成果)

田辺湾への外洋水と陸水の影響に関する研究では、これまで行われてきた和歌山県田辺湾での水質観測の結果を、黒潮流路との関係から整理し、水塊構造と水質の関係を考察した。ついで、紀伊水道に異なる水塊構造を与えた場合の田辺湾への影響を数値解析により検討した。

珪藻類－渦鞭毛藻類のアレロパシーを考慮した

田辺湾の赤潮モデルの研究では、環境要因、アレロパシー、栄養塩による制限、および移流・拡散による移動を考慮した植物プランクトン細胞数変動予測数値モデルを構築し、その適用性の検討を行った。

### 8.6.3 その他の活動

#### ◎宇治川オープンラボラトリー

大阪府管理の二級河川「近木川」河口付近に計画されている汽水ワンドの形成に関し、地域住民や行政を交えての公開実験と討論会を実施した(平成16年2月15日)。

国土交通省近畿地方整備局淀川河川事務所と共同で、局地異常気象観測鉄塔に設置したITVカメラによる宇治川の流況観測を平成15年度より継続的に実施し、映像データを常時淀川河川事務所に配信。

オープンキャンパス時に一般市民を対象に災害体験学習(公開ラボ)を実施し、防災教育に貢献している(平成15年10月4日、平成16年10月2日に実施)。

宇治川オープンラボラトリーの見学や取材に対して積極的に協力し、アカウントビリティの向上を図っている。

#### ◎大潟波浪観測所

(集会開催)

大潟波浪観測所・大潟町講演会 第22回  
大潟海岸に学ぶ 平成14年11月8日  
大潟波浪観測所・大潟町講演会 第23回  
大潟海岸に学ぶ 平成15年11月28日  
大潟波浪観測所・大潟町講演会 第24回  
大潟海岸に学ぶ 平成16年11月19日

(地域貢献)

上越大潟海岸保全の学術情報提供

(観測データ提供)

新潟県、大潟町への波浪データ、海底地形データの提供

#### ◎白浜海象観測所

(集会開催)

白浜海象観測所研究講演会(毎年、3月の第一金曜日開催)

(観測データ提供)

日本海洋データセンター、日本全国沿岸水温の記録へ提供

海上保安庁へのデータ提供

和歌山県、田辺市へのデータ提供

(地域教育)

つなみ防災授業、講演(平成16年 白浜町立椿小学校、白浜町立第一小学校、平成15年 田辺市立新庄中学校)

#### ◎潮岬風力実験所

(集会開催)

平成14年：「台風に関する研究会」 串本町と共催

#### ◎穂高砂防観測所

澤田豊明助教授が代表者となり、観測所に係る人々を中心に、特定非営利活動法人山の自然文化研究センターを2004年度に設立した。本会の目的は、飛騨山脈の恵まれた自然と山麓地域の文化に触れ、自然・文化の調査・研究を行い、それに基づき自然環境の保全、山岳文化の継承と創造、安全・安心な地域づくりに寄与し、一般の市民・団体を対象に幅広い分野において支援を行う。活動内容の概要は以下のとおりである。

1. 環境保全と安全・安心な地域社会づくり(山の調査・研究、環境・防災教室等)
2. 自然文化体験活動(安全登山教室、森林・自然公園ボランティア、障害者の野外活動支援等)
3. 山の自然文化に関するネットワーク作り(他のNPOとの連携)
4. 後継者の育成
5. 研究発表会の開催および定期刊行物の発行

16年度の主な活動は、10月16日、シンポジウム「川は生きている」、11月3日、自然観察会「落ち葉で遊ぶ」、平成17年3月5日、自然体験ツアー「スノーシュー及び歩くスキー」の講習会である。

## 8.7 地震予知研究センター

### 8.7.1 センターの活動概要

#### (1) 部門の研究対象と活動方針

9研究領域(客員1)と8観測所が有機的に連携し、以下の項目で述べる「新たな地震予知研究計画」や「京都大学の中期目標・中期計画に盛り込まれた計画」を主要研究の対象としている。その中でも1)南海トラフにおける巨大地震の予知研究、2)内陸地震の予知研究、3)研究成果の社会への効果的普及(Outreach)・教育を当センターの3本柱として、これらを中心に研究活動を行っている。

せまる南海地震に対しては前駆的すべりから破壊発生過程にいたるまでのプロセスをイメージングし、各ステージの検出に向けた新しい観測手法の確立をめざしている。

内陸地震予知研究では、平成14年度から実施された大都市大震災軽減化特別プロジェクトの成果として得られた地下構造調査の成果、及び国内外で発生した地震の調査研究成果をもとに研究を進め、地震活動の活発化と静穏化の解明、断層の破壊過程の詳細なイメージングを求めている。

教育・Outreachでは理学研究科における教育の他、社会人教育、新聞・テレビ・ラジオ・各種講演会を通じて研究成果ならび「地震への備えの普及に努めている。

#### (2) 現在の重点課題

当センターの重点課題である上記の3本柱は、平成15年に科学技術・学術審議会から関係各大臣に建議された「地震予知のための新たな観測研究(第2次)の推進について」にも盛り込まれており、当センターでは予算措置された以下の11研究課題を担当推進している。「次の南海地震の発生予測の高度化」「次の南海地震に向けた応力蓄積過程の解明」「スロースリップ・イヴ

ェントのマッピング」「西南日本内陸における歪・応力蓄積様式の解明」「内陸歪み集中帯の構造とダイナミクス」「断層における注水実験及び応力変化の時間変化」「半制御実験による震源核形成過程の解明」「断層面上の不均一な応力・強度分布の解明」「強震動予測に関する研究」「西南日本の低周波イベントの発生環境と特性の研究」「キネマチックGPSによる時間～日周期の変動の検出方法の開発」。これらの研究課題を実行するために、以下に述べる9研究領域と8観測所が連携し観測の運営にあたっている

#### (3) 研究活動

9研究領域(地震テクトニクス・地震発生機構・地殻変動・地震活動・地震予知計測・地震予知情報・総合処理解析・リアルタイム地殻活動解析・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・宮境)が有機的に連携し、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。これら観測点の維持管理は各観測所を拠点に行われ、データの処理解析などの運用は総合処理解析研究領域が担当している。特に観測所はそれぞれの地域において観測拠点としても機能し、全国の大学などが実施する臨時の合同観測の中心的機能も果たしている。

平成14年度から実施されている大都市大震災軽減化特別プロジェクトでは、近畿の深部に沈み込んでいるフィリピン海プレートの形状を明らかにすることが出来た。近畿の都市圏における強震動予測の精度を上げるために重要な情報を供給するとともに、丹波山地で起きている微小地震活動の静穏化・活発化の原因解明に寄与

するものと期待されている。

地震・測地・電磁気など全国大学を中心とする合同観測は中部地方の歪集中帯にある跡津川断層を中心に行われているが当センターはその中心的な役割を果たしている。また平成 16 年 9 月に起きた紀伊半島南東沖地震(M7.4), 同年 10 月の新潟県中越地震(M6.8), 12 月にはスマトラ沖地震(M9.0)の調査研究を行った。そのほか台湾, トルコ, フィリピンで発生した地震の断層調査, 電磁気観測, 地震観測, などの研究活動を行った。

#### (4)その他の活動

Out reach(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・テレビ・ラジオなどメディアの協力を得て定期的に発信し, 社会に効果的に伝達するよう勤めている。また現在起こっている地震活動に関する情報を総合処理解析研究領域・リアルタイム地殻活動解析領域が中止となり, ホームページ上でほぼリアルタイムで公開している。

## 8.7.2 研究領域の研究内容

### (1)地震テクニクス研究領域

#### (2)教授 橋本学

助教授 飯尾能久(平成 14 年 9 月 1 日～)

### (3)研究対象と研究対象

#### ①領域の研究対象

世界地図を見ると地震が発生する場所は限られている。地震はどこにでも起こるわけではなく, 特別な条件が成り立つ所にのみ起こる, “珍しい”現象と言える。地震は, どのような場所, どのような条件のもとで起こるのか, 地球の内部構造やダイナミクスと関連づけて研究するのが, 地震テクニクス領域の研究目標である。したがって, 地球内部の構造から地殻変動およびこれらの理論・モデル・観測・解析手法の開発にいたるまで, 地震に関連するテーマはすべてが本領域に関連するものである。

#### ②現在の主な研究テーマ

- 1)日本列島の変動とプレート運動
- 2)南海トラフ巨大地震の発生の準備過程
- 3)内陸活断層の歪蓄積過程の研究
- 4)新しい観測手法の開発研究

#### ③各研究テーマ名

##### (1)日本列島の変動とプレート運動

(橋本 学・飯尾能久)

日本列島はプレート境界に取り囲まれている。この境界は海洋プレートが大陸プレートに沈み込む境界である。駿河湾から東海, 四国沖, 九州沖ではフィリピン海プレートが沈み込む。このうちでも, 南海トラフと呼ばれる沈み込み帯は, 巨大地震を引き起こすことが知られている。また, これらプレート運動による応力により, 内陸部に歪が蓄積し, 内陸地震発生の遠因となっていると考えられている。したがって, 日本列島全域の変動とこれを取り巻くプレートの運動の解明は, 地震予知あるいは地震発生危険度評価にとって不可欠の課題である。このため, 全国の大学の地震観測網, 気象庁, 科学技術庁

強震ネット等の地震観測データ、国土地理院の GPS 連続観測データ等の公開データ、さらには独自の観測データに基づき、日本列島とその周辺で発生する地震のメカニズム、日本列島のブロック構造とその運動の推定、及び、これらとプレート運動との関連、などに関する研究を行い、西日本や琉球弧のブロック運動や内陸活断層・プレート境界断層のすべり欠損を推定した。2003年9月26日に発生した十勝沖地震(M8.0)や2004年9月5日に発生した紀伊半島南東沖地震に伴って緊急 GPS 観測を実施し、その余効変動を観測し、そのモデル化を行った。さらに、2004年12月26日に発生したスマトラ地震直後から、世界の GPS 連続観測データを収集・解析し、タイやインドネシアを中心とする地域の地震時および地震後の地殻変動を明らかにした。現在もタイのデータを中心に解析を継続しており、この巨大地震に伴う東南アジアの変動の推移を追跡していく。

#### (2)南海トラフ巨大地震の発生の準備過程

(橋本 学)

南海トラフにおいて、最近では1944年東南海地震、1946年南海地震と歴史的に数多くの地震が発生している。次の南海トラフ沿いの地震の予知のために、この巨大地震へ至る準備過程を観測およびシミュレーションを通して理解する必要がある。一方、プレート境界のカップリング状態と内陸の地震の発生が関連を持つことは歴史資料から知られており、巨大地震による内陸の応力の変化から内陸地震の発生との関連を追跡することも重要である。このため、国土地理院により配備された GPS 連続観測網の公開データ等を使用して、粘弾性マントルを仮定して南海トラフのプレート境界断層におけるプレート間カップリング及びその時間的な変化の推定を行い、時空間変化を明らかにした。さらに詳細なカップリングの状況を調べるため、平成12年度に紀伊半島ヒンジラインを南北に横切

る GPS トラバース測線を2本設け、観測を繰り返している。この結果、紀伊半島南部におけるカップリングを推定するとともに、紀伊半島中部以北においては西南日本外弧のブロック的な運動が存在することを確かめた。

#### (3)内陸活断層の歪蓄積過程の研究

(橋本 学・飯尾能久)

内陸活断層は内陸地震の震源域となるため、この運動様式を明らかにすることが重要である。すなわち、活断層がどの程度固着して歪を蓄積しているのか、固着している領域はどのあたり、特に深さ方向、を知る必要がある。このため、高密度の GPS 観測により内陸活断層周辺の変動様式を明らかにする観測を行ってきた。固着領域の深さは、断層に直交する方向の変位の分布により推定することが可能である。山崎断層については北に傾斜する断層延長部が推定された。新たに歪集中帯の総合的な観測の一環として、名古屋大学と協力し、跡津川断層に同様な観測網を展開し、連続観測を行っている。今後の観測により跡津川断層の運動の全体像が明らかになることが期待される。

内陸活断層周辺の変動様式は、上記のように、断層の深部延長など、断層近傍の不均質構造に支配されていると考えられている。歪集中帯の総合的な観測においては、それら不均質構造を地震学的に可視化することを目的として、稠密な自然地震観測を開始した。既存のデータによる解析では、歪集中帯の直下の下部地殻に強度の弱い領域(weak zone)が存在し、それによって、歪速度異常や活発な内陸地震活動が引き起こされていると推定された。

#### (4)新しい観測手法の開発研究(橋本 学)

地震前にゆっくりした前駆的変動があるとされているが、既存の観測手法ではこれを広域にかつ連続的に捉えることができない。そのため、現在の1日に1座標値しか提供できない GPS を、高サンプリング観測に切り替え、1日より

短い時定数を持つ変動を捉えるための観測手法を開発研究している。現在、原子時計による刻時精度の向上、低仰角衛星の捕捉による観測衛星数の確保、適切なフィルタリング処理等の導入により、約 1cm 程度の精度で、変動を追跡することが可能なレベルに達した。さらに、この研究で得られたフィルタリング処理を十勝沖地震や新潟県中越地震時の GEONET データに適用し、本震直後に発生した余震に伴う地殻変動を検出することに成功した。今後気象要素の補正手法の検討なども行い、さらに高精度化を目指す。

### (1) 地震発生機構研究領域

(2) 教授 川崎一朗, 助教授 柳谷 俊

### (3) 研究対象と研究対象

地震は人間社会に甚大な被害を及ぼす目に見える現象であるが、地震と地震の間にも、地下深部の人間の目に触れないところで多様な時空間スケールの非地震性の事件が生じている。地震の準備過程である震源核もその一つである。様々な観測研究、実験研究、解析研究を通してこのような現象を見出し、それらを総合的に検討して現象の物理的意味を理解することが第 1 の目標である。その基礎の上に、どのような観測量を測定したらよいかを明らかにし、現実の地震の発生予測につなげて行くことが地震発生機構領域の第 2 目標である。

主な研究テーマとして、1)サイレント地震の研究 2)断層面の固着状態解明の実験的研究(柳谷)3)間隙水圧および地殻の比抵抗測定(柳谷)などがある。各々の研究概要は以下のとおりである。

#### (1)サイレント地震の研究 (川崎一朗)

1990 年代に入って、日本列島周辺で、10 個弱のサイレント地震が発見された。発見された限りでは、サイレント地震は深さ 30 km 前後の、

「固着域と定常すべり域の遷移帯」に発生し、空間的には巨大地震のアスペリティと空間的に棲分けている。予知に向けての問題点は次の通りである。サイレント地震は震源核と同じ性質を持つ物理現象と見なせるのか？それはどのような条件の時に巨大地震に成長するのか？観測データから地震発生時刻を予測することが出来るか？

一つのエンドメンバーとして、プレート境界面が限りなく均質とすると、ひとたび震源核が生じると、震源核は単調に加速・成長するということになる。他方のエンドメンバーは自己組織化された臨界現象であろう。この中間で起こる現実の震源核の成長をコントロールしているのはプレート境界面の摩擦強度の不均質分布である。地震アスペリティとサイレント地震の空間分布は摩擦強度の分布を教えてくれる。地震予知に向けての中期目標として、GPS データおよび地殻変動連続観測記録を用い、サイレント地震を出来るだけ多く見出し、すべり域をマッピングして行く解析的研究を推進している。

#### (2)断層面の固着状態解明の実験的研究(柳谷俊)

断層面の固着状態の不均質と不安定すべり発生を解明するために、接触面を透過する弾性波を用いた実験から岩石接触面の固着状態を解明する研究を行なっている。

#### (3)間隙水圧および地殻の精密比抵抗測定(柳谷俊)

地震の前兆現象の一つと考えられている地殻の比抵抗の変化の有効性を検証するため、精密比抵抗測定のための装置の開発が行われた。これにより、室内の岩石試料を用いた予備実験の後、野外での比抵抗の絶対値と相対値な変化を従来より 2 桁以上分解能を向上したテストが行われ、その実用化に向けての研究を行なっている。

### (1) 地殻変動研究領域

(2) 教授：梅田康弘、

助手：重富國宏、大谷文夫、吉村令慧、土居 光

### (3) 研究対象と研究概要

地震予知をめざした地殻変動と地震活動ならびに地殻の電磁気構造の解明を研究対象としている。地殻の変動は地下坑道内におけるひずみ計や傾斜計による連続観測と、GPS や重力観測など地表における観測がある。前者は高精度・高分解能のデータが得られるので、これらのデータをもとに地震発生に直接関係した研究を進めている。後者は広域のデータが得られるので、例えば西南日本あるいは近畿全体の地殻歪、およびその時間変化の研究を進めている。特に1995年兵庫県南部地震以降整備された国土地理院の電子基準点のデータに加え当部門独自の観測網を展開し、より精細なあるいは特定の断層に注目したひずみの集中箇所の検出を試みている。

地殻の速度構造は地震波の解析によって求められるが、地殻深部の低速度や地震波の反射から想像されている流体の存在が近年注目されているが、流体有無の決め手は電磁気学的手法によることが多い。地震予知計測領域が開発した電気比抵抗による観測法を用いて地下深部の流体存在に関する研究を進めている。

南海地震がせまってくるに従い内陸における被害地震の発生も増えると考えられている。しかしながら、2003年以降近畿北部の微小地震活動は減少している。また上記の地殻変動連続観測においても同時期から変動のトレンドが変化している。GPSによる近畿北部のひずみや一部の観測所では地下水位にも同時期から異常が見られる。当部門及び地震予知研究センターでは平成14年秋季地震学会において発表し、多くのコメントをいただき、それらに基づく新たな研究を展開している。特に平成14年度から始まった大都市大震災軽減化特別プロジェクトで

はフィリピン海プレートのおそらく残骸と見られるプレートが近畿北部の深さ60km付近にあることがわかり、先に述べた流体の供給源意になっているらしいとの研究成果を得た。流体の挙動によって近畿北部の微小地震の静穏化と活発化のメカニズムが解明されそうである。

昭和南海地震の数日前に紀伊半島から四国の対尾併用沿岸における井戸水が涸れたり水位が低下したという報告が地震直後になされていた。南海地震の前兆現象として非常に貴重な報告にもかかわらず、疑問点も多く長い間地震学会などから見放されていた。当部門と地震予知研究センターが中心となり、改めて現地調査を実施し、そのメカニズム解明に成功した。また再現性の有無についても検証を進め、前々回の安政南海地震でも同様のことが起こっていたことを古文書をもとに確認した。

a) 南海地震の予知に関する研究(梅田康弘・重富國宏・尾上謙介・橋本 学・浅田照行・細 善信・近藤和男)

昭和南海地震の目に地下水が減少した地域の現地聞き取り調査を行った。地下水が低下した地域は三方を山に囲まれた小さな三角州であることなどから、ある特別な井戸の水位が下がりうるメカニズムを解明した。6地域の複数の井戸において水位の連続観測を行った。再現性について安政の南海地震の前にも同じことが起こっていることを古文書などから見出した。断層すべりの深部において緩やかな前駆的すべりが南海地震の前に起こりうることを実証的に示した。また四国の佐賀町ではボーリングにより三角州の下に浸み込んでいる海水と淡水の境界層の連続観測を行い、南海地震予知に向けた研究を進めている。

b) 地震の初期破壊に関する研究(梅田康弘・他)

2000年鳥取県西部地震など被害地震の本震には小さな初期破壊が先行する。初期破壊とだいたい2の大破壊の位置関係を求めた。また余震に

はほとんど初期破壊がないことも確認し、初期破壊の発生する場について研究を進めている。

c) 地下水位と地震発生との関連に関する研究(重富國宏)

逢坂山観測所の観測坑道内に掘削した地下水観測井において、地下水位の連続観測を実施し、歪変化及び地震活動・発生との関連をしらべた。丹波山地の地震活動は 2003 年初めから静穏化した。それに先立つ 3 ヶ月前から地下水位の上昇が観測された。主に近畿北部で発生した中規模地震について、数日前から地球潮汐の M2 分潮の位相に顕著な変化が見られたことを解析的に明らかにした。

d) 歪集中帯における歪蓄積過程の研究(大谷文夫・重富國宏)

花折断層と琵琶湖西岸断層群は新潟—神戸歪集中帯に位置し、とくに後者断層群は地震発生の危険度が近畿地方でももっとも高い断層である。また近畿北部の微小地震発生の場のひとつである丹波山地の東を区切る境界ともなっている。この地域の歪蓄積状況をモニターするために稠密 GPS 観測網を設け、年 2 回のキャンペーン観測を行っている。さらに一部の観測点では連続観測化も図り、当初は 1 周波機、後に 2 周波機を投入した。2003 年初頭の地震発生・地殻変動のトレンド変化と対応する歪変化がこの地域でも観測されている。

e) 歪地殻変動連続観測データベースの構築(大谷文夫)

地殻変動連続観測のテレメータシステムを専用線を使用したものから、デジタル回線のダイヤルアップへの切り替えを進め、それとともにデータ収録システムも PC、WS による分散処理へと更新を行った。

またデータサンプリングも分値から秒値の収録へ高度化を図っている。Web を使ったデータモニターシステムを構築した。既成ソフトの性能評価も行い、長期データから短周期変動までを

一元化して取り扱えるようなシステムの試行を進めた。最終的な完成までには経費の問題もあるが、着実に進みつつある。

f) 測地観測と横坑内連続観測データの統合(大谷文夫)

時間的に対照的な性質を持つ両者のデータの統合で地殻観測データの精度の向上をはかる。日向灘沿岸を対象としてこれまで光波測量と伸縮計を対比させてきたが、新たに GPS 観測点を設け、GSI の点も使い 2 種 3 個の正三角形を構成したネットでの連続観測を開始した。

(1) 地震活動研究領域

(2) 教授 Mori James Jiro, 助教授 渡辺邦彦

(3) 研究対象と研究概要

大規模地震の発生メカニズムの解析と震源断層の破壊過程の研究

大規模地震の震源過程を解析し、その発生機構を解明する。将来の大地震発生予測や強震動予測に重要である。地球内部構造の解明にも不可欠である。

平成 11 年度には台湾大地震が発生した。これに関する強震動記録の解析から、震源断層での破壊過程の解析を実施した。

地震の発熱エネルギーを調べるために断層面まで掘削し(約 1 キロ)、温度を測定した。

平成 16 年紀伊半島沖地震について遠地波形を解析した。このとき起きた 2 つの M7 の地震について、その発生の関係を調べた。

平成 15 年の十勝沖地震と平成 16 年の新潟中越地震の始まりを調べた。最初の数秒の波形の複雑さに着目し、本震と余震に分けて比較した。本震と大きい余震はいずれも複雑な波形を示している。

広域地震活動度の量的評価と応力の蓄積・開放過程の解明

日本全域の地震活動度を時間的かつ空間的に



把握することから、地震発生にかかわる応力の蓄積と開放の過程を量的に評価することを目指す。これは、将来の地震発生の長期的・短期的予測に繋がる。

震源ファイルをもとに地震活動度という量を定義し、GISを活用して全国の地震活動度を量的に評価する。特に活断層の空間分布や活動履歴と地震活動度を比較して、活断層活動サイクルと応力の蓄積過程の関連を推察し、地震発生の長・中期予測に資する。

全国の活断層の活動を同時に見ると千年単位の地震活動サイクルを見ることができる。これにより、大地震の後の地震活動は千年単位で徐々に低下していることが明らかになった。地震活動に加えて、ひずみ速度も全国規模で調べた。地震活動度とひずみ速度が対応している地域もある。しかし、ひずみ速度が最も高い南海地域では地震活動度が低い。この相関関係は複雑でさらに調査を要する。

#### 内陸活断層の総合観測と地震発生予測の研究

活断層において地震、地殻変動、電磁気、地下水、重力等の総合観測を実施して、地殻ブロック運動論にもとづく内陸地震の発生予測の研究を行う。

特に山崎断層域において、高感度地震観測に加えて坑道における地殻変動、GPS、電磁気、地下水、重力探査等の総合観測・解析を行い、内陸地震の発生予測を研究している。

2000年5月からは、山崎町(現、宍粟市)大沢の坑道において伸縮計観測を開始し、安富坑道との比較を行っている。

山崎断層帯では兵庫県南部地震や鳥取県西部地震に関する特徴的な挙動が観測され、地殻歪が集中するゾーンとして地震活動に敏感な領域とする従来の考えを指示する情報が蓄積されつつある。そのメカニズムの解明が課題である。

2002年からは、山陰地方で地下水の多点観測

を開始し、観測結果をホームページで公開している。

#### 研究成果の社会への還元

地震予知は現実には未だ困難である。そのような状況であるからこそ、地震活動の現状や知り得る限りの情報を広く公開して理解してもらうことが地震防災に有効である。

そのために平常時から地震活動状況や各種情報をホームページに掲載するほか、講演会活動、自治体や社会諸団体との共同研究会、新聞への地震活動解説の連載などに努めている。これは地震予知研究センター全体として取り組んでいる課題でもある。

#### (1) 地震予知計測研究領域

(2) 教授 大志万 直人

助教授 西上 欽也

助手 徐 培亮

#### (3) 研究対象と研究概要

設立当初から地震の短期予知を目指して、前兆現象発現機構の解明や計測技術の向上を目的としてきた。最近は特に、地震学的な手法だけでなく測地学的、地球電磁気学的、地球化学的手法と幅広いアプローチにより地震断層や活断層周辺とその直下深部での精密な構造の把握と破碎帯のさまざまな特性に関する観測・研究に重点をおいている。特に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500m、800m、および1800m孔を用いた観測施設(野島断層観測室)を使用し、注水試験をはじめとするさまざまな全国共同的な野外実験・観測をもとにした研究も実施している。平成14～16年度の主な研究課題を列挙すれば以下のようなものがある。

#### 1) 断層の回復過程の研究

(大志万直人、西上欽也ほか)

断層の回復過程を調べるため、野島断層の1800m 孔において、第3回(2003年3~5月)および第4回(2004年12月)注水実験を全国共同研究として実施した。800m孔における湧水量、歪の変動から推定された岩盤の透水係数、および地表での流動電位観測から推定された透水性に関するパラメータの時間変化から野島断層の回復過程が推定された。また、高速サンプリングデータによる注水誘発地震の震源過程の推定、波形相関による震源クラスター構造の解析、アクロス連続観測によるクラック異方性の変動検出、歪データのモデリングによる注入水の挙動(破碎構造)の推定、等の研究が行われた。

## 2) 散乱波トモグラフィーによる地殻不均質構造の推定(西上欽也ほか)

コーダ波エンベロープの解析により、地殻・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する。Hi-net, 気象庁, 京大観測網のデータを用いて、山崎断層系, 跡津川断層系, 2004年新潟県中越地震の震源域に対して解析を行った。新潟県中越地震の本震断層面に沿う散乱強度分布からは、破壊開始点は不均質性の大きい場所に位置し、主破壊域は相対的に均質な領域に相当することが推定された。

## 3) 断層トラップ波を用いた断層破碎帯構造の推定(西上欽也ほか)

野島断層(1800m ボアホール地震計), 茂住・祐延断層(地下観測アレイ), およびサンアドレアス断層(ParkfieldデータをUSGSに滞在して解析)において断層トラップ波を検出し、波形モデリングにより断層破碎帯構造を推定した。野島断層の1800m 深度において明瞭な断層トラップ波が観測されたことは、この波動の深部起源を示す上で意義が大きい。

## 4) トルコ北アナトリア断層西部域での断層不均質構造調査(大志万直人ほか)

平成14~16年度も東京工業大学, ボアジチ大学などと共同して、トルコ・北アナトリア断層

西部域において調査研究を継続した。広帯域MT法による深部比抵抗構造調査を、1999年イズミット地震震源域において実施した。

## 5) 山陰地域での地殻深部比抵抗構造探査(大志万直人ほか)

平成15年度に、島根県東部地域での比抵抗構造調査のための広帯域MT観測を鳥取大学などと共同で実施した。これまでに実施してきた山陰地域での比抵抗構造調査の結果を総合的に解釈すると、山陰地域では、上部に地震発生領域を持つ地殻下部と、地震発生域(現時点で微小地震活動が見られない領域)を持たない地殻下部とでは大きな違いのある事が分かってきた。地震発生領域がある場合、その地殻の下部には低比抵抗領域が存在し、そうでない場合には低比抵抗領域の存在が見られない。さらに、大山など山陰地域の第4紀火山では地殻浅部に低比抵抗領域が存在している。

## 6) 全磁力連続観測の実施(大志万直人ほか)

日本全国の全磁力連続観測データをもとに、日本全体をカバーする標準地磁気経年変化モデル(JGRFモデル)の作成についての基礎的検討を継続した。また、このモデルの基礎となるデータ取得のため、北淡町, 鳥取, 宇治, 峰山, 鯖江, 天生, 宝立で全磁力連続観測を継続した。また、地殻活動に伴う局所的な地磁気変化検出のため、伊豆半島伊東周辺での地磁気全磁力の連続観測を継続した。

## 7) ネットワークMT法による広域比抵抗分布マッピング(大志万直人ほか)

東京大学地震研究所, 神戸大学, 高知大学, 鳥取大学と共同でNTTメタリック線を利用した長基線電場観測を、紀伊半島で実施した。紀伊半島で見つかっている低周波微動発生域周辺で比抵抗が低い領域が存在し、低周波微動の発生が地殻流体(水)の存在と関連があるとする考えと調和的な結果を得ている。

## 8) 解析・評価に関する理論的基礎研究

(徐 培亮)

ランダム・テンソルを用いた地球科学への応用に関する理論的研究を行った。具体的には、「ランダム的な歪と応力テンソルについての研究」、「ランダム的なスペクトルの偏りについての研究」、「高次項を含めたランダム的なスペクトルの精度評価に関する研究」、および、「これらの地球科学の分野への応用に関する研究」からなっている。また、 $nD$  空間での方向、面、座標系に対する等方的確率論的モデルの構築に関する研究や、逆問題解法として新しくハイブリッド・グローバル最適的化法を提案し、1D, 2D, 多次元の場合に関するアルゴリズムとそのパフォーマンスに関する理論的研究を行った。なお、徐培亮は、平成 14 年 5 月 30 日の日本測地学会総会において「ランダム・テンソルとその地球科学への応用」により第 10 回「日本測地学会賞 坪井賞」を受賞した。

**(1) 領域名：**地震予知情報研究

**(2) スタッフ：**教授 古澤 保(H14)、伊藤潔(H15-H16、上宝観測所から配置換)、助教授 松村一男、助手 森井 互

**(3) 領域の研究対象と研究テーマ**

地震予知に関するさまざまな項目の観測データを収集し、効率よく解析処理するシステムの開発と、地震予知に有意となり得る情報の検出と前兆現象として判定する方法の開発、さらに、得られた情報を地震防災に役立つように関係諸機関に迅速に伝達するシステムの研究。また、データの観測方法および調査によるデータの収集も行う。次のようなテーマの研究を実施した。  
1)地震波形記録と震源情報のデータベース化と地震活動の時空間的分布の解析

地震データの伝送方法が従来の電話線利用の有線テレメータ方式から衛星通信利用のシステムに切り替えられ、それに伴う集録システムの

大幅な変更とそれに適合するデータ処理システムの構築を行った。関係する観測所及び総合処理室との密接な協力の下に、従来各観測所別に独自に行っていた地震データの解析処理を一元化することにより地震活動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を実現することができた。

長期間にわたる地震の研究には、最近のデジタル記録だけでなく、長期間観測されてきたアナログ地震波形記録も有用である。上宝観測所の地震波形記録を用いてアナログ地震波形を高速で AD 変換し、そのファイルから、個々の地震を取り出すソフトを開発し、WIN フォーマットのデータベースを作成したが、さらに北陸および鳥取観測所の地震波形記録のデジタル化も実施した。

各観測所で作られてきた微小地震の読み取りファイルおよび震源ファイルを統合したファイルを作成し、それ以降に作られている衛星通信によるファイルとの統合を行い、解析処理できるようにした。これらのファイルを用いて、西南日本における地震発生層の深さ分布を明らかにし、地殻熱流量、活断層および内陸大地震発生との関連について調べた。また、地震発生層に下限ばかりでなく、上限があることも明らかにした。また、地震活動の統計的解析を行い、1995 年兵庫県南部地震の前に有意な地震活動の低下を見いだした。

2)地殻変動連続観測データの一元的データベースの構築と統合処理

これまで各観測所での個別のデータ解析による降雨・気圧等の影響を明らかにして、観測点固有の擾乱を除去した局所的な地殻歪変動の把握に留まっていたのを、一元的データベースを構築して統合処理を行うよう改良した。気圧変化による観測坑道内気温の変化について、気圧—温度変換特性を明らかにし、気圧計記録を用いた坑内気温の変化による伸縮計記録のより高精度

の補正方法を開発した。

30 分間隔のデータベース化されている伸縮計連続記録を用いて、天ヶ瀬観測室、日向灘総合観測線各観測点の地球潮汐歪の解析を行い、理論潮汐と比較した。

### 3)定常連続観測からの予知情報の抽出

大地震前後の地震活動の時空間変化を量的に捉え、大地震発生の予知情報としての有為性を検討するための試みとして、微小地震統合ファイルをもとに中国地方東部—近畿地方西部地域について兵庫県南部地震前後の地震活動の時系列と空間分布に基き、 $b$  値の時間変化の地域の地殻応力変化に対する量としての可能性、発生した大地震によるせん断応力の増加量と摩擦応力の増加量との差 $\Delta CFF$ の有効性を検討し、ある程度までの有効性を示した。また、山陰地方の地震活動の時空間的変動の特徴について調べ、その中で、地震のマグニチュード別頻度分布曲線の変動が、少し大きめの地震の活動に関連があることを指摘した。

1966 年 10 月と 12 月に日向灘で 45 日の間隔で連続して発生した  $M6.6$  の地震を含む期間について、日向灘地殻活動総合観測線で得られたデータの長期変動の解析では、震源に最も近い宮崎観測所の伸縮歪に 1995 年 4 月頃から 1976 年の観測開始以来の経年変化と異なる変動が現れており、観測線各観測点の記録について相関解析を行った結果、この変動が日向灘から九州内陸部へ向かって、東から西へ 90-140 k m/年の速度で伝播していることが示された。現在の観測網による前兆現象の検出可能性の検討は地震予知研究の大きな課題でもあり、本研究領域の重要課題として推進する必要がある

### 4)連続データからの異常変化の抽出と評価に関する研究

天ヶ瀬観測室の観測機器の性能(動帯域・最小

分解能・周波数応答特性)に対応できるよう、従来のテレメータによる収録システムに替わる計算法制御方式の新データ収録システムを開発した。

特定の周波数成分の信号強度の時間的変動を検出する方法として、計算機上で AM 受信機のエミュレートを行う手法を開発した。この方法では、信号強度の時間変化は狭帯域フィルターと PLL 回路に相当する信号処理により推定される。フーリエ変換、MEM と比較した結果、ラインスペクトルの強度変化に対しより良い時間分解能を持つことが分かった。

この方法を天ヶ瀬観測室の伸縮計の 1 年間の連続記録に適用して解析した結果、地球の常時自由振動の日周変化を検出することが出来た。

### (1)総合処理解析研究領域

(2)助教授 竹内文朗, 助手 大見士朗

### (3)研究対象と研究概要

地震データを集め、処理、解析するのが主な目的である。最近は、「衛星通信で受ける全国の大学、気象庁、その他からの on-line データを受信し、解析する」ことを主としている。實際上、地震波形は主に短周期地震計でとらえたものを対象にしている。従って得られる地震は微小地震がほとんどである。

このような定常観測に加え、兵庫県南部地震、鳥取県西部地震、2004 年(平成 16 年)には、紀伊半島沖、東海道沖、更に新潟県中越地震、福岡県西方沖の様な大きな地震も発生し、当センターでは定常観測に加え、多数人が現地、余震観測等を行う事がある。このような場合には、臨時点データも同様な収録を行い、通常データと合わせて利用する。

通常の浅い地震は、0 k m—高々 20 k mに起こっているが、場所により、やや深い所に、時々地震が起こる事が解ってきている。この地震波

形は低周波であり、水の存在等が論議され、興味深い。当センターの観測点でもみられ研究が進められている。

地震は人工的にも発生する。地中での発破もそれである。この方法は、震源位置がメートル単位の正確さを持つため、観測値から非常に正確な地下構造が推定できる。この様な観測にも寄与している。

防災研究所に属する鳥取(鳥取市)、阿武山(大阪府高槻市)、徳島(徳島県名西群)、北陸(福井県鯖江市)、上宝(岐阜県高山市)の観測所はそれぞれの地方に数点~10点程度の3成分短周期地震計を備え、常時連続波形データを最終的に衛星に送信している。この様に送信された全国大学からの波形データは、群馬県の中継局にて気象庁データ等とまとめられ、宇治、各観測所にも送られる。こうして1年あたり2~3万個の地震波形が収録され、その読み取りデータが残される。これにより、震源位置が計算され、波形の特性から様々な解析が行われている。(SATARN, Seismic wave Automatic Triggering and Recording Network)

上記観測所は古いものは1930年代に、新しいものでも1970年代に観測を開始していて30年以上のデータを持つ。1975年ごろ、テレメータ方式に進み、地震計設置点から実時間の波形が観測所、宇治に集められるようになった。更に1997年後半には各大学のデータは気象庁データ等とも合わせて利用できるようになった。現在では、求まった震源データや波形データは、大学関係者など多数が利用可能になってきている。

地震の震源は、最近では自動的に求めることも出来る。更に人力により高精度な読取、決定もなされている。地震波形を人力で読みとり、2000年10月の鳥取県西部地震の余震では数千個の地震が読みとられ地震分布の全体像が明確に浮かび上がった。最近の新潟県中越地震でも

同様である。

上記の鳥取県西部地震(気象庁マグニチュード7.3)は2000年10月6日に発生した。当センターでは、ここで十年來起こる中規模地震を常時観測してきており、必要時に臨時的にも観測していた。今回は防災科学技術センターや気象庁の観測網も充実してきており、データ収集が進んだ。又、兵庫県北部のマグニチュード5.6の地震でも臨時観測データの集中を行った。2004年10月23日の新潟県中部地震も当センターからの臨時観測データ等が集められ、詳しい研究が進められている。

リアルタイムで処理される広域の地震波形情報、および長期間にわたり蓄積された地震波形データベースを用いた解析により、従来見いだされていなかった新しい地震活動特性が見つかることがある。これは、総合処理解析により目指すところであり、そのような研究の例として、通常の地殻内地震より深部(深さ30-35km付近)に発生する低周波数の地震活動が見いだされた。現在、その発生メカニズムの解明が進められている。

その他、山崎断層の重力探査で断層周辺のブーゲー異常が示された。また、北陸観測所周辺の構造と震源再決定がある。北陸観測所トンネルでは伸縮計のセットが進められている。

- (1) リアルタイム地殻活動解析研究領域
- (2) 助教授 片尾 浩, 助手 中村佳重郎
- (3) 研究対象と研究概要:

①領域の研究対象

定常観測網で必要と認められた地域や、大地震発生地などに機動的に出動し、効率的かつ多目的の臨時観測を行う。

②現在の主な研究テーマ

- (1)鳥取県西部地震緊急余震観測 (片尾 浩)  
2000年の鳥取県西部地震は定常観測網の希

薄な地域で発生した。そのため精密な余震分布を求めるためには余震域軸上に臨時観測点を設けることが急務となった。本震翌日の 10 月 7 日に現地入りし 5 点の観測点を設けて緊急余震観測を実施した。主たる余震活動が地殻の浅い部分に集中していることなど、定常観測網だけでは観測できない余震活動の特徴を示した。

#### (2)鳥取県西部地震合同稠密余震観測(片尾 浩)

鳥取県西部地震の 1 週間後から、全国の大学の共同で稠密余震観測を行った。オフラインながらも 57 点の臨時観測点を展開し、精密な余震分布およびその発震機構を求め、トモグラフィによる地殻構造の解析を行った。

#### (3)兵庫県北部群発地震臨時観測 (片尾 浩)

鳥取県西部地震の 3 ヶ月後の 2001 年 1 月に兵庫県北部で M5.4 の地震が発生し、それに続いて群発的に多くの M4 級の地震が複雑な分布を示しながら発生した。震源域はどの機関の定常観測点からも 20 km 以上離れており、精密な震源決定が困難な場所であった。1 月末に積雪をついて、震源域直上にあたる温泉町霧滝地区に衛星テレメータを設置し、地震予知研究センターの微小地震観測網 SATARN にデータ送信を開始した。その結果同活動の精密な震源分布とくに深さ精度の向上に成功した。

#### (4)西南日本大学合同地震観測 (片尾 浩)

2002 年春より、鳥取県西部から香川県にかけて中国山地を横断する形で、また同時に鳥取県中部から島根県中部にいたる山陰海岸沿いに臨時のテレメータ観測点 40 点を設置し実施している。これは、全国の地震関係の大学が合同で行っているもので、地震予知研究センターはそのリーダーシップをとっている。これまでの大学合同観測と異なり、国の基盤観測網が整備済みの地域での初めての観測となる。そのため従来のようなただ単に密度の高い観測網を構築することではなく、測線状の配置をとることで構造探査的な要素を盛り込んである。また、中国

地方の地震活動が他地域に比べ低調であることも本観測の特徴と言えるが、ソースとなる自然地震の発生が最も期待できる鳥取県西部地震の余震域を 2 つの測線の交点としている。本観測は約 2 年間の予定で継続中で、主なデータ解析も地震予知研究センターが担当する予定である。主な研究テーマとしては、非震性のフィリピン海プレートの形状や、深部構造や反射面・散乱帯、対照的な地震活動を呈する各地域の地殻構造の比較などが挙げられる。

#### (5)重力測定 (中村佳重郎)

1)重力の経年変化を検出するために、御前崎、紀伊半島、四国東部において精密重力測定を定期的実施している。御前崎周辺では着実に重力は増加している。一方、紀伊半島や四国東部では顕著な重力増加は見られない。

2)断層構造や重力基盤構造を精密決定するために、近畿地方で精密重力探査を実施している。最近では、トンネルを利用して近畿地方の基盤密度を推定するのに重要な役割を果たすと考えられる生駒山の密度を精密に推定することができた。また、近畿地方では絶対に無視できない有馬高槻構造線周辺での精密重力探査を実施している。

#### 6)その他

鳥取県西部地震直後には GPS 臨時観測網を展開し、余効変動の観測に成功した。また、定期的に高密度のキャンペーン観測を、中央構造線、花折断層周辺、紀伊半島などで実施している。

その他、紀伊半島、四国地方などで温泉水・地下水の観測を行っている。

#### (1)上宝観測所

(2)研究スタッフ:伊藤潔(宇治勤務) 和田博夫  
和田安男, 協力教官:大見士朗, 重富國宏

上宝観測所には助教授 1 名(宇治勤務)および

技官 2 名と協力教官が配置され、他に数名の協力教官および技術室からの技術員の協力で運営されている。

**(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、(1)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、(2)地震観測による地震活動調査および(3)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。陸域フロンティア計画の跡津川断層の観測、地震予知事業計画における歪み集中帯における地震、GPS および電気比抵抗の全国的な共同観測では、観測の基地としての役割を果たしている。また、焼岳の観測では、神通砂防事務所の観測点を統合観測している。さらに、また、奥飛騨サイエンスツアのコースになるなどアウトリーチも観測所を利用して実施している。しかし、技術員の定年が近づいているので、運営形態の検討が必要で、センター全体として検討されている。

(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、1960(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、立山および須坂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、クリープ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 地の時間変化、b 値の統計的解析などの研究も実施されている。さらに、広帯域地震計および強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)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。

### (1) 地球物性研究領域

(2) 客員教授：伊藤久男(産業技術総合研究所)

### (3) 研究対象と研究概要

地球内部物性、特に地震によってできた断層面の物性に関する研究を進めている。1999年に台湾で発生した集集地震(Mw7.6)では車籠埔断層が8m変位した。この断層の断層面物質を調べるため、断層を貫通する2本のボーリングを行い、深さ1100mの地点で断層帯の物質コアを採取した。断層面物質の物性を調べている。

また、生成されたばかりの断層面の温度分布を調べるため、ボアホールに沿って温度計測を行った。この温度測定は、地震時の摩擦によって発生する熱がつくりだす温度異常を発見することを意図している。この断層の摩擦熱は、自然の大地震においてこれまでに測定されたことはなく、地震にともなうエネルギーに関する新たな地震学的知見をもたらすものと期待されている。

### (1) 北陸観測所

(2) 助教授 竹内文朗, 西上欽也, 技官 平野憲雄,  
研究協力 岡本拓夫(福井工業高等専門学校)

### (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、および地殻構造の特性を主な研究対象とし、研究テーマとして (1)長期間(30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)坑道内における地殻活動特性の計測などを行っている。各研究テーマの概要は以下のとおりである。

(1) 長期間(30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(竹内, 西上, 岡本, 平野)

1976年以降のテレメータ観測データにもとづき、約30年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、および本所(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の特性等も調べている。

### (2) 福井地震断層の深部構造と地震発生過程(西上, 竹内)

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。今後、臨時観測点の追加、地震計アレイ観測等により、さらに詳細な調査を進める。

### (3) 坑道内における地殻活動特性の計測(竹内, 岡本, 西上, 平野)

観測所に隣接する観測坑道は、総延長460m(格子状)の立派なものであり、広帯域(STS)地震計、三次元相対変位計、地電位計、ラドン測定器、等による連続観測が行われ、北陸地域の地殻・上部マントル構造の推定、地殻活動特性の調査等に幅広く利用されている。特に、坑道内の断層破碎帯の挙動を探るために、新たに開発した三次元相対変位計を設置する等、新しい観測機器の開発、学外研究者との共同研究が行われている。



(1)阿武山観測所

(2)教授：梅田康弘

助教授：片尾浩，飯尾能久

助手：中村佳重郎

技術職員：浅田照行

協力教員：伊藤 潔〔教授〕

(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．

1995年兵庫県南部地震以降活発だった丹波山地の微小地震活動が2003年初め頃から静穏化に転じた．時期を同じくして地殻変動にも変化が見られた．このような変化は近くの他の観測所でも見られ，近畿北部全体の地殻活動の変化としてとらえられている．

・地殻変動連続観測(中村佳重郎・浅田照行)

阿武山観測所で観測している水平ひずみの3成分すべてのひずみ速度が2003年初め頃から変化し，最近まで続いている．このように，同時に全成分のひずみ変化速度に変化が認められる変動は，1972年の観測開始以来，これ以外に1980年と1994年の2回出現している．なお，1994年の変化の時期は宇治市にある天ヶ瀬観測所におけるひずみ傾向の変化の時期と機を一にしている．

・地震活動の活発化と静穏化(片尾 浩)

丹波山地は，その活動が非常に定常的であることが特徴である．例えば積算発生数グラフは通常右上がりのほぼ一直線を描く．唯一の大きな活動変化としては1995年兵庫県南部地震を契機として丹波山地の活動は，それ以前の数倍活発化した．その後も高い活動レベルを長期にわたって維持しており，一般に見られる余震活

動や誘発活動とは大きく異なる様相を見せている．1995年以降の高い活動も，短期的には安定したレートを保っていたが，2003年初頭にその活動レートが突然低下し現在に至っている．同様の活動低下は，丹波山地東部から琵琶湖西岸地域にかけて顕著であり，近畿地方の他の地域(例えば，和歌山市域，山崎断層周辺)では見られない．同様の丹波山地の活動低下は，1995年兵庫県南部地震の前2年間にも見られた．今のところ今回の活動変化が，新たな内陸大地震の前兆なのか，単に活発化した活動の終息していく一過程を見ているのか不明であるが，注意深く活動推移を見守っている．

・中規模地震に先行する地震活動の静穏化(片尾浩)

丹波山地では，M4～5クラスの中規模地震が年に数回発生する．その中の幾つかは，本震の発生に先行して，周辺の微小地震活動が静穏化する例が見られる．例えば1999年2月の亀岡市付近で発生したM4.0の地震の前約3ヶ月前から，周辺20km四方程度の範囲で微小地震活動が低下していたことがわかった．この活動低下は，通常の丹波山地の微小地震活動が極めて定常的であることから，非常に顕著なものである．活動レートは一旦低下した後は，本震発生までの間一定の低いレベルを保ち，積算発生数グラフの上では明瞭な折れ曲がりとしてあらわれる．ほぼ同様の現象が，1987年の亀岡付近のM5.0の地震の前約9ヶ月間にも見られた．

・近畿北部のデタッチメント(飯尾能久)

兵庫県南部地震の断層および有馬高槻断層帯の近傍では，兵庫県南部地震の前約100年間において，周辺と異なり南北方向の伸張歪が卓越していたことが知られている．微小地震データから，この地域の下部地殻内に水平な断層(デタッチメント)が存在することが推定された．デタッチメントでゆっくりすべりにより，南北方向の伸張歪が生じ，兵庫県南部地震がトリガーさ

れた可能性が指摘された。

・近畿北部にもプレートが(梅田康弘・伊藤 潔)  
大都市圏大震災軽減化特別プロジェクトの一環として実施された近畿圏大深度弾性波探査では、近畿北部の深さ 60km 付近にフィリピン海プレートの一部分が沈み込んでいる様子が伺われた。このプレートと丹波山地の地震活動との関連に関する研究を進めた。

#### (1) 逢坂山観測所

(2) 教授：梅田康弘

助手：重富國宏

協力教官：尾上謙介・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。

これら定常観測に加え、新たな観測機器の開発とテスト観測を行った。また観測所の近傍とおおの花折断層帯の歪み変化を検出するため、野外における GPS 観測を実施した。

a) 地震発生に関連した地下水位の変化に関する研究(重富國宏)

地震時に生じる坑道内の急激な地下水変化は地震の大きさ(M)と震源距離とに関係していることを統計的に調べている。急激な地下水変化は地殻で発生する中規模時に先立っても起こっている。又地下水変化のM2 分潮の位相も地震に先立って変化していることがわかってきた。

さらに 2003 年から始まった丹波山地の地震活動の静穏化の場合も、それに先立つ約 100 日前から地下水変化が見られた。これらは地震の前に地下水系の間隙水圧が変化していることを示すものと考え研究を進めている。

b) 小型ひずみ計の開発(尾上謙介)

多点の地殻変動連続観測が可能となる短スパン

の簡易小型ひずみ計を開発した。逢坂山観測所に設置して、既設のひずみ計と比較観測を実施している。

c) 新しいひずみ計の設置(森井 互・重富國宏)  
地殻変動連続観測のためのひずみ計を 2004 年に新しい行動において設置した。

#### (1) 鳥取観測所

(2) 教授 大志万直人,

助教授 澁谷拓郎・ 渡辺邦彦,

助手 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、現在の主なテーマは

1) 陰地方の地震活動に関する総合調査

2) 山崎断層の挙動の観測・解析

3) 山陰地域の地殻深部比抵抗構造の解明

である。各研究テーマの研究概要をいかに示す

(1) 山陰地方の地震活動に関する総合調査

(澁谷拓郎ほか)

平成 12 年鳥取県西部地震の緊急余震観測、全国共同稠密合同観測、断層構造調査等の調査研究に基づき、地震活動・地殻構造の観測解析を実施している。

本震に 10 年余り先行して継続していた M5 級地震活動の震源域は、本震の破壊領域と重複しない傾向にあった。本震の震源域の下約 30 km には低周波地震が発生していた。これらは内陸地震の発生機構の解明に重要な示唆を与える。

地球電磁氣的調査結果との総合も進められている。平成 13 年 1 月 12 日の兵庫県北部の地震(M5.4)では、衛星方式による臨時観測を実施し、震源精度の向上をはかった。平成 14 年 9 月 16 日の鳥取県中部の地震(M5.3)の活動解析を行った。山陰の地震活動は、海岸に直交する個々の活動が海岸に平行に並ぶ傾向が確からしくなった。

## (2)山崎断層の挙動の観測・解析(渡辺邦彦ほか)

安富坑道内で、伸縮・傾斜の観測を継続実施している。平成12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。平成16年度からは加西市に地震観測点を設置して、山崎断層の詳細な活動の解析も試みている。山崎断層の周辺や山陰地方では、直前現象の観測と解析を目指して、地下水の観測も開始実施している。

## (3)山陰地域の地殻深部比抵抗構造の解明

(大志万直人ほか)

地殻の比抵抗構造は、地殻内流体(水)の分布を把握するために重要な情報をもたらす。平成12年度以来現在まで、鳥取県西部地震震源域周辺、兵庫県北部、大山周辺域、山陰～瀬戸内測線等での比抵抗構造調査のための広帯域MT観測を継続実施している。その結果、地震発生領域がある地殻の下部には低比抵抗領域が存在し、そうでない場合には低比抵抗領域が存在していないことがわかった。そして、大山など火山では地殻浅部に低比抵抗領域が存在していることも判明した。地震活動と総合して、フィリピン海プレートの先端位置の解明にも努めている。

### 参考文献

Shibutani, T. et al.: Swarm-like seismic activity in 1989, 1990 and 1997 preceding the 2000

Western Tottori Earthquake, Earth Planets Space, 54, pp. 831-845, 2002.

大志万直人:西日本の電気伝導度構造, 月刊地球, 号外, No.38, 82-90, 2002.

渡辺邦彦:地殻ブロック境界としての大規模活断層— 地震活動に見られる断層相互の関連—, 月刊地球, 号外, No.46, 204-210, 2004.

## (1)徳島観測所

(2)助教授 松村一男, 助手 許斐 直

## (3)研究対象

四国東部の地震活動とテクトニクス

現在の主な研究テーマ

### (1)四国東部および周辺地域の地震の発震機構

松村一男, 許斐 直, 近藤和男(技術室), 川上 徹人(大阪管区气象台:共同研究)

目的: 南海道地震に至る過程での起震応力の空間的, 時間的な変化過程を追跡し, 次期南海道地震の発生のメカニズムに迫り発生予測につなげる。地殻内の地震はほぼ東西の圧縮力で発生しているが, それはGPSなど測地学的観測結果による地表変動の方向とは一致していない。それらの関係を明らかにする為には平面的でなく深さ方向についても詳細な起震応力の分布を求めなければならない。

方法: 高感度地震観測点データに加え震度情報にしか利用されていない地震計データのP波初動を集めて解の精密化を図る。引き続きデータの収集に努めている。

### (2)構造線に於ける大地震発生の可能性

松村一男, 許斐直, 近藤和男(技術室)

目的: 地震調査委員会は2003年の初めに中央構造線断層帯の「活断層評価」を発表したが, そこでは四国に於いて16世紀に三つの区間の断層がほぼ同時に活動して, M7.3から8もしくはそれ以上の, 内陸ではこれまで濃尾地震以外には知られていなかったような巨大な地震の発生があったとした。これは文献資料に基づく歴史地震学や従来の地震活動論からは想像も出来ないような現象であって, 中央構造線に関する地震学的研究の必要性を強く促すものである。この観点から手始めとして構造線に沿った微小地震の分布を詳細に求める事とした。

方法: 近畿・四国で広範囲に精度良く求められている気象庁による統合震源データを用いる。

成果: 従来から徳島観測網周辺の分布で非活

動的であることが知られていたが、近畿から四国の広い範囲で構造線が歪みを蓄積する場所となっているとは考えられないようである。(防災研究所年報第 47 号 B)

地質学的には第 4 紀の活動像には評価が分かれているので、さらに詳しい研究を進める必要がある。

### (1) 屯鶴峯観測所

(2) 教授：梅田康弘

助手：尾上謙介・

協力教官：重富國宏・大谷文夫・森井 互

技術職員：藤田安良

### (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、新たな歪み計の開発を行った。また中央構造線の変動を検出するための光波測量や南海地震の予知に向けた地下水調査など野外調査も行っている。

・地殻変動(尾上謙介・大谷文夫・森井 互)

屯鶴峯観測所は地殻変動観測総合観測線の一翼を担っている。2003 年に始まると考えられる近畿地方北部における地殻活動異常が当観測所においても確認された。長期変動には紀伊半島の潮位変動との相関が見られ、プレート運動との関連が示唆された。中央構造線周辺では 0.1  $\mu$  ストレイン/年程度のひずみ蓄積が見られる。

・地下水観測(尾上謙介・梅田康弘)

屯鶴峯観測所で観測される地下水位と地殻変動とは密接に関連しており、地下水位の動向と地殻変動の関連が明らかになりつつある。

・印南町における井戸の水位観測 (尾上謙介・重富國宏・藤田安良)

最大 3 年間の井戸水位観測から地下水位と海

水位変化は密接に関連していることが判明し、プレスリップによる地下水位の増幅を説明する梅田モデルが検証された。

・地震の前に減少した井戸水の聞き取り調査及び古文書調査(尾上謙介・重富國宏・梅田康弘)

紀伊半島や四国徳島県において数々の昭和南海地震前の井戸水位減少の証言が得られた。また安政南海地震の前の井水涸れについても、和歌山県広川町と湯浅町に残る古文書から確証を得た。これらは南海地震の前に井水涸れが起こることの再現性を立証したことになり、次の南海地震の予知に向けて重要な手がかりを得た。

### (1) 宮崎観測所

(2) 教授：大志万直人，助手：寺石眞弘，技官：園田保美

### (3) 研究対象と研究概要

①研究対象：九州東・南部地域の地震予知の研究

②研究概要：観測所の IT 環境に関しては、専用回線を利用していたものを、平成 16 年度より ADSL を用い KUINS-III との接続を図り高速化と経費の軽減を図った。また、平成 16 年度に「観測所外壁塗装・防水工事」を実施した。

・日向灘地殻活動総合観測線による地殻変動連続観測 (寺石眞弘，大谷文夫，園田保美，大志万直人)

1984 年度から宮崎観測所を中心に宿毛，槇峰，高城，串間，伊佐，大隅の 7 点よりなる日向灘地殻活動総合観測線を順次配置して、長期間の地域の歪蓄積過程を明らかにし、地震発生に関係する異常変動検出の background ともなる経年変動や季節変動について明らかにするため、日向灘を中心に九州東・南部地域の地震活動と地殻変動の総合的観測研究を実施した。また、大地震の震源破壊過程と歪変動の関係を観測線

各点に設置した強震計を用いて研究を行っている。近年テレメータ装置の老朽化が進んだため、ISDN デジタル公衆回線網を利用したインテリジェントロガー群による間歇的データ転送方式への転換を開始した。また、宮崎観測所および宿毛観測点での地震観測では、衛星テレメータにより準基盤観測点としてデータの全国配信を開始した。また、これまで地殻変動データとの相関を見るため独自で設置していた地震観測網を見直して整理し、基盤観測網である Hi-NET データの活用した観測体制への移行を開始した。

九州南部の地震活動は日向灘に集中していたが、1997年の鹿児島県北部地域の M6.3 の地震以後この地域の活動が現在も続いている。日向灘地域の地震は北部・中部・南部にブロック分けされ、それぞれの地域で塊となって分布している。1996年の2つの M6.9, M6.7 の地震の後、余震活動自体は急速に減少し、活動域周辺及び日向灘全域の活動は地震発生前の 1.5 倍の発生率で活性化していたが、2003年頃から活動は低調になってきている。このような地震活動の推移と宮崎観測所の歪経年変動率の変化が調和的であることが明らかにされている。

・測地測量に基づく広域地殻変動の検出（大谷文夫，寺石眞弘，園田保美，大志万直人）

宮崎観測所周辺と延岡市周辺の最長 20 km の長距離光波測量基線網を設け、1981年以来定期的に改測を行い、連続観測データによる変動と調和的な広域変動を得ている。さらに、光波測量網と平行して宮崎観測所周辺に GPS 連続観測網を設置し、総合観測線による地殻変動連続観測と広域地殻変動との整合性の研究を開始した。

・観測計器の開発（園田保美，寺石眞弘，大谷文夫，大志万直人）

観測状況に応じセンサー部・電気変換部等、バージョンアップ的に修正を試み、より正確な

データ採取に努める一方、坑道内での高感度連続観測だけでなく、屋外での観測に実用的な感度を有する地殻変動観測計器(野外トレンチ観測用ハーフフィールド水管傾斜計)の開発を継続して実施した。開発された観測計器は、火山活動研究センターに協力して、インドネシア、グントール火山及び口永良部島の山頂部に設置され、地盤変形の連続観測に使用されている。

・広帯域 MT 観測の磁場参照点観測の実施（大志万直人，寺石眞弘，園田保美）

平成 15 年に島根県東部や熊本平野で実施された地殻比抵抗構造探査のための磁場参照点観測を、宮崎観測所近傍で実施し、データを提供した。

## 8.8 火山活動研究センター

### 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

火山活動研究センターは全国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いて、わが国で最も活動的な桜島および薩南諸島の火山を主な研究対象としている。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。

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。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（活火山の集中総合観測等）への積極的参加を推奨している。なお、当センターの研究活動及び運営方針については、年1～2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。

また、活火山の観測研究においては、活火山を抱える自治体・住民の協力が不可欠であることから、観測データや研究成果、及び活動評価結果を、必要に応じてまた要請に応じて提供することとしている。

#### (2) 現在の重点課題

- ① 火山爆発機構に関する研究
- ② 火山活動の中長期予測に関する研究
- ③ 島弧火山の噴火機構の比較研究

④ 火山体の構造に関する研究

⑤ 火山活動史に関する研究

⑥ 火山噴火予知計画に基づく全国共同研究（集中総合観測及び火山体構造探査：3. 3. 3参照）

⑦ 火山活動の評価手法の開発と火山防災情報に関する研究（3. 1 21世紀COEプログラム参照）

#### (3) 研究活動

南九州の火山では、地震やGPS等の火山活動を把握するための基本的観測を継続するとともに、火山の活動度に応じたテーマの実験観測を行ってきた。2000年12月以降噴火活動が活発化した諏訪之瀬島では、火口近傍での地震、火山ガス、映像、空気振動等の観測に基づく噴火機構に関する研究、連続的に噴煙活動を継続している薩摩硫黄島では熱水系の挙動に関する研究を実施している。また、噴火活動が低下し次の活動に向けて準備過程に入っている桜島では桜島および始良カルデラの地盤変動観測に重点を置いている。更に、最後の水蒸気爆発から25年経て2000年以降漸次火山活動が高まっている口永良部島では、浅部の噴火エネルギー蓄積場に関する観測研究に重点をおいている。

#### (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. 2. 6参照）。

火山活動の評価に関する資料等は、火山噴火予知連絡会および関係自治体に定期的に報告・配布している。また、桜島および南西諸島で異

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。

桜島のハザードマップ改訂、危機管理の方策及び火山防災情報の共有化等、火山防災に関する検討が、国土交通省、鹿児島県、関係自治体を中心に平成 15 年度に開始され、当センター教員も学識経験者、関係観測研究機関として積極的に係っている。

また、島弧火山の噴火機構に関する比較研究として、1993 年からインドネシア・火山及び地質災害軽減局との共同研究を継続している(4.

1. 6 及び 4. 2. 1 参照)

## 8.8.2 研究領域の研究内容

### I. 火山噴火予知研究領域

教授 石原和弘

助教授 井口正人

助手 味喜大介、山本圭吾、神田 径、為栗 健

非常勤講師 小屋口剛博(平成 13~15 年度)

篠原宏志(平成 16 年度)

21 世紀 COE 非常勤研究員

福島大輔(平成 14 年 12 月~平成 16 年 3 月)

森 健彦(平成 15 年 4 月~同年 12 月)

#### ① 研究対象

研究対象としている主な火山は、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メラピ山、スメル山等である。

#### ② 研究概要

##### (1) 火山爆発機構の研究

目的・方法 火山爆発の力学的発生機構の詳細を明らかにする目的で、噴火が頻発している諏訪之瀬島の火口近傍で広帯域地震計の多点観測、熱映像と DOAS による二酸化硫黄の放出率測定を実施した。

成果概要： 諏訪之瀬島の小爆発の広帯域地震計記録の解析から、爆発の 50-100 秒前から火口直下の 100m 以浅を力源とする地盤の隆起、爆発後には沈降が発生していることが明らかになった。桜島で観測された同様の現象に比べると、時間スケールは短く変動量もはるかに小さく、地盤変動の力源が浅いが、同様の現象がおきていることが確認された。また、二酸化硫黄放出率の連続測定から爆発直前数分には火山ガス放出が減少することが明らかになり、火道最上部への火山ガスの蓄積と放出が、爆発前後の地盤変動の原因と考えられる。なお、爆発地震の震源の深さは約 500m であり、地盤変動の力源の深さ約 100m より深い。この深さの違いの意味につ

いて、観測・理論の両面から検討中である。

## (2) 地盤変動による火山噴火の中長期予測の研究

目的・方法： 火山活動の評価・長期的予測を目的に、桜島および口永良部島において水準測量及び GPS の連続観測を実施している。

成果 1975 年以降沈降していた始良カルデラ周辺の地盤は噴火活動が低下した 1992-1993 年ごろを境に、カルデラ地下約 10km でのマグマ蓄積により隆起に転じている。水準測量及び 1994 年からの GPS の連続観測により、次の大規模活動に向けたマグマ蓄積段階に入ったこと、10 年間の平均的マグマ供給率は過去 1 世紀の年間 1 千万立方メートルと大差ないものの、年間 2 千万立方メートルから検出限界以下まで変動することがわかった。マグマ供給率の変化と桜島の火山活動開始の関係を理解する上での新たな知見である。

口永良部島火山では、2004 年 12 月以降の火山性地震の増減と同期した山頂火口を中心とした地盤の隆起・伸張（約 1cm/月）が観測されている。変動ベクトルから推定される圧力源は火口直下 300m 程度であり、火山性地震の震源域や地磁気変化から推定された熱消磁の領域とほぼ一致している。同火山での熱的および力学的エネルギーの蓄積は、現在のところ火口直下浅部であると推定される。

## (3) 口永良部島火山の地震波構造探査

目的・方法：地震活動、磁化異常、地磁気変化等地球物理学的観測から推定される浅部熱水系の構造を明らかにする目的で、全国共同研究として人工地震探査を行った。

成果概要：溶岩等に対応すると考えられる P 波速度 3.5km/s の地層は山腹では地表から深さ 0.5~1km であるのに対して、山頂火口付近では 0.5km 以浅であり、この層が山頂部で盛り上が

っている。また、基盤と考えられる 4km/s の層は、逆に山頂部では周囲に比べて約 0.5km 深いという結果が得られた。また、山頂部浅部を通過した地震記録は後続波が顕著に長くなるという特長を有する。このことから、山頂部の地下 0.5~1km の部分は破碎の進んだ溶岩からなると推定される。この部分は地磁気変化が進行中の領域とほぼ一致していて、口永良部島火山の蓄熱場と推定される。

## (4) 電磁気学的手法による火山体浅部の状態把握

目的・方法：火山体を構成する岩石には、高温の熱の供給によって過去に獲得した磁化が失われる性質（熱消磁）がある。この性質に着目して地磁気観測から火山体浅部の熱的状态およびその変化を推定する。また、火山体、特に火口周辺の地下の電気比抵抗構造は、マグマや流体、あるいは熱的状态、およびその変化に重要な手掛かりを与えてくれる。

成果概要：口永良部島では山頂における地磁気連続観測により、2001 年以降の地震、地熱活動の高まりに同期した地磁気変化が観測された。地磁気データの時系列解析から、火山活動に起因する地磁気変動成分を精度よく抽出する手法を開発し、口永良部島の観測データに適用した。火口を中心に熱消磁を示唆する変動パターンが得られ、いくつかの期間で消磁領域を推定した結果、高温の領域が地下浅部へ拡大していくというモデルが得られた。

阿蘇山及び口永良部島で活動火口周辺の比抵抗構造調査を行い、阿蘇火山中岳第一火口および口永良部島火山新岳火口の深さ数百 m でも蓄熱領域に対応するような浅部の低比抵抗体が見つかった。一方、1940 年代以降活動を休止している阿蘇中岳第四火口直下には低比抵抗体は見つからなかった。両火山の山頂部地下の低



比抵抗の領域と地磁気変化を惹起する領域がほぼ一致しているという興味深い結果を得た。

(5) 自然電位観測による浅部熱水系の評価  
目的・方法：火山現象と密接な関係があると考えられる地下熱水系の活動を明らかにし、火山活動と電位異常との関連性を調べる。そのために、いくつかの火山で電位異常域の変動を捉えるため、繰り返し観測や自然電位連続観測を行う。また、自然電位データの評価のために電位の測定を行う。

成果概要：活発な噴気活動が継続し、間欠的に火山灰を放出している薩摩硫黄島では、山麓から山頂までの自然電位測定を繰り返し行い、最近5年間で正電位異常を作るソースの位置、熱水系はほとんど変化していないことが明らかになった。雲仙普賢岳の観測例と比較すると、最近の火山活動では深部からの熱エネルギー供給及び火山体内部の熱水系には大きな変動はなかったことが示唆される。開聞岳では、理学研究科や産総研により電位が測定され、自然電位異常との間に良い相関関係が見られた。この結果、開聞岳の正異常が特に地下熱水系を仮定しなくても説明可能であることが明らかになった。自然電位の連続観測については開発段階であり、徐々に観測系を改良し良好なデータ取得ができるようになっている。

(5) 桜島および薩南諸島諸火山の活動史に関する研究

目的・方法：火山活動の中・長期的予測のためには、それぞれの火山の過去の活動史、噴火発生年代や噴火様式を明らかにすることが重要である。本センターでは、このような見地から、外部の研究者とも協力して、観測井ボーリングコアや地表の噴出物の、古地磁気測定や放射年代測定、化学組成分析などに基づく火山活動史の研究を進めている。

成果概要：桜島や口永良部島などで年代未詳の溶岩の一部についてその噴出年代を明らかにした。また、桜島火山では、2万5千年以降のマグマ化学組成の変遷の概要が明らかになりつつある。

## 8.9 水資源研究センター

### 8.9.1 センターの活動概要

本センターは、地球規模および都市・地域規模での水資源を取り巻く自然・社会現象とその変化を多角的にとらえ、ジオシステム・ソシオシステム・エコシステムの総体としての水資源の保全と開発のシステムを総合的に研究することを目的としている。

現在、地球規模での水文循環の予測技術の開発、過去から現在にわたる長期的な水文循環の変遷を明らかにし、地球規模における水・熱循環を学際的・総合的に研究する地球規模水文循環研究領域、都市化による流出形態の変化、水・熱収支を定量的に評価し、とくに都市域で逼迫している水資源の開発・保全・持続的利用を図る研究をする都市・地域水文循環研究領域、今後の都市域に求められる水環境質の保全・向上を計画目的に加えた水利用システムのマネジメントの方法について研究する地域水利用システム研究領域の3つの専任研究領域と外部の研究者を客員として迎え、一定期間集中的に行う水資源共同ネットワーク研究(客員)で構成される。さらに、専任・客員が共同して学内外の全国からの研究協力者の参加を得て、いくつかのプロジェクト研究を進めている。

なお、これらセンターの研究・教育活動はもとより、人事、予算計画など企画・運営にあたってはセンター専任教授・助教授、客員教授・助教授、所内の教授3名、所外から6名の教授(京都大学の関連の研究科、研究所の教授4名を含む)からなるセンター運営協議会を構成し、重要案件について協議するとともに、指導・評価や国内外の水資源関連の情報交換を行っている。

3つの専任研究領域の現在の重点課題は以下

のようである。地球規模水文循環研究領域では陸面過程モデルとして開発した SiBUC を大気モデルと結合し、全球スケールから地域・都市スケールに至る様々なスケールにおける大気・陸面間の水・熱フラックス相互作用を実態把握するとともに、この大気・水文結合モデルから全球土壌水分量の推定と農地灌漑必要量との関係、琵琶湖流域規模や首都圏域の降水メカニズムなどの解明を重点的に進めている。また、河川生態系における砂州や河畔植生の機能やダム等による流況変動や土砂移動の変化と生物群集の対応解明を通して河川生態系の保全・復元を含めた共生型河川環境管理のあり方を研究している。

都市・地域水文循環研究領域では、鴨川水系を対象として降雨流出過程のモデル化を行い、景観を保持した河道改修方策を検討したり、降雨時の流出汚濁負荷や、晴天時の河道区間内での横流入量と河床底泥からの巻き上げによる汚濁物質の供給量に関する解析を進めている。また、入力となる降雨に関しては、独自に開発した気象モデルとレーダー情報を用いた予測手法を開発するとともに、空間分布型降雨情報の流出計算における有効性や世界各地での異常降雨の出現特性の解明を進めている。一方では、地下ダム建設による地下水位の定量的な予測や揚水や塩水浸入による影響予測手法の開発、植生に適した水文条件の解明を行っている。また、洪水に関してはバングラディッシュ、地下水に関してはサウジアラビアといった、海外へのモデルの適用、開発も実施してきている。

地域水利用システム計画研究領域では、GISをベースにした分布型流出モデル

(Hydrological River Basin Environment Assessment Model)を開発して、流域内の水量、水質、生態系の動態シミュレーションを行っている。この成果は、地球規模での水動態を推定する世界水ダイナミックスやレーダ雨量計の情報を用いた確率論的氾濫制御にも展開している。また、シミュレーションと最適計画を連動したハイブリッド操作を行うことにより、流域内の水資源分布、水利用、環境を考慮した総合流域管理を提案している。さらに、パターン分類、ニューロ、ファジィなどの人工知能技術を導入し、効率的な長期水資源管理方法の検討を行っている。

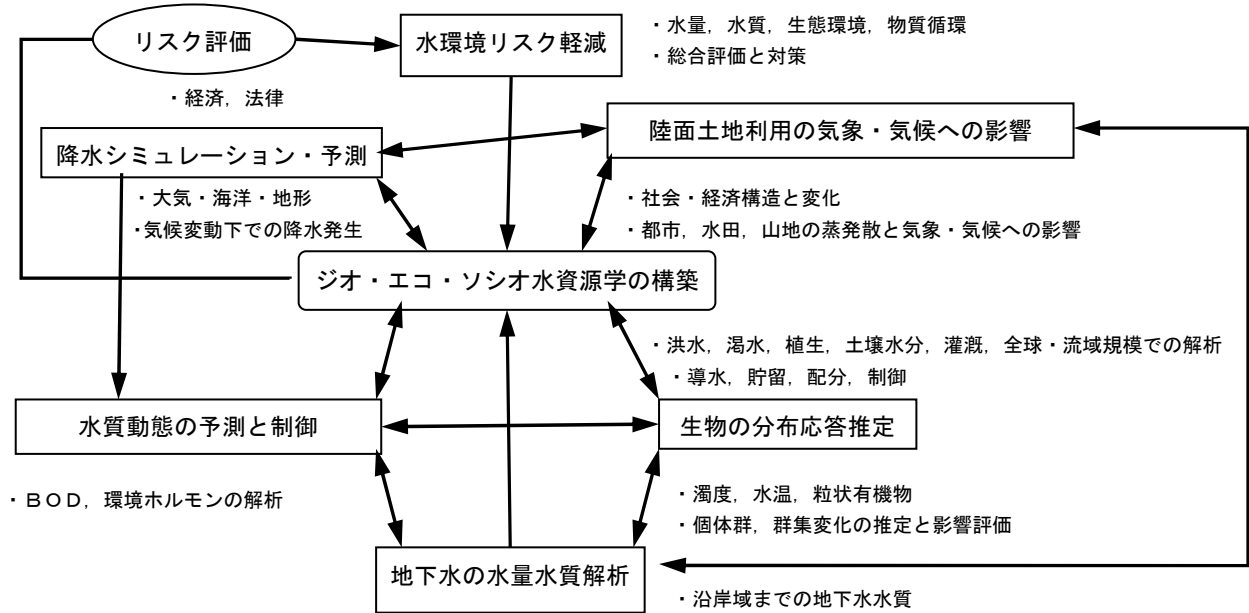
水資源共同ネットワーク研究(客員)にあつては平成14年～15年度は広域地下水動態とその水資源管理、水・物質循環変化にともなう地中水資源評価、大気・陸面間の水循環に関する数値モデリング、豪雨・豪雪の数値シミュレーションを、平成16年度は水資源のマクロ的評価のための空間経済モデルの開発、地球規模気候変化予測による水資源分布の特性把握を推進しており、また、プロジェクト研究として平成14年～15年度は流域生態系の保全と復元、気候変動を考慮した世界水資源ダイナミックスの作成、都市型盆地水系における水・物質循環の解明、琵琶湖プロジェクト、地中水動態とその水資源管理、降水モデルの開発—雲解像数値気象モデルを用いた豪雨のシミュレーション、平成16年度は Hydro BEAM の淀川流域への適用、乾燥地における広域表面流・地下浸透流解析と不飽和流のモデル簡便化、琵琶湖プロジェクトを進めてきた。なお、平成16年には以下の統一研究課題—総合流域環境評価プログラム—をかか

げセンタースタッフ全員参加の共同研究プロジェクトをスタートさせている。いわばセンターが掲げるジオ・エコ・ソシオ水資源学の構築をめざすものである。

この他国際活動にあつてもセンター教官は IAHR, IAHS, IWRA, APHW, AGOS などの国際会議に理事として参加したり、また多くの論文発表や意見交換を活発におこなっている。

これらの成果の内外への公表ならびにより広く多くの研究者と問題を議論するため防災研究所の一般研究集会に申請するとともにその内容とも連携して年1回の水資源セミナーを開催している。具体的には平成14年度は「地中水の動態解明手法と水資源評価」、15年度は「河川における水・物質・生物のダイナミズムと時・空間構造」、16年度は「持続可能な水資源開発と水環境保全のための物質循環の解明」と題するセミナーを開催している。水資源セミナー、プロジェクト研究の内容はセンター教官の研究活動・研究業績とあわせ、毎年「水資源研究センター研究報告」として発刊している。平成14年～16年版は第23～25号水資源研究センター研究報告して纏められている。

# 統一研究課題 ～総合流域環境評価プログラム～



## 8.9.2 研究領域の研究内容

### 1. 地球規模水文循環研究領域

教授 池淵周一, 助教授 竹門康弘

助手 田中賢治

#### (1) 貯水ダム下流の環境変化と底生動物群集の様式

ダム下流域では土砂供給が制限される結果、底質が粗粒化し固化する現象(アーマールコート化)や、底生動物の種多様性の減少する例が報告されている。本研究は、近畿圏における16のダム直下において、ダムによる生息環境と底生動物群集の特性を示し、さらに、生息環境の物理構造や水質環境を介した底生動物群集への影響過程と、餌資源環境を介した底生動物群集への影響過程を考察した。ダム下流の流程と同規模で上流にダムのない対照流程を比較した結果、河床攪乱と砂礫供給の減少とダム湖のプランクトン供給が付着層の発達を促すことによってヒラタカゲロウなどの滑行型のみならず、シマトビケラなどの造網型の生息環境をも消失させることがわかった。また、支川の流入に伴う生息環境と底生動物群集の流程変化を分析した結果、ダム直下から数百メートルの距離で底生動物の群集構造が劇的に変化していることがわかった。

(2) 流下粒状有機物の起源と動態に関する研究  
木津川高山ダム下流と宇治川天瀬ダム下流の三川合流までの流程にそれぞれ9地点と6地点の調査地を設け、流下粒状有機物(SPOM: Suspended Particulate Organic Matter)の流下動態を調査した。その結果、木津川ではダム直下では水生植物起源のPOMが多いものすぐに陸上起源のものが増え、さらに河原の発達する流程では水際植物や河原植物起源のPOMが増加することがわかった。いっぽう、宇治川では全川に渡り琵琶湖で生産されたと考えられる水生植物起源のPOMが卓越していた。さら

に、湖沼起源のプランクトンに着目しその減衰率からPOMの流下距離を推定したところ、木津川では3kmで50%減衰し、10kmで90%減衰するのに対し、宇治川では8-10kmで50%減衰し、26-33kmで90%減衰することがわかった。これらの結果は、木津川では流下有機物が早く入れ替わることを示している。

(3) 中国淮河流域の詳細な水・熱収支の算定  
陸面過程モデルSiBUCのオフライン計算により、GAME-HUBEX集中観測期間である1998年5月から8月の4ヶ月間について、中国淮河流域の水・熱収支を10kmメッシュで算定している。淮河流域の大部分が農耕地であること、またグローバルデータセットでは淮河流域の複雑な農地分布を表現できないこと、流域内で多量の灌漑用水が使用されていることなどの理由から、研究の中心課題は、正確な農地分布の作成、作物別の農事暦および灌漑ルール作成といったモデルパラメータの整備となる。衛星データ(NDVI, NDWI)の時系列解析、農業指導書、農業統計データ、水文データ(ダム放流量、河川流量、灌漑用水量、地下水位)、現地聞き込み調査を駆使して、より現実的な淮河流域の土地利用・水利用が解明された。さらに、メソスケール数値気象モデル(JSM-SiBUC)により、農地灌漑を考慮した形で、HUBEX領域の4次元データ同化を実施し、大気-陸面の各種状態量、フラックスのデータセットが30kmメッシュで作成された。これら詳細なデータセットは梅雨前線に伴う雲・降水システムの形成・発達・維持機構および梅雨前線そのものの振る舞いを解明するための基礎的なデータとなる。GAME-HUBEXとしての最終プロダクトを作成するとともに、HUBEX最終レポートを作成した。

(4) 短時間降雨予測における地表面加熱の重要

性

本研究では、夏季の対流性降雨の発生に対する地表面加熱や土壌水分状態の重要性を調べることを目的として、2001年8月14日と15日の事例に関して琵琶湖周辺の山岳域を対象に非静力数値気象モデル ARPS-SiBUC を用いて6つの数値実験が実行された。LSS 変化実験の結果から、陸面条件の詳細な取り扱い、特にサブグリッドスケールでの都市加熱の効果を取り込むことにより、局地循環の発達の再現が改善されることが示された。また、土地利用変化実験の結果は、バックグラウンドの大気場が十分湿っている場合、陸面からの蒸発よりも加熱の方が対流性降雨の発生に対してより重要になることが示唆された。土壌水分変化実験では湿潤気候帯における現実的な土壌水分変動の範囲における土壌水分の差が確かに夏季の対流性降雨の量に影響を与えることが示された。これらの結果は、特に陸面過程が軽視されがちな降水の短期予報においても、地表面の加熱や蒸発散を適切に表現できるモデルを導入する必要があることを意味している。

#### (5) CReSiBUC による練馬豪雨の再現

本研究では、1999年7月21日に発生した練馬豪雨を事例として取り上げ、都市が陸面過程として降水に及ぼす影響を、詳細な陸面過程を組み込んだ雲解像モデル CReSiBUC を用いて検討する。都市の存在が練馬豪雨発生に与える影響を明らかにするために、陸面の状態を変化させた4種類の条件を与えて感度実験を行った。現実の陸面状態では、降水量は現実(90 mm)に及ばないものの、降水域が局所的であることと、まとまった量の降水が都市部において生じていることから、練馬豪雨の特徴は概ね再現されているといえる。土地利用分布に対して行った感度実験では、都市の有無が降水域の形成位置に

影響を与えたことが示唆される。一方、人工排熱を与えた感度実験では、人工排熱を与えない場合に比べて降水域の水平規模が大きくなった。人工排熱を考慮したことによりヒートアイランドが強化され、これによって都市部における風の収束も大きくなり、水蒸気より大きな集中化を招き、降水域の水平規模の増大と降水量の増加を引き起こす要因となったと考えることができる。以上の結果から、短時間・局所的な強雨現象においては、都市をはじめとする陸面過程が降水域の形成位置や水平規模に影響を与えていることが示唆される。

#### (6) 琵琶湖プロジェクト

1992年以來琵琶湖北東部の高時川流域で進められてきた水文・気象合同観測プロジェクトである「琵琶湖プロジェクト」がこれまであまり対象にしてこなかった冬季の水文過程に取りかかる上で、琵琶湖淀川水系の源流域に位置する余呉高原スキー場を観測サイトとして選定し、「暖候帯の多雪地帯」における積雪・融雪過程の実態把握とその知見を活かした陸面過程モデルの改良を目的として、積雪深や関連する微気象要素の連続測定を開始した。観測項目は積雪深、気温・湿度、風向・風速、日射量、土壌水分量プロファイル、積雪温度プロファイル、地中温度プロファイルである。なお、2002年度と2003年度に実施した乱流フラックス集中観測(CAPS2002, CAPS2003)については、一般共同研究(14G-03)の報告を参照。

#### (7) 全球陸面エネルギー水収支データセットの作成

GSWP-2 (2nd Global Soil Wetness Project)はGEWEX (Global Energy and Water Cycle Experiment), GLASS (Global Land Atmosphere System Study)のもと実施されているモデル間相互比較プロジェクトの1つであ

る。世界中からおおよそ 20 もの陸面過程モデルが参加し、1986 年から 1995 年の 10 年分について、水収支各項、エネルギー収支各項、各種状態量等のデータセットが全球 1 度グリッド日単位で作成される。GSWP-2 のデータセットを用いて、陸面過程モデル SiBUC を初めて全球規模で適用した。SiBUC で相互比較実験に参加するのみでなく、気象強制力やパラメータデータの精度検証やデータ改良等に積極的に貢献している。GSWP-2 のベースライン実験や感度実験(共通の計算)を実施するとともに、SiBUC 独自の試みとして、NDVI の時系列解析から全球作物分類図並びに全球農事暦データセットを作成し、全球規模で灌漑を考慮に入れたモデル計算を実施し、灌漑の影響を評価した。これらのデータセットは、気候値ではなく、年々変動を反映した陸面境界条件を提供することになるので、気候変動および年々変動、異常気象のメカニズムおよびそれらに陸面が果たす役割を解明するための基礎的なデータとなる。

#### (8) 深泥池における植生分布の変遷過程とその水文循環への関わり

京都市北部に位置する深泥池は 2 万年以上前に形成されたと考えられている。動植物の種が非常に多様であり、冷温帯と亜熱帯の残存種が周囲わずか 1km ほどの小さな池の中に共存している。ミズゴケの堆積により形成されてきた浮島が池の中央部に存在するという特殊な構造を持つため、深泥池の水・熱収支特性は他の植生や水面とは異なるかもしれない。深泥池およびその集水域の水・熱収支を定量的に明らかにするために、2005 年 1 月より微気象要素並びに関連水文要素の計測システムが立ち上げられた。下向き放射、風速、降水といった基本気象要素が共通要素として計測される。さらに、上向き放射、ボーエン比、水温プロファイルが各地表

面で計測される。観測ターゲットはミズゴケ(シュレンケ)、ブッシュ(ビュルテ)、ミツガシワ、開水面、落葉森林の 5 つである。観測開始から 3 ヶ月分のデータを解析した結果、観測対象の 5 地点の熱収支特性は大きく異なり、池全体の蒸発散の見積もりが容易ではないこと、中央の浮島が断熱材のような働きをしており、熱収支の季節変化を大きく緩和していることなどが示唆されている。今後も観測を継続し、少なくとも数年間のデータセットを取得することが重要であり、このデータは深泥池の水・熱環境を議論する上で非常に貴重なものになるであろう。

航空写真と GPS を用いた現地調査とを併用して、深泥池の浮き島や水生植物群落の時代変遷を分析した。まず、植生をジュンサイ、ミツガシワ、シュレンケ、ヴィルテ+樹冠、マコモ+ヨシ+セイタカヨシの 6 類型に分類し、航空写真からそれぞれの面積を測定した。過去の航空写真データについても同様の測定をすることによって、深泥池における植生の変遷過程を調べたところ、池全体の 50%を占めていた開水面(浮葉植物のジュンサイ域を含む)が、60 年間で 20%に減少し、その分ヨシとマコモの面積が増大していた。

## II. 都市・地域水文循環研究領域

教授 岡 太郎(H16 年 3 月まで)

教授 中北英一(H16 年 10 月から)

助教授 城戸由能, 助手 浜口俊雄

都市・地域水文循環研究領域では、都市化による流出機構の変化、水環境とそれに重大な影響を及ぼす水・熱収支を定量的に評価し、特に都市域で逼迫している水資源の開発・保全・持続的利用を図ることを主目的として、さらに流域場と大気場との相互作用を考慮した、以下の

ような研究を行っている。

### (1) 都市化に伴う雨水・汚濁物質流出機構の解明と水環境保全

近年、自然丘陵地の開発に伴い流出形態が変化し、いわゆる都市水害が頻発している。この問題に対処するため、自然山林流域や都市河川等に水文観測施設を整備し、調査研究を実施してきた。特に京都市のような盆地水系では、河川や地下水を通じた水・物質の循環とともに、上下水道などの人工的な水・物質の循環構造を解明する必要がある。そこで、まず鴨川水系を対象として降雨流出過程のモデル化を行い過去の浸水状況を再現するとともに都市化の進展による流出特性の変化を明らかにし、河川沿いの景観を大きく変化させることなく100年確率規模の洪水流を流下させるための河道改修方策を検討した。

一方、都市化の進展は地表面の不浸透化とともに人間・社会活動が集積し、さまざまな汚濁負荷を発生させ、降雨に伴い流出し、現在の都市河川の主要な汚染源となりつつある。市街地・自然地を含む湖沼流域における流出観測に基づき作成した雨水・汚濁物質流出モデルを用いて年間汚濁負荷流出量を算定した結果、従来の調査研究に基づく土地利用別面積あたり負荷量を超える汚濁負荷が湖沼に流入し、湖沼水質の悪化の原因となっていることを示した。さらに、住宅地等の開発に伴う調整池を利用し、公開されている降雨予測情報に基づき浸水が予測された場合には緊急排水制御を実施して強降雨時の浸水防止効果を保持しながら、小降雨時には流出汚濁負荷をほぼ100%貯留・処理できることを明らかとしている。さらに、都市河川における定期的な水質・底質観測と雨天時流出観測を実施し、河床底泥の底質濃度を組み込んだ河川水質モデルを用いた晴天時の水質解析を実

施し、対象河道区間内での横流入量と河床底泥からの巻き上げによる汚濁物質の供給量を算定した結果、巻き上げによる汚濁物質の供給量は横流入量の1/2程度であり、河床底泥が汚濁物質の吸収源と供給源としての役割を担っていることが明らかとした。また、合流式と分流式が混在する都市域から雨天時に流出する汚濁物質による河川水質への影響予測を行い、合流式下水道越流水や路面排水を一次的に貯留するなどの対策の効果を評価した。

### (2) 地下水の利用と保全

地上ダムによる水資源の確保が難しい乾燥地域や離島では、地下ダムによる水資源開発が進められている。しかし、地下ダム建設による地下水位の定量的な予測や揚水や塩水浸入による影響予測は十分行われてはいない。このため地盤統計学と情報統計学に基づき、限られた地下水観測データから地下水流況の最適同定をおこなう手法の検討を進めるとともに、南西諸島宮古島にある地下ダムおよびその集水域を対象とした三次元地下水流動モデルおよび移流拡散モデルを用いて、地下水の涵養過程や揚水による地下水流況解析を行い、効率的な塩水排除を考慮した地下ダム建設方法の検討を行った。さらに、ダムサイト周辺の小領域のみに三次元地下水流動モデルを適用し、上流部の二次元地下水流動モデルと連結し、より簡便に地下水流動を解析できる複合モデルを構築した。

### (3) バングラデシュの洪水発生機構の解明と住民生活に配慮した洪水対策

バングラデシュの多くの地域では毎年洪水が発生し、社会・経済活動に大きな影響を及ぼしている。一方で、通常年規模の洪水は水資源、交通・運搬手段、漁業生産、環境浄化などの機能を有しており、これらの機能を無視した単純な洪水防止対策を立案することは好ましくない。



このため、洪水災害の緩和の為に基本的に必要となる洪水災害発生機構の解明とともに、洪水と人間生活との関係について調査・研究を行った。その結果、衛星データから予測したバングラデシュ北東部周辺の降雨とメグナ川上流部を対象とした流出モデルを構築し、メガラヤ山岳流域・トリプラ丘陵流域からの雨水流出量の推算を行った。また、バングラデシュ北東部で最大規模の氾濫湖の拡大・縮小過程を現地調査から明らかにするとともに、差分モデルを適用した2次元氾濫解析を行い、1987年・1988年の氾濫過程を再現した。これらの研究成果に基づき、輪中堤・浚渫・埋立・低平地ダムなどの洪水・水資源対策の効果を検討した。また、ハオール周辺住民の聞き取り調査およびハオールおよび流出入河川の水質調査を実施し、地域住民が望む氾濫湖の水質環境と洪水対策の在り方について検討し、特に小規模な溜め池に依存している生活用水の改善が緊急に必要であることを明らかとした。

#### (4) 植物の成長を考慮した水文素過程の解明

植物の成長により変化する水文素過程を解明するために、ウェイングライシメーターにトウモロコシを植栽して水・物質収支の観測を行い、植物の成長と蒸発散量および栄養塩類吸収量との関係を定量的に明らかにし、植物の成長を考慮した蒸発散栄養塩吸収モデルを作成し、土壌中の水・物質移動解析に応用した。その結果、トウモロコシ植栽によって、蒸発散量は裸地の約2倍、表面流出量は約1/3となり、植生による水収支への影響が大きいことを明らかとした。また、トウモロコシ生産のためには、穀果乾燥重量の約600~3,500倍の水が蒸発散により消費され、約130gの窒素および約30gのリンが吸収されることを明かした。この結果から、トウモロコシを輸入することで、生産国の水資

源や物質を間接的に消費していることを示した。

#### (5) 豪雨の予測と発生特性の解明

降雨の概念モデルを用いた物理的な短時間降雨予測モデルによるレーダーエコー、ドップラーレーダー情報の同化手法の開発を行いモデルと矛盾しないよりきめ細かな情報を予測できる手法を開発した。また、運動学的な降雨予測手法として、全国合成レーダー情報を用いた台風性降雨の短時間降雨予測手法を開発し、日本列島を北上しながら回転する台風性降雨域と北方に停滞する前線から移流する降雨の両方を同時に予測とした。さらには、レーダー及び気象数値予報情報を用いた福井豪雨の解析を行い、豪雨の発生域を決めたのは地形の影響ではないこと、しかし、一旦発生した雨域は上陸後地形の影響を受けて急激に発達して足羽川流域に豪雨がもたらされたことを示した。

一方では、流域地形量をベースとした模擬流域発生手法の開発と分布型降雨情報の有効性の解析、時間・空間スケールを考慮した異常降雨出現特性のグローバル解析を行った。グローバル解析においては、異常降雨の発生領域の90年代の増加はエルニーニョの影響を受けていること、全球平均降雨量は90年代が特に多いということはないことなどを明らかにした。

### III. 地域水利用システム計画研究領域

教授 小尻利治, 助教授 友杉邦雄

地球温暖化での流域水資源への影響評価が、中期計画の課題であるので、その達成にむけて以下の課題に取り組んである。

#### (1) 流域での水環境評価モデル開発

地球温暖化が流域の水環境にどのような影響を与えるかを把握するため、Hydrological River Basin Environment Assessment Model

と名付けた水量、水質、生態系のシミュレーションが可能な多層メッシュ型流出モデルの開発を行っている。特に、高水から低水までを連続的に対象とし、家庭・産業からの化学物質の発生・移流・濃縮などの諸過程、そうした化学物質の体内蓄積・食物連鎖・生存確立の評価、ならびに、都市内を含む流域全体を対象に大気から表流水・地下水までの、多次元でのモデル化を目指すものである。

#### (2) 現在と将来の変化を考慮した総合流域管理

流域の健全性を評価するため、水量、水質、生態系、河川景観、親水性などで評価するとともに、流域シミュレーションと遺伝的プログラムでの最適化を連動させて、総合的視点からなる流域計画を提案した。地球温暖化の特性を組み入れることにより、その影響の軽減策や防御策を考察できる。

#### (3) 地球規模での水資源ダイナミックス

水循環は地球規模で繋がっているのは明白であるが、国際河川、人口移動、貿易、などを通じて水資源分布の動態推定には地球規模でのモデル化や評価が必要である。現在は大陸規模ではあるが、世界を6地域に分け人口、農業、資本、工業資源、水質規制、水資源・水利用、の相互作用を定式化して水動態を推定した。その結果、2030年ごろから人口の減少が始まるが経済活動が戻ると人口の増加につながるようである。さらに、アジアでは人口増加や経済発展による深刻な水不足が予測され、節水型社会の設計、適切な人口計画が求められている。

#### (4) 実時間での適切なシステム管理

実際の水資源システムの運用に当たっては、異常入力の把握や信頼性の高い迅速な操作が求められる。異常現象の分類や知識獲得にはパターン認識や自己組織化法などの導入がかのうである。意思決定の迅速性をあげるにはニューラ

ルネットワークなどの人工知能の利用が考えられる。さらに、誤差の予測精度を上げるためにニューラルネットワーク、カオス理論を用いて短期から長期をカバーしうる意思決定システムを提案した。

## 8.10 巨大災害研究センター

### 8.10.1 センターの活動概要

#### ①研究対象と方針

地球の温暖化の進行による集中豪雨の激化や台風、ハリケーンの多発・強大化、さらに居住域に近いところでの地震多発などのハザードの変化があり、それに加えて、先進国での近年の急激な社会構造の複雑化・高度化や途上国での急激な都市化や海岸への人口移動は多様かつ巨大な自然災害の発生をもたらしてきた。そこでは、自然災害の性質ばかりでなく、人為的な要因によって被害が連鎖的に拡大して、社会に未曾有の衝撃を与える。従って、自然科学と社会科学を融合した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。

1996年度発足した巨大災害研究センターでは、これらの研究をさらに発展させ、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)、被害抑止システム (Urban Design and Planning) の領域の共同研究を推進してきたが、2005年度の改組で、被害抑止システムを社会災害部門に再編し、新たに災害リスクマネジメント (Disaster Risk Management) が加わった。これらの研究分野は複合的であって、専任の教授3名、助教授3名、助手1名は、本学の工学研究科、理学研究科、情報学研究科にそれぞれ所属しており、現在、修士・博士課程の大学院生の研究指導は、それぞれの研究科からの合計17名について実施している。なお、これ以外に国内客員教授、助教授各2名、外国人客員教授1名の定員の他、現在、非常勤講師2名、学内研究担当教官4名によって共同研究を実施してきている。当センターは

発足当時より所内共同研究センターに位置づけられており、毎年、防災研究所年報Aに『防災問題における資料解析研究』として、研究成果を要約したものを刊行しており、2004年度で32号を数えている。また、1982年度より自然災害科学データベース『SAIGAI』の構築と公開は、このセンターと全国5地区の資料センターとの共同作業の中核的な成果である。現在約7万件が登録され、科学研究費公開促進費によって毎年約6千件ずつの増加を図っている。

特に特筆すべきは1995年に発生した阪神・淡路大震災に関する調査研究であって、これに関する当センター専任教官による自然・社会科学分野の論文、報告が2005年9月までに800編以上発表され、招待講演は延べ数百回に達している。

さらに、過去2年間だけでも、2003年十勝沖地震災害、2004年新潟・福井集中豪雨災害と上陸台風10個による風水害、新潟県中越地震、2005年福岡県西方沖地震、宮城県沖地震災害などの災害調査を主体的に実施してきた。とくに阪神・淡路大震災では、発生直後の緊急対応期から復旧・復興期の全過程について、地域防災システム研究センター、そして1996年度新設後の巨大災害研究センターは総力を挙げて組織的研究に取り組んできた。また、2004年新潟県でも小千谷市にGISシステムの導入による罹災証明の発行や震災時や水害時に要援護者対策とこれをリンクさせる重要性を指摘してきた。この間、当センター所員は、政府の関係機関はもとより被災あるいは近隣自治体の地域防災計画策定の専門委員会などに積極的に委員長・委員として参加し、また、多くの講演会、シンポジウム、ワークショップの企画・運営さらに招待講演の

形で研究成果の社会への還元を図っている。

## ②現在の重点研究課題

当センターが実施している重点的な研究課題は次のとおりである。

- 1) 阪神・淡路大震災および新潟県中越地震災害の復興過程の追跡調査と被災者の生活再建
  - 2) 東海・東南海・南海地震と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) 環太平洋地域の地震・津波災害ポテンシャルの表示と減災策
  - 4) 都市地震と都市水害の危機管理
  - 6) 日米共同研究による比較防災学の構築
  - 7) 都市複合空間水害の総合減災システムの開発である。
  - 8) わが国に適した危機管理システムの提案
- さらに、当センターで所管している事業は、
1. 震災 10 年を経て Memorial Conference in Kobe から災害メモリアル神戸への移行と子どものテーマを主眼とした開催
  2. 地域防災計画実務者セミナーの実施
  3. 災害対応研究会の開催
  4. 東海・東南海・南海地震津波研究会の開催
  5. 大規模災害対策セミナーの実施
  6. 「災害を観る」ワークショップの隔年実施
  7. 巨大災害研究セミナーの開催(隔月)
- などであり、現在、日本自然災害学会の事務局を置き、学会活動を支援している。

## 8. 10. 2 研究領域の研究内容

### I. 巨大災害過程研究領域

教授 河田恵昭, 助教授 矢守克也,  
助手 高橋智幸(～2003.12)

#### ①領域の研究対象

災害による人的・物的被害を軽減するための研究を行う。まず、国・地域・都市の防災力、災害脆弱性、ハザードとしての外力および災害リスクの定量的な評価方法を開発する。そして、巨大災害の発生法則を明らかにするとともに、人的・物的被害予測を実証的に行う。さらに、減災コスト、高齢化および都市化などの要因による被害様相変化のシナリオを考慮して、ハード(被害抑止)とソフト(被害軽減)減災の組み合わせによる減災対策を提案する。これらの応用として、危機管理の立場から自然災害の被害軽減策を見出すとともに、企業立地、経営管理や大規模事故への適用性を高める。つぎの課題がある。

- 1) 巨大災害の復元と被害拡大要因
- 2) 人的・物的被害の定量的評価
- 3) 広域・複合・長期化災害の減災対策
- 4) 災害情報とコミュニケーション
- 5) 大災害・事件・事故の危機管理
- 6) 阪神・淡路大震災の教訓と復興過程

#### ②現在の主な研究テーマ：

- (1) 巨大災害・都市災害  
(河田恵昭, 人と防災未来センター専任研究員 越山健治)

阪神・淡路大震災以降、都市災害による人的・経済的被害の評価方法を構築してきた。これらの手法は政府や自治体で採用され、現在に至っている。また、2001年9月のニューヨークテロ事件に対する調査から、発災直後からの対応は都市災害としての様相を示しており、わが国で今後発生が懸念されている、各種都市災害への対応の教訓となるものと推察され、日米で共同

研究を始めている。

## (2) 危機管理 (河田恵昭, 客員助教授 水越重)

この手法は自然災害のみならず, 社会災害にも多く適用可能なことがわかってきた。まず, 1996 年の豊浜トンネル事故調査委員会活動結果から, わが国では行政・地域(企業などを含む)・市民の間のパートナーシップが重要であることを提言し, その結果は, 自主防災組織の活動などに広く使われている。有珠山の噴火災害では政府の緊急対策本部と地元自治体との関係について, 多くの提言を行い, 円滑なマスメディア対応などの成果として報告されている。また, 2001 年に発生した明石市・大蔵海岸における花火大会歩道橋事故や, 同海岸での砂浜陥没事故では, 事故原因の究明や再発防止に対して, 被害抑止, 被害軽減, 対応, 復旧・復興計画に組織的な取り組みが必要なことを示してきた。また, 能勢郡のダイオキシン焼却炉問題や企業防災においても, 危機管理の立場から積極的な取り組みが開始されており, 当センターはその先導的指導を行ってきている。

## (3) 高潮・洪水・津波氾濫とその防災

(河田恵昭, 人と防災未来センター専任研究員 越村俊一, COE 研究員 原田賢治)

2000 年東海豪雨災害に際しては, いち早く現地調査を開始し, 都市水害の持つポテンシャルの総合的な評価を行ってきた。中でも, 情報の内容, 伝達, 共有化などに関しては多くの問題点があることを指摘し, その改善策が被災自治体で採用されてきている。これに関して, 地下空間の安全性に対する高まりを積極的に仕掛け, またその対策に対して積極的な助言を行うとともに, 総合減災システムの提案を行ってきている。東海・東南海・南海地震と津波災害に対しても, 数値計算の精度向上やハザードマップを作る場合の問題点などについて多くの研究と行政の助言を行ってきている。1998 年の八代海の高

潮災害においても, 高潮情報のあり方に関する種々の提言を行ってきた。これに関して伊勢湾台風高潮災害 40 周年やジェーン台風高潮 50 周年事業を実施した。

## II. 災害情報システム研究領域

教授 林春男, 助手 川方裕則

### ① 領域の研究対象

社会現象としての災害の学理究明と効果的な災害対応策の提言

### ② 現在の主な研究テーマ

1) 防災 CALS の構築

2) 被害推定・想定システム

3) 阪神・淡路大震災からの復興過程

### ③ 各研究テーマ名

(1) 防災 CALS の構築

復興シナリオプランニング(林 春男, 田村圭子)

災害対応のための組織経営支援システムの開発(林 春男, 井ノ口宗成)

目的: 災害対応の標準化を目指し, コンピュータ支援システムの開発を行う

(2) 被害推定・想定システム

間接被害の定量化(林 春男, 高島正典)

DMSP-OLS を用いた広域被害想定法の確立(林 春男, 高島正典)

災害対応シミュレーターの開発 (林 春男)

目的: 衛星データの解析を通して, 被害推定システムを開発する

(3) 阪神・淡路大震災からの復興過程

被災者の心のケア・マネジメント・システム(林 春男)

生活再建過程の検討 (林 春男, 木村玲欧)

目的: パネル調査を通して, 阪神・淡路大震災からの生活復興過程を体系化する

### Ⅲ. 被害抑止システム研究領域

教授 田中哮義, 助教授 赤松純平

#### ①領域の研究対象

地震火災被害評価手法の開発, 都市防火計画,  
地域基盤構造とマイクロゾーニング

#### ②現在の主な研究テーマ

地震火災延焼モデル, 都市火災時住民避難モデル,  
都市域基盤構造モデル

#### ③各研究テーマ名

##### (1) 物理的火災延焼モデルの開発(田中哮義)

現代の市街地状況の変化の下での地震火災被害の適切な評価, 都市火災対策の効果の適切な評価を可能にする上で鍵となる物理的な基盤に立つ市街地火災延焼モデルの開発を進めてきた。その手法は, 市街地火災を, 市街地を構成する個々の建築物の燃焼の集合と捉え, それらの火災性状および火災建物の他の建築物への影響を数学的に定式化し, 予測計算のためのコンピューターモデルとして構築するものである。現在までに, 建物内の延焼拡大の予測モデルの構築, そのモデルの過去の火災実験との比較での検証, また, 仮想的に想定した市街地および最も最近の強風下市街地大火である酒田市大火での検証を行い, 概ね妥当な延焼性状が予測されることを確認した。また, 今後 GIS との統合に向けた作業の第一歩として, 京都市東山地区の延焼予測の GIS データを利用して行っている。

##### (2) 都市火災時住民避難モデルの開発(田中哮義)

大地震時などの市街地同時多発火災時の住民の避難にとって重大な火災気流の影響を考慮に入れた避難モデルの開発を目的として, つぎのような研究を実施した。まず, 都市街路を避難経路のネットワークとして組み, 他方で市街地火災による火災気流の危険度の予測手法を作成し, 火災気流による危険の下での住民避難性状の推定・予測モデルを構築した。また過去の延

焼動態図を基に火災気流による危険度を予測するモデルを開発し, また火災気流に曝された避難者の生理的危険もモデルを開発・導入して避難モデルを改良した。この火災気流による危険度推定と住民避難予測を統合したモデルの予測精度を検証するために, 過去の酒田市大火, 函館大火における住民避難データ, 犠牲者の発生状況との比較・検討を行った。今後, 飛び火出火データの予測に対する影響などを検討し, 予測精度を向上させる必要がある。

##### (3) 都市域基盤構造のモデル化(赤松純平)

被害地震時の地震動予測に必要な都市域基盤 3 次元構造のモデル化を, 脈動(長周期の微動)や重力など, 地球物理学的データを用いて行った。脈動観測資料と重力データの併合処理による地盤構造の高精度推定方法を開発し, 近年の地震被害の大きかった地域の基盤構造を調べた。この方法を国内のみならず, 中国雲南省麗江盆地やトルコ・アダパザル盆地等にも適用し, 地震被害が基盤構造に密接に関係していることを示した。

### 8.10.3 その他重要な活動

#### 阪神・淡路大震災記念

##### 人と防災未来センターの設立と連携

河田は、1999年から具体化された本センターの構想において、兵庫県参与に就任し、開設準備室長として、設置された人材育成と展示に関する2つの委員会において主導的な役割を果たした。そして本センターは、内閣府と兵庫県の協力によって2002年4月27日に開設され、2005年11月までに170万人の来場者を数えた。そこでは、防災研究所や10を超える国連をはじめ、3つの防災実務機関との連携が大きな課題となっており、それに対して、開設当初から、センター長の兼務の形で積極的に指導している。

##### (1) 名古屋市洪水ハザードマップ作成

政令指定都市で初めて、洪水ハザードマップの作成を行った。その前提となったのは、愛知県水害対策委員会での河田委員長、林委員の活動であって、その延長上で、名古屋市に設けられた標記のハザードマップ委員会を指導し、一級河川の庄内川決壊を想定したハザードマップが8つの区を対象に2002年完成し、80万世帯に配布された。これは、破堤点を特定せずに作成しており、従来にない内容となっており、とくに市民の立場からの利用促進が前面に出された画期的なものとなっている。

##### (2) 阪神・淡路大震災に関係した各種の防災啓発活動と調査の継続

当センターの事業報告にあるように、1995年の同災害以降、当センターは復旧・復興過程についての諸問題の調査研究に積極的に取り組むとともに、多くの成果を世に問うてきた。また、メモリアルカンファレンスイン神戸(2006年からは『災害メモリアル神戸 次世代に教訓を語り継ぐ会』)に改称)や、1995年7月より毎年1回実務者セミナーを継続的に実施するなど、そ

の取り組みは国内外から高い評価を受けている。

##### (3) 東海地震をはじめとする防災関連の委員会活動

河田は政府に設けられた中央防災会議の専門調査会のうち、5つの専門委員、座長代理として、とくに東海・東南海・南海地震に関する防災政策決定に深く関与して、実践的な内容にするべく努力を継続している。また、内閣府、国土交通省、文部科学省、消防庁、気象庁や、大阪府、三重、愛知、奈良、高知、兵庫、和歌山各県、神戸、大阪、京都各市の防災関係の委員会活動に委員長あるいは委員として参加し、自治体の防災力向上に寄与してきている。

## 8.11 斜面災害研究センター

### 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

平成15年4月に旧地盤災害研究部門・地すべりダイナミクス分野、災害観測実験センター・徳島地すべり観測所を統合して斜面災害研究センターが発足した。本センターは、地すべりダイナミクス研究領域、地すべり計測研究領域の2研究領域とセンター職員の併任によるセンター内措置のタスクフォースとして平成16年4月に発足した世界地すべり情報解析研究室、および付属施設としての徳島地すべり観測所からなる。

本センターの設立目的は「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。また、斜面災害に関する世界的ネットワークの中核的研究センターとして、斜面災害軽減に関する国際共同研究の企画調整を実施している。

斜面災害研究センターの主な研究内容は、1)地震・豪雨時の地すべりの発生・運動機構の解明；2)人口密集地、文化・自然遺産など社会的価値の高い地区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；3)地球規模での斜面災害の監視警戒システムの開発；4)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；5)斜面災害軽減のための教育・能力開発の実施；6)京都大学・ユネスコ・国際斜面災害研究機構(ICL)によるUNITWIN共同計画および国際斜面災害研究計画(IPL)の企画調整実施、およびその一環としての国際ジャーナル「Landslides」

の編集である。

#### (2) 現在の重点課題

地すべりダイナミクス研究領域においては、地震時地すべりの発生機構、大災害を引き起こす高速長距離運動地すべりの発生機構の研究、すべりから流動への相転換のメカニズムの解明、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の研究を実施する基盤的研究を実施している。

地すべり計測研究領域においては、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している。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研究を実施している。

また、世界地すべり情報解析研究室においては、文化・自然遺産地区や人口密集地などの社会的価値の高い地区における地すべり危険度評価、当該地域/国の自然・社会・文化的条件を考慮に入れた地すべり危険区域予測法の開発および斜面災害軽減のための計画・方法や、地表変動リモートセンシング技術と長距離データ転送技術の開発および斜面災害監視警戒システムの研究を実施する実践的研究を実施している。

#### (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。また、ペルー国マチュピチュのインカの遺跡など、一旦破壊されれば復旧の困難な



文化・自然遺産が地すべりによる破壊の危険性にさらされている例が目されるようになってきた。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 14, 15, 16 年度は下記の研究・企画調整課題に取り組んだ。

1. メカニズムの研究(地震豪雨時の高速長距離土砂流動現象及び結晶片岩地すべりのクリープ等の発生・運動機構)
2. 地すべり試験機, 隔測および探査技術の開発(非排水動的載荷地すべり再現試験機, 衛星・航空機隔測, 地下水の地球物理学的探査技術等の開発)
3. 地すべり災害の軽減(地すべりの危機に瀕する文化・自然遺産地区, 地すべり危険度評価と管理, 地すべり発生時刻の予知)
4. 観測研究(破碎帯の結晶片岩地すべりの移動観測, 地すべり活動に伴う土圧変化, 地下水水文学と水文地質学的研究)
5. 現地調査と機器開発(ペルー・マチュピチュ遺跡など前兆段階にある岩盤地すべりの現地調査, 火山堆積物の高速地すべり・土石流の現地調査, 現地観測機器の開発)
6. 途上国における地すべり危険度軽減のための教育, 人材開発
7. 実用的な地すべり危険区域予測法の開発
8. 斜面災害監視警戒システムの開発

#### (4) その他の活動

センター長の佐々は国際斜面災害研究機構(International Consortium on Landslides = ICL)の会長を設立当初からつとめており、本センターは事務局機能を果たしている。また、同機構の主要な事業である国際斜面災害研究計画(International Programme on Landslides = IPL)の事務局も置かれている。また、京都大学、ユネスコ他の支援を得て同機構が発行している国際学術雑誌"Landslides" の編集事務局が置かれ

ており、斜面災害研究における世界的 COE として機能している。ユネスコ防災研究所研究間の斜面災害に関する研究協力覚え書きが平成 11 年に締結され、平成 17 年にはさらに 5 年間の延長が決まった。また、京都大学・ユネスコ・国際斜面災害研究機構(ICL)による UNITWIN 共同計画の協定が 2003 年 3 月に締結され同協定に基づく国内・国際共同研究を現在実施中である。ICL の各事業は国連ユネスコ(UNESCO), 世界気象機関(WMO), 世界食糧農業機関(FAO), 国連国際防災戦略事務局(UN/ISDR), 国際連合大学(UNU)の各国連機関および国際地質学連合(IUGS)の後援を受けている。

## 8.11.2 研究領域の研究内容

### 斜面災害研究センター

#### (1) 研究分野名

地すべりダイナミクス研究領域

#### (2) 研究スタッフ

教授 佐々恭二, 助教授 福岡 浩, 助手 汪 発武

#### (3) 研究対象と研究概要

①メカニズムの研究(地震豪雨時の高速長距離土砂流動現象及び結晶片岩地すべりのクリープ等の発生・運動機構)

地すべりダイナミクス領域では、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。特にせん断に伴う粒子破碎によりすべり面で過剰間隙水圧が発生して高速運動や流動が発生する原因となる「すべり面液状化」についての研究を実施しているが、平成13～15年度に文部科学省科学技術振興調整費「地震豪雨時の高速長距離土砂流動現象の解明(APERIF)」(研究代表者:佐々恭二)を得て、東大、国土交通省国土地理院、(独)防災科学技術研究所、(独)森林総合研究所、および(社)日本地すべり学会とともに災害危険区域予測法の提案に向けた基礎的応用的研究を実施した。同振興調整費課題の成果は総合Aと高く評価され、平成16年10月の新潟県中越地震後に認められた緊急研究の振興調整費ではテーマ2「地震時土砂災害の研究」の代表者を佐々が務めた。APERIF プロジェクトは世界的にも重要な研究課題として認められ、国際斜面災害研究計画(IPL)のプロジェクトの一つ(IPL-M101)として採択されている。

②地すべり試験機、隔測および探査技術の開発(非排水動的載荷地すべり再現試験機、衛星・航空機隔測、地下水の地球物理的探査技術等の開発)

地震時および豪雨時等あらゆる条件下での地す

べりのすべり面の状態を完全に再現する試験機として「地震時地すべり再現試験機」を開発した。前項の科学技術振興調整費により平成14年に完成した7号機(可視型地震時地すべり再現試験機)は300cm/secまでの高速せん断が非排水条件を維持しながら可能で、アクリル製使用箱により、せん断中試料を外部から観察可能である。高速データ記録と高速動画撮影が可能で、画像解析により土粒子の運動を追跡し流動化過程の研究を推進している。

国土交通省国土地理院、宇宙航空研究開発機構(JAXA)等と協力して合成開口レーダーを搭載した人工衛星、航空機により取得したデータ解析より新しい斜面変動隔測技術の開発を行っている。また、産学連携による自動制御三脚の開発を通してRTK-GPSを用いた5分間程度の短時間で精密GPS測量を行う技術を開発し、「斜面定期健康診断構想」を実現するための研究を推進している。

③地すべり災害の軽減(地すべりの危機に瀕する文化・自然遺産地区の地すべり危険度評価と管理、地すべり発生時刻の予知)

平成10年度より16年までユネスコの国際地質対比計画に佐々の提案するプロジェクト(IGCP-425)が採択され、世界各国で実施する31のサブプロジェクトの企画調整を実施した。これをさらに発展させるものとして、ユネスコと京都大学防災研究所間で「地すべり危険度軽減と文化自然遺産の保護」(MoU)に関する研究協力覚え書きが平成11年12月に交わされた。さらに平成14年1月に京都で開催された国際シンポジウムで国際斜面災害研究機構が設立され、その主要な事業である国際斜面災害研究計画の統括課題Coordinating Project C101-1において佐々らのペルー・マチュピチュ遺跡の岩盤地すべり危険度評価が同機構の最重要国際共同研究課題のひとつとして選ばれた。

## (1) 研究分野名

地すべり計測研究領域

## (2) 研究スタッフ

助教授 末峯 章, 助手 王 功輝

## (3) 研究対象と研究概要

①観測研究(破碎帯の結晶片岩地すべりの移動観測, 地すべり活動に伴う土圧変化, 地下水水文学と水文地質学的研究)

徳島県下の結晶片岩地域の再活動地すべりに設定した試験地で, 伸縮計, 傾斜計, パイプ歪み計, 地下水位計の計器を設置し, 降雨条件と地すべり活動の関係を解明するための長期連続観測を実施することにより, 豪雨時の急激な変動およびクリープ運動の特性についての研究を推進している。

昭和47年より徳島県・善徳地すべり地で大規模結晶片岩地すべりの長期連続観測による移動機構の研究を実施している。山頂から祖谷川にいたる全長1.5kmに及ぶ長スパン伸縮計, 全長約600m(115台)の三次元せん断変位計の他, GPS観測, 孔内傾斜計, 水位等の観測を連続して実施している。三次元せん断変位計による観測では移動ブロック境界は地表に明確に現れないが, 基岩形状が長期の土層変化形状に影響を及ぼしていること, 寡雨期にもクリープが継続する結晶片岩地すべりに特有の斜面変動の特性を計測面から明らかにしたが, 現地の土砂を用いリングせん断試験機により一定応力条件下で地下水面の上下のみによりクリープ変位を再現する実験を実施した。

また, 徳島県西井川地すべり地において, 地すべり斜面の主動土圧地域と受動土圧地域の推定, 土圧変化を調べるための観測を実施しているが, ボーリング孔に設置した土圧計の観測により地すべり移動時, 地表の変動が現れる前に地下の土圧が変動が先に現れることが明らかになった。

豪雨時に頻発する崩壊について, 崩壊を引き起

こす地下水の起源についての研究も実施している。地下水流動状況の把握のために, 新潟大学積雪地域災害研究センター, 高知大学等と協力して地下水の水質分析等を用いて地下水の動態と地すべり再活動との関係について研究を実施している。

地すべり地内で対策工として排水ボーリングや集水井が普及しているが, 地すべり抑制効果の経年変化を調べるため排水量等を観測することによって, 水資源として利用可能な量や, 道路工事による影響について調査しており, 成果を基に地元や土木工事事務所に提案等を行っている。

②現地調査と機器開発(ペルー・マチュピチュ遺跡など前兆段階にある岩盤地すべりの現地調査, 火山堆積物の高速地すべり・土石流の現地調査, 現地観測機器の開発)

平成2年より中国・西安市の華清池地すべりの裏山の驪山の地すべり危険度予測の研究を西安市人民政府・防治驪山滑坡办公室, 西安交通大学, 吉林大学等と実施している。長スパン・電子式伸縮計, GPS, 三次元せん断変位計, 孔内傾斜計, 地震計, 雨量計等を現地に設置し, 定期観測を共同で実施しているほか, 現地で採取した土砂についてリングせん断試験を実施し, 運動範囲の推定と災害規模の予測についての研究を実施している。本共同研究の成果をもとに, 中国政府, 陝西省, 西安市が共同でアンカー工, 表面排水路からなる対策工を施工したが, これは地すべり災害発生前に定量的な災害予測を基に対策工を実施する中国で初の事例となった。

また平成12年よりペルー・マチュピチュ遺跡および岡山県高梁市・備中松山城の岩盤地すべりの観測等を継続実施している。マチュピチュ遺跡では現地踏査の結果, 潜在的な大規模岩盤地すべりであると推定し, 地すべりブロックの判定短スパン簡易伸縮計, 長スパン伸縮計, GPS, トータルステーション, 雨量計を設置し観測を開始し

ている。既に微少な変動を観測し、潜在地すべりであることを示した。

高梁市のシンボルである文化遺産・備中松山城では参道沿いの岩盤斜面で崩落があり、観光客の安全確保のため同市教育委員会と共同で危険度監視の研究を開始した。差動トランスを用いた伸縮計、岩盤クラック変位系を開発、設置して観測を実施しているが、微少な累積する変動を検知し、岩盤斜面の景観を保全可能な対策工事を実施している。

また、イタリア・ストロンボリ火山の噴火と溶岩流の噴出に伴い海上から海底に至る山腹斜面で大規模地すべりが発生し津波が発生したがフローレンス大学、ローマ大学らと共同調査を実施し、現地から採取した土砂の物性・力学特性の計測研究を行っている。

近年普及してきたデジタルカメラを用いて崩壊可能性の高い岩盤斜面に対し離れた場所からステレオペアを撮影し、その三次元測量解析により微少な前兆変位を広範囲に捉える手法を開発しており、徳島県内の崩壊斜面を試験地としてデジタルカメラによる写真測量を繰り返し実施し、斜面の変位およびその分布の測定可能性、精度評価等についての研究を実施している。

③途上国における地すべり危険度軽減のための教育、人材開発

前項のペルーのマチュピチュ、西安市の華清池地すべり地では、最新の観測機材を設置や現地の観測担当職員が定期観測、観測機器の維持管理、データの送信等を行っている。両国とも途上国であり、観測方法、機材の構造、維持管理方法、データ解析方法、送信方法等の能力開発については現地訪問時に現地技術者、行政担当者、住民に対する観測結果報告会、技術講習会、また日本や第3国、国際斜面災害研究機構の代表者会議および国際研究集会への招へいと研修を実施することに

より推進している。これら海外の地すべり調査では、地すべりダイナミクス研究領域の職員の実施する地すべり危険度評価の研究と平行して実施している。

また、平成15年度より毎年JICAの中央アジア等の斜面災害行政実務担当者らの研修を実施しているなど、毎年多数の外国人斜面災害研究者、技術者を短期、中期受け入れており、滞在中に研修を実施している。

### (1) 研究分野名

世界地すべり情報解析研究室

### (2) 研究スタッフ(センター内職員の併任)

教授 佐々恭二、 助教授 福岡浩、 助手 汪発武、 王 功輝

### (3) 研究対象と研究概要

①地表変動リモートセンシング技術と長距離データ転送技術の開発および斜面災害監視警戒システムの研究

徳島県・善徳地すべり地において地すべり現場の各種計測データの汎用送信サーバー開発を行う目的で、自動データ取得・送信・閲覧システムTOLIDASS (Telemetry-Oriented Linux-based Data Acquisition and Server System)を開発している。また、京都府切山地すべり地において赤色レーザーによる伸縮計観測を企業と共同開発し、試験観測を実施している。

②実用的な地すべり危険区域の予測法の開発

信頼性の高い実用的な地すべり運動予測のための数値シミュレーション法を開発するため、対象斜面から採取したサンプルの高速運動時のパラメーターの実測値を用いて、土塊としての運動をコンピュータ上で再現し、2~4m程度の街区単位の精度を持つ災害危険区域予測図を作成する研究を推進している。運動の鍵となる二つのパラメーター

は、1)運動中に発揮される見かけの摩擦角(すべり易さを表現する数値：土塊の運動距離に影響)と、2)水平土圧係数(柔らかさを表現する数値：土塊の広がりに影響)であるが、両者ともリングせん断試験機の結果から推定可能であるため、逆算ではなく関連する物質の土質定数、地表面形状、すべり面形状、初期間隙水圧を与えることにより、高精度予測を可能にするための研究を推進している。さらに計算結果の入力・出力の操作性、可視化等、一般市民にも普及可能なプログラムとするための開発研究も実施している。

③京都大学・ユネスコ・国際斜面災害研究機構(ICL)によるUNITWIN共同計画および国際斜面災害研究計画(IPL)の企画調整実施、国際ジャーナル「Landslides」の編集

世界地すべり情報解析研究室はICLの基幹事業である国際斜面災害研究計画(IPL)および平成15年3月に京都大学・ユネスコ・ICLが協定を交わしたUNITWIN共同計画の事務局も運営しており、多くの国際共同事業の企画調整を実施している。

特に国際斜面災害研究計画の基幹プロジェクト(IPL C100)として、フルカラー・季刊の英文国際学術雑誌 "Landslides : Journal of the International Consortium on Landslides" を平成16年4月に創刊した。印刷、配本はドイツ・Springer Verlag社が行い、科学研究費補助金研究成果公開促進費(定期刊行物)を平成16年度より受けている。発刊から1年後には、拡張SCI (Scientific Citation Index)リストに加えられた。世界の28ヶ国、5国連機関、1国際学術機関から82名の編集委員が、同誌への論文の募集および査読・編集を担当している。斜面災害研究センターはその編集事務局(事務局長：福岡 浩)を勤めるとともに、佐々が編集長、王が編集委員兼編集委員長補佐、福岡・汪が編集委員を勤め、地すべり

研究の核としての活動に貢献している。

### 8.11.3 その他の活動

学会、社会的貢献、集会開催等に関する活動の詳細具体的なデータについては別章あるいは別項で記載しているので省略する。

斜面災害研究センターでは、国際斜面災害研究機構(ICL)の事務局機能を果たすため必要な諸作業を行っている。平成15年9月に京都大学・ユネスコ・ICL UNITWIN共同計画本部棟が総長裁量経費とICL経費により完成し、能力開発等の同計画および関連プロジェクトの企画調整も実施されている。同本部ではICLが実施している国際斜面災害研究計画(IPL)の事務局も置かれ、前述の如くIPL C100の国際英文学術雑誌「Landslides」についても編集事務局もこの本部棟内に置かれている。ICLが毎年開催している企画委員会、代表者会議の開催準備も行っている。また、国内の斜面災害研究者が研究協力および連携を推進するために平成11年に発足した斜面災害研究推進会議(会長：佐々)の事務局も置かれている。

また、(社)日本地すべり学会関西支部の事務局も本センター内に置かれており、毎年開催されるシンポジウム、現地討論会、講習会を実施している。