

寶馨は、我が国を代表する水文学者で、特に水文統計学においては我が国の第一人者である。専門分野としては水文学、水資源工学、極値統計学を専門分野として、我が国における水災害の防止軽減のための技術開発と普及、社会の防災力向上のための防災教育や啓発活動、水及び防災に関する国際組織における貢献などの功績において顕著なものがある。1994年から国連防災の十年(IDNDR)の活動に参加し、インドネシア東ジャワをフィールドとして、洪水災害、河川災害の問題に取り組んだ。1996年からユネスコ国際水文学計画(IHP)に参加し、毎年、アジア太平洋地域でIHPの政府間会合及び学術シンポジウムを地域内で開催してきた。IHP政府間理事会副議長、IHP東南アジア太平洋地域運営委員会事務局長及び議長を務めた。2018年4月に京都大学に水・エネルギー・災害研究に関するユネスコチェア(WENDI)を設立した。防災研究所(工学研究科)の教授として、学位論文の主査を務め、48人(うち13か国から35人の留学生を含む)に博士(工学)の学位を授与した。

## 1. 従来の主な研究業績

### (1) 水文頻度解析に関する研究

河川整備基本方針及び河川整備計画を立案する際、また、水工構造物の設計を行う際には、雨量や河川流量などの水文量に関わる過去の水文極値データを確率統計解析し、所定の再現期間に相当する確率水文量(100年確率流量など)を求め、計画値・設計値とする。これらの基本量を客観的に決定する技術を提案した。標準最小二乗基準(SLSC)やジャックナイフ法として知られるこの技術は、河川法が改正された平成9年前後から日本全国の河川に適用されることとなり、我が国の治水において顕著な貢献をなした。改正河川法における我が国の治水行政の透明性・客観性を確保し、住民に対する説明責任を果たす上で極めて有意義な技術を提供した。その貢献により、土木学会より論文賞を受賞している。その後、河川砂防技術基準の改定委員会の委員として加わり、調査編(平成24年6月)の改定に大きく寄与した。そのほか、確率論的水文モデルに関する多数の研究業績があり、従来、決定論的なアプローチと統計的なアプローチに二分されていた水文・水資源の分野に大きな変革をもたらし、不確実性を踏まえた新たな確率論的水文・水資源学の創始に貢献した。こうした一連の研究成果は、気候変動の影響を加味した河川計画論や、降雨予測の誤差を踏まえた洪水予測などに結実し、現在の水文学・水資源学の礎となっている。

### (2) 流域水文モデルと洪水予測に関する研究

河川流域の地形に関する国土数値情報を水文地形解析や降雨流出解析に応用する研究を昭和50年代(1980年頃)から先駆的に始めた。人工衛星リモートセンシングによって得られる土地利用・土地被覆や標高などの空間情報、さらには、レーダー雨量計によって得られる降雨の空間分布情報を併せて利用し、河川流域の分布定数型水文モデルの構築と洪水予測手法の開発を行った。洪水予測手法においては、時々刻々の気象・水文観測情報を利用し、流域の雨水貯留量などを状態変数として、カルマン・フィルター理論を応用したリアルタイム洪水予測手法を開発した。寶が中心となって先駆的に進めた流域水文モデルと洪水予測に関する基礎的研究は、国土交通省や地方自治体が実施する空間分布型の洪水予測技術の礎となり、水災害の減災に寄与している。さらに、分布定数型水文モデルを用いた水・物質循環予測についても先駆的な研究を行い、流域スケールの水・土砂流出解析手法を提唱した。こうした研究成果は、現在は建設コンサルタント会社によるダムへの土砂流入量予測でも採用され、流域水・土砂管理の実務に貢献している。淀川流域の分布型洪水予測モデルの開発に関する研究により、土木学会論文賞を受賞している。

### (3) 防災技術政策に関する研究

国及び地方自治体等の防災関連の各種委員会に所属し、我が国の防災行政に種々の助言を与え、その発展に寄与した。文部科学省においては、防災科学技術委員会の委員を5期にわたり務めており、我が国の防災の研究開発に貴重な助言を与えている。また、宇宙開発委員会及び地球観測推進部会においては、防災を専門とする立場から我が国の地球観測の実施方針などについて意見を述べている。国土交通省においては、上述(1)(2)の技術的貢献に加え、河川整備計画の策定、水害に強い地域づくりに貢献してきた。さらに、琵琶湖の水位操作による水位の変動が生態系に与える影響を調査する委員会の主査を務め、洪水・渇水災害防止と環境との関係について助言を与えている。滋賀県においては、多数の河川の整備計画や洪水ハザードマップに関する指導を行ってきた。兵庫県・武庫川の河川整備計画や表六甲の多数の都市河川、大阪の低平な都市河川流域の洪水対策に助言を行った。福井県敦賀市の洪水ハザードマップの策定についても検討委員会の委員長を2度にわたり務め、策定と改定に大きく貢献した。全国各地で防災・減災に関する市民集会等で講演・パネルディスカッション等を多数行い、社会や地域住民の防災意識の向上・啓発に努め、防災教育の推進に大きく貢献した。

## 2. 総合生存学の確立につながる学際研究、国際共同研究等

### (1) 災害リスク及びレジリエンスに関する研究

2015年3月に行われた第3回国連防災世界会議(仙台)で参加各国により合意された仙台防災枠組(SFDRR2015-2030)において、4つの優先行動の第1番目が「災害リスクを理解すること」とされた。災害リスクとは何かをまず知って、それを防止・軽減する必要があるためである。 $[\text{災害リスク}] = [\text{ハザード}] \times [\text{暴露}] \times [\text{脆弱性}]$ と表される。ここで、ハザードとは災害原因事象であり、災害の発生機構を知るため地球物理学的アプローチが必要である。一方、暴露は被災しうる人・資産、脆弱性は人や社会の災害に対する備えの有無を表すものであり、人文・社会科学的知見が必要である。このような災害リスクを軽減するためには、様々な工学的あるいは社会的な対策が必要となる。また、いったん被災してもなるべく早く復旧・復興する「レジリエンス」という考え方も重要である。まさに学際的な総合生存学で取り扱うべき課題である。寶の研究は、防災・減災の国際的な枠組みで議論されている政策論に対して、具体的なデータを示して定量的に分析する防災技術政策論を展開してきた。先述の分布定数系水文モデルの結果をもとに、洪水現象であるハザードを予測し、人口や社会構造など暴露と脆弱性の情報を重ねることによって、水災害リスクを定量化する技術を開発してきた。(2) 地球環境問題及び気候変動に関する研究

気候変動は、地球上の水・エネルギー循環に大きな影響を与える。豪雨の発生頻度が高まり洪水・土砂災害の危険性が高まる一方、熱波・旱魃による被害も拡大傾向にある。火山噴火や森林火災による大気汚染が人の健康にも影響を与える。こうした広域に波及する災害・健康問題は学際的であり、国際共同研究にもふさわしい。気候モデルによる全球データを用いて熱波、寒波などの広範囲の異常気象を検出する手法を開発し、将来の地球環境と災害の予測を行うことを考えている。こうした地球と人間との関わりを扱う地球人間圏科学の入門書により、日本環境共生学会から著述賞を受賞している。

### <防災研究所時代の研究>

平成27年度-平成29年度まで所長を務めた京都大学防災研究所において、防災技術政策研究分野を担当し、その間に最も主要な研究を成し遂げている。同分野は平成17年度の改組により、それまでの水災害研究部門洪水災害研究分野から社会防災研究部門に移ってきたものであるが、教授は寶馨、平成19年3月まで助教授は立川康人(平成19年4

月より工学研究科准教授に配置換え)、平成 20 年 9 月から平成 25 年 3 月まで准教授として山敷庸亮が就任し、その後平成 26 年から佐山敬洋が就任した。

研究内容は、時空間モデリング、計算機集約型分析、リモートセンシングなどの領域における新技術を考究し、災害事象の監視・予測精度向上、リスクマネジメントや危機管理政策のために応用することを主としている。地球規模から流域規模の水循環に関する広域多次元情報の収集・加工・提供技術を駆使することによって、社会環境と自然環境の変化に伴う水循環・水災害の変動を予測する。さらに、物理的モデリングと確率統計解析手法とを応用し、防災・環境保全を両立する持続可能な社会実現に向けた防災技術政策を展開するとともに、その技術政策を国際防災戦略に適用するための研究を行っている。

国際的な研究活動を活発に展開しており、ユネスコ国際水文学計画 (IHP)、国際斜面災害研究機構 (ICL)、国連国際防災戦略 (UNISDR)、世界銀行防災グローバル・ファシリティ (GFDRR)、国連環境計画 (UNEP) などの活動に常時参画するとともに、国連大学、国際総合山地開発センター (ICIMOD)、中国・中山大学、韓国・忠南大学、インドネシア科学院 (LIPI)、マレーシア理科大学、米国・コーネル大学、カリフォルニア大学、カナダ・マギル大学、ブラジル・サンタカタリーナ大学、サンパウロ大学などとの学術交流も活発である。教育面では、工学研究科(平成 22 年 3 月まで都市環境工学専攻、平成 22 年 4 月から社会基盤工学専攻)の協力講座を担当しており、これまでに 21 名の博士(工学)を出している。そのうち課程博士は 14 人(日本人は 2 人)、論文博士は 7 人(うち日本人 4 人)であり、留学生・外国人の教育に成果を上げている。こうした実績から、寶は、平成 19 年に公益社団法人土木学会国際活動奨励賞を受賞している。

寶馨が中心となって行った主な研究課題とその概要を以下に示す。

#### (1) 高度予測システムとしての災害事象の時空間モデリング

寶・立川・佐山は、降雨流出過程の分布定数型モデルの数値シミュレーションモデルの構築、洪水予測システムの開発を行ってきた。分布型モデルの構築にあたっては、数値地形情報 (DEM)、土地利用・土地被覆情報、気象・水文観測情報などが必要であり、現地調査、航空写真撮影、人工衛星リモートセンシング、詳細な宅地・農地情報のデジタルデータなどを併用して、空間情報を複合的に取り扱っている。淀川流域の洪水流出とダム群によるその制御効果を扱った論文「広域分布型流出予測システムの開発とダム群治水効果の評価」(立川・寶・佐山・市川)によって平成 19 年に土木学会論文賞を受賞している。山敷・寶は、琵琶湖をはじめとする湖沼や閉鎖性水域の 3 次元流体力学的モデルを取り扱っており、湖や閉鎖性水域の流動特性の三次元解析および水温や溶存酸素濃度や栄養塩などの水質要素の予測を行った。また、寶・山敷らは水文過程を考慮した土砂生産・土石流の模型実験や数値モデルの構築も行っている。樋本は、文化財を含む都市の火災に関するシミュレーションモデルの開発を行っている。

#### (2) 社会変動・気候変動と水循環・水災害の相互作用解析

寶は、急激な人口増と社会の変動が予測されるアジア域を対象に、我が国との関係を水循環の観点から考究する研究を、戦略的創造研究推進事業「社会変動と水循環の相互作用評価モデルの構築」(CREST、平成 13～18 年度)の枠組みで国土交通省国土技術政策総合研究所、特率行政法人土木研究所、ICL とともに実施した。これは、①我が国およびアジア諸国の社会変動が河川流域の水循環、国際的な水資源循環・収支に及ぼす影響を予測するモデルを構築するとともに、②アジアの淡水資源の利用可能性とリスクを科学的定量的に評価・予測し、③我が国の水(食料、産業)政策、国際貢献戦略の持続可能な将来像を明らかにしようとするものである。寶は、グローバル COE プログラムの学際・複合・新領域において「極端気象と適応社会の生存科学」(平成 21～25 年度)の拠点リーダーを務めて

いる。これは、地球温暖化等の気候変動によってもたらされる極端気象とそれに起因する水災害、水問題、環境問題に学際的な立場からアプローチしようとするもので、防災研究所、生存圏研究所、理学研究科、地球環境学堂、工学研究科、農学研究科、情報学研究科とともに「極端気象適応社会教育ユニット」を平成 22 年 4 月から学内に設置し大学院連携の教育プログラムを始めるとともに、2つの研究課題、①地球環境変化における大気・水・循環変動の監視・予測に関する理工融合研究、②異常気象及び慢性的気象ハザードへの社会的適応策に関する文理融合研究を推進している。また、寶・山敷は、21 世紀気候変動予測革新プログラム(平成 19～23 年度)項目C「自然災害に関する影響評価」(代表:中北英一教授)に参画しており、気候モデルの出力を利用した洪水・土砂流出、水循環系への影響評価に関する研究にも着手している。

### (3) 災害極値事象の計算機集約型分析による防災計画論

寶は、世界各地の豪雨や洪水などの極値事象のデータを収集し、その頻度、規模を統計的に推定する研究を行っている。その際、jackknife 法や bootstrap 法といったリサンプリング手法によって、元の標本から多数の類似標本を生成してそれらを利用することにより、元の標本を使っただけでは行えない推定値の偏りの補正や推定精度の定量化を行うことができる。このようにして、所定の再現期間に相当する確率水文量(再現確率統計量)を求め、災害防止・軽減のための施設設計や防災計画の基本量とする。この方法は、全国の一級河川、二級河川において標準的な手法として取り入れられている。さらに、寶は、水文量の標本サイズが 100 年以上もの観測年数を数えるほど大きくなってきたことに鑑み、観測データそのものを用いる経験分布と bootstrap 法を組み合わせるノンパラメトリックな頻度解析手法を提案し、この手法に温暖化影響を考慮する方法をも検討している。また、降雨の強度・継続時間・頻度の関係 (IDF 解析)や雨量・継続時間・面積の関係 (DAD 解析)、可能最大降水量 (PMP)、可能最大洪水流量 (PMF) を統計的に推定する手法を考究している。これらは、いずれも起こりうる最大の極端現象や計画を超過する現象を取り扱うものであり、防災計画に有用な手法である。

### (4) 災害監視管理へのリモートセンシング技術の応用

災害が発生する予兆現象や発生・拡大しつつある災害現象を逐次観測・モニタリングすることは被害の防止・軽減のために極めて重要である。人間が直接に立ち入れない場所や、同時に観測・計測が容易にはできない広域の地球表面や大気の状態を把握できるリモートセンシング技術の防災や大気・水循環過程の解明への応用を試みている。近年は、数メートル以下の高空間分解能の人工衛星画像が利用可能であり、センサーの多様化、観測衛星数の増加、観測頻度の増加により、人工衛星リモートセンシングの有用性が高まりつつある。こうした多様なデータを統合的に取り扱い、必要な情報の抽出、各種モデルのパラメタ推定などに活用する研究を展開している。

### (5) 持続可能な社会実現のための国際防災研究戦略

寶・佐山は、科学技術振興調整費・アジア科学技術協力の戦略的推進・地域共通課題解決型国際共同研究「土砂災害等の早期警戒技術のアジア共同開発」(平成19～21年度)を推進した。このプロジェクトの中では、特にインドネシア・ジャワ島の2つの流域において土砂災害の予測モデルの構築と早期警戒技術の研究を行い、現地での災害の防止・軽減に寄与することを目指した。また、山敷・寶らは、地球規模課題対応国際科学技術協力事業 (SATREPS) において、クロアチアとの共同研究「クロアチア土砂・洪水災害軽減基本計画構築」(平成20～24年度)に参画し、土石流の予測や洪水ハザードマップの作成に関する研究を行っている。クロアチアの自然条件を的確に把握し、洪水・土石流などの発生機構を解明し、クロアチアの社会条件を勘案して、これらの異常現象 (Hazard) が災害 (Disaster) を引き起こす過程を明確

にする。さらに、それを基礎として、開発地域や社会的価値の高い地域を対象として土砂災害危険度を評価する技術を開発することを目指している。

京都大学・ユネスコ・ICLの三者で平成15年に開始したUNITWIN研究計画「社会と環境に資する斜面災害危険度軽減」では、斜面災害研究センターと協力して日本を中核とする世界レベルでの研究・人材育成の活動を実施してきた。平成22年11月には、このプログラムを「社会と環境に資するための斜面災害及び水災害危険度管理」として、水災害やリスクマネジメントの分野も取り入れた形でさらに発展させている。

## <大学院総合生存学館時代の研究>

### (1) 災害リスク及びレジリエンスに関する研究

2015年3月に行われた第3回国連防災世界会議(仙台)で参加各国により合意された仙台防災枠組(SFDRR2015-2030)において、4つの優先行動の第1番目が「災害リスクを理解すること」とされた。災害リスクとは何かをまず知って、それを防止・軽減する必要があるためである。 $[\text{災害リスク}] = [\text{ハザード}] \times [\text{暴露}] \times [\text{脆弱性}]$ と表される。ここで、ハザードとは災害原因事象であり、災害の発生機構を知るため地球物理学的アプローチが必要である。一方、暴露は被災しうる人・資産、脆弱性は人や社会の災害に対する備えの有無を表すものであり、人文・社会科学的知見が必要である。このような災害リスクを軽減するためには、様々な工学的あるいは社会的な対策が必要となる。また、いったん被災してもなるべく早く復旧・復興する「レジリエンス」という考え方も重要である。まさに学際的な総合生存学で取り扱うべき課題である。

### (2) 地球環境問題及び気候変動に関する研究

気候変動は、地球上の水・エネルギー循環に大きな影響を与える。豪雨の発生頻度が高まり洪水・土砂災害の危険性が高まる一方、熱波・旱魃による被害も拡大傾向にある。火山噴火や森林火災による大気汚染が人の健康にも影響を与える。こうした広域に波及する災害・健康問題は学際的であり、国際共同研究にもふさわしい。気候モデルによる全球データを用いて熱波、寒波などの広範囲の異常気象を検出する手法を開発し、将来の地球環境と災害の予測を行うことを考えている。こうした地球と人間との関わりを扱う地球人間圏科学の入門書により、日本環境共生学会から著述賞を受賞している。

### (3) 河川と海洋の水循環の高度化

寶が指導学生のTroseijおよび指導教員の山敷・佐山らと共に2017年11月に、Journal of Hydrology誌に発表された論文(Troseij et al.2017, JoffH)は、阿武隈川から仙台湾に放出される河川水がどのように湾に広がり、その結果をリモートセンシング技術により検証した論文で、プリマス海洋研究所、海洋研究開発機構等との共同研究成果であり、京都大学でのプレスリリースのあと、日経新聞等に紹介された。

Josko Troselj, Takahiro Sayama, Sergey M.Varlamov, Toshiharu Sasaki, Marie-Fanny Racault, Kaoru Takara, Yasumasa Miyazawa, Ryusuke Kuroki, Toshio Yamagata, Yosuke Yamashiki(2017). Modeling of extreme freshwater outflow from the north-eastern Japanese river basins to western Pacific Ocean. Journal of Hydrology, 555, 956-970.

1)掲載タイトル「京大、河川から海への水の動き・台風時のモデルを精緻化」掲載新聞名：日本経済新聞

掲載年月日：2017年12月5日

京大ホームページ

[http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research\\_results/2017/171023\\_2.html](http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research_results/2017/171023_2.html)