

河川・海岸分野における異分野技術への期待

天野邦彦

1. はじめに

土木技術は、国土の管理、公共施設の整備や維持管理をより良く行うために発展してきたと言って良いだろう。すなわち、歴史的に見て土木技術は、それぞれの時代における国土や公共施設の状況に照らして必要となった技術を開発し、技術体系の中に取り入れることで発展を遂げてきた。この過程で、従来土木技術と認識されてこなかった異分野技術を土木技術の体系に取り入れることで、発展につなげてきた場合も多いと思われる。

本稿において述べる河川・海岸分野における技術も例外ではない。水理学（河川工学や海岸工学も含む）、水文学、土質力学といった伝統的な土木工学の技術体系が河川・海岸分野における技術の基盤であるが、社会の要請に応えるためには、伝統的土木技術から見ると異分野と思われる技術を必要としてきているし、現在あるいは将来においても変わることはないだろう。本稿では、河川・海岸分野全般を視野に入れ、本分野に対する社会的要請について整理すると共に、異分野技術の利活用について述べる。

2. 河川・海岸分野への社会的要請

2.1 河川・海岸と社会の関わり

異分野技術の活用について議論するため、まず人間社会が、河川・海岸に求めるものは何であろうかということについて考えてみる。河川・海岸は、ともに自然のものであるため、人間社会との関わりは生態系サービスの視点で見ると理解しやすい。ミレニアム生態系評価¹⁾の分類によれば、生態系サービスは、食料、水や原料の「供給サービス」、水量調整、水質浄化、土壌形成などの「調整サービス」、景観やレクリエーション利用などの「文化サービス」、生息・生育場所の提供をする「基盤サービス」の4つに分類される。これら生態系サービスを享受するために、河川・海岸

分野における土木技術は発展してきたといえる。

生態系サービスの概念を土木技術における概念に置き換えると、「供給サービス」は、水資源利用、「調整サービス」は、治水、利水、「文化サービス」と「基盤サービスは」環境保全や親水として整理可能と思われる。このため2章では、生態系サービスの持続的享受という観点から、「治水（防災）」、「利水（水資源）」、「環境」という3分野を挙げるとともに、土木技術が対象とする「土木施設の管理」を加えた4つの分野を取り上げ、これら分野において社会がどのような要請をしてきたか、また現在どのような要請があるのかについて整理する。また、この整理に基づき、異分野技術の利活用が望まれる課題を示す。

2.2 治水（防災）に関する社会的要請

河川・海岸分野における治水（防災）への取り組みは、河川であれば流量増加に伴う河川水位上昇、海岸であれば高潮、高波、津波に伴う海水位上昇による陸域への水の浸入、すなわち洪水による被害（水害）を回避しようとするものである。

水を治め、水害を回避するため、河川・海岸分野における土木技術においては、河川工学や海岸工学が確立され、河川の水の流れや海岸に寄せる波の力学解析、これらの解析に基づく防災施設による制御手法が開発されてきている。また水の動きに伴う土砂移動に関しても同様の開発がなされてきており、現在もさらなる高度化が図られているところである。

しかし、近年の水害発生状況や気候変動による影響に対する懸念などを受け、防災施設の確実な整備に加えて、防災施設により制御しきれない水害に対する備えを行うことで、被害を軽減させる減災への関心と社会的要請が高まっている²⁾。

ヨーロッパに目を移すと、2007年に洪水指令（Floods Directive）が発令され、洪水リスク管理戦略（Flood Risk Management Strategies; FRMSs）の重要性が指摘されている。これは、洪水の防止、被害緩和、準備と共に、洪水時の対応や復旧の戦略の重要性について指摘している。

Seeking for New Technical Frontiers to Develop a Better Framework for River and Coastal Management

Heggerら³⁾は、洪水リスク管理戦略の5類型を表-1の様に整理し、これらを実行に移すために、洪水リスク管理取り決め（Flood Risk Governance Arrangements）を確立することで洪水に対して強靱な街づくりが可能になるとしている。

表-1 洪水リスク管理戦略の5タイプ（Heggerら³⁾）

戦略	概要
洪水防御	堤防、ダム、遊水池や河道改修等による洪水防御（水を人から遠ざける；構造的対策）。主体は主に政府による国、地域レベルでの水管理
洪水リスク防止	事前の地域計画や土地利用政策による洪水被害の回避（人を水から遠ざける）。主体は計画の過程
洪水被害軽減	洪水被害を受ける地域における耐洪水建物の建設など適切な設計による洪水被害の軽減。主体は市民、開発者、水管理者や公共・民間関係者
洪水準備	洪水への準備による洪水被害の軽減。洪水警報システムの開発、危機管理や避難計画の準備、洪水の管理。主体は気象、洪水予報部局、地方や地域自治体。
洪水からの復旧	良好かつ早期の復旧を可能にする。再建設の計画、保険システム。主体は国による災害救助資金、保険会社、被災者自身。

上記の洪水リスク管理戦略は洪水リスクを低減させる上で必要な戦略をうまく整理しており、日本における洪水リスク管理の議論においても利用できる。河川・海岸分野における従来の土木技術は、表-1の最上段に示される洪水防御に資する技術開発が主なものであったが、近年これ以外の戦略に資する技術の必要性が高まってきていると言える。何を持って異分野技術とするかという点と、どのような分野まで視野に入れるかについての議論は残るが、表-1中の洪水準備（洪水への備え）に挙げられている、洪水警報システム開発に必要な気象や洪水予報の技術、危機管理や避難計画などを適切に実施するための技術開発に異分野技術の活用が望まれる。

2.3 利水（水資源）に関する社会的要請

利水に関しては、水資源開発の視点から見ることにする。河川や湖沼に存在する表流水を対象とする水資源開発は、河川流量が多いときに、ダムや湖沼に水を貯留し、貯留しておいた水を、河川流量が低下する寡雨期に補給することで実施する。この補給によって、安定的に利用可能な水資源量が増加する。この増加した水量（新たに利用することが可能になった水量）が開発水量である。

昭和36年に制定された水資源開発促進法によ

り、半世紀以上にわたる施設整備の結果、特に水資源開発の必要性が高かったフルプラン地域においても、予定した開発水量がおおむね達成される見込みである⁴⁾。しかし近年、地震等の大規模災害、急速に進行する水インフラの老朽化に伴う大規模な事故、気候変動による危機的な渇水など、水資源を巡る新たなリスクや課題が顕在化している現状を踏まえ、平成27年3月国土審議会答申「今後の水資源政策のあり方について」において、これまでの需要主導型の「水資源開発の促進」から、リスク管理型の「水の安定供給」へ水資源政策の進化を図るべきとの提言が示され、社会的要請の変化が見て取れる。また、平成29年5月国土審議会答申「リスク管理型の水の安定供給に向けた水資源開発基本計画のあり方」においては、フルプランについて、リスク管理型の新たな計画へ抜本的な転換が必要であることが示された⁴⁾。

利水においては、このリスク管理のための技術開発が異分野に期待される。具体的には気候変動影響も含めた渇水のリスク評価、また水需要予測技術である。

2.4 環境に関する社会的要請

平成9年の改正における河川法の目的への「河川環境の整備と保全」の追加、平成18年の「多自然川づくり基本指針」の通達に続いて、平成29年6月に、「河川法改正20年 多自然川づくり推進委員会」からの提言『持続性ある実践的多自然川づくりに向けて』がとりまとめられた。本提言は、多自然川づくりの課題として、①河川環境の目標設定、②具体的技術と調査から維持管理までの取り組み過程、③人材育成と普及啓発、④持続可能な多自然川づくり、⑤日本の河川環境の将来像の想定を5つを挙げ、それぞれに対応方針を示している。河川環境保全には、総合的な技術が必要であり、土木技術以外の異分野技術の利活用可能性が高い。特に、生態学の知見や種々の環境状態の把握技術の必要性が高い。

2.5 施設管理に関する社会的要請

施設管理においては、河川・海岸分野以外の土木技術におけるものと同様の異分野技術への期待があると考えられる。すなわち、施設の状態把握のために必要な技術、施設を形作るための新素材や新技術などである。これらに加えて、河川・海岸分野特有の異分野技術の必要性としては、広範

围にわたる河川・海岸の状態や形状を把握するための技術が挙げられる。

3. 異分野技術の利活用

3章では、2章で述べた異分野技術の利活用が期待される課題について、気象関連技術、人の行動に働きかける技術、計測技術を取り上げ、今後の利活用への期待について述べる。

3.1 気象関係技術

治水分野において必要性の高い、気象予測に関する技術は、洪水予測、浸水予測に不可欠であるほか、将来計画を立案する上で必要な気候変動予測もつかさどるものであり、河川・海岸分野において大変重要な異分野技術といえる。また、広範囲にわたりすでに多く利活用されている点においても特筆すべき分野である。

河川・海岸分野においては、流量や水位の変動が治水・利水・環境すべての面において管理の基本である。この変動は基本的に気象変化（風雨）により駆動されるため、短期（数日程度）、中期（数ヶ月程度）、長期（数年～数十年）にわたる気象（気候）予測技術への期待は極めて大きい。

短期予測の重要性は、洪水や高潮予測の精度が、気象観測と予測の精度に全面的に依存していることから理解できる。国総研において開発され、今後全国一級河川における洪水予測に利用される予定の洪水危険度情報プラットフォーム（水害リスクライン）⁵⁾や都市域を対象としたリアルタイム浸水予測システム⁶⁾においては、実績降雨量に関して、レーダ雨量計の測定値を使用すると共に、高解像度降水ナウキャスト等の降雨予測を利用し河川水位や浸水予測を行っているが、これまでの検証結果からも、これらの精度が気象予測の精度によるところが大きいことが示されている。

予測精度向上の一つの方法として、アンサンブル予測手法がある。これは、初期値などに含まれる誤差に伴う予測結果の相違を検討するために、数種類の異なる初期値等を与えた複数の予測を実施することで、予測のばらつきや平均を求めるものである。図-1に計算例を示すが、実測値は、予測の幅にほぼ収まっている。また、アンサンブルの平均を実測値と比較すると、予測は大きく外れていないことが分かる。今後、このような技術が発展することで、予測誤差を定量的リスクとして

適切に捉えることが相当程度可能となり、洪水や濁水リスクを低減させるための対応（より良い貯水池運用等）が向上することが期待される。

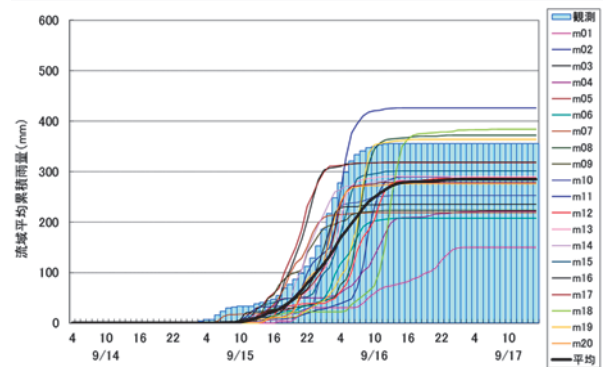


図-1 アンサンブル予測雨量の計算例

中期予測の重要性は、濁水リスクの評価を考えると理解できるし、長期予測に関しては、その信頼性は、気候変動への適応を検討する上で不可欠のものである。今後とも気象予測を含めた気象関係技術の利活用は大きく広がると考えられ、期待はさらに高まっていくだろう。

3.2 人の行動に働きかける技術

平成30年7月豪雨は、甚大な被害をもたらすと共に、大雨や洪水に関わる予警報の発令が必ずしも住民の避難行動につながらないという課題を残した。その原因として、予警報などの情報の的確性、住民が有する正常性バイアスの存在など、種々の原因が指摘されている。大規模災害が多発し、今後も増加する可能性が高いとされている現在、災害時の危機管理、特に避難行動の適切な実施は非常に重要である。災害に関する情報を、減災につながる住民の的確な行動につなげるために何をすべきかが、強く問われている。

この問いへの回答につながる期待の一つとして、新しい学問領域であるソーシャル物理学の利用が挙げられる。ペントランド⁷⁾は、人々の行動に関するビッグデータと社会科学理論を利用することで、アイデアの流れがどのようにして行動へと結びついていくのかについて研究し、新しく価値のあるアイデアを探す「探求」の過程と、仲間同士のグループ内で発生する社会的な学習を意味する「エンゲージメント」を通じて、人々の行動が変化しうることを示している。

また、人間はアイデアを処理する機械のように、自分が考えたアイデアと他人の行動から得られた社会的学習を結びつけていると指摘し、その成功

は、探求行為の質に大きく左右されること、探求行為の質は、情報やアイデアの源がどれほど多様で、他から独立したものが含まれているかに大きく左右されるとしている。

さらに、新しい習慣を身につける確率は、その習慣を持っている人との接触の量や、その人との社会的絆の強さに左右されると指摘する。人間が行う継続的な探求行為は、周囲の集団において顕著に広く普及している行為からすばやく学習するという過程であると共に、模範となる行動に何度も接することで、コミュニティの中で共通の習慣を築き上げると結論づけている。ペントランドの社会実験とそこから得られた結論は、避難行動の社会実装に対する重要な示唆を与えるものであり、その応用が期待される。

3.3 計測・監視技術

河川・海岸の状態をそれらの管理施設も含めて計測・監視する技術は、環境保全や維持管理の観点から、その発展が強く望まれるものである。施設管理のための計測・監視技術については、本特集において多く紹介されることと思われるので、ここでは、比較的安価に海岸線位置の計測を行うことが可能なSAR（合成開口レーダ）衛星画像の活用について、紹介する。SARは、対象に向かってマイクロ波を照射し、対象からの後方散乱を受信するセンサで、陸地と海面の粗度の違いから生じる後方散乱特性の違いを利用することで、陸と海の境界である海岸線を抽出することが可能である。河川砂防技術研究開発公募に採用され東京大学により開発され、今後、総延長3万kmを超える全国の海岸線を対象に、多大な労力やコストを必要とせず、海岸侵食による変化を広域的・長期的・高頻度に監視する技術として実用化される予定である⁸⁾。

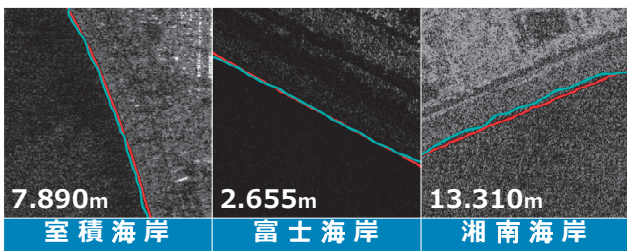


図-2 抽出した海岸線（青線）と実測の海岸線（赤線）との比較（数字は岸沖方向の平均誤差）

4. まとめ

河川・海岸分野から見て期待が大きい異分野技

術として、水位・流量の変化を正確に予測するための気象関係技術、危機管理の側面から適切な行動を喚起するための社会物理学、環境を含めて広範囲の状態を把握するための計測・監視技術を挙げた。これらの他にも、環境保全のために、より客観的な技術として確立が望まれる生態学の分野や、政策の妥当性、公平性や責任について説明するために必要な経済学、社会学などにも視野を広げ取り入れることで、より良い河川・海岸政策を実現していく必要がある。ペントランド⁷⁾は、「最良のアイデアを持っているのは最も賢い人だと思えるかもしれないが、実際はそう単純ではない。最良のアイデアを持っているのは、他人のアイデアを最もよく取り入れることのできる人なのである。」と述べている。けだし名言である。

参考文献

- 1) Millennium Ecosystem Assessment編、横浜国立大学21世紀COE翻訳委員会訳、『国連ミレニアムエコシステム評価 生態系サービスと人類の将来』、オーム社、2007
- 2) 天野邦彦：水害リスク低減に向けての研究開発、土木技術資料、第59巻、第12号、pp. 6～7、2017
- 3) Hegger, D., Driessen, P., Dieperink, C., Wiering, M., Raadgever, G., van Rijswijk, H., Assessing stability and dynamics in flood risk governance An empirically illustrated research approach, *Water Resour Manage*, 28: pp. 4127-4142, 2014.
- 4) 国土交通省水管理・国土保全局水資源部、平成30年版 日本の水資源の現況、2018
- 5) 土屋修一、川崎将生：洪水危険度の見える化に向けた河川縦断水位の把握・予測技術の開発、土木技術資料、第59巻、第12号、pp.14～17、2017
- 6) 三好朋宏、小林正和、板垣修：都市の浸水被害軽減に向けた洪水予測システムの開発と社会実験、土木技術資料、第59巻、第12号、pp.18～21、2017
- 7) アレックス・ペントランド、小林啓倫訳、ソーシャル物理学：「良いアイデアはいかに広がるか」の新しい科学、草思社、2015
- 8) 加藤史訓：海岸侵食の広域的・長期的把握のための衛星画像を利用した海岸線モニタリング技術の実用化、土木技術資料、第59巻、第12号、pp.18～21、2017

天野邦彦



国土交通省国土技術政策総合研究所
河川研究部長、博士(工学)
Dr. Kunihiko AMANO

