

水災害に対する 防災技術の転換の必要性

井上 素行
客員研究官

鴨川 慎
安全・システムユニット

1 はじめに

我が国は、地震や火山活動が活発で、急峻な地形に脆弱な地質が分布している。さらに、台風や前線、低気圧によって激しい降雨や高波・高潮が発生するなど、地域ごとに様々な水災害が発生しやすい条件を有している。高度成長期には、産業の発展と人口の急激な増大を支えるために膨大な社会インフラが整備され、水災害の脅威を構造物の力で抑え込む防災対策を行ってきた。その結果、中小規模の洪水などに対する水災害は減少したが、その一方で、河川の氾濫原や海沿いの低地、急斜面や崖下など本来危険である場所に市街化が進展する結果となった。このような危険領域における高密度の土地利用は新たな水災害リスクを増大させている。

2011年9月には大型で強い台風第12号が四国に上陸し、四国から北海道にかけて長時間にわたる降雨をもたらした。近畿地方で

は総降水量が1,800 mmを超えるなど、各地で観測記録を更新する記録的な大雨が降った¹⁾。これにより、土砂崩れや堤防越流による住宅、鉄道などの被害が発生し死者・行方不明者は94名に達した²⁾。

海外ではタイ国でチャオプラヤ川が長期間にわたる大雨によって氾濫し、600名を超える死者・行方不明者が発生するとともに、多数の工業団地が被災してサプライチェーン寸断の影響が世界中に波及する大きな経済的な被害が発生した³⁾。日本の経済的ダメージは、大震災にも匹敵するとも懸念されている。

自然は私たちの日常の暮らしに豊かな恵みを与えてくれているが、社会の自然とのかかわり方によっては時には大きな脅威となって襲いかかってくる。今後はさらに、地球温暖化に伴う気候変動によって異常気象の発生が危惧されるようになっている。このような

中で、巨大な水災害の脅威に対して、地域の安全を堤防などの線を守る従来型の防災の考え方だけでは限界にきており、水災害に強い地域社会づくりのための新たな防災・減災技術が求められるようになっている。第4期科学技術基本計画においても持続可能な自然共生社会や循環型社会の実現、豊かな国民生活の実現を目指して、社会インフラのグリーン化の施策として「気候変動や大規模自然災害に対応した、都市や地域の形成、自然環境や生物多様性の保全、森林等における自然循環の維持、自然災害の軽減、持続可能な循環型食料生産の実現等に向けた取り組み」が求められている。

本稿では、洪水^{注1)}・高潮^{注2)}などの水災害の脅威に対して、近年の防災技術の動向を紹介し、日本の水災害の防災について考え方の転換の必要性を述べる。

注1) 洪水：大雨や融雪などを原因として河川流量が異常に増大する現象。

注2) 高潮：気圧の低下や風による吹き寄せなどの気象上の原因で、潮位が平常時より著しく高くなる現象。

2 水災害に対して脆弱な日本の国土

2-1

地域社会と水防災の 関係の変遷

(1) 洪水氾濫を発生させない防災 事業の進展と氾濫原への人口・資産の集中

日本では明治以降、政府による日本国としての統制が整い、河川を直線化して洪水を流しやすい構造にするなど西欧技術による治水対策が積極的に取り入れられるようになった。しかし、第二次世界大戦が終了した1945年、敗戦直後の日本の国土は山林が過伐によって荒廃し、また堤防の保守も不十分で水災害に対して非常に脆弱であった。カスリーン台風（1947年）などによる千人以上の死者を出す甚大な被害が頻発し、水災害に強い河川を作ることは当時の国民の悲願であった。その後、川の安全度を高めるための河川堤防の強化とともに山地の緑化や砂防工事が積極的に進められた。

一方、戦後以降、急激な人口の増大と経済成長を支えるために本来危険領域である氾濫原などの低平地が急速に都市化されていった。水災害の脅威を抑え込むために砂防堰堤・ダム・堤防・護岸・斜面補強などの防災構造物の強化による対策が計画的に、あるいは被災に伴う災害復旧工事として実施され、防災施設の整備が土地の高度利用を支える役割も果たした。その結果、中小規模の洪水などによる水災害の死亡者数は大幅に減少した。皮肉なことに、構造物によって力で抑え込む防災は、本来の危険領域にさらなる人口増加や資産集積とともに住民の防災意識の低下をもたらした。現在で

は、国土の約10%を占める氾濫原に日本の人口の約50%、資産の約75%が集積されている。このため、施設の設計で想定している規模を超える異常事態が発生した場合はその地域に途方もない被害をもたらす危険を内在している。

生活環境や社会的変化に伴って増大しているリスクにも目を向ける必要がある。近年では治水施設の整備に伴って洪水による浸水面積は低下する傾向にあるものの、水害の被害合計額および浸水面積あたりの被害額は年々増加している。また、地下水くみ上げによる地盤沈下で拡大した海拔ゼロメートル地帯の密集市街地や地下空間への浸水などの新たな都市型の被害も発生している⁴⁾。

かつては、それぞれの地域の自然環境や社会の特徴と長年にわたる災害経験に基づいて、流水が堤防を越える大洪水時でも、人命を守るために、氾濫場所を誘導する野越しや二線堤、氾濫流による被害を軽減するための河畔林などの土地利用による伝統的な減災技術、自衛の水防組織が機能していた。しかし、現在は、防災施設の整備と土地利用の高度化により、それぞれ異なる組織での管理体制と、横断的な検討が行われない状態が進行している。この結果、実効性のある土地利用の規制制度も存在せず、むしろ、従来は人が住まなかった危険な斜面や溪流出口付近、海岸の傍まで家屋が建てられるようになり、新たなリスクの増大が生じている。

我が国の河川の治水施設の整備状況は、当面の目標である中小河川における5~10年に1度程度発生する洪水（5~10年確率洪水）および大河川における30~40年確率の洪水に対して、現在でも

60%程度にとどまっている⁵⁾。

(2) 環境への負の影響

大規模な防災対策の進展に伴い、環境に対して大きな負の影響を与える様々な状況も見られるようになってきている。

山間地では砂防堰堤やダムなどによる魚の遡上阻害が生じている。また、洪水中に含まれている流砂を遮断するとともに河川流量を平滑化させたことによって、自然河川のダイナミズムが失われ、下流河床の粗粒化・固定化による動植物の生息環境の劣化、堤防や橋脚の洗掘とこれに伴う河川敷での砂利資源の採取規制、貯水池の富栄養化や洪水後の河川の濁水長期化による水質の悪化現象などの負の影響が生じるようになってきている⁶⁾。

また平野部では、洪水時の水の流下能力を上げるために河川が直線化され、河床が掘り下げられた結果、川沿いの低湿地が減少し、洪水時の氾濫の制御・水質維持・地下水の涵養・動植物の生存環境・レクリエーション場としての自然豊かな水辺環境が失われている。また、稠密な都市域では鉛直壁のコンクリート護岸が設置され、また、蓋渠で河川が覆われるなど、水辺の景観が悪化している。

河口や海岸部では、治山・治水事業の進展などに伴って海岸への砂の供給が減少し、また突堤等の大型の海岸構造物の築造などによって沿岸方向の流砂の連続性が阻害された結果、干潟や砂礫浜の侵食が拡大している。これにより、高波を減衰させる防災機能が低下するとともに、海水の浄化作用や仔稚魚の成育環境も劣化させている⁶⁾。海岸線の侵食に対する人工構造物による対症療法的な対策工

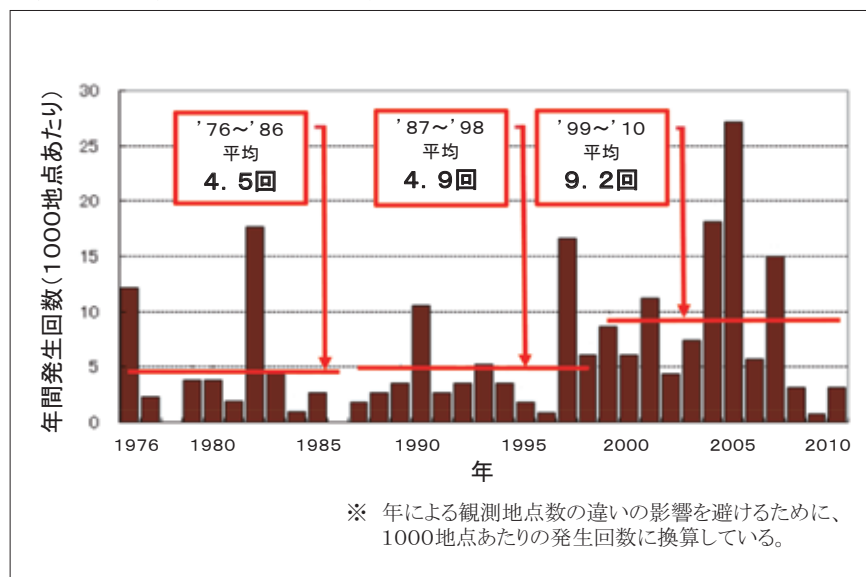
法は、近隣領域の海岸侵食を促進する懸念を有している。海岸線では、日本の海岸約 35,000 kmのうち約 9,500 km に海岸保全施設が整備されており、高潮や高波などから人命や財産を守る役割を果たしたものの人工海岸の増加に伴って自然景観は大きく損なわれている。このような膨大な人工構造物による対策は、将来にわたる維持・更新のコスト負担を海岸線を保全する自治体に与えている。

2-2

近年の異常気象の発生

近年、激しい降雨や長時間にわたって降り続ける異常な降雨の発生が確認されるようになってきている。気象庁の集計によると、1 時間降水量 50 mm 以上の非常に激し

図表 1 日降水量 400mm 以上の年間発生回数



参考文献⁸⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

い降雨の年間発生回数はこの 30 年間で約 1.5 倍に増加している⁷⁾。また、日降水量 400 mm 以上の大雨については約 2 倍に増加している⁸⁾。

次章で述べるように、将来は地

球温暖化に伴う気候変動によって熱帯低気圧が強まり、海水面の上昇により押し寄せる波高の増大をもたらし、水災害が拡大すると懸念されている⁵⁾。

3 自然と共生する社会の防災技術の動向

3-1

防災・減災の考え方の転換

従来の水災害対策は、過去の被害状況等を基に概ね既往最大クラスを計画規模として設定し、その計画規模までは防災施設によって氾濫しないように防御することを目標として計画が立案された。しかし、少子高齢化に伴う社会保障費等の増加、国や地方自治体の多額な長期負債およびこれまでの社会資本ストックの維持管理費等の増大により建設投資額は減少しつつある⁹⁾。一方で、地球温暖化に伴う気候変動によって従来以上に大雨の多発や台風の強大化が懸念されるようになってきている。

近年は、極めてまれにしか発生

しない異常現象に対して防災施設の力で氾濫をふせぐこれまでの考え方は、対応力・コスト・環境面から限界にきてしていると認識されるようになってきている。そこで、地域住民の生活支援や活力の維持、地域や流域の環境の改善、人と自然の共生による生物多様性の維持・向上が求められる時代の流れに合わせて、国土形成計画の制定や都市緑地法の改正などにみられるように、水災害に強いしなやかな国土形成を、地域の暮らしや環境の保全・再生とトータルで図ろうとする方向へ転換されつつある(図表 2)。今後は、氾濫が生じた場合でも被害を最小限に抑える減災の考え方を導入することと、地域・流域全体の土地利用や環境の保全・再生と一体的に取り組むことが求められるようになっていく。

3-2

考え方の転換に対応する調査と研究動向

3-2-1 異常災害事象や被害に関する調査および予測

(1) 異常災害事象の調査

1) 異常降雨

気候変動に関する政府間パネル第 4 次報告書 (IPCC AR4) に示された中位のシナリオ (A1B シナリオ) に基づいて、100 年後の日本の年最大日降水量の変化を試算すると 1.1~1.5 倍になる。この降水量の変化によって、現時点で 200 年に 1 度程度発生する恐れのある洪水は 90~145 年に 1 度程度に、100 年に 1 度程度の洪水は

図表2 地域・流域で総合的に取り組む防災や環境の保全・再生に関する法律・計画とその実施状況

法 律・計 画	内 容
国土形成計画（全国計画・2008年）	「災害に強いしなやかな国土の形成」を目指し、地球温暖化によるリスクの増大に対して、今後の本格的な人口減少により生じる国土の余裕空間を好機としてとらえた災害に強い国土構造に再構築。地縁型コミュニティ、個人、NPO、企業、教育機関や行政等の多様な主体が協働して、地域住民の生活支援や活力を維持していく地域づくりに取り組む。
都市緑地法（2008年改正） 緑地の保全及び緑化の推進に関する基本計画	市町村における「緑の基本計画」において、「都市の緑がもつ環境保全機能」「レクリエーション機能」「延焼遮断帯、緊急避難、洪水の調整や遊水機能などの防御機能」や「景観構成機能」を踏まえた緑地の保全や緑化の推進計画を例示。
生物多様性基本法（2008年）	「生物多様性国家戦略2010」では、2050年までの中長期目標として、人と自然の共生を国土レベルや地域レベルで広く実現させて、生物多様性の状態を現状以上に豊かにする。
第3次環境基本計画（2006年）	「環境保全上健全な水循環の確保に向けた取り組み」が重点分野政策プログラムとして位置付けられ、流域全体を視野に入れる必要性が示されている。「水質」、「水量」、「水生生物」及び「水辺地」の4つの項目で目標が定められている。
水防法（2005年改正）	大河川とともに主要な中小河川についても、市町村は洪水氾濫による浸水想定区域の指定を行うとともに、洪水予報等の伝達方法や避難場所などをハザードマップ等によって住民へ周知することが義務付けられている。
特定都市河川浸水被害対策法（2003年）	著しい市街化による都市型水害に対して、従来の河川や下水道整備に加え、透水性道路舗装、宅地内の雨水浸透ますや開発区域の雨水調節地の設置などによって流域の保水・遊水機能を向上させる流域全体での治水対策について定められている。
自然再生推進法（2002年）	過去に実施された事業や人間活動等により喪失した河川、湿原、干潟、藻場、里山、里地や森林などの自然環境を取り戻すことを目的とする。本推進法に基づいて、釧路湿原での蛇行河川の再生など、全国22地域（2011年3月現在）で取り組みが進められている。

科学技術動向研究センターにて作成

25～90年に1度程度に増加すると予測される⁵⁾。

2) 海面上昇

最大風速45 m/sを超えるような非常に強い熱帯低気圧の出現頻度が、今後増大すると予測されている¹⁰⁾。海面上昇が将来59 cm上昇した場合、東京、大阪、名古屋のゼロメートル地帯の面積と対象人口は約5割増加すると見込まれている¹¹⁾。台風の激化に伴う気圧低下による海面水位の上昇や風による吹き寄せの増大も加わると、高潮による災害や海岸侵食のリスクはさらに高まる⁵⁾。

3) 地域的な水災害

例えば信濃川水系千曲川流域では、遺跡の発掘調査資料と氾濫流の数値解析に基づいて、縄文時代以降の河道と堤防の変遷を考古学、地質学、河川工学などの様々な分野の研究者が協働で調査した。その結果、氾濫の痕跡などから氾濫の範囲や河川流量の規模、河川沿いの自然堤防などの微高地を巧みに利用して河川の恩恵を受けつつ洪水の脅威を避けて生きた

先人の暮らしの消長がわかってきた¹²⁾。

4) 地震と洪水の複合災害

例えば江東デルタ地帯は軟弱地盤であり、かつ海拔ゼロメートル地帯となっている。地震時に地盤が液状化して堤防が損傷した後に洪水や高潮が発生すると、密集市街地の広範囲に氾濫水が流入して、高齢者などの弱者に甚大な被害が発生する可能性がある。堤体の液状化現象の詳細なメカニズムの解明と照査手法などの開発が必要と考えられている¹³⁾。

(2) 氾濫の被害想定

1) 首都圏で想定される河川氾濫災害のシミュレーション

仮に利根川が1947年のカスリーン台風と同じような場所で決壊した場合、氾濫流は48時間後には東京都まで達し、江戸川区や葛飾区などでは14日以上浸水が継続と予測される。予想される被害は、死者約2,600人、浸水家屋約86万世帯で、広域のライフラインにも深刻な被害が発生すると予測される。仮に東京都や埼玉県を流れる

荒川が東京都北区志茂地先で決壊した場合、東京都の荒川区・板橋区・台東区・中央区などで約110 km²が浸水し、死者は約2,000人に上る。氾濫水が地下鉄に浸水した場合、堤防決壊から72時間後には、地下鉄路線網全22路線130駅のうち、17路線97駅が浸水すると予測される¹⁴⁾。

2) 高潮災害

前述のIPCC AR4の中位シナリオ条件に基づく伊勢湾における高潮・高波のシミュレーションでは、100年後には台風の巨大化によりこれまでの最悪条件と考えられていた伊勢湾台風（1959年）時の名古屋港地点の潮位偏差3.5 mを大きく上回る、最大で6.9 mに達する高潮により、中部国際空港が浸水すると予測される¹⁵⁾。

3-2-2 氾濫原の減災

1) 氾濫原における減災対策とその評価

従来のように防災・減災の主眼を治水施設の安全度に置くのではなく、氾濫地の地先の安全度に着目して人的被害・物的被害の両面

から評価して減災対策をとるようになりつつある。例えば流域のダムや堤防の対策だけでなく、氾濫原での対策を組み込んで、減災効果を定量的に評価するモデルの開発が行われている。実際の対策実施には長期間を要するため、このモデルでは事業の実施順序についても考慮している¹⁶⁾。

2) 洪水時の保水・遊水機能

例えば、水田地帯で排水のために設置されている農業用排水ポンプの規模は、一般的に10年確率規模の洪水を想定して決められている。一方、排水先の河川の施設計画は100～200年確率の洪水を対象としており、農業用排水ポンプの能力を超える水田への洪水時の流入量は、田面等に貯留されて流域の保水・遊水機能を発揮する。このような観点から、様々な土地利用条件や洪水規模に対する水田がもつ治水機能の有効性について検討されている¹⁷⁾。

3) 水災害リスクマネジメントのガイドライン

世界工学団体連盟(WFEO)では、洪水、高潮などによる水災害が世界で急増していることをふまえて、これまでに蓄積した考え方や経験知を体系的に取りまとめている。災害リスクの軽減にあたっては自然環境や景観への影響が少なく維持管理が容易な方法を用いるなど、安価で持続可能なもの

となるように工夫が必要としている。このうち、防災施設による対応については平常時にも多目的に活用できるように付加価値を向上させることや自然が元来有している遊水機能や洪水調節機能を積極的に活用するなど、また氾濫原の管理については流域スケールで管理し、危険度に応じた土地利用等の規制、氾濫流の勢いの抑制や誘導、拠点防御などが必要であり、野越しや輪中堤など日本の伝統的な対策技術の今日的意味に注目している¹⁸⁾。

3-2-3 研究成果を生かした国内の対策例

(1) 河川での湿地再生による遊水機能の確保¹⁹⁾

佐賀県では、治水対策と環境再生の一体的な取り組みとして、自然再生推進法に則った「松浦川アザメの瀬自然再生事業」を実施した。この事業は、「かつての松浦川流域にあった氾濫原的湿地の再生」と「人と生物のふれあいの再生」を目指して2002年に着手した。

住民・NPO・学識者・国土交通省・相知町による「アザメの瀬検討会」が組織され、事業計画が策定された。学識者からは氾濫流の挙動、湿地の生態系、景観などに関する研究成果が提供された。国が治水対策のために取得していた約6haのアザメの瀬地区を、松浦川の平水位程度まで掘り下げ、湿地を再生した。河川沿いに

は河畔林を形成し、現地の土壤に含まれるシードバンクを用いて湿地の植生を復元させるとともに、昆虫・魚類などの生息・産卵場や洪水時の避難場所などの環境を整備した。洪水時にはこの場所に氾濫させて、河川流量を調節する遊水地としての機能を持たせるようにした。地盤が低いことから、湿地環境が維持され、繰り返してこってきた氾濫のリズムを再生させるようにしている。

(2) 築磯再生による魚場の造成など海岸環境の再生・保全と防災機能の確保

津軽海峡に面した青森県下北半島の木野部海岸は、昭和30年代までは自然が豊かで地先の磯浜には様々な生物が棲み、沿岸の漁業も盛んであった。その後、漁港や様々な海岸防護の構造物の整備が行われたが、磯浜は失われ漁獲が減少して行った。地域の人々は昭和30年代の写真を掘り起こし、何とかしてかつての命あふれる豊かな海を取り戻したいと考え、住民・NPO・海岸関係の専門家・青森県や大畑町の行政が参加する懇話会が開催され真剣な議論が重ねられた。地域の人々の経験知を活かし、また、専門家は海浜の生物環境や海岸侵食などの研究成果を提示して、一つひとつ合意しながら防災機能を併せ持つ磯浜の再生事業計画がまとめられた。この計画に基づき、海岸線を防護して

図表3 佐賀県松浦川における遊水機能を備えた湿地の再生(断面図)



参考文献¹⁹⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

いた傾斜護岸のブロックを解体・撤去して沖合の基礎マウンドに転用し、その上に大きな置石を不規則に配置した築磯が2003年に完成した(図表4)²⁰⁾。

環境再生を考慮したこのような既設護岸の再構築は、当時の海岸事業としては異例であったが、関係者の熱意と協力によって実現した。結果として消波や沿岸流の流速を抑える効果によって海岸には砂浜が広がるとともに、豊穡な時代の磯浜の景観が復元し、岩海苔やアワビが取れるようになった。2004年1月および2006年10月に異常低気圧による高波が発生し、離岸堤や漁港の突堤コンクリートなどの構造物に大きな被害が生じたが、この築磯は消波機能を発揮した。

築磯は時間とともにその状態が変化する柔らかい海岸土木技術である。地形の変化、波浪の減衰、生物の生息状況などの効果を確かめるために、地域の人たちによって自主的に継続的なモニタリングが行われている。

また、大分県の中津干潟では、防災護岸の設置に際して、地域住民からの干潟保護の要望に応えるために、生態系や海岸防災に関する知見を有する学識経験者が協力して、従来の水際ではなくて集落近傍の陸地内にセットバックさせている。生態系豊かな自然干潟や

背後にある小砂丘、湿地帯や海岸林を保全し、これらによる自然の波の減衰機能を維持するとともに、集落近傍に小さな堤防を設置することによって集落を防護している²¹⁾。

(3) 既存のインフラ施設を利用した流域にまたがる環境および防災対策

1) 森林の保全とダム改造を組み合わせた流砂系改善

宮崎県の二級河川の耳川では、2005年の台風によって流域の斜面がいたるところで崩壊して大量の土砂がダムに流入した。これによってダム上流域の河床が上昇して地域に浸水被害が発生するとともに、発電所にも大きな被害が発生した。これに対し、河川管理者・地域の代表者・市町村の自治体・ダム事業者・学識経験者が協力して、森林保全による土砂流出の抑制とダムの大幅な改造を行って、将来にわたって持続的に土砂をダムから流下させるシステム作りを2009年に開始した。学識経験者は森林保全や河川工学、海岸工学、生態系の保全と再生に関する様々な研究成果を提供するとともに、各種検討会においてリーダー的な役割を担った。ダム上流域の水害防止と水力発電の持続、下流河川の河床環境の再生、および海岸侵食の防止を同時に実現さ

せる計画である²²⁾。

2) ダム再編事業などによる既存ダムの総合的活用

静岡県得天竜川では佐久間ダムに大量の土砂が堆積し、この影響で遠州灘では激しい海岸侵食が進行している。ダム再編事業では、利水専用の佐久間ダムの堆積土砂を排砂する恒久的な堆砂対策を行うとともにダムに治水のための容量を確保して、下流域の治水安全の向上と将来にわたる発電機能の維持、海岸侵食の抑制を統合的に行う試みが2009年から進められている。洪水調節容量の確保の方法、土砂移動の連続性の確保の方法、排砂に伴うダム下流河道、海域の自然環境変化等に関する検討が専門家によって行われている²³⁾。

また、既存ダムの性能向上を図りさらに有効に活用するための研究が行われている。ダム流域における洪水の流出特性に着目し、洪水が到達する前に貯水池水を事前に放流することによって、より大きな治水容量を確保し、ダムの洪水調節能力を向上させようとしている。このような研究が進むことにより、従来夏期に空虚にしていたダムの洪水調節容量を平常時には水力エネルギーや水道用水等の利用拡大、環境放流などにも有効に活用できるようになる²⁴⁾。

図表4 木野部海岸における防災機能を備えた築磯の再生
(写真中央、海岸のやや沖合に岩が点在している箇所が築磯である)



参考文献²⁰⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

3) 海岸部における流砂の連続性の回復

静岡県得天竜川の河口に近い福田漁港では、港湾機能の維持と海岸侵食を抑制するために、パイプラインによる恒久的なサンドバイパスシステムを構築し、海岸沿いの流砂の連続性を回復する計画が2007年から実行されている²⁵⁾。

3-3

海外の動向

3-3-1 洪水氾濫の多段階制御の事例²⁶⁾

欧米では、構造物による防災対策は、環境へのダメージやコスト面から限界があると考えられるようになってきている。そのため、減災のための様々な管理システムの制

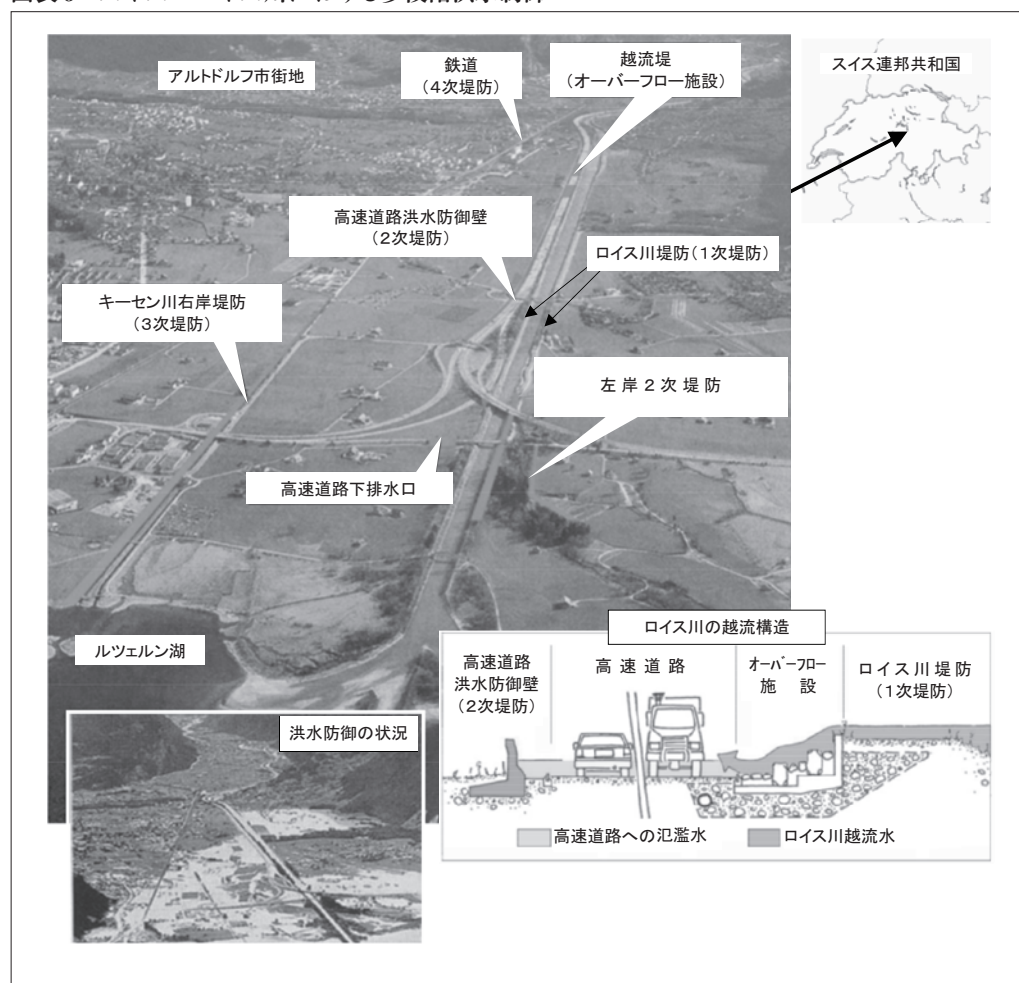
度化において、地域の土地利用や建築規制などの対策と構造物対策とのベストミックスの議論が行われている。氾濫原での土地利用がすでに高度化している我が国では、実行にあたって困難な課題もあるが将来社会の自然と共生する減災を検討する上で参考にすべきと考える。例えばライン川水系ロイス川（スイスのルツェルン湖に注ぐ河川）では、ロイス川とルツェルン湖の合流付近にあるスイス・ウーリ州の州都アルトドルフ市の水害防御のために、土地利用に応じた治水安全度が設定され、河川堤防や道路等を利用した多段階の洪水対策が行われている。ロイス川の堤防は第1次防御として50年確率洪水規模までの出水を流下させる。50年確率を上回る出水があった場合は、ロイス川と平行する高速道路を通行規

制した後に越流させる。高速道路の洪水防護壁の高さは250年確率規模まで対応し、これが第2次防御となっている。仮に250年確率規模を超える氾濫水がある場合には高速道路と隣接するキーセン川との間の農地で貯留する。キーセン川の河川堤防はロイス川の第3次堤防として位置づけられている。これを上回る1000年確率の氾濫水に対しては、その外側に位置する鉄道の連続盛土によりアルトドルフ市の人口密集地を防御することとしている。

3-3-2 タイの総合治水対策とチャオプラヤ川水害

タイの首都バンコクは、流域面積16万3000km²を持つチャオプラヤ川の下流域に位置する。近年、バンコクは人口増加や経済成長に伴い浸水の激しい低地が市街

図表5 スイス・ロイス川における多段階洪水制御



参考文献²⁶⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

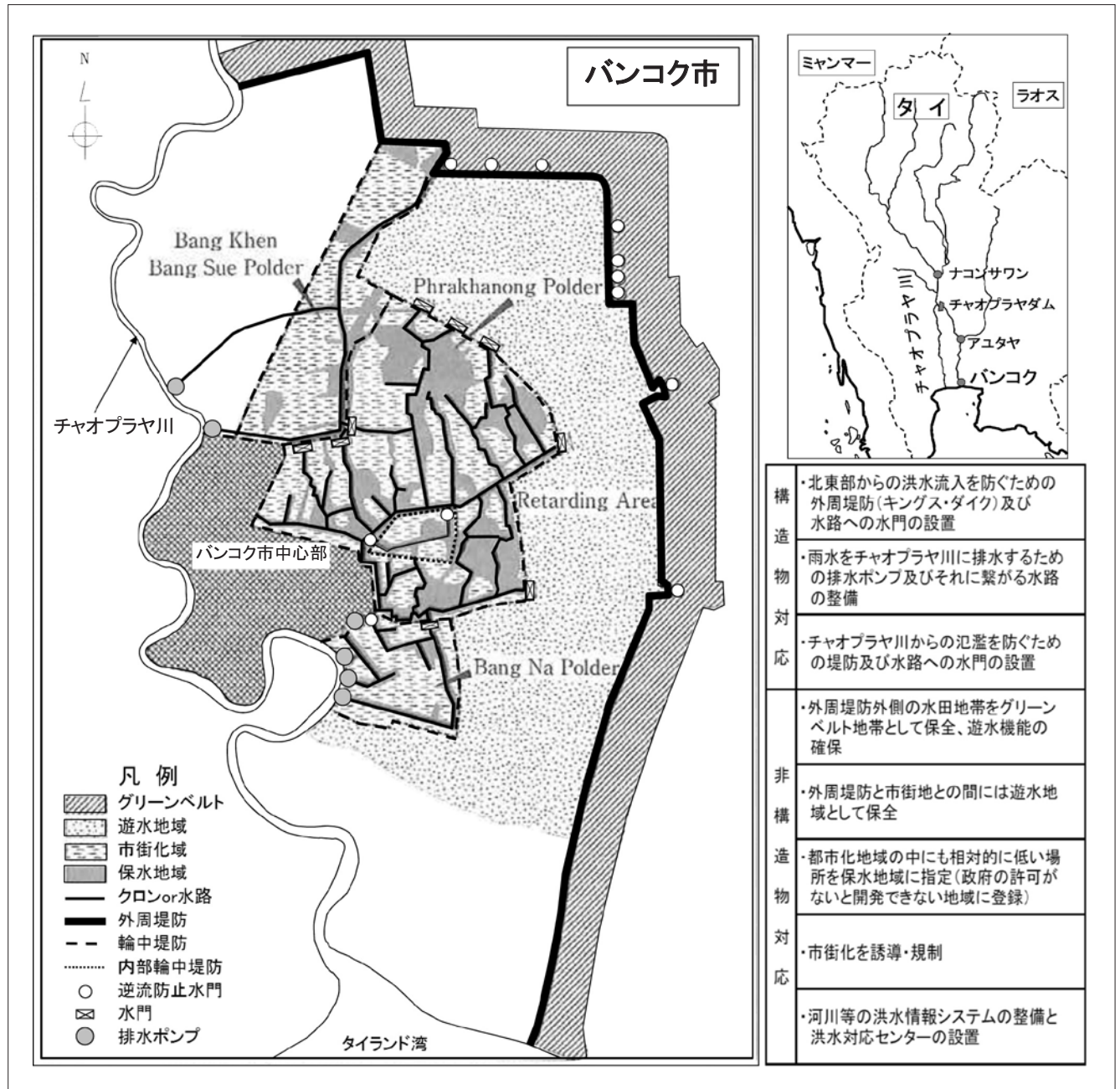
化され、また、地下水の過剰な汲み上げによる急激な地盤沈下が進行して、チャオプラヤ川の氾濫による水害が多発して深刻な問題となっている。1983年には首都防衛のためのバンコク首都圏東郊外流域の治水計画をバンコク首都圏庁が策定していた(図表6)²⁷⁾。この計画では東北方向からの氾濫流からバンコク中心部を防御し、その水を東へ逃がすためにバンコク市の北から東方面を囲む外周堤防(キングス・ダイク(王様堤防))を設置し、この外側をグリーンベ

ルトとする。また、外周堤防の内側に第二の堤防を設け、その間を遊水地域として保全する土地利用規制が盛り込まれていた。さらに、バンコク市内の内水排除のため排水ポンプや水門などを整備するとともに、既成市街地においては、浸水の恐れのある低地を保水地として登録し、この地区での開発は政府の許可が必要とされていた。しかし、2006年に発生した軍事クーデター以降の政情の混乱や急激な都市化に伴う土地利用への圧力もあり、計画通りには実施

されていないといわれている²⁷⁾。

2011年秋、この地域で例年以上の大きな氾濫被害が発生した。2011年5～10月にかけてチャオプラヤ川流域では過去21年間の平均の143%の降雨が発生した。9月上旬頃にチャオプラヤ川の流量は流下能力を超え、ナコンサワからアユタヤの間で越水が始まり、その後、9月中旬から下旬にかけてチャオプラヤダムからアユタヤ間の左岸堤防が8か所破堤した。この決壊により約50億m³以上(総氾濫量の1/4)が左岸氾

図表6 タイ・バンコク首都圏東郊外地域の治水対策



参考文献²⁷⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

氾濫原に流入したと見られている。氾濫水は、決壊から約2週間後の10月初旬にはアユタヤ周辺の工業団地へ到達し、さらに下流域に流れ、7つの工業団地や首都バンコクなどを浸水させた。804社の企業（そのうち、約449社は日系企業）に被害が発生し³⁾、タイ全土で約188万世帯の約505万人に影響が及んだと推定されている。死者・行方不明者は2011年11月現在で609人、農地被害面積は約1.7万km²（関東平野とほぼ同じ面積）に達している²⁸⁾。今後、防災インフラの能力や運用上の問題、氾濫原管理のための土地利用規制の制度と運用、防災情報、警戒避難の仕組み、およびこれらを支える体制面について、詳細な調査が行われると考えられる。

氾濫原の急激な都市化によって人口が集中し、その結果として被害が増大する事例はアジアの各国に共通しており、河川の洪水氾濫以外に、2007年にバングラデシュで死者・行方不明者が4,000人を超えたサイクロン「シドル」²⁹⁾や、2008年にミャンマーで死者・行方不明者が7万人を超えた「ナルギス」による高潮の災害も発生している³⁰⁾。災害調査に基づく教訓を将来の災害の防止に役立てる必要がある。

3-3-3 氾濫原管理の制度化と実施

(1) フランスの制度

フランスにおける洪水防御の基本的な考え方は、「地先防御」である。河川を直線化し、連続的な堤防で防御することは、下流地点の洪水水位や流量を上昇・増加させ、水害リスクを高めてしまうことから、得策ではないと考えられている。自然の遊水地をできるだけ保全することで洪水流量の増大を防ぎ、重要な背後地を抱える区域については、地域的な堤防で守る考え方が制度化されている。氾

濫原における洪水被害軽減対策および超過洪水対策として、洪水予報や洪水危険区域の明確化など、有効な情報提供を充実させ、洪水危険区域（遊水区域）内ではすべての建設が禁止されている³¹⁾。

(2) 英国の制度

英国では水位上昇が急激で大きな被害が生じる高潮への防御が重視されている。ロンドン市内下流部に設置された1000年確率高潮に対するテムズバリア（防護壁）などを除いては、洪水防御目的で築堤を行うことは近年では一般的ではなく、むしろ、河道沿いなどの氾濫原のむやみな開発を規制する非構造物対策が進んでいる。1991年から、水環境の保全とその利用者および関連機関の全体の利益を目的とした、水系単位の「流域管理計画」の策定が進められている。英国の治水事業は、環境を考慮した都市計画が前提となっており、治水事業そのものが環境保全事業の一部と位置付けられている。この計画における洪水防御の内容は、氾濫原の開発規制、洪水に対する流域の安全度調査、洪水予警報、洪水防御施設の維持管理などである。事業の規模については土地利用評価が重視され、その評価をもとに洪水防御戦略やガイダンス等が整備されている³¹⁾。

(3) ドイツの制度

ドイツでは土地利用対策は氾濫原管理の基本であると考えられている。氾濫原の指定とともにそのエリア内での土地利用や建築行為を規制しており、例えばオイルタンクや送配電施設の浸水に対する安全確保のための建築工法の選択なども求めている。老朽化した堤防の点検・改修とともに、土地利用形態の変更によって越流を許容する区域の設定や遊水機能を持つ湿地環境の再生などが一体的に、流域全体にわたって進められている³¹⁾。

エルベ川の例でみると、2002年の洪水被害で浸水被害があった領域の約2倍の面積の遊水区域が指定されており、主要な都市を防護するための治水が計画されている³¹⁾。

(4) オランダの制度

国土の27%が海面下で、そこに人口の60%が居住しているオランダでは、高潮が甚大な被害につながるために、大規模な築堤などによる防護対策が行われている。洪水防御事業については、LNC政策によって景観・自然・文化の視点を取り入れて実施している。氾濫原管理のための特別な制度はないが、アムステルダムなどの都市部は高潮の直撃を受けにくい丘陵や砂丘、自然堤防などの微高地に立地している。高潮被害が著しい沿岸やデルタ地域は相対的に人口が少なく大都市は存在しない。河川洪水については上流域の防護レベルを低く設定しており、上流の農業地域などで氾濫しているが下流の大都市には被害が及んでいない³¹⁾。

(5) 米国の制度

1993年にミズーリ州ミズーリ川で起きた3万7000世帯が被災する大洪水をきっかけに、米国連邦政府は河川管理の方針を大きく転換した。ダムや堤防では、強大な川の力を制御できないと判断し、バイアウト方式を導入して、危険領域の土地・家屋を買収して洪水時の緩衝地帯とすることとした。また、100年確率洪水や500年確率洪水によって浸水する洪水危険区域に住宅を建てる場合には、耐水を考慮した建築規制を適用するとともに、洪水保険（危険度に応じた保険料率）への加入を義務付けるなど、危険地域の居住を制限して洪水被害のリスクを減少させている³¹⁾。

4 日本の新たな時代の防災技術の構築

4-1

水災害に係る日本の 防災対策の問題点

日本では、水災害の防止と地域計画が別仕立てで進められたために、本来的に自然の脅威を受けやすい大河川の氾濫原や海岸沿いの低平地などに人口や資産が集中し、また二次災害につながるような地下施設や工場施設なども多く設置されている。かつての我が国では、長年の災害経験を踏まえ、地域が水災害に見舞われることを前提として、被害の軽減を図るための土地利用の差別化や、重要度が高い地域を防御するために他の領域に氾濫を誘導するための野越しや遊水地、集落や民家を氾濫から守るための輪中堤や水屋などの伝統的な技術と地域の自衛水防組織が存在し機能していた（図表7）。しかし、明治以降、防災が行政の中で専門特化されて地域を線で守る防災施設の整備が進展し、また地域計画において土地が高度に利用されていく過程で、地域住民が自ら災害に備える覚悟が薄らぎ、知恵と合意に基づくこのような防災・減災のリスクマネジメント

トの考え方やシステムは消え失せあるいは弱体化して現在に至っている。このため、土地利用を治水の本質として扱った研究はほとんどなく²⁷⁾、防災施設の劣化損傷や設計で想定している規模を上回る異常現象による外力が生じた場合には、大規模な災害が生じる新たなリスクが生まれている。

また、大規模なインフラ施設の設置に伴う自然改変が水・物質の自然の循環システムを変化させたことなどによって、河川や海岸の動植物の生息場や景観などの環境劣化が進行している。さらに、災害対策が他の領域の災害発生を助長するなどの負の連鎖もみられるようになっている。2-2で述べたように、今後は地球温暖化に伴う異常気象の発生、生態系の生息環境の悪化が危惧されるようになっている。

4-2

解決すべき課題点

4-2-1 地域の防災および環境面での問題点の明確化

我が国は国土が南北に長く、地

域によって地形・地質や気象などの自然条件が大きく異なっており、また土地利用などの地域的条件も様々である。当然、対象となる自然災害の種類・規模・起こりやすさも地域によって異なっている。

近年、氾濫や土石流の影響範囲などの様々な災害の危険情報を共有するためにハザードマップが整備されつつある。しかしながら、危険情報の前提となる外力規模の対象範囲が不明確である。自然現象が複雑で、かつ大規模災害発生の時間スケールが非常に長いことから、地域ごとの地質や長期にわたる降雨などの定量的なデータが十分整理・蓄積されていない³²⁾。また、地震や火山活動による土砂流出や施設の損傷と、台風や前線・低気圧などによる豪雨や高潮などとの複合的な災害については、これまで検討対象になっていない。災害要因の不確定性への対処には、様々な課題がある。今後はまずそれぞれの地域における長年月にわたる災害の歴史や自然と共生する土地利用、生活文化、環境の変化などを伝承や古文書などの資料によって把握する研究が必要である。また、気象学・地形地質学・土木分野などの科学的知

図表7 水災害に対する伝統的な防災技術の例

名 称	構 造 ・ 機 能
霞 堤	開口部を有する不連続な堤防。洪水時には本流の洪水が溢れて下流への流出量を減少させるが、本流の水位が低下するにつれて速やかに氾濫水が排出される。
野 越 し	通常の堤防よりも部分的に高さを低くした堤防であり、洗堰ともいう。一定水位以上の本流の洪水を越流させ、本流の水位を低下させる。
防 備 林	洪水氾濫に対して氾濫流のエネルギーを弱めるとともに、流水に含まれる土砂や流木を補足して拡散を防止する帯状の樹林帯。山間部の土石流対策の渓流防備林、河川に沿って氾濫対策の水害防備林（河畔林）、海岸線に沿って設置される防潮林がある。
二 線 堤	本堤背後の堤内地（民地側）に築造された堤防であり、本堤が決壊した場合に洪水氾濫の拡大を防止する。控え堤や二番堤ともいう。
輪 中 堤	氾濫原地域において集落の周囲を囲んで築造された堤防であり、氾濫流から輪中内の人家や人命を防御する施設。
水屋・水塚	水害常襲地域において、内水および外水の洪水氾濫に備えて住居を高い盛土の上に建設した家の形。水塚には長期間避難生活ができるよう井戸、食糧、寝具などが備蓄され、水害時の移動手段として舟も用意されている。

科学技術動向研究センターにて作成

見と過去からの知見とを結合させて、地域における災害のメカニズムおよび防災・環境面での問題点を明らかにすることが必要である。

4-2-2 地域の暮らしや土地利用と一体化した防災技術の構築

(1) 自然とともに生きる防災技術への考え方の転換

計画洪水をダムと堤防で河道の中におさめて海まで流下させる、護岸などで海岸線の防護を図ることが、これまでの河川・海岸管理者などの防災行政部局が対応できる施設防護の範囲での災害防止の主な対策であった。しかし、これだけでは今後の防災に限界があることは前述したとおりである。今後、我が国の地域社会が持続的に自然と共生し、暮らしと一体的に災害の防止・減災に取り組むために、防災に対する考え方の大きな転換が必要である。すなわち、構造物の力によって災害のエネルギーを抑え込んで災害防止を図るという考え方を改め、頻繁におこる外力には施設によって無災害に、そしてきわめてまれに起きる外力に対しては人命を守るが、そのためには一時的な機能の停止や物的な被害はある程度許容するという、地域や流域の面的な広がりの中で被害の種類と大きさを制御する柔軟な考え方に移行する必要がある。このような考え方は、むしろ、近代以前に水災害から地域社会を守るための究極的な危機管理技術として我が国で取り入れられていた考え方と類似する。例えば、かつては巨大な洪水時には、洪水が堤防を越流し、あるいは破堤して無秩序に被害が広域に及んでいたが、予め越堤させる場所を定めておいてその周辺域に氾濫させて被害を局所化させていた。今後は、このような場所を明確に設け、日常は湿地や田畑として地域の自然再生や食糧生産、レクリ

エーション、観光などの場とし、異常時には壊滅的な災害の防止に活用する。合わせて、被災時の補償や税制面での優遇措置などを具体化する。土地利用の条件や退避の条件などにおいて、氾濫があるという前提での仕組みづくりを行うというように変更していく。

すでに様々な土地利用や施設整備が行われている状況で、このようなデザインを新たに描き実現することは決して容易なことではない。しかし、これからの少子高齢化を考えれば、低炭素型人口減少社会の構築に向けて、長期的な視点で防災のあり方を変更していく必要がある。より具体的には、異常な災害事象に対してその規模に応じた土地利用の見直しを含めた災害の多段階制御技術の導入が必要である。また、そのためには、異常気象時の森林や田畑の治水機能の評価、氾濫に伴う人的・物的被害や間接的な波及被害の連鎖や環境への影響の評価、そして、ハードおよびソフト面を組み合わせたシステム全体が確実につながり破壊的な現象に対して靱性が高い防災・減災の対策技術、地域における合意形成の方法論の構築が必要である。

研究領域としては特に、地域の風土や歴史に根差した生活環境・エネルギー・食糧などの資源・経済および文化を、防災と融合させる地域計画を総合的に考えることのできる研究領域の充実が必要である。例えば、都市システムにおける災害連鎖の遮断、リダンダンシー向上の必要性について、環境と融合した防災の観点からの余裕空間を考える方法論と流域レベルの広域の視点を取り入れた研究が必要である。

また、地域の防災の文化として、事前に避難を的確に行うための様々な気象データ・上流域の流量データを活用した災害予測と避難のシステム、教育訓練を定着さ

せる必要がある。これらについても防災・環境・社会科学の多分野の協働による専門家のサポートが必要である。

(2) 既存インフラ施設の有効活用のための研究課題

今後の増大する社会保障の費用を考えると、既存のインフラ施設の有効活用が日本の大きな課題である。これまでの機能を維持するだけではなく、長年にわたる施設の運用経験を生かし、長期的な視点に立って、これからの自然と共生する社会、あるいは災害に強い地域づくりのための総合的な活用方法の再構築を行っていく必要がある。

ダムは、貯水を様々な用水や水力エネルギーに利用する機能とともに、異常降雨時の出水や土砂流出を一時的にかん止して下流域の災害を防止する機能を有している。しかしながら、貯水池に大量の土砂が堆積して、ダムを持続的に活用できなくなる。流域や設備の規模・形式によっては流砂を遮断し、下流域の水質や流況を変化させて河川や海岸の地形や動植物などの環境に影響を与える。ダムをより有効に持続的に活用するために、ダムからの排砂と下流河川の流況改善が必要であり、地域の特性を踏まえて流域の安全確保、資源の持続的な利用、豊かな自然環境の維持・回復を総合的に考慮し、山地から河川、海域にわたる専門分野を超えた課題解決のために総合的な研究が必要である⁶⁾。

堤防については、洪水から周辺地域を守るために不可欠なものであるが、様々な時代に建設や改修が行われており、また旧河道の上に設置されている。したがって、構造や材料が不均一で、強度も不明な堤防が多い。まず、施設の脆弱性を正確に評価することが必要である。的確にメンテナンスするための点検・診断技術、大洪水時

の越流等による決壊に対して靱性が高い材料・構造とする補修・補強技術、河川および周辺環境の再生と融合した補修・補強技術の研究開発が必要である。

砂浜海岸では河川からの土砂供給の減少や海岸構造物によって沿岸方向の漂砂の移動が遮断されることなどによる海岸侵食に対して、離岸堤や消波ブロックが多数設置されている。しかし、侵食防止用の施設整備のみでは根本的な対策にはなり得ないことが多く、河川からの土砂の適切な供給と

もに、サンドバイパス等による養浜技術や漁港の集約化など、環境再生と融合した総合的な対策技術を提案する必要がある。

4-2-3 モデルプロジェクトによる課題解決型研究の推進

水災害の防止や環境再生の取り組みは、個別の自然条件や社会条件が複雑に関連しあっており、国や自治体による制度面や固有技術の検討とともに、地域が中心となって取り組む実践研究の積み重

ねが必要である。地域および流域の視点で防災および環境上の問題を明らかにし、検討の道筋、隘路について一つひとつ議論して解決していく過程で、科学的な知見が蓄積され、課題解決のための新たな技術と制度上の課題の解決策が生み出されると考えられる。しかし、すべての地域に対して研究を行うことは不可能である。地域と多様な分野の学識経験者が一体となって我が国の英知を集めてモデル地点に取り組むというプロジェクト研究が必要である。

5 おわりに

黄河の上策という言葉がある。大量の土砂を伴う流れが扇状地で乱流を繰り返し流域の人々を苦しめてきた。このような黄河の振る舞いに対して各時期の王朝政権は、黄河を分流してその勢いを安定させる、あるいは堤防を高くして流速を上げて土砂を流すなど様々な対策を実施してきた。上策は、河流がどちらに振れるのか、自然の趨勢を読み、その地域の住民を移住させ、予め人為的に決壊を行って河流をそちらに向かわせ、あわせて平原の発達と地味の更新を図るというものであった³³⁾。このような考えは、自然と共生する地域社会の防災を考える上で示唆に富む。

我が国は大規模な地震・火山活動・台風・低気圧・冬期の降雪などの自然環境の変化により、多様で四季折々の変化に富んだ豊かな自然の恵みを受けた暮らしを楽しむことができる。しかし、異常時には自然は豹変し荒れくるうがごとく人間に襲いかかってくる。こ

のような国土に住んでいる日本人には、日常の暮らしの中に災害に対する覚悟と備えを組み込む文化が本来はあったはずである。明治以降、近代技術を導入して100年が経過して、新たな問題点が現れているが、今一度、原点に立ち返って、地域ごとの自然の特徴を正しく理解し、総合的かつ長期的な視点に立って、人と科学の力で自然と共に生きる新たな道を切り開く必要がある。

さらに世界に目を向ければ、世界の自然災害による被災者数の半分以上は洪水によるものである。また、世界の水災害の被災者数の約9割はアジアである。これまでの防災の取り組みを検証し、自然と共生する社会の新たな時代の防災技術を確認することで、世界経済の成長センターであるアジア諸国のインフラ整備において、悲惨な災害が繰り返されている国々へ国際貢献を行うことが可能になる。これはアジアの先進国として

の日本の役目である。

謝辞

京都大学防災研究所小尻利治教授（故人）、日本大学吉川勝秀教授（故人）、東京大学磯部雅彦教授、財団法人リバーフロント整備センター竹村公太郎理事長、一般財団法人みなと総合研究所細川恭史専務、国土総合技術政策研究所藤田光一河川研究部長、財団法人国土技術研究センター桑島偉倫研究主幹、湧川勝己研究主幹、独立行政法人土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センター深見和彦上席研究員、宮本守専門研究員、農村工学研究所増本隆夫水文水資源研究室長、世界工学団体連盟災害リスクマネジメントタスクグループ事務局伊藤一正氏、特定非営利活動法人サステイナブルコミュニティ総合研究所角本孝夫理事長には貴重なご意見と資料の提供をいただきました。深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 気象庁、台風第12号による大雨、2011年9月7日：
http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/new/jyun_sokuji20110830-0906.pdf
- 2) 消防庁、台風第12号による被害状況及び消防機関の活動状況等について（第17報）、2011年12月15日：
<http://www.fdma.go.jp/bn/data/%E5%8F%B0%E9%A2%A8%E7%AC%AC12%E5%8F%B7%E3%81%AB%E3%82%88%E3%82%8B%E8%A2%AB%E5%AE%B3%E7%8A%B6%E6%B3%81%E3%81%AB%E3%81%A4%E3%81%84%E3%81%A6%EF%BC%88%E7%AC%AC17%E5%A0%B1%EF%BC%89.pdf>
- 3) 日本貿易振興機構ホームページ、日タイ洪水復興セミナー タイ大洪水 ～早期復興に向けた現状と課題～、2011年12月27日：http://www.jetro.go.jp/world/asia/th/flood/pdf/material_20111227.pdf
- 4) 国土交通省ホームページ、首都圏・近畿圏の大河川流域が抱える主な課題：
http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/koukikakuteibou/dai2kai/dai2kai_siryou3.pdf
- 5) 社会資本整備審議会、水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について（答申）、2008年6月：http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/gaiyou/kikouhendou/pdf/toshin.pdf
- 6) 井上素行、山地から河川、海域にわたる流砂系問題に対する実証的研究の推進、科学技術動向2009年5月号 p19-32：
http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt098j/0905_03_featurearticles/0905fa02/200905_fa02.html
- 7) 白石栄一、局地的な降雨観測・予測技術の動向、科学技術動向2009年2月号 p34-45：
http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt095j/0902_03_featurearticles/0902fa03/200902_fa03.html
- 8) 気象庁、気候変動監視レポート2010、2011年6月：
http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/monitor/2010/pdf/ccmr2010_chap1.pdf
- 9) 国土交通省編、平成21年度国土交通白書、2010年7月
- 10) 気象庁、異常気象レポート2005、2005年10月：
http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/climate_change/2005/pdf/2005_all.pdf
- 11) 国土交通省、地球温暖化に伴う気候変動について、第7回大規模水害対策に関する専門調査会、2007年11月：
http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/suigai/7/shiryu_2.pdf
- 12) 赤羽貞幸、上林好之、富所五郎、福岡捷二、沖積平野における縄文以来の河道と堤防の形成過程に関する研究、堤防と河道形成過程研究会、2008年6月
- 13) 河川堤防耐震対策緊急検討委員会、東日本大震災を踏まえた今後の河川堤防の耐震対策の進め方について報告書、2011年9月
- 14) 中央防災会議 大規模水害対策に関する専門調査会、首都圏水没 ～被害軽減のために取るべき対策とは～、2010年4月：http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/suigai/100402/100402_shiryu_2.pdf
- 15) 科学技術動向研究センター、気候変動を前提とする高潮ハザードの予測、科学技術動向2011年11・12月号 p4：
<http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt126j/menu.pdf>
- 16) 堀智晴、古川整治、藤田暁、稲津謙治、池淵周一、氾濫源における安全度評価と減災対策を組み込んだ総合的治水対策システムの最適設計 ―基礎概念と方法論―、土木学会論文集B Vol.64No.1、2008年1月
- 17) 増本隆夫、広域水田地帯の洪水防止機能の評価と将来の流域水管理への利活用（Ⅰ）、『水利科学』別刷 No.315、2010年10月
- 18) World Federation of Engineering Organizations, Draft GUIDELINE FOR WATER-RELATED DISASTER RISK MANAGEMENT (FUNDAMENTALS, FLOODS, TSUNAMIS), November 2009
- 19) 国土交通省九州地方整備局武雄河川事務所ホームページ、松浦川アザメの瀬自然再生：
http://www.qsr.mlit.go.jp/takeo/torikumi/azame/images/azame_h16_2.pdf
- 20) 国土交通省ホームページ、新たな海辺の文化を創造するために：
http://www.mlit.go.jp/kowan/umibe_bunka/satohama/18/main2-3.pdf
- 21) 大分県、平成20年度環境省委託業務 里海創生支援事業（中津干潟）委託業務報告書、2009年3月
- 22) 宮崎県ホームページ、耳川流域における総合土砂管理について：
http://www.pref.miyazaki.lg.jp/contents/org/doboku/kasen/dosha_shaishu/page00135.html
- 23) 国土交通省中部地方整備局浜松河川国道事務所ホームページ、天竜川ダム再編事業：
http://www.cbr.mlit.go.jp/hamamatsu/gaiyo_dam/tenryu.html
- 24) 下坂将史、呉修一、山田正、吉川秀夫、既設ダム貯水池の洪水調節機能向上のための新しい放流方法の提案、土木学

会論文集 B Vol.65 No.2,106-122、2009 年 6 月

- 25) 静岡県ホームページ、サンドバイパス事業：
<http://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-430/040427html/sandobaipas.html>
- 26) スイス政府ホームページ、Urner Reusstal：Autobahn als Hochwasserschutz：
http://www.ur.ch/dateimanager/bwg_urnerreusstal.pdf
- 27) 吉川勝秀、都市化が急激に進む低平地緩流河川流域における治水に関する都市計画的考察、社団法人日本都市計画学会都市計画論文集 No.42-2、2007 年 10 月
- 28) 東京大学ホームページ、2011 年タイ国水害調査結果（第 4 報）：
http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/Mulabo/news/2011/111130_4th_report.pdf
- 29) 内閣府、2008 年度版防災白書、2008 年 7 月
- 30) 内閣府ホームページ、防災情報のページ 海外災害レポート：http://www.bousai.go.jp/kouhou/h20/07/repo_02.html
- 31) 財団法人国土技術研究センター、増補改訂 欧米諸国における治水事業実施システム、2001 年 2 月
- 32) 臼田裕一郎、防災・減災のための情報通信システムの相互運用、科学技術動向 2008 年 2 月号 p19-31：
http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt083j/0802_03_featurearticles/0802fa02/200802_fa02.html
- 33) 木下鉄矢、黄河治水史序説、Humanity & Nature Newsletter No.4、大学共同利用機関法人 人間文化研究機構 総合地球環境学研究所、2006 年 10 月 1 日：
http://www.chikyu.ac.jp/archive/newsletter/pdf/newsletter_4.pdf

執筆者プロフィール



井上 素行

科学技術動向研究センター 客員研究官
立命館大学 総合理工学研究機構 チェアプロフェッサー
<http://www.ritsumei.jp/>

工学博士。山岳地におけるダムへの流入土砂の予測と山地から河川、海域にわたる流砂系全体の視点に立った対策技術、水力エネルギーの有効活用について調査研究を行っている。趣味は、山歩き、菜園づくり、海水浴など。



鴨川 慎

科学技術動向研究センター 上席研究官
<http://www.nistep.go.jp/>

河川や湖沼などの防災、水資源や水環境の保全再生等に関する業務に長く携わる。2010 年 4 月より現職にて、社会基盤に関する科学技術動向等の調査研究に従事。