

気候変動を見据えた治水計画の立案に向けて

1. 研究・活動のアウトライン

		研究の背景・経緯・概要			
1. 強	国土技術政策を支える研究開発	豪雨災害等の発生	<ul style="list-style-type: none"> ○2004 <ul style="list-style-type: none"> ・新潟・福島豪雨、福井豪雨等台風10個の上陸、大規模な被害の発生 ○2006 <ul style="list-style-type: none"> ・7月豪雨に伴う被害(天竜川、川内川等) ○2008 <ul style="list-style-type: none"> ・8月豪雨に伴う被害(愛知県等) 	<ul style="list-style-type: none"> ○2011 <ul style="list-style-type: none"> ・新潟・福島豪雨に伴う被害 ・紀伊半島豪雨に伴う土砂災害、氾濫の発生 ○2012 <ul style="list-style-type: none"> ・九州北部豪雨による堤防決壊(矢部川等) ○2015 <ul style="list-style-type: none"> ・関東・東北豪雨による堤防決壊(鬼怒川等) ○2016 <ul style="list-style-type: none"> ・北海道・東北豪雨による堤防決壊(十勝川等) ○2017 <ul style="list-style-type: none"> ・九州北部豪雨による土砂災害、氾濫の発生 	<ul style="list-style-type: none"> ○2018 <ul style="list-style-type: none"> ・西日本豪雨による大規模広域災害 ○2019 <ul style="list-style-type: none"> ・東日本台風に伴う出水により142箇所堤防が決壊 ○2020 <ul style="list-style-type: none"> ・7月豪雨による大規模被害(球磨川、最上川等)
		国土交通省の動き	<ul style="list-style-type: none"> ○2006 <ul style="list-style-type: none"> ・多自然川づくりへの展開(提言) ・安全・安心が持続可能な河川管理のあり方(提言) ○2008 <ul style="list-style-type: none"> ・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(社整審答申) 	<ul style="list-style-type: none"> ○2013 <ul style="list-style-type: none"> ・安全を持続的に確保するための今後の河川管理のあり方について(社整審答申) ○2015 <ul style="list-style-type: none"> ・水災害分野における気候変動適応策のあり方について～災害リスク情報と危機感を共有し、減災に取り組む社会へ～(社整審答申) ○2017 <ul style="list-style-type: none"> ・平成28年8月北海道大雨激甚災害を踏まえた今後の水防災対策のあり方～気候変動への適応により、命を守り国土の保全と発展へ～ 	<ul style="list-style-type: none"> ○2018 <ul style="list-style-type: none"> ・大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策のあり方について～複合的な災害にも多層的に備える緊急対策～(社整審答申) ○2020 <ul style="list-style-type: none"> ・気候変動を踏まえた水災害対策のあり方について～あらゆる関係者が流域全体で行う持続可能な「流域治水」への転換～
	治水計画立案手法	<p>◆テーマⅠ：気候変動に伴う外力の変化と河川管理への影響に関する検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ○2002～2003 <ul style="list-style-type: none"> 地球温暖化に伴う災害リスク軽減対策に関する研究 ○2005～2007 <ul style="list-style-type: none"> 地球温暖化に対する河川・水管理に関する研究 ○2010～2013 <ul style="list-style-type: none"> 気候変動下での大規模水害に対する施設群の設定・選択を支援する基盤技術の開発 <p>主な成果</p> <ul style="list-style-type: none"> ○2008 気候変動による豪雨時の降雨量変化予測、国総研資料第462号 <p>◆テーマⅡ：気候変動適応策に関する検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ○2004～2006 <ul style="list-style-type: none"> 減災のための河道マネージメント技術に関する研究 ○2006～2008 <ul style="list-style-type: none"> 減災河道マネージメント ○2010～2013 <ul style="list-style-type: none"> 大規模水害に対する施設の選択を支援する技術に関する研究 ○2012～2013 <ul style="list-style-type: none"> 気候変動に適応した段階的河川整備に関する研究 ○2010～2013 <ul style="list-style-type: none"> 河川の氾濫被害低減効果評価手法に関する研究 ○2016～2017 <ul style="list-style-type: none"> 流域との連携対策による災害リスク低減に関する研究 <p>主な成果</p> <ul style="list-style-type: none"> ○2017 河川・海岸分野の気候変動適応策に関する研究、国総研プロジェクト研究報告書56号 ○2016 危機管理型ハード対策 ⇒ 粘り強い堤防構造 			
	連携	<p>① 災害調査</p> <ul style="list-style-type: none"> ○2005～2006 <ul style="list-style-type: none"> 河道設計と被害の生じ方に関する研究 ○2007～2009 <ul style="list-style-type: none"> 被災箇所での現地調査・分析 ○2011～ <ul style="list-style-type: none"> 堤防等河川管理施設の被災要因調査・対策検討 <p>主な成果</p> <ul style="list-style-type: none"> ○2004 新潟・福島豪雨による破堤箇所の氾濫と被害過程の再現 ○2016 危機管理型ハード対策の施工について(事務連絡) ○2020 令和元年台風第19号の被災を踏まえた河川堤防に関する技術検討会報告書 			
	研究・活動を支える基盤的活動	<p>② 多自然川づくり</p> <ul style="list-style-type: none"> ○2001～2008 <ul style="list-style-type: none"> 多自然川づくりの知見を反映 河川生態学術研究(多摩川、千曲川、五ヶ瀬川、太田川、岩木川) ○2013～2015 <ul style="list-style-type: none"> 災害復旧における多自然川づくりに関する研究 ○2013～2016 <ul style="list-style-type: none"> 環境の評価・目標設計に関する研究 ○2016～2017 <ul style="list-style-type: none"> 実践的な河川環境管理の検討 <p>主な成果</p> <ul style="list-style-type: none"> ○2007 多自然川づくりポイントブックⅠ ○2008 多自然川づくりポイントブックⅡ ○2011 多自然川づくりポイントブックⅢ ○2018 美しい山河を守る災害復旧基本方針 ○2019 実践的な河川環境の評価・改善の手引き(案) 			

◆テーマⅠ：気候変動に伴う外力の変化や河川管理への影響に関する検討

【背景と課題】気候変動に伴い降雨強度が増大することが予測され、洪水等の災害リスクの増大が懸念された。気候変動に伴う外力の変化を予測し、今後の河川管理に与える影響を分析することが必要とされた。

【研究概要と主な成果】気象研究所が開発した気候変動モデルで試算された予測結果を用いて、気候変動に伴う降雨強度の変化について分析し、将来（約50～100年後、以下同様）の降雨量が最大で現在の1.2倍程度になることを示した。その後、文部科学省や環境省などによって気象予測に関する研究がさらに進展し、2015年12月には、アンサンブル気候予測データベース、いわゆるd4PDFが公表された。国総研では、これらのデータを活用し、降雨特性が類似した地域区分ごとに将来の降雨量変化倍率を試算した。

◆テーマⅡ：気候変動適応策に関する検討

【背景と課題】気候変動に伴い、施設能力を超える外力や計画規模を超える外力の発生、いわゆる超過外力発生の増加が懸念された。超過外力の発生に伴う水害リスクを適切に評価し、被害軽減のための適応策を検討することが必要とされた。また、2015年関東・東北豪雨、2018年西日本豪雨、2019年東日本台風、2020年7月豪雨により施設能力を上回る規模の洪水が発生し多くの浸水被害が生じた。超過外力への対応や土砂洪水氾濫への対策の必要性が益々高まってきた。

【研究概要と主な成果】従来の治水対策は、計画規模を定め、それに応じた河川整備を進めるための計画を立案することを基本としている。これを包含し、さらに計画規模を超える洪水に対してハードとソフトを多層的に組み合わせた対策検討を行うための基本的な考え方である「新たな治水フレーム」を提案した。この治水フレームの考え方を取り入れて河川整備を進めるための計画（流域での対策を含む）を、ここでは気候変動を踏まえた治水計画と呼ぶ。氾濫被害や多層的な対策効果の推算のために、氾濫原内の人口や資産の分布を考慮した水害リスク評価手法について検討した。また、堤防整備、土地利用規制、二線堤整備、近隣の中高層建物の緊急時の避難先としての活用、避難率の向上方策等について、効果発現の不確実性、実現可能性等の観点から、モデル河川（直轄の20河川程度）において被害の変化を試行的に分析し、水害リスクの表現方法についても合わせて提案した。また、水害リスク評価の試行結果を踏まえ、水害リスク評価の手引き（試行版）を作成した。

ハード対策として、基盤的活動（災害調査、多自然川づくり）で得られた知見を踏まえ、大型水理模型を用いた実験結果等も活用し、危機管理型ハード対策の構造を提案した。

◆基盤的活動

研究・技術開発と並行して、技術支援や災害調査などを継続的に実施している。これら活動から得られた個別具体の知見を蓄積し、研究・活動を進める上で超えなければならない各種課題の検討に活用している。

①：より安全な河川整備を推進するための知見の収集

【背景と課題】災害復旧では迅速な復旧など対応が求められるが、一方、今後のさらなる安全性向上に資する重要かつ特徴的な被災事例については被災の要因やメカニズムの分析を十分に行うことが望ましい。

【活動概要と主な成果】堤防決壊箇所等を中心に90件程度の現地調査を実施し、被災要因の分析及び対策検討のための各種委員会に参画した。必要に応じて、水理模型実験や数値解析を用いて被災メカニズムを分析し、対策にあたっての留意点を示した。

②：魅力ある利用しやすい川づくりを実現するための知見の収集

【背景と課題】1997年に河川法が改正され、河川法の目的として治水、利水に加え環境が位置付けられ、多自然川づくりを推進するための河道設計技術を具体化することが求められた。

【活動概要と主な成果】生態学者と河川工学者が一つの研究会（河川生態学術研究会）を作り、実際の河川で現地調査をしながら、河川環境の保全や生態系の回復を図る上で必要となる川づくりの視点や手法を整理した。また、一連区間の河川整備を大規模かつ短期間に実施することが多い河川激甚災害対策特別緊急事業等において、国土交通本省や国立開発法人土木研究所と連携し、多自然川づくりアドバイザーを現地に派遣

し、105 件程度の川づくりについて現場担当者と現地を見ながら議論してきた。

2. 主な研究成果

◆テーマ I：気候変動に伴う外力の変化や河川管理への影響に関する検討

・極端降雨量の変化

気象庁・気象研究所が開発した気候変動モデルのシミュレーション結果を用いて、気候変動に対する治水分野での適応策を検討する上での基本情報である極端降雨量の変化について分析した。これは、2006 年 2 月から 2008 年 3 月まで実施した気象研究所との「気候変動モデルを用いた地球温暖化に伴う降雨特性変化と洪水・渇水リスク評価に関する共同研究」の枠組みの中で行われた。GCM20 の結果の降雨量について、アメダスデータと比較し再現性を検討した結果、GCM20 の再現性は十分ではなかったが、将来と現在の比をとることで将来の降雨変化の影響を把握することができた¹⁾(図-1)。

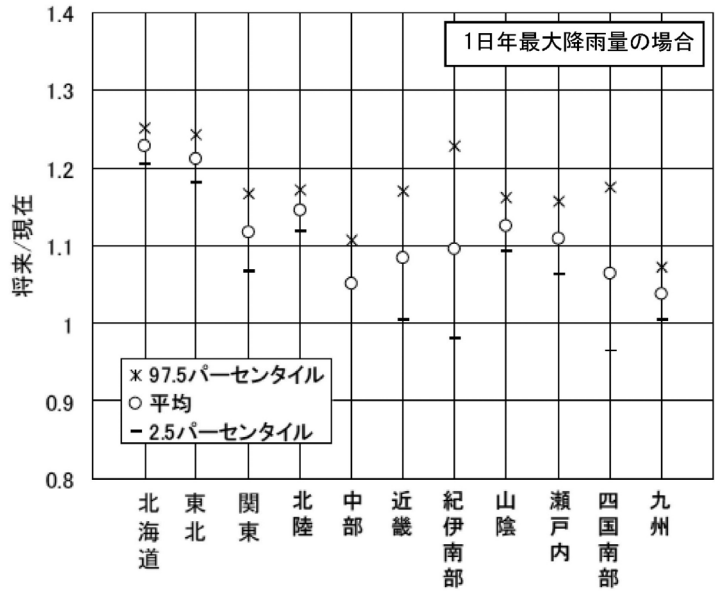


図-1 将来と現在の年最大降雨量の比

・降雨量変化が治水に及ぼす影響

気候変動による降雨量の現在に対する将来の比である“雨量倍率”に、河川への洪水流出に関する“洪水流量倍率”、これらが治水施策に与える影響を総括的に表す指標である“河川整備労力倍率”(図-2)、そして目標水準相当の流量を超える洪水の発生確率の変化を表す“氾濫可能性倍率”を気候変動による影響指標として追加し、分析した。水系ごとにバラつきがあるものの、雨量の増加割合(雨量倍率-1)が流量の増加割合には 1.5 倍、河川整備労力には 6 倍、氾濫可能性には 12～15 倍程度に増幅されて現れることを示した²⁾(図-3)。

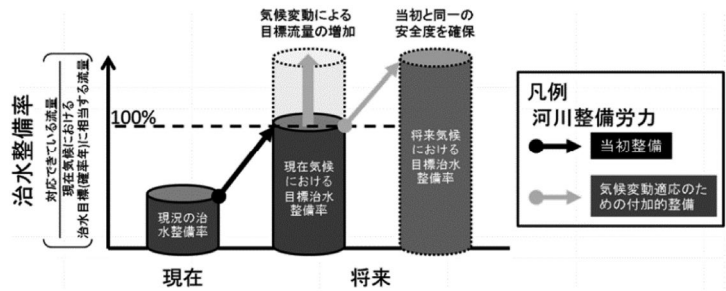


図-2 河川整備労力の概念図

・全国の降雨量変化倍率

2015 年 12 月には、文部科学省・気候変動リスク情報創生プログラムおよび海洋研究開発機構・地球シミュレータ特別推進課題によって、地球温暖化対策に資する d4PDF が公表された。国総研では、d4PDF などの多数のアンサンブル予測計算結果を河川整備計画の目標設定において活用し、図-4 に示す降雨特性が類似した地域区分ごとに、将来の降雨量変化倍率の変化を試算した^{3),4),5)}。

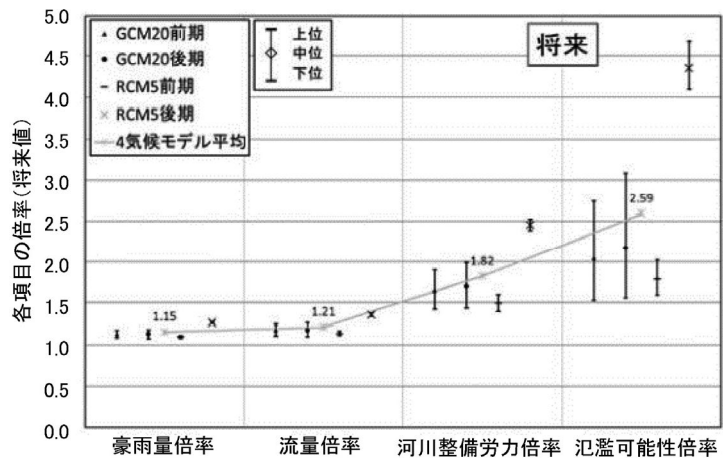


図-3 各モデルの雨量、洪水流量、河川整備労力、氾濫可能性の変化

◆テーマⅡ：気候変動適応策に関する検討

・リスク評価を基軸とした新たな治水フレームの提案

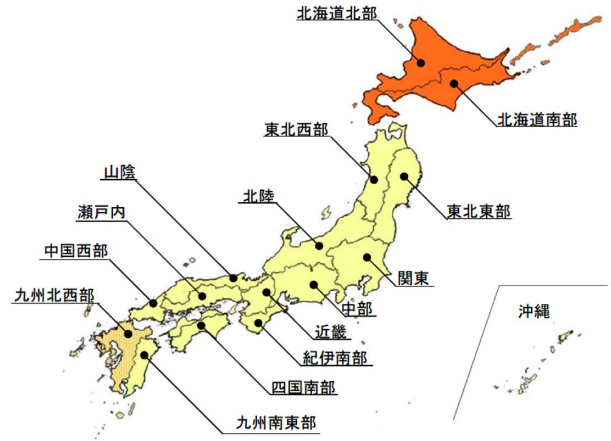
気候変動適応に向けたハード・ソフトを多層的に組み合わせた防災・減災の枠組みの必要性を踏まえ、リスク評価を基軸とした新たな治水フレームを提案し、施策メニューの類型化を試みた(図-5)。図-5は、災害発生に至るまでの一連の事象を左から右への矢印でつながれた過程で示し、各過程で対象となる防災・減災の諸方策を黒四角枠内に記載し、さらに赤枠で囲んで河川整備(類型Ⅰ)とそれ以外の施策(集水域は類型Ⅱ、氾濫原はⅢ)の類型区分を示したものである。なお、点線の赤枠は、直接ではないが、その方策の実施に当該類型が関係することを示す。この図から、治水施策の根幹を成してきた河川整備(類型Ⅰ)の位置付け、その着実な進展を前提に、そこから拡充されていく諸方策(類型Ⅰ+, Ⅰ++, Ⅰ+++、Ⅰ++++)や河川以外での施策が系統立って加わることで、防災・減災施策群が全般にわたって幅広く展開されていく様子をイメージできる²⁾。

・水害リスクカーブの導入

防災・減災の諸方策の検討手法として水害リスクカーブを導入し、その使い方を示した(図-6)。この図は、河川整備等による水害リスク低減効果(防災対策。リスクカーブを左(緑)から右(橙)へと変化させる効果)と、氾濫時の被害低減対策による効果(減災対策。リスクカーブを上(橙)から下(青)に変化させる効果)を統合的に評価し、各種方策の組合せによるリスク低減施策の計画・推進について地域ごとに具体的な検討を行うための手法の一つである。

・水害リスク評価の手引き(案)の作成

水害リスクカーブを活用した河川整備計画検討を試行し、その結果を踏まえて参考資料として、水害リスク評価の手引き(試行版)を作成した⁶⁾。流域全体(全ての氾濫ブロック)を対象として、被害の大きさを被害額や推定



地域区分	2℃上昇	4℃上昇	
		短時間	
北海道北部、北海道南部	1.15	1.4	1.5
九州北西部	1.1	1.4	1.5
その他(沖縄含む)地域	1.1	1.2	1.3

図-4 地域区分と降雨量変化倍率の試算結果

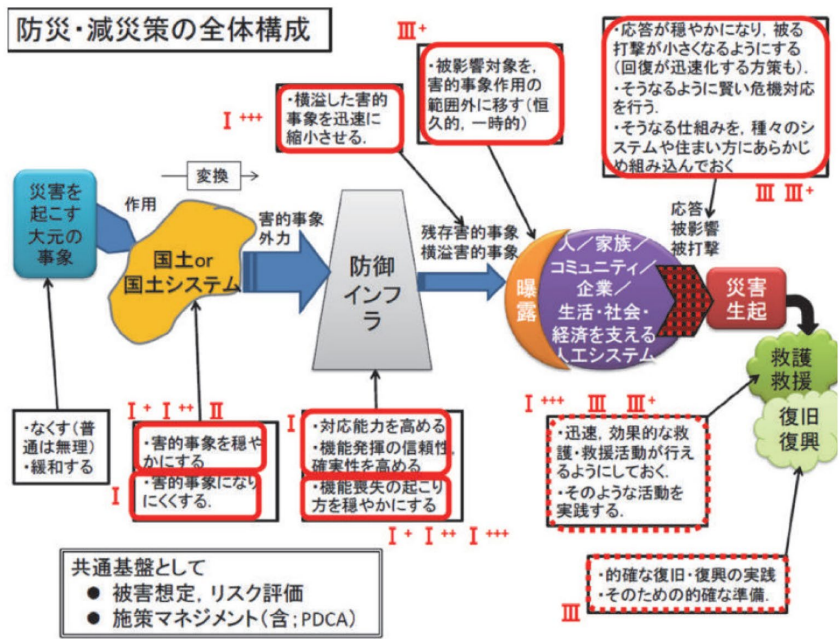


図-5 リスク評価を基軸とした治水フレームと防災・減災の諸方策

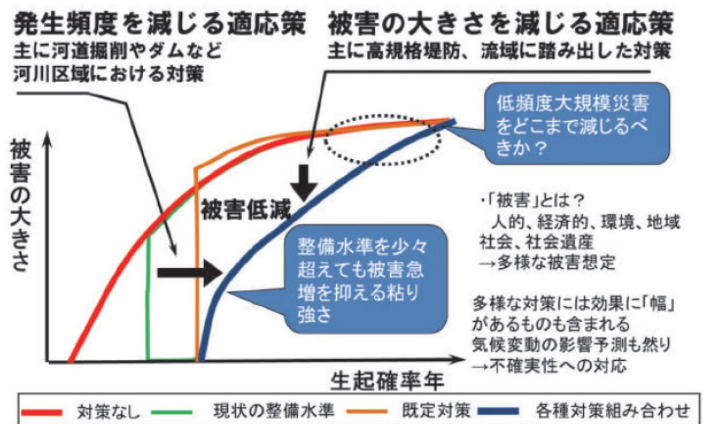


図-6 水害リスクカーブを用いた適応策検討のイメージ

死者数とした水害リスクカーブを作成することに加え、地域ごと（氾濫ブロックごと）の水害リスクカーブを作成した上で、流域全体と地域ごとの整備効果を確認し、河川整備の内容や順番を検討することなどについてとりまとめた。

- ・ハードによる減災対策（越水に対して粘り強い堤防）

越水した場合でも、ある程度の越流水深までは、越水開始から決壊するまでの時間をある値以上まで延ばすなどの堤防強化について、旧土木研究所河川研究室の時代に技術的な課題と構造等について検討を行っている。堤防構造の工夫について大型堤防模型実験を行い、ある一定の耐力を安定的に確保するなどの課題に取り組んできた⁷⁾。

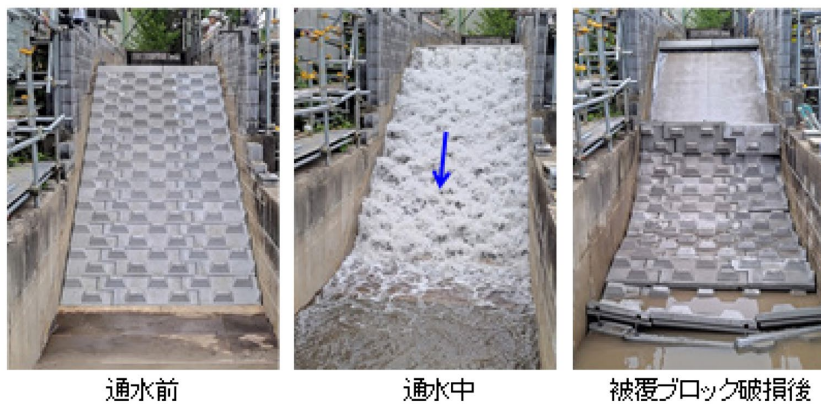


図-7 大型堤防模型実験の実施状況

2015年関東・東北豪雨による常総水害を受け、「施設の能力には限界があり、施設では防ぎきれない大洪水は必ず発生する」との基本認識のもと、そうした大洪水に備える「水防災意識社会再構築ビジョン」を国土交通省は策定した。その下で、氾濫リスクが高いにも関わらず、当面の間、上下流バランス等の観点から河道や堤防の整備に至らない区間について、決壊までの時間を少しでも引き延ばすよう、堤防構造を工夫する対策を導入することとなった。堤防天端のアスファルト舗装や裏法尻のブロック被覆によって堤体の侵食や崩壊の進行を遅らせる危機管理型ハード対策について、既往の検討成果を踏まえて水理模型実験等によって効果を確認・検討し、構造検討や設計のための技術的資料⁸⁾を作成した。

2019年東日本台風による甚大な被害を受けて設置した技術検討会では、越水した場合でも決壊しにくい「粘り強い堤防」を目指すなどの緊急的・短期的な堤防強化方策の方向性が示された⁹⁾。これを踏まえ、「粘り強い堤防」の技術開発に着手するとともに、現場への適用にあたっての課題整理を行っている（図-7）。

◆基盤的活動①：災害調査

堤防等河川管理施設の被災直後に現地調査を行うことは、施設の壊れ方やその周辺での被害の生じ方を確認する上で有効である。現地調査によって得られた知見を蓄積することで、壊れにくい施設構造や被害が拡大しにくい施設配置等を検討するものである。これまでに90件以上の災害調査を実施するとともに、堤防調査委員会を始めとして被災要因と対策検討のための各種委員会に多数参加してきた。テーマⅡに記載した危機管理型ハード対策の提案、水害リスク評価結果を踏まえた減災対策は、こうした知見を踏まえて検討されている。

◆基盤的活動②：多自然川づくり

河川生態学術研究会での活動で得られた知見等を活用し、多自然川づくりレビュー委員会¹⁰⁾に参画した。川づくりの目指すべき方向性と推進のための施策について議論するとともに、多自然川づくりポイントブックⅠ・Ⅱ・Ⅲ（多自然川づくり研究会）、美しい山河を守る災害復旧指針（防災課）等の作成に寄与した。こうした成果は、特に中小河川が多自然川づくりのための指針として利用されている。また、指針の提示に留めることなく、多自然アドバイザーとして現地調査を実施し、河道掘削方法や護岸の改修方法について現場担当者と議論し、指針の適用や具体の川づくりを実際の河川を見ながら指導した。さらに、中小河川では先人の知恵が生かされた地域があり、霞堤や越水を想定した堤防構造など、減災対策として参考となる事例もあった¹¹⁾。こうした知見は、テーマⅡに記載した減災対策の検討に活かされている。

3. 関係する報告書・技術資料一覧

- 1) 国総研資料 No.462 「気候変動による豪雨時の降水量変化予測－ GCM20 による評価を中心に－」, 2008.
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0462.htm>
- 2) 国総研 PJ 研究報告 No.56 「河川・海岸分野の気候変動適応策に関する研究」, 2017.
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/kpr/prn0056.htm>
- 3) 幕内加南子・工藤俊・土屋修一・川崎将生：アンサンブル気候予測データを用いた確率降雨量の将来変化に関する試算, 土木技術資料, 第 62 巻, 第 6 号, pp.14-17, 2020.
- 4) 国土交通省水管理・国土保全局：浸水想定（洪水、内水）の作成等のための想定最大外力の設定手法, 2015.
https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/pdf/shinsuisoutei_honnbun_1507.pdf
- 5) 国土交通省水管理・国土保全局：気候変動を踏まえた治水計画のあり方, 気候変動を踏まえた治水計画に関する技術検討会提言, 2019 年 10 月（2021 年 4 月改訂）.
https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/chisui_kentoukai/pdf/04_teigenhonbun.pdf
- 6) 国土交通省水管理・国土保全局、国総研：水害リスク評価の手引き（試行版）
https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/chisui_kentoukai/dai02kai/index.html
- 7) 加藤善明・橋本宏・藤田光一：堤防の耐越水化に関する実験的研究、第 29 回水理講演会論文集, pp.627-632, 1985.
- 8) 国総研資料 No.911 「越水による決壊までの時間を少しでも引き延ばす河川堤防天端・のり尻の構造上の工夫に関する検討」, 2016.
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0911.htm>
- 9) 国土交通省 水管理国土保全局：令和元年台風第 19 号の被災を踏まえた河川堤防に関する技術検討会, 2020.
https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/gijutsu_kentoukai/index.html
- 10) 多自然川づくりレビュー委員会：提言「－多自然川づくりへの展開－（これからの川づくりの目指すべき方向性と推進のための施策）」, 2006.
https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/past_shinngikai/shinngikai/nature-review/
- 11) 鈴木淳史・福島雅紀・山本陽子・諏訪義雄：被災が頻発した中小河川における河川護岸の事例調査について, 河川技術論文集、第 23 巻, pp.151-154, 2017.

4. 今後の展望

従来、計画規模の豪雨に対して河川整備計画を立案し河川改修を進めてきたが、昨今の雨の降り方の変化を踏まえると、計画規模を超える外力に対する減災対策を考慮した上で河川整備を進めることが不可欠である。こうした状況を踏まえ、新たな治水フレームを示すとともに、水害リスク評価結果に基づく治水計画の立案手法を提案した。今後は、流域治水の展開・推進を図るべく、現場適用にあたっての課題への対応、適用結果を踏まえた手法の改善などについて検討する予定である。

また、減災対策を進める上で、整備水準を超えた洪水が発生した場合でも被害の急増を抑えるハード対策を整備していくことも不可欠である。その一つとして越水に対して粘り強い堤防構造の技術開発を推進していく。裏法面も強化した表面被覆型、一部自立型、堤防断面拡大型などの強化工法を対象として、産学官の連携のもと構造検討手法をとりまとめる予定である。