

**2019 年台風 19 号(令和元年東日本台風)
災害を踏まえた応用生態工学災害調査団の活動**

報 告 書

2021 年 3 月 31 日

**応用生態工学会
2019 年台風 19 号災害調査団**

目 次

1. はじめに	1
1.1 背景と目的	1
1.2 学会における調査団の位置づけと提言・報告書の流れ	2
1.3 調査団の体制	4
1.4 提言	5
2. 調査団報告	6
2.1 阿武隈川の調査報告	6
2.2 久慈川・那珂川の調査報告	22
2.3 千曲川の調査報告	39
2.4 多摩川の調査報告	53
3. 応用生態工学的視点から見た災害への取り組みについて	68
3.1 気候変動を考慮した流域治水のあるべき姿	68
3.2 河川法に基づく河川改修のあるべき姿	69
4. おわりに	71

1. はじめに

1.1 背景と目的

本報告書は、2019 年 10 月に発生した台風由来の氾濫被害を踏まえて、応用生態工学会災害対応委員会が実施した活動の記録を取りまとめたものである。

応用生態工学会では、2015 年以降生じた様々な自然災害により及ぼしたインフラ施設とりわけ河川の環境攪乱に対して、この復旧や再生・創出を応用生態工学的な視点から考え、現地調査を踏まえて提言する仕組みがとられている。これまでも、2015 年 9 月に関東地方で発生した災害（平成 27 年 9 月関東・東北豪雨）や、2017 年 7 月に九州地方で発生した災害（2017 年九州北部豪雨）において、災害復旧時及びその後における河川整備と環境のあるべき姿の探求として、以下の提言を示してきた。

○平成 27 年 9 月関東・東北豪雨を踏まえた鬼怒川での河川工事計画への提言

2016 年 1 月 31 日 応用生態工学会会長特命鬼怒川災害調査団

○応用生態工学会 平成 29 年 7 月九州北部豪雨調査団「持続的で豊かな暮らしと環境を再生するための緊急提言」 平成 30 年 9 月 応用生態工学会災害対応委員会平成 29 年 7 月九州北部豪雨調査団

2019 年 10 月に発生した台風 19 号は、関東地方や甲信地方、東北地方で記録的な雨量となり、各地で甚大な洪水被害が発生した。広域的・同時多発的に発生した洪水被害に対して、河川管理者のみならず被災自治体は早急な防災減災対策を講じる必要性に迫られた。国は、特に被害が甚大な阿武隈川、久慈川・那珂川、千曲川などを「激甚災害に対処するための特別な財政援助等に関する法律（以下激甚法という）」に指定し、財政面から復旧・復興を迅速かつ強力に進めることになった。

応用生態工学会では、この 19 号台風災害に対して、生態学、河川工学、地形学など、様々な分野の会員によって、千曲川、多摩川、那珂川・久慈川、東北河川、千葉県の 5 グループで災害調査団を結成した。そして、1) 希少種等の既存生息地の保全、重要な生態系保全区域の抽出、2) 災害復旧時の配慮事項、3) 将来に向けたグリーンインフラ（Eco-DRR）配置、流域治水の考え方について議論してきた。その結果、治水対策と河川環境の保全を切り離して考えるのではなく、同時に検討しながら、同時に解決する視点から検討してきた。

本報告書では、上記の検討結果を河川ごとに取りまとめるとともに、応用生態工学的な観点から今後のインフラ整備において取るべき姿勢・方法などを提言という形で取りまとめるための基礎資料として集約したものである。

※注釈

報告書では、「(仮称) 2019 年台風 19 号災害を踏まえた応用生態工学会災害対応委員会調査団」を以下「台風 19 号調査団」として表記する。

1.2 学会における調査団の位置づけと提言・報告書の流れ

調査は、応用生態工学会が組織する災害対応委員会（委員長 久保田勝理事）において、調査・提言が必要と判断された自然災害に対して調査団を結成し、実施されるものである。体制は、調査団長と複数名の団員により構成している。団員は主に学会員である学識者を中心に、学会に所属する企業社員のうち有志の参加により構成する。図 1-1 に調査の流れを示す。

調査団派遣から情報発信まで（案）



図 1-1 台風 19 号調査団の位置づけ
※第 89 回理事会（2017 年 9 月 22 日開催）提案フロー

(1) 先遣隊派遣判断

対象とした 2019 年台風 19 号は、東北・関東・北陸の 3 地方において極めて甚大な被害をもたらした。発生した雨量は各地域ともに計画を上回る規模であったため、河川施設の被災は甚大で被災後の大規模な河川改修が必要な状況となったことや、堤内地の被災も広範囲に及び復旧による自然環境へのインパクトは大きなものとなることが予想された。これらを踏まえて、2019 年 11 月 18 日の会議において、まずは先遣隊を発出することとした。

(2) 先遣隊調査

対象河川は、被災規模が大きい直轄河川を基本とし、計 4 河川 1 地域（北から「阿武隈川」「久慈川・那珂川」「千曲川」「多摩川」「千葉県内中小河川」）を対象として調査を実施すべく結成した。調査は 2019 年 11～12 月に実施した。

○ 阿武隈川：2019 年 12 月 25 日

- 久慈川・那珂川：2019 年 12 月 20 日
- 千曲川：2019 年 12 月 27 日
- 多摩川：2019 年 12 月 24 日
- 千葉県内中小河川：2019 年 12 月 22 日

(3) 二次調査団派遣検討

先遣隊調査を踏まえて、その状況を 2020 年 1 月 9 日にそれぞれ報告し、認識共有を図った。その結果、河川の災害復旧・流域の観点からの治水と環境の両立に向けた対策の必要性の観点から、「阿武隈川」「那珂川」「千曲川」「多摩川」に対して二次調査団を派遣することとなった。

(4) 提言及び報告書の作成概要

2020 年 1 月 9 日以降、二次調査団の派遣を検討していたが、このころより全世界的に蔓延した新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) による感染被害 (以下コロナ禍) が日本においても猛威を振るいはじめた。同年 4 月 7 日には、新型コロナウイルス感染症対策本部決定により、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、大阪府、兵庫県及び福岡県の 7 都府県に対し、新型インフルエンザ等対策特別措置法第 32 条第 1 項に基づく緊急事態宣言が発出されたため、集合して実施する現地調査 (2 次調査団による調査) は実質不可能になった。

調査団としては、調査を踏まえた提言を先遣隊調査の段階であっても取りまとめる必要がある、との判断から、外出がある程度緩和された同年 9 月 11 日に協議を行い、提言及び報告書の作成に着手することとした。

提言及び報告書は、その後追加的に実施した現地調査・検討も踏まえて、主に以下の観点から行うこととした。

- 1) 災害復旧時の配慮事項の提示
- 2) 流域治水ポテンシャルの提示
- 3) 生態系保全対象および生態系保全空間の抽出

1.3 調査団の体制

台風 19 号調査団は、以下の学会員（個人及び組織）により組織した。

団 長	中村 太士	(北海道大学大学院農学研究院)
副団長	島谷 幸弘	(九州大学大学院工学研究院)
団 員 (五十音順)	厳島 怜	(東京工業大学環境・社会理工学院)
	大槻 順朗	(山梨大学大学院総合研究部)
	鬼倉 徳雄	(九州大学大学院農学研究院)
	倉本 宣	(明治大学農学部)
	関根 秀明	(株式会社建設技術研究所)
	瀧 健太郎	(滋賀県立大学環境科学部)
	西廣 淳	(国立環境研究所)
	原田 守啓	(岐阜大学流域圏科学研究センター)
	平林 公男	(信州大学繊維学部)
	皆川 朋子	(熊本大学大学院先端科学研究部)
	森 誠一	(岐阜協立大学経済学部)
アドバイザー	藤田 光一	(公益財団法人河川財団河川総合研究所)
協力会社 (五十音順)	いであ株式会社	
	応用地質株式会社	
	株式会社建設環境研究所	
	株式会社建設技術研究所	
	株式会社復建技術コンサルタント	
	国際航業株式会社	
	日本工営株式会社	
	パシフィックコンサルタンツ株式会社	
	八千代エンジニアリング株式会社	

※先遣隊調査の段階で陸奥テックコンサルタント株式会社、日栄地質測量設計株式会社(非賛助会員)が協力

また、各河川の調査体制は表 1-1 とした。

表 1-1 各河川の調査体制

	団員 ※敬称略	協力会社 (略名)	備考
阿武隈川	島谷 森	いであ、建設環境、復建 C、陸奥テック C、日栄地質測量	
久慈川・那珂川	厳島、大槻、西廣	—	那珂川はとりまとめ対象外
千曲川	平林、瀧、原田	—	
多摩川	倉本、関根	いであ、応用地質、建設環境、建設技研、国際航業、八千代エンジ	
千葉県内中小河川	鬼倉、西廣、皆川	—	とりまとめ対象外

1.4 提言

作成した提言は、別冊「2019 年台風 19 号（令和元年東日本台風）災害を踏まえた治水・環境への提言 2021 年 1 月 15 日 応用生態工学会 2019 年台風 19 号災害調査団」としてとりまとめた。

2. 調査団報告

2.1 阿武隈川の調査報告

2.1.1 被災の状況

(1) 阿武隈川の地勢

阿武隈川は、その水源を那須連峰の旭岳（標高 1,835m）に発し、流れを福島県中通から宮城県南部に向けて北上し、仙台湾に注ぐ。その幹川流路延長は 239 kmと長く、河床勾配は直轄区間で見れば、総じて 1/1,000～1/3,500 程度と緩い（図 2-1-1）。阿武隈川は、那須連峰をはじめとして出水時に運ばれた土砂により、区間途中に盆地形状が広がり、まちが形成されている。また川幅は広狭様々であり、途中の距離標 30～50 kmにおける区間は、両岸に背の低い山地や段丘形状の岩盤に支配され狭く、これより上下流は広い（図 2-1-2）。河道幅が狭い区間の河床勾配は 1/300 程度と急峻となり、洪水時の流れは縦断的に緩急を繰り返すほか、狭い区間より上流では水位上昇をきたしやすく、また下流では扇状地出口的な流水拡散現象を生じさせやすい、という特徴を有しているものと考えられる。

以上より、阿武隈川の主な地勢的特徴は以下の 4 点である。

- ①流水は南から北北東に向かって流れる
- ②河床勾配は上流を含め比較的緩いが途中に旧勾配の区間が頻出する
- ③途中の山地段丘地形により川幅狭小・勾配急峻の区間を挟む
- ④流域内にある資産は勾配変化区間の上下流に形成される盆地形状に集中する

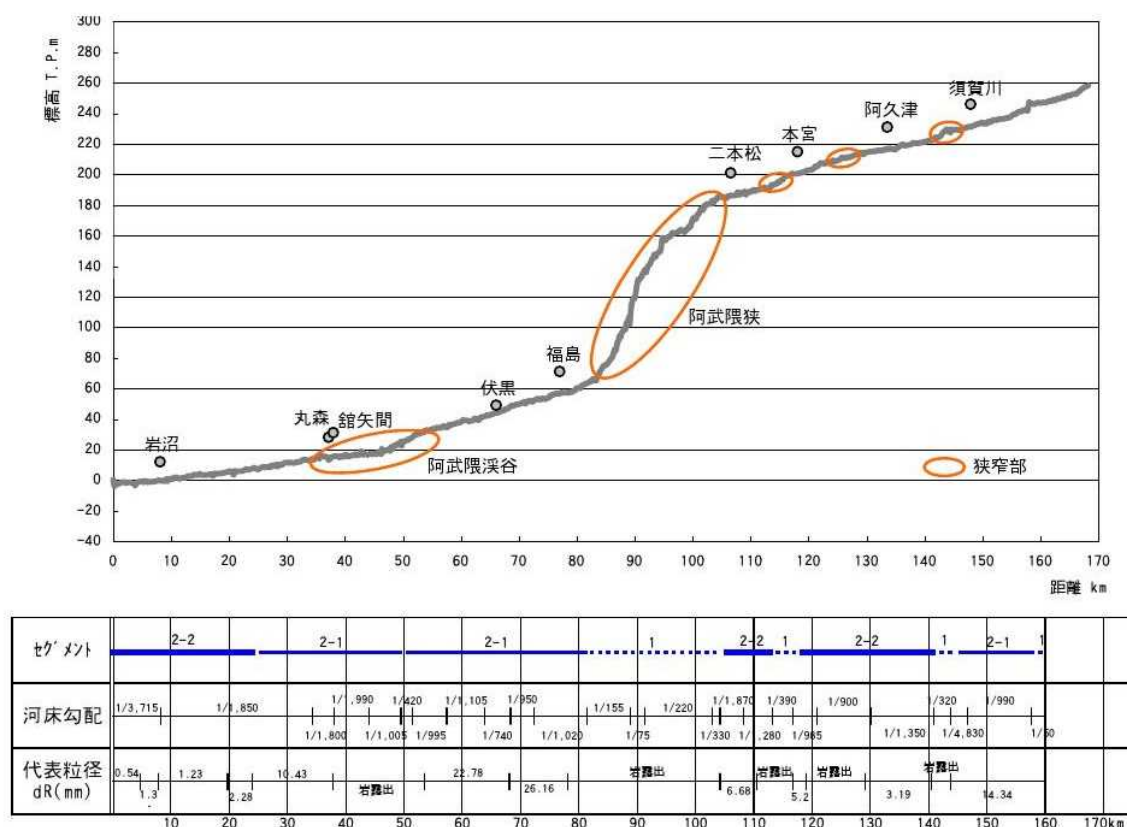


図 2-1-1 阿武隈川の平均河床高縦断図と河道特性図

出典：国土交通省水管理国土保全局 阿武隈川水系の流域及び河川の概要 平成 24 年 11 月



図 2-1-2 阿武隈川の狭窄部

出典:国土交通省水管理国土保全局 阿武隈川水系の流域及び河川の概要 平成 24 年 11 月

(2) 水文概況

台風 19 号は進路を北（北北東）にとっていた。雨雲は常に台風の進行方向前方に強く発達しており、台風が中心が接近する以前から数時間にわたり、この地域に大量の雨をもたらすことになった（図 2-1-3）。

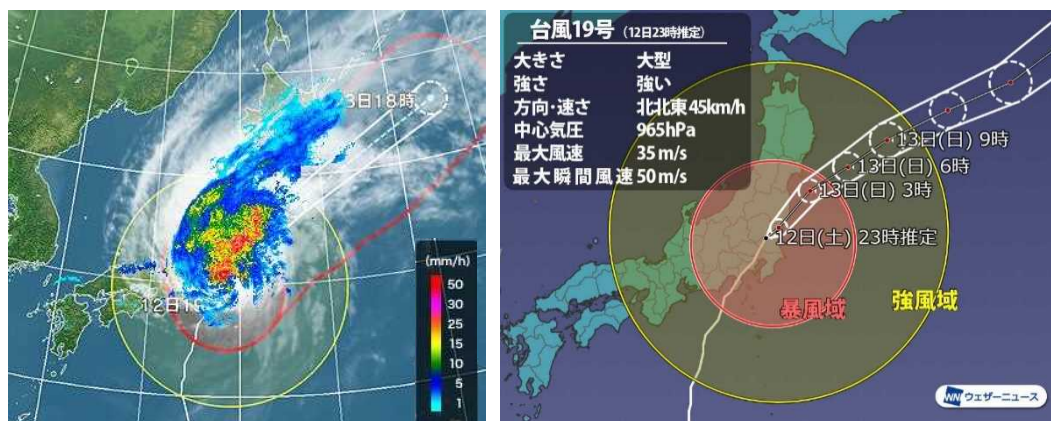


図 2-1-3 台風 19 号の進路（10/12 23 時時点）

24 時間雨量は、各地で 200～300 mm に達した。この雨量は、この地域で過去に発生した既往最大雨量を上回り、福島県須賀川で既往最大雨量の 1.2 倍、宮城県丸森で 1.7 倍の雨量に達した（表 2-1-1）。特徴として、前出のとおり、阿武隈川の流下方向と雨雲の動く方向が同じであったため、先行した降雨により流下する洪水流と雨雲により新たに発生する降雨が長時間同時に重なって発生したため、阿武隈川の河川水位は長時間にわたり高い水位になりうる状況であった。

これにより河川の水位は、特に福島県本宮、阿久津、須賀川の各観測所では、阿武隈川河川整備計画に定める計画高水位（PHWL）を超過する大出水となった（図 2-1-4）。波形は先鋭ではなく、上昇後ピーク付近からあまり低下せず 10 時間以上維持していた。

表 2-1-1 台風 19 号による阿武隈川流域の主な観測所雨量

	福島県※ ¹			宮城県※ ¹
	須賀川	郡山	福島	丸森
既往最大雨量 (2018 以前)	233 mm (2011. 9)	184 mm (1986. 8)	236 mm (2002. 7)	230 mm (1986. 8)
近年主要出水雨量 (1998 年※ ²)	150 mm	147 mm	168 mm	—
今回の出水時最大雨量	271 mm (既往最大)	211 mm (既往最大)	213 mm (既往 2 位)	388 mm (既往最大)

※¹ 福島県観測所は 24 時間雨量、宮城県雨量は日雨量で整理

※² 阿武隈川 平成の大改修の景気となった出水

令和元年 10 月 12 日 台風第 19 号に伴う出水時の水位状況 1（上流）

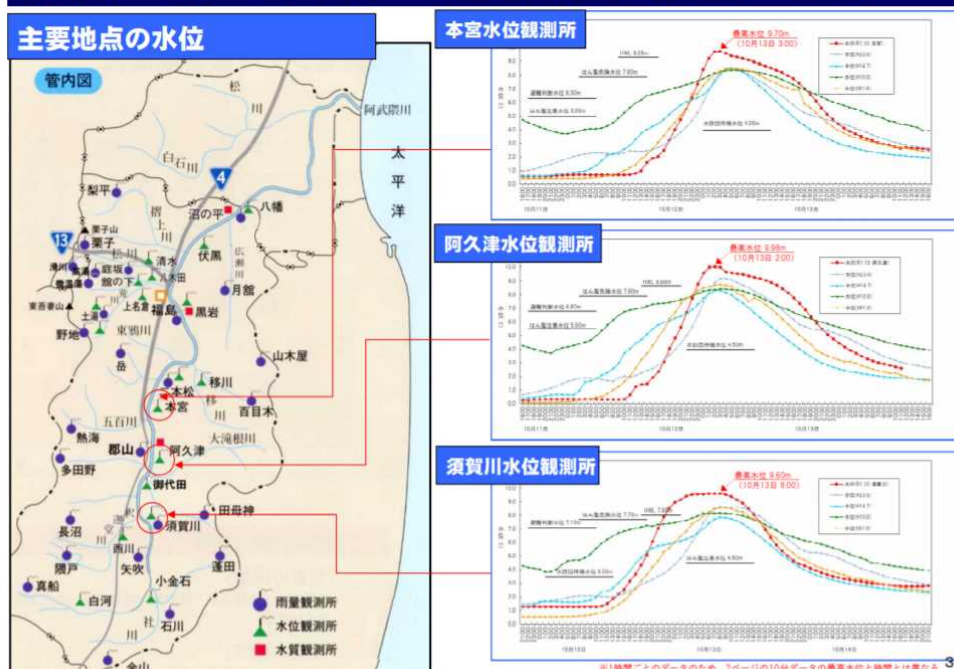


図 2-1-4 阿武隈川上流の水位観測地点における水位

出典：国土交通省福島河川国道事務所 令和元年 10 月 12 日出水台風 19 号に伴う降雨による出水概要 令和元年 12 月

(3) 被災概況

国土交通省によれば、阿武隈川流域では本川・支川をあわせて合計 41 ケ所において堤防の決壊や溢水が生じた。この数は、台風が阿武隈川と同じく通過した、南に位置する久慈川（7 ケ所）や那珂川（14 ケ所）に比べて非常に多い。地形的な特徴や降雨分布などに違いもあったと考えられるが、横尾^{*1}によれば、流下方向の違いが関係したと考えられる。久慈川や那珂川の河川流下は概ね北西から南東に流下する。一方で阿武隈川は南から北北東に流下する。この違いは、今回の台風による雨雲の動きと非常に関係している。前出「水文状況」で記した通りである。一般に、河川のある点で雨が降った場合、その点は一時的に増水するが、そののち比較的速やかに下流に流下するため、水位は早く低減する。久慈川や那珂川は、下流域から順を追って大きな雨が発生したため、河川水位が上昇したものの、上流域に多量の降雨が発生したところには下流域の水位は低減し、ピーク時の水位はその地点での最高水位以上にはなりにくい。一方で阿武隈川は上流にある地点で降った降雨が河川に流下するのとあわせて発達した雨雲が河川流下と同方向・同タイミングで移動し大量の降雨をもたらすため、阿武隈川の流量・水位は積分的に大きく（高く）なったものと推定する。

一方で、阿武隈川を下流端とする支川のうち、合流点が盆地形状となる勾配が比較的緩い支川では、阿武隈川の水位上昇により排水不良をきたしやすく、支川水位が上昇したと考えられる。国土交通省の集計では、決壊・溢水した 41 か所のうち 34 か所は支川で発生しており、阿武隈川からの氾濫は 7 ケ所だった。一般論ではあるが、支川の堤防は直轄である阿武隈川のそれに対して堤防余裕高が小さく、堤防構造も相対的に十分ではない場合が多い。阿武隈川の水位上昇に連続する水面が、支川計画の PHWL より高い水位に押し上げ、かつ比較的強度の低い堤防がこれを支えきれなかった、という推測は容易にたてられる。

令和元年台風第19号に伴う出水後の被害状況 1（郡山出張所管内）

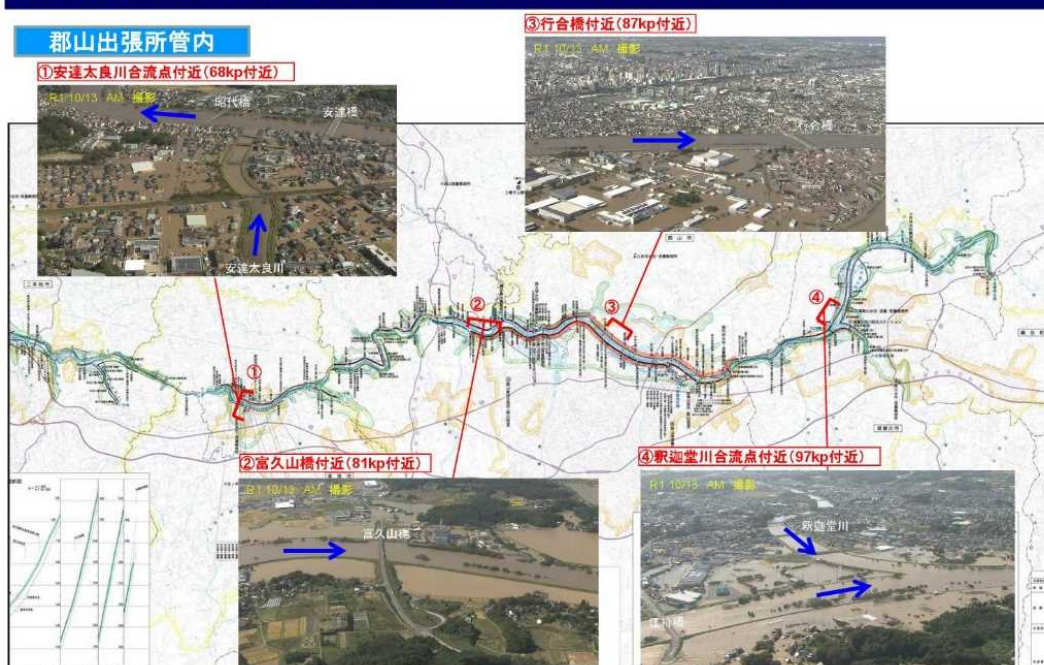


図 2-1-5 被災状況（郡山市付近）

出典：国土交通省福島河川国道事務所 令和元年 10 月 12 日出水台
風 19 号に伴う降雨による出水概要 令和元年 12 月

さらに、森口※2によれば、阿武隈川の氾濫ではなく、山に降った雨水が市街地に集まり、排水されずにあふれる「内水氾濫」が発生したと分析している。阿武隈川はもちろん、支川の水位も上昇する状態にあって、堤内地に直接生じた雨水が行き場をなくして、内水氾濫状態に至った、ということであり、今回の被災は、様々な背景が重なり、大きな被災に至った、と考えられる。これについては、今後の詳細調査の結果を待ちたい。

※1 産経新聞 2019/10/17 記事より

※2 日経 BP 2019/10/18 記事より

2.1.2 河道内施設の概況と課題(現地調査を踏まえて)

(1) 先遣隊調査概要

(1-1) 先遣隊調査の内容

先遣隊は、阿武隈川及びその周辺における被災の状況を概略的に把握し、本調査の必要性を判断するために実施した。なお被災地における民生安定状況が懸念される時期での先遣隊調査であったことや、当日に天皇皇后両陛下が被災地を視察しており、警備上のリスクを回避したいこと、などから、調査は地域コンサルタント技術者の情報から主要な地点（阿武隈川等の破堤・溢水箇所）を抽出し、ポイントに視察する形式とした。

(1-2) 調査方法

調査は、宮城県側から南下するルートを利用し、主要な地点で下車・徒歩で確認する方法とした。下車は、当初から宮城県丸森町の破堤箇所及び福島県郡山市の破堤箇所及び遊水地を予定し実施したが、途中環境の観点から被災影響が生じていると考えられる箇所においても一時停止し確認を行った。

行程を表 2-1-2 及び図 2-1-6 に、また調査の様子を写真 2-1-1 に示す。

表 2-1-2 先遣隊の調査行程

No.	発地	着地	内容・移動ルート
1	仙台駅	7:50	仙台駅東口 駐車場に集合、車2台に分乗
2	仙台駅	8:00 → 9:30	丸森町役場 常盤自動車道 山元IC→県道272経由
3	【現地踏査】	9:30 ~ 11:30	丸森町周辺視察（阿武隈川水系内川、五福谷川、新川 堤防18箇所決壊） 丸森決壊箇所 https://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo05_hh_000084.html
4	丸森町役場	11:30 → 12:30	国見IC（東北道） 国道349経由 ※福島県境付近で片側交互通行、大型車通行不可 福島県内に入った直後に阿武隈川越水箇所（3箇所）あり
5	国見IC	12:30 → 14:00	須賀川市浜尾遊水池 須賀川IC経由 途中の安達太良PAで昼食（またはコンビニで買って車中で済ます）
6	【現地踏査】	14:00 ~ 15:30	浜尾遊水池（堤防決壊 左岸98.6k）周辺視察 本川堤防決壊箇所 http://www.thr.mlit.go.jp/fukushima/pdf/20191218_taiifu19_syusugaiyo_vol4.pdf 【参考】日没16:27
7	浜尾遊水池	15:30 → 16:00	郡山駅
8		16:00 ~ 16:30	（☆ミーティングが必要であれば三春の応用地質さんの研究所で実施）
9	郡山駅	16:30	郡山駅解散 → 仙台へ（仙台着18:30を予定）



写真 2-1-1 調査の様子 (2019. 12. 25 撮影)

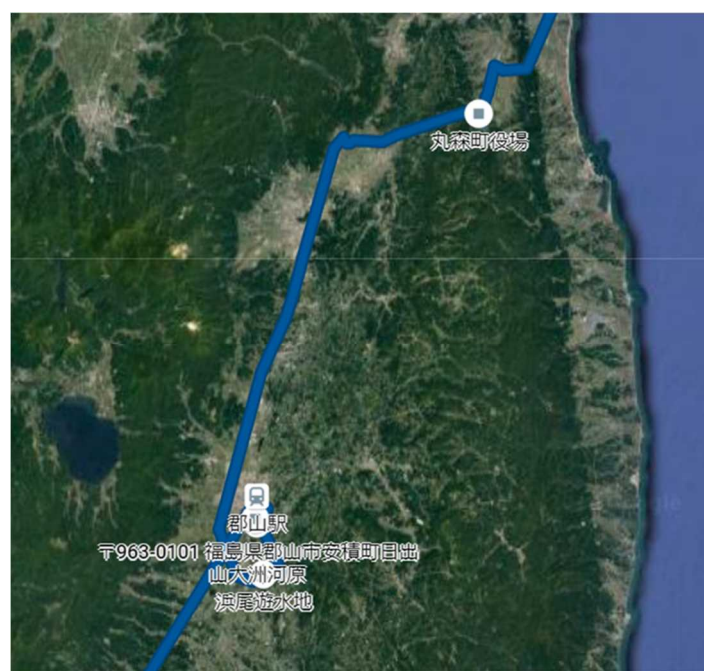


図 2-1-6 調査調査ルート

(1-3) 調査体制および時期

調査は、島谷幸弘教授(九州大学)及び森誠一教授(岐阜共立大学)を筆頭とし、7社7人の建設コンサルタント(学会会員及びその関係者)の計9人で実施した。写真 2-1-2 及び表 2-1-3 にこれを示す。調査は、被災から74日後にあたる2019年12月25日に実施した。



写真 2-1-2 調査メンバー

表 2-1-3 調査隊の体制

	所属	隊員名（敬称略）	備考
学識者	九州大学	島谷（隊長）	
	岐阜共立大学	森	
建設コンサルタント	いであ	樋村	
	応用地質	沖津	
	建設環境研究所	菊池	
	国際航業	鈴木	
	日栄地質測量設計	畠	途中合流
	復建技術コンサルタント	佐藤	
	陸奥テックコンサルタント	橋本	

(2) 支川合流点付近の概況と課題

(2-1) 阿武隈川及び支川内川（宮城県丸森町）

内川は、阿武隈川の距離標 35k 右岸に合流する一次支川であり、新川・五福谷川などの二次支川が下流に集中して流下する（図 2-1-7）。丸森町は、阿武隈川狭窄部の下流に位置する盆地地形であり、河道勾配は狭窄部の緩急を経て相対的に緩やかになっている（図 2-1-1）。



図 2-1-7 丸森町付近の本支川合流点（距離標 35k、丸森町付近）

出典:宮城県土木部河川課 令和元年 10 月台風 19 号出水の概要【速報】 令和元年 10 月 15 日

阿武隈川の内川合流地点における洪水ピーク水位は計画高水位 EL23.697m をわずかに下回る 23.45m であった（図-2-1-8）。この地点で氾濫危険水位（EL22.30m）超過した時間は、超過 18 時間後の同日 18 時であった。3/4 日が氾濫危険水となっていたことになる。

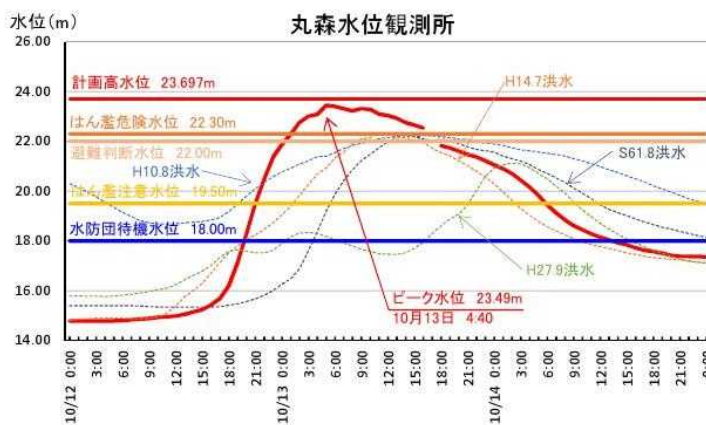


図 2-1-8 丸森水位観測所における実績水位

出典:国土交通省仙台河川国道事務所 令和元年台風 19 号出水の概要(第 2 報)

一方で、内川の水位は同日 18 時には支川が計画 PHWL8.133m を超過し、EL10m 程度を越えた段階で機器故障となった（図 2-1-9）。この数値の量水標補正値はわからないため、阿武隈川丸森水位観測所との水位関係を定量的に示すことができていない。

内川のハイドロ・ハイトグラフ

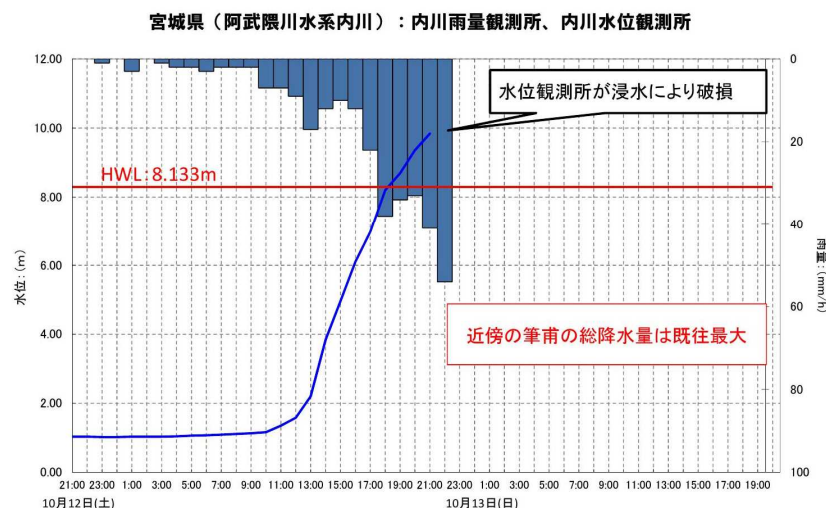


図 2-1-9 内川水位観測所水位記録

出典:宮城県土木部河川課 令和元年 10 月台風 19 号出水の概要【速報】 令和元年 10 月 15 日

丸森町の浸水被害は、

- ①内川堤防が阿武隈川のバック堤（余裕高およそ 2m）として摺り付いているが、合流点上流 1.5 kmにある内川水位観測所の水位が PHWL を 2m 上回っていること
- ②機器故障時点水位後に降雨ピークが発生しており内川の水位はこれより高くなっていたと考えられること
- ③阿武隈川に破堤が生じていないが内川や五福谷川などに破堤が見られたこと（図 2-1-10）

などから、丸森町の浸水被害は、阿武隈川の背水の影響により内川等の水位が高くなり、堤防を溢水または破堤して堤内地に流れ込んだと考えられる。



図 2-1-10 浸水被害の状況

出典:宮城県土木部河川課 令和元年 10 月台風 19 号出水の概要【速報】 令和元年 10 月 15 日

被災した地区は、太古の昔に阿武隈川及び支川が運んだ土砂が堆積してできた盆地であり、山地に迫る箇所までは比較的フラットであることから、河川は築堤形状になっている。今回のような阿武隈川の水位上昇により、阿武隈川と支川の合流点が制約条件となって支川水位の上昇をきたす。このため、今回災害の再発防止にあたっては、支川堤防の強化（嵩上げ）が最も堅実な対策方法になる。支川水位が本川水位の影響を受けるからであり、流下能力の向上（流量確保）より水位上昇対策が優先されるためである。この点、河床掘削は機能しないし、河道拡幅は容量不足になるためである。



破堤箇所の復旧整備（右岸）
写真 2-1-3 内川右岸堤防の被災後改修（2019. 12. 25 撮影）

(2-2) 阿武隈川及び支川谷田川(福島県郡山市)

この区間の特徴は、隣接する上下流の狭窄・旧勾配区間に挟まれ、階段の踊り場の形状になってることである。水理的に見れば、上流からは大きい流下（運動）エネルギーで盆地に到達すること、下流の狭窄部により鵜の首状に流れが絞られるため、運動エネルギーが円滑に連動せず位置エネルギーに変換されやすい（水位上昇しやすい）、と言った特徴を有している。

この影響が少なからずあってか、かつての谷田川合流点付近における阿武隈川は蛇行を繰り返していたようである。国土交通省によれば、阿武隈川の蛇行により谷田川の合流点は現在より上流にあった（図 2-1-11）。蛇行した旧河道の存在は、交流展付近の面的な比高差が小さいことを意味しており、現在の合流点付近の堤内地は、宅地造成当による盛土を大規模に行わない限り、阿武隈川や谷田川の河床高に近い標高しかないと考えられる。

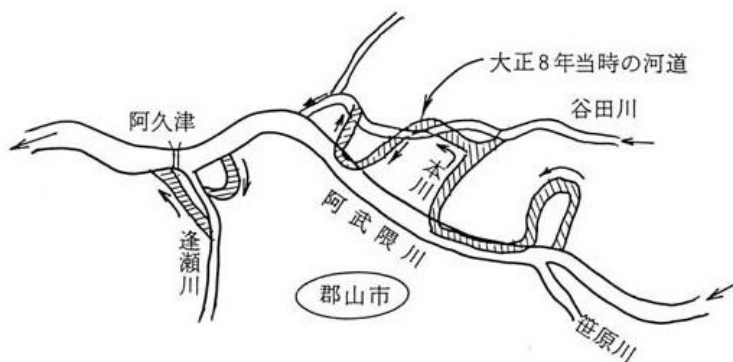


図 2-1-11 阿武隈川 谷田川・逢瀬川合流点付近の河道変遷

出典：国土交通省水管理国土保全局 阿武隈川水系の流域及び河川の概要 平成 24 年 11 月

また、谷田川合流点は、今回の台風 19 号により被災以外に、これまで複数の洪水被害を受けている。昭和 61 年 8 月には台風 10 号から変わった温帯低気圧の北上に伴う大雨により、合流点付近は浸水被害が発生した（図 2-1-12）。このほかにも、平成 10 年 8 月には前線と台風 4 号の北上による水害が発生し、これを契機に「平成の大改修」と言われる大規模河道改修が実施された。

今回の台風 19 号災害では、谷田川合流点や逢瀬川合流点付近において、特に浸水被害が発生し（図 2-1-13）、郡山市郊外の旧河道付近（郡山市徳定地区）においては、浸水深が床上 1.6m に及んでいる^{※1}。この原因は、丸森町における原因とほぼ同様で、阿武隈川の水位上昇と同時にピークを迎えた支川流水が、行き場をなくし堤内地に溢水氾濫したためと考えられる。なお、谷田川-逢瀬川合流点付近において、阿武隈川でも距離標 136.4k～137.6k の右岸区間で溢水が確認されていること^{※2}から、必ずしも氾濫水のすべてが支川によるものとは言い切れず、今後の原因究明を待ちたい。

※1 毎日新聞 <https://mainichi.jp/articles/20200412/k00/00m/040/048000c>、2020 年 4 月 12 日記事

※2 国土交通省福島河川国道事務所 台風 19 号に伴う降雨による出水概要 令和元年 12 月 18 日



図 2-1-12 昭和 61 年 8 月出水による谷田川合流点の被災

出典: 国土交通省水管理国土保全局 阿武隈川水系の流域及び河川の概要 平成 24 年 11 月

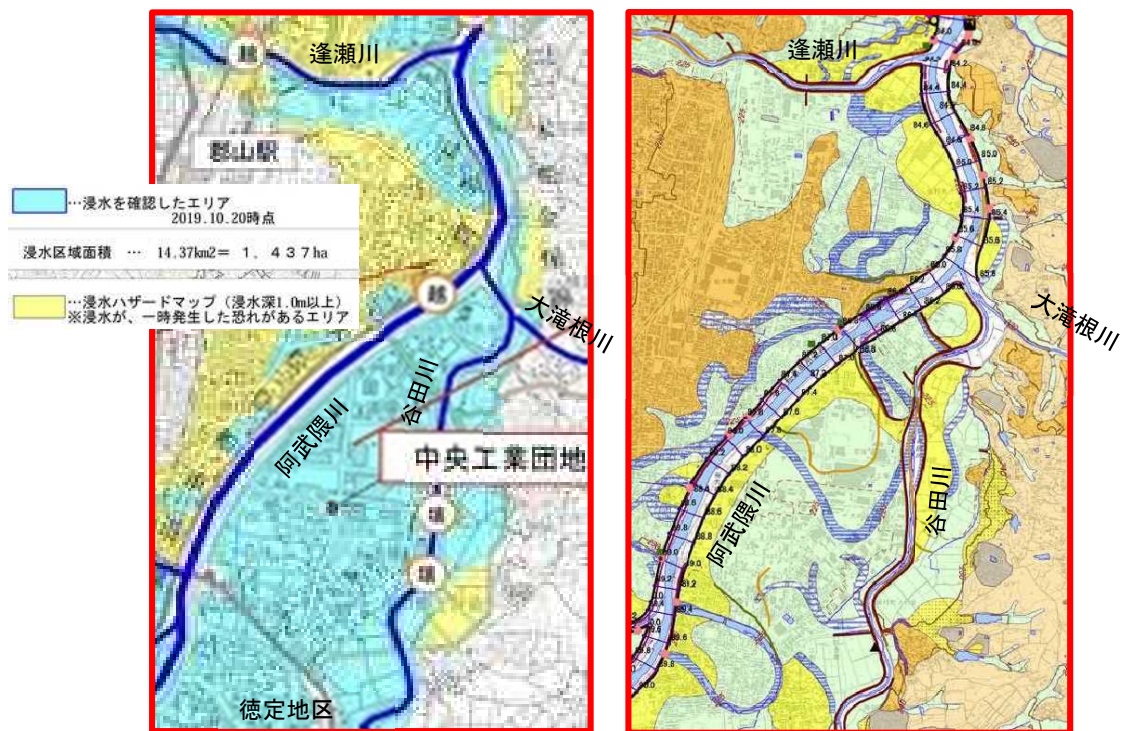


図 2-1-13 谷田川合流点の浸水区域と旧河道跡の関係

出典 左: 福島河川国道事務所資料 / 右: 治水地形分類図(国土地理院)

(3) 堤内地の微地形(旧河道跡)

阿武隈川中流部には、今は湿地帯になっている旧河道の後が数か所確認できる。このうち、谷田川合流点より上流約 3 km (距離標 140k) 右岸には、U の字の形状をした旧河道が、今も水をたたえた湿地環境となって残されている。地元では、古川池と呼ばれている。この地は、かつて阿武隈川の氾濫原であったと考えられ、治水地形分類図では、阿武隈川の滞筋が大きく蛇行して形成されていたことがうかがえる (図 2-1-14)。



図 2-1-14 阿武隈川距離標 140k 右岸に形成される旧河道跡

出典: 左: Google、右: 治水地形分類図 (国土地理院)

なお、この旧河道跡は、江戸時代に松尾芭蕉が旅の途中で「安積山かたびらほして通りけり」という句を詠んでいる。奥の細道の一連ではあるが、句集には残されていない※ (図 2-1-15)。

※出典: 福島民友新聞 (<https://www.minyu-net.com/serial/hosomichi/FM20190916-415389.php>)



図 2-1-15 松尾芭蕉が句を読んだとされる旧河道跡

出典: 参謀本部陸軍部測量局制作 (明治 19 年 10 月)

千曲川や久慈川・那珂川においても報告されるが、旧河道の跡地は内水被害や万一破堤洪水時には浸水被害を起こしやすい。理由は、

- ①旧河道ゆえ局所的（点）には地盤高が低いこと、
 - ②面的に見れば水路に近い地盤高が形成されがちであり局所的な土盛りによって
も洪水時に新たな水路を形成しやすいこと
 - ③地下水位が高く降雨が浸透しにくいこと
- などが要因として考えられる。

阿武隈川の当該地は、阿武隈川に加えて谷田川も旧河道の後が存在するなど、いわゆる氾濫原的な地形であることを認識したうえで、土地利用を考える必要がある。

一方で、旧河道のうち水面が残されている郡山市安積町日出山地区では、旧河道の跡以外は住宅地や企業、学校などの土地利用に変化し、平時にも水をたたえた池と氾濫原的な湿地などの状態で維持されており、完全に埋め立てられたのは、上流部（南側）の帝京安積高校グラウンドのみである（図 2-1-16）。池・湿地に生息する重要な生物は、調査情報が不足していることや、透明度を除く水質の情報が不足していること、などから不確実ではあるが、生息場の河川景観を見る限り、魚類や湿性植物などの貴重な種や群落が形成されている可能性がある。なお、旧河道については、持続可能な防災親水公園としての利用可能性も念頭に、隣接する日本大学工学部で水質、底質、水生植物の植生分布、栄養塩等の研究に取り組み始めている（令和 2 年度古川池に関する研究成果報告会資料，令和 3 年 3 月 10 日，日本大学工学部土木工学科手塚研究室）。

被災後 2 年が経過した 2021 年 3 月における北側の水辺現在の現場では、水面・水際ともにまだ改修されていない。但し、郡山市が令和 3 年度から旧河道の一部範囲の浚渫を開始する予定である。追加的に実施した調査では、オオバンやカルガモなどを確認している（表 2-1-4）。その数は特に多いものではないが、学校や住宅地に挟まれた空間にあって、水鳥の憩いの場になっていると考えられる（写真 2-1-5）。またカワウが潜水し採餌したり、アオサギも水面下の様子を伺う仕草を示すなどから、魚類の生息も相当数あるものと推測される。

表 2-1-4 旧河道の北側の池で確認した鳥類

科名	属名	種名	確認数
カモ科	マガモ属	カルガモ	30
		コガモ	2
	オオバン属	オオバン	3
サギ科	シラサギ属	シラサギ	1
	アオサギ属	アオサギ	1
ウ科	ウ属	カワウ	2

※調査 2021 年 3 月 6 日

なお、水際には外来種ミシシippアカミミガメが確認できた（写真 2-1-5）。地理的に見て地域住民またはその周辺の人々により放流された稚ガメが成長したものと考えられる。当該地域は閉鎖性水域になっており、今回の台風でも氾濫した流水はポンプ処理したものと考えられることから、出水前から存在した個体かもしれない。これから見ても、池内には外来種をはじめとする多様な生物がある程度安定的に生息している可能性がある。外来種による生態系が形作られている可能性を含めて、当該地域の環境を一度確認し、生物から見た旧河道の意義を今一度確認しておきたいところである。



図 2-1-16 現在の旧河道



2019. 12. 25 撮影



2021. 3. 6 撮影

写真 2-1-4 旧河道北側の池



写真 2-1-5 確認した水鳥（撮影 2021. 3. 6）



写真 2-1-6 ミシシippアカミミガメ（外来種）

2.1.3 まとめ

今回の出水により、阿武隈川では上下流にわたり計 41 ケ所もの破堤、溢水または内水により浸水被害が発生した。福島県下では、16 ケ所において堤防の緊急復旧を行っており、うち 9 ケ所が支川の対策になる（図 2-1-17）。これらはいずれも阿武隈川に合流する直前の堤防であり、前出に示した通り支川合流点付近における浸水被害発生リスクが高いことがわかる。



図 2-1-17 台風 19 号による阿武隈川（福島県区間）の堤防緊急復旧実施箇所

出典：国土交通省福島河川国道事務所 令和元年 10 月 12 日出水台風 19 号に伴う降雨による出水概要 令和元年 12 月

前出のとおり、阿武隈川流域の特徴は、水源を流域南部にもつことであり、台風など北上する頻度の高い移動性強降雨帯と河川流量ピークが重なりやすい。このため、阿武隈川自体の堤防への負荷に加えて、排水不良の状態となった支川から溢水し場合によっては破堤することで、被害を急激に生じさせやすい特性があると考えられる。

現在の河川整備計画は、これらの特性を踏まえた流量計画をもって計画されている。しかし、計画を上回る出水が発生した場合には、特に支川の堤防は耐えきれなくなる。

支川流域においては、阿武隈川において多く見られる河川水位の変動特性を踏まえて、阿武隈川への流下時間を遅らせる工夫が求められよう。現在、阿武隈川においては三春ダムや摺上川ダム、七ヶ宿ダムの3直轄ダムを含め計21のダムが本支川に配置され運用している（表 2-1-5）。多くは灌漑を目的とした農業用ダムであるほか、発電目的のダム2基がある。農地防災を含めた治水目的のダムは5基に過ぎないが、これらのダム貯水容量を効率的に活用し、計画を上回る規模の出水に対応することも可能と考えられる。

表 2-1-5 阿武隈川水系の多目的ダム

No.	ダム名	河川	目的	管理	所在	備考
1	三春ダム	大滝根川	多目的	国交省	福島県	
2	摺上川ダム	摺上川	多目的	国交省	福島県	
3	七ヶ宿ダム	白石川	多目的	国交省	宮城県	
4	深田調節池	多田野川	灌漑	農水省	福島県	
5	高柴調節池	大平川	灌漑	農水省	福島県	
6	金沢調節池	上石川	灌漑	農水省	福島県	
7	西郷ダム	鳥首川	灌漑	農水省	福島県	
8	堀川ダム	堀川	多目的	福島県	福島県	
9	千五沢ダム	北須川	灌漑・農地防災	福島県	福島県	改修工事中
10	龍生ダム	釈迦堂川	灌漑・農地防災	福島県	福島県	
11	三ツ森ダム	七瀬川	灌漑	福島県	福島県	
12	半沼田ダム	普蔵川	灌漑	福島県	福島県	
13	藤沼ダム	江花川	灌漑	福島県	福島県	2011被災後再開発
14	赤坂ダム	谷津田川	灌漑	福島県	福島県	
15	村田ダム	荒川	灌漑	宮城県	宮城県	
16	川原子ダム	白石川	灌漑	宮城県	宮城県	
17	下北沢ダム	逢瀬川	灌漑	逢瀬町	福島県	
18	山梨ダム	笠島川	灌漑	角田市	宮城県	
19	泉川ダム	泉川	灌漑	土地改良区	福島県	
20	蓬萊ダム	阿武隈川	発電	東北電力	宮城県	
21	信夫ダム	阿武隈川	発電	東北電力	福島県	

※出典 ダム便覧

このほか、支川上流に形成される谷津地形に広がる農地において田んぼダムの機能を持たせ流出を抑制したり、河川沿いに広がる農地を活用し一次的に河川水を洪水貯留させるなど、流域治水の観点から支川流量を低減させることも有効な方法である。

以上の方策は国土交通省が示した流域治水の考え方に沿うものである。実現に向けた課題として、管理者・地権者の協力が得られるか、が挙げられる。グリーンインフラの視点で考えれば、治水・環境に加え経済の視点が重要であり、管理者・地権者が経済的に運用可能な仕組みがどれだけ担保できるか、により、実現性が高まる。多様な主体とも連携し、実現すること望まれる。

2.2 久慈川の調査報告

2.2.1 河川の特徴と被災状況

(1) 河川の概要

久慈川（図 2-2-1 左）は、茨城県を流れる流域面積は 1490km²、流路延長 124km の 1 級河川である。年平均降水量は 1,300mm 程度で、流域は多くを森林が占め、久慈川は大部分を山間を流れる。国の管理区間のスタートとなる辰ノ口付近からは沖積低地に出て、河口に至る。この区間の勾配はおよそ 1/900～1/2,000 程度であり、浅川、山田川、里川などの支川が合流する（図 2-2-2）。図中の治水地形分類図によると辰ノ口から下流においては、段丘面と河川に挟まれたエリアに自然堤防と旧河道が入り乱れる地形的特徴を有しており、この自然堤防上に集落が形成されている。また、久慈川は霞堤や水害防備林がよく保存されていることで知られている。特に顕著なのは辰ノ口から富岡までのエリアである（図 2-2-3）。

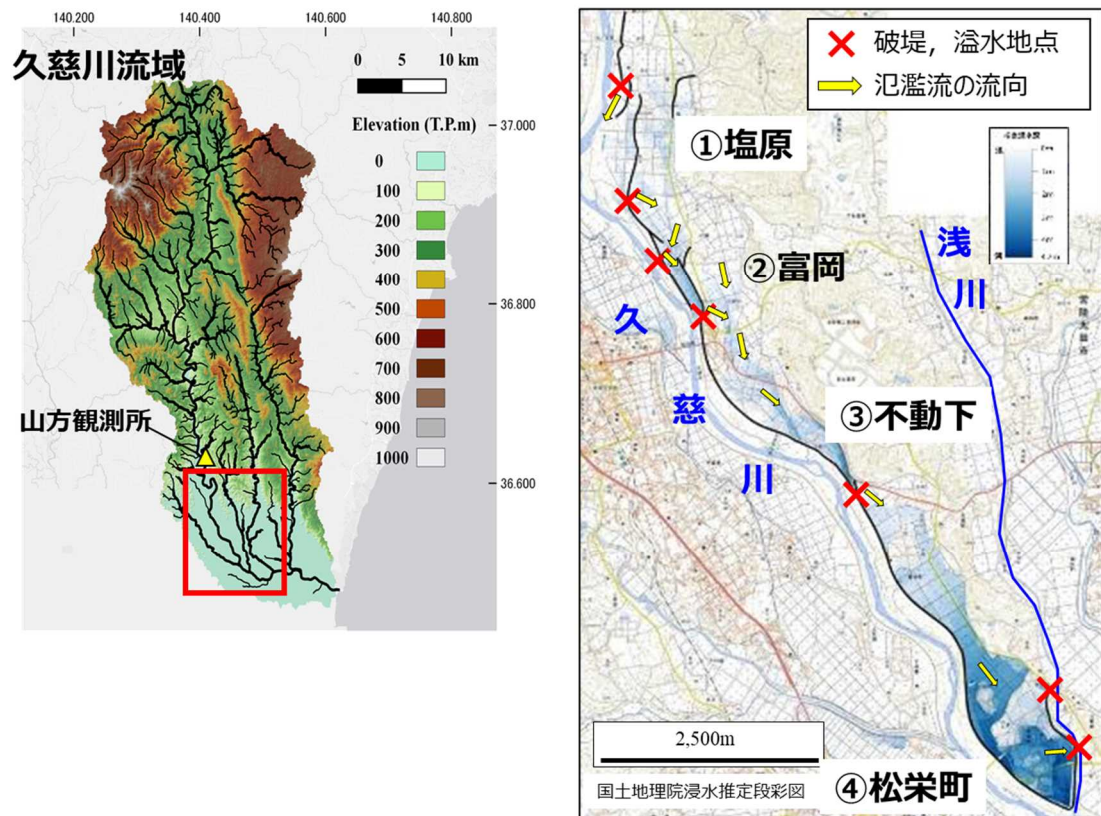


図 2-2-1 久慈川の流域図と浸水域

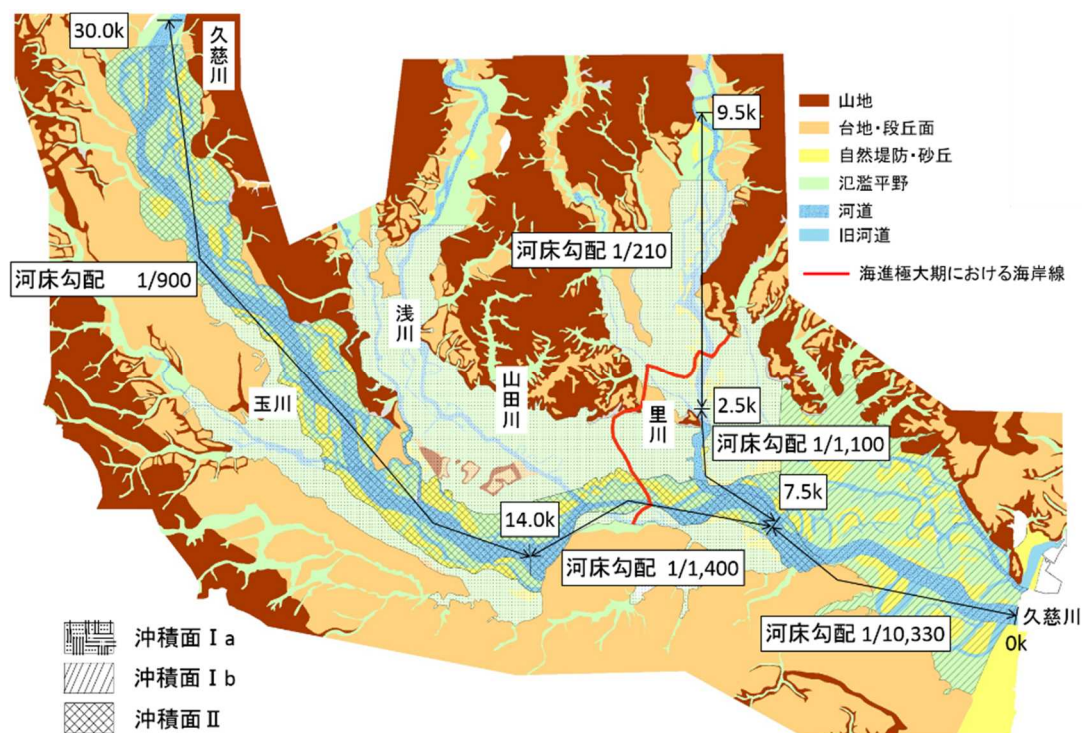


図 2-2-2 久慈川流域における治水地形分類および沖積面分類

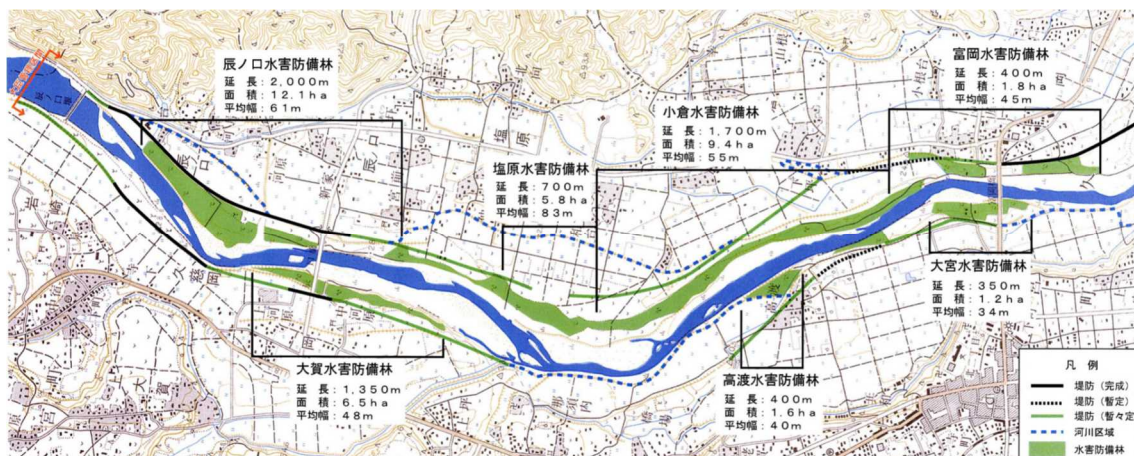


図 2-2-3 久慈川流域における水害防備林の分布

(2) 被災状況

東日本台風による被害は久慈川でも甚大であった。10月11日未明より雨が降り出し、12日午後をピークに13日の明け方まで降り続いた。その結果、2日間の流域平均雨量は255mmとなり、戦後最大の214mm（1986年）を上回った。確率規模では、計画規模1/150年に対し、1/180年である。国土交通省関東地方整備局の推定では、山方観測所におけるピーク流量は約3,700m³/secであり、これは河川整備基本方針での基本高水流量4,000m³/secに迫った。水位については、富岡観測所の氾濫危険水位3.5mに対し、5.7mを記録した。

この未曾有の洪水により、久慈川では大規模の浸水被害がもたらされた。幸い犠牲者は発生しなかったものの、特に久慈川の左岸側を中心に浸水家屋914戸、浸水面積は1,180haに及んだ。特に浸水深が大きかったのは、左支川浅川合流点付近である（図2-2-1右、および図2-2-4）。ここでは、連続堤防の整備が未完であり、堤防が不連続になっている「霞堤」が現存している。氾濫流は霞堤のある①塩原地区や②富岡地区の霞堤開口部や堤防損壊部から流入し、堤防と段丘面の間の狭い平地を流れ下った。③不動下地区では、堤防と段丘面が近接しさらに旧堤防が近接していることから氾濫流がせきあげられ浸水深が増大した。氾濫流は新堤防を越流せずに、残存した旧堤防を破壊しながらさらに南下し、④松栄町地区において合流する支川・浅川のバック堤に阻まれることで行き場を失い、この地区での浸水深が増大した。



図 2-2-4 久慈川流域における被災状況

2.2.2 水害防備林

(1) 分布と変遷

水害防備林（以下 水防林）とは、河川に沿って設けられ、洪水時にその背後地を防御し水害被害を軽減する機能を有する主として竹などの樹林帯を指す。その機能としては、堤防強化、侵食防御、流速低減、土砂礫・流木の捕捉（スクリーニング）が知られる。水害に対する減災機能を有する Eco-DRR（Ecosystem-based Disaster Risk Reduction）の代表的な例である。近世までは、重要な治水施設として計画的に配置、管理されてきたが、連続堤防の整備に伴って多くが失われた（松浦 1988）。これに対し 1996 年の河川審議会答申において、水防林の機能が再評価され、1997 年（平成 9）年の河川法改正において河川管理施設としての樹林帯として位置づけられ、建設省河川局（当時）の重点施策にも取り上げられ、水防林の氾濫流減勢効果（末次ら、1998）などの機能の検討が進んだ。しかしながら、河川整備計画における取り扱い環境、景観の視点からであり、水防林を治水の基本施策に明確に位置づけている水系は現在のところ見られない。

久慈川の水害防備林は①塩原地区の上流の辰ノ口地区から②富岡地区にかけての堤内地に分布している（図 2-2-3、長尾 2004）。河川沿いだけではなく、自然堤防の上にパッチ状に分布する集落の川上側にも竹林が配置されている。樹種は主に竹（オダケ、メダケ）が主体であり、現地における密生度は樹種に対応して、0.2～1.0 程度である（表 2-2-1、図 2-2-5）。これらの水防林は、今次災害でも水防林が流木・塵芥の捕捉、河岸侵食抑止によって機能した様子が見られた（図 2-2-6）。

減災効果を有する水防林であるが、久慈川においても大幅に減少している。図 2-2-7 に示すように堤防整備とともに、流下断面の確保や維持管理上の理由から伐採が進んでいるのが現状である（長尾，2004）。他方、現存箇所については、管理の手が十分に及ばなくなることによって川側に拡大し河道を圧迫しつつある（図 2-2-8）。つまり、水防林はそれ自体の減少と管理水準の低下によって、機能の消失と劣化が生じていることが課題となっているといえる。また、今時災害では、水防林の切れ目から溢水・破堤したケースも見られ（図 2-2-9）、現存箇所の管理が単純ではないことも示唆された。

表 2-2-1 水害防備林の密度・直径・密生度の現地計測結果

	a) 堤外地 ①塩原地区	b) 堤外地 ④松栄町地区	c) 堤内地 ④松栄町地区
本密度 (-/m2)	2	50	15
直径 (m)	0.10	0.02	0.02
密生度: as	0.20	1.00	0.30



図 2-2-5 水害防備林の現地写真



図 2-2-6 水害防備林の塵芥捕捉状況

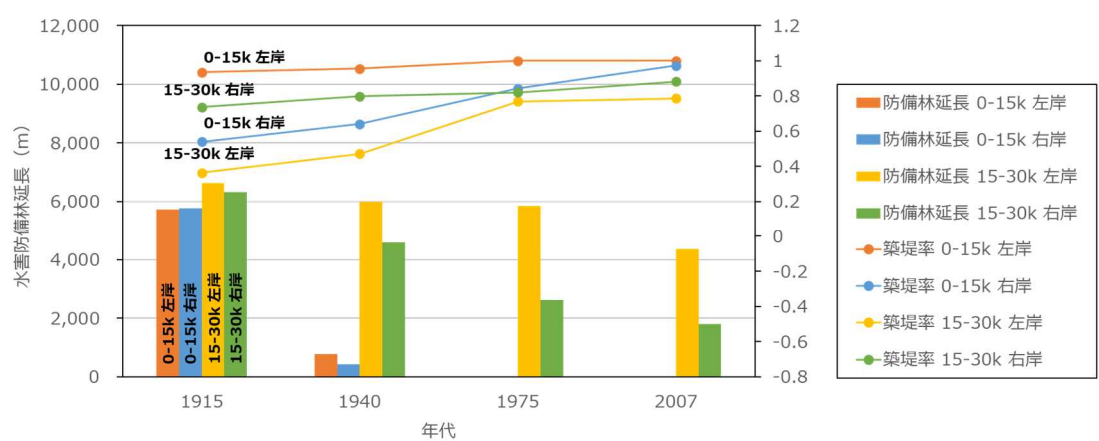


図 2-2-7 久慈川における年代別の堤防整備率と水害防備林の延長



図 2-2-8 久慈川における水害防備林の河道への延伸



図 2-2-9 水害防備林の切れ目からの被災事例

2.2.3 霞堤および支川合流点の開口部

(1) 分布と変遷

「霞堤」とは、一部横断方向に重複しながら、不連続に築かれている堤防であり（大熊，1987）、扇状地を流れる河川（例：黒部川や富士川、手取川）に今も多く残されている。霞堤は、治水の初期段階での個別の家や集落を拠点的に守る小さな堤防が、時代とともに徐々に延伸され、支川との合流点などの排水部が開口部として残存することで形成されたと考えられている。堤防が不連続であることの効果はおもに2つある。一つは、開口部周辺が本流の遊水地として機能することで、下流の洪水流量を減少させる効果である。二つ目は、氾濫拡大防止および排水機能である。上流側で生じた氾濫流を下流の霞堤で受け止め開口部から河川に還元することで、氾濫の拡散を防ぎつつ洪水後の排水をスムーズに行うことができる。この2つの機能は河川の勾配によって重要性が異なり、扇状地河川などの急勾配河川では後者がより重要である（寺村・大熊 2007）。

久慈川の霞堤（堤防不連続部）は、地点①塩原地区および②富岡地区にある（図 2-

2-1、図 2-2-4)。①塩原地区のものは、地盤高から 1～2m 程度、幅 3m 程度の小規模のものであり、自然に形成された微高地（自然堤防）を連結するように開口部から上流に向かって伸びている（図 2-2-10）。一方、②富岡地区では、新堤防の暫定的未着手部分が霞堤の開口部となっている。塩原地区の霞堤を含めて横断的に地形高と痕跡水位を計測したところ、霞堤によって浸水深が徐々に軽減している様子が伺えた（図 2-2-11）

霞堤はより下流の支川合流点にも見られたが、連続堤防の構築とともに、少しずつ姿を消している。図 2-2-12 には、③不動下、④松栄町地区の築堤の進展を示す。堤防の整備は、1948 年の段階では、国の管理区間の 60%程度しか堤防は整備されていなかったが、1975 年台には 90%にまで達したが、この段階でも支川の合流点では締切がなされていなかったものの、現在は新堤防によって締め切られている。また、③不動下地区ではかつては 2 本の盛土が確認でき多重の防御となっていたが、1970 年代の圃場整備によって整地される際にこの盛土が失われている。

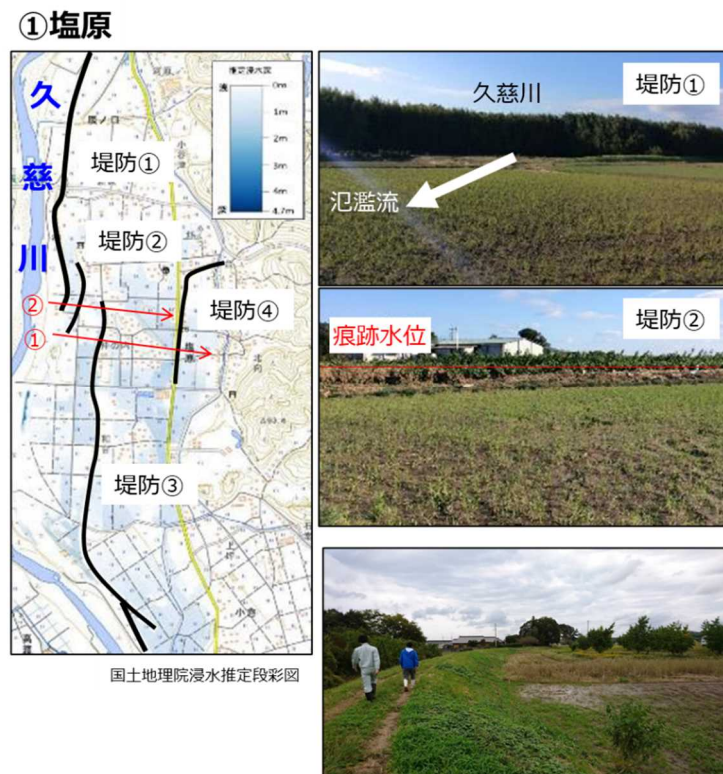


図 2-2-10 塩原地区における霞堤の状況

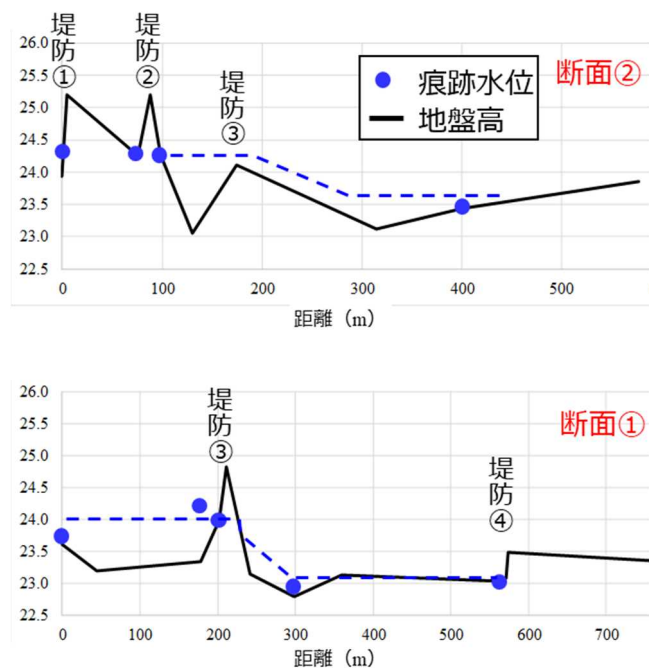


図 2-2-11 塩原地区における霞堤付近の地盤高および痕跡水位の横断図

③不動下



④松栄町

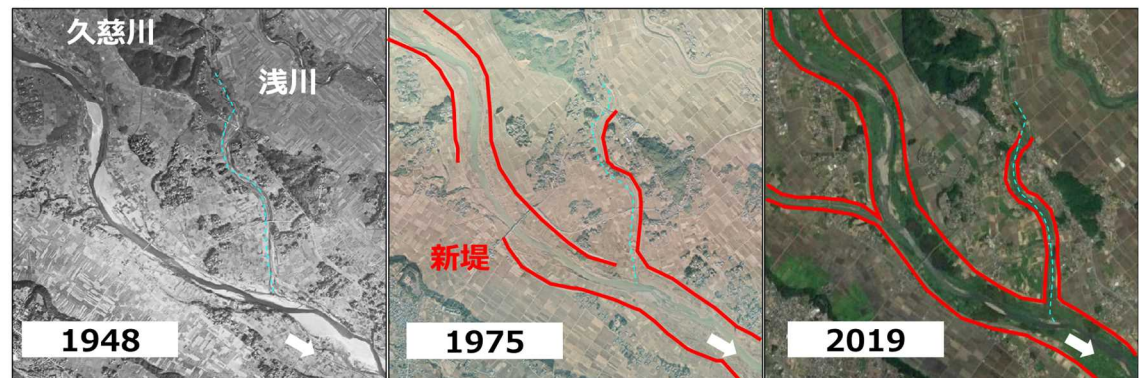


図 2-2-12 不動下地区および松栄町地区における堤防整備と旧堤防消失状況

(2) シミュレーションによる機能の評価

久慈川における不連続堤防の存在や改築、連続堤防整備が堤内地の氾濫挙動に及ぼす影響を河道だけではなく堤内地の氾濫特性を含めて評価するため、2次元流動シミュレーションを実施した。ここでは、今時水害の外力を対象とするが、現象再現よりも堤防不連続部の有無による比較を目的とする。

解析対象範囲は、河口から 31k 付近の辰ノ口堰下流から、河口から 11.5k の額田観測所までとした。用いる地形データは、最新の河道断面（2013 年）および DEM5A（国土地理院）を合成したデータを現況とし、航空写真で年代別（1975 年、1960 年、1948 年）の堤防整備状況を判読しその部分のデータを消去することで模擬的に年代ごとの堤防整備状況を表す地形データを作成してシミュレーションに用いた。境界条件として、山方観測所における流量ハイドロ、額田観測所における水位を与え、マンニングの粗度係数については、河道部で 0.03 (m, s unit)、氾濫原で 0.04 を与えた。また、水害防備林等の樹木抵抗を樹木密度に対する付加的な抗力として考慮した。樹木密度については現地調査の結果を参考にした。シミュレーションには、iRIC ソフトウェア (<https://i-ric.org/ja/>) に含まれる 2 次元河川流解析ソルバ Nays2DH を用いた。

シミュレーションによって得られた浸水深を図 2-2-13 に示し、洪水の段階別に、地形条件間の比較を行う。まず i) 洪水増水期の状況を見ると、3 つの地形条件すべてで①④塩原地区、②富岡地区周辺の霞堤開口部から堤内地への氾濫が生じるが、a) 1948 年の地形条件のケースでのみ、より下流の④松栄町地区の堤防のない箇所からも浸水が開始される。ii) の流量ピーク時になると、a) 1948 年の条件では、堤防の左岸および右岸から越水し、氾濫原の多くの部分で浸水が発生しているが、b) c) の 1975 年および 2019 年の地形条件では、浸水の拡大は堤防により大幅に抑制されている。また、b) の 1975 では、④松栄町地区に堤防の不連続部が存在するが、堤内地への浸水は限定的である。iii) の最大浸水時においては、それぞれの地形条件で浸水が拡大していくが、b)、c) を比較すると、④松栄町地区の浸水深に大きな差が生じている。iv) 減水期となると、a)、b) については、堤防の不連続部から氾濫水が排水され、浸水深が低下するが、c) 2019 年のケースでは、④松栄町地区などで氾濫流が排水されず浸水が長期化している。

図 2-2-14 は 4 つの代表点における条件別の水深の時系列変化を示している。これを見ると、a) 1948 年の地形条件での結果では、地点間で浸水深や挙動に大きな差がないのに対し、b) 1975 年、c) 2019 年の条件では、地点間の差が大きいことが分かる。特に、堤防による堰上げの影響を受けている③不動下、④松栄町地区では、2019 年では高い浸水深を示し、その増加率もおおよそ 2~3.5 m/hr と非常に高い。氾濫が発生する時間を見ると、a) 1948 年条件では、計算開始から 4-7 時間ほどに集中しているが、堤防の構築の影響を受けて遅くなっていることが分かる。④松栄町地区に注目すると、浅川合流点付近に不連続部が残る b) 1975 年の条件でも 2、3 時間遅くなっており、開口部の有無よりも氾濫域の上流部での築堤が浸水開始時間により大きな影響を与えることが示唆される。

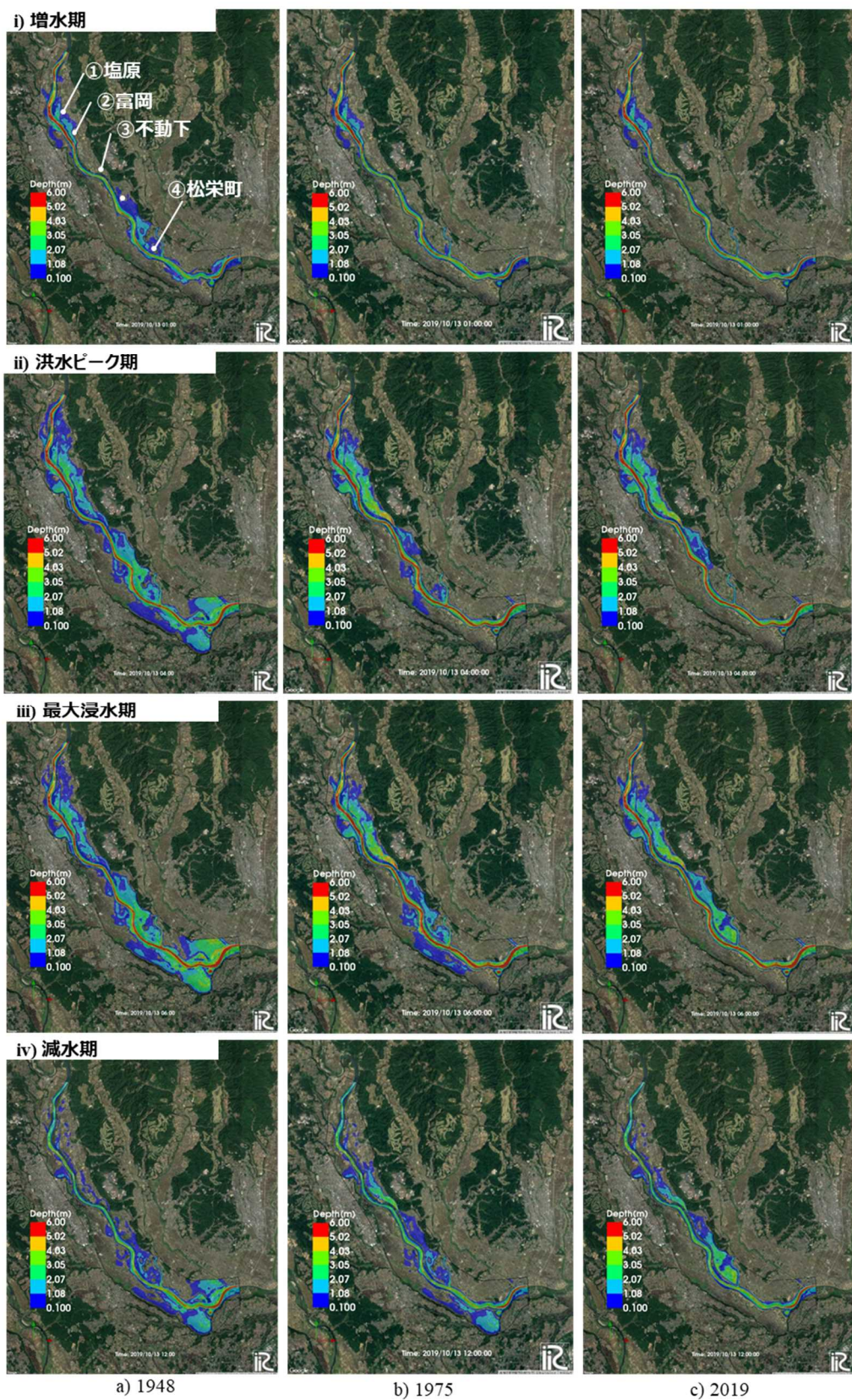


図 2-2-13 過去の地形を模擬した 2 次元氾濫シミュレーション結果

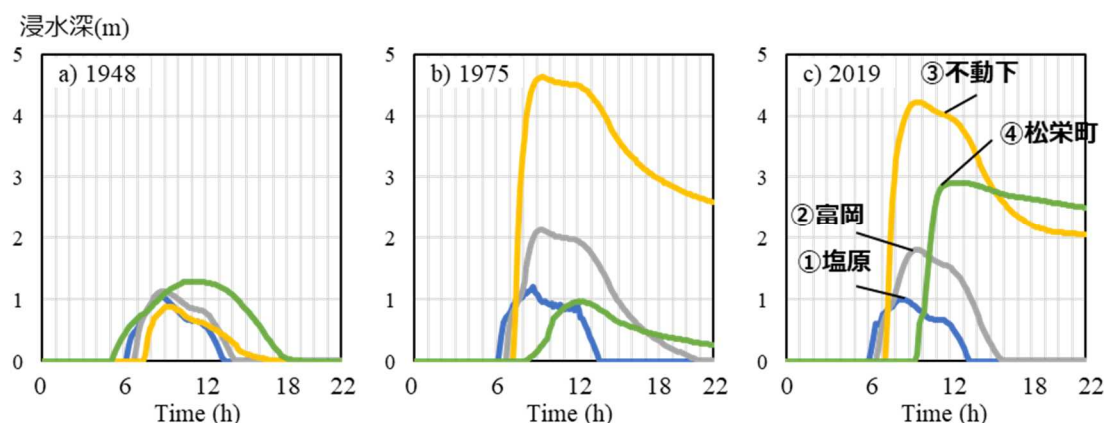


図 2-2-14 2次元氾濫シミュレーションにおける地点別の浸水深の時間変化
a) 1948 地形、b) 1975 地形、c) 2019 地形

2.2.4 堤内地の微地形

※本項の報告内容は、Itsukushima et al. 2020 の一部である。

(1) 当該地域における微地形の特性

日本の平野は堆積平野であり、平野の微細な高低や砂礫の堆積状態は洪水の歴史を示していることから、平野の微地形を分類することで、過去の洪水時の冠水の有無、湛水期間の長短などを知ることができる(大矢 1960)。一般に水害に対する安全度は、標高に応じて台地や自然堤防等の微高地で高く、旧河道や後背湿地で低いことから、日本では古くから、自然堤防に居住し、周辺の後背湿地で稲作を営み、大規模水害の被害を最小限化する工夫がなされてきた。しかし、1896 年の河川法制定以降の近代治水による連続堤防の整備によって、氾濫原の浸水頻度が著しく低下したことを背景に、潜在的には氾濫頻度や浸水深が大きい場所で宅地が開発されるなど、土地利用の変化が生じている(田辺・大熊 2001)。2015 年に発災した関東・東北豪雨災害に伴う鬼怒川の氾濫では、旧氾濫原に進出した宅地や商業施設で大きな浸水被害が生じた。このような事象を背景に、今後の人口減少による土地利用の変化を踏まえた、後背湿地や氾濫平野の管理のあり方が提言されている(中村ほか 2017、Itsukushima 2017)。

久慈川流域の沖積低地の地形発達史を文献調査により調査した。久慈川沖積低地の沖積面の分類を行った高木(1969)および国土地理院治水地形分類図及び国土交通省が提供を受けた久慈川縦断図を用いた。高木(1969)は既存の資料を整理し、久慈川沖積低地を、海進時に海底にあり三角州として形成された沖積面Ⅰb、その上流の支川河川氾濫物及び湿地性堆積物からなる沖積面Ⅰa、両端を沖積面Ⅰaにはさまれ久慈川本川の影響を強く受ける沖積面Ⅱに分類した(図 2-2-2)。この分類を、治水地形分類図による地形分類とクロス集計したものが表 2-2-2 である。沖積面Ⅰa に比べて沖積面Ⅱの順に河川の影響が強くなることと対応しており、沖積面Ⅱでは自然堤防の発達や旧河道の割合が高く、繰り返しの河川氾濫によって形成された領域であることが示唆される。

表 2-2-2 沖積面分類と治水地形分類図による分類の関係

	沖積面 Ib		沖積面 Ia		沖積面 II	
	面積 (ha)	割合 (%)	面積 (ha)	割合 (%)	面積 (ha)	割合 (%)
自然堤防・砂丘	111	(9.3)	103	(3.8)	180	(20.4)
氾濫平野	750	(62.8)	2,463	(91.8)	397	(45.0)
旧河道	333	(27.9)	117	(4.4)	306	(34.7)
合計	1,194		2,683		883	

表 2-2-3 住宅戸数の年代および治水地形分類ごとの分布

	1900s		1970s		2019	
	戸数	割合 (%)	戸数	割合 (%)	戸数	割合 (%)
山地	1,076	(9.6)	1,774	(7.8)	5,013	(13.9)
山麓堆積地形	130	(1.2)	189	(0.8)	293	(0.8)
台地・段丘面	6,281	(55.8)	14,189	(62.2)	21,000	(58.2)
自然堤防・砂丘	2,541	(22.6)	4,042	(17.7)	4,966	(13.8)
氾濫平野	1,131	(10.1)	2,309	(10.1)	4,276	(11.8)
旧河道	80	(0.7)	248	(1.1)	362	(1.0)
その他	12	(0.1)	55	(0.2)	187	(0.5)
合計	11,251		22,806		36,097	

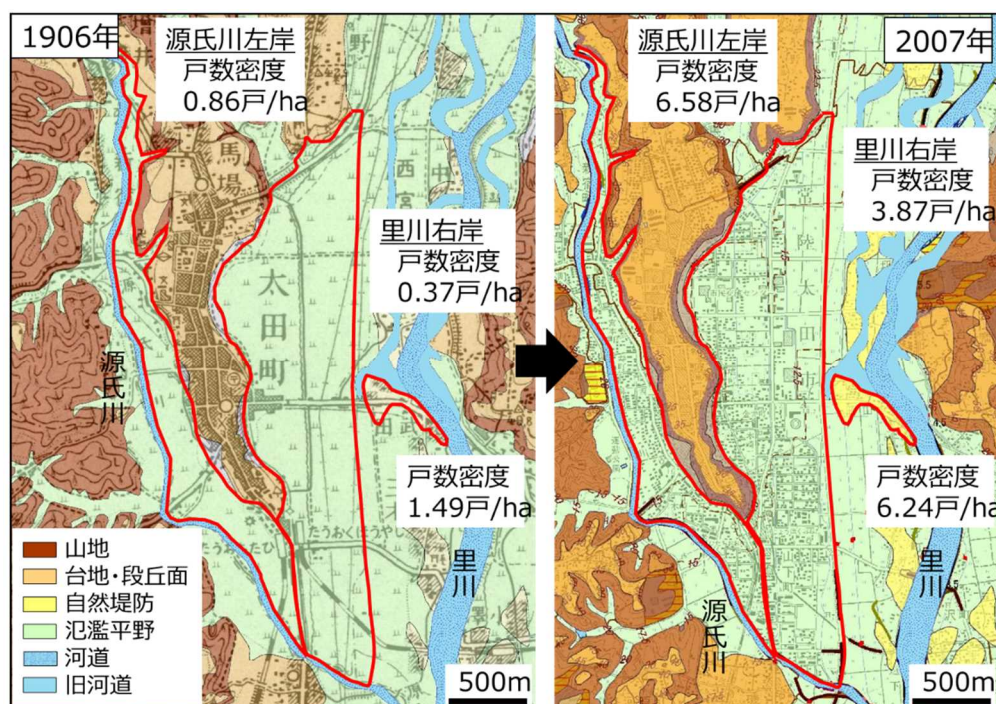


図 2-2-15 常陸太田市街周辺の治水地形分類と住宅地の進展

(2) 微地形と住居立地の関係

近代以降の集落の発展と微地形の関係を調べるため、1900年代に測量が実施された5万分の1地形図、1970年代に測量が実施された2万5千分の1地形図、及び2019年の2万5千分の1地形図と治水地形分類図を重ね合わせ、微地形毎の集落の発展過程を調べた。発展過程の指標として、各年代の微地形毎の戸数密度を用いた。

対象地域における1900年代、1970年代及び2019年の建物戸数を微地形毎に集計したものが表2-2-3である。対象地域内における建物個数は年々増加し2019年には、1900年代の約3倍となっている。この地域では基本的に地盤の高い台地・段丘面を中心に市街地が形成されてきたが、平地でも自然堤防上に集落が形成されている。しかし、1970年代までに自然堤防での増加が頭打ちになると、それ以後は氾濫リスクの高い氾濫平野や旧河道上の立地が増加してきている。特に氾濫平野や旧河道での開発が進展している常陸太田市街地の例を図2-2-15に示す。この場所は、里川右岸及びその支川源氏川左岸に位置しており、太田城の城下町として栄えており市街化が進展していた(図2-2-15左)。しかし、1906年の段階では、台地・段丘面及び山地に市街地が限定されている。しかし、2019年では、市街地が氾濫平野に進出し、戸数密度が大幅に増加している(図2-2-15右)。

同様の分析を高木(1969)による3つの沖積面の分類を含めて検討し、浸水リスクをより細分化して集計したものが図2-2-16である。1900年代では、旧河道や氾濫平野と比較して浸水リスクの低い自然堤防であっても、河川の氾濫によって形成される浸水リスクが相対的に高いと見られる沖積面IIでは戸数密度が低く、細かな浸水リスクを踏まえた居住地選択が行われていたことが推察される。しかし、1970s移行、沖積面II上でも戸数密度が増加し開発が進展しており、河川改修の進展に伴う治水安全度が向上が居住地選択に大きな影響を与えていることが伺える。このように、同一種の微地形であっても沖積面別に浸水リスクが異なり、開発の過程が異なることは、大規模水害対策として微地形を踏まえた土地利用を推進するうえで重要である。

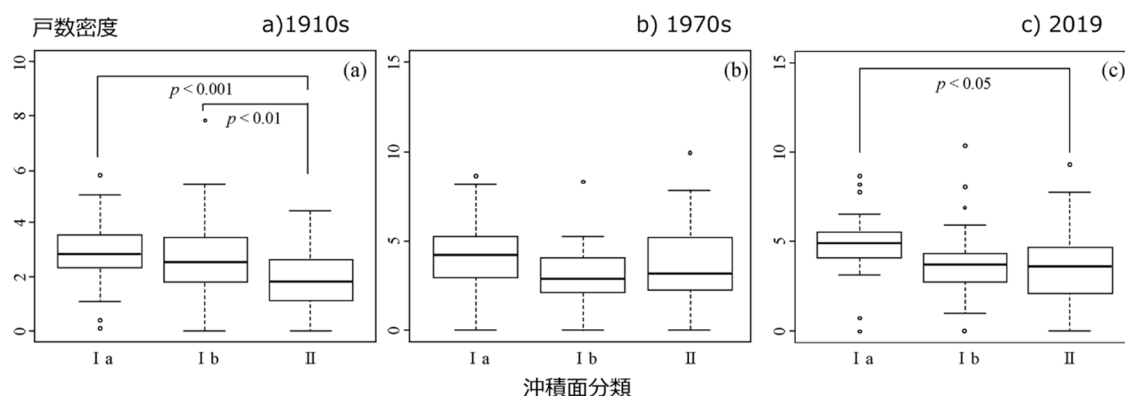


図 2-2-16 自然堤防上における戸数密度の年代別、沖積面分類別のボックスプロット

2.2.5 まとめ

(1) 水害防備林の取り扱い

久慈川の水防林の課題は、それ自体の減少と管理水準の低下によって、機能の消失と劣化が生じていることが課題となっており、両面から考慮された対応が必要である。まず管理の面からは、水防林は治水上の弱点を補うよう、長い時間のなかで配置されてきた経緯がある。そのため、むやみな伐採は、表面化していなかった治水上の弱点を露呈させる可能性がある。久慈川でも水防林の切れ目となった箇所の流れが

集中して背後が破堤した事例が見られた（図 2-2-7）。また、堤内水防林は河道の粗度となり、下流に対しては急激な流量上昇を緩和する緩衝帯ともなる。そのため、水防林の伐採は本来地先に限った事柄ではなく包括的な側面を有することに注意が払われるべきである。どこをどの程度伐採するかについては、水理シミュレーションを活用することが有効である。例えば「iRIC ソフトウェア」は無料で実施できかつ使いやすく、樹木抵抗を加味した計算もできる。水あたりの強い場所の抽出やハイドログラフの検討により、合理的な水防林の位置や幅、密度の管理計画を検討することができる。

次に、水防林の創出について考えたい。減災効果という点からすると堤内地に配される水防林は河積とのトレードオフが生じない利点があるが、久慈川の堤防沿いにはほとんど見られない。堤内地の水防林については現在、富士川水系によく残っており、特に笛吹川の万力林は有名である（甲府河川国道事務所 2004）。他にも山梨県森林公園金川の森（金川）、信玄堤公園（釜無川）、御勅使南公園（御勅使川）があり、それぞれ都市公園として維持管理がなされ、地域の暮らし、文化、治水への理解の中で育まれている。集落を囲む屋敷林型の竹林も、多くの塵芥を捕捉し、家屋や地盤に作用する流れを減勢する。久慈川流域において、川上に向かって竹林が並ぶ風景は、この地域が古くから洪水と付き合いながら暮らしてきたことを示すものだろう。堤内地は一般に河川区域外であるが、水防林の多機能性に着目し、部局横断的な対応によって水防林の創出・維持管理は可能である。

水防林の有する環境的機能について、河道内の水防林にはこれまで「河畔林」の機能として評価されているような物質・餌資源供給や水温緩和効果（高橋ら 2003）が考えられる。これらは、川幅が大きくなるに従い水域に与える影響は相対的に小さくなるが、水域としては小さくも環境上重要なクリークやワンドに与える効果としては無視できない。ある河川では、河道の全断面的皆伐によって絶滅危惧種のタナゴ類の生息するクリークの水温上昇を招いた事例があった（図 2-2-17）。この例は「水防林」の伐採ではないが、治水の論理を徹底するあまりに僅かな（しかし重要な）環境保全が犠牲になる構図がこれまで繰り返されてきたことには留意したい。鳥類に関しては、水防林が重要なコロニーとなっていることがあり（佐々木 2001）、それを破壊すれば生息場それ自体の喪失のみならず、人間の居住範囲へコロニーが移ることによる人間生活へ悪影響がもたらされる恐れもある。また、より包括的には、水防林から得られる竹材などの物資や、スクリーニング機能によってもたらされる肥沃な土砂の供給といった生態系サービスの享受の視点も見逃してはならない。これらを最大限活かすことが前段の管理の適正化にも関連し、結果として治水対策の充実につながる。

以上の視点から、地域の強靱化を進める上で水防林を活用する上では、治水の視点のみから見るのでは不十分であり、より包括的な視点に立ち、治水上の機能と維持管理、環境・生態系サービスを丹念に評価し、環境や景観の整備が治水のためにもなるといったように、それぞれが相補的となるようなしくみによって保全・管理されていくことが今後求められるべきことであり、まさにその視点が「グリーンインフラ」や「流域治水」で求められることであろう。



図 2-2-17 大規模な樹木伐開による河川内小水域への影響
(左：伐採箇所、右：未伐採箇所)

(2) 霞堤および不連続堤防の捉え方

本研究では、堤防の整備状況を模擬した仮想的な地形モデルを用いた 2 次元洪水シミュレーションを行うことによって、不連続堤防や連続堤防がもたらす治水上の機能を評価した。結果を見ると、連続堤防の整備率が高いほど浸水範囲は減少する。一方で、堤防がない場合には氾濫原の各所で似通った浸水深や挙動で氾濫していたのに対し、堤防整備によって局所的に浸水深が極端に増大したり急激な浸水深の増加を呈する箇所が発生し、場所による差がみられるようになった。つまり、施設規模を上回る洪水に対しては、リスクの空間的なアンバランスがもたらされる可能性が高いことを示唆している。

霞堤などの堤防不連続部は浸水リスクと減災効果のトレードオフの関係の中で存在している。今時水害のような大きな洪水下においては、不連続堤防が浸水深の増大につながっていたが、一方で、氾濫流は霞堤開口部から主に流入したものである。氾濫流の挙動は、段丘や堤防などの大きな構造で概ね支配され「浸水想定区域図作成マニュアル」（国土交通省、2005）においてはそれらによる空間的な区切りを「氾濫ブロック」と呼んでいる。不連続部が氾濫ブロックのどこに位置するかによってリスクとベネフィットが異なる。伝統的な霞堤は地先集落の防御を拡充していった結果として形成されたものと考えられるが、それらは氾濫ブロックの空間スケールよりも小さいものであるため、氾濫ブロックを包括した検討の上に成り立っているものではないと考えられる。今後、不連続堤防の保全・活用を図るためには、少なくとも氾濫ブロックのスケール感を踏まえた検討が必要である。

2020 年 7 月に国土交通大臣から打ち出された「流域治水」は、河道やダムの整備、堤防の強化のほか、遊水地の設置や伝統的技術である霞堤の保全、また土地利用の規制といった、河川管理部局の管轄を超える整備も含まれる。重要なのは、不連続堤防は過去の水害経験の積み重ねの中で形作られたものであるという視点である。言い換えると、不連続堤防を単一の施設として見るのではなく、地形やその他の施設も含めた包括的なシステムの中で捉えることが必要である。過去機能したものが連続堤防が存在する現在でも機能するとは限らない。単に保全するという発想ではなく現在の河川整備状況を踏まえた検討が必要である。

不連続堤防には環境上の機能もある。例えば、水域の連続性の確保、いわゆるエコロジカルネットワークが代表的な例である。不連続堤部は洪水時にも大きな流速になりやすく、魚類の避難場や氾濫原湿地としての機能を提供する。氾濫原湿地の減少は世界的な課題である。

我が国における河道マネジメントは、河道を横断面の連続体として捉える一次元的管理のもとに成り立っている。不連続堤の効果は、河道と氾濫原での氾濫流の相互のやり取りによって生じるものであるため、適切な評価においては、河道と氾濫原を一体的に扱う2次元、あるいは時間を含めた3次元 (x, y, t) 的な枠組みの中で評価することが不可欠である。河道の2次元シミュレーション手法については、すでに様々な手法が開発されている。最も単純なものは、計算領域全体をレギュラーなグリッドで区分する2次元シミュレーションである。このほか、様々な手法が開発され、河道や氾濫域の形状に適合したシミュレーションが可能となってきた。また、従来のLPデータや水面下も計測可能なGreen LazarによるLiDARを搭載したALB (Airborne LiDAR Bathymetry) やUAVの登場により、河川における高精細、高精度の地形データが利用できるようになってきており、減災効果を有する盛土構造物やメートル幅の水路網といった線上構造物の取得可能になっていくと考えられる。ただし、2次元氾濫計算の現状での作業的・時間的コスト、すなわちモデルバリデーションや多様な計算条件のための繰り返し計算にかかるコストに照らすと、さまざまなモデル化手法が提案されているものの、計算性能が革新的に上昇しない限り、計算格子のサイズは10mオーダーにならざるを得ない。つまり、取得できる地形の解像度と計算シミュレーションの解像度に現状では乖離が大きい。そのため、計算格子に線上構造物の効果を持たせるための工夫が不可欠となる。これらを省力的かつ合理的な手法が開発されると、流域の実力を適切に把握する評価モデルの全国的構築に大きな貢献をもたらすだろう。

2.3 千曲川の調査報告

令和元年台風第19号は、10月12日の夕方から夜にかけて非常に強い勢力を伴ったまま東海・関東地方に上陸し、台風本体の発達した雨雲の影響により、北陸地方にも山沿いを中心に大雨をもたらした。長野市内における千曲川左岸堤防の越水破堤による浸水被害がマスコミ報道などで大きくクローズアップされたが、被害の範囲は上流域から広範囲に及ぶ。千曲川調査隊による調査は、2019年10月以降複数回実施し、本調査報告をとりまとめた。

2.3.1 被災の状況

千曲川流域は、埼玉県境から北流する千曲川本川流域と、長野市内で西側から合流する犀川流域に大きく2分され、犀川合流点から約14km下流の立ヶ花（たてがはな）地先に、地形的な狭窄部を有する。長野県の県土面積の約半分は千曲川流域である。立ヶ花水位流量観測所における集水域面積は6,442.3km²であり、うち半分弱が犀川流域（3,054.5km²）である。



図 2-3-1 千曲川流域の概観

(国土交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所ウェブサイトより)

令和元年 台風第19号の気象・出水概要

○大型で非常に強い台風第19号は、10月12日の夕方～夜にかけて、非常に強い勢力を保ったまま東海・関東地方に上陸し、台風本体の発達した雨雲の影響により、**北陸管内の山沿いを中心に大雨**をもたらした。

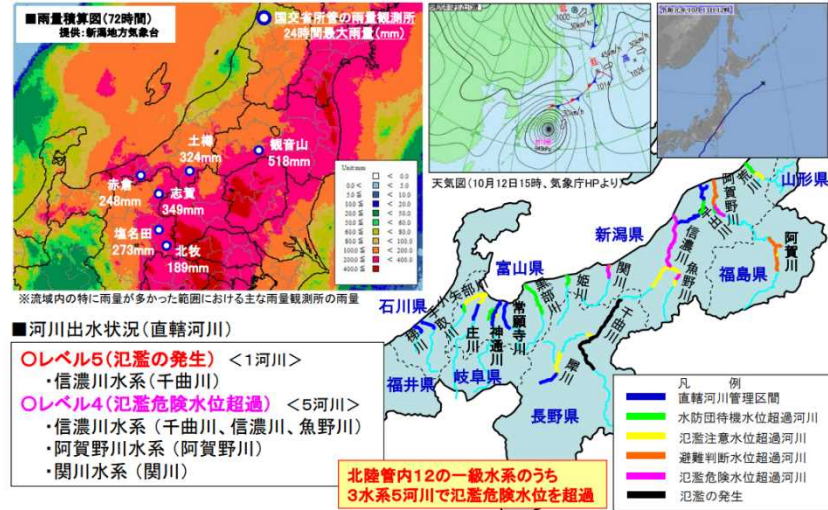


図 2-3-2 令和元年台風第 19 号の気象・出水概要
(国土交通省北陸地方整備局 第 2 回信濃川水系流域委員会資料 1 より)

令和元年 台風第19号の出水状況

○信濃川流域における流域平均2日雨量は、立ヶ花地点で196.8mm/2d、小千谷地点で199.2mm/2dを記録し、ともに既往最大を更新した。

○千曲川管内の3地点で氾濫危険水位を超過(内3地点で計画高水位を超過)し、信濃川管内の4地点で氾濫危険水位を超過(内2地点で計画高水位を超過)した。

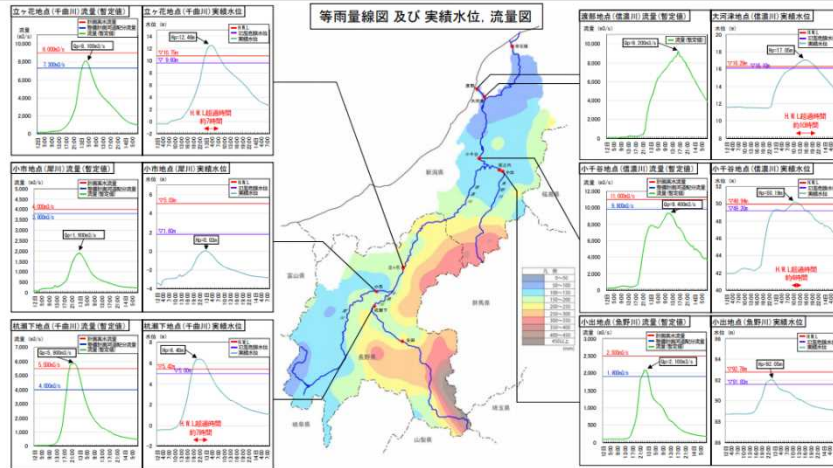


図 2-3-3 令和元年台風第 19 号の出水状況
(国土交通省北陸地方整備局 第 2 回信濃川水系流域委員会資料 1 より)

今次災害では、関東に近い千曲川本川流域への雨量が多かった。とりわけ千曲川本川上流域の右支川に2日雨量で450mm以上が記録され、降水量が元来それほど多くない長野県としては過去に経験したことがないほどの豪雨となった。立ヶ花地点における流域平均2日雨量は、196.8mm/2dで、既往最大を更新した(雨量等の記載は、国土交通省資料による)。

令和元年 台風第19号による長野県内の被害状況

- 令和元年、台風第19号により、長野県内の各地で被害が発生した。
○国管理河川では、千曲川において堤防決壊が発生し、県管理河川では、血川及び三念沢、志賀川、滑津川、麻績川にて堤防決壊が発生し、浸水被害をもたらした。

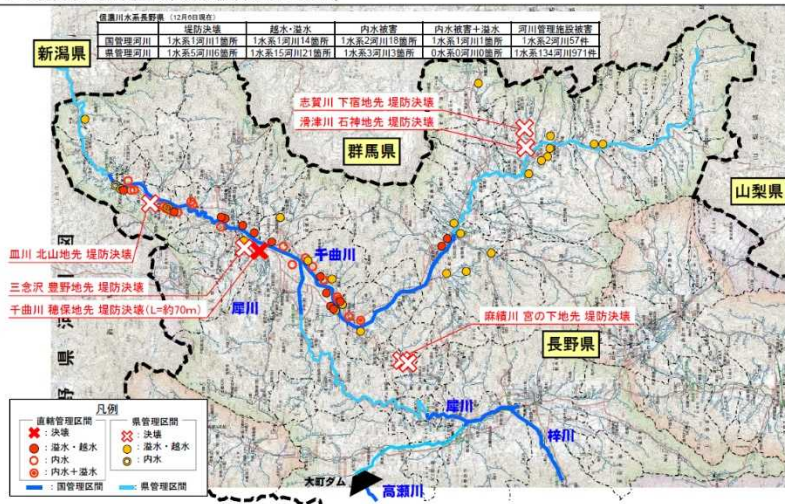


図2-3-4 令和元年台風第19号による長野県内の被害状況
(国土交通省北陸地方整備局 第2回信濃川水系流域委員会資料1より)

千曲川流域における被災状況（国土交通省資料による）は、千曲川本川上流域に位置する長野県が管理する支川からの溢水・越水被害が多数発生していること、犀川合流点の上流から下流区間の直轄区間において、多数の溢水・越水が発生したほか、内水による浸水被害も多く発生していることが特徴的である。

千曲川における被害状況については、国土交通省が公表しているとりまとめのほか、土木学会による「令和元年台風19号豪雨災害調査団」速報会における、清水による報告、吉谷による報告に詳しく解説されている。土木学会による調査は、長野市内で発生した千曲川稲穂地先の堤防決壊とこれによる浸水被害、上田市諏訪形地区において発生した堤防欠損とこれに伴う上田電鉄別所線橋梁の落橋など、河川施設災害に着目したものである。

（土木学会水工学委員会水害対策小委員会ウェブサイト「令和元年台風19号豪雨災害調査団」速報会 <https://committees.jsce.or.jp/hydraulic05/node/30> を参照）

本調査団は、応用生態工学的観点より、千曲川における災害の特徴とそこから導かれる課題について以下に報告する。

2.3.2 流程ごとに見た河道内の攪乱状況

洪水により河道内では土砂の移動（侵食・堆積）が生じ、河道内地形は変化し、また、河道内の植生が流失するなど、物理的な攪乱がもたらされる。洪水は河川生態系を健全に保つために重要な攪乱要因であるが、攪乱外力が極端に大きい場合、河道内の生物群集が壊滅的な被害を受けることもある。

千曲川本川では、記録的豪雨により河道の満杯に近い洪水が流下し、本川下流では堤防を複数箇所で越水を生じた。すなわち、現在の河道において凡そ発生しうる最大規模の攪乱外力が河道に作用したといえる。そこで、河道のセグメントによる河道内の攪乱状況の違いに着目して、現地状況を考察する。

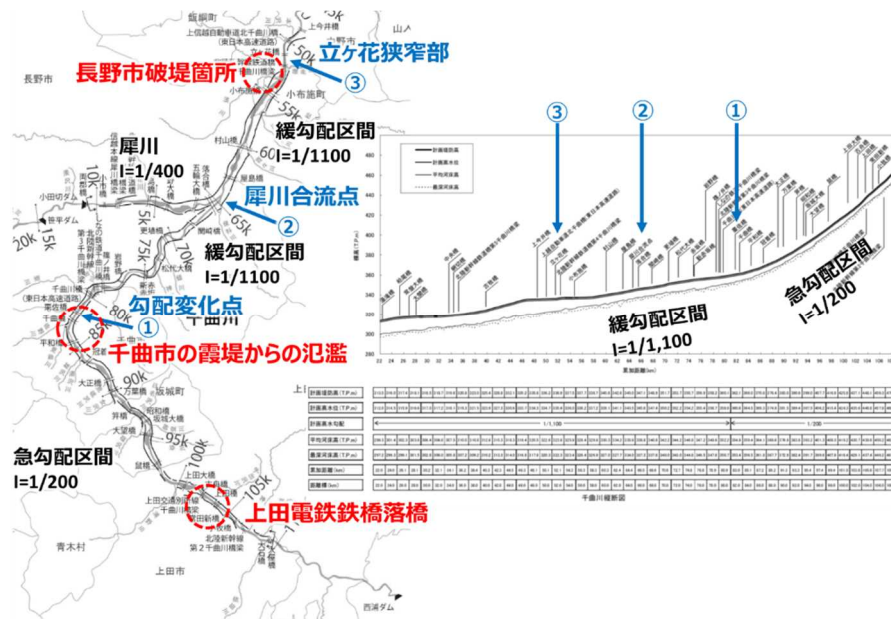


図 2-3-5 千曲川本川の縦断勾配に着目した流程区分

千曲川本川の河道幅、河床勾配と周辺地形の関係性に着目して上流から見ていくと、概ね3区間に分けるのが適当と考えられた。

まず、80kpあたりまでが急勾配区間（上流から、佐久市、小諸市、東御市、上田市、坂城町、千曲市）となっている。周辺の地形は、谷幅の広い谷底平野となっているが、河岸段丘が発達しており、上田市より上流では河岸段丘と山裾に挟まれた低位面を千曲川が流れている。坂城町では支川による扇状地が発達しており、扇端部と対岸の山裾に挟まれる領域を千曲川が流れている。河床勾配は $I=1/200$ と急勾配であり、石礫によって構成される砂礫堆が河道内に発達した、セグメント1河道である。

勾配変化点にあたる千曲市では、谷底平野が開け、多くの霞堤の痕跡がみられるとともに、霞堤が締めきられずに残っている箇所もみられる。

千曲市から下流の長野市・須坂市にかけての千曲川は、河床勾配は $I=1/1,100$ と緩くなり、河道の様相も扇状地・谷底平野的な景観から次第に移行して広大な氾濫原を伴う蛇行流路となる。河床材料は細砂・中砂を主体としており、典型的なセグメント2河道といえる。この区間の千曲川の堤間幅は広く、高水敷も幅広く確保されており、果樹園や畑地として利用されている区間もある。犀川合流点までこのような景観が続く。これが区間2である。

65kpあたりで犀川が合流する。犀川は大きな扇状地を形成しており、千曲川との合流部においても比較的粒径の大きい砂礫が見られ、これより下流の千曲川には犀川由

来と思われる砂礫が砂州を形成している。犀川合流点から 52kp あたりの立ヶ花狭窄部までを区間 3 とする。

これらの区間では、同様に河道満杯に近い、あるいは越水を生じるほどの流量が流下し、現在の河道で発生しうる最大規模の攪乱外力が作用したといえる。以下に、それぞれの区間において河道内に作用した攪乱の状況についてみていく。

区間 1 とした、上流の急勾配区間では、洪水前に存在した河道内樹林がことごとく流失した状況、激しい河床変動により河床を覆っていた石礫が流失し岩盤が露出した区間、その逆に多量の土砂堆積がみられる区間が交互に現れる印象があった。この区間の千曲川には堤間幅・低水路幅が狭くなったり広がったりと縦断的な変化があることが河床変動と関係している可能性があるものの、河道内に激しい外力が作用した結果、河道内を生息場としていた生物群集は壊滅的な打撃を受けた可能性が高い。



図 2-3-6 急勾配区間の激しい河床変動（108kp 付近、洪水前後）



図 2-3-7 急勾配区間の激しい河床変動（102kp 古川橋付近、洪水前後）



図 2-3-8 急勾配区間の激しい河床変動（98kp 鼠橋上流、洪水前後）

区間 1 における支川合流部に着目したところ、多量の降水があった上流右支川の合流部には多量の土砂が堆積しており、支川においても激しい河床変動が生じていたことが示唆された。また、比較的細かい土砂が堆積した合流部もあり、一般部の河道と比べて支川合流の影響や空間の広さにより、流れが滞留しやすい特徴をもつ河川合流部は、洪水攪乱に対する流れ避難場(flow refugia)として機能した可能性も示唆された。



支川合流点で多量の土砂堆積
桁下まで土砂で河道閉塞
→おそらく支川の生物相も壊滅的状況

図 2-3-9 支川合流部の状況（神川合流部）



図 2-3-10 支川合流部の状況（生田観測所対岸）

区間 2 として千曲市以北の緩勾配区間では、区間 1 と比べて河道内の様相は全く異なった。勾配変化点付近に位置する千曲市 83kp 付近では、高水敷には上流域由来と考えられる多量の土砂堆積がみられた。勾配変化点では、一般的に土砂堆積が生じやすい。急勾配区間の流れが持つ掃流力に応じた多量の土砂を含む流れが緩勾配区間にさしかかる箇所では掃流力の低下に伴って土砂の堆積が生じる。とくに、千曲川は勾配 1/200 から勾配 1/1,100 に急変するために、急勾配区間を浮遊砂として運搬されてきた砂が勾配変化点付近の高水敷に多量に堆積したものと考えられる。また、この区間には霞堤が多く残されており、河道内の高水敷と、霞堤遊水地にあたる領域（霞堤と本堤に挟まれた領域）を比較すると、霞堤遊水地にはウォッシュロードに相当する細粒土砂が数十 cm の厚さで堆積していた。洪水時の氾濫水にはかなり高濃度のウォッシュロードが含まれていたことが推察される。

勾配変化点付近の移行区間では上述の通り多量の土砂堆積もみられたが、それより下流の区間においても相対的には少ないながら高水敷に土砂堆積がみられた。区間 2 より下流は河道幅が広く、限られた調査では低水路内の状況を詳細には調査できていないが、次節に示すとおり、生物相が受けたダメージからは低水路にも当然ながら強い攪乱外力がかかったことが示唆される。



図 2-3-11 勾配変化点付近の 83kp 高水敷と霞堤遊水地の土砂堆積状況

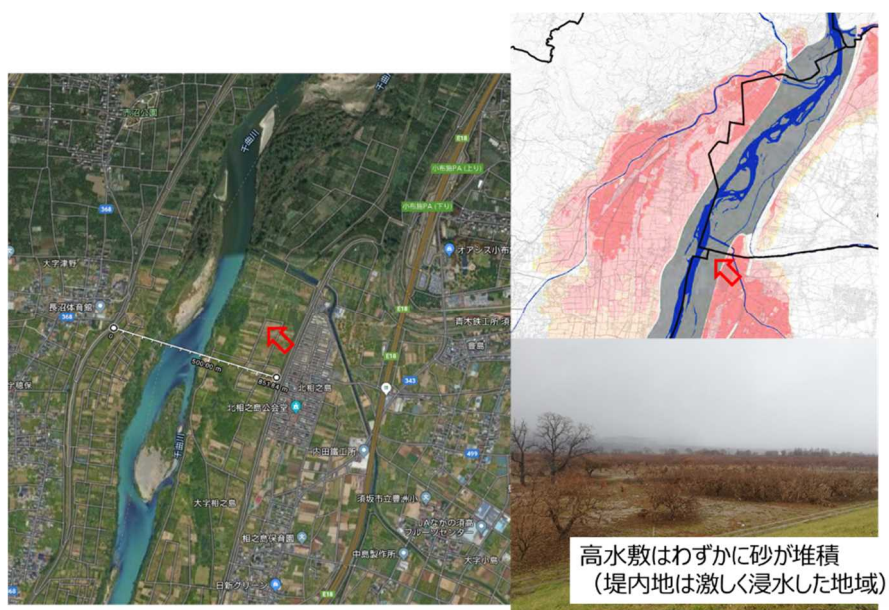


図 2-3-12 犀川合流点下流に位置する 56kp 高水敷の土砂堆積状況



以上に示したように、記録的豪雨によって越水破堤を生じるほどの流量が流下した千曲川ではあるが、河道特性と背後地の地形特性が異なる流程ごとに見ていくと、河道内に作用した攪乱外力の程度はかなり大きく異なることがわかる。区間1とした上流の急流区間では、激しい河床変動が発生した。区間2においては区間1ほどの河床変動は目視では確認できていないものの、河道内の生物群集には壊滅的な被害が及んだ可能性があり、千曲川の河川生態系を構成する生物群集が実際にどの程度のダメージを蒙ったのか、それがどのように回復していくのかといった過程について、注視していく必要がある。また同時に、大きな攪乱外力が作用した際にも、壊滅的な被害を回避するために生物の流れ避難場として機能しうる河道内氾濫原、支川及び支川合流部の重要性が認識された。

2.3.3 生態系に対する攪乱の状況

千曲川 77kp 付近岩野地区において、2017 年 10 月に発生した比較的大きい出水の前後 1 年におけるカゲロウ類の個体群変動を平林ら (2020) が調査・分析した結果、カゲロウ類の二次生産力は洪水前に比べて洪水後の方が多くの科において低下したことが確認されている。科ごとに影響の度合いは異なるものの、河床の攪乱によって一時的に個体群は減少し、その後の生産に影響を残す。平林ら (2020) が報告した 2017 年の出水は、杭瀬下水位流量観測所における最高水位が 4.26m であったのに対し、2019 年台風第 19 号出水の最高水位は 6.40m と過去最高であり、計画高水位の 5.42m を大きく上回っており、堤防満杯に近い流れとなっていた。

自然河道に沿って発達する自然堤防は数メートルの高さまでしか発達しえず、自然堤防を溢流した流れは氾濫原に広く拡がるために、河道内に作用する攪乱外力は頭打ちとなる。このことから、自然堤防よりも高く築造された堤防が連続する現在の河道において堤防満杯近い流量が流下した際には、凡そ自然河道では発生しえないほどの大きな攪乱外力が河道内に作用する（永山・原田ら 2015）。

調査団メンバーである平林が、2019 年の出水後に底生生物調査を実施したところ、全くと言ってよいほど底生生物を発見することができなかった。千曲川の河川生態系を構成する生物群集のうち、少なくとも本川の底生生物相は壊滅的な被害を受けた可

能性が高い。底生生物は河川生態系において下位の消費者にあたり、魚類や鳥類など移動性が高い高次の消費者が戻ってきたとしても、当面影響を及ぼし続ける可能性もある。

このように大きな被害を受けた生態系が回復するためには、種の再定着が必要であり、支川が有望な供給源となりうる。すなわち、支川の中小河川の環境が良好であること、多様性が確保されていることが、水系全体の河川生態系のレジリエンスを高めることにつながる。今後、壊滅的被害を受けた後にどのような過程を経て回復していくのか、その過程を注視する必要がある。

2.3.4 霞堤における浸水被害の状況

千曲川には、83.5k 付近～102.5k 付近にかけて左右岸あわせて 13 箇所に霞堤が現存している。信濃川水系河川整備計画（令和元年 8 月変更）においては、下流の流量を減少させる機能や氾濫流を河道に還元する機能の維持・保全をする必要性が示されている。

令和元年台風第 19 号による被災時には、83.5k 右岸（千曲市中地先）の霞堤遊水地に本川からの洪水が流入した。18:10 に杭瀬下地点で氾濫危険水位（5.00m）を超え、21:50 に最高水位 6.40m を記録している。19:00 には杭瀬下水位が 5.85m を超え、本川から霞堤遊水地への流入が確認されている。なお、当該地点の計画高水位（H. W. L.）は 5.42m であり、今回の出水は河川施設の整備水準を超えた規模であったことが分かる。

また、本川から流入した洪水は遊水地内に留まらず、19:30 頃には上流側の無堤部から市街地に流れ込み、浸水範囲 486ha、床上浸水 400 戸の被害をもたらした。遊水地上流部付近に位置する中地区では普段、霞堤遊水地を通して本川に流れ込む支川からの氾濫に注意していたという。霞堤遊水地から市街地に流れ込んだ洪水は、主に新田用水・尾米川・伊勢宮川の周辺を流下し被害を拡大させた（図 2-3-14）。これらは、治水地形分類図と照合すると旧河道であることが分かる（図 2-3-15）。

計画高水位を長時間超えており、霞堤遊水地への湛水や上流側からの氾濫がなければ、本川堤防での越水や、最悪の場合には破堤に至っていた可能性もある。霞堤は破堤に伴う壊滅的な被害の回避に貢献した一方で、隣接する市街地での広範な浸水被害をもたらした。被災後一時的には霞堤を閉鎖し連続堤防化する要望もみられたが、その後の議論により、今後は、霞堤の機能検証を行い、計画遊水地化を視野に整備計画が検討されることとなっている。現在、霞堤遊水地の上流側には、千曲市により高さ 1 メートルの土のうが並べられ、応急的に再度災害を予防する措置が取られている。

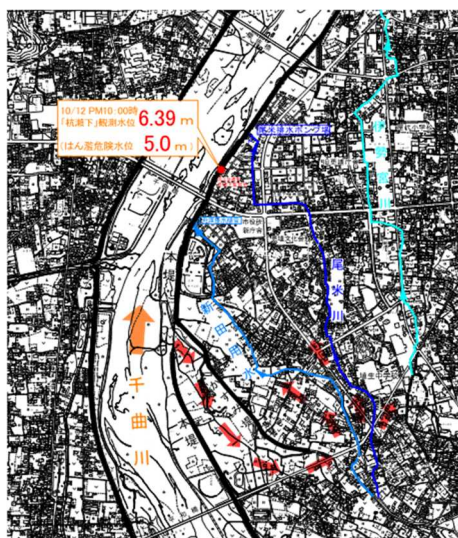


図 2-3-14 千曲川（83.5k 右岸、杭瀬下付近）の霞堤遊水地からの氾濫状況、千曲市役所 報道発表資料（2019 年 10 月 29 日）

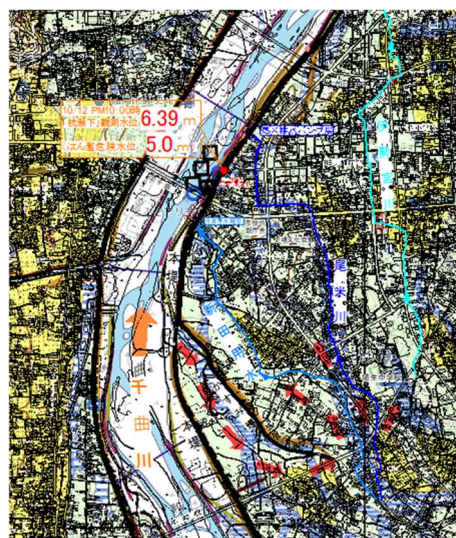


図 2-3-15 治水地形分類図（国土地理院）との重ね合わせ

2.3.5 河川合流部における浸水被害の特徴

令和元年台風第 19 号災害では千曲川本川と支川との合流部付近に顕著な浸水被害が確認されている。

図 2-3-16 には、長野市松代町周辺の浸水想定区域図（想定最大）と浸水推定段彩図を重ね合わせたもの、さらに図 2-3-17 には治水地形分類図を示す（いずれも国土地理院提供）。ここでは、千曲川および支川 神田川・埴川の堤防に囲まれており、本川からの氾濫は確認されていないが、出水時には神田川・埴川の樋門は閉鎖され、広範囲に内水被害が生じた。埴川・神田川では越水が確認されている。

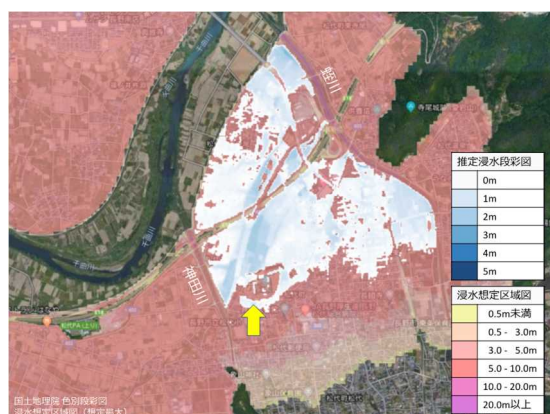


図 2-3-16 浸水想定区域図（想定最大）と浸水推定段彩図の重ね合わせ（国土地理院データを加工）、長野市松代町周辺

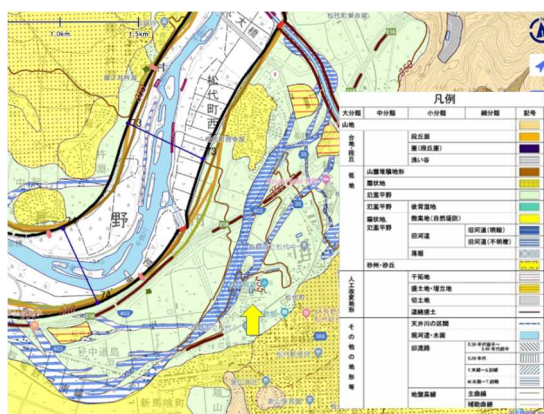


図 2-3-17 治水地形分類図（国土地理院）、長野市松代町周辺

図 2-3-18 には、千曲市雨宮周辺の浸水想定区域図（想定最大）と浸水推定段彩図を重ね合わせたもの、さらに図 2-3-19 には治水地形分類図を示す（いずれも国土地理院提供）。こちらは、千曲川および支川 三滝川の堤防と長野自動車道の連続盛土に囲まれている。千曲川本川からの越水が確認されているが、長野自動車道の連続盛土が二線堤の役割を果たし、外水氾濫の範囲は限定的であった。一方、出水時には三滝川の排水樋門は閉鎖され広範に内水被害が生じた。

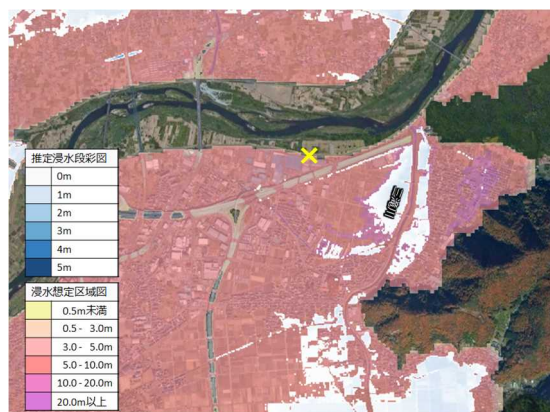


図 2-3-18 浸水想定区域図（想定最大）と浸水推定段彩図の重ね合わせ（国土地理院データを加工）、長野市雨宮周辺

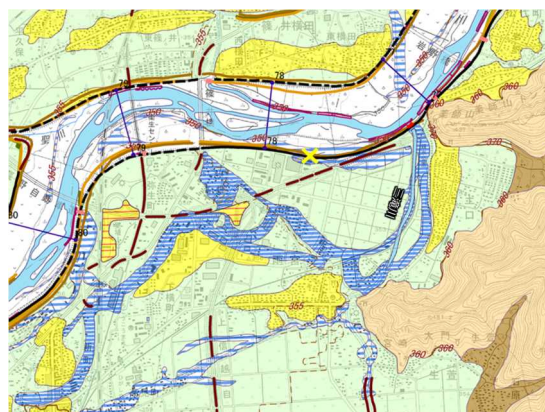


図 2-3-19 治水地形分類図（国土地理院）、長野市雨宮周辺

図 2-3-20 には、長野市豊野（本川左岸）および須坂市相之島町（本川右岸）付近の浸水想定区域図（想定最大）と浸水推定段彩図を重ね合わせたもの、さらに図 2-3-21 には治水地形分類図を示す（いずれも国土地理院提供）。当該地点は立ヶ花狭窄部の上流に位置し、左岸側で浅川・鳥居川と合流、右岸側で松川と合流している。兩岸で長時間にわたり越水し、左岸長沼地区で破堤している。浅川でも越水が確認されている。堤防決壊のメカニズムについては、土木学会水工学委員会 令和元年台風 19 号豪雨災害調査団が詳しく分析している（土木学会水工学委員会水害対策小委員会ウェブサイト「令和元年台風 19 号豪雨災害調査団」速報会 <https://committees.jsce.or.jp/hydraulic05/node/30>）。

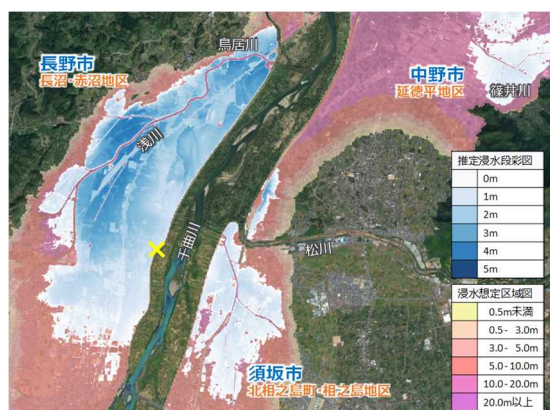


図 2-3-20 浸水想定区域図（想定最大）と浸水推定段彩図の重ね合わせ（国土地理院データを加工）、長野市豊野町・須坂市相之島付近

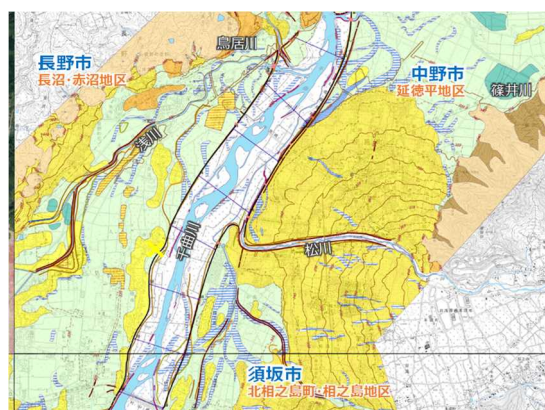


図 2-3-21 治水地形分類図（国土地理院）、長野市豊野町・須坂市相之島付近

築堤河川合流部付近は、外水・内水によらず貯留型氾濫の様相を呈する。氾濫流が集中し逃げ場がないため浸水深が大きくなる。こういった河川堤防に周辺を囲まれた低地では、超過洪水により排水ポンプが故障し機能が停止してしまうと、氾濫水を排除できなくなる。各地方整備局等からポンプ車が集められ、懸命の排水作業がなされるものの、やはり浸水が長期化することを免れない。豊野地区では1995年には鳥居川で（当時の豊野町が）堤防を自主決壊し氾濫水を河道に還元した経験がある（大熊（1998））。

2.3.6 旧河道等の微地形が浸水被害に与えた影響

2.2.4では、千曲市杭瀬下において、霞堤遊水地上流側からの氾濫水が旧河道に沿って浸水被害を拡大させたことを報告した。また、長野市雨宮、松代町、豊野地区、須坂土相之島町で、それぞれ浸水推定段彩図と治水地形分類図とを比較すると、外水・内水を問わず旧河道周辺で浸水深が大きいことが分かる（図2-3-16～21）。

また、図2-3-16および2-3-17中の黄色矢印の箇所は、松代城の旧外堀にあたる。旧外堀内で宅地嵩上げが施されていない家屋では床上浸水がみられた（近隣の嵩上げされている家屋は被害を免れている）。

次に、図2-3-19および21から千曲川右岸側に須坂市相之島町と北相之島町が連続して立地している様子が分かる。相之島町は旧集落で、自然堤防上に立地している。一方、北相之島は新興住宅で、松川との合流点付近の氾濫平野に立地している。相之島町は僅かな被害であったが、北相之島は広範囲に床上浸水が生じるなど深刻な被害を受けた。隣接する地区でも僅かな高低差の違いで大きく被害が異なることが分かる。

中野市牛出地区はかつて無堤であったが、平成26年に築造された新堤防に沿って内水氾濫が生じた。堤防が内水排除を妨げたことが要因と目される。特に地形的に洪水が集中しやすい築堤河川合流部や狭窄部上流付近の低地では、外水からの防御だけではなく、内水排除や氾濫水の河道還元も考慮した施設計画が求められる。

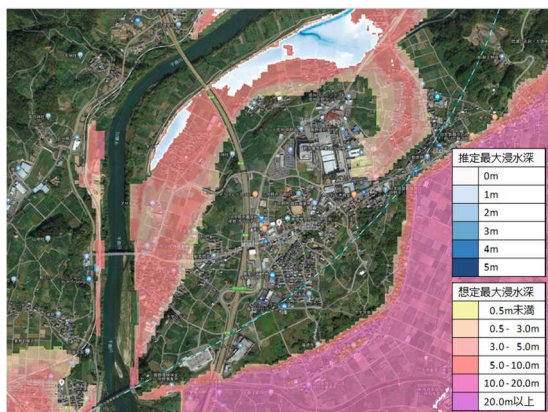


図2-3-22 浸水想定区域図（想定最大）と浸水推定段彩図との重ね合わせ（国土地理院）、新堤防に沿って内水被害が生じている。



図2-3-23 中野市牛出地区に掲げられる看板、新・旧堤防の高さを記載。

図2-3-23には、牛出地区内に掲げられた看板を示す。新旧の堤防高が記載されている。特に貯留型氾濫が想定される地区では、築堤により外水氾濫の頻度は低下するが、堤防高が変化すると想定最大浸水深や破堤氾濫時の被害が拡大する場合もある。こういった表示は、一見すると事業完了の記念碑的に見えるが、リスク変化を端的に表して

いる。潜在的にまるごとまちごとハザードマップに近い意味を有している。新規に築堤することで、氾濫要因・頻度・過程が大きく変わるため、街中での表示、あるいはまちづくりそのものも河川整備にあわせて変化させる必要がある。水害リスクに応じたまちづくりや避難体制を検討するには、河川整備後に変化するリスク、残されるリスクについて地域ごとに十分に評価しておく必要がある。

2.3.7 まとめ

千曲川本川では、記録的豪雨により河道の満杯に近い洪水が流下し、本川下流では堤防を複数箇所越水を生じた。流程ごとに河道内の攪乱状況を把握した結果、現在の河道において凡そ発生しうる最大規模の攪乱外力が河道に作用し、上流の急勾配区間では激しい河床変動が生じた。勾配変化点に位置する千曲市では多量の土砂の堆積がみられ、それより下流の緩勾配区間においても、底生生物相が壊滅的被害を受けるなど、河川生態系のダメージは大きかった。

大きな攪乱外力が作用した際にも、壊滅的な被害を回避するために生物の流れ避難場として機能しうる河道内氾濫原や支川及び支川合流部の重要性が認識された。また、中小の支川の環境が良好に保たれていることによって、種の再定着が促進され、水系全体の河川生態系のレジリエンスを高めることにつながるものと考えられる。今後、壊滅的被害を受けた生物相がどのような過程を経て回復していくのか、その過程を注視する必要がある。

狭窄部上流や支川合流部周辺の低地など地形的に内水・外水が集中しやすい個所で多くの氾濫が見られた。また、旧河道周辺・新堤周辺で浸水深が大きい一方で、自然堤防上の家屋は被害を免れるなど、氾濫域の微地形が被害の大小をかなり左右したことが明らかとなった。

2.4 多摩川の調査報告

2.4.1 多摩川の災害の概要と提言の対象

(1) 水文状況

台風 19 号の接近・通過に伴い、多摩川流域では広範囲に大量な降水量を記録した。上流の国交省御岳雨量観測所では 48 時間雨量が 630 mm、中流の多摩雨量観測所では 322 mm（図 2-4-1）であり、流域内の多くの観測所で過去最多を記録した。これによる河川水位は各観測所で氾濫危険水位を超え、中流の石原水位観測所では同水位を 1.4m 上回る 6.3m（図 2-4-2）、下流の田園調布水位（上）観測所では 2.2m 上回る 10.8m を記録した※¹。この河川水位は国が管理して以降最高であった。

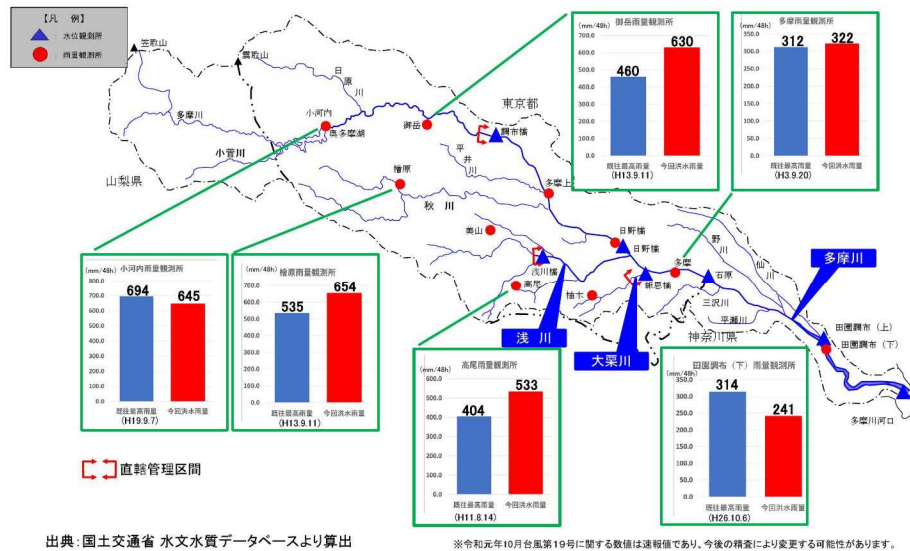


図 2-4-1 流域雨量（48 時間）※¹

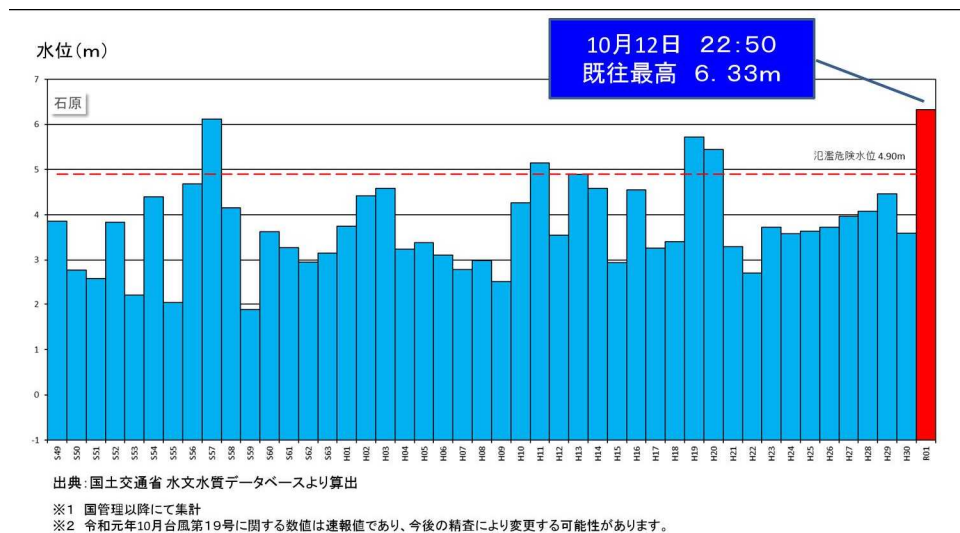


図 2-4-2 河川水位（国交省石田水位観測所）※¹

※¹ 記者発表資料 国土交通省京浜河川事務所ほか 令和元年 10 月多摩川流域の水害を踏まえた「多摩川緊急治水対策プロジェクト【中間とりまとめ】 令和元年 12 月

(2) 被災の状況

多量の降水量により、多摩川流域では主に河川沿いの地域において浸水被害が発生した。しかし都市河川である多摩川では、万一発生時の被害甚大を鑑み、多くの区間で河川整備計画で定める計画堤防高までの整備が完了しており、幸いにして多摩川堤防の破堤・溢水による氾濫被害は生じず、ほとんどの箇所が内水による浸水被害であった（図 2-4-3）※¹。なお、一部箇所（左岸 二子玉川地区）では、支川合流点による構造の複雑性と地域住民の堤防整備への意見などから、計画堤防高までの整備が完了していない箇所があり、ここから堤内地へ溢水氾濫が生じた。

以上のように、台風 19 号由来の被災は、阿武隈川や久慈川那珂川、千曲川とは異なり堤内地での被災状況は、多くが多摩川の直接的影響を受けたものではなかった。一方で、堤外地（河道内）を見ると、横断構造物や高水敷部に多くの被災が生じた。多摩川には利水を目的とした横断構造物（取水堰）が複数存在するほか、都市化が進む堤内地において河川が貴重な利用空間であるとして、運動場をはじめとするレクリエーション空間が整備されている。台風 19 号により生じた洪水流は、これらの多くを破壊した（写真 2-4-1～2）。先遣隊調査を行った 12 月 24 日は、洪水発生から 2 か月超を経ていたが、破損の状態のまま手が付けられない状況となっていた。



※浸水範囲は、関係市区からの情報等に基づき、多摩川に隣接する箇所のみ表示しています。

7

図 2-4-3 多摩川沿川の被災状況※¹

※¹ 出典 国土交通省京浜河川事務所ほか 令和元年 10 月多摩川流域の水害を踏まえた「多摩川緊急治水対策プロジェクト【中間とりまとめ】 令和元年 12 月

(3) 他河川と比較した多摩川の被災の特徴と提言の対象

台風 19 号による多摩川の被災は、大きく①溢水被害、②内水被害、③河道内攪乱被害、に分けられる。

①は、二子玉川付近の左支川「野川」合流点付近で発生した。この箇所は、ほぼ無堤の状態であり、旧河川法に基づく多摩川工事実施計画のころから堤防整備に対する地域住民の合意が得られない状態が続いていた。今回の被災は、上昇した多摩川水位がここから溢れたものである。河川整備の観点でみれば、河川管理者の意向に反す

る未整備区間であることから、被災に対して学会が意見を述べる対象としては不適切である。

②は、流域治水の観点で見れば、前出の阿武隈川・久慈川那珂川・信濃川の氾濫被害と同様であるが、主に都市下水道の雨水排水処理能力の要因が強く、若干趣が異なるため、本提言のための調査対象とはしなかった。

これに対して③は、高水敷において人工的に整備されたグラウンドや公園などの多くが出水時に冠水・攪乱を受け、利用が困難な状態になった。かつての多摩川は、砂礫河原が広がり、河原性の植物や昆虫類、水域生物の多様度が高かった。また、河川生態学術研究では、この砂礫河原の重要性と保全再生に向けた研究を、学識者のみならず国土交通省・土木研究所が複数年にわたり実施しており、現在でもNPOを中心にした活動が繰り広げられている。今回の出水により都市河川ゆえ進められた人工的な整備が、かつての礫河原に戻されたような被災状況になったことは、被災したグラウンド等の持続可能な管理の面で一石を投じたことになると考えられる。このため、多摩川の提言では、現在の河川整備計画に位置付けられる空間管理計画に対する意見という形で考えることとした。

2.4.2 河道内施設の概況と課題(現地調査を踏まえて)

(1) 先遣隊調査概要

(1-1) 先遣隊調査の内容

調査では、出水により攪乱を受けた河道内の状況を、以下の観点で把握することとした。

- ①グラウンド等の被災状況と河道形状との関係
- ②カワラノギク等貴重な自然植生が分布していた礫河原の被災状況

(1-2) 調査方法

調査は、河道内を徒歩で移動しながら上記①②の状況を把握するものとした。なお、被災範囲が広範に及ぶことから、調査は3つの班に分け、調査が必要と判断した6つのサイトを分担して目視で実施した。なお、航空法の制約を受けない箇所においては、ドローンによる空撮も実施した。

(1-3) 調査範囲

調査範囲は、貴重な植生環境が多く確認されていた 圏央道多摩川橋上流 (57.4 kmポスト) から多摩大橋 (43.4 kmポスト) までのおよそ 14 kmとした。調査では、高水敷の整備・自然地の分布などの特徴から以下の6サイトに分割した。

- A-1 : 44.6 km ポスト～43.4 km ポスト (1.2 km)、左岸
- A-3 : 49.2 km ポスト～48.4 km ポスト (0.8 km)、右岸
- A-4 : 50.0 km ポスト～49.2 km ポスト (0.8 km)、右岸
- A-5 : 54.8 km ポスト～54.2 km ポスト (0.6 km)、左岸
- A-6 : 55.4 km ポスト～55.0 km ポスト (0.4 km)、右岸
- A-7 : 57.4 km ポスト～56.8 km ポスト (0.6 km)、右岸

※A-2 サイトは調査時間の関係から割愛した

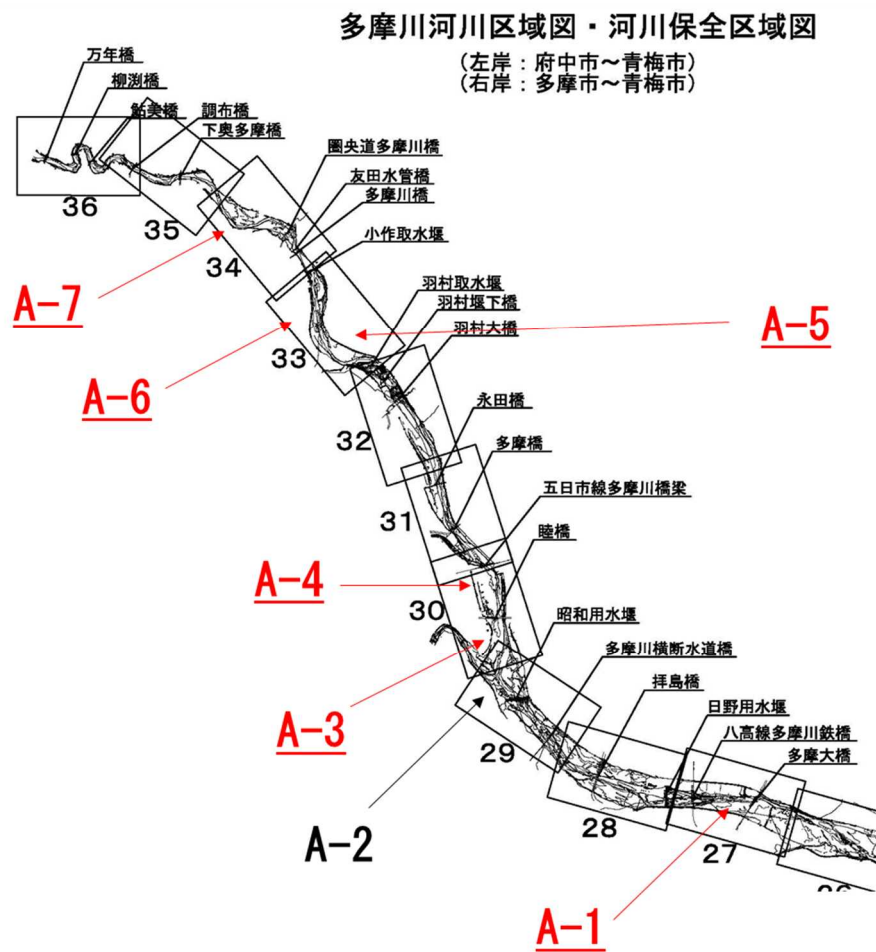


図 2-4-4 調査範囲・サイト全景

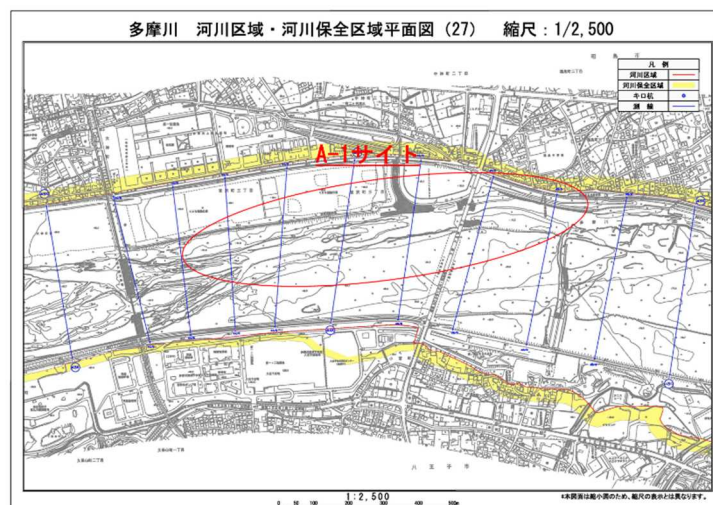
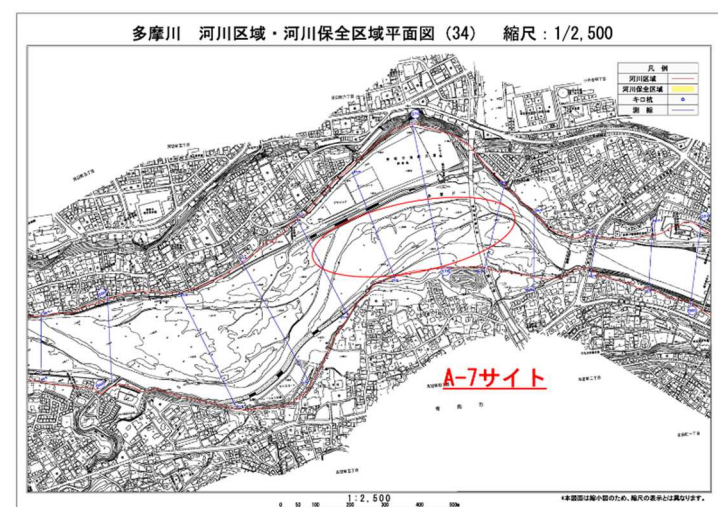
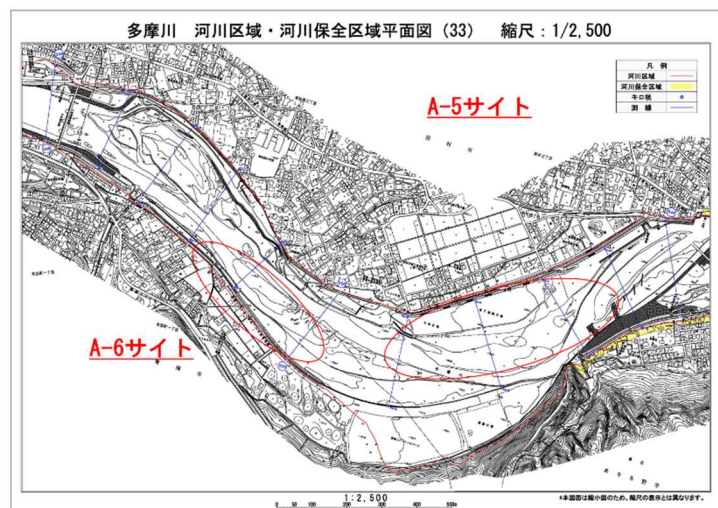
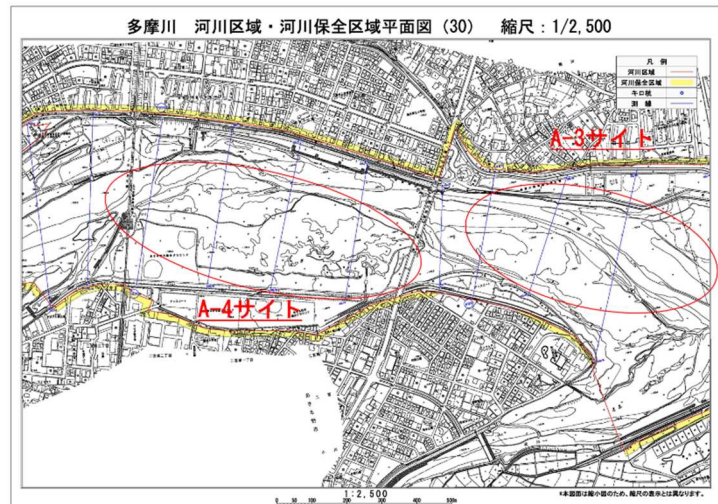


図 2-4-5(1) A-1 サイト



(1-4) 調査体制および時期

調査は、倉本宣教授（明治大学）を筆頭に、2 人の学識者、2 人の学生、6 社 13 人の建設コンサルタント（学会会員）、及び応用生態工学会災害対応委員の計 18 人で実施した。

表 2-4-1 調査隊の体制

	所属	隊員名（敬称略）	備考
学識者	明治大学	倉本（隊長）、岡田	
学生	明治大学	上小牧、Wu	
建設コンサルタント	いであ	川口、益子	
	建設環境研究所	石井、麻生	
	建設技術研究所	土井、柴田、竹内	
	国際航業	小川	
	日本工営	尾関、渡辺、渡邊、内藤	
	八千代エンジニアリング	立林	
学会	応用生態工学会	関根（副隊長）	建設技術研究所

調査は 2019 年 12 月 25 日に実施した。被災は同年 10 月 12 日であることから、被災から 74 日後の調査だった。

図 2-4-6 に、調査隊員に配布した調査概要を示す。

2019年台風19号災害調査団 多摩川調査隊 調査概要	
実施日 2019年12月25日 9:30～16:30	
【調査目的・提言の方向性】 堤防に変わる人工物として、グラウンドとその周辺の堆積および浸食と、カワラニガナの実生の分布を現地調査によって明らかにする。河川環境管理計画は固定的であるものの、見直しの機会がいずれ来るので、将来の河川敷の土地利用の在り方を提言する。	
【調査内容】 (1)生物調査 1) カワラニガナ等砂礫草本植生の実生があれば写真で記録する。 ※出水後、気温が低いので、実生は少ないと想定。 2) (2)の物理環境調査において、堆積していることが確認された箇所を基本に、堆積物を採取する。採取した堆積物は砂州位置や特徴等を袋に明記する（袋は配付）。 3) 人間的な環境改変として堆積または浸食箇所に残された足跡・タイヤ痕などを記録する。 4) 現地調査時に出水直後やその後の工事の有無等を聞き取る（可能な範囲で実施）。 (2)物理環境 1) 目視により、河床の攪乱を、①形状変化かつ堆積浸食が大きい、②形状変化があるが堆積浸食が小さい、③形状変化は小さいが堆積浸食が大きい、④堆積浸食はあったようだが大きなものではない、の4段階に分け分類。 2) 堆積浸食の大きさは可能な限り定量的に推測し記録、必要に応じてスタッフ等を当てた写真を撮影 3) 野球場・公園など人間利用に供している箇所に隣接する箇所との変化の大小に留意し特に現象が生じている箇所を特記コメントしておく。	
【調査団】 明治大学 倉本先生、岡田先生、学生2名 いであ、建設環境、建設技研、国際航業、日本工営、八千代エンジニアリング（計13名） 応用生態工学会災害調査委員会（関根）	

図 2-4-6 調査隊員に配布した調査概要

(2) 被災の状況把握

(2-1) グラウンドの分布と被災状況

多摩川の高水敷には、左右岸に複数のグラウンドや自然公園等が整備されている。このうち、調査範囲には表 2-4-2 に示す計 13 箇所（左岸 9 箇所・右岸 4 箇所）が分布する。高水敷におけるグラウンド等の密度における定量的な数値は整理されたものがないが、調査範囲ではおよそ 0.5 箇所/km (13 箇所/のべ 28 km) であり、感覚的に見れば相当の高密度と考えられる。

表 2-4-2 現地調査結果概要（施設等の被災状況）

ランドマーク (橋梁等)	サイト	左岸		右岸	
		施設等	状態	施設等	状態
多摩大橋	A-1	多摩川緑地くじら運動公園	堆積(使用禁止)	砂礫河原	攪乱・堆積
JR八高線			大神公園グラウンド	堆積(使用禁止)	
平町用水取水堰					
拝島橋		拝島自然公園	影響なし	滝ヶ原運動場	影響なし
昭和用水堰					
		福生南公園	堆積(使用禁止)	支川合流(秋川)	
睦橋	A-3			砂礫河原	攪乱・堆積
JR五日市線					支川合流(平井川)
多摩橋	A-4	多摩川中央公園グラウンド	堆積(使用禁止)		
永田橋			福生かに坂公園	堆積(使用禁止)	
羽村大橋					
落差工					
羽村取水堰					
	A-5	宮の下運動公園	堆積(使用禁止)		
	A-6			砂礫河原	攪乱・堆積
小作取水堰					
多摩川橋					
園央道	A-7	青梅市市民球技場サッカー場	堆積(使用禁止)		
		青梅市民球技場	堆積(使用禁止)		

多摩川の河原は、落合※¹⁰によれば、戦前からゴルフ場やグラウンド等に利用差されており、その面積は 1935 年時点で約 220ha（左岸 110ha/右岸 108ha）と広大であった。そののち、1970 年の調査では 1, 108ha 程度にまで拡大し、現在に至っている。拡大の背景には、同年の東京オリンピック開催による、国民の健康増進意識の向上と多摩川沿いの人口増加、及び周辺地域における空間確保の問題があったものと思われる。

単純な試算になるが、河川延長当りの河道内グラウンド等利用面積は、高水敷がみられる首都高横羽線（距離標 2k000）から下奥多摩橋（距離標 59k000）までの 57km を河川延長として、19ha/km(=1, 108ha/57km)となる。一般指標がないことから、この数字の評価は難しいが、仮にサッカーコート(105×68m)の面数で見れば、27 面/kmとなり、両岸に均等配置されていると考えても 14 面/km程度が存在することになる。ほぼすべての高水敷が人間利用に供されていることになり、これが被災した場合の復旧労力(人的・経済的)は相当なものになるのは容易に推定できるし、自然環境の場がいかに少ないか、という根拠にもなりえる。

※¹⁰ 落合正宏 河川敷利用に対する水質の影響 1996 総合都市研究第 60 号

(2-2) グラウンドの比高と維持の関係

多摩川に整備されている高水敷は、高水流量に対応した河積の確保が必要なこともあって、多くの場所で水面との比高差が小さい。特に扇状地入口となる下奥多摩橋（距離標 59k000）下流では、高水敷高（平常時水際からの比高差）は 1m 程度であり、今回の台風ほどの規模ではなくても比較的冠水しやすいと考えられる。

多摩川では上流にある小河内ダムや途中に複数設置される取水堰により、平時の水位は低く管理されている。一方で利水目的で設置された取水堰はもちろん、小河内ダムもその目的を利水（上水・発電）としているため、出水時の流量調整は行われない。このため結果として流水は自然河川に類する波形をもって下流に押し寄せることになる。このため、比高差が小さい洪水時期のグラウンド等は高い頻度で冠水することになる。

被災後の現場を見ると、比高差の大きい高水敷に形成されるグラウンド（五日市線多摩川橋梁下流右岸、比高差及び 2.5m）では、流水により運ばれた草本や小枝などの痕跡が認められるものの、洗堀や土砂堆積などの形状変化は生じていない（五日市線多摩川橋梁（距離標 49.2k）下流右岸、**写真 2-4-1**）。一方で比高差が 1m 程度のグラウンド（くじら公園（距離標 44k 付近）、**写真 2-4-2**）や宮の下運動場（距離標 54k 付近）などでは、グラウンド表土が剥離したり、大礫（30 cm 前後）や中礫（10 cm 前後）が流れに沿って堆積するなど、平たんな地形・均質な河床材料を維持できていない。

高水敷の比高差に差異があるのは、河道断面の河積確保と大きな関係があると思われる。流下能力が小さい場所において、平水時に高水敷の干出面積が大きい箇所があったとしても、この場所は出水時に冠水しやすい場所であることから、維持管理面で考えるのであれば、この地をグラウンド等に供するのは適切ではない。

一方で流下能力上比較的余裕がある、川幅が広い場所では、出水時であっても水位上昇が相対的に生じにくいことから、このままグラウンドに供したとしても維持管理面で負担が大きくなる、ということは物理的にないと考えられる。

以上のように、流下能力が低いがために比高差が小さいグラウンドは、引き続きグラウンドに利用するのは適切ではない、と考えられる。



写真 2-4-1 比高差の高い洪水敷に形成されたグラウンド（攪乱小）
五日市線多摩川橋梁下流右岸（A-4）



写真 2-4-2 比高差の低い洪水敷に形成されたグラウンド（攪乱大）
くじら公園 (A-1)

(2-3) 河川の平面形状からみたグラウンドの立地的特性と水理量

宮の下運動場（距離標 54k 付近左岸）は、前出のとおり平常時水面との比高差が小さいことに加えて、出水時に想定される要因が複合的に関係した可能性がある。

宮の下運動場の直上流は、運動場に比べて相対的に河道幅が狭い。河床勾配が 1/200 前後と急なこの区間では、これより上流における小作取水堰下流の河道幅広区間の存在とあわせて、出水時に射流またはこれに近い流れが不連続に生じやすいと考えられる。このエネルギーが、宮の下運動場における川幅が広く運動場の比高差が小さい河道形状で解放され、運動場に流水が向きやすい状況であったと考えられる。この区間の右岸側は、左岸（宮の下運動場）に比べて若干比高差が大き

く、流水が左岸側に向きやすいもう一つの要因と考えられる。

さらに、宮の下運動場は、下流に羽村取水堰がある。堰堤は固定堰堤体の左岸側に 3 門の可動堰を備える複合堰形状をなしている。出水時には引き上げ式の可動堰水門が全開されるが、固定堰部分は 1~2m 程度の比高があることから、平常時・出水時に関わらず水位上昇が生じる。下流の水位上昇は、上流の流水拡散の要因になりえることから、宮の下運動場が冠水した更なる要因になった可能性がある。



出典 Google に加筆

図 2-4-7 宮の下運動場付近の河道形状

この区間における河床材料を見ると、砂や小礫に加えて、10~30 cmの大礫も多く見られる(写真 2-4-3)。宮の下運動場にも、河道から流下したと思われる大礫が多く見られた。この粒形を動かす無次元掃流力は 0.05 程度、摩擦速度で 45 cm/s 程度となるが、流速は約 4.5m/s 強(河床勾配 1/200、水深 2m、川幅 250m、粗度係数 0.025 の等流状態を想定)であったと想定されることから、これらの粒径は河川

から運ばれたものであると推定できる。



写真 2-4-3 宮ノ下運動場に残存した砂礫

(2-4) 小規模な堆積

出水後、グラウンドには大小様々な土砂堆積が見られた。堆積する土砂の粒径は、上下流の場所により異なり、下流ほど粒径は小さくなる。

上流に位置する宮の下運動場においてはシルトを含む粒径の小さい砂や小礫の堆積が 30 cm 前後の厚さをもって堆積していた（前出の**写真 2-4-3**）。

また中流の JR 五日市線多摩川橋梁（距離標 49.2k）下流右岸の砂州では、河岸側で 30 cm 程度の堆積が一面に見られたほか、水際付近でも 10 cm 前後の砂がパッチ状に堆積していた（**写真 2-4-4**）。



写真 2-4-4 粒径の小さい材料の堆積（左：河岸側、右：水際）

運動場においては、堆積土砂の除去が必要になり、河川の維持管理上の課題となる。特にサッカー場や野球場などは、地盤の起伏を良しとしないことから、被災後の早期対策が必要であるが、今回の災害では、多摩川に広く展開されているグラウンドのほとんどに土砂堆積が見られたため、維持管理対象が膨大になり、堆積土砂の除去・復旧に年単位の時間を要している。国土交通省によれば、堆積土砂の撤去単価は 4,000 円/m³ 弱（掘削積み込み、運搬、処分場処理、運搬距離 19 km 未満）とされており、今回の災害でグラウンドに堆積した土砂量（公開資料がないため総グラウンド面積 1,108ha の半分が 30 cm 堆積したと仮定）を 160 万 m³ と仮定すると、66.5 億円もの対策費を必要とする。この対策費を早期に確保するのは難しいことは容易に想像できるし、被災後 1 年以上経過しても被災したままの状態が維持さ

れるグラウンドがあることも理解できる。

※造田 堆積土砂の撤去におけるコスト縮減の取り組みについて（公募掘削）国交省香川河川国道事務所

また、土砂の新たな流下や堆積は、これより上流に存在した植生の茎根や種子も一緒に運搬・沈着したと考えられるが、粒径の小さい土砂材料中ではある程度の保水性が確保され、植生が定着する、という一連の現象を推定することが可能となる。実際に、多摩川では河道内樹林化の進行とその対策を、河川生態学術研究会議多摩川研究部会で研究している。

河川生態学術研究の成果を見ると、多摩川では、昭和年代における河床材料の骨材利用を目的とした浚渫や上流ダム・堰堤による土砂の補足などにより、河床が総じて低下するほか、平常時の滞筋も安定傾向にある。これにより、小出水では比高差の大きい場所ほど攪乱を受けにくく、グラウンド以外に残された砂州では競合性の高い木本類などの植生が優占し、多摩川に多く自生していたカワラノギクやカワラハハコなどの重要な河原性草本類が激減している（写真 2-4-5）。



写真 2-4-5 河原の植生（左：ヤナギ等木本、右：ヨシ）
五日市線多摩川橋梁下流右岸（A-4）

今回土砂堆積のあったグラウンドは、この後土砂の撤去など対策を行わない限り、写真 2-4-5 のような植生遷移地に変貌し、再度グラウンドに再整備する際の対策費等はさらに膨大になることが予想される。

（2-5）植生調査結果

倉本ら※によれば、多摩川の砂礫河原には、かつて砂礫河原に見られる固有種が多く自生していた（表 2-4-3）。しかし、河道内土砂の浚渫やグラウンドの整備をはじめとする直接改変、及びダムの整備による攪乱頻度の低減・土砂収支の変化などにより、固有種の種数・個体数がともに減少している。

多摩川の河川敷のうち、グラウンドに供されていない砂礫河原は、土砂収支上粒径の細かい砂や小礫が定常的に減少するほか、出水時には比較的大きな粒径の礫も減少することで、比較的攪乱を受ける水際部や比高差が小さい河原部を中心に河床低下が進行する。比較的比高差のある場所では攪乱を受けにくいため競合の強い木本類が成長し樹林化が進むほか、大型多年草に覆われた部分が拡大している。

多摩川における貴重な草本類であるカワラノギクは、水面との比高が大きい礫河原に主に分布していたが、現在では、水面との比高が大きい場所の礫河原に大型多年草が侵入した結果、水面との比高が小さい場所にしか分布していない。結果として、開花結実まで 2～4 年を要するカワラノギクには結実がむずかしい不向きな

環境となっている。

カワラノギクを守るということが、生息域における本来の選択圧が加わった個体群の遺伝子構成を守るということであるなら、生息域である河川敷は現在それにはふさわしくない環境になっている。そのため、たとえ生息域外の個体群であっても、できるだけ本来の選択圧に近い環境を確保することが重要になると考える。

表 2-4-3 多摩川の礫河原固有種の生活史

	生活史	生活型	種子散布様式	散布時期
カワラケツメイ	夏季一年草	直立型	自動散布	秋
カワラサイコ	多回繁殖型多年草	ロゼット型	重力散布	夏
カワラナデシコ	多回繁殖型多年草	直立型	風散布	秋
カワラニガナ	多回繁殖型多年草	ロゼット型	風散布	春～秋
カワラノギク	一回繁殖型多年草	ロゼット+直立型	風散布	秋
カワラハハコ	多回繁殖型多年草	ロゼット+直立型	風散布	秋
カワラヨモギ	多回繁殖型多年草	直立型	風散布	秋
ヒロハノカワラサイコ	多回繁殖型多年草	ロゼット型	重力散布	夏



中国と共通:カワラサイコ、カワラナデシコ、カワラノギク、カワラヨモギ
日本固有:カワラケツメイ、カワラニガナ、カワラハハコ、ヒロハノカワラサイコ

カワラノギクの再生は、自然再生事業の実施に伴い、学識者や地域の NPO（カワラノギクプロジェクト・府中市環境塾など）により、河原性植生の保護・再生活動が進められてきた。

倉本らが先遣隊調査後に時実施した現地調査によれば、台風 19 号による多摩川の河床攪乱により、以下が明らかとなった（表 2-4-4）。

- 青梅市友田の野生個体群は全滅
- 羽村市宮ノ下運動場地先の個体群は激減
- 福生市永田地区の個体群は激減
- 府中市の個体群は 1 本だけに激減
- 多摩市の個体群は全滅
- もう一つの府中市の個体群は全滅

ここに、出水が開花時に発生したため、生き残った個体についても頭花は結実しなかったため、種子による個体群の再生は望めないと考えられる。

表 2-4-4 2019 年夏に確認した個体群に対する台風 19 号の影響
(カワラノギクプロジェクトによる生育地の調査)

友田の自生地：□地盤もろとも流失。(10/28、TS 氏調査) ♪
羽村堰上流左岸：□1 株のみ（蕾）残存。(10/15、TS 氏調査) 後に前田ほかと筆者により 70 株確認。
永田地区：□A 工区で 18 株開花。ほかはすべて流失。(10/27、SI 氏調査。) ♪
永田橋左岸詰花壇：□開花 135、ロゼット 346。(10/19、RN 氏情報提供。20、TS 氏調査) ♪
五日市線鉄橋下流右岸：□対岸から望遠する限り地盤もろとも流失。(10/15、TS 氏調査) ♪
京王線鉄橋下流右岸（東京都による保護地）：□地盤もろとも流失。(10/21、TS 氏調査。) ♪
京王線鉄橋下流左岸（地元市民の育成地）：□ロゼット 1 株残存。一放棄（2020 年 4 月筆者確認） ♪

※¹ 倉本宣・Wu Ximei・伊東静一・岡田久子(2021) 多摩川の環境変化に対応したカワラノギク個体群の再生活動のあり方 ランドスケープ研究 増刊 技術報告集 11

以上のように、今回の台風 19 号による多摩川の河道内攪乱は、カワラノギクという多摩川の貴重な草本類に大きなダメージを与えた。再生に向けて、学識者や NPO は様々な取り組みを継続することになるが、グラウンド等の整備によりすでに限られた面積の砂礫河原において、カワラノギクを再生させ、かつてのように増やすことは現実的に困難である。カワラノギクをはじめとする貴重な草本類を絶滅させないためにも、自然の砂礫河原（グラウンド等に供されていない河原）の面積を増やし、生息可能性を確保することが必要である。

(3) 多摩川的环境上の課題

(3-1) 自然環境の観点

応用生態工学的に見れば、多摩川の河道に存在し、または存在していた砂礫河原固有草本類は、生物多様性の観点・NPO など地域活動における位置づけの観点、そして良好な河川景観の維持の観点から見て重要である。現在の河道内空間を見ると、グラウンドを除く自然空間は少なく、場所によっては木本類の優占により砂礫河原固有草本類が優占可能な河道内空間は極めて限定的となる。したがって、砂礫河原固有草本類が自生可能な空間を可能な限り多く確保するとともに、一定規模の攪乱を許容可能とするような河川管理を、今後広げていく必要がある。

(3-2) 人間環境の観点

多摩川が流れる東京都西部・神奈川県東部は、戦後に人口の増加傾向が加速し、現在では下流ほど傾向を維持している。土地利用は特に左岸の東京都側において過密な状態であり、住民が運動や憩う空間が確保されないことから、多摩川は貴重な空間である。第 18 回東京オリンピックから 50 年余りが経過し、日本人の健康意識やプロ野球・サッカー J リーグ、ラグビーワールドカップの開催などスポーツ振興の機運が維持されている中では、多摩川の河道内グラウンドを維持することは意味のあることである。

一方で、河道内グラウンドのある河川区域は、今回の出水など自然現象により直接的に影響を受ける空間であり、近年の地球温暖化が原因とされる異常気象で、河川区域内の攪乱頻度・規模は上昇すると考えられる。これにすべて河川行政が対応して管理することは、前出のとおり膨大な経済的負担を前提にせざるを得なくなるが、近年の少子高齢化による税収の減少や管理者確保の不足への懸念、及び全国規模の災害頻発に対する国費の投入限界などを考えれば、持続可能性の観点から課題がある。超過洪水をどのように河川計画に盛り込むかはあるが、少なくとも河川規模が河川整備計画見合いで位置づけられている以上、流下能力に余裕が十分ではないことから、グラウンドを現状のまま維持することは、安全管理面・経済面から見ても課題が多い。

2.4.3 まとめ

(1) 都市河川に求められる河川の機能

多摩川は、都市河川ゆえ河川沿川に存在する人命・資産が多く、ひとたび破堤・溢水が生じると、被害は他地域とは比べ物にならないほど甚大なものとなる。一方で、多摩川の流下能力は、河川整備計画（1/20 確率規模相当の洪水対応）であり、2019 年の台風 19 号によりもたらされた降雨が 1/200 確率規模を上回る 473 mm（石原地点）であったことを考えると、流下能力の更なる確保は必至である。これは、国土交通省水管理保全局が 2020 年に示した流域治水で位置づけている、流域との雨水のシェア

が難しい多摩川沿川の土地利用の現状からも明らかである。

流下能力の不足に対しては、河道掘削特に高水敷の掘削が中心の改修になろう。ましてや、前出の課題に示した、河道の維持補修に要する経済面からも、河道に維持管理が必要なグラウンド等を維持することは難しく、現在広く分布するグラウンドの在り方は、安全面から見直さざるを得なくなると考えられる。

これらのことは、自然環境面で見れば、人の手が入らない空間を作る方向にシフトする、という点ではよい。人間が必要以上に入らない河川空間は、生物多様性の面で望ましい。なお、多摩川は昔に比べて平常時及び小出水時における河川外力が、ダム等により決定的に変化しており、人間が必要以上に入らないことが必ずしも生物多様性に結びつかない、など問題もある。これについては、先の河川生態学術研究会議のような、環境保全のための仕組みが活用できることを期待したい。

(2) 応用生態工学的に見た河川整備への提言

今後、多くの河川では河川整備計画に基づき策定された河川環境管理計画に従って引き続き整備が進められることから、被災した高水敷にある運動・健康管理空間やレクリエーション空間は、順次復旧が行われると思われる。しかし、近年の気候変動により、大規模出水の発生頻度が高まるとされている中で、高水敷利用の在り方についても、見直しが必要ではないだろうか。

例示した多摩川は、直轄管理区間の多くがセグメント1～2-1であり、出水時に発生する掃流力は大きく河床攪乱が生じやすい。このため、現在のグラウンドは今後も繰り返し被災を受け利用面や経済面で影響を受けることになる。今回被災を受けた多摩川のグラウンドは被災後1年を経た現在も利用できない場所が多い。

一方で、この河川にはかつて礫河原が広がり、貴重な河原植生や昆虫、鳥類などの生物が生息していたが、グラウンドの整備によりその生息可能な面積は小さくなったばかりでなく、流下能力確保のための高水敷を含む河床の切り下げにより発生掃流力がさらに大きくなることで、生息生物そのものの維持が困難になりつつある。貴重な生物を含む生物多様性を持続的に維持するためには、既存の地域住民・NPOなどの活動の力も借りつつ、自然に近い礫河原を面積的に増やす取り組みが必要である。

以上より、今回の災害をきっかけとして、河川区域内における人間の利用空間と自然環境の保全空間の面的な割合を再検討し、自然な礫河原をより広範囲に再生するなどの柔軟な姿勢をもって河川環境管理計画を見直すことが、経済性・持続可能性の面で望ましい。見直しにあたっては、この地域における現時点での社会的要請を踏まえた河川利用と自然環境保全の原則や、災害が起こった際の復興の方針などをあらかじめ定めるなどの措置が必要である。

3. 応用生態工学的視点から見た災害への取り組みについて

3.1 気候変動を考慮した流域治水のあるべき姿

2019 年の 19 号台風に伴う災害後の治水対策として、“流域治水”への転換が検討されている。2020 年 7 月「気候変動を踏まえた水災害対策検討小委員会」の答申によると、「河川、下水道等の管理者が主体となって行う従来の治水対策に加え、集水域と河川区域のみならず、氾濫域も含めて一つの流域として捉え、その河川の流域全体のあらゆる関係者がさらに協働して流域全体で水害を軽減させる治水対策、“流域治水”への転換を進めていくことが必要」としている。この内容は、1979 年の総合治水と似るが、この答申でも、「これまで、都市部の河川流域を対象に実施している“総合治水対策”の概念を、地方部を含む全国の河川に拡大し、都市化による流出量の増大への対策にとどまらず、様々な主体の協働（参画）により、更なる流出抑制対策を推進」と述べている。

一般的に、支川の治水安全度の整備目標は、本川と比べて相対的に低く設定されている。また、上流域と下流域を比較すれば、上流域の整備目標の方が低い。目標に対する整備率も、下流から上流に向けて段階的に整備が進められるために、上流、支川ほど整備率が低くなっているのが一般的である。このため、本川よりも支川の方が氾濫しやすい。本川と支川の合流部においても、洪水時に本流の水位が高くなり、支流の流量が本流に流れづらくなる現象（バックウォーター現象）が生じた際には、相対的に治水安全度が低い支川側での堤防決壊のリスクが高まる。実際に、台風 19 号で堤防が決壊した 140 カ所（71 河川）のうち、8 割にあたる 112 カ所（62 河川）が、支流と本流の合流点から約 1 キロの範囲だったと朝日新聞は報じており、そのうち 35 箇所（28 河川）は支流の破堤だった。合流部付近に被害が集中した別の要因として、支川の整備が進んだ結果、整備以前よりも多くの流量が支川から本川に流入するようになったことも注視する必要がある。

河川整備が支川や上流域に及ぶほど、本川に流入する流量が増加するという側面がある。大河川の流域全体を覆うほどの広域に大量の降水がもたらされた台風 19 号では、水系を構成する各支川から本川河道の流下能力を超える流量が流入し、河川合流部や本川下流部に被害が集中して発生した。今後さらに上流域、支川の治水安全度を上げるとは、支川から本川に流入する洪水のピーク流量を現状よりも増加させ、本川河道の水位を更に上昇させることとなり、本川下流部の氾濫危険度を高めることにつながる。

これらの状況を踏まえると、ダムによる上流域での洪水調節のみならず、支流においてところどころで貯留、遊水させながら、流出を抑え、遅れさせる方策を検討することが重要になる。これらの要となるのが、前章で述べてきた霞堤や越流堤、遊水地、水害防備林であり、流域治水として伝統知を活かす必要がある。また、これらの治水技術や土地利用で形成された空間は、有事の治水空間、平時の環境空間としての役割を果たし、まさしくグリーンインフラとして機能する。特に、本流と支流とのつながりは、水系ネットワークとしてきわめて重要であり、これまでの研究より、洪水時には魚類などが支流に退避し、洪水攪乱の影響を回避することが知られている。さらに、本流・支流の合流部の複雑な水

の流れ、微地形、河床材料が、生物生息場環境の形成、ならびに生物多様性の維持に寄与していることが明らかになっている。こうしたグリーンインフラを EU のような生態系ネットワークとして捉えなおして整備することは、国土交通省が進める河川を基軸とした生態系ネットワーク事業に大きく貢献する。

今後、グリーンインフラを流域内に適切に配置するためには、水系ネットワークを加味した氾濫解析が必要になるが、大部分の水系では水防法により指定がなされた洪水予報河川及び水位周知河川の本流のみの氾濫解析にとどまっており、洪水浸水想定区域図・洪水ハザードマップはこの手法によって作成されている。したがって、支流ならびに合流部での氾濫が正しく示されていない可能性も高い。滋賀県流域治水事業で実施されている流域全体で水理計算を実施する統合水理モデル等の活用が推奨される。また、流域内の水源地森林や氾濫原湿地は、既存のグリーンインフラとして重要であり、今後の適切な管理が必要になる。上流や中流域での雨水浸透や洪水流の貯留・遊水が、下流域の安全性に重要な役割を果たすことは明らかであり、既存のグリーンインフラの維持や新規のグリーンインフラの設置についても、下流都市域からの財政的・人的・物的支援を通じた流域連携・協働による管理を進める必要がある。

3.2 河川法に基づく河川改修のあるべき姿(原形復旧から未来復興へ)

公共土木施設の災害復旧は‘原形復旧’が原則である。現在の河川管理における原形復旧は、従前の効用(機能)を復旧することと位置付けている。人口が増加する局面において原形復旧されれば人は戻り、町は再建されると思うが、減少する局面ではどうだろうか。災害からの再建は自己責任が原則となっている。地方住民の多くは高齢者であり、戻って家屋を新築する人はわずかであろう。将来の地域づくりのビジョンが災害前に策定されておらず、土地利用等を含めた地域全体の復興と公共土木施設復旧がうまくつながっていない点が課題である。

河川で復旧事業を実施する場合、1998 年に策定されその後改定された「美しい山河を守る災害復旧基本方針」(ガイドライン)に基づいて行われている。このガイドラインは、「中小河川に関する河道計画の技術基準」及び「多自然川づくりポイントブックⅢ」に関する知見と連動して災害復旧事業を行うことを主旨としており、多自然川づくりの考え方を基本に復旧事業を行うことを意味する。この方針に則れば、生物の生息・生育・繁殖環境が守られるはずであるが、実態は必ずしもそうっていない。

短期間に行われる災害復旧は、公共施設の速やかな復旧を目的とするため、河川生態系には時として好ましからざる影響がもたらされる。河道掘削工事によって、貴重な生態系が失われることは多い。災害前に河川環境が評価され、どこが生物生息場として重要かが把握されていないのが要因の一つである。また、洪水攪乱によって湿地や砂礫地生態系、瀬淵構造が新たに形成されても、元の河道形状に復旧されることが多い。生態系が攪乱と

遷移によって維持されていることが理解されていない。更に復旧工事は、攪乱後に残された生物遺産（biological legacy）を徹底的に取り除き、整地して環境を均質化する。生物遺産が生態系の回復にいかに関与かが理解されていない。激甚災害指定を受けると概ね5年で復旧工事を完了させなければならない。これは生態系の自然回復を見守る姿勢からは大きく離れる。多自然川づくりアドバイザー制度もあるが、限られた人材と専門分野ですべての災害復旧工事内容をチェックするのは不可能である。

多くの復旧工事では被災を受けた地域社会が未来に対してどのように発展すべきか、という視点が欠落し、土木施設の原形復旧に焦点が当てられる。一般的に現在機能している公共土木施設を、壊れてもいないのに未来社会のために積極的に改良する予算はない。つまり、災害後の復興こそ、未来に向けた良い方向に改良できる好機なのである。ここでは、人口減少などの社会構造変化、気候変動適応を考慮し、地域の産業に寄与する新たな復興ビジョンを‘未来復興’と呼びたい。そこでは、洪水攪乱による生態系の変化、新たな生態系の創出を許容し、グリーンインフラとして生かし、地域環境と経済・社会の質の向上をめざす。2020年6月小泉環境大臣と武田防災担当大臣が共同で発表した「気候変動×防災」戦略では、同様な内容を‘適応復興’と呼んだ。災害が起こってしまった後は、地域住民は心身的に大きな傷を負い、経済的にも大打撃を被り、地域社会の未来について議論する時間もない。未来復興ビジョンは災害のない時にこそ、地域でしっかり議論すべきである。

4. おわりに

応用生態工学会では、この調査団を派遣する前にも、2017 年森林斜面で崩壊が発生し、土石流・流木災害で人命が失われた九州北部豪雨災害において、調査団を派遣した。それ以降、2018 年西日本豪雨災害では、広島県、岡山県、愛媛県で甚大な被害が発生し、死者は 200 人を越えた。北海道胆振東部地震では新潟県中越地震をはるかに超える斜面崩壊が先行降雨と地震によって発生した。2019 年九州北部豪雨では、線状降水帯による集中豪雨が発生し、各雨量観測地点で観測史上 1 位の記録を更新した。そして、2019 年の 19 号台風被害である。毎年のように発生する大雨と洪水・土石流被害によって、行政のみならず国民も、日々の生活の中で近づく温暖化の危機を意識せざるを得なくなっている。こうした背景を受け、国や地方でも「気候変動適応策」が検討され、国交省では「グリーンインフラ推進戦略」が発表された。また、19 号台風後の緊急対策にグリーンインフラを組み込んだ多重防御治水が提案され、7 月には「気候変動を踏まえた水災害対策検討小委員会」の答申で、“流域治水”への転換が示された。

流域治水では、集水域や氾濫域対策として、森林の整備や田んぼ・ため池の利用、下水道排水施設・雨水貯留浸透施設の整備、土地利用規制・誘導・移転の促進などを推奨しており、簡単に社会実装できるとは考え難い。将来的には法の整備が必要になってくるであろう。ここに提言された内容は、19 号台風後の現地調査結果から得られた知見をもとに、どうやったら治水と環境の両立を可能にすることができるか、要点を絞って述べたものである。未だ議論不足で具体的な出口を見つけきれない未成熟な内容も含まれているのも事実である。しかし、こうした提言によって更なる議論が、応用生態工学会ならびに関連学会で活発になされ、環境や生物多様性の保全にも貢献できる流域治水が展開されることを期待したい。

【卷末資料】

- 参考文献等
- 災害調査団 名簿

○参考文献等

2.1

- ・国土交通省水管理国土保全局 阿武隈川水系の流域及び河川の概要 平成 24 年 11 月
- ・国土交通省福島河川国道事務所 令和元年 10 月 12 日出水台風 19 号に伴う降雨による出水概要
令和元年 12 月
- ・産経新聞 2019/10/17 記事
- ・日経 BP 2019/10/18 記事
- ・宮城県土木部河川課 令和元年 10 月台風 19 号出水の概要【速報】 令和元年 10 月
- ・国土交通省仙台河川国道事務所 令和元年台風 19 号出水の概要(第 2 報)
- ・毎日新聞 2020/4/12 記事
- ・国土地理院 治水地形分類図
- ・参謀本部陸軍部測量局制作(明治 19 年 10 月)
- ・福島民友新聞(<https://www.minyu-net.com/serial/hosomichi/FM20190916-415389.php>)
- ・(一財)日本ダム協会 ダム便覧 <http://damnet.or.jp/Dambinran/binran/TopIndex.html>
- ・日本大学工学部土木工学科手塚研究室 令和 2 年度古川池に関する研究成果報告会資料 令和 3 年
3 月 10 日
- ・Google Map

2.2

- ・松浦茂樹、山本晃一、浜口達男 & 本間久枝(1988) 水害防備林の変遷についての一研究 日本土木史研究発表会論文集 8(0) 193-204
- ・大熊孝 (1997) 水害防備林の再興に関する一考察 土木史研究 17 135-143
- ・長尾朋子 (2004) 久慈川中流域における水害防備林の立地と機能 Geographical Review of Japan 77(4) 183-194
- ・末次忠司、舘健一郎 & 小林裕明 (1998) 防災樹林帯による氾濫流制御に関する研究 水工学論文集 42 805-810
- ・寺村淳 & 大熊孝 (2007) 不連続堤の機能と分類に関する研究 土木史研究論文集 26(0) 73-83
- ・大熊孝 (1987) 霞堤の機能と語源に関する考察 日本土木史研究発表会論文集 7(0) 259-266
- ・Itsukushima R, Ohtsuki K, Sato T Influence of Microtopography and Alluvial Lowland Characteristics on Location and Development of Residential Areas in the Kuji River Basin of Japan Sustainability 2020; 12(1):65 <https://doi.org/10.3390/su12010065>
- ・高木勇夫 1969 沖積平野の微地形と土地開発-茨城県久慈川・那珂川下流域- 日本大学文理自然科学研究所紀要 5:55-70
- ・大矢雅彦 1960 狩野川中・下流域水害地形分類図 地理学評論 33:156-162
- ・田辺敏夫・大熊孝 2001 城原川流域における野越の役割と効果に関する研究:氾濫許容型治水の実例と今後の発展可能性について 土木史研究 21:147-158
- ・中村太士・島谷幸宏・西廣淳・大槻順朗・巖島怜・山田浩之・応用生態工学会会長特命鬼怒川災害調査団 2017 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨鬼怒川災害調査報告 応用生態工学 19:259-267
- ・Itsukushima, R 2017 Countermeasures against floods that exceed design levels Based on Topographical and historical analyses of the September 2015 Kinu River flooding Journal of Hydrology: Regional Studies 19:211-223

- ・甲府河川国道事務所（2004）歴史に学ぶ治水の智慧 富士川の治水を見る
- ・高橋和也、林靖子、中村太士、辻珠希、土屋進 & 今泉浩史（2003）生態学的機能維持のための水辺緩衝林帯の幅に関する考察 応用生態工学 5(2) 139-167
- ・佐々木凡子（2001）京都府におけるサギ類の集団繁殖地の分布と保護 STRIX 19: 149-160
- ・国土交通省河川局治水課: 浸水想定区域図作成マニュアル pp.7 2005。

2.3

- ・国土交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所ウェブサイト
- ・国土交通省北陸地方整備局 第2回信濃川水系流域委員会資料1
- ・土木学会水工学委員会水害対策小委員会ウェブサイト「令和元年台風19号豪雨災害調査団」速報会 <https://committees.jsce.or.jp/hydraulic05/node/30>
- ・千曲市役所 報道発表資料(2019年10月29日)
- ・治水地形分類図(国土地理院)

2.4

- ・国土交通省京浜河川事務所ほか 令和元年10月多摩川流域の水害を踏まえた「多摩川緊急治水対策プロジェクト【中間とりまとめ】 令和元年12月
- ・落合正宏 河川敷利用に対する水質の影響 1996 総合都市研究第60号
- ・気象庁 HP 八王子気象観測所における10/12の日雨量
- ・国交省京浜河川事務所ほか 多摩川緊急治水対策プロジェクト参考資料 2020年1月 国土交通省
- ・国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所 多摩川水系河川整備計画読本 2001年8月 河川環境管理財団(現河川財団)
- ・国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所 多摩川河川環境管理計画 2001年3月 国土交通省 HP(https://www.ktr.mlit.go.jp/keihin/keihin_index040.html)
- ・河川生態学術研究会多摩川研究グループ 多摩川の総合研究 -永田地区の河道修復- 平成18年3月
- ・造田 康盛 堆積土砂の撤去におけるコスト削減の取り組みについて 国土交通省資料
- ・多摩川沿川市町村 市町村人口要覧(2010-2020年) 2020年11月(時点) 各市町村 HP
- ・倉本宣 カワラノギクの保全生物学と保全実務 1997年5月 保全生態学研究 2(1)
- ・岡田久子・倉本宣 市民・行政・研究者の協働による絶滅危惧種カワラノギク保全活動の取り組み : 多摩川における保全の実践とその評価 2009年5月 保全生態学研究 vol14(1)
- ・倉本宣・Wu Ximei・伊東静一・岡田久子(2021)多摩川の環境変化に対応したカワラノギク個体群の再生活動のあり方 ランドスケープ研究 増刊 技術報告集 11
- ・特定非営利活動法人多摩川センター HP <http://www.tamagawa-c.jp/>
- ・Google Map

3.1

- ・Nakamura, F., Ishiyama, N., Yamanaka, S., Higa, M., Akasaka, T., Kobayashi, Y., Ono, S., Fuke, N., Kitazawa, M., Morimoto, J., and Shoji, Y. (2020) Adaptation to climate change and conservation of biodiversity using green infrastructure. River Research and Applications 36: 921-933.
- ・中村太士(2021)過去の知恵とハイブリッドインフラという考え方。「生態系減災 Eco-DRR: 自然を

賢く活かした防災・減災」(一ノ瀬友博編), 慶應義塾大学出版会(印刷中).

- ・社会資本整備審議会 気候変動を踏まえた水災害対策のあり方について(答申) 2020 年 7 月
国土交通省.

3.2

- ・内閣府特命担当大臣(防災)武田良太・環境大臣 小泉進次郎(2020)気候危機時代の「気候変動×防災」戦略 ～「原形復旧」から「適応復興」へ～(共同メッセージ)
- ・中村太士(2020)1-2 未来の国土保全に欠かせないグリーンインフラ. 「実践版! グリーンインフラ」グリーンインフラ研究会・三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング・日経コンストラクション(編), 日経 BP 社, 25-38.
- ・国土交通省 美しい山河を守る災害復旧基本方針 平成 30 年 6 月
- ・国土交通省 中小河川に関する河道計画の技術基準 平成 22 年 8 月
- ・多自然川づくり研究会 多自然川づくりポイントブックⅢ 川の営みを活かした川づくり 2011 年 10 月 (公財)日本河川協会

○災害調査団 名簿

応用生態工学会 2019 年度台風 19 号災害調査団 名 簿

	氏 名	所 属	担当河川	学会役員	本書執筆
団 長	中村 太士	北海道大学 大学院農学研究院	総括	理事	○
副団長	島谷 幸弘	九州大学 大学院工学研究院	A	理事	○
団 員	巖島 怜	東京工業大学 環境・社会理工学院	B		
	大槻 順朗	山梨大学 大学院総合研究部	C		○
	鬼倉 徳雄	九州大学 大学院農学研究院	E		
	萱場 祐一	国立研究開発法人 土木研究所	—		
	倉本 宣	明治大学 農学部	D		○
	関根 秀明	株式会社 建設技術研究所	D	理事	○
	瀧 健太郎	滋賀県立大学 環境科学部	B		○
	西廣 淳	国立環境研究所	C	幹事	○
	原田 守啓	岐阜大学 流域圏科学研究センター	B		○
	平林 公男	信州大学 繊維学部	B		
	皆川 朋子	熊本大学 大学院先端科学研究部	E		
	森 誠一	岐阜協立大学 経済学部	A		
アドバイザー	藤田 光一	公益財団法人 河川財団 河川総合研究所長	—	理事	

A：阿武隈川 B：千曲川 C：久慈川・那珂川 D：多摩川 E：千葉県河川

【協力会社】 ※五十音順

いであ 株式会社
 応用地質 株式会社
 株式会社 建設環境研究所
 株式会社 建設技術研究所
 国際航業 株式会社
 日本工営 株式会社
 日栄地質測量設計 株式会社 ※非賛助会員
 パシフィックコンサルタンツ 株式会社
 株式会社 復建技術コンサルタント
 陸奥テックコンサルタント 株式会社
 八千代エンジニアリング 株式会社