

**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

応用生態工学会災害対応委員会 災害調査団

はじめに

2019年10月12日、日本に上陸した台風19号（令和元年東日本台風）に伴い、関東地方や甲信地方、東北地方などで記録的な大雨となり、甚大な洪水被害が発生した。この台風は、発生後まもなく猛烈な勢力に発達し、その後北上して本州に接近するまで非常に強い勢力を保ったままであった。その原因の一つとして、海水面温度の高さがあげられており、地球温暖化がすでに災害の激甚化に寄与していることは明らかである。この台風に限らず、毎年のように既往最大規模の豪雨が日本列島を襲い、どこかの地域で大規模災害が発生している。このため、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。

台風19号では、東日本を中心に12時間降水量で120地点、24時間降水量で103地点等様々な時間雨量で多くの地点が観測史上1位を記録し、140箇所河川堤防が決壊し、内水氾濫や土砂災害もあわせて、死者・行方不明者100名、浸水面積約32,300ha、全半壊・床上床下浸水家屋約75,000戸という近年にない大災害となった。気候変動にどう適応するかを問われているなか、これまでの堤防やダム等の河川施設のみで洪水氾濫を防止する手法に限界があることが明らかとなった。

こうした中、国土交通省は台風19号に伴う災害後の治水対策として、“流域治水”への転換を唱えるようになった。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。

応用生態工学会では、この台風19号による災害に対して、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。

本提言は、その中から重要な課題として抽出された項目について、その考え方をまとめたものである。グリーンインフラの配置や流域治水の本来のネライは、安心・安全で健康なより良い地域づくりであり、これまでの治水計画である目標流量を安全に流下させるだけの方針では解決できないであろう。ここに示された新たな考え方をいかに地域づくりに反映させるかが今後の課題である。

応用生態工学会災害対応委員会災害調査団長 中村 太士

応用生態工学会災害対応委員会
2019 年台風 19 号(令和元年東日本台風) 災害調査団名簿

団 長 中村 太士※ (北海道大学大学院農学研究院)

副団長 島谷 幸宏※ (九州大学大学院工学研究院)

団 員 (五十音順)

 敵島 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※ (国立環境研究所気候変動適応センター)

 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 (岐阜経済大学経済学部)

※提言執筆者

**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**

目 次

1. 河道整備における提言

- 1.1 合流部及び支川(提言-1)
- 1.2 霞堤(提言-2)
- 1.3 水害防備林(提言-3)
- 1.4 高水敷(提言-4)

2. 流域治水に向けた提言(グリーンインフラを意識して)

- 2.1 堤外と堤内が連携した治水システムの構築(提言-5)
- 2.2 水源域農地等からの流出抑制の促進(提言-6)
- 2.3 沿川農地の雨水貯留機能と遊水機能の確保(提言-7)
- 2.4 旧河道跡など微地形への配慮(提言-8)
- 2.5 流域治水における上流・下流問題の統合的理解(提言-9)
- 2.6 原形復旧から未来復興へ(提言-10)

1. 河道整備における提言

1.1 合流部及び支川(提言-1)

(提言-1)

河川合流部は治水上の弱点を有する一方、水系全体の河川生態系に寄与する生態的機能を有している。また、河川生態系の洪水攪乱に対するレジリエンスは、本川のみならず支川の環境によっても支えられている。災害復旧にあたっては、合流部の生態的機能、支川の環境に配慮した復旧を行うことが重要である。

2019年台風19号による豪雨は、関東・甲信・東北地方の広範囲で大河川の氾濫を引き起こし、甚大な浸水被害を発生させたが、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キロの範囲であったとの分析が報じられている(朝日新聞2019)。河川合流部は2つの流れが合流するために流れが乱れて水位上昇しやすく、水位が高い状態が長時間継続するなど、治水上の弱点を有していると考えられ、被災した河川合流部は今後、災害復旧事業等を通じて大きく改変されることが予想される。

河川合流部は水温、水質、流量、土砂の量と質等が異なる2本の河川が合流する場である。また、河川合流部はそれ以外の場所と比べて川幅が広く多様な河川地形を有する。このため、本川だけでなく支川も含む水系全体の生物多様性を支える要所になっていると考えられる。また、出水時には合流部に形成される低流速で多様な流れが避難場として機能することなどが知られており、洪水時に魚類が支川に避難することも知られている。

災害復旧事業等においては、これら河川合流部が有する生態学的機能を保全することが重要である。具体的には、洪水時の合流部の流れをスムーズにすることのみを目的として復旧工事を実施するのではなく、合流部付近に十分な川幅を確保しながら、堤防の補強を行って支川合流部付近からの越水破堤・浸透破壊を回避することが望ましい。

また、台風19号による豪雨は、河川・流程によっては、河道内の生息場に極めて大きい攪乱をもたらし、洪水以前に成立していた生物群集に壊滅的な影響を与えた。例として、千曲川上流域の急勾配区間では、石礫床の砂州河道で激しい河床変動が生じ、砂州上に成立していた河道内植生も大部分が流失した。出水後には、底生生物・魚類がほぼ見られなくなった。このように本川河道内の生息場が極めて大きい攪乱を受けた際には、本川出水時に支川や支川合流部が避難場としての機能し、出水後に支川の生物が本川に移入・再定着すると考えられる。そして、この生物の供給源としての支川や支川合流部の役割が、本川の生態系の回復を早めると考えられる。洪水直後の千曲川上流域では、流域全体の降水量分布のうち、相対的に降水量が多かった東側は、支川も大きな攪乱を受け、多量の土砂が流下して本川合流部に堆積している状況であった。一方、相対的に降水量が少なかった西側では、支川の被害は少なかったように観察された。千曲川

上流域における生物群集の回復が今後どのように推移していくか、本川と支川の双方に注視していく必要がある。

河川生態系の洪水攪乱に対するレジリエンスは、本川のみならず支川の環境によっても支えられているともいえる。気候変動下で豪雨による河道内の洪水攪乱が強まる傾向がみられる中で、本川だけでなくそこに流入する中小河川の環境整備が、今後ますます重要になる。

1.2 霞堤(提言-2)

(提言-2)

先人の知恵を継承し、伝統工法「霞堤」の機能の維持と向上を目指すことが重要である。
河川と流域・氾濫域とを緩やかに繋ぎ、洪水流の緩衝域としてさまざまな治水機能・生態学的機能を発揮できるように霞堤を配置することが肝要である。

霞堤は伝統工法のひとつで武田信玄が釜無川に築いたものがはじまりと言われている(土木学会(1989))。「霞堤」の定義は諸説あるが、ここでは、図-1に示すような不連続部のある多重の堤防システムを「霞堤」と呼ぶこととする。また、多重の堤防で挟まれた土地を「霞堤遊水地」と呼ぶ。

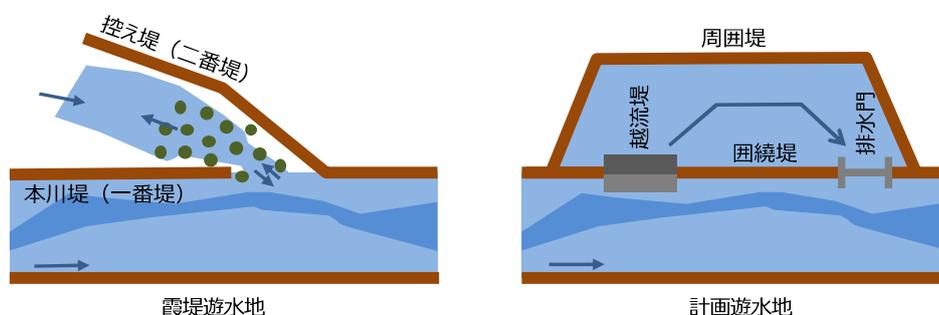


図-1 霞堤遊水地と計画遊水地

ほとんどの場合、霞堤遊水地には堤内地からの排水のため小河川(または水路)が流れ本川と接続している。このことは、多くの霞堤の由来は支川・水路の排水処理であった可能性を示唆している。また、歴史的には霞堤遊水地は農地として利用されてきた。江戸時代初期には正規課税の対象外とし諸役を免ずるなど、保全するインセンティブもあった。現在でも多くが農地として維持されているが、廃棄物処理場、福祉施設、太陽光パネルが誘致されたり、新興住宅地として販売されたりする事例も散見される。

大熊(2004)によれば、霞堤の機能は概ね、①貯留機能、②氾濫流・内水排除機能の2つに分類される。通常、急こう配の扇状地河川では②氾濫流・内水排除機能が卓越し、緩

勾配の平地河川では①貯留機能が卓越する。また杉尾（2017）は、本川水位を低減するとともに、霞堤遊水地（図左）に湛水することで本川堤の内外水位差が小さくなりパイピングを抑えるため、堤防決壊を防ぐ効果（③破堤防止）も発揮することを指摘している。

河川計画に位置付けられる遊水地（以下、計画遊水地）との大きな違いとして、最下流部と最上流部が無堤であることが挙げられる。また、霞堤遊水地は河川区域に編入されていないことが多い（図-1）。今次水害において千曲市杭瀬下右岸の霞堤で見られたように、特に上流部が無堤（高さがゼロの堤防）であるため、上流部から溢水する場合には堤防決壊を伴わない。二重三重に堤防決壊を回避する仕組みと言える。また、溢水箇所を絞り込むことができるため、避難判断など危機管理も対応しやすい。このように、霞堤は超過洪水に対しても一定の減災効果を有している。

また、霞堤の開口部付近には水害防備林が配置されることが多い。貯留・排水時の水勢を緩和するとともに、本川からの流木やゴミの流入を防ぐ（スクリーニング効果）。原田ら（2020）は、洪水時の一時避難場になるなど河川合流部の生態的機能を明らかにしているが、河川と接続し穏やかに湛水する霞堤遊水地は、河川合流部と同様な生態学的機能を有していると考えられる。また、霞堤上流部・開口部が無堤であることから、堤防による堤内外の生態系分断を回避することができ、河川生態系と隣接する農地生態系・森林生態系とも繋ぐ役割もあわせて発揮している。さらに、霞堤部で支川が本川合流する場合、水系ネットワークとしての連続性も維持されると考えられ、水生生物の移動が保証される。

また霞堤は、本川堤防や周辺土地利用と連動して機能の維持や向上を図らなければならない。例えば、本川堤防を嵩上げした場合には、それに合わせて控堤（二番堤・三番堤）も嵩上げしなければ、上流開口部から溢水してしまう。

このように霞堤が現在有する諸機能を適切に評価し、霞堤を保全・整備することが望まれるが、計画基準点のピーク流量の低減効果という点では、（特に急勾配の扇状地河川では）ひとつひとつの効果は小さく、（配分流量を規定する）河川計画への位置付けが難しい。そのため霞堤を複数組み合わせ、「群」としての貯留効果を定量化するなど、今後も技術的検討と科学的評価を継続する必要がある。

また、氾濫エリアを限定化する「②氾濫流・内水排除効果」や「③破堤防止効果」を（流量以外の評価軸で）定量化し、流域対策・氾濫域対策（超過洪水対策）として流域治水プロジェクトの中に積極的に位置づけることも望まれる。その他、氾濫域対策（超過洪水対策）として評価できれば、浸水被害軽減地区（水防法）として緩やかに保全することもできる。浸水被害軽減地区に指定されると、地権者が改変を行う場合に報告義務が課せられるほか、固定資産税・都市計画税の減税措置を受けられる。

また、多面的機能を有する「優良農地」として、農振農用地（農振法）や市街化調整区域（都市計画法）の指定を維持したり、多面的機能支払交付金などのインセンティブを充実したりするなど、持続的・積極的な営農活動を支えることが望まれる。

1.3 水害防備林(提言-3)

(提言-3)

水防林の管理においては、地先だけでなく下流への影響も考慮した適切な方針を検討すべきである。水防林の有する生態系サービスを含めた環境機能を理解し、機能を相補的にとらえ、継続性のある維持管理によって水防林を保持できるように配慮する必要がある。

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、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。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たが、河川整備計画における取り扱いは環境、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。

久慈川は、水防林が多く残る数少ない河川として知られ、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。久慈川の水防林は主に山岳狭窄部から低平地氾濫原への出口付近に分布しているが、その他の場所では堤防整備とともにほとんど除去されている。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。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。

まず、管理の側面から述べたい。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に流れが集中して背後が破堤した事例が見られた（図-2）。また、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、近年普及してきている「iRIC ソフトウェア」は 2 次元水理シミュレーションが無料で実施できかつ使いやすく、樹木密度に応じた抵抗を加味した計算も行うことができる。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だろう。

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という大きな利点があるが、久慈川の堤防沿い

決壊箇所の洪水後の堤防状況（久慈川左岸34.0k（茨城県管理区間））



図-2 久慈川の被災場所と水防林の状況

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。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。一般には河川沿いのものを指して水防林と呼ぶが、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であり、治水文化とも呼ぶべき風景である。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が生じていることが考えられる。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。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、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。

1.4 高水敷(提言-4)

(提言-4)

災害により河道内の施設が大きく攪乱した河川では、災害外力の変化によって今ある河道断面が維持できなくなりつつある現状も視野に入れ、高水敷や河道断面の新しいあり方を再考することが望ましい。

台風 19 号による豪雨は、関東地方西部地域でも様々な被害をもたらした。例えば多摩川では、気象庁八王子気象観測所において日雨量 392 mm の豪雨が発生し、多摩川石原水位観測所では氾濫危険水位を 1.4m 上回る 6.33m (ピーク約 5,000m³/s) の河川水位となった。多摩川は沿川市街地の開発が進む都市河川であり、河道内高水敷には運動・健康管理空間や各種レクリエーション空間などが計画・整備されているが、出水によりほとんどが冠水し、羽村市～世田谷区にある高水敷空間は大きな攪乱を受けた。中には被災後 1 年が経過した 2020 年 10 月時点においても出水時に流下した大礫 (粒径 64～256 mm) が残置される状況にある。

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。

2. 流域治水に向けた提言(グリーンインフラを意識して)

2.1 堤外と堤内が連携した治水システムの構築(提言-5)

(提言-5)

土地利用の規制・誘導も含めた流域治水の推進に向けては、河川管理者だけではなく河川管理者以外が担う役割を明確にすることで、堤外(河川区域)と堤内(集水域・氾濫域)でのさまざまな取り組みが連携して実施できる仕組みを構築することが重要である。

2020年(令和2年)7月に社会資本整備審議会より「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～」が答申され、国土交通省は全水系で流域治水プロジェクトをスタートさせた。国土交通省が示す「流域治水」の施策のイメージ(図-3)では、河川区域での対策と集水域・氾濫域での対策)に分類されている。土地利用の規制・誘導や二線堤の整備は、集水域・氾濫域での対策に分類される。



図-3 流域治水の概要(国土交通省)

近代のわが国において、洪水防御に関する河川管理上の義務的な責任範囲は、主に河川法(第16条)、省令(第10条の2第二項イ)、河川管理施設等構造令(第18条)で規定されており、「計画高水流量を定め、これを計画高水位以下で安全に流下させるよう河道と洪水調節ダムを整備すること」と要約できる。河川管理が治水の根幹であることは言うまでもない。こういった中で、流域対策を具体的に検討するには、現在のリスクと将来残るリスク、すなわち河川整備基本方針や当面の実施計画である河川整備計画後に残るリスクが河川管理者から示される必要がある。これにより、河川管理者以外が担うべきこれからの役割を明確にすることができる。

ところで、集水域と氾濫域は概念として分離できるが、空間的には重なりあい入れ子の状態になっている。ある場所での「湛水」は、「貯留」とも「氾濫」とも言うことができる。言わば、「ためること」は「溢れさせること」と裏腹の関係にある。例えば、水田に一時的に雨水を貯留する田んぼダムで考えると、下流河川の立場では「貯留(ためること)」であるが農業排水路を管理する営農者・耕作者の立場では「氾濫(溢れさせること)」になろう。また、集水域・氾濫域は堤内地にあって、社会経済活動の場そのものであり、国民の活動の自由を保障すべき対象(防御の対象)である。それゆえ、集水域・氾濫域での対策は、治水・防災の観点のみならず、当該地の社会経済活動との両立が求められる。

土地利用基本計画では、都市地域、農業地域、森林地域、自然公園区域、自然保全区域の五地域に区分され、それぞれ、都市計画法、農振法、森林法、自然公園法、自然環境保全法といった個別規制法で管理されている。今後、治水・防災の観点から土地利用の制限や変更を求める場合には、これらの個別法が掲げる主要な目的との整合を図りつつ、治水を目的のひとつとして上乘せする必要がある。すなわち土地の多機能化であり、これはグリーンインフラやEco-DRR(生態系を活かした防災・減災)の考え方に通底する。

また、これら土地利用にかかる個別法の運用に関しては、国ではなく都道府県・市町村に主たる責務が課されている。したがって、実効性のある流域治水計画を立案するには、協議の場に各行政主体から運用責任を有する部局の参加を呼びかけ、連携・協働することが必要である。国のレベルでは、各行政主体内の部局間調整を円滑にするよう、さまざまな制度的・経済的インセンティブをより充実させることが望まれる。

さらに異なる行政主体・分野間で合意形成を図り、適切な役割分担のもと連携・協働するには、政策判断の根拠となる共通の科学的データや評価指標が欠かせない。リスクを示す場合も、宅地や農地などでの具体策を検討するには、想定最大の浸水深だけでは不十分である。例えば、耐水建築の設計には流体力を想定する必要があるし、農業被害を算定するにも冠水時間を想定する必要がある。さまざまな流域対策を具体的に検討するには、発生頻度別に各地点の水理諸量(浸水深・流速など)の時間変化を得ておく必要がある。

これには、対象エリア内の全河川・水路を同時に扱い、降雨を外力として流出～流下～氾濫の一連の水文過程を表現できる「一体型モデル」を適用することが望ましい。この「一体型モデル」には、国立研究法人土木研究所が提供するRRIモデル(Sayama T et. al (2012))のほか、最近では分布型流出モデル・一次元河道モデル・二次元氾濫モデルの連成計算を行うモデルが普及している。滋賀県では「一体型モデル」を「統合水理モデル」と呼び、既に実務に導入している。発生頻度別浸水深・流体力を「地先の安全度」として公表し、さまざまな流域治水対策を実施・評価するための基礎指標としている。滋賀県では、2014年に独自条例(滋賀県流域治水の推進に関する条例)を定め、「地先の安全度」に基づく土地利用規制と耐水建築の義務化に踏み切っている。

2.2 水源域農地等からの流出抑制の促進(提言-6)

(提言-6)

水源域の農地や耕作放棄地を活用し、河川への流出抑制・流出遅延を通じた治水だけでなく、水質浄化や生物多様性保全などにも効果がある対策を検討することが重要である。

流域から河川に流入する水の量を減らしたり、時間的に遅延させたりすることは、河川の総流量およびピーク流量の低減を通して治水に貢献する。都市河川においては、流域の都市域における雨水浸透面の確保や調整池の整備が、ピークカット等の観点から評価され、実践されてきた。この「河川への流出抑制・遅延」の治水効果は都市域だけの現象ではなく、流域が農地の場合も同様である。すでに原田ら(2008)や大槻ら

(2008)から、農地の管理状態によって流出特性が異なり管理された農地は放棄水田よりも流出抑制・遅延効果が高いことや、流域内の溜池での貯留が河川流量の抑制に寄与することなどが報告されている。一つ一つの農地がもつ治水への寄与は大きくはないが、多数の農地が貯留機能を発揮すれば効果は期待できる。そのような機能は、近年では上述のRRIモデルのように、流域からの流出と河道での流れ、さらには氾濫現象も一体に扱えるモデル等を用いて評価することができる。

那珂川や久慈川等では、源流域の農地の多くは、山間部の狭い谷底面を利用している。これらの場所の多くは、かつては湧水・清水を利用した農業が営まれていた。しかし狭隘で近代的農業に不向きな地形や過疎化・農業人口減少のため、耕作放棄されている場合が多い。この耕作放棄地で排水路の管理や土手の補修等を進め、貯留能力を高めることができれば、たとえ農業生産は再開せずとも流出抑制・遅延機能はより高まることを期待できる。

水源域の管理は、治水だけでなく、生物多様性や水質浄化といった多面的機能の発揮も期待できる。池上ら(2011)は水源域の耕作放棄地やその周辺水路が湧水依存性の生物など保全上重要な種にとっての重要なハビタットになりうることを示した。また大気沈着による森林の窒素飽和(Aberら1989)や渓流水の富栄養化の問題(楊ら2004)に対して、水源域が耕作放棄地であっても、そこが湿地化されていれば水質浄化機能が期待できる(田淵ら1993)。このように水源域の農地・耕作放棄地を湿地として活用することで多面的な機能が期待できる。

同様の発想による取り組み事例として、西廣(2020)が中心となって実施している、印旛沼流域(千葉県)における「里山グリーンインフラ」の活動が挙げられる。そこでは谷津と呼ばれる水源域の耕作放棄地の管理を、市民を中心とした多様な主体の連携により進め、多面的な機能を高める取り組みが進められている。

2.3 沿川農地の雨水貯留機能と遊水機能の確保(提言-7)

(提言-7)

農地が持つ雨水貯留機能を維持・強化し、雨をゆっくり河川に流すこと、河川が氾濫したとしても農地が被害を受けにくい溢れさせ方を、流域治水の仕組みに取り入れることが重要である。

2019年の台風19号災害では、各地で河川堤防が決壊(計140箇所)し、とくに平野部ではその要因の多くは水位が堤防を上回り越水したことによる破堤が主体であった。河川堤防は、「計画高水位以下の水位の流水の通常的作用に対して安全な構造」(河川施設等構造令第18条)として整備されており、一部の特殊な堤防を除いて、長時間の越水に耐えられる構造にはなっていない。堤防が決壊は、短時間に大量の氾濫水が氾濫原に流入することから物的被害のみならず人的被害に及ぶリスクも非常に高いため、堤防が決壊を回避することが減災の観点からは非常に重要である。

水位が計画高水位を超えるほどの洪水が各地で発生した要因として、計画を上回る降水量が見られたことや河道の洪水流下能力の整備状況が必ずしも目標とする水準に達していない状況があったことに加え、過去と比べて流域の開発が進んだことによる流出量の増加も挙げられる。同じ雨の降り方をしたとしても、降雨の浸透能・貯水能の低下、洪水到達時間の短縮によって、短時間に大量の雨水が河川に集中する。その結果、洪水ピーク流量の増大を助長している。日本の国土の構造として、国土面積の2/3が森林、次いで大きい割合を占めるのが農地であり、とくに河川の氾濫原にあたる沖積平野の大部分は水田として開発されてきた。高度経済成長期以来、農地面積は開発等により減少しつつあるものの、稲作のために水を引き、田面に水を貯め、排水する一連の施設を備えた水田及び用排水路システムの在り方は、その河川流域における流出・氾濫に大きく影響を与える。このように、水田が有する雨水貯留機能に着目し、大雨が降った際に水田から排水路に流出する流出量を堰板等でしぼり、雨水を水田に一時的に貯留し、ゆっくり流す“田んぼダム”の導入や効果検証も進みつつある。水田貯留による流出抑制は、河川洪水のピーク流量軽減に寄与するだけでなく、水田の下流に位置する集落の浸水被害軽減にもつながることから、水田地域では有力な流域治水メニューとなりうる。

また今後、大規模な水害の発生を受けて、治水安全度の向上のために、河川に沿った農地等を河川計画上の遊水地として洪水調節機能を位置付ける方向での整備も、各地で加速することが見込まれる。計画上位置付けられた遊水地であっても、地役権を設定し引き続き営農が行われる場合は、優良農地としての価値を維持あるいは向上させ、持続可能な営農環境を整えるが望まれる。加えて、沿川の農地は、水路を通じて河川と連続した氾濫原的な生態的機能を発揮することが期待される。遊水地整備にあたっては、整備前よりも、農地・水路・河川の連続性や生息場としての質が向上するような配慮が望まれる。

農地を含む流域全体で雨水の流出を抑制する対策に取り組み、遊水地等の整備が進ん

だとしても、河川からの氾濫を免れ得ないほどの豪雨は発生しうる。2019年台風19号災害における河川氾濫は、居住地や都市部を流れる区間でも発生しており、家屋の全半壊等4,008棟、住家浸水70,341棟の極めて甚大な浸水被害を生じさせた。一方で、浸水被害が発生した流域全体を俯瞰するとその上流では相対的に浸水被害が少ない（または、被害がない）地域も見られる。旧来、水害常襲地帯では、浸水を受けやすい低地は水田として利用し、相対的に地盤が高い自然堤防や人工盛土の上に居住してきた。水稲は時期にもよるが短期間の湛水には耐えられるよう氾濫原的な環境に適応してきた植物でもある。現在の社会においても、河川氾濫や堤防決壊を免れない状況にあつては、人道的観点から農地よりも居住地、都市を優先して防御することとなろう。また、河川に沿った農地への氾濫は、その下流区間に対する遊水効果としても機能する。その際、農地に氾濫するにしても、水稲などの農作物の被害を最小化するよう、湛水のさせ方にも十分配慮する必要がある。具体的には、水の流れが穏やかな状態で、湛水時間を短くする必要がある。流域全体を俯瞰した治水の仕組みの中で、農家に不利益が生じない形で、あるいは、むしろ優良農地として積極的に営農が続けられ将来的にも農地として保全されるよう、遊水機能を位置付けていくべきである。

なお、遊水機能が発揮され農地に被害が発生した際には、被害を流域として分かち合う仕組み、例えば、損失補填と原状回復を支援する相互扶助的な仕組みが必要であるが、現時点ではそういった制度設計は道半ばである。

2.4 旧河道跡など微地形への配慮(提言-8)

(提言-8)

地形の成り立ちを理解し、氾濫形態や被災規模、自然環境の多様性の維持を想定した土地利用の誘導と環境活用による付加価値創出を計画に盛り込む必要がある。

洪水被害の多くは、地盤高が局部的に低いところに降雨による表流水が集中することにより発生する。この現象は、外力が河川の破堤・溢水由来でも、いわゆる内水によるものでも共通の現象である。

河川周辺における地盤高が低い箇所を治水地形分類図等により確認すると、河川の旧河道跡である場合が多い。特に扇状地及び自然堤防帯を流れる沖積河川周辺では顕著であり、堤内地に窪地として残っている。これらは、かつての蛇行した流路や派川の流路が、河道の直線化を伴う連続堤防の整備等によって、堤内地側に取り残されたものである場合が多い。河川安全度の向上とともに、堤内地の土地利用が多様化し、高度経済成長期以降、旧河道跡が低湿地として自然の状態を維持しておらず、農地や宅地などに変化したところが多い。農地では、圃場整備を含む生産性向上のための整備が行われることで、かつて旧河道に広がっていた氾濫原的な環境が失われ、生物生息場としての機能が極度に低下した。また宅地化した箇所では、旧河道跡を想像させるランドマークは不明確になり、場

合によってはそこに長く住む住民であっても旧河道跡であることを認識しにくい状況になっている。

旧河道跡に広がる低湿地は、堤防等の制約が少なく発生掃流力も相対的に小さいため攪乱が小さくエコトーンが比較的広い面積を有するなど、生物多様性の高い地域である場合が多く、地域によっては保全・再生を望む声がある。一方で治水的に見れば、宅地化されても相対的に地盤高が低いことや、表流水が河川と連続しやすい面的形状であること、などから、大規模な降雨発生時における内水湛水だけではなく、河川溢水時に氾濫水が集中しやすい。今回、阿武隈川や久慈川・那珂川、千曲川などで発生した破堤氾濫では、堤内地に広がる旧河道跡に沿って氾濫が広がったと考えられる。

前述のとおり、治水地形分類図等を見ない限り、今では旧河道跡であることを伺い知ることができないが、低湿地として現在維持されている旧河道跡は生物多様性の面で高いポテンシャルを持っていることが考えられるため、可能な限り湿地の状態を維持すべきである。また既に農地や宅地に変貌した旧河道跡は、相当の盛土を行わない限り、万一の浸水被害を避けることが物理的に難しいことに十分配慮すべきである。特に今後再開発を検討している地域においては、少子高齢化による人口減少により都市機能の拡大傾向に変化が生じていることも踏まえて、被害最小化のため、旧河道跡に新たな住居・公共サービスを担う施設などを配置しないことや、既存配置対象の移動を検討すべきである。この取り組みは、河川管理者のみでは難しいため、2020年（令和2年）7月に社会資本整備審議会から出された流域治水の展開にあわせて、河川管理者のみならず周辺自治体と連携し面的な対策を講じるべきである。

2.5 流域治水における上流・下流問題の統合的理解(提言-9)

(提言-9)

流域治水を実施するにあたっては、上流森林域、中流農業域、下流都市域の治水・利水・環境上のつながりを広く理解・周知し、統合的に検討し、連携して対処する仕組みが必要である。

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いく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をもたらされた台風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ことは、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。

2.6 原形復旧から未来復興へ(提言-10)

(提言-10)

地球温暖化や人口減少・高齢化の時代にあっては、安心安全で健康的な地域づくりに貢献できる“未来復興ビジョン”を災害発生前にあらかじめ策定しておき、公共土木施設や民間住宅・施設の復旧を行うべきである。

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。

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。

【引用文献】

提言-1

朝日新聞記事 堤防決壊の8割、支流と本流の合流点に集中台風 19号
2019.11.7 朝日新聞
原田守啓・永山 滋也・河口 洋一・萱場 祐一 中小河川の河道内氾濫原と河川合流部の重要性 2020年11月 応用生態工学論文集 Vol23 No.1 pp109-115.

提言-2

社団法人土木学会 明治以前日本土木史 1936年6月 岩波書店
大熊孝 技術にも自治がある 2004年2月 農山漁村文化協会
杉尾哲 北川の霞堤をめぐる地域の合意形成について 2017年12月 第5回流域管理と地域計画の連携方策に関するワークショップ基調講演 土木学会流域管理と地域計画の連携方策小委員会
安達満 川除仕様帳 解題 1997年6月 漁村文化協会 日本農業全集 65 開発と保全2

提言-3

松浦茂樹・山本晃一・浜口達男・本間久枝 水害防備林の変遷についての一研究 1998年 日本土木史研究発表会論文集 vol18(0) pp.193-204.
大熊孝 水害防備林の再興に関する一考察 1997年6月 土木史研究 17 pp.135-143.

提言-4

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)
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)
特定非営利活動法人多摩川センター HP <http://www.tamagawa-c.jp/>
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)

提言-5

滋賀県 滋賀県流域治水基本方針 ―水害から命を守る総合的な治水を目指して―
2012年3月 滋賀県
瀧健太郎・松田哲裕・鶴飼絵美・藤井悟・景山健彦・江頭進治 中小河川群の氾濫
域における減災型治水システムの設計 2010年6月 河川技術論文集 No.16 pp.
49-54.

提言-6

Aber JD・Nadelhoffer KJ・Stuedler P・Melillo JM Nitrogen saturation in northern
forest ecosystems 1989. BioScience No.39 pp. 378-386.
原田守博・大森美喜夫・森富雄・藤澤悟 水田貯留による雨水の流出抑制効果とそ
の強化方策に関する現地実験 2008年6月 水工学論文集 vol152 pp. 469-474.
池上佑里・西廣淳・鷺谷いつみ 茨城県北浦流域における谷津奥部の水田耕作放
棄地の植生 2011年5月 保全生態学研究 vol116 pp. 1-15.
増本隆夫・高木強治・吉田修一郎・足立一日出 中山間水田の耕作放棄が流出に
与える影響とその評価 1997年6月 農業土木学会論文集 vol1189 pp. 389-398.
西廣淳 千葉県での「里山グリーンインフラ」の取り組み 2020年7月 グリー
ンインフラ研究会ほか(編) 実践版!グリーンインフラ 日経BP.
大槻順朗・大八木豊・島谷幸宏・朴埼璨 御笠川流域における貯留施設の治水効
果の評価 2008年6月 水工学論文集 vol152 pp. 361-366.
大八木豊・島谷幸宏・杉本知佳子・加藤健介・朴埼璨 ため池を用いた御笠川流
域の治水強化策 2006年6月 水工学論文集 vol150 pp. 325-330.
田淵俊雄・篠田鎮嗣・黒田久雄 休耕田を活用した窒素除去の試み 1993年12
月 農業土木学会誌 vol161 pp. 1123-1128.
楊宗興・木平英一・武重祐史・杉山浩史・三宅義則 渓流水のNO₃⁻濃度と森林の
窒素飽和 2004年2月 地球環境 vol19 pp29-40.

提言-7

国土交通省国土地理院 (https://www.gsi.go.jp/bousaichiri/fc_index.html)
応用生態工学会編 河道内氾濫原の保全と再生 2019年9月 技報堂 pp15
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

提言-9

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。

提言-10

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。