

河川環境に関するインパクト及びレスポンスに関する 研究の現場への応用



Impact-response concept in river environment
and its application to the river management

あまのくにひこ
天野邦彦*
Kunihiko Amano

1. はじめに

多くの日本の河川に対しては、意図的なもの非意図的なものを問わず、人間活動による大小種々の改変が加えられている。大規模に河道形状を変える場合の河川改修の様な顕著な改変は言うまでもなく、小規模の取水や排水も改変の一つであり、これら改変は程度の差があるとは言え、河川環境を変化させる影響を持ちうるものである。本稿では、河川に対する改変をインパクトと捉え、これによる影響の結果として顕在化する河川環境の変化をレスポンスと捉えて、これらの関連性をインパクトとレスポンスという一連の関係として整理する研究を「河川環境に関するインパクト及びレスポンスに関する研究」と定義して、議論を進めることにする。

河川環境に関するインパクト及びレスポンスに関する研究は、直接あるいは間接的に河川を対象に何らかの行為を行った際に生じる環境影響を評価することを目的とするものである。河川管理を行う現場においては、河川改修はもちろんのこと、河川環境の把握や保全を検討する際においても、何らかの改変を伴う行為が関係することが多い。河川改修などの改変を行った場合の環境への影響を事前に推定することができれば、河川環境の悪化を防止したり緩和することが可能となるため、インパクトとレスポンス関係の知見は河川環境保全に役立つと言える。

インパクトレスポンスという言葉が河川環境管理において意識的に使われるようになったのは、建設省技術研究会（当時）で平成11年から指定課題として採用された「河川環境に関するインパクト及びレスポンスに関する研究（以下河川環境のインパクトレスポンス研究）」の開始と期を同一にするとと思われる。当時は平成9年の河川法改正により河川管理の自的として、「治水」、「利水」に加え、「河川環境」（水質、景観、生態系等）の整備と保全が位置付けられてから日も浅かったこともあり、急速に河川環境への関心が高まった中で、如何にして河川改修による環境影響を緩和するか、また河川環境を保全・修復するためにはどのような措置が必要なのかという課題に対する技術開発が焦眉の急であった。このような状況の下で、建設省技術研究会の「河川環境のインパクトレスポンス研究」では、多自然型川づくり（当時の名称）の事例を分析することから始めて、河川に対して加えられた人為的改変（インパクト）の結果として生じた環境影響（レスポンス）を体系的に整理すると共に、河川管理において河川に対して行った人為的改変がどのような環境影響を及ぼすのかということについて常に意識し行動することを現場に根付かせることを目指していたと聞く。

本稿では、このような形で始まり、河川管理の現場においても近年定着しつつある河川環境に関するインパクトとレスポンスについての考え方について、概略をまとめた後、現場に応用する際の方策について述べる。

* 国土技術政策総合研究所 環境研究部 河川環境研究室長

National Institute for Land and Infrastructure Management, Environment Department, River Environment Division, Head

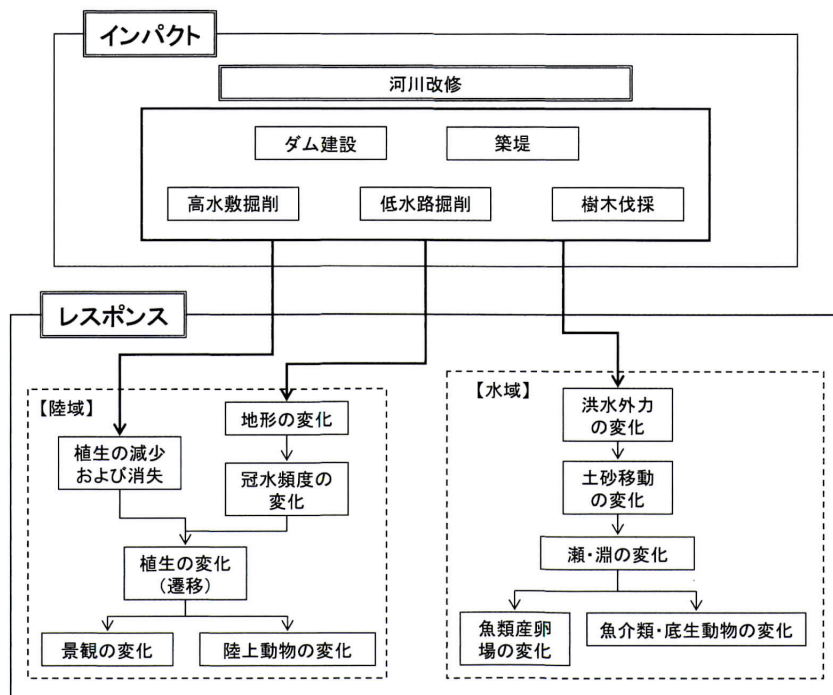
2. 河川環境のインパクトレスポンスに関する概念の整理

「はじめに」において、河川に対する改変をインパクト、これによる影響の結果として顕在化する河川環境の変化をレスポンスと捉えて、これらの関連性をインパクトとレスポンスという一連の関係として整理する研究を河川環境のインパクトレスポンス研究と定義すると述べたが、インパクトレスポンス関係は、個別要素間の一対一の関係にのみあるものではない。また、あるインパクトの結果生じたレスポンスが、別の現象を生じせしめるインパクトになったり、フィードバックが生じた場合にはどちらがインパクトでどちらがレスポンスなのかははっきりとしない場合もある。このようにインパクトレスポンスと言っても、何がインパクトで何がレスポンスであるかということを理解することは実は簡単なことではない。むしろ、インパクトレスポンス研究では、インパクトとレスポンスとを明確に把握すること自体が重要な作業である。

亀山¹⁾は、人間活動により自然に与えられる影響を、英語ではインパクト (impact)、レスポンス (response)、エフェクト (effect) の3つ

に分けて論じている。亀山¹⁾は同時に、インパクトは生物や生態系に加えられる外的営力で、レスポンスはそれに対する生き物の反応であり、この反応が集積した結果をエフェクトと呼ぶが、日本語ではこれを「影響を加える」、「影響を受ける」、「影響が生じる」と言うように「影響」という一つの用語で表現するために影響発現の機構が不明瞭になることがあると指摘している。河川環境におけるインパクトレスポンス関係の概念整理においても、上記の指摘は有用である。先に河川環境のインパクトレスポンス研究では、インパクトとレスポンスとを明確に把握すること自体が重要な作業であると述べたが、河川環境のインパクトレスポンス研究においてレスポンスと見なしている部分は、亀山の整理に従えば、生じた影響の総体としてのエフェクトと要素としてのレスポンスを同時に含んでおり、このことを明確に意識してインパクトレスポンス関係を把握する必要がある。

以上のように概観すると、河川環境のインパクトレスポンスは、河川環境における変化の因果関係を包括的に把握し、分析するという概念であることが理解できよう。また、インパクトレスポンス関係が明確になれば、河川に対する行為の影響



〈図一〉 河川改修インパクトに対する環境への影響伝播フローの例²⁾

伝播を予測することが可能となり、適切な河川環境管理に役立てることができるだろう。ここに、河川環境のインパクトレスポンス研究の重要性和現場への適用可能性が存在する。

3. インパクトレスポンス研究の現場への応用

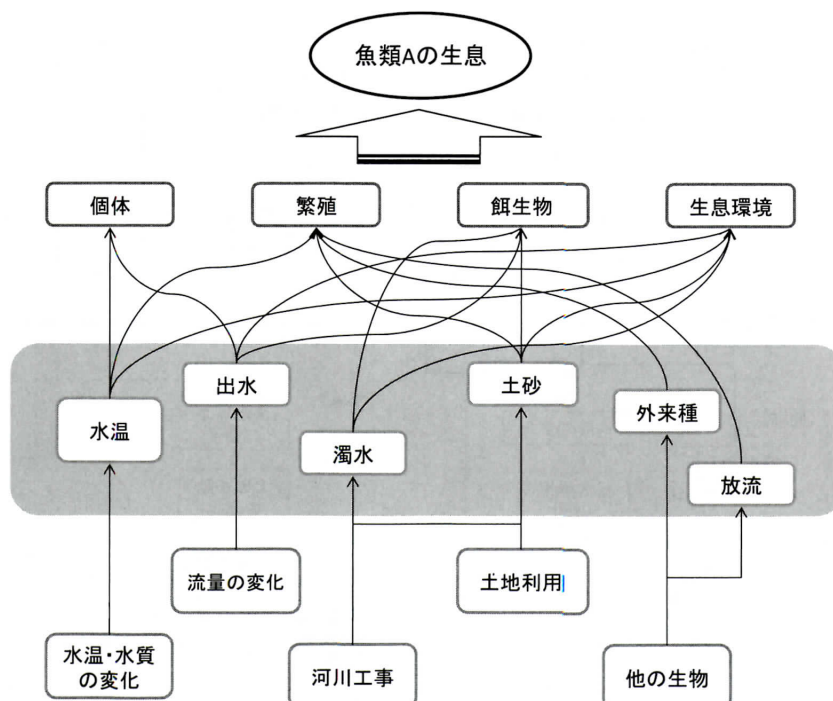
3.1 インパクトレスポンスフロー

前章で述べたように、河川環境のインパクトレスポンスは、河川に与えられたインパクトと、その結果生じるレスポンスとの一連の因果関係を包括的に把握し、分析するものであるが、河川環境管理にとって特に重要と考えられる変化を要素に分けて、これら因果関係を図で示すことで、複雑な現象を理解しやすくなる。このような図をインパクトレスポンスフローと呼び、実河川を検討対象とする現場への応用の際には、作成することが望ましい。インパクトレスポンスフローを作成すれば良く理解できるが、影響要因や伝播経路は複数あり、相互関係を有するため、フローに表した上で、どの経路が主要なものであるかを分析することが重要である²⁾。

インパクトレスポンスフローは、様々な構成で

作成することが可能である。河川改修のような人為的インパクトが予め想定される際に、この環境影響予測を行うことで、影響の回避や低減を目指すのであれば、〈図—1〉のように想定されるインパクトを起点として、環境の場に注目して整理したものが作成できる²⁾。また、現場において特定の希少種などに注目して、環境の評価を行う場合であれば、その種を中心としたフローを描き、生息が維持されるか否かの視点から分析を進めることで、その種の生息環境の質の将来変化予測に役立てることができる²⁾。この場合には、〈図—2〉のようにある生物（〈図—2〉では魚類）に関して、環境変化が生物の生息・生育場所の環境変化をもたらし、結果的に繁殖成功率や個体数に変化が生じる影響伝達経路を、可能性も含めて整理することが考えられる²⁾。〈図—2〉のようなフローが作成できれば、ある生物の生息状況の変化が認識された場合に、それを引き起こした原因について図をさかのぼって推定することも可能になる。

インパクトレスポンスフローは、定性的な予測に利用するほか、複雑な因果関係を持つ自然現象の中で、どのような要因（経路）が、生物や環境の変化にどの程度寄与するか、何が環境への影響



〈図—2〉 魚類Aの生息に関するインパクト分析フローの例²⁾

伝播を予測することが可能となり、適切な河川環境管理に役立てることができるだろう。ここに、河川環境のインパクトレスポンス研究の重要性と現場への適用可能性が存在する。

3. インパクトレスポンス研究の現場への応用

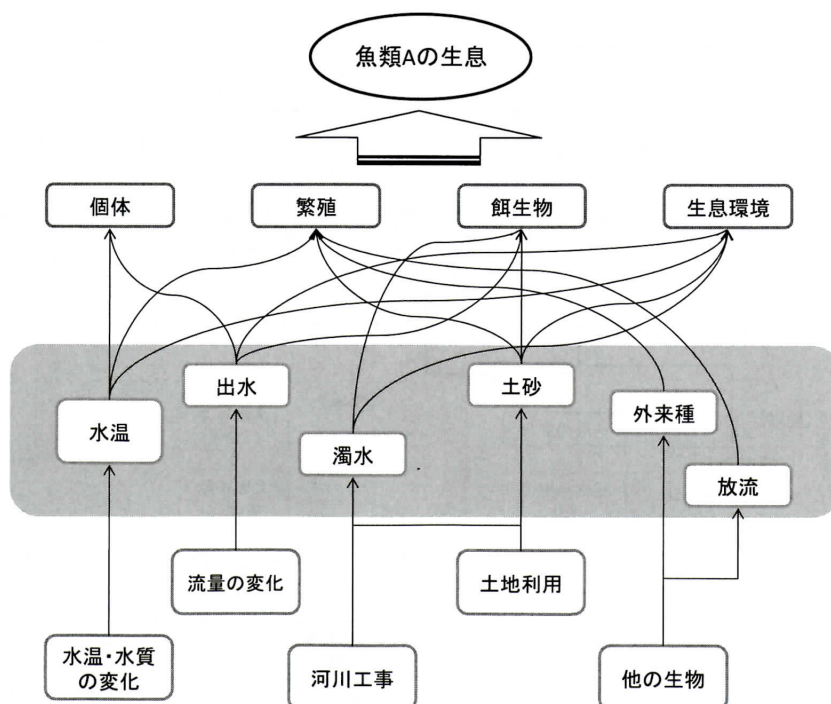
3.1 インパクトレスポンスフロー

前章で述べたように、河川環境のインパクトレスポンスは、河川に与えられたインパクトと、その結果生じるレスポンスとの一連の因果関係を包括的に把握し、分析するものであるが、河川環境管理にとって特に重要と考えられる変化を要素に分けて、これら因果関係を図で示すことで、複雑な現象を理解しやすくなる。このような図をインパクトレスポンスフローと呼び、実河川を検討対象とする現場への応用の際には、作成することが望ましい。インパクトレスポンスフローを作成すれば良く理解できるが、影響要因や伝播経路は複数あり、相互関係を有するため、フローに表した上で、どの経路が主要なものであるかを分析することが重要である²⁾。

インパクトレスポンスフローは、様々な構成で

作成することが可能である。河川改修のような人為的インパクトが予め想定される際に、この環境影響予測を行うことで、影響の回避や低減を目指すのであれば、〈図—1〉のように想定されるインパクトを起点として、環境の場に注目して整理したものが作成できる²⁾。また、現場において特定の希少種などに注目して、環境の評価を行う場合であれば、その種を中心としたフローを描き、生息が維持されるか否かの視点から分析を進めることで、その種の生息環境の質の将来変化予測に役立てることができる²⁾。この場合には、〈図—2〉のようにある生物（〈図—2〉では魚類）に関して、環境変化が生物の生息・生育場所の環境変化をもたらし、結果的に繁殖成功率や個体数に変化が生じる影響伝達経路を、可能性も含めて整理することが考えられる²⁾。〈図—2〉のようなフローが作成できれば、ある生物の生息状況の変化が認識された場合に、それを引き起こした原因について図をさかのぼって推定することも可能になる。

インパクトレスポンスフローは、定性的な予測に利用するほか、複雑な因果関係を持つ自然現象の中で、どのような要因（経路）が、生物や環境の変化にどの程度寄与するか、何が環境への影響



〈図—2〉 魚類Aの生息に関するインパクト分析フローの例²⁾

の重要な要因であるかということ定量的に確認するための基礎資料となる。また、事業を実施する前にインパクトレスポンスフローを予め想定することで、モニタリング項目や視点、事業の影響や保全・再生効果の検証ポイントの絞り込みにも役立つ。

しかし、現場の河川環境に関する知見が少ない場合は、ごく簡単かつ定性的なインパクトレスポンスフローしか作成できないことが容易に想像される。また、現場においては、インパクトレスポンスフローを作成することで、自然の因果関係を整理しても、それぞれの要因が有する影響の程度(強弱)や影響発現までにかかる時間などが明確には分からない(特に定量的に)場合がほとんどと思われる。しかし、これを理由に手をこまねいているだけでは、いつまで経っても状況は変わらない。現場へのインパクトレスポンス研究の応用において重要な視点は、たとえ不十分なものであっても、将来において想定されるインパクト(例えば河川改修)がある場合、**図—1**のようなフローをまず作成し、インパクトが生じた場合には、事前事後モニタリングによりフローに基づいた影響評価を必ず行うことである。予算の関係から特別のモニタリングが出来ない場合でも、過去にさかのぼって既往調査資料を整理することで、ある程度の定量性をもったインパクトレスポンスフローは作成できると考えられる。インパクトレスポンスフローを一旦作成すれば、事業による環境影響予測に利用可能となるし、事業後の変化を確認することで、フローの精度を向上させることも可能となる。このような作業を繰り返し行うことで、河川管理における種々の行為が及ぼす影響の予測の向上が可能となると考えられる。

改修などの事業を計画する際に、複数案の比較をする必要があるが、インパクトレスポンスフローを明確にすることで、それぞれの複数案(インパクト)がどのような影響を生じるのか(レスポンス)について比較検討することが可能になるため、インパクトレスポンスフローの作成は非常に重要である。

3. 2 河川生態系に影響を与える主要な環境要因を軸にしたインパクトレスポンス

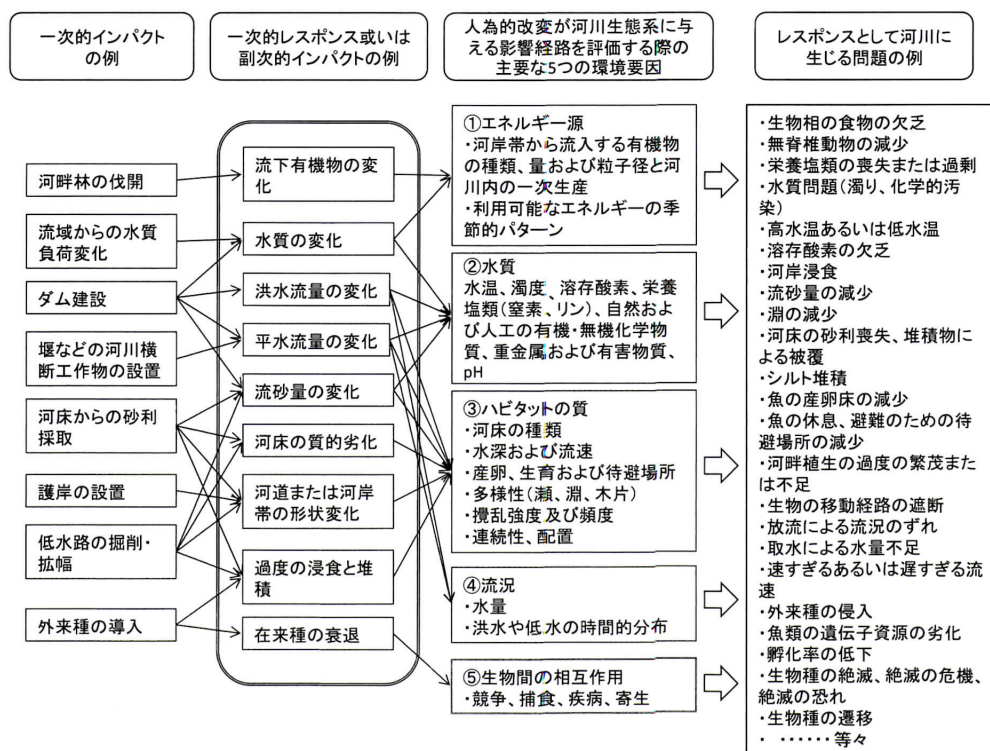
河川の生物や生態系に影響を与える主要な環境要因として、Karrら³⁾は①エネルギー源、②水質、③ハビタットの質、④流況、⑤生物間の相互作用、の5つを抽出して、人為的改変が河川生態系に与える影響経路をこれら5つの環境要因を軸に評価することを提案している。この考え方はインパクトレスポンスフローそのものであり、なおかつ適切な環境要因を軸に評価できる方法であるため、前述の建設省技術研究会においても当初からこれを参考にインパクトレスポンスの概念整理をしている。この際、日本の河川への適用として、上記5つの環境要因に流砂と人間活動による生物相への直接影響が追加されているが⁴⁾、流砂については、ハビタットの質と流況により表現可能であること、直接影響については、自明であることから、ここでは、Karrら³⁾による要因分類を軸にして、インパクトレスポンスについて検討することにする。

山本⁵⁾は、日本の河川における河川生態系への主要人為的インパクトとして、i) 低水路の掘削・拡幅、ii) 土砂供給量の変化、iii) 洪水流量・流況の変化、iv) 河川横断工作物および護岸の設置、v) 水質の変化、vi) 外来種の導入・遺伝子レベルの異なる種の地域間移動を挙げている。また、米国のNational Research Councilは、河川へのストレスが生じる原因事象として、ア) 流況の変化、イ) 河道または河岸帯の形態変更、ウ) 過度の浸食と堆積、エ) 底質(河床)の質的劣化、オ) 水質の劣化、カ) 在来種の衰退、キ) 外来種の導入を挙げている⁶⁾。この日米2カ国で別々に整理された2例を見ると、インパクトの起源をどこまで遡っているかという違いはあるが、結果としては類似なものであると言え、先進国における河川への人為的インパクトとしてかなり一般的なものと考えられる。上記の3つの研究結果を総合すれば、**図—3**のようにインパクトレスポンス関係を検討する際の総合的な関連が得られる。山本⁵⁾、National Research Council⁶⁾が指摘したインパクトやストレスから、それ自体が独立した事象として一次的インパクトとして考えられるものを**図—3**の一番左側に挙げ、一次的イ

ンパクトにより生じる一次的レスポンス（直接生じる影響）と考えられると共に副次的に別の事象を生じさせる副次的インパクトとも考えられるものを左から2番目の列に挙げている。矢印は、関連性の高い項目を結んでおり、左から2番目の項目間には様々な相互作用が考えられるので、全体を一つの枠で囲んでいる。左側から右側へ影響が伝播して一番右の列に河川環境のレスポンスの例が挙げられているが、右から2番目の列にある5つの環境要因は、種々のインパクトが河川環境のレスポンスを生じさせる機構の要素であり、これらの変化度合いに応じて、顕在化するレスポンスに相違が生じると考えられる。このため、右側の2列の間の矢印は個別には関連づけていない。〈図—3〉は、河川環境に対するインパクトやそれに対するレスポンスを全て網羅している訳ではないが、河川生態系に影響を与える主要な環境要因を軸にしたインパクトレスポンス関係を総合的に取り上げており、河川環境の現状や、これまでの遷移、今後の管理について検討する際に役立つと思われる。

3.3 インパクトレスポンス関係を検討する範囲

インパクトレスポンス関係の検討を現場で実施する場合には、時間的にも空間的にもどこまでの範囲を検討対象とするかということを確認しておく必要がある。意識すると述べたのは、決定することが相当難しいと考えられるためであり、明確に決めることが出来れば、より良いことは言うまでもない。現状の河川環境を流域規模で広範囲に把握する際にインパクトレスポンス関係を利用するのであれば、大規模なインパクトが加えられた時点まで遡り、なおかつ空間的にも流域を対象とする必要があるだろうし、河川改修で河道形状を改変する場合に、周辺の地先レベルでの環境影響を検討するのであれば、〈図—1〉の様なフロー図が作成され、改修の規模に応じて影響の程度を推定して、検討対象の時空間的範囲を決めることになる。一般論として検討範囲をどの程度にすればよいと言うことは困難であるが、改修などの影響を見る場合であれば、インパクトレスポンスフロー作成過程で主要な変化が推定された経路について、影響が出ると予測される空間的広がりを決めることになる。影響範囲の予測は、水理計算など正確かつ定量的な手段が利用可能な場



〈図—3〉 総合化した河川環境に関するインパクト及びレスポンスフロー (3) 5) 6)

合もあれば、定性的にとどまる場合もあると考えられる。時間的な範囲としては、影響の発現が出水のようなイベントにより規定されるものであれば、そのようなイベントが生じるまでとなるので、確率的なものとなるが、徐々に進行して一定値に収斂するような影響であれば、この過程にかかる時間を対象にすることになる。何らかの事業を実施する際に、この影響について評価しようとする場合、事前にインパクトレスポンスフローを作成し、事前事後モニタリングの計画にこれを使用することが考えられるが、事後モニタリングの期間をどのように設定するかということが問題となることが多いと思われる。インパクトレスポンスフローを作成し、出水のようなイベントによる影響が大きいと予測された場合は、例えば事後モニタリングは事業実施後3年で一旦終了するとしたとしても、イベントがモニタリング期間内に起こらなかった場合は、その後にイベントが発生した際に必要な調査が出来るように準備しておくというのも一つの考え方である。

3. 4 インパクトレスポンス関係を検討するための情報収集と利用

現場において河川環境に関するインパクトレスポンス関係を検討する場合、インパクトレスポンスフローに含まれる項目に関する具体的な情報が必要になる。インパクトレスポンス関係を検討する範囲によって収集する必要のある情報の種類や量は異なると思われるが、河川環境に関連して、河川の現状の把握のために収集すべき文献等の資料として、流量年表、水質年表、河川水辺の国勢調査、河川環境情報図(国土交通省河川局)、河川縦横断測量結果、河床材料調査結果(河川事務所)、空中写真(国土地理院)、自然環境保全基礎調査(環境省)、レッドデータブック(環境省及び地方公共団体)等が挙げられる⁷⁾。また、河川整備計画策定のために河川環境検討シートが作成されている。インパクトレスポンス関係を検討する場合には、これらの資料を有効活用すると共に、必要に応じて現地調査を実施することになる。インパクトレスポンス関係を整理するのに便利な河川環境検討シートの付表もある。今後は、このように共通の様式でインパクトレスポンス関

係を整理していくことが望まれる。

3. 5 インパクトレスポンス研究の現場への適用事例

建設省技術研究会において平成11年度に始まった河川環境のインパクトレスポンス研究は、その後発展継続され、平成20年度に終了した。この間、〈表—1〉に示す事例研究がなされた。これらの詳細は、平成12年度までは、建設省技術研究会報告、平成13年度以降は、国土交通省国土技術研究会報告を参照のこと(平成15年度以降は、下記に過去の資料が指定課題として掲載されている。<http://www.mlit.go.jp/chosahokoku/giken/index.html>)。

ここでは、これらの中から四万十川における自然再生事業(砂礫河原の再生)について紹介する。本事例は、切り下げを行った入田地区右岸側(10~13km(河床勾配1/1,300))における報告事例である。四万十川の入田地区は、昭和30年代後半には白い砂州、広い瀬が形成されていた。しかしながら、昭和40年代前半から、当該区間、上流区間での砂利採取により、河床の低下、流路の固定化が進行し、砂州の冠水や攪乱頻度が減少した。その結果、礫河原が減少し、樹林域が40年間で約4倍に増大した。

そこで、平成17年3月に、砂礫河原の再生、アユの瀬づくりを目標として、12.4~12.8kmにわたり、高水敷切り下げ、樹林伐採を試験的に施工した。施工断面の設計にあたっては、あらかじめ数値解析により、冠水日数年50日以上、平均年最大

〈表—1〉インパクトの種類から見た事例研究の位置づけ

主要インパクトの種類	事例
流量・水位の変化	中国(斐伊川・神戸川)
	北海道(永山新川(牛朱別川))
	近畿(淀川)
ショートカット	北陸(早出川)
	東北(砂鉄川)
低水路拡幅	中国(斐伊川・神戸川)
	九州(加勢川)
土砂バイパス	中部(三峰川)
	近畿(淀川)
高水敷切り下げ	関東(多摩川)
	四国(四万十川)
	中部(三峰川)

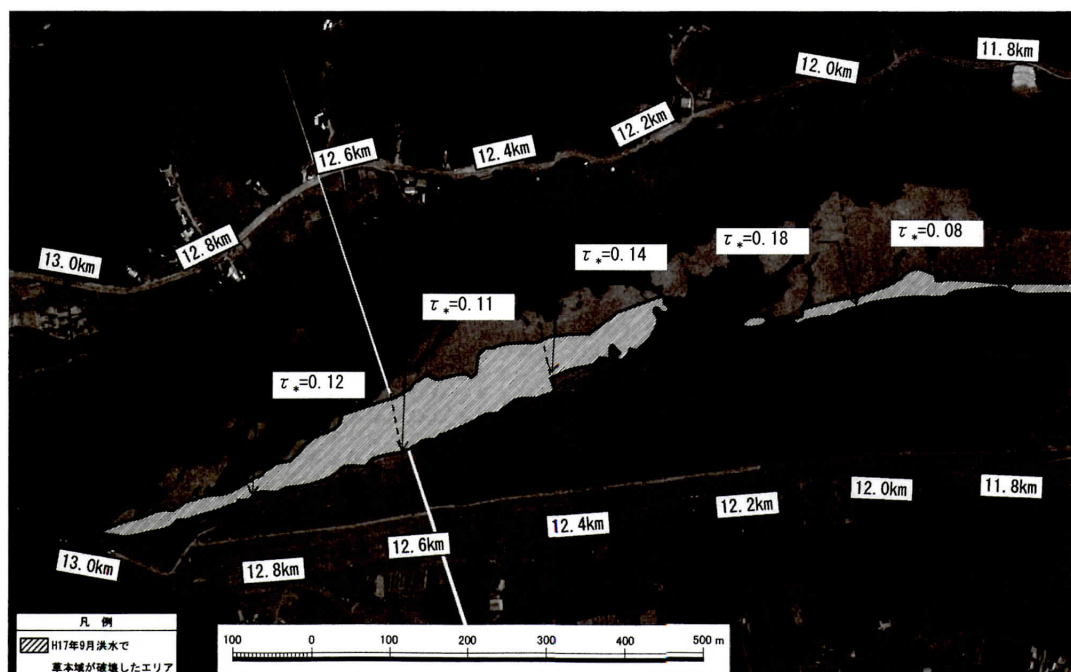
流量時の無次元掃流力 τ_* (礫河原の河床材料移動限界値を0.06、ツルヨシ等の草本域を破壊する限界値を0.1に設定) を物理的環境指標として決定している。ここで分かるのは、河川環境へのインパクトは高水敷切り下げであり、主要なレスポンスとしては切り下げた場所における出水時の河床剪断応力の増加、さらにこれにより生じる植生の破壊、礫河原の維持と考えているということであり、植生の破壊と礫河原の維持が事業の目的となっているため、この主要な事象について、水理計算を予め行い、設計への反映を行っているということである。

平成17年9月に大規模出水(戦後第2位: $12,596\text{m}^3/\text{s}$)が発生し、切り下げ前後区間も含めてツルヨシ、オギを中心とする草本域が破壊された。出水後に広大にみられた草本域の破壊、礫河床形成の状況を検証するため、平成17年1月、9月の航空写真を比較することで、草本域の破壊領域を整理している(図-4)。これより、11.8~12.8km付近で、明確に草本域が破壊され、礫河原が増加していることが確認できる。破壊された草本域は最大幅約70m(12.6km付近)であった。さらに、横断測線(200m間隔)上の無次元掃流力を計算すると、無次元掃流力 τ_* の平均は、0.13であり、最大値が0.18であり、いずれの箇所

も草本域が破壊に至る無次元掃流力0.1よりも大きく、草本域が破壊され、広大な砂礫域が形成されたことを裏付ける結果となっている。この検討は、事業の前に定量的な予測を実施し、出水イベントの後の事後評価が行われた事例であり、河原植生の出水による破壊に関しての既往研究を生かした例であると言える⁸⁾。ただし、試験施工区間の環境変化に出水が及ぼす影響は、この出水に見られるように、試験施工区間だけに限らず、出水の規模によっては、その上下流へ大きく波及する場合も想定される。また、礫河原の維持を目的とした高水敷切り下げの設計においては、冠水頻度や出水の検討だけでなく、植物の成長を抑える礫の被覆率や礫の厚さの検討も重要である⁹⁾。そのため、出水後の砂礫河原の維持、植生状態をモニタリングして出水イベント後のレスポンスに関する知見を得ることで、インパクトレスポンス関係の知見をより完成度の高いものにすることが可能となると考えられる。

4. まとめ

河川環境に関するインパクト及びレスポンスに関する研究の現場への応用という観点から、インパクトレスポンスの概念整理、インパクトレスポ



〈図-4〉草本域破壊状況と無次元掃流力の計算結果(中村河川国道事務所提供)

ンスフロー、主要な環境要因を軸とするインパクトレスポンスフローの考え方、検討の時空間的範囲、情報収集、最後に事例紹介を行った。インパクトレスポンス関係の検討は、人為的行為がどのような因果関係をもって環境に影響を与えるかを明確にする作業であり、河川改修を含めた人為的行為の環境影響予測を行う際には、程度の差はあっても、環境影響予測の作業自体がインパクトレスポンス関係の検討そのものになっている。これまでの研究をこの作業に生かしていくためには、以下の意識を持つことが重要と考えられる。

- ①インパクトレスポンス関係を明確に把握する。
そのための手段としてインパクトレスポンスフローを作成する。
- ②インパクトレスポンスフローの経路の中から主要と考えられるものを抽出する。
- ③この主要な経路について、可能な限り定量的な評価を実施する。
- ④この主要な経路に関連する事象のモニタリングを行う。
- ⑤事前事後モニタリングの結果を当初のインパクトレスポンスフローにフィードバックして、より正確なインパクトレスポンス関係の把握につなげる。

上記の手順は、個別の事業において通常行われていると考えられるが、手法の一般化、情報の集積・共有が未だ進んでいないのが現状である。事例を整理して手法の一般化を図れば、効果的かつ効率的な解析やモニタリングが可能になり、事業の環境影響評価の説明にも説得力を増すことができる。このためにも、今後類似の事業に関するインパクトレスポンス関係の解析や関連するモニタリング情報を共有し、比較整理していくことが望まれる。

参考文献

- 1) 亀山章：生き物と共生する社会資本整備の視点、土木技術資料、v.52, n.10, p.3, 2010.
- 2) 中村太士、辻本哲郎、天野邦彦（監修）：川の環境目標を考える ―川の健康診断―、河川環境目標検討委員会（編集）、技報堂出版、東京、2008.
- 3) Karr, J.R, K. D. Fausch, P.L. Angermeier, P. R. Yant and I. J. Schlosser: Assessing biological integrity in running waters A method and its rationale, Illinois National History Survey, Special Publication 5, 1986.
- 4) 建設省河川局河川環境課、土木研究所環境部河川環境研究室：河川環境に関するインパクト及びレスポンスに関する研究、第53回建設省技術研究会報告、pp.3-1~3-20, 1999.
- 5) 山本晃一：河川生態系にとっての主要人為的インパクトと河川生態系への影響、小倉紀雄、山本晃一（編著）、「自然的攪乱・人為的インパクトと河川生態系」、技報堂出版、東京、2005.
- 6) National Research Council: *Restoration of Aquatic Ecosystems*, National Academy Press, Washington D.C., 1992.
- 7) 河川事業の計画段階における環境影響の分析方法に関する検討委員会：河川事業の計画段階における環境影響の分析方法の考え方、2002.
- 8) 竹内義幸、青木研、渡邊雄二、加村大輔：四万十川入田地区における砂礫河原再生のモニタリング中間結果について、河川技術論文集、v.13, pp.119-122, 2007.
- 9) 大石哲也、天野邦彦、中村圭吾：砂礫構造の違いからみた河川植物の生育環境特性について、河川技術論文集、v.12, pp.477-482, 2006.