

中小河川における河川環境に配慮した河道設計 支援ツールの開発

DEVELOPMENT OF THE RIVER CHANNEL DESIGN SUPPORT TOOL IN FOR
THE RIVER ENVIRONMENT IN THE SMALL AND MEDIUM SIZE RIVER

大石 哲也¹・原田 守啓²・高岡 広樹¹・萱場 祐一³
Tetsuya OISHI, Morihiro Harada, Hiroki Takaoka, Yuichi Kayaba

¹正会員 博(工) 国立研究開発法人 土木研究所 水環境研究グループ 自然共生研究センター
(〒501-6021 岐阜県各務原市川島笠田町官有地無番地)

²正会員 博(工) 岐阜大学 流域圏科学研究センター
(〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1番1)

³正会員 博(工) 国立研究開発法人 土木研究所 水環境研究グループ 河川生態チーム
(〒305-8516 つくば市南原1-6)

The purpose of this paper is to develop the simulation tool to evaluate the results of hydrological regime and river habitats seamlessly. The evaluation tool can be visualized the results. The river habitats tool consists of habitat suitable index model of freshwater fish and the growth judgement model of river terrestrial plants in water. We examined validity of these tools by 3 models changed the width of a river. As a result, the model which widened the width of a river can be increased suitable habitats for fish, it however were covered with a plant too much. These tools will enable a river environmental planning to estimate quantitatively as well as a flood-control planning.

Key Words : *environmental planning, channel form, river planning, small and medium-sized river*

1. はじめに

中小河川では、河川改修や災害復旧事業の際に、河川断面を単断面とし、河床を掘下げ両岸を立ち護岸とする改修が多く行われてきた¹⁾。この結果、改修後の出水によって極度に河床低下する例があり、河道の安定性に欠ける川づくりが見られた²⁾。また、川幅が狭いことで、瀬や淵といった生物にとって重要な生息場の形成への配慮が不十分であるなどの問題もあった。このような状況に鑑み、国土交通省では、「中小河川に関する河道計画の技術基準について(平成22年改訂)」や「美しい山河を守る災害復旧基本方針(平成26年)」(以下、技術基準)の中で、上記の問題点を解消する手立てについて一定の基準を設けた。例えば、技術基準の中では、川幅を広くすることで、河床に働くせん断力を小さくし河床低下の軽減を図ると共に、出水時の地形変化に伴う瀬や淵の形成を促進し、生物生息場の確保を可能にするなど、河道計画時に配慮すべき具体的な手法等が示されている。しかし、技術基準の内容全てを河道計画・設計に反映する

には、後述するように実務的な課題が幾つか残されている。また、水理学、生態学、応用生態工学等の発展により各々の分野で河川における科学的な知見の集積や解明が進んでいるが、これらの成果が中小河川の河道計画・設計に十分に活かされていないことも課題である。

これらの問題点を少しでも解消するためには、実務的な課題を解決しながら、学術的な知見を河道計画・設計に生かす何らかの手立てが必要不可欠である。

そこで筆者らは、この解決の1つの手段として、治水と環境を統合し、かつ定量的に検討できるツールの開発を行ったので、その概要と活用について報告する。

2. 河道計画・設計時の手順とその問題点

河川整備計画では、まず、目標流量とそれを計画高水位以下で流下させるための河道断面形状の概略、環境の配慮事項、維持管理の考え方などが整理される。次に、事業実施段階において、簡易な河川測量を行ったうえで

目標流量に対する一次元の不等流計算結果などに基づき平面・縦横断横断面形状の設定といった河道計画を行う。河道設計の段階では、河道計画を元に、詳細な河川測量により流下能力をチェックしたうえで、護岸の構造計算、土工の数量等が求められる。以上が河道計画・設計の一般的な検討手順である(図-1)。この手順の中で、整備計画および河道計画で設定された横断面形状は、台形断面(定規断面)、一定勾配であることが多いが、この形状が河道設計時にそのまま流用され、河道の平面・縦横断断面形状を見直すことが少ないのが現状である。また、目標流量を流下させる断面の確保や護岸の安定性については、数値的な取り扱いが可能であるのに対して、環境に関しては定性的な取り扱いに留まっており、河道計画・設計の中で環境の保全が積極的に扱われることが難しくなっている。

すなわち、現状の検討手順には、整備計画や事業実施段階で計画した河道形状が与条件となっており、設計段階における河道形状の変更が困難であること、さらに、瀬・淵等の生息場の形成を見越した河道計画・設計を実施できないことに課題があるものと考えられる。

3. 河道設計支援ツールの概要

(1) 支援ツールの概略

筆者らの目的は、河道計画と設計を一体化し、現況河道地形を基礎としながら目標流量を流下させ、かつ、生物の生息環境や維持管理に配慮した河道形状を短時間で同時に設定できるツールとシステムを構築することにある(図-2)。

ツールの開発には、流況計算が可能なiRIC(ver.2.3)の機能を利用している。iRICはGUI機能により、プリ処理では直観的な操作によって地形を編集でき、ポスト処理では結果を視覚化できるという特徴を持つ。また、流れの計算では、複数のソルバの中から検討したい水理現象に対応するソルバを扱うことが可能である。流れの計算で得られた結果は、流下能力や水位のチェックなど治水面からの評価ツールとして利用可能である。

開発したツールは、生物生息環境の評価に関するソルバにあたり、主に平常時の流量に対して、流れの計算で得られる水深や流速といった物理指標を用いて、生物生息環境のチェックを行うシステムである。具体的には、流れの計算(ソルバーのモデル)で得られた時間、断面(各格子のノード)ごとのデータ(CGNSファイル形式)を入力データとして与え、別途用意した評価関数を利用して評価される。また、算定された結果は、iRICに搭載されるGUI機能によって可視化でき、視覚的に評価のチェックが可能である。つまり、生息場の評価が著しく悪い箇所を視覚的に捉えることが可能で、どの場所の縦横断面形状を変更すべきかの検討が容易となる。

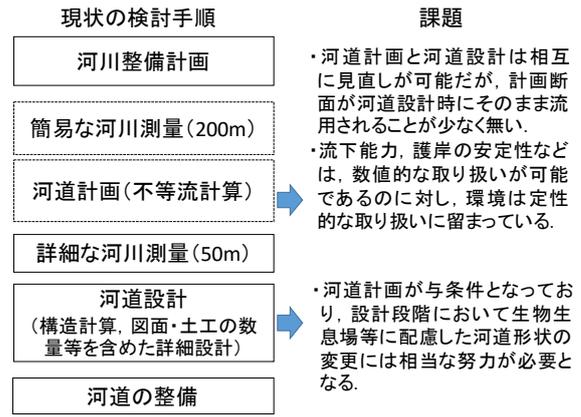


図-1 河道計画・設計の検討手順と実務上の課題

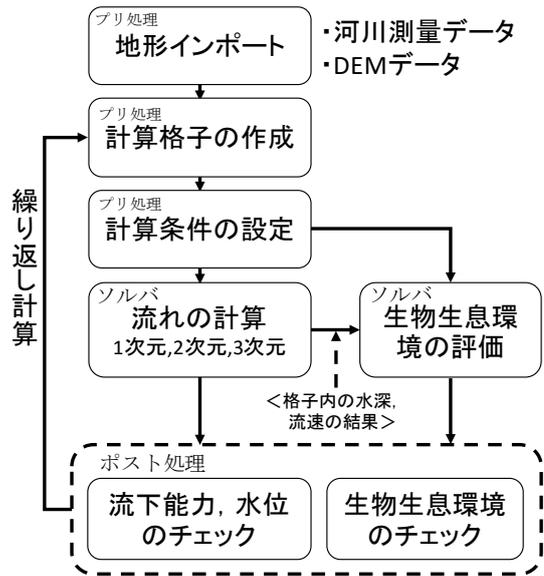


図-2 河道設計支援ツールの概略

(2) 評価ソルバの作成

a) 魚類生息場の評価ソルバ

魚類生息場の評価ソルバは、流速や水深などを基に生息場の評価(Suitable Index: SI値)を扱った文献³⁻²³⁾から淡水魚類15種について、成長段階別(産卵、仔稚魚、成魚)、季節別に整理したものである。ここで、SI値とは魚類が生息する場所として好む、水深、流速、河床材料、隠れ場(カバー)などについて、現地での実測データを取得し、生息場としての適性を0から1で評価した値である。表-1に各魚種の整理結果と図-3,4に水深、流速別のSIモデルの例を示す。

b) 植物生育可否の判定ソルバ

植物生育可否の判定ソルバは、河道内植物の過剰な繁茂を判断できるものである。具体的には、陸生植物が水中に侵入し易くなる条件を定義して判定が行われる。実際に、中小河川の現状を鑑みると、川幅の狭すぎる断面は河道の安定を損なっている一方で、広すぎる断面は平常時の水深や流速が小さくなることで、草本や木本植物の生育が著しいという問題がある²⁴⁾。

表-1 SIデータ一覧

		(水深, 流速)														
成長段階	季節	ウグイ	オイカワ	カワヨシノボリ	アユ	アマゴ	カワムツ	ニゴイ	アメドジョウ	ヨシノボリ	アブラハヤ	タモロコ	ギンブナ	カマツカ	カジカ	サケ
成魚	秋	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	夏	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-
	不特定	○	○	○	○	○	○	-	-	○	○	○	○	○	○	○
仔稚魚	秋	-	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	夏	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	不特定	○	○	○	-	-	○	-	-	○	○	○	-	-	○	○
産卵	秋	-	-	-	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	○	○
	不特定	○	○	○	-	-	○	-	-	○	-	-	-	-	○	-

自然共生研究センター内にある実験河川で行った検討では、水深を約 25cm に設定した断面において、整備から 2 年経過すると、水域の半分が陸生草本に覆われたが、水深を約 35cm に設定した断面では、陸生草本の生育が数%まで抑えられていた²⁵⁾。また、岐阜県内の 9 河川 (250 地点) の状況を調査したところ、確認された陸生植物 (イヌタデ, オヒシバ, ツルヨシ, ミヅソバ, ヤナギ, ヨシ) の全てが、水深が 40cm 以上の箇所での生育が制限されており、実験河川での結果をほぼ支持していた (図-5)。この他に、引き続き検討が必要であるが、流速が早くなるほど、深い水深での生育が確認できなくなる傾向も見られる。以上の検討から、評価ソルバでは、水深別の評価値の他に水深-流速の関係から近似曲線をもとに評価できる方法を 2 つの方法を採用している。

4. 河道モデルを用いた検討

(1) 河道モデルおよび検討諸元

河道モデルを用いて、作成した評価ソルバから生物の生息環境がどのように変化するかについて検討を行った。ここでは、岐阜県の小里川 (恵那市山岡町付近の 6.8km-7.3km の区間, 河床勾配: 約 1/250) を対象にした河道モデルを用いた (図-6)。本モデルは、従前に筆者らが航空写真から DEM 化したモデルを元に作成した²⁶⁾。

検討した河道モデルは、現況モデルの他に、現況モデルの川幅 (約 20m) に対して、川幅を 2 倍に広げたモデル (拡幅 (2B)) と川幅を半分にしたモデル (減幅 (1/2B)) とした。想定した流量は、小里川での平常時流量を元に 3m³/s とした。ここでは、単純な比較検討としたいため、いずれのモデルも河床の著しい凹凸を少なくし滑らかな断面にすると共に、平常時の流速では河床の変化も少ないので固定床とした。なお、実際の川幅拡幅時には、平常時の流量を対象とした環境や維持管理に配慮した河道断面の検討が求められている。

(2) 対象魚類の選定および評価の方法

当該箇所を含めた環境調査では、カワムツ、カワヨシノボリ、アブラハヤ、カマツカ、オイカワ、ドンコが主に生息している。文献から得られた SI モデル (表-1 参照) のうち、成長段階別で資料の多い遊泳魚種のカワムツ、オイカワ、底生性魚類のカワヨシノボリを対象として検

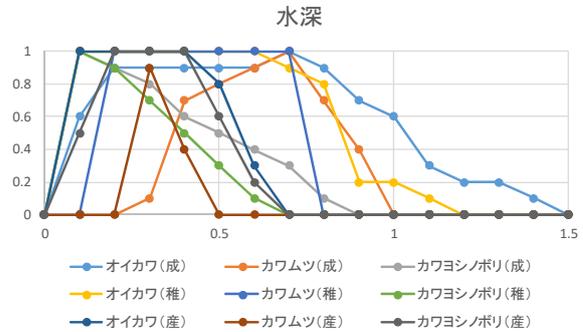


図-3 水深に対する生息場適性指数 (例)

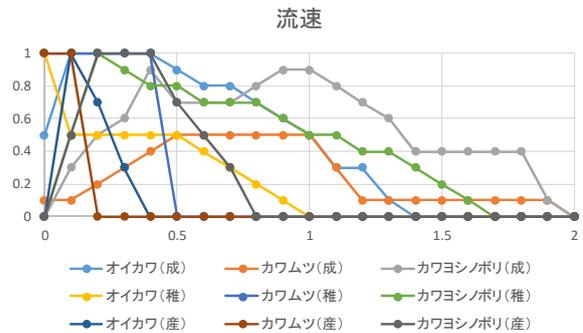


図-4 水深に対する生息場適性指数 (例)

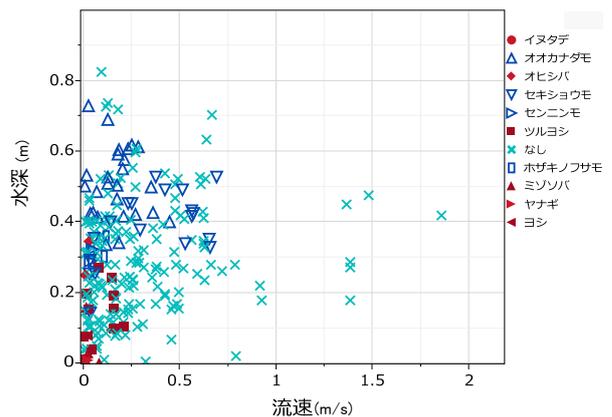


図-5 物理環境を指標とした植物の生育可否

討を行った。成長段階別の SI は、成魚 (秋), 仔稚魚 (秋), 産卵期 (不特定) を用いた (図-3, 4 参照)。また、植物については水深別の評価指標を用いた。

(3) 河道モデルに対する評価結果

a) 魚類生息場に関する評価

計算結果は、図-7 で示されるように、格子内の流速や水深の結果に対して評価された値がカラーコンターで図示される。これにより、視覚的に評価結果を比較検討することが可能である。ここでは本データをもとに格子の評価値と格子の面積とを掛け合わせた重み付きの生息場面積を算出した例を図-8, 9 に示した。

まず、水深での結果をみると、オイカワ、カワヨシノボリについては、川幅が2倍になると生息適地も2倍になるなど、成長段階に係わらず川幅変化に比例して、生息適地が増加していた。一方、カワムツについては、川幅が2倍になると水深が浅くなるため、成魚の生息適地が減少していた。次に、流速での結果をみると、例えばオイカワについては、どのモデルでも成魚、仔稚魚、産卵期の順に生息適地が減少していた。

最後に、水深、流速での評価結果から、いずれの河道モデルもオイカワと比較してカワムツの生息適地が小さいことが分かる。これまでの研究から、オイカワとカワムツの両方生息する河川では、オイカワが流れの速い「瀬」に出てくるのに対し、カワムツは流れのゆるい川底部分「淵」に追いやられること²⁷⁾、また、カワムツは淵を好みやすい魚であることが知られている²⁸⁾。つまり、今回扱った河道モデルは、横断方向の河床の凹凸が少なかったことが、カワムツの適地を小さくさせていたものと考えられる。

b) 植物生育可否に関する評価

図-10に植物生育可否の判定ソルバにより得られた結果を整理した。植物の生育可否は、4つの段階で評価されており、水深が40cm以上あれば、時間が経過しても水中への植物の進入の可能性が低く、30-40cm、30-20cm、20-0cmと水深が小さくなるにつれて、植物の生育可能性



図-6 解析対象河川の概況

が高くなることを示している。結果から現況モデルでは、約60%が陸生の植物に覆われる可能性があることが分かる。一方で、減幅(1/2B)モデルでは、植物に覆われる危険性が約30%弱まで減少し、拡幅(2B)になると、河道のほとんどが植物によって覆われてしまう可能性が高い。

(4) 環境に配慮した断面形状の工夫

川幅を変更した3つの河道モデルによって、魚類の生息場、植物の生育可否の判定結果が変わる簡単な例を前述した。川幅を拡げる効果は、洪水時の流下能力向上だけでなく、生物の生息空間を拡大できる可能性がある(図-8,9)。しかし、単純な拡幅は、平常時の水深が浅くなることで植物の生育場所を増やし(図-10)、植物の管理コストが増大する可能性がある。これからの河道計画・設計では、目標流量に対する流下能力を確保するだけでなく、これと同時に、平常時において生物の生息場を確保すること、河道内における植物の過剰な繁茂を避け、維持管理コストの低減を図る工夫が必要であることがモデルでの検討からも理解できる。

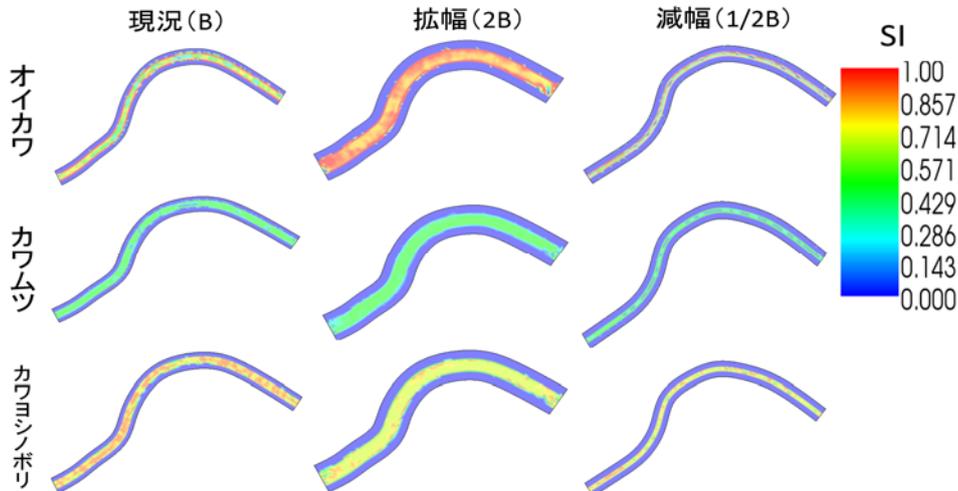


図-7 流速による評価結果例 (成魚)

河川性生物は、その成長段階によって様々な生息場所が求められることが多い。例えば、ここで評価の対象に利用した流速・水深以外にも粒径や植物のカバーなどの評価も必要である。ただし、人的に操作可能な物理環境条件を上手にコントロールすることで、多様な物理場の形成を促すことが、まずは重要であろう。本ツールを活用すれば、例えば図-11に示したA案のような目標流量は流下するが、水深と流速の分布に変化が乏しく、深くて早い流れの河道設定を回避でき、B案のように流下能力の確保だけでなく、瀬・淵の形成が期待でき、維持管理への課題も明確となる河道形状の設定が可能となる。

5. おわりに

本報では、河道計画と河道設計を一体化し、初期の段階から環境に対する評価、維持管理に対する評価を行い、河道形状を設定するツールを開発し、この有効性を示した。今後、実務への適用を行い、改善を図りたい。

また、本ツールで得られる結果の妥当性は、水理学や生態学の知見から検証する必要があるが、本ツールを用いることで、治水安全性の向上と河川環境の保全、維持管理の容易さを満足する河道計画・設計の可能性が高まるものと考えている。環境があって人は生活できるのであるから、今後、様々な技術を有効に活用することにより、治水と環境を統合した川づくりが推進されることを期待したい。

謝辞：本開発を進めるにあたって、ご支援いただいた北海道大学 清水康行教授（iRIC研究会代表）を始め、iRIC研究会の皆様にご礼を申し上げます。

参考文献

1. 原田守啓, 藤田裕一郎: 中小河川の断面形状と河道粗度設定手法の変遷に関する考察, 土木学会論文集 B1(水工学), vol.68(4), pp. I_1291-I_1296, 2012.
2. 大石哲也, 高岡広樹, 原田守啓: 中小河川改修時の川幅設定が河道の景観に与える影響, 水工学論文集, vol.58, pp. 997-1002, 2014.
3. 水産庁中央水産研究所: 淡水魚類生息条件データ集, 2001.
4. 鈴木興道: 魚の住みやすい川づくりに資する魚類の生息分布とその場の流速, 土木学会論文集 vol.593(II-43), pp. 21-29, 1998.
5. 和田真治, 須藤靖彦, 東信行, 中村俊六: 農具川における魚類生息場適性基準(HSI)の作成と検証, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp. 353-354, 1998.
6. 石川雅朗, 梶山誠: IFIM適用のためのアユの産卵場特性に関する基礎調査, 土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, vol.23, pp. 294-295, 1996.

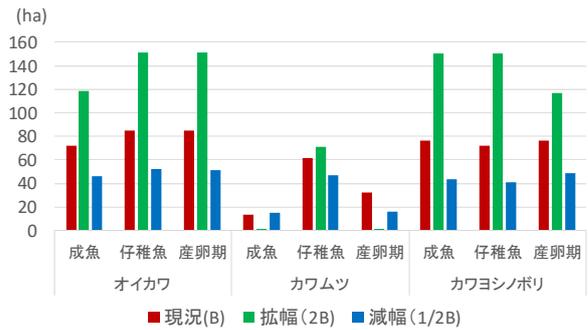


図-8 水深に対する利用可能な生息場面積

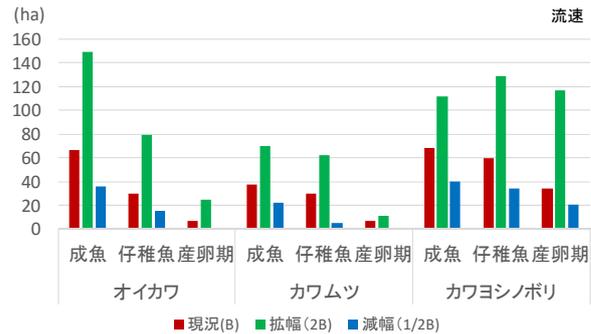


図-9 流速に対する利用可能な生息場面積

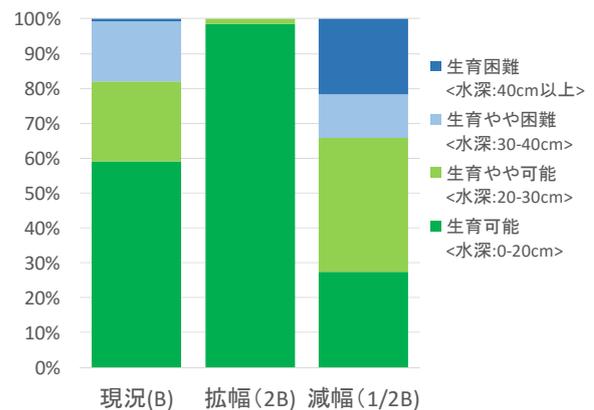


図-10 植物生育可否に関する評価

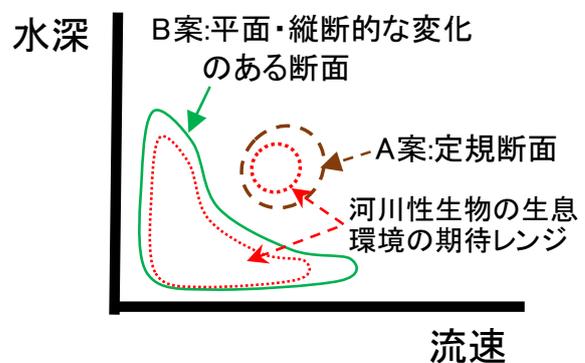


図-11 環境に配慮した断面形のあり方 (概念図)

7. 小出水規行, 竹村武士, 奥島修二, 山本勝利, 蛭原周: 千葉県谷津田域における農業排水路の物理環境特性とタモロコ生息場のポテンシャル試算, 農業土木学会大会講演会講演要旨集 vol.2004, pp. 740-741, 2004.
8. 須藤達美, 永瀬恭一, 道上正規, 檜谷治: PHABSIMを用いた純淡水魚類生息場の定量的評価に関するケーススタディ, 水工学論文集, vol.44, pp. 1203-1208, 2000.
9. 渡邊亮輔, 地主隼人, 福井吉孝: 荒川水系小畔川の魚類の生息及び生息場評価, 土木学会年次学術講演会, vol.60, pp. 437-438, 2005.
10. 石田裕子, 竹門康弘, 池淵周一: 河川の侵食-堆積傾向と流量変動による底生魚の生息場所選好性の変化, 京都大学防災研究所年報(48), pp. 935-943, 2004.
11. 小出水規行, 竹村武士, 奥島修二, 相賀啓尚, 山本勝利, 蛭原周: HEP法による農業排水路におけるタモロコの適性生息場の評価, 河川技術論文集, vol.11, pp. 489-494, 2005.
12. 鬼東幸樹, 永矢貴之, 東野誠, 高見徹, 大塚法晴, 秋山壽一郎, 尾関弘明, 白石芳樹: アユの産卵に適した水深および流速の選好曲線に関する検討, 河川技術論文集, vol.11, pp. 483-488, 2005.
13. 原田守啓, 藤田裕一郎, 深谷治由: 河川の生息環境評価手法に関する一考察, 水工学論文集, vol.45, pp. 1129-1134, 2000.
14. 辻本哲朗, 田代喬, 伊藤仕志: 生活圏の連結性に着目した魚類生息環境評価法の提案と河道内微地形の役割評価, 河川技術に関する論文集, vol.6, 2000.
15. 北村忠紀, 田代喬, 辻本哲郎: 生息場評価指標としての河床攪乱頻度について, 河川技術論文集, vol.7, pp. 297-302, 2001.
16. 川本泰生, 関根雅彦, 楊継東, 小林宏正, 浮田正夫: IFIMにおける魚の選好曲線の河川間の互換性に関する検討, 環境工学研究論文集, vol.36, pp. 271-276, 1999.
17. 田代喬, 伊藤仕志, 辻本哲郎: 生活史における時間的連続性に着目した魚類生息場の評価, 河川技術論文集, vol.vol.8, pp. 277-282, 2002.
18. 辻本哲郎, 永禮大: 魚類生息環境変質の評価のシナリオ, 水工学論文集, vol.43, pp. 947-952, 1999.
19. 川本泰生, 関根雅彦, 楊継東, 今井崇史, 浮田正夫: IFIMにおける河川生態環境評価法の精度と普遍性に関する一考察, 環境システム研究, vol.26, pp. 447-452, 1998.
20. 金亨烈, 玉井信行: 乙川におけるIFIMを用いた魚類の生息域評価に関する研究, 環境システム研究, vol.24, pp. 77-82, 1996.
21. 金亨烈, 玉井信行, 松崎浩憲: 流量増分生息域評価法における生息数基準に関する研究, 水工学論文集, vol.40, pp. 151-156, 1996.
22. 石川雅朗, 中村俊六, 築坂正美, 東信行, 中村緩徳: 河川における魚類生息環境評価(IFIM適用)のための基礎調査, 木更津工業高等専門学校紀要, vol.29, pp. 23-32, 1996.
23. 河村三郎: 魚類生息環境の水理学, リバーフロント整備センター, pp. 241, 2003.
24. 大石哲也, 高岡広樹, 萱場祐一, 原田守啓: 中小河川の効率的・適確な維持管理に向けて～岐阜県の複数河川を対象にした河道タイプの把握と成立要因の分析～, 河川技術論文集, vol.18, pp. 221-226, 2012.
25. 大石哲也, 高岡広樹, 原田守啓, 萱場祐一: 河道横断面形状の設定と草刈りの有無が植生変化に与える影響, 第68回土木学会年次学術講演会, 2014.
26. 大石哲也, 萱場祐一, 加瀬瑛斗, 渡 敏, 高岡広樹: デジカメ航空写真による中小河川の地形データ作成と河道計画への適用可能性, 土木学会論文集B1(水工学) vol.68(4), pp. 1399-1404, 2012.
27. 川那部浩哉, 宮地伝三郎, 森主一, 原田英司, 水原洋城, 大串竜一: 遡上アユの生態とくに淵におけるアユの生活様式について一, 京大生理生態業績, vol.79, pp. 30-31, 1956.
28. 水野信彦: 魚にやさしい川のかたち, 信山社出版, pp. 97, 1995.

(2015.4.3受付)