

既設河川横断工作物を改良した切欠き魚道設置の検討と実践

林 田 寿 文・棟 方 有 宗・伊 藤 峻・中 村 圭 吾

河川に設置された横断工作物において魚類などが遡上出来るようにするには、魚道の設置や工作物の撤去などを行う必要がある。しかし、いずれも水面の落差が大きくなるほど金銭的なコストは膨大になる。より低コスト・メンテナンスフリーで魚類などの水生生物の遡上を実現するには、横断工作物本体の安全性を十分確保した上で、工作物自体への簡易な掘削を行う方法も有効だと考えられる。

本稿は、魚類などの遡上環境を安価に創出し、幅広い普及を目指す「切欠き魚道」の開発を目的に、既設堰堤に切欠き（スリット）を入れる方法の案出に加え、広瀬川（仙台市）の支川である竜の口（たつのくち）渓谷の堰堤で実施した事例を紹介する。

キーワード：生物多様性保全，河川環境，魚道，連続性，河川横断工作物，堰堤，コスト縮減，コンクリート掘削

1. はじめに

河川内を制限なく移動するための水域連結性の確保は、多くの水生生物が生活史をまっとうする上で必要不可欠である¹⁾。水生生物の中でも水域連結性分断の影響を大きく受けるのは、アユ (*Plecoglossus altivelis*) やサケ科 (*Salmonidae*) のような通し回遊魚と呼ばれる産卵や成長のため海と河川を行き来する生活様式を持つタイプの魚種である²⁾。これらの種は、特に個体群維持が必要とされ、その対策として障害物になりうる堰堤の様な河川横断工作物（以下、横断工作物）を通過させるため魚道が数多く設置されてきた。

魚道設置の取組みとしては、大河川では国交省の魚のぼりやすい川づくり事業などの後押しで一定の効果を上げてきた。一方で中小河川や農業水路の横断工作物では、魚道がない場合も多く、魚類の遡上が困難な河川・水路は幾多もある。近年では、生物多様性保全のため河川の縦断的な連結性に加え、本川と支川・田畑・氾濫原などとの横断的な連結性も求められ、魚道の必要性は増している³⁾。しかしながら、財政事情などにより、それらの横断工作物には対策が行われず、ほとんどが放置されているのが現状である。

横断工作物で魚類を遡上させるには、上述のように魚道設置や横断工作物自体の撤去なども検討されるが、いずれも水面落差が大きくなるほど対策コストは

膨大になる。また、近年では小さな自然再生として、堰堤などへの簡易魚道の設置も広がっているが、洪水による流出防止などの対策が必要な事例もある。より低コスト・メンテナンスフリーで水生生物の遡上を実現するためには、横断工作物本体の安全性を十分確保した上で、横断工作物自体への簡易な掘削を行う方法も有効だと考えられるが、特に中小河川ではこのような事例がほとんど確認できない。

そこで本稿では、切欠き魚道の開発を目的に、既設工作物に切欠き（スリット）を入れる工事方法の案出に加え、切欠き魚道を仙台市広瀬川の支川である竜の口（たつのくち）渓谷の堰堤（図-1）で実施した事例を報告する。



図-1 竜の口渓谷の堰堤

2. 切欠き魚道設置に関する課題の検討

(1) 竜の口溪谷の堰堤

竜の口溪谷の堰堤は、幅10.0 m、延長6.0 m、高さ2.5 mの2段構造である(図-2)。両岸にはブロック積みの擁壁護岸が設置されている(図-1)。堰堤は、仙台市建設局によって平成3年度に建設工事が行われた。便宜上、上流側の1段目を床止め部、下流側の2段目を水たたき部と呼ぶ。床止め部の高さは1.5 m、延長1.0 mであり、天端幅が0.5 mの台形状となっている。水たたき部は延長5.0 mであり、下流側では1.5 mの高さがある。水たたき部のコンクリート厚は0.5 mであった。工事を行う直前の地盤高は、上流側で床止め部の天端と同程度、下流側で水たたき部が1.4 m程度露出していた(図-2)。下流側の地盤高は、堰堤から約40 m下流で合流する広瀬川の水位に大きく影響を受け、頻繁に地盤高の増減が起きることが確認されている。本堰堤上流への魚類などの遡上は、増水時以外にはほとんどなく、竜の口溪谷には主にアブラハヤ(*Rhynchocypris lagowskii steindachneri*)が生息するのみである。切欠き魚道により遡上が期待される目標種としては、広瀬川に生息するアユ(*P. altivelis*)、サクラマス(ヤマメ)(*Oncorhynchus masou*)、モクズガニ(*Eriocheir japonica*)を設定した。

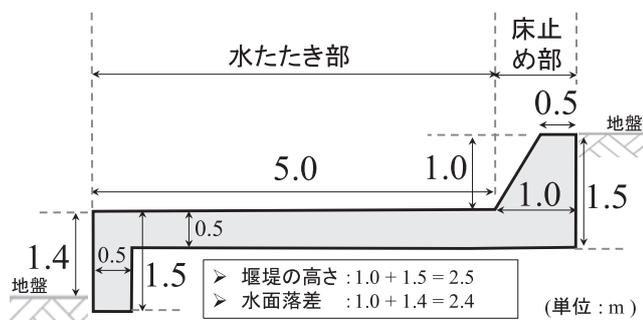


図-2 堰堤縦断面(地盤高は工事直前の状況)

(2) 切欠き魚道の設置に関する課題の検討

切欠き魚道の実施において課題が2つあった。1つ目はコンクリートで作られた横断工作物を掘削する際、効率的な遡上やメンテナンスフリーを実現するには、どのような形状が望ましいかを定める必要があるということである。そこで、横断工作物を掘削する方法として、穴を開ける案と切欠き(スリット)を施す案の2案を検討した。両案を比較した結果、穴を開ける案のデメリットとして、流木やゴミなどが詰まりやすいことや、流水が集中して大きな流速となった場合、水生生物の遡上が困難になることが想定された。

一方、切欠きは余水を吐くことが出来、水深も安定する。そこで、切欠き案を選定するに至った。横断工作物に切欠きを設置して水生生物の遡上を促す形状を“切欠き魚道”と呼ぶこととした。ただし、切欠き魚道はコンクリートを大きく掘削しすぎた場合、工作物本体が損壊してしまうおそれがあるため、それに留意した形状にする必要がある。そのため、切欠き魚道の形状は、現場ごとの検討が必要である。

2つ目は、横断工作物の管理者から許可を得る必要があるということである。本堰堤は、管理者である仙台市に対して協議や申請などを行い、工事許可を得ることが必要となる。そのため、本件について仙台市と協議を重ねた結果、共同研究としての枠組みの立ち上げによって事業を推進することで合意できた。そこで、仙台市建設局と土木研究所は、令和元年11月に竜の口溪谷における魚道整備などを含む、多自然川づくりの推進に関する覚書の締結に至った。覚書には、緊密に連携し多自然川づくり・魚道整備を積極的に推進することにより、自然環境の保全などへの貢献を図ることを目的とすることなどが記載されている。この覚書締結をもって、仙台市建設局の全面的な支援による事業が可能となった。

3. 切欠き魚道を実践するための安全性および効果の検討

(1) 切欠き魚道設置による横断工作物本体の安全性検討

本堰堤は、本体の自重と両岸の擁壁護岸に挟まれている摩擦抵抗力で安定性が維持されている。そのため、床止め部および水たたき部に切欠きを設置した場合でも、本堰堤の滑動は生じない。ただし、施工で本体に大きなクラックが入り2分割になるような場合は、その限りではない。

一般的に床固工・落差工などの天端に切欠きを設けることは、「上下流の連続性を確保するための工夫として魚道などを設置する場合には、洪水時に問題が生じない範囲で切欠きを設けてよい」とされている⁴⁾。本堰堤の床止め部の落差高は1 mと比較的低く、水たたき部と一体構造であるため、床止め部の付け根でのせん断破壊は考えにくく、中間部に切欠きを設けても背後からの静水圧・土圧(土石流)は軽減される傾向であるため問題ないと整理した。

また、水たたき部の掘削可能厚さの決定については、河川砂防技術基準(案)設計編 [I]⁵⁾を参考にした。本基準では、水たたき部は洗掘などを防げる長

さと揚圧力に耐える重量（厚さ）を有するものでなければならぬとの記述がある。また、本堰堤の水たたき部の部材厚は0.5 mしかないことから、本体が2分割になるような損傷を与えないためには切欠きを極端に深く入れることは難しいことが判明した。そのため、揚圧力に問題がなく、堰堤に損傷を与えない切欠きの規模として、水たたき部で深さ0.1～0.2 m程度の水路状掘削に留めることとした。

(2) ブロック積み擁壁護岸の安全性検討

床止工における取付擁壁の構造は、堤防の機能を損なわないように自立構造を原則としており、床止工本体が流出しても堤防や高水敷に浸食を及ぼさない構造としている⁵⁾。本擁壁護岸も同様に、コンクリート構造のもたれ式擁壁ではないがブロック積み擁壁であり、経験に基づく設計法⁶⁾により自立構造で施工されていることが確認できた。また、基礎構造についても地盤面より2.5 m程度の根入れがあり、切欠きを行うことで破壊などの問題は発生しないと判断した。

(3) 切欠きを設置することの副次的効果

堰堤などに切欠きを入れることで、上流側の常時堆砂が減少して出水時の堆砂容量を大幅に増加させることができる³⁾。また、中小洪水時には下流へ土砂を流下させ、大洪水時には切欠きで流れがせき上げられるため、流速が弱くなり流れ込む土砂を一時的に堆積させる。その後、出水の後半（減水時）、またはその後の中小出水時にスリットからその土砂が流下することにより、次の洪水に備える事が可能となる。切欠き魚道工事を行う以前の竜の口溪谷は、堰堤から上流区間延長150 m程度までシルトや砂などが堆積して石などは埋没していた。切欠きが設置された場合、状況は一転して細粒分などが流出し河床が低下することから竜の口溪谷の流下能力が増加し、堰堤にかかる背後からの水圧・土圧の影響は減少する。また、シルト分などが抜けることで生物の生息場となる浮石の復活が期待された。

加えて、竜の口溪谷の流量は常時少なく、本堰堤全体を薄い水深で流下するのみであり、増水時以外に本堰堤を水生生物が遡上することはほぼ出来ない。切欠きの設置により、常時少ない流量を堰堤中央部に寄せるため通常時も必要水深が確保でき、増水時も両岸にはより緩流となる空間が出来るため、水生生物の遡上が容易になる。

4. 切欠き魚道の実践

(1) 切欠き形状の詳細検討

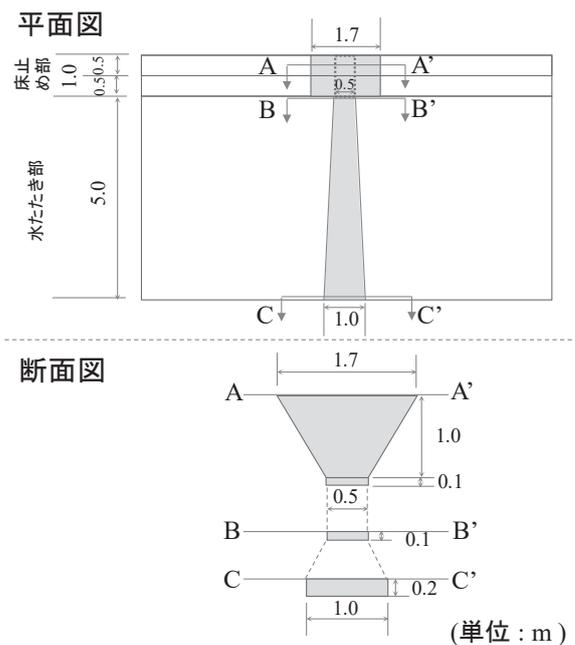
本堰堤は2段構造で、水面落差が合計約2.4 mあったため、切欠きを少しでも深くして水面落差を減少させる必要があった。しかし、前述のように水たたき部の部材厚は0.5 mしかなかったため、部材厚の半分以上(0.3 m以上)を確保した形状として水深0.1～0.2 mの水路、および、床止め部の中央部を高さ1.0 m、上幅1.7 m、下幅0.5 mの逆台形に削り、それぞれを連結させる形状とした(図—3)。水たたき部の水路形状は、床止め部付近では幅0.5 m、深さ0.1 mとし、最下流で幅1.0 m、深さ0.2 mと徐々に深く広くした。そのため、水路は1/50の勾配がついた。床止め部付近の水路では、余水を外に吐く効果も期待できる。また、水路は下流ほど流下断面が大きくなるため流速が小さくなり、魚道の入口で水生生物の水路内への進入を容易にする効果がある。工事は令和元年11月27～30日に実施した(図—4)。

(2) 水生生物を遡上させるための様々な工夫

遊泳力の弱い魚類など様々な水生生物を遡上させる補助機能として、以下の4項目について魚道内に設置を行った。

(a) 水路側面部のオーバーハング

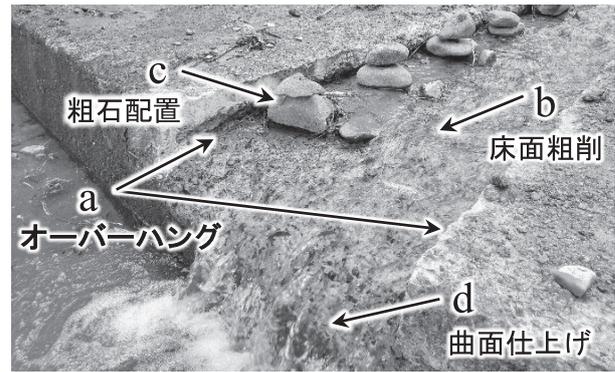
本来、コンクリート工作物に水路を設置する際、そ



図—3 切欠き魚道 平面図(上図)・断面図(下図)(グレー部:コンクリートを掘削する形状)



図一 4 切欠き魚道の完成



図一 5 水生生物の遡上を補助する様々な工夫

の形状は全て直角の矩形としてしまうことが多い。しかしながら、矩形形状は水生生物の遡上にとって有効に機能しない。そこで、水路の側面を垂直にはせず、流速の減少、日陰の創出、鳥類などの捕食者からの隠れ場創出を目的に、側面を奥に削り込むオーバーハングを両側に、床止め部まで設置した（図一 5a、参考：特許公開 2017-133352）。

(b) 水路床面の粗削り仕上げ

水生生物が水路を効率的に遡上するために重要な要素の一つに粗度の設定がある。床面の粗度をより大きくすることで、床面に近づくほど流速が小さくなるため、体高の小さい底生魚などの遡上が容易になる。そこで、掘削後の床面を研磨せずに、粗度をなるべく大きくするために凸凹を残す施工とした（図一 5b）。粗削りはモクズカニなどの甲殻類の遡上にも良い影響を与える。

(c) 切欠き魚道内への粗石設置

水路内に流速の小さい空間を創出するため、粗石を 0.5 m 間隔で配置した（図一 5c）。粗石の背後で水生生物の定位が可能になるほか、水路内に様々な流速の空間を創出する効果も期待される。また、粗石を片岸に寄せてオーバーハング部と連動させることで、底生魚などが潜みながらの遡上も可能となる。

(d) 水脈落下部分の曲面仕上げ

魚道内で水生生物を遡上させるための重要なことの 1 つに水脈が剥離しない（空気だまりが発生しない）構造であることが知られている⁷⁾。例えば、直角形状の隔壁における流水は、ほとんどの場合で剥離を引き起こす。そのため、水脈の剥離を防ぐために水が落下する部分を削り曲面状（アール状）に仕上げた（図一 5d）。

5. 切欠き魚道の効果

切欠き魚道は、魚類に対する遡上効果も高いと考えている。しかし、これまでに本魚道の長期的なモニター

を実施していない。そこで、切欠き魚道設置前後の魚類相に変化が見られるかを複数の対照河川と比較しながら調べ、切欠き魚道の効果の検証を行った。

(1) 切欠き魚道設置前の竜の口溪谷の魚類相

切欠き魚道設置以前の 1989 年、2004～2005 年、2019 年 10 月 20 日の計 3 回竜の口溪谷の魚類相調査が実施されている（表一 1）。1989 年の調査では、広瀬川本川との合流点でドジョウ *Misgurnus anguillicaudatus* が捕まえられたのみで、竜の口溪谷には通常魚類は生息しないとされていた⁸⁾。しかし、2004～2005 年の調査ではアブラハヤの生息が確認され、合流点においてもヤマメが確認されている。魚道設置前の 2019 年 10 月 20 日の調査では、アブラハヤに加えて、ドジョウ、ホトケドジョウ *Lefua echigonia Jordan & Richardson 1907*、オオヨシノボリ *Rhinogobius fluviatilis Tanaka 1925* の出現も確認された。この調査において、多数の魚類が確認されたことは 2019 年 10 月中旬の増水により河川では一時的に水域の連続性が確保されたため、魚類が堰堤を越えて容易に移動したと考えられる。これらを踏まえ、10 月調査で多数の魚類が捕まえられたことは増水の影響によるものであると考えられる。しかし、ホトケドジョウに関しては増水による移動ではないと考える。堰堤設置以前から竜の口溪谷の源流付近に高密度に生息し、上流域の水質悪化によって絶えたと報告されていたが、実際は個体数が僅かではあるものの竜の口溪谷に生息しているものと考

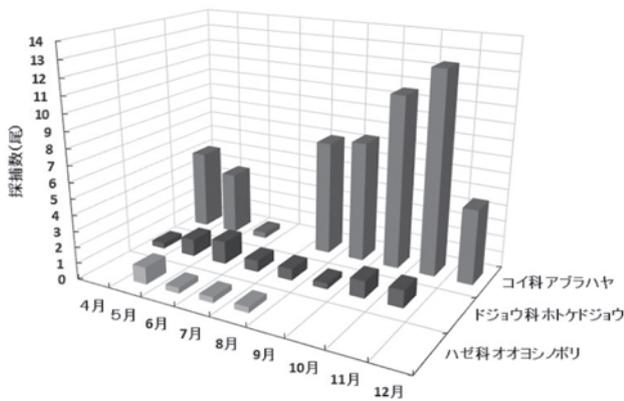
表一 1 竜の口溪谷における過去の調査結果

竜の口溪谷：過去の調査+設置前調査(○は数が不明で出現を表す)				
調査日		高取,1990	棟方ら,2005	2019/10月
確認魚種	コイ科	アブラハヤ	○	23
	サケ科	サクラマス(ヤマメ)	○(合流点)	
	ドジョウ科	ドジョウ	○(合流点)	1
		ホトケドジョウ		3
	ハゼ科	オオヨシノボリ		2

えられる。そのため、先行研究から竜の口溪谷の切欠き魚道設置前の魚類相はアブラハヤとホトケドジョウの2種であると言える。

(2) 竜の口溪谷の魚類相

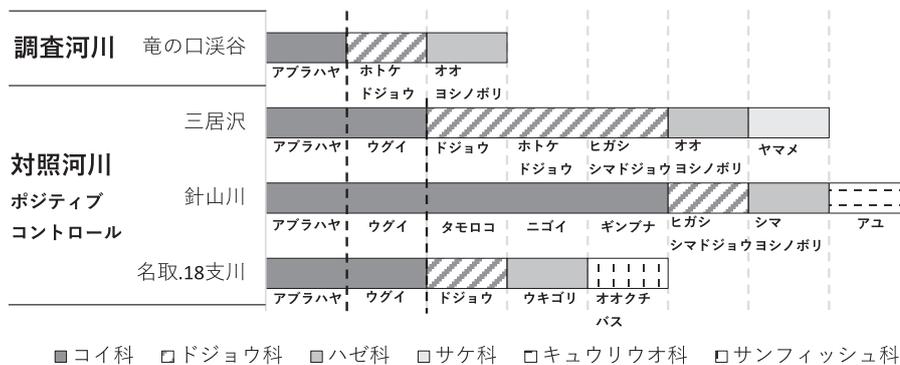
2020年4～12月にかけて、月1回ペースで計9回、竜の口溪谷の切欠き魚道上流部における魚類相調査を実施した。調査によって採捕された魚種は2目3科3種で、アブラハヤ（コイ科）、ホトケドジョウ（ドジョウ科）、オオヨシノボリ（ハゼ科）であった（図—6）。アブラハヤは7月を除き年間を通して出現が確認され、秋季の調査では目視確認による個体を含め多数のアブラハヤが竜の口溪谷に生息していることが確認された。魚道設置前には確認できなかった大型の個体も採捕された。ホトケドジョウは、調査で常時1～4尾が確認され、6月の調査では標準体長が1 cmに満たない稚魚個体を採捕できた。よって、僅かな個体数ではあるが再生産が進んでいることが認められる。オオヨシノボリ及びヨシノボリ類は5～8月にかけて出現し、ハゼ科として計6尾を採捕または目視確認したが、9月以降は確認されなかった。



図—6 竜の口溪谷上流部 魚類調査結果

(3) 周辺河川との魚類相の比較

竜の口溪谷の魚類相と比較するため、対照河川を3河川設定した（三居沢、針山川、名取.18支川）。これらは、河口域に横断工作物を持たず魚類の往来が自由に出来る。また、その立地や河川環境、標高（20～30 m程度）が竜の口溪谷に近くなるように選定しているため、生態学的背景が類似しており、より客観的な比較検証が可能と考えられた。対照河川の魚類相は、コイ科、ドジョウ科、ハゼ科の3科に属する魚類で構成されていることが確認され、種数においては少なくともコイ科で2種、ドジョウ科で1種、ハゼ科で1種が採捕されるという結果になった。現在の竜の口溪谷の魚類相は、コイ科1種、ドジョウ科1種、ハゼ科1種であるため、ドジョウ科とハゼ科においては対照河川と同様の段階にある（図—7）。魚種に関しては、全ての対照河川においてコイ科のアブラハヤとウグイ *Tribolodon hakonensis* が確認された。アブラハヤは竜の口溪谷に多数生息していることが本調査から確認できているため、今後はウグイの出現が切欠き魚道の設置効果を強調する新たな指標になり得ると考える。ウグイはサクラマスと同様に河川残留型と降河回遊型が存在しており、特に降河回遊型のウグイは一定期間の河川生活後に降海し、1年から数年の海洋生活を経て、産卵のための河川遡上を行う⁹⁾という生活史を持つ。そのため、河川遡上の際には積極的に横断工作物に併設された魚道を利用する魚類である。また、サクラマスやシロザケ *O. keta* などのサケ・マス類は遊泳力が高い魚類であるが、コイ科のウグイも高い遊泳力を有している。これらを踏まえ、ウグイや近い将来サクラマス（ヤマメ）も切欠き魚道を利用することができると考えられるため、今後のモニタリングにおける出現が期待される。



図—7 竜の口溪谷と対照河川の魚類相比較

6. おわりに

本研究は、今後の中小河川改修の在り方を見直す重要な鍵である。切欠き魚道は高強度・高機能である上に低コストでの施工を実現しているため、河川管理者がこれまで抱えてきた財政問題を根本的に解消することが可能である。加えて、その施工法も堤体を掘削するのみに比較的簡素である。堤体の部材の厚みによって掘削可能な深度は変わるため、切欠き（スリット）の形状は現場ごとで検討する必要があるが、各種堰場への汎用性を有している。本研究を通して、切欠き魚道による魚類への遡上効果を明らかにする事ができれば、切欠き魚道の存在をより盤石なものとし、我が国が展開する“魚がのぼりやすい川づくり事業”の推進につながる事が期待される。

謝 辞

本研究を行うにあたり、現地での調整などに関して仙台市河川課 大宮裕樹氏、魚道設計・工作物の安全設計に関して、(株)シビルデザインエンジニアリング ケア 橋本聡氏、工事施工に関して、(株)小松建設 小松優氏から有益な情報をいただいた。切欠き魚道設置工事は河川基金助成 (No.2019-5211-024, No.2020-5211-015 代表 林田寿文) の一部を用いて行われた。ここに記して深甚なる謝意を申し上げる。

JCMA

《参考文献》

- 1) 川那部浩哉, 水野信彦, 中村太士. 河川生態学, 2013.
- 2) Yamamoto S., et al. : Genetic differentiation of white-spotted charr (*Salvelinus leucomaenis*) populations after habitat fragmentation : Spatial-temporal changes in gene frequencies. *Conserv Genet.* Aug;5 (4) : 529-38., 2004.

- 3) 石山信雄, 永山滋也, 岩瀬晴夫, 赤坂卓美, 中村太士 : 河川生態系における水域ネットワーク再生手法の整理 : 日本における現状と課題. 応用生態工学会, 19 (2), 143-164, 2017.
- 4) 床止めの構造設計手引き : 国土開発技術研究センター, 1998.
- 5) 河川砂防技術基準 (案) 設計編 : 国土交通省 HP, 2019.
- 6) 道路土工-擁壁工指針 平成 24 年度版 : 日本道路協会, 2012.
- 7) 林田寿文, 本田隆秀, 萱場祐一, 島谷幸宏 : 階段式魚道における落下流と表面流の発生特性とウグイの遊泳行動. 環境システム研究論文集, 28 : 333-8, 2000.
- 8) 高取知男 : 仙台城址・青葉山の魚類, 仙台城址の自然, 仙台市教育委員会, 217-218, 1990.
- 9) 酒井治己 : ウグイ, 山溪カラー名鑑日本の淡水魚, 山と溪谷社, 259-265, 1992.

【筆者紹介】



林田 寿文 (はやしだ かずふみ)
土木研究所
自然共生研究センター
主任研究員, 博士 (環境科学)



棟方 有宗 (むなかた ありむね)
宮城教育大学
生物学教室
准教授, 博士 (農学)



伊藤 峻 (いとう りょう)
宮城教育大学
大学院教育学研究科
高度教職実践専攻



中村 圭吾 (なかむら けいご)
土木研究所
河川生態チーム
上席研究員, 博士 (工学)