事例研究 CASE STUDY

複数の手作り魚道はサケ科魚類の生息場所の回復に寄与したのか？

町田 善康^{1), 6)}*・山本 敦也^{2), 6)}・秋山 吉寛³⁾・野本 和宏⁴⁾・金岩 稔²⁾・
神保 貴彦^{5), 6)}・岩瀬 晴夫⁵⁾・橋本 光三⁶⁾

1) 美幌博物館 〒092-0002 北海道網走郡美幌町字美禽 253-4

2) 三重大学大学院生物資源学研究科 〒514-8507 三重県津市栗真町屋町 1577

3) 国土交通省国土技術政策総合研究所 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3 丁目 1-1

4) 釧路市立博物館 〒085-0822 北海道釧路市春湖台 1-7

5) 株式会社北海道技術コンサルタント 〒065-0043 北海道札幌市東区苗穂町 4 丁目 2-8

6) 駒生川に魚道をつくる会 〒092-0025 北海道網走郡美幌町字駒生

Yoshiyasu MACHIDA^{1), 6)}*, Atsuya YAMAMOTO^{2), 6)}, Yoshihiro B. AKIYAMA³⁾,
Kazuhiro NOMOTO⁴⁾, Minoru KANAIWA²⁾, Takahiko JINBO^{5), 6)}, Haruo
IWASE⁵⁾, Kouzo HASHIMOTO⁶⁾: Did multiple handmade fishways contribute
to salmonid fish habitat recovery? *Ecol. Civil Eng.* 21(2), 181-189, 2019

1) Bihoro Museum, 253-4 Midori, Bihoro-cho, Abashiri-gun, Hokkaido 092-0002, Japan

2) Mie University Graduate School, Faculty of Bioresources, 1577 Kurimamachiya-cho,
Tsu-shi, Mie 514-8507, Japan

3) National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land,
Infrastructure, Transport and Tourism, 3-1-1 Nagase, Yokosuka-shi, Kanagawa 239-
0826, Japan

4) Kushiro City Museum, 1-7 Shunkodai, Kushiro-shi, Hokkaido, 085-0822, Japan

5) Hokkaido Gijutsu Consultant, Co., Ltd., 4-2-8 Naebo-cho, Sapporo, Hokkaido 065-
0043, Japan

6) River Conservation Society of Komaoi, Komaoi, Bihoro-cho, Abashiri-gun, Hokkaido,
092-0002, Japan

Abstract: Effects of multiple fishways made by citizens on the fish community and the redds were examined in the Komaoi River of the Abashiri River system in eastern Hokkaido. Before installing fishways, in the river section above artificial drop structures any salmonid fish nor any redd were found but *Cottus nozawae* and *Lethenteron* sp. were present. After having installed seven handmade fishways in 2012, fish of *Salvelinus leucomaenis* and *Oncorhynchus masou masou* and their redds were observed at the river section. On a quantitative investigation at the river section in 2013 *O. m. masou* was the only collected salmonid species. In 2017 *O. m. masou* and *S. leucomaenis* were collected. Meanwhile, the number of *C. nozawae* seems to be decreased after fishway installations. These results clearly show that multiple handmade fishways installed to the Komaoi River enable the upstream migration of salmonid fish to above artificial drop structures. However, due to river bank protection at the middlestream region, it might cause the delay in the population recovery of a sedentary fish.

Key words: citizen science, freshwater fish, nature restoration, rehabilitation, spawning habitat

2018 年 8 月 23 日受付, 2018 年 10 月 1 日受理

*e-mail: museum@town.bihoro.hokkaido.jp

はじめに

上流から下流までの流程に沿った水域のつながりは、水生生物の移動経路として重要な役割を果たし、生活史の完結、個体群の存続、遺伝的多様性の維持といった様々な生態的役割を担っている (Fagan 2002; Faulks et al. 2011). 特に、海と川とを行き来する生活史を持つ通し回遊魚は、縦断的な河川の連続性に強く依存する (谷口 2007; 井上 2013). そのため、一度、堰堤やダムといった河川の縦の連続性を分断する構造物ができると上下流間の水生生物の移動が阻害され、その結果、生物多様性の低下 (福島 2005)、遺伝的多様性の減少 (Yamamoto et al. 2004; Kanaiwa & Harada 2010)、個体群サイズの縮小・絶滅 (Morita & Yamamoto 2002) など様々な負の影響を及ぼす。北海道には、約 70 種類の淡水魚が生息するが、その大部分は海と川とを行き来する通し回遊魚であり、その影響は顕著に表れる (後藤 1994; 森田・山本 2004; 井上 2013). そのため、魚道設置 (下田・川村 2012) や堰堤の切り下げ (Nakamura & Komiyama 2010) など行政主体の事業が行われ、河川横断構造物を越えて上流域への魚類の遡上が確認されている。

北海道網走郡美幌町を流れる駒生川は、一級河川網走川の 3 次支流である。本河川の河道は、昭和 50 年代から行われた国営・道営明渠排水事業によって直線化され、川底と川岸がコンクリートで護岸された。また、直線化に伴って 9 基の落差工と呼ばれる河川横断構造物が建設された (駒生開基 80 年協賛会 1988; 美幌博物館 2010). これらの落差工は、明渠排水の落差工で、連結ブロック水路に垂直落差を設ける自立鋼矢板式落差工および V 型柵渠水路に垂直落差を設ける現場打ちコンクリート柵型落差工であった。特に、コンクリート柵型落差工は水たたきに一切のプールがなく魚類の遡上を不可能にした。その結果、上流域に良好な河川環境が残されているにも関わらず遡河回遊魚であるサケ科魚類はこれらの落差工を遡上することができず落差工の上流域で絶滅した (鬼丸ほか 2003; 町田ほか 2010). このため 2011 年より地域住民による手作り魚道が設置された。このような住民による川の自然再生は、行政主体の事業に比べて安価であるため日本各地で行われはじめている (小さな自然再生事例集編集委員会 2015; 浜野 2018). しかし、手作りの魚道がどのような魚種の遡上および再生産を可能にし、その結果、魚類の群集構造がどのように変化するかを科学的に検討した知見は乏しい。そこで本研究では、手作り魚道の設置が、魚類の種組成、生息個体数、およ

びサケ科魚類の産卵遡上に及ぼす影響について明らかにするため、魚道の設置前後で比較する。最後に、本研究で得られた知見を基に住民による川の自然再生について考察する。

材料と方法

調査地

手作り魚道の作成と魚道の効果検証は、北海道東部オホーツク海側を流れる網走川の 3 次支流である駒生川で行った (Fig. 1). 本河川の流路延長は 10.0 km で、落差工上流域は豊かな森林に囲まれ、中流域には畑作地帯が広がり、下流域の市街地を抜けて美幌川に合流する (美幌町役場 1989). また、網走川の 2 次支流である美幌川との合流点より 1.3 km 上流は普通河川となっており美幌町によって管理され、9 基の落差工が存在する (美幌町普通河川条例 平成 12 年 3 月 31 日美幌町条例第 32 号). これまでに駒生川流域で確認された生息魚類は、シベリアヤツメ *Lethenteron kessleri*, スナヤツメ北方型 *Lethenteron* sp. N, イワナ *Salvelinus leucomaenis*, サケ *Oncorhynchus keta*, サクラマス *O. masou masou*, ニジマス *O. mykiss*, フナ属の一種 *Carassius* sp., ウグイ *Tribolodon hakonensis*, ヤチウグイ *Rhynchocypris perenurus*, エゾホトケドジョウ *Lefua nikkonis*, フクトジョウ *Barbatula oreas*, ウキゴリ *Gymnogobius urotaenia*, ヌマチチブ *Tridentiger brevispinis*, トウヨシノボリ *Rhinogobius kurodai*, トミヨ属淡水型 *Pungitius* sp. 1 Freshwater type, ハナカジカ *Cottus nozawae* の 16 種類であり、このうち落差工上流に生息するのはハナカジカのみである (鬼丸ほか 2003; 町田ほか 2010).

手作り魚道の設置

事前の踏査によって魚類の遡上に影響があると考えられた高さ 1 m を越える 7 基の落差工に魚道を設置した (Fig. 2). なお、魚道を設置しなかった 2 基の落差工の高さは、下流側からそれぞれ 50 cm および 80 cm で、直下の水深が 20 cm および 15 cm であった。魚道の設置は下流から順に行われ、2011 年に 2 基、2012 年 8 月までに 5 基を設置した。設置した魚道は、落差工の構造に合わせて以下の 3 タイプである。タイプ A は、落差工に木材と石を用いて凹凸のあるスロープを設置し、その下流側に木材と石でできた小型のマウンドを設置したもの (Fig. 2a). このタイプは、底生魚類の遡上を可能にするためにスロープを施した。タイプ B は、落差工から離れた下流側に木材と石を用いて大型のマウンドを設置し

Fig. 1. Study sites. An arrow indicates research area of salmonid fish's spawning redds.
調査地点. 矢印で示した範囲が産卵床調査を行った場所.

たもの (Fig. 2b). このタイプは、落差工の落差が 1.5 m を越え、高い水圧が魚道にかかると予想されたため、大型の石のマウンドを施した。タイプ C は、落差工よりも下流側に木材でできた直立壁を階段状に設置したもの (Fig. 2c). このタイプは、落差工直下以外は薄いコンクリート板を設置した流路をしており、アンカーボルトの打ち込みが困難であったため、コンクリート壁が厚い落差工直下に短い階段状の魚道を施した。タイプ A の魚道は最も下流の落差工 (Fig. 1c の落差工 1) に、タイプ B の魚道は下流から 2・3 番目の落差工 (Fig. 1c の落差工 2 および 3) に、タイプ C の魚道は下流から 6～9 番目の落差工 (Fig. 1c の落差工 6～9) に、それぞれ設置した。これらの魚道の設置作業は、駒生川に魚道をつくる会が中心となり、のべ 230 名で行った。なお、駒生川で施工した魚道は、できるだけ現地で調達できる

材料を用い、人力でかつ 1 日で完成できる構造にし、完成後のメンテナンスも容易にした。もちろん、サケ科魚類や遊泳力の乏しい底生魚も遡上できる構造を目指した。

調査方法

産卵床調査

最上流に位置する落差工 9 よりも上流域で秋産卵のサケ科魚類の産卵床数の踏査を行った (Fig. 1c). 踏査は、魚道設置前には 2009 年 11 月 29 日および 2011 年 12 月 2 日に行い、魚道設置完了後の 2012 年以降には 8 月下旬から 12 月上旬までの間、新規の産卵床が確認されなくなるまで約 2 週間に一度行った。DeVries (1997) および若林ほか (2002) を参考に上流側が掘削され下流側がマウンド上に盛り上がった状態である川底をサケ科魚類の産卵床とみなし数をカウントした。また、産卵床の種判別は、産卵時期と産卵床を掘削するもしくはガード

(a) First construction method (Type A)

(b) Second construction method (Type B)

(c) Third Construction method (Type C)

Before fishway installation

After fishway installation

Fig. 2. Three types of a handmade fishway.
3つのタイプの手作り魚道.

する親魚を観察することで行った。

生息個体数調査

魚道設置による魚類の種組成および生息個体数の変化を明らかにするため、魚道設置前の調査（2009 年）は 2009 年 10 月 4 日に、魚道設置直後の調査（2013 年）は 2013 年 10 月 11 日に、魚道設置 5 年後の調査（2017 年）は 2017 年 10 月 3 日に St. 1～5 において魚類の定量採集を実施した。各調査地点に流程 25 m の調査区を設けた。調査区内の魚類はエレクトリカルフィッシャー（SMITH-ROOT 社 LR-20B 型）を用いて麻痺させ、タモ網（口径 39×深さ 40 cm：網目 3 mm）で捕獲した。魚類の採集は各調査区で 3 回繰り返した。魚類の種同定は中坊（2003）に従った。各調査区内の種ごとの個体数推定には Delury（1947）の除去法を用いた。魚類の採集は事前に北海道知事の許可を得てから行った（2009：

内水面特採第 89 号，2013：内水面特採第 6 号，2017：内水面特採第 10 号）。

結 果

魚道の設置による産卵床数の変化

魚道設置前の 2009 年および 2011 年にはサケ魚類の産卵床は確認されなかったが、7 基の落差工に魚道が設置された 2012 年以降には、サクラマスおよびイワナの産卵床が毎年確認されるようになり（Table 1）、定性的であるが親魚も毎年確認された（Fig. 3）。

魚道設置前後の魚類群集

魚道設置前後の駒生川の魚類群集の変化は Fig. 4 に示した。魚道設置前である 2009 年には、落差工よりも上流の調査地点（St. 1～3）において、通し回遊魚であるサ

Table 1. Annual number of observed spawning redds in salmonid fish between 2009 and 2017. Installation of handmade fishways have been completed in 2012.

2009 年から 2017 年にかけて各年に観察されたサケ科魚類の産卵床数。手作り魚道の設置は 2012 年までに完了した。

Year	Species		
	<i>Oncorhynchus masou masou</i>	<i>Salvelinus leucomaenis</i>	Other salmonid fish
2009	0	0	0
2011	0	0	0
2012	14	1	0
2013	7	3	0
2014	5	3	0
2015	12	3	0
2016	10	4	0
2017	11	9	0

Fig. 3. A breeding pair of fish in *Oncorhynchus masou masou* (a) and *Salvelinus leucomaenis* (b) in the upstream of the Komaoi River.

駒生川上流で観察されたサクラマスの雌雄ペアとイワナの親魚。

Fig. 4. Comparisons of number of individuals of four fish species in the Komaori River before (4 October 2009, black bars), right after (11 October 2013, gray bars) and after 5 years (3 October 2017, empty bars) installing handmade fishways, estimated by a method proposed by Delury (1947). Error bars represent the 95% CI.

手作り魚道設置前後における駒生川の4魚種生息個体数の比較。棒グラフはDelury (1947) の除去法によって推定された生息個体数。黒色のバーは魚道設置前 (2009年10月4日), 灰色のバーは魚道設置直後 (2013年10月11日), 白のバーは魚道設置5年後 (2017年10月3日)。エラーバーは推定生息個体数の95%信頼区間を表す。

クラマスおよびイワナの生息は全く確認できなかった (Fig. 4a, b). また、サクラマスは落差高 6 より下流 (St. 4 ~ 5), イワナは落差工 1 より下流 (St. 5) にのみ確認され、特に落差工 1 より下流には多くのサケ科魚類が遡上できずにいることが明らかになった (Fig. 4a, b). 一方、落差工上流域 (St. 1 ~ 3) には、ハナカジカおよびカワヤツメ属の一種のみが確認された (Fig. 4c, d).

魚道設置直後の 2013 年には、落差工 9 より上流域にサクラマスの生息を確認したが、イワナは 1 個体も採集できなかった (Fig. 4a, b).

魚道設置 5 年後である 2017 年には、落差工上流の地点 (St. 1 ~ 3) のすべての調査地点でサクラマスおよびイワナの生息が確認された (Fig. 4a, b). 一方、ハナカジカの生息個体数は魚道設置後に減少する傾向にあり、カワヤツメ属の一種の生息個体数は魚道設置前後で大きな違いはなかった (Fig. 4c, d). また、2017 年の St. 5 においてのみフクドジョウが採集され、生息個体数は 7.1 ± 0.2 と推定された.

考 察

1997 年の河川法の改定に伴い一級河川及び二級河川において、これまでの治水・利水に加えて河川環境の維持・保全が明文化され、水生生物に配慮した川づくりが行われるようになった。また、駒生川のような普通河川においても市町村の条例によって河川環境の整備と保全が示されている。しかし、河川法改訂や条例の策定以前に施工された落差工などの河川横断構造物については、改築などの機会がない限り魚道の設置などの配慮が行われない。本研究ではサクラマスおよびイワナが駒生川に設置した木材や石などを利用した手作りの魚道を遡上できたことを明らかにした。また、流域に連続して存在する複数の落差工に魚道を設置することで遡上の困難な状況が緩和し、落差工よりも上流域に残された良好な生息地へサクラマスおよびイワナが移動できたことを実証した。

しかし、魚道を設置してから分布範囲の拡大や利用可能な生息適地の増加の恩恵を受けられるまでの期間の長さは、魚類の生態に応じて変化すると考えられた。豊島ほか (1996) は、生息場所造成後、サクラマスやウグイのような移動性の高い遊泳魚では個体群の回復が速やかに起こるのに対し、ハナカジカのように定住性の高い陸封型の底生魚の変化には長い時間が必要であることを明らかにしている。駒生川においても、魚道の設置完了直

後 (2013) の調査では、移動性の高い遊泳魚であるサクラマスの生息個体数が増加した一方で、ハナカジカの個体数に変化は見られなかった。しかし、2017 年に行われた魚道設置 5 年後の調査では、ハナカジカの個体数が魚道設置前の 2009 年に比べて減少する傾向があった。魚道の設置は、すべての魚類に恩恵をもたらすわけではなく、ハナカジカのように生息個体数が減少することもあった。ハナカジカ、サクラマス、イワナの 3 種は肉食性魚類で、水生昆虫や小型魚類などを捕食する (川那部・水野 1989)。これら食性が大きく重複する 3 種間で種間競争が起こった結果、ハナカジカが減少する傾向が見られた可能性が考えられた。しかし、3 種間で直接捕食や餌資源の競争など、何が起こったのかは明らかになっておらず、今後詳細な調査が必要である。

また、魚道設置 5 年後の調査 (2017) では、駒生川においてサクラマスに遅れてイワナの生息個体数の回復も確認された。産卵床数も同様にイワナにおいては年々増加が認められ、2017 年には最も多い結果となった。駒生川中流域は、川底と川岸の三面がコンクリートで固められており、このような三面護岸は急流による洗掘に対して最も経済的で有効な工法であることから日本各地の山地小河川で施工された (玉井 1993)。しかし、三面護岸は、流路の構造を著しく単純化し、魚類にとって極めて不適当な環境となる (井上・中野 1994; 中野・井上 1995)。駒生川の三面護岸は、明渠排水事業で整備されたことから山地小河川とは施工理由が異なるが、水生生物にとっては同様の弊害が認められると考えられる。Morita et al. (2016) は、イワナはサクラマスに比べて流速の遅い環境を好み、連続した遊泳時間も短いことを明らかにした。三面護岸が設置された駒生川中流域では流速が非常に速く、この速い流れがイワナの個体群の回復を遅らせた要因であった可能性があると考えられる。近年、このような三面護岸では、川底を固めていたコンクリートの除去や木材を川底に設置することで流速に多様性を生み出し魚類の生息数を改善させている (豊島ほか 1996; 下田ほか 2011)。駒生川においても木材を設置した場所で流速が遅くなり、イワナの生息数の回復が認められた (町田 2014)。そのため、今後、中流域の三面護岸された場所も解消し、駒生川に魚類の生息場所を増やしていくことができれば更なる魚類群集の回復が期待できると考えられる。

近年、環境への意識が高まり、住民参加の自然再生の取り組みが様々な場所で行われている (小さな自然再生事例集編集委員会 2015; 浜野 2018)。本研究では住民

による複数の手作り魚道が遡上できなかった上流域への魚類の移動を可能にすることを実証した。駒生川では今後も住民参加による様々な河川環境再生の手法を検討し、有効性および普及性の高い河川環境再生手法の開発に向けて知見を蓄積したいと考えている。

謝 辞

ふるさとの川を守りたい。そんな気持ちを持つ多くの方に活動を支援して頂いた。駒生川を泳ぐ魚たちに代わって活動を支えて頂いた方への感謝の気持ちをここに記す。また、臼井 平氏、枝澤則之氏、菅原 蓮氏、長谷川善行氏には、現地調査で大変お世話になった。さらに、英文校閲では、Bastide Frederic 氏にご意見頂いた。最後に、本研究を進めるにあたってセブンイレブン記念財団および河川財団より助成を頂き、北海道より「北海道新しい公共支援事業モデル事業（美幌川自然再生事業）」としての補助を受けた。

摘 要

北海道東部網走川水系の3次支流駒生川において、住民が設置した複数の手作り魚道の効果を検証するため、魚道設置前後の魚類の種組成、生息個体数、およびサケ科魚類の産卵床の分布を調査した。その結果、魚道設置完了前の2009年および2011年には、駒生川の落差工よりも上流域には、サケ科魚類が全く生息しておらず、ハナカジカとカワヤツメ属の一種のみが生息していた。また、サケ科魚類の産卵床も確認できなかった。2012年に7基の魚道の設置が完了した後、落差工よりも上流域でサクラマスおよびイワナの親魚と産卵床がそれぞれ確認された。また、2013年に行った調査では、落差工上流域にサクラマスの生息を確認した。さらに、魚道設置5年後の2017年には、駒生川においてサクラマスおよびイワナの生息が確認でき、ハナカジカの生息個体数は減少する傾向にあった。

以上の結果から、駒生川に設置された木材や石などを利用した手作りの魚道は、遡上できなかった上流域へのサクラマスおよびイワナの遡上を可能にした。しかし、定住性の高い魚類に関しては回復に時間がかかっており、中流域の三面護岸が影響していると考えられた。

引用文献

美幌博物館 (2010) 魚っと！魚々っと！大公開!! 美幌川に暮

- らす魚たち。美幌博物館、北海道。
 美幌町役場 (1989) 美幌町百年史。美幌町役場北海道。
 Delury D.B. (1947) On the estimation of biological populations. *Biometrics* **3**: 145-167.
 DeVries P. (1997) Riverine salmonid egg burial depths: review of published data and implications for scour studies. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **54**: 1685-1698.
 Fagan W.F. (2002) Connectivity, fragmentation, and extinction risk in dendritic metapopulations. *Ecology* **83**: 3243-3249.
 Faulks L.K., Gilligan D.M. & Beheregaray L.B. (2011) The role of anthropogenic vs. natural in-stream structures in determining connectivity and genetic diversity in an endangered freshwater fish, Macquarie perch (*Macquaria australasica*). *Evolutionary Applications* **4**: 589-601.
 福島路生 (2005) ダムによる流域分断と淡水魚の多様性低下—北海道全域で過去半世紀のデータから言えること。日本生態学会誌 **55**: 349-357.
 後藤晃 (1994) 川と湖の魚たち—由来と適応戦略。(石城謙吉・福田正己編) 北海道・自然のなりたち, pp. 150-166. 北海道大学図書刊行会, 北海道。
 浜野龍夫 (2018) 神戸住吉川 水の生きものと魚道の図鑑。特定非営利活動法人 豊かな森川海を育てる会, 兵庫。
 井上幹生 (2013) 河川生物の生態 魚類。(中村太士編) 河川生態学, pp. 123-143. 講談社サイエンティフィク, 東京。
 井上幹生・中野繁 (1994) 小河川の物理環境構造と魚の微生物息場所。日本生態学会誌 **44**: 151-160。
 Kanaiwa M. & Harada Y. (2010) Theoretical study of fitness reduction in stream-dwelling fish by fixation of slightly harmful mutations under habitat fragmentation. *Journal of Agriculture Science, Tokyo University of Agriculture*. **55**: 10-18.
 川那部浩哉・水野信彦 (1989) 日本の淡水魚。山と溪谷社, 東京。
 駒生開基 80 年協賛会 (1988) 駒生開基 80 年 駒生地区土地改良完工 駒生のあゆみ。駒生開基 80 年協賛会, 北海道。
 町田善康 (2014) よみがえる！美幌川—美幌町の手作り魚道—。(北海道淡水魚保護ネットワーク・美幌博物館) 手作り魚道から始まる地域の自然再生, pp. 8-9. 美幌博物館, 北海道。
 町田善康・桑原禎知・鬼丸和幸 (2010) 北海道東部におけるヤチウグイ *Rhynchocypris perenurus* (Pallas) の分布。美幌博物館研究報告 **17**: 51-64。
 森田健太郎・山本祥一郎 (2004) ダム構築による河川分断化がもたらすもの—川は森と海をつなぐ道—。(前川光司編) サケ・マスの生態と進化, pp. 281-312. 文一総合出版, 東京。
 Morita K. & Yamamoto S. (2002) Effects of habitat fragmentation by damming on the persistence of stream-dwelling charr populations. *Conservation Biology* **16**: 1318-1323.
 Morita K., Sahashi G. & Tsuboi J. (2016) Altitudinal niche partitioning between white-spotted charr (*Salvelinus leucomaenis*) and masu salmon (*Oncorhynchus masou*) in a Japanese river. *Hydrobiologia* **783**: 93-103.
 中坊徹次 (2003) 日本産魚類検索 全種の同定 第3版。東海大学出版会, 神奈川。
 Nakamura F. & Komiyama E. (2010) A challenge to dam improvement for the protection of both salmon and human livelihood in Shiretoko, Japan's third Natural Heritage Site. Land-

- scape and Ecological Engineering **6**: 143-152.
- 中野繁・井上幹生（1995）河道の直線化改修がサクラマス幼魚の微生息場所に与える影響. 魚と卵 **164**: 23-32.
- 鬼丸和幸・羽根石晃彦・八巻正宜・友田邦敏（2003）美幌川水系の淡水魚類相. 美幌博物館研究報告 **10**: 11-30.
- 下田和孝・神力義仁・川村洋司・佐藤弘和・長坂晶子・長坂有（2011）魚類の生息環境の改善を目的とした河川回復事業の長期的効果. 応用生態工学会 **14**: 123-137.
- 下田和孝・川村洋司（2012）網走川支流ドードロマップ川における魚道設置前後のサクラマス産卵床の分布（短報）. 北水試験報 **85**: 41-46.
- 玉井信行（1993）次世代型の河川改修をめざして.（玉井信行・水野信彦・中村峻六編）河川生態環境工学—魚類生態と河川計画一, pp. 239-241. 東海大学出版会, 東京.
- 谷口義則（2007）河川生態系と淡水魚類の生息環境. 名城大学理工学部研究報告 **47**: 27-30.
- 「小さな自然再生」事例集編集委員会（2015）できることからはじめよう 水辺の小さな自然再生事例集. 日本河川・流域再生ネットワーク, 東京.
- 豊島照雄・中野繁・井上幹生・小野有五・倉茂好匡（1996）コンクリート化された河川流路における生息場所の再造成に対する魚類個体群の反応. 日本生態学会誌 **46**: 9-20.
- 若林輝・中村智幸・久保田仁志・丸山隆（2002）中禅寺湖流入河川におけるサケ科魚類3種の産卵生態. 魚類学雑誌 **49**: 133-141.
- Yamamoto S., Morita K., Koizumi I. & Maekawa K. (2004) Genetic differentiation of white-spotted charr (*Salvelinus leucomaenis*) populations after habitat fragmentation: spatial-temporal changes in gene frequencies. Conservation Genetics **5**: 529-538.