原著論文 ORIGINAL PAPER

床固工の改良が落下魚類の生存率へ与える影響

佐川志朗^{1)*}・近藤 智²⁾・渡辺雅俊²⁾・三沢勝也¹⁾・中森 達³⁾

1) 株式会社ドーコン環境保全部 〒004-8585 札幌市厚別区厚別中央1条5丁目4番1号

2) 北海道開発局石狩川開発建設部 〒060-8541 札幌市中央区北2条西19丁目

3) 有限会社北海道生物地理 〒060-0809 札幌市北区北9条西4丁目5-2-202

Shirou SAGAWA^{1)*}, Satoshi KONDOU²⁾, Masatoshi WATANABE²⁾, Katsuya MISAWA¹⁾ and Touru NAKAMORI³⁾: The effect of groundsill improvement on falling fish survival. *Ecol. Civil Eng.* 6(2), 121-129, 2004.

1) Docon Co., Ltd., Environmental Assessment Dept., 1-5-4-1, Atsubetsuchuuou, Atsubetsu, Sapporo 004-8585, Hokkaido, Japan

2) Hokkaido Development Bureau Ishikari-river Development and Construction, N2 W19, Sapporo 060-8541, Hokkaido, Japan

3) Hokkaido Biogeography Co., Ltd., 5-2-202 N9 W4, Sapporo 060-0809, Hokkaido, Japan

Abstract: This study examined the effects of a concrete groundsill on the survival rate of fish falling off the groundsill. The survival of river sculpin (*Cottus nozawae*), Siberian stone loach (*Noemacheilus barbatulus toni*), and four age groups of 0+, 1+, 2+ and 3+ of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in Shirigishimanai Stream, Hokkaido, Japan, was surveyed before improvement in November 2000. Immediately after the experiment, we observed the survival of the fish in a tank for 10 days. The survival analysis using the Kaplan-Meier method and Log-rank test showed that rainbow trout 0+ juveniles suffered seriously from falling off the groundsill (survival rate: 73%). After constructing a water cushion on the apron, the water on the apron became deeper (before: 11.3 cm, after: 77.9 cm) and the current velocity slower (before: 0.75 m/sec, after: 0.09 m/sec). We conducted a second survey after the construction using 0+ juvenile rainbow trout in November 2002. The improvement increased the survival of juvenile fish (survival rate: 95%). Our study suggests that the reduced height and the water cushion on the concrete apron should benefit juvenile salmonids during up- and downstream migration.

Key words: dam construction, dropping effect, groundsill, improvement, salmonid migration

2003年3月10日受付, 2003年10月29日受理

* e-mail: sagawa44@pwri.go.jp

* 現所属: 独立行政法人土木研究所自然共生研究センター (交流研究員)

〒501-6021 岐阜県羽島郡川島町官有地無番地

Present address: Aqua Restoration Research Center, Public Works Research Institute, Mubanchi, Kanyuuchi, Kawashima-cho, Hashima-gun, Gifu 501-6021, Japan

はじめに

砂防ダム等の堰が魚類に与える影響については、遡上阻害について(下田ほか 1993; 中野ほか 1995; 前川・高橋 1997; Saito & Nakano 1999), それに伴う堰上流域での個体群の縮小・絶滅について(Morita & Yokota 2002; Morita & Yamamoto 2002) 等が報告されている。しかし、魚類の生活史、特に回遊ループを考えた場合、産卵等に伴う上流域への移動(遡上)のみならず、成長等に伴う下流域への移動(降下)も同様に確保されていることが重要である(水野 2000; 森 2000)。日米欧諸国においては、魚類の遡上に配慮した魚道の設置や、ダム上流部で孵化・浮上した稚魚が安全に降下できるように発電タービン等への迷入防止対策が検討され、実験・実施・評価例も多数報告されている(財団法人ダム技術センター 1990a, b; 財団法人ダム水源地環境整備センター 1992; Kynard & O'Leary 1993; ゴゼほか 1994; Kynard & Buer-kett 1997; 新村 2000; 竹門 2000)。しかし、降下迷入を完全に防止することは困難であり、砂防ダムや床固工のように流水が水通天端部に限られる堰の場合には、そこを通過する以外に魚類が下流へ移動する手段はない。堰から直接魚類が降下(落下)した際の魚体への影響に関する知見としては、アメリカやカナダでの大型の堰(高さ 20 m 以上のダム)を対象とした事例(トラヴァード・ラリニエ 1994)や我が国における落差 67 m の滝を対象とした事例(Shirahata 1970)が知られている。また、我が国の治山・治水事業でこれまで流域全体に多数設置されてきた 20 m 以下の砂防ダムや床固工に関する知見としては、土居・中村(2001)のイワナ(*Salvelinus leucomaenis*)を対象とした研究が知られている。さらに、これら 20 m 以下の堰に着目した研究は実験施設でも行われており、Shirahata (1970) はニジマス(*Oncorhynchus mykiss*)を、土居ほか(2002, 2003)はイワナを用いた落下実験を行っている。しかし、この知見をそのまま、構造や物理環境特性が変異に富む個々の河川工作物に当てはめることは適当ではない。さらに落下の影響を回避させることを目的に堰の改良施工を実施した事例はみられない。

本研究では、河川に設置されている落差 2 m の堰において、ニジマスと対象河川の在来種であるハナカジカ(*Cottus nozawae*)およびフクドジョウ(*Noemacheilus barbatulus toni*)を用いた落下実験を行い、落下が魚類に与える影響を検討した。さらに、影響回避のために堰を改良し、追跡調査により効果の検証を行った。対象河川では、スナヤツメ(*Lethenteron reissneri*)、ニジマス、アメ

マス(*Salvelinus leucomaenis*)、エゾウグイ(*Tribolodon ezoe*)、ハナカジカおよびフクドジョウの生息が確認されており、現存量ではフクドジョウが優占する(北海道開発局石狩川開発建設部 未発表)。

本河川の魚類群集構造を踏まえ、ここでは以下のことを言及しておく。対象河川におけるサケ科魚類の在来種はアメマス 1 種であり、ニジマスは外来種である。北米ではニジマスが移入されることにより近縁のサケ科魚類が競争排除されることが多数報告されており(中野・谷口 1996)、我が国でもニジマスの侵入が在来サケ科魚類へ影響を及ぼすことが危惧されている(北野ほか 1993; 鷹見・青山 1999)。したがって、在来生態系保全の観点からは、落下の影響を回避すべき種はアメマスであることを強調したい。しかし、本研究ではアメマスを年級群ごとに入手することができず、本種を対象とした落下実験を行うことができなかった。今回得られたニジマスの落下影響知見がアメマスの場合と同様であるとは限らないが、同じサケ科魚類としてアメマスにも同程度の影響が及ぶことと考えたい。また、対象河川におけるアメマスの捕獲数は近年減少しており(北海道開発局石狩川開発建設部 未発表)、個体群を維持するためには人為的構造物が原因となる減耗は可能な限り排除することが不可欠である。

材料と方法

調査地

調査地は、北海道空知支庁管内を流れる尻岸馬内(シリギシマナイ)川に設置された堰(床固工)である(Fig. 1)。尻岸馬内川は石狩川水系空知川の支流(2次水流)であり、流域面積が 45.6 km²、流路延長が 16.0 km の山地溪流である。堰は空知川との合流点に設置されており、2 段構造となっていた(Fig. 2a)。上流側の落差は水通天端から垂直に 2 m 有り、落下部は延長 8 m のコンクリート水叩となっていた。下流側の落差は 0.36 m を有し、落下部は水深 1.34 m のプールとなっていた。また、堰の左岸側にはアイスハーバー型の魚道が設置されており(以降、左岸側の魚道を魚道部といい、右岸側の 2 m の直角落差部を落差工部という)、魚道部では魚類の遡上・降下が可能である。

落下実験

落下実験は、2000 年 11 月 14, 15, 20 および 21 日に実施した。各日も落下実験に先立って、堰の落差工部の物理環境(水深および流速)を測定した。測定場所は

Fig. 1. Location of the groundsill studied in Shirigishimanai Stream, Hokkaido, Japan. The solid arrows indicate the direction of stream flow.

水通天端の越流部，落下流水の最大流速部（流水の落下箇所直上）および水叩部とした．測定箇所数は落差工部の横断方向に等間隔で区分した11箇所とした．水深は，計測棒を用いて最小単位1 cmで，流速は電流速計CM-ISX型（東邦電探株式会社）を用いて最小単位0.01 m/secで測定した．供試魚はニジマス，ハナカジカおよびフクドジョウの3種とし，堰から落下させ水叩を通過させた個体（落下実験群）と落下および通過をさせない個体（対照実験群）を用意した（Table 1）．対象河川ではアメマスの生息数が少なく，捕獲が困難であったため，その代用として，養殖場よりニジマスの4つの年級群（0+，1+，2+，3+）を購入した．ハナカジカおよびフクドジョウについては，対象河川よりエレクトリックショッカー（Model 12, Smith-Root Inc.）を交流，200 Vの設定で用い採捕した．落下実験群と対照実験群は，各10個体以上収集するように努めたが，ハナカジカについては捕獲尾数が8尾に留まったため，すべて落下実験群とした（Table 1）．なお，捕獲調査ではハナカジカおよびフクドジョウ以外の魚種は捕獲されなかった．供試魚は，魚類・甲殻類麻酔剤FA 100（田辺製薬株式会社，希釈率1/2,000）に浸した後，全長（mm）を計測した．ニジマ

スについては全長計測に併せて既存知見との比較のために体重（g）も記録した．計測後，全個体に個体識別のためのリボンタグおよび回収のための釣針（Timco fly hooks TMC 102Y #9，かえし付き）を背鰭基底前縁部に装着した．以上は落下実験の約4時間前に行った．

現地での落下実験の手順は次の通りである．供試魚を現地の水を注いだ水槽に入れ水通天端まで運んだ後，その中から落下個体を無作為に1尾抽出し，水の入ったバケツの中に移した．次に個体のタグ番号を確認すると共にリール付きルアー竿（ライン2号，先端にスナップサルカン付き）に速やかに連結し，上流側落差の水通天端の越流部にバケツの水を混入するように落下させた．落下個体はリボンタグを目で追うことにより水叩部での滞留時間（秒）を測定し，下流側の落差を降下した直後にラインを手繰り寄せ，タモ網で再捕獲した．なお，落下から再捕獲までの間においては，個体と釣竿を連結するラインが水流の負荷を受けないようにライン操作者が細心の注意を払った．

データの解析として，実験期間中の物理環境変数および各実験群の滞留時間の比較に一元配置分散分析を，多重比較にシェフェ検定を用いた（有意水準5％）．なお，

Fig. 2. Photographs of the groundsill in Shirigishimanai Stream (a) before and (b) after the improvement.

滞留時間は正規性を確保するために対数変換を行った。

生存分析

落下実験後、個体の観察を水槽内で実施した。Shirahata (1970) は、ニジマスを対象とした落下実験で1週間の飼育期間を設けている。この研究の場合、落下個体は最初の1時間で致死に到るケースが多かったが、1週間の期間中に死亡する個体も出現したことが報告されている。以上を加味して本研究での飼育期間は10日間とした。落下実験群と対照実験群の飼育条件（水槽サイズ、水槽設置場所、水温および水質）はすべて統一し、水換えは2日に1回の割合で行った。また、個体間の摂取エネルギー量の不均一を防ぐために飼育期間中は無給餌とした。以上の観察期間中における個体の死亡状況より、 Kaplan-Meier法により生存率曲線を求め、ログランク検定（有意水準5%）により各曲線の差を検定し（以上を生存分析という）、落下の影響を評価した。なお、落下実験群と対照実験群を比較する条件として、落下実験群を

再捕獲する際に与えた魚体へのストレスは考慮しなかった。

堰改良後の効果検証実験

生存分析の結果、ニジマスの0+稚魚に落下の影響が示唆されたため、北海道開発局石狩川開発建設部により2001年1月に堰の水叩部に副堤を設置する改良施工が実施された (Fig. 2b, 詳細は考察を参照)。この改良された堰を評価するために、改良前に影響がみられたニジマスの0+稚魚を対象とした落下実験および生存分析を2002年11月23日に前項と同様の方法で実施した。ニジマスは落下実験群と対照実験群で各20尾とした。なお、生存分析では改良前後の飼育水温が異なったため（改良後平均水温±標準偏差：12.9℃±1.6, 改良前平均水温±標準偏差：5.7℃±2.0, $t=-12.54$, $df=38$ $P<0.001$ ）、改良前後の落下実験群間の生存率の比較のみで改良施工の是非を判断するには問題がある。従って、改良後の各実験群間および改良前後の落下実験群間の2ケースにおいて生存分析を実施し、それらの解析結果から改良施工の効果を相補的に考察した。

改良前後の物理環境変量を比較する際には、データに正規性が認められた場合には t 検定を、正規性が認められなかった場合にはマンホイットニーの U 検定を用いた（有意水準5%）。

結 果

堰改良前の実験結果

堰の改良前実験時における河川流況は、最初の3日間の11月14, 15, 20日（ニジマス実験期間）には概ね安定していたが、実験4日目の11月21日（ハナカジカおよびフクドジョウ実験期間）には降雨の影響で変化が認められた (Table 1)。すなわち、水深は有意に大きくなり（水通天端部： $F=18.52$, $df=3, 40$, $P<0.05$, 水叩部： $F=18.77$, $df=3, 40$, $P<0.05$ ）、流速も有意に大きくなった（水叩部： $F=7.76$, $df=3, 40$, $P<0.05$ ）。

生存分析の結果、ニジマスの0+稚魚において落下実験群と対照実験群との間に有意な差が確認され（ $\chi^2=4.46$, $df=1$, $P<0.05$ ）、落下実験群の生存率は73%にまで低下した (Fig. 3a)。一方、ニジマス1+, 2+, 3+, ハナカジカおよびフクドジョウについては、生存率が100%もしくはそれに近く、対照実験群との間にも有意な差が認められなかった（ $\chi^2=1.07$, $df=1$, $P=0.30$, Fig. 3b, c）。

各落下実験群の水叩部での滞留時間には有意な差が確

Table 1. Mean and SD of environmental variables (above) and the median and range of fish size and weight for each group (below).

Environmental variables		14 November 2000	15 November 2000	20 November 2000	21 November 2000
Depth (cm)	Crown	6.0±1.8 ^b	7.7±2.4 ^b	7.8±2.6 ^b	13.2±2.7 ^a
	Apron	11.5±1.5 ^{bc}	14.0±1.9 ^b	11.3±1.7 ^c	17.2±3.0 ^a
Velocity (m/sec)	Crown	1.20±0.30 ^a	1.54±0.33 ^a	1.26±0.22 ^a	1.49±0.30 ^a
	Apron	0.86±0.34 ^b	0.79±0.62 ^b	0.80±0.28 ^b	1.63±0.59 ^a
	Maximum flow	3.02±0.34 ^b	3.30±0.47 ^{ab}	2.93±0.16 ^b	4.19±1.86 ^a
		<i>O. mykiss</i>		<i>C. nozawae</i>	<i>N. barbatulus toni</i>
Measurements for each group		3 +	2 +	1 +	0 +
Falling fish		N=10	N=14	N=15	N=15
Total length (mm)		481	273	183	85
		(425-524)	(258-296)	(176-197)	(72-91)
Body weight (g)		1297.5	220	75	5
		(945-1465)	(185-260)	(65-85)	(4-8)
Control		N=10	N=15	N=15	N=15
Total length (mm)		464.5	277	180	76
		(448-524)	(262-287)	(169-187)	(60-94)
Body weight (g)		1207.5	225	80	5
		(1005-1505)	(190-245)	(55-90)	(3-6)

Note: The environmental variables labeled with the same superscript do not differ significantly (Scheffe's test, $P>0.05$).

認され ($F=56.39$, $df=5, 69$, $P<0.05$), ニジマス 0 + 稚魚および 3 + の滞留時間が他の落下実験群のものと比較して大きく, 落下後に水叩部に長く滞留する傾向がみられた (Fig. 4). 一方, ハナカジカおよびフクドジョウの滞留時間は他の落下実験群と比較して小さく, 床固部を速やかに降下する傾向がみられた (Fig. 4).

堰改良後の実験結果

堰の改良後実験時における水通天端部の流況は, 水深には変化が認められなかったが ($t=-1.94$, $df=14$, $P=0.073$), 流速は改良前よりも有意に小さかった ($U=24$, $P<0.05$, Fig. 5). 最大流速部には有意差は認められなかったものの ($U=46$, $P=0.341$), 1.5 m/sec 以下という施工前には測定されなかったような小さい値も認められた (Fig. 5). また, 落下部の乱流は, 目視による限り, 施工前よりは減勢がみられた (Fig. 2). 施工後に顕著な変化が認められたのは水叩部であり, 副堤設置により深みが創出され, 水深は平均値で 11.3 cm が 77.9 cm と有意に大きくなり ($t=-43.30$, $df=20$, $P<0.05$), 流速は中央値で 0.75 m/sec が 0.09 m/sec と有意に小さく変化した ($U=0$, $P<0.05$, Fig. 5).

以上の条件の下, 落下実験および生存分析を実施した結果, 改良後の落下実験群と対照実験群の間には計 4 個体 (落下実験群: 1 個体, 対照実験群: 3 個体) の死亡が認められたものの, 有意差は確認されなかった (生存

率: 落下実験群=95%, 対照実験群=85%, $\chi^2=1.11$, $df=1$, $P=0.292$, Fig. 6a). また, 落下実験群の改良前と改良後では, 生存率が 73% から 95% に上回ったが, 有意差は確認されなかった ($\chi^2=3.35$, $df=1$, $P=0.067$, Fig. 6b).

考 察

ニジマスの落下影響とその要因

堰の改良前の落下実験において, ニジマス実験期間である 3 日目までの流況には大きな違いがみられなかったが, ハナカジカおよびフクドジョウの実験日である 4 日目にはニジマス実験時の流況とは有意な違いが生じた (詳細は結果を参照). したがって, ニジマスについては各年級群間で生存率の差異を比較・考察することが可能であるが, ニジマスとハナカジカおよびフクドジョウの生存率の差異は, 各群の落下衝撃耐性の違いだけで説明することはできない. したがって, ニジマスとハナカジカおよびフクドジョウは分けて考察することとした.

堰改良前の落下実験および生存分析の結果, ニジマスの 0 + 稚魚においてのみ落下実験群と対照実験群との間に有意な差が確認され, ニジマスの稚魚は落下による影響を受けたことが示唆された. Shirahata (1970) は, 本研究で対象とした堰と同一の高さ 2 m の乾いたコンクリ

Fig. 3. The survival rate of fish falling off the groundsill before the improvement: (a) rainbow trout 0+ (total length (TL) 60–94 mm), (b) rainbow trout 2+ (TL 258–296 mm), (c) rainbow trout 1+ (TL 169–197 mm), rainbow trout 3+ (TL 425–524 mm), river sculpin (TL 35–136 mm), and Siberian stone loach (TL 95–128 mm). Open and solid circles indicate the survival rates of control and falling fish, respectively.

ート壁面への自由落下実験で、本研究で対象とした0+稚魚（体重中央値5g）より大きい体重16gの実験個体群において、生存率が約90%であり、さらに成長が進んだ68gの個体群および401gの個体群においては、100%の生存率であったことを報告している。本研究では0+稚魚（体重中央値5g）の生存率が73%であり、1+と2+（体重中央値75gと220g）および3+（体重中央値1297.5g）の生存率が100%もしくはそれに近かった。以上の結果は、若齢個体群の生存率が低かったという点でShirahata (1970) の知見と一致した。これら

Fig. 4. Observed time (log₁₀-transformed) on the apron after falling, given as the mean and standard deviation (vertical bars). Columns with the same letter do not differ significantly (Scheffé's test, $P > 0.05$).

若齢個体群の生存率が他の年級群よりも低い原因としては、成魚・未成魚と比較した場合、結合組織および脂肪組織等の形態形質が未分化なことが指摘されている (Shirahata 1970)。

現地の観察では、0+稚魚は落下後動かずに横になる個体が多く、流れの落下箇所の乱流に巻き込まれる現象（以下、前庭部滞留という）が度々みられたが、その他の年級群については、落下後も遊泳行動がみられ水叩部をすみやかに降下した。この0+稚魚でみられた前庭部滞留は、実験時に測定した水叩部での滞留時間に反映されており、0+稚魚の滞留時間が他の落下実験群のものと比較して有意に大きかった、3+の滞留時間も大きかったが、これは上流側への積極的な遊泳行動により降下が遅れたことに起因する。以上より、0+稚魚は、前庭部滞留により落下流とコンクリート床面との間で幾度となく衝撃をうけたことが推測され、落下の影響に併せて、この前庭部滞留がその後の致死に大きく寄与したと考えられる。

ハナカジカおよびフクドジョウの落下影響

本研究では、対象河川の在来種であるハナカジカおよびフクドジョウについては、落下による生存率への影響は認められなかった。しかし、落下実験時の水叩部の水深はニジマスの実験時より有意に大きかったことから、落下時にクッション効果が生じていたことが推測される。さらに床固部での滞留時間が短かったことから、落下した個体は前庭部滞留することなく、速やかに降下したことが唆される。落下部にプールが存在する場合、それがクッションとなり落下の影響を軽減することが、ニジ

Fig. 5. The longitudinal profile of the groundsill. Each graph shows the change in environmental variables before and after improvement of the groundsill.

Fig. 6. Change in the survival rate of juvenile 0+ trout (TL 57-90 mm) falling off the groundsill. Open and solid squares and solid circles indicate the survival rates of control fish, fish falling off the groundsill after the improvement, and fish falling off the groundsill before the improvement, respectively.

マスやイワナを用いたこれまでの実験でも報告されている (Shirahata 1970; 土居ほか 2002, 2003). したがって、本研究の場合にも水叩き部の水深の違いによって、落下影響の度合いは異なってくることが考えられ、河川流量が少なく水叩き部の水深が小さい場合には、ハナカジカおよびフクドジョウにも落下の影響が及ぶ恐れもある。さらに本研究では、ハナカジカおよびフクドジョウの仔魚および稚魚については、実験の対象とすることができなかった。これらの仔魚および稚魚は、出水等により流出降下する恐れが高いため、出現時期に併せて落下の影響を把握する必要がある。

堰の改良施工の実施

遡河回遊魚に分類されるサケ科魚類は、一般的に、河川で孵化した後、稚魚となり降下し、海あるいは湖沼で成長し、再び河川に産卵遡上するといった回遊ループをもつ (Crisp 2000; 帰山 2002). さらに、サケ科魚類の一種イトウ (*Hucho perryi*) では、河川の上流域で孵化し定着した稚魚が、成長に伴い生息場所を河川上流域から下流域へ移動させることが知られている (佐川ほか 2003). したがってサケ科魚類の稚魚は、河川内を上流から下流まで降下することが必要である。本研究結果からは、落差 2 m といえども落下および前庭部滞留は、ニジマスの 0+ 稚魚に大きな影響を与えることが示唆された。以上を踏まえ、稚魚への落下影響を回避するために、堰の改

良施工が実施された。改良にあたっては「多段式落差工案」,「全断面式魚道案」等も候補に挙がったが,コスト面,施工の簡易さおよび他の類似構造物への適用し易さ等を考慮して,水叩部に副堤を1段設けることによる改良施工が採用された。この施工により2mの落差が解消され,落下部に創出される深みは流速や乱流の減勢・制御効果が期待された。落差1mであればコンクリートに直接落下した場合でもニジマス稚魚(体重16g)の生存率は100%であったことが知られている(Shirahata 1970)。さらに,落下部にプールが存在する場合には,落下衝撃が緩和されることが知られている(Shirahata 1970; 土居ほか 2002, 2003)。本研究の場合,アイスハーバー型の魚道部と落差部を仕切る隔壁高との関係で,副堤の高さは70cmに設定された。さらに,降下個体の迅速な降下を促すために,隔壁には越流部と非越流部が設けられ,水量が少ない時期でも越流水深が見込める構造にされた。また,越流部の形状は完全越流を期待して角を取って滑らかにした形状(R形状)が採用された。

堰の改良施工の評価

改良施工により,落下部の乱流の減勢,水深の増大,流速の減少が確認された。このような条件の下,落下実験および生存分析を実施した結果,改良後の落下実験群と対照実験群の間には生存率の差異が認められなかった(生存率:落下実験群=95%,対照実験群=85%)。また,落下実験群を改良前後で比較すると,有意差は認められなかったものの($P=0.067$),生存率が増加する傾向が得られた(生存率:改良前落下実験群=73%,改良後落下実験群=95%)。以上のことより,十分に明確な結果が得られたとはいえないが,堰の改良施工には一定の効果があつたものと考えられる。しかし,本研究では,落下以外の影響要素を落下実験群に与えており,落下後の水叩部の降下行動,個体へのライン装着・再捕獲によるストレスがそれに該当する。以上の影響要素はいずれも個体への致命的な影響は及ぼしてはいないと考えられるが,実験デザインとしては問題があつたと考えられる。今後,類似の落下実験を行う際には,落下以外の影響要素の削除,もしくは,落下以外の影響要素の対照実験群への付与に留意した実験デザインが必要である。さらに,河川物理環境の相違により落下の影響程度が変化することが考えられるため,様々な流況下において落下実験をおこなうと共に,保全すべき生息魚類の稚魚の降下時期を把握して,降下時の流況に併せた落下影響の把握が必要である(水野 2000; 森 2000)。

我が国では,現在までに流域規模で治山・治水事業が

実施され,それに伴い砂防ダムや床固工が数多く設置されてきた。本研究ではこれらの堰はその形状によっては,サケ科魚類の稚魚が降下(落下)する際に影響を与えることが示唆された。したがって今後増えてくるであろう自然再生事業等の一環として堰に魚道の敷設改良をする場合には,遡上への配慮だけではなく,それに伴い想定される浮上稚魚の降下にまで目を向け,落差の低減や深み創出による落下衝撃の緩和策を検討する必要がある。

謝 辞

北海道大学大学院農学研究科森林管理保全学講座の中村太土教授には,初稿を御校閲いただき有意義な御指摘をいただいた。独立行政法人さけ・ます資源管理センターの眞山紘調査研究課長,東京大学海洋研究所の森田健太郎氏には,改訂稿作成の際に様々な御助言をいただいた。また,匿名の査読者の方に御助言並びに御校閲をいただいた。千歳サケのふるさと館の菊池基弘氏,荒金里佳さんには,活魚輸送用の水槽やエアレーション設備を貸与いただいた。(株)ドーコン環境保全部の清澤道雄氏,北海道東海大学の学生諸氏には現地調査でお世話になった。石狩川開発建設部滝里ダム管理所にはデータ公表に際して御協力いただいた。この場を借りて,以上の諸氏に深謝の意を表わす。なお,本研究は北海道開発局石狩川開発建設部「平成12年度直轄堰堤維持の内滝里ダム周辺環境調査業務(尻岸馬内川落差工降下実験)」を使わせていただいた。

摘 要

本研究は,北海道空知支庁管内の尻岸馬内川に設置されている堰(床固工:落差2m,落下部はコンクリート水叩)から魚類が落下した際の影響を把握し,改良施工後の影響回避効果を検証することを目的とした。堰改良前に実施した落下実験および生存分析の結果,在来種であるハナカジカおよびフクドジョウには落下の影響は認められなかったものの(生存率100%),ニジマスの0+稚魚には落下の影響が認められた(生存率73%)。落下の影響を回避するために,水叩部に副堤を設けることによる改良施工を実施した結果,水叩部の水深は大きく,流速は小さくなり,落下流の減勢効果が認められた。このような条件の下,ニジマス0+稚魚について落下実験および生存分析を実施した結果,落下実験群の生存率は95%となり,対照実験群の生存率85%との間には有意な

差異が認められなかった。一方、落下実験群を改良前後で比較すると、生存率は改良前 73% から改良後 95% に増加が認められた。以上のことより堰の改良施工には一定の効果があったものと考えられるが、落下衝撃の度合いは河川の流況変動により異なってくることが推測されるため、保全の対象とする魚類の降下生態を踏まえ、降下時期の流況を見据えた上で落下影響を把握することが必要である。

引用文献

- Crisp D. T. (2000) Life cycles and general biology. In: Trout and salmon: Ecology, conservation and rehabilitation, pp. 13-35. Blackwell Science, Oxford.
- 土居隆秀・中村智幸 (2001) 在来水産資源生態調査研究—イワナの堰堤落下試験— (平成 11 年度). 栃木県水産試験場研究報告 **44**: 73-75.
- 土居隆秀・福富則夫・久保田仁志・阿久津正浩 (2002) 在来水産資源生態調査研究—イワナの堰堤落下試験— (平成 11 年度～平成 12 年度). 栃木県水産試験場研究報告 **45**: 95-98.
- 土居隆秀・福富則夫・沢田守伸・久保田仁志 (2003) イワナ等溪流魚適正増殖手法開発事業—イワナの堰堤落下試験— (平成 11 年度～平成 13 年度). 栃木県水産試験場研究報告 **46**: 108-111.
- ゴセ C・ラリニエ M・ボルシェ J. P・トラヴァード F. (1994) (中村俊六・東信行監修, 財団法人リバーフロント整備センター翻訳・編集, 1996) 魚道及び降下対策の知識と設計. 財団法人リバーフロント整備センター, 東京.
- 帰山雅秀 (2002) 最新のサケ学. 成山堂, 東京.
- 北野聡・中野繁・井上幹生・下田和孝・山本祥一郎 (1993) 北海道幌内川において自然繁殖したニジマスの採餌および繁殖生態. 日本水産学会誌 **59**: 1837-1843.
- Kynard B. & Buerkett C. (1997) Passage and behavior of adult American shad in an experimental louver bypass system. North American Journal of Fisheries Management **17**: 734-742.
- Kynard B. & O'Leary J. (1993) Evaluation of a bypass system for spent American shad at Holyoke Dam, Massachusetts. North American Journal of Fisheries Management **13**: 782-789.
- 前川光司・高橋剛一郎 (1997) 溪流魚と砂防工事. 砂防学会誌 **50**: 61-66.
- 水野信彦 (2000) 魚の生態からみた魚道の見方. 応用生態工学 **3**: 209-218.
- 森誠一 (2000) 必要な魚道, 不要な魚道. 応用生態工学 **3**: 235-241.
- Morita K. & Yamamoto S. (2002) Effects of habitat fragmentation by damming on the persistence of stream-dwelling charr populations. Conservation Biology **16**(5): 1-7.
- Morita K. & Yokota A. (2002) Population viability of stream-resident salmonids after habitat fragmentation: a case study with white-spotted charr (*Salvelinus leucomaenis*) by an individual based model. Ecological Modeling **155**: 85-94.
- 中野繁・井上幹生・桑原禎知・豊島照雄・北条元・藤戸永志・杉山弘・奥山悟・笹賀一郎 (1995) 北海道天塩中川地方演習林および隣接地域における淡水魚類相と治山・砂防ダムが分布に及ぼす影響. 北海道大学農学部演習林報告 **52**: 95-109.
- 中野繁・谷口義則 (1996) 淡水性サケ科魚類における種間競争と異種共存機構. 魚類学雑誌 **43**: 59-78.
- 新村英雄 (2000) 長良川河口堰の呼び水式魚道とせせらぎ魚道, 一稚アユの遡上からみた機能比較. 応用生態工学 **3**: 169-178.
- Saito T. & Nakano S. (1999) Differences in the impact of a weir on the reproductive activities in White-spotted charr and Dolly Varden in a Japanese pond-associated stream system. Fisheries Science **65**: 898-903.
- 佐川志朗・山下茂明・佐藤公俊・中村太士 (2003) 北海道北部の河川支流域における秋季イトウ未成魚の生息場所と採餌様式. 日本生態学会誌 **53**: 95-105.
- 下田和孝・中野繁・北野聡・井上幹生・小野有五 (1993) 知床半島における河川魚類群集の現状—特に人間活動の影響を中心に—. 北海道大学大学院環境科学研究科邦文紀要 **6**: 17-27.
- Shirahata S. (1970) Survival of trout dropped from a waterfall. Bulletin of Freshwater Fisheries Research Laboratory. **20**: 93-100.
- 鷹見達也・青山智哉 (1999) 北海道におけるニジマスおよびブラウントラウトの分布. 野生生物保護 **4**: 41-48.
- 竹門康弘 (2000) 長良川河口堰におけるモクズガニ *Eriocheir japonica* (de Haan) の遡上量分析に基づく魚道の評価. 応用生態工学 **3**: 153-168.
- トラヴァード F・ラリニエ M. (1994) (中村俊六・東信行監修, 財団法人リバーフロント整備センター翻訳・編集, 1996) 降下回遊: 問題と施設. 「魚道及び降下対策の知識と設計」, pp. 252-269. 財団法人リバーフロント整備センター, 東京.
- 財団法人ダム技術センター (1990a) 「魚道」特集号 VOL. 1, ダム技術 NO. 39. 財団法人ダム技術センター, 東京.
- 財団法人ダム技術センター (1990b) 「魚道」特集号 VOL. 2, ダム技術 NO. 40. 財団法人ダム技術センター, 東京.
- 財団法人ダム水源地環境整備センター (1992) ダム湖と魚類施設についてのシンポジウム, 一最新の欧米事情一. 財団法人ダム水源地環境整備センター, 東京.