

十勝川千代田分流堰に設置した 2種類の魚道における魚類遡上状況の検証

EVALUATION OF FISH UPSTREAM MIGRATION IN THE TWO FISHWAYS AT THE CHIYODA DIVERSION WEIR

島田友典¹・林田寿文²・渡邊和好³・大角賢一⁴

Tomonori SHIMADA, Kazufumi HAYASHIDA, Kazuyoshi WATANABE and Kenichi Ookado

¹非会員 国土交通省 北海道開発局 帯広開発建設部 帯広河川事務所
(〒089-0536 北海道中川郡幕別町札内西町73-6)

²正会員 博士(環境科学) (独)土木研究所 寒地土木研究所 水環境保全チーム
(〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号)

³正会員 (独)土木研究所 寒地土木研究所 水環境保全チーム
(〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号)

⁴非会員 国土交通省 北海道開発局 札幌開発建設部 札幌河川事務所
(〒062-8602 北海道札幌市南区南32条西8丁目2-1)

Two types of fishways (pool-and-weir fishway and natural-like bypass fishway) were installed in the Chiyoda Diversion Weir located in the middle reach of the Tokachi River in 2007. We surveyed fish upstream migration and flow characteristics in the two fishways, and evaluated the function of two fishways. It was clarified that target fish migrated upstream in two types of fishways depending on the swimming ability and fish standard length.

Key Words : chiyoda new channel, pool-and-weir fishway, natural-like bypass fishway

1. はじめに

魚類の生息にとって、河川の縦断的な連続性は必要不可欠である。一級河川である十勝川の河川の連続性を見た場合、KP43.2に位置する千代田堰堤(図-1)が、下流から遡上してきた魚類が会う最初の横断構造物である。この千代田堰堤には階段式魚道が設置されているものの、勾配が1/5と急であることから中・大型の遊泳魚が多く利用し、小型の遊泳魚や底生魚は魚道を利用しにくい状況となっていた。このような背景を踏まえ、十勝川千代田堰堤付近の治水安全度の向上を目的とした千代田新水路の上流端KP45.0に位置する千代田分流堰(2007年4月運用開始)には、魚類生息環境の改善・回復を目指して魚道が設置された。魚道の設置にあたっては、“十勝川千代田分流堰魚道に関する報告書¹⁾”を参考とし、魚道への入り口は1箇所、分流堰横に中・大型を対象とした階段式魚道、高水敷に小型・底生魚を対象とした水路式魚道の2種類を設置した。



図-1 千代田新水路

既往の魚道研究では、1つの構造物に設置された1つの魚道を評価したもの^{2,3)}、又は異なる場所の魚道を比較したものがほとんどであり^{4,5)}、1つの構造物に設置した2種類の魚道の有効性を比較した研究は少なく、近年では林田ら⁶⁾による研究が行われているのみである。

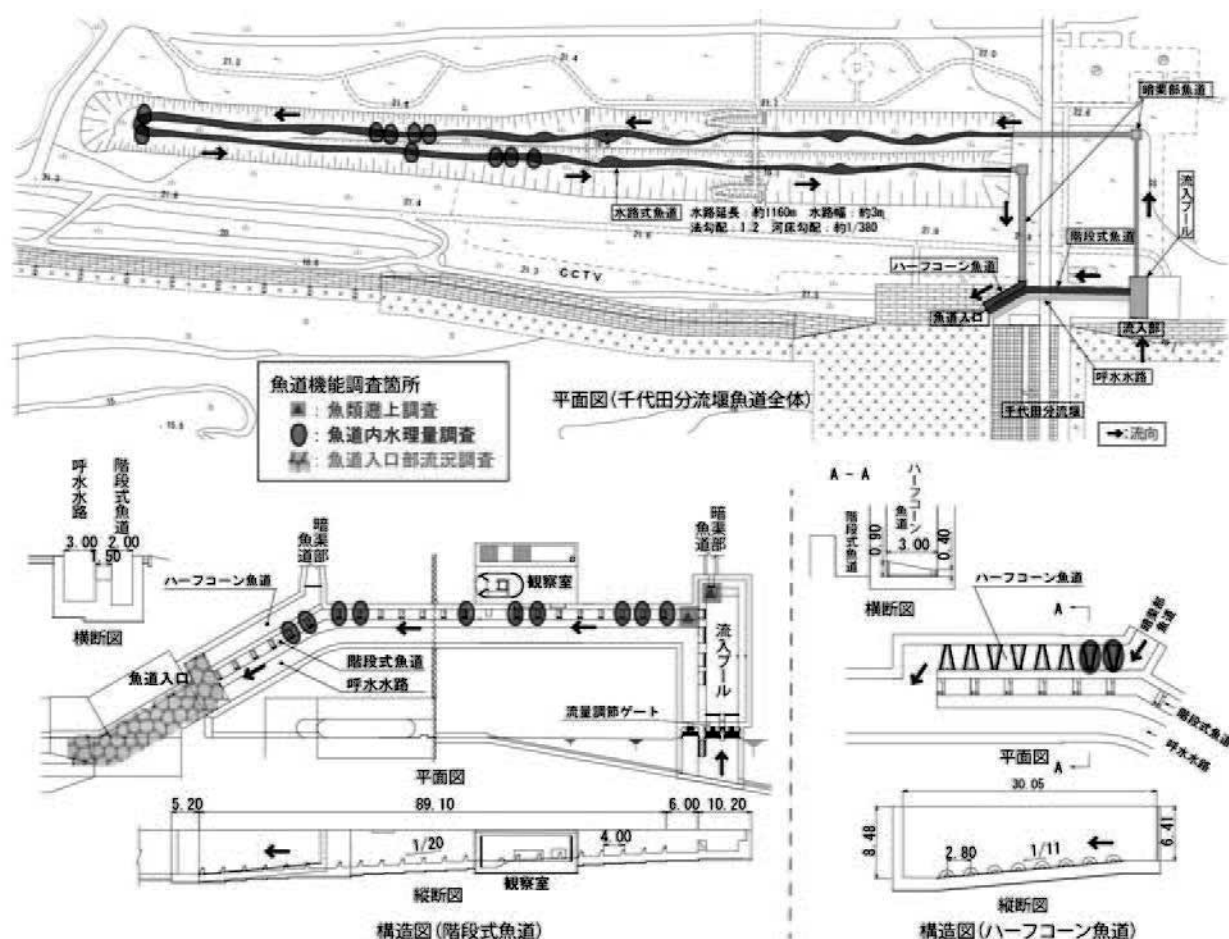


図-2 魚道施設構造図・魚道機能調査箇所

そこで1つの構造物に設置した2種類の魚道の有効性を明らかにすることを目的に、運用開始以降、魚類遡上調査（新水路内および魚道内）と水理量調査（魚道内および魚道入口部）を実施している。本論文ではこれらの結果を元に、はじめに魚道対象魚の魚道別利用状況を、次に水理特性から両魚道の使い分けの要因を、最後に最も遡上数が多いウグイを対象に体長別に魚道別利用状況を整理し、魚道機能評価を行った。

2. 千代田分流堰魚道と魚道機能調査の概要

(1) 千代田分流堰魚道施設の概要

a) 魚道の対象魚種

千代田分流堰魚道の対象魚種を表-1に示す。対象魚種は既往の十勝川流域魚類調査から十勝川中下流部で捕獲され、このうち河口から43km上流に位置する千代田地区まで遡上する可能性がある魚種を選定している¹⁾。

b) 魚道施設構造

図-2に魚道施設構造^{8, 9)}を示す。魚道入口は1箇所、そこから階段式魚道と水路式魚道に分かれており、魚道

表-1 魚道対象魚種

遊泳特性	種名	行動特性		配慮すべき水理量	
		遡上時期	産卵時期	突進速度 [cm/s]	必要水深 [cm]
遊泳魚 (遊泳力大)	サケ	8～12月	9～1月	400	30
	カラフトマス	8～10月	9～10月		
	サクラマス	4～5月	9～10月		
遊泳魚 (遊泳力中)	ニジマス	－	4～6月	200	－
	アメマス	6～9月	9～10月		25
	ウグイ	5～7月	6～7月		15
	エゾウグイ	－	6～7月		
遊泳魚 (遊泳力小)	ワカサギ[水]	11～5月	4～5月	100	
	イトヨ[水]	4～6月	4～9月		
底生魚	カワヤツメ	6～7月 9～10月	4～9月	150	10
	エゾハナカジカ[水]	5～6月	4～5月	120	
	ウキゴリ	7～10月	5～6月		
	ヨシノボリ類	7～10月	5～7月	150	

種名の後ろにある[水]は、水路式魚道のみが対象である魚種を示す

を遡上した後、流入プールで合流し、流入部を通過して十勝川本川へと遡上する。また階段式魚道に並行して集魚を目的とした呼水水路が配置されている。なお水路式魚道工事後には両岸を植樹しており、現在では両岸の樹木が繁茂し水面を覆っていることで、鳥による遡上魚の捕食対策¹⁾として有効に機能していると考えられる。

表-2 対象魚捕獲数

	階段式魚道出口												水路式魚道出口											
	2007年				2008年				2009年				2013年				2007年				2008年			
	春	夏	秋	計	春	夏	秋	計	春	夏	秋	計	春	夏	秋	計	春	夏	秋	計	春	夏	秋	計
サケ																								
カラフトマス				183				183																
サクラマス								55																
ニジマス																								
アメマス																								
ウグイ	9	1	4	14	4	2	2	8	4	2	6	3	1	3	7	6	6	1	7	6	6	1	1	8
エゾウグイ	1			1	2			2	1			1												
ウグイ属 ^{※1}	2927	4	9	2940	214	193	12	419	1456	8	5	1469	1422	307	7	1736	983	39	59	1081	124	384	75	583
ワカサギ[水]	352	2	2	556	153	23		176	135	2	8	147	39	17	5	108	184	7	6	569	26	23	116	165
イトヨ[水]																								
カワヤツメ																								
エソハナカジカ[水]																								
ウキゴリ																								
ヨシノボリ類																								

	水路式魚道内												新水路内											
	2007年				2008年				2009年				2013年				2007年				2008年			
	春	夏	秋	計	春	夏	秋	計	春	夏	秋	計	春	夏	秋	計	春	夏	秋	計	春	夏	秋	計
サケ	48			48	48			48	28			28	5			5	44	3	47	125	35	6	41	55
カラフトマス																								
サクラマス					7	16	23		5	5	10		2	3	5									
ニジマス	1			1				1	3	4		7	24	28	52		1	6	7		2		2	7
アメマス																								
ウグイ	68	78	1143	1289	21	48	53	122	81	105	397	583	202	120	19	341	51	79	1625	1755	32	153	30	215
エゾウグイ	1	1	2	4	4	1	10	15		24	25	49	65	20	29	114	34	2	27	63	9	5	14	
ウグイ属 ^{※1}	74	279		353	181	314	728	1223	232	137	57	426	70	333	403		7	67	74	19	447	742	1208	141
ワカサギ[水]																								
イトヨ[水]									1	2	3		1	1			11	2	8	21	2	1	4	7
カワヤツメ																								
エソハナカジカ[水]																								
ウキゴリ																								
ヨシノボリ類													1	1										

※1 ウグイ属：体長が小さく、生体ではウグイがエゾウグイかの同定が困難なもの

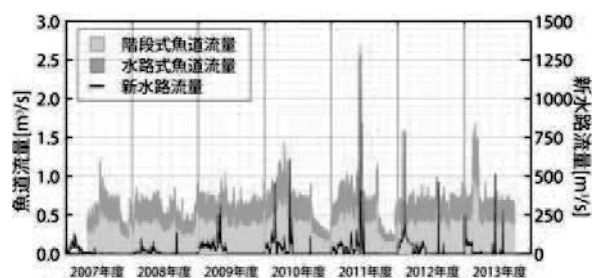


図-3 千代田分流堰運用状況

c) 魚道施設・分流堰の運用方法

図-3に運用開始以降の魚道内流量、および新水路内流量を示す。両魚道に流入する流量は流入部にある流量調節ゲート进行操作し一定となるようにしており、現在は1年を通して階段式魚道は0.4m³/s、水路式魚道は0.3m³/s程度の流量を通過している。

千代田分流堰の平常時の運用について、4～8月は4つあるゲート（図-1）のうち最も魚道側に近い第1ゲートを半開とし通水しており、9～3月は4ゲートとも全閉とし、新水路内には魚道からの水のみが流れている状況である。

また運用開始以降、計18回のゲート操作を伴う出水対応（2014年3月末時点）があり、流量規模にもよるが出水対応毎に新水路内の河床形状は変化している。更に2010年からは新水路の左岸側で越水破堤実験⁷⁾を行って

おり、実験前後には新水路内の河床を一部、工事で改変している。以上のことから新水路内の河床形状は様々な要因で変動しており、これに伴い新水路内から魚道施設までの到達のしやすさなどにも影響を与えている可能性があると考えられる。

なおシロザケ遡上期間の内、9～12月にかけてはサケ・マス捕獲事業へ配慮し、水路式魚道出入口にサケ迷入防止フェンス（網目6cm）を設置しているため、この期間の大型魚は階段式魚道にのみ遡上するようになっている。

(2) 魚道機能調査の概要

a) 魚類遡上調査の概要

階段式魚道および水路式魚道の出口に捕獲カゴ（網目1cm）をそれぞれ24時間設置し、3時間毎に捕獲カゴを引き上げて魚道を遡上した魚類の調査を行った（図-2）。また新水路内、および水路式魚道内において、投網・電気ショック・タモ網・サデ網・定置網（新水路内のみ）を用いて生息・遡上している魚類の調査を行った。調査は4ヶ年（2007・2008・2009・2013年）実施しており、それぞれ春（5月下旬～6月上旬）、夏（7月下旬～8月中旬）、秋（9月下旬～10月下旬）に実施した。

b) 魚道内水量調査の概要

回転式流速計（株式会社ケネック）を用いて流速測定および水深測定を行った（図-2）。調査時期は2008年6月12日で、その時の流量は階段式魚道部が0.42m³/s、水

路式魚道部が $0.30\text{m}^3/\text{s}$ 、呼水水路部が $1.54\text{m}^3/\text{s}$ であった。

階段式魚道は隔壁切欠（幅 50cm ・高さ 20cm ）10箇所を対象に、切欠部の横断方向中央部で天端最上位置において、水面から鉛直方向 5cm ピッチで流速測定を行うとともに、流速測定部の水深を記録した。

ハーフコーン魚道はハーフコーン最上部および1段下流の2箇所を対象に、横断方向に 30cm ピッチ、水面から鉛直方向に 5cm ピッチで流速測定を行うとともに、各流速測定位置の水深を記録した。

高水敷の水路式魚道内はプール、石組工、埋木設置工、石積護岸工などが配置されている箇所の流深や河岸部など10地点において流速・水深を計測した。

c) 魚道入口部流況調査の概要

H-ADCP（Channel Master H-ADCP 600kHz；Teledyne RD Instruments）および電磁流速計（株式会社ケネック）を用いて魚道入口部の平面流況（鉛直方向は水深中央部）を計測した（図-2）。調査時期は2010年9月29日で、その時の流量は階段式魚道部が $0.43\text{m}^3/\text{s}$ 、水路式魚道部が $0.31\text{m}^3/\text{s}$ 、呼水水路部が $1.59\text{m}^3/\text{s}$ であった。

3. 魚道機能調査の結果・考察

(1) 魚類遡上調査

階段式魚道と水路式魚道の出口での捕獲カゴ調査による魚道を遡上した魚種毎の捕獲数を表-2の上段に示す。

春には両魚道ともウグイ・エゾウグイの遡上が最も多く確認されており、遡上魚のほとんどを占めている。これは産卵遡上期であり、特に親魚（体長 26cm 程度）の遡上が多かったためと考えられる。またウグイについては階段式魚道を利用する割合がどの年度においても多く確認された。夏には春と比べると全体の遡上数は減少しているが、ここでもウグイ・エゾウグイがその多くを占めており、春とは異なり多くの年度で水路式魚道を多く遡上していることがわかる。ウグイ属の遡上が見られることから、親魚が大半を占めていた春とは異なり、様々な体長のものが遡上している。秋には階段式魚道でシロザケの遡上が見られ、遡上魚の多くを占めている。なお前述のように水路式魚道出入口にはサケ迷入防止フェンスを設置しているため、大型魚は水路式魚道を遡上出来ない状況ではあるが、2013年にシロザケが確認されているのは洪水時に水位が上昇し、迷入防止フェンスを乗り越えたためと考えられる。

魚類遡上調査結果全体を見ると、対象となる遊泳魚は数の大小はあるものの階段式魚道、水路式魚道ともに全て確認されている。遊泳力の小さいワカサギ・イトヨも水路式魚道の遡上が確認されており、魚道設計時の設定通りに利用されていることが確認された。また同じ魚種であっても階段式魚道と水路式魚道の両方を遡上している魚種もいた。

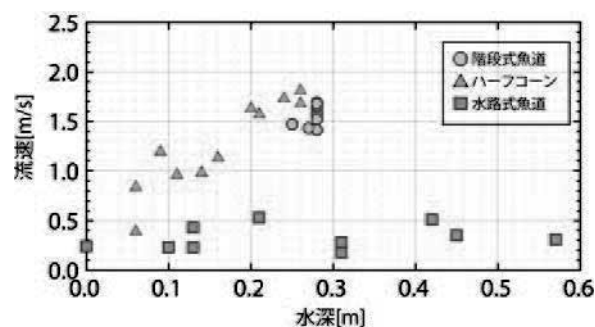


図-4 魚道内水理量

一方、対象となる底生魚は魚道の遡上を確認することが出来なかった。しかし表-2の下段に示すように、水路式魚道内でカワヤツメ、ヨシノボリ類が確認されていることから、底生魚も魚道を遡上している可能性がある。またエゾハナカジカは、新水路内で確認されており、今後、魚道に到達し遡上することが期待される一方、ウキゴリはどの地点においても確認はされていない。これは千代田分流堰付近において生息数が非常に少ないことが既往の魚類調査結果¹⁾からも示唆されており、底生魚の動態については、今後も調査検証の必要がある。

また水路式魚道内において確認できた魚種が5種、6種、8種、9種と時間の経過とともに増加傾向にある。これは水路式魚道の両岸に植樹した樹木が繁茂したことで、遡上のための魚道機能に加えて生息環境の場としても機能している可能性があると考えられる。

(2) 魚道内水理量調査

各魚道内の水理量結果を図-4に示す。流速は水深方向の平均流速を示す。

階段式魚道内は全ての切欠地点において、流速・水深ともに著しい差はなく、概ね一定の水理量となっている。切欠部における流速は概ね 1.5m/s で、これは階段式魚道対象魚のうち、遊泳魚の突進速度以下であるため、遡上しやすい流況である。底生魚についてはカワヤツメ、ヨシノボリ類は遡上可能であると考えられるが、ウキゴリについては突進速度が 1.0m/s であるため、遡上しづらい流況であると考えられるため、今後も詳細な検証を行う必要がある。

ハーフコーン部は水深が大きくなるにつれ流速が速く、水深が小さくなるにつれ流速が小さくなる傾向が見られる。流速範囲は $0.4\sim 1.7\text{m/s}$ 程度、水深範囲は $0.05\sim 0.25\text{m}$ 程度である。どの地点においても一定の水理量であった階段式魚道とは異なり、多様な流況となっており、その結果、小型魚や遊泳力の小さい魚でも遡上が容易になっていると考えられる。

水路式魚道内の流速はどの地点でも 0.5m/s 以下で、水深は $0.02\sim 0.58\text{m}$ 程度であり、ハーフコーン部を遡上した小型魚や遊泳力の小さな魚種であっても、移動や生息

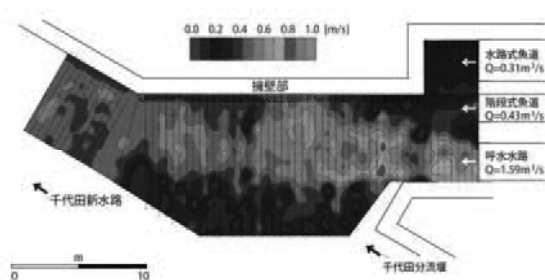


図-5 魚道入口部流況（水深方向中央）

が可能な環境が創出されていると考えられる。

(3) 魚道入口部流況調査

図-5に魚道入口部流況調査の結果を示す。魚道全体流量のうち7割程度を占める呼水水路からの流れにより、魚道入口から新水路までその流れは到達しており、流速は0.3～1.0m/sであった。魚類が流れに向かう習性を利用し、新水路内を遡上した魚類を魚道入口へと誘導することが出来、遊泳力のある中大型魚は呼水水路の横に設置された階段式魚道を遡上するものと考えられる。

一方、擁壁沿いの流速は0.2m/s程度であり、小型魚や遊泳力が小さい魚類は緩流域や岸に沿って遊泳する選好性があることから、擁壁沿いに遡上することが可能な流況となり、結果として水路式魚道を優先的に遡上するものと考えられる。

4. 階段式魚道と水路式魚道の遡上特性

今回の調査結果より、遊泳力の小さい魚種は水路式魚道を遡上するなど、魚道設計時に想定したように魚道が利用されていることが確認できたが、同一魚種が両魚道を遡上している場合もあった。ここでは同一魚種のうち、体長に着目して両魚道の利用状況について整理を行う。

検討対象は遡上数が多いウグイ、エゾウグイ、ウグイ属を併せてウグイ属とし、全捕獲魚の詳細な体長データが記録された2013年の結果を用いた。なお2013年の内、春の調査は前述の通り産卵遡上時期のため親魚が多く、体長が大きいものに偏っている。また秋の調査は水路式魚道の出入口にサケ迷入防止フェンスを設置しているため、大型魚は階段式魚道しか遡上出来ない状況である。よってここでは大小様々な体長のものが両魚道を遡上したと考えられる夏の調査結果を用いることとする。

図-6に両魚道出口、水路式魚道内、および新水路内で確認されたウグイ属の体長分布を示す。新水路内で捕獲されたウグイ属は体長の小さいものから大きいものまで幅広く存在していることが確認出来、十勝川本川から新水路内に様々な体長のものが遡上してきていることがわかる。水路式魚道内で捕獲されたウグイ属の体長区分は

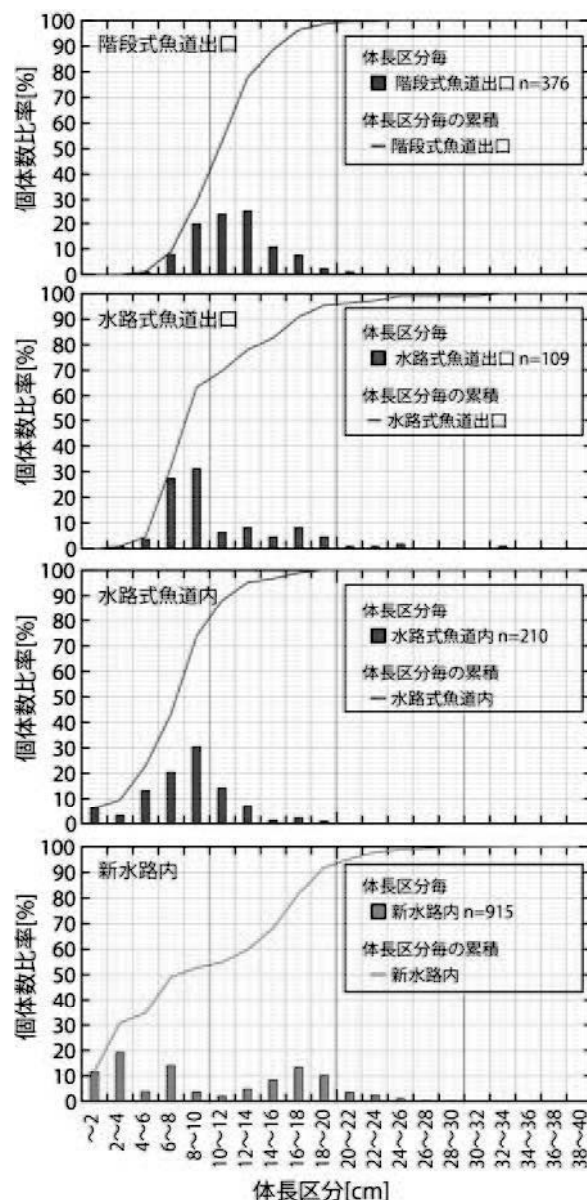


図-6 両魚道及び新水路を遡上したウグイ属の体長分布のヒストグラム（2013年夏期調査）

4～10cmのものが多くを占めており、今回の調査では全ての地点の中で最も小型であることが確認出来る。水路式魚道を遡上し水路式出口で捕獲されたウグイ属の体長区分は6～10cmのものが多くを占めており、全体に小型なものが多いが、水路式内で確認された体長よりは大きいものも含まれていた。これは小型魚がハーフコーン部を遡上し、より小さいものは水路式内にとどまる傾向があると考えられ、前述のように水路式魚道内が生息の場としても利用されている可能性を示唆している。階段式魚道を遡上したウグイ属の体長区分は8～14cmのものが多くを占めており、他の調査箇所と比べると小型のものはほとんど見られない。

図-7は図-6と同じ調査結果を用いた体長分布の箱ヒゲ図を示す。ここで箱の上限は75%目、下限は25%目を示

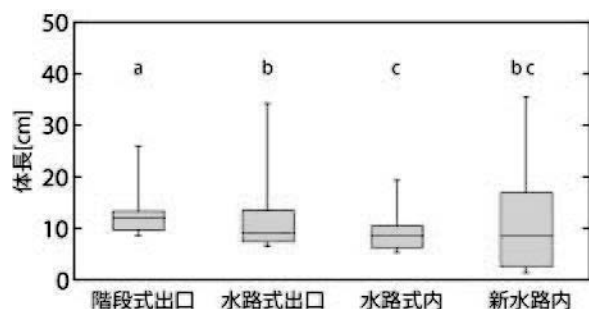


図-7 両魚道および新水路を遡上したウグイ属の体長分布の箱ひげ図 (2013年夏期調査)
同じアルファベットは有意差がない¹⁰⁾

し、箱の中央の線は中央値を示す。またヒゲの上下限はそれぞれ最大値・最小値を示す。階段式魚道に到達したウグイ類は、ほかの調査地点と比較して体長の平均値は有意に大きいことが確認できる (Steel-Dwass $p < 0.01$)。一方、水路式内に生息するウグイ類は、階段式魚道出口と水路式魚道出口と比較して体長の平均値は有意に小さいことが確認できる (Steel-Dwass $p < 0.01$)。新水路内のウグイは、体長分布が他の調査地点と比較して幅広いことが確認できる。このことから、魚道に到達した様々な体長のウグイ類が遊泳力や魚道の流況にあわせて遡上・生息していることが明らかとなった。

以上より同一魚種であっても、小型魚は優先的に水路式魚道を遡上しており、中・大型魚は水路式より階段式魚道を優先的に遡上しているようである。以上のことから2種類の魚道を設置したことで、魚類全体に対してより効率的な遡上が可能になっており、生息環境の改善が図られていると推察できる。

5. まとめ

本論文では千代田分流堰に設置した2種類の魚道 (階段式魚道・水路式魚道) の有効性を明らかにすることを目的に、魚類遡上調査・魚道内水理量調査・魚道入口部流況調査を行った。これより次のことが明らかとなった。

- 1) 十勝川本川から新水路内へは様々な種類・体長の魚種が遡上してきており、魚道入口部では呼水水路からの流れの効果もあり、それぞれの魚道に誘導されていることが確認できた。
- 2) 階段式魚道ではどの地点においても概ね一定の流況となっており、遊泳力の大きいものや中大型魚が遡上している。
- 3) 水路式魚道ではハーフコーン部において多様な流況となることで、遊泳力の小さいものや小型魚が遡上している。
- 4) 対象魚のうち遊泳魚は全調査地点で確認が出来たが、底生魚は、魚道の出口では確認出来なかった。一方、水

路式魚道内での生息は確認されている。

5) 水路式魚道内については、流速が小さく、様々な水深の場合、さらに水路式両岸に樹木が繁茂し水面が覆われていることで、特に底生魚に対して生息と遡上の選択を与えていることが示唆される。

なお今回の流況調査では、階段式魚道切欠部、ハーフコーン部を対象として調査を行ったが、今後は魚道内の平面流況の検証などを行うことで、より詳細な魚道評価を行うことが可能になると考える。

通常、1施設には1種類の魚道が設置されているが、遊泳力の異なる多種類の魚種が遡上できるようにするためには、各魚種に応じた流況を作る必要がある。千代田分流堰では2種類の魚道を設置し、多様な魚種の遡上を可能とした。このように、多様な魚種を対象とする場合には、複数の魚種の整備が重要である。

参考文献

- 1) 十勝川千代田分流堰魚道検討委員会：十勝川千代田分流堰魚道に関する報告書，2002。
- 2) Caudill CC, Daigle WR, Keefer ML, Boggs CT, Jepson MA, Burke BJ, et al. : *Slow dam passage in adult Columbia River salmonids associated with unsuccessful migration: delayed negative effects of passage obstacles or condition-dependent mortality?* Can J Fish Aquat Sci. 2007 Jul; 64(7):975-95.
- 3) Bunt CM, Cooke SJ, McKinley RS. : *Assessment of the Dunnville fishway for passage of walleyes from Lake Erie to the Grand River, Ontario.* J Gt Lakes Res. 2000; 26(4):428-8.
- 4) Bunt CM, Castro-Santos T, Haro A.: *Performance of fish Passages Structures at upstream Barriers to Migration.* River Res Appl. 2012 May; 28(4):457-78.
- 5) Franklin AE, Haro A, Castro-Santos T, Noreika J.: *Evaluation of Nature-Like and Technical Fishways for the Passage of Alewives at Two Coastal Streams in New England.* Trans Am Fish Soc. 2012;141(3):624-37.
- 6) 林田寿文・三浦剛志・矢部浩規：パイオテレメトリーによる石狩川旧花園頭首工に設置された2つの魚道のシロザケ遡上行動調査，北海道開発技術研究発表会，第55回，2012。
- 7) 島田友典・横山洋・平井康幸・三宅洋：千代田実験水路における氾濫域を含む越水破堤実験，土木学会水工学論文集，第55巻，pp.841-846，2011。
- 8) 島田友典・大角賢一・林田寿文：千代田分流堰魚道における魚類遡上状況の検証，北海道開発技術研究発表会，第57回，2014。
- 9) 十勝川千代田新水路魚道，国土交通省北海道開発局帯広開発建設部，<http://www.ob.hkd.mlit.go.jp/hp/riveroffice/chiyoda/html-image/4-0gyodou.html>
- 10) 柳井久江：4stepsエクセル統計 (第3版)，OMS出版，2013。

(2014. 4. 3受付)