

ダム建設および魚道設置が 生息魚類に与える長期的影響の評価

EVALUATION OF THE LONG-TERM IMPACT OF DAM
AND FISHWAY CONSTRUCTION ON FISH INHABITATION

林田寿文¹・渡邊和好²・水野宏行³・林誠³・宮崎俊行³・
毛木博彰⁴・新居久也⁵・真山紘⁶

¹ 正会員 博士（環境科学）（国研）土木研究所寒地土木研究所（〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目）

² 正会員（国研）土木研究所寒地土木研究所（同上）

³ 非会員 北海道開発局美利河ダム管理支所（〒049-4151 北海道瀬棚郡今金町字美利河）

⁴ 非会員（株）ハブ（〒065-0019 札幌市東区北19条東7丁目）

⁵ 非会員 博士（水産科学）北海道栽培漁業振興公社（〒003-0874 札幌市白石区米里4条1丁目）

⁶ 非会員 博士（水産）北海道栽培漁業振興公社（同上）

Although fish habitat investigations were conducted before Pirika Dam was completed (1977-1982), under dam construction (1983-1989), after Pirika Dam was completed (1990-2004), and after fishway was completed (2005-2014), the impact of the dam project on fish has not been comprehensively evaluated post-under-after dam and fishway construction. Therefore, the results of previous investigations for 38 years on masu salmon population, spawning bed distribution, population density of juveniles and number of fish migrating upstream were evaluated. It was found that masu salmon have been stably inhabiting reaches downstream of the dam for a long period. Although fish fauna, spawning bed distribution and juvenile population density upstream of the dam were found to be reduced after dam construction, all these were restored after fishway installation. Every year (after 2007), about 40 to 150 adult masu salmon migrate upstream past the dam to spawn. The fishway at Pirika Dam was found to be able to reverse the divided connectivity that was created by the dam.

Key Words: masu salmon, spawning ground, connectivity, diadromous fish, long-term survey

1. はじめに

河川を自由に移動するための連続性の確保は、魚類などの水生生物が生活史を全うする上で重要である¹⁾。一方で河川に設置された横断構造物による河川連続性の欠如は、生物の生息場分断、魚類の個体群数減少、本来の生活史改変、空間的な生物構造改変²⁾などの生態系へ悪影響を与え³⁾、特に魚種の絶滅などをしばしば引き起こす^{4,6)}とともに、遺伝子構造まで変えてしまう可能性もある^{7,8)}。特にダムは、河川連続性を完全に分断することから、その分断期間が長いほど上流の生息場の質は低下する⁴⁾。魚類の中でも河川分断の影響を受け易いのは、サケマスやウナギ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である。水産有用種であるこれらの種は、個体群維持が必要とされ、その対策として河川横断構造物には、魚類などを上下流へ通過させるための魚道が数多く設置されてきた。

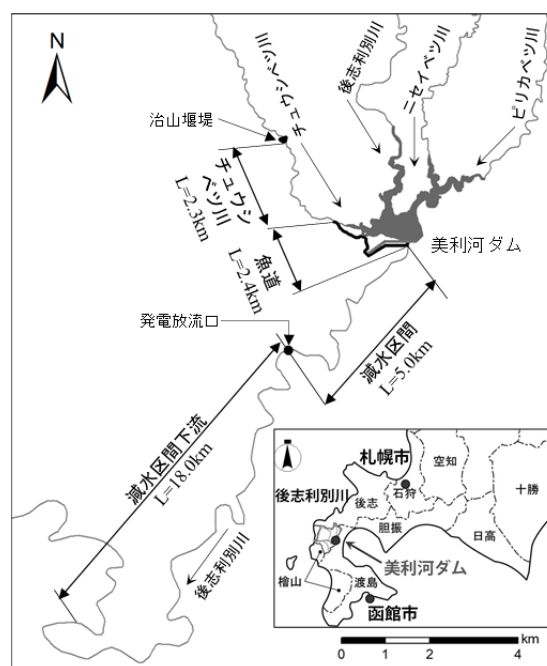


図-1 美利河ダム周辺における調査区間

北海道後志利別川の上流に位置する美利河ダムは、H3 に完成した（図-1）。美利河ダムには、当初魚道が設置されていなかったため、魚類は移動の連続性が失われ、さらに発電用水利用のため、ダム下流に減水区間が生じた。ダム建設前の後志利別川では、ダム上流でサクラマス⁹⁾の遡上・産卵が確認されていた。周辺海域ではサクラマス漁が行われており、地元からのサクラマス資源保全の要望を受け、H17 に延長 2.4km の魚道が設置された。美利河ダム管理支所では、ダム建設前（S52～57）、建設中（S58～H2）、建設後（H3～16）、魚道設置後（H17～26）の現在まで、様々な生息魚類調査を実施してきたが、調査結果の総合的な評価が行われてこなかった。既往研究では、長期間のダムによる分断の影響の調査事例^{2,6)}は数多くあるが、その後に魚道が設置された効果を総合的に検証した事例がほとんどなく、美利河ダム事業や魚道が生息魚類に与える影響や効果が不明確であった。

北海道レッドデータブック⁹⁾によるとサクラマスは、保護に留意が必要とされる留意種に指定されている。また、サクラマスは美利河ダム魚道の代表対象魚種に設定されている。サクラマスの生活史は、約 3 年が 1 サイクル¹⁰⁾となっており、河川で産卵・孵化後約 1 年半を川で生活し、その後、降海して約 1 年間の海洋生活を経て再び生まれた川を遡上して産卵する。H17 の魚道完成後、H26 で 9 年間が経過し、3 サイクルの回帰が経過した。本研究の目的は、サクラマスの幼魚の生息、産卵床分布、親魚の遡上状況の変遷を明らかにし、ダム建設と魚道設置が生息魚類に与える長期的影響を評価することである。

2. 調査方法

(1) 美利河ダムおよび魚道の概要

後志利別川は、北海道せたな町で日本海に注ぐ、幹川流路延長 80km、流域面積 720km² の一級河川である¹¹⁾。後志利別川の河口から 51.5km 地点に位置する美利河ダムは S54 に工事着手され H3 に完成、H17 に魚道が設置された。ダム直上にはピリカ湖（湛水面積 1.85km²、総貯水容量 18 百万 m³）と呼ばれるダム湖が存在する。ダム湖には、後志利別川のほか、チュウシベツ川、ニセイベツ川、ピリカベツ川の 4 河川が流入する（図-1）。

(a) ダム建設

美利河ダムは、洪水調節、流水の正常な機能の維持、かんがい用水、発電の目的を持つ多目的ダムである。ダムは重力式コンクリート・フィルの複合形式で、堤長は 1,480m で日本一の長さを有している。発電で使用された水は、ダム堤体から約 5km 下流の放水口で放流され減水区間（図-1）が生じることから、ダムの利水ゲートから維持流量として 4～11 月に 0.5m³/s、12～翌 3 月に 0.1m³/s が放流されていた。

(b) 魚道設置

美利河ダムには、階段式と多自然式の複合魚道（L=2.4km）が設置されている（図-1）。ダム湖内の流れはほとんどなく、魚道をダム湖に直接連結すると、降下魚が魚道入口を発見できない可能性があったことから、魚道上流端はチュウシベツ川に接続されている。将来的に、魚道は後志利別川まで延伸する計画となっており、完成すれば全長 6.0km の長大な魚道となる。チュウシベツ川から降下する魚類や河川水を魚道へ分流させる目的の分水施設が、チュウシベツ川の魚道接続地点に魚道設置と同時に建設された。魚道設置により減水区間への維持流量供給元がダム湖水から魚道へと変更になった（流量は変わらず）。ダム周辺で確認された魚種のうち、ダムによって移動が妨げられた魚種を中心に、回遊魚であるサクラマス、アユなどの 5 種と淡水魚 2 種の計 7 種を設計対象としている。

(2) 生息魚類調査

美利河ダム周辺では、生息魚類相調査、サクラマスの産卵床数・幼魚生息密度調査、サクラマス親魚の遡上数調査を実施してきた。調査は、年によっては実施していない項目もある。また、昭和時代のデータは、電気ショッカーを使用しない場合もあったため、参考値とする。調査区域として、a) 減水区間下流、b) 減水区間、c) 魚道、d) チュウシベツ川、e) 後志利別川上流、f) ピリカベツ川、g) ニセイベツ川を設定した。ダム上流で魚道が接続するのは、d)チュウシベツ川のみである。d)チュウシベツ川の区域は、分水施設の約 2.3km 上流にある治山堰堤までとする。e)後志利別川上流は、ダムより上流部分を指す（図-1）。

(a) 生息魚類相調査は、a)減水区間下流（5 地点）、b)減水区間（4 地点）、c)魚道（10 地点）、d)チュウシベツ川（4 地点）、e)後志利別川上流（3 地点）、f)ピリカベツ川（1 地点）、g)ニセイベツ川（1 地点）の 7 区域に定点を設定した。調査は毎年 6～10 月の期間に月 1 回とし、捕獲方法は投網・タモ網・電気ショッカーを用いた。a), b), d), e) の区域については、ダム建設前の S52, S54 から H26 までの採捕数と魚類相の経年変化の整理を行った。c) の区域は魚道設置後の H17 から、f) と g) の区域は H18 からのデータ整理を行った。

(b) サクラマス産卵床調査は、減水区間（L=5.0km）、魚道（L=2.4km）チュウシベツ川（L=2.3km）、で行い、魚道設置後（H18～）における産卵床の分布動態の整理を行った。産卵床は、毎年 9 月と 10 月の 2 回、調査区間を踏査し目視で確認した。

(c) サクラマス幼魚生息密度調査は、産卵床調査と同じ区域で行い、ダム建設前（S56, S57）、ダム建設後（H10～H16）、魚道設置後（H17～26）の幼魚生息密度の変化を整理した。幼魚生息密度は、生息魚類相調査で得られたデータを用い、捕獲総数を捕獲総面積で除算した。

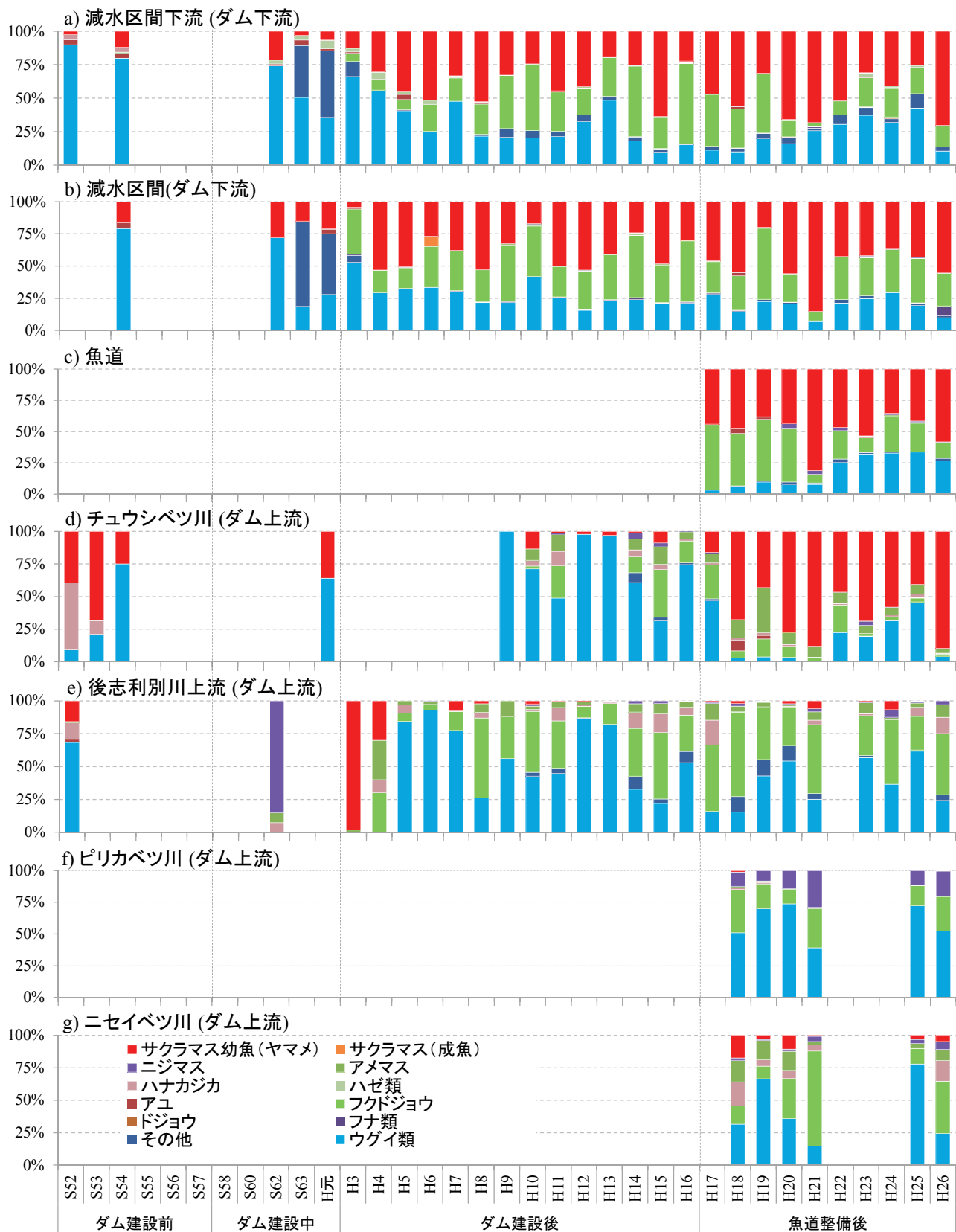


図-2 美利河ダム周辺（7 区域）におけるダム建設前から魚道整備後までの魚類出現率

(d) 親魚の遡上数調査は、魚道最上流端の魚道隔壁上部で空中と水中のビデオ撮影を行い、親魚の遡上数と降下数を魚道設置後（H22,23 を除く）の 7 年間調査した。調査はサクラマスの遡上が多く観測される毎年 9 月 1 日から 10 月 20 日に実施した。ビデオ撮影は、映像の判断がつく照度が確保される時間帯として 6:00～18:00 に行った。魚道上流端を往来する個体も確認されたた

め、魚道を遡上後にチュウシベツ川に残留した個体数を、遡上数から降下数を引いて上流推定残留数を求め相対的な遡上数とした。

3. 結果

- (1) 生息魚類調査
- (a) 生息魚類相調査

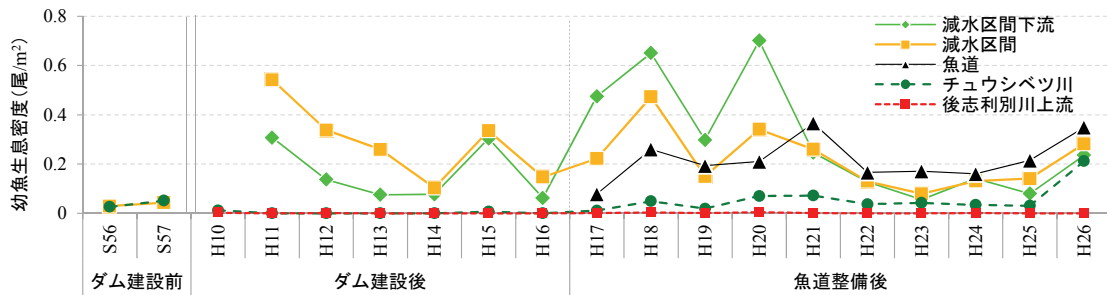


図-3 サクラマス幼魚生息密度 (5 区間の比較)

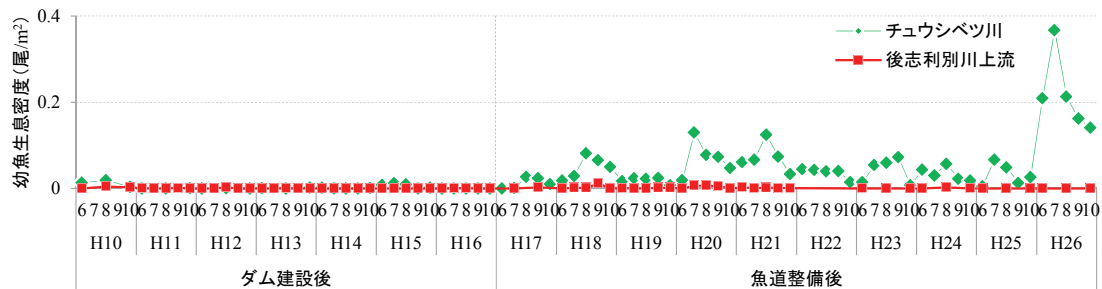


図-4 サクラマス幼魚生息密度 (チュウシベツ川と後志利別川上流の比較)

美利河ダム周辺の 7 区域における魚類出現率の結果を図-2 に示す。ダム建設前は、a)減水区間下流、b)減水区間、e)後志利別川上流でウグイ類、サクラマス幼魚(以下、幼魚)の順に優占していた。一方、d)チュウシベツ川では、幼魚が優占し、次にハナカジカ、ウグイが続いていた。ダム建設中は、a) 減水区間下流、b) 減水区間、d) チュウシベツ川では、幼魚の割合は建設前とほぼ同じ割合にあったが、e) 後志利別川上流では、幼魚がまったく確認されずにニジマスが優占していた。ダム建設後は、a) 減水区間下流と b) 減水区間では、幼魚、ウグイ、フクドジョウは多少の増減はあるものの期間中でその割合が大きく変わることはなかった。d) チュウシベツ川では幼魚がほとんど確認できなくなり、e) 後志利別川上流では、H4 を過ぎると幼魚がほとんど確認できなくなった。両区域ともにウグイが優占していた。魚道整備後は、a) 減水区間下流、b) 減水区間のダム下流域では幼魚の割合は大きく変化しなかった。一方、d) チュウシベツ川では、H18 からウグイの割合が減少し幼魚が割合を大幅に増加させ、ダム下流と同様の魚類相となった。また c) 魚道でも全期間を通じて幼魚の割合が 50%以上となっていた。e) 後志利別川上流、f) ピリカベツ川、g) ニセイベツ川では、幼魚がほとんど確認できず、チュウシベツ川を除くダム上流域の魚類相は単調化していた。

(b) サクラマス幼魚の生息密度

減水区間下流、減水区間、魚道、チュウシベツ川、後志利別川上流における幼魚の年平均生息密度の経年変化を図-3 に示す。ダム建設前では、減水区間とチュウシベツ川で、生息密度は約 0.03~0.05 尾/m² 程度で、変化の傾向もほぼ同様であった。ダム建設後では、減水区間下流と減水区間で H15 を除き生息密度が年々低下し

ていた。チュウシベツ川と後志利別川上流では H11 以降はほぼ 0 尾/m² であった。魚道整備後では、減水区間下流と減水区間で H17-20 に高い生息密度を確認したが、H21-H23 まで低下傾向にあった。H24 以降は、再び増加傾向にあり、H26 は 0.2 尾/m² を超えていた。魚道では、H17 を除き約 0.2 尾/m² で安定し、H21 と H26 は約 0.4 尾/m² まで増加していた。一方、チュウシベツ川ではダム建設後にほぼ 0 尾/m² であったものが、魚道整備後には増加する傾向を示した。後志利別川上流ではダム建設後と同じくすべての期間でほぼ 0 尾/m² であった。魚道が接続するチュウシベツ川と魚道が接続しない後志利別川上流を詳細に比較するため、毎年 5 か月間(6-10 月)の生息密度の経年変化を図-4 に示す。ダム建設後では、両河川ともに生息密度はほぼ 0 尾/m² であったが、魚道建設後に後志利別川上流は引き続きほぼ 0 尾/m² だったのに対し、チュウシベツ川の生息密度は増加した。生息密度が多かったのは H20、H21、H26 であった。

(c) サクラマス親魚の遡上数調査

魚道完成の H17 以降のサクラマス親魚の遡上数、降下数、魚道上流(チュウシベツ川)推定残留数を図-5 に示す。魚道の完成直後である H17 は、サクラマス親魚は確認することができなかった。最終的に遡上数が最も多かったのは H25 で、190 尾が魚道を通過しチュウシベツ川へ遡上した。H26 と H20 の遡上数も 100 尾を超えていた。降下個体は H18 で 1 尾、H19 で 32 尾確認され、H25 が 93 尾、H26 が 103 尾と増加傾向にあった。そのため、H18 が 19 尾、H26 が 126 尾と遡上個体が増加傾向にあったにもかかわらず、チュウシベツ川の推定残留数は最大でも 57 尾であり、遡上数ほどの増加傾向にはなかった。H25、H20、H26 の順で相対遡上数は多かった。

(d) サクラマス産卵床の経年変化

減水区間、魚道、チュウシベツ川におけるサクラマス産卵床の経年変化を図-6 に示す。サクラマスの回帰サイクルは、H18・H21・H24（以下、緑サイクル）、H19・H22・H25（以下、赤サイクル）、H20・H23・H26（以下、青サイクル）の組み合わせになる。調査区間全体の産卵床数は、青サイクルが最も多く、赤サイクルは H25 に 117 床と比較的多い数が確認され、緑サイクルは H21 に 70 床が確認された。それ以外の年は、20～40 床程度であった。一方で、全体の産卵床数に対するチュウシベツ川の産卵床の割合は、H19 に 0%に落ちるものの、それ以外の年ではほぼ増加傾向にあった。特に H25 と H26 で 26%、47%となりそれ以前と比べ、チュウシベツ川の産卵床数の割合が大きく増加していた。減水区間の産卵床数は、全体の増減の変化とほぼ近似していた。魚道の産卵床数は、H20 を除き約 10 床と低値で推移していた。

4. 考察

美利河ダム周辺の S52 から H26 まで 38 年間の魚類調査データを解析した結果、ダム事業と魚道設置がサクラマスの生息に与える影響が明らかになった。

(a) S52 からの魚類確認出現率では、ダム下流の調査区域においてダム建設後も幼魚の出現割合は変わらなかったのに対し、ダム建設後はチュウシベツ川と後志利別川上流で幼魚が確認できなくなった。魚道整備後は、魚道が接続するチュウシベツ川では、幼魚の確認割合が大幅に増えていた。後志利別川上流、ピリカベツ川、ニセイベツ川の魚道が接続しない 3 河川では、幼魚はほとんど確認できていない。体長 5cm の幼魚突進速度は 200cm/s 超える¹²⁾ことが知られ、美利河ダムの流速の早い階段式魚道も十分遡上できる。林田らは、美利河ダムの分水施設や魚道は、幼魚の降下行動を阻害するものでなく¹³⁾、親魚の遡上も可能で¹⁴⁾、親魚は魚道内で長期間滞在することができる¹⁵⁾と報告している。また、柳屋らは、魚道の改築や新設により、サクラマスの親魚遡上数や生息密度が経年的に改善したと報告している¹⁶⁾。美利河ダムの魚道は高低差 40m を接続するため魚道延長が長大であるが、魚道設置の効果により一度分断された区域に幼魚が戻りサクラマスの遡上・降下に対して、長期的に十分機能していることが明らかになった。

(b) 幼魚の生息密度調査では、ダム建設後に減水区間下流と減水区間の生息密度が低下傾向にあることが明らかになった。この原因の 1 つとして考えられるのは発電により創出された減水区間の存在である。ダム建設後の減水区間は、それまで流量約 2～3m³/s 以上は常時流下していたが 0.5m³/s (4～11 月) に減少したことから魚類の生息場が減少したと考えられる。幼魚は縄張りをつくり近づく個体を排除する¹⁷⁾ことから狭い生息場をめぐる縄張り争いに敗れた幼魚は下流に移動したと想定される。

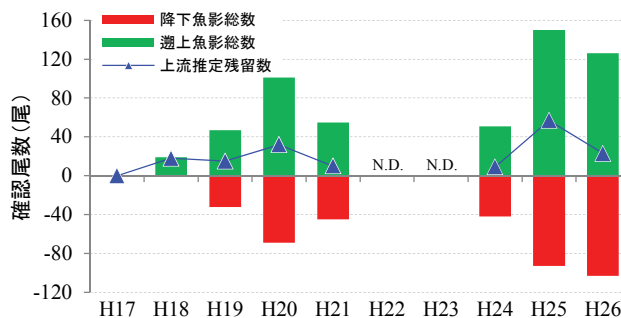


図-5 サクラマス親魚の遡上・降下数と上流残留個体数
(H22, H23 は欠測, ビデオ撮影: 9/1-10/20, 6:00-18:00)

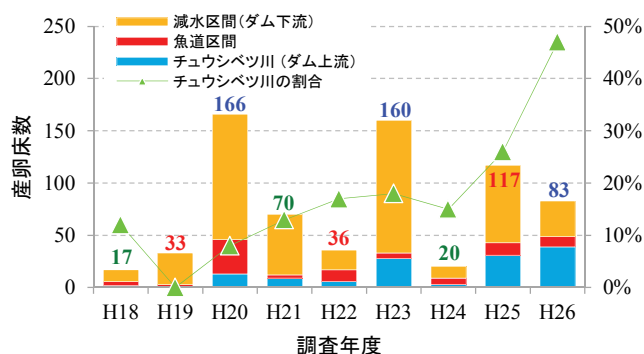


図-6 サクラマス産卵床数推移

同色の数字はサクラマスの同じ回帰サイクルを示す

魚道設置後は、魚道内およびチュウシベツ川が生息場として機能し始めたことで下流から移動してくる個体が増加し、魚道へ遡上していく個体が増えたことから生息密度が回復したと考えられる。魚道内の生息密度については、2.4km の魚道のうち 1.9km が多自然魚道であることから、魚道自体が生息場として機能していると考えられ、減水区間下流や減水区間と同様の密度を示していた。また、ダム建設後には維持流量としてダム湖表層水が減水区間に放流されていたのに対し、魚道設置後にはチュウシベツ川の水が流下した。魚道設置後の減水区間の水温は、平均水温がダム建設後と比べ約 2.6℃低下していた (H17-19 美利河ダム調査)。魚道設置後に減水区間の水温が低下したことも冷水を好む幼魚が魚道設置後にダム下流で生息密度を回復された一因であったと考えられる。ダムの上流の生息密度は、魚道接続河川のチュウシベツ川では魚道設置後に回復したが、後志利別川上流では回復していない。幼魚の生息密度の経年変化を把握することで、ダムの影響と魚道効果が明らかになった。

(c) 魚道設置後の魚道上流端における親魚の遡上数は、H25, H20, H26 の順に多かった。これは、サクラマス遡上量自体の年変動が原因だと考えられる。一方で H25, H20, H26 は降下数も多かった。その結果、遡上数に対する上流推定残留数の割合は最大 (H18 を除く) でも約 38% (H25) になったと考えられる。林田らは、サクラマスは魚道を遡上後、降下する個体も数多く存在することを報告している¹⁴⁾。この原因として、チュウシベツ川の産卵場の量が十分ではないと考えられる。現在、チュウシベツ川の 2.3km 上流に治山堰堤があり、魚の遡上はここで妨げられている。また、サクラマスの雌は

産卵終了後の 2～8 日間は他の雌による掘り返しを警戒して巣を守る¹⁸⁾ことが知られており、後進の遡上個体は追い払われている可能性が高い。そのため、魚道を遡上してチュウシベツ川に到達しても既にサクラマス親魚が数多くいるとその個体は再び魚道を降下していると考えられる。このことから、チュウシベツ川の産卵場が飽和状態であると推測される。サクラマスの産卵場にとってその対策が必要である。また、減水区間では、サクラマス親魚の遡上支援を目的としたダムからの弾力的管理運用放流が H22 より実施されている。遡上最盛期の 9 月に維持流量に加えて 2.5m³/s 程度をダム下流に放流し、水深の増加や水温の低下をうながすものである。弾力的管理運用放流は、サクラマス親魚の遡上行動を活性化させることから¹⁴⁾、このような取り組みもサクラマス親魚の遡上数の回復に効果があると考えられる。

(d) 産卵床の全体数は、年間変動があることが明らかになった。全体数の変動は、親魚の遡上数ともおおむね傾向は一致している。その中で H24 は、同じサイクルの H21 と比較しても大幅に産卵床数を減らしていた。近傍気象観測の今金地点では、サクラマスの産卵遡上期の H24 年 9 月に観測史上月間最高気温を記録しており、このことが、上流への遡上に大きな影響を与えたと考えられる。また、H20 の魚道内の産卵床数は、33 床とほかの年度と比べても 2 倍以上多い。これは、多自然魚道の一部分が工事によりシートで覆われ、カバーが形成されたことにより、この区間に多くの産卵床が確認されたと考えられる。今後、魚道を自然河川の代替として扱い、産卵を促進させるためにはシートや植物によるカバーが有効であることが示された。魚道における幼魚の出現率は約 5 割と高く、生息密度は 0.2 尾/m²と安定していることから、頭首工などに設置されたう回するだけの魚道とは異なるダム魚道は自然河川の代替だと考えれば、魚道自体を生息場や産卵場の機能を持たせることも重要だと考えられる。気象条件や外的要因による産卵床数の年間変動は見られるが、美利河ダム周辺全体からみたチュウシベツ川の産卵床数の割合は毎年増加傾向にあり、H25 には 26%、H26 には 47%を記録した。これは、サクラマスが次第に産卵場所を上流へシフトしていることを示し、チュウシベツ川の再生産が定着しつつあると考えられた。

サクラマスの主要な産卵場は本流や支流の上流域¹⁹⁾で、サケやカラフトマスに比べ上流が選択される。本結果からも、サクラマスの生息や遡上は、美利河ダムの魚道設置により長期的にわたり分断された河川連続性を着実に回復させ、サクラマスが上流へ向かうために有効に機能していることが明らかになった。美利河ダムの魚道は、魚道自体も産卵場や幼魚の生息場になることで 17 年間のダムによる連続性の分断影響を徐々に緩和してきたことが明らかになった。また、サクラマスの産卵床の

量を増加するには、魚道の延伸やチュウシベツ川の産卵床整備が有効である。

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)Morita K, Yamamoto S, Hoshino N. Extreme life history change of white-spotted char (*Salvelinus leucomaenis*) after damming. Can J Fish Aquat Sci. 2000 Jun;57(6):1300-6.
- 3)Layman CA, Quattrochi JP, Peyer CM, Allgeier JE. Niche width collapse in a resilient top predator following ecosystem fragmentation. Ecol Lett. 2007 Oct;10(10):937-44.
- 4)Morita K, Yamamoto S. Effects of habitat fragmentation by damming on the persistence of stream-dwelling charr populations. Conserv Biol. 2002 Oct;16(5):1318-23.
- 5)Fukushima M, Kameyama S, Kaneko M, Nakao K, Steel EA. Modelling the effects of dams on freshwater fish distributions in Hokkaido, Japan. Freshwater Biol. 2007 Aug;52(8):1511-24.
- 6)Morita K, Morita SH, Yamamoto S. Effects of habitat fragmentation by damming on salmonid fishes: lessons from white-spotted charr in Japan. Ecol Res. 2009 Jul;24(4):711-22.
- 7)Heggenes J, Roed KH. Do dams increase genetic diversity in brown trout (*Salmo trutta*)? Microgeographic differentiation in a fragmented river. Ecol Freshw Fish. 2006 Dec;15(4):366-75.
- 8)Yamamoto S, Morita K, Koizumi I, Maekawa K. Genetic differentiation of white-spotted charr (*Salvelinus leucomaenis*) populations after habitat fragmentation: Spatial-temporal changes in gene frequencies. Conserv Genet. 2004 Aug;5(4):529-38.
- 9)北海道レッドデータブック. <http://rdb.hokkaido-ies.go.jp/> 2001.
- 10)北海道河川環境研究会. 魚のすみやすい川づくりガイド-サクラマス代表種として-. 財団法人北海道建設技術センター 2010.
- 11)北海道開発局. 後志利尻川水系河川整備計画. 2007.
- 12)泉完, 山本泰之, 矢田谷健一, 神山公平. 河川内における挿入式スタミナトンネルによるヤマメ稚魚の突進速度に関する実験. 農業農村工学会論文集. 2009;262:103-9.
- 13)林田寿文, 新居久也, 渡邊和好, 宮崎俊行, 上田宏. サクラマスモルトの降下時における美利河ダム分水施設の評価. 土木学会論文集 B1(水工学). 2015;Vol.71(No.4):I_943-I_8.
- 14)林田寿文, 新居久也, 春日慶一. バイオテレメトリーシステムを用いた魚類の遡上行動解析. 北海道開発技術研究発表会. 2012;第 55 回.
- 15)林田寿文, 新居久也, 中尾勝哉, 渡邊和好, 宮崎俊行, 上田宏. PIT タグシステムによるサクラマス母川回帰確認手法の検討. 平成 27 年度日本水産学会春季大会. 2015.
- 16)柳屋圭吾, 渡邊和好, 林田寿文, 矢部浩規. サクラマスの生息密度と産卵床数に基づいた魚道整備による流域連続性の改善効果評価. 河川技術論文集. 2014;第 20 巻:79-84.
- 17)久保達郎. 北海道のサクラマスの生活史に関する研究. 北海道さけ・ますふ化場研究報告. 1980;34:1-95.
- 18)長内稔, 大塚三津男. サクラマスの生態に関する研究 I (湖河サクラマスの形態と産卵生態). 北海道水産ふ化場研究報告. 1967;22:17-32.
- 19)杉若圭一, 竹内勝巳, 鈴木研一, 永田光博, 宮本真人, 川村洋司. 厚田川におけるサクラマス産卵床の分布と構造. 道立水産孵化場研報. 1999;53:11-28.

(2015. 4. 3受付)