

11.4 氾濫原における寒冷地魚類生息環境の影響評価・管理手法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：水環境保全チーム

研究担当者：平井康幸、谷瀬敦、林田寿文、
矢野雅昭、水垣滋

【要旨】

美利河ダムの上流に設置された分水施設は、魚道に河川水を導入し魚類を海へと降下させる機能を持つ。しかしながら、分水施設の流入流量が $7\text{m}^3/\text{s}$ を超えた時、降下している最中のサクラマスは魚道に効果できずダム湖へ降下してしまうという問題も発生する。一度ダム湖へ降下した魚類は、再び分水施設や魚道を通り海へと降下することはできない。バイオメトリー機器として、PIT タグと電波発信機を分水施設の評価をするために使用した。融雪期の流量が最も大きい時期においても、スマルト全体の 88.2% が分水施設内に到達することができ、スマルト全体の 80.4% が魚道に到達することが明らかになった。また、スマルトの降下ピークは 1 日 2 回発生することも明らかになった。調査の期間中、流量は $2.21\text{m}^3/\text{s}$ から $30.4\text{m}^3/\text{s}$ の範囲にあったが、美利河ダムの分水施設は、スマルトの降下行動にとって迷走することなく十分機能することが明らかになった。

キーワード：サクラマス、スマルト、電波発信機、ピットタグ、降下行動

1. はじめに

サケ科魚類の行動パターンは、一般的に河川降下、海洋での採餌、航海、産卵のための河川遡上という 4 つのカテゴリに分類される¹⁾。このカテゴリのうち、河川降下は河川内でふ化したサクラマスなどの幼魚が成長するため春に海へ降下するものである。北海道では、サクラマス幼魚のすべてのメスがスマルト化（銀化）し降下する²⁾ ことから、より多くの個体が海で成長し再び河川へ遡上し産卵できるよう、河川横断構造物や魚道などを速やかに通過し海へ降下することが重要である。降下行動を起こすサクラマス幼魚は、外観の特徴からスマルト度 1～4 で評価され、スマルト度 1：ヤマメ（パー）、スマルト度 2：背ビレのみ先端付近が黒色、スマルト度 3：背ビレ及び尾ビレの先端付近が黒色だが腹ビレが黄色を帯びている、スマルト度 4：完全に銀化していることを示す。幼魚のスマルト化とは、元々備わっていない海水適応能力が高まったことを示す³⁾。また、スマルト化していた個体も 7 月を過ぎるとスマルト度 1 に戻るとされている⁴⁾。河川内でのサクラマスの既往研究としては、幼魚の越冬環境⁵⁾、スマルト期（降下期）の生理・生態⁶⁾、親魚の生態（遡上時期・遡上数、卵）⁷⁾ などが数多く報告されているが、幼魚（スマルトやヤマメ）の降下行動に関する研究はほとんどないのが現状である。

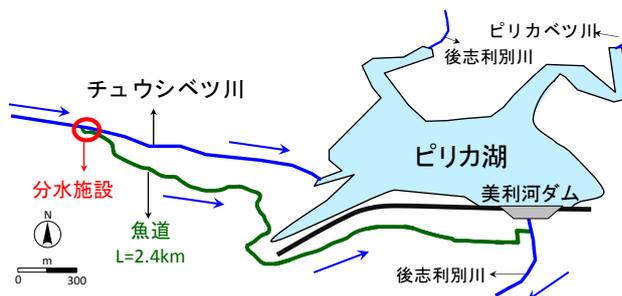


図-1 調査位置図

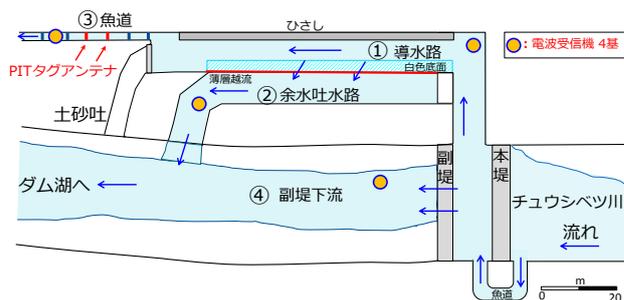


図-2 分水施設の詳細図

北海道後志利別川流域に生息するサクラマスは、主に 8 月～10 月に各支川、魚道の多自然部、ダム湖へ流入するチュウシベツ川などへ遡上し産卵後、11 月～12 月にふ化、3 月～5 月にふ上、4 月～10 月に成長、11 月～3 月に越冬を行い、4 月～6 月にスマルト化（銀化）して降下を行うことが知られている。

東北では秋季に降下する個体がわずかに確認されるが⁸⁾、一般的にサクラマス幼魚は、ふ化約 15 か月後のスモルト化した個体が、融雪時期に降下行動を示すものと考えられている。

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。そのため、美利河ダムでは魚道を建設し、サクラマスなど回遊魚の移動範囲の回復に努めてきた。魚道の上流接続地点は、ダム湖ではなくチュウシベツ川の、ダム湖から約 500m 上流地点であったため、この接続箇所には、スモルトなどの降下魚をダム湖ではなく魚道に導入するための分水施設がわが国で初めて設置されている(図-1、2)。しかし、分水施設では、融雪出水期のチュウシベツ川の流量が大きい場合、降下魚を含んだ流水が副堤下流(図-2; ④)からダム湖へ流下する可能性が懸念されていた。降下魚がダム湖へ降下してしまうと、海への降下が不可能となる。これまでダム管理所では、降下魚の行動を把握するため、リボンタグなどを装着した降下魚を分水施設内で放流し、ビデオカメラによる分水施設の機能調査を数年にわたり実施してきたが、降下魚の融雪出水時のチュウシベツ川から魚道までの降下状況、魚道内への降下割合と降下ピーク時期、7 月以降の降下行動の有無などが未解明であった。

美利河ダムにおけるサクラマス幼魚の降下行動を定量的に解明するため、バイオテレメトリー機器である PIT タグ (Passive Integrated Transponder Tag、Biomark 社) システムと電波追跡システム (Lotek 社) を用いてチュウシベツ川から分水施設への降下状況、ダム湖への降下状況、魚道内への降下状況、降下行動と流量との関連状況を解析し、分水施設が降下魚に与える影響の評価を行った。バイオテレメトリーは、発信機を魚類に装着し行動や位置情報などの情報を取得する近年発達した技術である¹⁰⁾。

本研究の結果は、河川横断構造物での回遊魚行動の定量的評価を可能にするばかりでなく、分流施設の新規建設(例えば、美利河ダムの魚道延伸や他ダムでの計画検討)を行う際の基礎資料を提供し、サクラマス幼魚、特にスモルトの降下行動の解明にも有益な情報となる。

2. 調査研究方法

2.1 研究範囲および分水施設の機能

後志利別川は、北海道せたな町において日本海に

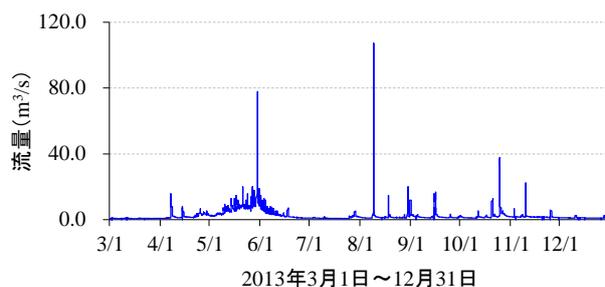


図-3 チュウシベツ川時刻流量 (忠志別観測所)

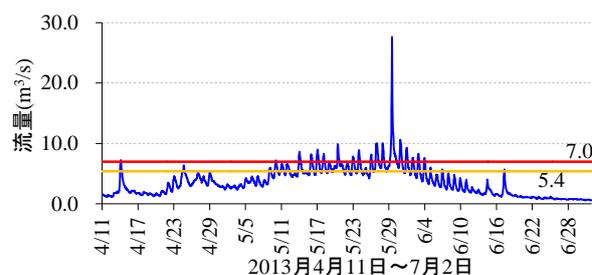


図-4 分水施設入口時刻流量

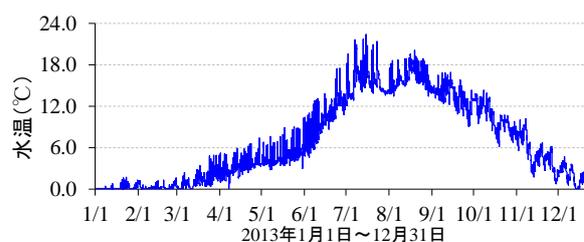


図-5 チュウシベツ川の水温

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平成 3 年に完成し、魚道は平成 17 年に設置された。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。ダム湖内の流れはほとんどなく、仮に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恐れがあったことから、チュウシベツ川の水を魚道へ分流させる工夫が必要となった。そのため、魚道上流とチュウシベツ川の接続地点には、分水施設が魚道建設と同時に設置された。本研究の調査範囲はチュウシベツ川および分水施設を対象とした(図-1)。

分水施設では、チュウシベツ川から降下してきた流水や魚が、副堤下流やダム湖へ降下しないように、2 つの堰(本堤・副堤)と魚道で導水路側へ導かれている。また、魚道内の流量を一定 (0.5m³/s) に保つため、導水路の余水は余水吐水路からダム湖へ降下させている。降下魚が余水吐水路からダム湖へ降

下しないように、導水路（図-2；①）は、1）図-2内の赤ラインに向かって導水路の水深を次第に浅くする（薄層越流）、2）薄層越流底面部の明度を上げるため白色（図-2 斜線部）にする、3）余水吐水路の反対側をひさしで明度の低い陰影部を創出する、という構造になっている。これは、サクラマス幼魚が明度の低い場所に入ると明度の高い場所に出るのをためらい¹²⁾、水表面を避けることから浅い箇所を忌避するという性質を活用して降下魚が余水吐水路に近寄らなくしたものである。また、スモルトの降下数が多いと想定された4月から6月の3か月間、夜間（日没～日出）に白色底面部をライトアップして明度を上げ、降下魚を24時間余水吐水路側に近寄せない取り組みを実施している。

調査を行った2013年の忠志別観測所で記録されたチュウシベツ川の時刻流量（1/1～12/31）を図-3に、分水施設入口時刻流量（4/11～7/2）を図-4に、チュウシベツ川の水温（1/1～12/31）を図-5に示す。調査期間中のチュウシベツ川の流量は、4月中旬から5月下旬にかけて徐々に上昇し、6月下旬まで融雪出水の影響による流量の増加があった。融雪期終盤の5月30日には、まとまった降雨があり77.8m³/sが流下した。融雪期間における分水施設入口の流量は、気温の影響で日変動を示し、4月中旬から6月下旬まで増水していた。分水施設の設計流量は5.4m³/sであり、この流量以下であれば、副堤下流にはほとんど水が流れない。一方、流量が7.0m³/sを超えると、スモルトが副堤下流や余水吐水路に落下してしまう可能性が指摘されていた。5月上旬から6月上旬までは、常時5.4m³/sを上回り、その間、流量が7.0m³/sを超えた時期が数多くあった。調査期間中のチュウシベツ川の水温は、3月上旬から上昇し、8月中旬から下がり始めた。チュウシベツ川の年間の水温変化は、0.1℃から22.3℃の範囲であった。

2.2 調査機器装着とサクラマス幼魚放流

サクラマス幼魚の降下行動を解明するために、2種類のバイオテレメトリー機器を使用した。

1つ目の機器として、サクラマス幼魚の長期的な降下時期・時間を把握するためPITタグシステム¹³⁾を使用した。PITタグシステムは、PITタグが装着された魚が固定式のアンテナ付近を通過することで、個体識別と通過日時の記録が自動的に可能となる。PITタグのアンテナ（Biomark社）は、魚道の隔壁上部と潜孔部にそれぞれ2基ずつ設置した（図-2）。2

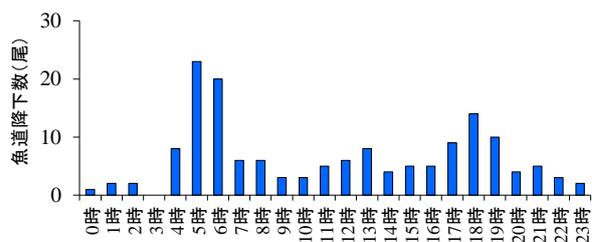


図-6 降下魚のアンテナ通過時間帯（PIT タグ）

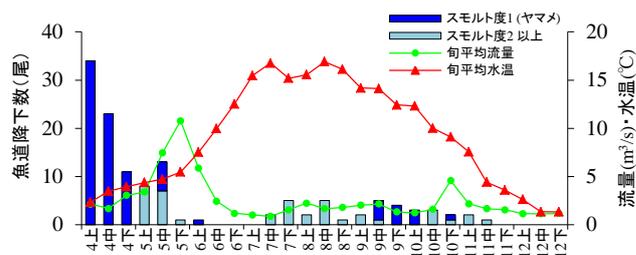


図-7 降下魚の降下時期（PIT タグ）

セット設置することで、魚の上・下流へのいずれかの移動が判断可能となる。チュウシベツ川と魚道内で、電気ショッカー、タモ網、魚道内トラップを用いて採取したサクラマス幼魚514尾（平均尾叉長±標準偏差 10.9±4.14cm、平均体重±標準偏差 13.8±4.90g）には、PITタグ（幅2.1mm、長さ12mm、重量0.1g、Biomark社）を装着した。装着方法は、専用ガンを用いて魚の左側腹腔内に挿入後、2～3mmの傷口部を生物用接着剤で固定し、外見からPITタグ装着魚と判断できるようリボンタグを背ビレ基部に装着した。PITタグ装着後、ヤマメ286尾（スモルト度1）を3月30日、スモルト215尾（スモルト度2～4）を採捕してから1～2日以内の4月25日から5月21日の間に放流を行った。スモルト度1の個体は、放流後速やかに降下するか不明であるのに対し、スモルト度2以上の個体は速やかに降下を行う³⁾と考えられたことから、スモルト度の1と2～4を分けて解析を行った。放流は、チュウシベツ川の採捕した場所の近傍で行った。ただし、分水施設内で採捕された個体は、分水施設の30m上流より放流した。おおよその放流場所は、スモルト度1の個体が分水施設の600m上流地点付近、スモルト度2以上の個体が分水施設の30～50m上流地点であった。PITタグアンテナでの受信は2013年3月30日から11月11日まで連続的に実施した。

2つ目の機器として、サクラマス幼魚の降下行動（特にダム湖への進入状況）を広範囲に把握するために電波追跡システムを使用した。電波発信機は、

個体識別と位置を把握できるタイプ (NTQ-2、重量 0.3g、Lotek 社) を使用した。5 秒間隔でデータが発信され電池寿命は約 30 日間である。電波発信機は、分水施設内に設置した魚道トラップで採捕した 52 尾 (平均尾叉長±標準偏差 13.4±1.05cm、平均体重±標準偏差 25.9±5.87g、平均スモルト度: 3.8) に装着した。発信機を装着するために、スモルトに麻醉 (FA100、田村製薬) を 0.5ml/l の濃度で約 1 分間施した後、スモルトを手術台に乗せ手術を行った。殺菌したメスで左腹を開腹後、発信機本体を挿入し、開腹部を手術用の針と糸により縫合、あるいは生物用接着剤により固定した。装着後の傷口には、化膿を防ぐため抗生物質を塗布した。手術後 6 時間以上 14) 河川内で馴致後、分水施設の 30m 上流より放流を行った。放流は、流量が 7.0m³/s を超えて魚がダム湖への降下が懸念されていた 5 月 16 日から 6 月 11 日の間で約 4 日ごとに合計 6 回行った。放流個体は、1 回あたり 9 尾程度とした。電波発信機の信号 (個体識別 ID と時刻) は、電波受信機 (SRX_600、Lotek 社) と八木アンテナのセットで受信が可能となる。このセットを分水施設内に 4 か所設置した (図-2)。電波受信機による電波受信は、2013 年 5 月 16 日から 6 月 30 日まで連続的に実施した。

3. 結果

3.1 PIT タグによるサクラマス幼魚降下行動把握

図-6 に、PIT タグを装着した幼魚が魚道に設置した PIT タグアンテナを通過した時間帯を示す。2 つのアンテナのうち上流側のアンテナのデータを解析に使用した。通過尾数が、最も多かったのは 5 時台で、続いて 6 時台、18 時台、19 時台の順であった。

図-7 に、PIT タグを装着した幼魚のスモルト度 (放流時期) の違いによるアンテナ降下時期を示す。スモルト度 1 の魚は、放流してから 10 日間以内の 4 月上旬が最も魚道通過数が多く、続いて 4 月中旬、下旬となっており、次第に降下数は減少していったが降下は 6 月上旬まで続いた。その後、降下する個体が確認されなくなったが、9 月中旬・下旬、10 月下旬に再び降下が確認された。スモルト度 2 以上の魚は、5 月上旬・中旬に降下する個体が多く、その後、降下個体が確認されなくなったが、9 月中旬から 11 月上旬に再び降下が確認された。幼魚全体の降下行動は、4 月上旬から 11 月中旬まで幅広く確認されたが、5 月中旬までの降下行動は融雪出水のピーク以前に起き、5 月下旬以降水温が約 5℃を超えると

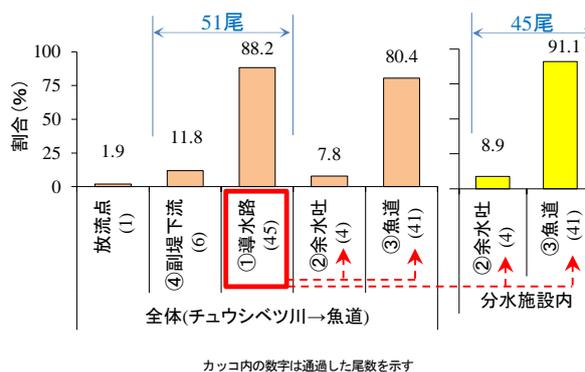


図-8 降下魚の各地点通過割合

降下個体は減少することが明らかになった。一方、秋には、11 月下旬以降水温が約 5℃を下回ると降下行動はほとんど確認できなくなった。

3.2 電波発信機によるサクラマス幼魚降下行動把握分析の結果

図-8 に、電波発信機を装着して放流した 52 尾の通過地点の割合を示す。1 尾は放流地点での滞留が確認されたため解析からは除外した。その 1 尾を除く全 51 尾の放流地点から各通過地点の割合をみると、副堤下流 (図-2 ; ④) に降下した個体が 11.8%、分水施設内 (図-2 ; ①) に降下した個体が 88.2%、余水吐水路 (図-2 ; ②) に降下した個体が 7.8%、魚道 (図-2 ; ③) に降下した個体が 80.4%であった。多くの個体が分水施設内に降下でき、流量が大きい時期であっても、その大部分が魚道に到達できることが明らかになった。また、分水施設に進入出来た個体 45 尾での割合をみると、魚道に到達できた個体は 91.1%であり、導水路に進入出来れば、ほとんどの個体が余水吐水路へは降下せずに魚道を通することが明らかになった。

図-9 に、スモルトが降下した際の各地点での流量頻度分布を示す。どの流量で魚が各地点に到達したかを示すものである。I : 放流地点での流量は、4~12m³/s の範囲にあり、9m³/s 時に最も多くの個体が放流された。また、7m³/s 以上の流量で 69%の個体が放流された。II : 副堤下流に降下した個体は、5~12m³/s までの範囲であったが、流量帯ごとで各 1 尾ずつの降下であった。副堤下流でほとんどの降下魚が確認された流量は 7m³/s 以上であった。III : 導水路に降下した際の流量は、4~12m³/s の範囲であり、9m³/s 時が最も多く、5~8m³/s でも 5~8 尾と多い傾向にあった。通過は 12m³/s でも 3 尾確認できた。分水施設的设计取水量 (5.4m³/s) を超えた 6m³/s 以

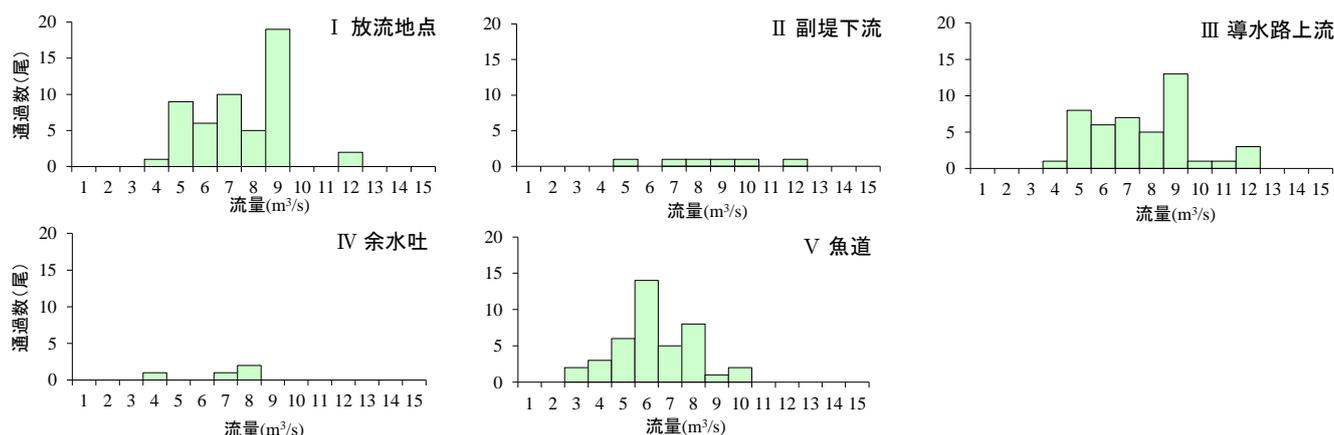


図-9 各地点のスマルト降下魚の流量頻度分布

上の時に 67%の個体が降下していた。7m³/s 以上での副堤下流と導水路の降下数を比較すると、導水路へ降下する個体が多く、副堤への降下は少ないことが明らかになった。IV：余水吐水路に降下した個体は、4～8m³/s の範囲に分布していた。降下した個体は、流量帯ごとでそれぞれ 1～2 尾であった。V：魚道を通じた個体は、3～10m³/s の範囲に分布し、6m³/s が最も多かったが、8m³/s 以下でも比較的多かった。7m³/s 以上での余水吐と魚道の降下数を比較すると、魚道へ降下する個体が多く余水吐水路への降下は少ないことが明らかになった。

4. 考察

本研究では、美利河ダム上流に設置された分水施設周辺におけるサクラマス幼魚(スマルト・ヤマメ)の降下行動を、小型バイオテレメトリー機器 (PIT タグシステム・電波追跡システム) を用いて調査した。その結果、各発信機が持つ特性に応じたサクラマス幼魚の降下行動を明らかにすることができた。

4.1 PIT タグによるサクラマス幼魚降下行動把握

降下魚が 1 日の中で 5～6 時と 18～19 時に 2 回降下のピークがあることが明らかになった。幼魚(ヤマメ)は、日中採餌を行い夜間は流れの緩い場所で滞留することが知られている¹⁵⁾。したがって、今回の行動パターンは、日出の前後に降下し摂餌を活性化させ、日没頃になると夜間の滞留箇所を探し移動する個体が多かったものと考えられる。サクラマス親魚の遡上活動も同様に日中に活性化し、夜間に停滞する日周変化を持つ¹⁶⁾。ことから幼魚の降下と親魚の遡上の時間帯はほぼ同じであることが示唆された。また、この降下ピークの 2 つの時間帯に加え、

6 月上旬で幼魚のうちスマルトの降下は終わることが明らかになった。この結果、経費のかかるライトアップをスマルトの降下時間や時期に合わせて実施することが可能になる。つまり、現在は 6 月末まで一晩中行っているライトアップを、降下数の多い朝方と夕方に、6 月上旬までにすることで大幅なコスト削減が可能となる。今後、スマルトの降下時期の年間変動を詳細に把握することや、分水施設内のライトアップを完全に止めた場合の降下行動の検証もコスト削減などの効率的な分水施設運用には必要である。

PIT タグを装着・放流した際のスマルト度の進行度合いに違いはあるが、サクラマス幼魚は 4 月上旬から 11 月中旬まで幅広い降下行動をとることが明らかになった。スマルト度 1 の個体は、4 月上旬、中旬に数多く降下することが明らかになった。既往調査による美利河ダム周辺のスマルト化した幼魚の降下行動は、おおよそ 4 月下旬から 6 月上旬まで観察されている。また、既往研究では、北海道内のスマルトの降下ピークは 5 月上旬から 6 月下旬とされる¹⁷⁻¹⁹⁾。そのため、3 月中旬に PIT タグを装着したこれらのサクラマス幼魚は、4 月上旬や中旬ではまだスマルト度 1 であり、銀化が始まり降下を開始したとするには少し時期が早いと考えられる。しかし、PIT タグを装着した際、ほとんどの幼魚の外見は河川残留個体に特有の黒ずんだ色合いがほとんど見られず、1～2 か月後にはスマルト度が進むと想定されていた。このことから、銀化が起きる前から生息場を次第に下流へ移し、海水への適応が完了し次第すぐに海へと降下できるよう、少しでも海に近付くため下流へ降下している可能性が考えられた。今までの降下行動調査では、スマルト度 2 以上になる時期

から始めていたが、スモルト降下行動の詳細な把握には4月当初からの調査が必要であることが示唆された。

春季の降下行動が終わった後、スモルト度1の個体は、9月中旬から10月下旬、スモルト度2以上で7月中旬から11月上旬まで、降下行動が確認された。7月以降の魚はいずれもスモルト度1のヤマメである⁴⁾と考えられたため、このヤマメ個体の夏期以降の降下行動についてはチュウシベツ川の生息場の量や質に原因がある可能性がある。魚道が接続するチュウシベツ川は、分水施設の上流約2km地点に魚道のない治山ダムが設置されており、魚はこの地点より上流には移動出来ない。また、ヤマメは越冬を行う場合、流速が緩くエネルギー消費を低く抑え、捕食の危険性が少ない生息場を選ぶことが知られている^{20, 21)}。そのためチュウシベツ川の2km区間だけでは幼魚の生息数に対する生息場が不足しており、下流に生息場を求めて移動している可能性がある。幸い、美利河ダム魚道の延長2.4kmの内2.0kmは勾配の緩い(1/2000)多自然魚道でありヤマメの生息場には最適な箇所が存在する。魚道の多自然型部は、産卵場だけではなく越冬環境としても機能を有すると考えられたため、この機能を解明するため魚道の最下流地点にもPITタグのアンテナを2013年9月に設置した。今後、測定データを解析することで、降下魚の行動を蓄積することができ、分水施設や魚道のより詳細な評価が可能となることが期待されている。また、美利河ダム上流のヤマメの生息場拡大のため、ダム管理計画である魚道の後志利別川までの延伸は急務である。

スモルト度2~4の個体は、5月中に降下行動を示したが、一部は7月以降も検知され海に降下せず河川残留していた。本来、スモルト度進んだ個体は、速やかに降下行動を示すとされる³⁾が、降下行動をとらなかった原因として、降下を誘発するきっかけがなかったことが一因と考えられる。通常、降下を誘発するきっかけは、流量や濁度¹²⁾とされるが、5月末の大きい出水の流量ピーク前後10日間に降下魚は全くアンテナに検知されていなかったように、本調査時の流量・濁度と降下行動の相関関係はほとんど見られなかった。木曾は、千曲川などではスモルト個体が降下を途中で止めて河川内にとどまると定性的に述べている⁸⁾。そのため、後志利別川でも同様にスモルト化魚類の降下行動の停止が起きていたと考えられる。この原因の1つは、5月末の出水

以降の水温上昇が挙げられる。この出水を境に周辺の雪が消えチュウシベツ川の流量が減少し、水温が6月上旬で7°Cを超え、スモルトの降下は大幅に減少した。宮越ら²²⁾による後志利別川下流部の研究では、水温が6°C以上になると移動が止まると報告している。そのため、この出水時、分水施設の上流にいた個体は、スモルト度4であったとしても降下のタイミングを逃したのではないかと推察された。分水施設の詳細な評価を行うには、降下タイミングの把握も重要である。そのため、融雪出水ピーク前に大部分が降下したことなどの原因解明には、降下魚の血液成分³⁾などの生理学的変化を詳細に解析し、また、単年度の調査結果だけではなく継続的な調査が必要である。

4.2 電波発信機によるサクラマス幼魚降下行動把握

本研究では、電波受信機の使用方法として、本来の可搬で使用するアンテナを設置型の固定局として使用することで、連続的な分水施設内のスモルトの降下行動の把握に成功した。

分水施設の30m上流から放流したスモルトは、調査中で最も流量の大きい期間であったにも関わらず、約90%の個体が分流施設内の導水路に導かれ、約80%の個体が魚道に到達した。本年度のような流況パターンにおいては、大部分の降下魚は副堤下流・ダム湖へは降下せず魚道を降下することが明らかになった。チュウシベツ川から魚道への降下率について適正值などの基準はないが、網やスクリーンなどの仕切がない構造で導水路進入率や魚道の降下率はいずれも80%を超え、良好な値だと考えられる。放流地点、副堤下流、導水路内、余水吐水路、魚道の各地点におけるスモルト降下魚の流量頻度分布を見ても同様のことが言え、チュウシベツ川の流量が7.0m³/sを超えると、ダム湖へ降下する懸念があったが、調査期間中の流量も2.21~30.4m³/s(平均6.70m³/s)の範囲にあったにも関わらず、副堤下流からダム湖への降下個体は少なく、降下魚が導水路上流に到達した際の流量は7.0m³/sを超えていることが多かったが、大部分の魚が魚道へ降下することが明らかになった。

本研究結果から、薄層越流などの工夫を施した美利河ダム分水施設は、降下魚にとって十分機能しているものと判断できる。今後は、副堤下流と余水吐水路へ降下魚が降下しない流量の閾値の年間変動を

把握することが、分水施設を設計・改良する際の参考となる。また、今後も継続調査を実施し、降下魚の降下期間およびピークをとらえ、チュウシベツ川の分水施設の副堤からダム湖へオーバーフローする流量との関係を解析することにより、年間変動を踏まえた分水施設の機能を評価する必要がある。

本研究では降下行動による評価を行ったが、サクラマス親魚などの遡上魚の行動データも含めた評価が、本来の分水施設評価となる。PIT タグは電池が内蔵されていないため長期間の観測が可能であり、PIT タグを装着した幼魚が翌年の秋にサクラマスの親魚となって魚道を遡上した際にその個体識別と日時を記録することも可能である。今後は、美利河ダム魚道の上下流に設置している PIT タグシステムの測定を継続し、データの取得・解析を行い降下行動と遡上行動を合わせた評価を行っていく予定である。

謝辞：(株)青写真商会濱田浩二氏には膨大な PIT タグのデータ整理を手伝っていただいた。感謝の意を表す。

参考文献

- 1) Ueda H. Physiological mechanism of homing migration in Pacific salmon from behavioral to molecular biological approaches. *Gen Comp Endocrinol*. 2011;170(2):222-32.
- 2) 眞山紘. サクラマス生態ノート. 魚と卵. 1990;159:7-21.
- 3) McCormick SD, Hansen LP, Quinn TP, Saunders RL. Movement, migration, and smolting of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Can J Fish Aquat Sci*. 1998;55:77-92.
- 4) 熊崎博, 田代文男. アマゴの増殖に関する研究-XXVI アマゴおよびヤマメの相分化に及ぼす飼育条件の影響について. 岐水試研報. 1988;33:1-20.
- 5) Miyakoshi Y, Sasaki Y, Fujiwara M, Tanaka K, Matsueda N, Irvine JR, et al. Implications of Recreational Fishing on Juvenile Masu Salmon Stocked in a Hokkaido River. *N Am J Fish Manage*. 2009 Feb;29(1):33-9.
- 6) Ohji M, Arai T, Miyazaki N. Differences of tributyltin accumulation in the masu salmon *Oncorhynchus masou* between sea-run and freshwater-resident types. *J Fish Biol*. 2006 Mar;68(3):931-9.
- 7) Morita K, Nagasawa T. Latitudinal variation in the growth and maturation of masu salmon (*Oncorhynchus masou*) parr. *Can J Fish Aquat Sci*. 2010 Jun;67(6):955-65.
- 8) 木曾克裕. 二つの顔を持つ魚サクラマス: 成山堂書店 2014.
- 9) 北海道レッドデータブック. <http://rdb.hokkaido-ies.go.jp/> 2001.
- 10) Cooke SJ, Hinch SG, Wikelski M, Andrews RD, Kuchel LJ, Wolcott TG et al. Biotelemetry: a mechanistic approach to ecology. *Trends Ecol Evol*. 2004 Jun;19(6):334-43.
- 11) 北海道開発局. 後志利別川水系河川整備計画. 2007.
- 12) 眞山紘. 魚道型実験水路におけるサクラマス幼魚の遡上行動. さけ・ますふ研場. 1987;41:137-53.
- 13) J.M. Roussel, A. Haro, Cunjak RA. Field test of a new method for tracking small fishes in shallow rivers using passive integrated transponder (PIT) technology. *Can J Fish Aquat Sci*. 2000;57:1326-9.
- 14) Hayashida K, Nii H, Tsuji T, Miyoshi K, Hamamoto S, Ueda H. Effects of anesthesia and surgery on U_{crit} performance and MO_2 in chum salmon, *Oncorhynchus keta*. *Fish Physiol Biochem*. 2013;39:907-15.
- 15) 眞山紘, 大熊一正. 河川滞留期サクラマス幼魚の摂餌生態. マリーンランシング計画 (サクラマス) プロGRESSレポート, 北海道さけ・ますふ化場. 1983; 3:21-8.
- 16) Banks JW. A review of the literature on the upstream migration of adult salmonids. *J Fish Biol*. 1969; 1: 85-136.
- 17) 小林美樹, 岩見俊則, 岡田鳳二, 永田光博. サクラマスの生態学的研究 I 古宇川に放流した池中継代サクラマスの降下行動について. 北海道立水産孵化場研報. 1988;43(43):57-64.
- 18) 眞山紘. サクラマス *Oncorhynchus masou* の淡水域の生活および資源培養に関する研究. 北海道さけ・ますふ化場研報. 1992; 46: 1-156.
- 19) Koyama T, Nagata M, Miyakoshi Y, Hayano H, Irvine JR. Altered smolt timing for masu salmon *Oncorhynchus masou* resulting from domestication. *Aquaculture*. 2007 Dec; 273 (2-3): 246-9.
- 20) Cunjak RA, Prowse TD, Parrish DL. Atlantic salmon (*Salmo salar*) in winter: 'the season of parr discontent'? *Can J Fish Aquat Sci*. 1998;55(S 1):161-80.
- 21) Cunjak RA. Winter habitat of selected stream fishes and potential impacts from land-use activity. *Can J Fish Aquat Sci*. 1996; 53 (S1): 267-82.
- 22) 宮越靖之, 松枝直一, 武藤悟一, 菅原敬展, 田中敬子, 坂本準. 尻別川本支川におけるサクラマスの遡上時期. 北海道水産孵化場研報. 2009; 63: 15-9.

EVALUATION OF A DIVERSION FACILITY DURING DOWNSTREAM MIGRATION OF MASU SALMON SMOLT AT THE PIRIKA DAM, HOKKAIDO, JAPAN

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Watershed Environmental Engineering

Research Team

Author : HIRAI Yasuyuki

TANISE Atsushi

HAYASHIDA Kazufumi

YANO Masaaki

MIZUGAKI Shigeru

Abstract :

A diversion facility installed at reaches upstream of Pirika Dam to generate downstream flow into the fish passage, and allow the fish to migrate to the sea. However, when the flow rate of the diversion facility exceeds 7.00m³/s, there are concerns that masu salmon smolt have trouble reaching the dam reservoir, because the smolt in the dam reservoir cannot migrate to the sea through the diversion facility. A PIT tag system and radio transmitters for biotelemetry was used to evaluate the diversion facility. It was found that 88.2 % of the smolt were able to enter the diversion facility, and 80.4 % of all smolt were able to access the fish passage. It was also clarified that smolt downstream migration had two peaks per day. During the study period, although the flow rate was in the range between 2.21m³/s and 30.4m³/s, the diversion facility was revealed to have satisfactory functionality for the downstream migration of smolt.

Key words: masu salmon, smolt, radio transmitter, pit tag, telemetry, dam, downstream migration