

PITタグシステムを用いた 長期的なサクラマスへの行動把握

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 水環境保全チーム ○林田 寿文
公益社団法人 北海道栽培漁業振興公社 新居 久也
株式会社 田中三次郎商店 田中智一郎

美利河ダム周辺のサクラマス幼魚に超小型の電子標識であるPITタグを装着し、受信システムに遠隔操作機能を新たに加え、降下後の幼魚の魚道内分布を調査した。PITタグは電池不要で長期間使用が可能であるため、降下幼魚に加え、翌年の産卵遡上親魚の行動も検知できることが期待される。データ解析の結果、遡上日や遡上行動から勘案して親魚と想定されるサクラマスの魚道遡上や、長期間にわたる魚道内残留個体の情報がリアルタイムで確認できた。

キーワード：サクラマス、バイオテレメトリー、長期行動把握、母川回帰

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⁾。その中で、北海道に生息するサクラマス幼魚のすべてのメスがモルト化（銀化）し河川降下する²⁾ことから、より多くの個体が海で成長し親魚となって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の通過（降下と遡上）が重要となる。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³⁾、モルト期（降下期）の生理・生態⁴⁾、親魚の生態（遡上時期・遡上数、卵）⁵⁾などが数多く報告されているが、降下行動や遡上行動の研究は少ない。魚道におけるサクラマスの行動について、林田らは、美利河ダム分水施設での幼魚の魚道誘引効果の検証実験を行い、融雪時などの流量が大きい時期にも多くの幼魚を魚道へ導いていることを解明した⁶⁾。また、産卵遡上魚について林田らは、産卵期のサクラマス親魚にテレメトリー機器を装着し、美利河ダムの魚道はサクラマス親魚に遡上・休息などの選択性を与えていることを明らかにした⁷⁾。しかし、林田らの降下魚の研究について、魚道へ降下後の行動は未解明であり、遡上する親魚についてもダムの下流地点から放流した短期間の調査に限定されている。サクラマスは河川から海洋に降下し成長した後、河川へと遡上し産卵を行うことから、同じ個体を一連で行動追跡できる方法が求められている。サクラマスの幼魚から親魚の母川回帰行動調査は、眞山ら⁸⁾がリボンタグを用いた調査を実施しているが、親魚の採捕は河川に入る前の沿岸部における調査に限定されており、幼魚を放流し、河川上流域において親魚の遡上を把握した研究や

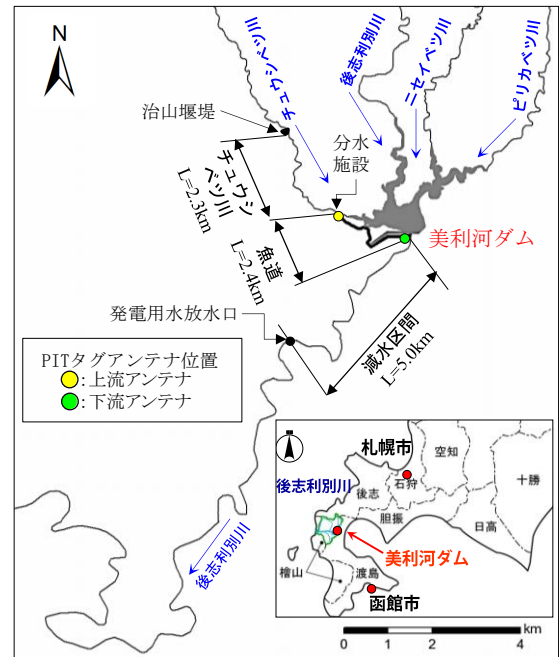


図-1 美利河ダム周辺平面図

長期間のヤマメの生息を調査した研究はほとんどない。このようにサクラマスの降下から遡上・産卵までの一連の行動は、未解明であった。

美利河ダムの魚道は、多自然魚道と階段式魚道が複合されたタイプであり、延長2.4kmと国内最長で、魚道が降下魚・遡上魚・生息魚にとって長期間どのような影響を与えているかを解明する必要がある。一般的に多自然魚道のような緩傾斜魚道内では、魚道内に魚が生息していることが確認されるが定量的な生息データも少なく⁹⁾、魚道内での生息期間などについては、これまで知られていない。

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月にスモルト化（銀化）して降下を行うことが知られているが、このデータも定性的なものに留まっている。降下行動を起こすサクラマス幼魚は、外観の特徴からスモルト度1～4で評価され、スモルト度1：ヤマメ（パー）、スモルト度2：背ビレのみ先端付近が黒色、スモルト度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、スモルト度4：完全に銀化していることを示す。幼魚のスモルト化とは、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¹⁰⁾。また、スモルト化していた個体も7月を過ぎるとスモルト度1に戻るとされている¹¹⁾。

美利河ダムの分水施設と魚道および河川内のサクラマスの長期的な行動を定量的に解明するため、近年技術が急速に発展したバイオテレメトリー機器^{6,12)}のうち、PITタグ（Passive Integrated Transponder Tag）システムを用いて行動追跡調査を実施した。PITタグは電池が不要で長期間の使用が可能であるため、降下する幼魚に加え、PITタグを装着してから長期間（例えば、1年以上）の産卵遡上する親魚、魚道内で長期間生息する個体も検知できることが期待される。

本研究の目的は、長期間にわたるサクラマスの降下および遡上行動に対して、PITタグシステムの有効性を解明すると共に、美利河ダム周辺におけるサクラマスと魚道の生態的関係を把握することである。そのため本研究では、これまで未解明であった以下の事項について検証を行った。1) チュウシベツ川から降下したサクラマスの母川回帰性、2) 長大な魚道内におけるサクラマス幼魚の長期間の生息状況、3) サクラマス幼魚の年間を通じた移動最頻期。

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・遡上行動という生態的な解明にも有益な情報となる。

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80 km、流域面積720 km²の一級河川である¹³⁾。後志利別川の河口から51.5 km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1.85 km²、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）。



上流アンテナ（4基）

階段式魚道通水前
アンテナは白矢印で示す

下流アンテナ（2基）

緑色枠は水中アンテナを支える鋼材
アンテナは白矢印で示す

写真-1 PITタグアンテナ設置状況

(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1,480 mで日本一の長さを有している。発電用水は、ダム堤体から約5 km下流地点の放水口で放流される。そのため、ダム堤体下流に減水区間（図-1）が生じることから、魚道の通過水（4～11月：0.5 m³/s、12～翌3月：0.1 m³/s）が減水区間の維持流量として放流されている。

(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=2.4 km）が設置されている（図-1）。魚道設計対象魚は、ダム周辺の生息魚類のうち、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5種と淡水魚2種の計7種であった。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ため、魚道上流端はチュウシベツ川に分水施設を通じて接続されている。将来的に、魚道は後志利別川まで延伸する計画で完成すれば全長約6.0 kmの魚道となる。

(2) PITタグシステムの使用

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（Biomark社）¹⁴⁾を使用した。交通系ICカード（例えば、札幌地下鉄SAPICA）にも使用されるRFID技術を用いたPITタグシステムは、PITタグとアンテナ・受信機で構成され、PITタグ装着魚がアンテナ設置付近を通過すると、個体識別（ID）と通過日時が受信機に記録される。PITタグのアンテナは、魚道上流端の階段式魚道の隔壁上部と潜孔部にそれぞれ1基を2組、計4基を設置した（上流アンテナ、図-1、写真-1）。また、魚道最下流端のカルバート部と多自然魚道内にそれぞれ各1基のアンテナを設置した（下流アンテナ、図-1、写真-1）。各地点2組を設置することで、魚の上流・下流へのいずれかの移動の判断が可能となる。2013～2015年に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（表-1）に、PITタグ（幅2.1 mm、長さ12 mm、重量0.1 g、Biomark社）を装着した。2013年、2014年、2015年の春季におけるPITタグ装着魚は、それぞれ、508尾、629尾、678尾であった。装

表-1 P I Tタグを装着されたサクラマス幼魚の諸元

| 放流年 | 放流日 | 放流尾数 | スモルト度 | 放流場所 | 平均尾又長(±標準偏差) | 体重(±標準偏差) |
|-------|-----------------|------|-------|----------------|--------------|-------------|
| 2013年 | 3月30日 | 284 | 1 | 分水施設 600m 上流 | 9.80 ± 1.14 | 11.3 ± 3.60 |
| | 4月25日 - 5月21日 | 224 | 2~4 | 分水施設 30-50m 上流 | 12.0 ± 1.13 | 17.4 ± 5.30 |
| 2014年 | 3月20日 | 393 | 1 | 分水施設 600m 上流 | 10.6 ± 1.44 | 14.1 ± 5.23 |
| | 4月28日 - 6月4日 | 236 | 2~4 | 分水施設 30-50m 上流 | 12.6 ± 1.23 | 21.3 ± 6.34 |
| | 3月31日 | 414 | 1 | 分水施設 600m 上流 | 10.0 ± 1.12 | 11.6 ± 4.21 |
| 2015年 | 5月4日 - 6月4日 | 264 | 2~4 | 分水施設 30-50m 上流 | 11.7 ± 1.31 | 16.1 ± 5.69 |
| | 10月22日 - 10月23日 | 502 | 1 | 魚道内の採捕箇所 | 11.0 ± 1.99 | 15.8 ± 9.39 |

着方法は、専用ガンを用いて魚の左側腹腔内に挿入後、2~3 mm 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。幼魚放流は、装着後に畜養し1~2日間以内に行った。また、2015年10月21~23日には、魚道内に生息する限り多くのヤマメのPITタグの装着有無を確認することを目的に魚道内で全面的に魚類採捕を行い、ハンディ型のPITタグリーダー(601 Reader, Biomark 社)を用いて魚道内生息魚のPITタグ挿入の有無を確認した。その際、PITタグの非装着魚のうち、尾又長が7 cm以上でPITタグ装着が問題ないと判断した個体502尾にPITタグを装着した(表-1)。PITタグアンテナによるPITタグの連続受信期間は、2013年3月30日から2015年11月30日までとした。

(3) PITタグシステムのデータ取得

PITタグの受信データは、アンテナ近傍の受信機に蓄積されるため、既往のシステムでは現地にてPCにより回収する必要があった。そこで、遠隔地からのデータ回収や機器運用状況の確認を可能とするため、遠隔操作機器の新システムを導入した。本機器におけるデータの回収には、安価・省電力・省スペースのスペックであるスティックPC(IOデータ CSTK-32W インテル Compute Stick)とデータ通信端末(機器: DOCOMO L-03D、回線: NTT コミュニケーションズ(OCN))を導入した。これらの機器を使用し定期的にPITタグデータの回収を行った。

3. 結果

(1) 長期間にわたるサクラマス母川回帰確認

PITタグ装着の放流幼魚は、翌春に母川内へ遡上し、さらに、その秋に産卵場へと向かう。今回の調査では、計1,137尾(2013年、2014年の放流魚)が親魚としての母川回帰確認の対象魚となり、このうち、2014年は8、9月に2尾、2015年は9月に1尾の親魚が遡上したと推定された。

2014年8月の遡上魚は、2013年3月30日に分水施設600 m上流地点で放流された。その後、魚道を降下し翌年2014年8月13日に下流アンテナで検知され、43日間魚道内に滞在した後、9月26日に上流アンテナで検知されチュウシベツ川への遡上が確認された。その後、9月30日に再

び魚道内に戻り10月21日から11月2日まで下流アンテナで検知された。放流から親魚遡上までの再確認期間は501日間であった。

2014年9月の遡上魚は、2013年5月17日に分水施設の30 m上流地点で放流され、魚道を降下した。翌年2014年9月8日に下流アンテナで検知され魚道内に遡上し、25日間魚道内に滞在した後、10月3日に上流アンテナで検知されチュウシベツ川への遡上が確認された。下流アンテナから上流アンテナまでの約2.3 kmを遡上開始後43時間6分で遡上したことが明らかになった。放流から親魚遡上までの再確認期間は478日間であった。

2015年9月の遡上魚は、2014年5月3日にチュウシベツ川の30 m上流地点で放流された。翌日5月4日に上流アンテナで検知され魚道内へ降下し、5月7日に下流アンテナで検知され後志利別川の本川への降下が確認された。上流アンテナから下流アンテナまでを降下開始後73時間57分で降下したことが明らかになった。翌年2015年9月22日に再び下流アンテナで検知され魚道内に遡上、9月23日に上流アンテナで検知されチュウシベツ川へ遡上したことが確認された。9月23日に下流アンテナまで降下したことが確認された。下流アンテナから上流アンテナまでの遡上時間は遡上開始後3時間30分で遡上したことが明らかになった。放流から親魚遡上までの再確認期間は507日間であった。

(2) 魚道内での長期間にわたるサクラマス幼魚生息確認

PITタグを装着し放流した個体のうち、放流した年には降下せず魚道内に残留し、翌年にアンテナで検知できた15尾の個体データを表-2に示す。

放流後から最大の検知された日数は、296~491日と長期間に及び、最大で1年以上魚道内を生息場・越冬場としていたことが明らかになった。また、15尾のうち、12尾が翌年の春季に魚道から後志利別川に降下しており、残り3尾が引き続き魚道内に残留していた。また、14尾の個体が魚道内で越冬していた。PITタグを装着・放流時のスモルト度を見ると、13尾がスモルト度IVで完全にスモルト化(銀化)した個体であった。また、チュウシベツ川から魚道内に降下する時期はばらつきがあった。

2015年10月の魚道内におけるサクラマス幼魚の採捕調査によるPITタグ装着魚の生息状況調査の結果を表-3に示す。519尾を捕獲した内6尾の体内にPITタグが確認され、すべてが2015年に放流した個体であった。

表-2 放流の翌年に検知できたサクラマス幼魚

| No. | 放流時の スモルト 度 | 放流時 尾叉長 (cm) | 放流時 体重 (g) | 放流日 a | 最後に検知 された日 b | 放流からの 最大検知日数 b-a | 放流後の行動 |
|-----|-------------------|--------------------|------------------|-----------|--------------------|------------------------|--|
| 1 | 2 | 12.0 | 15.5 | 2013/5/12 | 2014/6/23 | 407 | 翌年に降下型 5月にチュウシベツ川から魚道内に降下後、9月まで上流アンテナ滞在 10月に下流アンテナまで降下し越冬 翌年6月に魚道から後志利別川へ降下 |
| 2 | 4 | 12.3 | 16.4 | 2013/5/31 | 2014/4/27 | 331 | 翌年に降下型 10月にチュウシベツ川から魚道内に降下し越冬 翌年4月に魚道から後志利別川へ降下 |
| 3 | 4 | 10.0 | 10.4 | 2013/5/31 | 2014/3/23 | 296 | 翌年に降下型 8月にチュウシベツ川から魚道内に降下後 10月まで上流アンテナ付近滞在 翌年3月に魚道から後志利別川へ降下 |
| 4 | 4 | 9.8 | 9.5 | 2013/5/31 | 2014/3/23 | 296 | 翌年に降下型 9月にチュウシベツ川から魚道内に降下し越冬 翌年3月に魚道から後志利別川へ降下 |
| 5 | 4 | 12.8 | 20.4 | 2013/5/31 | 2014/4/17 | 321 | 翌年に降下型 11月にチュウシベツ川から魚道内に降下し越冬 翌年4月に魚道から後志利別川へ降下 |
| 6 | 4 | 11.5 | 16.5 | 2013/5/31 | 2014/4/10 | 314 | 翌年に降下型 8月にチュウシベツ川から魚道内に降下 11月に下流側まで降下し越冬 翌年4月に魚道から後志利別川へ降下 |
| 7 | 4 | 10.8 | 12.5 | 2013/6/7 | 2014/5/1 | 328 | 翌年に降下型 チュウシベツ川で越冬後、翌年4月にチュウシベツ川から魚道内に降下 5月に魚道から後志利別川へ降下 |
| 8 | 1 | 10.5 | 13.9 | 2014/3/20 | 2015/6/6 | 443 | 翌年に降下型 4月にチュウシベツ川から魚道内に降下し、越冬 翌年6月に魚道から後志利別川へ降下 |
| 9 | 4 | 12.2 | 21.4 | 2014/5/2 | 2015/3/11 | 313 | 翌年に降下型 5月にチュウシベツ川から魚道内に降下し下流側まで降下 5月から翌年3月まで下流側で越冬・滞在 3月に魚道から後志利別川へ降下 |
| 10 | 4 | 11.8 | 20.0 | 2014/5/2 | 2015/4/9 | 342 | 翌年に降下型 5月にチュウシベツ川から魚道内に降下し越冬 翌年4月に魚道から後志利別川へ降下 |
| 11 | 4 | 13.3 | 34.0 | 2014/5/13 | 2015/3/14 | 305 | 魚道内残留型 5月にチュウシベツ川から魚道内に降下し越冬 翌年3月にも上流側アンテナで検知され魚道内に滞在 |
| 12 | 4 | 11.8 | 15.4 | 2014/5/13 | 2015/4/26 | 348 | 翌年に降下型 5月にチュウシベツ川から魚道内に降下し越冬 翌年4月に魚道から後志利別川へ降下 |
| 13 | 4 | 10.0 | 11.6 | 2014/5/20 | 2015/4/6 | 321 | 翌年に降下型 11月にチュウシベツ川から魚道内に降下し越冬 翌年4月に魚道から後志利別川へ降下 |
| 14 | 4 | 11.9 | 17.9 | 2014/5/20 | 2015/4/11 | 326 | 魚道内残留型 9月にチュウシベツ川から魚道内に降下し上流アンテナ付近で越冬 翌年4月にも上流側アンテナで検知され魚道内に滞在 |
| 15 | 4 | 11.1 | 15.4 | 2014/5/20 | 2015/9/23 | 491 | 魚道内残留型 5月にチュウシベツ川から魚道内に降下 10月に下流アンテナ付近に降下して越冬 翌年5~9月にも上流側アンテナで検知され魚道内に滞在 |

これらの個体は、4月から9月にかけてチュウシベツ川から魚道内に降下し、10月の本調査時まで魚道内で生息していたことが把握された。魚道内の残留日数は、34~202日間の範囲にあり、最大で6か月以上の間、魚道を生息場所として利用していたことが明らかとなった。放流時と採捕時の尾叉長の差は11~44mmの範囲、体重の差は10.5~27.0gの範囲にあり、個体差が大きいものの、魚道内での成長が確認された。

(3) 長期間にわたるサクラマス幼魚の行動状況

2013年3月30日~2015年11月30日までの2年9か月間にわたるサクラマス幼魚の長期間行動を図-2に示す。

2013年では、春季の4月、5月に幼魚の降下行動が確認された。その後6月、7月には行動はほとんど見られなくなったが、8~11月にも行動は確認することができた。12月は、行動がほとんど確認することはできなかった。8月以降の行動は、チュウシベツ川から魚道内に降下する個体が多かった。2014年は、1~3月でアンテナ付近で残留(越冬)した幼魚が検知されている。降下行動は、4月初旬から始まり、5月中旬にピークを迎え、6月中旬まで続いた。それ以降は、降下行動が見られなくなり、残留した個体の通過やアンテナ付近で生息している個体がアンテナで検知されたデータが取得されている。9月

表-3 2015年10月の魚道内採捕調査でPITタグが発見された個体

増加尾叉長・体重は再採捕時から放流時の値を減じて算出

| No. | 放流日 | 上流アンテナ 通過日 (魚道進入) | 魚道内での 再採捕日 | 魚道内降下 から再採捕 までの日数 | 増加 尾叉長 (mm) | 増加 体重 (g) |
|-----|-----------|-------------------------|---------------|-------------------------|-------------------|-----------------|
| 1 | 2015/3/31 | 2015/4/4 | 2015/10/23 | 202 | N.D. | N.D. |
| 2 | 2015/5/4 | 2015/9/18 | 2015/10/22 | 34 | 44 | 27.0 |
| 3 | 2015/5/7 | 2015/9/11 | 2015/10/21 | 40 | 38 | 22.4 |
| 4 | 2015/5/7 | 2015/5/13 | 2015/10/23 | 163 | 38 | 19.6 |
| 5 | 2015/5/14 | 2015/5/15 | 2015/10/23 | 161 | 11 | 10.5 |
| 6 | 2015/5/28 | 2015/9/11 | 2015/10/22 | 41 | 21 | 11.5 |

下旬に行動の小さいピークも確認できる。その後は、再び残留魚のデータであった。2015年も2014年と同様に1~3月はアンテナ付近で残留(越冬)した幼魚が検知された。降下行動は、4月初旬から始まり5月初旬に多少多い個体が降下行動を行い、6月下旬まで続いた。7~10月初旬、残留魚の移動のみであったが数多くの移動がみられた。10月22日以降は、魚道内でPITタグ装着魚の放流が行われたため(表-1)、検知数が多くなった。

4. 考察

これまでサクラマスを対象とした降下・遡上の行動調査は、期間や調査区域が限定されていた。そこで、本研究では、長期間にわたる降下行動、遡上行動、生息状況

の把握をバイオテレメトリー手法の1つであるPITタグシステムを用いて解析を行った。その結果、これまで未解明であったサクラマス⁹⁾の長期的な行動を明らかにすることができた。

(1) 長期間にわたるサクラマス母川回帰確認

2013年、2014年の春季に放流したPITタグ装着魚は親魚になり、それぞれ、2尾と1尾の魚道遡上を確認することができた。推定母川回帰率は、それぞれ0.39%、0.15%であった。北海道でのサクラマスの母川回帰率は、尻別川では0.138¹⁵⁾～0.7%¹⁶⁾、斜里川¹⁵⁾では0.500～0.821%であることが判明している。これら既往研究の結果と比較しても、同程度の回帰率であった。これは、美利河ダム上流から降下を始めたサクラマス幼魚はダムによる影響をほとんど受けずに降下・遡上行動が可能であったと推察される。

サクラマスの中には、海洋へ降下した年の秋に回帰する早熟雄（ジャック）の存在がロシアで報告¹⁷⁾されている。一方で、我が国では湖沼型のサクラマスでジャックの存在が確認されているものの¹⁸⁾、海洋からのジャックの報告は少なく、今後はこのようなデータの取得もPITタグシステムにより可能となる。ただし、PITタグシステムは、魚影を確認できないというデメリットがあるため、ビデオカメラとの併用によりPITタグ装着サクラマスの形質確認が可能になると考えている。

今回の結果より、PITタグシステムはサクラマス同一個体の母川回帰確認に有効な調査手法であることが明らかになった。このようなデータは、わが国では取得事例が報告されていないことから、サクラマスの資源保護や魚道機能評価のために、今後もPITタグシステムを稼働させ続け、データの蓄積を行うものである。

(2) 魚道内での長期間にわたるサクラマス幼魚生息確認

分水施設上流に放流した個体のうち15尾が、翌年にもPITタグアンテナで検知することができた。放流してからの最大検知日数は約300日以上であり、チュウシベツ川、魚道、後志利別川における長期間にわたる魚の移動状況を把握することができた。放流した際のスマルト度では、ほとんどの個体が4であった。本来、スマルト度進んだ個体は、速やかに降下行動を示すとされる¹⁰⁾が、魚道内に残留し、翌年に降下行動を生起した個体が確認された。サクラマスの生態は未解明な事項が多く、海水適応機能が発現したスマルトが降下しなかった原因は不明であるが、その個体にとって降下を誘発するきっかけがなかったことが一因だと考えられる⁹⁾。一方で魚道がサクラマス幼魚の生息場・越冬場として十分機能しているものと考えられる。

2015年10月に魚道内で魚類採捕を行った結果、6尾の体内にPITタグを確認することができた。PITタグは、アンテナ付近を通過するとデータが取得できるが、

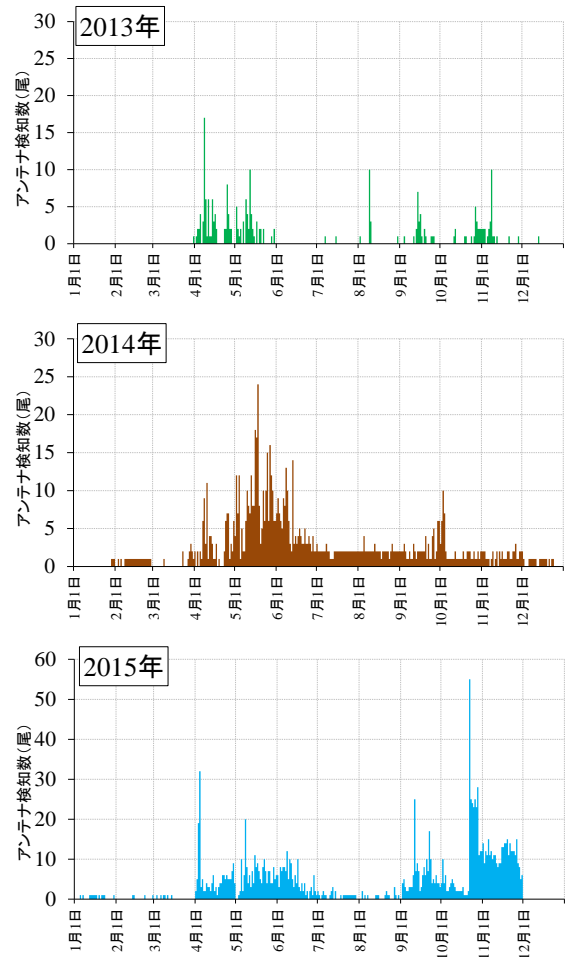


図-2 PITタグを装着したサクラマス幼魚がアンテナを通過した尾数（2013年3月30日～2015年11月30日）

検知尾数は1日を単位にカウントしたため、1) 1日に何度も検知されても1尾でカウントされる、2) 長期間アンテナ付近に生息する個体は毎日1尾づつカウントされる

魚の姿が確認できないという弱点がある。そのため、魚道内の幼魚を再採捕することで、PITタグを装着している個体の尾叉長や体重を確認することができ、いずれの個体も34～202日間で順調に成長していることが確認できた。一方で、519尾採捕したが、513尾にはPITタグが装着されていなかったことも明らかになった（うち装着は509尾）。近年、産卵場が増加しているチュウシベツ川や魚道⁹⁾が多数のサクラマス幼魚の生息ポテンシャルを有すると考えられ、また、このことは、チュウシベツ川に生息場が少ない⁶⁾ことから、美利河ダムの特に多自然魚道がサクラマス幼魚の生息場・越冬場を提供していると推察された。

以上より、魚道は、サクラマスの遡上・降下のほか、幼魚の生息場としても利用され、一般河川と同様に、幼魚に、通過や生育場としての選択性を付与しているものと考えられた。また、魚道内において、PITタグ装着の有無を確認することによりサクラマス幼魚の成長情報などのデータ取得が可能となった。

(3) 長期間にわたるサクラマス幼魚の行動状況

2013年3月30日から2015年11月30日までの2年9カ月間にわたるサクラマス幼魚の長期間における行動を把握することに成功した。結果のうち、2014年と2015年では、5月・6月の春季における降下行動のほか、9月から10月にかけての行動も確認することができた。林田らによると、水温の増減により行動が起こると報告されている⁹⁾。そのため、サクラマス幼魚は採餌行動による成長から、冬に向けて越冬行動のモードに変換するために生息場所を変えているものと考えられた。水温や流量などの物理条件との詳細な比較を行うことも、幼魚の行動を推定するには重要であると考えられる。PITタグシステムは、長期的な行動把握に有効であることが明らかとなり、今後も調査を継続することで、より詳細な魚道内における効果行動、モード変換行動、越冬行動などの把握が可能になると推察された。

5. おわりに

本研究で使用したPITタグシステムは、未解明であったサクラマス(幼魚・スモルト・親魚)の長期間にわたる行動の把握を可能にした。PITタグシステムは機器導入にコストがかかるものの、小電力で運用でき、PITタグ自体の価格も電波発信機や超音波発信機などに比べはるかに安価であることから大量の個体に装着し、行動追跡を行うことができる。また、今回導入した遠隔操作機器は、PITタグシステム以外の様々な機器でもパソコンでデータを回収できるタイプであり、汎用性が高いものである。遠隔操作機器を用いることにより、データをリアルタイムで確認でき、さらにデータの欠測が最小限となり、現地でのデータ回収と比較して省コストが図られる。

魚道は、全世界で膨大な数が設置されているが^{19,20)}、その機能について判明していないことは数多くある。各種魚類の遊泳行動や魚道の特性をより正確に解析するために、PITタグシステムは有効であり、今後は流域全体での魚類の移動、地域環境特性、生息環境の類型化の把握に役立てていきたいと考えている。

謝辞

本研究は、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター上田宏教授の御指導・御協力の下、実施している。北海道開発局函館開発建設部美利河ダム管理支所から調査の許可とアドバイスをいただいた。青写真商会濱田浩二さんからPITタグデータの取りまとめのアドバイスをいただいた。ここに感謝の意を表す。

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) Miyakoshi Y, Sasaki Y, Fujiwara M, Tanaka K, Matsuoka N, Irvine JR, Kitada S. Implications of Recreational Fishing on Juvenile Masu Salmon Stocked in a Hokkaido River. *N Am J Fish Manage.* 2009 Feb;29(1):33-9.
- 4) 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.
- 5) Morita K, Nagasawa T. Latitudinal variation in the growth and maturation of masu salmon (*Oncorhynchus masou*) par. *Can J Fish Aquat Sci.* 2010 Jun;67(6):955-65.
- 6) 林田寿文, 新居久也, 渡邊和好, 宮崎俊行, 上田宏. サクラマス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):L943-L948.
- 7) 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.
- 8) 眞山 紘, 小野郁夫, 平澤勝秋. 北海道の河川に放流された標識サクラマスの海洋における回遊生態. さけ・ます資源管理センターニュース. 2005;14:1-9.
- 9) 林田寿文, 渡邊和好, 水野宏行, 林誠, 宮崎俊行, 毛木博彰, 新居久也, 眞山 紘. 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. *河川技術論文集.* 2015;第 21 巻:43-8.
- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) Cooke SJ, Hinch SG, Wikelski M, Andrews RD, Kuchel LJ, Wolcott TG, Butler PJ. Biotelemetry: a mechanistic approach to ecology. *Trends Ecol Evol.* 2004 Jun;19(6):334-43.
- 13) 北海道開発局. 後志利別川水系河川整備計画. 2007.
- 14) 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.
- 15) 眞山 紘, 野村哲一, 大熊一正. サクラマス (*Oncorhynchus masou*) の交換移殖試験 2. 地場産魚と移殖魚の降海移動と親魚回帰の比較. 北海道 さけ・ますふ化場研究報告. 1898;43:99-113.
- 16) 眞山 紘, 大熊一正, 野村哲一, 松村幸三郎. 尻別川におけるサクラマスのスモルト放流試験 -1981 年春放流標識魚の回帰-. 北海道 さけ・ますふ化場研究報告. 1985;39:1-16.
- 17) V. Tsigar VIS, N. I. Krupyanko, K. A. Kashkin, A. Yu. Semchenko. Life History Forms of Male Masu Salmon (*Oncorhynchus masou*) in South Primor'e, Russia. *Can J Fish Aquat Sci.* 1994;51(1):197-208.
- 18) Tamate T, Maekawa K. Life cycle of masu salmon (*Oncorhynchus masou*) in Shumunai Lake, northern Hokkaido, Japan. *Eurasian Journal of Forest Research.* 2000;1:39-42.
- 19) Castro-Santos T, Cotel A, Webb PW. Fishway evaluations for better bioengineering: an integrative approach. In: Haro AJ, Smith KL, Rulifson RA, Moffit CM, Klauda RJ, Dadswell MI, et al., eds. *Challenges for Diadromous Fishes in a Dynamic Global Environment.* Bethesda, MD: American Fisheries Society Symposium 2009:557-75.
- 20) Roscoe DW, Hinch SG. Effectiveness monitoring of fish passage facilities: historical trends, geographic patterns and future directions. *Fish Fish.* 2010 Mar;11(1):12-33.