

河川を遡上する大型魚、中型魚および小型魚の移動数自動計測

(国研) 土木研究所 寒地土木研究所 水環境保全チーム ○布川 雅典
新潟大学 農学部 権田 豊

魚道設置後の遡上数あるいは降下数の計測は、魚道機能の検証のために必要であり、水産有用種にあっては資源量の指標としても重要である。魚類の遡上数の計測はこれまで様々な手法を用いられてきたものの、長期間連続計測はその手間から困難である。また、降下数はあまり計測されてこなかった。筆者らはこれまで、長期間や大規模出水時以外の濁水時も計測可能とする魚類移動数の自動計測を魚体サイズの異なる対象魚で行ってきた。それらの事例を紹介する。

キーワード：魚カウンター、サケ、サクラマス、イワナ、アユ、遡上数、降下数

1. はじめに

魚類の遡上数を自動計測する試みは欧米では1950年代から進められ、魚カウンター (fish counter) としては遡上数自動計測機が開発されてきた¹⁾。我が国では、サケ (*Oncorhynchus keta*)^{2, 3)}やサクラマス (*Oncorhynchus masou*)⁴⁾、イワナ (*Salvelinus leucomaenis*) やアユ稚魚 (*Plecoglossus altivelis*)⁵⁾などの遡上数を計測する試みが進められてきた。計測された対象魚の大きさは測定事例はない。

河川連続性を担保する方法として魚道設置が行われ、魚類群集の管理や保全を目指す動きが全国各地でみられる。河川生態系保全を考えた場合、魚類遡上および降下数調査といった魚道利用実態を継続的に実施することは非常に重要である。このような場合、長期間連続計測によるデータが必要となる。設置された魚道の評価は遡上数を計測することにより行われており⁶⁾、この遡上数計測はトラップや撮影画像を用いるのが一般的である⁷⁾。ただし、長期間連続計測は既存方法では労力や費用がかかり、さらには濁水時や夜間の計測は困難である。魚カウンターによる自動計測は、長時間連続計測や夜間計測が可能であり、大規模な出水以外は濁水時も計測ができる。このような自動計測は我が国だけでなく欧米でも魚道の利用評価⁸⁾に用いられ、遡上数と環境変量との関係⁹⁾を明らかにするためにも使用されている。

筆者らは数年前から大型魚 (尾叉長約60 cm)、中型魚 (尾叉長約10-15 cm) と小型魚 (尾叉長約5-10 cm) について長期間の遡上および降下数の自動計測を行ってきた。そこで、ここではこれらの様々な魚カウンターによる計測事例を紹介する。

2. 大型魚対象の魚カウンター：勇払川ウトナイ堰

と中の川布製魚道に設置したサケ親魚用魚カウンター

大型魚を対象とする魚カウンターは、主にサケやサクラマスの親魚 (尾叉長約60 cm) の遡上数等を計測するものである。この魚カウンターは、木製の誘導水路とそれを支える架台からなり (図-1)、誘導水路にはセンサー電極が3本取り付けられている。これらの電極からセンサーケーブルを解析部に接続して対象魚が通過したと

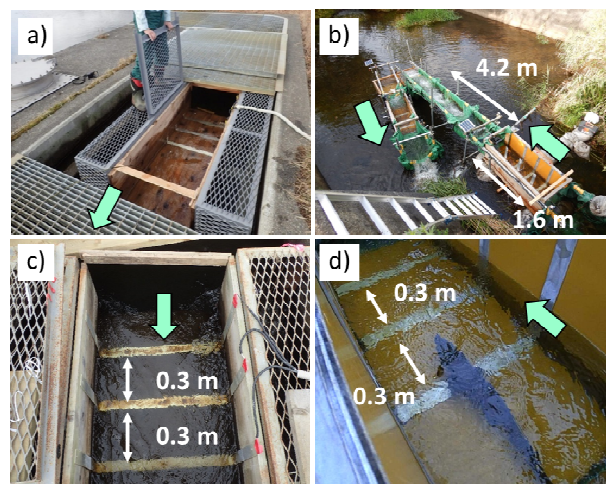


図-1 勇払川ウトナイ堰a)および余市川支流中の川に設置した布製魚道b)における大型魚用魚カウンターの誘導水路(木製)とセンサー。各図中の緑矢印は流向を表す。c)およびd)の水路に貼り付けられたアルミ板がセンサー電極。

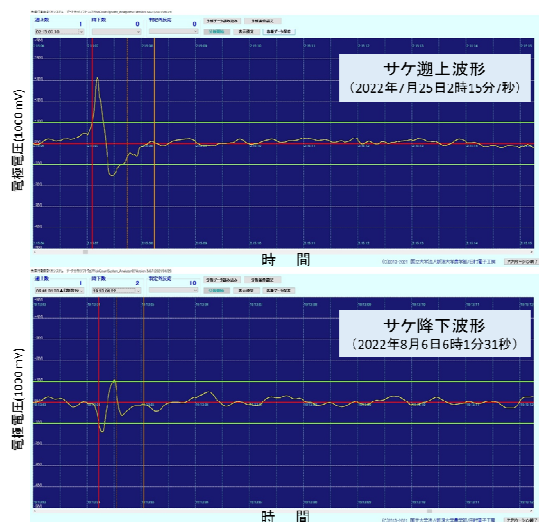


図-2 2022年のウトナイ堰で計測されたサケの遡上波形（上図）と降下波形（下図）。波形の始まりは両者とも0 mV付近だが、位相が反対になっていることに注意。

きのパルス状の波形（図-2）を解析および記録する。解析と記録には魚類遡上数計測システム（ウトナイ堰：TEAFCS-LOGS01-PC、布製魚道：TEAFCS-LOGS03-FSL02：田村電子工房製、高崎市、以下計測システムと呼ぶ）を用いた。計測システムを駆動する電源は、ソーラー発電機からの電気を用いたが、そのバックアップ電源として密閉式鉛蓄電池（12V36Ah）あるいはリチウム蓄電池（12V100Ah）を使用した。

本稿で紹介する大型魚用魚カウンターは北海道苫小牧市を流れる勇払川（流域面積219 km²）のウトナイ堰魚道と仁木町を流れる余市川（流域面積455.1 km²）支流中の川に北海道河川環境研究会による簡易魚道（以下布式魚道という）^{10）}に設置したものである。

ウトナイ堰魚道と布製魚道に木製誘導水路（ウトナイ堰：長さ2.0 m × 幅0.8 m、布製魚道：長さ約1.6 m × 長さ約0.5 m）を設置した。ウトナイ堰魚道では魚道の中央部に誘導水路を設置し、布製魚道には魚道上流側と下流側に誘導水路を設置した（図-1a, b）。この誘導水路に

はセンサー電極が3本取り付けられ（図-1）、ここを通過した対象魚の遡上数および降下数を計測する。誤判定を防ぐため電極は約30 cm幅で取り付けられている。

誘導水路の設置に際しては、電極部で大きな波が生じないことや、対象個体が水路内で滞留しないように流速は30 cm/s以上になるように留意した。また、複数個体がの同時通過を防ぐために、誘導水路内の水深は約20から30 cmに設定した。ウトナイ堰では2018年から現在まで計測を行い、布製魚道では2020年と2021年に計測を行った。

ウトナイ堰魚道における2019年の計測では、8月から翌年1月までサケ科魚類の遡上が確認された（図-3）。2019年の計測では10月が遡上のピークとなっている（図-3）。本魚道での例年の遡上傾向や産卵個体の観察から、12月にも遡上のもう一つのピークが見られる。しかし、2019年の計測中には11月と12月に合計20日間のデータ欠測期間があり、12月のピークは計測されていない。ウトナイ堰では降下数が少なかった。降下個体のほとんどは遡上したまま、本魚道に戻ってくることがないことを示している。

布製魚道の2021年の計測は9月4日から11月22日まで行った。上流の誘導路での魚類遡上数と降下数はそれぞれ55匹と80匹だった。下流の誘導路の遡上数と降下数は64匹と66匹だった。本魚道では、上流と下流にカウンターを設置し遡上数を計測した。下流誘導路では遡上数64匹が計測され、これに対して上流誘導路では55匹の遡上が確認された。つまり、下流から遡上した個体の約86%の個体が布製魚道を遡上できていることが明らかになった。さらに、下流誘導路で遡上反応があってから上流誘導路での反応がみられた時間は、多くの場合数分以内であった。これは、一度遡上し始めると、多くの個体が途中でとどまることなく遡上できていることを示している。

また、上流の誘導水路の遡上数と降下数（図-3）を見ると、どちらの移動数にも10月はじめにピークが見られる。また、多くの遡上日には同数かそれ以上の降下が同日に見られる。布製魚道の上流には良い産卵環境が良好

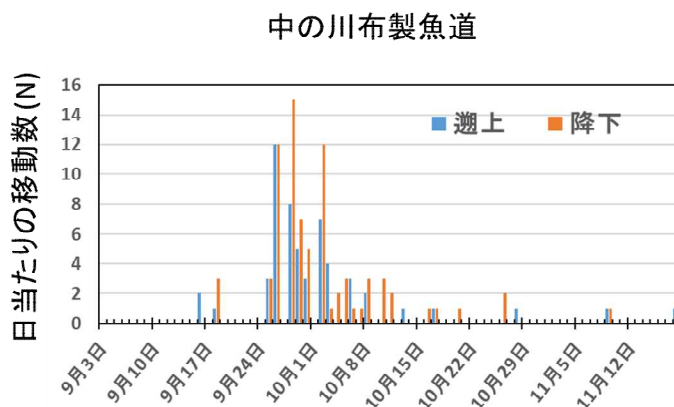
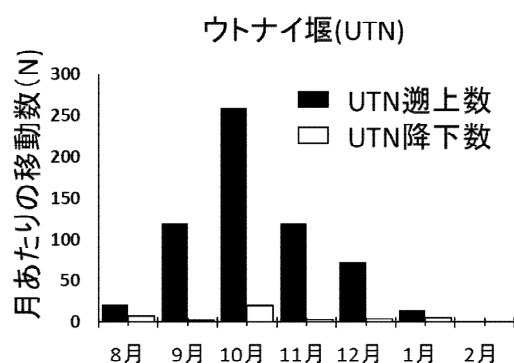


図-3 2019年8月から2020年2月の勇払川ウトナイ堰と2020年9月から11月の余市川支流中の川布製魚道で計測されたサケ科魚類の遡上数と降下数。

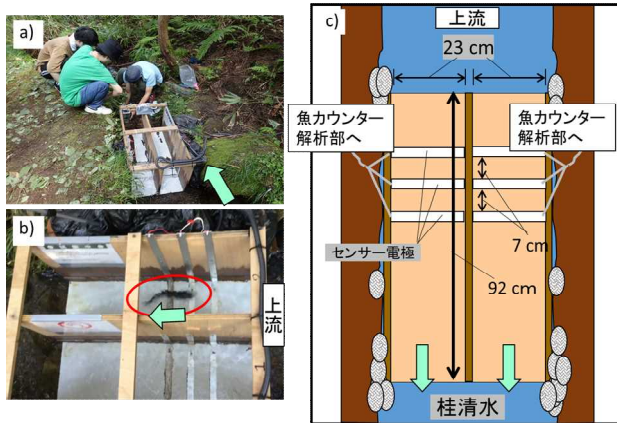


図4 岐阜県石徹白川水系峠川支流桂清水に設置された中型魚用魚カウンター(a,b)と模式図(c)。誘導水路のセンサー電極からはセンサーケーブルが魚カウンター解析部へと接続されている。図中の緑矢印は流向を表す。

でなかったことがそのような行動を見せたのかもしれない。

3. 中型魚対象の魚カウンター：桂清水に設置したイワナ用魚カウンター

中型魚を対象とした魚カウンターは、2列の誘導水路を小規模河川に土嚢等で固定し、センサー電極であるアルミ板を取り付け、そこからのセンサーケーブルを解析部に接続する仕組みである（図-4）。この中型魚用魚カウンターは主にイワナ（尾叉長10-15 cm）を対象としている。

岐阜県を流れる九頭竜川水系石徹白川支流峠川流域の湧水河川である桂清水（流程約200 m、川幅2.3 m）はイワナが産卵場として利用している。地元住民により人工産卵床も造成されているため、秋季には産卵行動としてのイワナの遡上がみられる。これらのイワナの桂清水の利用実態を明らかにするために、中型魚を対象とした魚カウンターを設置した。

桂清水と峠川との合流点から約10 m上流に長さ92 cm および幅23 cmの誘導水路を2列設置し、誘導水路にはセンサー電極を間隔7 cmで配置した（図-4）。計測は2019年から2021年まで毎年遡上期に行った。

誘導水路に取り付けたセンサー電極からはセンサーケーブルがカウンター解析部へ接続されており、電極からの遡上や降下の波形を、前述の計測システムの2チャンネル仕様（TEAFCS-LOGS02-2CH-BAT：田村電子工房製、高崎市）を用いて記録した。この計測システムは鉛蓄電池（12V36Ah）6台で約10日間駆動できる。今回は電池交換の頻度を下げるためにこの装置とソーラー充電器との併用も行った。

秋期遡上期（10月から12月まで）にはイワナの遡上が

夜間と日中の遡上数割合

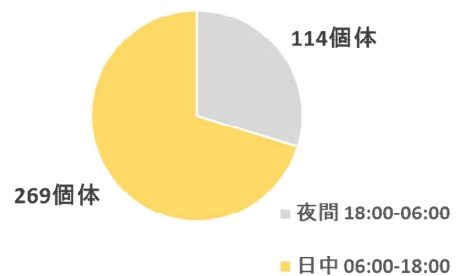


図5 桂清水における2019年産卵期（10月から12月）の夜間と日中の遡上数割合。

確認され、遡上のピークは11月上旬だった。2021年は遡上が1472個体、降下が1070個体だった。24時間連続計測によって、夜間に遡上していることが明らかになり、2019年に行った計測では29.8%が夜間に遡上していた（図-5）。

桂清水は流量が小さく安定していることからセンサー電極上で水面が波立たず、高い精度で計数できていると考えられる。しかし、誘導水路の下流側でイワナの採餌行動がみられ、遡上しない個体が多数見られた。誘導水路が遡上の妨げとならないような工夫が必要である。

4. 小型魚対象の魚カウンター：那賀川川北岸堰に設置したアユ用魚カウンター

小型魚（アユ稚魚（尾叉長5-10 cm））を対象とした魚カウンターは、ステンレス製の架台（長さ0.6 m×幅0.7 m×高さ0.46 m）に誘導水路（長さ0.3 m×幅0.1 m×高さ0.1 m）をとりつけたものである。これを、ハーフコーン型魚道（幅0.7 m、高さ0.46 m、延長20 m）の底部に固定した（図-6）。

小型魚用魚カウンターは、那賀川の河口から11 km上流に位置する北岸堰魚道に設置された。那賀川（流域面積874 km²）¹⁰⁾では3月下旬から5月にかけてアユが多く遡上する。この小型魚道の最上流部に架台とともに誘導水路を設置して、遡上するアユ稚魚を計測した。小型魚であるアユ稚魚の移動を正確に計測するために、電極部分が波立たず誘導水路内を個体が滞留しないように流速は20 cm/s以上、個体が複数で通過しにくいように水深は10 cm前後に設定した。センサー電極の間隔は約3 cmにした。（図-6）。計測は2021年3月25日から5月13日まで行った。この間に終日データが欠損した期間が3日間（4月5日から7日）あった。遡上や降下の解析と記録は前述の計測システムの4チャンネル仕様（TEAFCS-LOGS03-PB04：田村電子工房製、高崎市）を用いた。この計測システムはソーラー充電器（TEAFCS-SOLLTI：田村電子工房製）と12V100Ahと12V50Ahのリチウム蓄電池を搭載したバッテリーパック（TEAFCS-POWP-LTI01-NM：田村電

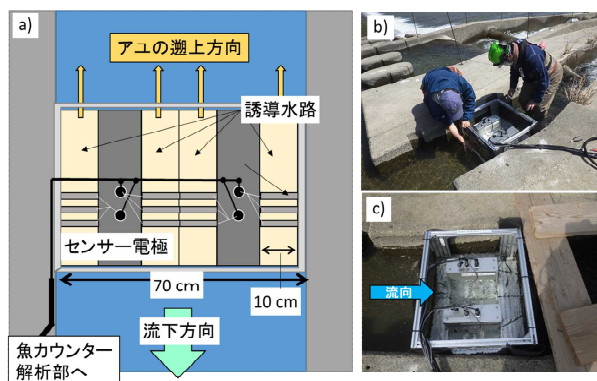


図-6 那賀川北岸堰魚道に設置した小型魚用魚カウンター。誘導水路が4列設置され(a)、センサー電極から魚カウンター解析部に接続されている。設置風景b)と上面からの写真c)。

子工房製) 2台で駆動させた。

今回の計測で131万個体を超えるアユの遡上が確認され、遡上のピークは4月2日、14日および5月9日の3回みられた。24時間連続計測によって、時間毎の遡上数も明らかになり、日の出(6時頃)前や日没(18時頃)後にも遡上する個体が観察された(図-7)。これ以外の複数日に同様の傾向が認められた。これまでのアユ遡上数調査では夜間は行われないことが多かったが、本結果から正確な遡上数を明らかにするためにはトラップによる調査でも夜間の調査も考慮すべきであると思われる。

5. おわりに

これまで筆者らが開発と研究を進めてきた魚カウンターについて、対象魚が大型魚(尾叉長約60 cm)、中型魚(尾叉長約10-15 cm)および小型魚(尾叉長約5-10 cm)の計測事例を紹介した。魚体サイズ毎に代表的な魚種を対象として、設置や計測にあてはめる際の留意点を述べてきた。魚カウンターでは、対象魚の魚種判別は不可能である。そのため、複数種の魚類が遡上する場所では、誘導水路の構造の工夫や画像データの同時取得などの対策が必要である。複数種の遡上がある場合、カウンターだけでは遡上数計測には課題もあるものの、一定条件下や誘導水路の工夫により魚カウンターを用いることで魚体の大きさが異なる対象魚に応じて24時間連続かつ長期間での自動計測が可能となってきた。効率的な魚道設計や魚類個体群保全にこのような魚カウンターによる自動計測技術が役立てば幸いである。

謝辞: 本稿で使用したデータの収集時には北海道水産研究所、北海道室蘭建設管理部苫小牧出張所、石徹白漁業協同組合佐々木理事長、那賀川漁業協同組合連合会、農林水産省中国四国農政局那賀川農地防災事業所、名城

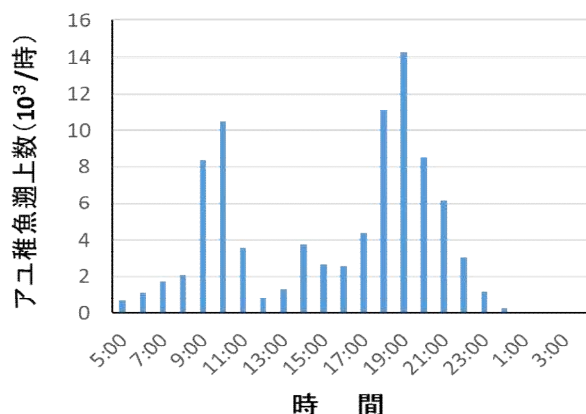


図-7 那賀川北岸堰魚道に設置された魚カウンターによるアユ遡上数(2021年4月12日から13日の1時間あたりの個体数)。

大学人間学部谷口教授、元同大理工学部環境創造学科奥村元尚氏、徳島大学理工学部河口洋一准教授、元同大学理工学部林哲平氏、元新潟大学大学院茂崎孝祐氏、以上の方々に協力いただいた。ここに深謝の意を表します。

参考文献

- 1) Lethlean, N.G.: An investigation into the design and performance of electric fish-screens and an electric fish-counter. Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Vol. 62, pp. 479-526, 1953.
- 2) 河林百江: 水とともに: 水がささえる豊かな社会, 2008-2009: pp. 26-30, 2009.
- 3) 近藤康行・権田豊: 魚カウンターによるサケの遡上計測に関する研究, 土木学会論文集 G (環境), Vol. 68, No. 1, pp. 1-12, 2012.
- 4) 権田豊・近藤康行・高橋直己・宮 江介: 小規模河川内を移動するサケおよびサクラマス自動計測の試み, 水産技術, 7(1), pp. 1-16, 2014.
- 5) 近藤康行・権田豊・野村愛: 小型魚用魚カウンターを用いた魚道での小型魚計測実験ー 小型魚の自動計測ー 農業農村工学会論文集, 81(4), pp. 301-308, 2013.
- 6) Noonan, M.J., Grant, J.W.A., and Jackson C.D.: A quantitative assessment of fish passage efficiency. Fish and Fisheries, Vol. 13, pp. 450-464, 2012.
- 7) ダム水源地環境整備センター. 最新魚道の設計-魚道と関連施設, 信山社サイテック, 東京, pp. 581, 1998.
- 8) Salla, S.B., Polgar, T.T., Sheehy, D.J. and Flowers, J.M.: Correlations between Alewife activity and environmental variables at a fishway. Transactions of the American Fisheries Society, Vol. 101, pp. 583- 594, 1972.
- 9) Jensen, A, Heggberget, T, Johnsen, B.: Upstream migration of adult Atlantic salmon, *Salmo salar* L. in the River Vefsna, northern Norway. Journal of Fish Biology, Vol. 29, No. 4, pp. 459- 465, 1986.
- 10) 布川雅典・権田豊: 布式魚道を利用するサケ科魚類の移動数, 第 65 回(2021 年度) 北海道開発技術研究発表会論文, 2022.
- 11) 国土交通省 那賀川水系河川整備計画 (変更) <http://www.skr.mlit.go.jp/nakagawa/seibikeikaku/r1henkou/henkou.html>, 2022 年 3 月確認, 2015.