

河川横断工作物周辺におけるアユ降下仔魚モニタリング技術の開発

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 27～平 30

担当チーム：河川生態チーム

研究担当者：中村 圭吾、村岡 敬子

【要旨】

本研究では、ドップラー流速計の後方散乱強度を利用して、アユ降下仔魚の動態調査法について、基礎実験および現地実験により検討を行った。実験の結果、アユ仔魚は周波数 3MHz のソナーにより捉えることができるとともに、流れ場の変化の少ない湛水域においては効率的に捉えることが可能であった。一方、流れが空間的・時系列的に変化する順流域では、流速や SS の変化などの影響を受けるため、解析にあたっては物理環境情報に留意するとともに、なるべく安定した流況の場所に設置することが望ましいと考えられる。

キーワード：後方散乱強度、アユ仔魚、ドップラー流速計

1. はじめに

河道内には治水・利水を目的とした様々な河川構造物が存在する。これらの構造物は、特に海と河川を行き来する回遊魚にとって回遊を妨げる障害となる可能性が指摘されており、その分布にも影響を与える恐れがある。両側回遊魚であるアユ (*Plecoglossus altivelis*) は、秋に河川の中・下流域において産卵し、約 2 週間で孵化した仔魚の多くは河川を流下する期間、卵黄をエネルギー源として生き延び、河川の流れののって海に達するといわれる。堰等の設置にともなう貯水池の出現は、流下時間の増加や滞留の問題を引き起こしている可能性が指摘されており、より早くアユ仔魚を降下させるための堰運用の工夫などの努力もなされている。一方で、河川におけるアユ降下仔魚量の調査は一般にプランクトンネット調査法が用いられているが、作業の負担が大きいととも、流速の小さい淡水域内において精度良く観測することは困難である。

音響ドップラー流速計は超音波パルスのドップラー効果を利用した流速計であるが、同時に反射パルスの強度(後方散乱強度)も計測できる。この後方散乱強度は、水中を通過する粒子の大きさや組成が一定の場合には、粒子の濃度と比例することが知られている。アユの降下仔魚は孵化直後に流下するとともに、孵化後短時間しか河川に生息できないとされることから、その大きさはほぼ一定の範囲に収まるものと考え、アユ降下仔魚のモニタリングへの音響ドップラー流速計の後方散乱強度の適用性について検討を行った。尚、本研究で得られた成果を踏まえ、本研究の計画変更を行い、順流区間における適用性についても検討を行った。

2. 研究方法

2. 1 アユ降下仔魚とドップラー流速計後方散乱強度に関する基礎実験

アユ降下仔魚濃度とドップラー流速計後方散乱強度の関係を知るため、栃木県水産試験場の協力を得ながら、飼育水槽および還流水路における基礎実験を行った。

飼育水槽における実験では、アユを投入した水槽に周波数の異なるドップラー流速計を設置し、アユ仔魚に反応するか否かを確認した。

還流水路における実験では、流速、アユ仔魚濃度を変化させながら、水深方向の後方散乱強度を 20mm 間隔で取得した (表-1)。

表-1 還流水路における実験条件

要素	設定値
流速 (m/s)	0.05, 0.10, 0.20
アユ仔魚濃度 (尾/m ³)	5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 160, 320, 640 0, 5, 10, 25, 50, 105, 210, 425, 850
データ取得時間 (Sec)	10, 20, 30, 40, 60

2. 2 堰湛水域におけるアユ仔魚の動態

一級河川太田川の下流に設置されている高瀬堰右岸魚道上流に、2SonTek 社製音響ドップラー流量計 IQ Plus を設置し後方散乱強度を、同社製 EXO-1 により濁度を設置し、連続して定点観測を実施した。また、SonTek 社製 RiverSurveyor M9 をボートに搭載し、高瀬堰湛水域内の物理環境 (水深・流速・地形) および後方散乱強度を計測した。検証のためのアユ降下仔魚量

のデータは、中国地方整備局太田川河川事務所より提供を受けた。尚、取得したデータの一部が懸濁物質の影響を受けて明瞭ではなかったため、解析は過年度のデータをベースに実施している。

2. 3 河川順流区間におけるアユ降下仔魚調査手法の検討

河川順流区間におけるドップラー流速計の後方散乱強度を用いたアユ仔魚降下仔魚調査法の適用性について検討を行うため、関東地方整備局の協力を得ながら那珂川で、中国地方整備局の協力を得ながら高津川で、H28～30にかけて検討を行った。実施体制は、民間コンサルタントとの共同研究にて実施している。使用機材は、前述の検討結果を踏まえて固定式ドップラー流速計を設置し、アユ仔魚の降下前から降下後までの期間、アユ産卵場よりも下流の淵に設置した。アユ仔魚の降下量は、那珂川においては関東地方整備局から、高津川においては島根県水産試験場から提供を受けた。

3. 研究結果

3. 1 アユ降下仔魚とドップラー流速計後方散乱強度に関する基礎実験

飼育水槽の実験では、周波数 3MHz と 1.5MHz のドップラー流速計を設置し、アユ仔魚の投入によって後方散乱強度に変化がみられるかを確認した。水槽内の流速が小さいため、センサー上を通過するアユ仔魚の数が少ないものの、アユ仔魚の投入後、流速計ソナーのノイズレベルの変化から、3MHz のソナーがアユ仔魚に反応していることが確認できた。

ドップラー流速計におけるセンサーの周波数が 3MHz の時、最も反応する散乱体の大きさは 80 μ m、1.5MHz の時は 160 μ m であるとともに、その下限のサイズはそれぞれ 4 μ m、8 μ m である。このことから、ソナーに対して散乱体となっているのは、アユ仔魚の耳石

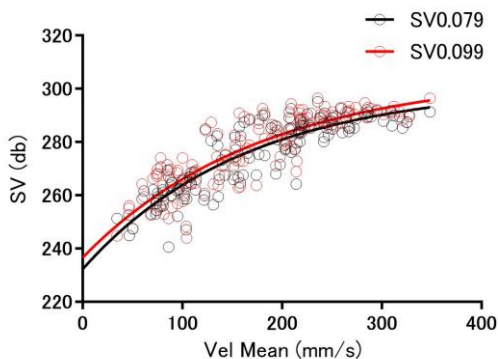


図-1 流速と後方散乱強度の関係 (アユ仔魚無)

(20 μ m) あるいは背骨の一部ではないかと推測される。

還流水槽における実験では、後方散乱強度はアユ仔魚の濃度だけでなく、流速の影響を受ける(図-1)。また、データ取得時間が長くなるほどデータのばらつきは小さくなるものの、流れの一時的な乱れによる異常値を取り除くことを考えると、データ取得時間は最小単位である 10 秒と設定し、なるべく多くのデータを取ることが良いと考えられた。また、本実験の範囲においては、センサーからの距離が 0.079-0.119 付近のデータのばらつきが最も小さい結果となった。これは、ソナーの計測範囲がセンサーから離れるほど広くなること、水面に近くなると水面変動の影響を受けて後方散乱強度にばらつきが発生するためと考えられる。

同じ条件下においては、水中のアユ仔魚の濃度が高くなればなるほど、後方散乱強度は増加するが、ピークを超えるとアユ仔魚濃度が増えても後方散乱強度はむしろ減少する傾向がみられた(図-2)。この原因については引き続き検討を行っていく必要がある。

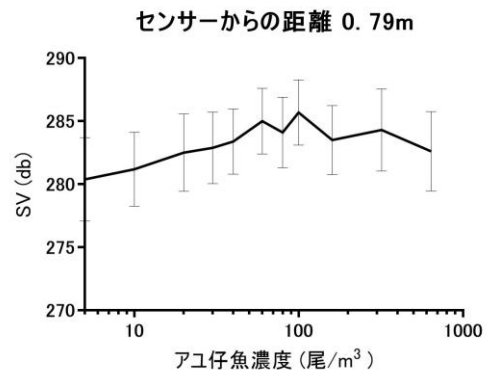


図-2 アユ仔魚濃度と後方散乱強度 (V=0.2m/s)

3. 2 堰湛水域におけるアユ仔魚の動態

太田川高瀬堰の魚道入り口部に設置した固定式ドップラー流速計による後方散乱強度の時間変化は、実際のアユ降下仔魚の降下量の時間変化とほぼ一致するとともに、ピークを示す時間帯もほぼ一致した。後方散乱強度は濁度によっても上昇したが、調査期間中発生した濁りに対する反応が水深方向に対して一様であったのに対し、平水時の後方散乱強度は下層と表層付近に特に強くなった(図-3)。このうち下層の後方散乱強度は日周期性を示すとともに、アユ仔魚の降下量との間に有意な相関が得られた(n=117, Pearson r =0.2029, P=0.0283)(図-4)。湛水域内における三次元観測では、

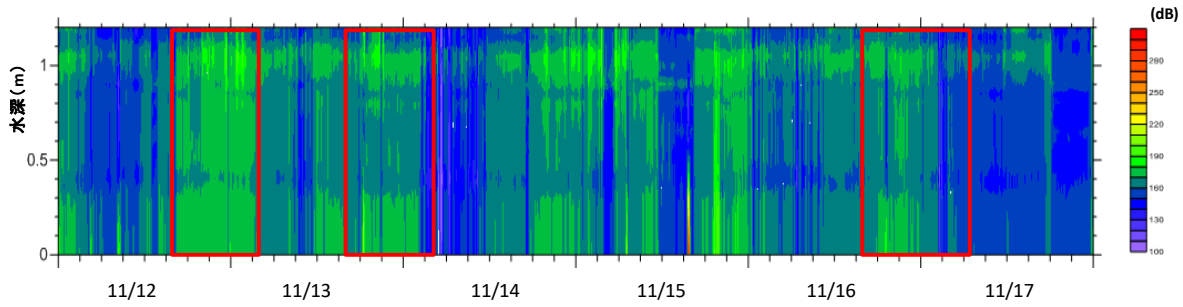


図-3 魚道入り口部に設置した固定式ドップラー流速計の後方散乱強度（太田川）

赤枠の部分は、アユ仔魚の降下量を調査した日を示す

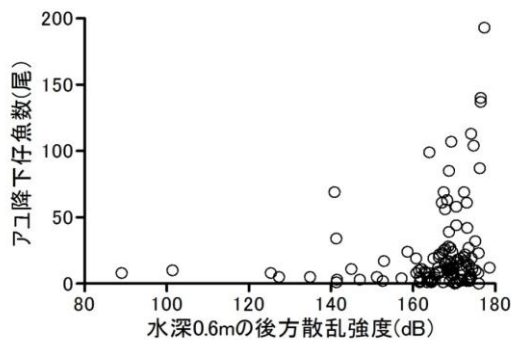
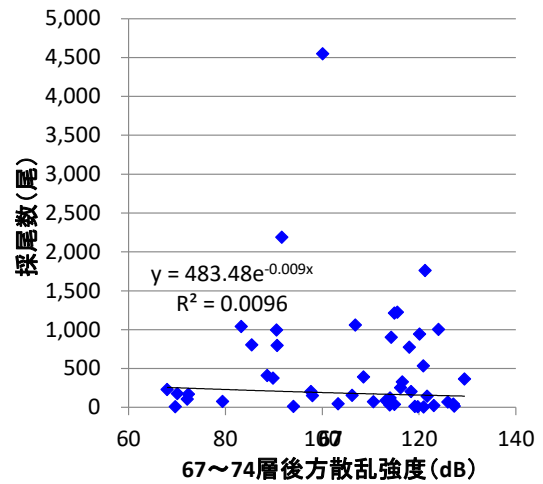


図-4 固定式ドップラー流速計の後方散乱強度とアユ仔魚降下量（太田川）



a) 全データのプロット結果

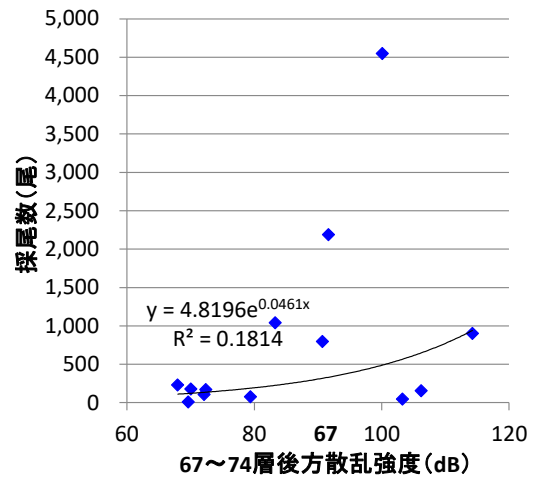
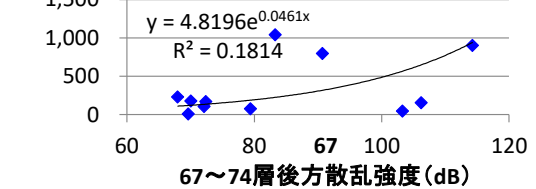


図-5 堰湛水域内における後方散乱強度（水面から0.7mの断面）

夕方から夜間において中層付近の後方散乱強度が高い部分が観測されたが（図-5）、翌朝 10 時前後には消失していた。アユ仔魚は夜間に流下し、昼間は降下しないことが報告されており、三次元計測で得られた後方散乱強度の高い部分がアユ仔魚を捉えた可能性が高いと考えられる。引き続き検討を要するものの、アユの降下仔魚の分布や降下のピーク時間帯の推定などへの応用が期待される。



b) 水位低下時、降水時のデータを除外

図-6 中層部の後方散乱強度とアユ仔魚採捕尾数

3. 3 河川順流区間におけるアユ降下仔魚調査手法の検討

那珂川において 2017 年に固定式ドップラー流速計による計測を行ったが、当該年のアユ仔魚の降下量が

極めて低かったため、後方散乱強度との関係を得ることはできなかった。設置場所をより産卵床に近い位置とした2018年の結果は、短期間の計測であるものの、中央部に後方散乱強度の高い領域が観察されさせている。

高津川においては、最下流の産卵場である瀬の直下の淵であり、アユ仔魚の降下量を調査している地点の下流側に固定式ドップラー流速計を設置した。アユの降下仔魚調査において10分間に採捕された尾数と後方散乱強度の関係を図-6に示す。全データをプロットしたデータの分布は、図-4と同様に、採捕尾数が少ないのにも関わらず、後方散乱強度が高いデータが多く得られているが(図-6 a)、河川水位が低い日および降雨が確認されているときのデータを取り除くと、このばらつきはほとんど除かれる。河川の順流域においては、流れ場が一樣ではなく、河川の流量や潮位の変化による堰上げなどの影響を受けるため、流れ場に留意した解析が必要である。また、後方散乱強度は濁りの影響も受けるため、より正確に捉えるためには、濁度等の情報も含め、整理を行う必要があると考えられる。

4. まとめ

本研究では、ドップラー流速計により、アユ仔魚の動態を捉えることを試みた。その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) アユ仔魚の後方散乱強度は、3MHzのソナーにより捉えることが可能であるとともに、一定の濃度までは、水中のアユ仔魚が増えると後方散乱強度も増加することが確認された。
- 2) 流速の比較的安定している湛水域においては、後方散乱強度により、アユ仔魚の動態を捉えることができる。
- 3) 準流域においては、流速や濁度によっても後方散乱強度が変化するため、精度よくアユ仔魚を捉えるためには、流れ場の情報を加味した整理が必要である。

今後は、これらの情報をもとに、追加情報を加味しつつ、より精度よく推定するためのデータの整理を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 村岡敬子, 中西哲, 萱場祐一, 中田正人, 榎原浩二:「音響ドップラー流速計を用いたアユ降下仔魚調査法」、応用生態工学会第19回発表講演集、pp.137, 2015.9
- 2) 村岡敬子, 中西哲, 萱場祐一, 中田正人, 榎原浩二:「音響ドップラー流速計後方散乱強度を用いたアユ降下仔魚調査法の検討」、平成27年度日本水産学会秋季大会, pp137,

A STUDY ON AUTOMATIC STEERING SUPPORT SYSTEM FOR SNOW
REMOVERS DEVELOPMENT OF MONITORING SYSTEM OF AYU LARVAE USING
BACKSCATTER INTENSITY OF ACOUSTIC DOPPLER CURRENT PROFILER
(ADCP)

Research Period : FY2015-2018

Research Team : Water Environment Research
Group (River Restoration
Research Team)

Author : NAKAMURA Keigo
MURAOKA Keiko

Abstract : In this study, the backscatter intensity of the acoustic Doppler current profiler (ADCP) was used to monitor the general conditions of ayu larvae in a reservoir and river. A laboratory experiment showed that backscatter decibels values are reactive to appropriate concentrations of ayu larvae. The conservation of ayu larvae in a river with low-velocity areas requires that several problems be solved. The fluctuation of parameters such as flow velocity, suspended sediment, and floating substances is related to the backscatter of the ADCP, and adwertent data analysis is required for the monitoring ayu larvae. Our study showed that the backscatter of 3 MHz sonar of ADCP was effective for continuous monitoring of ayu larvae in a reservoir. The technology will also be useful in rivers with stable flow conditions.

Key words : Monitoring, fish, scattering bodies, reservoir, river