

超音波ドップラー式多層流速計（ADCP）を活用した新たなアユ流下仔魚数推定方法

江口 憲

EGUCHI Tadashi
株式会社エイト日本技術開発
地球環境・エネルギー事業部
技師

はじめに

河川で営まれる漁業では、サケ類やフナ、モクズガニといった様々な魚介類が水揚げされています。その中で高い漁獲割合を占めるのがアユです。アユは一生の中で川と海を行き来します。秋に川で産卵され孵化した仔魚は、川の流れに乗っ

て海へと下り、海で餌を食べ成長し、春先に再び川へと遡上してきます。川に遡上したアユは川藻を食べ成長し、秋に産卵して次世代にバトンを繋ぐという生涯を送ります。

このアユを水産資源と捉え、アユ仔魚の総流下量から翌年の遡上量を推定することなどを目的に、全国

で「流下仔魚調査」が実施されてきました。これまでの流下仔魚調査の多くは、ある河川横断面で流れ下ってきた仔魚を捕獲し、その結果と流量を仔魚の流下期間に引き伸ばし、その年の総流下仔魚数として推定するものでした。こ

の方法には、①総流下仔魚数の多寡を左右する流量測定が詳細に行われていない、②仔魚の流下期間への引き伸ばしがアユの流下生態に即していないという課題がありました。

本稿では、この課題を克服し、より精度の高い総流下仔魚量を推定するための試みとして、①超音波ドップラー式多層流速計（ADCP; Acoustic Doppler Current Profiler）による詳細な流量測定、②歪正規分布を用いた総流下仔魚量の推定を行った、新たな調査方法について記述します。

従来の流量の測定方法

その年のアユ総流下仔魚数は、流下仔魚調査により捕獲されたアユの数を流下期間（時間）及び流量

人手で計測するため効率が悪く、計測地点が限られてくる。



写真1 電磁流速計

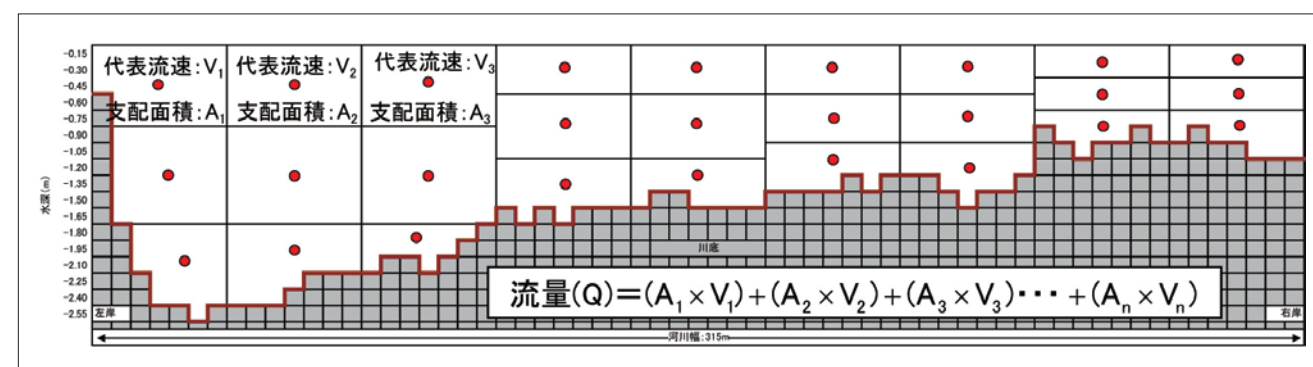


図1 これまでのアユ流下仔魚調査における流速計測と流量算出のイメージ

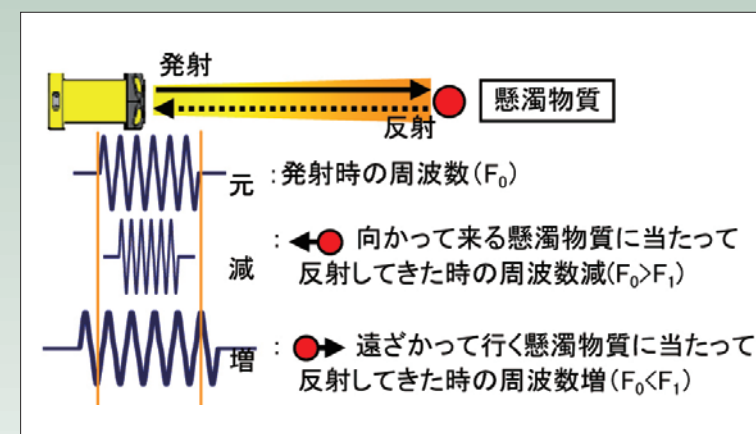


図2 ドップラーシフトの概念イメージ

（流速×断面積）により引き伸ばして推定する方法が一般的です。このため、流量を算出する流速値の精度により、その年のアユ総流下仔魚数が左右されると言っても過言ではありません。

これまでのアユ流下仔魚調査では、河川横断面に対して電磁流速計などを用いて複数箇所でも流速を計測していました。今回の場合、図1に赤丸で示す複数箇所でも流速を計測し、その流速値とその流速が支配する面積のブロックごとに流量を

算出することになります。その後、各ブロックの流量を合算することでその河川横断面の流量としていました。

しかし、河川内の流速は河床地形など様々な物理的要因を受け、場所ごとに異なります。そのため、流速をより多くの計測点で詳細に測定し、精度の高い流量を算出することが課題となっていました。

ADCPを用いた河川横断面の詳細流速測定

この課題を克服するため、今回の調査ではADCPを用いて流速を計測しました。

ADCPは、ドップラーシフトと呼ばれる物理法則を利用して流速を計測する機器です。ドップラーシフトとは、発射された超音波の周波数と、それが水中に存在する懸濁物質などにぶつかり反射して帰ってきた時の周波数に変化が生じる現象を言います（図2）。例えば、ある点から超音波を発射した時（発射時の周波数： F_0 ）に、ぶつかった懸濁物質が超音波の発射位置に近づくように動いていれば、反射して帰ってくる周波数（帰ってきた時の周波数： F_1 ）は小さく、 $F_0 > F_1$ になります。このドップラーシフトを利用して、超音波を発射し、反射して受信するまでの時間の違いから、任意の水深（15cmごと）の流速を測定することが可能です。

このADCPをゴムボートに取り付け、流速を測定しながら航行しまし

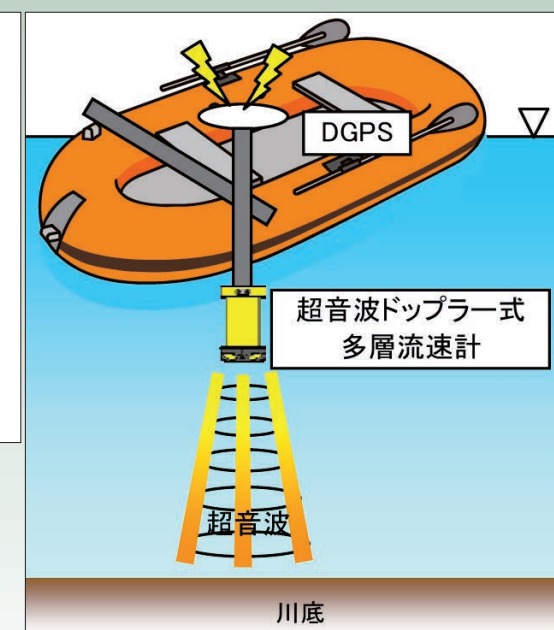


図3 ADCPによる流速計測イメージ



写真2 ADCPを用いた流速計測状況

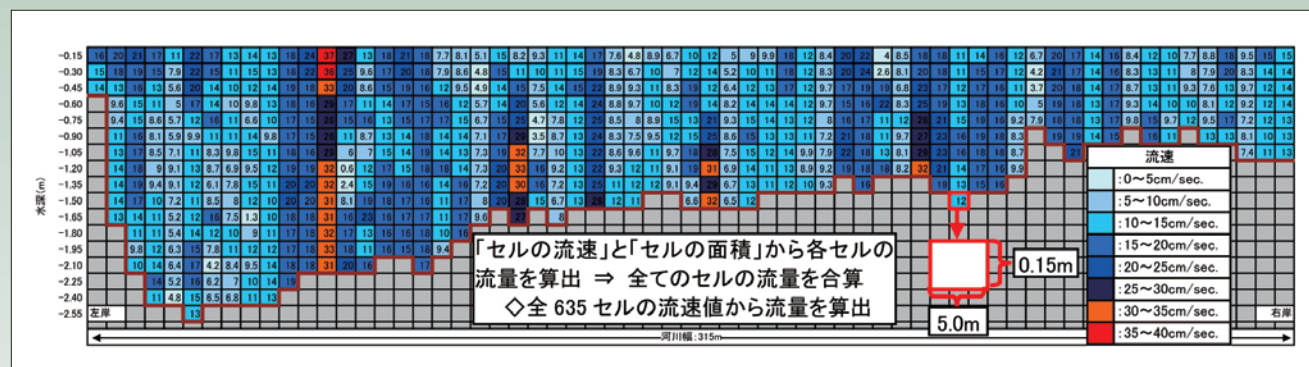


図4 ADCPを用いた流速計測により作成した流速分布図



写真3 産卵場で確認されたアユ卵



写真4 捕獲したアユ仔魚 (固定後)

た。また、各流速計測位置と河川横断面上の位置(ゴムボート)をリンクさせるため、ゴムボートにGPSを取り付け、航行位置を測りました。

得られた各水深帯の流速、水深、位置情報のデータを整理し、作成した河川横断面の流速分布図が図4です。セル一つ一つがADCPで流速が計測された水深帯を示します。流速分布図を見ると、水深帯ごとに流速が異なることが分かり、電磁流速計では把握出来ない細かな流速変化を捉えることが出来ています。また、電磁流速計を想定した場合の流速計測点は27点(図1の赤丸)ですが、ADCPを用いた流速計測は635点(セル)で、計測点が約20倍となりました。このデータから、それぞれのセルの面積とセルの流速

値を乗じたものをセルの流量とし、全てのセルの流量を合算することで河川横断面の流量としました。

アユ流下仔魚捕獲調査

一般的にアユの産卵は、秋頃より河川下流域の早瀬で行われ、産卵された卵は川底の小石に付着、およそ2週間で孵化し、海へと流下を始めます。このアユ仔魚の流下のタイミングが調査開始時となるため、今回実施した流下仔魚調査では、まずアユ産卵場で産卵状況を確認したうえで第1回目の調査日を設定しました。

調査は、流下ピークを跨いで実施することを目的に、第1回目の調査より約1週間間隔で5回の調査を実施しました。また、既往の研究に

おいてアユ仔魚の流下は夕暮れから夜間に集中することが知られているため、各調査地点で17～21時の毎正時に10分間、濾水計を取り付けた仔魚ネットを水面下に設置し、流下してくるアユ仔魚を捕獲しました。さらに、第4回目の調査は2時間おきに24時間、同様の調査を実施することで昼間のアユ仔魚の流下状況を把握しました。

アユの総流下仔魚数の推定

一般的にアユ総流下仔魚数は、各調査地点の仔魚ネットが10分間に濾過した水量と捕獲仔魚数から「単位流量あたりの流下仔魚数」を算出します。この単位流量あたりの流下仔魚数に、今回は「ADCPを用いた流速計測により算出した河川

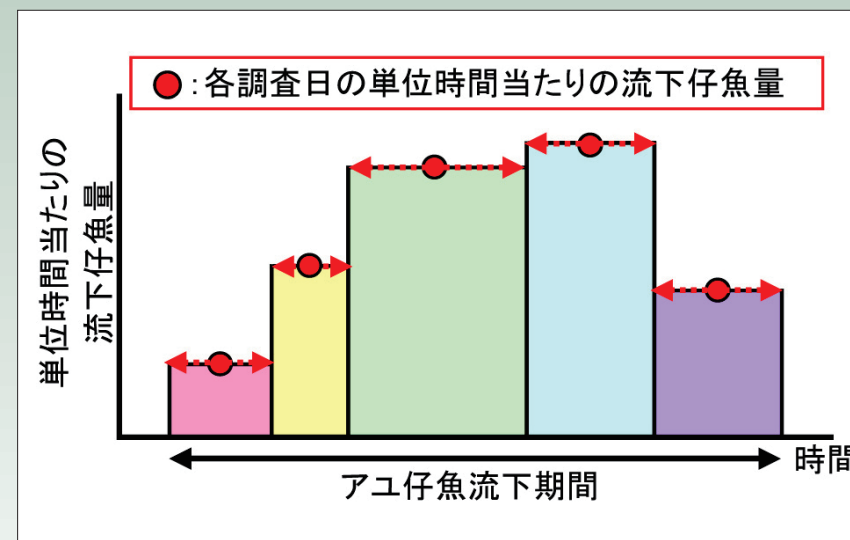


図5 これまでの総流下仔魚数の推定イメージ

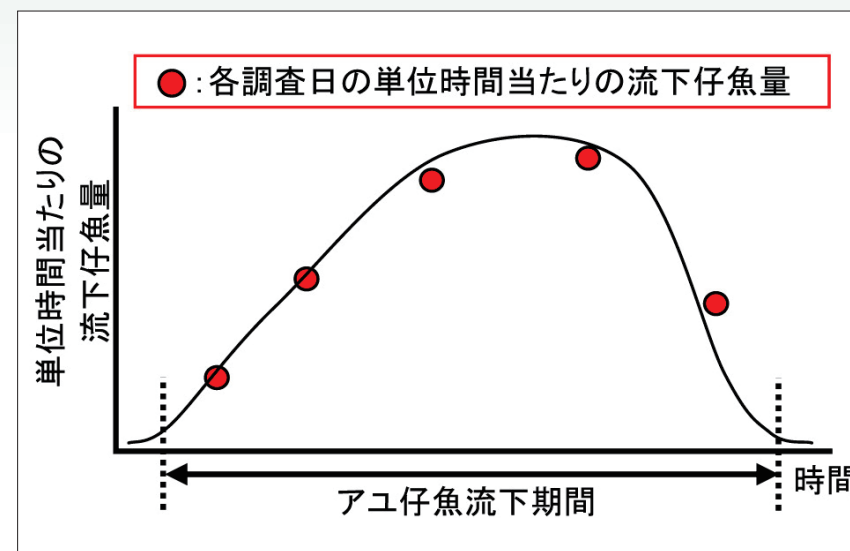


図6 歪正規分布による総流下仔魚数の推定イメージ

流量」を掛けることで「単位時間当たりの流下仔魚数」としました。さらに、24時間調査の結果をもとに時間帯による仔魚の流下量の重み付けも合せて行いました。この結果を「アユ仔魚が流下する時期(時間)」へと引き伸ばし、その年のアユの総流下仔魚数として推定します。

最後の流下時期への引き伸ばしですが、これまでの流下仔魚調査でよく行われていた方法は、図5に示すように、各調査日を基準に各調査日の単位時間当たりの流下仔魚量を仔魚流下期間へと割り当て、各四

角(台形)の面積を合算することで総流下仔魚数としていました。この方法では、図5を見て分かるように、アユ仔魚流下期間の始めと終わりが極端に高い値で始まり終わることとなります。本来、アユ仔魚は徐々に流下量が増え、徐々に減少するため、従来の推定方法では実際のアユ仔魚の流下状況を十分に再現出来ているとは言えませんでした。

この課題に対し、今回の調査では歪正規分布を用いて推定を行いました。流下仔魚は、流下を始めてからピークを迎えた後、減少します。

この時、流下仔魚量は様々な要因を受け、ピークを境に前後して同じ量になることはありません。この流下量の偏りを考慮した分布が歪正規分布です。図6にそのイメージを示します。

流下のピークは流下期間の後半に位置していますが、流下量の偏りを考慮して曲線が流下期間の後期に膨らんだ形となっています。また、従来の方法に比べて流下期間の始めと終わりも低い値で始まり終わっています。この歪正規分布を各調査日の単位時間当たりの流下仔魚量に沿わせ、その曲線と時間軸で囲まれた面積を今回の調査では総流下仔魚数としました。

おわりに

今回、ADCPによる詳細な流量測定、歪正規分布を用いた総流下仔魚数推定を行った新たな流下仔魚調査方法を実施しました。従来の調査方法に比べ、より精度の高いアユ総流下仔魚数が推定できたと考えますが、今回の調査を通してさらなる課題も見えてきました。

今回用いたADCPによる流速の計測は、川底と水面の境界層の流速を感知できない性質があります。また、ADCP本体から近い水面付近も、超音波の性質から上手く流速を感知できません。このような僅かながら存在する未計測エリアの流速の計測を可能とし、流量へと反映させる必要があります。

また、翌年の稚魚放流量の決定など、資源管理のためにはまだ誤差が大きく、調査実施頻度を上げるなど、アユ総流下仔魚数の推定精度を向上させる必要があると考えています。

今後はこのような課題を効率よい方法で解決できるよう、さらなる努力を重ねたいと思います。