

短期的な流況変動に起因する アユ産卵環境の変動予測

NUMERICAL PREDICTION FOR THE IMPACT OF SHORT-TIME VARIATIONS OF RIVER FLOW ON THE SPAWNING ENVIRONMENT OF AYU

山本亮介¹・本田晴朗²
Ryosuke YAMAMOTO and Haruo HONDA

¹正会員 工修 電力中央研究所 陸・水環境領域 (〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646)

²非会員 農博 バイオテクノロジー領域 (同上)

A numerical method was developed to predict the impact of short-term variations of river flow on the spawning environment of Ayu (*Plecoglossus altivelis*). In this method, flow field and bed deformation were calculated with a general coordinate system, which can be applied to a complicated shape of channel geometry like a natural river. The characteristics of the bed material are important factor for spawning bed of Ayu, and therefore the grain size distribution of the bed was also calculated with morphological model for non-uniform sediment. In addition, suitability of flow velocity, bed material, and depth for spawning environment of Ayu were modeled on the basis of experimental results and field investigations. The developed numerical method was applied to the analysis of the curved river where deposits of fine sediment exist on the bed. Four different regimes of high-rate flow were supposed to occur, and their impacts on spawning environment were predicted.

Key Words : Ayu, *plecoglossus altivelis*, spawning environment, environmental impact

1. はじめに

アユは古くから清流を代表する魚として親しまれており、河川環境の保全を図る上で注目すべき魚種である。また、漁業や遊漁の対象としても重要な魚種であるが、天然遡上のアユは減少傾向にあるため、多量の種苗放流が全国各地で盛んに行われている。近年、天然遡上アユと比較して放流アユは河川での再生産に寄与しにくいことがあきらかになっており、放流事業のコストを削減しつつアユ資源量の増大を図るためには、産卵環境を整備し、天然遡上アユを増加させ、河川での再生産を促進させることが必要とされている。

アユの産卵環境は、水質や水温、河川流速や水深、河床材料の粒度分布などの因子に影響を受ける¹⁾。このうち、砂利採集による砂礫の減少や、河川流量の低下に起因する河床表面への砂泥の堆積など、河床材料の変動が産卵環境悪化の主要因となっている例は少なくない。河床材料の移動は、河川の流速や水深、勾配等と深く関わっているため、河川において局所的に変動し、また、出水などにより短期間に大きく変動する可能性もある。そのため、河床材料の変動状況を広範囲に調査し、その

産卵場への影響を逐次把握することは困難なこととなっている。したがって、アユ産卵場の改善を期待して、河川へ産卵場に適した粒径の砂利の投入を行う場合や出水を利用して河床表面に溜まった沈泥の掃出を試みる場合にも、それらの効果を評価・予測することは難しく、現在、そのための手法の構築が必要とされている。

そこで、本研究では、河川流速や河床材料の変動に着目し、出水等の短期的な流況変動に伴う河床変動に起因するアユの産卵環境の変動を予測・評価するための手法の提案を行った。そのために、まず、主に既存のモデルを用いて、河床変動の数値解析手法の構築を行った。ここでは、河床材料の粒径分布がアユの産卵環境を支配する大きな因子の一つであることから、河床変動解析モデルには混合砂礫モデルを導入している。次に、既往の研究や著者らが実施した室内実験による知見を基に、アユ産卵環境を支配する河床材料や河川流速、水深の各因子について、新たにモデル化を行った。モデルは生物生息場評価手法の一つであるPHABSIM²⁾と同様、生物生息環境(ここではアユ産卵環境)に対する各因子の適性を0から1の値で表すものとした。そして、作成した適性度モデルを前述の河床変動数値計算法に取り込むことに

より、流況変動に伴うアユ産卵環境の変動を予測するための数値解析手法とした。さらに、このようにして構築した数値解析手法を用いて、実河川を模擬した河川区間でのアユ産卵環境の変動予測解析を実施した。解析では、河床表層に細砂が溜まった河川区間において、総水量は同一で流量と持続時間が異なる4つのケースの流況変動が発生することを想定し、細砂掃出によるそれぞれのケースのアユ産卵環境の改善効果について予測を行った。

2. 河床変動数値計算モデル

(1) 流れの基礎方程式

本研究では、実河川のような複雑な形状の流れ場に対応するため、一般座標表記された平面2次元浅水流れ方程式を用いて解析を行う。直交座標系 (x_1, x_2) から一般座標系 (ξ_1, ξ_2) へと変換された流れの運動方程式および連続式は、以下のように表される。

運動方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_i}{\partial t} + U_m \frac{\partial u_i}{\partial \xi_m} = & -g \frac{\partial H}{\partial \xi_m} \frac{\partial \xi_m}{\partial x_i} \\ & + \varepsilon \frac{\partial \xi_m}{\partial x_j} \frac{\partial}{\partial \xi_m} \left(\frac{\partial u_i}{\partial \xi_n} \frac{\partial \xi_n}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial \xi_n} \frac{\partial \xi_n}{\partial x_i} \right) - \frac{\tau_i}{\rho h} \end{aligned} \quad (1)$$

連続式

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{h}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi_m} \left(\frac{h \cdot U_m}{J} \right) = 0 \quad (2)$$

ここで、 u_i は x_i 方向の流速成分、 U_m は ξ_m 方向の反変速度成分、 g は重力加速度、 H は基準面からの水位、 h は水深、 ε は水平方向の渦動粘係数、 τ_i は x_i 方向の河床せん断力、 ρ は流体密度、 J はヤコビアンである。

(2) 河床変動と粒度分布

河床材料の粒度分布は、アユの産卵環境を支配する重要なパラメータの一つと考えられるため、本研究では混合砂を対象とした河床変動の解析を行う。流砂の連続性より、河床位の方程式は、一般座標表記で以下のように表される。

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{z_b}{J} \right) + \frac{1}{(1-\lambda)} \sum_k \left[\frac{\partial}{\partial \xi_m} \left(\frac{q_{mk}}{J} \right) \right] = 0 \quad (3)$$

ここで、 z_b は河床位、 λ は土砂の空隙率、 q_{mk} は ξ_m 方向に輸送される粒径階 d_k の流砂量である。

次に、河床の粒度分布式は、交換層での砂礫群の質量保存則を表現した平野の式³⁾より、次式で表される。

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{P_k}{J} \right) + \frac{1}{(1-\lambda) \delta_a} \frac{\partial}{\partial \xi_m} \left(\frac{q_{mk}}{J} \right) \\ + \frac{1}{\delta_a} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{z_b}{J} \right) [\beta P_k + (1-\beta) P_{0k}] = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 P_k は交換層における粒径階 d_k の粒子の含有率、 δ_a は混合層厚さ、 β は浸食時0、堆積時1となる係数、 P_{0k} は交換層直下の砂礫層において粒径階 d_k の粒子が占める割合である。

粒径階別の ξ_m 方向の流砂量 q_{mk} の算出は、底面流速の流向および河床勾配を考慮したLiu *et al.*の方法⁴⁾を用いて河川縦・横断方向の流砂量を算定し、これを座標系変換することにより行った。また、浸食・堆積を繰り返すような河床変動に対応するため、土質柱状構造モデル⁵⁾を導入し、河床材料の鉛直方向の粒度分布の時間変化の把握も行っている。さらに、オイラー的な移動境界モデル⁶⁾を導入して、河川流量の変動に伴う水際線の移動を把握できるものとした。

3. アユ産卵環境のモデル化

アユの産卵水域は一般的に河川の中下流域であるが、河川によってその位置および分布範囲は異なる。石田⁷⁾は、各地の河川について、アユの産卵水域の位置、範囲、河川勾配を調査し、その結果、河口から産卵水域までの距離と河川勾配との間には関連があり、急流河川では河口近くに、緩流河川では河口より離れたところに産卵水域があることをあきらかにしている。また、河川勾配は産卵場の分布範囲にも関連があり、その範囲は急流河川の産卵水域は短く、緩流河川では長いことも指摘している。河川勾配に応じて、河川流速や河床材料の粒度分布は変化することから、これらのことは、アユが一定範囲の流速や河床材料の粒度分布の場所を産卵水域として選択していることを示唆しているといえる。そこで、本研究では、河川のアユ産卵環境が、河床材料の粒度分布、河床材料の移動しやすさ（浮き石状態度）、河川流速および水深の各因子によって支配されると考え、各因子についてモデル化を行う。モデル化にあたっては、マイクロ生息場評価手法であるPHABSIM⁸⁾と同様に、各因子の値とそれに対する適性を0～1の値で表し、それらの値から評価地点の総合的な適性を算出するものとした。

(1) 河床材料の粒度分布

アユは体を使って河床に凹部を作り、そこに産卵する習性があるため、自ら移動させることが困難な大きな石が多く分布する場所は産卵に不向きとされる。また、粒径が極めて小さい場合も、卵を産着させることが難しいため適さない。既往の実験的研究^{9)~12)}により、アユの産卵床に適した河床材料の粒径は1mmから20mm、特に1mmから10mmが最適であることがあきらかになっている。しかし、実際の河川では、各河川によって河床の粒度組成や砂礫の移動のしやすさ（浮き石状態度）が異なり、産卵床に最適な河床材料を一意的に決定することは難しい。そこで、本研究では、アユの産卵に適した河床材料の粒度を以下のようにやや大略に扱うこととした。つまり、アユの産卵に適した河床とは、1～20mm程度の砂礫、特

に1～10mmの砂礫が多く含まれ、逆に1mm以下、および20mm以上の砂礫が含まれる割合が少ない河床とする。このような特徴を基にして河床砂礫の粒度の適性を評価するため、本研究では以下のような手法を用いることとした。まず、河床砂礫の粒度分布がいくつかの区分代表粒径 d_k ($k=1\cdots n$)とその粒径が占める割合 P_k によって離散的に表現されるとして、前述の特徴を基にアユ産卵場に理想的な河床材料の粒度分布を定義する。次に、その理想的な粒度分布と評価対象地点の河床砂礫の粒度分布を比較し、その類似度を調べる。類似度の判定には相関関数を用い、算出された相関値をそのまま河床砂礫の粒度分布に関する適性度とすることとする。つまり、評価対象地点の河床材料の適性度は、理想とする産卵河床の粒度分布との類似度が高いほど大きい値となる。以上のような手法に従うと、アユ産卵場の河床粒度分布に関する適性度 S_d は次式のように表される。

$$S_d = \frac{\sum_{k=1}^n (P_{sk} - \bar{P}_s)(P_k - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (P_{sk} - \bar{P}_s)^2 \sum_{k=1}^n (P_k - \bar{P})^2}} \quad (5)$$

ここで、 P_{sk} はアユ産卵場に理想的な河床において粒径階 k の砂礫が占める割合、 $\bar{P}_s$ 、 $\bar{P}$ はそれぞれ理想河床および評価対象地点の河床における各粒径階の含有率の平均値である。

アユ産卵場に理想的な河床砂礫の粒度分布は表-1のように決定した。ここでは、産卵床に好適と考えられる1mm～20mmの粒径範囲は1mm～10mmと10mm～20mmの二つの範囲に区分し、自然河川での産卵場の粒度分布に関する調査結果²³⁾等を参考に、それぞれの粒径階の割合を、0.8, 0.15としている。そして、実河川における産着卵の確認が少ない20mm～50mmの粒径範囲については、その割合を0.05とした。また、アユが卵を産着させることが困難な1mm以下の砂、移動させることが困難等の理由により積極的に利用しない50mm以上の礫については、それぞれ表-1のような粒径範囲で区分し、各粒径区分の砂礫が含まれる割合を0としている。

(2) 河床材料の移動しやすさ(浮き石状態)

アユの産卵場所の特徴として、河床材料が浮き石状態であることが挙げられる。浮き石状態とは、砂礫に限界掃流力に近い掃流力が作用して均衡を保っている状態であり、このような状態下にある河床では、アユは砂礫を容易に移動させることができる。本研究では、河床材料の移動しやすさ、即ち、浮き石状態の度合いを表すために、対象地点の河床材料に作用する無次元掃流力 τ_{*k} と無次元限界掃流力 τ_{*ck0} の比を算出し、これを浮き石状態とした。つまり、浮き石状態度は次式で表される。

$$S_f = \begin{cases} \tau_{*k} / \tau_{*ck0} & (\tau_{*k} < \tau_{*ck0}) \\ 0 & (\tau_{*k} \geq \tau_{*ck0}) \end{cases} \quad (6)$$

表-1 産卵場に適した河床の粒度分布

粒径階 k	粒径範囲 (mm)	代表粒径(mm)	P_k
1	0.1 ~ 0.5	0.22	0.00
2	0.5 ~ 1.0	0.71	0.00
3	1.0 ~ 10.0	3.16	0.80
4	10.0 ~ 20.0	14.14	0.15
5	20.0 ~ 50.0	31.62	0.05
6	50.0 ~ 100.0	70.71	0.00
7	100.0 ~ 200.0	141.42	0.00

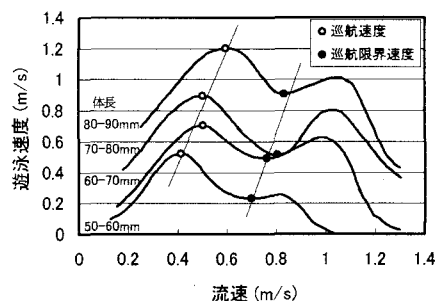


図-1 流速とアユの遊泳速度の関係¹⁴⁾に一部補足

ここで、 S_f は浮き石状態度であり、河床材料に作用する無次元掃流力が無次元限界掃流力を超える場合、つまり、対象河床材料が移動する場合は産着卵が流されてしまうものとみなし、浮き石状態の適性度を0とする。なお、この浮き石状態度は、アユの産卵場として最も適する1mmから10mmの砂礫が含まれる粒径階(表-1中の $k=3$)について算出するものとし、無次元限界掃流力の算出には修正Egiazaroff式¹³⁾を用いた。

(3) 産卵場の河川流速

河川流速に関するアユ産卵環境の適性度をモデル化するため、産卵場の流速として最適な流速、許容できる最大および最小流速について、過去の知見や著者らが実施した実験から、以下のように決定する。

まず、アユの産卵は長時間にわたって行われるので、産卵場の河川流速はアユにとって遊泳が長時間持続できる流速であることが望ましい。小山¹⁴⁾は流速とアユの遊泳速度の関係について実験を行い、その関係が図-1のような2つのピークを持つ曲線で表されることを明らかにしている。アユは流れが弱すぎると泳力を発揮できず、逆に、強すぎると遊泳不能となる。そして、最も泳力を発揮できるのは、図-1に示された曲線の第1のピーク近傍にあたる河川流速下であるとされる。この第1のピークにあたる河川流速はアユの巡航速度と呼ばれ、アユが持続遊泳行動を行う上で最適な流速であると考えられる。そこで本研究では、この巡航速度にあたる流速を産卵場における最も好適な河川流速として扱うこととした。

アユの巡航速度はアユの体長に比例して速くなることがあきらかになっている¹⁴⁾が、過去に行われた実験¹⁵⁾⁻¹⁷⁾では体長100mm以下の遡上期のアユを対象としたものが主である。そこで、本研究では体長100mm以上のアユの巡航速度に関するデータを補足するため、室内実験を実施した。実験では、出入口部をパイプで結合した矩形水路(幅0.075m、長さ3m)内にポンプで水を循環させ、

バルブ開度によって水路内流速を制御できるものとした。そして、水路内の水温を23℃に保ち、体長150mm前後のアユを水路内で遊泳させた。アユはその遊泳力に余裕がある場合は、水路最上流部に定位し泳ぎ続けたが、設定流速が速くなり、巡航速度近傍の流速を超えると下流へと流され始め、最終的には最下流部にて遊泳不能となった。ここでは、水路下流へ流されることなく60分間水路の最上流部で定位し続けることのできた最大の流速を巡航速度とみなし、その流速と体長の関係を調べた。その実験結果および過去に実施された実験結果を図-2にまとめる。図より、アユの体長と巡航速度が比例関係にあることが確認できる。この結果より、産卵場に最適な流速 U_s は次式で表されることがわかった。

$$U_s = CS = 0.0069 \times BL - 0.017 \quad (7)$$

ここで、 CS は巡航速度 (m/s) , BL はアユの体長 (mm) である。

次に、アユの遊泳速度は、第1のピークである巡航速度を超えると流速の増加に伴い減少していくが、ある流速よりまた増加し、第2のピークを持つことが図-1よりわかる。この第2のピークの流速は突進速度と呼ばれ、持続性のない瞬間的な速度である。突進速度にあたる河川流速下では、アユは長時間遊泳速度を保持し産卵場に留まることはできないものと予想され、産卵場の河川流速としては不適当であると考えられる。そこで、本研究では、第1および第2ピーク間に存在する遊泳速度の極小値に対応する河川流速を産卵場の流速として許容できる最大の流速とすることとした。小山の実験結果から各体長のアユの巡航速度 (第1のピークの極大値) と許容最大流速 (ピーク間の極小値) を読み取ったところ、許容最大流速も巡航速度と同様にアユの体長に比例して大きくなることが予想された。そこで、この比例関係が体長90mm以上のアユに対しても成り立つものと仮定し、小山の実験結果からその関係を調べたところ、許容最大流速 U_{max} は次式のように表されることがわかった。

$$U_{max} = 0.0066 \times BL + 0.4409 \quad (8)$$

さらに、アユは流れが弱すぎるとかえって遊泳力を発揮ができない¹⁴⁾ ことから、産卵場の河川流速として許容できる最小流速を把握する必要がある。本研究では、この最小流速をアユが向流性を示し始める流速と捉え、これを実験により決定した。実験は、1.4×0.65m、水深0.2mの水槽内にポンプを用いて水流を作り、その水流の流速を徐々に変えながらアユが水流に向流性を示す流速を調べた。その結果、アユが積極的に向流性を示し出すのは平均流速0.18m/sからであることがわかった。この結果より、産卵場における許容最小流速をアユの体長によらず0.2m/sとすることとした。

以上で検討した産卵環境に最適な河川流速、許容最小流速および許容最大流速の値を基に河川流速に対するア

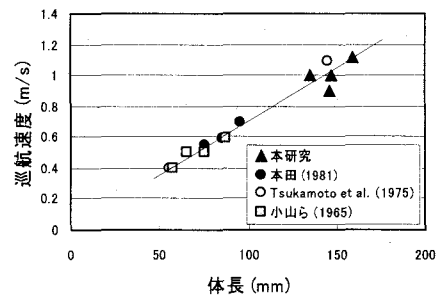


図-2 アユの体長と巡航速度

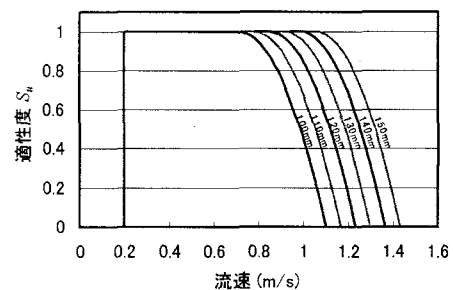


図-3 流速に関する体長別適性度

ユの体長別適性度グラフを作成した。曲線は0から1の間の範囲で適性度が変化するものとし、許容最小流速値以下および許容最大流速以上ではその適性度を0とした。そして、産卵期のアユは遡上期のアユと比較すると流速の選好性が低いと考えられることから、許容最低流速から最適流速間の全ての流速で適性度を1とした。さらに、最適流速値と許容最大流速値間を2次の近似曲線で結合した。このようにして得られた流速に関する産卵場の適性度 S_u に関するグラフを図-3に示す。なお、産卵期の雌アユは、抱卵により腹部が膨大し、遊泳力が低下する可能性があるが、その巡航速度はあきらかでないため、ここではそれを考慮せず、今後の検討課題とした。

(4) 産卵場の水深

自然河川では、水深0.09mの浅水域から水深1m以上の深水域まで、幅広い水深下でアユの産卵が報告されており^{9), 18), 19)}、産卵時のアユの水深に対する選好特性を見いだすことは困難である。また、既往の実験的研究²⁰⁾では、水深よりも河床材料の状態がアユの産卵場の選択性の大きな一因となっていることが指摘されている。そこで、本研究では産卵時のアユの水深に対する選好性は小さいものとし、水深の適性度は産卵場に必要最低限の水深のみを考慮するものとした。つまり、必要最低水深を前述の報告を参考に0.1mとし、評価対象地点がこの水深を満足している場合は、水深に関する適性度を $S_h = 1$ ($h \geq 0.1$)、満足しない場合には、0 ($h < 0.1$) とする。

(5) 総合適性度の算出

前節までで検討した各因子の適性度モデルを基に、アユ産卵場としての総合的な適性度を以下のように算出し、対象地点の評価を行う。アユが河川流速に強い選好性を持つ遡上期とは違い、アユの産卵環境に影響を及ぼす最も重要な因子は河床材料の状態であり、これと比較する

と、産卵環境への流速や水深の影響は小さいものと考えられる。しかしながら、水深が非常に浅い地点やアユが遊泳できないほどの流速下の地点など、河川流速や水深が最低限の条件を満足しない地点は、河床材料の状態にかかわらず、産卵環境として不適であると考えられる。そこで、総合適性度の算出では、評価対象地点の水深に関する適性度 S_h もしくは流速の適性度 S_u のどちらかが1未満の場合は、無条件でその地点の総合適性度 S を0とするものとした。一方、評価対象地点がこれら河川流速と水深の適性度を満たしている場合には、河床材料の状態を評価した上で、総合適性度の算出を行う。この場合の総合適性度 S は、河床の粒度分布の適性度 S_d と浮き石状態度 S_f の積算値の平方根により表すものとした。

$$S = \begin{cases} \sqrt{S_d \times S_f} & (S_h = 1 \wedge S_u = 1) \\ 0 & (S_h = 0 \vee S_u < 1) \end{cases} \quad (9)$$

以上で構築した適性度モデルと河床変動数値解析手法を組み合わせることにより、流況変動に伴うアユ産卵環境の変動予測解析を行う。なお、本解析手法は短期的な流況変動に伴う河床状態の変動に着目し、その産卵環境への影響を評価するものである。したがって、本手法で考慮していない濁度や水質等の因子が流況変動前後で大きく変動し、その産卵環境への影響が無視できないような場合に対しては、本手法は適用外となる。

4. アユ産卵環境変動予測解析

(1) 解析対象および解析条件

構築した手法を用いて、河床表層に細砂が溜まった状態を模擬した河川区間において、大きな流量変動が生じた場合のアユの産卵環境変動予測を行った。まず、本解析で対象とする河川地形と河床位を図-4に示す。ここで、図中に示される境界線は水際線を表すものではない。このような河川区間における定常時の上流端側の流入量を $10\text{m}^3/\text{s}$ とし、そこから増水により、図-5に示すCase1からCase4までの流量変動が生じることを想定した。ここで、Case1からCase4の各ケースは変動時の最大流量とその持続時間は異なるが、総水量は同一である。

河床砂礫の初期粒度分布は、かつては理想的なアユの産卵場であったが、細砂の沈降により産卵場としての環境が悪化している状態を模擬することとした。そこで、交換層の厚さを 0.15m とし、その初期粒度分布については、解析対象区間全域で細砂の含有割合が高い粒度分布(表-2)、また、交換層下ではアユの産卵場に理想的な粒度分布(表-1)を持つものとした。そして、河川入り口部における砂礫の流入は無いものとして計算を行った。

(2) 解析結果

Case2およびCase4の流量変動終了後の河床材料の粒度

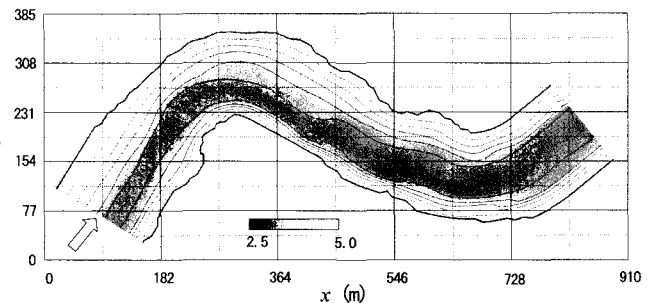


図-4 解析対象河川地形と河床位

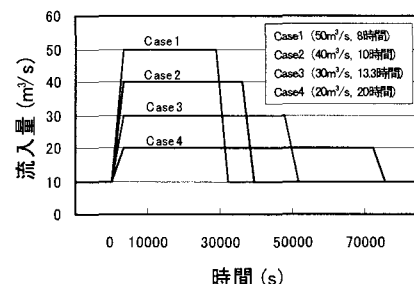


図-5 想定した流量変動

表-2 初期交換層の粒度分布

粒径階 k	粒径範囲 (mm)	代表粒径 (mm)	P_k
1	0.1 ~ 0.5	0.22	0.25
2	0.5 ~ 1.0	0.71	0.25
3	1.0 ~ 10.0	3.16	0.40
4	10.0 ~ 20.0	14.14	0.075
5	20.0 ~ 50.0	31.62	0.025
6	50.0 ~ 100.0	70.71	0.00
7	100.0 ~ 200.0	141.42	0.00

の適性度分布を図-6(a), (b)に示す。ここで、外側の淡色部分は非浸水地点である。流量変動前の初期表層の粒度分布の適性度を算出すると0.41であることから、流量変動後は、流心部を中心に粒度分布の適性度が向上した地点が増加していることがわかる。特にCase2では、河川全域で適性度が向上している。これは、流量上昇時には川幅が大きく広がり、定常時には流れの遅い水際線近傍においても河床変動の影響を大きく受けるためである。

次に、Case2の流動変動前後の河床材料の粒度分布と浮き石状態度、河川流速および水深を考慮した総合的な適性度の分布を図-7(a), (b)に示す。図より、流動変動後は河川区間内の全体で総合適性度が高くなっているが、河床材料の浮き石状態度も反映された結果であるため、その分布は河床材料の粒度分布の適性度(図-6(a))とは異なった分布となっていることがわかる。

解析対象区間における総合適性度分布の変動を具体的に調べるため、0から1の間で表される総合適性値を10階級に分割し、各階級値をとる地点の累積面積が定常時の全河川水面積に占める割合を調べた結果を図-8に示す。図より、流動変動前の初期状態では、河床材料の粒度分布の適性度が低いため、総合的な適性度の値は0.2から0.6の間の地点が多いことがわかる。そして、流動変動後には細砂の掃出により河床材料の状態が改善されたことから、0.6以上の高い適性値をとる地点の面積割合が増加し、評価対象河川区間のアユの産卵環境が向上して

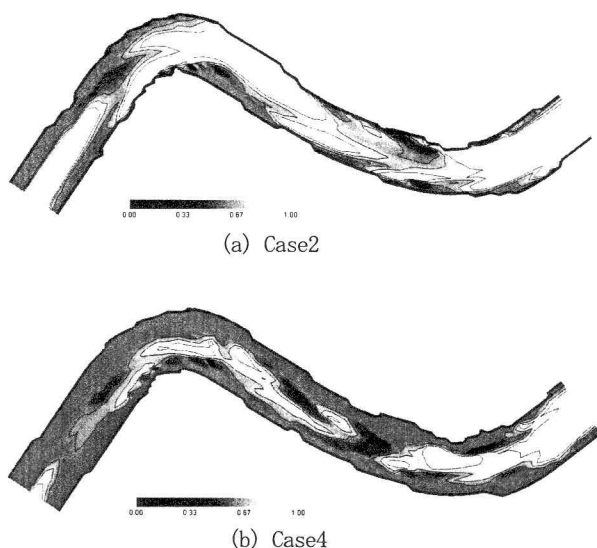


図-6 流量変動後の粒度の適性度分布

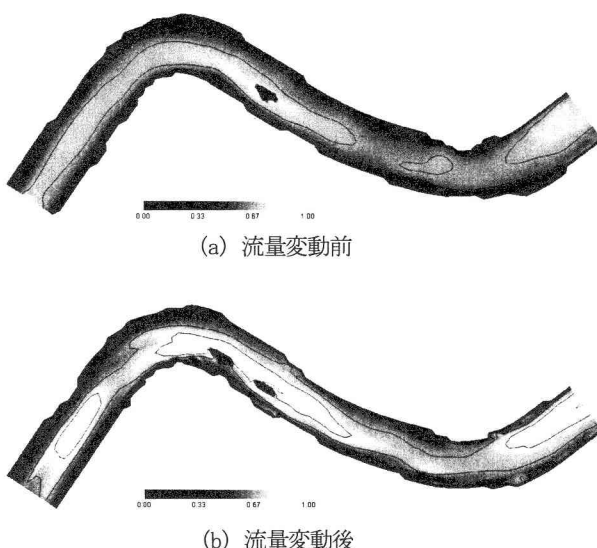


図-7 流量変動前後での総合適性度分布の変化 (Case2)

いることが確認できる。さらに、総合適性度0.6以上の累計面積割合に着目すると、流量変動前は0.02であったのに対し、変動後はCase1からCase4でそれぞれ0.32, 0.30, 0.25, 0.20と増加している。これより、本解析条件下においては、総水量が同一の場合、流量変動中の最大流量が大きくその持続時間が短いケースほど、アユの産卵環境の改善効果が大きいことが示唆される。

5. おわりに

本研究では、短期的な流況変動に起因するアユの産卵環境の変動予測手法の提示を行った。今後は、抱卵したアユの巡航速度や産卵に最適な河床材料の粒径分布等についてさらに詳細な検討を行い、本研究で提案した予測評価手法のモデルの改良と妥当性の検証を進める予定である。

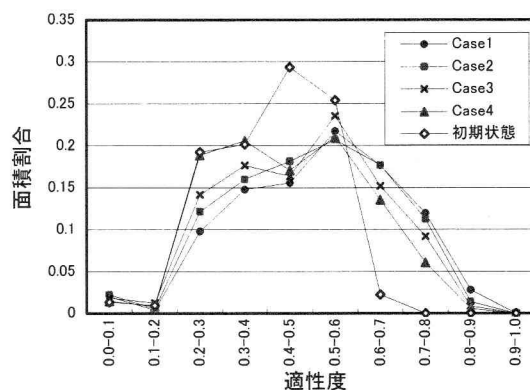


図-8 河床材料適性度分布

参考文献

- 1) 鬼束, 東野ほか: アユの産卵に必要なパラメータの選定と産卵密度の予測, 水工学論文集, 第48巻, pp. 1549-1554, 2004.
- 2) U.S. Department of the Interior, National Biological Service : The Instream Flow Incremental Methodology, A Primer for IFIM, Biological Report 29, 1995.
- 3) 平野宗夫: Armoringをともしう河床低下について, 土木学会論文報告集, 第195号, pp. 55-65, 1971.
- 4) Liu, B.Y., Ashida, K., and Egashira, S. : Sediment sorting and its simulation model in meander streams, Proc. 24th IAHR Cong., Madrid, Spain, pp.A453-A460, 1991.
- 5) (社) 砂防学会編: 山地河川における河床変動の数値計算法, 山海堂, pp. 44-54, 2000.
- 6) 梅津ほか: 水際移動境界を考慮した洪水氾濫流れの有限要素解析, 第2回計算力学 シンポジウム 報文集, pp. 133-140, 1998.
- 7) 石田力三: アユの産卵生態 - IV. 産卵水域と産卵場の地形, 日本水産学会誌, Vol. 30, No. 6, pp. 478-485, 1964.
- 8) 石田力三: アユの産卵生態 - II. 産卵魚の体系と産卵床の砂礫の大きさ, 日本水産学会誌, Vol. 27, No. 12, pp. 1052-1057, 1961.
- 9) 石田力三: アユの産卵生態 - V. 産卵場の構造, 淡水区水産研究所研究報告, Vol. 17, No. 21, pp. 7-19, 1967.
- 10) 大野善弘: 人工河川におけるアユの産卵環境 (1) 大型養成親魚に対する産卵床の砂礫の適正な大きさについて, 滋賀県水産試験場研究報告, Vol. 25, pp. 20-25, 1974.
- 11) 大野善弘: 人工河川におけるアユの産卵環境 (II) 小型親魚に対する産卵床の適正な環境について, 滋賀県水産試験場研究報告, Vol. 27, pp. 18-22, 1975.
- 12) 白石芳一, 鈴木則夫: アユの産卵生態に関する研究, 淡水区水産研究所研究報告, Vol. 12, No. 1, pp. 84-107, 1962.
- 13) Egizaroff, I.V. : Calculation of Nonuniform Sediment Concentrations, Proc. ASCE, Vol.103, No.HY6, pp.225-247, 1965.
- 14) 小山長雄: アユの生態, 中公新書, 中央公論社, 1978.
- 15) 下茂, 児玉, 赤崎, 本田ほか: 内水面魚類影響調査報告書, 電力中央研究所報告 依頼報告: 481502, pp. 72-78, 1981.
- 16) 小山ほか: 木曽三川河口資源調査報告2(1), 1965.
- 17) Tsukamoto, K., Kajihara, T. and Nishiwaki, M. : Swimming Ability of Fish, Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 41(2), pp.167-174, 1975.
- 18) 全国内水面漁業協同組合連合会: アユの産卵場作りの手引きー魚類再生産技術開発調査報告書一, pp. 19-28, 1993.
- 19) 鈴木喜三郎: 産卵期のアユの生態及び産卵床について, 水産増殖, Vol. 5, No. 3, pp. 21-26, 1958.
- 20) 石田力三: アユの産卵生態- III. 産卵場の水深と産卵魚の体型, 日本水産学会誌, Vol. 28, No. 4, pp. 399-404, 1962.

(2004. 9. 30 受付)