

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 22 日現在

機関番号：12101

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23780245

研究課題名（和文）水理解析と最適化理論を融合した魚類生息環境の設計手法

研究課題名（英文）A method of designing fish habitat by combining flow analysis and optimization theory

## 研究代表者

前田 滋哉（MAEDA Shigeya）

茨城大学・農学部・准教授

研究者番号：00346074

研究成果の概要（和文）：水路における魚類生息環境を効果的に保全するため、最適化手法を用いた環境設計法の開発を試みた。対象水路区間のアユの産卵場としての適性を、生息場適性指数(HSI)を用いた生息場ポテンシャル(HP)で表した。HPを最大化するように複数のブロックを水路床に配置するため、開水路流のシミュレーションと遺伝的アルゴリズムを用いたシミュレーション-最適化法を開発した。仮想水路区間に本手法を適用し、最適なブロック配置を導いた。

研究成果の概要（英文）：An ecohydraulic design method was developed for effective conservation of fish habitat in canals using the optimization theory. The suitability of the target canal section as a spawning site of Ayu was evaluated with habitat potential (HP) based on the habitat suitability index (HSI). A simulation-optimization method was presented that combined numerical simulation of open channel flow and the genetic algorithm, in order to place multiple blocks on the bed of the canal section under maximized HP. The developed method was applied to a hypothetical canal section, which showed the presented method can successfully produce optimal block configurations.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	1,700,000	510,000	2,210,000

研究分野：生態水理学

科研費の分科・細目：農業工学・農業土木学・農村計画学

キーワード：生態環境，最適化，水理学，数値計算

## 1. 研究開始当初の背景

農業農村整備事業では平成 13 年に改正された土地改良法に従って環境との調和に配慮する必要がある。農業用の水路における魚類生息地の保全を考える場合、「利水・治水」に加え「保全」が重要な事業目的となる。そこでわが国では、主に生態学的経験則に基づく環境に配慮した事業が計画されているが、事業の効果を十分に予測した上で実施されているとは言えない。さらに重要なことは、事業計画段階で「利水・治水」と「保全」の

調和を緻密に分析可能な方法論がない点である。

国内外で流量増分式生息地評価法(IFIM)，微視的生息地評価法(PHABSIM)，ハビタット評価手続き(HEP)などの活用による魚類生息地評価が行われている。しかし、たとえ良好な魚類生息地の特徴が把握できたとしても、事業目的である「利水・治水」と「保全」のバランスをどこでとるべきか、という高い視点からの間に答えることはできない。このような間に答えるには、科学的分析に加えて意

思決定者や利害関係者の目的達成欲求を陽的に議論対象とできる枠組が必要ではないか。

そこで、「利水・治水」と「保全」という2目的を持つ最適化モデルを開発することで、より満足度が高い事業計画の策定を支援できるのではないかと、との着想に至った。

## 2. 研究の目的

本研究では、利水・治水・保全に関しあらかじめ定めた目的と制約から水路内の「個々の物理要素はどうあるべきか」を導く演繹的アプローチを採用する。これにより、事業の水利設計を飛躍的に合理化できる。

本研究の目的は、水路内に魚類にとって望ましい水利環境が生じるような環境モジュールの最適配置を決定するモデル（最適化モデル）を開発することである。ここで、環境モジュールとして植生、魚巢、置き石等を想定する。限られたコスト内で実現可能であり、水路区間全体として最適な魚類生息環境を生じさせる事業の方向を定量的に議論する。

以上のような目的を掲げた後、仮想的な水路区間の魚類生息場としての価値を最大化することを目的に、水路床に置き石に見立てたブロックを最適に配置する手法をまず開発する。

## 3. 研究の方法

### (1) 方法の概要

HSI（生息場適性指数）を用いた魚類生息場評価手法および流れの数値解析手法を最適化手法と融合することで、事業効果のより詳細な予測や事業の合理化の促進に寄与する手法を開発する。適用例として、仮想水路区間のアユの産卵場としての価値を最大化するブロック配置問題を設定し、その解法と計算結果を示す。

### (2) 生息場ポテンシャル

対象水路区間（対象水域）の路床に六面体のブロックを適切に配置することで、対象水域の生態学的価値を最大化する設計問題を定義する。この生態学的価値を生息場ポテンシャル(HP)で表す。対象水域を水平方向に三角形要素に分割し、各要素の魚類生息場としての「質」を HSI で表す。HP は各要素での HSI 値の、要素面積を重みとした加重和として、次式で与えられる。

$$HP = \frac{\sum_{j=1}^{N_E} HSI_j \times A_j}{\sum_{j=1}^{N_E} A_j} \quad (1)$$

ここで、下付添え字  $j$  がついている変数はそれが要素  $j$  での値であることを示し、 $N_E$  = 対象水域内の要素数； $A_j$  = 水面積である。

HP は 0 から 1 までの値をとり、1 に近いほど対象水域の魚類生息場としての価値が高いことを示す。

HSI <sub>$j$</sub>  を求めるため、本研究では代表的な環境因子である水域内の水深と流速のみを用い、各環境因子に対する対象魚の適性指数 (SI) を定義する。HSI はしばしば行われているように、これら 2 つの SI の幾何平均とする。

すなわち

$$HSI_j = \left\{ SI_{d_j}(d_j) \times SI_{v_j}(U_j, V_j) \right\}^{\frac{1}{2}}, j = 1, 2, \dots, N_E \quad (2)$$

ここで  $d_j$  = 水深； $U_j, V_j$  =  $x, y$  方向流速； $SI_{d_j}$  = 対象魚の水深に対する適性指数； $SI_{v_j}$  = 対象魚の流速に対する適性指数である。

### (3) 支配方程式

対象水域の水深と流速の支配式として、鉛直方向に積分した定常の運動量方程式と連続式を仮定する。空間座標を  $x_i$  ( $i = 1, 2$ ) とし、総和規約を用いると両式は以下のように表せる。

$$U_j U_{i,j} + g \eta_{,i} - \nu U_{i,jj} + \frac{\lambda |W| U_i - \lambda^o |W^o| U_i^o}{h - \alpha h_b + \eta} = 0 \quad (3)$$

$$\left\{ (h - \alpha h_b + \eta) U_{j,j} \right\} = 0 \quad (4)$$

ここで、 $U_i$  = 流速ベクトル  $W$  の成分 ( $i = 1, 2$ )； $U_i^o$  = 風速ベクトル  $W^o$  の成分 ( $i = 1, 2$ )； $h$  = 平均水深； $h_b$  = ブロック高； $\eta$  = 平均水位からの水面偏差； $\alpha$  = ブロックの有無を示すパラメータ； $\nu$  = 水平渦動粘性係数； $g$  = 重力加速度； $\lambda, \lambda^o$  = 底面、水面摩擦係数である。式(3), (4)でブロック導入の影響を、平均水深  $h$  が  $\alpha h_b$  だけ減少するとして表している。

### (4) シミュレーション—最適化法

対象水域の流況はブロック配置により変化するだけでなく、対象水域の上流境界における水域への流入流量や下流境界での水深の影響も受ける。これら境界部での水利条件の不確定変動を考慮したうえで最適なブロック配置を導出するため、確率論的最

適化問題を考える。すなわち、水域上流境界の単位幅流量と水域下流境界の水深の組から成る複数のシナリオを想定し、それに生起確率を付与することで、以下のような期待 HP を最大化するブロック配置決定問題を設定する。

$$\text{Maximize } \sum_{s=1}^{N_s} p_s \text{HP}_s \quad (5)$$

ここで、下付添え字  $s$  はシナリオを表し、 $N_s =$  シナリオの個数;  $p_s =$  生起確率である。

式(5)内の各シナリオにおける HP の評価には、式(1), (2)に示されているように、水域内の各要素での水深  $d_j$ , 流速成分  $U_j, V_j$  が必要となる。したがって、仮定したブロック配置の下で、シナリオで想定される境界条件を与えて支配式(3), (4)を解く。シミュレーション-最適化法により、このような流況シミュレーションを、生息場ポテンシャルの期待値が最大となるまでブロック配置を更新しつつ実行する。なお、ブロック配置を式(5)の目的関数値が増大するように更新するため、遺伝的アルゴリズム(GA)を用いる。

#### 4. 研究成果

仮想水路区間にブロックを適切に配置することにより、アユの産卵場としての価値を最大化する問題を考える。図1に示すような均一形状のブロックを、図2のような直線水路区間に最大15個配置する。HPを計算するため、水深と絶対流速それぞれに対するアユの産卵場としての適性指数SIを図3のように定める。シナリオとして、水域上流境界での単位幅流量を3通り(0.27,0.30,0.35m<sup>2</sup>/s)想定し、GAに基づくシミュレーション-最適化法によりブロック配置の最適化を行った。その結果、図4に示すように、本手法によって期待生息場ポテンシャルが増大するようなブロック配置を導くことができた。

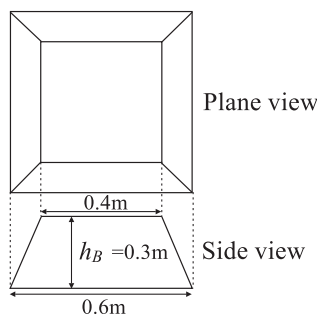


図1: ブロックの形状

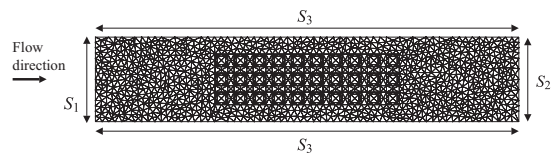


図2: 対象水路区間の有限要素分割と上流境界  $S_1$ , 下流境界  $S_2$ , 水路側壁境界  $S_3$

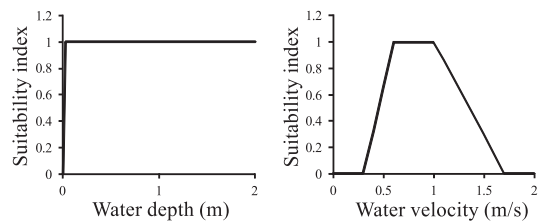


図3: アユの産卵場に関する適性指数

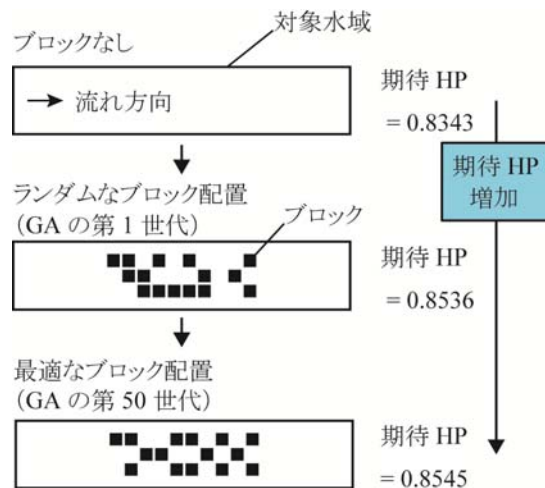


図4: ブロック配置と期待生息場ポテンシャル(HP)

環境配慮モジュールの置き方により生息場の価値を向上させる既往研究はあるが、その最適化法を提示した本研究のようなものは見当たらない。したがって、この成果は国内外において、関連研究を促進する効果があると考えられる。

今後は、魚類選好性のあいまいさの考慮、求解手法の高速化など、本手法の実用化に向けた研究が必要である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

① Maeda, S., Fujita, T. and Kawachi, T. (2013):

Fuzzy comprehensive evaluation of water quality at monitoring points –Application to Lake Biwa-, *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 18(2), pp.1-5, [http://ci.nii.ac.jp/vol\\_issue/nels/AA11657953\\_jp.html](http://ci.nii.ac.jp/vol_issue/nels/AA11657953_jp.html), 査読有

- ② Maeda, S. (2012): GA-based simulation-optimization approach for designing fish habitat in canal, *Proceedings of SCIS-ISIS 2012*, pp.89-93, Kobe, Japan, November 20-24, 査読有
- ③ Maeda, S. (2012): Optimization of block placement for ecohydraulic design of fish habitat in canal, *Proceedings of 9<sup>th</sup> international Symposium on Ecohydraulics 2012*, 13080\_2.pdf, University of Natural Resources and Life Sciences Vienna, Vienna, Austria, September 17-21, [http://www.ise2012.boku.ac.at/papers/13080\\_2.pdf](http://www.ise2012.boku.ac.at/papers/13080_2.pdf), 査読有
- ④ Chono, S., Maeda, S., Kawachi, T., Imagawa, C., Buma, N. and Takeuchi, J. (2012): Optimization model for cropping-plan placement in paddy fields considering agricultural profit and nitrogen load management in Japan, *Paddy and Water Environment*, 10(2), pp.113-120, DOI: 10.1007/s10333-011-0272-4, 査読有
- ⑤ Maeda, S., Nagamochi, T., Kawachi, T. and Takeuchi, J. (2011): Regional allocation of irrigation water in a rice paddy area with water-saving practices, *Irrigation and Drainage Systems*, 25, pp.81-96, DOI: 10.1007/s10795-011-9113-2, 査読有
- ⑥ Imagawa, C., Takeuchi, J., Kawachi, T., Chono, S., Buma, N. and Maeda, S. (2011): A hydro-environmental model considering nitrogen dynamics in surface zone for analysis of groundwater nitrate-nitrogen contamination, *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 16(2), pp.13-24, <http://ci.nii.ac.jp/naid/110008661301>, 査読有

〔学会発表〕(計9件)

- ① 前田滋哉(2012): シミュレーションー最適化法による魚類生息環境の設計支援ーアユの産卵場を例としてー. 第63回農業農村工学会関東支部大会講演会講演要旨集: 38-39, 埼玉県
- ② 小沼優介, 安瀬地一作, 前田滋哉, 吉田貢士, 黒田久雄(2012): 広域窒素フローによる霞ヶ浦流域の富栄養化要因の解析. 第63回農業農村工学会関東支部大

会講演会講演要旨集: 64-65, 埼玉県

- ③ 前田滋哉, 河地利彦 (2011): 水路における流れ場を考慮した魚類生息地の最適設計手法. 農業農村工学会京都支部第68回研究発表会講演要旨集: 4-11 - 4-12, 奈良県
- ④ 長野峻介, 前田滋哉, 河地利彦 (2011): 確率計画法を用いた排出負荷管理のための転作地最適配置モデル. 農業農村工学会京都支部第68回研究発表会講演要旨集: 4-3 - 4-4, 奈良県
- ⑤ 前田滋哉, 河地利彦 (2011): 水域における効率的な水質調査のための最適採水時点の決定手法. 平成23年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集: 286-287, 福岡県
- ⑥ 長野峻介, 前田滋哉, 河地利彦 (2011): 収益性の向上と汚濁負荷管理を目的とした作付計画における多目的最適化モデル. 平成23年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集: 770-771, 福岡県
- ⑦ 前田滋哉, 河地利彦 (2011): 農業用排水路における魚礁ブロック配置の数値的検討. 雨水資源化システム学会第19回研究発表会講演要旨集: 23-26, 愛媛県
- ⑧ 長野峻介, 前田滋哉, 河地利彦 (2011): 灌漑期にシナリオを設定した排出負荷管理のための転作地最適配置モデル. 雨水資源化システム学会第19回研究発表会講演要旨集: 127-128, 愛媛県
- ⑨ 藤田常仁, 前田滋哉, 河地利彦 (2011): 複数の水質項目に基づく湖沼水質の総合評価手法. 雨水資源化システム学会第19回研究発表会講演要旨集: 129-130, 愛媛県

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

前田 滋哉 (MAEDA SHIGEYA)  
茨城大学・農学部・准教授  
研究者番号: 00346074

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし