

魚の推定消費エネルギーを用いた農業用排水路における人工魚巢の有効性評価
 Evaluation of an artificial fish nest in an agricultural drainage canal
 using an estimated fish energy expenditure

○ 前田 滋哉*・谷川 響*・吉田 貢士*・黒田 久雄*

Shigeya Maeda*, Hibiki Tanigawa*, Koshi Yoshida* and Hisao Kuroda*

1 はじめに

農業用排水路において、生態環境に配慮した事業が近年活発に行われている。その中で人口魚巢は水路のコンクリート側壁にしばしば付設されるものであり、魚の退避場所として利用されることが期待されている。魚巢に関連する研究としては、魚巢の魚による利用状況¹⁾や集魚効果²⁾を調べたもの、人工魚巢の乱流特性を計測したもの³⁾などがあるが、魚巢の有効性を定量的に評価する研究は不足している。一方、河川の遡上箇所の特徴のような魚類行動を乱流特性と関連付ける研究^{4,5,6)}がなされつつある。そこで本研究では、実在する排水路の魚巢内外の水理観測に基づいて魚の消費エネルギーを推定し、魚巢の有効性を定量的に評価する。

2 乱れの程度と魚の消費エネルギー

排水路内のある観測点において、水の瞬間流速を一定の時間間隔で記録する。排水路流は一般に乱流であるため、 $i(i = 1, 2, \dots, N)$ 番目の瞬間流速ベクトルの直交座標系 x, y, z 成分 $\tilde{u}_i, \tilde{v}_i, \tilde{w}_i$ は次式で表せる。

$$\tilde{u}_i = U + u_i, \tilde{v}_i = V + v_i, \tilde{w}_i = W + w_i \quad (1)$$

ここで、 U, V, W = 時間平均流速ベクトルの x, y, z 成分; u_i, v_i, w_i = 乱れ速度ベクトルの x, y, z 成分; N = 瞬間流速ベクトルの記録数である。このとき、乱れによる運動エネルギー (乱れエネルギー) TKE⁶⁾ は

$$\text{TKE} = \frac{1}{2} (\overline{u^2} + \overline{v^2} + \overline{w^2}) \quad (2)$$

と表される。ここで、変数のオーバーラインは時間平均操作を表し、

$$\overline{u^2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i^2, \overline{v^2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2, \overline{w^2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N w_i^2 \quad (3)$$

である。TKE は絶対的な乱れの程度を表している。

時間平均流速ベクトルの大きさ V_0 に対する瞬間流速の標準偏差 (乱れ強度) ベクトルの大きさを表す指標として、乱れ度 K を次式⁴⁾ で定義できる。

$$K = \frac{\sigma}{V_0} \quad (4)$$

K は相対的な乱れの程度を表している。

乱流下で魚が流水中に定位するために消費するエネルギー EE は、魚体に水流が作用することで生じる抗力から次式⁴⁾ で表される。

$$EE = \frac{\rho C S V_0^3 T}{2} (1 + 3K^2) \quad (5)$$

ここで ρ = 流体密度; C = 魚体抗力係数; S = 抗力作用面積 (時間平均流速の向きに垂直な面に魚体を投影した面積); T = 時間長である。消費エネルギー EE が小さいことは、魚の摂餌行動によるエネルギー獲得労力の軽減に繋がる。したがって EE は魚の生息しやすさの尺度の一つと考えられる。

3 調査方法

茨城県稲敷郡美浦村興津地区の農業用排水路における、魚巢が合計 6 個水路側壁に付設されている区間 (Section 1) と、そこから排水路沿いに 100m 程上流に位置する魚巢無区間 (Section 2) を調査対象とした (図 1)。この排水路は霞ヶ浦南部に広がる谷津田地帯にあり、下流端で高橋川に接続後霞ヶ浦へ至る。Section 1 は高橋川河口より 3.9km 上流に位置し、霞ヶ浦より魚が遡上する。魚巢は図 1 のように排水路の側壁から陥没するようにあり、開口部は幅 1.14m、高さ 1m の矩形である。

水理調査は 2013 年 10 月 10 日、2014 年 4 月 24 日、6 月 16 日、10 月 8 日の 4 回実施した。天候はいずれも晴れであり、第 1, 4 回目は稲の収穫後、第 2 回目は代かき期で排水路の濁りが顕著だった。第 3 回目は田植え後約 1ヶ月経った時期に相当した。

* 茨城大学農学部 *College of Agriculture, Ibaraki University
 キーワード：魚巢, 生態環境, 排水路, 乱流, 生息場

水理調査では図1のように排水路内に15の観測地点S1~S15を設け、水深を計った。各地点で鉛直方向に1~2個の観測点を設定し、そこで瞬間流速を観測した。3次元電磁流速計VP3500(ケネック)を使用し、80Hzで30秒間(ただし第1回目は25秒間)流速観測を行った。

図1に示すようにSection1の上・下流側には落差があり、路床が1段下がった状態になっていた。地点S7~12がある区間の路床は礫の上に砂が堆積した状態であり、路床の場所的变化が少なくなかった。魚巢内のS1~6では、魚巢内奥に向かって堆砂量の増加がみられた。一方Section2のS13~15の路床はコンクリートであり、砂はほとんど堆積していなかった。

4 結果と考察

全4回の調査において、水深は0.12(S13)~0.54(S10)m、時間平均流速は 8.1×10^{-4} (S1)~0.61(S15)m/sの範囲にあった。魚巢の効果を魚の30秒間推定消費エネルギーにより評価するため、観測地点をグループ1:「魚巢内とその周辺」(S1~9)、グループ2:「魚巢外」(S10~15)のように分類した。対象魚として、Section1で2014年5月22日に採捕したヌマチチブ(全長6.3cm、体高1.0cm)を想定した。魚体抗力係数は対象魚を細長物体と仮定し、全長に基づくレイノルズ数から観測点ごとに推定⁷⁾した。グループ1(サンプル数53)および2(サンプル数33)の V_0 , TKE, K , EEの中央値はそれぞれ、0.033と0.28m/s, 2.0×10^{-4} と $1.4 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{s}^2$, 0.63と0.22, 8.8×10^{-5} と $9.6 \times 10^{-3} \text{J}$ だった。グループ1と2におけるこれらの変数の中央値に有意差があるかどうかを、Mann-WhitneyのU検定により調べた。すると、 V_0 , TKE, EEについてはグループ1の中央値が有意に小さく($P < 0.001$), K はグループ1の中央値が有意に大きかった($P < 0.001$)。本調査ではEEに対する乱れ度の影響は小さく(図2)、魚巢内とその周辺では時間平均流速が魚巢外より小さくなるため魚の消費エネルギーが小さいことが明らかになった。

5 おわりに

排水路の魚巢では時間平均流速が顕著に低下し、魚巢内の魚の消費エネルギーが中央値で魚巢外の1/109に抑制されていた。今後は水理調査データを蓄積して分析精度の向上を図るとともに、乱流特性と魚の行動に関する他の知見を組み合わせることで魚巢の有効性評価の妥当性を高めていきたい。

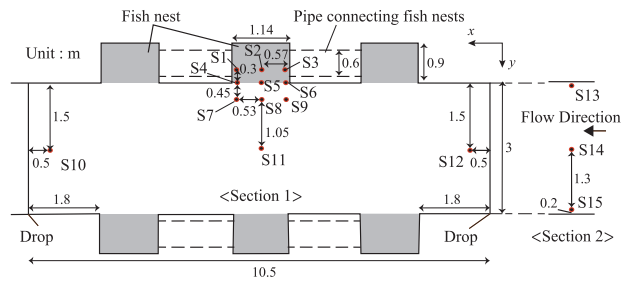


図1 排水路内の観測地点の位置(平面図)
Fig.1 Plane view of monitoring spots in the drainage canal

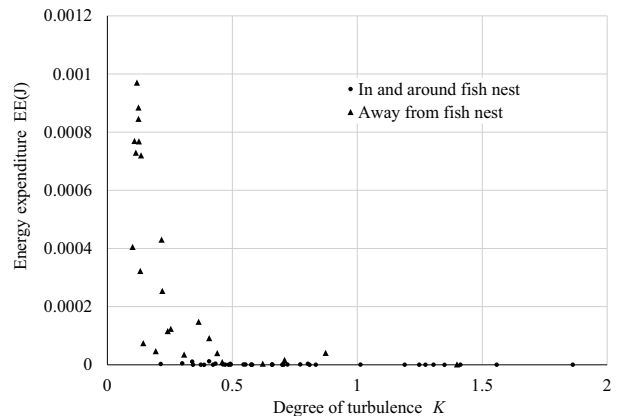


図2 乱れ度と魚の30秒間消費エネルギー
Fig.2 Relation between degree of turbulence and fish energy expenditure

謝辞 本研究の一部はJSPS科研費(基盤研究C)25450353の助成を受けた。茨城大学研究室学生には調査にご協力いただいた。記して謝意を表す。

引用文献 1) 山本 章造・片山 勝介(1986): 岡山県における魚巢ブロックの魚介類による利用状況, 淡水魚, 12, 31-37. 2) 丸山 為蔵・石田 力三(1991): 護岸用魚巢ブロックの集魚効果について, 水産工学, 28(1), 23-32. 3) 中島 央晶・森 健・井上 英二・原口 智和(2002): 人工魚巢開口部における乱流剪断層の水理特性, 九大農学芸誌, 57(1), 53-58. 4) Pavlov, D.S., Lupandin, A.I. and Skorobogatov, M.A. (2000): The effects of flow turbulence on the behavior and distribution of fish, *Journal of Ichthyology*, 40(2), S232-S261. 5) Enders, E.C., Boisclair, D. and Roy, A.G. (2005): A model of total swimming costs in turbulent flow for juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*), *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 62, 1079-1089. 6) Silva, A.T., Katopodis, C., Santos, J.M., Ferreira, M.T. and Pinheiro, A.N. (2012): Cyprinid swimming behaviour in response to turbulent flow, *Ecological Engineering*, 44, 314-328. 7) 東昭(1993): 流体力学, 朝倉書店, 73-77.