

# 102 イワナに対する濁度の影響評価法

京都大学大学院

○木下篤彦

京都大学大学院農学研究科

藤田正治・水山高久

京都大学防災研究所

澤田豊明

## 1. はじめに

著者らは、排砂によるイワナへの影響を水質の点から調べる目的で、現地実験を通して排砂後の溶存酸素濃度(DO)とSS濃度の変化を調査してきた<sup>1),2),3)</sup>。本研究では、まず、イワナのエラに付着する土砂の粒径を調査し、次に水槽実験によってエラからの土砂排除能力の個体差について調査し、最後にこれらの結果をもとに排砂後のSS濃度の増加による窒息、および死に至るイワナの個体数の時間変化を推定する計算手法を確立する。

## 2. エラに付着する土砂の粒径

溪流に穴の開いたかごを沈め、その中にイワナを5匹放流した後、給砂実験を行った。給砂終了後、土砂が付着したエラの面積割合を解剖により調査した。実験は5種類の砂で5回行われ、給砂量、給砂時間についてはNewcombeらの研究<sup>4)</sup>から彼らの分類で魚への影響が生理学的なストレスとなるようにした。実験条件および結果を表1に示す。表1より、イワナについてはSS濃度が増加すると、およそ0.150mm以下の粒径の土砂がエラに付着し、土砂の粒径が細かければ細かいほど土砂が付着しやすいことが分かった。

## 3. 洗浄運動によるエラからの土砂排除能力の個体差

異なるSS濃度に設定した6個の水槽にイワナを10匹ずつ入れ、生存率の時間変化を48時間調べた。設定濃度は20000,40000,60000,80000,100000,150000mg/lである。ただし実験に用いた濁質成分は平均粒径0.009mmのパールクレーである。また、実験中のDOは9.8mg/l、水温は6.8℃でほぼ一定であった。図1はその結果を示したもので、60000mg/lまでなら生存率は最後まで100%であったが、150000mg/lでは最終的に0%になった。尾崎<sup>5)</sup>は、魚にはエラに付着した土砂を排除する能力があると述べ、それを洗浄運動と呼んでいる。洗浄運動については現地実験の結果ではSS濃度がピークに達するとエラ面積のうち20%程度が土砂により被覆されていたが、ピーク後、SS濃度が0近くまで回復すると、目詰まり面積も0%となったことからその存在が確認されている。水槽実験の結果では、SS濃度が80000mg/l以上だと同じSS濃度でも48時間生存するイワナと致死するイワナがあり、洗浄運動による土砂排出能力には個体差があることが示唆された。

## 4. 影響評価モデル

イワナはSS濃度が大きくなると、土砂体積の増加による呼吸水中の酸素量の減少と、エラでの土砂の付着面積の増加による酸素摂取場所の減少によって酸素摂取量が減少する。この考えに基づいて、ある一定のDOおよびSS濃度の下での窒息および死に至るイワナの個体数割合の時間変化を推定するモデルを作った。まず、SS濃度の上昇によるエラでの酸素摂取量の減少を見かけのDOによって表現することとし、呼吸水中の土砂体積の増加とエラへの土砂の付着面積の増加によって見かけのDOが低下すると仮定した。次に、Shepard<sup>6)</sup>、尾崎<sup>5)</sup>の研究から見かけのDOが1.7mg/lになるとイワナは窒息症状を起こし、0.5mg/lになると死に至ると仮定した。最後に洗浄運動によってSS濃度が $C_{cr}$ まではエラに付着した土砂を排除できるとし、水槽実験の結果から $C_{cr}$ には個体差があるとした。これらの仮定に基づき見かけのDOを求める。まず、見かけのDOを(1)式のように定義した。

$$C_{ox} = r_i(t) \cdot r_g(t) \cdot C_{oxo} \dots (1)$$

ここに、 $r_i$ : 土砂体積の増加による低減率、 $r_g$ : エラへの土砂付着面

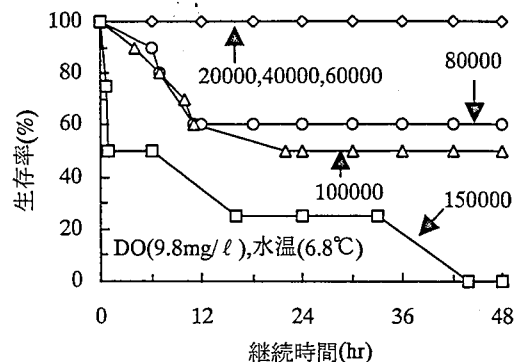


図1 イワナの生存率の時間変化

表 1 給砂実験の条件および結果

| 砂の種類   | 平均粒径 (mm) | SS 濃度 (mg/l) | 給砂時間 (分) | エラでの土砂付着面積の割合(%) |
|--------|-----------|--------------|----------|------------------|
| パールクレー | 0.009     | 9149         | 20       | 5.0              |
| DL クレー | 0.029     | 9628         | 20       | 2.0              |
| 8号砂    | 0.149     | 9272         | 20       | 1.0              |
| 7号砂    | 0.283     | 9233         | 20       | 0                |
| 5号砂    | 0.488     | 9844         | 20       | 0                |

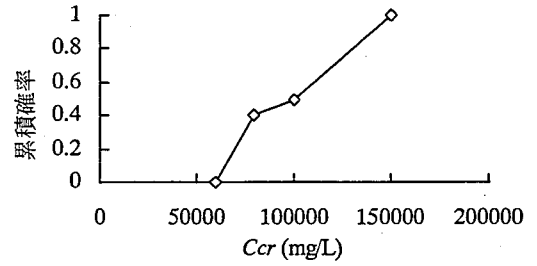


図 2  $C_{cr}$  の分布関数

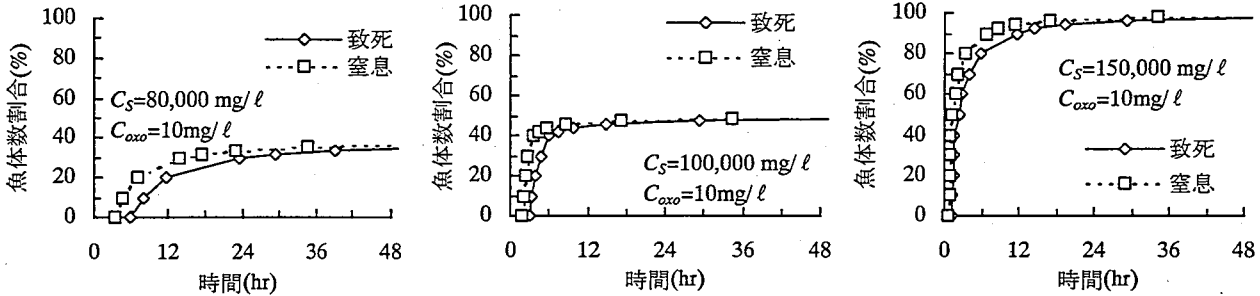


図 3 本モデルの計算例

積の増加による低減率,  $C_{cr}$ :見かけの DO,  $C_{oxo}$ :呼吸水の DO である. 次に, (1)式の  $r_i(t)$ については土砂体積の増加によって呼吸水中の酸素量が減少すると仮定し, (2)式のように定義した.

$$r_i(t) = 1 - C_{SV} \dots (2)$$

ここに,  $C_{SV}$ :呼吸水の体積土砂濃度である. (1)式の  $r_g(t)$ については, 酸素摂取はエラの土砂が付着していない部分で行われると仮定し, (3)式のように定義した. (3)式の  $S$ については, 土砂の付着はエラ全体で均等に起こると仮定し, (4)式のように定義した. (4)式の  $p$  は SS 濃度と  $C_{cr}$  との差に比例すると仮定し, (5)式のように定義した.

$$r_g(t) = \frac{S}{S_0} \dots (3) \quad \frac{dS}{dt} = -pS \dots (4) \quad p = p_0(C_S - C_{cr}) \dots (5)$$

ここに,  $S$ :土砂が付着していないエラの面積,  $S_0$ :エラの全表面積,  $p$ :単位時間単位エラ面積あたりに土砂が付着する面積割合,  $p_0$ :係数,  $C_S$ :SS 濃度である.

本モデルを排砂の影響評価に用いるためにはイワナについて(5)式の 2 つの係数  $p_0$ ,  $C_{cr}$  を求める必要がある. そこで  $p_0$ ,  $C_{cr}$  を求めるため, 図 1 の水槽実験の結果を用いる. まず, 図 1 において 48 時間生存していたイワナは設定 SS 濃度以上の  $C_{cr}$  を持つと仮定し, 設定 SS 濃度と 48 時間後の生存率から図 2 のような  $C_{cr}$  の分布関数を求めた. 次に, SS 濃度が増加し見かけの DO が減少すると,  $C_{cr}$  の小さいイワナから窒息症状を起こし死に至ると仮定し, 式(1)~(5)および図 1, 2 から  $p_0$  を求めた. 計算結果から  $p_0$  の値を平均すると  $p_0 = 2.52 \times 10^{-5} (\text{l/mg/hr})$  となり, この値をイワナについての  $p_0$  の値とする. ただし  $p_0$  の標準偏差  $\sigma = 1.50 \times 10^{-5} (\text{l/mg/hr})$  であった.

本モデルの計算例として  $C_{oxo} = 10 \text{mg/l}$  の下での  $C_S = 80000, 100000, 150000 \text{mg/l}$  の 3 つの場合について窒息および死に至るイワナの個体数割合の時間変化を示す(図 3). このように本モデルを使えば, ある一定の DO および SS 濃度の下での窒息および死に至るイワナの個体数割合の時間変化を推定することができる.

### 5. おわりに

本研究ではある一定の DO および SS 濃度の下での窒息および死に至るイワナの個体数の時間変化を推定する手法を提示した. しかし, 事前に排砂によるイワナへの影響を予測するには流量, 排出土砂量, 排出時間などから DO の低下量および SS 濃度の上昇量を予測する必要がある, これらについても今後検討する必要がある.

参考文献 1)・2)木下ら:砂防学会研究発表会,1999・2001. 3)木下ら:河川技術論文集,2001. 4)Newcombe ら:Effects of suspended sediments, 1991. 5)尾崎久雄:魚類生理学講座,1970. 6)Shepard: Resistance of trout to oxygen lack, 1955.