

底生動物の回復確率を用いた河川生態系へのインパクト評価

東北大学大学院 学生員 渡辺幸三, 吉村千洋
東北大学大学院 正会員 大村達夫

1. はじめに

河川生態系には洪水、土木工事、水質汚濁などのインパクトが生じており、これらの正確な影響評価は欠かせない。より大きなインパクトによる生態系の破壊は回復がより難しく、回復するとしてもより長い期間を要する。そこで本研究では、河川生態系の要素である底生動物の回復現象に着目し、その総個体数の回復確率をインパクトからの経過年数ごとに個体群動態確率モデルを活用して求め、河川生態系への影響を事前評価する手法を開発した。

2. 生態系回復モデル

2.1. 個体群動態確率モデル

生態系回復モデルには、個体群の回復を記述する既存の個体群動態確率モデルを活用する。この確率モデルは回復を考える上で最低限欠かせない密度効果を考慮したゴンペルツモデルとランダム成分から構築されたシンプルな常微分方程式(式(1))¹⁾で表される。

$$\frac{dx}{dt} = -r x \ln \frac{x}{K} + s F(t) x \quad \cdots (1)$$

x : 個体数 [1/m²] K : 環境収容力 [1/m²]
 t : 時間 [年] s : ランダム変動の強さ [1/年]
 r : 比増殖速度定数 [1/年] $F(t)$: ホワイトノイズ [-]

右辺第1項はゴンペルツモデルである。環境収容力 K はその環境下で最大限生息できる個体数のポテンシャルを表し、大きいほど生物にとって棲みよい環境を意味する。また、比増殖速度定数 r はそれぞれの生物群集が持つ固有の増殖特性を表し、環境に依存しない定数である。右辺第2項では、気候変動、生物間相互作用などのゴンペルツモデルでは表現されない様々な影響をランダム変動としてまとめた確率項である。式(1)はFokker-Planck方程式を活用した解析解が得られている¹⁾。式(2)の確率密度関数とその解である。ここで、 $P(x|y, t)$ は初期個体数 y [1/m²] から、時間 t [年] 経過後に個体数が x [1/m²] に変化する確率を意味する。

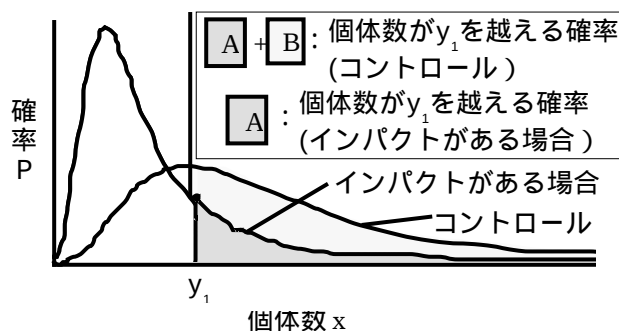
$$P(x|y, t) = \sqrt{\frac{r}{x^2 s^2 p(1 - e^{-2rt})}} \exp \left\{ -\frac{r}{s^2} \left[\ln \left(\frac{x}{K} \left(\frac{K}{y} \right)^{e^{-rt}} \right) \right]^2 \right\} \frac{1}{s^2 (1 - e^{-2rt})} \quad \cdots (2)$$

2.2. 回復確率

個体群動態確率モデル(式(2))を活用して、インパクトからの経過年数ごとに、式(3)によって定義される回復確率 (Recovery Probability) を求める。

$$RP(t) = \frac{\int_{y_1}^{\infty} P(x, r, s, t, y_2, K_2) dx}{\int_{y_1}^{\infty} P(x, r, s, t, y_1, K_1) dx} = \frac{A}{A+B} \quad \cdots (3)$$

y_1, K_1 はインパクトがない場合 (コントロール), y_2, K_2 はインパクトがある場合における初期個体数および環境収容力をそれぞれ表す。式(3)の分子は確率密度関数の積分値であり、インパクトがある場合に個体数が y_1 を越える確率を表す。図1は時間 t [年] における確率分布の概念図だが、 A の面積がこの確率を表す。一方、式(3)の分母はコントロールにおける同様の確率を表し、図1の A と B の面積の和を意味する。分子のみの確率もインパクトを受けた群集が元の個体数以上になる確率を表すが、実際にはインパクトを受けなくとも、ランダム変動により個体数が y_1 を下回る場合があるので、式(3)の形で回復確率を定義した。式(3)の値は数値積分により得られ、生態系の回復に伴って二つの分布形は近づき、0 から1 の範囲で増加する。



3. 樽川の回復確率の算出

長野県の山中を流れる樽川の早瀬部において、1968年から7年間に渡って毎年3月に底生動物の定量調査が行われた²⁾。この7年間では樽川には特にインパクトは生じていないが、本研究では早瀬から平瀬への河床改変を伴う土木工事による生態系の破壊を想定し、そこからの回復を生態系回復モデルによりシミュレートした。

3.1. パラメータ推定

生態系回復モデルには、 r, s, K_1, y_1, K_2, y_2 の合計6つのパラメータが必要となる。樽川の回復シミュレーションを行うにあたり、これらの値を推定したので、その方法を説明する。

Key words: 河川底生動物 個体群動態確率モデル 確率密度関数 回復確率 土木工事
〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉06 TEL 022-217-7483 FAX 022-217-7482

(a)比増殖速度定数 r ：この値は急激に増加している集団のデータを用いて推定しなくてはならない．そこで，奈良県の吉野川で調査された1959年9月の伊勢湾台風による破壊からの回復過程にある総現存量 $[mg/m^2]$ のデータ³⁾を用いて推定した．この調査は，上流から下流に渡る7地点において，1960年から6年間に渡って毎年8月に行われた．地点ごとにゴンペルツモデルを適用し，最小二乗法で比増殖速度定数 r を推定した得られた地点間の平均値は $0.301(\pm 0.078)[1/年]$ (カッコ内は標準偏差)であった．この平均値を樽川のシミュレーションに用いた．

(b)ランダム変動の強さ s ，コントロールの環境収容力 K_1 ：樽川では，上述した7年間で底生動物の密度は高く，飽和に近い状態であったため，過去に受けたインパクトから十分な年数が経過した状態と理解される．したがって，この7年間の総個体数は，式(2)で t の極限を取った場合の確率密度関数(式(4))に従った値として仮定できる．最尤推定法を用いると，飽和状態にある n 年分の個体数 $x_1, x_2, \dots, x_n [1/m^2]$ により，式(4)中のパラメータ(s, K_1)は式(5) (6)の関係式で表せる．ここで，式(6)は個体数の幾何平均が環境収容力であることを意味する．樽川の7年分の個体数および $r(=0.301)$ を式(5) (6)に代入し， $s=0.209[1/年]$ ， $K_1=2069.6[1/m^2]$ と求めた．

$$P(x_i) = \sqrt{r/x_i^2 s^2} \exp\left\{-r\left[\ln\{x_i/K_1\}\right]^2/s^2\right\} \cdots (4) \quad s^2 = 2r \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left\{\ln\{x_i/K_1\}\right\}^2 \cdots (5) \quad K_1 = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_i} \cdots (6)$$

(c)コントロールの初期個体数 y_1 ：7年間の算術平均($2154.9[1/m^2]$)をコントロールの初期個体数 y_1 とした．

(d)インパクトがある場合の環境収容力 K_2 ：底生動物の総個体数は早瀬よりも平瀬の方が少ないため，環境が平瀬に変わると環境収容力は小さくなる．そこで，吉野川^{4) 5) 6)}，日置川⁷⁾(和歌山県)の延べ45地点で調査された同地点内の早瀬，平瀬に生息する底生動物の総個体数を比較し，平瀬へ変化に伴う減少率 $_{flat}$ を求めた結果，地点間の平均は $0.835(\pm 0.072)$ となった(カッコ内は標準偏差)．減少率 $_{flat}$ とは，式(7)で説明される総個体数の比である．

$$\text{平瀬の総個体数} = \text{早瀬の総個体数} \times \text{減少率}_{flat} \cdots (7)$$

式(6)に減少率 $_{flat}(=0.835)$ を考慮した式(8)から，インパクトがある場合の環境収容力 K_2 は $1728.1[1/m^2]$ となった．

$$K_2 = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n a_{flat} x_i} = a_{flat} \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_i} = a_{flat} K_1 \cdots (8)$$

(e)インパクトがある場合の初期個体数 y_2 ：工事直後，底生動物の総個体数は工事期間中に発生する濁水および平瀬への改変の二つの影響により減少していると仮定する．すると，これら二つの影響は式(9)のように二つの減少率の積によって考えることができる．

$$y_2 = \text{減少率}_{flat} \times \text{減少率}_{work} \times y_1 \cdots (9)$$

ここで， $_{work}$ は工事の濁水による総個体数の減少率である．本研究では，綱木川(宮城県)で行われた道路橋工事における濁水の影響が樽川で発生した場合を想定した．そして綱木川における工事現場の上流と下流で底生動物の定量調査を行い，濁水の影響を受けない上流に対する下流の総個体数の比から濁水による減少率 $_{work}$ を 0.453 と求めた．式(9)に $_{flat}$ ， $_{work}$ ， y_1 を代入した結果， $y_2=615.1[1/m^2]$ となった．

3.2. 結果

図2に土木工事からの経過が20年までの回復確率の結果を示す．年数の経過に伴い，回復確率は約 0.47 に収束していった．回復確率が 1 に到達しないのは，河川環境を改変したため，生態系への影響が残るためである．また，工事から5年後の回復確率は 0.10 であった．これは，5年後までに工事前の総個体数に回復する確率がわずか 10% に過ぎないことを意味し，一度破壊された生態系の回復の難しさを表している．しかし，本研究では破壊地点の上流側から流下する個体の供給を特に考慮していないので 実際にはこの結果よりも早い回復を期待できることに注意する必要がある．

4. おわりに

本研究では，河川生態系に対するインパクトを回復確率という概念によって評価するモデルを提案した．今後は，より多くのデータを用いて，パラメータ推定法の信憑性や上流からの個体の供給が回復に及ぼす影響の検証などを行っていくつもりである．

参考文献

- 1) N.S. Goel, N. R. Dyn：生物学における確率過程の理論，pp.142-147, 1978．
- 2) 小松典：日本生態学会誌，Vol. 25, No. 3, pp. 160-172, 1975．
- 3) 御勢久右衛門：，Vol. 18, No. 4, pp. 147-157, 1968．
- 4) 津田松苗，小松典：，Vol. 14, No. 2, pp. 43-49, 1964．
- 5) 水野野彦，西村正昭，岩崎優：，Vol. 16, No. 4, pp. 157-165, 1966．
- 6) ， ， ， No. 6, pp. 219-225, 1967．
- 7) 牧岩男：Jap. J. Limnol. , Vol. 41, No. 1, pp. 24-40, 1980．
- 8) ， ， ， Vol. 17, No. 3, pp. 104-111, 1967．

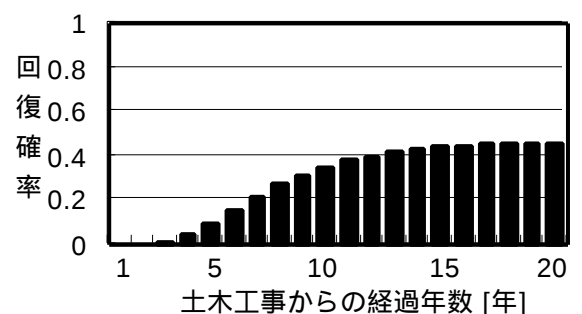


図2 土木工事による樽川の生態系破壊を想定した場合の回復確率の年次変化