

東北大学 学生員 ○渡辺幸三 吉村千洋
東北大学 正会員 大村達夫

1 はじめに

近年、河川生態系保全の観点から底生動物による生物学的水質調査が行われている。しかし、その実状はその時々の水環境を断片的に調べる利他的な調査にとどまり、正しく河川生態系を評価できているとは言えない。生態系の状態をより正確に把握するためには、その機能や遷移の仕方などのダイナミクスを知る事が重要と考えられる。そこで、本研究では河川底生動物相に数理モデルを適用し、その個体群動態を表す事を目的とした。更に、そのモデルを解析する事で新たな河川環境評価方法の開発を試みた。

2 底生動物の種間関係

2.1 解析方法

長野県の自然河川である樽川で1968年3月から1974年3月までの底生動物の個体数経年変化が調べられた¹⁾。結果は極相状態にも関わらず、個体数は定常状態でなく振動していた。捕食被食など互いに種間影響を及ぼしあっている種の個体群動態はこの様に振動するのが知られている事から、樽川における個体数の振動も種間関係が主な要因と推測した。この事を踏まえ、食性と摂食方法に着目し、樽川に生息する主な底生動物種を表1中の7つの群集構造に分類した。そして分類した個体数とその増減率（翌年3月の個体数-3月の個体数）/3月の個体数で単相関分析を行い、種間関係の増減率への影響を調べた。

2.2 結果と考察

表1に単相関分析から求めた相関係数を示す。0.4以上の値を種間関係がある組み合わせとみなし太字で示した。この結果から、例えば肉食カワゲラの場合、造網型トビケラやカゲロウの個体数が多いほど増加傾向にあり、肉食カワゲラ自身や植食双翅目が多いほど減少傾向にある事が読みとれる。また、7分類全てで自身の個体数と増減率が負の相関があるため、樽川の底生動物相で密度効果が働いている事が確認された。

表1 個体数とその増減率との相関係数

	個体数						
	1	2	3	4	5	6	7
1.肉食カワゲラ	-0.83	0.12	0.00	0.58	-0.23	0.61	-0.61
2.雑食トビケラ	-0.28	-0.49	-0.14	-0.14	0.48	-0.31	-0.54
3.草食カワゲラ	-0.54	-0.20	-0.53	-0.10	0.06	-0.13	-0.71
4.造網型トビケラ	0.49	-0.16	-0.12	-0.43	0.02	-0.38	0.32
5.携果型トビケラ	0.71	0.74	0.96	-0.35	-0.50	0.17	0.15
6.カゲロウ	0.06	-0.62	-0.52	-0.44	0.55	-0.68	-0.17
7.草食双翅目	-0.26	0.06	-0.06	-0.41	0.01	-0.22	-0.94

3 種間関係を考慮したモデル

3.1 拡張ロジスティックモデル

上記7分類に基づいて樽川の底生動物相の個体群動態モデルを適用した。モデルは本研究で新たに開発した拡張ロジスティックモデル（式[1]）である。

$$x_i(t+1) - x_i(t) = b_i x_i(t) \left(1 - \frac{x_i(t)}{c_i + \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j(t)} \right) \cdots [1]$$

この式はロジスティックモデルを種間関係を考慮した形に拡張したモデルである。式中の分母は環境収容力であり、その河川環境中に保持可能な最大個体数を表す。また、種間関係による影響はこの部分に反映される。i, jは分類、nは分類の総数、tは時間（年）をそれぞれ表す。b_i, c_i, x_i(t)はそれぞれ内的自然増加率、底生動物間の種間影響を除いた環境収容力、個体数をそれぞれ表す。内的自然増加率とはその種の理想環境中における最大増殖率である。a_{ij}はj分類の個体数をi分類の環境収容力に換算する係数で、i=jの時に0、j分類がi分類の増加に貢献するなら正、その逆の場合は負の値をとる。

3.2 樽川へのモデルの適用

7年間のデータから、最小二乗法で式[1]中のパラメータb_i, a_{ij}, c_iを推定した。ただし分母中のj分類については、表1中の太字の分類のみをモデルに組み込んだ。次に求めたパラメータを使って、データから翌年の個体数を計算した。その計算値と実測値との相関係数を図1に示す。なお、参考のために種間関係を表す既存のロトカ・ボルテラモデルを用いて樽川への同様の適用を行った結果も併記しておく。拡張ロジスティックモデルの結果は植食双翅目を除いて高い相関となった。したがって拡張ロジスティックモデルは、底生動物相へ適用が可能と言える。

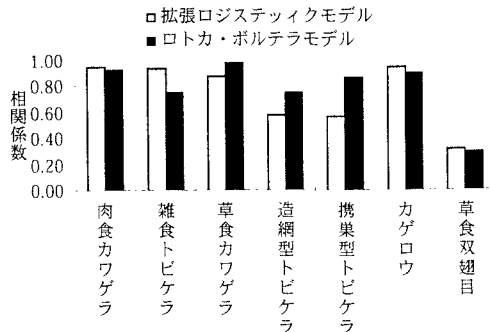


図1 計算値と実測値の相関係数

4 環境収容力による環境評価

4.1 環境収容力

拡張ロジスティックモデルでは、既存の種間関係モデルと異なり環境収容力を計算出来る。前述した様に、翌年への個体数変化の様子から計算される環境収容力はその河川環境で保持できる個体数のポテンシャルを表す。したがって、個体数そのものより河川環境を的確に表現する事が期待出来る。そこで、仙台市の広瀬川で調査された底生動物の個体数経年変化²⁾から広瀬川の環境収容力を求めて河川環境との関係を調べた。なお、式[1]から環境収容力 K_i は次式で定義される。

$$K_i(t) \equiv c_i + \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j(t) \dots [2]$$

4.2 広瀬川における調査の概要

調査は広瀬川の新川合流、鳴合橋、澁橋、広瀬橋及び千代大橋の5地点で、昭和58年9月末と昭和59年10月上旬に行われた。新川合流地点は山深い上流、鳴合橋は中流にある。澁橋、広瀬橋、千代大橋は下流にあるが、澁橋だけ広瀬川が仙台市街地を通過する前にあり、残りの2地点は通過後にある。

4.3 広瀬川における環境収容力

広瀬川で採取された底生動物を樽川と同様に分類した。次に、樽川における a_{ij} 、 b_i の値と広瀬川の2年分のデータから式[1]により c_i を計算した。広瀬川と樽川では採取データの季節、水質、流速などが違うが、 a_{ij} 、 b_i にこの事は影響しないので樽川の値を使う事とした。そして、式[2]から各採取地点ごとの昭和59年10月における環境収容力を求めた。

モデルの広瀬川への適用が特に上手くいった肉食カワゲラ、カゲロウ、草食双翅目の個体数及び環境収容力の計算結果を図2、図3にそれぞれ示す。図2より肉食カワゲラの個体数が下流に進むにしたがって減少しているのが分かるが、他の2分類については、そのようなサンプリング地点と個体数の明確な関係は現れていない。

一方、図3では肉食カワゲラ及び草食双翅目で、澁橋までの上流側3地点に対し下流2地点は環境収容力が明瞭に減少している。このことから、この二分類にとっての河川環境が都市の下流側で大きく悪化している事がはっきり分かる。これは、広瀬川が仙台市街地を通過する際に都市排水の流入による水質悪化を起こした為と考えられる。これに対し、カゲロウの環境収容力は、他の2分類と異なり、都市の下流側2地点は最上流地点よりも環境収容力が増加している。したがって、カゲロウにとっての河川環境の棲み易さは水質の影響を受けにくいと考えられる。むしろ上流、中流、下流の流域区分で環境収容力に違いが出ていることから、流速、流量、底質などの因子がカゲロウの生息環境に重要と考えられる。

以上の結果から、環境収容力はその河川環境における個体数のポテンシャルを表す為、個体数に比べ有効に河

川環境管理への適用が期待できる事が分かった。

4.5 環境収容力と水質の関係

広瀬川の生物調査では化学的水質調査も同時に行われた。その水質と環境収容力の関係を単相関分析により調べた。表2にその相関係数を示す。太字の値は無相関の検定で、有意水準5%で棄却された組み合わせである。

結果では、肉食カワゲラ及び草食双翅目で生活排水により増加する $\text{NH}_4\text{-N}$ 及び大腸菌との間に主な負の相関があった。一方、個体数と水質についても同様の分析を行ったが5%の検定の結果で棄却されたのは2項目と、環境収容力で棄却された4項目よりも少なかった。以上より、環境収容力は個体数よりも有意な相関関係にある水質項目が多く、特に生活排水との相関が高い事が分かった。

5 おわりに

拡張ロジスティックモデル及び環境収容力による河川環境評価法は広瀬川においてその有効性が確認された。しかし、本研究では底生動物間の種間影響のみを考えたモデルとなっており、魚類、藻類等が底生動物に及ぼす影響は考えられていない。今後はこのような点も考慮して、さらに精度の良い数理モデルを使った河川環境評価の手法を考えていく予定である。

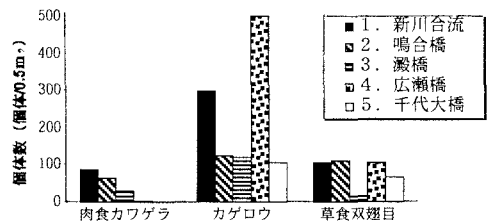


図2 サンプリング地点ごとの個体数(s59.9月)

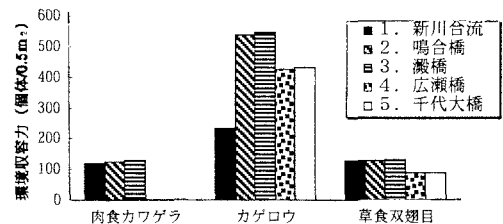


図3 サンプリング地点ごとの環境収容力(s59.9月)

表2 水質と環境収容力の相関係数

	環境収容力 (個体/0.5m ²)		
	肉食カワゲラ	カゲロウ	草食双翅目
pH	0.75	0.52	0.72
BOD (mg/l)	0.05	0.41	0.05
COD (mg/l)	-0.71	0.41	-0.74
TOC-Mn (mg/l)	-0.51	0.56	-0.54
$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/l)	-0.92	0.02	-0.92
$\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/l)	-0.53	-0.48	-0.50
大腸菌 (MPN/100m ¹)	-0.91	-0.14	-0.91

6 参考文献

- 1)小松典：日本生態学会誌、Vol.25、No.3、pp.160-172、1975
- 2)菅野猛：仙台市衛生試験所報、第14号、1984。