

バクテリア種間競争を考慮した被食 - 捕食系数理生態系モデル

千葉工業大学 生命環境科学科 学員 ○松尾尚昭

千葉工業大学 生命環境科学科 正員 村上和仁

1. はじめに

有害物質による水環境汚染は、有機塩素系溶媒や重油の流出などが原因となっている。そこで、バクテリアの化学物質分解能力を用いて自然環境を修復する技術（バイオレメディエーション）が有望視されている。本研究では、バイオレメディエーションの前段階として、自然生態系に有用なバクテリアを散布した際の被食捕食関係、種間競争といった生物間相互作用に及ぼす影響を評価するための数理生態系モデルの構築を試みた。

2. 方法

(1) モデル想定種

バクテリアのモデルとしては、グラム陽性種である *Escherichia coli*、グラム陰性種である *Bacillus cereus* の2種を想定した。また、動物プランクトンのモデルとして、広食性の微小後生動物である輪虫類 *Philodina erythrophthalma* 1種を想定した。

(2) 数理生態系モデルの構築

本研究における数理生態系モデルは生物間相互作用として Lotka - Volterra 被食 - 捕食型モデル、競争型モデルとして被食者2種 - 捕食者1種の場合を検討した。バクテリア、動物プランクトンの挙動を簡略し定式化すると、それぞれ[1]、[2]、[3]式ようになる。

$$dA_i/dt = \mu_i A_i (1 - A_i + a_{ij} A_j / K_i) - K_d A_i - r G_i A_i Z \quad [1]$$

$$dA_j/dt = \mu_j A_j (1 - A_j + a_{ji} A_i / K_j) - K_d A_j - r G_j A_j Z \quad [2]$$

$$dZ/dt = \mu_z Z / K_z + \mu_z Z / K_z - K_d Z \quad [3]$$

ここで、

μ_{ij} : 比増殖速度 ($= \mu_{max} \times \Phi_{COD} \times \Phi_{DO} \times \Phi_t$)

μ_{max} : 最大比増殖速度 [day^{-1}]

Φ_{COD} : 基質に関する影響関数

Φ_{DO} : 酸素濃度に関する影響関数

Φ_t : 水温に関する影響関数

a_{ij}, a_{ji} : $j(i)$ に対する種間競争係数

G : 捕食率 $K_{dA,Z}$: 死滅係数 [day^{-1}]

A_{ij} : バクテリア i, j の個体数 [ml^{-1}]

$\mu_{Z,i,j}$: 比増殖速度 ($= \mu_{i,jmax} \times \Phi_t GYA$)

Z : 動物プランクトンの個体数 [ml^{-1}]

Y : 収率 [V/V] $K_{i,j,Z}$: 環境許容量

(3) パラメータの設定

既往の文献を参考に表1、2のように増殖に関するパラメータを設定した。*Perythrophthalma* による捕食選択は *E.coli*、*B.cereus* をそれぞれ摂食したときの最大増殖速度 μ_{max} の比で表し、捕食選択係数 r を $r_1=1$ 、 $r_2=0.88$ とした。

3. 結果および考察

バクテリア間の競争および動物プランクトンによる捕食という生物間相互作用を考慮した簡易的な数理生態系モデルを構築した。2種のバクテリア (*E.coli*、*B.cereus*) をそれぞれ種 i 、種 j として、バクテリアの種間競争係数を変動させてシミュレーションを行った。

表1. バクテリアのパラメータ

項目	単位	<i>E.coli</i>	<i>B.cereus</i>
μ_{max}	day^{-1}	19.1	12.7
K_{COD}	mg/l	0.682	0.451
K_{DO}	mg/l	0.073	0.073
T_C		37	30
K_{dA}	day^{-1}	0.1	0.1
$K_{i,j}$	ml^{-1}	100000	100000

表2. 動物プランクトンのパラメータ

項目	単位	<i>P.erythrophthalma</i>
μ_{imax}	day^{-1}	0.35
μ_{jmax}	day^{-1}	0.31
T_C		30
K_{dZ}	day^{-1}	0.01
K_Z	ml^{-1}	200

キーワード: 数理生態系モデル 種間競争 被食捕食関係 細菌 微小後生動物

〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1 (千葉工業大学 生命環境科学科) TEL: 047-478-0455 FAX: 047-478-0474

(1) 種間競争を考慮しない場合

バクテリア両種の種間競争係数の比 a を 0 とし、シミュレーションを行った。この結果を図 1 に示す。この場合では、*E.coli* と *B.cereus* は同じ挙動を示しており、30 日後には個体数 $40,000 \text{ N} \cdot \text{ml}^{-1}$ 程度で推移している。また、*P.erythrophthalma* は 30 日後に $700 \text{ N} \cdot \text{ml}^{-1}$ 程度まで増加しており、さらに増加する傾向にある。

(2) 弱い種間競争を考慮した場合

バクテリア両種の種間競争係数の比 a を $a_{12} = 1.125$ 、 $a_{21} = 0.75$ とし、シミュレーションを行った。この結果を図 2 に示す。この場合、*E.coli* は 5 日目まで個体数が減少し再び増殖する。*B.cereus* とは異なる挙動を示しており、30 日後には *E.coli* は $28,000 \text{ N} \cdot \text{ml}^{-1}$ 、*B.cereus* は $50,000 \text{ N} \cdot \text{ml}^{-1}$ 程度と個体数に差が生じている。また、*P.erythrophthalma* は 30 日後に $100 \text{ N} \cdot \text{ml}^{-1}$ 程度の個体数まで増加しており、さらに増加する傾向にある。

(3) 強い種間競争を考慮した場合

バクテリア両種の種間競争係数の比 a を $a_{12} = 1.5$ 、 $a_{21} = 1.0$ とし、シミュレーションを行った。この結果を図 3 に示す。この場合、*E.coli* は 3 日目には個体数が 0 になり、*B.cereus* では、30 日後の個体数は $62,000 \text{ N} \cdot \text{ml}^{-1}$ 程度と弱い種間競争の場合と比較して、増殖後の個体数変動は小さいものであった。また、*P.erythrophthalma* は 30 日後に $100 \text{ N} \cdot \text{ml}^{-1}$ 程度の個体数まで増加しており、弱い種間競争と同じ傾向にある。このことから、細菌間の種間競争係数により動物プランクトンの増殖にも影響が及んでいることがわかる。これは、被食者であるバクテリアが互いに影響することにより食物源供給の不安定化が生じ、*P.erythrophthalma* が増殖しにくい環境になったためと考えられる。

以上のことから種間競争がない場合はバクテリアの挙動変化が少なく個体数が安定し、一方、種間競争がある場合は *E.coli* と *B.cereus* が共存できる環境か *B.cereus* のみ生存できる環境の 2 つのケースが存在することがわかった。

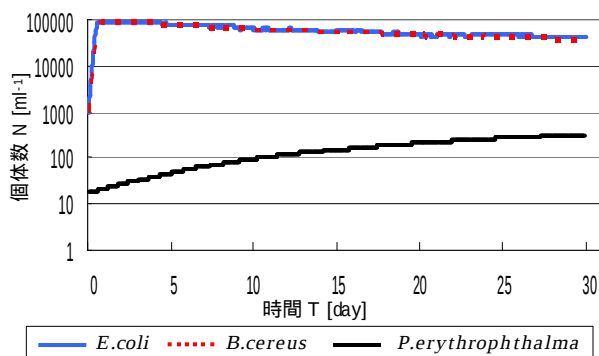


図 1. 種間競争を考慮しない場合

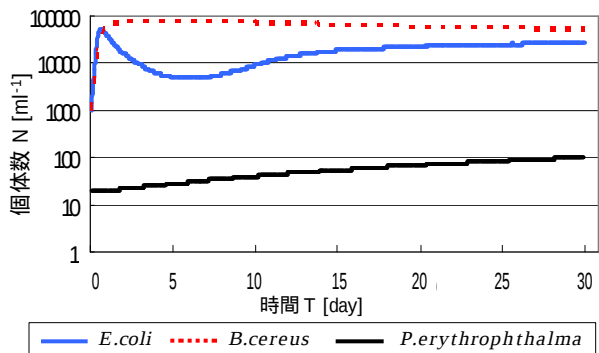


図 2. 弱い種間競争を考慮した場合

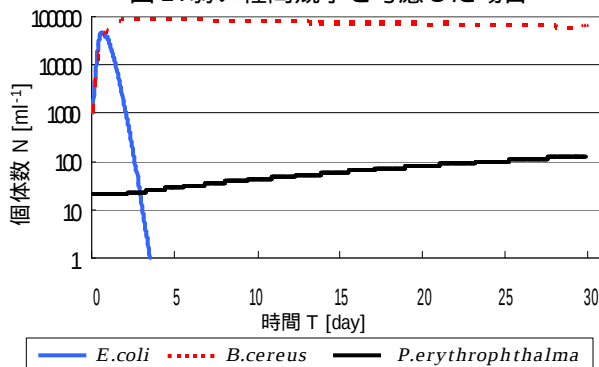


図 3. 強い種間競争を考慮した場合

4. まとめ

- 1) 種間競争および被食捕食関係を考慮した生態系モデルを構築することができた。
- 2) 種間競争係数を考慮した場合、種間競争係数の強度により、*E.coli* と *B.cereus* の共存か、*B.cereus* のみ生存する 2 つのケースが存在することがわかった。
- 3) 自然生態系に散布した有用バクテリアの消長は、微小後生動物との被食捕食関係に加えてバクテリア間の種間競争による影響を複合的に受けることが示された。

5. 参考文献

- 1) 須藤隆一：排水処理の生物学、産業用水調査会、pp101 ~ 212 (1977)