

種間競争及び藻類代謝産物を考慮した細菌・微小動物間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 ○神代陽平

千葉工業大学 生命環境科学科 正員 村上和仁

1. 目的

生態系・生物多様性に深刻な影響を及ぼす要因の一つとして外来種の問題がある。既存の生態系に從來存在しなかった生物が侵入することにより、在来の野生生物の減少や絶滅、地域の生態系の変化などを引き起こす。本研究では、水圏生態系をモデルとしてどのような生物が侵入的となりえるかについて基礎的知見を得るために、特に相互に競争関係にある捕食者2種と被食者2種の被食捕食関係に着目して数理生態系モデルの構築を試みた。

2. 方法

2.1 モデルの想定種

モデルで取り扱う種は被食者となるバクテリア2種と捕食者となる動物プランクトン2種を想定した。被食者となるバクテリアは、グラム陰性種である *Escherichia coli*、グラム陽性種である *Bacillus cereus*、捕食者となる動物プランクトンは、原生動物である繊毛虫類 *Tetrahymena pyriformis*、同じく繊毛虫類である *Colpidium campylum* を生物モデルとして想定した。

2.2 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2種の場合を検討した。バクテリアと動物プランクトンの挙動を簡略化し定式化すると、それぞれバクテリアは(1)(2)式、動物プランクトンは(3)(4)式ようになる。

$$dA_i / dt = \mu_{ij} A_i (1 - A_i + a_{ij} A_j / K_i) - K_{di} A_i - r_i G_{ik} A_i Z_k - r_i G_{il} A_i Z_l \cdots (1)$$

$$dA_j / dt = \mu_{ji} A_j (1 - A_j + a_{ji} A_i / K_j) - K_{dj} A_j - r_j G_{jk} A_j Z_k - r_j G_{jl} A_j Z_l \cdots (2)$$

$$dZ_k / dt = (\mu_{ki} r_i Z_k + \mu_{kj} r_j Z_k) (1 - Z_k + a_{kl} Z_l / K_k) - K_{dk} Z_k \cdots (3)$$

$$dZ_l / dt = (\mu_{li} r_i Z_l + \mu_{lj} r_j Z_l) (1 - Z_l + a_{lk} Z_k / K_l) - K_{dl} Z_l \cdots (4)$$

ここで、

A_{ij} : バクテリア i, j の個体数[N/ml]、 μ_{ij} : バクテリアの比増殖速度 ($= \mu_{\max} \times \Phi_{\text{COD}} \times \Phi_{\text{DO}} \times \Phi_t$)、 $\mu_{\max}$: 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}, i, j, k, l : 種間競争係数、 G_{ik}, i, j, k, l : 捕食率、 r_i : 捕食選択係数、 K_{di}, i, k, l : 死滅係数[day⁻¹]、 Z_k, l : 動物プランクトンの個体数[N/ml]、 μ_{ki}, k, j, i, j : 動物プランクトンの比増殖速度 ($= \mu_{\max} \times \Phi_t \text{GYA}_{ij}$)、 Y : 収率、 K_{ij}, i, k, l : 環境許容量

2.3 パラメータの設定

想定種の増殖に関するパラメータについては、既往の文献、もしくは周辺データより算出した値を用いて設定した。また、動物プランクトンによるバクテリアの捕食は、バクテリアの増殖速度を用いて、バクテリア両者を比較してより増殖しているバクテリアを選択して捕食するように捕食選択係数 r を設定した。

2.4 植物プランクトンによる生態系への影響の検討

本研究では、被食者2種 - 捕食者2種を想定しているが、実際の自然生態系ではより複雑な関係が成り立っている。特に、植物プランクトンの存在は自然生態系に大きな影響を与える。植物プランクトンが及ぼす影響として、植物プランクトンの細胞外分泌が考えられる。そこで、既往の文献から得られたパラメータを用いて、数値からみた植物プランクトンの影響を検討した。

3. 結果及び考察

シミュレーション期間は30日間(720時間)とし、他種の密度効果(空間的競争)を考慮したケースや発生時期に差をつけたケース等についてシミュレーションを行った。また、植物プランクトンがバクテリアと動物プランクトンの被食捕食関係に及ぼす影響についても検討した。

3.1 被食者2種 - 捕食者2種のシミュレーション結果

被食者、捕食者共に種間競争(空間的競争)を考慮しない場合のシミュレーション結果を図1に示す。*E. coli* と *B. cereus* は急激に増殖後減少し 1.2×10^3 N/ml 程度で推移した。両種はほぼ同じ挙動を示した。一方、*T. pyriformis* は急激に増殖後、 1.4×10^3 N/ml 程度で推移した。また、*C. campylum* に関しては若干の増殖後、

キーワード: 数理生態系モデル 種間競争 被食捕食関係 細菌類 繊毛虫類 藻類代謝産物

〒275-8588 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

種間競争を考慮しなくても個体数が減少し続け、10日目までに死滅した。

種間競争を考慮しなくても *C.campylum* がシミュレーション開始と同時に減少していることから、*C.campylum* の初期個体数を増やした時のシミュレーション結果を図2に示す。その結果、*C.campylum* は図1の時と比較して初期個体数を10倍に設定したが15日目までに死滅した。以上より、*C.campylum* にとっては生存し難い状況であることが分かった。

次に、*T.pyriformis* が途中から侵入して種間競争が生じた場合のシミュレーション結果を図3に示す。*T.pyriformis* が存在しない間、他種の増殖のピークは図2と比較して大幅に上昇している。しかし、*T.pyriformis* が侵入すると同時に、バクテリア2種と *C.campylum* は個体数が減少し、*C.campylum* においては減少が止まらず死滅した。これは、バクテリアは捕食の増大により、*C.campylum* は増殖速度が圧倒的に大きい *T.pyriformis* に食物を奪われたことによるものと考えられる。

また、想定種の体積比から算出した種間競争を考慮した場合、個体の体積が大きい場合と小さい場合とで強度を変化させてシミュレーションした結果、図1とほぼ同じ傾向になり、増殖のピークに多少の変化がみられた。種間競争の強度が強いほど一方は増殖が抑制され、他方はその分増殖した。

3.2 数値からみた植物プランクトンの影響

植物プランクトン量を表す Chl.a 濃度と代謝産物の細胞外分泌量 (= COD 濃度) の関係を図4に示す。図4は平均的なパラメータを用いて植物プランクトンが最大の増殖速度を得られた場合を想定した。その結果、細胞外分泌量は Chl.a 濃度が高いほど高くなった。また、文献調査等より、分泌比率は Chl.a 濃度の上昇により低下し、細胞外分泌量は湖沼により異なることがわかった。これより、アオコのような植物プランクトンが多量に存在する条件下では、バクテリアなどの植物プランクトンの細胞外分泌物を利用できる生物にとって、細胞外分泌物が栄養源のかなりの量を占める可能性が示唆された。

4. まとめ

- 1) 被食者2種 - 捕食者2種の数理生態系モデルを構築することができた。
- 2) 被食者のバクテリアでは、種間競争を考慮した場合、種間競争の強度が強いほど、増殖のピークにおいて個体数に差が生じた。
- 3) 捕食者の原生動物では、増殖速度の速い種ほど多くの食物源を摂取し、他種の生育空間を奪うことから、増殖速度の速い種ほど生態系において侵襲的になりうる可能性が示唆された。
- 4) 藻類代謝産物の細胞外分泌量は湖沼により異なり、Chl.a 濃度と比例するが、分泌比率は反比例することがわかった。
- 5) 植物プランクトンの細胞外分泌物 (代謝産物) はバクテリアなどのそれを利用できる生物における栄養源のかなりの量を占める可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 須藤隆一、廃水処理の生物学、産業用水調査会 (1997)
- 2) 須藤隆一、水環境保全のための生物学、産業用水調査会 (2004)
- 3) 楠田哲也・巖佐 庸、生態系とシミュレーション、朝倉書店 (2002)

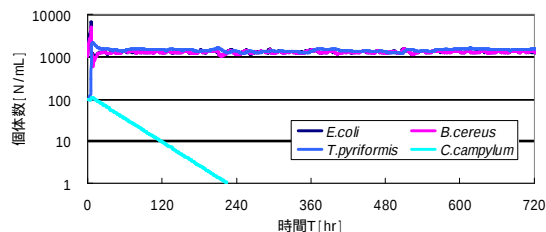


図1. 種間競争を考慮しない場合

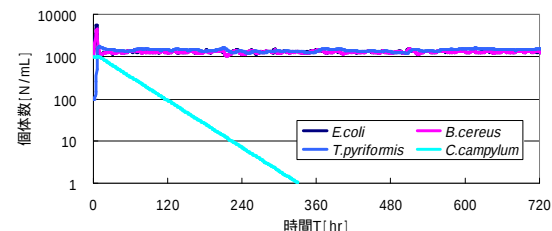


図2. 種間競争を考慮しない場合
(*C.campylum* の初期個体数を変更)

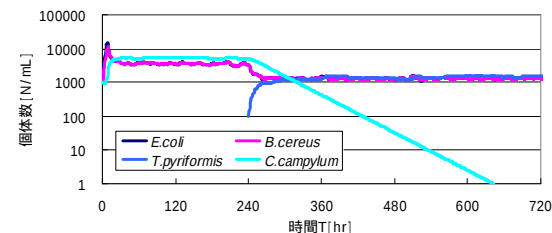


図3. *T.pyriformis* が途中から侵入した場合

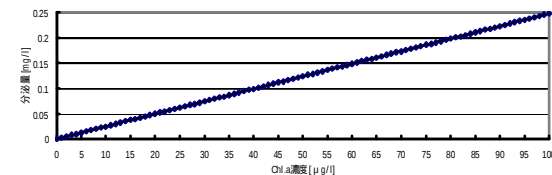


図4. Chl.a 濃度と細胞外分泌量の関係