

マイクロコズムを用いた数理モデル (iEIRAS) による影響予測評価

千葉工業大学	生命環境科学科	学員	○樋掛 将
千葉工業大学	生命環境科学科	正員	村上和仁
相模女子大学	栄養科学科		杉浦 桂
国際科学振興財団	バイオエコ研究所		稲森悠平

1. はじめに

生態系に深刻な影響を及ぼす物質として金属などの化学物質が挙げられる。これらの化学物質の生態系に及ぼす影響を調査する際に、模擬生態系であるマイクロコズムを用いることが有効であり、検討事例も報告されている。本研究では N88BASIC による数理モデル (千葉工業大学モデル) とフラスコサイズの培養系である水圏モデル生態系マイクロコズム (栗原タイプ) を組み合わせた iEIRAS (integrated Environmental Impact Risk Assessment System : 生態環境リスク評価システム) 用いて生態系への影響予測について検討した。

2. 実験方法

2.1 マイクロコズム

マイクロコズムとは、消費者 (*Cyclidium glaucoma*, *Lecane* sp., *Philodina* sp., *Aelosoma hemprichi*) ・生産者 (*Chlorella* sp., *Tolypothrix* sp., *Scenedesmus* sp.) ・分解者 (*Bacillus cereus*, *Pseudomonas putida*, *Acinetobacter* sp., *Coryneform bacteria*) で構成された水圏生態系モデルである。構成種既知であり生態系機能の基本的要素を含んでいるため、高い再現性がある。培養開始後、光合成により DO 値が増減し、約 16 日目で DO 値が安定する。評価方法として機能パラメータ (DO 値) があり、安定期に対象物質を添加した際の DO 値の経時変化を対照系と比較することによって対象物質が生態系システムに与える影響を評価することができる。

2.2 マイクロコズムの条件

本実験に用いたマイクロコズムの条件は、TP 培地 (Taub+ペプトン) に上記の生物種のみを継代培養した対照系マイクロコズムの種を添加し、温度 25℃、照度 2,500Lux (明 12h 暗 12h) で静置状態で 30 日間培養をした。16 日目からフラスコ内の生態系が安定期に入り、マイクロコズム内部の DO が安定する。安定期のマイクロコズムに化学物質を添加することで DO の変動を調査した。添加系と無添加である対照系の DO の変動を解析・比較することで添加された物質が生態系システムに及ぼす影響を評価できる。今回は殺虫剤ジメトエートを 0.5mg/l 添加した系を例として、これらの添加物の経時変化による影響を評価した。

2.3 数理モデル

本実験に用いた数理モデルは杉浦が N88BASIC を用い開発した数理モデルを改良したモデルである。これは生物間相互作用、代謝産物を考慮されたモデルである。計算は以下のよう

$$d(\text{CO}_2)/dt = k_1(\text{O}_2) \times (\text{MB}) \times (\text{C}) + k_2((\text{DCO}) - (\text{CO}_2)) / (\text{DCO}) - k_8(\text{CO}_2) \times (\text{C})$$

$$d(\text{MC})/dt = k_6 \times (\text{O}_2) \times (\text{MB}) \times (\text{C}) + k_{10} \times (\text{CO}_2) \times (\text{C})$$

$$d(\text{O}_2)/dt = k_{11} \times (\text{CO}_2) \times (\text{C}) + k_1((\text{DO}) - (\text{O}_2)) / (\text{DO}) - k_4 \times (\text{O}_2) \times (\text{MB}) \times (\text{C})$$

$$d(\text{C})/dt = k_5 \times (\text{O}_2) \times (\text{MB}) \times (\text{C}) + k_9 \times (\text{CO}_2) \times (\text{C}) - k_{12} \times (\text{C})$$

$$d(\text{MB})/dt = -k_3 \times (\text{O}_2) \times (\text{MB}) \times (\text{C})$$

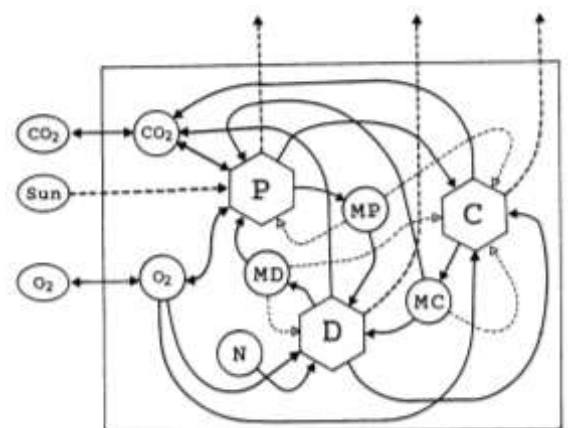


図 1 生産者、消費者、分解者の関係図

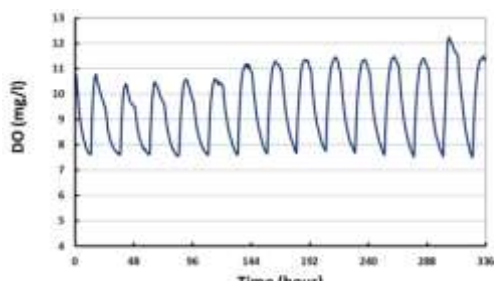
ここで、 k_1 :酸素の気液平衡 k_2 :二酸化炭素の気液平衡 k_3 :バクテリアの代謝産物 k_4 :*Chlorella* が必要とする酸素 k_5 :*Chlorella* の呼吸量 k_6 :*Chlorella* の代謝産物 k_7 :*Chlorella* の呼吸量 k_8 :光合成による二酸化炭素の吸収 (明 12h) k_9 :*Chlorella* の比増殖速度 k_{10} :*Chlorella* が増殖する際必要となる代謝産物 k_{11} :*Chlorella* が増殖する際必要となる二酸化炭素 k_{12} :*Chlorella* の死滅量 (現存量に比例) となる。図 1 に消費者、生産者、分解者の関係図を示す。

2.4 パラメータの決定

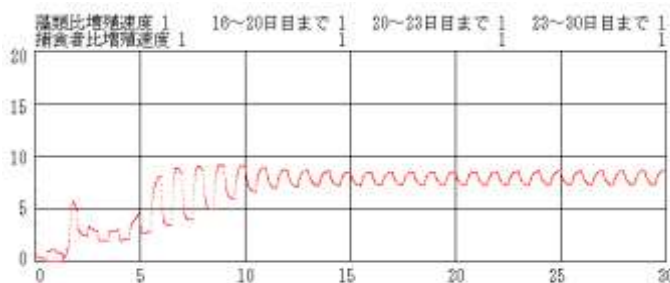
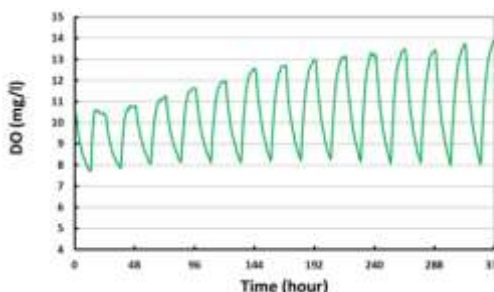
消費者 (*Cyclidium*, *Philodina*)、生産者 (*Chlorella*)、分解者 (*Bacteria*) の比増殖速度は杉浦の文献値よりそれぞれ 0.0024、0.016、0.636、2.000 (day^{-1}) とした。このプログラムは比増殖速度の係数を変化させることが可能であるため、対照系の比増殖速度係数を 1 として測定を行い、係数を変更させてシミュレーションを行った。

3. 結果および考察

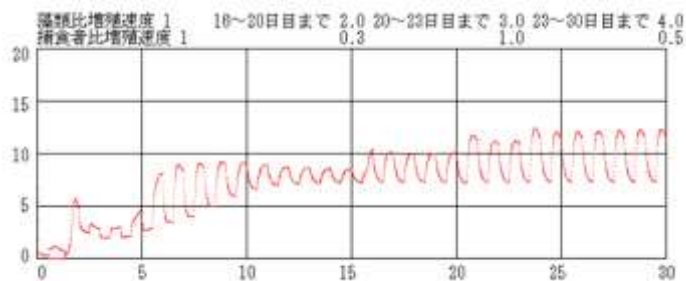
ジメトエート 0.5mg/l の対照系 (無添加) を示したのがグラフ 1、シミュレーションによる対照系がグラフ 2 である。また、添加を行った DO の結果がグラフ 3 であり、それを元にシミュレーションしたのがグラフ 4 である。



グラフ 1 対照系 DO (培養モデル)
グラフ 3 ジメトエート 0.5mg/l DO (培養モデル)



グラフ 2 対照系シミュレーション DO (数理モデル)
グラフ 4 ジメトエート 0.5mg/l シミュレーション DO (数理モデル)



対照系と比較してグラフをみると、16 日から 20 日に生産者の比増殖速度が 2.0 倍、20 日から 23 日は 3.0 倍になり、23 日から 30 日には 4.0 倍となり、値の増加がみられた。消費者では 16 日から 20 日が 0.3 倍、20 日から 23 日は 1.0 倍になり、23 日から 30 日には 0.5 倍となった。以上より、ジメトエート 0.5mg/l の添加を行った場合、比増殖速度において生産者に強く影響を及ぼし、時間の経過と共に活性が上昇していることがわかった。また、消費者においては添加してからは減少するものの、その後、対照系と同じ値になりその後同様に減少した。これはジメトエート 0.5mg/l に対して活性が抵抗していると考えられる。なお、今回は 0.5mg/l のみの結果と比較を行っているが他の濃度と比較し検証を行うことで更なる解明につながる。

4. まとめ

- 1) ジメトエート 0.5mg/l 添加により生態系環境に影響を及ぼすことが示された。
- 2) 生産者においては時間の経過と共に活性が上昇し、消費者においては添加物に対しての活性の抵抗があり、特に生産者に対して強い影響が生じた。
- 3) 培養モデルによる個体数測定、DO 測定だけでは系内部の生産・消費機能の解析は難しいが、数理モデルと併用することでより精度の高い解析結果を得ることが可能となった。

追記：本研究は、日本学術振興会平成 24～26 年度科学研究費助成事業 (学術研究助成基金助成金) (挑戦的萌芽研究) 「(課題番号 24651029) 移入生物がもたらす生態系影響評価のためのモデルエコシステムの汎用化に関する研究」、「平成 25 年度日本化学工業協会真 LRI (2012PT4-02) 「マイクロコズムを活用した化学物質の生態系リスク影響評価システム手法の開発」の一環として実施された。