

マイクロコズムにおける数理モデルと培養モデルによる Co 負荷の比較検証

千葉工業大学 生命環境 正員 ○村上和仁

千葉工業大学大学院 生命環境 学員 林 秀明

相模女子大学 栄養科学 杉浦 桂

福島大学 共生システム理工 稲森悠平

1. はじめに

生態系・生物多様性に深刻な影響を及ぼす要因として金属をはじめとする化学物質が挙げられる。これら金属などの各種化学物質の生態系に及ぼす影響をエコシステムレベルで評価しようとするときに、モデル生態系であるマイクロコズムが有効なツールとなっており、既に検討事例が報告されている。本研究では、N88BASIC による数理モデル（杉浦モデル）と水圏モデル生態系マイクロコズム（栗原タイプ）を用いて金属（Co）負荷における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、消費者としての動物プランクトン（*Cyclidium glaucoma*, *Lecane* sp., *Philodina erythrophthalma*, *Aeolosoma hemprichi*）、生産者としての植物プランクトン（*Chlorella* sp., *Tolypothrix* sp., *Scenedesmus* sp.）、分解者としての細菌類（*Bacillus cereus*, *Pseudomonas putida*, *Acinetobacter* sp., *Coryneforme bacteria*）から構成された水圏生態系モデルである。構成種完全既知であり、物質循環・エネルギーフロー・生物間相互作用といった生態系機能の基本的要素を含んでおり、高い再現性を示すことを特徴とする。培養条件は、25℃、2,800lux（L/D=12/12hr.）、静置とした、マイクロコズム培養開始後、生産機能（光合成）および消費機能（呼吸）によりフラスコ内の DO が増減し、動的平衡を維持しつつ、培養開始後 2 週間程度で DO 値が安定する。評価方法としては、生物個体数（構造パラメータ）と DO（機能パラメータ）があり、マイクロコズムに負荷を与えた際の個体数および 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できる。

2.2 数理モデル： 本研究では杉浦が Odum・Beyers を元に構築した N88BASIC による数理モデルを使用した。本モデルは以下ようになっており、生物間相互作用とともに代謝産物を考慮したモデルである。

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

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

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

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

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

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 12 時間）、 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）、である。

2.3 モデルの想定種

数理モデルにおける想定種はマイクロコズムの構成種との共通種とし、消費者として *Cyclidium* および *Philodina*、生産者として *Chlorella*、分解者として Bacteria とした。

キーワード: マイクロコズム 数理モデル Co 負荷 生態系影響評価 DO シミュレーション

連絡先: 〒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/FAX 047-478-0455

2.4 パラメータの設定

消費者 (*Cyclidium*, *Philodina*)、生産者 (*Chlorella*)、分解者 (*Bacteria*) の対照系の比増殖速度は既往の文献値を参考とし、それぞれ 0.003、0.012、0.686、2.0 (day^{-1}) とした。また、対照系の比増殖速度を 1 とし、比増殖速度係数を 1.0~0.1 の範囲で 0.1 刻みに変化させてシミュレーションを行った。

3. 結果及び考察

3.1 培養モデルと数理モデルの対照系の DO 値

シミュレーション期間は 30 日間とし、対照系の数理モデルと培養モデルの DO 値の経時変化を比較した。その結果、DO 値は異なるものの経時変化における DO の変動は再現することができた。

3.2 培養モデルと数理モデルの Co 10ppm 添加系の DO 値

培養モデルは Co 10ppm を培養開始 16 日目に添加し、数理モデルは培養 16 日目以降の消費者と生産者の比増殖速度係数の条件を変えてシミュレーションを行った。Co 10ppm 添加系の培養モデルにおける DO 値経時変化結果 (図 1) と数理モデル (図 2) を比較すると、添加後 20 日以降の DO 値の経時変化が類似していることがわかった。また、シミュレーション結果の生産者の比増殖速度が 0.1 倍、消費者の比増殖速度が 0.1~0.3 倍の時、培養モデルと類似しており、Co の影響が生じていることがわかった。また、このことより、Co の影響は生産機能 $\geq$ 捕食機能と考えられた。

同様に、Co の負荷濃度を变化させて、培養モデルと数理モデルにおける DO の波形の比較から検証したと

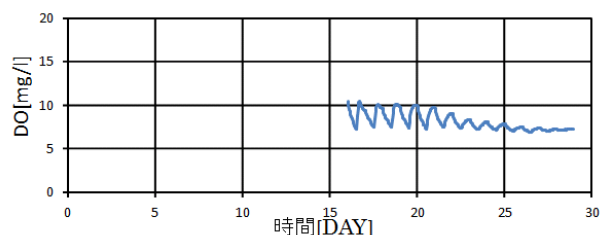


図 1 Co 10ppm 添加系の培養モデル結果

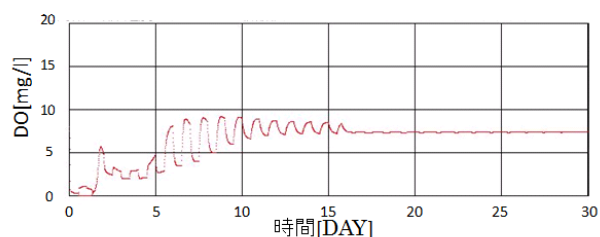


図 2 Co 10ppm 添加系の数理モデル結果

ころ、Co は負荷濃度により生態系機能 (生産機能、消費機能) に及ぼす影響の大きさが異なり、低濃度では消費機能に及ぼす影響が大きいが、高濃度になると生産機能に及ぼす影響が大きくなることが示された。また、生産機能、消費機能を同時にかつ定量的に影響評価解析できることは、培養モデルにおける DO 測定や個体数測定では難しく、数理モデルのメリットといえる。

4. まとめ

- 1) Co 1ppm および 2ppm 添加系では、生産者の比増殖速度は対照系の 1~0.9 倍に、消費者の比増殖速度は 0.8~0.9 倍になり、Co の影響は生産機能 $\leq$ 消費機能と考えられた。
- 2) Co 4ppm 添加系では、生産者の比増殖速度は対照系の 0.7~0.9 倍に、捕食者の比増殖速度は 0.1~0.2 倍になり、Co の影響は生産機能 $\leq$ 消費機能と考えられた。
- 3) Co 8ppm および 10ppm 添加系では、生産者の比増殖速度は対照系の 0.1 倍に、捕食者の比増殖速度は 0.1~0.3 倍になり、Co の影響は生産機能 $>$ 消費機能と考えられた。
- 4) Co は負荷濃度により生態系機能 (生産機能、消費機能) に及ぼす影響の大きさが異なることがわかった。また、生産機能、消費機能を同時にかつ定量的に影響評価解析できることは、培養モデルにおける DO 測定や個体数測定では難しく、数理モデルのメリットといえる。

追 記：本研究は、環境省平成 21~23 年度環境研究総合推進費課題 (S2-09) 「マイクロゾムを用いた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。