

制御実験生態系(マイクロコズム)の特徴と課題

顧問 清野 通康

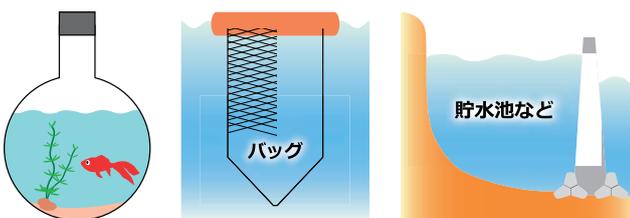
1. はじめに

生態系の保全が社会的な重要課題となっていますが、生態系は複雑系であり、特に海域生態系については日常的な視認が難しいことから、その実態の把握は容易ではなく、実験室で得られた結果とフィールドにおける観察には隔たりがあることが知られています。

この隔たりを埋めるための手法の一つに、制御実験生態系(マイクロコズム)を用いる実験があります。制御生態系実験は実際の生態系に近い条件下で変化を総合的に捉え得る手法であることから、1970年代初頭より国内外の多くの研究機関で、化学物質の有害性評価などを目的に開発が進められており¹⁻⁵⁾、OECDや米環境保護庁などもこの手法に関心を示しています。

2. マイクロコズムとは

マイクロコズムとは生態系の一部を何らかの手段で隔離し閉鎖的(半閉鎖的)なものとして、実験操作を可能にした系です。目的により野外に設置された大型の自然状態に近いものから室内バイオアッセイ実験に近いものまで、多種多様なものが開発されてきました。



マイクロコズムの概念図

大小様々なシステムがあり、実験施設の他、自然の湖沼や貯水池もマイクロコズムの範疇に入ります。

これらマイクロコズムは自然の生物群集を天然水域内で自然水塊ごと囲い込むことや、対象生物群を陸上に設置した施設に移植することにより形成されます。

全ての構成種を人為的に選択混合した群集や、遷移の結果として生まれた群集のような構成種全てが既知であるマイクロコズムの開発も進められていますが、この場合、構成種はまだ低次栄養段階の生物に限定され

ています。高次栄養段階の生物を含むマイクロコズムでは、特定の種を中核生物とすることはできても、他の構成種の組成・量を制御することはまだ難しいのが現状です。マイクロコズムは自然の生態系そのものを再現するのではなく、種の遷移、競合・共生、食物網、生物濃縮など自然の生態系のある特定の事象・機能を再現するものとするのが適切です。

3. 既存マイクロコズムの特徴

小型、大型に分けて特徴と代表事例を紹介します。

小型のマイクロコズム

容量の小さなマイクロコズム(~数m³容)には、壁・底面積と水容量との比が自然界と比べ過大となり系内の生物生産のかなりの部分が壁面・底面で行われてしまうなどの課題がありますが、系全体を人為的に制御できるため目的的環境要因と事象を再現し両者の因果関係を明確に把握することができます。

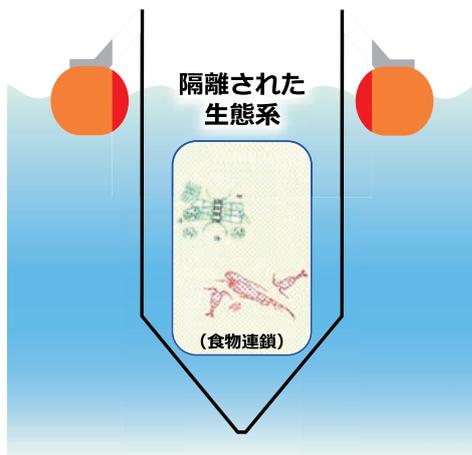
小型システムの主な適用分野は、細菌、藻類、小型無脊椎動物などを対象に、基礎現象の解明や化学物質の挙動解析・影響評価などを行うことにあります。わが国ではフラスコレベルの容器を用いた東北大の栗原タイプのマイクロコズム、赤潮藻の増殖機構解明を目的とした環境制御性能が高い国立公害研究所(現国立環境研究所)のマイクロコズムなどが先駆例であり、近年は化学物質の生態系リスク評価のため全構成種が既知のマイクロコズム開発^{6,7)}が進められています。

大型のマイクロコズム

大型のマイクロコズム(~数千m³)の適用分野も基本的には小型のそれらと同様ですが、大型の利点は、物理・化学・生物学的に歪みが小さく、より自然に近い状態で魚類など高次栄養段階生物を含む生物群集を対象に検討を行い得ることにあります。ただシステムの制御に多くの労力を使わざるを得ないため、一部で設備が大型過ぎたとの反省もあると聞きます。

既存システムのほぼ全てが自然水塊中または自然水域に隣接して設置されています。形状を模擬する自然生態系に似せた方が自然と類似する生物相を再現し

やすくなるため、浮遊生物や遊泳生物の検討には水深がある袋状や円筒状のシステムが、底生生物を含む場合には底面積のある池や湾を、陸水生態系を再現するには河川を模擬したシステムが開発されてきています。大容量設備の例としては、自然海域に袋(バッグ)状の設備を設置したカナダ国立海洋研究所のCEPEX BAGs, 臨海研究施設に円筒状のタンクを設置した米スクリプス海洋研究所のDeep Tank, 干潟を再現した港湾空港技術研究所のメソコズムなどがあります。



袋状の大型マイクロコズムの例
CEPEX BAGの模式図。容量70m³と1,700m³のバッグ
各々数基が自然の湾域に設置されています。

4. 開発に際し考慮すべき点

生態系が安定する要因として、①開放系で②サイバネティックであることが挙げられます。また③栄養塩などの貯蔵場の存在、④構造の複雑さ、⑤種の多様性、⑥生産者・消費者・分解者の存在なども重要な要件となります。安定したマイクロコズムを開発するには、これらを満たすことが望ましいわけですが、全てを満たすことは難しく目的に応じた工夫が必要になります。

大型マイクロコズムでも時間経過と共に系内の生物相が周辺水域のそれと違ってきます。これは、マイクロコズムは原則として閉鎖系(半閉鎖系)であるため、自然界と異なり主として密度依存性のメカニズムが個体群を支配していることなどに起因します。これらは避けがたく、マイクロコズムにおける自然現象の再現は、先にも触れたように自然界の基本的なプロセスを検討できるような形で再現することにあり、再現すべき環境要素・過程の特定が極めて重要となります。

これまでのマイクロコズムを用いた実験的検討から、

化学物質の有害性の発現機構は単一種による実験と相互に関連する複数種が存在する状況下では異なることなどが明らかにされています。マイクロコズムが生態系内で起こる事象を把握するツールとして有効であることは間違いのないところですが、一方ではマイクロコズムは自然そのものを再現するものではないので、結果をどうやって自然界に外挿するか、化学物質の有害性評価で適切なエンドポイントは何かなどの議論があります。より自然に近いマイクロコズムを構築するため自然界にある微小で独立した生物群集の活用なども検討されています⁸⁾が、自然界への外挿方法やエンドポイントは、マイクロコズムの活用を図る上で引き続き検討が必要な課題です。

5. おわりに

以上、制御実験生態系(マイクロコズム)の特徴と課題をご紹介しました。

マイクロコズム研究の目的は大きく分けて次の二つにあります。一つは自然現象への理解促進であり、もう一つは有害性評価などに用いる自然生態系のモデルとなるシステムの構築です。前者についてはマイクロコズムの設計そのものが検討事象の理解深化に役立つものであり、また後者のためには安定した再現性のあるマイクロコズム群の開発が重要となります。マイクロコズムをはじめ、自然界では容易に観察・把握し得ないプロセスを検討するための技術の開発が今後一層進むことを期待します。

引用文献

- 1) 栗原康(1975). 有限の生態学, 岩波新書949, 1-187.
- 2) 高橋正征(1979). 水質汚濁研究2(1), 12-19.
- 3) J.P.Giesy, Jr., ed.(1980). Microcosms in Ecological Research, USDOE, 1-1110.
- 4) T.R.Parsons(1982). Marine Microcosm, Springer-Verlag, 411-418.
- 5) 清野通康(1983). 電中研報483012, 1-50.
- 6) 稲森悠平ら(1998). 廃棄物学会誌9(5), 368-378.
- 7) 村上和仁・林秀明(2011). 環境情報科学論文集25, 221-226.
- 8) D.S.Srivastava *et al.*(2004). Trends in Ecology and Evolution 19(7), 379-384.