

特集・〈第4回環境用水の汚濁とその浄化シンポジウム〉より

単純なエコシステムを利用した環境水の 浄化に関する基礎的研究

村上 定瞭*・竹内 正美*・渡辺 美紀*

1. はじめに

河川、湖沼、地下水、海域など環境水の汚濁防止対策の基本は生活や産業からの発生源対策であるが、さまざまな理由により水質汚濁防止には限界がある。そこで最近、環境水の直接浄化が検討されるようになった。本研究グループでは、池、湖沼や内湾などの閉鎖性水域の浄化技術の開発を行っている^{1,2)}。環境水はその水域の規模および利用目的により、目標水質やコストの関係から浄化技術が異なる。浄化手法は流入阻止³⁾、浚渫³⁾、人工水流⁴⁾・流動制御⁵⁾、曝気、生物酸化⁶⁾、紫外線²⁾、吸着剤・pH調整剤⁷⁾、水性植物⁸⁾などがあるが、当研究グループではこれらの手法を単独あるいは組み合わせたものを試みている。

今回は、魚、藻類および好気性微生物の存在する単純なエコシステムのモデル実験系を組立て、系内における物質収支を把握し、浄化機構の解析およびシステムの問題点を、基礎的研究の観点から検討することを試みた。この実験系は酸素・二酸化炭素・窒素などの揮散性物質については解放系であるが、水および不揮散性物質については完全な閉鎖系である。実験系は、物質収支を明らかにするために魚飼育水槽、浸漬ろ床および藻類培養槽の三つのユニットをそれぞれ独立に運転し、これらの各ユニット間を水が循環するシステムである。

2. 実験方法

2.1 養魚水槽

養魚水槽は50 lのガラス水槽を用いた。魚の排泄物や微生物等が底に沈殿しないように、常にポンプで水を循環した。水温は25°Cに保った。

*宇部工業高等専門学校 Sadaaki MURAKAMI, Masami TAKEUCHI, Miki WATANABE

試験魚としてヒブナ *Carassius auratus* を用いた。ヒブナは購入して2週間程度飼育観察し、健康なものを選んだ。実験開始前および実験中の体重変化を測定した。また、実験中、試験魚の化学分析を行った。

餌は熱帯魚・金魚用市販品（日本ペットフード製エンジェル、固形浮餌）を用いた。餌は1日3回（9：00、13：00、17：00の各前後）とし、各回の投餌時間を15分として、この時間内に食べるだけの量を与え、食べ残しがないようにした。1度に多量の餌を与えると、溶解性成分の水槽への溶解量が多くなるので、少量ずつ分けて与え、食べ終わってから次の分量を与えた。

2.2 浸漬ろ床

浸漬ろ床は養魚水槽の上部に2台設置し、7.4 l/minの循環ポンプで養魚槽の水をろ床内に循環した。それぞれのろ床には粒径4～6 mmの玉砂利を1.8 l充填した。別のろ床の生物膜を重量・化学分析して、実験ろ床に移植した。ろ床内の微生物が増殖して、圧力損失が所定の値に達した時点で玉砂利を取り出して、生物膜を機械的に剝離した後、再充填した。剝離した生物膜は重量・化学分析した。

2.3 藻類培養槽

微細藻類として、①魚に対して無害、②安定に連続培養できる、③固液分離が容易、④増殖率・光収率が高い、⑤魚の飼料として利用可能などの条件を満たすものを選んだ。具体的には、宇部市内の農業用溜池の底泥を植種源として、沈降分離槽を有する攪拌連続培養槽を用いて連続照射下で、単藻培養されたもの⁹⁾である。電子顕微鏡所見では、この藻類は藍藻 *Chroococcus* sp.で、その細胞は球状で直径は2 μmであり、サイズ100 μmの群体を形成し、沈降分離特性（SVI 40）が極めて良好であった。

藍藻培養槽は養魚水槽と同じサイズのガラス製の

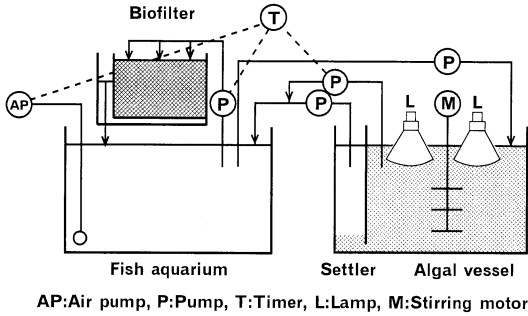


図-1 好気性微生物、藍藻および魚より構成される単純なエコシステムによる浄水実験の概略

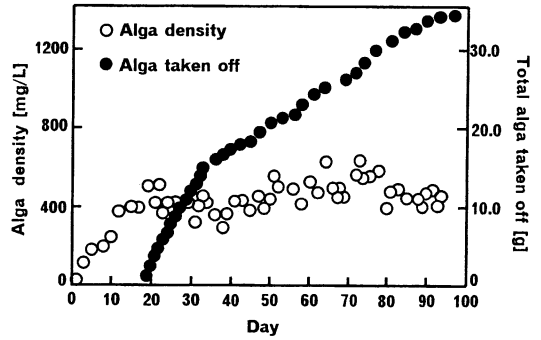


図-2 藍藻培養槽における藍藻の抜き取り総量および藍藻密度の経時変化

ものであった。光は連続照射し、200Wの白色ランプ2個を水中に2/3浸漬して行った。藍藻フロックが破壊されないよう板状翼を用いて1rpmで攪拌した。水温は投込式冷却機により28°Cに保った。

2.4 実験システム

実験システムの概要を図-1に示す。養魚槽の水を浸漬ろ床内に通水して、魚の排泄物を好気性微生物により生物酸化して無機化した。なお、魚の糞は魚の探餌・遊泳行為により微細化され、浸漬ろ床の循環ポンプに吸引されてろ床内に補足された。

次に、マイクロチューブポンプを用いて養魚槽の水を藍藻培養槽に注入し、無機塩類を藻類に摂取させた。培養槽の一部をPVC板で仕切り、藍藻を沈降分離した上澄み液を養魚槽へ返送した。この循環量は3日で1回とした。魚の餌として藍藻培養混合液を500ml/日の割合で自動注入し、ヒプナに摂取させた。なお、藍藻の摂餌中、藍藻が浸漬ろ床に捕捉されないよう曝気および循環ポンプを停止した。

実験期間中は水分の蒸発量を補給したのみで、水の交換は行っていない。

3. 結果

3.1 藍藻培養

システムを稼働してからの藍藻濃度の経時変化を図-2 (○) に示す。実験開始後20日以後は藍藻を週2-3回の割合で抜き取ったところ、藍藻は400-500mg/lの範囲で維持された。藍藻抜き取り(ヒプナの餌とした投与量も含む)の積算量を図-2 (●) で示す。

3.2 浸漬ろ床のみのシステム

養魚槽に浸漬ろ床のみを接続したシステムにおけ

る養魚槽の水質の変化を図-3 Aに示す。

システムを稼働して20日を経過するとpH (○) が低下し始め、30日経過後はpH 5以下となっている。また、餌の投与量 (●) に比例して硝酸 (◐) やリン酸 (◑) の各イオンが蓄積している。COD (◒) については6mg/l前後で一定に維持されている。30日経過後はアンモニア (▼) が蓄積している。これは、pH低下により硝化反応が抑制されたからと思われる。なお、pH低下およびアンモニア蓄積にも関わらず、死魚の発現は認められなかった。

3.3 浸漬ろ床および藍藻培養システム

浸漬ろ床および藍藻培養槽を接続した養魚槽の水質の経時変化を図-3 Bに示す。このシステムでは餌の投与量が浸漬ろ床のみの約3倍量であるにも関わらず、実験期間中pHは一定に保たれている。CODやリン酸イオンの蓄積も認められない。pHが中性に維持されているため、硝化反応も良好に行われ、アンモニアも0.1mg/l以下に維持されている。

硝酸イオンは実験開始後少しずつ蓄積しているが、55日以後ではほぼ蓄積が停止している。なお、実験開始時の塩類は藍藻の栄養塩として添加したものである。

3.4 物質収支

エコシステムを利用した水浄化の評価に必要な系内のバイオマス、NおよびPの物質収支について検討した。物質収支の計算に必要な分析および測定値を表1および表2に示す。バイオマスは乾燥重量で示した。ヒプナについては、定期的に生きたまま全体重を測定するとともに、数匹の試験魚を重量・化学分析し、それらの値を用いて全試験魚のバイオマス、NおよびPの値を求めた。図-4は飼育開始後

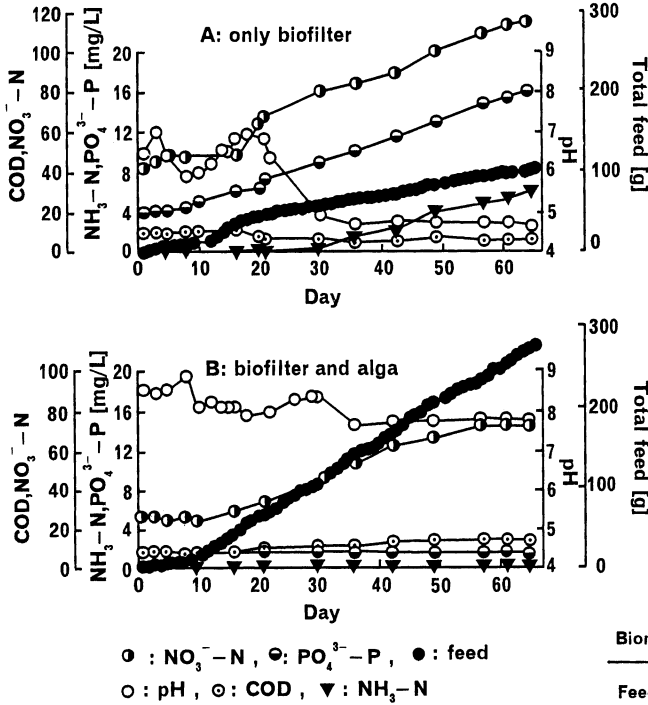


図-3 単純エコシステムによる浄化実験系水質の経時変化

60日間の物質収支を図式化したものである。

投与した餌のバイオマスの内、27.3%が魚の増殖分となり、残りが排出され、バクテリア16.7%、藍藻16.7%の増殖分となっており、不明分が39.3%になっている。NおよびPについても図-4に示したとおりである。

バイオマスの不明分がN、Pと比べて多いのは、有機物が無機化された炭酸ガスについては閉鎖系ではなくて解放系であるためと思われる。Nについては不明分が少ないのは、実験系がすべて好気性で、窒素還元菌による脱窒反応が起こらなかったからと思われる。リンについてバクテリアへの移行分が多いのは、餌に由来するMgやFeと難溶性塩を形成して、生物膜中に固形分として保持されるからと思われる。

3.5 魚の成長率

浸漬ろ床のみと浸漬ろ床・藍藻槽を接続した2つのシステムについて、魚の成長率を比較すると、餌の体重増加への変換率はいずれもほぼ同じであった。餌の摂取量は後者の方が前者の約2倍で体重増加量も約2倍であった。このことは藍藻を導入する

表1 窒素およびリンの含有量

	N (%)	P (%)
餌	5.46	1.18
試験魚	6.44	0.97
ろ床汚泥	5.48	4.29
藍藻	6.64	0.72

表2 物質収支

	バイオマス (g)	N (g)	P (g)
全給餌量	227.1	12.40	2.68
魚増殖量	62.1	4.00	0.60
ろ床汚泥発生量	37.9	2.08	1.63
藍藻増殖量	37.8	2.51	0.27
溶解量*	0.0	35.6	0.08
不明分	89.3	0.25	0.10

* システム内に蓄積した全溶解量

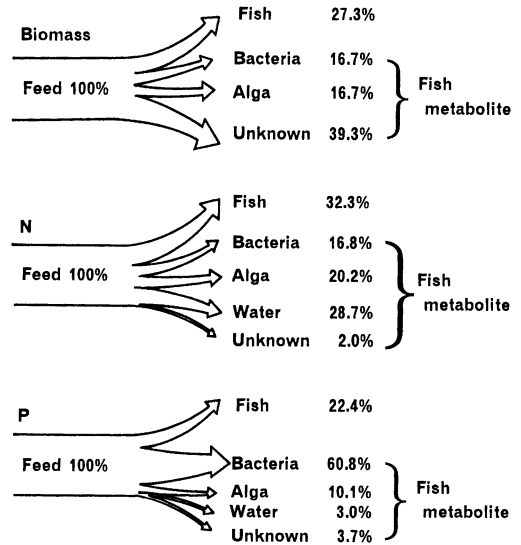


図-4 単純エコシステム系内における物質収支

ことにより生育環境が良好に維持されたからと思われる。

4. 考察

4.1 難分解性物質の蓄積

水を交換しないで閉鎖系の実験を行うと、餌や系内の生物からの排泄物に由来する難分解性の物質が蓄積する。この物質により浸漬ろ床や藍藻の機能が低下してくる。これを防止するため、本実験では系内の水を殺菌用紫外線 (15W) で照射処理し、難分

解性物質を分解した^{10,11)}。

4.2 藍藻を導入した浄化システムの特徴と課題

藍藻を導入することにより、栄養塩類の蓄積が抑制され、pHも中性に維持されることが確認された。しかし、Pが難溶解性塩を形成するため、NとPにアンバランスが生じ、Nが水槽中に蓄積することが分かった。

次に藍藻を増殖させるため200Wの白色ランプを2本使用した。実用的な観点からは太陽光を使用したシステムを検討する必要があるが、太陽光は天候に作用され、さらに藻類を環境水の浄化に利用するには膨大な敷地が必要となる。さらに、増殖した藻類の分離とその利用に関する開発が必要である。今回の研究は基礎的なものであるが、藻類を利用した浄化システムの応用は運転コストの関係から環境水への適用は困難で、現在のところ宇宙開発等の特殊な分野に限定されるものと考えられる。

5. ま と め

魚、好気性微生物および藻類より構成される単純な閉鎖系エコシステムのモデル実験系を組み立て、系内の水質変化および物質収支を検討した結果、次のような結論が得られた。

- ①藻類の導入により、pHの維持および栄養塩類の蓄積が抑制された。
- ②水質は良好に維持され、魚の成長率が対照系の約2倍であった。
- ③本システムの環境水浄化への適用にあたっては

藻類の培養に大きな敷地が必要で、天候に作用されやすく、現在のところ、宇宙開発等の特殊な分野に限定される。

参 考 文 献

- 1) 石川宗孝, 村上定暲, 中西 弘, 岩井重久: 富栄養化したお藻, 池等の浄化システムの検討, 環境技術, 19(2), 88-93 (1990)
- 2) 竹内正美・村上定暲, 他: 紫外線, リン固定および接触酸化による憩いの場の池水浄化, 環境技術, 25(8), 453-457 (1996)
- 3) 土山ふみ, 安藤 良, 他: 名古屋市のため池の水質と浄化対策について, 環境技術, 25(8), 448-452 (1996)
- 4) 山上貴幸, 松本享久, 他: ダム湖, 貯水池の浄化装置, 第3回シンポジウム「環境用水の汚濁とその浄化」論文集, 40-43 (1996)
- 5) 生地正人, 香川尚徳: 浮上式フェンスを用いたダム貯水池の水質改善手法, 第4回シンポジウム「環境用水の汚濁とその浄化」論文集, 91-94 (1997)
- 6) 村上光正, 月森丈司, 他: 繊維接触材を用いた池水の浄化, 環境技術, 24(7), 433-438 (1995)
- 7) 根本隆司, 西野伸幸, 松尾 裕: 閉鎖性海域の底泥改質剤による浄化, 環境技術, 25(8), 458-461 (1996)
- 8) 青井 透・白田 寛: ウォーターレタスによる水質の浄化と生態系の復元, 第3回シンポジウム「環境用水の汚濁とその浄化」論文集, 60-64 (1996)
- 9) 村上定暲, 深川勝之, 中西 弘: 藍藻の連続培養と栄養塩類の代謝速度に関する研究, 衛生工学研究論文集, 24, 13-23 (1988)
- 10) 竹内正美, 村上定暲, 他: 海産魚介類の備蓄水槽と浄化装置の設計と維持管理, 水処理技術, 30(4), 221-232 (1989)
- 11) 竹内正美, 村上定暲, 深川勝之, 石川宗孝: 水産業における用排水処理—養殖池および活魚水槽の水質管理, 環境技術, 23(7), 429-436 (1994)