

循環水路による河川水浄化実験 (第3報)

浅野みね子 藤山 彰二 浦鳴 幸雄 荒井 修
辻 貞利 権丈 隆一 菊地由生子

要 旨

生物膜を付着させた循環水路を使用して、生物膜による水質の浄化実験を行い、一部はすでに報告したが、今回さらに人工河川水を用いて生物膜と除去効果の関係について定量的な分析を行った結果、前回同様すぐれた浄化効果が得られた。そこで生物膜及び気象条件と各水質成分の除去率との関係を明らかにするために重回帰分析を試みたところ $\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ に関して有意な回帰式が得られ、特にクロロフィル a 量及び従属栄養細菌数との間の相関が比較的高い結果であった。

1. 緒 言

われわれは、都市河川の水質浄化を推進する目的で、昭和62年度より、生物膜を付着生成させたコンクリートブロックを循環水路に敷設して、生物膜による薄層流接触酸化方式の浄化実験を行ってきた。前回¹⁾²⁾までは河川水を使用して一応の成果は得られたが、今回、人工河川水を用いたモデル実験を行い生物相及び各水質成分の除去率の経時変化を追跡し、本実験の総括として、種々の要因の除去率に及ぼす影響を推測するために重回帰分析を行ったので報告する。

2. 方 法

2-1 実施期間

平成2年8月から11月までは人工河川水による浄化実験。

平成3年8月から11月までは人工河川水による生物調査及び浄化実験。

2-2 装置の概要

既報²⁾のとおり幅20cm長さ10mの塩化ビニール製水路に半球型の凸形ブロックを敷設し、水槽と連結したポンプで循環させる模擬河川を使用した。

2-3 実験方法

予備実験として河川水使用(平成元年度)²⁾と今回の人工河川水使用との浄化効果を比較した。

河川水 望月寒川河川水

人工河川水 望月寒川河川水の水質に合わせて水道水に各種の塩類等を添加した。

水道水 120l 可溶でんぷん 702mg

ペプトン 882mg KH_2PO_4 184mg

NaNO_2 118mg KNO_3 1.81g

(初期値 BOD 10mg/l, T-N 3.3mg/l, T-P 0.39mg/l, $\text{NO}_3\text{-N}$ 2.1mg/l, $\text{NO}_2\text{-N}$ 0.19mg/l)

生物膜の育成方法 望月寒川から採取した緑藻類中心の生物をホモジナイズして循環水路に添加した。平成2年の調査では1週間生育させた後、水質検査を実施したが、平成3年は流下後2~4日から検査を開始した。

2-4 調査内容

2-4-1 水質調査

項目 PH, DO, BOD, COD, SS, 水温, T-N, T-P, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, 平成3年のみ照度を加えた。

回数 平成2年は開始直後1, 2, 3, 4, 6及び8時間の7回, 平成3年は開始直後1, 2, 3及び4時間の5回。

2-4-2 生物調査(平成3年)

項目 クロロフィル a, 従属栄養細菌数生物膜の乾燥重量, 植物プランクトン, 動物プランクトン

回数 水質調査後1日1回のみ

2-5 水質調査方法

2-5-1 従属栄養細菌数の試験方法

プラスチックシャーレに検体の段階希釈したもの1mlずつを各2枚に分注しPGY培地15mlを流し込み、 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ で7日間培養し生育したコロニーすべてを数えた

2-5-2 各種生物膜の試験方法

水路の上部, 中部, 下部の3カ所の平均的生育部分

より 2 cm² ずつ合計 6 cm² を剥離し、滅菌蒸留水で希釈してその一部を検査した。プランクトンは生物顕微鏡の 100 倍と 400 倍で検鏡した。

2-6 重回帰分析

重回帰分析は、ある変数（目的変数）と複数の要因（説明変数）の関係を求める手法であるが、その関数モデルとしては、次の線形式を仮定する。

$$Y_i = a_0 + a_1 X_{1i} + a_2 X_{2i} + \dots + a_p X_{pi} + e_i$$

X_{ji} : i 組の標本の j 番目の説明変数

Y_i : i 組の標本の目的変数

a_j : 関数パラメータ（偏回帰係数）

e_i : i 組の標本の残渣

ここで、残渣 e_i の平方和が最小となるように偏回帰係数 $a_0, a_1, a_2, \dots, a_p$ を決定し重回帰式を求めた。

また、目的変数の推定における重回帰式の有効性は、分散分析によって検定した。

3. 結 果

3-1 河川水と人工河川水での浄化実験結果比較 (図1)

河川水を使用して浄化実験を行うと、分解されにくい有機汚濁成分や不特定多種類の微量成分の影響が、浄化実験に不安定要素となるため、今回使用水の安定化のために人工河川水を使用して浄化実験を行ったところ、河川水を上まわる浄化効果を得ることができた。BOD で除去率は 50%，T-N，NO₃-N で約 10% 上まわっており、それ以外の項目でも人工河川水の方が同じかやや高かった。このことは、細菌やプランクトンの生育に最適な有機物や窒素等を適切に含有していたことによって、予想されていたおりの高い浄化効果が得られた。従って以後の実験には人工河川水を使用して生物試験及び浄化実験を行った。

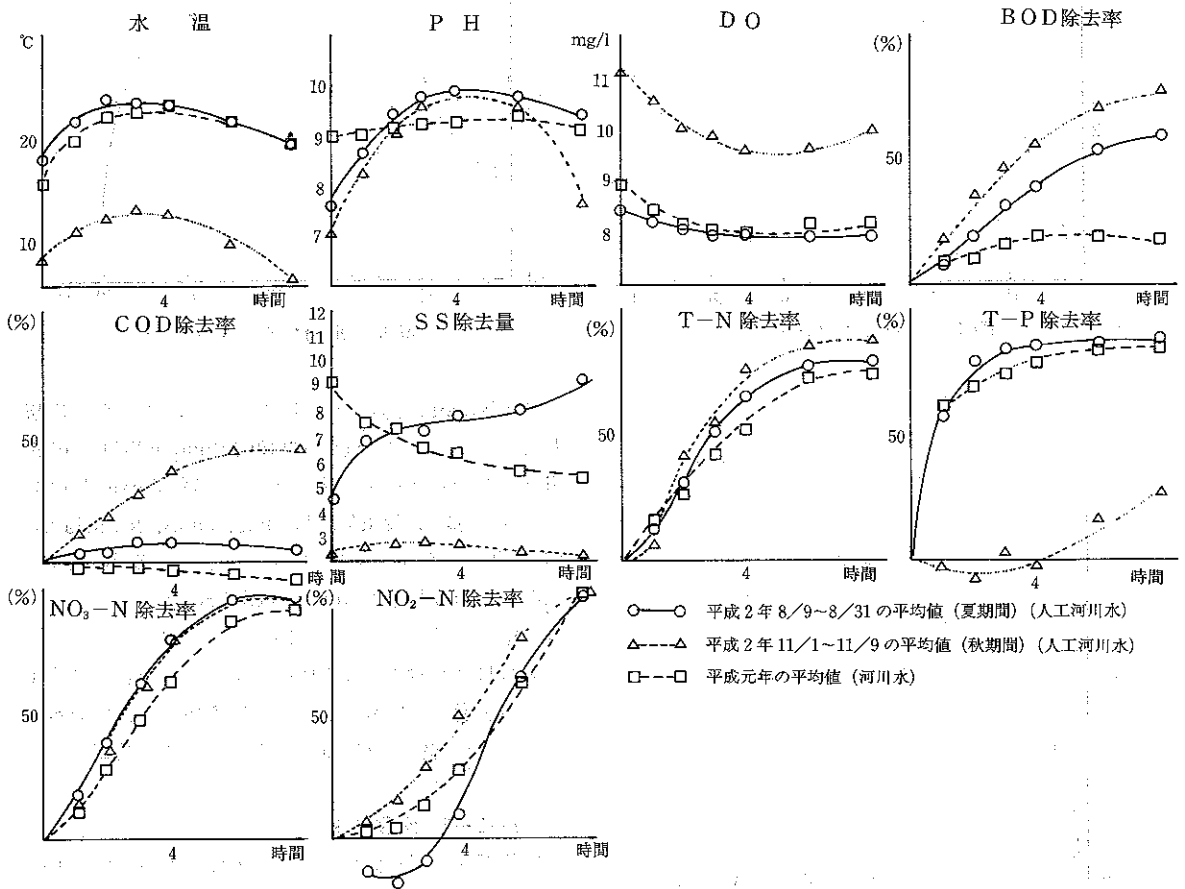


図1 河川水と人工河川水との除去率等の比較

3-2 人工河川水における生物試験と浄化実験

3-2-1 生物試験

(1) クロロフィルa (図2)

8日目まで日数の増加とともに急激に増加した。その後もシリーズ終了まで増加を続けた。

(2) 従属栄養細菌数 (図3)

シリーズ終了まで対数増加を続けた。

(3) 生物膜の乾燥重量 (図4)

8日目までゆるやかに上昇し以後シリーズ終了まで急激な増加を続けた。

(4) 動物プランクトン (図5)

9日目までゆるやかに増加し、以降対数増加を示し

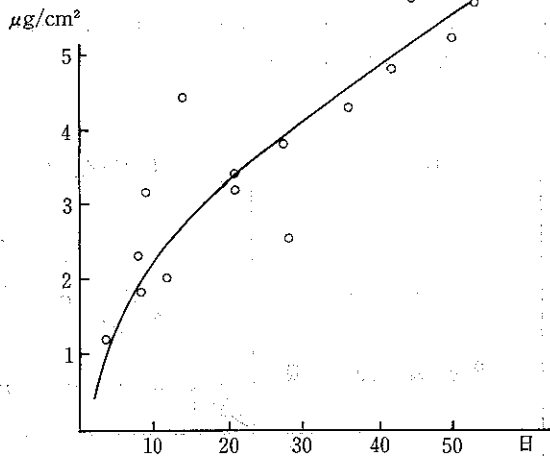


図2 クロロフィルa

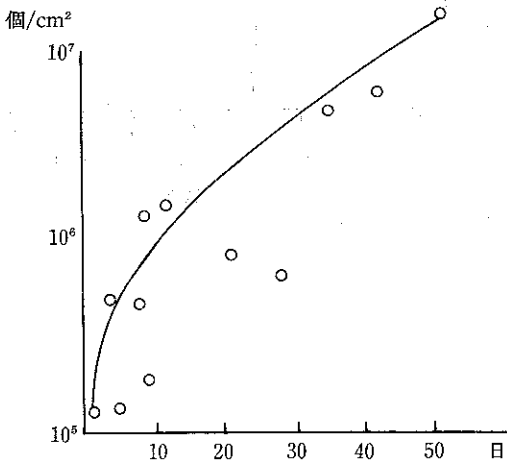


図3 従属栄養細菌

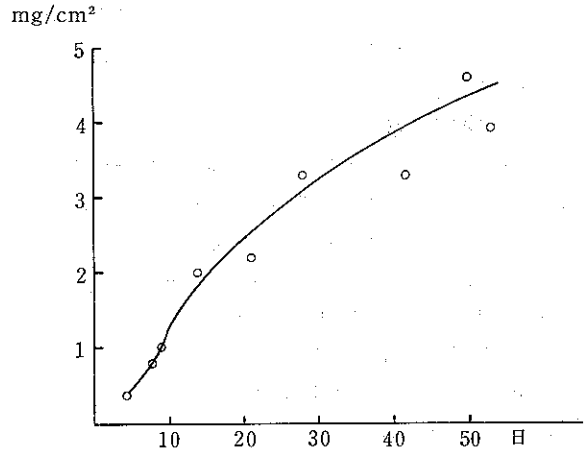


図4 乾燥重量

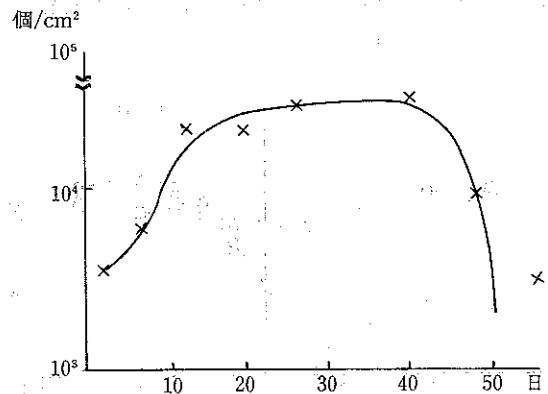


図5 動物プランクトン

た後 Plateau に達し 40 日以後急激に減少した。出現したプランクトンは絨毛虫類 *Chilodonella* 属, *Colpidium* 属, *Stylonychia* 属, *Aspidisca* 属, *Vorticella* 属, *Epistylis* 属等, 輪虫類, *Trichocerca* 属, *Rotaria* 属, 肉質虫類, *Amoeba* 属等であった。最多出現属は *Chilodonella* 属と *Colpidium* 属であった。

(5) 植物プランクトン (図6)

8日目より対数増加の傾向を示した。なお、緑藻類が全体を通じて優勢であった。珪藻類も対数増加傾向にあったが、藍藻類は、時々出現する程度で低調であった。

3-2-2 水質検査

生物調査と同様経日的に浄化実験を実施した。実験開始後4時間目の除去率を経日的に図7に示した。

各項目ともに4日目から急激に上昇していた。9日

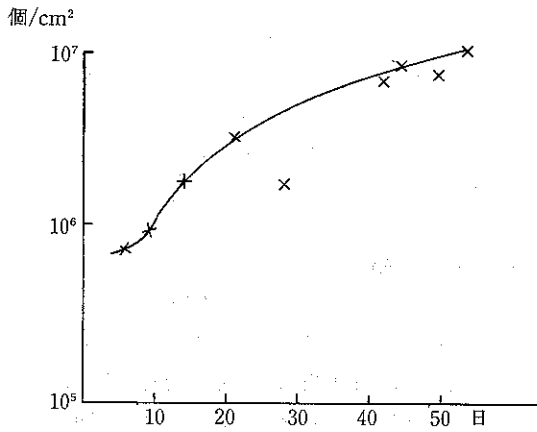


図6 植物プランクトン

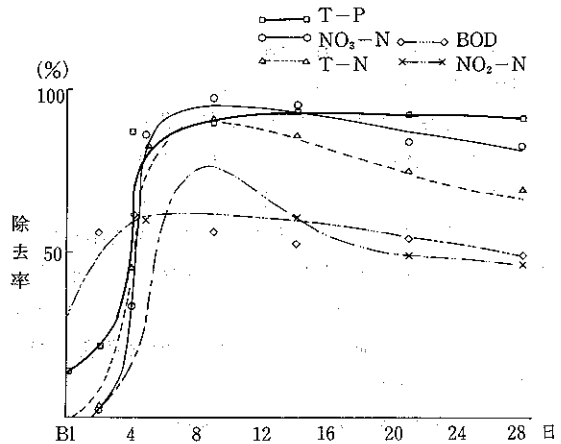


図7 浄化実験結果

目までで最高に達した後は $\text{NO}_3\text{-N}$, T-N , $\text{NO}_2\text{-N}$ は徐々に下降した。 T-P は12日目まで上昇した後28日目まで90%以上の除去率を維持した。BODは開始後2日目から50%以上の除去率を示し、4日目で最高となった後ゆっくりと下降した。

3-3 重回帰分析

生物膜及び気象条件と各水質成分の除去率との関係を明らかにするために、クロロフィルa、水温、照度、従属栄養細菌数、DOを説明変量として選択し、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ 、COD、SS、BOD、 T-P の各除去量との重回帰分析を試みた(表1)。その結果、 $\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ に関して、危険率1%で有意な回帰式が得られ、特にクロロフィルa及び従属栄養細菌と比較的高い相関が見られた。従って、この2つの因子は $\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ の除去に影響を及ぼしている可能性が示唆された。また、 $\text{NO}_2\text{-N}$ に関

しては、危険率5%で有意となったが、F値が比較的小さく、重回帰式を積極的に評価することは不相当と考えられた。その他の水質成分に関しては、有意な回帰式が得られず、各説明変量との明確な関係を推測することはできなかった。

4. 考 察

一般に微生物の増殖曲線は以下の4つの過程を推移するとされている³⁾。

- ① 誘導期(休止期) 細胞の質量は増加するが、細胞数の増加は認められない。
- ② 対数増殖期 ほぼ直線的に増殖を続け、細胞は一定の世代時間を経て数を増してゆき増殖の経過内では最も活発な時期である。
- ③ 定常期 栄養の欠乏、不適当なpHの推移代謝終末産物等のために増殖は停止するが細胞は生存する。

表1 重回帰分析の結果

目的変量	偏 相 関 係 数					重相関係数	F値(自由度)
	クロロフィルa	水温	照度	従属栄養細菌	DO		
$\text{NO}_2\text{-N}$	0.8919	0.5451	0.6162	0.5436	0.6835	0.9469	8.6841(5, 5)*
$\text{NO}_3\text{-N}$	0.5138	0.2736	-0.0219	0.4798	0.3237	0.7554	1.5951(5, 6)
$\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$	0.9422	0.4517	0.8086	0.8980	0.7613	0.9806	25.1044(5, 5)**
COD	0.2096	0.4114	-0.0599	0.2022	0.2280	0.8538	2.6904(5, 5)
SS	0.1245	0.2881	-0.2756	0.2984	0.0979	0.7459	1.5054(5, 6)
BOD	0.0410	-0.0571	0.4509	0.0633	-0.0242	0.6425	0.8436(5, 6)
T-P	0.2843	-0.1621	0.1551	0.0730	-0.0767	0.5488	0.4309(5, 5)

* 危険率5%で有意差あり

** 危険率1%で有意差あり

④ 内生期・細胞は生命を維持しなくなるので、生細胞の数は減衰の一途をたどる。

今回の結果ではクロロフィルa及び従属栄養細菌数などの増加の傾向は図2, 3, 6により上記で述べている①~③の一連の過程を顕著に表している。これに伴ってBOD, T-N, T-P等の除去率も急増している。すなわち有機物, 窒素, リンを栄養にして細菌類, 植物プランクトンが増え, 更にこれらを餌にして動物プランクトンが増加している。複雑な植物連鎖の過程で水質浄化が起こっていると考えられた。

一方, 生物膜及び気象条件と各水質成分の除去率との関係を明らかにするために重回帰分析を試みたところ $\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ に関して有意な回帰式が得られ, 特にクロロフィルa及び従属栄養細菌と比較的高い相関がみられた。しかしこれ以外には各要因(説明変量)と除去量(目的変量)の間に有意な関係は存在せず, 除去率に影響を及ぼす要因の推定は達成できなかった。このことは生物膜及び除去率に関してはPlateau部分のデータがほとんどであること, 気象条件に関しては比較的狭い範囲での条件設定しか可能でなかったことに起因していると考えられる。従って有効な解析を行うためには, 種々の条件を組み合わせた

新たな実験系を設定する必要がある。また本実験を実河川に適用するためには, 単位生物膜当たりの除去量を推定し, 実河川の流量, 汚染濃度等から浄化率を算定することが必要条件と考えられるが, 都市河川の水質浄化を推進する上で, 今後の課題としたい。

5. 結 語

昭和62年度より行って来た生物膜による薄層流接触酸化方式の浄化実験は, 河川水による模擬河川での浄化実験から人工河川水による生物膜の生育と水質浄化の関係を解析する試みへと発展した。今回はそれらの結果を報告したが, 今後新たに計画されるべき実河川への応用において基礎データを提供するものであり, その有効な活用を期待したい。

6. 文 献

- 1) 浦嶋幸雄, 他・札幌市衛生研究所年報, 15, 77~80, 1989.
- 2) 浅野みね子, 他・札幌市衛生研究所年報, 17, 133~139, 1990.
- 3) 須藤隆一・廃水処理の生物学, 101, 産業用水調査会(東京), 1977.

Studies on the Purification of River Water by Use of a Circulating-Stream Model (Part 3)

Mineko Asano, Syoji Fujiyama, Yukio Urasima, Osamu Arai,
Sadatosi Tsuji, Ryuichi Kenjyo and Yuko Kikuchi

ABSTRACT

We conducted an experiment of water purification by using circulating-stream to which biofilms were attached. Some of results have already been reported. For this test, we used imitation river water to make a quantitative analysis of the relation between biofilms and their effects on removing impurities. The results indicated that they had a great purifying effect, similar to the results of the former report. We then conducted a Multiple Regression analysis to clarify the relation among biofilms, weather conditions, and the rate of removing each component of water. We derived a significant regression equation regarding $\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$. There was a relatively high correlation between chlorophyll-a and heterotrophic bacteria in particular.