

都市河川の汚濁回復に関する研究

—野川水質サンプルの藻類生産力—

Algal Growth Potential of Polluted Urban River—the Nogawa

鈴木基之*・川島博之*

Motoyuki SUZUKI and Hiroyuki KAWASHIMA

1. はじめに

前報¹⁾においては、野川の物質収支について考察を行ない、その結果、野川の有機汚染においては栄養塩が重要な役割をはたしていることを明らかにした。本報においては、野川における栄養塩の働きをより明らかにすることを目的とし、野川のサンプル水について藻類生産力 (AGP, Algal Growth Potential) を測定した結果を示す。

2. AGP について

近年、沿岸海域や湖沼での富栄養化の問題が重要視されてきたが、富栄養化は言うまでもなく閉鎖水域中での藻類の生産が密接に関係しており、また藻類の生産に寄与する因子が複雑であることもあって、栄養塩濃度を測定しただけでは現象を記述するのに不十分と考えられる。そこで現在一つの有力な試験法と考えられているのが、AGP 試験である。これは図1に示すように試料水をガラスビンに入れて自然光と類似の光量変化の環境下で、実際に植物プランクトンや付着性の藻を増殖させて1 μ 以上の懸濁物質の乾量としてその量を求める方法であり、栄養塩や毒性物質の影響を総合した形で測定することができるものである。光量など基礎的データは、米国環境保護局 (EPA) の報告書²⁾を参考にした。

3. 実験

東大・応微研方式を参考にして、試作した装置 (図1) により測定した。これは、光源として太陽光線の代りに32Wの蛍光灯4本を用い、蛍光灯より約15cm離れた所に直径5.5cm、長さ25cmの円筒状のガラス管12本を置き、このガラス管を自動振とう器により、振幅2cm、40回/分で水平方向に振とうする装置である。ガラス管には直径約3cmのタップがあり、これは試料水の出し入れのためと実験中除菌フィルターを通じ大気とのCO₂交換を可能にするためである。蛍光灯はタイマーにより6時から18時まで点灯させ昼夜の別をつけた。同型式の装置を2台用いた。

実験は2回行った。第1回の実験は前報¹⁾で報告した12月8日の観測時に採取した試水について行なったものであり、これは野川の場所によるAGPの分布を求めることを目的としたものである。第2回の実験は、第1回の結果をふまえ、2月15日に採取したSt.3 (武蔵野公園、前報¹⁾図1参照)の試水に対して栄養塩濃度などの時間変化を追ったものである。

第1回、第2回の実験を通じて、実験に用いた試料水に対して滅菌や接種、またSSの除去、温度のコントロールなどを一切行なわなかった。これは、なるべく自然のままの野川を再現しようとしたからである。実験中試料水の温度は、15°Cから23°Cの範囲で変化した。これは、野川の冬期の水温よりかなり高く、初夏の頃の水温に相当すると思われる。分析に用いた方法と機器は前報までと同様である。ただ硝酸態の窒素については、前報までは文献の関係式を用いてE₂₁₀ (210nmにおける紫外線吸光度)より算出していたが、今回は機械や使用カラムによる誤差をのがれるために本研究室で作成した検量線より求めた。図2からもわかるようにカルボン酸など有機物による吸光は少なく、E₂₁₀の原因となる物質はほとんどNO₃⁻とNO₂⁻であると思われる。また野川ではNO₂⁻-Nは短時間でNO₃⁻-Nに変ることが予想されるため、E₂₁₀の原因物質はほとんどNO₃⁻-Nと考えることにした。

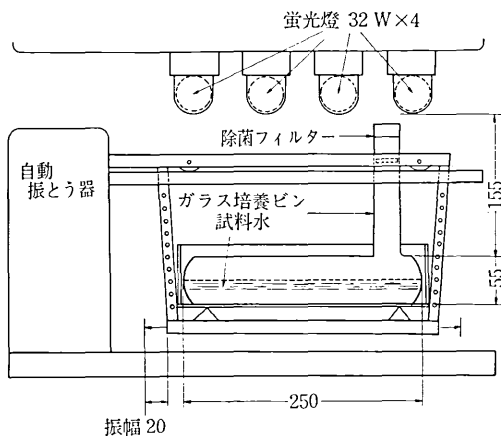


図1 AGP測定装置概略図

* 東京大学生産技術研究所 第4部

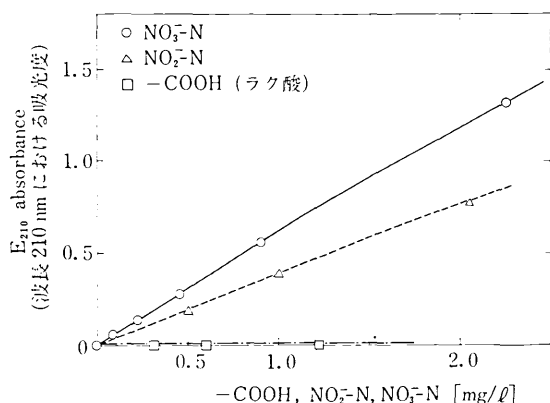


図2 NO₃-Nと吸光度との関係

4. 結果と考察

— 第1回実験について —

第1回実験の結果を図3に示す。観測地点は前報¹⁾と同様である。第1回実験では試水に対して PO₄³⁻-P (1mg/l) NO₃⁻-N (10 mg/l) Micronutrient²⁾ (微量元素元素の混合液) (10 ml 添加) を添加したものを同様の条件で実験し、それらの栄養塩に対する反応も同様に観測した。

高い栄養塩濃度 (前報¹⁾ 表2参照) から予想されたように、野川の水からは高い AGP が観測された。図3は34日間培養を続けた後の AGP を示したものであるが、栄養塩の添加の有無や場所の違いにかかわらず、250 mg/l から 350 mg/l という高い AGP を観測した。このことは野川全地域において、植物の生育にとって十分な栄養塩が存在し、また生育を妨げるような毒性物質は特に問題とならないことを示している。

— 第2回実験について —

第1回実験において野川の水が全流域において高い AGP を持ち、また栄養塩の添加についても、34日間程度では著しい差異が見られないことが明らかになったの

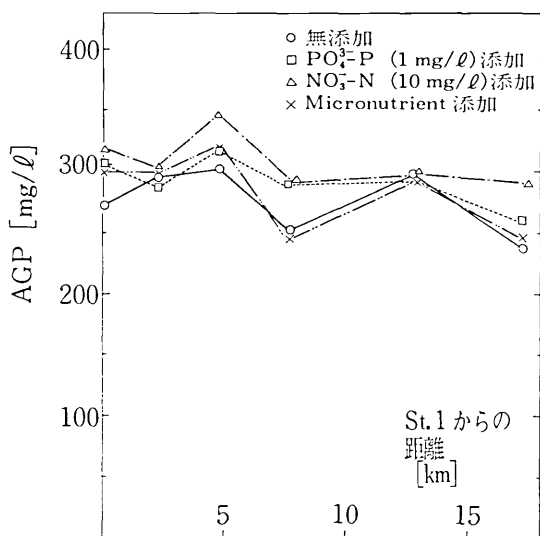


図3 野川におけるAGP変化

で、第2回の実験においては、試料水を St. 3 の水に限るとともに、栄養塩を窒素に限定して、より長時間懸濁質や栄養塩についての時間変化を追うことを目的とした。栄養塩を窒素に限定した理由は、J.G.Goldman³⁾が報告しているように、下水中では窒素が最終的な制限要因になると考えたからである。

第2回においては、無添加の試料水、および無添加試料水中の栄養塩濃度 (表1) を考慮して尿素態の窒素として濃度にして 10 mg/l 増加させた試料水、NO₃⁻-N として 5 mg/l、および 15 mg/l 増加させた試料水 (NO₃⁻-N としては NaNO₃ を加えた。) 以上4種について実験を行なった。

図4はAGPの時間変化を示している。SSはほぼ10 mg/l・日の速さで窒素の添加の有無にかかわらずほぼ直線的に増加し、65日間培養した後もまだ増加する傾向

表1 St.3 (武蔵野公園) の採水時水質

採取時刻	流速	気温	水温	DO	pH	ORP	電導度	濁度	SS	IC	TOC	E ₂₁₀	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -P
16:50	0.6 m/sec	25°C	10.0°C	1.7 mg/l	7.2	115 mV	1.1×10 ³ Ω/cm	60 mg/l	18.5 mg/l	22.1 mg/l	23.1 mg/l	3.6	13.7 mg/l	5.8 mg/l	0.37 mg/l

表2 AGP試験により生成した懸濁質 (藻類) の元素分析結果

サンプル	N	C	H	ash	備考
A	3.2	46.2	6.9	8.0	第1回実験 St. 1, St. 2 における 37 日後サンプル
B	9.6	49.7	7.9	19.4	第2回実験 無添加 40 日後サンプル
C	3.8	50.9	7.9	6.4	第2回実験 尿素添加 40 日後サンプル
D	9.0	50.7	7.7	12.3	第2回実験 NO ₃ -N (5 mg/l) 40 日後サンプル
E	3.3	41.4	6.6	3.9	第2回実験 NO ₃ -N (15 mg/l) 40 日後サンプル
F	11.5	48.7	8.2	5.0	第2回実験 無添加 65 日後サンプル

(重量パーセント)

研究速報

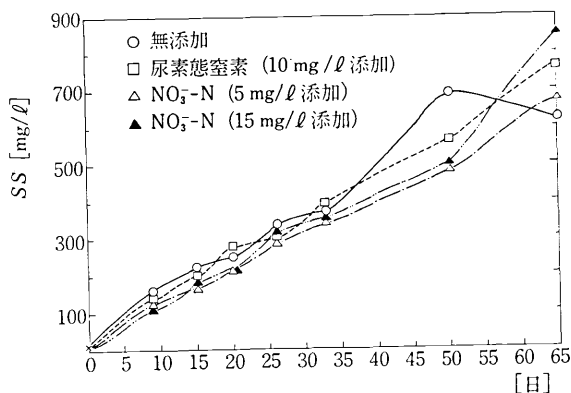


図4 野川におけるAGP経時変化

を見せている。

図5は TOC (全有機炭素) の時間変化, 図6は IC (無機炭素) の時間変化を示す. 両図から全期間を3段階に分けて考えることができると思われる. 第1段階は培養開始から約10日間の間で, この期間においては TOC, ICともに減少する. ICの減少は, 植物が炭酸同化作用結果, 水中のCO₂を吸収したことに基因すると考えられ, TOCの減少は, 易分解性の有機物が比較的短い時間で分解されることを示していると思われる. この植物プランクトン培養液中で初期に有機物濃度が減少することは, 西村ら⁴⁾も報告している. 第2段階は10日から35日の間であり, この時期には ICはほぼ0 mg/l となり, また TOCは12~15 mg/l の間で比較的安定した動きを見せている. このことは, 易分解性の有機物は全部分解され, また新たに溶存有機物も作り出されないことを示している. ICがほぼ消失していることは, 大気中との温度差を利用して大気中のCO₂が水中に溶け込み, その溶け込んだCO₂が短い時間で植物に吸収されていることを示していると思われる. 第2期は植物が順調に生育し, 植物体が分解されることのない安定期であると考えられる.

第3期は35日以後で, IC, TOC共に濃度が高くなる時期である. TOC濃度が高くなる厚因は, 初期に発生した藻類(粒子態有機物)が死滅分解して溶存態になるためと考えられ, ICの濃度が増加する原因は, 微生物の呼吸作用と共に植物の炭酸同化能力が落ちてくることに原因しているものと思われる. 特に窒素無添加の場合において第3期のIC上昇が著しいことから, 約40日経過した段階では, 野川のような強汚染水系の水でも窒素が制限要因となっていることを示していると思われる.

図7は NH₄⁺-N の濃度の経時変化を示す.

図6よりわかるように, NH₄⁺-Nの濃度は初期に急激に減少し約30日後にはほぼ消失している. この原因につ

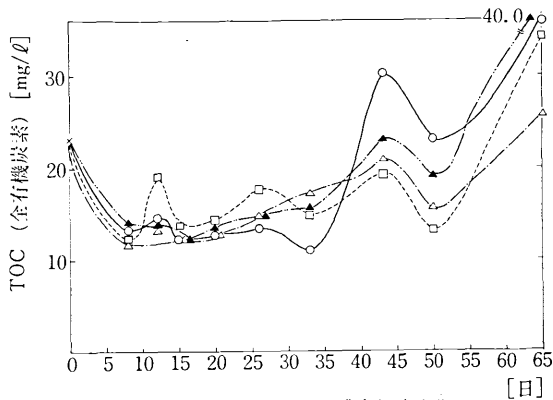


図5 AGP培養液中TOC濃度経時変化

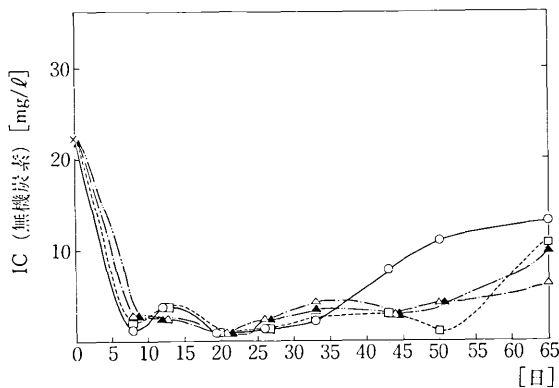


図6 AGP培養液中IC濃度経時変化

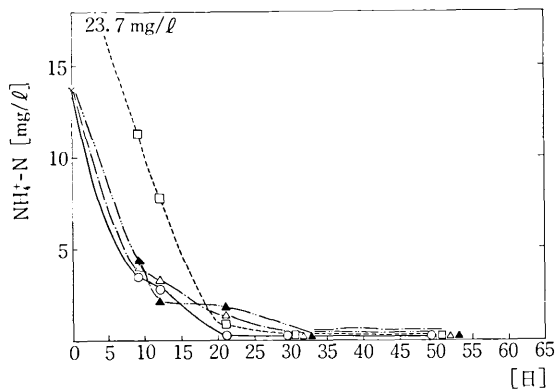


図7 AGP培養液中NH₄⁺-N濃度経時変化

いては二つの理由が考えられる. 一つはNH₄⁺-Nが亜硝酸菌や硝酸菌により硝酸化され消失した可能性であり, もう一方はアンモニアのストリッピングである. 実験中の試料水のpHを測定すると, 光合成の影響により昼間で約10.7であり夜間でも8.5前後あった. このように高いアルカリ性を示したことはアンモニアのストリッピングの好条件であり, NH₄⁺-Nの減少にはこの影響もあるものと思われる.

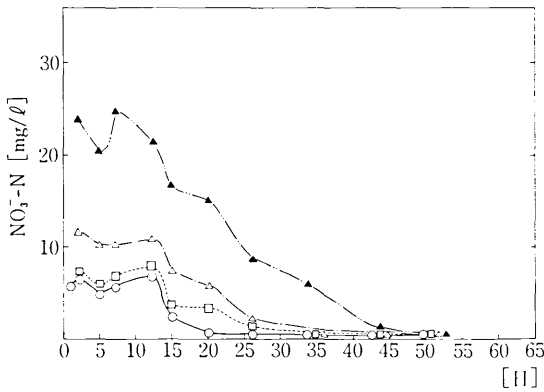


図8 AGP培養液中NO₃⁻-N濃度経時変化

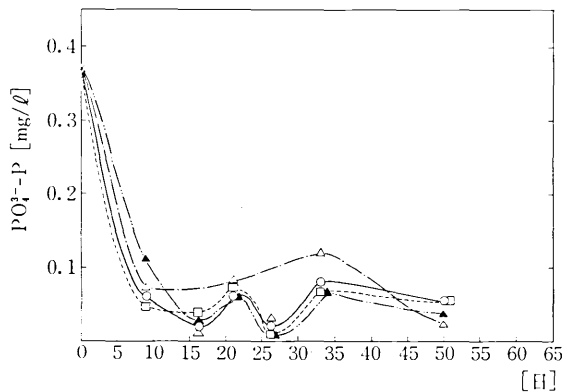


図9 AGP培養液中PO₄³⁻-N濃度変化

図8はNO₃⁻-Nの経時変化を示したものである。NH₄⁺-Nと違って急速に減少せず、10日後から15日後あたりでゆるやかな濃度の上昇があるのは硝酸化によるものと考えられる。NO₃⁻-Nも無添加の試料水においては約20日間ではほとんど消滅している。

図9はPO₄³⁻-Pの濃度の経時変化を示したものである。この図よりわかるようにPO₄³⁻-Pの濃度は初期に急激に減少し、これは藻類による栄養塩としてのとりこみを意味している。20日以後においてPO₄³⁻-Pの濃度が変動する原因については、分析の誤差に帰すべきか、それとも他の要因を考えるべきなのか現在検討中である。

— 物質収支について —

培養した結果生じた懸濁物質のCHNを、分析した結果を表2に示す。この結果と栄養塩濃度変化、さらにAGPの測定結果よりガラス管内の物質収支を考えると、説明に困難を感じる事実が観測された。まず第1には、栄養塩がほとんどなくなってからも、藻類がそれまでと変わらない割合で増加した点である。第2には、60日後には栄養塩の初期の存在より予測される量より多量に藻類が生成した点である。通常植物プランクトンには重量にして6%程度の窒素0.8%程度のリンが含まれると考えられ

る。無添加の試水について考えてみると、最初のNH₄⁺-NとNO₃⁻-Nの和は約20mgN/lである。これ以外に、野川においてはごく少量のNO₂⁻-Nと多量の有機態Nが存在するため、Total-Nは30mg/lから40mg/lとなる。これから予想されるAGPの値は、500mg/lから800mg/lで観測されたAGPの値と比較的よく一致する。しかしリンの濃度からの予測されるAGPの値は、PO₄³⁻-Pが0.4mg/l程度なので30mg/lから50mg/l程度であり、これはAGPの実測値より1ケタ小さくなってしまふ。これをつり合わせるためには多量の有機態リンの存在を想定するか、Pの速やかな循環過程を考えねばならず、今後の問題点となった。また元素分析の結果、Nの含有率が3%から11%と非常にバラつく原因が分析誤差によるものか、他の原因によるものなのかという問題も今後解明しなければならない。

5. 結論

野川の全流域の水が、非常に高い藻類生産力(AGP)を有することが明らかになった。このことは、野川の水が植物の成長に対して非常に好適な条件にあることを示している。つまり野川の河床に付着した藻が急激に増殖し、これが腐敗して流下し汚染の原因となつた前報の仮説に傍証が得られたことになる。

また、栄養塩の経時変化を追うことにより、初期の比較的短時間の間に藻類により栄養塩の濃度が激減することが明らかになった。このことの利用により、野川の水から栄養塩をとり除くプロセスを開発することも可能であるとえられる。

6. おわりに

野川のような小河川においても内部の現象はかなり複雑であり、我々の知識はまだ限られた段階にあることを認めざるを得ない。本研究においても、現象論的研究に終始せざるを得なかった。このような暗中模索の中から現実に都市河川の浄化に応用できる情報を発見するために目下継続研究中である。

最後に、本研究を行なうにご協力くださった本所第4部鈴木研助手茅原一之博士、同技官藤井隆夫、東京大学大学院生堀雅文、神奈川大学工学部学生改井清美の各氏に厚く御礼申し上げます。

本研究は、とうきゅう環境浄化財団の援助によるものであることを付記し謝意を表します。

(1978年6月29日受理)

参考文献

- 1) 鈴木, 川島, 藤井: 生産研究 30, 1 (1978).
- 2) Algal Assay Procedure: Bottle Test: EPA (1971).
- 3) J.C. Goldman: Water Reserch 10, 97 (1976).
- 4) 西村ら: 廃水生物処理の最近の発展, 化学工学協会「排水の生物処理」研究会編 15 (1977).